

IOSUD – UNIVERSITATEA „DUNĂREA DE JOS” DIN GALAȚI
Școala doctorală de Inginerie Mecanică



TEZĂ DE DOCTORAT REZUMAT

STUDII PRIVIND SISTEMELE NAVALE PENTRU ASIGURAREA VENTILAȚIEI ÎN COMPARTIMENTELE MAȘINI

Doctorand,

Ing. Victor Mihai

Conducător științific,

Prof. Dr. Habil. Ing. Liliana Celia Rusu

Seria I 6: Inginerie mecanică nr. 84

GALAȚI

2025

IOSUD – UNIVERSITATEA „DUNĂREA DE JOS” DIN GALAȚI

Școala doctorală de Inginerie Mecanică



TEZĂ DE DOCTORAT REZUMAT

STUDII PRIVIND SISTEMELE NAVALE PENTRU ASIGURAREA VENTILAȚIEI ÎN COMPARTIMENTELE MAȘINI

Doctorand

Ing. Victor Mihai

Președinte

Prof. univ. dr. ing. MEREUȚĂ ELENA
Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați

Conducător științific

Prof. univ. dr. ing. habil. RUSU LILIANA-CELIA
Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați

Referenți științifici

Prof. univ. dr. ing. BRATU POLIDOR-PAUL
Institutul de Mecanica Solidelor al Academiei Române,

Prof. univ. dr. ing. MAMUT EDEN
Universitatea Ovidius din Constanța

Conf. univ. dr. ing. RĂILEANU ALINA-BEATRICE
Universitatea Internațională Danubius din Galați

GALAȚI

2025

Seriile tezelor de doctorat susținute public în UDJG începând cu 1 octombrie 2013 sunt:

Domeniul fundamental ȘTIINȚE INGINEREȘTI

- Seria I 1: **Biotehnologii**
- Seria I 2: **Calculatoare și tehnologia informației**
- Seria I 3: **Inginerie electrică**
- Seria I 4: **Inginerie industrială**
- Seria I 5: **Ingineria materialelor**
- Seria I 6: **Inginerie mecanică**
- Seria I 7: **Ingineria produselor alimentare**
- Seria I 8: **Ingineria sistemelor**
- Seria I 9: **Inginerie și management în agricultură și dezvoltare rurală**

Domeniul fundamental ȘTIINȚE SOCIALE

- Seria E 1: **Economie**
- Seria E 2: **Management**
- Seria E 3: **Marketing**
- Seria SSEF: **Știința sportului și educației fizice**
- Seria SJ: **Drept**

Domeniul fundamental ȘTIINȚE UMANISTE

- Seria U 1: **Filologie- Engleză**
- Seria U 2: **Filologie- Română**
- Seria U 3: **Istorie**
- Seria U 4: **Filologie - Franceză**

Domeniul fundamental MATEMATICĂ ȘI ȘTIINȚE ALE NATURII

- Seria C: **Chimie**

Domeniul fundamental ȘTIINȚE BIOMEDICALE

- Seria M: **Medicină**
- Seria F: **Farmacie**

CUVÂNT ÎNAINTE

La finalul activității de doctorat doresc să adresez pe această cale sincere mulțumiri tuturor celor care m-au inițiat, îndrumat și sprijinit pe parcursul studiilor doctorale dar și tuturor celor care mi-au deschis drumul și mi-au oferit educația necesară pentru a putea deveni omul capabil să realizeze aceste studii.

În primul rând aș dori să mulțumesc conducătorului meu științific, doamna Prof. Dr. Habil. Ing. Liliana Celia Rusu atât pentru îndrumarea permanentă și pentru sfaturile potrivite atunci când era cea mai mare nevoie cât și pentru încrederea acordată și pentru capacitatea extraordinară de a mă motiva și încuraja încontinuu. Doamna profesor a reprezentat și reprezintă pentru mine un model de excelență pentru abilitățile sale profesionale și didactice. Vă mulțumesc pentru tot sprijinul acordat.

De asemenea doresc să mulțumesc tuturor membrilor comisiei de îndrumare pentru efortul și timpul alocat pe parcursul realizării lucrării de doctorat prin comentariile și sugestiile oferite. Mulțumesc domnului Prof. univ. Dr. Ing. Leonard Domnișoru pentru sfaturile constructive, orientarea științifică și suportul constant și neîntrerupt încă dinainte de începerea studiilor doctorale, domnului Conf. Dr. Ing. Gabriel Popescu pentru tot suportul oferit și în special pentru suportul acordat pentru realizarea testelor în Laboratorul de Aerodinamică, domnului Conf. Dr. Ing. Ciortan Sorin pentru recomandările oferite pe parcursul realizării studiilor.

Țin să mulțumesc domnului Lector Universitar Ing. Adrian Presură care mi-a fost aproape și m-a încurajat să pornesc pe acest drum, dar și pentru că mi-a fost tot timpul alături cu încurajări, sfaturi și sugestii.

În același timp aș vrea să mulțumesc domnului Ing. Vasile Giuglea și domnului Conf. Univ. Dr. Ing. Ovidiu Ionaș care au fost un model pentru activitatea de proiectare și inovare în domeniul arhitecturii navale, dar și pentru că mi-au dat oportunitatea ca în cei aproape 15 ani de colaborare să lucrez pentru diverse proiecte inovatoare din care am învățat foarte multe.

Cu toată dragostea și recunoștința doresc să le mulțumesc părinților pentru educația oferită și pentru tot suportul acordat în decursul anilor. Mulțumesc soției pentru înțelegere și susținere, copiilor care mi-au fost alături și mi-au oferit o motivație în plus să definitivez aceste studii.

Mulțumesc tuturor celor care m-au sprijinit și pe care i-am omis fără intenție.

Ing. Victor MIHAI

Galați,
18.05.2025

CUPRINS

CUVÂNT ÎNAINTE	V
CUPRINS.....	VI
INTRODUCERE	1 -
1 CAPITOLUL 1: REGULI ȘI RECOMANDĂRI ALE ADMINISTRAȚIEI, ALE IMO ȘI ALE SOCIETĂȚILOR DE CLASIFICARE	4 -
1.1 Cerințe privind asigurarea funcționării echipamentelor.....	4 -
1.2 Cerințe privind amenajarea sistemului de ventilație	4 -
1.3 Cerințe specifice pentru anumite tipuri de compartimente ale navei.....	6 -
1.4 Cerințe generale suplimentare în funcție de tipul navei.....	7 -
2 CAPITOLUL 2 ASPECTE PRIVIND PROIECTAREA SISTEMELOR NAVELE DE VENTILAȚIE.....	7 -
2.1 Standarde internaționale.....	7 -
2.2 Cerințe și recomandări ale producătorilor echipamentelor principale	8 -
2.3 Alte aspecte privind proiectarea sistemelor de ventilație	10 -
2.4 Efectele ventilației necorespunzătoare în compartimentele mașini	11 -
2.5 Asigurarea aerului proaspăt în compartimentele cu personal permanent.....	11 -
3 CAPITOLUL 3: MODELUL EXPERIMENTAL ȘI ANALIZA SISTEMELOR DE MĂSURĂ - 12 -	
3.1 Tunelul de vânt și modelul experimental.....	12 -
3.1.1 Tunelul de vânt	12 -
3.1.2 Modelul experimental pentru tunelul de vânt	12 -
3.2 Analiza sistemelor de măsură și a parametrilor specifici	13 -
3.2.1 Dispozitive de măsură specifice sistemelor de ventilație	13 -
3.2.1.1 Măsurarea vitezei aerului și a debitului volumic	13 -
3.2.1.2 Măsurarea presiunilor și a diferențelor de presiune	13 -
3.2.1.3 Măsurarea temperaturii și a umidității relative	13 -
3.2.1.4 Măsurarea calității aerului și a nivelului de confort	13 -
3.2.2 Dispozitive de măsură utilizate la măsurătorile experimentale	13 -
3.2.3 Verificarea diferențelor dintre valorile măsurate cu diverse sisteme de măsurare - 13 -	
3.3 Măsurători experimentale ale parametrilor specifici sistemelor de ventilație navale - 14 -	
3.3.1 Analiza curgerii și a pierderilor de sarcină într-un cheson de ventilație cu elemente structurale la interior.....	14 -
3.3.1.1 Curgerea aerului în chesonul de ventilație cu grindă de 388mm.....	14 -
3.3.1.2 Curgerea aerului în chesonul de ventilație cu grinda de 288 mm.....	15 -
3.3.2 Analiza curgerii în compartimentul mașini la un remorcher maritim – Test 1 ...- 16 -	
3.3.2.1 Calculul debitului de aer necesar pentru răcire și combustie	16 -
3.3.2.2 Analiza sistemului de ventilație existent	17 -
3.3.2.3 Verificări și măsurători la bordul navei.....	18 -
3.3.2.4 Concluzii.....	19 -
3.3.3 Analiza curgerii în compartimentul mașini la Remorcherul fluvial – Test 2- 19 -	
3.3.3.1 Calculul debitului de aer necesar în compartimentul mașini	19 -
3.3.3.2 Analiza sistemului de ventilație existent	19 -
3.3.3.3 Verificări și măsurători la bordul navei.....	20 -
3.3.3.4 Concluzii pentru sistemul de ventilație al compartimentului mașini:	22 -

3.3.4	Concluzii privind măsurătorile experimentale	23 -
4	CAPITOLUL 4: OPTIMIZAREA RĂCIRII ȘI REDUCEREA RISCULUI DE RĂSPÂNDIRE A AGENȚILOR PATOGENI PRIN SISTEMELE NAVALE DE VENTILAȚIE ..	23 -
4.1	Ipoteze de lucru și obiective generale	23 -
4.2	Măsuri pentru evitarea răspândirii bolilor prin sistemele navale de ventilație-	23 -
4.2.1	Introducere	23 -
4.2.2	Pandemia COVID și implicarea diverselor instituții internaționale privind managementul răspândirii bolilor la bordul navelor	24 -
4.2.3	Răspândirea virusurilor la bordul navei	24 -
4.2.4	Măsuri privind reducerea riscului de transmitere a bolilor prin sistemul HVAC -	24 -
4.2.4.1	Sisteme HVAC comune cu recircularea aerului	24 -
4.2.4.1.1	Sisteme de filtrare mecanică cu filtre HEPA	25 -
4.2.4.1.2	Sisteme de dezinfecție cu filtre UV.....	25 -
4.2.4.2	Sisteme HVAC comune cu 100% aer proaspăt și sisteme locale de aer condiționat -	26 -
4.2.4.3	Sisteme UV-C locale de dezinfecție a încăperilor	26 -
4.2.5	Concluzii.....	27 -
4.3	Utilizarea răcirii adiabatică directe pentru optimizarea răcirii în sistemele de ventilație -	27 -
4.3.1	Introducere	27 -
4.3.2	Materiale și metode.....	27 -
4.3.2.1	Calculul sistemului de ventilație pentru nava de referință.....	27 -
4.3.2.2	Caracteristicile sistemului de ventilație existent la nava de referință.....	28 -
4.3.2.3	Calculul debitului de aer pentru combustie și puterea de răcire necesară.....	29 -
4.3.2.4	Principalele aspecte și constrângeri ale sistemelor de ventilație legate de umiditatea relativă și temperatură	29 -
4.3.2.5	Răcirea adiabatică – Prezentare generală	30 -
4.3.2.6	Principalele constrângeri pentru răcirea adiabatică directă	30 -
4.3.2.7	Calitatea și duritatea apei potabile la furnizorii locali	31 -
4.3.2.8	Condițiile de mediu din zona Dunării.....	31 -
4.3.3	Rezultate și discuții	31 -
4.3.4	Concluzii	35 -
5	CAPITOLUL 5: OPTIMIZAREA CURGERII ÎN SISTEMELE NAVALE DE VENTILAȚIE -	36 -
5.1	Ipoteze de lucru și obiective generale	36 -
5.1.1	Modalități de optimizare a sistemelor navale de ventilație	36 -
5.1.2	Instrumente de analiză CFD	36 -
5.1.3	Cercetări actuale și rezultate privind optimizarea sistemelor navele de ventilație -	36 -
5.1.4	Concluzii	37 -
5.2	Validarea modelului CFD pentru simulări numerice	37 -
5.2.1	Modele utilizate în alte analize CFD pentru sisteme de ventilație	37 -
5.2.2	Măsurători experimentale și modelul CFD	37 -
5.2.3	Validarea rezultatelor CFD cu măsurătorile experimentale.....	38 -
5.3	Optimizare curgerii în sistemele navale de ventilație.....	38 -
5.3.1	Introducere	38 -
5.3.2	Influența grinzii transversale asupra fluxului de aer și a căderii de presiune ...-	38 -

5.3.3	Măsuri de îmbunătățire a curgerii pentru grinda transversală de 288mm fără decupare	- 39 -
5.3.4	Măsuri de îmbunătățire a curgerii pentru grinda transversală de 388mm cu decupare	- 41 -
5.3.5	Îmbunătățirea curgerii prin grilele de ventilație	- 43 -
5.3.6	Concluzii privind optimizarea curgerii	- 48 -
6	CAPITOLUL 6: CONCLUZII ȘI CONTRIBUȚII PERSONALE	- 49 -
6.1	Concluzii generale	- 49 -
6.2	Contribuții proprii	- 50 -
6.3	Perspective privind studii viitoare	- 51 -
6.4	Diseminarea rezultatelor	- 52 -
7	BIBLIOGRAFIE	- 53 -

INTRODUCERE

Sistemul de ventilație pentru compartimentele mașini are o importanță deosebită pentru operarea navei întrucât acesta este vital pentru buna funcționare a echipamentelor și sistemelor precum și pentru menținerea duratei de viață a acestora.

Sistemele de ventilație pentru compartimentele mașini trebuie să asigure:

- Aerul necesar pentru combustia motoarelor cu ardere internă și a boilerelor cu arzător pe combustibil.
- Preluarea căldurii radiate de echipamente în interiorul compartimentului și transferul în exterior, pentru păstrarea temperaturilor cerute.
- Păstrarea condițiilor de mediu adecvate pentru membrii echipajului care au activități în aceste compartimente.

Este de remarcat faptul că standardele internaționale (SR ISO 8861, 2002) asigură suficiente informații pentru determinarea debitului de aer necesar pentru ventilația compartimentelor mașini, dar nu și informații privind distribuția aerului în compartiment astfel încât să se obțină o ventilație corespunzătoare a compartimentului. Conform cerințelor IACS (International Association of Classification Societies) pentru navele cu navigație nelimitată, temperatura aerului în compartimentele mașini trebuie să fie menținută la maximum 45°C (IACS, 1986). Pentru navele care nu sunt destinate navigației nerestricționate, Societatea de Clasificare care supraveghează și certifică nava poate să aprobe o temperatură mai mare în compartimentul mașini, dar această temperatură nu poate fi mărită peste limitările impuse de producătorii echipamentelor.

Conform IACS temperatura minimă acceptată este de 0°C, dar în general temperatura din interiorul sălii motoarelor este menținută cu câteva grade peste temperatura de îngheț (de exemplu, peste 5°C) prin utilizarea ventilatoarelor cu debite variabile și a unor sisteme de preîncălzire a aerului.

În general, pentru sistemele de ventilație ale compartimentelor mașini se folosesc ventilatoare axiale care sunt compacte și pot asigura debite de aer foarte mari. Dezavantajul ventilatoarelor axiale este acela că au presiuni relativ mici și debitul are variații mari la diferențe relativ mici ale presiunii.

Urmare a dezvoltării tehnologice din ultimii ani echipamentele principale care disipă căldură în compartimentele mașini au fost realizate cu dimensiuni mai mici și puteri mai mari, crescând astfel puterea instalată pe nave și în consecință cantitatea de energie transformată în căldură ce trebuie evacuată de sistemul de ventilație.

În același timp, dat fiind dezvoltarea sistemelor integrate de proiectare 3D a navelor, spațiile rezervate pentru compartimentele mașini au devenit din ce în ce mai mici conform noilor dimensiuni ale echipamentelor și a amenajărilor mult mai compacte asigurate de utilizarea modelelor 3D. În aceste condiții, în multe cazuri utilizarea chesoanelor de ventilație eficiente în interiorul compartimentelor a devenit aproape imposibilă, dimensiunea chesoanelor necesare fiind mai mare decât spațiul disponibil. Prin urmare, la etapa proiectului de execuție, proiectanții sunt nevoiți să facă diverse compromisuri precum realizarea unor chesoane structurale cu osatură la interior, micșorarea secțiunii chesoanelor de distribuție sau renunțarea la chesoanele de distribuție. În acest caz este necesară o analiză foarte atentă privind curgerea aerului în sistemul de ventilație, cât și în compartiment pentru a evita mixarea aerului rece cu aerul cald care trebuie evacuat.

Toate aceste compromisuri duc în final la obținerea unui sistem de ventilație inefficient prin creșterea pierderilor de sarcină în chesoanele de ventilație și implicit reducerea debitului de aer. În cazul anulării chesoanelor de distribuție, curgerea în interiorul compartimentului nu este întotdeauna eficientă și prin urmare temperatura crește foarte mult în anumite zone ale compartimentului.

Astfel, la unele nave sistemul de ventilație asigură debitul de aer necesar pentru combustie și răcire, dar nu și răcirea corespunzătoare a compartimentului, ceea ce are consecințe negative importante asupra funcționării navei precum:

- Creșterea temperaturii aerului de combustie peste limitele indicate în specificația producătorului, ceea ce duce la scăderea puterii și eficienței motoarelor cu ardere internă, creșterea consumului de combustibil și creșterea poluării.
- Deteriorarea în timp a unor echipamente și sisteme electrice din cauza temperaturii ridicate sau supraîncălzirii
- Disconfort termic ridicat pentru echipaj, ceea ce duce la creșterea numărului de erori și greșeli ale membrilor echipajului care au activități în aceste compartimente.
- Nava va avea capacități limitate în condiții de mediu cu temperaturi extreme întrucât temperaturile ridicate în compartimentul mașini generează alarme, iar pentru reducerea temperaturii este necesară reducerea puterii motoarelor.

Cercetarea realizată în cadrul studiilor doctorale urmărește identificarea soluțiilor de proiectare a unor sisteme de ventilație eficiente pentru compartimentele mașini prin posibilitatea definirii unor chesoane de distribuție cu pierderi de sarcină mici și realizarea unei distribuții eficiente a aerului. Pentru compartimentele la care spațiile disponibile nu permit instalarea chesoanelor de distribuție este necesară o analiză detaliată a amenajării echipamentelor în concordanță cu amenajarea grilelor de introducere și de evacuare a aerului, astfel încât să se obțină o circulație eficientă a aerului în compartiment.

Pentru o bună amenajare și optimizare a sistemului de ventilație trebuie avute în vedere următoarele:

- grilele de ventilație exterioare, trebuie să fie amplasate la minimum 2,3 m sau 4,5m deasupra punții deschise, în funcție de poziția lor pe navă. În cazuri speciale sau pentru nave mici la care nu se poate respecta această cerință, Societatea de Clasificare poate oferi anumite derogări și grilele pot fi amplasate la înălțimi mai mici, dar trebuie să fie prevăzute cu capac etanș la intemperii ("weathertight").
- grilele exterioare de introducere a aerului proaspăt trebuie instalate cât mai departe de grilele de evacuare a aerului cald sau a altor grile de evacuare a gazelor toxice sau inflamabile, pentru a evita recircularea.
- aerul proaspăt trebuie introdus în compartimentul mașini cât mai jos posibil, prin urmare chesonul principal de introducere trebuie amplasat astfel încât această amenajare să fie posibilă.
- grilele de evacuare a aerului cald să fie instalate cât mai sus. De obicei evacuarea aerului cald se face prin coșul de fum și grilele exterioare de evacuare sunt instalate pe pereții acestuia.
- distribuția aerului în interiorul sălii motoarelor trebuie aranjată astfel încât aerul proaspăt să circule la nivelul paiolului, printre motoare și alte echipamente mari care radiază căldură.
- chesoanele de distribuție trebuie proiectate astfel încât pierderea de sarcină să fie cât mai mică, eventualele elemente structurale, dacă sunt necesare, trebuie să fie amplasate pe sensul de curgere a aerului.
- grilele exterioare de introducere a aerului de tip "misteliminator" trebuie să fie dimensionate astfel încât viteza aerului să fie maximum 4.5...6 m/s, pentru a menține pierderea de sarcină în limite acceptabile și pentru a păstra o eficiență bună a separatorului de apă. De asemenea, este important să se asigure o curgere uniformă pe toată suprafața grilei de ventilație.
- ventilatoarele trebuie să fie amplasate la distanță față de grilele de ventilație pentru a evita fluxuri de aer concentrate pe anumite zone ale grilelor de ventilație.

În cazul în care sistemul de ventilație nu poate fi realizat conform recomandărilor producătorului motoarelor, în funcție de amenajarea sistemului de ventilație producătorul solicită creșterea debitului de aer până la 250% (Caterpillar, 2015) din debitul calculat conform standardului ISO, lucru imposibil de realizat în practică. Pentru respectarea cerințelor

producătorului privind răcirea compartimentului mașini fără creșterea debitului de aer, trebuie îmbunătățită curgerea și eficiența sistemului de ventilației.

Suplimentar celor prezentate mai sus, în funcție de condițiile de mediu, pot fi utilizate și alte măsuri de optimizare cum ar fi sistemele de răcire bazate pe principiul răcirii adiabactice directe.

Teza de doctorat intitulată: “Studii privind sistemele navale pentru asigurarea ventilației în compartimentele mașini” este structurată în 6 capitole după cum urmează:

Capitolul 1 prezintă principalele reguli și recomandări ale Societăților de Clasificare, ale Administrației și ale IMO (International Maritime Organization).

De asemenea, sunt prezentate cerințele principale privind amenajarea sistemului de ventilație pentru asigurarea funcționării neîntrerupte în orice condiții de vreme, evitarea inundării progresive prin sistemul de ventilație în cazul unei avarii, păstrarea clasei de foc a pereților și punților penetrate de sistemele de ventilație, evitarea acumulării gazelor toxice și inflamabile, asigurarea capacității de extracție a fumului precum și cerințele privind temperaturile minime și maxime care trebuie asigurate în aceste compartimente. Sunt prezentate și cerințele speciale pentru diverse compartimente ale navei, precum compartimentele cu potențial exploziv (amoniac și metanol), compartimentul separatoarelor de combustibil, camerele de control, compartimentul generatorului de avarie, magazinele pentru produse chimice, vopseluri sau alte substanțe inflamabile, magazinele pentru depozitarea buteliilor de oxigen și acetilenă, magazinele pentru buteliile de CO₂, compartimentele pentru baterii, compartimentele compresoarelor de frig, bucătării etc. În încheierea acestui capitol sunt prezentate cerințele suplimentare pentru diferite tipuri de nave precum nave de transport animale vii, nave de transport produse petroliere, gaz lichefiat și nave de pasageri.

Capitolul 2 prezintă aspectele principale privind proiectarea sistemelor navale de ventilație începând cu standardele internaționale și limitările acestora, cerințele și recomandările producătorilor de echipamente, precum și cerințele și constrângerile privind alegerea echipamentelor de ventilație. În acest capitol sunt prezentate efectele ventilației necorespunzătoare în compartimentele mașini, dar și cerințele și provocările privind proiectarea sistemelor de ventilație pentru compartimentul mașini. În partea finală a acestui capitol sunt prezentate principalele aspecte privind asigurarea aerului proaspăt în compartimentele cu personal permanent.

Capitolul 3 prezintă modelul experimental, analiza sistemelor de măsură și rezultatele măsurărilor experimentale realizate în tunelul de vânt din dotarea laboratorului de aerodinamică al Facultății de Arhitectură Navală din Galați. De asemenea, sunt prezentate rezultatele și concluziile măsurărilor realizate la bordul unor nave aflate în exploatare.

Capitolul 4 prezintă problematica răspândirii agenților patogeni prin sistemele de ventilație în contextul pandemiei COVID-19 și măsurile necesare pentru reducerea riscului de transmitere a bolilor prin sistemul de ventilație de la bordul navelor.

În continuare este analizată posibilitatea utilizării răcirii adiabactice directe pentru optimizarea sistemelor de ventilație. Pentru verificarea eficienței și impactului asupra navei, soluția este analizată pentru o navă fluvială aflată în exploatare pe Dunăre. În acest studiu sunt analizate principalele constrângeri privind răcirea adiabatică directă în compartimentele mașini, plecând de la calitatea și duritatea apei potabile de la bordul navei, condițiile de mediu și umiditatea relativă.

Capitolul 5 prezintă o sinteză privind optimizarea sistemelor de ventilație utilizând analize CFD. În prima parte modelul CFD este validat cu măsurătorile experimentale, apoi cu ajutorul diferitelor modele CFD sunt analizate posibilitățile de optimizare a curgerii prin chesoanele de ventilație structurale cu elemente de osatură transversală la interior. De asemenea, cu ajutorul modelelor CFD sunt analizate constrângerile privind amplasarea ventilatoarelor în raport cu grilele de ventilație și posibilitățile de optimizare pentru a obține o curgere cât mai uniformă pe toată suprafața grilelor de ventilație. Scopul principal este acela de a reduce pierderile de sarcină și nivelul de zgomot, dar și pentru creșterea eficienței grilelor de introducere cu separatoare de apă.

Capitolul 6 al tezei prezintă concluziile generale ale cercetărilor realizate, contribuțiile proprii privind asigurarea unei ventilații corespunzătoare în compartimentele mașini și

optimizarea sistemelor de ventilație pentru aceste compartimente, perspective privind studiile viitoare dar și lucrările științifice în care au fost diseminate cercetările prezentate în cadrul tezei.

Soluțiile optime de proiectare au fost analizate și confirmate prin analize CFD pentru diferite cazuri tipice de amenajare. Concluziile vor putea fi utilizate în proiectarea navelor.

Cercetările viitoare ar trebui să analizeze soluțiile de distribuție a aerului fără chesoane de ventilație în interiorul compartimentelor mașini, soluții care să utilizeze energia cinetică a aerului la ieșirea din grilele de introducere precum și curgerea naturală a aerului ca urmare a convecției naturale în zonele cu echipamente care radiază căldură.

Amenajarea echipamentelor care degajă căldură și a sistemului de ventilație trebuie realizate astfel încât cele două componente energetice care realizează mișcarea aerului în compartiment să fie utilizate la capacitatea maximă. Astfel, se va urmări obținerea unei eficiențe crescute a sistemului de ventilație prin reducerea consumului energetic la ventilatoare și prin optimizarea curgerii aerului în compartiment.

CAPITOLUL 1: REGULI ȘI RECOMANDĂRI ALE ADMINISTRAȚIEI, ALE IMO ȘI ALE SOCIETĂȚILOR DE CLASIFICARE

Regulile IMO și ale Societăților de Clasificare oferă în general informații privind cerințele și recomandările legate de asigurarea funcționării echipamentelor, siguranța navei și a echipajului.

1.1 Cerințe privind asigurarea funcționării echipamentelor

Pentru funcționarea echipamentelor în condiții optime trebuie să fie respectate mai multe cerințe, care sunt prezentate în continuare.

Asigurarea necesarului de aer pentru combustie și răcire

Conform regulilor Societăților de Clasificare (Bureau Veritas, 2022a) (RINA, 2022) „compartimentele mașini din categoria A trebuie să fie ventilate corespunzător, astfel încât să se asigure o alimentare adecvată cu aer pentru siguranța și confortul personalului și pentru funcționarea optimă a echipamentelor, atunci când motoarele sau boilerelor cu arzător funcționează la putere maximă, în toate condițiile de mediu.”

Asigurarea redundanței sistemului de ventilație

Navele maritime care sunt proiectate să-și păstreze dinamic poziția (dynamic positioning) în cazul unei avarii (IMO-MSC.1/Circular.1580, 2017; IMO-MSC/Circular.645, 1994)(DNV AS, 2024a) (RINA, 2025a), trebuie prevăzute cu sisteme de ventilație redundante.

Asigurarea manevrabilității de siguranță a navelor fluviale prevăzute cu sisteme fixe de stingere a incendiilor

Navele fluviale care sunt prevăzute cu sisteme fixe cu gaz de stingere a incendiilor pentru compartimentalele mașini trebuie să poată fi manevrate în condiții de siguranță după lansarea sistemului fix de stingere a incendiilor (CESNI, 2023)

O altă soluție acceptată este cea în care există două compartimente complet independente, separate cu pereți etanși și cu izolație pentru incendiu.

1.2 Cerințe privind amenajarea sistemului de ventilație

Evitarea inundării compartimentelor și asigurarea funcționării neîntrerupte

Conform regulilor Societăților de Clasificare (Bureau Veritas, 2025) (RINA, 2025b) (DNV AS, 2024b) și a cerințelor IMO – “Load Line” (IMO-Load Lines Convention, 2014), deschiderile tubulaturilor și chesoanelor de ventilație trebuie să fie prevăzute cu dispozitive de închidere etanșe la intemperii (de tip „weathertight”), confecționate din oțel sau alt material echivalent. Pentru navele cu lungimi mai mari de 80 m, tubulaturile amplasate pe punțile deschise în prova navei, la o înălțime mai mică de 10% din lungimea navei sau 22 m, trebuie să fie realizate din oțel cu grosimea cerută în IACS UR-S27 (IACS, 2013) și trebuie să fie rigidizate corespunzător.

Deschiderile pentru ventilația compartimentelor mașini categoria A și a generatorului diesel de avarie trebuie protejate corespunzător. Conform regulilor Societăților de clasificare (Bureau Veritas, 2025), (RINA, 2025b), acestea trebuie amplasate la următoarele înălțimi:

- 4,5 m deasupra punții expuse în „poziția 1” (IMO-Load Lines Convention, 2014)
- 2,3 m deasupra punții expuse în „poziția 2”. (IMO-Load Lines Convention, 2014)

Pentru navele de dimensiuni mai mici, Societățile de Clasificare (Bureau Veritas, 2025) pot accepta o înălțime mai mică pentru amplasarea acestor deschideri dacă acestea sunt prevăzute cu capac etanș la intemperii, în combinație cu alte măsuri care să permită alimentarea neîntreruptă cu aer.

Evitarea inundării progresive în caz de avarie

Cerințele privind evitarea inundării în condiții de navă intactă, sunt specificate în regulile Societății de Clasificare și regulile IMO - Load Line, și se referă în general la amplasarea deschiderii deasupra punții expuse așa cum au fost indicate mai sus.

În funcție de tipul navei, conform regulilor IMO, condițiile pe care trebuie să le satisfacă nava privind stabilitatea de avarie sunt diferite. Astfel, extinderea avariei de bordaj către interiorul navei poate fi de B/20 (minimum 760 mm) (IMO-Resolution MSC.335(90), 2012), sau se poate extinde la navele speciale (IMO-SPS Code, 2018) și la pasagere, până la o distanță B/2 față de bordaj (B fiind lățimea navei) (IMO-MSC.429(98), 2020).

Păstrarea clasei de foc a peretilor și punților

Conform regulilor SOLAS (IMO-SOLAS Convention, 2019) și a regulilor Societății de Clasificare (DNV GL SE, 2014), penetrarea punților și a peretilor cu clasa de foc poate fi făcută doar dacă clasa de protecție la incendiu a peretelui sau punții penetrate nu este afectată.

Evitarea acumulării gazelor toxice și inflamabile

Conform regulilor Societăților de Clasificare (Bureau Veritas, 2022a) (RINA, 2022), ventilarea compartimentelor mașini trebuie să fie suficientă în toate condițiile normale pentru a preveni acumularea de gaze toxice și/sau combustibile.

Evitarea introducerii sau recirculării gazelor toxice sau inflamabile în compartimentul mașini

La navele de tip cisternă, care transportă produse inflamabile (nave cu notația de clasă „Oil Tanker”, „FLS tanker” etc.), grilele de ventilație externe pentru introducția și evacuarea aerului trebuie să fie amplasate cât mai în pupa navei posibil, astfel încât să fie cât mai departe de zona de marfă (Bureau Veritas, 2022b)

În cazul navelor propulsate cu motoare alimentate cu combustibil gazos, grila de aspirație a aerului proaspăt pentru tubulatură de alimentare cu combustibil cu pereți dubli, trebuie să fie întotdeauna amplasată în afara zonei de hazard și cât mai departe de sursele de aprindere (BV Marine & Offshore Division, 2022a).

Dispozitive de închidere și dispozitive de oprire a ventilației în cazul unui incendiu

Grilele și chesoanele principale de introducere și evacuare ale tuturor sistemelor de ventilație trebuie să poată fi închise din afara spațiilor ventilate (IMO-SOLAS Convention, 2019).

Dispozitive de închidere pentru ventilația generatorului diesel de avarie

Pentru compartimentul generatorului de avarie, grilele de ventilație și dispozitivele de închidere trebuie menținute în poziție deschisă în timpul funcționării normale a navei (Bureau Veritas, 2022a).

Cerințe privind extracția fumului și a dioxidului de carbon după un incendiu în compartimentul mașini

Compartimentele mașini protejate cu sisteme fixe de stingere a incendiilor trebuie prevăzute cu ventilatoare de extracție a fumului și a agentului de stingere a incendiului.

Cerințe pentru navele care operează în zonele polare

În conformitate cu cerințele Societăților de Clasificare (Bureau Veritas, 2024) (RINA, 2025a), grilele de ventilație pentru introducția aerului ar trebui amplasate în ambele borduri ale navei.

Cerințe privind temperaturile minime și maxime acceptate în compartimentul mașini

Sistemul de ventilație trebuie să asigure răcirea compartimentelor mașini astfel încât temperatura în interiorul compartimentului să nu depășească temperatura maximă de 45°C, 60%RH, în cazul în care nava este destinată navigației fără restricții (IACS, 1986) (IACS, 1978). Pentru nave cu zone limitate de navigație, Societatea de Clasificare poate aproba temperaturi mai ridicate în compartimentul mașini.

1.3 Cerințe specifice pentru anumite tipuri de compartimente ale navei

Cerințele specifice au fost prezentate și în studiul publicat în anul 2022 (Mihai et al., 2022)

Ventilația compartimentelor cu potențial exploziv (amoniac și metanol)

În conformitate cu regulile Societăților de Clasificare (BV Marine & Offshore Division, 2022a), compartimentul tancurilor de gaz și compartimentul instalației de preparare a gazului trebuie să fie prevăzute cu ventilatoare de extracție care să asigure cu o rată de cel puțin 30 de schimburi de aer pe oră. Sistemul de ventilație trebuie proiectat astfel încât debitul de aer cerut poate fi asigurat și în cazul în care se defectează un ventilator sau un grup de ventilatoare conectate la o sursă comună de alimentare cu energie electrică.

În plus, sistemul de ventilație trebuie prevăzut cu ventilatoare suplimentare de extracție de avarie care să asigure o rată de schimb de minimum 45 de schimburi de aer pe oră.

Ventilația compartimentelor separatoarelor de combustibil

Indiferent dacă separatoarele de combustibil sunt amplasate în compartimente dedicate sau dacă sunt amplasate în compartimentul mașini, aceste zone trebuie prevăzute cu ventilație suficientă pentru a evita acumularea gazelor, sau transferul acestora în alte compartimente.

Ventilația camerelor de control

În general, camera de control a mașinilor este prevăzută cu un sistem de ventilație și aer condiționat care asigură o temperatură mai mică de + 27°C, luând în calcul căldura disipată de echipamentele instalate în interior și luând în considerare o rată moderată de aer proaspăt (SR ISO 8862, 1995). Pentru a asigura redundanța, sistemul de ventilație și aer condiționat este prevăzut cu un sistem de backup, în general asigurat de un ventilator de rezervă (DNV GL SE, 2014).

Ventilația magaziiilor pentru produse chimice, vopseluri sau alte lichide inflamabile

Compartimentele în care sunt depozitate materiale inflamabile trebuie prevăzute cu un sistem de ventilație separat de alte sisteme pentru a evita transferul gazelor în alte compartimente. Aceste sisteme de ventilație sunt prevăzute cu ventilatoare de extracție și sunt amenajate astfel încât să fie posibilă extragerea gazelor inflamabile, atât cele mai grele cât și cele mai ușoare decât aerul.

Magazii pentru depozitare buteliilor de oxigen și acetilenă

Similar cu magazinele pentru vopseluri, și aceste compartimente au un grad ridicat de pericol la incendiu, prin urmare sistemele de ventilație sunt independente și în general prevăzute cu ventilatoare de extracție. Totuși, dacă temperatura în interiorul compartimentelor nu depășește 40°C (Bureau Veritas, 2022a), este acceptată și ventilația naturală.

Magazii pentru depozitarea buteliilor CO₂

În general, aceste compartimente sunt amplasate deasupra punții principale, cu acces direct către puntea deschisă. Aceste compartimente trebuie prevăzute cu ventilație mecanică de extracție, iar dacă nu este acces direct către puntea deschisă, sistemul de ventilație trebuie să asigure minim 6 schimburi de aer pe oră (DNV GL SE, 2014).

Compartimentele mașini care conțin compresoare de frig sau alte echipamente care utilizează amoniac (R717)

Aceste compartimente sunt prevăzute cu sisteme de ventilație cu ventilatoare de extracție care pot asigura un număr de minimum 30 schimburi de aer pe oră (Bureau Veritas, 2022a).

Compartimentele pentru baterii

Compartimentele în care sunt instalate baterii cu putere de încărcare mai mare de 0,2 kW trebuie să fie prevăzute cu un sistem de ventilație pentru a preveni acumularea de gaze

inflamabile. Sistemul de ventilație trebuie proiectat astfel încât ventilatorul să pornească automat la pornirea încărcării.

Ventilația bucătăriei

Bucătăria este prevăzută cu un sistem de ventilație mecanică cu ventilator de evacuare, hota de evacuare cu separator de grăsimi detașabil și clapete antifoc amplasate în partea inferioară și superioară a conductei de evacuare. Ambele clapete antifoc trebuie să poată fi acționate de la distanță și, în plus, cele instalate aproape de hotă trebuie să fie de tip automat.

1.4 Cerințe generale suplimentare în funcție de tipul navei

Nave de transport animale vii

Toate spațiile închise destinate pentru animale trebuie să fie prevăzute cu ventilație mecanică cu o capacitate de cel puțin 20 de schimburi de aer pe oră. Spațiile pentru animale care sunt parțial închise și au o lățime mai mare de 20 m, trebuie să fie prevăzute cu ventilație mecanică cu capacitatea de cel puțin 15 schimburi de aer pe oră (Bureau Veritas, 2022b; RINA, 2025c). În cazul în care înălțimea liberă a spațiului este mai mică 2,3 m, debitul de aer ar trebui să fie cu 50% mai mare. Sistemul de ventilație trebuie prevăzut cu cel puțin două ventilatoare independente, proiectate astfel încât capacitatea solicitată să fie menținută cu un ventilator defect (Bureau Veritas, 2022b).

Nave de transport produse petroliere

Spațiile închise situate în zona de marfă trebuie să fie prevăzute cu ventilație mecanică. Toate aceste spații și deschideri ale conductelor de ventilație sunt considerate zone periculoase (de „hazard”). Deschiderile pentru introducerea și evacuarea aerului pentru alte spații, în special pentru compartimentele mașini, trebuie amplasate cât mai la pupă posibil. Ventilația camerei pompelor de marfă trebuie dimensionată astfel încât acumularea de vapori inflamabili să poată fi redusă la minimum. Sistemul este prevăzut cu ventilatoare de evacuare care vor asigura un minim de 20 de schimburi de aer pe oră (Bureau Veritas, 2022b).

Nave care transportă gaz lichefiat

Toate spațiile care conțin echipamente de manipulare a gazului și toate celelalte spații în care se pot acumula vapori inflamabili trebuie să fie prevăzute cu ventilație mecanică care să poată fi controlată din exteriorul compartimentului. Sistemul de ventilație trebuie să funcționeze continuu pentru a se evita acumularea de vapori inflamabili, fiind prevăzut cu dispozitive de monitorizare a presiunii sau debitului.

Nave de pasageri

În cazul navelor de pasageri, principalele cerințe suplimentare sunt legate de siguranța navei și a pasagerilor, având în vedere numărul mare de persoane de la bordul acestor nave. Sistemele de ventilație, împreună cu alte sisteme esențiale, sunt proiectate și analizate în diferite scenarii de urgență, astfel încât în cazul unei avarii nava să se poată întoarce în port în condiții de siguranță (Bureau Veritas, 2022b; IMO-SOLAS Convention, 2019). Alte cerințe suplimentare pentru navele de pasageri sunt legate de controlul răspândirii fumului și, în acest sens, sunt necesare clapete suplimentare de fum în sistemele comune de ventilație. De asemenea, sistemul de ventilație trebuie să aibă capacitatea de a elimina fumul în maximum 10 minute, conform MSC/Circ 1034 (IMO-MS/Circular.1034, 2008).

În cazul navelor destinate navigației interioare, trebuie prevăzute cel puțin două compartimente mașini etanșe, cu ventilație independentă

CAPITOLUL 2 ASPECTE PRIVIND PROIECTAREA SISTEMELOR NAVALE DE VENTILAȚIE

2.1 Standarde internaționale

Conform regulilor Societății de Clasificare (DNV GL SE, 2014) (DNV AS, 2021), pentru calculul sistemului de ventilație la navele maritime fără restricții privind zonele de navigație, este recomandată utilizarea standardului ISO 8861 (SR ISO 8861, 2002).

Conform IACS UR M40 (IACS, 1986), echipamentele și mașinile instalate la bordul navelor trebuie să fie proiectate și construite pentru a putea funcționa la o temperatură de până la 55°C. Cu toate acestea, conform IACS M28 (IACS, 1978), motoarele cu ardere internă trebuie să fie proiectate și construite pentru a asigura puterea nominală la temperatura aerului de 45°C și umiditatea relativă de 60%. Totuși, din punctul de vedere al confortului echipajului, trebuie menționat că în aceste condiții de mediu indicele temperatură-umiditate (Teodoreanu, 2016; Termotecnica, 2022; Vlăduț, 2011) depășește valoarea de 100 de unități, ceea ce reprezintă limita maximă la care ființele umane pot supraviețui. (Tasdemir and Bayraktar, 2016),

2.2 Cerințe și recomandări ale producătorilor echipamentelor principale

Producătorii echipamentelor principale, în special producătorii motoarelor principale și a generatoarelor Diesel, au o serie de cerințe generale precum:

- temperatura maximă permisă pentru compartimentul în care este instalat echipamentul,
- cerințe privind necesarul de aer pentru combustie
- alte recomandări privind calculul și amenajarea sistemelor de ventilație, precum și amenajarea echipamentelor.

De asemenea, producătorii echipamentelor principale (Babic, 2015) cer ca amenajarea sistemului de ventilație să fie făcută în așa fel încât apa de mare și din ploaie, precum și praful sau gazele de evacuare, să nu pătrundă în chesonul de introducere a aerului proaspăt.

Alți producători (Caterpillar, 2015) au recomandări inclusiv privind proiectarea sistemului de ventilație.

În privința amenajării, producătorul recomandă utilizarea următoarelor principii pentru realizarea acestui sistem:

- a. Amenajarea distribuției și extracției aerului în interiorul compartimentului:
 - Grilele de introducere a aerului proaspăt trebuie să fie amplasate cât mai departe de sursele de căldură;
 - Grilele de extracție a aerului să fie amplasate cât mai sus posibil și de preferat deasupra echipamentelor care radiază căldură;
 - Unde este posibil, este recomandat să se prevadă puncte de aspirație a aerului deasupra echipamentelor principale care degajă căldură.
 - Grilele de distribuție a aerului în compartiment trebuie să fie amplasate astfel încât să existe o circulație bună a aerului în întreg compartimentul .
 - Să se evite suflarea aerului direct către echipamentul cald.
 - Să se asigure aer proaspăt pentru combustie direct către filtrul de aer al motoarelor.
- b. Amplasarea și construcția grilelor de ventilație exterioare
 - Grilele exterioare de introducere și evacuare a aerului trebuie să fie amplasate astfel încât aerul cald evacuat să nu reintre în grila de introducere .
 - Să fie proiectate astfel încât apa de mare să nu poată pătrunde în compartimentul mașini și apoi în turbina motoarelor.

În legătură cu debitul ventilatoarelor, suplimentar standardului ISO 8861, Caterpillar (Caterpillar, 2015) introduce un factor de rutare care presupune creșterea debitului de aer în funcție de amenajarea sistemului de ventilație, indicând astfel patru tipuri uzuale de amenajări:

- Amenajarea „Tipul 1”, exemplificată în Figura 2.1, este amenajarea preferată de producătorul motoarelor (Caterpillar, 2015) deoarece în acest caz factorul de multiplicare a debitului de aer este 1.

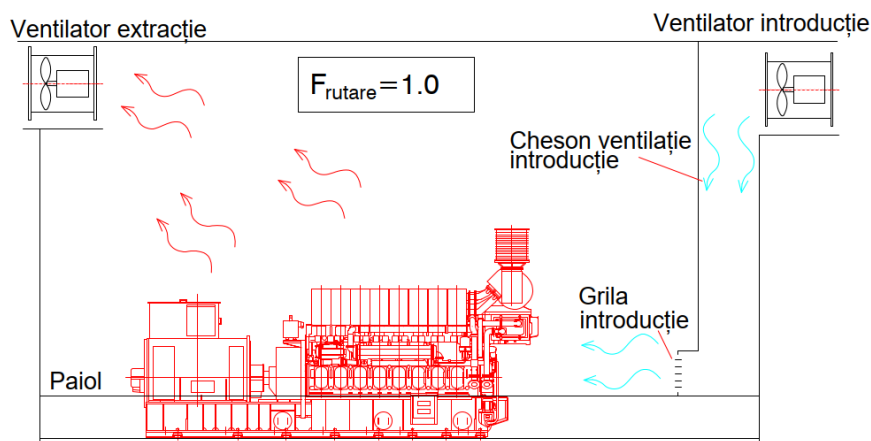


Figura 2.1 Amenajarea sistemului de ventilație de tipul 1 - desen prelucrat conform (Caterpillar, 2015)

- Amenajarea „Tipul 2”, exemplificată în Figura 2.2, este similară cu amenajarea tipul 1, cu diferența că aerul este introdus sub paiol, iar paiolul are decupări în zona echipamentului pentru distribuția aerului.

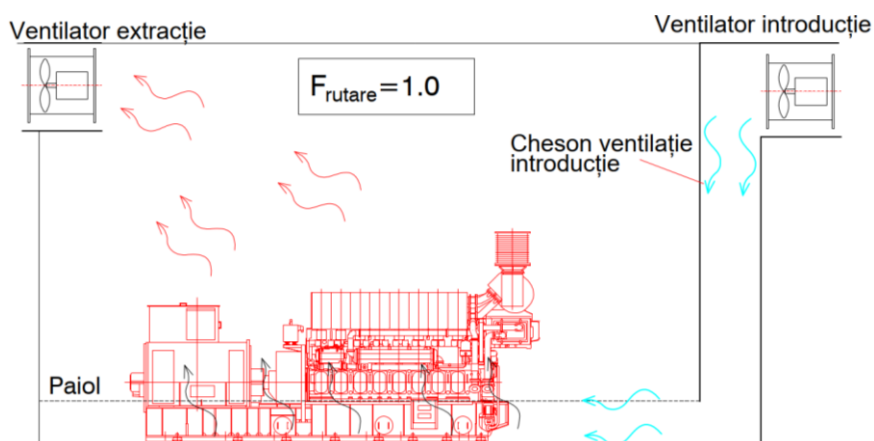


Figura 2.2 Amenajarea sistemului de ventilație de tipul 2 - desen prelucrat conform (Caterpillar, 2015)

- Amenajarea „Tipul 3” este exemplificată în Figura 2.3. Dacă amenajările tipul 1 sau 2 nu pot fi utilizate, atunci producătorul indică amenajarea tipul 3, dar în această situație producătorul recomandă creșterea debitului de aer cu 50% (factorul de rutare este 1,5).

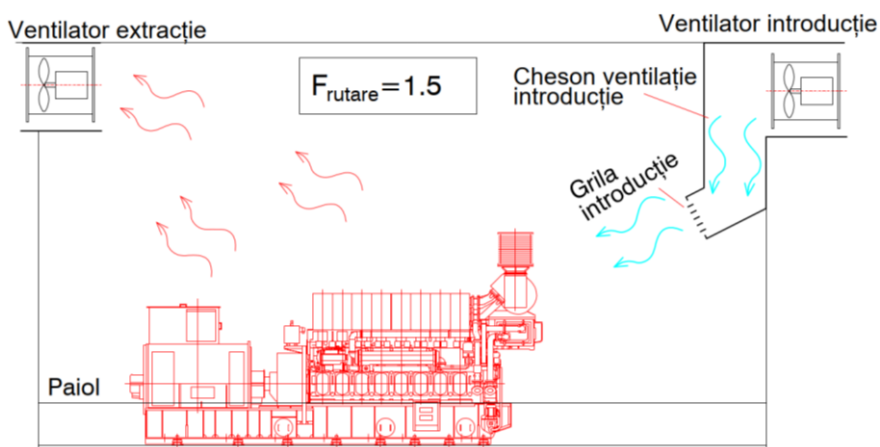


Figura 2.3 Amenajarea sistemului de ventilație de „tipul 3” - desen prelucrat conform (Caterpillar, 2015)

- Amenajarea „Tipul 4” Figura 2.4. Dacă amenajările tipul 1, 2 sau 3 nu pot fi utilizate, producătorul motoarelor propune amenajarea tipul 4. În această situație producătorul recomandă creșterea debitului de aer cu 150% (factorul de rutare este 2,5).

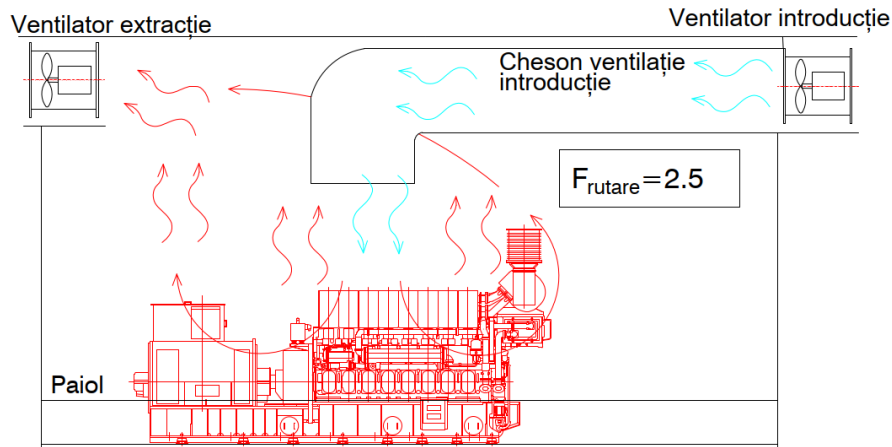


Figura 2.4 Amenajarea sistemului de ventilație de tipul 4 - desen prelucrat conform (Caterpillar, 2015)

Este de la sine înțeles că sistemul de ventilație nu poate fi mărit așa cum recomandă producătorul (cu 50%, 100% sau 150%). Prin urmare, concluzia este că doar amenajările tipul 1 și tipul 2 ar trebui folosite. În plus, se poate folosi și amenajarea tipul 3, dar cu mici ajustări care să elimine mixarea aerului rece cu cel cald și dirijarea aerului printre echipamente și nu spre echipamentele,

2.3 Alte aspecte privind proiectarea sistemelor de ventilație

Grile de ventilație externe de introducere a aerului, cu separator de apă/ceată (tip „mist eliminitor”)

Conform cerințelor producătorilor de motoare principale și generatoare Diesel (Caterpillar, 2015), instalația de ventilație pentru introducerea aerului în compartimentele mașini ale navelor maritime, trebuie prevăzută cu dispozitive de filtrare și drenare a apei de mare și a vaporilor de apă care conțin sare. Prin urmare, grilele externe de introducere a aerului sunt prevăzute cu separatoare de apă și vaporii de apă.

Grile de ventilație externe de evacuare a aerului cu protecție la intemperii

Pentru evacuarea aerului din compartimentul mașini se folosesc grile de ventilație cu protecție la intemperii care asigură evacuarea aerului în toate condițiile meteorologice, fără a permite apei de ploaie sau din valuri să pătrundă în compartiment.

Grile de ventilație interioare

Pentru distribuția aerului proaspăt și evacuarea aerului din compartimentul mașini, chesoanele de ventilație sunt prevăzute cu grile și/sau clapete de reglare a debitului.

Alegerea ventilatoarelor

Întrucât debitele de aer necesare pentru ventilarea compartimentelor mașini sunt foarte mari, în general pentru sistemele de ventilație ale compartimentelor mașini se utilizează ventilatoare axiale care au avantajul că sunt compacte și pot asigura debite foarte mari și consumuri energetice relativ reduse.

Provocări privind proiectarea sistemelor de ventilație pentru compartimentele mașini

Inginerii proiectanți au următoarele provocări privind realizarea și optimizarea sistemelor de ventilație:

- Reducerea vitezei aerului în chesoanele de distribuție care presupune instalarea unor chesoane de ventilație cu secțiuni mari în spații disponibile limitate.
- Optimizarea soluțiilor constructive a chesoanelor pentru îmbunătățirea curgerii.
- Realizarea chesoanelor de ventilație astfel încât în interior să nu existe elemente transversale care să împiedice curgerea naturală.

- Reducerea lungimii chesoanelor de distribuție, ceea ce presupune o analiză privind curgerea aerului în compartimentul mașini.
- Utilizarea grilelor de ventilație cu suprafețe mari pentru a menține pierderile de presiune și nivelul de zgomot la valori cât mai mici.
- De asemenea, este foarte importantă obținerea unei distribuții uniforme a aerului pe toată suprafața grilei de ventilație.

2.4 Efectele ventilației necorespunzătoare în compartimentele mașini

Lipsa unei ventilații corespunzătoare în compartimentul mașini poate avea consecințe diverse de la creșterea consumului de combustibil și a poluării, deteriorarea unor componente ale echipamentelor și sistemelor, până la limitarea capacităților navei în condiții de mediu cu temperaturi ridicate.

Principalele consecințe ale unei ventilații necorespunzătoare:

1. Nava va avea capacități limitate în condiții de mediu cu temperaturi mari
2. Deteriorarea în timp a unor echipamente din cauza supraîncălzirii. Creșterea temperaturii peste limitele acceptabile în întreg compartimentul sau local, va duce la supraîncălzirea și deteriorarea echipamentelor și a sistemelor sensibile la căldură. Emerson Electric Co (Emerson Electric Co, 2020), evidențiază faptul că o creștere a temperaturii de la 45°C la 65°C duce la scăderea duratei de viață a echipamentelor de la 50 de ani la 12,5 ani, confirmând astfel faptul că la fiecare creștere a temperaturii cu 10°C, durata de viață a echipamentelor electronice se înjumătățește.
3. Disconfort termic ridicat pentru echipaj și creșterea numărului de greșeli. Creșterea temperaturii va genera disconfort ridicat pentru membrii echipajului care au activități de monitorizare, control și mentenanță în compartimentul mașini. Conform documentului realizat de departamentul de stat al armatei americane (Department of the Army Headquarters, 1972), creșterea temperaturii peste nivelul de confort al persoanei duce la încetinirea activității cerebrale, răspunsul organismului la activități motorii încetinește și nu în ultimul rând, duce la creșterea erorilor și greșelilor.
4. Reducerea randamentului motoarelor cu ardere internă, creșterea consumului energetic și a poluării. În studiul realizat de M.Issa et al., 2020 autorii menționează că variația temperaturii aerului pentru combustie afectează direct eficiența motoarelor Diesel (Issa et al., 2020). Citând un studiu realizat de Rakopolous, autorul (Issa et al., 2020) concluzionează că pentru fiecare creștere cu 3°C a temperaturii aerului de combustie, puterea motorului va fi redusă cu 1%.

2.5 Asigurarea aerului proaspăt în compartimentele cu personal permanent

Alimentarea cu aer proaspăt în compartimentele navei, este necesară pentru a permite extragerea aerului din toalete, spălătorie, bucătărie, vestiare, spital etc. și pentru a asigura aerul proaspăt cerut de standardul ISO 7547 (SR ISO 7547, 2005), de minimum 28,8 m³/persoană. De asemenea, în cazul sistemelor de ventilație cu recirculare, rata de aer proaspăt trebuie să fie de peste 40% (SR ISO 7547, 2005) din debitul total de aer al unui sistem de ventilație și aer condiționat.

Pentru creșterea eficienței energetice a sistemului de aer proaspăt sunt utilizate următoarele dispozitive de recuperare a căldurii:

1. Recuperarea căldurii utilizând schimbătoare de căldură rotative. Aceasta este cea mai utilizată soluție pentru unitățile de ventilație și aer condiționat, având o eficiență de până la 85% și un consum energetic redus.
2. Recuperatoarele de căldură cu plăci. Acestea au o eficiență bună care poate ajunge până la 90%. Totuși, principalul dezavantaj este acela că au o pierdere de presiune mare și aceasta poate crește în condiții de mediu cu temperaturi scăzute, atunci când limita de îngheț este depășită și condensul din interiorul schimbătorului de căldură îngheață.
3. Recuperatoarele de căldură cu 2 schimbătoare de căldură cu apă, au o eficiență mai mică decât cele prezentate mai sus, costuri crescute și au nevoie de un sistem

- separat cu pompare și un sistem de control. Avantajele sale includ pierderea de presiune redusă și faptul că aerul proaspăt nu este contaminat cu aerul evacuat.
4. Recuperatoarele de căldură cu 2 schimbătoare de căldură și cu o instalație cu agent frigorific sunt similare cu sistemele indicate mai sus, dar au nevoie de un sistem frigorific în loc de apă.

CAPITOLUL 3: MODELUL EXPERIMENTAL ȘI ANALIZA SISTEMELOR DE MĂSURĂ

În industria navală, sistemele de măsurare pentru instalațiile de ventilație și aer condiționat se utilizează pentru determinarea vitezei aerului în conducte și în încăperi, măsurarea presiuni statice și a presiunii dinamice, măsurarea diferenței de presiune între diferite puncte, măsurarea debitului volumic, măsurarea temperaturii și a umidității relative a aerului, precum și măsurarea unor parametri specifici instalațiilor de aer condiționat precum concentrației de CO₂ și compuși organici volatili (COV).

3.1 Tunelul de vânt și modelul experimental

Măsurătorile experimentale pentru validarea modelului CFD s-au realizat utilizând tunelul de vânt din dotarea laboratorului de aerodinamică al Facultății de Arhitectură Navală din Galați. Modelul a fost realizat la scara 1:1 și introdus în tunelul de vânt pentru măsurători.

3.1.1 Tunelul de vânt

Tunelul de vânt este prevăzut cu un ventilator axial cu turație variabilă realizată de un motor electric cu puterea de 55 kW, 1450 rpm, 400 V, 32 A, 50 Hz.

Tunelul este cu recirculare deschisă în laborator.

3.1.2 Modelul experimental pentru tunelul de vânt

În Figura 3.1 este prezentată schița zonei de test a tunelului cu modelul amplasat în interior și cu indicarea poziției punctelor de măsură T1 în fața modelului, respectiv T2 în spatele modelului. În acest model înălțimea grinzii este de 388 mm.

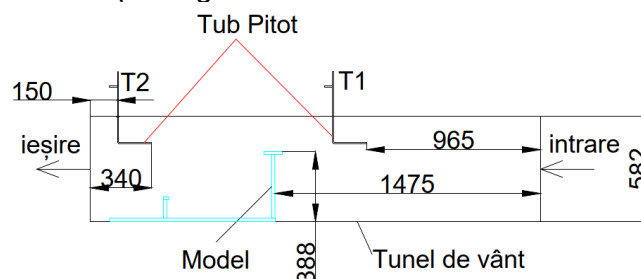


Figura 3.1 Schița modelului experimental, înălțime grindă 388 mm

Experimentul a fost continuat cu un alt model în care s-a redus înălțimea grinzii de la 388 mm la 288 mm. (Figura 3.2)

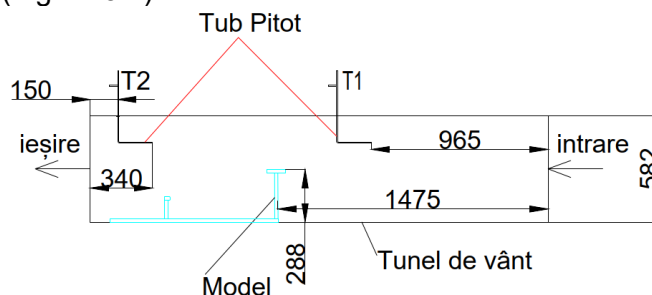


Figura 3.2 Schița modelului experimental, înălțime grinda 288 mm

3.2 Analiza sistemelor de măsură și a parametrilor specifici

Pentru realizarea măsurătorilor parametrilor specifici ai sistemelor de ventilație se utilizează diverse dispozitive de măsurare.

3.2.1 Dispozitive de măsură specifice sistemelor de ventilație

3.2.1.1 Măsurarea vitezei aerului și a debitului volumic

Pentru măsurarea vitezei aerului se utilizează următoarele dispozitive (TESTO, 2025):

Anemometre cu sondă cu elice sau sondă cu fir cald

Ambele sonde pot măsura cu o precizie acceptabilă pentru aceste aplicații. Sonda cu fir cald are avantajul că este amplasată pe o tijă subțire și poate fi introdusă ușor în interiorul unui cheson de ventilație, fiind necesară doar realizarea unui orificiu mic.

Măsurarea vitezei cu tubul Pitot

Tubul Pitot se utilizează pentru determinarea presiunii dinamice, prin măsurarea presiunii totale la intrarea în orificiul amplasat pe direcția de curgere a aerului și măsurarea presiunii statice.

Măsurarea debitului de aer în zonele de ieșire cu turbulențe

Măsurarea debitului de aer direct la ieșirea din grilele turbionare este de cele mai multe ori eronată din cauza turbulențelor mari la ieșirea aerului din grilă. În aceste situații, pentru creșterea preciziei de măsurare, se utilizează „balometre” care au scopul de a uniformiza fluxurile de aer, eliminând turbulențele, pentru a putea măsura debitul volumic cu o precizie cât mai mare.

3.2.1.2 Măsurarea presiunilor și a diferențelor de presiune

Măsurarea presiunilor se poate realiza cu tubul Pitot, tuburi piezometrice (cu apă) (BP Install Services, n.d.) sau alte dispozitive electronice cu senzori de presiune.

3.2.1.3 Măsurarea temperaturii și a umidității relative

Pentru măsurarea temperaturii și a umidității relative, se folosesc diferite dispozitive electronice. De obicei, sondele pentru măsurarea vitezei aerului au și sonde de temperatură.

3.2.1.4 Măsurarea calității aerului și a nivelului de confort

Pentru a avea un aer de calitate, concentrația de CO₂ nu trebuie să depășească 1000 ppm (TESTO, 2025). Măsurarea calității aerului se face cu dispozitive electronice cu sonde pentru măsurarea turbulențelor, sonda CO₂ etc

3.2.2 Dispozitive de măsură utilizate la măsurătorile experimentale

Pentru realizarea măsurătorilor experimentale ale parametrilor specifici sistemelor de ventilație navală, s-au folosit următoarele echipamente de măsurare disponibile în cadrul Școlii Doctorale de Inginerie Mecanică:

- Termo-Anemometrul tip SDL300 cu Domeniul de măsurare pentru viteza aerului 0,4 ÷ 35 m/s, rezoluția 0,1 m/s și precizia ±2 %,
- Scanerul electronic de presiune cu 16 puncte de măsură, cod BPIS-SCN16 a fost utilizat în timpul experimentelor împreună cu tuburile Pitot de diverse lungimi pentru a măsura presiunile dinamice și statice în diverse puncte din tunelul de vânt. Acesta are domeniul de măsurare cuprins între 0 și 1.000 Pa, cu rezoluția de 0,001 Pa și precizia de ± 1,5 %, asigurând un timp de răspuns de 1 ms.
- Înregistratoarele de temperatură și umiditate, tip PeakTech 5185 au fost utilizate pentru măsurarea temperaturii și a umidității relative a aerului în timpul experimentelor la tunelul de vânt și la navele unde s-au făcut măsurători. Acestea au domeniul de măsurare cuprins între 0 și 100% pentru umiditatea relativă, cu rezoluția de 0,1% RH și precizia de ± 3 % RH. Domeniul de măsurare pentru temperatura -40 – 125 °C, rezoluția de 0,1°C și precizia de 0,3 °C,

3.2.3 Verificarea diferențelor dintre valorile măsurate cu diverse sisteme de măsurare

În cadrul experimentelor realizate cu ajutorul tunelului de vânt, s-au făcut măsurători în aceleași condiții, cu aparate de măsură diferite (Termo-Anemometrul SDL300 și Scanerul

electronic de presiune cu 16 puncte de măsură împreună cu tubul Pitot). Măsurătorile au fost realizate pentru viteze de curgere diferite, obținute prin modificarea treptelor de turație ale ventilatorului, utilizând convertizorul de frecvență. Pentru fiecare viteză s-au făcut 3 seturi de măsurători cu fiecare dispozitiv de măsură, iar la final s-au calculat vitezele medii și diferențele dintre valorile obținute.

Pe baza valorilor măsurate pe parcursul experimentului, s-a constatat că diferența maximă dintre valorile măsurate de cele 2 echipamente este de 0,96 m/s, iar diferența minimă este de 0,41 m/s. În toate măsurătorile, termo-anemometrul a înregistrat o viteză mai mare decât vitezele măsurate cu Scannerul electronic de presiune cu 16 puncte de măsură cu tuburi Pitot. În procente, diferența maximă este de 9,3 % iar diferența minimă este de 3,3 %.

Ținând cont de precizia termo-anemometrului de ± 2 % și de cea a Scannerul electronic de presiune cu 16 puncte de măsură cu tuburi Pitot de $\pm 1,5$ %, putem considera că valorile măsurate cu cele două echipamente, care au diferențe sub 3,5 %, se află în eroarea de măsurare a echipamentelor.

În legătură cu valorile măsurate în aceleași condiții cu același aparat de măsură, s-a constatat că valorile măsurate de termo-anemometru au variații foarte mici pentru cele trei măsurători la intervale de timp diferite. Valorile măsurate cu Scannerul electronic de presiune cu 16 puncte de măsură cu tuburi Pitot au variații între 0,04 m/s și 0,42 m/s, iar în procente variația este între 0,4 % și 3,1 %. Aceste valori sunt mai mari decât cele indicate în documentația producătorului de 1,5 %, dar pot fi datorate turbulențelor din zonele de măsurare.

3.3 Măsurători experimentale ale parametrilor specifici sistemelor de ventilație navale

Pentru identificarea soluțiilor optime de proiectare a instalațiilor de ventilație ale compartimentelor mașini, s-au făcut următoarele măsurători experimentale:

- Măsurători experimentale în laboratorul de aerodinamică al Facultății de Arhitectură Navală, utilizând facilitățile Tunelului de vânt, unde s-a simulat un cheson de ventilație structural cu elemente de osatură structurală la interior, cu înălțimi diferite;
- Măsurători experimentale ale parametrilor specifici instalațiilor navale la două nave construite în anul 2021, respectiv 2022 (o navă fluvială și alta maritimă);

3.3.1 Analiza curgerii și a pierderilor de sarcină într-un cheson de ventilație cu elemente structurale la interior

În practică, pentru sistemele de ventilație cu debite mari se realizează chesoane de ventilație structurale care includ în interior elementele structurale de osatură din corpul navei. De multe ori, aceste chesoane de ventilație traversează zone cu elemente structurale cu înălțimi mari raportat la dimensiunea chesonului de ventilație.

3.3.1.1 Curgerea aerului în chesonul de ventilație cu grindă de 388mm

Au fost realizate multiple măsurători pentru determinarea vitezei în tunelul de vânt pentru diverse turații ale ventilatorului, fără model (fără elementele de osatură) și apoi cu modelul reprezentat în Figura 3.1, fixat în interiorul tunelului.

În aval de elementele structurale ale modelului, vitezele au variații mari între zona superioară și zona inferioară, acolo unde este montată proba, așa cum se poate vedea în Tabelul 3.1 și Tabelul 3.2 de mai jos. La partea superioară apare un jet de aer în care viteza crește la peste 20m/s pentru treapta de turație IC20 și la peste 16 m/s în cazul treptei de viteză IC16. La partea inferioară, vitezele au valori cuprinse între 1 m/s și 4 m/s în cazul treptei de turație IC20 și între 0,4 m/s și 3,8 m/s în cazul treptei de viteză IC16. Trebuie menționat faptul că în partea de mijloc apare o zonă cu viteză zero, iar în partea de jos, sensul de curgere se inversează, lucru care a fost evidențiat în timpul măsurătorilor de direcția firelor de lână montate pe model.

Tabelul 3.1 Treapta de turație IC16 - Măsurarea vitezelor aerului cu anemometrul în zona de măsurare T2 (în spatele modelului)

Viteza aerului		Distanța pe Y față de centrul tunelului								
		400	300	200	100	0	-100	-200	-300	-400
Distanța față de plafonul tunelului	100	16,3	16,3	16,3	16,3	16	16	16	16	16
	200	14	14	13,9	13,4	13,4	13,3	13,5	13,1	12,4
	250	13,8	13,2	12,8	12,9	12,8	12,3	12,7	12,3	12,1
	300	5,8	5,1	4,8	4,5	3,5	3,9	4,3	3,8	5,3
	400	-1,9	-0,4	-2,7	-3	-3,4	-3,3	-2,6	-1,5	-0,2
	500	-0,9	-0,4	-2,5	-3,1	-3,8	-3,7	-2,6	-2,5	-0,7

Tabelul 3.2 Treapta de turație IC20 - Măsurarea vitezelor aerului cu anemometrul în zona de măsurare T2 (în spatele modelului)

Viteza aerului		Distanța pe Y față de centrul tunelului								
		400	300	200	100	0	-100	-200	-300	-400
Distanța față de plafonul tunelului	100	20,3	20,2	20	20	20	20	20	19,2	19,3
	200	17,7	17,3	16,7	16,2	15,7	15,7	15,6	15,6	15
	250	12,8	12,3	11,6	11,3	10,4	10,4	10,2	10	9,9
	300	8,1	6,1	6,5	5,5	4,2	4,5	4,7	4,6	5,2
	400	-3	-0,2	-3,1	-3,5	-4	-4,3	-3,5	-3,1	-1,4
	500	-1,6	-2,3	-3,2	-4,2	-4,8	-4,8	-4,2	-3,1	-1,3

În continuare, măsurătorile experimentale s-au efectuat doar pentru treapta de viteză a ventilatorului IC20.

3.3.1.2 Curgerea aerului în chesonul de ventilație cu grinda de 288 mm

În cadrul acestui experiment s-au făcut măsurători în condiții similare cu cele de mai sus, dar pentru un model cu o grindă având înălțimea de 288 mm, conform modelului din Figura 3.2. S-au făcut mai multe seturi de măsurători, atât cu anemometrul cât și cu tubul Pitot. Măsurătorile au fost realizate la treapta de viteză a ventilatorului „IC20”, iar pentru punctul de măsură T1 (în amonte de model) s-a constatat o creștere a debitului față de măsurătorile pentru modelul anterior (cel cu grinda de 388 mm) așa cum este indicat în Tabelul 3.3.

Astfel, viteza medie și implicit debitul în amonte de grindă (punctul de măsurare T1) a crescut cu peste 30 %, de la 5,9 m/s la aproximativ 8,1 m/s. Trebuie însă menționat că și în această situație debitul de aer este mult redus față de situația fără grindă. Astfel, se poate afirma că pentru ventilatorul tunelului de vânt, pierderea de sarcină datorată modelului face ca debitul de aer să fie de doar 49% din debitul inițial.

Tabelul 3.3 Viteze medii ale aerului în zona de măsurare T1, fără model și cu model H288

Nr. Crt.	Treaptă ventilator	Măsurare cu tubul Pitot				Procent viteza cu model
		Presiune măsurată	Viteza calculată	Presiune măsurată	Viteza calculată	
		Fără model		Cu model H288		
1	IC20	158,2	16,6	38,1	8,14	49%

Pe baza măsurătorilor realizate în zona de măsurare T2, utilizând anemometrul tip SDL300, s-a constatat că se menține jetul de aer de la partea superioară precum și schimbarea sensului de curgere în zona inferioară, așa cum se poate vedea în Tabelul 3.4.

Tabelul 3.4 Viteze medii ale aerului în zona de măsurare T2, cu anemometru și cu model H288

Viteza aerului		Distanța pe Y față de centrul tunelului Măsurare cu Anemometrul								
		400	300	200	100	0	-100	-200	-300	-400
Distanța față de plafonul tunelului	100	20	20,9	20,7	20,5	20,5	20,7	20,7	20,5	20
	150	19,9	20	19,9	20,4	19,6	19,7	19,7	19,9	19,7
	200	17,5	16,7	16,3	16,6	16,4	15,7	15,7	16,4	16,6
	250	14,3	10,8	11,1	11,7	10,3	9	9	9,3	12,1
	300	9	4,1	6	5,4	5,3	3,5	3,5	4,4	9
	400	-3,2	-2,4	-3,7	-4,5	-4,9	-3,6	-3,6	-2,5	-3,4
	500	-2,1	-1,6	-3,9	-5	-5,5	-3,9	-3,9	-2,8	-2,6

Viteza la partea superioară se menține la valori de aproximativ 20 m/s, deși în acest caz grinda are o înălțime mai mică și prin urmare aria de curgere în zona grinzii este mai mare. Acest lucru este o consecință a scăderii pierderii de presiune generate de grinda cu înălțime mai mică, ceea ce duce la creșterea debitului ventilatorului și creșterea vitezei și a debitului de aer la intrarea în tunel. Acest debit crescut se va repartiza pe o suprafață mai mare în zona grinzii și în final jetul de aer în partea superioară a modelului se menține. La partea inferioară se constată formarea vârtejului, cu schimbarea sensului de curgere și viteza zero în zona cuprinsă între 300 mm și 400 mm față de plafonul tunelului.

Schimbarea sensului de curgere în partea inferioară a fost surprinsă în timpul experimentului și de firele de lână instalate pe model, așa cum se poate vedea în Figura 3.3.



Figura 3.3 Schimbarea sensului de curgere în zona inferioară a tunelului

3.3.2 Analiza curgerii în compartimentul mașini la un remorcher maritim – Test 1

Remorcherul maritim la care s-au făcut măsurătorile, a fost construit în anul 2021. Nava este prevăzută cu propulsoare azimutale amplasate în compartimentul propulsoarelor, fiind acționate direct de motoarele principale amplasate în compartimentul mașini.

În compartimentul mașini sunt instalate motoarele principale pentru propulsie, generatoarele Diesel, compresorul de aer, grupul hidraulic pentru vinciul de remorcă, separatorul de santină și alte pompe și echipamente mici.

3.3.2.1 Calculul debitului de aer necesar pentru răcire și combustie

Debitul de aer necesar a fost calculat conform standardului ISO8861 (SR ISO 8861, 2002) pe baza informațiilor disponibile.

Pe baza caracteristicilor echipamentelor și a estimărilor realizate conform standardului ISO, debitul de aer calculat este de aproximativ 66.400 m³/h. Conform documentației, nava este prevăzută cu două ventilatoare de 35.000m³/h cu presiune de 400Pa

Pe baza acestor informații se poate afirma că debitul ventilatoarelor instalate pe navă este adecvat pentru realizarea ventilației compartimentului mașini.

3.3.2.2 Analiza sistemului de ventilație existent

Distribuția aerului în compartimentul mașini la această navă este simplă, după cum se poate vedea în Figura 3.4 și Figura 3.5, astfel încât pierderea de sarcină pe tronsoanele de ventilație este de așteptat să fie foarte mică. Sistemul de ventilație este împărțit în două subsisteme simetrice, babord și tribord, deservite de câte un ventilator de $35.000\text{m}^3/\text{h}$. Fiecare subsistem este prevăzut cu două grile de introducere în compartimentul mașini, una având dimensiunea de $500\text{ mm} \times 800\text{ mm}$ care suflă aerul înspre prova navei și altă grilă de $800\text{ mm} \times 300\text{ mm}$ care suflă aerul spre pupa navei.

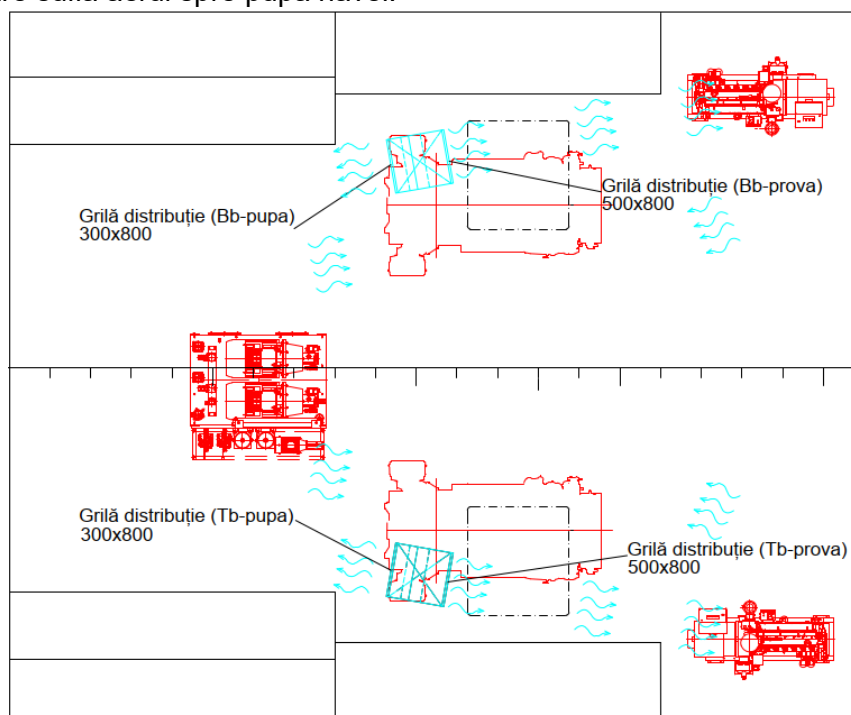


Figura 3.4 Remorcher maritim - Ventilația compartimentului mașini - Vedere orizontală (schiță realizată conform măsurărilor și a desenelor de la navă)

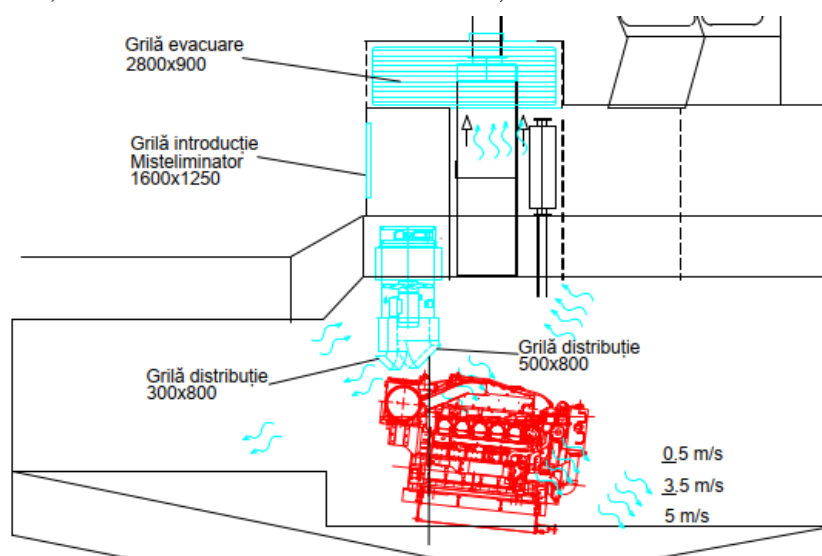


Figura 3.5 Remorcher maritim - Ventilația compartimentului mașini – Secțiune longitudinală (schiță realizată conform măsurărilor și a desenelor de la navă)

3.3.2.3 Verificări și măsurători la bordul navei

Conform măsurătorilor efectuate la navă, viteza medie de curgere a aerului prin aceste grile de distribuție este de aproximativ 14 m/s, după cum se poate vedea în Tabelul 3.5, Tabelul 3.6, Tabelul 3.7 și Tabelul 3.8 de mai jos. Conform măsurătorilor realizate, viteza de curgere a aerului în compartimentul mașini are valori cuprinse între 0,5 m/s și 5 m/s la o distanță de 3,5 m față de grila de distribuție, ceea ce asigură o circulație corespunzătoare a aerului în compartimentul mașini, fără a fi nevoie de chesoane suplimentare de distribuție a aerului.

Tabelul 3.5 Măsurarea vitezei de curgere [m/s] prin grila de introducere 500 x 800 Bb

Distanța [mm]	100	300	500	700
100	13	15	12	11
200	15	17	12,2	14
300	16,6	17,5	12,4	14
400	16,2	15,1	13,4	10
Viteza medie calculată [m/s]				14,03

Tabelul 3.6 Măsurarea vitezei de curgere [m/s] prin grila de introducere 300x800 Bb

Distanța [mm]	100	300	500	700
50	13,2	15	12,2	12
150	15,1	17,2	14,2	12,2
250	16,4	17,5	12,4	12
Viteza medie calculată [m/s]				14,12

Tabelul 3.7 Măsurarea vitezei de curgere [m/s] prin grila de introducere 500x800 Tb

Distanța [mm]	100	300	500	700
100	13,2	14,9	12,2	11
200	14,9	16	13,2	13,1
300	15,6	17,5	13,4	13,2
400	16	15,1	13,4	10
Viteza medie calculată [m/s]				13,92

Tabelul 3.8 Măsurarea vitezei de curgere [m/s] prin grila de introducere 300x800 Tb

Distanța [mm]	100	300	500	700
50	13,1	14,5	13,2	12,1
150	15,5	16,2	14,2	12,3
250	16,1	17,5	13,4	12,2
Viteza medie calculată [m/s]				14,19

Grilele exterioare de introducere au dimensiunile 1.600 mm × 1.250 mm. Conform măsurătorilor efectuate la navă viteza medie în aceste grile exterioare de introducere este de aproximativ 4,5 m/s, așa cum se poate vedea în Tabelul 3.9 și Tabelul 3.10, ceea ce înseamnă că debitul total de aer este de aproximativ 32.000 m³/h, cu aproximativ 10% mai mic decât debitul de aer indicat în documentația de proiectare pentru ventilator, dar este aproape de debitul de aer necesar conform calculului termic.

Tabelul 3.9 Măsurarea vitezei de curgere [m/s] prin grila de introducere 1600x1250 Bb

Distanța [mm]	1502	1224	900	699	376	97
1157	4,5	5,2	6,2	6	5,6	5,1
890	4,4	4,9	5,3	5,6	4,8	4,8
625	3,8	4,5	3,9	4,3	4,6	4,5

360	3,6	4,4	3,7	3,7	3,6	4,6
92	3,4	3,4	3,6	3,6	3,6	4,1
Viteza medie calculată [m/s]						4,44

Tabelul 3.10 Măsurarea vitezei de curgere [m/s] prin grila de introducere 1600x1250 Tb

Distanța [mm]	1502	1224	900	699	376	97
1157	4,6	5,3	6,1	6	5,7	5,1
890	4,4	5,1	5,5	5,6	4,8	4,8
625	3,8	4,6	4,1	4,2	4,6	4,7
360	3,7	4,4	3,9	3,6	3,6	4,6
92	3,5	3,4	3,6	3,6	3,6	3,6
Viteza medie calculată [m/s]						4,47

Pentru aceste viteze, eficiența privind separarea apei este foarte bună (aprox. 100%), iar pierderea de presiune este de aproximativ 50 Pa.

3.3.2.4 Concluzii

Conform documentației tehnice de la navă, presiunea statică pe care o poate asigura ventilatorul este relativ mică, și anume 400 Pa. Dat fiind amenajarea compactă a chesoanelor de distribuție, pierderea de presiune în aceste chesoane este mică, prin urmare presiunea ventilatorului este utilizată pentru a compensa pierderea de presiune în grilele de ventilație, clapeta de închidere de deasupra ventilatorului și amortizorul de zgomot instalat pe sistemul de ventilație.

Totuși, conform măsurărilor, debitul măsurat este mai mic cu aproximativ 10% decât debitul indicat în documentația tehnică. Vor fi necesare calcule și verificări detaliate pentru a identifica motivul pentru care debitul real este mai mic cu aproximativ 10% decât debitul cerut în documentația de proiectare. Totuși, dacă ținem cont și de precizia aparatelor de măsură, diferența poate fi ceva mai mică.

3.3.3 Analiza curgerii în compartimentul mașini la Remorcherul fluvial – Test 2

Remorcherul Fluvial la care s-au făcut măsurătorile este o navă multifuncțională fluvială cu clasa de gheață "IA" construită în anul 2022. Nava este prevăzută cu linii de axe și propulsoare în duze cu pas fix, fiind acționate direct de motoarele principale amplasate în compartimentul mașini.

3.3.3.1 Calculul debitului de aer necesar în compartimentul mașini

Debitul de aer necesar pentru răcire și combustie în compartimentul mașini al acestei nave a fost calculat conform standardului ISO8861 (SR ISO 8861, 2002) ,utilizând și informațiile disponibile pentru echipamentele instalate.

Pe baza caracteristicilor echipamentelor și a estimărilor realizate conform standardului ISO, debitul de aer calculat este de aproximativ 32,000 m³/h. Conform documentației nava este prevăzută cu două ventilatoare de 16.000m³/h cu presiune de 350Pa.

Pe baza acestor informații se poate afirma că debitul ventilatoarelor instalate pe navă este adecvat pentru realizarea ventilației compartimentului mașini.

3.3.3.2 Analiza sistemului de ventilație existent

Sistemul de ventilație este relativ simplu, având o amenajare compactă, după cum se poate vedea în Figura 3.6, Figura 3.7, Figura 3.8 și Figura 3.9, astfel încât pierderea de sarcină pe tronsoanele de ventilație ar trebui să fie relativ mică.

Sistemul de ventilație este împărțit în două subsisteme simetrice, babord și tribord, deservite de câte un ventilator de 16000 m³/h, 350 Pa. Fiecare subsistem este prevăzut cu câte două grile de introducere, una având dimensiunea de 350 × 350 care suflă aerul în jos, direct deasupra motorului și alta de 250 × 250, care suflă aerul înspre generatoarele Diesel.

Aceste dimensiuni au fost măsurate la navă, dar trebuie menționat că în documentația de proiectare (Figura 3.7) sistemul de distribuție este diferit, având în locul grilei cu dimensiunile 350×350 , două grile mai mici cu dimensiunile de 350×150 . De asemenea, grilele și chesoanele de distribuție pentru generatoarele Diesel sunt mai mici, în proiect având dimensiunea de 200×200 , în loc de 250×250 așa cum este la navă.

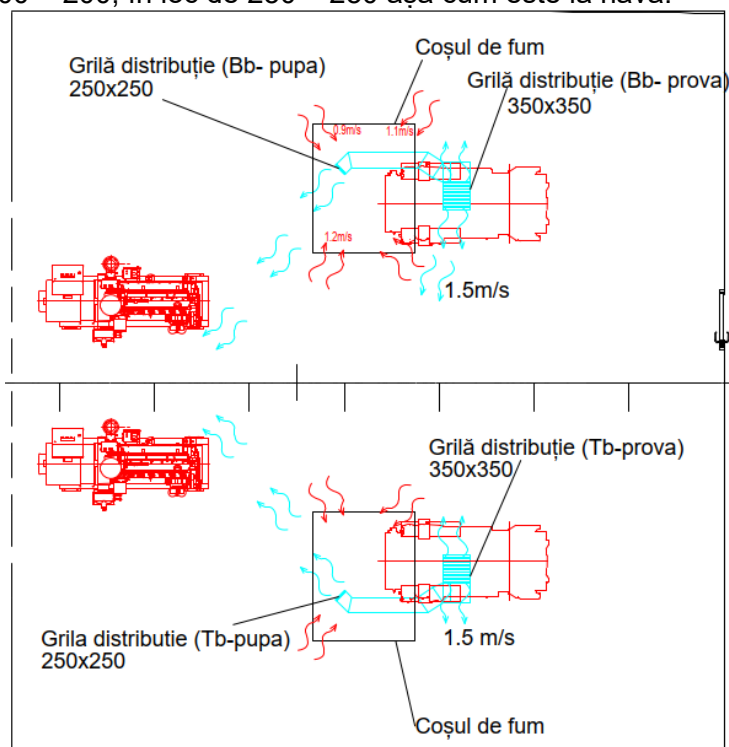


Figura 3.6 Remorcherul Fluvial - Ventilația compartimentului mașini - Vedere orizontală (schiță prelucrată din documentația de la navă și măsurători la navă)

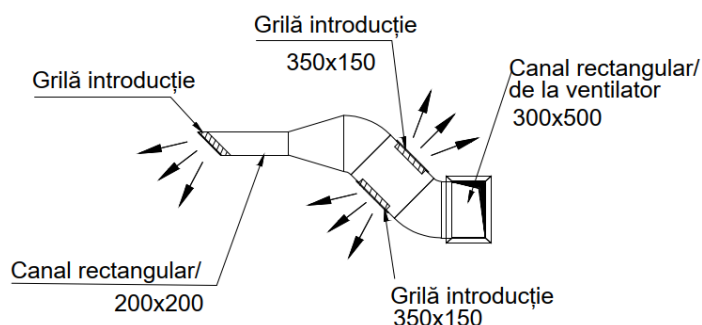


Figura 3.7 Remorcherul Fluvial - Ventilația compartimentului mașini - Vedere orizontală în babord

Grilele de distribuție pentru motoarele principale sunt amplasate deasupra motoarelor și suflă aerul peste motoare. Această amenajare nu face parte dintre cele recomandate de producătorul motoarelor principale, iar pentru acest tip de amenajare producătorul Caterpillar (Caterpillar, 2015) solicită creșterea debitului de aer cu un factor de multiplicare $F = 2,5$.

3.3.3.3 Verificări și măsurători la bordul navei

Din măsurătorile efectuate la bordul navei, s-a constatat că viteza de curgere a aerului în zona generatorului Diesel din babord are valori cuprinse între $1,3 \text{ m/s}$ și $3,4 \text{ m/s}$, în timp ce la partea superioară, viteza este foarte mică. Astfel, este facilitată răcirea echipamentului, obținându-se curgerea naturală a aerului cald de jos în sus și înspre coșul de fum pentru a fi evacuat (Figura 3.8), fără mixarea aerului proaspăt cu aerul cald.

În acesta zonă se constată o curgere bună a aerului de răcire și a aerului cald, curgere care asigură o eficiență bună a ventilației pentru răcire

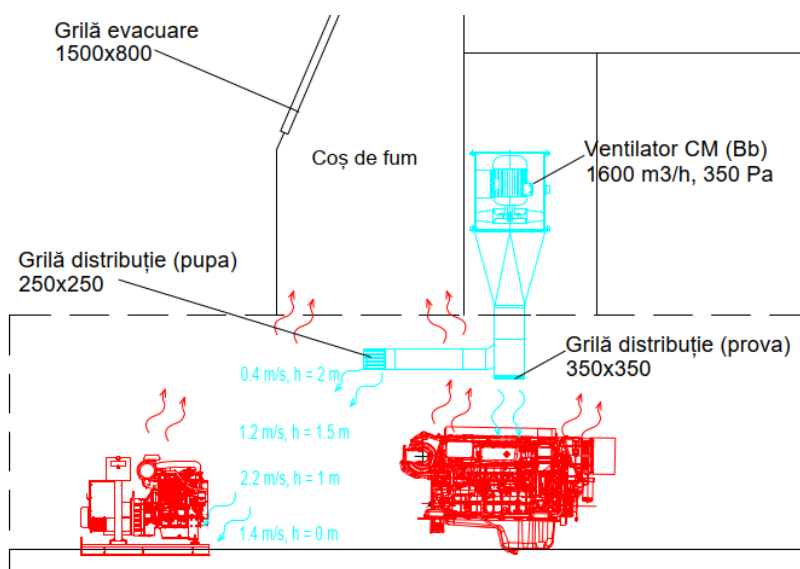


Figura 3.8 Remorcherul Fluvial - Ventilația compartimentului mașini – Secțiune longitudinală babord (schiță prelucrată din documentația de la navă și măsurători la navă)

În ceea ce privește curgerea aerului în zona generatorului Diesel din tribord, în urma măsurătorilor efectuate, s-a constatat că în zona acestui echipament viteza aerului de la sistemul de ventilație este aproape zero, iar la partea superioară, deasupra generatorului (la peste 2 m înălțime), viteza de curgere a aerului de răcire de la sistemul de ventilație este cuprinsă între 3 m/s și 4,2 m/s la o distanță de aproximativ 2,5 m față de grila de introducere, așa cum se poate vedea în Figura 3.9. Această problemă este datorată instalării necorespunzătoare a grilei de distribuție, având defletoarele montate vertical, în loc să fie montate orizontal pentru a dirija fluxul de aer înspre partea inferioară a generatorului Diesel.

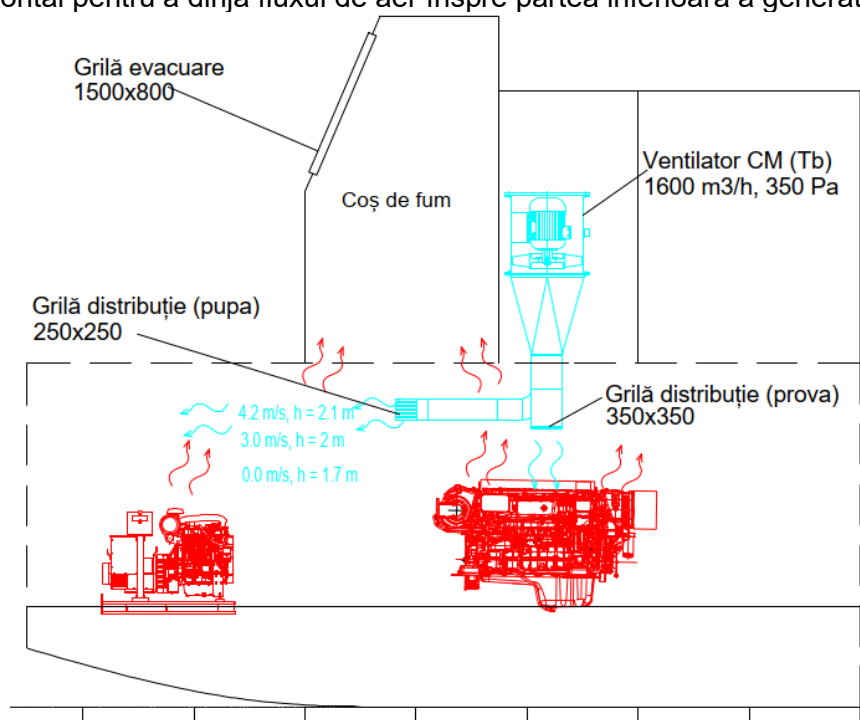


Figura 3.9 Remorcherul Fluvial - Ventilația compartimentului mașini - Secțiune longitudinală tribord (schiță prelucrată din documentația de la navă și măsurători la navă)

Conform primelor măsurători efectuate la navă, viteza medie de curgere prin grilele de distribuție a fost de aproximativ 6,7 m/s pentru grilele care suflă aerul spre motoarele principale și de aproximativ 8,7 m/s pentru grilele care suflă aerul înspre generatoarele Diesel. Conform

acestor măsurători, debitul de aer este de aprox. 5.200 m³/h în loc de 16.000 m³/h, cât este debitul ventilatorului la punctul de funcționare proiectat.

În urma verificărilor realizate, s-a identificat o problemă de operare care putea cauza aceste reduceri ale debitului, și anume depozitarea unor recipiente în chesonul de ventilație.

După eliminarea acestor obstacole din chesonul principal de ventilație, debitul total măsurat pentru un bord a fost de 7300 m³/h în loc de 16.000 m³/h, cât este debitul ventilatorului la punctul de funcționare proiectat, ceea ce înseamnă că sistemul de ventilație asigură aproximativ jumătate din debitul cerut. Viteza aerului măsurată la ieșirea din grile a fost de 10,2 m/s respectiv 10,8 m/s. Prin urmare, trebuie menționat că pentru asigurarea debitului total, viteza prin aceste grile de distribuție ar trebui să fie de 24 m/s, ceea ce este foarte mult pentru o grilă de ventilație.

Grilele exterioare de introducere cu dimensiunile 1500 mm × 700 mm și cele de evacuare cu dimensiunile 1500 mm × 800 mm sunt doar cu protecție la intemperii, fiind confecționate de șantier cu deflectoare simple contra stropirii cu apă. Conform măsurătorilor efectuate la navă, viteza medie în aceste grile exterioare de introducere este de aproximativ 2 m/s, ceea ce înseamnă că debitul total de aer este de aproximativ 7.800 m³/h, cu aproximativ 8200 m³/h mai mic decât debitul ventilatorului stabilit în documentația de proiectare și confirmat de calculul termic de mai sus. La debitul maxim al ventilatorului, viteza în grile ar fi puțin peste 4 m/s, ceea ce înseamnă că aceste grile sunt dimensionate corespunzător.

3.3.3.4 Concluzii pentru sistemul de ventilație al compartimentului mașini:

Din calculul realizat se constată că debitul ventilatoarelor instalate la bordul navei (2 × 16.000 m³/h) este corespunzător pentru asigurarea aerului pentru combustia și pentru asigurarea răcirii echipamentelor principale instalate în compartimentul mașini, considerând temperaturi exterioare extreme de până la 35°C.

De asemenea, distribuția aerului în compartimentul mașini nu asigură o eficiență bună a răcirii pentru motoarele principale, întrucât grilele de distribuție sunt instalate deasupra motoarelor principale. Ventilația generatorului Diesel din tribord nu este corespunzătoare, întrucât grila de distribuție dirijează aerul la partea superioară în loc să fie dirijat spre partea de jos a generatorului Diesel. Această neconcordanță scade eficiența sistemului de ventilație, întrucât aerul cald care se ridică natural deasupra generatorului se amestecă cu aerul rece de la sistemul de ventilație.

O altă problemă constatată la măsurători este că debitul de aer introdus în compartimentul mașini este mai mic decât cel stabilit în proiect. Deși ventilatorul instalat ar putea asigura debitul de aer cerut, sistemul de distribuție nu respectă punctul de funcționare proiectat. Această problemă poate fi cauzată de instalarea unor chesoane de ventilație cu dimensiuni mult prea mici, ceea ce duce la creșterea vitezei până la aproximativ 24m/s. Reducerea secțiunii chesonului de ventilație chiar la ieșirea din ventilator (Figura 3.10) și menținerea unor chesoane de distribuție subdimensionate coroborat cu presiunea de doar 350Pa asigurată de ventilator, poate genera această scădere a debitului.



Figura 3.10 Remorcherul Fluvial - Ventilația compartimentului mașini – Reducție instalată pe refularea ventilatorului

3.3.4 Concluzii privind măsurătorile experimentale

Conform măsurătorilor efectuate la cele 2 nave, s-au constatat anumite deficiențe în asigurarea debitului de aer necesar pentru răcirea compartimentului mașini, deficitul de aer fiind între aproximativ 10%, respectiv 50%.

În legătură cu situația în care deficitul este de aproximativ 50%, problema ar putea fi rezolvată analizând posibilitatea utilizării răcirii adiabactice directe, prezentată în capitolele următoare, sau prin reamenajarea și redimensionarea grilelor și chesoanelor de distribuție.

Realizarea chesoanelor structurale cu elemente de osatură la interior este o altă problemă tipică pentru sistemele de ventilație. Din analizele și măsurătorile de laborator efectuate, utilizând facilitățile tunelului de vânt, s-a constatat că aceste elemente structurale la interiorul chesoanelor de ventilație cresc substanțial viteza de curgere în zona acestor elemente structurale, generând vacuum pe fața acestora care induc un curent de aer în sens opus curgerii normale. Practic, în zona elementelor structurale, secțiunea de curgere este micșorată cu înălțimea elementelor structurale, iar curgerea este perturbată puternic.

CAPITOLUL 4: OPTIMIZAREA RĂCIRII ȘI REDUCEREA RISCULUI DE RĂSPÂNDIRE A AGENȚILOR PATOGENI PRIN SISTEMELE NAVALE DE VENTILAȚIE

4.1 Ipoteze de lucru și obiective generale

În acest capitol sunt analizate următoarele aspecte privind realizarea unui sistem de ventilație eficient:

- Măsuri privind evitarea răspândirii agenților patogeni prin sistemele de ventilație și aer condiționat.
- Reducerea debitului de aer necesar pentru răcirea compartimentelor tehnice.
O soluție aplicabilă, în special pentru compartimentele mașini care pot funcționa nesupravegheate, este reducerea debitului de aer prin utilizarea răcirii adiabactice directe, în condiții de mediu exterior cu temperaturi ridicate și umiditate relativă scăzută (Mihai and Rusu, 2022).
În cazul ventilației pentru camerele de control ale compartimentelor mașini, sau pentru alte spații de locuit, debitul de aer poate fi redus prin schimbarea filozofiei sistemului. (Mihai și Rusu, 2021).

4.2 Măsuri pentru evitarea răspândirii bolilor prin sistemele navale de ventilație

Răspândirea bolilor prin sistemul naval de ventilație este posibilă prin contaminarea aerului din instalația de aer condiționat cu agenți patogeni și redistribuirea aerului în diverse compartimente ale navei.

În acest capitol sunt analizate sistemele de ventilație care pot răspândi agenții patogeni la bordul navelor, dar și măsurile și soluțiile necesare pentru evitarea răspândirii lor prin sistemele de ventilație de la nave. (Mihai și Rusu, 2021).

4.2.1 Introducere

Compartimentele în care echipamentele instalate au nevoie de aer pentru ardere, precum compartimentul mașini, precum și compartimentele în care se pot acumula gaze inflamabile sau toxice trebuie să fie prevăzute cu instalații de ventilație independente. Prin urmare, nu există riscul de răspândire a bolilor prin recircularea aerului din alte compartimente.

Măsurile principale de prevenție presupun păstrarea sistemelor de ventilație independente și amplasarea gurilor de ventilație exterioare la distanță față de gurile de ventilație care deservește alte compartimente. Măsurile suplimentare privind adăugarea de filtre HEPA, filtre UV sau alte instalații de tratare trebuie analizate de la caz la caz.

Conform recomandărilor Societăților de Clasificare, recircularea aerului în sistemele de ventilație trebuie evitată, dar acest lucru va duce la creșterea consumului de energie.

În acest capitol sunt prezentate punctele tari și punctele slabe ale diferitelor soluții posibile pentru a îmbunătăți sistemele HVAC, cu scopul de a evita răspândirea bolilor într-o

situație de pandemie sau eventuale epidemii (Mihai și Rusu, 2021). În plus, sunt evidențiate și alte măsuri privind evitarea răspândirii bolilor precum aspecte legate de amenajarea generală a navei, inventarul epidemiei și planurile de urgență necesare.

4.2.2 Pandemia COVID și implicarea diverselor instituții internaționale privind managementul răspândirii bolilor la bordul navelor

În timpul pandemiei COVID-19, Organizația Maritimă Internațională (IMO) și statele membre au analizat impactul pandemiei pentru a găsi soluții pentru prevenirea și controlul răspândirii bolilor, dar aceste măsuri au fost legate în general de deplasarea navigatorilor, protecția personalului etc. și nu au prezentat reguli sau soluții pentru construcția și modernizarea sistemelor navei, care pot răspândi agenții patogeni.

De asemenea, Societățile de Clasificare au furnizat linii directoare pentru gestionarea COVID-19 și a bolilor infecțioase la bordul navei. Sistemele de încălzire, ventilație și aer condiționat (HVAC) sunt considerate de Societățile de Clasificare (Bureau Veritas, 2020) ca *"un sistem extrem de complex într-un mediu de protecție infecțioasă ... Este probabil să fie necesar să avem o strategie HVAC separată"*.

În ceea ce privește sistemele de ventilație existente, Societățile de Clasificare au recomandat luarea tuturor măsurilor rezonabile pentru a evita propagarea virusurilor prin sistemul de ventilație și aer condiționat. Măsurile rezonabile luate în considerare includ *"asigurarea aerului proaspăt necontaminat, reducerea sau anularea recirculării și creșterea filtrării la costuri rezonabile"* (Bureau Veritas, 2020)

4.2.3 Răspândirea virusurilor la bordul navei

În anii pandemiei COVID 19 au fost realizate diverse studii privind răspândirea virusului la bordul navelor. În cazul navei de croazieră Diamond Princess, foarte multe persoane s-au infectat cu COVID-19 într-un timp scurt, chiar dacă nava și persoanele de la bord au intrat în carantină de la primele 10 cazuri confirmate. Eisuke et al. (Nakazawa et al., 2020) a analizat cronologic evoluția pandemiei de COVID-19 pe nava de croazieră Diamond Princess și a indicat că peste 600 de persoane (peste 15% din totalul persoanelor de la bord) au fost infectate în primele două săptămâni, din 5 februarie până pe 19 februarie, deși s-a decis începerea carantinei pe 5 februarie.

Parham et al. (Azimi et al., 2021) au concluzionat în studiul lor că *"inhalarea aerosolilor a fost probabil contribuția dominantă la transmiterea COVID-19 în rândul pasagerilor de la bordul navei de croazieră Diamond Princess, chiar și cu o rată de ventilație foarte mare (9-12 schimburi de aer pe oră) și fără aer recirculat"*.

Kulkarni et al. (Kulkarni et al., 2016) au analizat răspândirea bolilor cu virusul respirator sincițial (RSV) și au concluzionat că particulele de aerosoli de RSV au rămas în aer pentru o lungă perioadă de timp și au dus la transmiterea infecției. Melikov (Melikov, 2020) a subliniat că ar trebui luată în considerare transmiterea agenților patogeni cu ajutorul aerosolilor, în caz contrar, este dificil să controlezi răspândirea bolilor. Correia et al. (Correia et al., 2020) consideră sistemul HVAC *"ca o sursă majoră de contaminare interioară"*.

Prin urmare, se poate concluziona că în cazul sistemelor obișnuite de aer condiționat prevăzute cu recirculare, închiderea recirculării aerului după descoperirea unei noi infecții nu va rezolva problema deoarece întregul sistem este deja contaminat și nu poate fi curățat și dezinfectat cu ușurință.

4.2.4 Măsuri privind reducerea riscului de transmitere a bolilor prin sistemul HVAC

În funcție de particularitățile constructive ale sistemelor navale de ventilație pot fi utilizate diverse măsuri și soluții de reducere a riscului de transmitere. În principiu aceste măsuri se bazează pe soluții de evitare a contaminării și dispozitive de filtrare și dezinfecție.

4.2.4.1 Sisteme HVAC comune cu recircularea aerului

Sistemele de ventilație și aer condiționat comune, cu recircularea aerului, sunt frecvent utilizate la nave, întrucât sunt mai simple decât cele cu 100% aer proaspăt și pot avea o eficiență energetică mai bună.

În aceste condiții, dacă eliminarea recirculării aerului nu poate fi evitată, atunci trebuie analizate și implementate alte soluții de filtrare și dezinfecție, precum filtrare mecanică cu filtre HEPA și/sau utilizarea unor sisteme de dezinfecție cu filtre UV.

4.2.4.1.1 Sisteme de filtrare mecanică cu filtre HEPA

Răspândirea bolilor prin sistemul de aer condiționat poate fi redusă prin adăugarea de filtre HEPA, dar în acest caz, protecția este limitată și ventilatoarele ar trebui să aibă o presiune crescută.

În Figura 4.1 este prezentat un exemplu tipic de sistem de ventilație și aer condiționat, cu recirculare și amestecarea aerului evacuat din încăperile deservite cu aerul proaspăt.

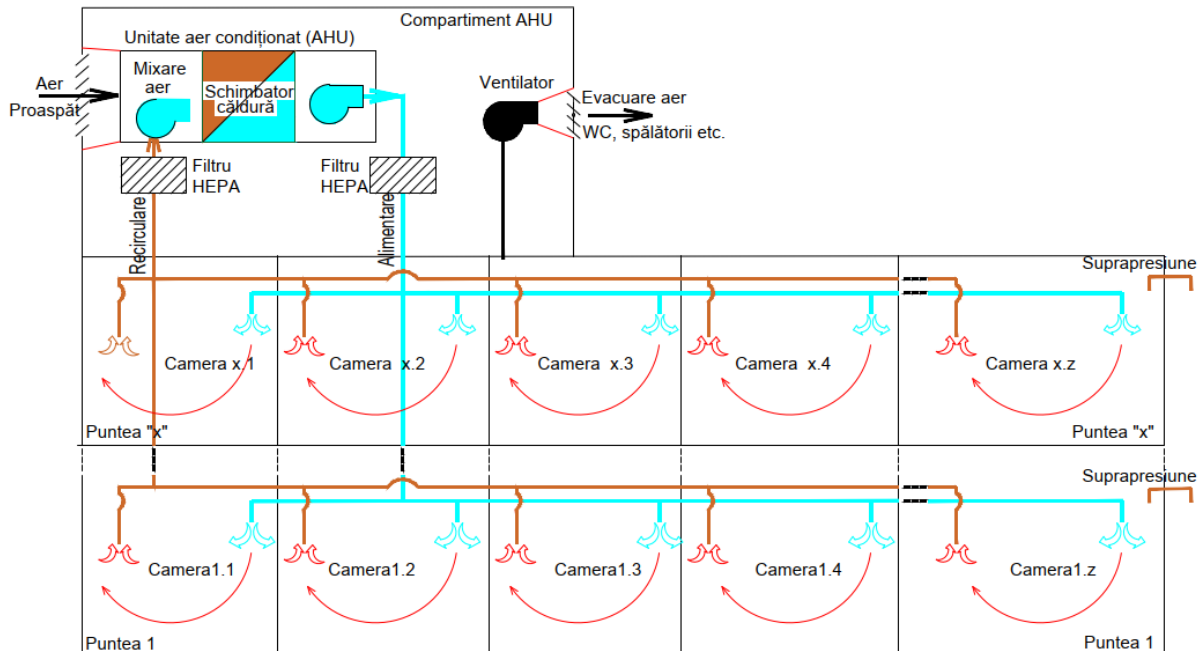


Figura 4.1 Instalație HVAC comună cu recircularea aerului și filtre HEPA

Soluția cu filtre HEPA instalate atât pe conductele de alimentare, cât și pe cele de retur, ar putea crește protecția fiind două etape de filtrare.

O altă soluție este păstrarea filtrului HEPA de recirculare și anularea filtrului HEPA de pe conducta principală de alimentare cu aer. În acest caz, aerul contaminat nu este amestecat cu aer proaspăt și nu mai intră în unitatea AHU. De asemenea, trebuie menționat că filtrul de recirculare este cu 40 ÷ 60% mai mic decât filtrul principal de alimentare.

4.2.4.1.2 Sisteme de dezinfecție cu filtre UV

Pentru a reduce riscul de transmitere a bolilor prin sistemul HVAC, Jones et al. (Jones și Ivanovich, 2020) evidențiază potențialul lămpilor ultraviolete (UV-C) ca sistem de dezinfectare eficientă a aerului și a suprafețelor. Lămpile ultraviolete pot fi utilizate ca sistem separat sau împreună cu filtre HEPA pentru a reduce "și chiar a preveni creșterea microbilor periculoși în sistemele HVAC" (Jones și Ivanovich, 2020).

În studiul publicat de Vranay et al. (Vranay et al., 2020) s-a concluzionat că, prin utilizarea unui sistem de dezinfecție UV-C, "mai mult de 90% din virusul SARS-CoV-2 produs de oameni în mediul intern poate fi inactivat". În plus, conform analizei lor, consumul de energie pentru dezinfectarea cu lămpi UV-C a fost de aproximativ 2,3% din energia totală consumată de sistemul HVAC.

Conform ASHRAE (ASHRAE, 2019), eficiența maximă a dezinfectării UV este pentru o lungime de undă UV-C de 265 nm.

Eficacitatea dezinfectării UV este proporțională cu doza de expunere la UV (J/m^2), care reprezintă produsul dintre rata de iradiere (W/m^2) și timpul de expunere (s). Trebuie menționat că există o relație neliniară între expunerea la UV și eficacitatea dezinfectării. Prin urmare, dacă

timpul de expunere este crescut cu 50%, eficiența dezinfectării va crește de la 90% la 99% (IES, 2020).

Potrivit ASHRAE (ASHRAE, 2019), în sistemul general de conducte, iradierea medie solicitată este de $1.000 \div 10.000 \mu\text{W}/\text{cm}^2$. În ceea ce privește locul de amplasare a lămpilor UV, acestea pot fi instalate oriunde în interiorul sistemului HVAC, dar unele locații pot îmbunătăți eficiența dezinfectiei UV. În general, cel mai potrivit loc este în interiorul unității de tratare (AHU) datorită vitezei reduse a aerului, asigurând în același timp și iradierea schimbătoarelor de căldură. Pentru a evita creșterea costului sistemului și a consumului de energie, ASHRAE (ASHRAE, 2019) recomandă ca sistemul de ventilație și aer condiționat să fie realizat astfel încât expunerea aerului la radiația UV să fie de minim 0,25 s.

4.2.4.2 Sisteme HVAC comune cu 100% aer proaspăt și sisteme locale de aer condiționat

Această variantă utilizează o unitate de aer condiționat mai mică, dimensionată pentru a asigura doar aerul proaspăt. Prin urmare, sistemul va funcționa cu 100% aer proaspăt, fără recirculare. Pentru încălzirea și răcirea încăperilor de pe navă se recomandă utilizarea ventilo-convectoarelor mici care deservește doar o cameră.

Dezavantajul principal este acela că vor fi necesare ventilo-convectoare pentru fiecare încăpere. Acestea pot genera costuri și timpi mai mari pentru mentenanță, dar controlul temperaturii din interiorul fiecărei camere este mai bun, iar răspândirea agenților patogeni prin sistemul de ventilație poate fi eliminată.

În Figura 4.2 este prezentat un exemplu tipic de sistem individual de ventilație și aer condiționat, fără recirculare și fără filtre HEPA

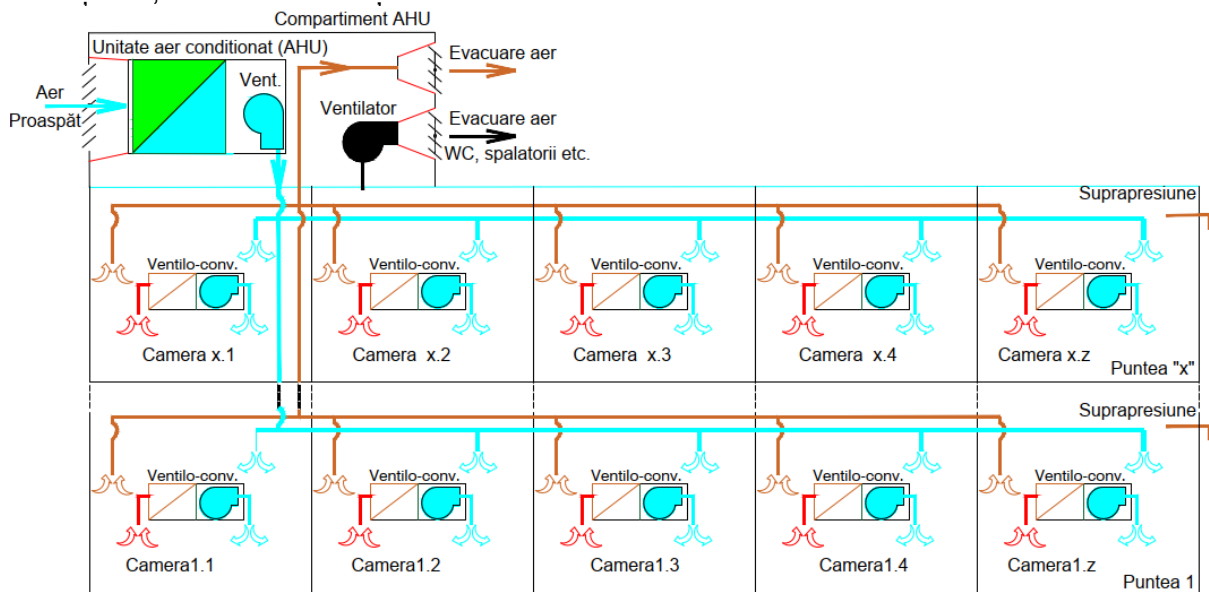


Figura 4.2 Sistem HVAC comun cu 100% aer proaspăt și ventilo-convectoare locale

4.2.4.3 Sisteme UV-C locale de dezinfectie a încăperilor

Conform recomandărilor ASHRAE (ASHRAE, 2019), o soluție eficientă și ieftină de dezinfectare a unor încăperi este amplasarea de dispozitive UV-C în interiorul camerelor. După cum este exemplificat în Figura 4.3, această soluție este aplicabilă în încăperi cu tavane înalte pentru a menține zona de dezinfectie UV deasupra zonei minime de siguranță de 7 ft (aproximativ 2,1m) (ASHRAE, 2019).

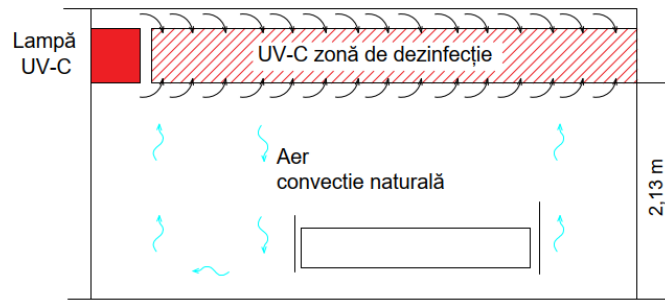


Figura 4.3 Dezinfecție locală cu UV-C, aplicată în spital conform (ASHRAE, 2019)

4.2.5 Concluzii

În general, spațiile tehnice sunt prevăzute cu ventilație independentă și o rată ridicată de schimb de aer. Prin urmare, există un risc scăzut de răspândire a virusurilor în aceste compartimente.

Situația este diferită pentru camerele de control, instrumente și alte camere prevăzute cu personal permanent, care sunt prevăzute în general cu un sistem comun de aer condiționat cu recirculare a aerului. Având în vedere că sistemele HVAC nu sunt prevăzute cu o filtrare eficientă împotriva virusurilor, răspândirea agenților patogeni în aceste încăperi devine o problemă serioasă pentru sistemele de aer condiționat și ventilație de pe nave.

Prima soluție, prezentată în Figura 4.1, poate fi utilizată pentru navele existente prin instalarea de filtre HEPA în conductele principale de alimentare și /sau de recirculare. În acest caz, ventilatoarele trebuie verificate, iar dacă presiunea disponibilă nu este suficientă, ventilatoarele trebuie înlocuite.

O altă soluție, cu eficiență foarte bună și costuri de instalare și operare relativ mici, o reprezintă instalarea sistemelor de dezinfecției cu lămpi UV. Dezinfecția UV poate avea o eficiență bună, dar principala provocare este asigurarea unui timp de expunere de minim 0,25 secunde, ceea ce înseamnă că este nevoie de un spațiu mare pentru a menține viteza aerului scăzută, sau intensitate mai mare pentru radiația UV. Pentru dezinfecția unor încăperi mari cu tavane înalte, pe lângă dezinfecția UV din sistemul HVAC, se pot utiliza și dispozitive UV-C pentru tavan.

4.3 Utilizarea răcirii adiabactice directe pentru optimizarea răcirii în sistemele de ventilație

În acest capitol este analizată o soluție de eficientizare a sistemului de ventilație utilizând principiul răcirii adiabactice directe care este un sistem ușor de instalat inclusiv la navele aflate în exploatare (conform studiului publicat în revista *Inventions* în anul 2022 (Mihai and Rusu, 2022)).

4.3.1 Introducere

Pentru navele noi această soluție este analizată din perspectiva creșterii eficienței sistemului de ventilație, iar la navele aflate deja în exploatare, acest sistem poate fi o soluție de compromis care să asigure răcirea în condiții de mediu cu temperaturi extreme.

Pentru a verifica dacă răcirea adiabatică directă poate fi utilizată cu scopul de a crește eficiența sistemelor de ventilație ale compartimentelor mașini, am analizat această soluție pentru un împingător standard utilizat în zona Dunării.

4.3.2 Materiale și metode

4.3.2.1 Calculul sistemului de ventilație pentru nava de referință

Nava de referință pentru care se face analiza este un împingător cu puterea de propulsie de 2x1600CP aparținând Companiei de Navigație Fluvială Română (CNFR) Navrom Galați (NAVROM, n.d.) care operează în zona Dunării.

Căldura disipată în aer de motoarele principale (Caterpillar, 2021, 2009) și generatoarele diesel (VOLVO PENTA, n.d., n.d.) este indicată în Tabelul 4.1 conform fișelor tehnice de la producătorii echipamentelor.

Tabelul 4.1 Căldura disipată (Caterpillar, 2021, 2009) (VOLVO PENTA, n.d., n.d.)

Descriere echipament	Cantitate	Echipamente în funcțiune	Căldura radiată/disipată	Total căldură radiată/disipată
<i>Motoare principale</i>	<i>2 buc</i>	<i>2 buc</i>	<i>101 kW/buc</i>	<i>202 kW</i>
<i>Generatoare diesel</i>	<i>2 buc</i>	<i>1 buc</i>	<i>6,4 kW/buc</i>	<i>6,4 kW</i>
<i>Tubulatură de evacuare gaze motoare principale ND350</i>	<i>4 m</i>	<i>4 m</i>	<i>0,3 kW/m</i>	<i>1,2 kW</i>
<i>Tubulatură de evacuare gaze Generatoare diesel ND125</i>	<i>6 m</i>	<i>3 m</i>	<i>0,15 kW/m</i>	<i>0,45 kW</i>
<i>Alte echipamente</i>				<i>6,0 kW</i>
<i>Căldura totală radiată/disipată în compartimentul mașini</i>				<i>Aprox. 216 kW</i>

Suplimentar necesarului de aer pentru răcire este necesară o cantitate de aer pentru combustia motoarelor cu ardere internă. În Tabelul 4.2 sunt indicate debitele de aer necesare pentru combustie, conform fișelor tehnice de la producătorii echipamentelor (Caterpillar, 2021, 2009) (VOLVO PENTA, n.d., n.d.).

Tabelul 4.2 Debitul de aer pentru combustie (Caterpillar, 2021, 2009) (VOLVO PENTA, n.d., n.d.)

Descriere echipament	Cantitate	Debitul de aer pentru combustie	Debitul total de aer pentru combustie
<i>[-]</i>	<i>[buc]</i>	<i>[m³/h/motor]</i>	<i>[m³/h]</i>
<i>Motoare principale</i>	<i>2</i>	<i>6.650</i>	<i>13.300</i>
<i>Generatoare diesel</i>	<i>2</i>	<i>350</i>	<i>350</i>
<i>Debitul total de aer pentru combustie m³/h</i>			<i>13.650</i>

Pe baza modelului de calcul indicat în standardul ISO au fost determinate debitele de aer necesare pentru răcirea tuturor echipamentelor funcționale în compartimentul mașini și pentru combustia motoarelor cu ardere internă. Rezultatele sunt prezentate în Tabelul 4.3.

Tabelul 4.3 Debitul total de aer calculat pentru răcire și combustie (SR ISO 8861, 2002)

Descriere	q_h — Debitul de aer pentru răcire	q_c — Debitul de aer pentru combustie	Q — Debitul de aer cerut
<i>[-]</i>	<i>[m³/h]</i>	<i>[m³/h]</i>	<i>[m³/h]</i>
$Q_a = q_h + q_c$	<i>54,520</i>	<i>13,650</i>	<i>62,170</i>
$Q_b = 1,5 \cdot q_c$		<i>13,650</i>	<i>20,475</i>
<i>Debitul total de aer cerut [m³/h]</i>			<i>62,170</i>

4.3.2.2 Caracteristicile sistemului de ventilație existent la nava de referință

Nava de referință este prevăzută cu un sistem de ventilație pentru compartimentul mașini, care conține șase ventilatoare de introducere. Patru dintre cele șase ventilatoare au

capacitatea de 13.000 m³/h, iar două ventilatoare au capacitatea de 8.000 m³/h, în total sistemul de ventilație existent având capacitatea de 68.000 m³/h.

Ținând cont de faptul că necesarul de aer pentru ventilație este de aproximativ 63.000 m³/h, conform calculului de mai sus, se consideră că ventilatoarele instalate la bordul navei pot asigura necesarul de aer pentru răcire și combustie.

Ventilatoarele instalate la navă sunt prevăzute cu motoare electrice cu puterea electrică a fiecărui ventilator este de 2,2 kW.

4.3.2.3 Calculul debitului de aer pentru combustie și puterea de răcire necesară

După cum este indicat în Tabelul 4.3, conform standardului ISO 8861 (SR ISO 8861, 2002), debitul minim de aer necesar este de 20.475 m³/h. Având în vedere că ventilatoarele instalate la bord nu au debit variabil, pentru a asigura debitul de aer minim cerut trebuie să funcționeze cel puțin un ventilator de 13.000 m³/h și unul de 8.000 m³/h.

Capacitatea de răcire a debitului minim de aer se calculează pe baza standardului ISO 8861 (SR ISO 8861, 2002) după cum urmează,:

$$\Phi m = (0,4 \cdot q_c \cdot \rho \cdot c \cdot \Delta T) + (q_{ha} \cdot \rho \cdot c \cdot \Delta T) = \text{abt. } 40 \text{ kW} \quad (4.1)$$

$$\Phi c = (0,4 \cdot q_c \cdot \rho \cdot c \cdot \Delta T) = \text{abt. } 17,3 \text{ kW} \quad (4.2)$$

Pe baza radiației totale de căldură din interiorul compartimentului mașini de aproximativ 216 kW, calculată mai sus (Tabelul 4.1), și pe baza puterii de răcire a debitului de aer minim pentru combustie, puterea de răcire suplimentară necesară este de aproximativ 199 kW.

4.3.2.4 Principalele aspecte și constrângeri ale sistemelor de ventilație legate de umiditatea relativă și temperatură

Echipamentele electrice instalate la bordul navei sunt proiectate astfel încât să funcționeze corespunzător, chiar și la temperaturi ale aerului de 55°C, conform IACS UR M40 (IACS, 1986).

În ceea ce privește puterea motoarelor principale și auxiliare cu ardere internă, conform Asociației Internaționale a Societăților de Clasificare (IACS), UR-M28 (IACS, 1978), acestea trebuie să fie proiectate astfel încât să asigure puterea nominală la o temperatură a aerului de 45°C și o umiditate relativă de 60%. Totuși, în ceea ce privește confortul persoanelor trebuie menționat că acestea sunt condițiile limită pentru supraviețuirea oamenilor, deoarece indicele de confort termic (THI) pentru o temperatură a aerului de 45°C și o umiditate relativă de 60% are valoarea de peste 100 unități, conform Bohmanova et al. (Bohmanova et al., 2007) și Termotecnica (Termotecnica, 2022).

Pe baza rezultatelor unor analize, Gayan (Kahandagamage, 2014) a confirmat că reducerea temperaturii și a umidității va crește eficiența combustiei și că reducerea temperaturii cu 6°C este "mult mai proeminentă decât creșterea umidității cu 28%" în eficiența procesului de ardere.

În ceea ce privește răspândirea agenților patogeni, creșterea umidității relative va reduce gradul de infecțiozitate, așa cum este indicat în Figura 4.4, conform (Hathaway, 2020) și (Reinders, 2020).

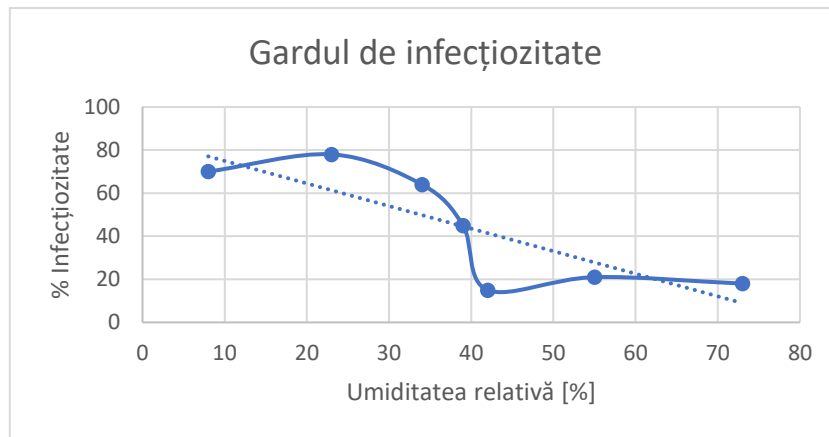


Figura 4.4 Gradul de infecțiozitate în raport cu umiditatea relativă din interiorul camerei (date prelucrate din studiul (Reinders, 2020)).

4.3.2.5 Răcirea adiabatică – Prezentare generală

Procesul de răcire adiabatică se bazează pe vaporizarea apei în aerul cald, ceea ce reduce temperatura aerului și crește umiditatea relativă. Principalele sisteme de răcire adiabatică sunt următoarele:

- Răcirea adiabatică directă - apa este pulverizată direct în aerul care trebuie răcit.
- Răcirea adiabatică indirectă - este similară cu răcirea adiabatică directă cu mențiunea că aerul exterior utilizat în răcirea adiabatică este separat, față de aerul interior care trebuie răcit, cu un schimbător de căldură de tip aer-aer.
- Turnuri de răcire adiabatică - în acest caz răcirea adiabatică directă este utilizată pentru răcirea aerului exterior, care răcește un alt fluid (apă sau alt agent frigorific) printr-un schimbător de căldură de tip aer-agent frigorific.

Căldura pentru vaporizarea apei în stare lichidă la 0°C este de aproximativ 595 kcal/kg (H. Rietschel and Adapted by: Dan Ghitescu, Lucian Klodnisch, 1967) respectiv 2500 kJ/kg conform „Engineering Toolbox” (Engineering ToolBox, n.d.)

Prin urmare, dacă apa este pulverizată în aerul care se dorește a fi răcit, iar aerul nu este saturat din punctul de vedere al umidității relative, apa pulverizată va fi absorbită de aer și se va evapora prin preluarea energiei de vaporizare din aerul înconjurător. În acest fel, umiditatea relativă a aerului va crește, iar temperatura aerului se va reduce prin adăugarea energiei latente a apei în aer.

În analizele realizate în acest studiu se va utiliza temperatura medie a apei de 30 °C și căldura de vaporizare de 675 W/kg.

4.3.2.6 Principalele constrângeri pentru răcirea adiabatică directă

Apa dulce care poate fi utilizată în răcirea adiabatică directă conține magneziu, calciu și alte particule care se pot depune în duzele de pulverizare a apei și le poate înfunda în timp. Unele dintre aceste minerale vor fi evacuate la exterior împreună cu aerul, dar se așteaptă ca altele să se acumuleze în diferite locuri din interiorul compartimentului.

Pentru a evita acest tip de problemă, sau pentru a reduce impactul, se recomandă demineralizarea apei înainte de a fi folosită pentru răcire.

În cazul sistemului de răcire cu apă pulverizată la presiune înaltă, pentru a evita înfundarea duzelor și costurile ridicate de întreținere, Rasmussen (Condair AG, n.d.) recomandă menținerea durtății apei utilizate în acest tip de sistem de răcire la 70÷90 mg/L ceea ce echivalează cu 70÷90 ppm.

O altă problemă care ar trebui analizată pentru sistemele de răcire adiabatică directă se referă la agenții patogeni, care pot fi conținuți de apa care este pulverizată în procesul răcirii adiabatică directe. Pentru curățarea și dezinfectarea apei folosite în sistemul de răcire adiabatică directă pot fi folosite lămpi UVC care au un consum energetic redus și eficiență bună în privința neutralizării agenților patogeni.

4.3.2.7 Calitatea și duritatea apei potabile la furnizorii locali

Conform rapoartelor anuale ale furnizorului local de apă potabilă (Apa Canal SA Galați, 2019, 2020) (Apa Canal SA Galați, 2020, 2019) și a altor rapoarte lunare publicate de Ministerul Sănătății, Direcția de Sănătate Publică (Ministerul Sanatatii - Directia de sanatate publica Giurgiu, 2022, 2021), se poate concluziona că apa potabilă de la furnizorii locali conține o cantitate de Ca și Mg cuprinsă între 195 mg/L și 658 mg/L (ppm). Prin urmare, trebuie utilizat un sistem de dedurizare pentru a reduce duritatea apei la aproximativ 90 ppm.

4.3.2.8 Condițiile de mediu din zona Dunării

Pentru analiza condițiilor de mediu din zona Dunării s-a luat în considerare scenariul cel mai defavorabil pentru sistemul de ventilație, respectiv temperaturi exterioare de peste 25°C. Au fost studiate seriile de timp ale temperaturilor și umidității relative înregistrate în lunile iunie, iulie, august și septembrie, anul 2021, pentru următoarele zone de pe cursul Dunării: Tulcea, Galați, Călărași și Drobeta Turnu Severin.

Conform datelor analizate, temperatura pentru Călărași poate fi considerată ca o temperatură medie pentru toată zona Dunării românești, cu mici diferențe la Galați și Tulcea, care sunt în general mai mici de 1 °C.

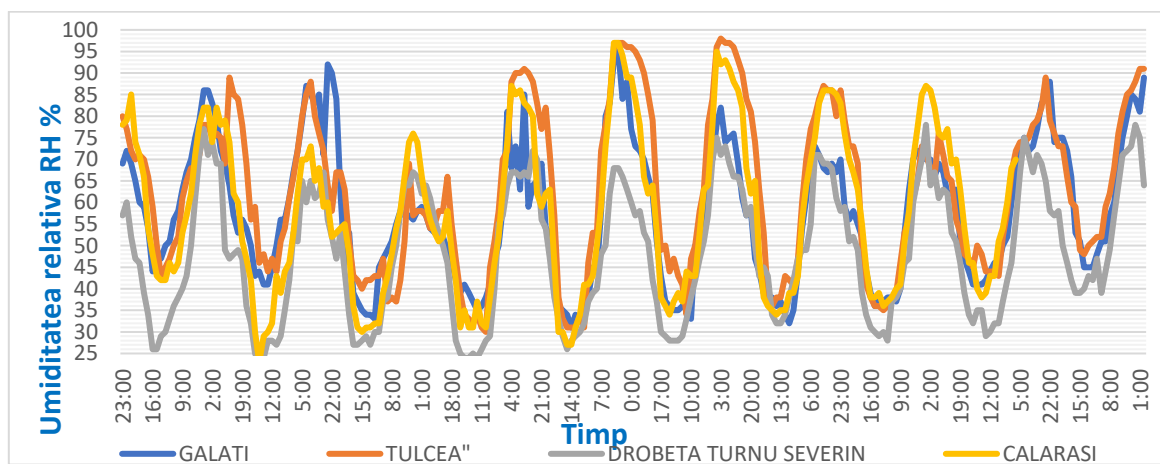


Figura 4.5 Seria cronologică a umidității relative 21÷30 iulie 2021 (date preluate din (OGIMET, 2021))

Pe baza datelor analizate, s-a concluzionat că pentru acest studiu valorile temperaturilor și umidității relative valabile din zona Călărași pot fi considerate valori medii pentru toate zonele Dunării.

Conform datelor înregistrate pentru lunile iunie, iulie, august și septembrie, se concluzionează că umiditatea relativă este ridicată în timpul nopții, când temperatura este sub 25°C, dar scade în timpul zilei când temperatura aerului crește, ceea ce creează condiții bune pentru utilizarea răcirii adiabatică directe.

4.3.3 Rezultate și discuții

Pe baza datelor privind temperaturile și umiditățile relative preluate pentru lunile iunie, iulie, august și septembrie rezultă că temperatura de peste 25°C a fost înregistrată pentru o perioadă de 943 de ore. În centralizatorul prezentat în Tabelul 4.4, se concluzionează că umiditatea relativă este mai mică de 50% în mai mult de 50% din timpul total. Aceasta este mai mare de 60% în 16,5% din timpul total, dar trebuie remarcat faptul că în acest timp, temperatura aerului este în general sub 30°C. Există doar 0,5% din timpul total când umiditatea aerului este mai mare de 60% și temperatura exterioară este de peste 30°C.

Tabelul 4.4 Umiditatea relativă pentru temperaturi de peste 25°C în lunie, Iulie, August, și Septembrie 2021 (date prelucrate din referința (OGIMET, 2021))

Umiditatea Relativă	Toate	RH < 40%		40% ≥ RH ≤ 50%	50% > RH < 60%	RH ≥ 60%	
Temperatura	≥25 °C	<30 °C	≥30 °C	<30 °C ≥30 °C	<30 °C ≥30 °C	<30 °C	≥30 °C
Iunie [ore] (Temp. medie & RH)	164 -	1 (28°C, 38%RH)	1 (33°C, 39%RH)	27 29 (30°C, 45%RH)	36 22 (30°C, 55%RH)	45	3
Iulie [ore] (Temp. medie & RH)	337 -	22 (28°C, 37%RH)	64 (34°C, 35%RH)	47 66 (30°C, 45%RH)	73 21 (28°C, 55%RH)	44	0
August [ore] (Temp. medie & RH)	342 -	62 (28°C, 37%RH)	63 (33°C, 35%RH)	54 39 (30°C, 45%RH)	49 11 (27°C, 54%RH)	62	2
Septembrie [ore] (Temp. medie & RH)	100 -	74 (28°C, 35%RH)	6 (31°C, 35%RH)	16 0 (27°C, 43%RH)	4 0 (26°C, 54%RH)	0	0
TOTAL [ore]	943	159	134	278	216	151	5
		16,9%	14,2%	29,5%	22,9%	16,0%	0,5%
			293	278	216		156
			31,1%	29,5%	22,9%		16,5%

Notă: Datele indicate în paranteze "(" reprezintă temperatura medie și umiditatea relativă medie conform datelor înregistrate (de exemplu, în luna iulie RH < 40% și temperatura < 30°C au fost înregistrate timp de 22 de ore, iar temperatura medie și umiditatea relativă în acest timp au fost de 28°C, 37% RH). Aceste valori medii ale temperaturii și umidității relative vor fi utilizate pentru calculele și analizele de mai jos.

În continuare este analizată capacitatea de răcire a aerului, utilizând un sistem de răcire adiabatică directă prin pulverizarea apei la presiune ridicată, pentru nava de referință în condițiile de mediu centralizate în Tabelul 4.4.

Capacitatea totală de răcire (latentă și sensibilă) se calculează cu următoarea formulă:

$$\Phi t = qha \cdot \rho_a \cdot \Delta h \quad (4.3)$$

unde:

Δh [kJ/kg]—reprezintă diferența de entalpie a amestecului de aer (aer și vapori de apă) (Conform diagramei Mollier (AIR IN MOTION, 2025))

qha $\left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right]$ —reprezintă debitul de aer al sistemului de ventilație fără aer pentru combustie

ρ_a $\left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right]$ —densitatea aerului

În Tabelul 4.5 sunt prezentate două variante de funcționare a sistemului de ventilație împreună cu sistemul de răcire adiabatică directă. Pentru fiecare dintre cele două variante sunt indicate ventilatoarele funcționale, debitul de aer al sistemului de ventilație, debitul de aer cerut pentru combustie și debitul de aer care realizează răcirea.

Tabelul 4.5 Caracteristicile sistemului de ventilație pentru două variante de răcire adiabatică directă

Nr. Crt.	Ventilatoare funcționale	Debitul total de aer	Încărcarea sistemului de ventilație	Debitul de aer pentru combustie	Debitul de aer pentru răcire
[-]	[-]	[m ³ /h]	[%]	[m ³ /h]	[m ³ /h]
1.	1 × 8.000 m ³ /h + 1 × 13.000 m ³ /h	21.000	31%	13.650	7.350
2.	2 × 13.000 m ³ /h	26.000	38%	13.650	12.350

În Tabelul 4.6 sunt calculate următoarele: indicele de confort termic (THI), umiditatea relativă și puterea de răcire adiabatică directă calculată pentru debitul de aer de răcire de 7350 m³/h și debitul total de aer de 21.000 m³/h (un ventilator de 8000 și unul de 13.000 m³/h), pentru temperatura aerului interior 45°C. Umiditatea relativă este cea rezultată din calcul în condițiile date și urmează să se verifice dacă aceasta are valori sub 60% conform cerințelor IAC SUR-M28 (IACS, 1978).

Capacitatea de răcire a sistemului de ventilație cu răcire adiabatică directă este calculată pentru debitul minim de aer solicitat, prin pornirea unui ventilator de 13.000 m³/h și a unui ventilator de 8.000 m³/h, în total 21.000 m³/h.

Tabelul 4.6 Centralizator rezultate răcire adiabatică pentru varianta 1

Durata (ore)	Caracteristicile aerului exterior					Puterea de răcire			Caracteristicile aerului interior			
	Temperatura	RH	THI- Index confort	Umiditate absoluta	Entalpia	Căldura sensibilă	Căldura latentă	Debit apă	Umiditate adăugată	Umiditate absolută după răcirea adiabatică	RH	THI- Index confort
01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13
[-]	[°C]	(%)	[-]	[g/kg]	[kJ/kg]	[kw]	[kw]	[l/h]	[g/kg]	[g/kg]	[%]	[%]
1	28	38	74,1	8,9	49,9	40	159	236	28,4	37,4	60	100,8
84	28	37	73,9	8,7	49,3	40	159	236	28,4	37,1	60	100,7
74	28	35	73,7	8,2	48,2	40	159	236	28,4	36,7	59	100,6
1	33	39	80,2	12,3	62,8	28	171	253	30,5	42,8	68	103,3
64	34	35	80,6	11,6	62,3	26	173	257	30,9	42,6	68	103,3
63	33	35	79,5	11,0	59,8	28	171	253	30,5	41,5	66	102,8
6	31	35	77,1	9,8	54,9	33	166	246	29,7	39,5	63	101,9
262	30	45	77,5	11,9	59,1	35	164	243	29,3	41,2	66	102,6
16	27	43	73,5	9,6	50,4	42	157	233	28,0	37,6	60	101,0
58	30	55	79,1	14,7	65,5	35	164	243	29,3	43,9	70	103,8
94	28	55	76,4	13,0	59,7	40	159	236	28,4	41,5	66	102,8
60	27	54	74,9	12,0	56,3	42	157	233	28,0	40,1	64	102,1
4	26	54	73,5	11,3	53,7	44	155	229	27,6	38,9	62	101,6

Similar celor prezentate în Tabelul 4.6, și Tabelul 4.7 sunt prezentate indicele de confort termic (THI), umiditatea relativă și puterea de răcire adiabatică directă, dar calculate pentru debitul de aer de răcire de 12.350 m³/h și debitul total de aer de 26.000 m³/h (două ventilatoare de 13.000 m³/h), pentru temperatura aerului interior 45°C. Umiditatea relativă se calculează

pentru condițiile date și urmează să se confirme că aceasta are valori sub 60% conform cerințelor IACS UR-M28 (IACS, 1978). Pe baza temperaturii finale de 45°C și a umidității relative rezultate în compartimentul mașini după efectuarea răcirii adiabatică directe, se vor calcula indicii de confort termic pentru a vedea dacă aceste condiții sunt optime și pentru personalul de la bord.

În această variantă, debitul de aer este mărit, astfel încât capacitatea de răcire solicitată să poată fi acoperită în toate condițiile de mediu exterioare fără a depăși umiditatea relativă de 60%. Prin urmare, pentru această variantă se folosesc două ventilatoare de 13.000 m³/h (total 26.000 m³/h).

Tabelul 4.7 Centralizator rezultate răcire adiabatică pentru varianta 2

Durata (ore)	Caracteristicile aerului exterior					Putere de răcire			Caracteristicile aerului interior		
	Temperatura	RH	THI- Index confort	Umiditate absolută	Entalpia	Căldura sensibilă	Căldura latentă	Debit apă	Umiditate absolută după răcirea adiabatică	RH	THI- Index confort
01	02	03	04	05	06	07	08	09	11	12	13
[-]	[°C]	[%]	[-]	[g/kg]	[kJ/kg]	[kW]	[kW]	[l/h]	[g/kg]	[%]	[%]
1	28	38	74,1	8,9	49,9	67	132	196	23	38	94,2
84	28	37	73,9	8,7	49,3	67	132	196	23	38	94,2
74	28	35	73,7	8,2	48,2	67	132	196	22	36	93,7
1	33	39	80,2	12,3	62,8	47	152	225	28	46	96,5
64	34	35	80,6	11,6	62,3	43	156	231	28	46	96,5
63	33	35	79,5	11,0	59,8	47	152	225	27	44	96,0
6	31	35	77,1	9,8	54,9	55	144	214	25	41	95,1
262	30	45	77,5	11,9	59,1	59	140	208	27	44	96,0
16	27	43	73,5	9,6	50,4	70	129	190	23	38	94,2
58	30	55	79,1	14,7	65,5	59	140	208	30	35	93,2
94	28	55	76,4	13,0	59,7	67	132	196	27	44	96,0
60	27	54	74,9	12,0	56,3	70	129	190	26	42	95,6
4	26	54	73,5	11,3	53,7	74	125	185	25	41	95,1

În Tabelul 4.6 și Tabelul 4.7, în coloana 01 este indicată durata de timp în care s-au înregistrat temperaturile și umiditățile indicate în coloanele 02 și 03, în conformitate cu datele înregistrate și centralizate în Tabelul 4.4.

Umiditatea absolută (coloana 05), entalpia (coloana 06) și umiditatea relativă finală (coloana 12) sunt determinate din diagrama Mollier (AIR IN MOTION, 2025) pe baza caracteristicilor aerului indicate în tabel. Căldura latentă de răcire adiabatică (coloana 08) s-a calculat ca diferența dintre puterea totală de răcire necesară (199 kW) și puterea de răcire sensibilă calculată în coloana 07. Debitul de apă pentru răcirea adiabatică (coloana 09) s-a calculat utilizând puterea de răcire latentă din coloana 08. Umiditatea absolută adăugată de răcirea adiabatică (coloana 10) s-a calculat în funcție de debitul de apă (coloana 09) și de debitul de aer pentru răcire. Umiditatea absolută după răcirea adiabatică directă este calculată ca o sumă a coloanelor 05 și 10, iar pe baza acesteia, umiditatea relativă finală este determinată din diagrama Mollier.

În Tabelul 4.6, calculul a fost efectuat pentru debitul minim de aer solicitat de standardul ISO (150% din debitul de aer de ardere). Debitul de apă pentru răcirea adiabatică este calculat

pentru a asigura o temperatură maximă de 45°C în compartimentul mașini. Debitul de aer pentru combustie nu este inclus în răcirea adiabatică directă, prin urmare, numai debitul de aer de răcire de 7350 m³/h este utilizat în calcule.

Conform rezultatelor calculelor se poate concluziona că, în varianta 1, sistemul de ventilație poate asigura aerul pentru combustie și răcirea necesară în compartimentului mașini prin funcționarea sistemului de ventilație la 31%, dar umiditatea relativă va depăși limita de 60%. Aceste condiții nu sunt recomandate de Asociația Internațională a Societăților de Clasificare (IACS).

În varianta a doua (Tabelul 4.7), debitul de aer crește de la 31% la 38% din capacitatea totală a sistemului de ventilație prin pornirea celor două ventilatoare de 13.000 m³/h. După cum se poate observa în Tabelul 4.7, puterea de răcire și condițiile de mediu în compartimentul mașini sunt îmbunătățite, iar sistemul este capabil să asigure atât răcirea cât și aerul necesar pentru combustie, îmbunătățind și valoarea indicelui de confort în interiorul încăperii. Aceste condiții de mediu sunt acceptate pentru buna funcționalitate a echipamentelor, dar și pentru supraviețuirea echipajului, deși indicele de confort termic (THI) are valori peste 90 unități, ceea ce reprezintă starea de disconfort termic. Prin urmare nu este recomandat pentru compartimentele care au mașini care trebuie supravegheate permanent.

În aceste condiții, sistemul de răcire adiabatică consumă aproximativ 200 l/h de apă pentru a opri 4 ventilatoare cu o putere electrică totală de aproximativ 8,8 kW.

Utilizând răcirea adiabatică directă, consumul orar de energie al sistemului de ventilație poate fi redus cu până la aproximativ 5 kWh pentru nava de referință. Pentru o perioadă totală de 943 de ore în timpul verii, reducerea consumului de energie electrică poate fi de aproximativ 4700 kWh. Având în vedere valoarea medie a consumului de combustibil de 230 g/kW (VOLVO PENTA, n.d.) pentru generatoarele diesel, se obține o economie de aproximativ 1250 l de combustibil. Totuși nu trebuie neglijată influența creșterii umidității relative asupra eficienței combustiei care poate anula această eficientizare a sistemului de ventilație, în cazul în care umiditatea relativă a aerului de combustie crește.

Pentru o utilizare cât mai eficientă, sistemul de răcire adiabatică poate fi prevăzut cu start/stop automat bazat pe senzorii de temperatură și umiditate relativă instalați în interiorul compartimentului mașini. Debitul de aer poate fi mărit atunci când personalul de la bord intră în compartiment, pentru a reduce disconfortul termic generat de umiditatea ridicată.

De asemenea problema umidității relative poate fi rezolvată prin utilizarea răcirii adiabatică indirecte, dar în acest caz costurile de instalare și spațiul necesar la navă sunt mult mai mari și trebuie analizate pentru fiecare tip de navă.

4.3.4 Concluzii

Sistemul de răcire adiabatică directă poate fi utilizat ca sistem adițional la sistemul de ventilație existent al compartimentului mașini, în cazul în care sistemele de ventilație existente nu pot asigura necesarul de răcire.

Dat fiind creșterea umidității relative și a indicelui de confort termic, sistemul de răcire adiabatică directă poate fi utilizat în special în compartimentele în care nu este necesară prezența permanentă a echipajului.

Conform calculului efectuat la nava de referință, capacitatea sistemului de ventilație poate fi redusă până la 38% prin utilizarea răcirii adiabatică directe, iar consumul de energie al sistemului de ventilație poate fi redus cu peste 50%. Totuși, această creștere a eficienței sistemului de ventilație trebuie analizată împreună cu reducerea eficienței arderii interne la motoarele principale și generatoarele diesel.

Pentru sistemul de răcire adiabatică directă se recomandă dedurizarea și dezinfectarea apei, astfel încât cantitatea de minerale să fie redusă sub 90 ppm și agenții patogeni să fie neutralizați prin sisteme de curățare chimică sau cu lumină ultravioletă (UVC).

Trebuie menționat că aceasta este o soluție simplă și ușor de instalat inclusiv la navele aflate în operare, pentru a rezolva problema răcirii compartimentului mașini în condiții de mediu extreme, fără a fi nevoie de reducerea capacității navei.

CAPITOLUL 5: OPTIMIZAREA CURGERII ÎN SISTEMLER NAVALER DE VENTILAȚIE

5.1 Ipoteze de lucru și obiective generale

În acest capitol este analizată eficientizarea sistemului de ventilație prin reducerea pierderilor totale de presiune și obținerea unei curgeri eficiente prin tronsoanele de ventilație și prin grilele de ventilație.

5.1.1 Modalități de optimizare a sistemelor navale de ventilație

Pentru identificarea soluțiilor optime de proiectare a instalațiilor de ventilație ale compartimentelor mașini, sau pentru optimizarea instalațiilor existente, se pot realiza modele 3D ale sistemelor de ventilație și analize CFD (Computational Fluid Dynamics). Pe baza analizelor CFD, se pot determina următoarele:

- Analiza curgerii (presiuni, viteze și linii de curent) în chesoanele de distribuție și identificarea soluțiilor constructive cu pierderi de sarcină minime.
- Identificarea soluțiilor optime pentru amenajarea echipamentelor

5.1.2 Instrumente de analiză CFD

În cadrul studiului făcut de Jiying Liu et al, 2019 (Liu et al., 2019), autorii au studiat rezultatele publicate în 60 de articole, având ca temă analize CFD pentru sistemele de ventilație. Autorii (Liu et al., 2019) au concluzionat că „ANSYS Fluent” este cel mai popular program de analiză CFD, fiind utilizat în peste 63% din articolele studiate.

5.1.3 Cercetări actuale și rezultate privind optimizarea sistemelor navele de ventilație

În ultimii ani au fost realizate mai multe studii privind optimizarea sistemelor de ventilație.

Yingchun Xie et al. (Xie et al., 2019) au realizat o analiză CFD a sistemului de ventilație al compartimentului mașini pentru platforma petrolieră „JU-2000E tip jack-up”, utilizând programul ANSYS FLUENT.

În urma analizei, autorii au identificat varianta de amenajare care oferă cea mai bună performanță a sistemului de ventilație.

Autorii au investigat și soluția de răcire prin adăugarea în aerul de răcire a apei pulverizate, concluzia fiind că pulverizarea apei ajută la reducerea temperaturii aerului de răcire. Totuși, s-a constatat că temperatura aerului de răcire scade pentru umidități relative între 30 % și 50 %, peste umiditatea relativă de 50 %, având performanțe mai reduse.

Tasdemir și Bayraktar (Tasdemir și Bayraktar, 2016) au realizat un model 3D și o analiză CFD pentru un remorcher prevăzut cu motoare principale tip Caterpillar, cu forța de tragere de 60 t, remorcher construit de șantierul naval Sanmar, din Turcia. Autorii au măsurat temperaturile din interiorul compartimentului mașini în timpul probelor de duranță ale navei pe mare, cu funcționarea navei la viteza maximă timp de 6 ore. Prin urmare s-au măsurat temperaturile și debitele de aer în starea de echilibru. La măsurarea debitelor de aer la navă s-a constatat că, din cauza pierderilor de sarcină din sistemul de ventilație, debitele reale au fost cu 15% mai mici decât cele indicate în documentația navei.

Pentru analiza CFD s-a considerat starea de echilibru, regimul de curgere turbulent, fluidul incompresibil, utilizând pentru calcule modelul Standard k- ϵ (SKE). Pe baza acestui model CFD s-a determinat distribuția temperaturilor și debitelor de aer în interiorul compartimentului mașini cu scopul declarat de a îmbunătăți confortul termic și eficiența motoarelor.

Novi Shobi Hendri et al. (Hendri et al., 2018) au făcut o analiză CFD, utilizând programul ANSYS, pentru sistemul de ventilație al compartimentului mașini de la o Fregată a Marinei Indoneziei. Studiul a fost necesar întrucât temperaturile în compartimentul mașini ajungeau la 60°C și 65°C..

Autorii au mărit capacitatea ventilatoarelor și au analizat 3 soluții de amenajare a chesoanelor de distribuție.

După ce au fost realizate mai multe simulări, s-a obținut o soluție de amenajare cu 24 de grile de evacuare, în care temperatura aerului în compartimentul mașini a scăzut de la $60^{\circ}\text{C} \div 65^{\circ}\text{C}$ la 41°C .

Agoes Santoso et al. (Agoes Santoso et al., 2017) au realizat o analiză CFD pentru optimizarea sistemului de ventilație al compartimentului mașini la o navă de transport marfă cu capacitatea de 8000 tdw..

Pe baza analizei CFD, autorii au identificat cea mai eficientă variantă a sistemului de ventilație, temperatura în compartimentul mașini fiind menținută sub 45°C . Concluzia finală a autorilor a fost aceea că problemele privind supraîncălzirea compartimentelor mașini nu este întotdeauna determinată de capacitatea insuficientă a ventilatoarelor. De cele mai multe ori supraîncălzirea se datorează unei distribuții ineficiente a aerului în compartiment.

5.1.4 Concluzii

Proiectarea unor sisteme de ventilație eficiente a devenit în ultimul timp o provocare pentru companiile de proiectare.

Concluzia generală este că, în cele mai multe cazuri, capacitatea insuficientă a sistemului de ventilație nu este datorată subdimensionării ventilatoarelor ci, de cele mai multe ori, problema este datorată unei amenajări necorespunzătoare a echipamentelor și a sistemului de distribuție a aerului în compartimentul mașini.

Îmbunătățirea sistemelor de ventilație pentru navele analizate s-a realizat utilizând analize CFD. Pentru aceste analize s-a considerat starea de echilibru, regimul de curgere turbulent, fluidul incompresibil și în general s-a utilizat modelul de calcul Standard k- ϵ .

5.2 Validarea modelului CFD pentru simulări numerice

5.2.1 Modele utilizate în alte analize CFD pentru sisteme de ventilație

În ultimii ani, au fost publicate mai multe studii pentru optimizarea sistemelor de ventilație prin utilizarea analizelor CFD, în special pentru sistemele de ventilație de la țarm, dar sunt și studii pentru rezolvarea unor probleme constatate la navele în exploatare.

În cazul ventilației pentru o cabină, Yingchun Xie et al. (Xie et al., 2019) au subliniat că modelul standard k- ϵ și modelul (SST) k- ω au oferit cele mai bune rezultate, iar modelul standard k- ϵ a fost adoptat pentru studiul lor. Tasdemir și Bayraktar (Tasdemir and Bayraktar, 2016) au folosit un model standard k- ϵ pentru îmbunătățirea ventilației compartimentului mașini. Un astfel de model standard k- ϵ a fost folosit și de Chang et al. (Chang et al., 2019) pentru a optimiza sistemele de ventilație pentru o mină subterană. Tai et al. (Tai et al., 2022) au folosit modelul RNG k- ϵ pentru a investiga unghiurile jaluzelelor.

Modelul k- ϵ a fost utilizat de Zheng et al. (Zheng et al., 2020) pentru simulări CFD ale "fluxului de vânt și presiunii medii de suprafață pentru clădirile cu balcoane". Modelul de turbulență k- ϵ a fost utilizat cu succes în multe simulări CFD ale curenților de aer în jurul clădirilor [(Allegrini and Kubilay, 2017; Blocken et al., 2012; Defraeye and Carmeliet, 2010; Montazeri and Blocken, 2013; Montazeri and Montazeri, 2018; Tominaga and Stathopoulos, 2009)]. Smyk et al. (Smyk et al., 2017) au concluzionat că deflectoarele pot reduce turbulențele și pot influența stabilizarea debitului de aer. Pakawhat și Yottana (Pakawhat Khumkhreung and Yottana Khunatorn, 2017), au folosit modelul Standard k- ϵ CFD pentru a analiza pierderile de presiune în conducte.

5.2.2 Măsurători experimentale și modelul CFD

Pentru evaluarea impactului grinzilor transversale din interiorul conductelor de ventilație, au fost efectuate măsurătorile experimentale, folosind facilitățile din laboratorul Facultății de Arhitectură Navală din cadrul Universității "Dunărea de Jos" din Galați.

Schițele zonei de încercare în tunelul aerodinamic, cu modelul instalat în interior, sunt prezentate în Figura 3.1 și Figura 3.2, unde este indicată poziția punctelor de măsurare după cum urmează: punctul de măsură T1 situat în amonte de grindă, respectiv T2 situat în aval de grindă. Intrarea, respectiv ieșirea, se referă numai la zona de încercare și este adăugată pentru a indica direcția fluxului de aer.

Simularea CFD se realizează la scară naturală a modelului și la scară naturală a secțiunii de testare a tunelului aerodinamic care simulează conducta de ventilație. Calculele au fost efectuate folosind ANSYS Fluent, luând în considerare diferite modele de turbulențe și o rețea tetraedrică cu dimensiuni diferite (grosieră, medie și fină). Modelul 3D utilizat în calculul CFD este realizat în conformitate cu Figura 3.1 și Figura 3.2, care au fost extinse cu 5 m în aval de zona de testare prin păstrarea secțiunii transversale.

5.2.3 Validarea rezultatelor CFD cu măsurătorile experimentale

Viteza aerului înregistrată în timpul măsurătorilor experimentale în tunelul aerodinamic în cele două zone de măsurare, T1 (în amonte de model) și, respectiv T2 (în aval de model), sunt comparate cu datele obținute în urma calculului CFD în aceleași puncte de măsurare.

În Figura 5.1 sunt prezentate rezultatele măsurătorilor experimentale și rezultatele obținute cu diverse modele CFD, utilizând modelul cu înălțimea de 288 mm și viteza medie de admisie la intrarea în chesonul de ventilație de 7,9 m/s. După cum se observă în graficul din Figura 5.1, viteza aerului obținută din calculul CFD în partea superioară a tunelului se potrivește foarte bine cu datele înregistrate în timpul măsurătorilor experimentale. În zona inferioară a tunelului sunt mici diferențe între vitezele calculate cu diferite modele CFD, dar rezultatele sunt destul de diferite față de cele înregistrate în timpul experimentului. Aceste diferențe se explică prin precizia scăzută a măsurătorilor în această zonă.

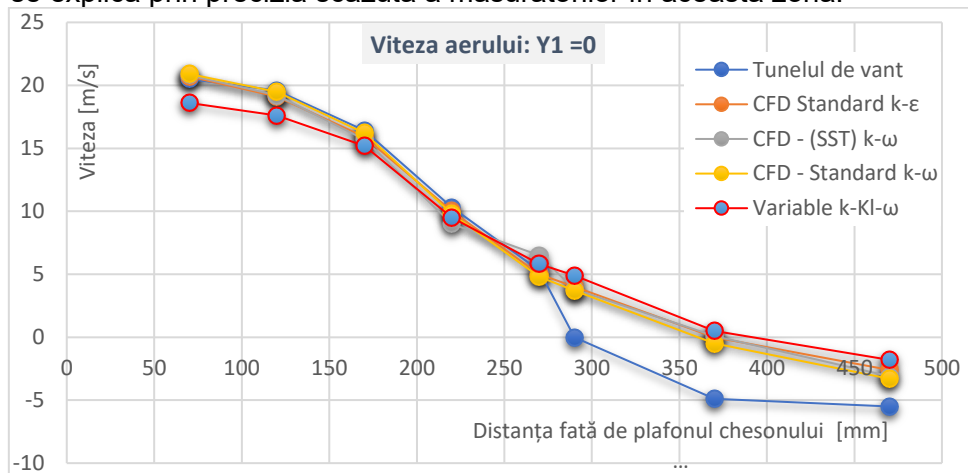


Figura 5.1. Viteza aerului în secțiunea de măsurare T2.

5.3 Optimizare curgerii în sistemele navale de ventilație

În acest capitol sunt analizate soluțiile de eficientizare a sistemului de ventilație prin optimizarea curgerii aerului prin chesoanele și grilele de ventilație. Studiul privind optimizarea curgerii prin chesoanele de ventilație cu elemente structurale la interior a fost publicat în revista „Marine Science and Engineering” în anul 2023 (Mihai and Rusu, 2023)

5.3.1 Introducere

Dacă din diverse motive grinzile structurale transversale nu pot fi evitate și sunt integrate în chesonul de ventilație, atunci curgerea prin acel cheson de ventilație trebuie analizată cu mare atenție și grinzile trebuie prevăzute cu defletoare de aer sau decupări. În acest capitol vor fi prezentate analizele CFD pentru diverse situații de amenajare a chesonului de ventilație.

O altă componentă care trebuie analizată în realizarea sistemelor de ventilație este amplasarea ventilatorului în raport cu grilele de ventilație și chesoanele de distribuție.

5.3.2 Influența grinzii transversale asupra fluxului de aer și a căderii de presiune

Utilizând modelul CFD validat cu măsurătorile experimentale, s-a analizat impactul grinzilor structurale transversale din interiorul conductelor de ventilație și soluțiile posibile pentru îmbunătățirea fluxului de aer și reducerea pierderilor de presiune din interiorul acestor conducte.

Conform datelor experimentale, viteza aerului în partea superioară a tunelului crește de la aproximativ 8 m/s în amonte de grindă la 18–20 m/s în aval. În același timp, în umbra grinzii, fluxul de aer își schimbă direcția (Figura 5.2) datorită efectului de ejector asupra grinzii. Prin urmare, grinda transversală are un impact foarte mare asupra fluxului de aer din interiorul conductei de ventilație prin creșterea vitezei de aproximativ 2,5 ori în partea superioară a conductei de ventilație. În plus, turbulențele sunt foarte mari, se inițiază un vârtej mare de aer, iar fluxul de aer cu circulație inversă din umbra grinzii are o lungime de aproximativ 2,5 m.

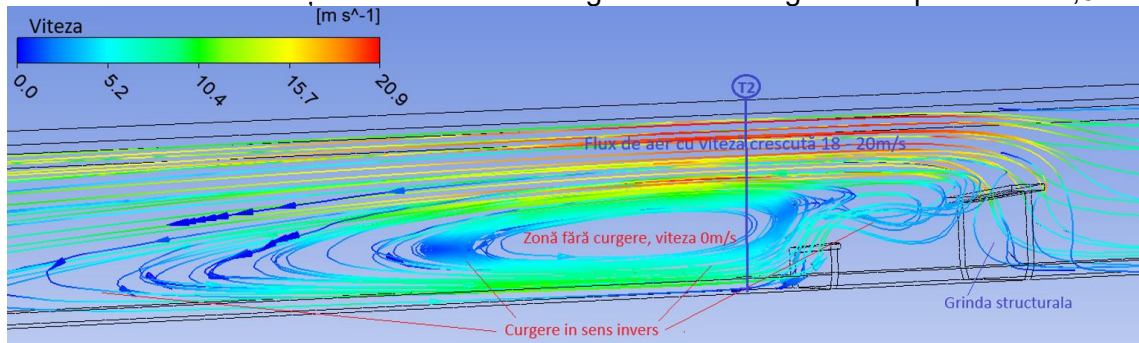


Figura 5.2. Liniile curentilor de aer. Model CFD cu dimensiunea grinzii de 288 mm fără deflectoare

Pe baza acestor efecte ale grinzii asupra fluxului de aer, este de așteptat ca o cantitate importantă de energie să fie irosită în această zonă a conductei.

5.3.3 Măsurile de îmbunătățire a curgerii pentru grinda transversală de 288mm fără decupare

Având în vedere faptul că, grinda transversală din interiorul conductelor de ventilație are o influență mare asupra fluxului de aer și a căderii de presiune, se poate afirma că nu este recomandată incorporarea unor grinzi structurale transversale în interiorul conductelor de ventilație. Cu toate acestea, sunt situații când conductele structurale nu pot fi evitate din cauza înălțimii mici și a amenajării încăperilor. În consecință, trebuie prevăzute deflectoare de aer pentru a ocoli grinda structurală.

În continuare au fost analizate următoarele două alternative pentru îmbunătățirea fluxului de aer prin conducta de ventilație cu grinzi transversale în interior.

- Adăugarea unui deflector de aer în amonte de grindă
- Adăugarea deflectoarelor atât în amonte cât și în aval de grindă.

Adăugarea unui deflector de aer în amonte de grinda transversală

Prin adăugarea unui deflector de aer în amonte de grinda transversală, aria secțiunii transversale a jetului de aer crește, iar viteza aerului în acea zonă scade de la 18–20 m/s la 12–14 m/s, așa cum se poate vedea în Figura 5.3. Vârtejurile de aer încă se formează în aval de grinda transversală, dar cu o mărime și intensitate mai mică.

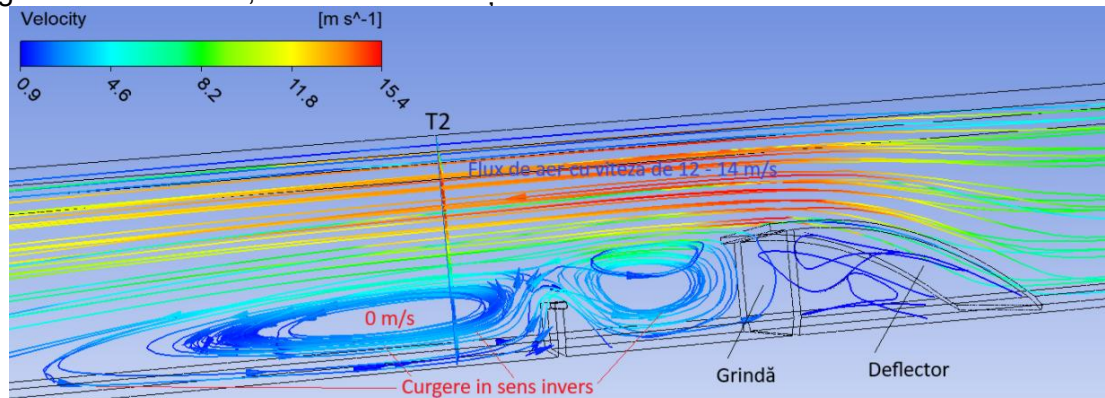


Figura 5.3. Linii de curent; Model CFD cu dimensiunea grinzii de 288 mm cu deflector în amonte de grindă transversală

Adăugarea deflectorului în amonte uniformizează jetul de aer la intrarea în zona grinzii, măbind astfel suprafața de curgere în această zonă cu aproximativ 30%, ceea ce duce la scăderea vitezei și în consecință, micșorarea lungimii jetului de aer în aval de grindă.

Adăugarea unor defletoare de aer în amonte și în aval de grinda transversală

Prin adăugarea defletoarelor de aer atât în amonte cât și în aval de grindă, fluxul de aer și liniile de curent sunt mult îmbunătățite. După cum ilustrează Figura 5.4, problema cu vârtejurile mari și curentul de aer în sens opus curgerii normale este rezolvată. În această situație, liniile de curent urmăresc defletoarele de aer iar curgerea este foarte mult îmbunătățită.

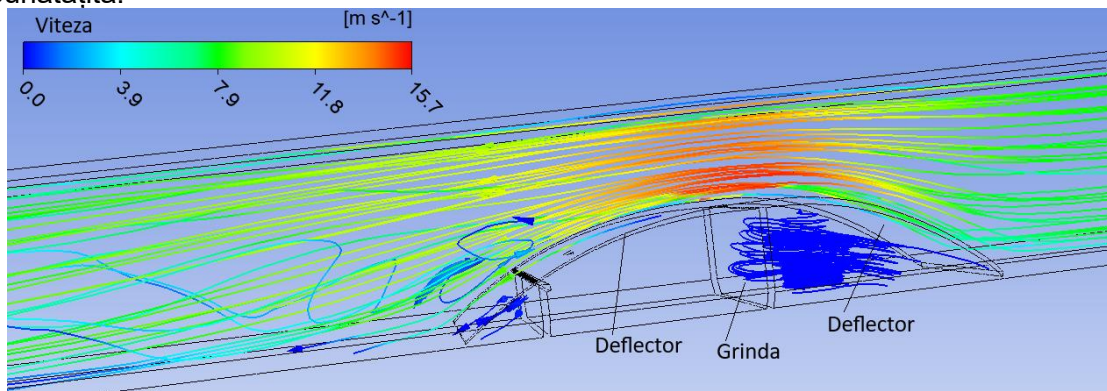


Figura 5.4. Linii de curent; Model CFD cu o dimensiune a grinzii de 288 mm cu defletoare de aer în amonte și în aval de grindă transversală.

Distribuția vitezelor de curgere

În ceea ce privește distribuția vitezelor, în cazul variantei fără defletoare, viteza scăzută a aerului pe distanțe lungi în umbra grinzii este evidențiată cu nuanțe de culoare albastră în Figura 5.5. Jetul de aer format în zona grinzii nu se dispersează nici după 7,5m. Prin urmare, deși chesonul de ventilație în aval de grindă are o secțiune adecvată pentru pierderi de sarcină și zgomote relativ mici, în realitate această secțiune nu este utilizată din cauza jetului de aer format în zona grinzii.

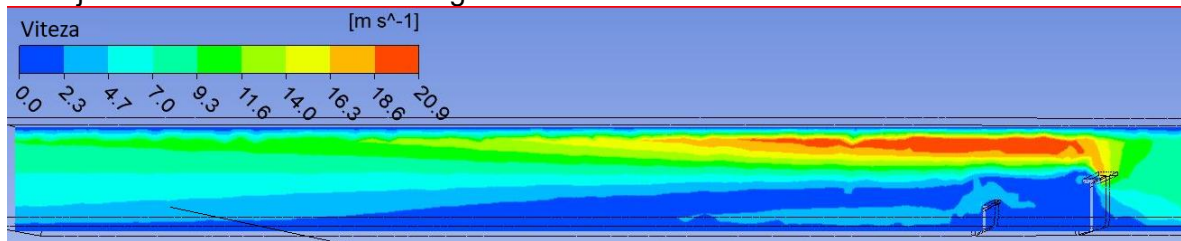


Figura 5.5. Viteza aerului; Grinda transversală fără defletoare; secțiune longitudinală (model CFD cu dimensiunea grinzii de 288 mm, viteza aerului de admisie de 7,9 m/s).

După adăugarea deflectorului în amonte de grindă, viteza aerului va continua să fie diferită în aval de grindă, dar lungimea și înălțimea zonei cu viteză redusă a aerului sunt micșorate în comparație cu grinda fără deflector de aer (Figura 5.6). De asemenea, se obține și o îmbunătățire notabilă și în ceea ce privește pierderea de presiune, care se reduce de la aproximativ 133 Pa până la aproximativ 31 Pa.

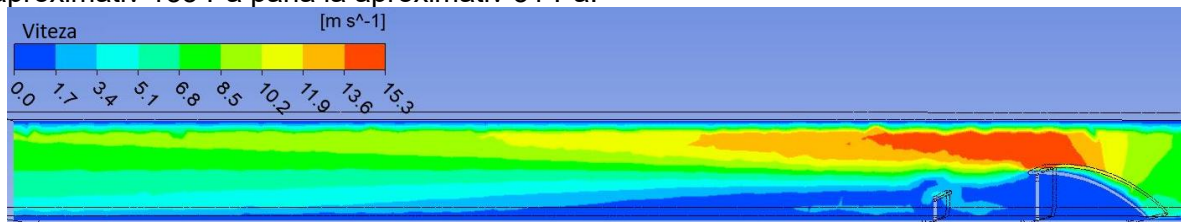


Figura 5.6. Viteza aerului; Grinda transversală cu deflector în amonte (model CFD cu dimensiunea grinzii de 288 mm, viteza aerului de admisie de 7,9 m/s).

Dacă grinda este prevăzută cu deflector atât în amonte cât și în aval, viteza de curgere a aerului crește până la aproximativ 14 m/s doar în zona grinzii. În schimb, fluxul de aer urmărește forma deflectorului, iar viteza de curgere a aerului scade până la aproximativ 8 m/s la capătul deflectorului. Prin urmare, viteza de curgere a aerului este aproape constantă în aval de deflector, așa cum se vede în Figura 5.7.

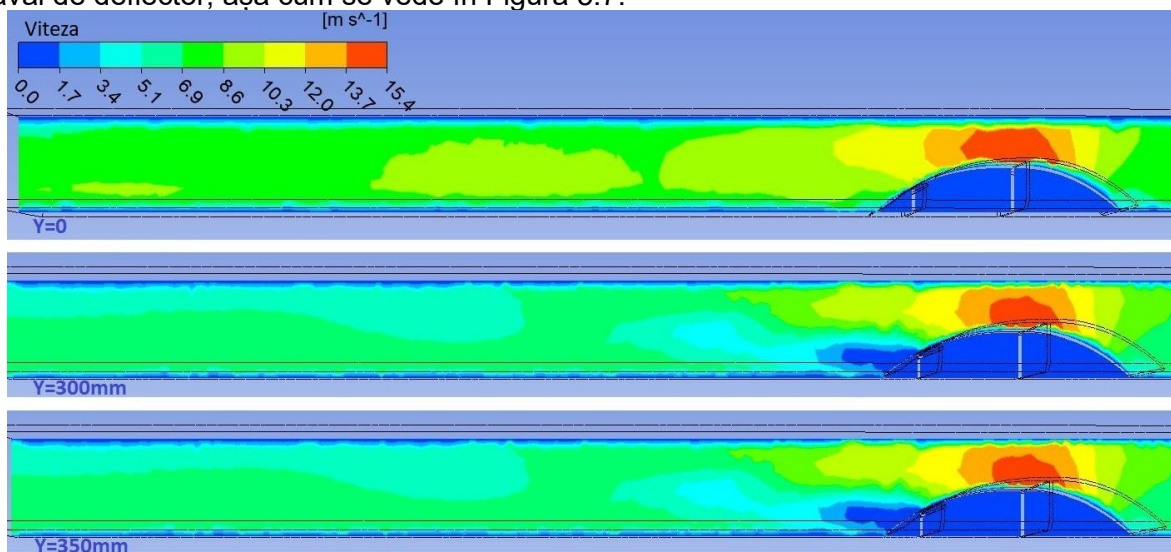


Figura 5.7. Viteza aerului; Grinda transversală cu deflector în amonte și aval (model CFD cu dimensiunea grinzii de 288 mm, viteza aerului de admisie de 7,9 m/s).

Prin urmare, defletoarele de aer din amonte și din aval de grindă au un impact pozitiv foarte mare asupra fluxului de aer, iar pierderea totală de presiune este îmbunătățită de la aproximativ 133 Pa până la aproximativ 9,6 Pa.

5.3.4 Măsurile de îmbunătățire a curgerii pentru grinda transversală de 388mm cu decupare

În situația în care grinda are o înălțime suficientă pentru a putea fi prevăzută cu decupări, acestea pot îmbunătăți curgerea. Totuși, dat fiind faptul că secțiunea totală de curgere în zona grinzii este micșorată substanțial, se vor obține două jeturi de aer cu viteze mari, unul deasupra grinzii pe toată lățimea chesonului de ventilație și altul în zona decupării (Figura 5.8).

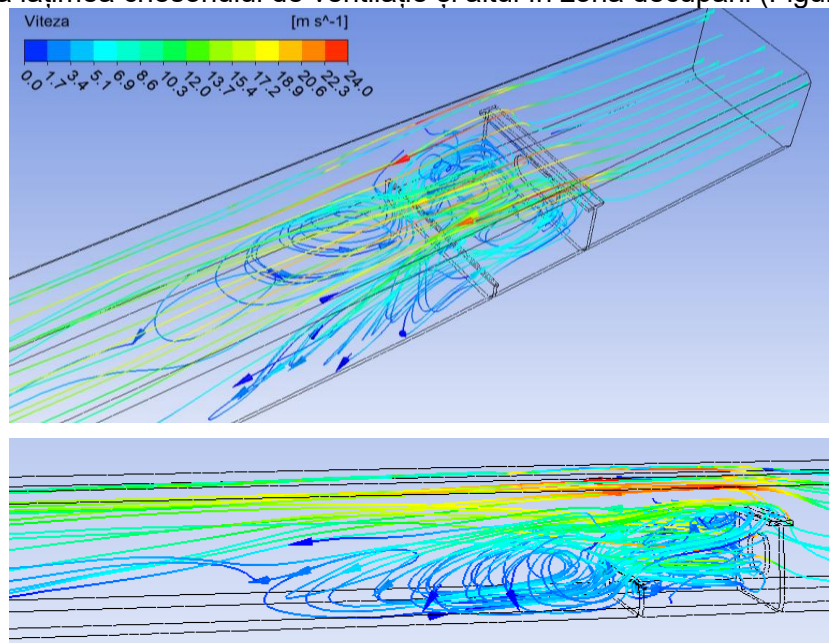


Figura 5.8 Linii de curent; Model CFD, grindă de 388 mm cu decupare în zona centrală

Cele două jeturi de aer cu viteze mari se combină și formează un jet de aer comun în jumătatea superioară a chesonului de ventilație, așa cum se poate vedea în Figura 5.9. În partea inferioară a chesonului, pe o distanță de aproximativ 5 m, viteza de curgere este de sub 3 m/s.

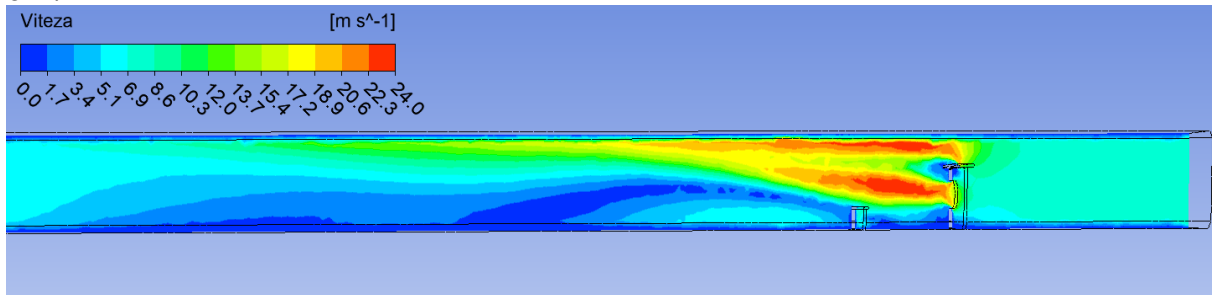


Figura 5.9 Viteza aerului în zona centrală; Grinda transversală de 388mm cu decupare

Pentru îmbunătățirea curgerii și reducerea pierderilor de sarcină am analizat diverse soluții privind adăugarea unor deflectoare de aer. Soluția cu rezultatele cele mai bune este cea în care s-au adăugat deflectoare de aer în amonte și în aval de grindă.

Deflectorul din amonte ajută la preluarea și uniformizarea fluxului de aer din zona grinzii, îmbunătățind curgerea inclusiv în aval, așa cum se poate vedea în Figura 5.10.

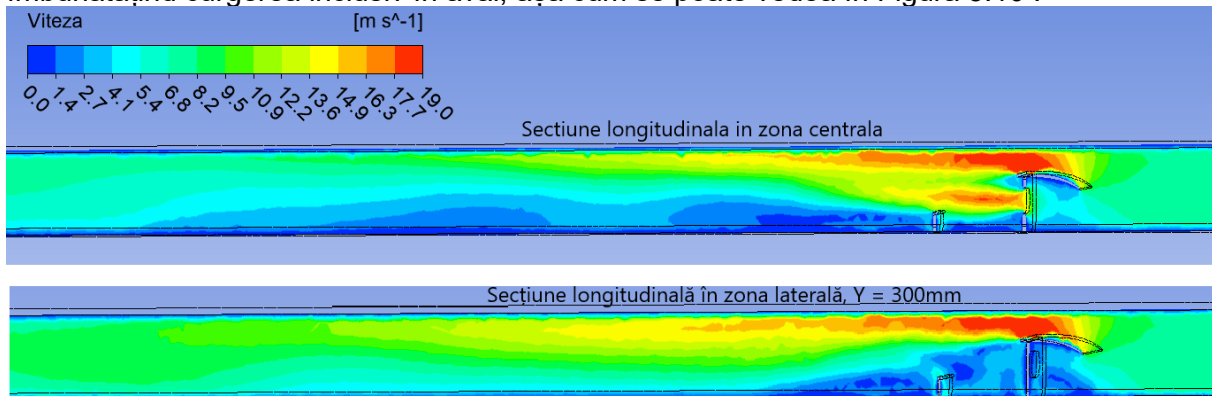


Figura 5.10 Viteza aerului $Y=0$ și $Y=300$ mm; Grinda transversală de 388mm cu decupare în zona centrală și deflector în amonte

Pentru a elimina vârtejul din aval de grindă și pentru a reduce lungimea jetului de aer de la partea superioară a chesonului de ventilație, s-au făcut mai multe analize cu diverse deflectoare amplasate în aval de grindă.

Deflectorul are scopul de a dirija fluxul de aer de deasupra grinzii către zona inferioară a chesonului de ventilație, imediat în aval de profilul bulb, așa cum se poate vedea în Figura 5.11.

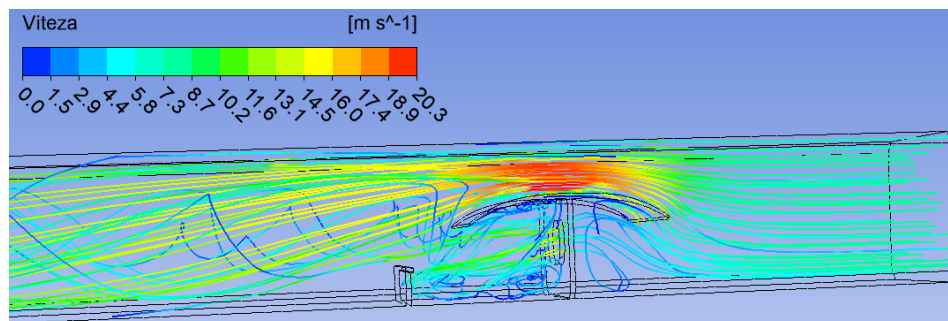


Figura 5.11 Linii de curent; Model CFD cu o dimensiune a grinzii de 388 mm cu decupare în zona centrală și deflector în amonte și aval

În acest fel, vârtejul este anulat de noua direcție de curgere a fluxul de aer, iar curgerea se uniformizează pe toată suprafața chesonului de ventilație, reducând astfel viteza de curgere

prin cheson. Viteza maximă de curgere crește pe o porțiune scurtă în zona grinzii, dar această viteză mărită se reduce la aproximativ 15 m/s și continuă să se reducă rapid la valori sub 10 m/s, la o distanță relativ mică după ieșirea din zona profilului bulb, așa cum se poate vedea în Figura 5.12.

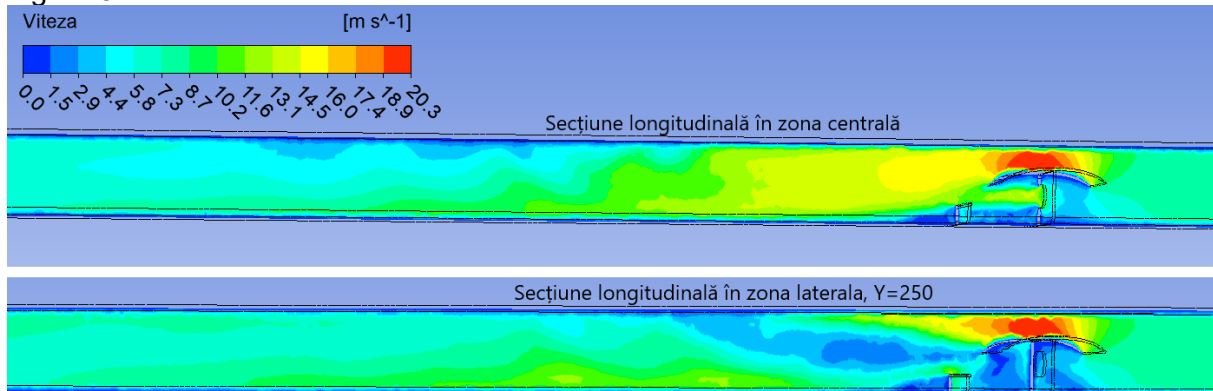


Figura 5.12 Viteza aerului $Y=0$ și $Y=250$ mm; Grinda transversală de 388 mm cu decupare în zona centrală și deflector în amonte și aval

Cu ajutorul acestei soluții curgerea s-a îmbunătățit substanțial, iar pierderea de sarcină s-a redus de la aproximativ 192 Pa, în varianta fără deflectoare de aer, la aproximativ 63 Pa.

5.3.5 Îmbunătățirea curgerii prin grilele de ventilație

Distribuția curgerii prin grilele de introducere

În continuare este prezentat un exemplu preluat de la o navă aflată în exploatare, la care s-a înregistrat un nivel ridicat al zgomotului produs de sistemul de ventilație. În urma analizei CFD s-a constatat că problema poate fi cauzată de poziția ventilatoarelor în raport cu poziția grilelor. La o primă verificare s-a constatat că ventilatoarele erau amplasate foarte aproape de grilele de ventilație, zgomotul fiind produs de ventilatoare dar și de grilele de ventilație.

Așa cum se poate vedea în Figura 5.13, vitezele de curgere prin grila A sunt mai mici decât vitezele recomandate de producător. În schimb, în anumite zone, vitezele prin grila de ventilație B depășesc cu mult vitezele recomandate de producător.

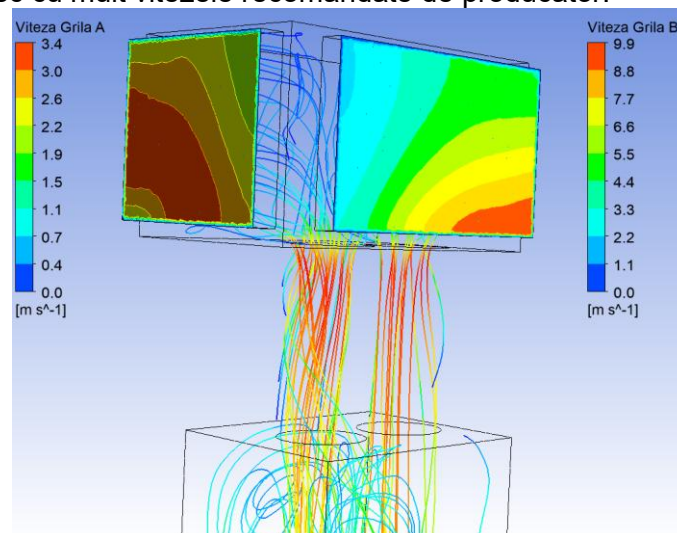


Figura 5.13 Distribuția vitezelor aerului în grilele de introducere - ventilatoare amplasate în apropierea grilelor

Așa cum se poate vedea în Figura 5.14, distribuția aerului pe suprafața celor două grile se îmbunătățește foarte mult dacă ventilatoarele se mută la distanța de 3 m față de grilele de ventilație. Viteza medie de curgere prin grila A crește de la aproximativ 3 m/s la aproximativ 5 m/s, având totuși zone mici cu viteze de peste 6 m/s și alte zone relativ mici cu viteze mai mici

de 2,6 m/s. De asemenea, se observă și o îmbunătățire a curgerii prin grila de ventilație B unde zona cu viteze de peste 5,5 m/s se micșorează, dar și viteza maximă se reduce până la $6 \div 7$ m/s.

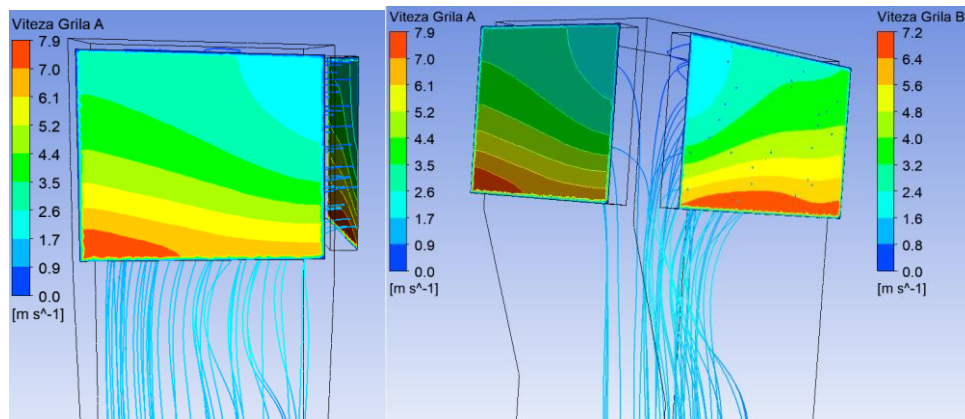


Figura 5.14 Distribuția vitezelor aerului în grile - ventilatoare amplasate la 3 m mai jos

În Figura 5.15 este prezentată distribuția vitezelor de curgere a aerului prin grilele de ventilație în cazul în care ventilatoarele sunt amplasate la o distanță de 6 m față de acestea. Îmbunătățirea curgerii aerului prin grilele de ventilație este nesemnificativă față de situația anterioară, cea cu ventilatoarele amplasate la 3 m față de grile. Prin urmare, se poate concluziona că ventilatoarele trebuie amplasate la cel puțin o înălțime de punte mai jos față de grilele de introducere.

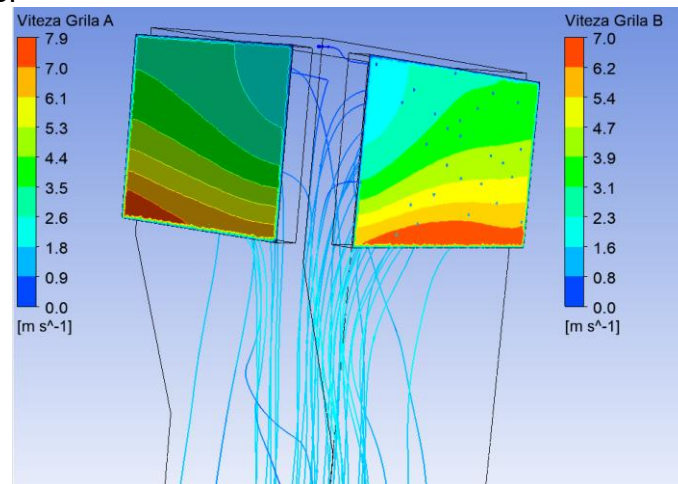


Figura 5.15 Distribuția vitezelor aerului în grile - ventilatoare amplasate la 6 m mai jos

Distribuția curgerii prin grilele de evacuare

În cazul grilelor de evacuare, amplasarea ventilatoarelor în apropierea grilelor are un efect negativ și mai puternic. Jetul de aer puternic provenit de la ventilatoare nu are distanța suficientă pentru a se dispersa, prin urmare generează un vârtej în zona grilelor de ventilație, așa cum se poate observa în Figura 5.16.

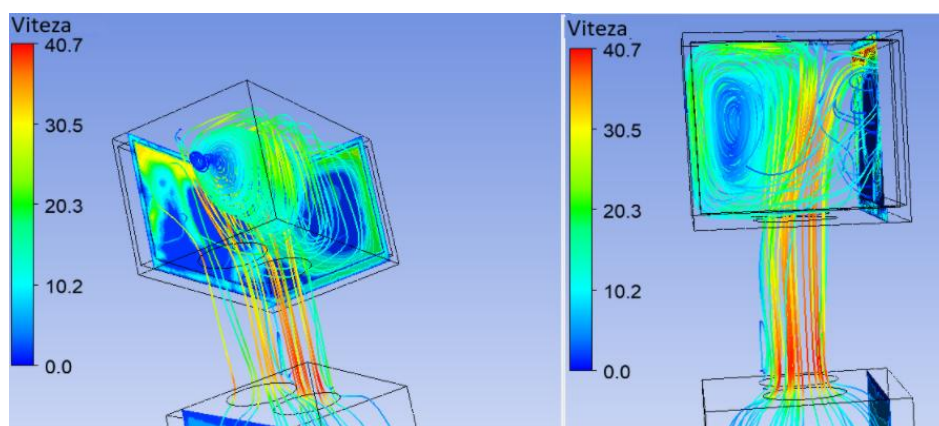


Figura 5.16 Liniile de curent – ventilator amplasat în apropierea grilelor de evacuare

În centrul vârtejului va fi o zonă cu diferență de presiune foarte mică transpusă printr-o viteză de curgere redusă, iar în extremitățile vârtejului vor apărea presiuni ridicate care vor genera o creștere a vitezei prin grilă în acea zonă, așa cum se poate vedea în Figura 5.17.

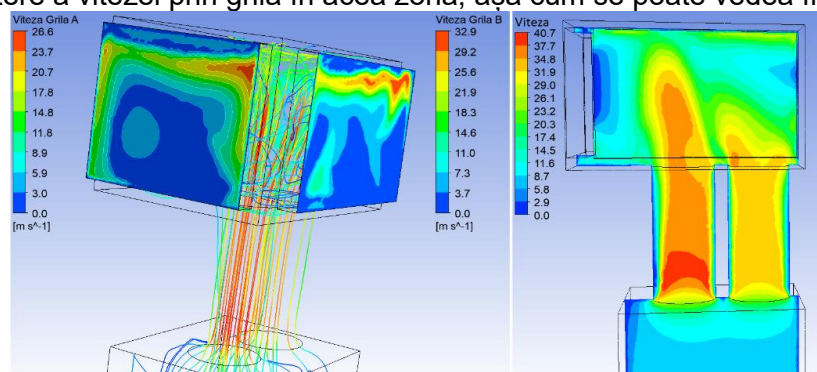


Figura 5.17. Viteza de curgere în grila și chesonul de ventilație – ventilator amplasat în apropierea grilelor de ventilație

Cea mai simplă metodă de îmbunătățire a acestei situații este aceea de a îndepărta ventilatorul de tavanul chesonului de ventilație, cu scopul de a reduce intensitatea jetului de aer de pe acea suprafață. De asemenea, se urmărește spargerea vârtejului pentru a obține o distribuție mai uniformă a aerului în interiorul chesonului de ventilație și presiuni relativ egale pe suprafața grilei de evacuare.

Urmare a analizei CFD în care ventilatorul a fost îndepărtat de grilele de ventilație, Figura 5.18, s-a constatat că în aceste condiții nu se mai formează vârtejul, iar distribuția aerului și presiunilor în chesonul de ventilație este mult îmbunătățită.

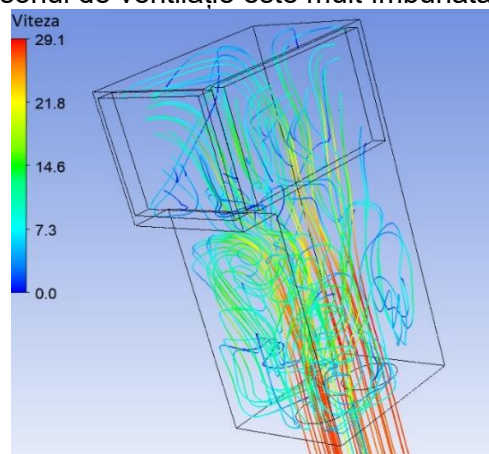


Figura 5.18 Liniile de curent – ventilator amplasat la aprox. 3m față de grilele de ventilație

În Figura 5.19 se poate observa cum cele două jeturi de aer de la ventilatoare, cu viteze de $16 \div 20$ m/s, se propagă până în zona grilelor de ventilație. Acestea generează presiunile și vitezele de curgere ridicate în anumite zone ale grilelor, în detrimentul altor zone care au o contribuție mai mică la evacuarea aerului. Pentru îmbunătățirea acestei situații este necesară uniformizarea curgerii aerului în chesonul principal de ventilație, înainte să ajungă în zona grilelor.

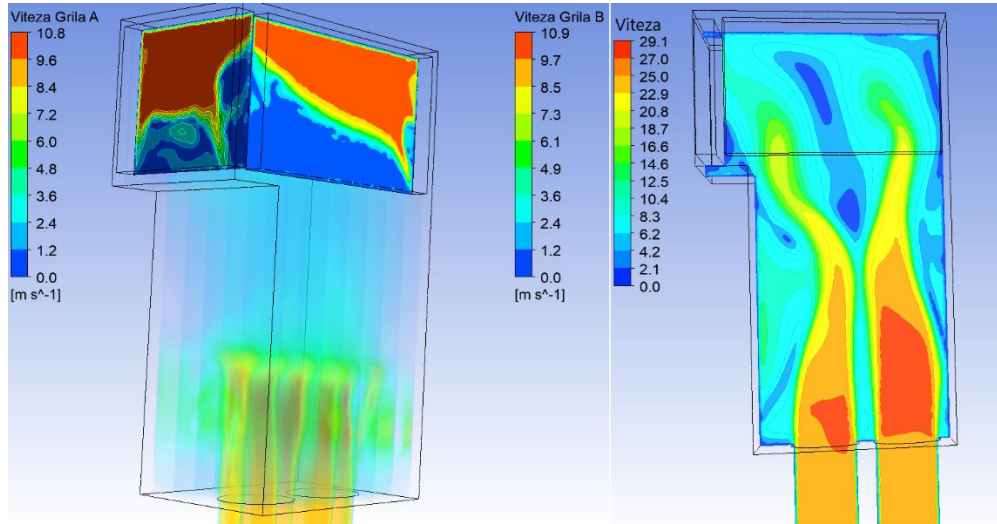


Figura 5.19. Viteza de curgere în grile și chesonul de ventilație – ventilator amplasat la aprox. 3m față de grilele de ventilație

În continuare s-a analizat curgerea în chesonul și în grilele de ventilație pentru situația în care ventilatoarele sunt la peste 6 m distanță față de grilele de ventilație. Scopul acestei analize este acela de a vedea influența poziției ventilatoarelor și dacă mutarea lor la o distanță destul de mare va rezolva problema distribuției vitezei aerului în grilele de ventilație.

Conform analizei CFD, realizate pentru același model dar cu ventilatoarele mutate la o distanță de 6 m față de grile, se constată o îmbunătățire a curgerii aerului prin chesonul de ventilație (Figura 5.20). Cele două jeturi de aer de la ventilatoare nu mai ajung în zona grilelor de ventilație, dar îmbunătățirea curgerii prin grile este nesemnificativă.

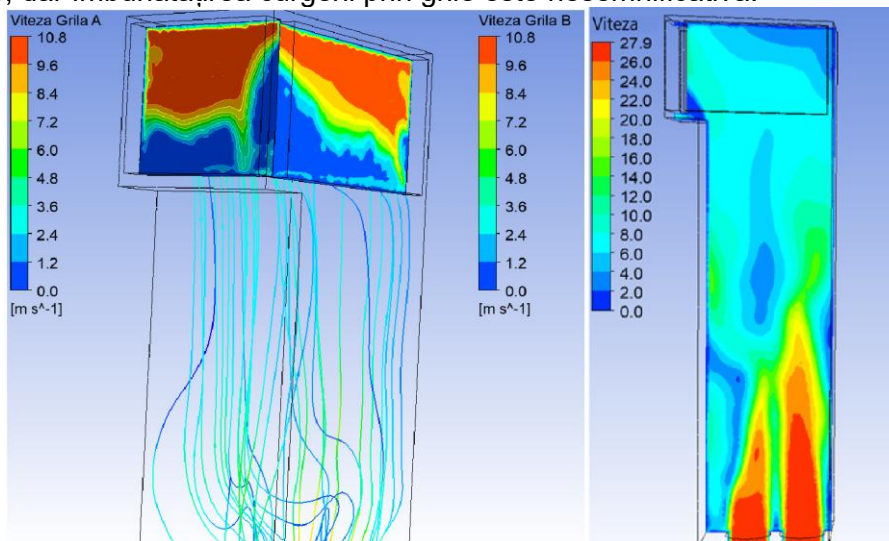


Figura 5.20 Liniile de curent și curgerea prin chesonul de ventilație – ventilator amplasat la aprox. 6m față de grilele de ventilație

În continuare au fost realizate mai multe analize CFD pentru diverse soluții privind îmbunătățirea curgerii prin grilele de ventilație de evacuare. Aceste analize au fost realizate pentru situația în care ventilatoarele sunt amplasate la 3 m distanță față de grilele de ventilație.

În Figura 5.21 sunt prezentate vitezele de curgere prin grilele de ventilație pentru chesonul de ventilație optimizat prin eliminarea pragului din zona grilei A. Se poate observa că prin eliminarea pragului din zona grilei A și scoaterea grilelor în exteriorul peretelui, vitezele maxime de curgere s-au redus de la 10,8 m/s la 7,5 m/s pentru grila A și 8,5 m/s pentru grila B. În plus, se observă și reducerea suprafețelor cu viteze foarte mici.

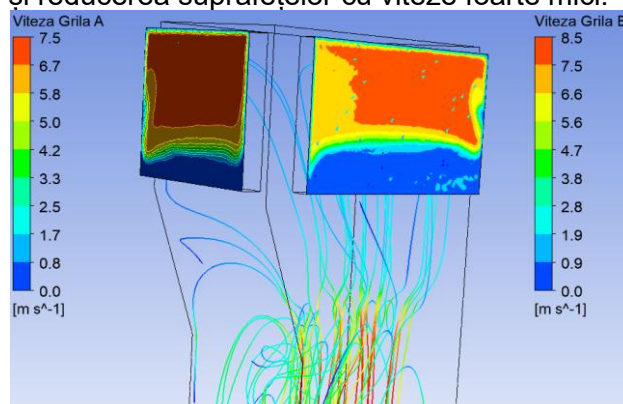


Figura 5.21 Viteza de curgere prin grile pentru cheson principal optimizat – ventilator amplasat la aprox. 3 m față de grilele de ventilație

Una dintre soluții, cu ajutorul căreia s-au obținut mici îmbunătățiri, a fost aceea prin care s-au adăugat defletoare mici doar pentru a dirija o parte din aer și în zonele inferioare al grilelor. Cu ajutorul acestor defletoare viteza maximă scade de la 7,5 m/s, respectiv 8,5 m/s, la 7,2 m/s, respectiv 7,7 m/s așa cum se poate vedea în Figura 5.22. În plus, nu mai există zone cu viteze mai mici de 4 m/s, iar distribuția aerului este destul de uniformă.

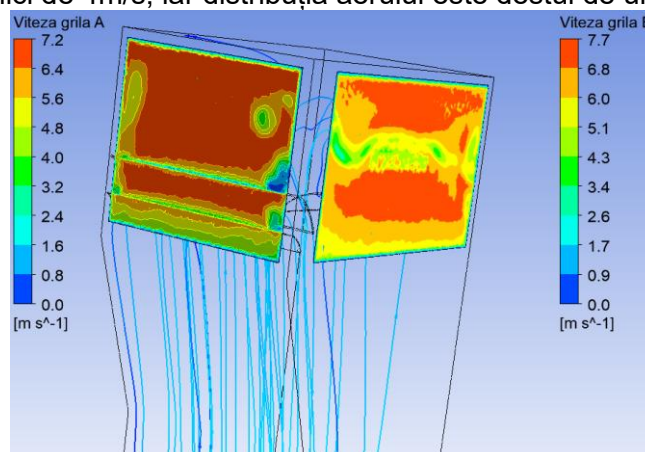


Figura 5.22 Viteza de curgere prin grile cu cheson principal optimizat și defletoare mici pentru dirijarea aerului

O altă soluție de îmbunătățire este aceea prin care grilele de ventilație sunt amplasate de o parte și de alta a chesonului de ventilație. În acest fel se obține o îmbunătățire a curgerii, viteza maximă este 7,8 m/s, iar viteza minimă este peste 3,5 m/s așa cum se poate vedea în Figura 5.23.

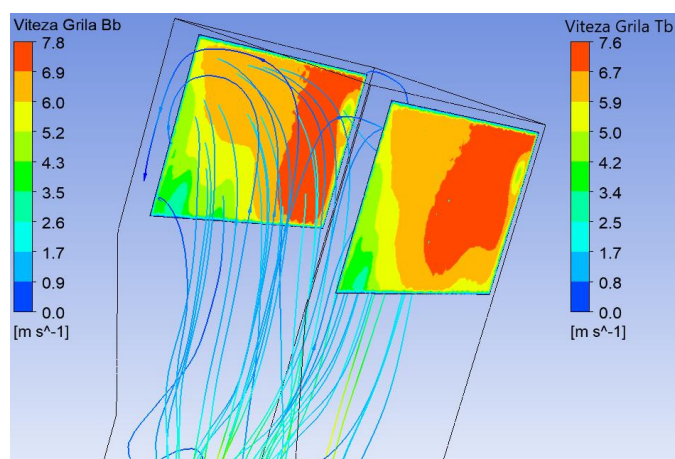


Figura 5.23 Viteza de curgere prin grilele amplasate în ambele borduri

Amplasarea grilelor de ventilație de-o parte și de alta a chesonului de ventilație ajută și la reducerea impactului presiunii vântului asupra sistemului de ventilație.

5.3.6 Concluzii privind optimizarea curgerii

Debitele de aer pot avea valori foarte mari, în special pentru compartimentele mașinilor, bucătării și în spațiile cu pericol de explozie sau în care se pot acumula gaze toxice. Prin urmare, aceste sisteme vor avea nevoie de ventilatoare cu capacități mari, chesoane de distribuție și grile cu secțiuni mari.

În legătură cu chesoanele de ventilație cu elemente structurale la interior se poate concluziona că existența elementelor structurale transversale în interiorul chesoanelor are un impact puternic negativ asupra curgerii aerului prin creșterea importantă a pierderii de presiune, dar și un nivel ridicat de turbulențe care vor genera zgomote și vibrații suplimentare. Nivelul ridicat de turbulențe este datorat vârtejului format în aval de grindă, turbulență ridicată care se extinde pe o lungime de peste 2.5 m, iar jetul de aer format nu se dispersează nici după 7.5 m în aval de grindă. Prin urmare, se poate concluziona că este foarte important ca elementele structurale transversale să nu fie încastrate în chesoanele de ventilație.

În cazul în care elementele structurale transversale nu pot fi eliminate din chesoanele de ventilație acestea trebuie prevăzute cu defletoare de aer atât în amonte cât și în aval de elementul structural. Deflectorul din amonte are scopul de a prelua jetul de aer și a-l dirija până deasupra grinzii structurale pentru a utiliza toată secțiunea disponibilă deasupra grinzii. Deflectorul din aval de grindă are scopul de a dirija fluxul de aer din zona îngustă de deasupra grinzii spre zona inferioară a chesonului de ventilație. Utilizând aceste defletoare de aer nivelul de turbulențe este redus foarte mult, existând doar turbulențe cu intensitate mică în aval de zona defletoarelor și probabil un nivel ceva mai ridicat deasupra grinzii datorită secțiunii reduse și vitezei mari de curgere în acea zonă. În plus, fluxul de aer se distribuie pe întreaga suprafață în aval de defletoare, nemaexistând fluxul de aer concentrat în partea superioară a chesonului de ventilație și nici vârtejul din aval de grindă. De asemenea, în cazul grinzii cu înălțimea de 288 mm pierderea de presiune în zona grinzii scade de la 133 Pa până la aproximativ 9,6 Pa după adăugarea defletoarelor de aer în amonte și aval de grindă.

În cazul grinzii cu înălțimea de 388 mm a fost analizată și posibilitatea adăugării decupărilor în grindă. Concluzia este că, doar prin adăugarea decupărilor pierderea de sarcină se reduce, dar încă este destul de mare iar nivelul de turbulențe rămâne destul de ridicat. Pentru creșterea eficienței curgerii au fost adăugate și defletoare de aer la partea superioară a grinzii, pentru a nu obtura decuparea. Concluzia este că defletoarele de aer îmbunătățesc substanțial curgerea, iar pierderea de presiune se reduce de la 192 Pa (grinda cu decupare) până la 63 Pa (grinda cu decupare și defletoare de aer).

În legătură cu analiza curgerii prin grilele de ventilație au fost realizate mai multe analize CFD pentru diverse amenajări ale ventilatoarelor și grilelor de ventilație de introducere și de evacuare. Din analizele realizate se poate concluziona că amplasarea ventilatoarelor în apropierea grilelor de ventilație poate avea un impact negativ destul de mare asupra curgerii

aerului prin grilele de ventilație. Astfel, în cazul în care ventilatoarele sunt amplasate în apropierea grilelor de ventilație, jetul de aer de la ventilatoare se concentrează pe anumite zone ale grilei generând viteze mari de curgere, în timp ce alte zone ale grilei vor avea viteze de curgere mici. Prin urmare, pierderile de sarcină și nivelul de zgomot vor avea valori ridicate, în timp ce eficiența separării apei pentru grilele de introducere va scădea datorită creșterii vitezei.

Concluzia este că, alegerea suprafețelor de curgere pentru grilele de ventilație conform documentației producătorului nu este o garanție privind buna funcționare a sistemului de ventilație, ci este necesară și o analiză a curgerii în sistemul de ventilație pentru a asigura o distribuție uniformă a aerului pe toată suprafața grilelor de ventilație. Prima măsură este aceea de a amplasa ventilatoarele, în special cele de evacuare, la cel puțin 3 m față de grilele de ventilație. Alte măsuri necesită o analiză mai detaliată asupra sistemului de ventilație și adăugarea unor deflectoare și grile de uniformizare pentru fluxul de aer de la ventilatoare.

CAPITOLUL 6: CONCLUZII ȘI CONTRIBUȚII PERSONALE

6.1 Concluzii generale

Sistemele navale de ventilație au un rol foarte important pentru asigurarea funcționării navei și a echipamentelor de la bord la parametri ceruți și în condițiile de mediu pentru care nava a fost proiectată. Sistemele de ventilație trebuie să asigure aerul pentru combustia echipamentelor cu ardere internă, aerul pentru respirat, răcirea compartimentelor tehnice precum și aerul condiționat în camerele cu personal permanent pentru controlul și monitorizarea echipamentelor.

Compartimentele în care sunt instalate motoarele principale sau generatorul de avarie trebuie prevăzute cu instalații de ventilație cu funcționare continuă în orice condiții meteo. De asemenea grilele de ventilație exterioare trebuie amplasate astfel încât să se evite recircularea aerului.

Din bibliografia consultată și studiile realizate în cadrul tezei s-a constatat că standardele internaționale oferă suficiente informații pentru calculul termic al instalației de ventilație, calcul care se poate realiza inclusiv într-o fază preliminară de proiectare, când nu sunt accesibile specificațiile tehnice ale echipamentelor.

Totuși numeroase studii indică faptul că nu este suficientă dimensionarea instalației de ventilație conform acestor standarde, ci este foarte important să se asigure o curgere și o distribuție eficientă a aerului pentru a putea asigura răcirea în compartimentul mașini.

De asemenea, anumiți producători ale motoarelor cu ardere internă au recomandări privind realizarea instalației de ventilație. În cazul în care aceste recomandări nu pot fi respectate, producătorul solicită multiplicarea debitului de aer rezultat în urma calculului termic cu un factor de multiplicare de până la 2,5, în funcție de amenajarea ventilației în compartimentului mașini. Trebuie menționat că în practică este foarte dificil să se asigure spațiile necesare pentru grilele și chesoanele de ventilație datorită dimensiunilor foarte mari ale acestora, ceea ce înseamnă că este aproape imposibil să se mărească debitele de aer cu factorii de multiplicare indicați de producător. Prin urmare este necesar ca debitele de aer calculate conform standardelor ISO să fie distribuite în compartimentul mașini astfel încât să asigure răcirea eficientă și să se evite amestecarea aerului rece cu aerul cald.

În legătură cu chesoanele de ventilație cu elemente structurale transversale la interior au fost realizate mai multe studii care au evidențiat impactul negativ major al acestora asupra curgerii aerului. În toate analizele realizate, elementele structurale generează un flux de aer concentrat deasupra acestora și turbulențe mari în aval. Acestea cresc pierderile de sarcină, dar și nivelul de zgomot și vibrații. Urmare a studiilor realizate se poate concluziona că realizarea chesoanelor de ventilație cu elemente transversale la interior trebuie evitată, dacă este posibil. Totuși în cazul în care aceste soluții nu pot fi evitate, este foarte important ca aceste elemente transversale să fie prevăzute cu deflectoare de aer atât în amonte cât și în aval. În cazul elementelor transversale cu înălțimea mai mică de 50% din înălțimea chesonului de ventilație, pierderea de presiune poate fi redusă cu aprox. 90% prin adăugarea

defletoarelor de aer. În cazul elementelor structurale cu înălțimi mai mari și prevăzute cu decupări, pierderea de sarcină poate fi redusă cu aprox. 70% prin adăugarea defletoarelor de aer.

În legătură cu grilele de ventilație producătorii oferă instrumente de calcul pentru dimensionarea acestora astfel încât grilele alese să aibă o suprafață netă care să asigure o eficiență bună, dar și pierderi de sarcină relativ mici. Suprafețele calculate sunt corespunzătoare în cazul în care fluxul de aer este uniform distribuit pe toată suprafața grilei de ventilație, dar din studiile realizate în cadrul tezei și a măsurătorilor experimentale efectuate la bordul navei s-a constatat că poziția ventilatoarelor în raport cu grilele de ventilație poate avea un impact negativ asupra curgerii prin grilă datorită jetului de aer concentrat generat de ventilatoare. Astfel, în zona jetului de aer de la ventilator viteza de curgere a aerului va avea valori mari, iar în alte zone ale grilei vitezele vor fi mai mici. Această problemă se rezolvă prin amplasarea ventilatoarelor la cel puțin 3 m distanță față de grile și prin adăugarea defletoarelor pentru a uniformiza curgerea aerului.

De asemenea, a fost realizat un studiu privind optimizarea sistemelor de ventilație pentru compartimentele mașini prin utilizarea unui sistem de răcire adiabatică directă. Acest sistem de răcire este foarte eficient în cazul în care umiditatea relativă a aerului exterior este mică, prin urmare poate fi folosit în zonele cu temperaturi ridicate, dar cu aer uscat. Acest sistem poate fi utilizat la navele noi pentru reducerea consumului energetic al sistemului de ventilație dar cu precădere la navele aflate în exploatare la care sistemele de ventilație nu pot asigura răcirea când temperaturile sunt foarte ridicate. Avantajul acestui sistem este acela că este un sistem simplu ce poate fi instalat cu ușurință și costuri relativ mici la navele aflate în exploatare. Dezavantajul principal este acela că sistemul poate fi utilizat doar împreună cu sistemul de ventilație și are o eficiență bună doar dacă umiditatea relativă a aerului exterior este mai mică de aprox. 40%. Sistemul nu este recomandat pentru compartimentele mașini care necesită supraveghere permanentă, datorită creșterii disconfortului termic din cauza creșterii umidității relative a aerului.

În contextul pandemiei COVID-19 a fost realizat un studiu privind măsurile necesare pentru evitarea răspândirii agenților patogeni prin sistemele de ventilație și aer condiționat. Au fost analizate și prezentate soluții atât pentru navele noi cât și pentru navele existente.

Din bibliografia consultată s-a constatat că agenții patogeni s-au răspândit prin instalațiile de ventilație cu ajutorul aerosolilor. Pentru evitarea răspândirii agenților patogeni este necesar ca aerul proaspăt să nu fie amestecat cu aerul recirculat din alte camere. Prin urmare instalațiile de ventilație și aer condiționat la navele noi trebuie să fie realizate fără recirculare între camere diferite. Pentru navele existente care sunt prevăzute cu instalații de ventilație și aer condiționat cu recirculare și mixarea aerului proaspăt cu cel recirculat este recomandată instalarea filtrelor HEPA sau a filtrelor UV. Filtrele HEPA au eficiență bună, dar au dezavantajul pierderilor mari de presiune care presupune necesitatea instalării unor ventilatoare suplimentare. Filtrele UV au eficiență foarte bună și consum energetic mic dar trebuie instalate în interiorul unității de aer condiționat sau în chesoane de ventilație mari unde viteza de curgere este mică pentru a obține timpul de expunere necesar neutralizării agenților patogeni.

6.2 Contribuții proprii

1. Analiza și sintetizarea cerințelor, regulilor și recomandărilor diferitelor instituții internaționale cu privire la asigurarea funcționării echipamentelor, asigurarea siguranței navei și a echipajului (prezentate în Capitolul 1).
2. Analiza și sintetizarea cerințelor și recomandărilor producătorilor echipamentelor principale și ale producătorilor echipamentelor sistemului de ventilație. Analiza și prezentarea efectelor unei ventilații necorespunzătoare în compartimentele mașini. În concluzie, ventilația necorespunzătoare poate avea efecte negative asupra capacității navei, asupra duratei de viață a echipamentelor instalate pe nava precum și asupra creșterii numărului erorilor și greșelilor umane (detaliat în Capitolul 2).
3. Măsurători experimentale în tunelul de vânt și confirmarea curgerii în sens invers în aval de grindă și generarea jetului de aer cu viteză mare în partea superioară.

Rezultatele măsurărilor experimentale au fost utilizate pentru validarea modelului matematic (prezentate în capitolul 3).

4. A fost analizată curgerea aerului în compartimentele mașini la două nave aflate în exploatare. În plus au fost verificate vitezele de curgere a aerului la ieșirea din grilele de ventilație și a fost urmărită curgerea aerului în compartimentul mașini. De asemenea, au fost identificate și alte aspecte care influențează distribuția aerului precum poziția grilelor de ventilație sau ventilatoarele unor echipamente precum generatoarele electrice răcite cu aer (detalii prezentate în capitolul 3).
5. În contextul pandemiei COVID-19 a fost analizat impactul unui virus periculos precum SARS-CoV-2 asupra echipajului și asupra pasagerilor de la bordul navelor. A fost realizată o analiză a soluțiilor de optimizare a sistemelor de ventilație pentru evitarea contaminării și răspândirii agenților patogeni prin sistemele de ventilație și aer condiționat (capitolul 4.2).
6. În vederea optimizării sistemelor de răcire pentru compartimentele mașini a fost analizată posibilitatea utilizării sistemelor de răcire adiabatică directă. În capitolul 4.3 sunt prezentate cerințele pentru implementarea acestui sistem la o navă aflată în exploatare și se concluzionează că utilizând un sistem de răcire adiabatică directă capacitatea sistemului de ventilație poate fi redusă cu peste 50%. De asemenea, acest sistem poate fi utilizat la navele aflate în exploatare pentru asigurarea răcirii în condiții de mediu extern cu temperaturi foarte mari și aer uscat. Avantajul principal este acela că este un sistem simplu și ușor de instalat.
7. Au fost realizate diverse analize CFD pentru optimizarea curgerii printr-un cheson de ventilație cu o grindă transversală la interior. Pentru toate variantele analizate concluzia este că aceste elemente transversale trebuie eliminate din chesoanele de ventilație, în caz contrar fiind necesară adăugarea unor defletoare de aer. Aceste defletoare de aer îmbunătățesc curgerea și reduc pierderile de presiune cu până la aprox. 90% conform celor prezentate în Capitolul 5.2.
8. Conform analizelor CFD prezentate în capitolul 5.3 amplasarea ventilatoarelor în apropierea grilelor de ventilație are un impact negativ important prin creșterea vitezei de curgere în anumite zone ale grilei și reducerea vitezei în alte zone. Datorită concentrării jetului de aer de la ventilator pe anumite zone ale grilelor crește pierderea de presiune și nivelul de zgomot.

6.3 Perspective privind studii viitoare

Prezenta lucrare deschide noi perspective de cercetare privind optimizarea sistemelor de ventilație pentru compartimentele mașini, iar printre cele identificate pot fi enumerate următoarele:

1. Analiza curgerii aerului în interiorul compartimentelor pentru diverse tipuri de nave, în special pentru sistemele fără chesoane de distribuție.
2. Identificarea soluțiilor optime privind amenajarea compartimentelor, referitor la amenajarea echipamentelor în compartiment și amplasarea chesoanelor și grilelor de ventilație față de aceste echipamente.
3. Identificarea vitezelor optime la ieșirea din grilele de ventilație comparativ cu înălțimea compartimentului.
4. Analiza vitezei de curgere a aerului datorată convecției naturale și temperaturile maxime ale echipamentelor la care se obține echilibrul privind transferul termic.
5. Introducerea aerului rece în compartiment și adăugarea unor ventilatoare locale de recirculare în comparație cu chesoanele de distribuție a aerului conectate la chesonul principal de ventilație.
6. Distribuția aerului direct din chesonul principal și adăugarea unor defletoare de aer în compartiment pentru dirijarea aerului în zonele cu degajări mari de căldură.

6.4 Diseminarea rezultatelor

O parte din cercetările expuse în cadrul tezei de doctorat au fost valorificate și diseminate prin publicarea de articole științifice:

Lucrări publicate în jurnale indexate Web of Science (ISI)

1. **Mihai, V.**, Rusu, L., 2023. CFD Analysis and Wind Tunnel Experiment for Ventilation Ducts with Structural Elements Inside. J Mar Sci Eng 11 (2), 371. (Q1, 2 citări) <https://doi.org/10.3390/jmse11020371>
2. **Mihai, V.**, Rusu, L., 2022. Improving the Ventilation of Machinery Spaces with Direct Adiabatic Cooling System. Inventions 7(3), 78. (Q2, 2 citări) <https://doi.org/10.3390/INVENTIONS7030078>
3. **Mihai, V.**, Rusu, L., 2021. An Overview of the Ship Ventilation Systems and Measures to Avoid the Spread of Diseases. Inventions 6(3), 55. (Q2, 10 citări) <https://doi.org/10.3390/INVENTIONS6030055>

Listă cu lucrări publicate în reviste BDI

4. **Mihai, V.**, Rusu, L., Presură, A., 2022. Main requirements for ventilation of different rooms on the ships. Annals of "Dunarea de Jos" University of Galati. Fascicle XI Shipbuilding 45, 21–30. <https://doi.org/10.35219/ANNUGALSHIPBUILDING/2022.45.03>
5. **Mihai, V.**, Rusu, L., Presură, A., 2020. Ventilation of engine rooms in diesel engines ships. Analele Universității "Dunărea de Jos" din Galați. Fascicula XI, Construcții navale/ Annals of "Dunărea de Jos" of Galati, Fascicle XI, Shipbuilding 43, 69–78. <https://doi.org/10.35219/annugalshipbuilding.2020.43.09>

Listă cu lucrări prezentate la conferințe

6. **Mihai, V.**, Rusu, L., 2023. „CFD Analysis and Wind Tunnel Experiment for Ventilation Ducts with Structural Elements Inside” participare și prezentare la “11th Edition of the Scientific Conference of the Doctoral Schools of Dunarea de Jos University 2023”
7. **Mihai, V.**, Rusu, L., 2022. „Improving the Ventilation of Machinery Spaces with Direct Adiabatic Cooling System” participare și prezentare la “10th Edition of the Scientific Conference of the Doctoral Schools of Dunarea de Jos University 2022”
8. **Mihai, V.**, Rusu, L., 2021 ”Ventilation system for main ship compartments and challenges after Covid-19” poster presented at la “9th Edition of the Scientific Conference of the Doctoral Schools of Dunarea de Jos University 2021”
9. **Mihai, V.**, Rusu, L., Presură, A, 2020. VENTILATION OF ENGINE ROOMS IN DIESEL ENGINES SHIPS, presented at Conference „Galati Naval Architecture, 2020, December 11th”, <https://www.gup.ugal.ro/ugaljournals/index.php/fanship>

Participarea în proiecte de cercetare

10. **Programul Operațional Competitivitate 2014-2020 (POC)**, Apel: POC/448/1/1/Mari infrastructuri de CD,
Proiect: Sistem integrat pentru cercetarea și monitorizarea complexă a mediului în aria fluviului Dunărea, REXDAN, 127065.
Membru în echipa acestui proiect având funcția de expert tehnic navă de cercetare – sisteme și echipamente navă
Perioada desfășurării activității: August 2020 – Octombrie 2023

Premii și recunoaștere internațională

2022 Premiul II pentru prezentarea lucrării "The influence of the fan position to the efficiency of the mist eliminator louvers" la „11th Edition Scientific Conference of Doctoral Schools SCDS-UDJG 2023”

2022 Mențiune pentru prezentarea lucrării "Improving the Ventilation of Machinery Spaces with Direct Adiabatic Cooling System" la „10th Edition Scientific Conference of Doctoral Schools SCDS-UDJG 2022”

2021 Mențiune pentru prezentarea posterului intitulat "Ventilation system for main ship compartments and challenges after Covid-19" la „9th Edition Scientific Conference of Doctoral Schools SCDS-UDJG 2021”

BIBLIOGRAFIE

- Agoes Santoso, Alam Baheramsyah, M. Ramadhani Nugraha, 2017. Optimize air ventilation arrangement using CFD model to maintain the engine room temperatures of an 8000 DWT. SENTA 2017 - Marine Technology for Sustainable Development.
- AIR IN MOTION, 2025. Mollier chart calculator [WWW Document]. URL <https://afim-dehumidifier.com/en/mollier-chart-air-calculator/> (accessed 4.12.25).
- Allegrini, J., Kubilay, A., 2017. Wind sheltering effect of a small railway station shelter and its impact on wind comfort for passengers. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 164, 82–95. <https://doi.org/10.1016/J.JWEIA.2017.02.013>
- Apa Canal SA Galati, 2020. Raport anual 2020 [WWW Document]. Raport Anual 2020. URL <https://www.apa-canal.ro/rapoarte-activitate/2020.pdf> (accessed 4.12.25).
- Apa Canal SA Galati, 2019. Raport anual 2019 [WWW Document]. URL <https://www.apa-canal.ro/rapoarte-activitate/2019.pdf> (accessed 4.12.25).
- ASHRAE, 2019. Ultraviolet Air and Surface Treatment. *ASHRAE Handbook-HVAC Applications* 62.1-62.17.
- Azimi, P., Keshavarz, Z., Cedeno Laurent, J.G., Stephens, B., Allen, J.G., 2021. Mechanistic transmission modeling of COVID-19 on the Diamond Princess cruise ship demonstrates the importance of aerosol transmission. *Proc Natl Acad Sci U S A* 118. <https://doi.org/10.1073/pnas.2015482118>
- Babicz, J., 2015. Wärtsilä encyclopedia of ship technology, <https://www.wartsila.com/docs/default-source/marine-documents/encyclopedia/wartsila-o-marine-encyclopedia.pdf>. WÄRTSILÄ CORPORATION, HELSINKI.
- Blocken, B., Janssen, W.D., van Hooff, T., 2012. CFD simulation for pedestrian wind comfort and wind safety in urban areas: General decision framework and case study for the Eindhoven University campus. *Environmental Modelling & Software* 30, 15–34. <https://doi.org/10.1016/J.ENVSOFT.2011.11.009>
- Bohmanova, J., Misztal, I., Cole, J.B., 2007. Temperature-Humidity Indices as Indicators of Milk Production Losses due to Heat Stress. *J Dairy Sci* 90, 1947–1956. <https://doi.org/10.3168/jds.2006-513>
- BP Install Services, n.d. Multimanometru portabil cu tuburi inclinate cu 16 puncte de masura cod BPIS-MMM16, Manual de utilizare.
- Bureau Veritas, 2025. NR 467.B1 DT R12 E - Part B - Hull and Stability, NR467 B DT R18 January 2025,. https://erules.veristar.com/dy/data/bv/pdf/467-NR_PartB_2025-01.pdf.
- Bureau Veritas, 2025. Gas fuelled ships, NR529 DT R07 January 2025. https://erules.veristar.com/dy/data/bv/pdf/529-NR_2025-01.pdf.
- Bureau Veritas, 2024. Rules for the Classification of Ships Operating in Polar Waters and Icebreakers, NR527 DT R05 July 2024,. <https://marine-offshore.bureauveritas.com/nr527-rules-classification-ships-operating-polar-waters-and-icebreakers>.
- Bureau Veritas, 2022a. Part C - Machinery, Electricity, Automation and Fire Protection, NR467 C DT R14 July 2022, Rules for the classification of steel ships. <https://erules-svc.veristar.com/dy/app/ui.html>.

- Bureau Veritas, 2022b. Service Notations, NR467 D DT R18 January 2025, Rules for the Classification of Steel Ships. <https://marine-offshore.bureauveritas.com/nr467-rules-classification-steel-ships>.
- Bureau Veritas, 2020. Guidelines for Management of COVID-19 and Infectious Diseases, NI 673 DT R00 E. https://erules.veristar.com/dy/data/bv/pdf/673-NI_2020-06.pdf.
- Caterpillar, 2021. Performance data 3512C, 4369623.
- Caterpillar, 2015. LEBW4971-06 Application & Installation Guide Engine Room Ventilation.
- Caterpillar, 2009. Marine propulsion 3512C - Marine engine performance.
- CESNI, 2023. European Standard laying down Technical Requirements for Inland Navigation vessels (ES-TRIN).
- Chang, P., Xu, G., Zhou, F., Mullins, B., Abishek, S., Chalmers, D., 2019. Minimizing DPM pollution in an underground mine by optimizing auxiliary ventilation systems using CFD. *Tunnelling and Underground Space Technology* 87, 112–121. <https://doi.org/10.1016/J.TUST.2019.02.014>
- Condair AG, n.d. High Pressure Water Misting System for adiabatic outdoor cooling in hot and dry areas. - Combined with shading systems, Condair AG.
- Correia, G., Rodrigues, L., Gameiro da Silva, M., Gonçalves, T., 2020. Airborne route and bad use of ventilation systems as non-negligible factors in SARS-CoV-2 transmission. *Med Hypotheses* 141, 109781. <https://doi.org/10.1016/j.mehy.2020.109781>
- Daniel Jones and Michael Ivanovich, 2020. UV-C for HVAC Air and Surface Disinfection. *Inmotion*, <https://www.researchgate.net/publication/344633657>.
- Defraeye, T., Carmeliet, J., 2010. A methodology to assess the influence of local wind conditions and building orientation on the convective heat transfer at building surfaces. *Environmental Modelling & Software* 25, 1813–1824. <https://doi.org/10.1016/J.ENVSOFT.2010.06.002>
- Department of the Army Headquarters, U.S.A.M.C., 1972. Engineering design handbook - Maintainability guide for design, AMC PAMPHLET MCP 706-134 (AMCP-706-134). Washington, DC 20315.
- DNV AS, 2024a. Rules for classification, Ships, Part 6 Additional class notations Chapter 3 Navigation, manoeuvring and position keeping, DNV Rules for classification. <https://standards.dnv.com/explorer/documents>.
- DNV AS, 2024b. Rules for classification, Ships, Part 3 Hull Chapter 12 Openings and closing appliances, DNV Rules for classification. <https://standards.dnv.com/explorer/document/16E0A1890EC74470B7A80AC0D9BB09DB/26>.
- DNV AS, 2021. Rules for classification, Ships, Part 4 Systems and components Chapter 1 Machinery systems, general, DNV Rules for classification. <https://standards.dnv.com/explorer/document/D942B5486F4E4788B99109B0EAC3D60A/12>.
- DNV GL SE, H., 2014. 1 Seagoing Ships - 21 Ventilation, Rules for Classification and Construction.
- Emerson Electric Co, 2020. Effects of Heat and Airflow inside an Enclosure [WWW Document]. URL <https://www.emerson.com/documents/automation/effects-of-heat-airflow-inside-an-enclosure-en-us-170664.pdf> (accessed 4.12.25).
- Engineering ToolBox, n.d. Water - Heat of Vaporization vs. Temperature [WWW Document]. URL https://www.engineeringtoolbox.com/water-properties-d_1573.html
- H. Rietschel, W.R., Adapted by: Dan Ghitescu, Lucian Klodnisch, V.V., 1967. *Tehnica incalzirii si ventilarii*. Editura tehnica Bucuresti.
- Hathaway, B., 2020. Hopes of pandemic respite this spring may depend upon what happens indoors [WWW Document]. *News.Yale.edu*. URL <https://news.yale.edu/2020/03/30/hopes-pandemic-respite-spring-may-depend-upon-what-happens-indoors>
- Hendri, N.S., Adi, A., Suharyo, O.S., Susanto, A.D., 2018. The Air Flow Analysis in Engine Rooms at Frigate Class Ship with CFD Approach (Computational Fluids Dynamics).

- International Journal of Recent Engineering Science 5, 11–18.
<https://doi.org/10.14445/23497157/ijres-v5i4p103>
- IACS, 2013. Unified requirements, S27 - Strength Requirements for Fore Deck Fittings and Equipment, IACS-Resolutions. <https://iacs.org.uk/resolutions/unified-requirements/ur-s>.
- IACS, 1986. Unified requirements, UR-M40, Ambient conditions – Temperatures, IACS-Resolutions. <https://iacs.org.uk/resolutions/unified-requirements/ur-m>.
- IACS, 1978. Unified requirements, UR-M28 Requirements Concerning Machinery Installations - Ambient reference conditions, IACS-Resolutions. <https://iacs.org.uk/resolutions/unified-requirements/ur-m>.
- IES, 2020. IES Committee Report: Germicidal Ultraviolet (GUV) – Frequently Asked Questions. Illuminating Engineering Society 1–24.
- IMO-Load Lines Convention, 2014. International Convention on Load Lines, 1966, as Amended by the Protocol of 1988, International Conventions. <https://www.imorules.com/LL.html>.
- IMO-MSC.1/Circular.1580, 2017. Guidelines for Vessels and Units with Dynamic Positioning (DP) Systems, Maritime Safety Committee. https://www.imorules.com/MSCCIRC_1580.html.
- IMO-MSC.429(98), 2020. Rev.1, Revised explanatory notes to the SOLAS CHAPTER II-1 subdivision and damage stability regulations, Maritime Safety Committee. [https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MSCResolutions/MSC.429\(98\)%20Rev.1.pdf](https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MSCResolutions/MSC.429(98)%20Rev.1.pdf).
- IMO-MSC/Circular.645, 1994. Guidelines for Vessels with Dynamic Positioning Systems, Maritime Safety Committee. https://www.imorules.com/MSCCIRC_645.html.
- IMO-MSC/Circular.1034, 2008. Guidelines for Smoke Control and Ventilation Systems for Internal Assembly Stations and Atriums on New Passenger Ships, Maritime Safety Committee. https://www.imorules.com/MSCCIRC_1034_ANN.html.
- IMO-Resolution MSC.335(90), 2012. Adoption of amendments to the guidelines for the design and construction of offshore supply vessels, 2006 (Resolution MSC.235(82)), Maritime Safety Committee. [https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MSCResolutions/MSC.335\(90\).pdf](https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MSCResolutions/MSC.335(90).pdf).
- IMO-SOLAS Convention, 2019. International Convention for the Safety of Life at Sea, International Conventions. <https://www.imorules.com/SOLAS.html>.
- IMO-SPS Code, 2018. Code of Safety for Special Purpose Ships, 2008 – Resolution MSC.266(84), Maritime Safety Committee. <https://www.imorules.com/SPS2008.html>.
- Issa, M., Ibrahim, H., Hosni, H., Ilinca, A., Rezkallah, M., 2020. Effects of Low Charge and Environmental Conditions on Diesel Generators Operation. Eng 1, 137–152. <https://doi.org/10.3390/eng1020009>
- Kahandagamage, G., 2014. Analysis of the effect of charge air temperature and humidity on the combustion process of diesel engines at Heladhanavi Power Plant , Puttalam , Sri Lanka. KTH School of Industrial Engineering and Management.
- Kulkarni, H., Smith, C.M., Lee, D.D.H., Hirst, R.A., Easton, A.J., O'Callaghan, C., 2016. Evidence of respiratory syncytial virus spread by aerosol time to revisit infection control strategies? Am J Respir Crit Care Med 194, 308–316. <https://doi.org/10.1164/rccm.201509-1833OC>
- Liu, J., Zhu, S., Kim, M.K., Srebric, J., 2019. A review of CFD analysis methods for personalized ventilation (PV) in indoor built environments. Sustainability (Switzerland) 11, 5–7. <https://doi.org/10.3390/su11154166>
- Melikov, A.K., 2020. COVID-19: Reduction of airborne transmission needs paradigm shift in ventilation. Building and Environment journal. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107336>
- Mihai, V., Rusu, L., 2023. CFD Analysis and Wind Tunnel Experiment for Ventilation Ducts with Structural Elements Inside. J Mar Sci Eng 11. <https://doi.org/10.3390/jmse11020371>

- Mihai, V., Rusu, L., 2022. Improving the Ventilation of Machinery Spaces with Direct Adiabatic Cooling System. *Inventions* 2022, Vol. 7, Page 78 7, 78. <https://doi.org/10.3390/INVENTIONS7030078>
- Mihai, V., Rusu, L., 2021. An Overview of the Ship Ventilation Systems and Measures to Avoid the Spread of Diseases. *Inventions* 2021, Vol. 6, Page 55 6, 55. <https://doi.org/10.3390/INVENTIONS6030055>
- Mihai, V., Rusu, L., Presură, A., 2022. Main requirements for ventilation of different rooms on the ships. *Annals of "Dunarea de Jos" University of Galati. Fascicle XI Shipbuilding* 45, 21–30. <https://doi.org/10.35219/ANNUGALSHIPBUILDING/2022.45.03>
- Ministerul Sanatatii - Directia de sanatate publica Giurgiu, 2022. Buletin de analiza apa. Giurgiu.
- Ministerul Sanatatii - Directia de sanatate publica Giurgiu, 2021. Buletin de analiza apa. Giurgiu.
- Montazeri, H., Blocken, B., 2013. CFD simulation of wind-induced pressure coefficients on buildings with and without balconies: Validation and sensitivity analysis. *Build Environ* 60, 137–149. <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2012.11.012>
- Montazeri, H., Montazeri, F., 2018. CFD simulation of cross-ventilation in buildings using rooftop wind-catchers: Impact of outlet openings. *Renew Energy* 118, 502–520. <https://doi.org/10.1016/J.RENENE.2017.11.032>
- Nakazawa, E., Ino, H., Akabayashi, A., 2020. Chronology of COVID-19 Cases on the Diamond Princess Cruise Ship and Ethical Considerations: A Report from Japan. *Disaster Med Public Health Prep*. <https://doi.org/10.1017/dmp.2020.50>
- NAVROM, n.d. Compania de Navigație Fluvială Română [WWW Document]. URL <https://www.navrom.ro/index.php/en/> (accessed 4.12.25).
- OGIMET, 2021. METEOSTAT [WWW Document]. URL <https://ogimet.com/cgi-bin/gsynres?ind=15460&decoded=yes&ndays=2&ano=2021&mes=09&day=214&hora=23>
- Pakawhat Khumkhreung, Yottana Khunatorn, 2017. CFD Modeling of Air Stream Pressure Drop inside Combustion Air Duct of Coal-Fired Power Plant with and without Airfoil. *World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Mechanical and Mechatronics Engineering* Vol:11.
- Reinders, R., 2020. Ventilation and humidity crucial against viruses, even after corona [WWW Document]. OXYCOM - Natural air conditioning. URL <https://www.oxy-com.com/blog-news/ventilation-and-humidity-covid-19>
- RINA, 2025a. Part F Vol.2 - Additional Class Notations. Rules for the classification of ships, RINA, Rules for Classification of Ships (REP). <https://membermarine.rina.org/content/rg/section/6>.
- RINA, 2025b. Part B Vol. 3 - Hull and Stability. Rules for the classification of ships, RINA, Rules for Classification of Ships (REP). <https://membermarine.rina.org/content/rg>.
- RINA, 2025c. Part E Vol.1 - Service Notation. Rules for the classification of ships, RINA, Rules for Classification of Ships (REP). <https://membermarine.rina.org/content/rg/section/6>, Via Corsica, 12 - 16128 Genova - Italy.
- RINA, 2022. Part C Vol. 1 - Machinery, Systems and Fire Protection. Rules for the classification of ships, RINA, Rules for Classification of Ships (REP). <https://membermarine.rina.org/content/rg>.
- Smyk, E., Mroziński, D., Wawrzyniak, S., Peszyński, K., 2017. Tubular air deflector in ventilation ducts. *ENGINEERING MECHANICS* 15–18.
- SR ISO 7547, 2005. Nave și tehnologie maritimă. Condiționarea aerului și ventilarea spațiilor amenajate. Condiții de proiectare și baze de calcul, Institutul Român de Standardizare. România.
- SR ISO 8861, 2002. Construcții navale. Ventilația compartimentului mașini al navelor cu motoare diesel. Condiții de proiectare și baze de calcul, 2007th ed. Institutul Român de Standardizare, Bucharest, Romania, România.

- SR ISO 8862, 1995. Condiționarea aerului și ventilarea compartimentelor control-mașini la bordul navelor. Condiții de proiectare și baze de calcul, Institutul Român de Standardizare. România.
- Tai, V.C., Kai-Seun, J.W., Mathew, P.R., Moey, L.K., Cheng, X., Baglee, D., 2022. Investigation of varying louver angles and positions on cross ventilation in a generic isolated building using CFD simulation. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 229, 105172. <https://doi.org/10.1016/J.JWEIA.2022.105172>
- Tasdemir and Bayraktar, 2016. CFD Analysis of Ventilation System for an ENGINE ROOM. 1st International Ship and Marine Technology Congress (SHIP-MAR 2016).
- Teodoreanu, E., 2016. Thermal Comfort Index. *Present Environment and Sustainable Development* 10, 105–118. <https://doi.org/10.1515/pesd-2016-0029>
- Termotecnica, 2022. Temperature Humidity Index: what you need to know about it [WWW Document]. URL <https://www.pericoli.com/EN/news/120/Temperature-Humidity-Index-what-you-need-to-know-about-it.html>
- TESTO, 2025. Măsurarea intuitivă a vitezei aerului și a calității aerului ambiental [WWW Document]. URL <https://www.testo.com/ro-RO/testo-405i/p/0560-1405>
- Tominaga, Y., Stathopoulos, T., 2009. Numerical simulation of dispersion around an isolated cubic building: Comparison of various types of k-ε models. *Atmos Environ* 43, 3200–3210. <https://doi.org/10.1016/J.ATMOENV.2009.03.038>
- Vlăduț, A., 2011. Temperature – Humidity Index (THI) within the Oltenia Plain between 2000 and 2009. *Forum geografic* X, 149–156. <https://doi.org/10.5775/fg.2067-4635.2011.033.i>
- VOLVO PENTA, n.d. D5A-A T HE 1500 rpm, Data sheet, Document number 939859.
- VOLVO PENTA, n.d. VOLVO PENTA MARINE GENSET D5A-T, Technical data sheet. SE-405 08 Göteborg.
- Vranay, F., Pirsell, L., Kacik, R., Vranayova, Z., 2020. Adaptation of hvac systems to reduce the spread of covid-19 in buildings. *Sustainability (Switzerland)* 12, 1–20. <https://doi.org/10.3390/su12239992>
- Xie, Y., Zheng, Z., Wang, H., Xu, Z., Liu, G., Malekian, R., Li, Z., 2019. Analysis of a main cabin ventilation system in a jack-up offshore platform Part I: Numerical modelling. *Applied Sciences (Switzerland)* 9. <https://doi.org/10.3390/app9153185>
- Zheng, X., Montazeri, H., Blocken, B., 2020. CFD simulations of wind flow and mean surface pressure for buildings with balconies: Comparison of RANS and LES. *Build Environ* 173. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106747>