



Școala Doctorală

Bd. Lacul Tei 122-124, Sect. 2, cod poștal 020396, București, România
Tel.: +40-21-242.12.08, int. 221, scoala.doctorala@utcb.ro, <http://sd.utcb.ro>

RAPORT DE CERCETARE NR. 2

MODELE ȘI METODE DE VENTILARE A CASELOR PASIVE

Conducător de doctorat

Conf.univ.dr.habil.ing. **GHIAUȘ Adrian-Gabriel**

Student doctorand

Drd.ing. **SABIE Doru Daniel**

București

Mai 2018

CUPRINS

LISTA DE NOTAȚII PRINCIPALE.....	4
LISTA DE INDICI	5
LISTA DE ABREVIERI	5
INTRODUCERE.....	6
1. INSTALAȚII DE VENTILARE.....	8
1.1 Sursele de poluare ale aerului interior.....	8
1.2 Exigente de calitate ale aerului interior	10
1.2.1 Categori de calitate a aerului interior	10
1.3 Criterii de clasificare a instalațiilor de ventilare	11
1.3.1 După sursa de energie pentru circulația aerului	11
1.3.2 După numărul de circuite de ventilare mecanică.....	12
1.3.3 După regimul de presiune interior – exterior	12
1.3.4 După volumul spațiului ventilat	13
1.3.5 După modul de complexitate al tratării termodinamice a aerului.....	13
1.4 Ventilarea clădirilor rezidențiale.....	14
1.4.1 Ventilarea naturală.....	14
1.4.2 Ventilarea mecanică.....	15
1.4.2.1 Ventilarea mecanică simplu flux.....	15
1.4.2.2 Ventilarea mecanică dublu flux.....	16
2. MODELE ȘI METODE DE VENTILARE A CASELOR PASIVE.....	17
2.1 Metode de ventilare pasive (naturale)	17
2.1.1 Sistemul de ventilare naturală WINDCATCHER.....	17
2.1.2 Sistem de ventilare higroreglabilă	19
2.2 Metode de ventilare mecanică cu recuperare de căldură	20
2.2.1 Sistem de ventilare mecanică descentralizată simplu flux	21
2.2.2 Sistem de ventilare mecanică descentralizată dublu flux.....	22
2.2.3 Ventilarea centralizat-controlată (dublu flux cu recuperare de căldură).....	23
3. STUDIU DE CAZ	27

3.1	Descrierea imobilului – date caracteristice	27
3.2	Domeniul de simulare/calcul	30
3.3	Definirea condițiilor de unicitate.....	31
3.4	Definirea modelului de simulare	32
3.5	Generarea rețelei nodale	32
3.6	Discretizarea domeniului de simulare.....	34
3.7	Rezultate și discuții	35
3.8	Concluzii	45
3.9	Perspective	45
BIBLIOGRAFIE		46

LISTA DE NOTAȚII PRINCIPALE

F	forța volumică – gravitațională, N/m^3 ,
g	factor de transmisie a radiației solare, %
h	înălțimea planului de lucru, m
n_a	numărul de schimburi de aer pe oră, l/h
p	presiunea, N/m^2
Q_e	debitul de aer evacuat, m^3/h
Q_i	debitul de aer introdus, m^3/h
$Q_{î,an}$	energia necesară anuală pentru încălzire, KWh/m^2 a
$Q_{pr,an}$	energia primară anuală, KWh/m^2 a
S_u	suprafața utilă, m^2
T_i	temperatura aerului interior, K,
T_{20}	temperatura aerului introdus, K,
u	viteza de introducere ale aerului, m/s
U_{op}	transmitanța elementului opac, W/m^2K
U_{vit}	transmitanța elementului transparent, W/m^2K
U_t	transmitanța tâmplăriei, W/m^2K
U_{pard}	transmitanța pardoselii, W/m^2K
v_0	viteza aerului la stratul limită, m/s
v_1, v_2, v_3	vitezele de introducere ale aerului, m/s
$V_{1,aer,dom}$	volumul domeniului de simulare în varianta fara mobilier, m^3
$V_{2,aer,dom}$	volumul domeniului de simulare în varianta cu mobilier, m^3
μ	vâscozitatea dinamică, Ns/m^2
ρ	densitatea aerului, Kg/m^3
ν	vâscozitatea cinematică, m^2/s ,
Δt	diferența de temperatură, $^{\circ}C$
λ	conductivitatea termică, W/mK

a	aer
an	anual
dom	domeniu
e	evacuare
fer	fereastră
g	geam
î	încălzire
i	introdus
op	opac
pard	pardoseală
pr	primar
rec	recuperator

LISTA DE ABREVIERI

COV	Volatile organic compounds
CO ₂	Carbon dioxide
CFD	Computational fluid dynamics
EPS	Expanded polystyrene
MV	Mechanical ventilation
MVHR	Mechanical ventilation with heat recovery
PHI	Passive House Institute
PVC	Polyvinyl chloride
SGG	Saint Gobain glass

INTRODUCERE

În lumea modernă în care trăiește și își desfășoară activitățile zilnice, omul se află într-o permanentă interacțiune cu mediul înconjurător. Aflat sub acțiunea diversificată a surselor de constrângere psiho-fiziologică ale mediului înconjurător el caută permanent soluții tehnologice complexe pentru a-și “securiza” calitatea mediului ambiant în care își dezvoltă capacitățile creative.

Calitatea mediului în care oamenii își desfășoară activitatea are o influență complexă asupra lor, atât sub aspect igienico-sanitar cât și al productivității muncii.

Calitatea mediului ambiant se apreciază prin valoarea parametrilor confortului termic, prin compoziția chimică și puritatea aerului, precum și prin alți factori ca: nivelul de iluminare, nivelul de zgomot, gradul de ionizare a aerului, elemente de estetică etc.

Natura și cantitatea de degajări nocive, modul lor de propagare, sistemul constructiv al incintelor, valorile la care sunt prescriși parametrii aerului interior pe considerente de confort sau tehnologice, limitele admisibile la care trebuie reduse concentrațiile diverselor substanțe nocive degajate, la care se adaugă de multe ori cu o pondere importantă considerații economice, au condus la folosirea unei game foarte variate de instalații de ventilare și climatizare. Preocuparea pentru asigurarea condițiilor de microclimat corespunzătoare specificului muncii desfășurate de oameni sau naturii procesului tehnologic, reprezintă o cerință primordială în dezvoltarea tehnicii ventilării și climatizării pe plan mondial.

În contextul cerințelor directivelor organismelor europene privind eficiența energetică a a clădirilor, care pentru clădirile rezidențiale a devenit obligatorii încă din debutul anului în curs, se impune adoptarea de soluții și strategii de ventilare care să răspundă acestor cerințe.

Având în vedere criteriile de evaluare a performanțelor energetice ale caselor pasive, sistemul de ventilație reprezintă unul din centrele de greutate ale acestora, îndeplinind atât funcția de asigurare a debitelor de aer proaspăt pentru satisfacerea cerințelor de calitate aerului interior pentru igiena și sănătatea ocupanților cât și stabilitatea higro-termică a construcției, gestionându-se în mod eficient aporturile de căldură generate de “sursele” din mediul ambiant, (Van Dijken, 2011).

Cercetarea sistematică a caselor pasive a arătat că pentru o distribuție corespunzătoare a aerului proaspăt în toate încăperile de lucru și pentru un volum suficient de aer extras din încăperile cu conținut mare de umiditate cel mai adecvat este un sistem de ventilare cu recuperare de căldură. Aerul proaspăt va fi furnizat camerelor de zi, de lucru și de dormit (Passipedia, 2018).

Aceste sisteme de ventilare dispun de unități de recuperare a căldurii foarte eficiente ce au fost dezvoltate special pentru utilizarea în case pasive. Acest echipament are o separare distinctă între circuitul de evacuare și circuitul de aer proaspăt, și necesită doar o cantitate mică de energie electrică pentru a funcționa, fiind extrem de silențioase. Folosind o astfel de recuperare eficientă a căldurii, pierderile de căldură prin ventilație vor fi neglijabile; între 2 și 7 kWh/(m²a) (condiție prealabilă pentru o casă pasivă), (Passipedia, 2018).

Prin urmare, acest tip de încălzire cu aer proaspăt va funcționa numai pentru clădiri cu o cerințe de energie (căldură) foarte scăzute - condiția definitorie pentru o casă pasivă, (Feist, 2000).

Lucrarea de față aduce în atenție în capitolul I noțiunile de bază referitoare la factorii și condițiile care influențează ventilarea spațiilor clădirilor de locuit, principalele tipuri de sisteme de ventilare cu particularități specifice.

În capitolul II sunt prezentate sistemele de ventilare preocupările mediilor științifice cu privire la cercetările privind sistemele integrate de ventilare specifice Caselor Passive, pe baza preocupărilor mediilor științifice la nivel internațional și național.

În capitolul III sunt prezentate rezultatele obținute în cadrul unei simulări numerice asistate prin intermediul unei aplicații specializate COMSOL MULTIPHYSICS, privind modul de realizare a ventilării centralizat controlate, pentru un domeniu de evaluare din cadrul unei case pasive precerificate.

1. INSTALAȚII DE VENTILARE

Instalațiile de ventilare au rolul de a asigura confortul termic interior, respectiv menținerea calității aerului interior în limite admise, pe întreg ciclul de viață al spațiului construit, în scopul menținerii sănătății ocupanților, indiferent de variația factorilor meteorologici, a degajărilor și aporturilor de căldură interioare.

Ventilarea presupune introducerea unei cantități de aer din exterior, considerat proaspăt (aer introdus/ aer refulat), cu rol de a prelua noxele în exces: (gaze, praf, sau vapori toxici), umiditatea, și căldura în exces (prin aerul aspirat/aer absorbit) și să le evacueze către exterior (prin aerul evacuat), (***, 2010).

1.1 Sursele de poluare ale aerului interior

Factorii care determină poluarea aerului din încăperi – rezultat al metabolismului uman, al activităților domestice și al lucrărilor de întreținere – formează un complex al mai multor tipuri de agenți de poluare, care alături de umiditatea excesivă reprezintă factorii decisivi pentru sănătatea oamenilor.

Poluanții aerului interior se pot clasifica în funcție de natura poluantului – fizică, chimică sau biologică și originea lor – sursa lor de producere, (***, 2010).

În tabelul 1 sunt prezentați sintetizat principalii agenți poluanți care pot fi întâlniți în cadrul ambianțelor interioare.

Tabelul 1: Principalii agenți poluanți ai aerului interior și sursele lor de producere

Poluanți	Sursele de producere
SO ₂ , SPM/RSP (Dioxid de sulf, particule mici/ particule respirabile)	Procese de ardere
O ₃ (ozon)	Reacții fotochimice
Polenuri	Arbori, plante
Pb, Mn (Plumb, Mangan)	Trafic rutier (gaze de eșapament)
Pb, Cd (Plumb, Cadmiu)	Emisii industriale
COV, HAP (Compuși organici volatili, Hidrocarburi aromatice Policiclice)	Solvenți petrochimici, vaporizarea combustibililor nearși

NO _x , CO (oxizi de azot, monoxid de carbon)	Arderea combustibililor
CO ₂ (dioxid de carbon)	Arderea combustibililor, metabolism uman (respirație)
SPM/RSP (Dioxid de sulf, particule mici/ particule respirabile)	Fumul de țigară, procese de ardere, condensarea vaporilor, particule de praf în suspensie
Vapori de apă	Activități domestice (gătit, spălat), evaporarea de la suprafețe libere de apă, respirație umană
COV (Compuși organici volatili)	Volatilizare, arderea combustibililor, lacuri și vopsele, pesticide, insecticide, fungicide Materiale adezive, solvenți, cosmetice, gătit
Spori	Ciuperci, mucegaiuri
Radon	Solul, materiale de construcții, apa subterană
HCHO (formaldehidă)	Spume izolante, materiale de construcții de finisare, fumul de țigară
Azbest	Materiale anti-foc, materiale de izolare termică
NH ₃ (amoniac)	Produse de curățare, activități domestice
HAP (arsenic, nicotină, acroleină)	Fumul de țigară
Mercur	Fungicide, vopsele, scăpări de recipiente ne-etanșe
Aerosoli (praf)	Praful din interiorul casei
Alergeni	Praful din interiorul casei, animale de companie
Micro-organisme (microbi, viruși, bacterii)	Infecții umane/animale și transport aeropurtat

1.2 Exigente de calitate ale aerului interior

Calitatea aerului interior pentru încăperile ocupate, potrivit prevederilor normativului indicativ I5/2010, se asigură obligatoriu prin ventilare în funcție de destinația clădirii, de activitatea din încăperi, de tipul surselor de poluare prezentate anterior, (***, 2010).

1.2.1 Categoriile de calitate a aerului interior

Conform prevederilor Normativului pentru proiectarea, executarea și exploatarea instalațiilor de ventilare și climatizare", indicativ I5 – 2010, pentru spațiile ocupate din cadrul clădirilor rezidențiale sunt stabilite patru categorii calitate ale aerului interior, prezentate în tabelul 2, (***, 2010).

Tabelul 2: Categoriile de calitate a aerului interior (din SR EN 13779:2007)

Clasa de calitate a aerului interior	Descriere
IDA 1	Calitate ridicată a aerului interior
IDA 2	Calitate medie a aerului interior
IDA 3	Calitate moderată a aerului interior
IDA 4	Calitate scăzută a aerului interior

Pentru clădirile civile în care principala sursă de poluare o reprezintă biofluenții emiși de oameni, calitatea aerului în încăperile în care nu se fumează, se clasifică după concentrația de bioxid de carbon acceptată la interior, peste concentrația exterioară, conform tabelului 3.

Tabelul 3: Categoriile de calitate a aerului interior în funcție de concentrația de CO₂ peste nivelul din aerul exterior (din SR EN 13779:2007)

Categorie	Nivelul de CO ₂ peste nivelul din aerul exterior, în ppm	
	Domeniu tipic	Valoare prin lipsă
IDA 1	≤ 400	350
IDA 2	400 – 600	500
IDA 3	600 – 1000	800
IDA 4	≥ 1000	1200

1.3 Criterii de clasificare a instalațiilor de ventilare

În conformitate cu Normativul I5/2010, (***, 2010). instalațiile de ventilare pot fi clasificate pe baza

următoarelor criterii:

- sursa de energie pentru circulația aerului;
- volumul spațiului ventilat;
- regimul de presiune interior - exterior;
- modul de schimb al aerului;
- poziția gurilor de introducere și evacuare;
- modul de complexitate al tratării aerului în funcție de cerințele tehnologice sau de confort.

1.3.1 După sursa de energie pentru circulația aerului

După modul de vehiculare al aerului în încăpere avem:

- **instalații de ventilare naturală** - vehicularea aerului se face natural, prin deschideri practiate în elementele de construcție, generată de acțiunea combinată de viteza vântului sau de diferența de presiune datorate diferenței de temperatură:
 - **neorganizată**: pătrunderea aerului se realizează prin neetanșeitățile sau rosturile dintre încăperi sau prin deschideri necontrolate ale ușilor și ferestrelor (încăperi de locuit, birouri, depozite, ateliere mecanice mici;
 - **organizată**: pătrunderea/evacuarea aerului se realizează prin deschideri special concepute și dimensionate și amplasate la anumite înălțimi în acest scop, ferestre, luminatoare, coșuri de ventilare la bucătării, bai, clădiri industriale ce pot fi închise sau deschise după necesități.
- **instalații de ventilare mecanică** - vehicularea aerului se face forțat cu ajutorul ventilatoarelor
 - **simplă** - presupune doar introducere și evacuare aer cu funcționare de multe ori intermitentă.
 - **combinată** - presupune și tratarea aerului introdus (prin procese simple de încălzire sau răcire, uscare sau umidificare, recuperare de căldură), în scopul limitării creșterii temperaturii aerului interior în

perioada de vară și menținerea unei temperaturi aproximativ constante în perioada de iarnă;

- **instalații de ventilare mixtă (hibridă):**
 - introducere mecanică și evacuare naturală;
 - introducere naturală (compensare) și evacuare mecanică.

1.3.2 După numărul de circuite de ventilare mecanică

După numărul de circuite de ventilare mecanică există:

- **instalații de ventilare mecanică – cu un singur circuit (monoflux),**
introducere sau evacuare pe cale mecanică
- **instalații de ventilare mecanică – cu două circuite (dublu flux),**
introducere și evacuare pe cale mecanică

1.3.3 După regimul de presiune interior – exterior

Diferența de presiune dintre interiorul și exteriorul încăperii ventilate poate genera:

- **instalații de ventilare în suprapresiune** - debitul de aer introdus este mai mare de cât debitul de aer evacuat, debitul de aer în exces fiind evacuat pe cale naturală specifică sistemelor de ventilare mixte cu introducere mecanică și evacuare naturală, încăperi cu degajări nesemnificative de poluanți (încăperi convențional curate), încăperi din sectorul rezidențial (camere de zi, dormitoare) sau non-rezidențial: birouri magazine săli de clasă, cinematografe;
- **ventilare în depresiune** debitul de aer introdus este mai mic decât debitul de aer evacuat, situație specifică sistemelor de ventilare mixte cu introducere naturală și evacuare mecanică, pentru încăperi murdare sau umede: toalete și bucătării pentru clădiri rezidențiale și hale de producție pentru clădiri industriale .
- **instalații de ventilare echilibrată** debitele de aer introdus și evacuat sunt egale;

1.3.4 După volumul spațiului ventilat

Ventilarea mecanică se diversifică după:

- ventilare mecanică generală – caracteristică încăperilor cu degajări generale de noxe și preune o distribuție uniformă a aerului la nivelul spațiului ventilat, în clădiri industriale, social – culturale, comerciale, administrative;
- ventilare mecanică locală – necesară în cazul:
 - degajărilor concentrate de noxe acționând asupra sursei de degajare, aspirând aerul din jurul sursei de degajare a poluantului, preluând substanțele nocive, înainte ca acestea să pătrundă în încăperea (cuptoare industriale, mese de sudură, băi industriale de zincare, decapare, polizoare, mașini de prelucrarea lemnului),
 - asigurării unor zone de protecție prin crearea unor jeturi de aer fie la intrările în spații publice sau pentru protejarea persoanelor aflate în proximitatea unor suprafețe cu temperaturi ridicate.
- ventilare mecanică combinată – se realizează prin ventilare simultană locală (pentru evacuarea noxelor produse local) și generală (în vederea asigurării calității aerului ambiant).

1.3.5 După modul de complexitate al tratării termodinamice a aerului

În funcție de modul de complexitate al tratării aerului dispunem de:

- ventilare simplă - fără tratare termodinamică (filtrarea aerului preluat din exterior cu ajutorul filtrelor de aer)
- ventilare cu tratare termodinamică – aerul introdus
 - încălzit sau răcit cu baterii de încălzire sau răcire,
 - umidificat sau uscat cu baterii de răcire, stropire cu picături fine de apă sau abur.

1.4 Ventilarea clădirilor rezidențiale

Pentru asigurarea cerințelor de calitate a aerului interior și stabilitatea higotermică a clădirilor clădirile rezidențiale pot fi ventilate prin metode de ventilare naturală sau mecanică.

1.4.1 Ventilarea naturală

Este cea mai simplă metodă de ventilare. Ventilarea naturală are loc prin circulația aerului, prin diferite deschideri practicate în elementele de construcție ale clădirilor, sub efectul vântului sau al tirajului natural (fără acțiune mecanică), (***, 2010).

Împrospătarea aerului se face prin deschiderea ferestrelor sau prin permeabilitatea unor elemente de construcție la trecerea aerului; debitul de aer introdus va fi minim pentru a elimina pierderile de căldură prin aerul evacuat.

Sistemele de ventilare naturale se bazează pe diferențele de presiune pentru a deplasa aerul curat prin clădiri. Diferențele de presiune pot fi cauzate de vânt sau de efectul de flotabilitate creat de diferențele de temperatură sau de diferențele de umiditate. În ambele cazuri, cantitatea de ventilație va depinde în mod critic de dimensiunea și amplasarea deschiderilor în elementele clădirii. Este util să ca un sistem de ventilație naturală să fie gândit ca un circuit, având în vedere în mod egal alimentarea și evacuarea aerului.

Ventilarea naturală are la bază una din următoarele scheme, figura 1.1.

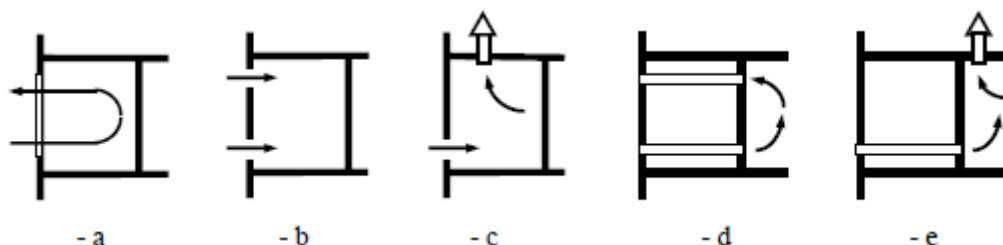


Figura 1.1 Metode de realizare a ventilației naturale

Astfel avem:

- a) ventilare prin deschiderea ferestrelor – debitul de aer este aleatoriu și intermitent,
- b) ventilație prin orificii practicate în fațada incintei – sistem inconfortabil debitul de aer este aleatoriu și intermitent dependent de condițiile atmosferice exterioare,
- c) ventilație prin orificiu practicat în fațada asociat cu tubulatură verticală – sistem inconfortabil dar poate fi îmbunătățit dacă intrarea aerului este autoreglabilă,
- d) ventilație prin tubulatură orizontală – este dificilă apar pierderi de sarcină prin tubulatură,
- e) ventilație prin tubulatură orizontală asociată cu tubulatură verticală – cea mai bună metodă asigurând o ventilare corectă,

1.4.2 Ventilarea mecanică

Permite obținerea unei aerisiri generale și permanente cu un debit de aer nou și stabil independent de condițiile atmosferice, (***, 2010).

Principalele tipuri de ventlare mecanică sunt:

1.4.2.1 Ventilarea mecanică simplu flux

În cazul instalației de ventilație cu simplu flux, prezentat în fig. 1.2, modul de realizare a ventilației se realizează astfel :

- aerul proaspăt este introdus exclusiv în incintele principale (dormitor, cameră de zi) prin guri de insuflare autoreglabile cu rol de atenuare a efectelor vântului și menținerea constantă a debitelor de intrare
- aerul viciat este evacuat prin gurile de extracție amplasate în incintele poluate (bucătării, băi, wc-uri)

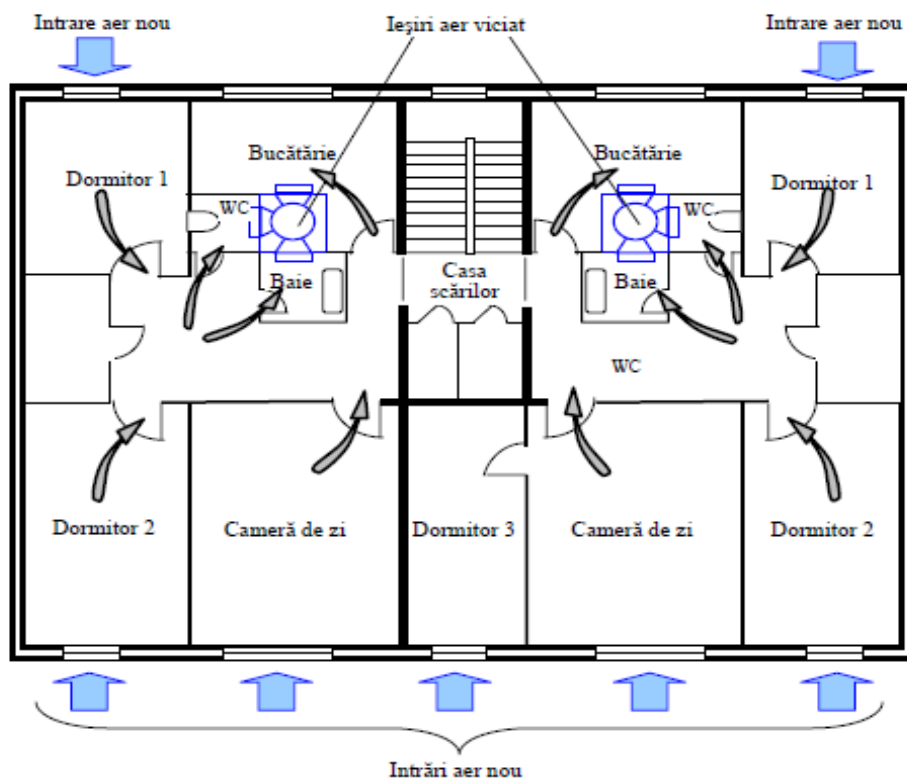


Figura 1.2 Schema de principiu a ventilației mecanice simplu flux

Pentru locuințe individuale chesonul de extragere a aerului viciat este amplasat în podul casei la mansardă. În cazul locuințelor colective (blocuri) aceste chesoane se amplasează direct sau în incinte special amenajate pe terasa blocului.

1.4.2.2 Ventilarea mecanică dublu flux

Reprezintă modul de ventilare care satisface în cel mai înalt grad nivelul de confort asigurând diverse funcții termodinamice (încălzire, răcire, climatizare).

Acest tip de instalație de ventilație, prezentat în schema de principiu din fig.1.3, se caracterizează prin:

- circuitele de intrare a aerului proaspăt și cele ale aerului evacuat sunt paralele și pot deservi mai multe incinte
- difuzia aerului se face prin guri de aer amplasate în pereți sau în plafon racordată la un circuit de insuflare a aerului printr-o conductă prevăzută la capăt cu un dispozitiv de reglare a debitului
- la ieșirea circuitului de insuflare a aerului se montează după caz baterii de *încălzire*, amplasate pe traseul aerului de amestec din zona de difuzare (pentru recuperarea căldurii din aerul evacuat), sau *răcire* (cu $\Delta t = 8 \dots 13^\circ\text{C}$, implicând dublarea debitelor de aer și evitarea curenților de aer reci),
- în cazul clădirilor de birouri, și hotelurilor bateriile se montează în cutii de detentă prevăzute cu dispozitive de reglare a debitului și baterii terminale de încălzire sau răcire.
- controlul umidității aerului însuflat se face prin centrala de ventilație

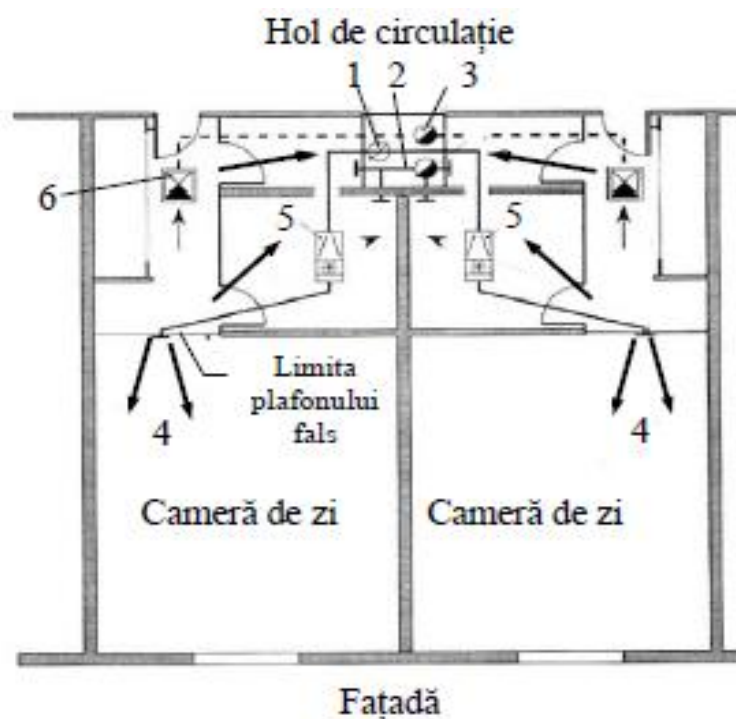


Figura 1.3 Schema de principiu a ventilației mecanice dublu flux (climatizare)

- 1 - intrare aer proaspăt și aer reirculat, 2 – extracție sanitară, 3 – extracție aer confort, 4 – difuzare, 5 – cutii detentă (cu baterie caldă și debit variabil de aer), 6 – preluare aer confort

2. MODELE ȘI METODE DE VENTILARE A CASELOR PASIVE

Casele pasive sunt entități constructive care potrivit criteriilor de proiectare și execuție impun o serie de cerințe structurale și funcționale pentru validarea și certificarea performanțelor energetice ale acestora. Pe lângă cerințele legate de orientare, formă, eliminarea punctelor termice, elemente de envelopă opace și suprafețe vitrate performante energetic, eliminarea infiltrațiilor dintre elementele anvelopei, sistemul de ventilare reprezintă o condiție esențială, pe de o parte pentru asigurarea confortului ocupanților și pe de altă parte pentru conservarea energiei termice provenite din procesele și activitățile domestice desfășurate de aceștia, (Feist, 2005).

Metodele de ventilare a caselor pasive sunt: pasive (naturale) și mecanice.

2.1 Metode de ventilare pasive (naturale)

Sistemele de ventilare care au la bază metodele de ventilare pasive specifice caselor cu consum redus de energie, în speță casele pasive, sunt:

- sistemul de ventilare naturală WINDCATCHER,
- sistemul de ventilare higroreglabilă.

2.1.1 Sistemul de ventilare naturală WINDCATCHER

Sistemul de ventilare Windcatcher reprezintă cea mai eficientă metodă de ventilație naturală a clădirilor prin captarea vântului predominant din orice direcție. Sistemul Windcatcher captează aerul proaspăt la nivelul acoperișului și îl conduce către spațiul interior prin canale de ventilare compartimentate, special concepute pentru evacuarea concomitentă către exterior a aerului uzat, indiferent de direcția curenților de aer la exterior, figura 1.4, realizându-se ventilația naturală fără consum de energie, (Jomehzadeha, 2017).

Diferența de temperatură între exterior și interior determină o diferență de densitate și de presiune. Datorită acestui fenomen, în condiții atmosferice normale, aerul uzat (cald) din interior se ridică către plafon și determină scăderea presiunii interioare, permițând aerului proaspăt (rece) să intre în încăperea și să împingă afară aerul uzat, realizând ventilația naturală.

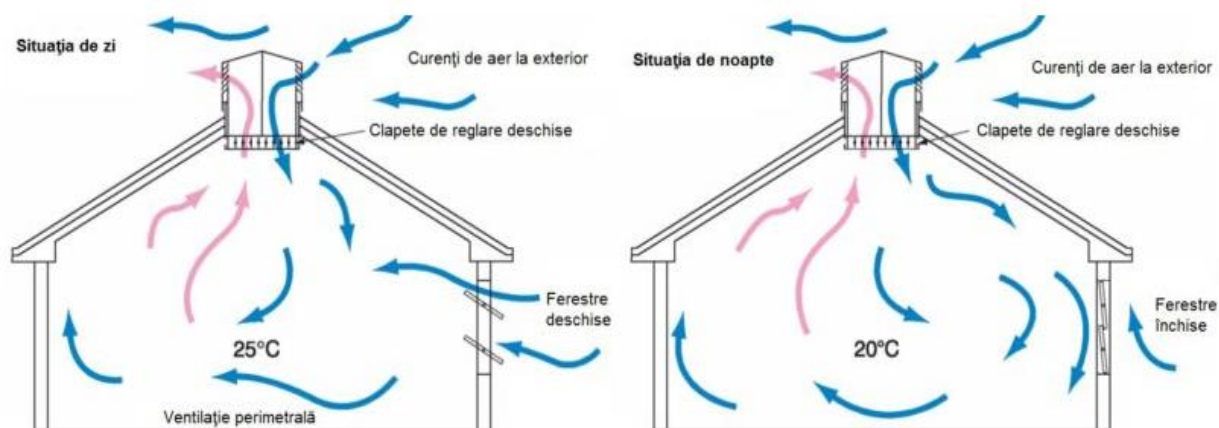


Figura 1.4 Sistemul Windcatcher. Circulația fluxurilor de aer pentru situațiile de zi/noapte

Sistemele WINDCATCHER dispun de sistem de control inteligent al debitului de aer cu ajutorul unor clapete de reglare comandat de senzori de temperatură și de CO₂, reglându-se debitul de aer în funcție de acești parametri. Sistemele pot fi controlate individual sau de către un panou de control central, care comandă deschiderea/închiderea automată a clapetelor de reglare în funcție de dată, oră și de semnalele primite de la senzorii din încăpere. Controlerele murale oferă posibilitatea intervenției manuale a utilizatorilor în orice moment pentru a răspunde preferințelor acestora, (Khan, 2008).

Unul dintre cele mai importante aspecte ale strategiei de ventilație naturală este reprezentat de răcirea încăperilor pe timpul nopții, denumită „night free cooling”. Clapetele de reglare pot fi programate să se deschidă complet la o anumită oră din noapte, pentru a permite aerului rece și proaspăt să pătrundă în încăpere cu debit maxim. La o anumită oră a dimineții ele sunt programate să se închidă pentru a nu scădea temperatura interioară sub o valoare limită. Astfel, utilizatorii vor găsi spațiul interior bine aerisit și cu o temperatură ideală. Întregul proces este desfășurat fără nici un consum de energie și în deplină securitate a clădirii.

Sistemele WINDCATCHER dispun de o tehnologie inovatoare care permite controlul debitului de ventilare la nivelul acoperișului și împiedică infiltrarea apei de ploaie și a zăpezii în interiorul sistemului de ventilație. Acesta conține un set extern de grile statice și un set intern de grile active, care sunt coborâte sau ridicate pentru varierea suprafeței deschiderii în funcție de strategia de control. Grilele active pot fi complet deschise pentru a permite debitul maxim de ventilare sau pot fi complet închise, la comanda senzorului de ploaie, pentru a preveni pătrunderea apei de ploaie sau a zăpezii.

Avantajele sistemului de ventilare naturală Windcatcher

- consum zero de energie prin utilizarea curenților de aer exteriori, sursă gratuită și inepuizabilă
- captarea eficientă a aerului proaspăt indiferent de direcția curenților de aer la exterior
- răcire nocturnă gratuită prin programarea clapetelor de reglare să opereze în timpul nopții astfel încât dimineața ocupanții să găsească spațiul interior suficient ventilat și cu o temperatură ideală
- ventilarea permanentă a spațiului interior în deplină securitate, fără niciun risc de efracție
- funcționare eficientă indiferent dacă ferestrele sunt închise sau deschise
- control și protecție totală împotriva ploii și zăpezii
- viteză confortabilă a curenților de aer la interior, asigurându-se protecția și sănătatea ocupanților
- eliminarea sindromului SBS (sindromul clădirii bolnave) specific spațiilor climatizate
- posibilități multiple de control automat și manual
- posibilitatea integrării cu iluminatul natural într-un sistem unic care realizează simultan iluminatul natural și ventilația naturală a spațiului interior

2.1.2 Sistem de ventilare higroreglabilă

Criteriile de baza de evaluare a calității aerului interior sunt:

- nivelul de CO₂ – nivel scăzut de interes din rațiuni economice
- higrometric – debitul de aer extras depinde de gradul de higrometrie al aerului (de nivelul de umiditate sesizat); măsurat de captatori specializați care comandă sistemul de extracție al aerului.

Sistemul de ventilare higroreglabilă are la bază principiul controlului secțiunii de tranzit a aerului controlând astfel debitele de aer prin acționarea grilelor destinate aportului de aer proaspăt și cele de evacuare a aerului viciat prin intermediul unor elemente de detecție și comanda (senzori).

Altfel spus, principiul acestui tip de ventilație constă în stabilirea dependenței între debitul de aer introdus și unul sau mai mulți parametri care caracterizează starea aerului ambiant din incintă care reflectă gradul de ocupare și tipul activității care se desfășoară în această incintă. Astfel sistemul de ventilare higroreglabilă permite adaptarea în mod continuu și proporțională a debitului de aer proaspăt funcție de acești poluanți pentru eliminarea eficientă a acestora, (Lu, 2011).

Prin acest sistem se optimizează distribuția debitelor de aer, acestea fiind direcționate cu predilecție către camerele de locuite, conducând la un aport de aer proaspăt în aceste spații, conservând energia acumulată în camerele neocupate, (Nassif, 2012).

În figura 1.5 sunt prezentate modul distribuție a debitelor de aer pentru ventilarea higroreglabilă controlată pentru perioadele de zi și de noapte.

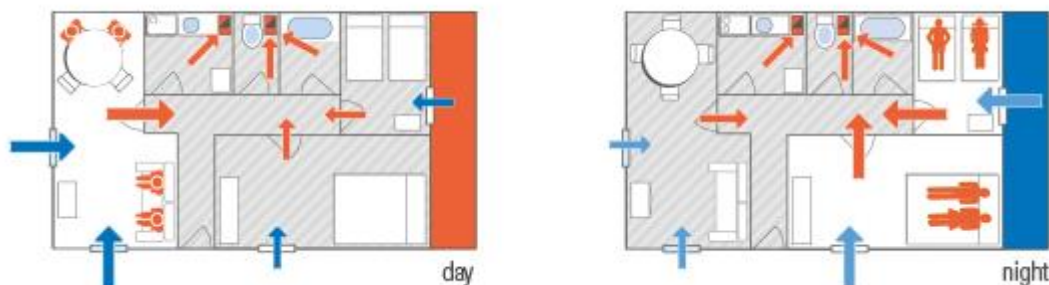


Figura 1.5 Circulația debitelor de aer în imobil pentru perioadele de zi și de noapte

Grilele sistemelor de ventilație sunt controlate funcție de cerințele încăperilor pe care le dotează și pot reacționa la diferiți factori poluanți.

Controlul debitelor de aer prin acționarea clapetelor grilelor higroreglabile se poate face prin intermediul unor senzori:

- higrosensibil – debitul de aer este controlat funcție de umiditatea relativă a aerului din vecinătatea zonei în care grila este montată,
- manual - sau telecomandat, la cererea utilizatorului pentru eliminarea umidității sau a mirosurilor neplăcute
- detector de prezență - creștere automată a debitului când este sesizată prezența unei persoane în încăperea respectivă.
- senzori de CO₂ sau COV - controlul debitului de aer funcție de nivelul de CO₂ sau al compusilor organici volatili (COV).

Avantajele ventilării higroreglabile, (Zuckera, 2017):

- asigură calitatea aerului interior,
- diminuează riscul apariției condensului,
- reducerea pierderilor de energie prin ventilație.
- consum redus și controlat de energie pentru încălzirea locuinței.

2.2 Metode de ventilație mecanică cu recuperare de căldură

Sistemele de ventilație mecanică cu recuperare de căldură sunt de două tipuri, (***, 2010):

- **descentralizate:** deserve o singura incalzire; se monteaza in peretele exterior al incalzirii respective
 - cu un singur flux (recuperator ceramic, flux alternant), relativ recent aparute, foarte performante si fiabile: au un singur ventilator si un singur tub care strabate peretele; ventilatorul isi schimba sensul alternativ, la un anumit interval de timp (zeci de secunde); astfel, timp de 70 de secunde el scoate aerul cald si viciat, incalzind schimbatorul de caldura incorporat; apoi alte 70s. va trage aer proaspat de afara prin acelasi schimbator de caldura, care se va raci cedându-și caldura aerului introdus;
 - cu dublu flux: presupun existența a două cai de introducere aer proaspăt și evacuare aer viciat complet echipate și un schimbator de caldura cu flux incrucisat pentru recuperarea caldurii sensibile și latente din aerul evacuat și transferul acestora catre aerul proaspăt introdus.
- **centralizate:** deserve intregul imobil; dispun de o unitate centrala HRVU (Heat Recovery Ventilation Unit) amplasată în pod, beci, sau o camera tehnica si o retea de canale de evacuare/admisie aer; in general, presupun evacuarea aerului viciat din încăperile “umede” (din bai si bucatarii), de la nivelul tavanului, și admisia de aer proaspat se face in camerele ocupate prin partea de jos; necesită grile de transfer în uși sau culoare de transfer pentru circulatia aerului intre incaperi.

2.2.1 Sistem de ventilare mecanică descentralizată simplu flux

Sistemul de ventilare mecanică cu un singur flux are ca principiu de funcționare vehicularea unui debi de aer printr-un recuperator de căldură ceramic prin care circulă un flux alternant de aer prin schimbarea alternativă a sensului de rotație al ventilatorului la un interval de timp (zeci de secunde). Astfel, intru-un interval de timp definit, ventilatorul va extrage si evacua aerul cald si viciat, care va ceda caldura schimbatorului de caldura incorporat, apoi va aspira aerul proaspat filtrat din exterior care va trece prin acelasi schimbator de caldura, și care se va raci cedând caldura acumulata aerului proaspăt introdus, (Kim, 2015).

Controlul debitelor de aer prin reglarea vitezei ventilatorului se realizează prin intermediul informațiilor primite de la senzorii de temperatură, umiditate și luminozitate, privind condițiile ambientale.

Datorită fluxului reversibil de aer generat de schimbarea alternativă a sensului de rotație al ventilatorului, pentru a asigura protecția la îngheț acest sistem nu necesită prezența unui

element suplimentar de protecție (rezistență electrică), fiind foarte eficiente și la temperaturi de -20°C , (Manz, 2000).

În figura 1.6 sunt prezentate elementele componente ale acestui sistem de ventilare mecanică descentralizată.

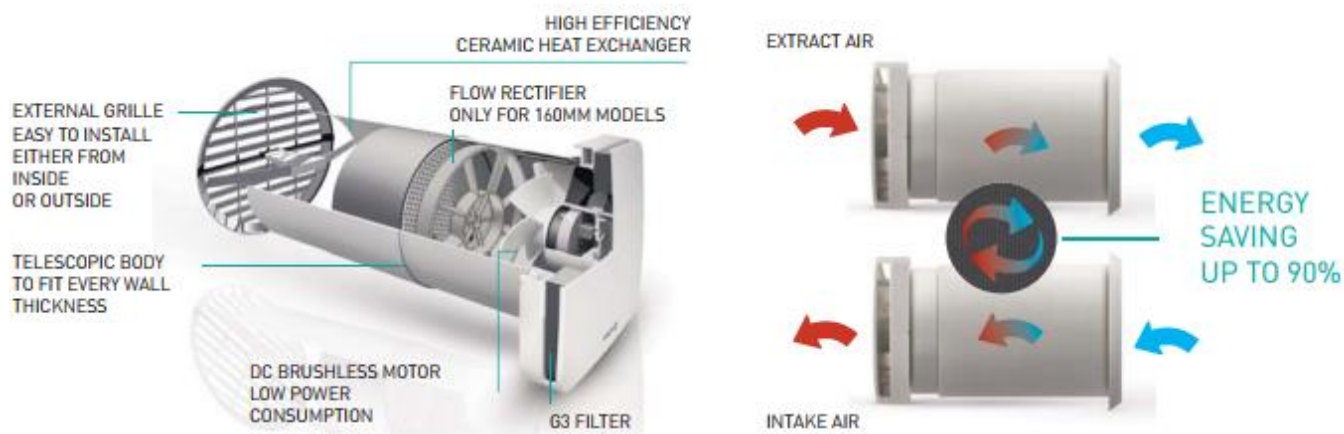


Figura 1.6 Sistemul de ventilare mecanică descentralizată simplu flux cu recuperare de căldură

2.2.2 Sistem de ventilare mecanică descentralizată dublu flux

Sistemul de ventilare descentralizată cu recuperare de căldură cu dublu flux realizează ventilarea locală a încăperilor, deservind o singură încăpere, prin vehicularea unor debite de aer introdus/evacuat în suprapresiune. Astfel debitul de aer proaspăt introdus este mai mare cu 8-10% decât debitul de aer extras și evacuat.

Sistemul de ventilare are incorporat un schimbător de căldură în contracurent prin care aerul evacuat din încăpere cedează căldura aerului rece și proaspăt preluat din exterior de afară, prin pereții schimbătorului de căldură, păstrând un regim de temperatura adecvat în încăpere și în același timp menținând un nivel optim de umiditate. Sistemul funcționează fără filtre cu potențial de contaminare.

Având în vedere conductivitate termică foarte ridicată a cuprului $\lambda=399\text{W/mK}$, recuperatorul de căldură poate avea un randament de recuperare a căldurii de 92%, realizându-se economii substanțiale de energie de 30% în timpul iernii și 70% în timpul verii.

Pentru perioada sezonului rece sistemul poate asigura și preîncălzirea aerului introdus prin intermediul unui receptor electric integrat în cadrul recuperatorului. Datorită proprietăților antiseptice naturale ale cuprului (similare argintului), în interiorul schimbătorului de căldură se

crează un mediu care asigură decontaminarea aerului, unde viruși, bacteriile și microbii își pierd viabilitatea.

În figura 1.7 se prezintă modul de realizare a circulației fluxurilor de aer introdus/evacuat la nivelul recuperatorului de căldură.

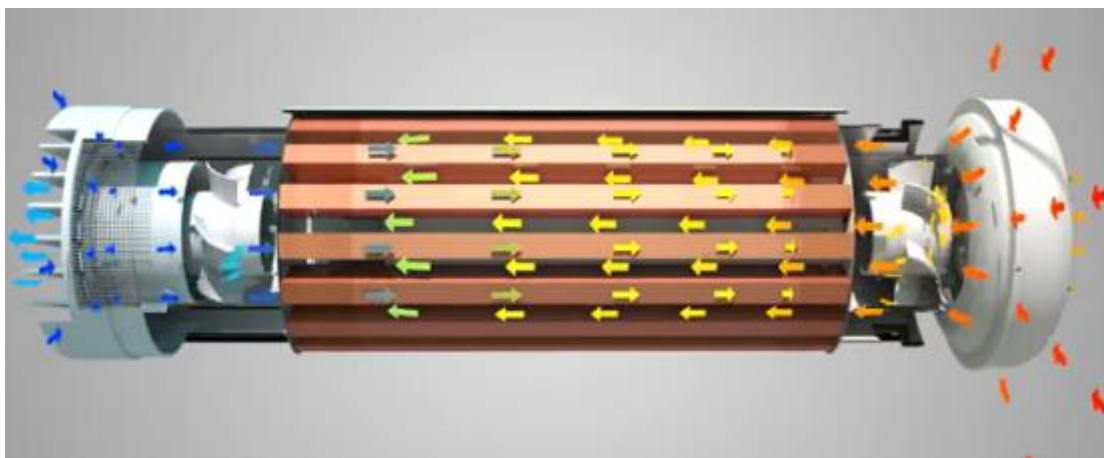


Figura 1.7. Circulația fluxurilor de aer în cadrul recuperatorului de căldură

În figura 1.8 se prezintă modul de realizare a circulației fluxurilor de aer introdus/evacuat la nivelul încăperii ventilate.

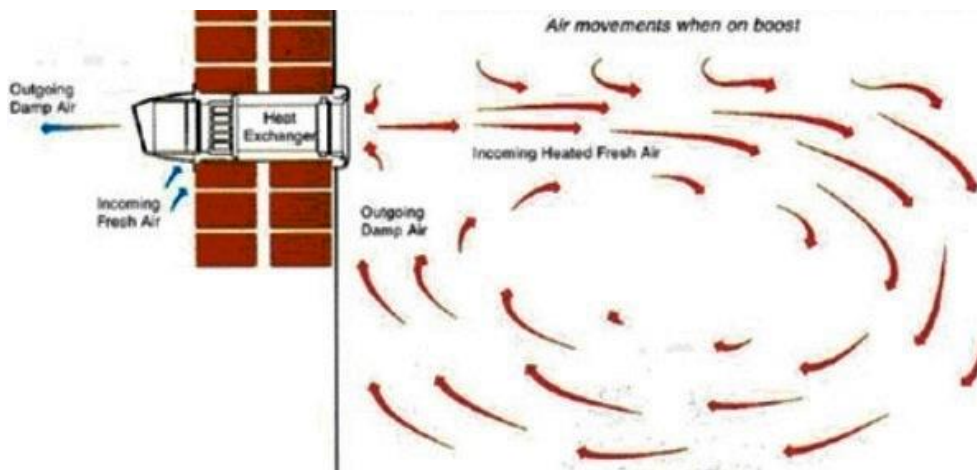


Figura 1.8. Circulația fluxurilor de aer în cadrul încăperii ventilate

2.2.3 Ventilarea centralizat-controlată (dublu flux cu recuperare de căldură)

Sistemele îmbunătățite de etanșeitate la aer și sistemele de ventilație mecanică sunt considerate elemente vitale ale strategiei de energie redusă în locuințele pasive. Ventilația mecanică (MV) a devenit parte a modelului de optimizare a încărcării energiei termice datorită capacității sale de a asigura nivelurile de schimbare a aerului recomandate fără a depinde de controlul zilnic activ al locuitorilor sau de scurgeri de aer necontrolate.

Sistemele de ventilare mecanică dublu flux cu recuperare de căldură asigură pe de o parte evacuarea aerului viciat și pe altă parte introducerea a unui debit continuu de aer proaspăt pentru îmbunătățirea calității aerului interior concomitent cu recuperarea căldurii din aerul viciat-evacuat și transferul ei către aerul proaspăt introdus în încăperea, (Jensen, 2008).

De asemenea, introducerea continuă de aer proaspăt asigură condițiile de puritate a aerului și a microclimei corespunzătoare activității depuse de om, și împiedică atingerea unei concentrații prea mari de poluanți (CO₂, COV, etc). Ventilarea permite în același timp evitarea problemelor legate de umiditate care pot conduce la afectarea sănătății ocupanților și degradarea prin condens a elementelor de construcție.

Avantajul utilizării unui sistem de ventilare se traduce prin confortul cotidian asigurat, aerul proaspăt introdus permanent în interior, disiparea rapidă a mirosurilor, concentrația de praf mult mai redusă, (Kamendere, 2015).

Evitarea deschiderii ferestrelor pentru aerisire permite de asemenea reducerea nivelului de zgomot perceput de la exteriorul clădirii (circulație în mod special). Pe timpul sezonului cald ventilarea contribuie în mod direct la disiparea căldurii care se acumulează pe timpul zilei la interiorul clădirii.

Sistemul de ventilare mecanică „dublu flux” cu recuperare de căldură este prezentat în figura 1.9.

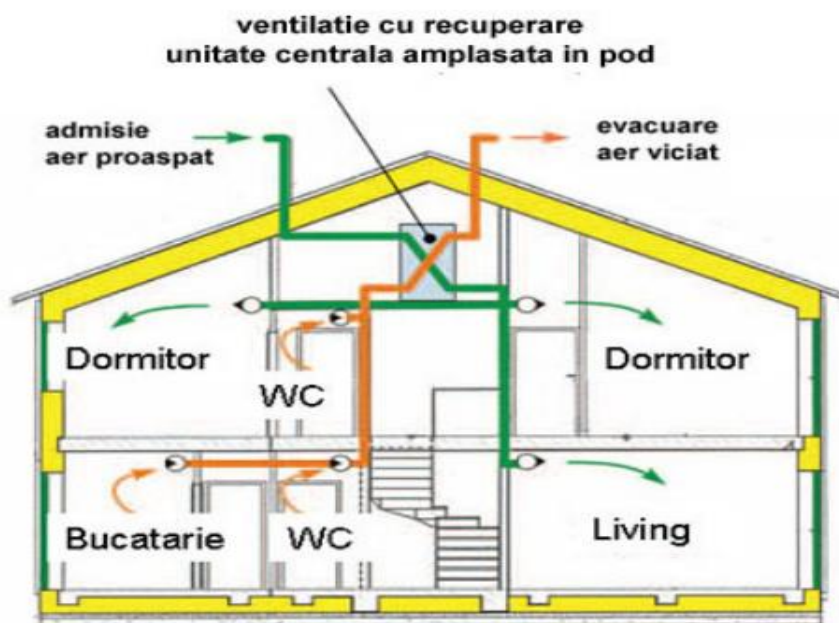


Figura 1.9 Schema de principiu a ventilației mecanice dublu flux (cu recuperare de căldură)

Pentru a controla sensul mișcării aerului, alimentarea cu aer proaspăt se va face în încăperile „uscate” (sufragerie, dormitoare) în timp ce evacuarea aerului viciat se va efectua acolo unde poluarea aerului este mai prezentă, adică în zonele „umedă” (bucătărie, baie, wc...) sau de serviciu (holuri). Între încăperile cu dispozitive de introducere și cele cu dispozitive de evacuare,

aerul circulă prin intermediul „deschiderilor de transfer” *(grile de transfer) poziționate la nivelul ușilor sau pereților (fig. 2.0).

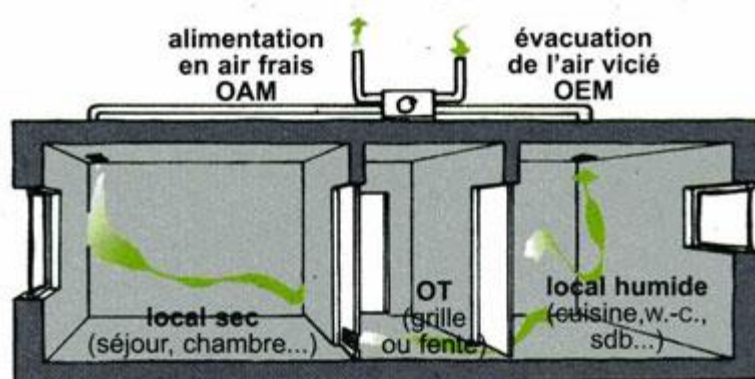


Figura 2.0 Circulația fluxurilor de aer în imobil,
ventilare mecanică dublu-flux cu recuperare de căldură

Diferența de presiune între zonele „uscate” care se afla în suprapresiune și zonele umede (în depresiune) asigură un debit de aer permanent în sensul dorit de circulație al aerului. Se evita astfel ca mirosurile neplăcute să fie preluate din bucătărie sau din baie către sufragerie sau dormitoare.

Recuperatorul de căldură recomandat este de tip schimbător de căldură cu plăci (schimbător de căldură în contracurent), fig. 2.1, randamentul dispozitivului de recuperare a căldurii trebuie să fie cuprins între 80...95%.

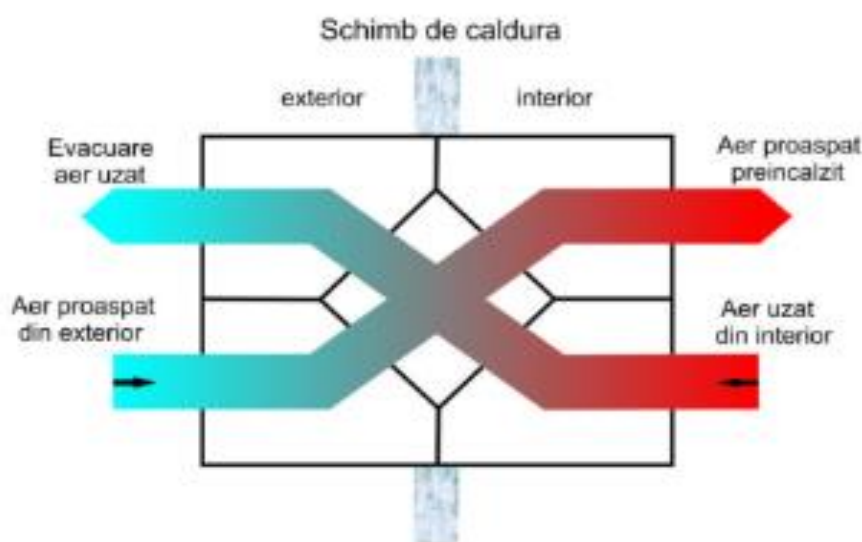


Figura 2.1 Schema de principiu a recuperatorului de căldură

Pentru eficientizarea energetică a întregului sistem complex de ventilație centralizată și producere utilităților casei pasive, acesta poate integra diverse echipamente având la bază

diverse tehnologii de exploatare surselor de energie regenerabilă (pompe de căldură, panouri solare, panouri fotovoltaice) pentru încălzire/răcire pasivă/activă cu acumulare a energiei termice (buffere) folosind de regula ca agent de lucru apa caldă menajeră, sau cu sisteme carere dispun de componente de transfer a energiei acumulate de la medii cu proprietăți regenerabile cu masivitate termică mare cum ar fi sistemul de „put canadian” folosit în principal pentru răcire pasivă.

În figura 2.2 este prezentată schema de principiu a unui astfel de sistem complex integrat de ventilare centralizată și producere a utilităților specific caselor pasive.

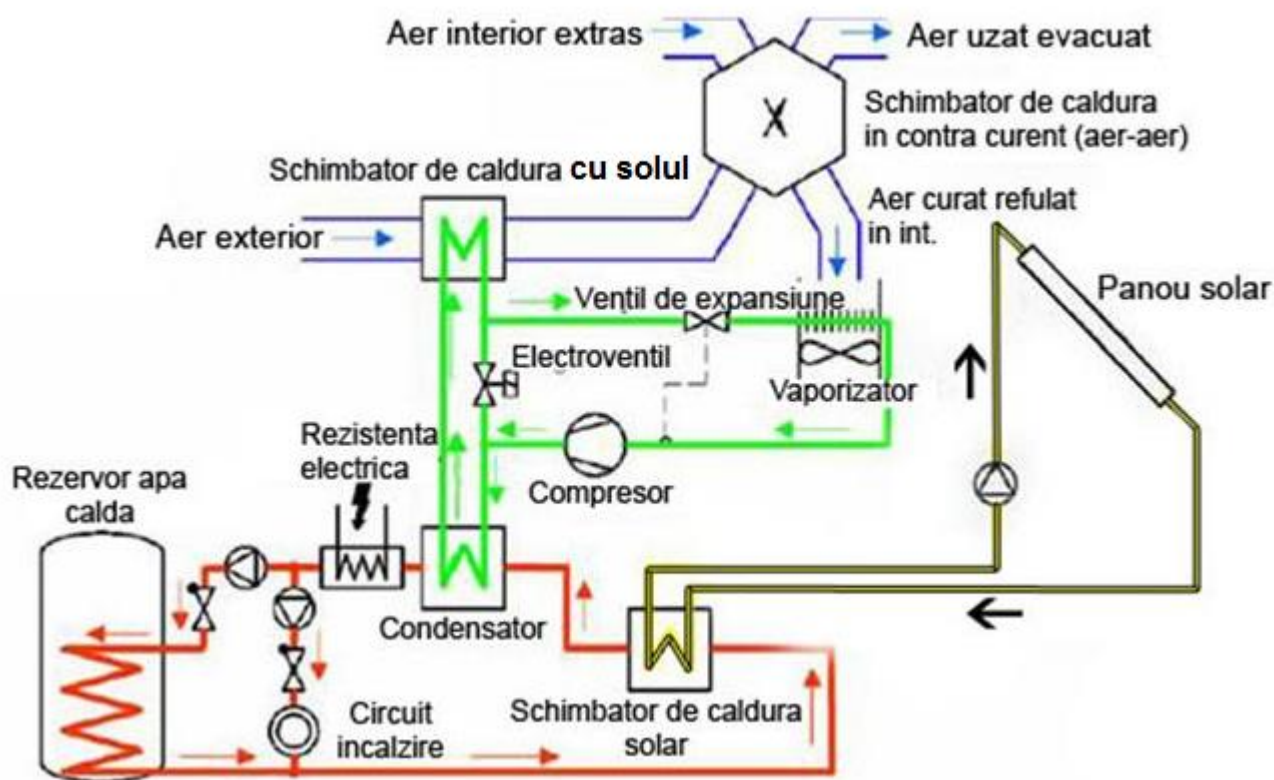


Figura 2.2 Schema de principiu a sistemului integrat de instalații al casei pasive

3. STUDIU DE CAZ

În cadrul studiului de caz, s-a realizat analiza distribuției curenților de aer având ca obiect de studiu o locuință unifamilială situată în localitatea Cluj Napoca, strada, Vânătorului, nr. 31, figura 2.3, pentru care s-a obținut în prealabil precertificarea de casa pasivă în urma testelor preliminare efectuate de specialiștii PHI (Passive House Institut- Darmstadt, Germania), aflată în acest moment în fază de dare în exploatare.



Figura 2.3 Plan de situatie pentru imobilul analizat

Având în vedere calitatea de casă pasivă precertificată a imobilului în cadrul studiului de caz s-a propus să se urmărească modulul de realizare a ventilării centralizat controlate, mai exact distribuția fluxurilor de aer proaspăt introdus și evacuat, printr-o simulare CFD (Computational Fluid Dynamics), prin intermediul software-ului specializat COMSOL MULTIPHYSICS.

3.1 Descrierea imobilului – date caracteristice

Imobilul situat în localitatea Cluj Napoca, strada, Vânătorului, este o locuință individuală și are o suprafață utilă $S_u=276m^2$. Din punct de vedere constructiv deși inițial s-a prevăzut în proiect o structură de rezistență din beton s-a adoptat soluția constructivă realizată din cofraje de polistiren umplute cu beton armat monolit. La finisajul exterior al clădirii s-au folosit materiale

cu texturi diferite, la parter domină piatra și placajul de lemn iar etajul realizat ca un cadru alb în jurul spațiilor înconjoară pereții orientați spre sud și spre nord placați cu rigle de lemn așezate pe orizontală, tâmplăriile placate cu aluminiu vopsit în gri antracit apar ca mici accente pe fațade.

Suprafețele vitrate mari orientate în marea lor majoritate spre sud asigură atât aportul solar necesar cât și lumina naturală reducând în același timp bariera vizuală dintre interior și exterior. Numărul redus al golurilor de pe fațada principală dinspre nord reduce pierderile de căldură și oferă intimitate locatarilor.

Parametrii caracteristici ai elementelor componente ale anvelopei clădirii sunt, fig. 2.4:

- pereți exteriori- stratificație: tencuiala decorativa 5 mm, EPS QL Panel 108 mm, EPS QL Plus panel 102 mm, difragma beton armat 150 mm, EPS QL reg. Panel 57 mm, tencuiala de lut 10 mm, $U_{op}=0,128\text{W/m}^2\text{K}$,
- pardoseală stratificație: parchet 8 mm, Strat de poza 5 mm, sapa armata 50 mm, EPS 50 mm, Monolitizare beton armat + elemente de cofraj EPS, Vata minerala 50 mm, Gips carton 12,5 mm, pardoseală, $U_{pard}=0,125\text{W/m}^2\text{K}$
- tâmplărie-ramă: PVC Rehau Geneo PHZ, $U_t=0,79\text{W/m}^2\text{K}$
- vitraj: SGG 4+20+4+20+4 cu Argon 90%, $U_{vit}=0.51\text{W/m}^2\text{K}$, g = 50%

Din punct de vedere al performanțelor energetice ale clădirii, în urma testelor preliminare efectuate de specialiștii PHI s-a determinat că necesarul anual de energie pentru încălzire este de $Q_{i,an}=12\text{KWh/m}^2\text{a}$, iar energia primară anuală necesară este de $Q_{pr,an}=58\text{KWh/m}^2\text{a}$.

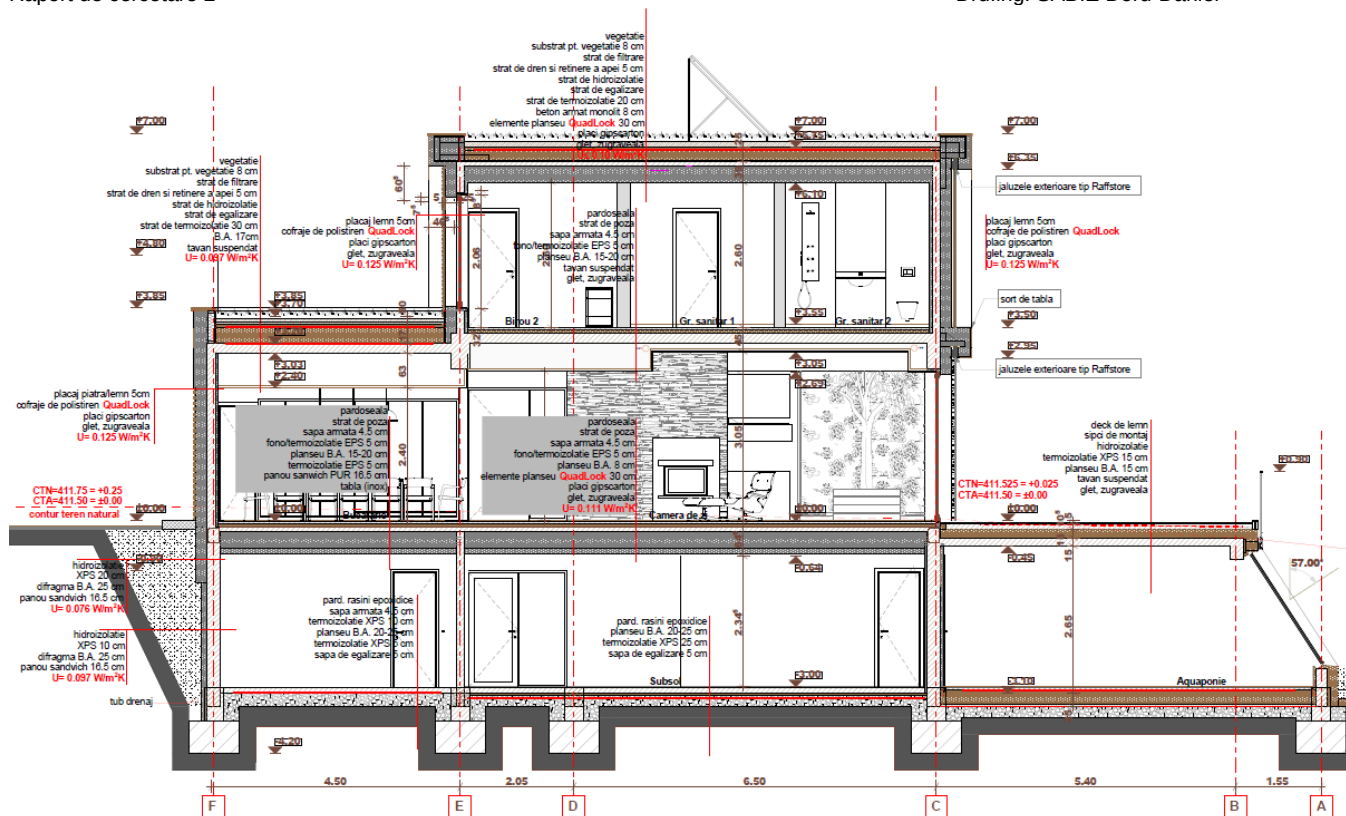


Figura 2.4 Secțiune caracteristică imobil

Necesarul de încălzire casei pasive respectiv apa caldă menajeră în timpul iernii se vor realiza cu ajutorul unui semineu pentru acoperirea vârfurilor care are în componență un schimbător de căldură cu apă, amplasat în camera de zi, iar în perioadele de tranziție și vară atât încălzirea cât și apa caldă menajeră se va realiza cu ajutorul panourilor solare amplasate pe acoperișul verde deasupra etajului. Apa caldă va fi înmagazinată în cele două rezervoare de apă caldă amplasate la subsol.

Ventilația cu recuperare de căldură va asigura aer proaspăt acesta fiind prerăcit vara și preîncălzit iarna cu ajutorul unui colector geotermal cu circuit închis, fig 2.5.



Figura 2.5 Sistemul de ventilație

Sistemul de ventilare are următoarele caracteristici:

- debitul de aer vehiculat de unitatea de ventilare: $50-320\text{m}^3/\text{h}$
- rata de recuperare a schimbătorului de căldură: $84\%\geq 80\%$
- eficiență energetică: $0,31\text{Wh}/\text{m}^3 \leq 0,45\text{Wh}/\text{m}^3$
- nivelul de zgomot $28\text{dB(A)}\leq 30\text{dB(A)}$
- dispune de două grilele de introducere aer proaspăt la nivelul pardoselii în

living, secțiune dreptunghiulară cu dim. $0,8\times 0,15\text{m}$,

- dispune de șase grilele de evacuare aer uzat, la nivelul plafonului bucatăriei, secțiune circulară, având diametrul de 100mm .

3.2 Domeniul de simulare/calcul

În scopul facilitării rulării aplicației (evitarea supraîncărcării cu date) din planul de arhitectură al casei pasive a fost selectată o zonă de calcul/lucru care constituie domeniul de simulare, situată la parterul imobilului, volumul domeniului de simulare analizat este de:

- $V_{1,\text{aer},\text{dom}} = 278\text{mc}$ – în varianta fara mobilier,
- $V_{2,\text{aer},\text{dom}} = 271\text{mc}$ – cu mobilier propus de arhitect

În figura 2.6 este prezentat domeniul de simulare (zona de calcul) care va fi analizat în cadrul simulării.

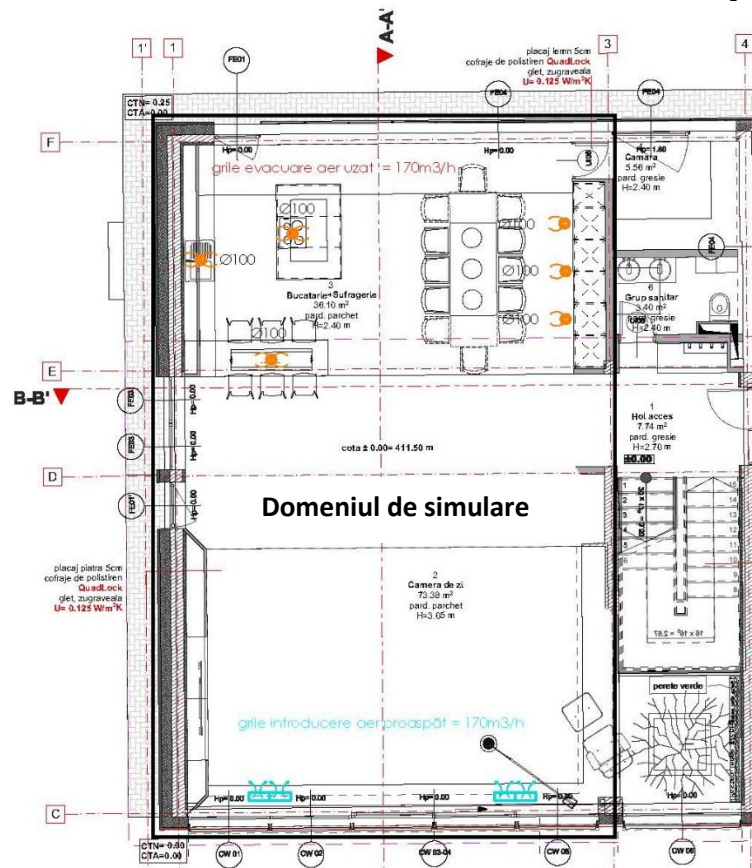


Figura 2.6 Domeniul de simulare

Pelimirul rului simulării numerice s-au determinat proprietăți termofizice ale mediului fluid din domeniul de calcul, considerat aer uscat, cu următorii parametrii:

- temperatura, $T_{20}=293,15\text{K}$,
- densitatea, $\rho_{\text{aer}}=1,205\text{Kg/m}^3$,
- vâscozitatea cinematică, $\nu_{20}=18,12\text{m}^2/\text{s}$,
- vâscozitatea dinamică, $\mu_{20}=15,1\text{Ns/m}^2$,
- presiunea, $p=101325\text{N/m}^2$

3.3 Definirea condițiilor de unicitate

De asemenea au fost stabilite condițiile la limită, astfel:

- NO SLIP - stratul de aer în contact cu suprafața peretelui – aderent la acesta, $v_0=0\text{m/s}$,
- rata de reîmprospătare a aerului, $n_a=0,6\text{ h}^{-1}$,
- gurile de evacuare sunt considerate graniță deschisă,
- debitul volumic la intrare este egal cu debitul volumic la ieșire – ventilație echilibrată, ($Q_i=Q_o$, m^3/h),
- valorile impuse vitezei jetului de aer introdus în încăperea au fost:
 - Cazul 1 – ($v_1 = 0,1\text{m/s}$, $Q_i= 86\text{ m}^3/\text{h}$),

- Cazul 2 - ($v_2 = 0,2\text{m/s}$, $Q_i = 172\text{ m}^3/\text{h}$),
- Cazul 3 - ($v_3 = 0,5\text{m/s}$, $Q_i = 430\text{ m}^3/\text{h}$)

3.4 Definirea modelului de simulare

S-a definit geometria modelului (de studiu) supus simulării pe baza datelor preluate din preluat din amplasament și din planul de arhitectură al casei pasive, rezultand prin construcția în autocad modelele din fig. 2.7.

Amplasarea pe modelul de lucru a grilelor de introducere a aerului proaspăt și evacuare a aerului uzat a fost făcută respectând datele preluate din amplasament, astfel:

- grilele de introducere a aerului proaspăt sunt poziționate în stratul de finisare al pardoselii din living la o distanță de 30cm de față de peretele amplasat pe latura de sud a imobilului,
- grilele de evacuare a aerului uzat sunt poziționate în spațiul destinat bucătăriei deasupra zonelor unde se realizează degajări importante de, CO_2 , COV și umiditate (aragaz/plită electrică, spălător, zona de servire a mesei).

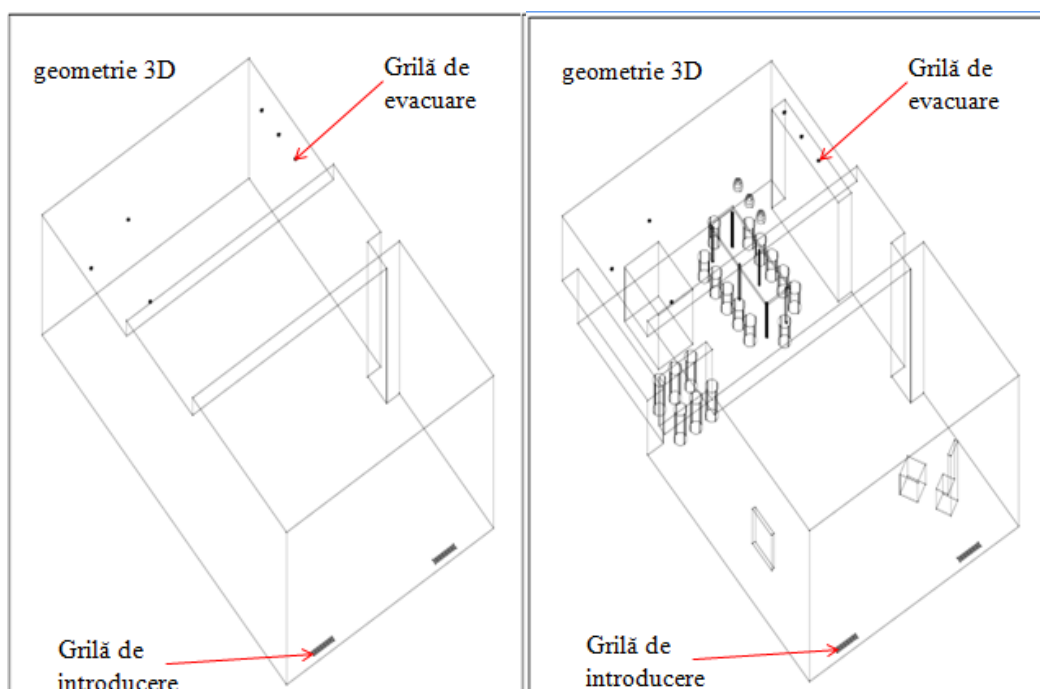


Figura 2.7 Modelul de simulare geometrie 3D, fără și cu obiecte de mobilier

3.5 Generarea rețelei nodale

Modelarea și simularea numerică a curgerii aerului prin domeniul de simulare sa realizat cu ajutorul aplicatiei COMSOL MULTYPHISICS, versiunea 3.5a, fig 2.8.



Figura 2.8 COMSOL MULTYPHISICS, versiunea 3.5a

Aplicatia de simulare și modelare numerică COMSOL MULTYPHISICS este un software specializat (mediu virtual) prin care pot fi simulate o serie de procese și fenomene fizice simple sau interconectate întâlnite în domeniile ingineriei aplicate. Aceasta oferă interfețe de aplicație ușoare de utilizat, algoritmi de rezolvare eficienți și asigură posibilitatea controlării complete a generării rețele nodale asigurând un mediu de dezvoltare și de calcul complet pentru modelarea proceselor fizice cuplate descrise prin ecuații diferențiale, (**, 2018).

Modelul se construiește rapid datorită unui număr mare de interfețe fizice predefinite, de la curgerea fluidelor și transportul de căldură până la mecanică și analiză electromagnetică. Proprietățile materialelor, sursele și condițiile de limită pot fi definite în mod liber ca funcții ale variabilelor.

În cadrul studiului de caz pentru simularea curgerii aerului în interiorul domeniului de simulare pentru realizarea rețelei nodale s-a folosit modulul de turbulență k-ε, care are ca ecuație de mișcare ecuația Navier-Stokes de forma, (**, 2006).

fig. 2.8.

$$\rho \frac{\partial u}{\partial t} - \eta \nabla^2 u + \rho(u * \nabla)u + \nabla_p = F, \nabla * u = 0 \quad (1)$$

unde: η – vâscozitatea dinamică, Ns/m^2 ,

ρ – densitatea, kg/m^3 ,

u – viteza, m/s ,

p – presiunea, N/m^2 ,

F - forța volumică – gravitațională, N/m^3 ,

Preliminar simulării computerizate a curgerii fluidului de lucru au fost stabilite ipotezele de lucru simplificatoare, astfel:

- regim staționar,
- fluid incompresibil Newtonian (viteze, presiuni mici- nu intervine factorul de compresibilitate),
- forțele masice se neglijează (nu există diferențe de presiune determinate de câmpul gravitațional),
- temperatura constantă,
- jet izoterm, (aerul ptoaspăt introdus are aceeași temperatură cu cea a aerului din interior, $t_{i,aer} = t_i$) ,
- sistem adiabatic (nu există transfer de căldură și masă ci doar de impuls),
- fără surse interioare de căldură,

3.6 Discretizarea domeniului de simulare

Pentru discreditarea domeniului de simulare s-a adoptat metoda elementului finit ce se caracterizează prin faptul că un anumit domeniu virtual este subdivizat într-un număr de elemente finite, subdomenii cu dimensiune și formă variabile, care sunt interconectate printr-un număr discret de noduri dispunând de densitate mai mare de elemente a rețelei nodale în apropierea suprafețelor delimitatoare ale domeniului de simulare. Modul de împărțire a domeniului de simulare este neuniform, iar elementele finite ale rețelei nodale sunt sub formă de tetraedru liniar fig. 2.9.

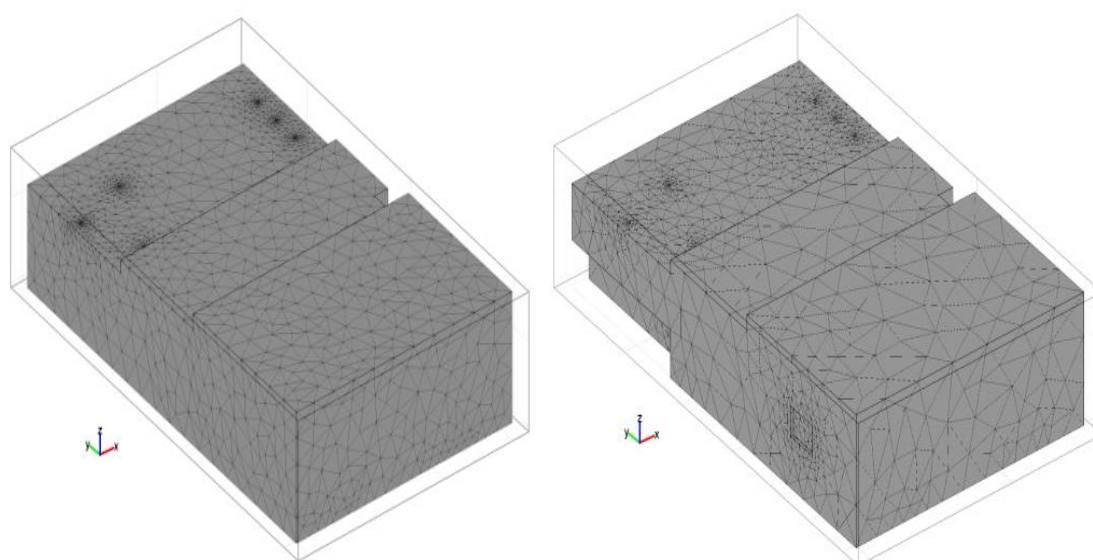


Figura 2.9 Rețeaua nodală a modelului de simulare: fără mobilier și cu mobilier

După discretizarea domeniului de simulare a rezultat un număr finit de elemente, astfel:

- 24089 elemente - cazul fără mobilier
- 34497 elemente - cazul cu mobilier

3.7 Rezultate și discuții

În cadrul simulării computerizate privind comportamentul fluidului de lucru din domeniul de simulare pentru cele două situații analizate cu sau fără prezența mobilierului în condițiile vitezelor jeturilor de aer proaspăt introdus cu valorile impuse de : 0,1m/s, 0,2m/s și 0,5m/s se pot analiza următoarele aspecte:

- **calitativ** materializat prin distribuția: liniilor de curent și a vectorilor de viteze
- **cantitativ** materializat prin distribuția: contururilor de viteze

Pentru evidențierea calitativă a curgerii fluidului de lucru prin intermediul distribuției liniilor de curent, în figura 2.10 sunt prezentate cele trei cazuri în funcție de mărimea vitezei de introducere a aerului proaspăt în varianta lipsei mobilierului.

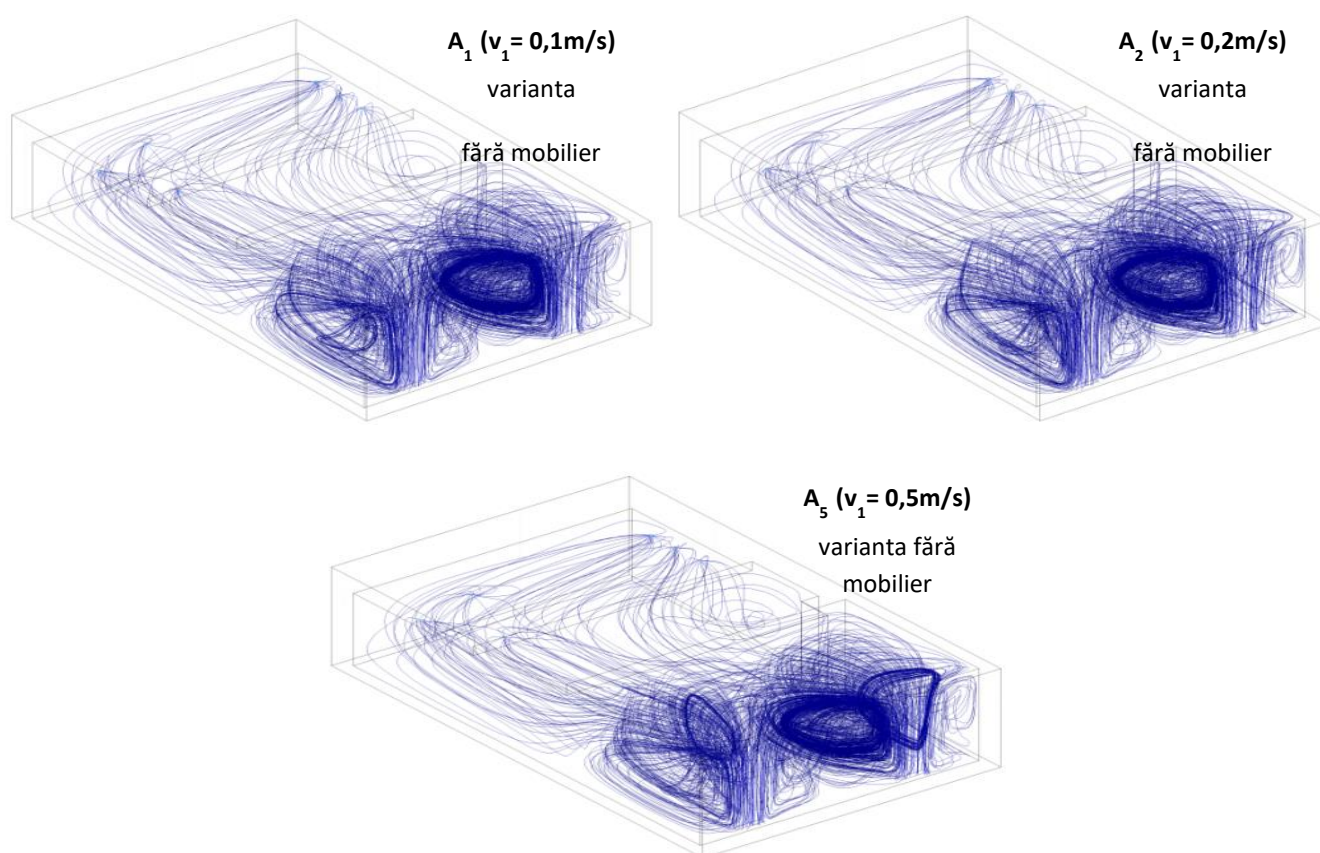


Figura 2.10 Distribuția curenților de aer –linii de curent, varianta fără mobilier

Se poate observa faptul că în momentul introducerii aerului proaspăt în zona adiacentă a grilelor de introducere ia naștere o mișcare turbulentă a aerului care se intensifică odată cu creșterea vitezei de introducere a acestuia.

În varinata prezenței mobilierului propus de proiectant distribuția curentilor de aer materializată prin distribuția liniilor de curent va arăta ca în figura 2.11.

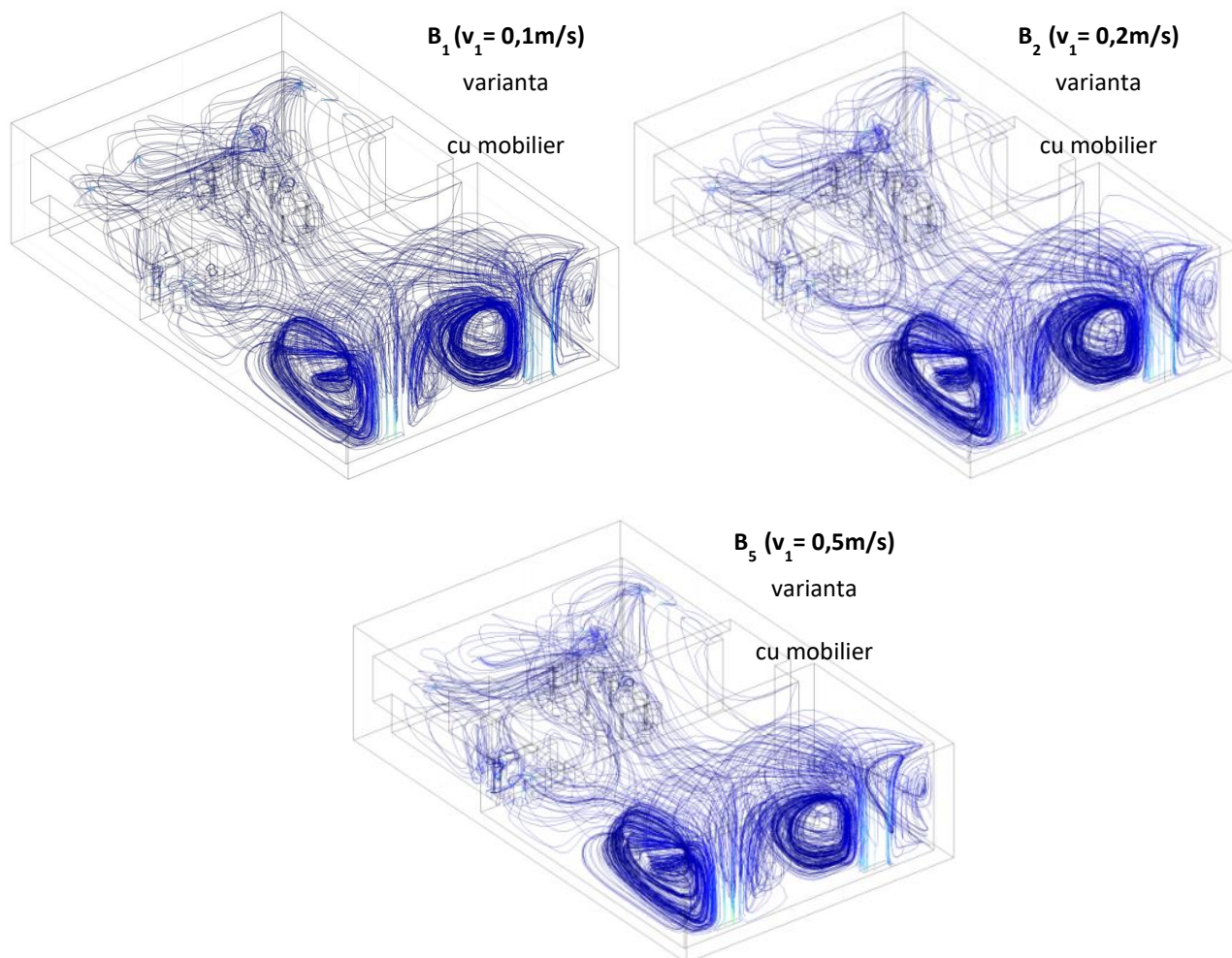
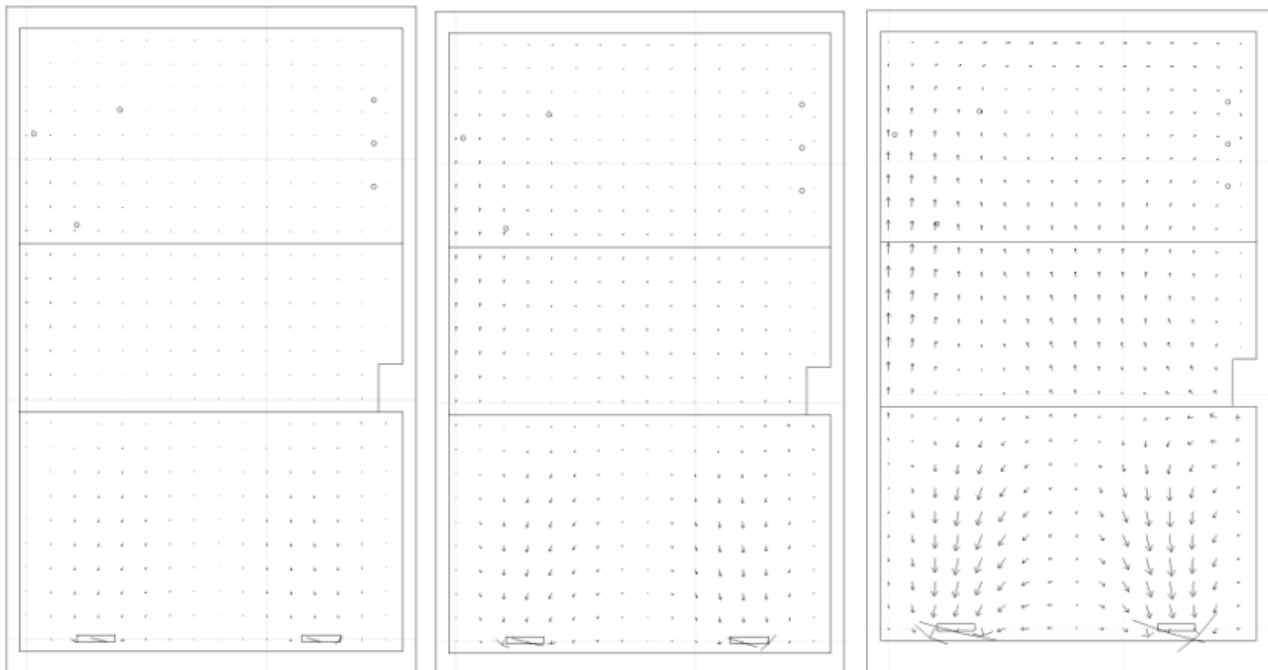


Figura 2.11 Distribuția curenților de aer –linii de curent, varianta cu mobilier

În acest caz se observă că în zona gurilor de introducere configurația turbioanelor curenților de aer este puțin diferită ca intensitate față de cazul anterior, și se poate remarca faptul că în zona bucătăriei are loc o distribuție neuniformă a liniilor de curent datorită prezenței mobilierului din această spațiu.

Cel de al doilea aspect de evaluare calitativă a curgerii fluidului de lucru prin domeniul de simulare este pus în evidență prin distribuția vectorilor de viteze, prezentată pentru cele două variante analizate (cu sau fără mobilier) considerând două secțiuni orizontale caracteristice, situate la 0,8m și 1, 2m față de pardoseală.

În imaginile prezentate în figura 2.12 se observă că în secțiunea orizontală situată la 0,8m față de pardoseală ceea ce coincide cu un plan de lucru specific activităților desfășurate de ocupanți aflați în poziția așezat, odată cu creșterea vitezei de introducere a aerului proaspăt vectorii de viteze devin din ce în ce mai vizibili ocupând întreg spațiul analizat.



A_1 ($v_1 = 0,1\text{m/s}$, $h=0,8\text{m}$)

(fără mobilier)

A_2 ($v_1 = 0,2\text{m/s}$, $h=0,8\text{m}$)

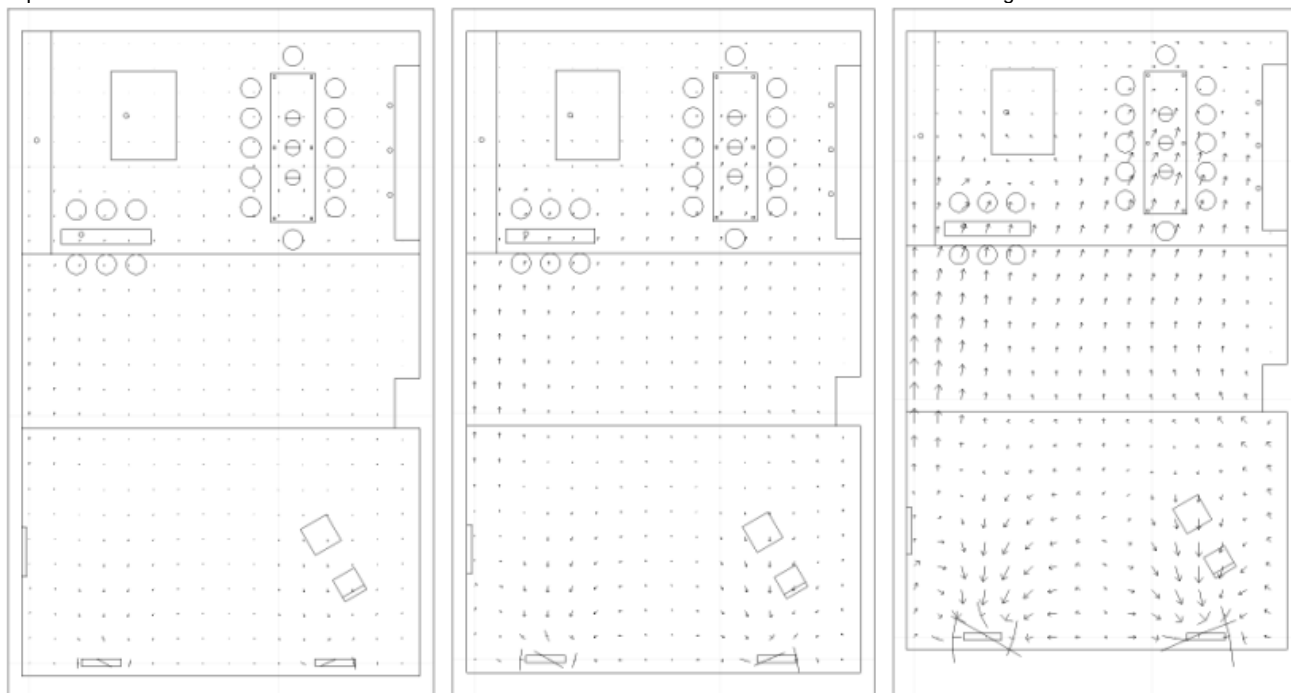
(fără mobilier)

A_5 ($v_1 = 0,5\text{m/s}$, $h=0,8\text{m}$)

(fără mobilier)

Figura 2.12 Distribuția vectorilor de viteză a curenților de aer, varianta fără mobilier

Situația în care, pentru aceeași secțiune caracteristică, se introduce și mobilierul în spațiul analizat este prezentată în fig. 2.13.



B₁ ($v_1 = 0,1\text{m/s}$, $h=0,8\text{m}$)

(cu mobilier)

B₂ ($v_1 = 0,2\text{m/s}$, $h=0,8\text{m}$)

(cu mobilier)

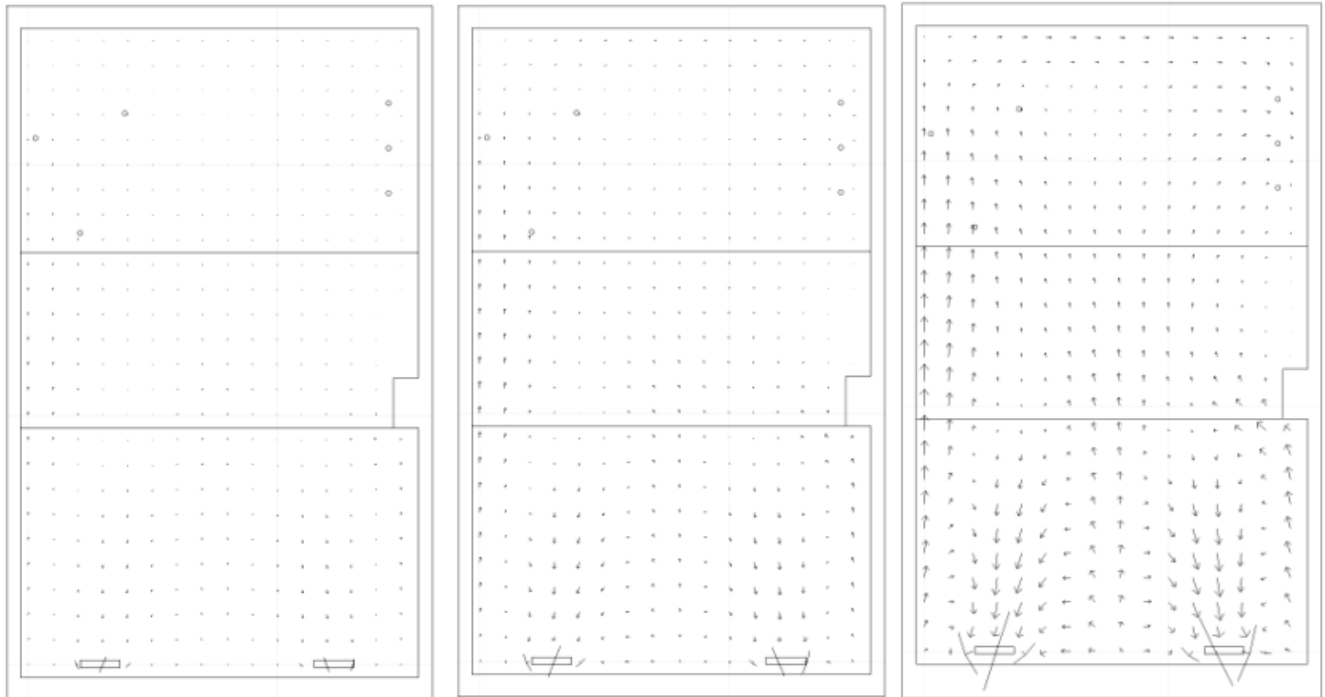
B₅ ($v_1 = 0,5\text{m/s}$, $h=0,8\text{m}$)

(cu mobilier)

Figura 2.13 Distribuția vectorilor de viteză a curenților de aer, varianta cu mobilier

În acest caz, față de cazul precedent prezentat în figura 2.12, se observă apariția unor zone situate în dreptul obiectelor de mobilier din cadrul bucătăriei în care vectorii de viteză își schimbă direcția ca urmare a întâlnirii acestor obstacole.

Dacă considerăm secțiunea orizontală caracteristică situată la 1,2m față de pardoseală, ceea ce coincide cu un plan de lucru specific activităților desfășurate de ocupanți aflați în poziția în picioare, distribuția vectorilor de viteză este prezentată în fig. 2.14.



A_1 ($v_1 = 0,1\text{m/s}$, $h=1,2\text{m}$)

(fără mobilier)

A_1 ($v_1 = 0,2\text{m/s}$, $h=1,2\text{m}$)

(fără mobilier)

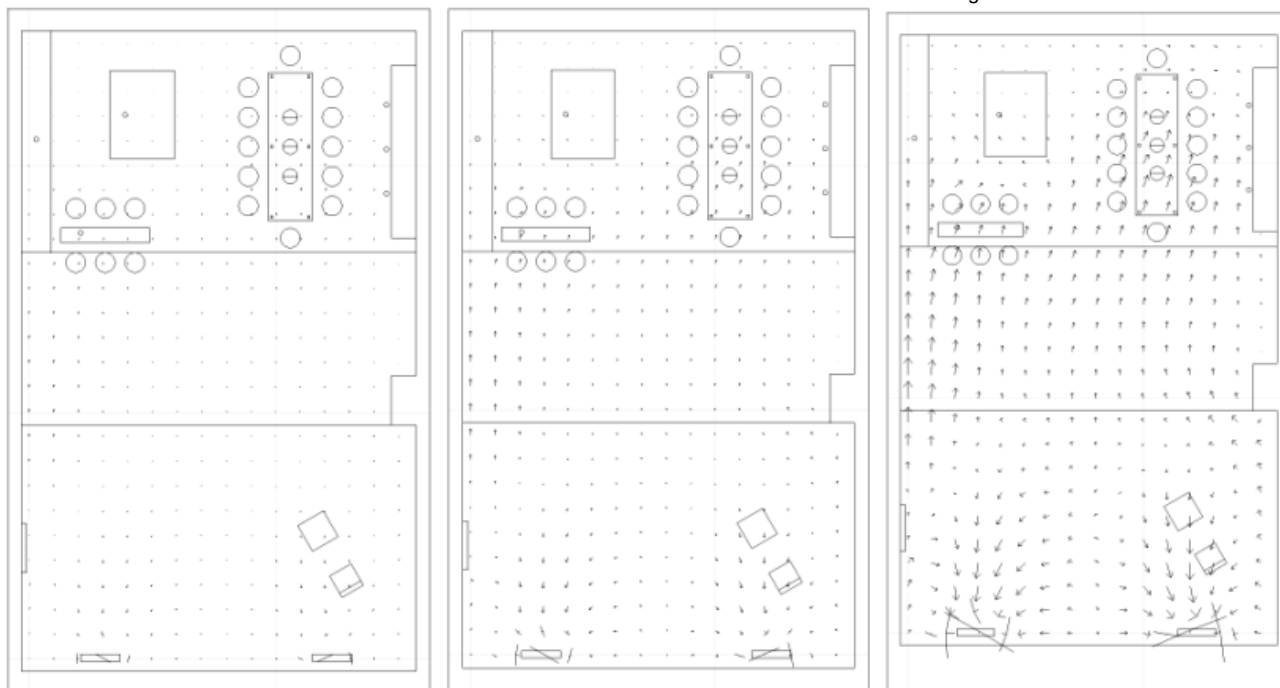
A_5 ($v_1 = 0,5\text{m/s}$, $h=1,2\text{m}$)

(fără mobilier)

Figura 2.14 Distribuția vectorilor de viteză a curenților de aer, varianta fără mobilier

În acest caz se poate observa, comparativ cu elementele caracteristice prezentate în figura 2.12, că pentru acesată secțiune caracteristică nu avem diferențe semnificative, vectorii de viteze menținându-și caracteristicile.

În situația introducerii mobilierului în spațiul analizat, distribuția vectorilor de viteze va arăta ca în fig. 2.15.

**B₁ ($v_1 = 0,1\text{m/s}$, $h=1,2\text{m}$)**

(cu mobilier)

B₂ ($v_1 = 0,2\text{m/s}$, $h=1,2\text{m}$)

(cu mobilier)

B₅ ($v_1 = 0,5\text{m/s}$, $h=1,2\text{m}$)

(cu mobilier)

Figura 2.15 Distribuția vectorilor de viteză a curenților de aer, varianta cu mobilier

Și în acest caz, față de cazul precedent prezentat în figura 2.13, nu se observă diferențe majore, vectorii de viteză își mențin caracteristicile spațiale în zonele situate în dreptul obiectelor de mobilier din cadrul bucătăriei.

Cel de al treilea aspect de evaluare cantitativă a curgerii fluidului de lucru prin domeniul de simulare este pus în evidență prin distribuția conturilor de viteze, analizată pentru cele două variante (cu sau fără mobilier), pentru aceleași viteze de introducere a aerului proaspăt ($v_1=0,1\text{m/s}$, $v_2=0,2\text{m/s}$ și $v_5=0,5\text{m/s}$), considerându-se două planuri axiale de referință corespunzătoare grilelor de introducere a aerului proaspăt și evacuare a aerului viciat.

Distribuția conturilor de viteze în varianta fără mobilier, în condițiile celor trei viteze de introducere a aerului proaspăt, în planul axial corespunzător grilelor de introducere este prezentată în figura 2.16.

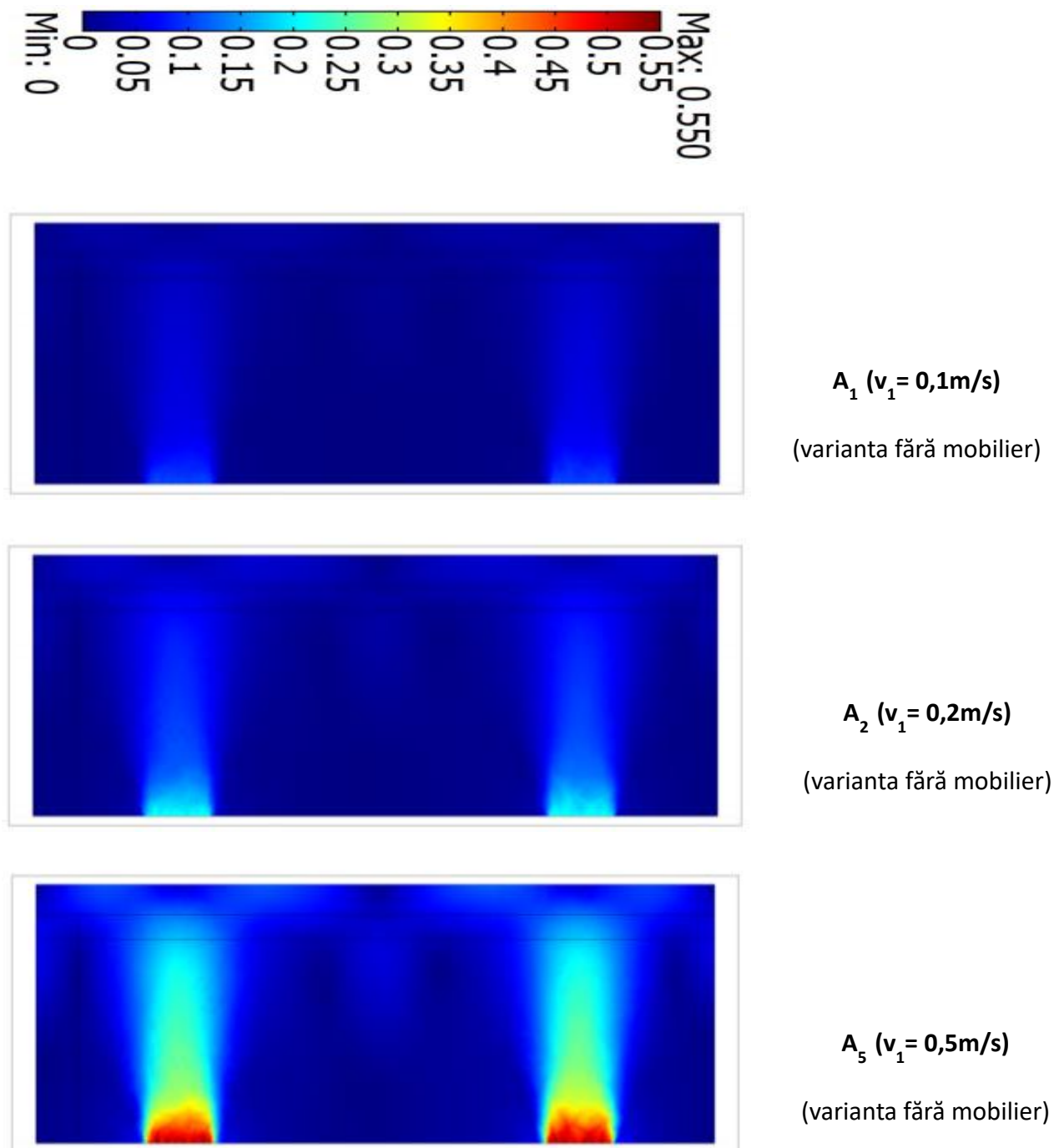
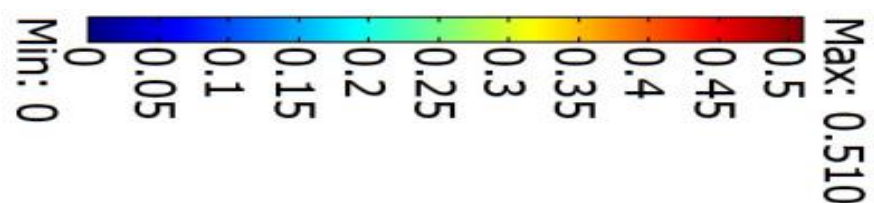


Figura 2.16 Distribuția contururilor de viteză a curenților de aer, grile de introducere, varianta cu mobilier

În imaginile prezentate în figura 2.16 se poate observa faptul că în momentul introducerii aerului proaspăt în planul vertical axial pe grilele de introducere ia naștere o distribuție a contururilor de viteze ale aerului care se intensifică odată cu creșterea vitezei de introducere a acestuia.

În prezența mobilierului din domeniul de simulare, fig. 2.17, se observă că, contururile (câmpurile) de viteze au o “amplitudine” mai scăzută decât în varianta fără mobilier.



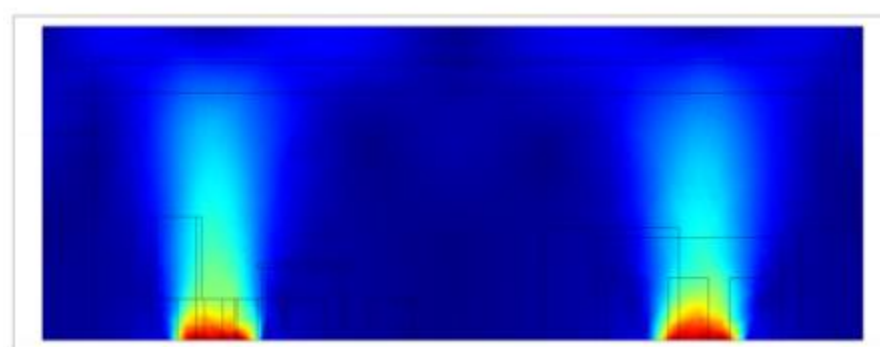
B₁ (v₁ = 0,1m/s)

(varianta cu mobilier)



B₂ (v₁ = 0,2m/s)

(varianta cu mobilier)



B₅ (v₁ = 0,5m/s,

(varianta cu mobilier)

Figura 2.17 Distribuția contururilor de viteză a curenților de aer, grile de introducere, varianta cu mobilier

Distribuția contururilor de viteze în varianta fără mobilier, care ia naștere în condițiile celor trei viteze de introducere a aerului proaspăt, în planul axial corespunzător grilelor de evacuare este prezentată în figura 2.18.

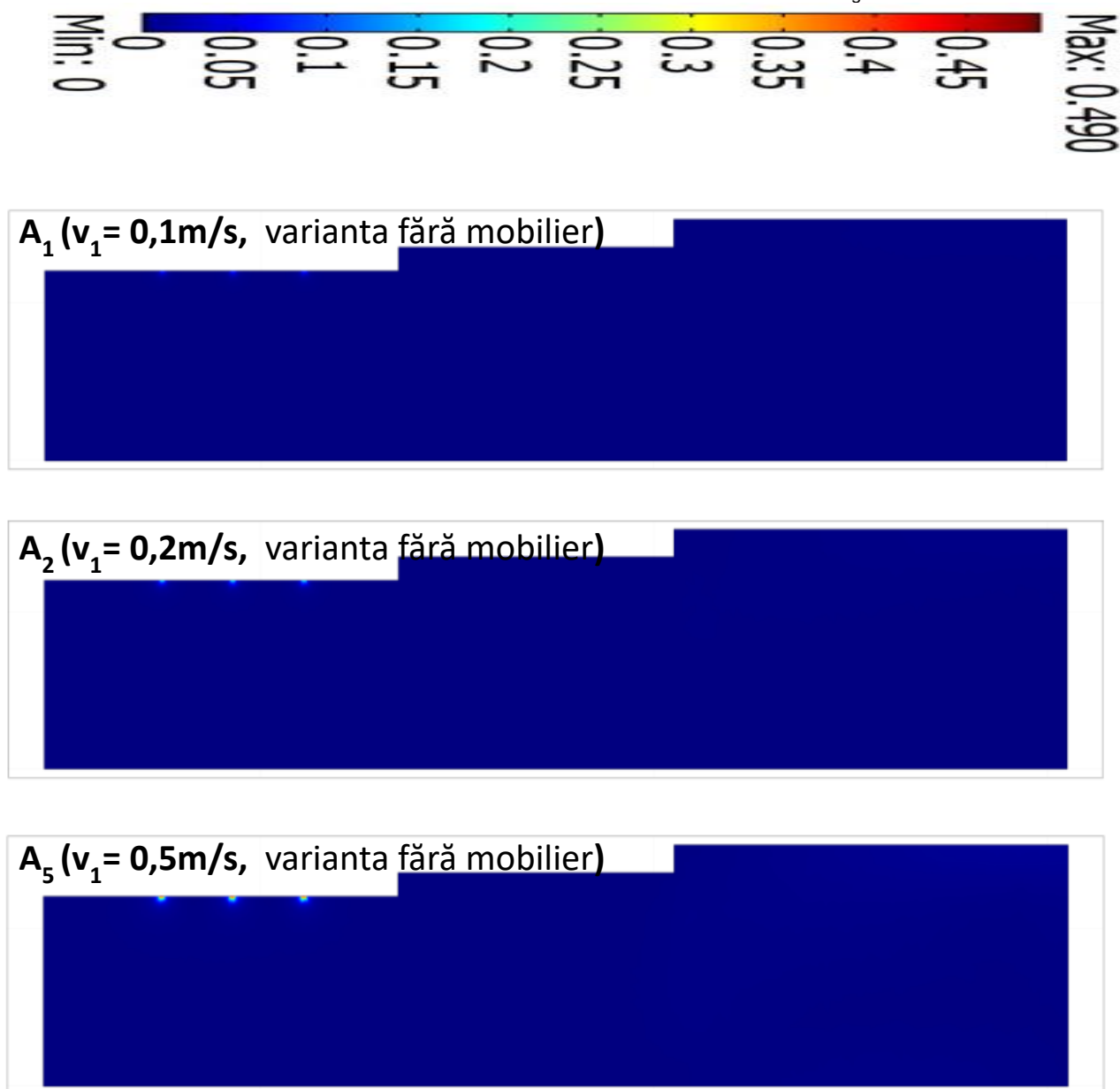


Figura 2.18 Distribuția conturilor de viteză a curenților de aer, grile de evacuare, varianta cu mobilier

În cazul grilelor de evacuare se constată că odată cu creșterea vitezei de introducere a aerului proaspăt se observă o mică variație a conturilor de viteză la grilele de evacuare a aerului uzat.

În prezența mobilierului din domeniul de simulare distribuția conturilor de viteze în zona grilelor de evacuare se prezintă ca în frig. 2.19.

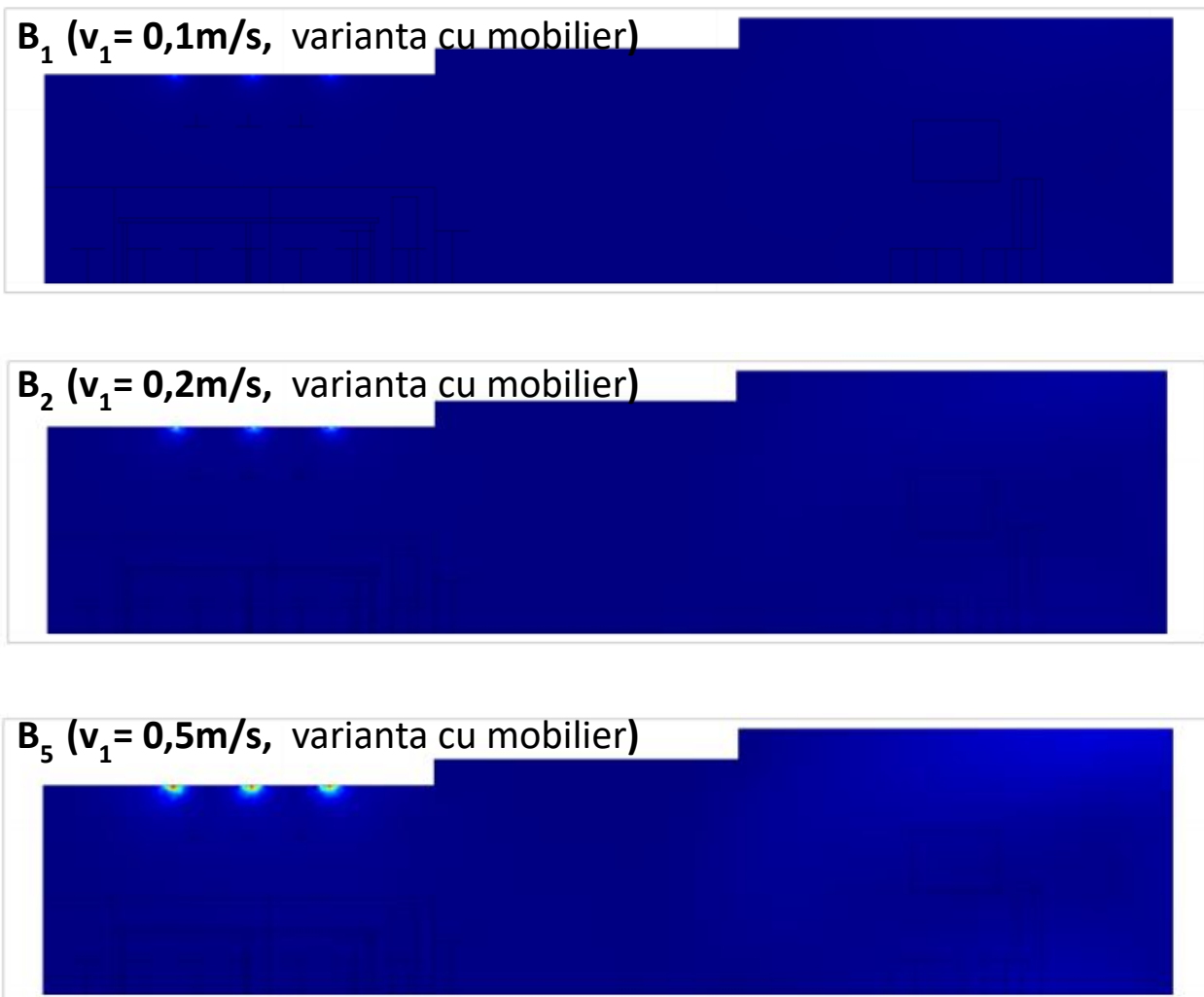
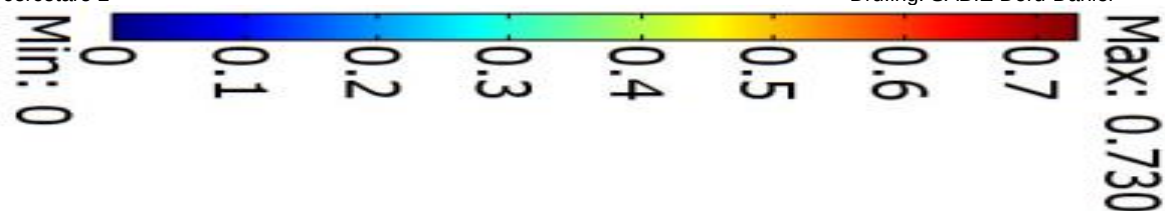


Figura 2.19 Distribuția contururilor de viteză a curenților de aer, grile de evacuare, varianta cu mobilier

În acest caz distribuția contururilor de viteză a curenților de aer devine mai bine conturată, remarcându-se faptul că în secțiunea grilelor de evacuare se pot întâlni vârfuri de valori ale vitezei mai mari decât cele de introducere, fapt ce rezultă datorită prezenței mobilierului în zona grilelor de evacuare.

3.8 Concluzii

În urma studiului de caz privin distribuția curenților de aer în cadrul domeniului de simulare materializată prin evaluarea calitativă prin repartiția: liniilor de curent și a vectorilor de viteze și cantitativă prin repartiția: contururilor de viteze se pot desprinde următoarele concluzii:

- **prezența mobilierului** are o influență nesemnificativa pentru distribuția calitativă a vitezelor,
- în **zona ocupată** viteza curenților de aer se încadrează în limitele prevăzute de standardele privind confortul ocupanților,
- **confortul ocupanților** nu este afectat de valorile mai mari ale vitezei aerului ce se regăsesc în zona de introducere sau de vârfurile de valori ale vitezei prezente în zona grilelor de evacuare.

3.9 Perspective

- Se va studia distribuția curenților de aer luând în considerare următoarele aspecte
 - se va tine cont de fenomenele de transfer de căldură
 - se vor restabili condițiile la limită
 - se vor stabili pierderile de căldură prin anvelopa clădirii
 - se vor stabili sursele interioare de căldură
 - se va lua în considerare schimbătorul recuperatorului de căldură și sursa de încălzire auxiliară

- Feist W., 2000: *Recommendation for inside air humidity in winter, in homes with ventilation systems, particularly passive homes*, PassivHaus Institut, Germany;
- Feist W., Schnieders J., Dorer V., Haas A., 2005: *Re-inventing air heating: Convenient and comfortable within the frame of the Passive House concept*, Energy and Buildings, vol. 37, Elsevier, pp. 1186 - 1203;
- Jensen R., Brunsgard C., 2008: *Necessary Air Change Rate in a Danish Passive House*, Proceedings from the International Passivhaus Conference, 11-12 April, Nuremburg;
- Jomehzadeha F., Nejata P., Calautit J. K., 2017: *A review on windcatcher for passive cooling and natural ventilation in buildings, Part 1: Indoor air quality and thermal comfort assessment*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 70 Elsevier, pp. 736–756;
- Kamendere E., Zogla G., Kamenders A., Ikaunieks J., Rochas C., 2015: *Analysis of mechanical ventilation system with heat recovery in renovated apartment buildings*, International Scientific Conference “Environmental and Climate Technologies – CONECT 2014”, Energy Procedia, vol. 72, pp. 27-33;
- Khan N., Su Y., Riffat S. B., 2008: *A review on wind driven ventilation techniques*, Energy and Buildings, vol. 40, Elsevier, pp. 1586–1604;
- Kim M.K., 2015: *Introduction of decentralized ventilation systems in buildings*, in: Proceedings of the 1st International Conference on Sustainable Buildings and Structures, 29–31 October, Suzhou, China, ISBN978-1-138-02898-2;
- Lu T., Lü X., Viljanen M., 2011: *A novel and dynamic demand-controlled ventilation strategy for CO2 control and energy saving in buildings*, Energy Build., vol. 43, pp. 2499–2508;
- Manz H., Huber H., Schalin A., Weber A., Ferrazzini M., Studer M., 2000: *Performance of single room ventilation units with recuperative or regenerative heat recovery*, Energy Build., vol. 31, pp. 37–47;
- Nassif N., 2012: *A robust CO2-based demand-controlled ventilation control strategy for multi-zone HVAC systems*, Energy Build., vol. 45, pp. 72–81.
- Van Dijken F., Balvers J. R., and Boerstra A. C., 2011: *The quality of mechanical ventilation systems in newly built Dutch dwellings*, Proceedings of the 12th International Conference on Indoor Air Quality and Climate – Indoor Air, Austin;
- Zuckera G., Sporra A., Garrido-Marijuana A., Ferhatbegovica T., Hofmanna R., 2017: *A ventilation system controller based on pressure-drop and CO2 models*, Energy and Buildings, vol. 155, pp. 378–389;
- ***, 2006: *Modeling guide and User's guide*, COMSOL MULTIPHYSICS ver. 3.5;
- ***, 2018: [comsol.com/comsol-multiphysics](https://www.comsol.com/comsol-multiphysics), (accessed on 14 february 2018);

- ***, 2010: *Manualul de instalații, Instalații de ventilare și climatizare*, Ediția II, Editura ARTECNO București S.R.L.;
- ***, 2010: *Normativ pentru proiectarea, executarea și exploatarea instalațiilor de ventilare și climatizare*. Indicativ I 5;
- ***, Passipedia, 2018: *Home ventilation* https://www.passipedia.org/planning_refurbishment_with_passive_house_components/prospects_for_the_modernisation_of_existing_buildings_using_highly_efficient_components/home_ventilation (accessed on 20 february 2018);
- ***, Passipedia, 2018: - *The Passive House Resource*, <http://www.passipedia.org/>, (accessed on 20 february 2018);