



Universitatea Tehnică de Construcții București

**Facultatea de Inginerie
a Instalațiilor**



Universitatea Tehnica de Constructii Bucuresti

Facultatea de Inginerie Servicii de Constructii

Școala Doctorală

Teza de doctorat

Optimizarea colectoarelor de aer solar pentru nevoile de
uscare polivalente

Doctorand

Ing. Charles BERVILLE

Supervizorul tezei

Conf. univ. dr. ing. Ilinca NASTASE

BUCUREȘTI

2022

Abstract

Scopul general al tezei este de a aproba climate change, eficiența energetică și conceptul de securitate alimentară, ajutând dezvoltarea agriculturii urbane locale pentru un viitor durabil alimentare și energetice. Teza își propune să demonstreze că sursele regenerabile de energie utilizate pentru încălzirea clădirilor în perioada rece pot răspunde cu succes și nevoilor energetice ale agriculturii urbane, în procesul de conservare a alimentelor în perioada de cultură. Astfel, sistemul simbiotic al unei clădiri reziliente, care combină producția de energie și sursa de hrană, se integrează perfect în comunitățile urbane durabile. Scopul tezei este de a proiecta, analiza și testa un demonstrator experimental pentru a dovedi toate funcționalitățile și eficiența pe tot parcursul anului a conceptului de construire a sistemului adaptiv de energie solară, care integrează materiale de schimbare a fazei, în scopul încălzirii pasive a aerului și al uscării alimentelor. Sistemul solar adaptiv va conduce la trei obiective principale: asigurarea aerului proaspăt preîncălzit al clădirii în perioada rece și a aerului încălzit pentru sere și procesul de uscare a culturilor agricole urbane locale în perioada mai caldă.

A fost efectuată o analiză a literaturii de specialitate privind sistemele solare de încălzire a aerului, procesele de uscare și stocarea energiei termice latente. Pe baza acestei stări multidisciplinare a fost schițat un concept de construire a unui sistem termic solar integrat pentru nevoile de încălzire și uscare. Sistemul BIST este format din colector solar cu piele dublă, cu LTHES integrat într-o fațadă a clădirii și cuplat cu o cameră de uscare. Fiecare parte a sistemului a fost studiată prin abordări numerice și/sau experimentale pentru a determina caracteristicile optime ale sistemului BIST la scară reală construit și prezent în curtea Facultății de Ingineria Serviciilor de Construcții din cadrul Universității Tehnice de Construcții București. Colectoare solare perforate (TSC) sunt de obicei implementate pe clădiri la scară largă, cum ar fi clădirile rezidențiale industriale, de birouri sau multifamiliale pentru ventilație și încălzirea spațiilor în perioada rece, iar în timpul perioadei mai calde aerul încălzit din sistem este de obicei ocolit. Această observație ne-a condus la conceptul de uscător solar care utilizează energia pierdută a TSC în timpul verii. Scopul este de a dovedi posibilitatea de fațade solare pentru uscarea multifuncțională trebuie să le prețuiască în timpul verii. Acest proiect dovedește o aplicație tehnică de recuperare a energiei din căldura irosită generată de consumul de energie în timpul verii, contribuind, de asemenea, la efectul de insulă de căldură. TSC-urile sunt soluții promițătoare de energie solară și reprezintă o strategie alternativă durabilă de atenuare a consumului de energie pentru încălzirea spațiilor, preîncălzirea aerului proaspăt sau în scopuri de uscare. Cu toate acestea, una dintre principalele probleme rămâne stocarea termică atunci când sursa de căldură este oprită (vreme înnoată, perioadă de noapte). Astfel, am investigat cuplarea TSC cu un LHTES. Studiul nostru s-a axat pe tipul de încapsulări PCM, precum și pe aranjarea încapsulărilor. Încapsulările au fost analizate prin studii CFD (computational fluid dynamics) și validate prin măsurători PIV (Particle Image Velocimetry). Pentru fiecare aranjament analizăm transferul de căldură dintre elementele TES și aerul care trece prin colector. Acest studiu oferă o înțelegere a impactului tipului de elemente TES asupra eficienței fațadei solare, pentru a fi mai cuprinzătoare pentru ingineri și arhitecți în proiectele lor.

A fost analizată forma optimă a noului nostru DSTSC, parametri precum grosimea spațiului de aer. Dimensiunea și greutatea fațadelor solare sunt un subiect important în proiectarea clădirilor, deoarece afectează, printre altele, amprenta clădirilor. Pe lângă miza economică pentru dezvoltatorii imobiliari datorită prețului pe metru pătrat în orașe, amprenta clădirilor este o problemă majoră astăzi, în lupta împotriva artificializării solului, precum și în scopul densificării orașelor viitorului. Acest studiu oferă o înțelegere a impactului grosimii plinului de aer al unei fațade solare asupra performanței termice.

În cele din urmă, strategiile de control pentru operațiunile de uscare au fost schițate pentru a oferi o gestionare termică a TES și pentru a facilita utilizarea unui astfel de sistem în clădiri.

Mulțumirilor

Un doctorat nu este o căutare solitară, trebuie să știi cum să te înconjori de oameni în care ai încredere și care te pot ajuta cu buna desfășurare a proiectului. Acest proiect nu ar fi fost posibil fără sprijinul următoarelor persoane.

Ilinca Năstase, Cristiana Croitoru și Florin Bode au fost un trio extraordinar care oferă îndrumare și suport cu un îmbin perfect de cunoștințe tehnice și prietenie. Dementiionat că fără Ilinca și Cristiana (și draga mea Lavinia) probabil că nu m-aș fi întors în România după Erasmus și m-aș fi gândit nici la doctorat.

Recunosc cu recunoștință ajutorul colegilor mei din laboratorul CAMBI. Paul Dancă a cărui mi-a supravegheat experimentele PIV. Matei Georgescu pentru că mi-a prezentat software-ul post-procesare CFD și mi-a dat sfaturi și trucuri pentru simulări cfd. Andrei Bejan pentru expertiza și feedback-ul cu privire la colectoarele solare perforate. Cătălin Teodosiu pentru prețiosul feedback la manuscrisul tezei. Octavian Pop, de la Universitatea din Cluj pentru cunoștințe tehnice privind stocarea energiei termice latente termice. Îi mulțumesc lui Florin Măcăneață pentru că m-a ajutat cu suport tehnic în ceea ce privește echipamentele și dispozitivele de laborator.

Sunt recunoscător pentru studentul meu doctorand fellows. Cătălin Sima pentru construcția de standuri experimentale. Alexandra Ene și Titus Joldos pentru expertiza IR în modelarea 3D.

Centrul de Cercetare Avansată pentru Calitatea Mediului și Fizica Clădirilor (CAMBI) îmi oferă șansa de a colabora cu cercetători internaționali, cum ar fi Abraham Tetang Fokone, căruia îi mulțumesc foarte mult pentru îndrumările tehnice privind procesele de uscare. Mulțumiri foarte speciale lui Amaury Jamin de la Academia Militară Regală din Bruxelles, care a fost întotdeauna aici pentru a mă ajuta cu puterea de calcul și îndrumarea CFD-urilor atunci când mă confruntam cu o grămadă de simulări CFD-uri.

De asemenea, trebuie să-i mulțumesc Andrianei Banyai, care s-a străduit să obțină echipamentele necesare pentru realizarea standurilor experimentale în ciuda pandemiei, fracturii pieței internaționale și problemelor vamale.

În final, aș dori să-i mulțumesc lui Jan Eric Cardon, fost CEO al France Air România pentru sprijin și sponsorizare în ceea ce privește echipamentele HVAC pentru standurile experimentale.

Sunt norocos că am făcut parte din proiectul BISCUIT, confirmând alegerea mea în carieră în cercetare. Mulțumesc partenerului meu din acest proiect care a avut încredere în mine și mi-a prezentat managementul de proiect de cercetare și scris.

Traiu în străinătate nu este ușor, mai ales pentru părinți. So, morice mulțumesc părinților mei, Catherine & Didier și fratelui meu, Simon, pentru că m-au susținut în ciuda distanței și în această lungă perioadă de pandemie fără să se vadă.

Recunoștință imensă față de Lavinia pentru răbdarea și sprijinul ei zilnic. Un doctorat este o aventură în care trebuie să știi să faci compromisuri, găsirea perechii care te va susține este esențială.

Cuprins

1. Introducere generală.....	4
1.1. Contextul sectorului alimentar	4
1.2. Contextul sectorului construcțiilor	5
1.3. Obiectivele tezei de doctorat	6
2. Capitolul 1: Stadiul actual al tehnicii privind uscarea solară și stocarea latentă a energiei termice	9
2.1. Uscare.....	9
2.1.1. Nevoile de uscare în agricultura urbană	9
2.2. Uscare solară	10
2.2.1. Lucrări timpurii privind uscarea solară	10
2.2.2. Clasificarea uscătorului solar	10
2.3. Concluzie.....	11
3. Capitolul 2: Studiul numeric al colectorului solar perforat cu LHTES integrat pentru nevoile de uscare – uscător solar indirect	12
3.1. Investigații numerice ale colectoarelor solare perforate.....	13
3.1.1. Prototip & Geometrie	13
3.1.2. Grilă de discretizare.....	14
3.1.3. Modele matematice și configurarea CFD-urilor.....	14
3.1.4. Comparatie între TSC și DSTSC.....	14
3.1.5. Investigarea influenței grosimii stratului de aer	15
3.1.5.1. Concluziile.....	18
3.1.6. Influența materialelor	19
3.1.6.1. Durabilitate și calitate.....	19
3.1.6.2. Concluziile.....	19
3.2. Investigații numerice ale unei camere de uscare	20
3.2.1. Studiu experimental pentru conceptul de cameră de uscare cu filtru	22
3.2.2. Concluziile.....	23
3.3. Investigații numerice privind LHTES pentru colectoarele de aer solar	24
3.3.1.1. Validarea modelului	25
3.3.2. Rezultate numerice și discuții.....	26
3.3.2.1. Încapsulare dreptunghiulară	26
3.3.2.2. Studiu privind aranjamentele de încapsulare sferică	26
3.3.2.3. Tipuri de materiale de încapsulare.....	27
3.3.2.4. Încapsulare sferică dreptunghiulară VS.....	28
3.3.3. Concluziile.....	28
4. Capitolul 3: Studiul experimental al colectorului solar perforat pentru nevoile de uscare – uscător solar indirect.....	29
4.1. Studii experimentale în aer liber.....	29
4.1.1.1. Probleme legate de durata de viață a fațadei solare	29
4.1.1.2. Comportamente termice	30
4.1.1.3. Metodă simplificată de evaluare a performanței termice TSC și DSTSC	30
4.1.2. Potențialul de uscare.....	31
4.1.2.1. Potențialul de uscare, studiu de caz	31
4.1.3. Strategii de control	32
4.1.4. Concluzie.....	33
5. Capitolul 4: Concluzii, perspective și contribuții personale.	33
6. Bibliografie.....	36

1. Introducere generală

1.1. Contextul sectorului alimentar

Dezechilibrul global în ceea ce privește resursele alimentare și energetice este în continuă creștere. Insecuritatea alimentară are consecințe multiple, cum ar fi creșterea bolilor netransmisibile legate de diete și subnutriție. Potrivit celui mai recent raport al Organizației Națiunilor Unite [1, 2] mai mult de 800 de milioane de oameni suferă de deficiență alimentară cronică (subnutriție) în lume, aceasta reprezentând aproximativ 11% din populația lumii. Iar această problemă este într-o creștere perpetuă, tot potrivit ONU, populația lumii va crește de la 7 la 9 miliarde înainte de 2050 [3], din care o mare parte în Africa și care 68% în zonele urbane. După cum am spus, numărul studiilor anterioare privind consumul mondial de alimente și energie va marca o creștere semnificativă până în 2050. În 2019, un grup de experți și oameni de știință au publicat un studiu pentru a revoluționa modul în care hrănim populația lumii [4]. Cum putem hrăni o populație viitoare de 10 miliarde de oameni? Această "revoluție", sau ar trebui să spunem acest pas înapoi înainte de apariția erei industriale și a alimentelor industriale, a preconizat o dietă sănătoasă. Acest studiu a arătat nevoia de mai multe alimente pe bază de plante decât alimentele de origine animală în dieta noastră, precum și necesitatea unor sisteme alimentare mai durabile pentru a atinge obiectivele de dezvoltare durabilă ale ONU și Acordurile de la Paris [5, 6]. Cu alte cuvinte, Marea Transformare Alimentară este soluția pe care o dorește lumea. Producția de alimente este unul dintre cei mai mari contribuitori la emisiile de gaze și este principala sursă de metan și protoxid de azot din lume. Statisticile privind emisiile globale de gaze se concentrează, de obicei, pe emisiile de dioxid de carbon, cu toate acestea, unele gaze au un impact mai mare asupra mediului, cum ar fi metanul și protoxidul de azot, care au un potențial de încălzire globală (GWP) de 28 de ori și, respectiv, de 265 de ori mai mare pe parcursul a 100 de ani, și dacă luăm în considerare GWP pe parcursul a 20 de ani, CH₄ este de 84 de ori mai mare decât CO₂ [7]. Acest tip de indicatori de emisie, cum ar fi acest așa-numitele "emisi echivalente de CO₂" sau GWP, sunt foarte utile pentru a facilita politicile climatice și pentru a explica rolul fiecărui sector în emisiile globale de gaze cu efect de seră. Pe de altă parte, este complicat pentru politicieni și guverne să aplice politici ale căror efecte se vor vedea în multe decenii. Această problemă de scară de timp explică dificultățile întâmpinate de politica globală pentru a lupta împotriva încălzirii globale. În figura 1, Curtea a observat modul în care diferite valori și orizonturi de timp pot afecta contribuțiile privind GES ale diferitelor sectoare. Un exemplu perfect este sectorul agricol, care emite o mulțime de CH₄ cauzând creșterea animalelor și descompunerea anaerobă a materialului organic în câmpurile de orez inundate (câmpurile de orez upland reprezentând doar 10 % din producția globală de orez[8]) care contribuie la emisiile globale de GES, dar cu impact diferit în funcție de scara de timp analizată. Într-adevăr, CH₄ au o durată de viață de 12,4 ani, deci dacă ne uităm la potențialul de încălzire globală de peste 20 de ani, sectorul agricol reprezintă 22% din emisiile de GES și doar 14% pe parcursul a 100 de ani. "Urbanizarea necesită o **regândire radicală** a fiecărui aspect al sistemelor noastre **alimentare**, de la modul în care sunt produse alimentele până la modul în care sunt procesate, ambalate, transportate, comercializate și consumate și până la modul în care sunt manipulate și reciclate deșeurile alimentare. Gestionată bine, dezvoltarea sistemului alimentar care reflectă această **tranziție urbană globală** va oferi o mulțime de oportunități locuitorilor din mediul urban și rural și va contribui la realizarea Obiectivelor de Dezvoltare Durabilă." [9]

Dezechilibrul alimentar nu este prezent doar în zonele rurale, ci și în zonele urbane și periurbane lipsite de producția agricolă locală. Creșterea rapidă a orașelor din țările în curs de dezvoltare a impus cerințe enorme sistemelor urbane de aprovizionare cu alimente, iar nereglementarea piețelor funciare a cauzat o artificializare masivă a terenurilor agricole din jurul zonelor urbane. Acest fenomen a îndepărtat agricultura de orașe și, prin urmare, locul de producție de la locul de consum. Readucerea producției agricole în centrul orașelor, readucerea naturii la populațiile urbane și realizarea unei

producții locale reale sunt principalele obiective ale acestui secol și acesta este rolul agriculturii urbane. Agricultură urbană și periurbană este o sursă de locuri de muncă, de alimente proaspete, de regenerare a deșeurilor urbane și face orașele mai rezistente la atenuarea schimbărilor climatice. [10]

Anticipând o astfel de creștere a populației și consecințele acesteia asupra schimbărilor climatice, țările afectate de sărăcia alimentară trebuie să profite de ocazie pentru a deveni mai ecologice. Procesele agricole trebuie să devină mai durabile și mai eficiente, prin îmbunătățirea sistemelor de recoltare și optimizarea sistemelor de depozitare a alimentelor. Cu toate acestea, sărăcia alimentară este strâns legată de sărăcia energetică. Într-adevăr, Africa are bogăție agricolă cu un mare potențial, dar acest potențial este în mare măsură subexploatat. Dificultățile sunt întâmpinate în timpul conservării culturilor, deoarece necesită consumuri substanțiale de energie. Acesta este modul în care puține produse din agricultura africană sunt comercializate, precum și în orașele africane decât în Europa. [11] Am luat exemplul Africii, dar acest lucru este valabil pentru majoritatea țărilor în curs de dezvoltare.

Reducerea pierderilor de alimente postharvest este o abordare esențială pentru a continua să se hrănească populația umană în creștere. O treime din alimentele produse pentru consumul uman aproximativ 1,3 miliarde de tone anual sunt irosite sau stricate. [12]. Cu toate acestea, pierderile de alimente depind de localizarea, într-adevăr, în țările în curs de dezvoltare, pierderile apar între fermă și consumator, cauzate de sistemele postharvest sărace, în timp ce în țările dezvoltate pierderile alimentare apar la consumatorul final [13]. În țările în curs de dezvoltare, primele cauze ale pierderilor de alimente apar prin contaminarea cu micotoxină atunci când mărfurile alimentare sunt depozitate la umiditate relativă de echilibru ridicat (ERH). Implementarea "lanțului uscat" este una dintre soluțiile cheie pentru reducerea pierderilor alimentare postharvest, uscarea mărfurilor alimentare pentru a le conserva. **Îmbunătățirea sistemelor de uscare este unul dintre obiectivele stabilite de raportul comisiei EAT-LANCET în cel de-al cincilea strategy: "cel puțin înjumătățirea pierderilor și a deșeurilor alimentare, în conformitate cu ODD-urile globale" [4].** În acest domeniu, metoda eficientă din punct de vedere al costurilor pentru a elimina apa din produs este utilizarea aerului înconjurător sau a uscării solare. [14] "Nici Obiectivele de dezvoltare ale mileniului, nici obiectivele Summitului alimentar mondial nu vor fi atinse dacă nu se acordă atenția cuvenită orașelor și legăturilor rural-urbane" [15].

În țările din sud, alimentele agricole, cum ar fi legumele, fructele, orezul, cafeaua, nucile, necesită uscare pentru a fi conservate. Cu toate acestea, metodele convenționale de uscare a alimentelor sunt costisitoare și au nevoie de o cantitate importantă de energie, iar unele populații sunt prea sărace pentru a cumpăra aceste sisteme sau prea departe de rețelele energetice. Uscarea deschisă la soare este o alternativă la sistemele convenționale de uscare, dar are mai multe dezavantaje, cum ar fi produsele de slabă calitate datorate radiațiilor solare directe, stării climatice (ploaie, vânt, praf etc.), răspândirii bacteriilor și dezvoltării micotoxinelor din cauza necontrolului aerului înconjurător și a deteriorării cauzate de animale [16]. Uscarea solară este una dintre cheile pentru rezolvarea acestor probleme și este în deplină concordanță cu Acordurile de la Paris, într-adevăr, deoarece uscarea solară este durabilă, mai ieftină decât metodele convenționale de uscare și independentă de rețelele energetice.

1.2. Contextul sectorului construcțiilor

Sectorul construcțiilor este cel mai mare consumator de energie și cel mai mare contribuitor la emisiile de gaze cu efect de seră din lume. Aceasta reprezintă în continuare 36 % din consumul final global de energie și 40 % din emisiile de gaze cu efect de seră, fiind esențială pentru reducerea consumului de energie al sectorului construcțiilor în următorii ani.

De la apariția zgârie-norilor în timpul secolului 20 arhitecții și designerii de clădiri s-au concentrat pe clădiri înalte din beton și structură metalică învelite în fațade de sticlă. Aceste clădiri strălucitoare și cu consum ridicat de energie nu mai sunt în conformitate cu standardele și nevoile vremurilor noastre. Din 2010, Uniunea Europeană a stabilit politici, inclusiv Directiva 2010/31/UE privind performanța energetică a clădirilor (EPBD) și Directiva 2012/27/UE privind eficiența energetică (DEE) pentru a îmbunătăți sectorul construcțiilor din Uniunea Europeană. Aceste politici au fost consolidate mai întâi în 2018 (2018/844/UE) în ceea ce privește instituirea pachetului privind energia curată pentru toți europenii, care să fie în conformitate cu Acordul de la Paris și apoi în decembrie 2019, în timpul prezentării Pactului ecologic european. Toate aceste directive și politici sunt făcute pentru a îmbunătăți eficiența energetică și pentru a decarboniza sectorul construcțiilor până în 2050. Până la sfârșitul anului 2020, la începutul anului 2021, toate clădirile noi ar trebui să fie clădiri cu consum de energie aproape egal cu zero (NZEB) și, în viitorul apropiat, să realizeze clădiri cu energie pozitivă (PEB) [17].

Pentru a atinge toate aceste obiective, ar trebui propuse noi sisteme energetice și ar trebui reanalizate arhitecturile clădirilor. Unele dintre soluții sunt ancorate în clădirea în sine, iar din acestea atenția noastră se concentrează pe anvelopa/fațada clădirii. Fațadele clădirilor sunt o sursă uriașă de energie care de mult timp au fost uitate în concepția clădirilor. Fațadele clădirilor pot valorifica cantități mari de energie de la soare [18]. În ultimii ani, au apărut noi concepte de fațade ale clădirilor și sisteme active de anvelopare a clădirilor [19], cum ar fi sistemele termice solare ventilate, integrate în clădiri [20, 21], fotovoltaice [22] sau fațadele bio-reactive ale algelor [23, 24]. Printre acestea, fațadele cu aer ventilat sau solar au avantajul de a fi ieftine și ușor de integrat în noile arhitecturi ale clădirilor sau în rețehnologizare. După cum sa menționat de Maurer et al. [25] o chestiune importantă este de a face construirea de sisteme solare integrate ușor de utilizat pentru proiecte de construcții de succes. Adaptabilitatea sistemului pentru clădirile existente sau noi este o modalitate importantă de a introduce un nou produs în sectorul construcțiilor. Pentru a lămuri această problemă, experții [26] din 14 țări au prezentat un grup de inițiative și orientări pentru integrarea energiei solare în arhitectură. Acest raport a remarcat, de asemenea, importanța proiectării, culorii, materialului și dimensiunii pentru integrarea armonioasă a sistemelor de energie solară în arhitectură.

În plus, integrarea sistemelor solare de încălzire a aerului oferă mai multe beneficii. Într-adevăr, este un sistem de producție a energiei din surse regenerabile, potrivit pentru clădirile noi și renovarea clădirilor. Este o aplicație simplă integrată în clădiri pentru sobrietate energetică în clădirile rezistente. Această soluție inovativă reduce dependența energetică a clădirii de combustibilii fosili, ceea ce poate duce la obținerea de credite suplimentare pentru certificări ecologice, cum ar fi LEED® și ajută la obținerea certificărilor Near Zero Energy Building (NZEB). De asemenea, oferă aer proaspăt pre-încălzit pentru a îmbunătăți calitatea aerului din interior, câștigând interes în ultimii ani, marcat de răspândirea virusurilor din aer, cum ar fi COVID-19. Este operabil pentru aplicații off-grid, cum ar fi procesele de uscare în clădiri agricole departe de rețelele energetice. Este un suport pentru crearea de locuri de muncă locale, de obicei, sistemele solare de încălzire a aerului sunt ușor de fabricat și nu necesită un know-how considerabil, astfel încât acestea pot fi fabricate de industria locală.

În acest grup larg de sisteme termice solare integrate în clădiri găsim colectoarele solare perforate (TSC). TSC poate fi vitrat (GTSC) sau neglazed (UTSC), acestea sunt de obicei implementate pe clădiri la scară largă, cum ar fi clădiri rezidențiale industriale, de birouri sau multifamiliale pentru ventilație și încălzirea spațiului în perioada rece. Acest tip de colector de aer solar are avantajul de a fi ieftin și ușor de integrat pentru o modernizare a clădirii.

1.3. Obiectivele tezei de doctorat

Scopul general al tezei este de a aproba conceptul de economie circulară, ajutând dezvoltarea agriculturii urbane locale pentru un viitor alimentar durabil. Proiectul își propune să demonstreze că sursele regenerabile de energie utilizate pentru încălzirea clădirilor în perioada rece pot răspunde cu succes și nevoilor energetice ale agriculturii urbane, în procesul de conservare a alimentelor în perioada de recoltare, închizând bucla. Astfel, sistemul simbiotic al clădirii, ca adăpost și ca sursă de hrană, se integrează perfect în comunitățile urbane durabile.

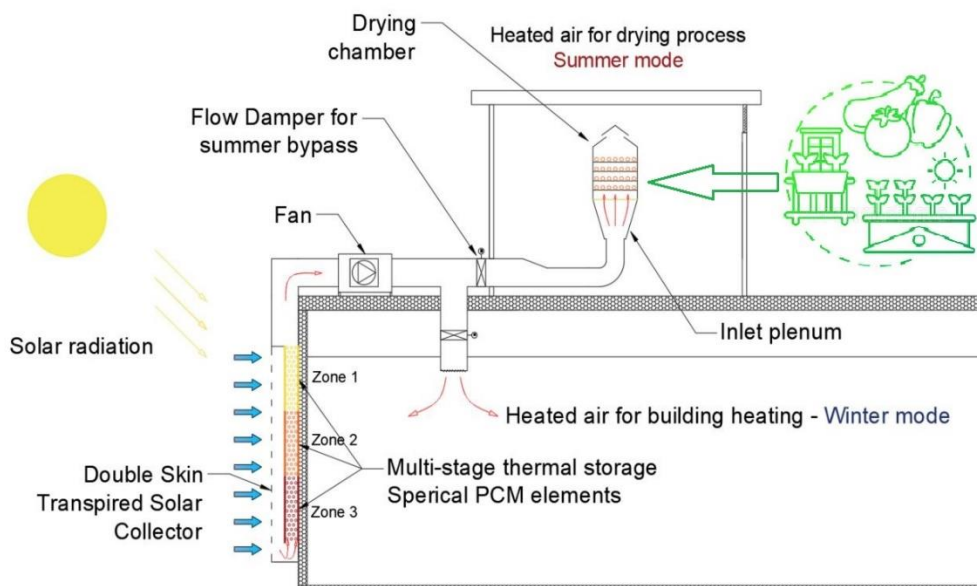
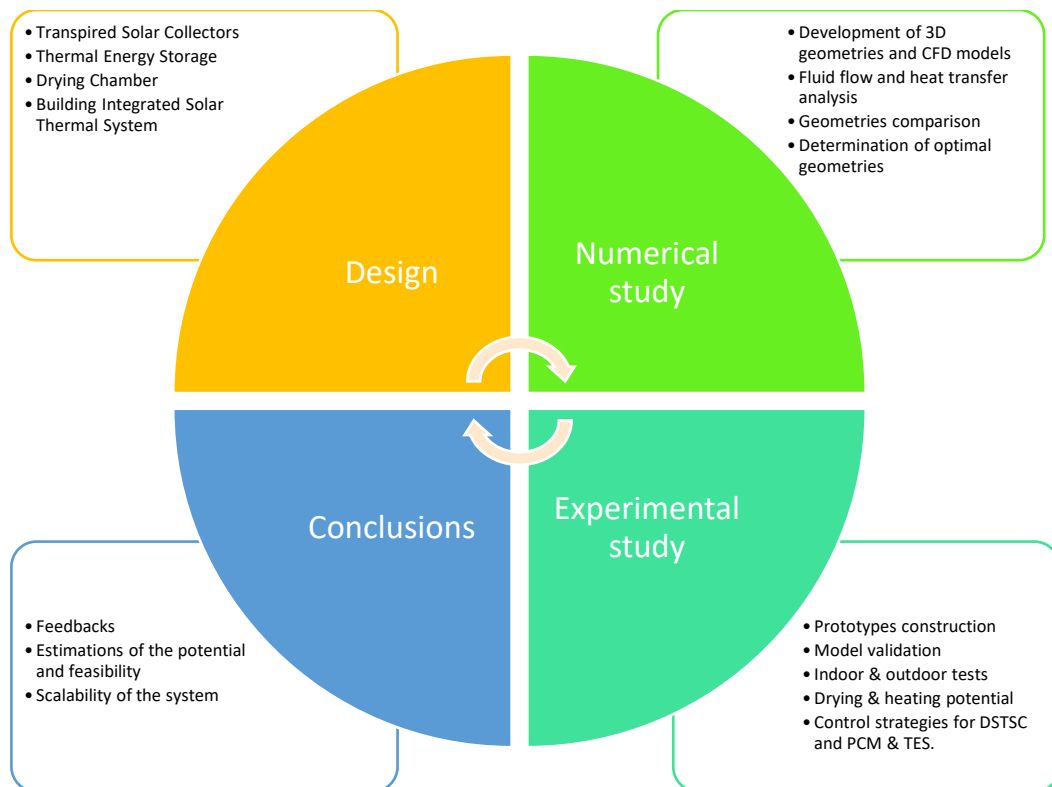


Figura 1. Diagrama schematică a demonstratorului propus

Colectoarele solare perforate (TSC) sunt de obicei implementate pe clădiri la scară largă, cum ar fi clădirile rezidențiale industriale, de birouri sau multifamiliale pentru ventilație și încălzirea spațiului în perioada rece, iar în timpul perioadei mai calde aerul încălzit din sistem este de obicei ocolit. Această observație ne-a condus la conceptul de uscător solar care utilizează energia pierdută a TSC în timpul verii. Scopul este de a dovedi posibilitatea ca fațadele solare pentru încălzirea multifuncțională să le pună în valoare pe tot parcursul anului. Acest proiect dovedește o aplicație tehnică de recuperare a energiei din căldura irosită generată de consumul de energie în timpul verii, contribuind, de asemenea, la efectul de insulă de căldură. Un TSC este realizat din placare metalică cu perforații, instalate la o anumită distanță de un perete de clădire, creând astfel o cavitate prin care circulă aerul. Placarea metalică, este încălzită de radiația solară de la soare, iar ventilatoarele de ventilație creează o presiune negativă în cavitate, extragând aerul încălzit solar prin placa absorbantă perforată. În TSC-ul nostru inovator, aerul încălzit trece apoi gândit la o stocare a energiei termice realizată din materiale de schimbare a fazelor încapsulate, având rolul de a atenua intermitența radiației solare. În perioada rece, aerul încălzit este introdus în general în unitatea de tratare a aerului situată pe acoperiș și apoi distribuită în clădire prin intermediul sistemului de ventilație. În timpul perioadei mai calde, atunci când nu există nevoi de încălzire, aerul încălzit care este de obicei ocolit va fi recuperat pentru nevoile de încălzire ale fermelor urbane, cum ar fi procesul de uscare sau încălzirea cu efect de seră.

Scopul proiectului este de a dezvolta un demonstrator experimental pentru a dovedi funcționalitatea și eficiența pe tot parcursul anului a conceptului de construire a sistemului adaptiv de energie solară, integrând materiale de schimbare a fazei, în scopuri de încălzire pasivă a aerului și de uscare a alimentelor. Sistemul solar adaptiv va conduce la trei aplicații principale: furnizarea de aer proaspăt în timpul perioadei reci a clădirii preîncălzite și aer încălzit pentru sere și procesul de uscare a culturilor agricole urbane locale în timpul perioadei calde.

Fluxul de lucru al proiectului de doctorat:*Figura 2. Flux de lucru Proiect***Structura tezei**

Manuscrisul tezei este împărțit în trei capitole principale.

Capitolul 1 își propune să pună bazele tezei prin analiza literaturii de specialitate a celor patru piloni ai proiectului de doctorat: În primul rând, procesele de uscare, în al doilea rând colectoarele de aer solar, al treilea uscarea solară și al patrulea depozitele latente de energie termică.

Capitolul 2 își propune să dezvolte un cadru general pentru proiectarea sistemelor integrate de încălzire a clădirilor pentru nevoile multifuncționale. În acest capitol investigăm prin simulare numerică cele trei elemente principale ale sistemelor și anume colectorul solar cu piele dublă, camera de uscare și stocarea energiei termice. Obiectivul este de a determina designul optim pentru fiecare element.

Capitolul 3 se concentrează pe construcția sistemelor integrate de încălzire a clădirii cu stocare latentă a energiei termice cuplate la o camera de uscare. Obiectivul este de a demonstra fezabilitatea și de a evalua potențialul unui astfel de sistem la scară reală prin studii experimentale interioare și exterioare.

Această teză consideră domeniul eficienței energetice aplicat mediului construit durabil ca subiect principal al studiului său.

2. Capitolul 1: Stadiul actual al tehnicii privind uscarea solară și stocarea latentă a energiei termice

2.1. Uscare

Uscarea este o operație care are ca scop îndepărtarea parțială sau totală a apei dintr-un corp umed prin evaporare [27, 28]. Uscarea este o operațiune termică care utilizează transferurile cuplate de căldură și material care au loc în interiorul și în afara produsului [29]. Este o tehnică care reduce considerabil masa și volumul produselor, ceea ce facilitează transportul, depozitarea și manipularea acestora [30]. De asemenea, este utilizat pentru a stabili un produs prin scăderea conținutului său de apă, astfel încât activitatea apei să fie crescută la o valoare care îi permite să fie stocată pentru perioade lungi de timp la o temperatură obișnuită [31]. Activitatea apei pentru un produs este raportul dintre presiunea parțială a apei din suprafața produsului și presiunea parțială a apei pure la aceeași temperatură. În cazul uscării fructelor și legumelor, uscarea se poate face în flux linistit, adică fluxul de aer este paralel cu produsul sau în flux. În acest din urmă caz, fluxul de aer cald este perpendicular pe produs, ceea ce favorizează diferite transferuri de căldură și materiale. Aceasta este cea mai comună procedură. Având în vedere sensibilitatea unor vitamine la expunerea permanentă la temperaturi ridicate, activitatea desfășurată de cercetători a arătat că pentru uscarea fructelor și legumelor de calitate, uscarea continuă este recomandată pentru un interval de temperatură cuprins între 30 și 60 °C. Două metode de uscare sunt utilizate în mod obișnuit pentru uscarea în strat subțire a produselor agricole și uscarea adâncă a patului. Uscarea în strat subțire este utilizată pentru produse agricole, cum ar fi fructele și legumele. Această metodă constă în uscarea unui strat subțire al unui produs întreg sau feliat plasat pe tăvi de uscare. Produsele sunt uscate prin curgere convectivă perpendiculară sau paralelă. Uscarea adâncă a patului este utilizată pentru produse agricole, cum ar fi cerealele și fasolea. Figura **Error! Reference source not found.** ilustrează o schemă de uscare adâncă a patului, constă dintr-un strat mai profund de uscare a produsului cu debit perpendicular, rezultând o zonă de uscare diferită.

2.1.1. Nevoile de uscare în agricultura urbană

Am investigat potențialele produse care ar putea fi uscate pentru locația noastră. Clima României oferă o oportunitate favorabilă pentru cultivarea urbană a mai multor fructe, legume și ierburi aromatice. Unele dintre ele sunt prezentate în Tabelul 1.

Tabelul 1. Produse comune din agricultura urbană din România.

Tipul de produse	Varietate	Intervale de temperatură de uscare	Referințe
Legume	Ciupercă; Roșie; Dovlecel; Piper verde	30– 65 °C	[32, 33]
Fructe	Caisă; Căpșună; Zmeură; Cătină; Afine; Afine; Chokeberries	40 – 65 °C	[34, 35]
Ierburi aromatice	Mărar; Cimbru; busuioc; pătrunjel; oregano; rozmarin; salvie; cimbru; Mentă; Leuștean; Tarhon; Coriandru; Arpagic	30 - 40 °C	[36]
Algă	Spirulina	25– 42 °C	[37]

Multe activități se desfășoară în zonele urbane, nevoia de spațiu și energie este super concentrată în zone mici, astfel încât echipamentele pentru uscare ar trebui să fie proiectate cu înțelepciune pentru a fi integrate cu succes în orașe. Factorii cheie care ar trebui să fie atinși sunt o suprafață mică necesară pentru instalare, consumul redus de energie, ușurința de integrare, funcționare și întreținere și, în cele din urmă, expunerea scăzută la uscare la contaminanți pentru a proteja produsele. Prin diferitele lucrări întâlnite în literatura de specialitate, reiese că uscarea este o operațiune energointensivă, care

este costisitoare [27, 33]. În acest context, accentuat de actuala criză energetică, sistemul de uscare bazat pe energia solară este foarte competitiv, deoarece energia solară este liberă. Mai mult decât atât, sistemul de uscare solară este de obicei ușor de utilizat și cu costuri reduse. Cu toate acestea, dacă uscarea solară se realizează prin uscarea deschisă la soare, suprafața necesară va fi prea mare pentru a fi integrată în orașe. Astfel, uscătorul solar, cum ar fi uscătorul solar indirect, este sistemul perfect pentru orașe, deoarece concentrează procesul de uscare și reduce drastic suprafața necesară, reduce riscul de expunere la contaminanți, deoarece este "indirect" și, în cele din urmă, este încă ieftin și ușor de utilizat [35, 38-40].

2.2. Uscare solară

2.2.1. *Lucrări timpurii privind uscarea solară*

Procesele de uscare sunt larg răspândite în sectoarele agricol, marin și industrial, de la fructe și legume la producția de lemn și textile [41]. În țările din sud, produsele alimentare agricole și marine, cum ar fi legumele, fructele, orezul, cafeaua, nucile și peștele, necesită conservarea uscării [14, 16, 42]. Uscarea este o operație care are ca scop îndepărtarea parțială sau totală a apei dintr-un corp umed prin evaporare [41, 43]. Uscarea este o operațiune termică care utilizează transferurile cuplate de căldură și material care au loc în interiorul și în afara produsului. Este o tehnică care reduce considerabil masa și volumul produselor, ceea ce facilitează transportul, depozitarea și manipularea acestora [30]. De asemenea, este folosit pentru a stabiliza un produs prin scăderea conținutului său de apă, astfel încât activitatea apei să fie crescută la o valoare care îi permite să fie stocată pentru perioade lungi de timp la o temperatură obișnuită. În cazul uscării fructelor și legumelor, uscarea se poate face în flux de lins, adică fluxul de aer este paralel cu produsul sau în flux. În acest din urmă caz, fluxul de aer cald este perpendicular pe produs, ceea ce favorizează transferuri diferite de căldură și materiale. Radiația solară este folosită de secole pentru uscarea produselor agricole, totul a început cu uscarea deschisă la soare, iar în ultimele decenii au fost dezvoltate uscătoare solare mai eficiente. Cu toate acestea, uscătoarele solare nu sunt încă răspândite și nici utilizate pe scară largă, în principal datorită intermitenței și randamentului lor mediu [44]. Încă din era industrială, uscătoarele care utilizează combustibili fosili, lemn sau electricitate sunt mai răspândite, datorită puterii și randamentului lor continuu. Cu toate acestea, numărul de studii anterioare privind consumul mondial de alimente și energie va marca o creștere semnificativă până în 2050 [4]. În acest context, strâns legată de lupta împotriva încălzirii globale, uscarea solară poate fi una dintre cheile pentru rezolvarea acestor probleme, deoarece este durabilă, eficientă din punct de vedere energetic, mai ieftină decât metodele convenționale de uscare care utilizează energii fosile și independentă de rețelele energetice. Uscarea deschisă la soare este o alternativă la sistemele convenționale de uscare, dar are mai multe dezavantaje, cum ar fi produsele de slabă calitate datorate radiațiilor solare directe, stării climatice (ploaie, vânt, praf etc.), răspândirii bacteriilor și dezvoltării micotoxinelor din cauza necontrolului aerului înconjurător și a deteriorării cauzate de animale [16]. Belessiotis și Delyannis au enumerat dezavantajele uscării deschise la soare, printre care; funcționare foarte lentă; expus direct la condițiile meteorologice; personal necalificat; nici un control științific al produsului final în ceea ce privește conținutul de umiditate și calitatea. În ciuda acestor dezavantaje, ei au precizat că aproximativ 80% din alimentele produse de micii fermieri încă folosesc uscarea deschisă la soare (în 2009). Uscarea solară este una dintre cheile pentru a rezolva aceste probleme întâmpinate cu uscarea deschisă la soare, într-adevăr, este încă mai ieftină decât metodele convenționale de uscare și independentă de rețelele energetice.

2.2.2. *Clasificarea uscătorului solar*

În literatura de specialitate, au fost proiectate mai multe tipuri de uscătoare solare, de la uscătoare solare de tip dulap la uscătoare solare de tip indirect. Sharma et al. [45] a furnizat o revizuire exhaustivă a diversității largi a sistemelor de uscare bazate pe energia solară care se apropie de detaliile de

construcție și principiile de lucru, de la uscătoare ușor de fabricat până la uscătoare complexe. În Figura 3 se prezintă o clasificare generală a modurilor de uscare, complicându-se la clasificarea modurilor de uscare și a uscătoarelor din acest motiv, am agregat cunoștințe și cele mai recente clasificări de la diferiți autori printre care, O. Ekechukwu, V. Norton, A. Fudholi și A. Leon. În această clasificare uscătoarele convenționale nu sunt detaliate, deoarece este un subiect mare și nu face parte din cercetarea noastră. Astfel, uscătoarele convenționale sunt separate în două categorii de uscătoare cu temperatură scăzută și înaltă. Uscătoarele cu temperatură scăzută sunt de obicei asimilate cu uscătoare în vrac sau de depozitare, sunt perfect potrivite pentru uscătorul pe bază de energie solară, dar pot fi implantate și cu energie convențională. Uscătoarele cu temperatură ridicată sunt utilizate în cea mai mare parte cu energie convențională, cum ar fi electricitatea sau combustibilii fosili, deoarece necesită o cantitate mare de energie pe o perioadă scurtă de timp. Acestea sunt de obicei clasificate în uscătoare de loturi și coloranți cu flux continuu. Uscătoarele solare sunt, în general, clasificate în funcție de modul lor de încălzire în două grupe principale: uscătoare naturale cu convecție, numite și uscătoare pasive sau sisteme pasive de uscare cu energie solară; și uscătoare cu convecție forțată, numite și uscătoare active sau sisteme active de uscare cu energie solară. Apoi, fiecare grup este separat în trei subcategorii: uscătoare solare de tip direct; uscătoare solare de tip indirect; și uscătoare solare în mod mixt. Uscătoarele solare de tip direct constau, de obicei, dintr-o cameră integrală realizată din materiale transparente, cum ar fi sticla și materialele opace, cum ar fi lemnul. În acest tip de uscător solar, soarele radiază direct pe produse, astfel încât produsele absorb lumina directă a soarelui, de unde și numele de "Uscător solar direct". În literatura de specialitate, unul dintre primele modele de uscător solar a fost un uscător solar direct depus în America de Stanley K. Everitt în 1976 și brevetat în 1980 [46], a fost descris ca fiind "o cutie în formă de pereți negri și acoperită de un material transparent". Uscătoarele solare de tip indirect sunt, în general, realizate din două bucăți, un colector solar de aer combinat cu o cameră de uscare. Acest tip de uscător solar se gândea să evite radiația directă, care poate deteriora produsul de uscare. În cele din urmă, uscătoarele solare în mod mixt au combinat cele două moduri prin utilizarea unui colector solar de aer pentru a preîncălzi aerul și prin utilizarea materialului transparent pentru camera de uscare pentru a reduce timpul de uscare.

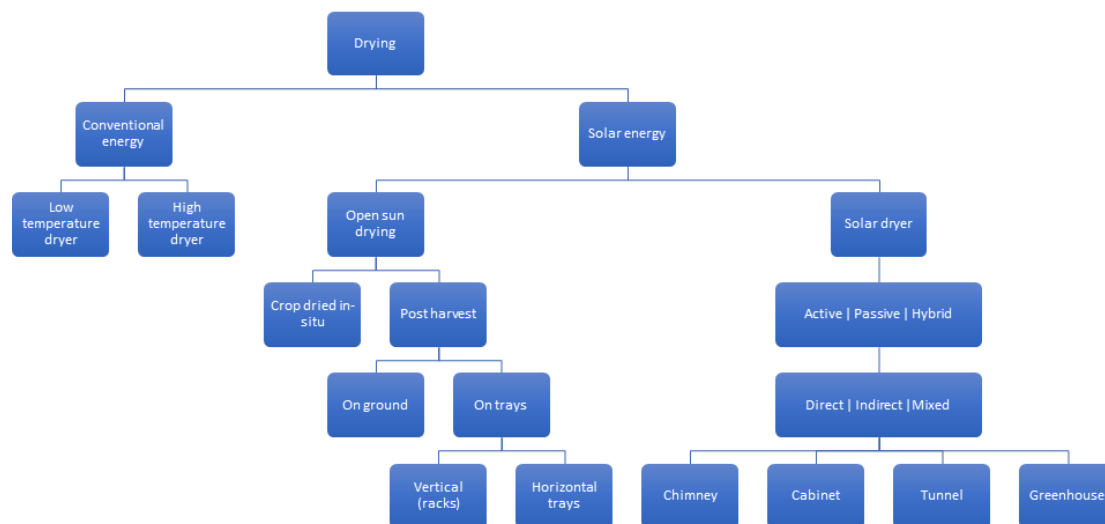


Figura 3: Clasificarea modului de uscare în conformitate cu Ekechukwu și Norton [47], Leon et al. [48] și Fudholi [16]

2.3. Concluzie

A fost efectuată o analiză a literaturii de specialitate privind sistemele solare de încălzire a aerului, procesele de uscare și stocarea energiei termice latente. Revizuirea a arătat că, în multe studii, performanța sistemelor de uscare solară poate fi crescută prin îmbunătățirea performanțelor

colectorului solar de aer. Uscătoarele solare care încorporează cu materiale de stocare a energiei termice este un subiect mult discutat în studii recente pentru a îmbunătăți eficiența termică a uscătoarelor solare și pentru a reduce consumul de energie al sistemului auxiliar care utilizează energie electrică sau combustibili convenționali. Cu toate acestea, stabilitatea chimică a materialelor de stocare a energiei termice ar trebui să fie investigată în mod fin pentru a fi compatibilă cu sistemul de uscare. În plus, s-ar putea lua în considerare studiul potențialului de stocare a energiei termice în cascadă pentru a crește continuitatea temperaturii pe o perioadă mai lungă, pentru a atenua orele în afara soarelui și pentru a îmbunătăți calitatea uscării.

De asemenea, se sugerează utilizarea modelului numeric, cum ar fi simularea CFD, pentru a optimiza performanța uscătorului solar, o aplicație poate fi găsirea unor forme optime pentru containerele de materiale de stocare a energiei termice integrate în colectorul solar de aer. De asemenea, Curtea a evidențiat lipsa unor studii de evaluare a impactului asupra mediului pentru aplicațiile de uscare solară, acest lucru putând fi explicat prin necesitatea unei cantități semnificative de date de mediu, care sunt adesea complicate de colectat.

Lucrarea oferă un punct de vedere pentru înțelegerea cerințelor reale privind cercetarea uscării solare. Constatările prezentate mai sus, și anume integrarea materialelor de stocare a energiei termice, conceperea studiului numeric și evaluarea impactului asupra mediului sunt orientări recomandate pentru lucrările viitoare privind sistemele de uscare solară. În prezent, aceste orientări sunt esențiale pentru dezvoltarea unor sisteme de uscare mai durabile și mai eficiente, care să fie compatibile cu viitoarele standarde internaționale și europene în materie de energie și mediu.

Restul problemelor sunt legate de costul LHTES în sistemele de încălzire solară. Dolado, Lazaro et al. au raportat că costul actual al PCM este prea mare pentru a fi fezabil și profitabil [49]. Ei au studiat un TES bazat pe PCM macro încapsulat în placă de aluminiu de la Rubitherm – CSM RT27 – folosit ca schimbător de căldură cu aer pentru o aplicație de răcire solară. Acestea concluzionează că acest tip de sistem depinde în mare măsură de costul PCM-urilor și, în cazul de față, costul stocării PCM ar trebui să fie de aproximativ 5 EUR/kg pentru ca produsul microîncapsulat să fie competitiv. Cu toate acestea, nu există niciun studiu recent care să investigheze rentabilitatea investițiilor LHTES în contextul real al crizei energetice care afectează prețul și securitatea energiei. Acesta este un subiect pentru cercetare viitoare pentru a explora.

3. Capitolul 2: Studiul numeric al colectorului solar perforat cu LHTES integrat pentru nevoile de uscare – uscător solar indirect

Sistemul solar adaptiv va conduce la trei obiective principale: asigurarea aerului proaspăt preîncălzit al clădirii în perioada rece și a aerului încălzit pentru **sere** și procesul de **uscare** a culturilor agricole urbane locale în perioada mai caldă. În acest capitol am analizat prin simulare numerică cele trei părți principale ale sistemului nostru termic solar integrat pentru nevoile de uscare și încălzire, și anume colectorul solar perforat, stocarea energiei termice și camera de uscare.

Colectoarele solare perforate au fost studiate pe scară largă în ultimii 30 de ani prin abordări experimentale, matematice și numerice. Studiile Computational Fluid Dynamics (CFD) privind UTSC au început la sfârșitul anilor '90 cu o simulare 2D realizată de Gunnewiek et al. [50]. Acest studiu a arătat importanța transferului de căldură în partea din spate a plăcii absorbante perforate. Într-un alt studiu [51], ei și-au actualizat modelul numeric adăugând efectul vântului. Concluziile acestei lucrări sunt foarte utile, într-adevăr, Gunnewiek et al. a demonstrat că o viteză de aspirație ar trebui să fie menținută peste 0,0125 până la 0,039 m/s în funcție de tipul clădirii pentru a evita fluxul invers. O altă

soluție propusă de Gunnewiek et al. pentru a atenua efectul negativ al vitezei vântului este evitarea perforațiilor în partea superioară a colectorului. În 2001, un fenomen fizic important pentru UTSC a fost descris de [52], au stabilit că transferul total de căldură este distribuit în diferite părți ale plăcii absorbantului. Creșterea temperaturii aerului este distribuită ca atare: 62% pe partea din față, 28% în gaură și 10% pe partea din spate a plăcii. Apoi, în 2002, Gawlik și Kutscher [53] au continuat studiul CFD privind efectul vitezei vântului, viteza de aspirație și forma plăcii absorbantului. În același an [54], ei au efectuat un studiu numeric și experimental comparativ a două tipuri diferite de material de placă absorbantă, plastic și aluminiu, au concluzionat că conductivitatea termică a plăcii absorbantului nu are un efect semnificativ asupra performanței termice a UTSC. Toate aceste studii CFD au fost utile pentru înțelegerea UTSC, cu toate acestea au trebuit să se confrunte cu lipsa puterii de calcul și, astfel, au trebuit să-și simplifice modelul numeric. Colectoarele solare perforate sunt complexe de analizat prin simulare numerică, în principal datorită unei diferențe de scară între găurile foarte mici de pe placa absorbantului și întreaga dimensiune a colectorului. Acest lucru face necesară utilizarea unor rate de creștere mai mari decât de obicei pentru a putea capta fenomenele fizice atât la nivelul găurilor, cât și pentru restul colectorului. Hamchi & abed au fost studiate performanța unui dublu trece transpired colector solar folosind CFD [55]. Pentru a reduce dimensiunea ochiurilor datorită numărului mare de găuri din placa absorbantului perforat, placa modelată ca un mediu poros. În zilele noastre puterea de calcul a crescut și suntem capabili să producem un model numeric de înaltă definiție. Astfel, obiectivele acestui raport sunt duble: În primul rând, să examinăm independența ochiurilor de grilă de discretizare pentru o piele dublă perforată colectoare solare și camere de uscare pentru a determina o discretizare geometrică adecvată care să conducă la o bună precizie a rezultatelor numerice într-un timp de calcul rezonabil. În al doilea rând pentru a analiza comportamentul termic și caracteristicile fluxului de aer ale diferitelor prototipuri de DSTSC și camera de uscare pentru a ajunge la proiectarea optimă a unui uscător solar integrat pentru clădiri.

Obiectivele studiilor numerice sunt împărțite în două părți, în primul rând proiectarea, în al doilea rând investigația numerică. Studiul numeric este o parte importantă a acestei lucrări, ceea ce ne permite să optimizăm cel mai bine conceptele pe care le-am dezvoltat anterior pentru a obține un stand experimental deja final. Acest lucru face posibilă reducerea costurilor modificărilor suplimentare care ar fi putut avea loc după studiile experimentale. Rolul studiilor numerice este în prezent esențial în dezvoltarea produselor.

3.1. Investigații numerice ale colectoarelor solare perforate

3.1.1. Prototip & Geometrie

Figura 4 prezintă prototipul colectorului solar descoperit, studiat în această lucrare. Acest prototip

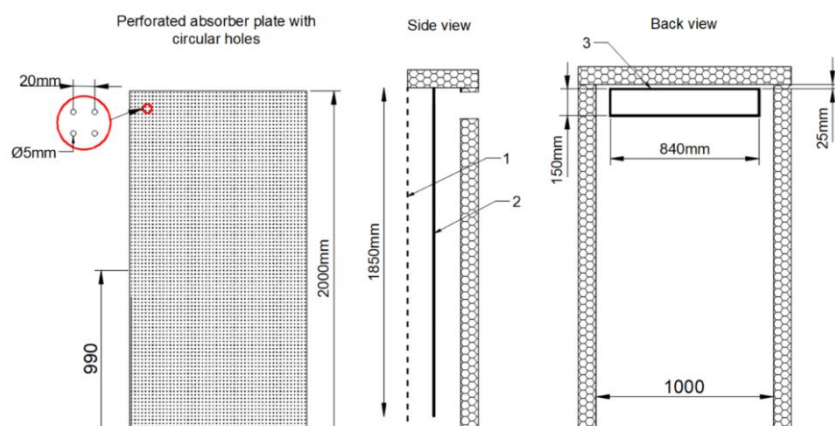


Figura 4. Schema de piele dublă perforat protip colector solar. 1. Placă absorbantă perforată din aluminiu cu acoperire neagră. 2. Placă de separare din aluminiu. 3. Evacuarea aerului.

inedit al UTSC include un back-pass, iar apoi devine un colector solar perforat cu piele dublă (DSTSC). Prototipul DSTSC constă dintr-o placă absorbantă perforată și o placă de separare atât din aluminiu cu acoperire neagră, cât și un cadru pe bază de placaj cu izolație termică. Geometria utilizată pentru studiul de independență a ochiurilor de grilă de discretizare constă numai dintr-o felie din prototipul

de dimensiune reală. Această alegere a fost făcută pentru a reduce dimensiunea ochiurilor de grilă de discretizare care, în cazul acestei felii, este deja mare. Într-adevăr, prototipul plăcii absorbante este compusă din 5000 de perforații circulare de 5 mm, studiul numeric al unei geometrii atât de complexe ar necesita o grilă de discretizare mare și un timp și o putere de calcul neeficiente din punct de vedere al costurilor. Prin urmare, am studiat o felie longitudinală a UTSC compusă din 100 de găuri circulare. Datorită caracteristicilor geometrice ale geometriei studiate, considerăm că un studiu numeric efectuat numai pentru această felie va fi reprezentativ pentru cercetările efectuate pentru întreaga geometrie.

3.1.2. Grilă de discretizare

Scopul acestui studiu este de a oferi o grilă de discretizare de înaltă rezoluție pentru a capta cu precizie caracteristicile de curgere ale diferitelor scări de lungime pentru a analiza transferul global de căldură de-a lungul plăcii amortizorului perforat și în interiorul unui UTSC back-pass. Colecționarii solari neglazati au fost studiați pe scară largă la "Centrul de Cercetare Avansată pentru Calitatea Ambientală și Fizica Clădirilor" (CAMBI) prezent la Universitatea Tehnică de Inginerie Civilă din București. Au fost investigate mai multe tipuri de perforații și optimizări, cum ar fi găurile de lobat pentru placa absorbantului perforat și integrarea materialelor de schimbare a fazei [56-60]. Acest studiu a arătat importanța dimensiunii ochiurilor de grilă de discretizare și a rafinamentului pentru a capta caracteristicile termice și de curgere din interiorul colectoarelor de aer solar neglazati perforate. Cu toate acestea, este de subliniat faptul că, chiar și cu cea mai mică dimensiune a ochiurilor de grilă de discretizare, temperatura de ieșire și variația temperaturii în interiorul UTSC este în ciuda a tot ceea ce este aproape de cea mai bună grilă de discretizare. Astfel, pentru analiza globală a unui UTSC simplu, ar putea fi suficientă o grilă de discretizare grosieră. Rezultatele au arătat că dimensiunea ochiurilor de grilă de discretizare nu influențează în mod semnificativ temperatura de ieșire, cu toate acestea, are o influență asupra profilului de temperatură și viteză din spatele plăcii amortizorului perforat. Acest lucru trebuie luat în considerare pentru studiile care vizează optimizări, cum ar fi integrarea materialelor de schimbare a fazei în spatele plăcii absorbantului sau a unei a doua plăci absorbante pentru a capta radiația solară care trece prin găuri. Unele optimizări oferă doar o mică îmbunătățire a eficienței energetice, atunci este necesar să se prevadă corect transferul de căldură și masă în domeniul fluidelor. În lucrările noastre viitoare, integrarea materialelor de schimbare a fazelor în interiorul prototipului nostru de UTSC va fi studiată împreună cu influența celei de-a doua plăci absorbante din spatele plăcii perforate. Prin urmare, este necesară o grilă de discretizare cea mai fină care să permită o predicție precisă a caracteristicilor fluxului de aer din spatele plăcii absorbante perforate.

3.1.3. Modele matematice și configurarea CFD-urilor

Software-ul CFD ANSYS 19.0 împreună cu TECPLOT 360 pentru vizualizarea datelor post-procesare a fost utilizat pentru a atinge obiectivele de hârtie. Ochiurile de grilă de discretizare de înaltă rezoluție au fost realizate pentru a capta cu precizie caracteristicile de curgere, în special în spatele plăcii de absorbant perforate. Simularea CFD au fost configurate cu modelul de turbulență RNG k- ϵ . Pentru Solar Collectors RNG k- ϵ model de turbulențe pare a fi cel mai popular și eficient model de turbulențe în ceea ce privește precizia, stabilitatea numerică și timpul de calcul [61-63]. În ceea ce privește celelalte setări: opțiunea Enhanced Wall Treatment a fost activată cu gradient de presiune și efecte termice; Modelul de la suprafață la suprafață a fost folosit pentru radiația solară cu o radiație totală de 800W/m², acest model a arătat predicții fiabile pentru TSC [64].

3.1.4. Comparație între TSC și DSTSC

Scopul acestei părți este de a analiza influența unui back-pass în interiorul unui colector solar perforat. Astfel, vom compara un colector de obicei Transpired Solar cu prototipul nostru de dublu piele

Transpired Solar Collector. Pentru fiecare geometrie am analizat caracteristicile fluxului de aer și comportamentul termic pentru 5 debite de aer, $100\text{m}^3/\text{h}$, $200\text{m}^3/\text{h}$, $300\text{m}^3/\text{h}$, $400\text{m}^3/\text{h}$ și $500\text{m}^3/\text{h}$. Radiația solară a fost setată ca 800 W/m^2 , cu 650 W/m^2 de radiație solară directă și 150 W/m^2 de radiație solară difuză. Această secțiune rezumă constatările și contribuțiile efectuate.

Prima diferență dintre cele două colectoare solare pe care le-am observat a fost în ceea ce privește eficiența schimbătorului de căldură. În Figura **Error! Reference source not found.** putem observa o eficiență mai mare a schimbătorului de căldură pentru DSTSC la fiecare rată a fluxului de aer. Figura **Error! Reference source not found.** vine cu informații suplimentare pentru a înțelege mai bine cauzele acestor diferențe în ceea ce privește eficiența schimbătorului de căldură, într-adevăr, observăm că placa absorbantă perforată a TSC este mult mai mare decât pentru DSTSC. Acesta este principalul motiv pentru care observăm o diferență în ceea ce privește eficiența schimbătorului de căldură. Eficiența schimbătorului de căldură se bazează pe diferența de temperatură dintre schimbător (în acest caz placa absorbantului), aerul înconjurător și aerul de ieșire (eq. **Error! Reference source not found.**³/h la $500\text{m}^3/\text{h}$, în timp ce pentru DSTSC eficiența schimbătorului de căldură variază de la 45% la 78%. Aceasta corespunde unei diferențe care merge de la 5% la 14% în beneficiul DSTSC.

În Figura Figura 5 putem observa că pentru debitul de aer mai mare de $400\text{ m}^3/\text{h}$ TSC-ul devine mai eficient decât DSTSC din punctul de vedere al eficienței colectorului solar. În acest stadiu de înțelegere, explicăm această evoluție prin faptul că, pentru un flux de aer mai mare, în partea superioară a DSTSC apare o by-pass de aer. Cu toate acestea, DSTSC oferă în continuare cele mai bune performanțe în ceea ce privește eficiența colectorului solar între $100\text{m}^3/\text{h}$ și $400\text{m}^3/\text{h}$. Eficiența colectorului solar al TSC variază de la 60,9% la 86,9% pentru fluxul de aer care merge de la $100\text{m}^3/\text{h}$ la $500\text{m}^3/\text{h}$, în timp ce pentru DSTSC eficiența colectorului solar variază de la 66,5% la 85,7%.

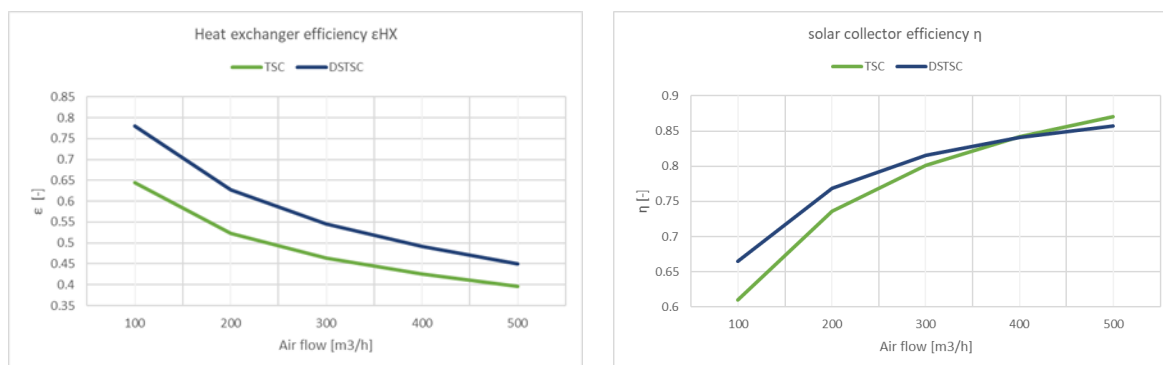
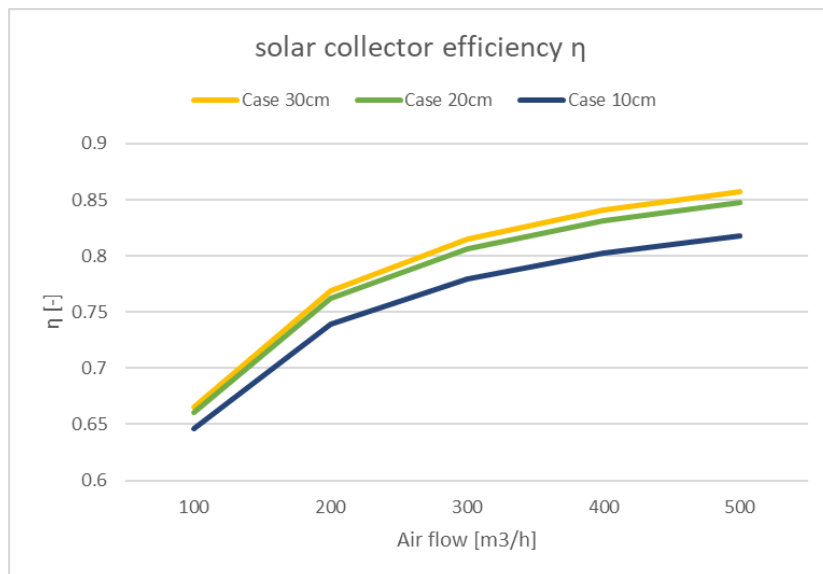


Figura 5. Eficiența schimbătorului de căldură ϵ_{HX} și a colectorului solar

Am observat că TSC supraîncălzi un pic în partea de jos în placa din spate din lemn în timp ce DSTSC supraîncălzi în partea superioară a plăcii de separare de aluminiu. DSTSC nu se supraîncălzește pe fund, deoarece viteza aerului este suficient de mare pentru a extrage căldura din placa din spate din lemn.

3.1.5. Investigarea influenței grosimii stratului de aer

În ultimii 30 de ani, colecționarii solari au fost investigați pe larg prin studii matematice și experimentale. Studiile numerice privind STI-urile sunt încă mai puțin abordate în principal datorită complexității părții de grilă de discretizare și a numărului mare de elemente necesare pentru a obține rezultate numerice consecvente și precise, ceea ce duce la necesitatea unei puteri de calcul mari. Chiar dacă abordările numerice pot fi complexe, ele sunt necesare pentru a înțelege mai bine anumite particularități ale STI-urilor care nu au rămas stabilite în literatura de specialitate, cum ar fi grosimea aerului colectorului solar perforat. Într-adevăr, în literatura de specialitate, grosimea spațiului de aer din spatele plăcii absorbante perforate pentru TSC variază de la 5cm la 33cm [65]. Mai multe studii [66] sugerează o influență puternică a grosimii stratului de aer asupra performanțelor termice atunci când alții sugerează o influență scăzută [67]. În același mod, în literatura de specialitate au apărut



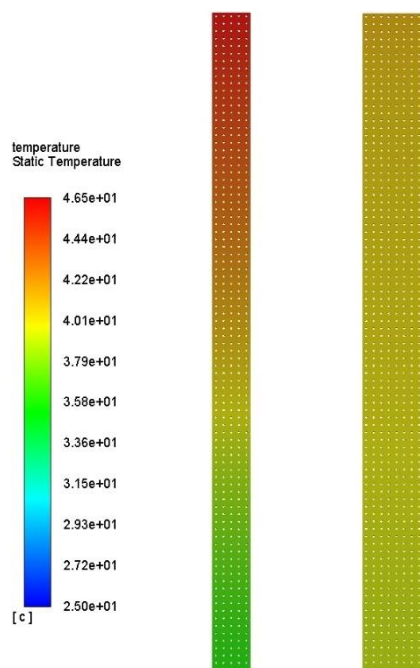
Cifra 6. Eficiența colectorului solar al DSTSC pentru diferite grosimi ale colectorului

neconcordanțe cu privire la comportamentul termic al stratului de aer din interiorul STC-urilor. Pe de o parte, studiul lui Kutscher [68] a arătat că temperatura din interiorul spațiului de aer din spatele plăcii absorbantului este constantă. Pe de altă parte, aceste constatări au fost contrazise într-un studiu realizat de Chan et al. [69]. Toate aceste descoperiri ne-au determinat să investigăm influența grosimii aerului din spatele plăcii amortizorului perforat, precum și grosimea totală a unui nou prototip de

colector solar cu piele dublă (DSTSC).

Pentru această parte, a fost de interes să se investigheze grosimea totală a DSTSC. Astfel, am analizat trei cazuri, cu următoarele grosimi de 10cm, 20cm și 30cm. Pentru fiecare caz, a doua placă metalică – folosită ca back pass – a fost decontată în mijlocul DSTSC, așa cum se arată în figura **Error! Reference source not found.** pentru carcasa de 30cm.

Cifra 6 prezintă performanțe mai scăzute pentru DSTSC de 10 cm. Grosimea plenului de aer influențează eficiența colectorului solar cu 4%. Astfel, rezultatele susțin premisa că eficiența colectorului solar crește la creșterea grosimii canalului de aer în interiorul DSTSC, observând o stagnare



Cifra 7. Distribuția temperaturii pe placa absorbant perforată a DSTSC de 10cm (stânga) și 30cm (dreapta) grosime cu un debit de aer de 500m³ /h.

pentru canalul de aer de peste 10cm. Ancheta a scos la iveală faptul că grosimile totale optime pentru DSTSC au fost de 20cm, respectiv 30cm, corespunzând canalelor de aer de 10, respectiv 15cm. Prezentul studiu a confirmat constatările privind impactul ridicat al fluxului de aer asupra performanțelor termice ale colectoarelor solare și este de acord cu o parte a literaturii [61, 70] care pledează pentru influența ușoară a grosimii plenului asupra performanțelor termice ale TSC.

Temperatura este semnificativ mai mare în partea superioară a DSTSC 10cm decât în DSTSC 30cm, care este evident în Cifra 7. Distribuția temperaturii pe placa absorbant perforată a DSTSC de 10cm (stânga) și 30cm (dreapta) grosime cu un debit de aer de 500m³ /h.. DSTSC de 30cm asigură o distribuție mai omogenă a temperaturii aerului pe placa absorbantului perforat decât DSTSC de 10 cm. Din analiza bazată pe imagine, pentru cel mai subțire DSTSC placa absorbant perforată se supraîncălzește în partea superioară, ceea ce înseamnă o pierdere de căldură care ar putea fi extrasă din colector.

Figura 8 vine cu o explicație suplimentară pentru a înțelege comportamentul termic al colectorului, într-adevăr, putem vedea în această cifră că viteza aerului - pentru 5 găuri situate în partea superioară a colectorului - este mai mică pentru cel mai subțire colector, ceea ce înseamnă o convecție inferioară și, prin urmare, o cantitate mai mică de energie extrasă din placa absorbantului perforat. Prin reducerea prea mult a spațiului de aer din spatele plăcii perforate, scăderea presiunii în partea superioară a colectorului este prea mare, în comparație cu partea inferioară, astfel încât aerul circulă în principal în partea inferioară și, în cele din urmă, partea superioară se supraîncălzește.

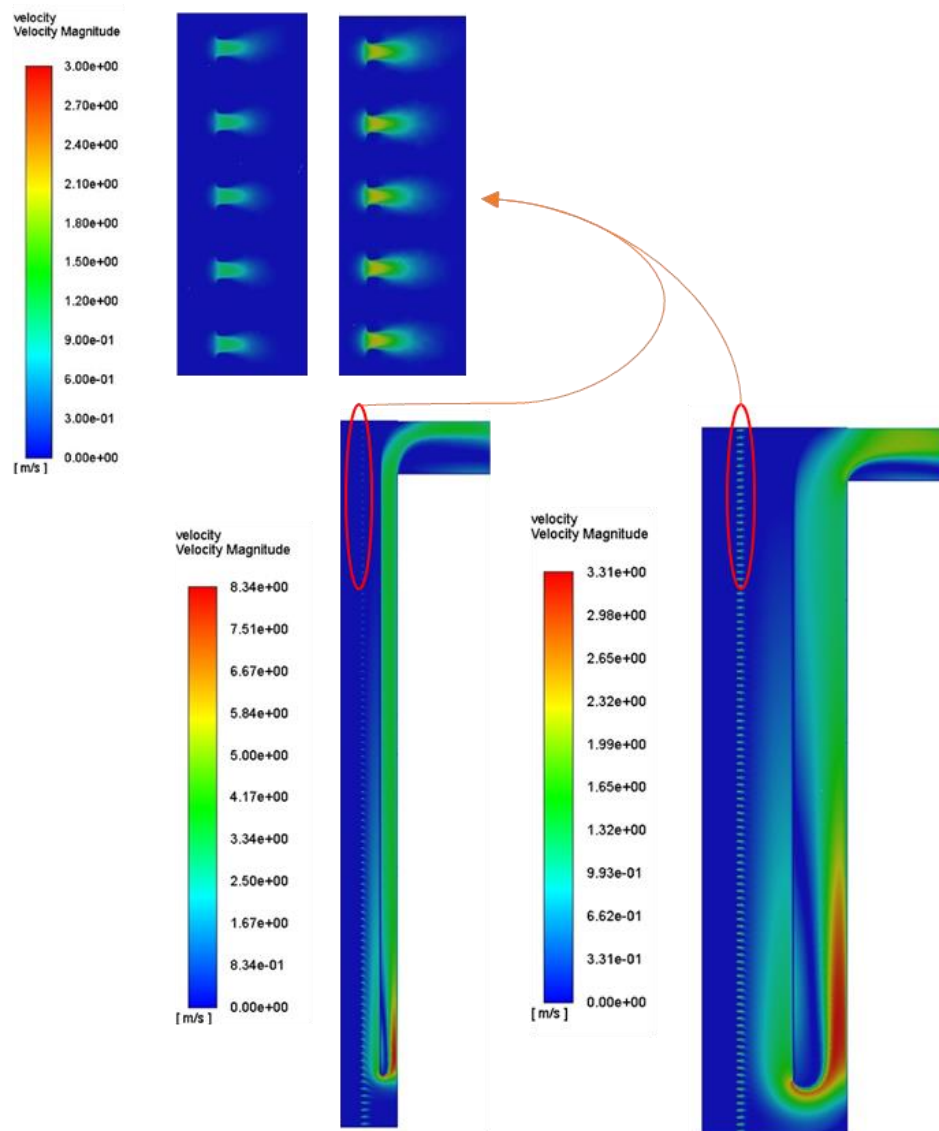


Figura 8. Distribuția magnitudinii vitezei într-un plan median al DTSC de 10cm (stânga) și 30cm (dreapta) grosime cu un debit de aer de 500m³/h.

3.1.5.1. Concluziile

Acest capitol a arătat importanța și utilitatea simulărilor numerice pentru a determina grosimea optimă pentru DSTSC, pentru a fi mai cuprinzătoare pentru arhitecți și ingineri în proiectarea clădirilor. Grosimea fațadelor solare este un subiect important în proiectarea clădirilor, deoarece afectează, printre altele, amprenta clădirilor. Pe lângă miza economică pentru dezvoltatorii imobiliari datorită prețului pe metru pătrat în orașe, amprenta clădirilor este o problemă majoră astăzi, în lupta împotriva artificializării solului, precum și în scopul densificării orașelor viitorului. Acest studiu oferă o înțelegere a impactului grosimii plenului de aer al unei fațade solare asupra performanței termice. Reducând grosimea prea mult, de la 30cm la 10cm, eficiența colectorului solar poate fi redusă cu aproximativ 4% iar eficiența schimbătorului de caldura cu 3%, în cazul unui DSTSC. Creșterea grosimii DSTSC va crește treptat performanțele termice, anunțând în același timp o stagnare în jurul valorii de 20cm. Ne-am limitat cercetările la o grosime de 30cm, estimând această distanță ca o distanță maximă realistă pe care o fațadă solară ar putea să o aibă în ceea ce privește amprenta totală a clădirii. Indiferent, cercetările viitoare ar putea continua să exploreze influența plenului de aer pentru grosimi mai mari.

3.1.6. Influența materialelor

Scopul acestei părți este de a analiza influența materialului plăcii de separare. Primul nostru gând a fost că o placă de separare din aluminiu va crește performanța termică a colectorului solar. Într-adevăr, o placă de separare din aluminiu va colecta radiația solară care trece prin placa absorbant perforată și apoi va elibera această energie în aerul care curge crezând colectorul. Cu toate acestea, o placă absorbantă fabricată dintr-un material, cum ar fi aluminiul, este mai scumpă și are un impact mai mare asupra mediului decât o placă absorbantă din lemn pe bază de lemn, plastic sau material reciclat. Astfel, scopul acestui capitol este de a determina câștigul de energie furnizat de o placă absorbantă de aluminiu comparativ cu alte materiale. În plus, folosind plastic în loc de aluminiu, reducem greutatea colectorului solar și apoi facilităm utilizarea și implantarea unui astfel de sistem. Pentru acest studiu, am analizat datele colectate din simulările CFD. Au fost analizate două materiale, aluminiul și polietilena de înaltă densitate.

Au fost analizați trei parametri, coeficientul de transfer de căldură, eficiența schimbătorului de căldură și rezultatele eficienței colectorului solar sunt prezentate în figura Figura 9, figura **Error! Reference source not found.** și, respectiv, figura **Error! Reference source not found.**. Rezultatele au găsit un sprijin clar pentru impactul ușor al materialelor cu conductivitate scăzută în TSC, astfel cum arată Gawlik și Kutscher [54]. Acestea sunt doar mici diferențe între conductivitatea termică scăzută și materialele cu conductivitate termică ridicată în ceea ce privește performanța termică a TSC. Acesta este un fapt important atunci când luați în considerare costul materialelor metalice în comparație cu materialele din plastic sau din fibre vegetale.

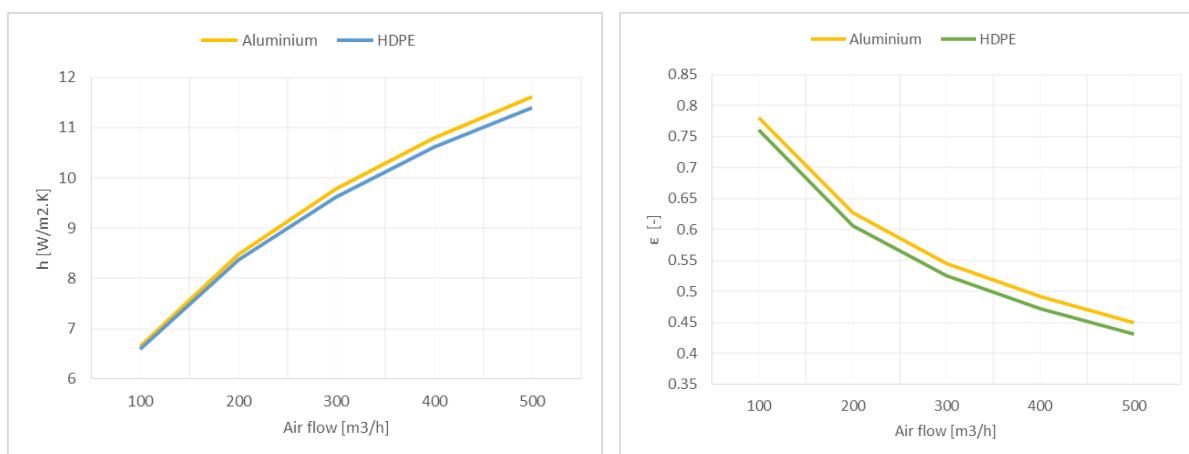


Figura 9. Evoluția coeficientului de transfer de căldură și a eficienței schimbătorului de căldură pentru amortizorul de aluminiu și HDPE.

3.1.6.1. Durabilitate și calitate

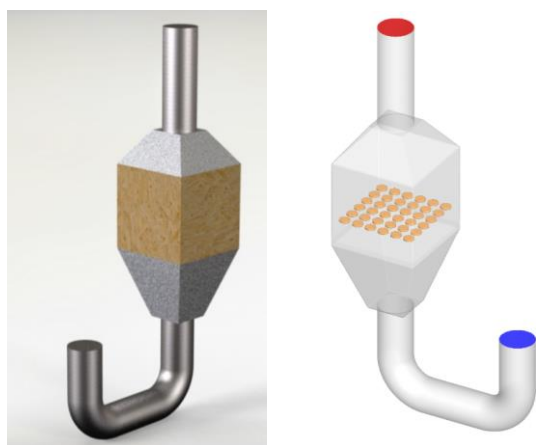
Am stabilit în partea anterioară că materialele cu conductivitate scăzută au fost, de asemenea, interesante pentru fabricarea colectoarelor solare, fiind mai puțin costisitoare și rămânând eficiente în fața materialelor cu conductivitate ridicată. Cu toate acestea, acest lucru ne-a condus la mai multe întrebări potențial deschise cu privire la durabilitatea unor astfel de materiale pentru acest tip de tehnologie. Prima idee care îmi vine în minte este că materialele pe bază de plastic pot fi dăunătoare calității aerului și sănătății. Într-adevăr, ele pot elibera particule fine de plastic sau chiar pot elibera particule nocive atunci când se încălzesc. Întrebări interesante de cercetare pentru cercetări viitoare pot fi derivate din acest subiect cu privire la fezabilitatea materialelor cu conductivitate scăzută, cum ar fi plasticul pentru placa absorbantă a TSCs. Mai ales că materialele reciclate au un interes deosebit în construcția clădirilor.

3.1.6.2. Concluziile

Materialul cu conductivitate scăzută nu are un comportament termic omogen în comparație cu materialul cu conductivitate ridicată, cu toate acestea, pentru STC-uri diferențele în ceea ce privește performanțele termice nu sunt semnificative. Astfel, materialele cu conductivitate scăzută sunt concepute pentru TSC, mai ales că prețul lor rămâne mai mic. Echilibrul dintre calitate și preț este interesant pentru materialele cu conductivitate scăzută, acest lucru permite acestui tip de colector să cadă în low-cost și low-tech. Ceea ce este foarte interesant pentru noile politici cu emisii reduse de carbon și pentru dezvoltarea acestor tehnologii în țările în curs de dezvoltare care caută produse fiabile și ieftine.

3.2. Investigații numerice ale unei camere de uscare

Tehnicile de modelare numerică sunt utile pentru studiile privind uscătorul solar. Acestea permit proiectarea corectă, creșterea eficienței de uscare, analizarea și prezicerea performanței diferitelor tipuri de sisteme de uscare solară. Tehnicile de modelare sunt, de asemenea, importante pentru prezicerea parametrilor majori ai culturilor, cum ar fi temperatura, conținutul de umiditate, rata de uscare, calitatea și culoarea culturii. Cifra 10 prezintă geometria 3D a uscătorului proiectat în SolidWorks și post-prelucrat în SolidWorks Visualize.

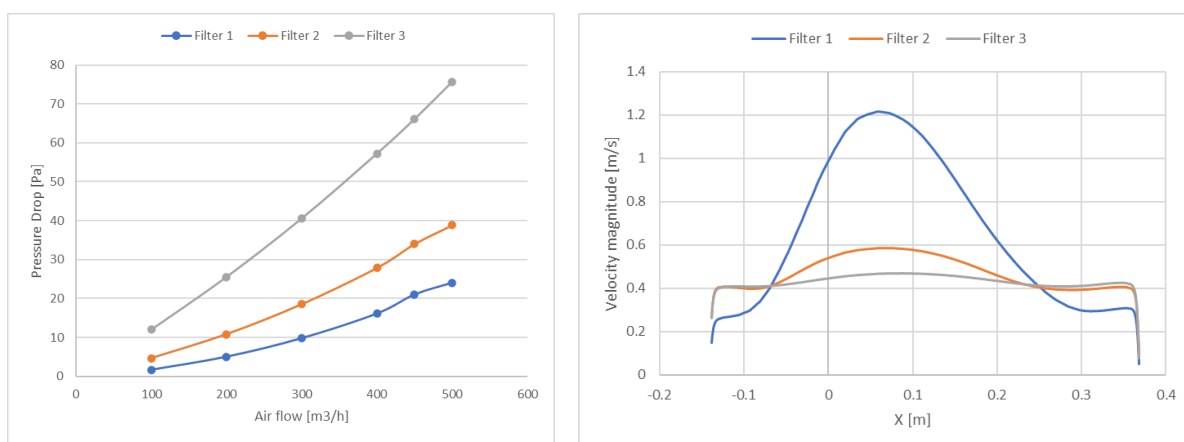


Cifra 10.3D geometria camerei de uscare. Intrare (Albastru), Outlet (Roșu), felii de fructe (portocale)

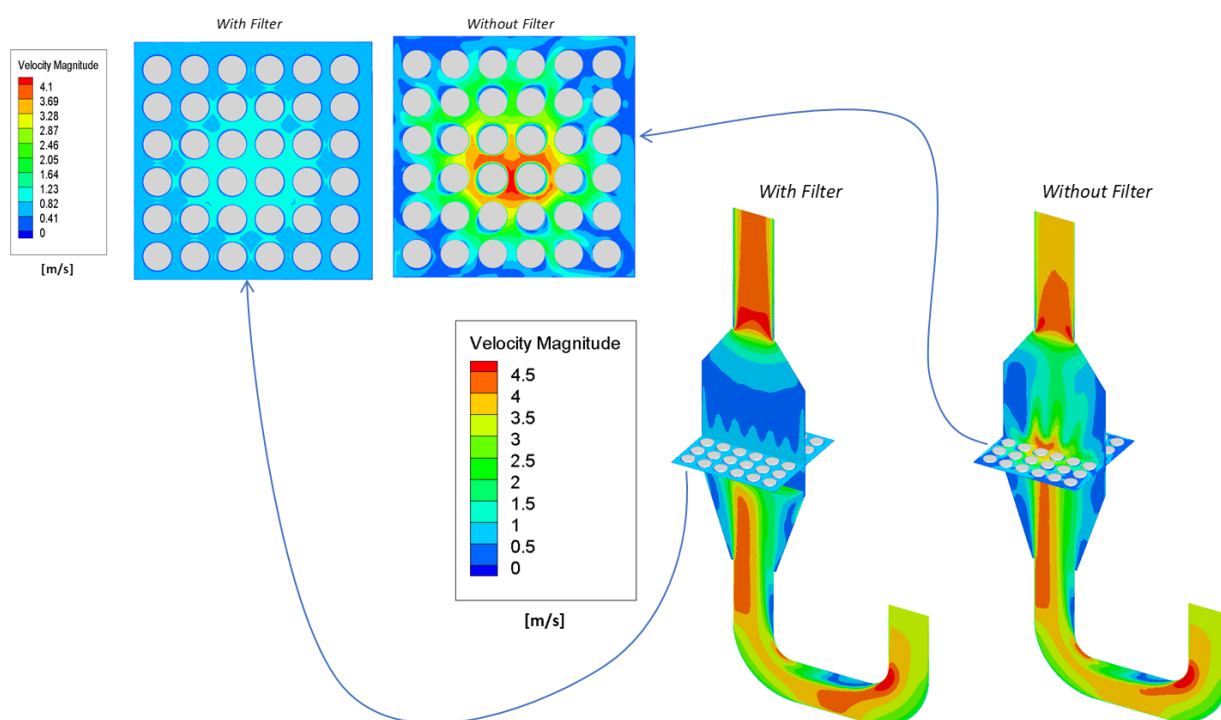
Camera de uscare constă într-o cutie din lemn, izolată cu rockwool și acoperită în interior cu aluminiu din motive igienice. Într-adevăr, materialele pe bază de lemn emit diverse substanțe chimice organice, majoritatea compușilor organici volatili (COV), cum ar fi limonenul sau formaldehida, au posibile efecte asupra sănătății. Am făcut alegerea de a utiliza în principal materiale din lemn mai puțin materiale pe bază de metal pentru mai multă durabilitate în concept, cu toate acestea nu am neglijat prioritatea igienică și de sănătate. Cutia de lemn este conectată la două conuri din aluminiu preizolate utilizate pentru conductele de aer

HVAC (ALP). Aceste materiale sunt ușor de utilizat și fabricate și combină doi factori importanți pentru noi, sunt igienice și izolate, astfel încât nu trebuie să adăugăm materiale de izolare, cum ar fi rockwool. Conurile au fost utilizate în ceea ce privește fluxul de aer caracteristic fluxului de aer neted în interiorul camerei de uscare. În cele din urmă, în camera de uscare au fost plasate 3 tăvi de uscare din rame de lemn și grilă de discretizare din oțel inoxidabil. Camera de uscare va fi apoi conectată la colectorul de aer solar cu piele dublă. Introducem circulara produs Felii spre să analizeze influența produselor asupra fluxului de aer din camera de uscare.

În primul rând am analizat distribuția debitului de aer în camera de uscare cu obiectivul de a obține un debit omogen pentru condiții optime de uscare. Rezultatele au arătat că fără difuzor/filtru la intrarea uscătorului debitul de aer nu este omogen, astfel încât introducem un difuzor la intrare, creând căderi de presiune și aplatizând curba vitezei aerului, așa cum se arată în Figura Cifra 12.



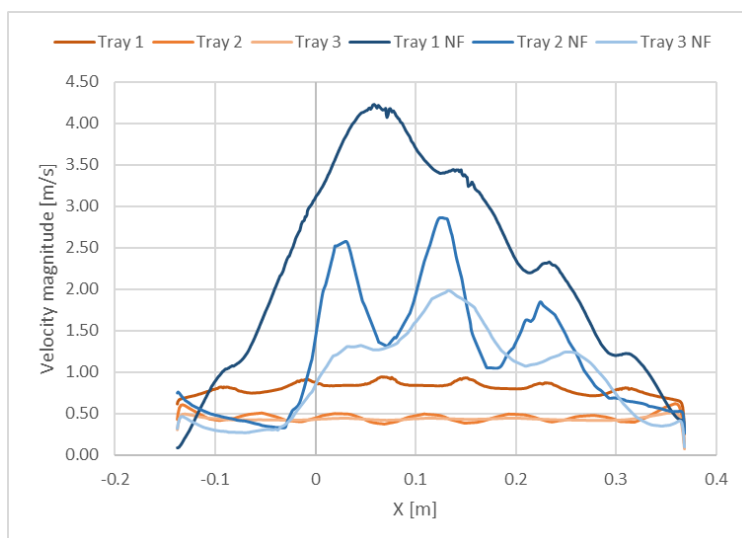
Cifra 12. Curbe poroase de rezistență a mediilor (curbe de cădere de presiune) și Profile de viteză la prima tavă de uscare.



Cifra 11. Compararea conturului magnitudinii vitezei pentru un plan median al uscătorului

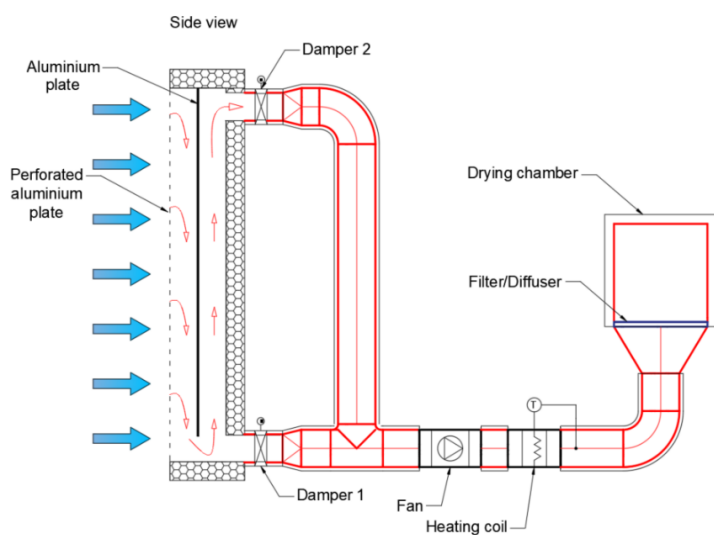
Apoi, introducem felii de fructe pe prima tavă din camera de uscare pentru a investiga, pe de o parte, influența unui strat de felii de fructe asupra distribuției fluxului de aer și, pe de altă parte, efectul filtrului asupra distribuției fluxului de aer în jurul feliilor de fructe. Analiza magnitudinii vitezei pentru planurile mediane ale camerei de uscare ne arată influența mediilor poroase la intrare. În zonele de uscare cu medii poroase de filtrare magnitudinea vitezei este omogenă, spre deosebire de uscătorul fără medii poroase. În uscătorul fără medii poroase magnitudinea vitezei atinge valori mai mari de 4 m/s în zonele de uscare. Acest lucru determină uscarea prea rapidă a produselor plasate în mijlocul uscătorului. De asemenea, poate provoca produsele să zboare și să se deplaseze în uscător. Investigăm evoluția fluxului de aer după prima tavă de uscare, deoarece un prim gând a fost că fluxul de aer ar putea fi afectat de primul rând de fructe în același mod în care fluxul de aer este afectat de filtrul de la intrarea camerei de uscare. Dacă acesta este cazul, în cazul în care prima tavă de uscare, atunci când plin de felii de fructe poate omogeniza fluxul de aer un astfel de filtru ar putea face astfel utilizarea unui filtru nu ar putea fi obligatorie. În această teorie, "sacrificăm" produsele plasate pe prima tavă, într-adevăr, produsele (fructe, legume etc.) vor fi mai uscate pe prima tavă decât pe a doua și a treia tăvi, în special în mijlocul tăvii unde viteza de curgere a aerului este mult mai mare.

În cele din urmă, noi Analizate evoluția profilelor de viteză în camera de uscare cu fructe pe prima tavă de uscare, cu și fără filtru la intrare. Cifra 13 afișează profilele de viteză pentru ambele cazuri, cu și fără filtru. Valorile pentru cazul cu filtru sunt reprezentate într-un gradient portocaliu, iar valorile pentru caz fără filtru într-un gradient albastru. Acest grafic facilitează analiza și compararea profilurilor de viteză între cele două cazuri. Analiza valorii confirmă o mai bună omogenitate a distribuției fluxului de aer în camera de uscare pentru geometria cu filtru decât pentru geometria fără filtru.



Cifra 13. Profile de viteză cu și fără filtru (NF = Fără filtru)

3.2.1. Studiu experimental pentru conceptul de cameră de uscare cu filtru

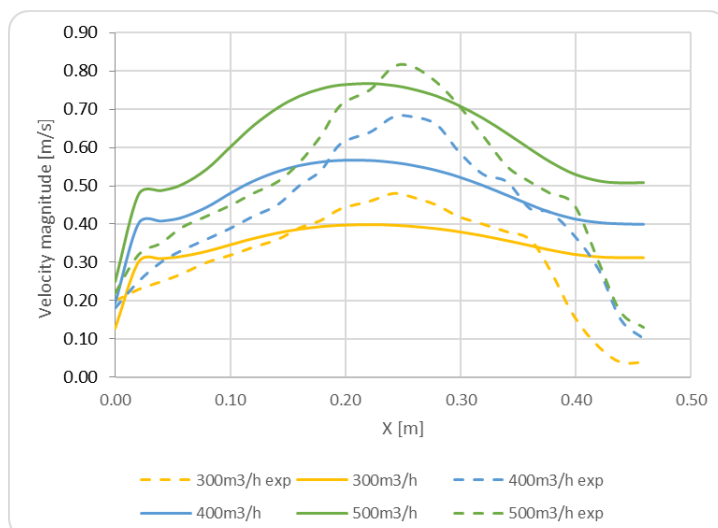


Cifra 14. Stand experimental de construire a sistemului integrat de uscătoare solare

Conceptul de cameră de uscare analizat anterior prin simulări numerice a fost apoi testat prin investigații experimentale pe un prototip la scară reală al sistemului integrat de uscare solară a clădirii bazat pe un colector de aer solar cu piele dublă, integrat în fațada clădirii și conectat la camera de uscare, Cifra 14. Noi folosim o medii de spumă filtru cu grosimea de 20mm realizat din ospumă poliuretanică cu celule stilou de la France Air, care este de obicei folosit pentru ventiloconvectoare. Acest mediu de spumă are o greutate de 640 g/m^2 și poate fi utilizat până la 80°C , ceea ce este potrivit pentru utilizarea noastră. În primul rând, a

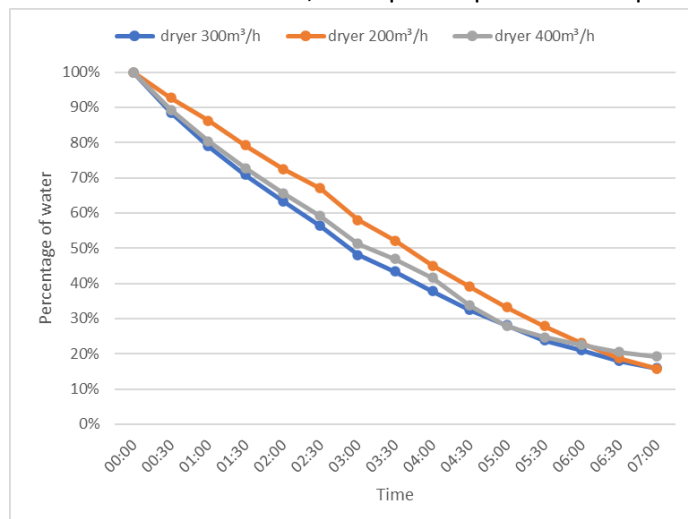
fost necesar să se caracterizeze filtrul real pe care l-am găsit pe piață pentru a verifica similitudinea cu filtrul studiat numeric pentru a oferi caracteristici similare ale fluxului de aer. Graficul de mai jos arată diferite filtre (medii poroase) care au fost studiate numeric împreună cu filtrul real studiat experimental. După cum putem vedea, filtrul real are o cădere de presiune mai mică decât cele 3 filtre studiate numeric. Filtrul de care vrem să ne apropiem este cel filtru 2, pentru că așa cum am văzut înainte ne oferă un flux de aer omogen, cu o cădere de presiune regulată. Cazul optim fiind o cădere de presiune scăzută, cu un flux omogen de aer în camera de uscare, pentru a avea condiții bune de uscare împreună cu un consum redus de energie al ventilatorului.

Deoarece caracteristicile filtrului nu sunt identic cu filtrul optim, filtrul 2, am adăugat un al doilea strat de medii de spumă pentru a oferi un filtru de cădere de înaltă presiune. În figura de mai jos, vă prezentăm rezultatele testelor experimentale cu cele 2 straturi de medii de spumă pentru diferite fluxuri de aer potrivite pentru operațiunile de uscare. Este destul de greu pentru a ajunge la rezultate identice ca studiate prin intermediul investigației numerice cu toate acestea, putem observa evoluția curbe similare în același interval de valori. Profilele de viteză au fost măsurate în interiorul camerei de uscare (0,5x0,5 m) folosind un anemometru cu sârmă fierbinte.



Cifra 15. Profile de viteză cu 2 straturi de filtru media de spumă

În cele din urmă, spre validați acest concept de cameră de uscare combinată cu o fațadă solară am efectuat o serie de teste de uscare în vara anului 2022. Perioada de la Iunie - august în timpul căreia au fost efectuate testele, corespunde perioadei de producție ridicată de tomate din România, care,



Cifra 16. Conținutul de apă al tomatelor pentru debite diferite.

În cele din urmă, în Cifra 16 observăm evoluția greutateii și a conținutului de apă al tomatelor în camera muribundă în timpul operațiunilor de uscare de șapte ore pentru diferite debite de aer și pentru zile diferite. Pentru fiecare cifră, valorile prezentate iau în considerare cele trei tăvi (T1+T2+T3). Se observă o scădere a ambelor valori. Parametrul important este conținutul de apă care determină activitatea apei din produs și apoi posibilitatea de a-l conserva în timp. După șapte ore de uscare, am ajuns la un conținut de apă mai mic decât 20% folosind doar fațada solară.

3.2.2. Concluziile

Chiar dacă integrarea fructelor pe uscător creează o cădere de presiune, nu este suficient să se asigure o distribuție uniformă a fluxului de aer în camera de uscare. Astfel, integrarea unui filtru este obligatorie pentru a oferi condiții bune de uscare în interiorul camerei de uscare. O cameră perfectă de uscare ar trebui să verifice două condiții majore, un flux de aer uniform și o magnitudine suficientă

a vitezei aerului prin toate zonele de uscare. Pentru tipul nostru de cameră de uscare cu flux, viteza recomandată a aerului ar trebui să fie în jur de 0.5 până la 0,6 m/s [71, 72], dacă sunt prea mici, produsele se vor usca încet și, dacă sunt prea mari, produsele pot zbura sau se pot deplasa în camera de uscare. Astfel, studiul a arătat că filtrul numărul 2 ar putea fi filtrul perfect pentru camera noastră de uscare. Pentru studiul experimental, vom încerca să găsim un filtru similar pe piață pentru construcția camerei de uscare. În lucrările viitoare, acest model numeric ne va ajuta să determinăm scăderea de presiune creată de feliile de fructe din interiorul camerei de uscare. Apoi, în funcție de cantitatea de fructe din interiorul camerei de uscare am putea determina specificația ventilatorului în ceea ce privește căderea de presiune.

3.3. Investigații numerice privind LHTES pentru colectoarele de aer solar

Colectoarele solare perforate (TSC) promit soluții de energie solară și reprezintă o strategie alternativă durabilă pentru atenuarea consumului de energie pentru încălzirea spațiului, preîncălzirea aerului proaspăt sau în scopuri de uscare. În ultimii 30 de ani, STC-urile au fost investigate pe larg folosind atât tehnici matematice, cât și experimentale. Cu toate acestea, una dintre principalele probleme rămâne stocarea termică atunci când sursa de căldură este oprită (vreme înnorată, perioadă de noapte). Astfel, este necesar să se asocieze un sistem de stocare a energiei termice (TES) cu TSC. Primii pași au fost făcuți în proiectul BISCUIT de către echipa noastră, colecționarul cu LHTES integrat au fost studiați prin modele matematice [73]. Forma de încapsulare PCM este un factor important de luat în considerare la proiectarea sistemelor TES. Un studiu numeric [74] privind optimizarea stocării PCM pentru alimentarea rapidă cu căldură a arătat că încapsularea sferică oferă performanțe mai bune de transfer de căldură în comparație cu încapsularea cilindrilor, plăcilor și tuburilor. De asemenea, putem observa o scădere a degajării căldurii la creșterea diametrului de încapsulare. Acest studiu a fost un ghid pentru echipa noastră, ideea este de a analiza aceste tipuri de încapsulare și aranjament în colectorul nostru de aer solar. Obiectivul nostru este de a proiecta un TES cu: densitate mare de energie care să conducă la o amprentă spațială mică pentru o integrare ușoară în clădiri; Cădere de joasă presiune pentru a reduce puterea ventilatorului și pentru a crește eficiența sistemului; Eliberarea rapidă a timpului de căldură, încărcarea descărcării anunțurilor, pentru a atenua radiația solară intermitentă. Modelul reproduce o parte dintr-o stocare a energiei termice la scară reală introdusă într-un DSTSC [75]. Figura 17 prezintă cele două scheme de scară reală double skin transpired Solar Collector care vor fi evaluate. În ambele scheme observăm trei culori ale PCM reprezentând trei temperaturi diferite de topire. Scopul este de a analiza influența stocării PCM în cascadă.

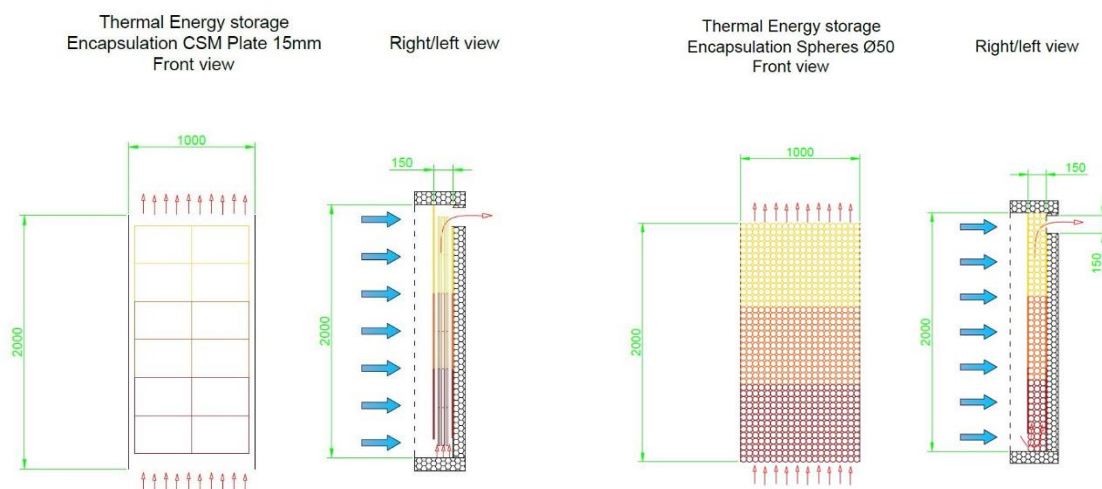
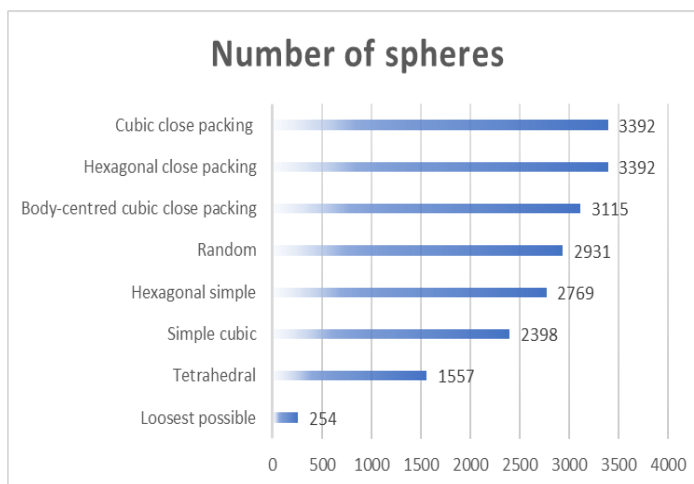


Figura 17. DSTSC cu TES integrat bazat pe încapsulare dreptunghiulară și încapsulare sferică.

Parte studiată a TES reprezintă un volum al TES la scară reală. Modelul constă într-o conductă de plexiglas în care vom studia aranjamentul diferit al PCM încapsulat sferic. Pentru fiecare aranjament analizăm transferul de căldură dintre elementele TES și aerul care trece prin colector. Acest studiu își propune să investigheze cuplarea unui sistem de stocare a energiei termice (TES) cu un colector solar perforat cu piele dublă, astfel încât simularea numerică a fost efectuată cu condițiile de flux de aer și temperatură ale DSTSCs. Diferitele TES au fost analizate prin intermediul studiilor CFD (Computational Fluid Dynamics) și validate prin măsurători PIV (Particle Image Velocimetry).

Plăcile și sferile PCM modelele TES au volume similare, astfel încât să poată fi comparate. Cele două TES bazate pe plăci sau sfere PCM au fost comparate prin intermediul model numeric și validați cu un stand experimental. Elementul cheie în determinarea cantității de sferă dintr-un spațiu este densitatea de ambalare. Tehnicile sunt mult studiate în industria alimentară pentru transportul și depozitarea fructelor, cum ar fi portocalele. Densitatea de umplere depinde de tipul de stivuire, close-packed, Face-Centred Cubic și Hexagonal Close-Packed. Cifra 18



Cifra 18. Numărul de sfere în funcție de ambalarea sferelor.

afișează sferile numerice în funcție de tipurile de ambalare. Putem vedea că metoda de ambalare este o modalitate importantă atunci când se proiectează un sistem de stocare a energiei termice. Folosind aceste Intrări în va determina cantitatea optimă de PCM pentru protipurile noastre de DSTSC. Combinarea cu investigația experimentală efectuată în capitolul 4.

3.3.1.1. Validarea modelului

Măsurătorile PIV au fost efectuate pentru condiții izoterme pentru validarea rezultatelor numerice. Măsurătorile PIV au fost realizate ale câmpului de curgere cu rezoluție spațială ridicată. Echipamentul folosit este un sistem Dantec PIV, compus dintr-o cameră Flow Sense 4M de înaltă sensibilitate cu rezoluție de 4x106 pixeli și un Dual Power 200mJ cu o lungime de undă de 532 nm. Frecvența sistemului de achiziție este de 7,5Hz.

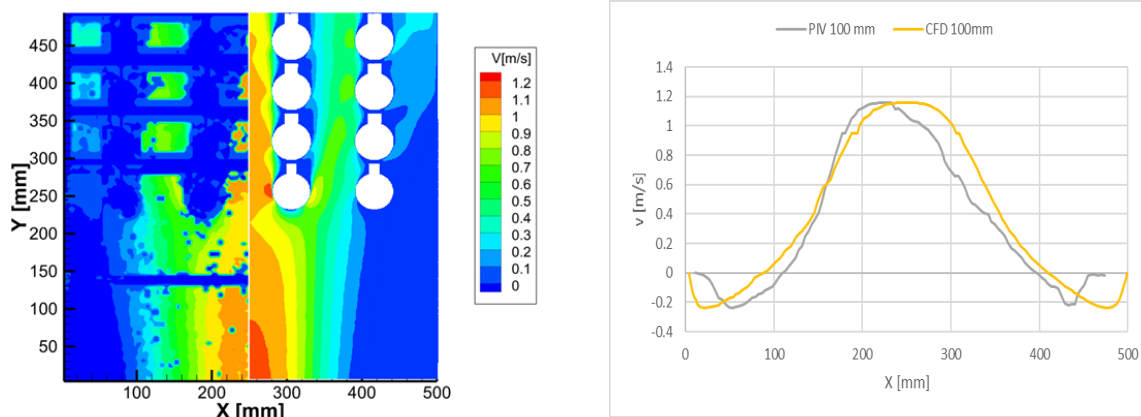


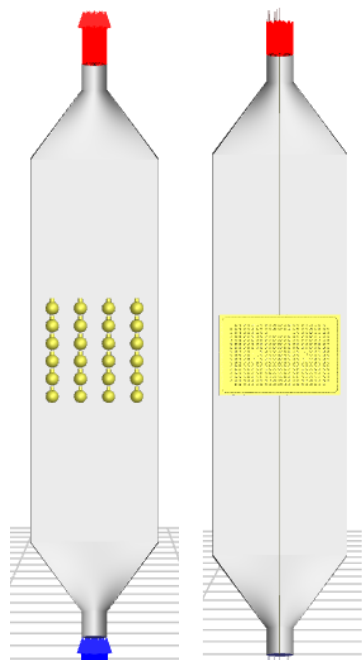
Figura 19. Măsurători PIV VS Rezultate numerice (stânga). Profiluri de viteză pentru rezultatele PIV și CFD (dreapta).

Modelul CFD, simulat numeric în ANSYS Fluent 2021, a fost validat prin experimente de velocimetrie a imaginii particulelor (PIV). Putem observa că măsurătorile PIV au modele de flux de aer similare cu

rezultatele numerice din partea dreaptă a figurii. Aceste similitudini validează acuratețea modelului numeric. În partea de jos a figurii din partea dreaptă am adăugat raționalizări albe pentru a intensifica fluxul invers care apare pe partea dreaptă și stângă. În plus, profiluri de viteză pentru compararea și validarea rezultatelor PIV și CFD.

3.3.2. Rezultate numerice și discuții

Diferitele TES au fost analizate prin studii CFD (Computational Fluid Dynamics) și validate prin măsurători PIV (Particle Image Velocimetry), obiectivul fiind acela de a analiza efectele aranjamentelor și tipurilor de încapsulare asupra timpului de emisie de căldură. Investigațiile numerice s-au axat pe transferul de căldură între fluxul de aer cald și sferele sau plăcile PCM reci. Fluxul de aer a fost stabilit cu o temperatură de admisie de 40°C corespunzătoare unei temperaturi convenționale de ieșire DSTSC pe timp de vară în București, România. Valoarea inițială a temperaturii PCM este de 15 °C. Rezultatele arată starea TES după 240 de secunde de încărcare a căldurii, obiectivul fiind de a determina ce tip de rugozitate artificială de pe plăci și sfere de ambalare oferă cea mai rapidă și omogenă încărcare termică.



Cifra 20. Reprezentarea celor două tipuri principale de geometrii 3D. Încapsularea sferei (stânga) și a plăcii (dreapta).

3.3.2.1. Încapsulare dreptunghiulară

Patru tipuri de plăci pentru încapsularea PCM cu un nivel diferit de rugozitate artificială au fost cercetate concentrându-se pe comportamentul lor termic. Putem observa în **Error! Reference source not found.** acel după 240 de secunde de încărcare termică placa cu covoare artificiale înălțimi de 5mm da cele mai bune rezultate atingerea temperaturii mai ridicate. Cu toate acestea, o îngrijorare cu privire la constatările a fost că placa simpla plata fara covoare artificiale atinge temperaturi apropiate de celelalte farfurii si chiar mai mari decat farfuriile cu covoare artificiale de

3mm si înălțime de 1mm. În conformitate cu anumite ipoteze, acest lucru poate fi din cauza unei cantitatea PCMS mai mare pentru plăci cu rugozitate artificială mai mare, explicând astfel că placa simplă, cu volumul PCM mai mic atinge temperaturi mai ridicate, un volum mai mic fiind mai rapid de încălzit.

3.3.2.2. Studiu privind aranjamentele de încapsulare sferică

În Figura 21 se combină distribuția temperaturii, raționalizează, sfere temperatura suprafeței și temperatura sferelor interne. We se poate vedea că aranjamentele hexagonale sunt preferate decât cea dreptunghiulară datorită unei distribuții mai uniforme a temperaturii. Mai exact, ambalajul hexagonal de tip 3, în figura c) oferă cea mai omogenă distribuție a temperaturii. Ambalarea hexagonală se rupe și distribuie fluxul de aer chiar și pentru cele mai laterale sfere, este evident atunci când ne concentrăm pe temperatura suprafeței sferice.

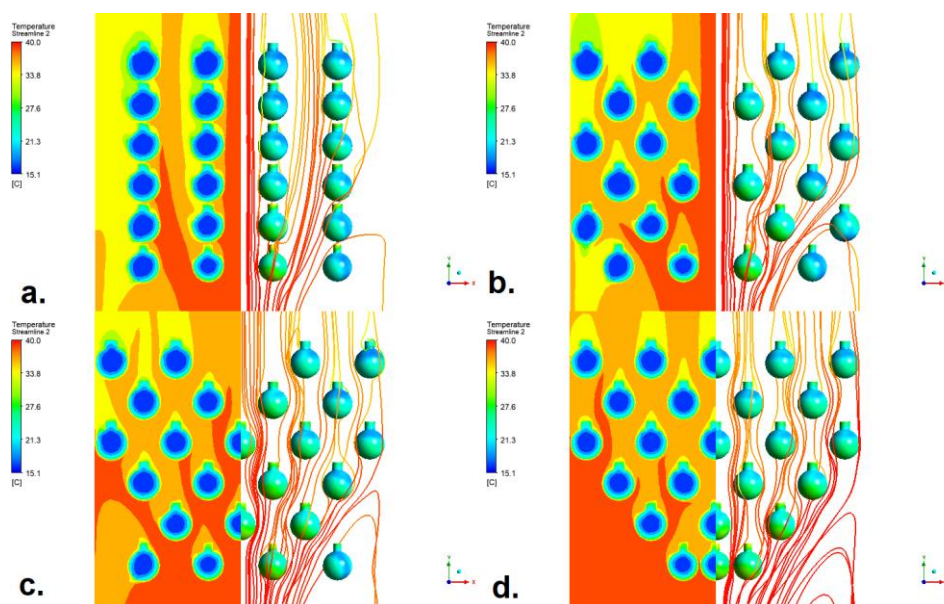
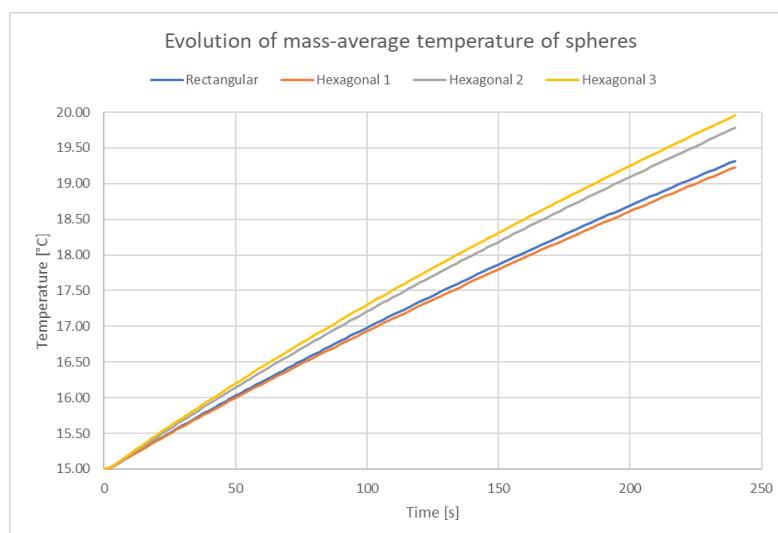


Figura 21. Distribuția temperaturii și raționalizează într-un plan median pentru aranjamente hexagonale și dreptunghiulare. a) dreptunghiulară, b) hexagonală 1, c) hexagonală 2, d) hexagonală 3.

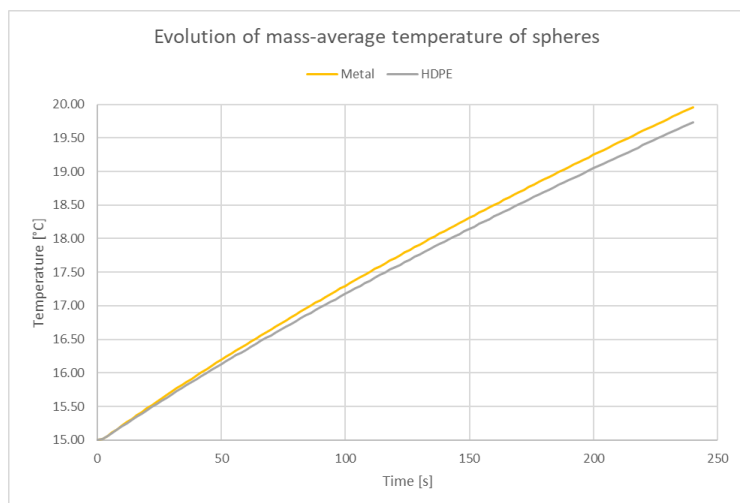
Tviteza lui este mai uniformă între sferele pentru aranjamentul hexagonal și există mai puține zone cu viteză mică decât în cazul dreptunghiular aranjament acest lucru este una explicație pentru mai mult distribuția uniformă a temperaturii. Pe lângă analiza vizuală a conturilor am extras date din rezultatele numerice. Acești rezultate extinse prezentate în Cifra 22 dovedi acel hexagonal Ambalare Îmbunătățește încărcarea rapidă a căldurii cel Vostru până la 12,3%.



Cifra 22. Temperatura medie de masă a PCM-urilor pentru diferite sfere.

3.3.2.3. Tipuri de materiale de încapsulare

Scopul acestei părți este de a analiza influența materialului utilizat pentru încapsularea PCM la încărcarea căldurii. Problematika este similară cu cea studiată în timpul piesei 3.1.6 în ceea ce privește materialele plăcii absorbante pentru colectoare solare cu piele dublă perforată. În contextul directivei privind eficiența energetică și amprenta de carbon pentru clădirile cu impact ridicat asupra mediului, cum ar fi materiale pe bază de metal care urmează să fie înlocuite cu Ecologic materiale prietenoase, cum ar fi lemn pe bază de lemn sau materiale reciclate. Astfel, scopul acestui capitol este de a comparați materialele pe bază de metal (conductivitate ridicată) și pe bază de plastic (conductivitate scăzută) pentru încapsularea PCM într-un sistem de flux de aer. În plus, folosind plastic-Bazat pe în loc de aluminiu reducem greutatea Sistemul de energie termică și apoi să faciliteze utilizarea și implantarea unui astfel de sistem. Merită Menționând că conductivitate scăzută materiale precum plasticul pot proveni din materiale reciclate și, prin urmare, pot oferi puncte pozitive privind analiza de mediu. Doi materiale au fost Investigataluminiu și Polietilenă de înaltă densitate. Pentru comparație

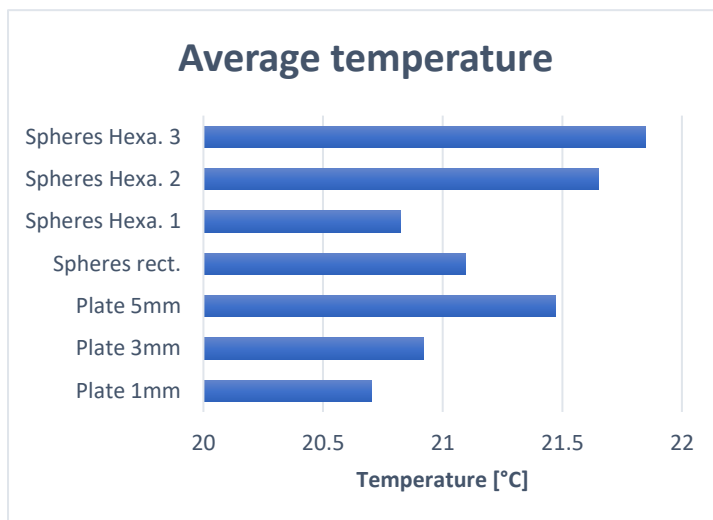


Cifra 23. Temperatura medie de masă a PCM-urilor pentru încapsularea metalelor și a plasticului.

studiu grosimea cochiliei similare de 2mm au fost folosite. Rezultatele au găsit un sprijin clar pentru impactul ușor al materialelor cu conductivitate scăzută. Acestea sunt doar mici diferențe între conductivitatea termică scăzută și materialele cu conductivitate termică ridicată în ceea ce privește performanța termică a TSC. Acesta este un fapt important atunci când luați în considerare costul materialelor metalice în comparație cu plasticul sau planta fibră Materiale.

3.3.2.4. Încapsulare sferică dreptunghiulară VS

Această secțiune rezumă constatările și comparații comportamentele termice ale încapsulării dreptunghiulare și sferice. Rezultatele evidențiază că încapsularea hexagonală optimizată de tip 3 este cea mai bună performanță generală în ceea ce privește timpul de încărcare a căldurii, așa cum este ilustrat în **Error! Reference source not found..** Într-adevăr, putem vedea că aranjamentele hexagonale de tip 3 ating o temperatură PCM mai mare după simularea de încărcare de 240min cu un debit de aer de 40 °C și o viteză a aerului de admisie de 1.498 m/s echivalent cu un flux de aer DSTSC de 450m³/h.



Cifra 24. Temperatura medie PCM pentru încapsulări sferice și dreptunghiulare.

3.3.3. Concluziile

Un sistem de stocare a energiei termice bazat pe sfere PCM pentru cuplarea fațadelor solare a fost investigat prin simulări numerice CFD și validat prin măsurători experimentale PIV. De asemenea, a fost efectuat un studiu de grilă de discretizare de independență pentru a găsi o grilă numerică bună pentru a efectua studiile de simulare numerică. S-a constatat că, pentru acest caz, o grilă numerică de 7,54 mil elemente echivalente cu 3,06 milioane de elemente poliedrice a oferit cea mai bună opțiune în ceea ce privește calitatea ochiurilor de grilă de discretizare și timpul de calcul.

Un alt obiectiv al acestui studiu a fost de a analiza efectele dispunerii sferelor asupra transferului de căldură între sferele PCM și fluxul de aer. Au fost analizate aranjamentele dreptunghiulare și hexagonale, iar concluzia principală a fost că aranjamentul hexagonal oferă un control pasiv mai bun al fluxului de aer pentru îmbunătățirea transferului de căldură decât aranjamentul dreptunghiular. Astfel, pentru încărcarea/evacuarea rapidă și omogenă a căldurii, trebuie luat în considerare aranjamentul hexagonal. Ieșirea colectoarelor solare perforate este de obicei mai mică decât cavitatea

de aer colector care duce la zona ocolită în interiorul colectorului și apoi în stocarea energiei termice. Sferele în loc de plăci ajută la omogenizarea distribuției fluxului de aer în interiorul TES și, astfel, la creșterea eficienței energetice a sistemului. Studiul nostru oferă o perspectivă pentru designerii TES cu privire la importanța aranjamentelor sferelor și a simulării CFD-urilor pentru proiectarea TES.

Cu toate acestea, materialele de schimbare p hase au mai multe probleme, cum ar fi conductivitatea termică scăzută, care este mai semnificativă pentru PCM organic decât anorganic [76], în plus PCM-urile sunt, de asemenea, afectate de probleme de coroziune. Într-adevăr, o revizuire completă [77] a enumerat o gamă largă de PCM și încapsularea lor adecvată pentru a reduce aspectul coroziunii. Acest studiu a arătat că oțelul inoxidabil este cel mai bun candidat pentru încapsularea PCM, deoarece este compatibil cu aproape toate PC-urile. Astfel, chiar dacă tipurile de materiale au o ușoară influență asupra eficienței TES, acestea trebuie alese cu atenție având în vedere reacțiile chimice dintre PCM-uri și materialele de încapsulare.

4. Capitolul 3: Studiul experimental al colectorului solar perforat pentru nevoile de uscare – uscător solar indirect

Scopul acestei părți este de a analiza experimental comportamentul termic și performanța unui prototip de colector de aer solar cu piele dublă perforată în timpul verii. Rezultatul capitolului este de a determina potențialul fațadelor solare pentru operațiunile de uscare. S-au făcut experimente la Facultatea de Servicii de Construcții din municipiul București. Prima parte a studiilor noastre experimentale se referă la analizele colectoarelor solare perforate și ale colectoarelor solare cu piele dublă în stare interioară.

În primul rând, simulăm o radiație solară intermitentă în condiții interioare prin pornirea și oprirea simulatorului solar pentru diferite perioade de timp. Rezultatele demonstrate în acest capitol cu privire la studiul experimental de interior se potrivesc cu rezultatele CFD obținute anterior, acesta a susținut că DSTSC este puțin mai eficient decât TSC până la 450-500 m³/h, iar după 500 m³/h DSTSC devine mai puțin eficient. Este important de menționat, că dovezile prezente se bazează pe o by-pass pe partea superioară a colectorului, așa cum am menționat în timpul studiului numeric. Rezultatele unui experiment de 2 ore au arătat că DSTSC ar putea produce **cu 14,7%** mai multă energie decât TSC la 400m³/h. O limitare a acestui prim studiu experimental este că nu include condițiile climatice exterioare care pot influența performanța termică a colectoarelor de aer solar. Astfel, a fost realizat un al doilea studiu experimental în stare exterioară și îl prezentăm în capitolul următor.

4.1. Studii experimentale în aer liber

Un TSC și DSTSC au fost integrate pe fațada clădirii laboratorului. Cele două colectoare integrate în fațadele laboratorului sunt folosite pentru a caracteriza comportamentul termic al ambelor colectoare în condiții exterioare. Iar DSTSC integrat în fațada containerului este combinat cu o cameră de uscare și utilizat pentru procesul de uscare solară.

4.1.1.1. Probleme legate de durata de viață a fațadei solare

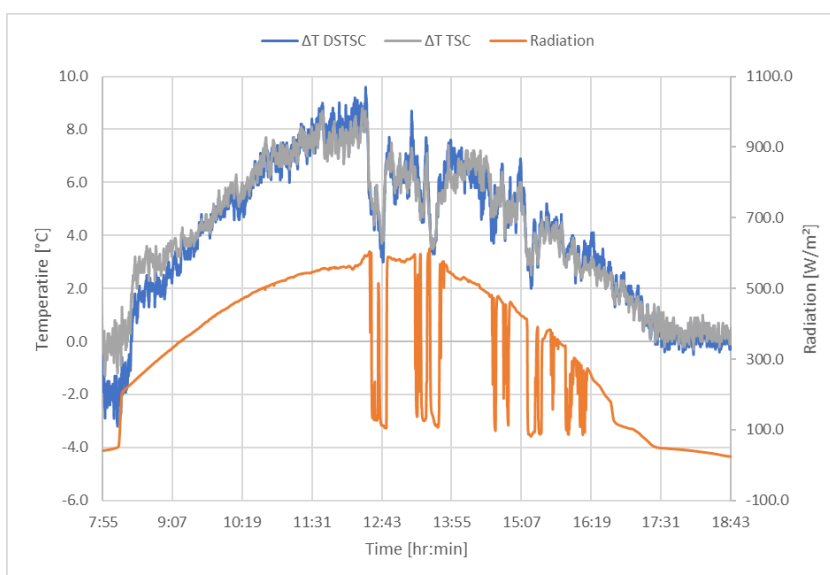
Prima problemă pe care am întâlnit-o cu fațada noastră solară este legată de comportamentul acoperirii. Învelișul electrostatic negru utilizat de furnizorul nostru nu a fost cel mai bun strat de acoperire pentru uz exterior. Observând că acoperirea nu este rezistentă și nu poate fi recomandată pentru utilizarea fațadelor solare. Acest număr a revelat importanța materialelor utilizate pentru construcția colectorului solar pentru o utilizare îndelungată. În ceea ce privește acest subiect ne putem

gândi mai departe decât un strat rezistent pentru condițiile exterioare, pentru lucrările viitoare ar putea fi folosit un strat inteligent, cum ar fi purificarea aerului și vopsele fotocatalitice [78, 79] pentru a transforma absorbantul metalic perforat într-un sistem de purificator de aer.

4.1.1.2. Comportamente termice

Principalul obiectiv al experimentelor a fost analiza comportamentului termic, pentru a determina capacitatea de încălzire și producție de energie a TSC și DSTSC în timpul condițiilor de vară pentru nevoile de uscare. Figura **Error! Reference source not found.** analizează îndeaproape variația diferenței de temperatură (ΔT) a TSC și DSTSC pentru o zi de radiație solară intermitentă. Este remarcabil faptul că ambele colectoare solare au o inerție termică scăzută, timpul de răspuns al temperaturii de ieșire la fiecare variație a radiației solare este foarte rapid.

Pentru a investiga acest lucru statistic, am calculat capacitatea medie de încălzire atât a colectoarelor solare, cât și a producției de energie pentru o zi constantă de radiație solară în data de 7 august 2021 pentru un 8 ore utilizare, între 9am și 5pm. Datele noastre arată că există o diferență foarte mică în ceea ce privește capacitatea de încălzire a celor doi colectori. În timpul alteia ziua radiației solare fără intermitență, pe 8 august 2021 de la 8:10 la 17:10, DSTSC a demonstrat



Cifra 25. Variația diferenței de temperatură (ΔT) a TSC și DSTSC pentru o zi de radiație solară intermitentă.

performanțe mai bune, cu o producție mai mare de aproximativ 222 Wh în comparație cu TSC, de la 6,89 kWh pentru TSC la 7,15 kWh pentru DSTSC. Ca o comparație pentru condițiile de interior cu o radiație solară de aproximativ 800W/m², Bejan a arătat că simplele colectoare solare perforate pot avea o producție zilnică având în vedere 20 de ore de funcționare de aproximativ 20 de ore de funcționare de aproximativ 4,4 kWh/m² fără PCM și 4,85 kWh/m² cu PCM.

Mentionam ca ora de functionare nu este arbitrara, ci este aleasa in functie de radiatia solara. Colectorul solar funcționează atunci când radiația solară este mai mare de 100 W/m², când valoarea mai mică nu există suficientă producție de energie pentru a porni ventilatorul. Putem observa că, chiar dacă radiația solară este stabilă, eficiența colectorului solar este încă variabilă. Speculăm că acest lucru s-ar putea datora vântului. Astfel, am investigat efectul vitezei vântului asupra eficienței colectorului solar. Rămâne neclar în ce măsură variația mică a eficienței colectorului solar și a eficacității absorbantului sunt atribuite vitezei vântului. Acest lucru este de dorit pentru lucrările viitoare pentru a investiga efectul vântului pentru magnitudinea mare a vântului.

4.1.1.3. Metodă simplificată de evaluare a performanței termice TSC și DSTSC

Această metodă utilizează linia de tendință a diagramei pentru a obține o ecuație pentru curbele reprezentate grafic ale fiecărui colector. Figura 26 prezintă cele două curbe reprezentând evoluția diferenței de temperatură dintre aerul de admisie și de ieșire al TSC și DSTSC în funcție de radiația

solară pentru un flux de aer de 450m³/h. Am introdus două linii de tendință polinomială de ordinul doi pentru a evalua performanța termică a ambelor colectoare solare.

Pentru moment, aceste ecuații ne ajută doar să determinăm performanța termică a STC-urilor în funcție de radiația solară. O altă provocare este acum evaluarea performanței termice a colectoarelor solare pentru condiții climatice multicriteriale, cum ar fi influența vitezei vântului menționată anterior. Chiar dacă rezultatele au relevat o mică influență a vântului asupra performanței termice a colectoarelor solare, cel puțin pentru



Figure 26. Evoluția ΔT în funcție de radiația solară la 450m³/h.

condițiile de vară, atunci când viteza vântului este cuprinsă între 0 și 5m/s. Investigațiile viitoare, pentru starea toamnei sau a iernii - atunci când magnitudinea vitezei vântului este mai mare - sunt necesare pentru a valida concluzia care poate fi trasă din acest studiu. Un model matematic realizat de Octavian Pop în cadrul proiectului BISCUIT, a arătat o bună corelație cu testele experimentale, permițându-i astfel să fie utilizat în plus față de acest model pentru ioni de estimare mai fini [80, 81].

4.1.2. Potențialul de uscare

O analiză a literaturii [82] a arătat că consumul de energie necesar pentru diverse felii de uscare a culturilor cu uscător solar convectiv poate varia de la 1,45 la 25,1 kWh/kg de apă îndepărtată. Mugi et. al. au arătat în timpul unui studiu experimental comparativ [83] privind uscătorul solar indirect cu convecție naturală și forțată că consumul specific de energie pentru uscarea guavei feliate a fost de 2,108 și, respectiv, 1,675 kWh/kg. Camera de uscare a uscătorului solar indirect cu convecție forțată studiată are o caracteristică similară cu cea a camerei noastre de uscare prezentată în capitoul 3.2. Studii cu abordări similare și uscător solar au analizat consumul specific de energie pentru alte produse feliate, Rabha et al. [84] a găsit un SEC de 8,82 kWh/kg pentru uscarea ghimbirului și Kesavan et al. [85] a găsit un SEC de [5,6 kWh/kg] pentru uscarea cartofilor. Folosind aceste date, Curtea a evaluat potențialul de uscare al sistemului nostru BIST pe baza valorii obținute în timpul experimentelor experimentale în aer liber. Rezultatele au arătat că pentru ziua normală de radiație solară fără intermitență DSTSC poate produce de la 6 la 7. 15 kWh, echivalentul a 3-3,6 kWh/m² pentru o zi de funcționare între orele 08:00 și 17:00. Astfel, pe baza producției zilnice de TSC și DSTSC și a necesarului de energie pentru produsele de uscare selectate, putem estima potențialul lor de uscare. Pentru exemplul nostru de evaluare a potențialului de uscare, considerăm piperul ca produs de uscare, deoarece culturile de piper sunt potrivite pentru agricultura urbană din România, iar timpul și temperatura de uscare necesare sunt potrivite pentru performanța noastră DSTSC. Astfel, având în vedere o producție minimă de 3 kWh/m²/zi cu 1 m² de DSTSC, avem potențialul de a usca minimum 6,7 kg de piper sau 7,2 kg de măr cu m². Dacă acum, luați în considerare energia necesară pentru a extrage o cantitate de apă din produsul feliat pe baza valorii Nnaemeka prezentată anterior, de la 1,45

la 25,1 kWh/kg de apă. DSTSC-ul nostru are potențialul de a extrage cel puțin 0.12 până la 2 kg de apă pe m² pentru diverse produse feliate.

4.1.2.1. *Potențialul de uscare, studiu de caz*

Pentru a contextualiza potențialul de uscare pentru piața din România am decis să căutăm un studiu de caz local. O clădire ne-a atras atenția, halele pieței Obor, situate în București, în sectorul 2. Piața Obor este una dintre cele mai mari piețe pentru producătorii locali din România, cu produse locale și sezoniere. Când treceți prin piață, una dintre primele impresii este cantitatea mare de produse proaspete de pe rafturi, în special în perioadele de recoltare. O problemă este în ceea ce privește conservarea alimentelor, într-adevăr, cantitatea mare de produs proaspăt dacă nu este vândută este aruncată. Astfel, această locație este locul perfect pentru a evalua potențialul de uscare solară pentru conservarea alimentelor pe baza colectoarelor de aer solar, mai ales că clădirea principală a pieței are o fațadă mare spre sud. Pentru a determina potențialul de uscare pe baza studiilor experimentale efectuate în capitolul anterior, halele de piață Obor au fost modelate așa cum este astăzi, folosind software-ul Sketchup. Ideea principală este de a asigura o redare a clădirii cu sistemul integrat de uscare solară și de a evalua suprafața disponibilă pentru fațada solară verticală. Apoi am integrat pe fațada sud-est, 482 de colectoare de aer solar de 2 m² identice cu cele studiate în capitolul anterior, ceea ce echivalează cu aproximativ 964 m². De asemenea, o seră care poate fi utilizată pentru cultivarea culturilor și /sau a uscătorului de tuneluri a fost conectată la fațadă cu conducte.

Pe baza rezultatelor experimentale obținute în timpul studiilor experimentale în aer liber și a datelor din literatura de specialitate prezentată în partea anterioară, putem evalua potențialul unei astfel de fațade solare pentru Piața Obor. În cazul fațadei sudice a clădirii Obor Market, pentru o zi de vară cu o producție de energie egală cu 4,55 kWh am putea obține mai mult

de 230 kg de roșii uscate. Având în vedere problemele legate de criza energetică și de risipa de alimente cu care se confruntă în prezent societățile noastre, un astfel de sistem este în mare măsură justificat și oferă orașelor soluții pentru o independență energetică și o tranziție ecologică.

4.1.3. *Strategii de control*

În studiul anterior am observat o intermitență a radiației solare în timpul unei zile cu impact direct asupra producției de energie a colectorului solar cu piele dublă perforată. Atunci când DSTSC nu mai furnizează căldură pentru uscare sau încălzirea clădirilor, sistemele auxiliare de încălzire ar trebui să fie activate pentru încălzire continuă. În sistemul nostru, o bobină de încălzire electrică este utilizată ca sistem auxiliar. Cu toate acestea, utilizarea energiei electrice pentru încălzirea directă are un impact asupra eficienței energetice și a amprente de carbon a sistemului. Pentru a atenua utilizarea sistemului de încălzire auxiliară convențională, integrăm latentă de stocare a energiei termice termice. Pentru o integrare reușită, sistemele BIST ar trebui să fie livrate cu orientări și moduri de operare precise. Ideea principală a prototipului uscătorului solar Building Integrate prezentat este de a utiliza

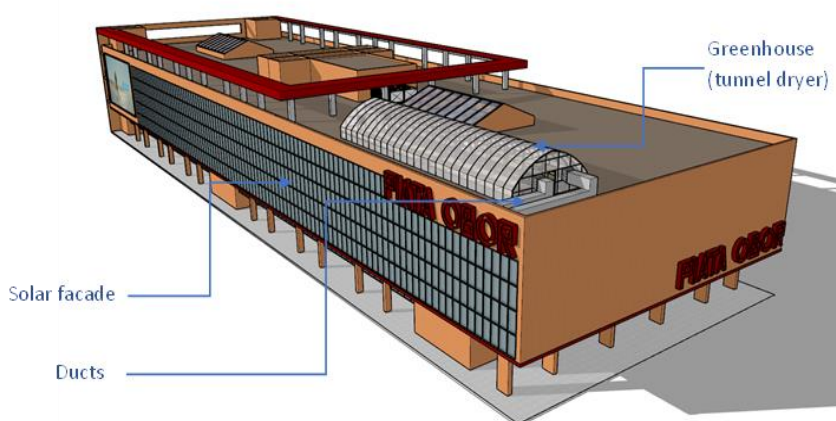


Figure 27. Vedere izometrică sud-est, halele piață Obor cu sistem solar integrat

stocarea PCM numai atunci când este nevoie, un sistem de management termic al depozitării bazat pe amortizoare. Trei abordări diferite au fost proiectate pentru sistemul de management al uscării și sistemul de management al stocării energiei termice, unde amortizoarele sunt controlate în funcție de temperatura PCM, radiația solară și temperatura colectorului interior. Funcționalitatea fiecărei strategii de control a fost simulată și verificată cu Autodesk Tinkercad. Tinkercad permite simularea circuitelor și componentelor acționate de Arduino.

4.1.4. Concluzie

Studiile experimentale ne oferă un feedback consecvent cu privire la comportamentul termic al TSC și DSTSC atât pentru condițiile interioare, cât și pentru cele exterioare. Obiectivul principal al DSTSC este de a crea un spațiu pentru a integra o stocare a energiei termice fără a afecta performanța termică a colectoarelor solare perforate de bază. Rezultatele au confirmat că pentru gama noastră de flux de aer 300-500m³/h nu există diferențe majore între cele două colectoare, diferențele maxime de producție de energie în timpul zilelor de măsurare, de la 8:10 la 17:10 au fost de aproximativ 222 Wh, de la 6,89 kWh pentru TSC la 7,15 kWh pentru DSTSC. De asemenea, am arătat că sub 100-150 W/m² ambii colectoare solare nu produc suficientă energie pentru a justifica funcționarea ventilatorului. În acest fel, strategiile de control pentru operațiunile de uscare au fost schițate pentru a oferi o gestionare termică a TES și pentru a facilita utilizarea unui astfel de sistem în clădiri.

Rezultatele experimentale au arătat că STC-urile ating o temperatură suficient de ridicată pentru uscare în timpul experimentelor pe timp de vară din București, România. Rezultatele au arătat un ΔT între 0 °C și aproximativ 10 °C pentru ambele TSC pentru un flux de aer de 450m³ / h. Atingerea temperaturii de 40 °C în zilele monitorizate potrivite pentru uscarea culturilor agricole urbane, cum ar fi ierburi aromatice, ciuperci, piper verde sau roșii. În plus, potențialul de uscare al DSTSC a fost evaluat pe baza valorilor din literatura de specialitate. Având în vedere o producție minimă de 3 kWh/m²/zi cu 1 m² de DSTSC, avem potențialul de a usca minimum 6,7 kg de piper sau 7,2 kg de măr pe m². Dacă acum, luați în considerare energia necesară pentru a extrage o cantitate de apă din produsul feliat pe baza valorii Nnaemeka prezentată anterior, de la 1,45 la 25,1 kWh/kg de apă. DSTSC-ul nostru are potențialul de a extrage cel puțin 0,12 până la 2 kg de apă pe m² pentru diverse produse feliate. Astfel, ca o concluzie principală, utilizarea DSTSC poate fi concepută pentru viitoarele noastre lucrări de construire a uscătoarelor solare integrate.

5. Capitolul 4: Concluzii, perspective și contribuții personale.

Teza de doctorat abordează un proiect interdisciplinar gândit o abordare holistică pentru a aproba climate c limate change, eficiența energetică și conceptul de securitate alimentară s, ajutând dezvoltarea agriculturii urbane locale pentru un viitor alimentar și energetic durabil. Teza își propune să demonstreze că sursele regenerabile de energie utilizate pentru încălzirea clădirilor în perioada rece pot răspunde cu succes și nevoilor energetice ale agriculturii urbane, în procesul de conservare a alimentelor în perioada de cultură. Astfel, sistemul simbiotic al unei clădiri reziliente, care combină producția de energie și sursa de hrană, se integrează perfect în comunitățile urbane durabile. Scopul tezei este de a proiecta, analiza și testa un demonstrator experimental pentru a dovedi toate funcționalitățile și eficiența pe tot parcursul anului a conceptului de construire a sistemului adaptiv de energie solară, care integrează materiale de schimbare a fazei, în scopul încălzirii pasive a aerului și al uscării alimentelor.

A fost efectuată o analiză a literaturii de specialitate privind sistemele solare de încălzire a aerului, procesele de uscare și stocarea energiei termice latente. Pe baza acestei stări multidisciplinare a fost schițat un concept de construire a unui sistem termic solar integrat pentru nevoile de încălzire și

uscare. Sistemul BIST este format din colector solar cu piele dublă, cu LTHES integrat într-o fațadă a clădirii și cuplat cu o cameră de uscare. Fiecare parte a sistemului a fost studiată prin abordări numerice și/sau experimentale pentru a determina caracteristicile optime ale sistemului BIST la scară reală construit și prezent în curtea Facultății de Ingineria Serviciilor de Construcții din cadrul Universității Tehnice de Construcții București.

Am arătat importanța și utilitatea simulărilor numerice pentru a determina grosimea optimă pentru ca DSTSC să fie mai cuprinzătoare pentru arhitecți și ingineri în proiectarea clădirilor. Grosimea fațadelor solare este un subiect important în proiectarea clădirilor, deoarece afectează, printre altele, amprenta clădirilor. Pe lângă miza economică pentru dezvoltatorii imobiliari datorită prețului pe metru pătrat în orașe, amprenta clădirilor este o problemă majoră astăzi, în lupta împotriva artificializării solului, precum și în scopul densificării orașelor viitorului. Acest studiu oferă o înțelegere a impactului grosimii plenului de aer al unei fațade solare asupra performanței termice. Reducând grosimea prea mult, de la 30cm la 10cm, eficiența colectorului solar poate fi redusă cu aproximativ 4% iar eficiența schimbatorului de caldura cu 3%, în cazul unui DSTSC. Creșterea grosimii DSTSC va crește treptat performanțele termice, anunțând în același timp o stagnare în jurul valorii de 20cm. Ne-am limitat cercetările la o grosime de 30cm, estimând această distanță ca o distanță maximă realistă pe care o fațadă solară ar putea să o aibă în ceea ce privește amprenta totală a clădirii. Indiferent, cercetările viitoare ar putea continua să exploreze influența plenului de aer pentru grosimi mai mari.

În contextul dependenței noastre de resursele din țările instabile și high CO₂ emisiuni trebuie să regândim producția noastră de energie și alimente, precum și utilizarea noastră de elemente de pământ. Primul mod de a acționa este de a reduce consumul de energie și materiale pentru a limita achiziționarea de energie murdară de la țări care nu respectă drepturile omului, nici pacea, nici problemele climatice. O altă modalitate este de a utiliza energia și materialele locale și regenerabile. Astfel, cercetarea ar trebui să se concentreze asupra materialelor alternative utilizate în fabricarea tehnologiilor noastre actuale. Tlui este unul dintre motivele pentru care am analizat impactul materialelor alternative pentru cele mai multe dintre sistemele studiate în sistemul nostru. Materialul cu conductivitate scăzută nu are un comportament termic omogen în comparație cu materialul cu conductivitate ridicată, cu toate acestea, pentru STC-uri diferențele în ceea ce privește performanțele termice nu sunt semnificative. Astfel, materialele cu conductivitate scăzută sunt concepute pentru TSC, mai ales că prețul lor rămâne mai mic. Echilibrul dintre calitate și preț este interesant pentru materialele cu conductivitate scăzută, acest lucru permite acestui tip de colector să cadă în low-cost și low-tech. Ceea ce este foarte interesant pentru noile politici cu emisii reduse de carbon și pentru dezvoltarea acestor tehnologii în țările în curs de dezvoltare care caută produse fiabile și ieftine. Cercetările viitoare ar trebui să fie dedicate dezvoltării analizei de impact (LCA - Life Cycle Assessment) și a analizei costurilor (LCC - Life Cycle Costing) pentru a determina potențialul unui astfel de sistem în viitoarele directive europene Net-Zero.

Au fost efectuate studii experimentale pentru a evalua potențialul de uscare solară prin intermediul colectoarelor solare perforate în timpul verii. Rezultatele au arătat un ΔT între 0°C și aproximativ 10°C pentru ambele TSC pentru un flux de aer de 450m³/h. Atingerea temperaturii de 40°C în zilele monitorizate, potrivită pentru uscarea culturilor agricole urbane, cum ar fi fierburile, ciupercile, ardeiul verde sau roșiile. Pentru a investiga acest lucru statistic, am calculat capacitatea medie de încălzire atât a colectoarelor solare, cât și a producției de energie pentru o zi constantă de radiație solară, pentru o utilizare de 8 ore, între orele 9 și 17. Datele noastre arată că există o diferență foarte mică în ceea ce privește capacitatea de încălzire a celor doi colectori. Capacitatea de încălzire a variat de la 0kW pe timp de noapte la 1,5 kW pentru o radiație solară de 560 W/m². Rămâne neclar în ce măsură variația mică a eficienței colectorului solar și a eficacității absorbantului sunt atribuite vitezei vântului. Acest

lucru este de dorit pentru lucrările viitoare pentru a investiga efectul vântului pentru magnitudinea mare a vântului.

Am întâmpinat unele probleme cu fațada noastră solară în ceea ce privește comportamentul acoperirii după doi ani în condiții exterioare. Învelișul electrostatic negru utilizat de furnizorul nostru nu a fost cel mai bun strat de acoperire pentru uz exterior. Putem observa că acoperirea nu este rezistentă și nu poate fi recomandată pentru utilizarea fațadelor solare. Acest număr a revelat importanța materialelor utilizate pentru construcția colectorului solar pentru o utilizare îndelungată. În ceea ce privește acest subiect ne putem gândi mai departe decât un strat rezistent pentru condițiile exterioare, pentru lucrările viitoare ar putea fi folosit un strat inteligent, cum ar fi purificarea aerului și vopsele fotocatalitice [78, 79] pentru a transforma absorbantul metalic perforat într-un sistem de purificator de aer.

S-a pus accentul pe importanța proiectării camerei de uscare. Chiar dacă integrarea fructelor pe uscător creează o cădere de presiune, nu este suficient să se asigure o distribuție uniformă a fluxului de aer în camera de uscare. Astfel, integrarea unui filtru este obligatorie pentru a oferi condiții bune de uscare în interiorul camerei de uscare. O cameră perfectă de uscare ar trebui să verifice două condiții majore, un flux de aer uniform și o magnitudine suficientă a vitezei aerului prin toate zonele de uscare. În cazul nostru, viteza recomandată a aerului ar trebui să fie în jur de 0,5 m/s, dacă este prea mică, produsele se vor usca încet și dacă sunt prea mari, produsele pot zbura sau se pot deplasa în camera de uscare. Astfel, studiul a arătat că filtrul numărul 2 ar putea fi filtrul perfect pentru camera noastră de uscare. În lucrările viitoare, acest model numeric ne va ajuta să determinăm scăderea de presiune creată de feliile de fructe din interiorul camerei de uscare. Apoi, în funcție de cantitatea de fructe din interiorul camerei de uscare am putea determina specificația ventilatorului în ceea ce privește căderea de presiune.

Un sistem de stocare a energiei termice bazat pe încapsulări sferice și dreptunghiulare PCM pentru cuplarea fațadelor solare a fost investigat prin simulări numerice CFD și validat prin măsurători experimentale PIV. Pentru același volum de încapsulări sferice PCM oferă transferuri de căldură mai bune decât încapsulările dreptunghiulare. Au fost analizate diferite sfere, iar rezultatele au arătat că aranjamentul hexagonal oferă un control pasiv mai bun al fluxului de aer pentru îmbunătățirea transferului de căldură decât aranjamentul dreptunghiular. Astfel, pentru încărcarea/descărcarea rapidă și omogenă a căldurii, ar trebui avută în vedere încapsularea sferică cu aranjament hexagonal. În plus, rezultatele numerice au arătat importanța analizelor fluxului de aer pentru a proiecta o stocare PCM, într-adevăr, schimbătoarele PCM sunt adesea plasate în secțiuni divergente în care fluxul de aer nu mai este omogen și, prin urmare, unele părți ale schimbătoarelor ar putea fi ocolite, ceea ce duce la reducerea eficienței. Prin urmare, fluxul de aer ar trebui să fie investigat numeric pentru a proiecta stocarea PCM pentru a proiecta schimbătorul în așa fel încât să omogenizeze fluxul de aer. În cazul nostru obiectivul a fost de a sparge jetul de aer format de conducta convergentă de admisie.

Pentru a atenua utilizarea bobinelor de încălzire atunci când radiația solară este intermitentă, integrăm stocarea energiei termice latente a căldurii. Cu toate acestea, integrarea LHTES complexifică funcționarea sistemului nostru termic solar integrat pentru clădiri, cu impact asupra integrării în proiectele de construcții. Astfel, au fost elaborate strategii de control bazate pe sisteme low-cost pentru a optimiza funcționarea sistemului de încălzire solară pentru modurile de uscare și pentru a face sistemul ușor de integrat în clădiri.

În lucrările noastre viitoare vom integra un TES bazat pe PCM în back-pass-ul DSTSC. Diferitele forme de dispunere și încapsulare a PCM vor fi investigate experimental pe baza investigațiilor numerice prezentate în partea 3.3. În plus, efectul PCM în cascadă va fi investigat. În literatura de specialitate,

PCM-urile în cascadă au îmbunătățit performanța termică a sistemelor latente de stocare a căldurii, topirea / solidificarea mai uniformă, creșterea performanței energetice și a exergului, faza de încărcare și descărcare mai eficientă. Liu, Iten și Shukla [86] au efectuat un studiu numeric pentru a evalua potențialul PC-urilor în cascadă pentru aplicații de răcire gratuite în clădiri. PCM-urile cu temperatură de topire diferită au fost investigate pentru a găsi o combinație optimă. Rezultatele au arătat că cea mai bună combinație este pentru RT20 cu RT25 cu o eficacitate medie de 0,5. Cercetările noastre viitoare vor lua în considerare, de asemenea, efectele potențiale ale plasei metalice integrate pentru a crește răspunsul termic al TES.

După cum am susținut în studiile numerice, încapsularea sferică poate fi considerată un aspect promițător pentru stocarea latentă a energiei termice în TSC. Aceasta este în mare măsură componenta cheie a viitoarelor noastre studii experimentale. Studiile numerice au fost limitate în timp din cauza puterii de calcul. Astfel, vor fi investigate tipurile și aranjamentele de încapsulare, precum și diferite temperaturi de topire pentru experimente de lungă durată pentru a evalua încărcarea și descărcarea completă a TES. În plus, vom pune accentul pe lucrările noastre pe integrarea PCM în cascadă, având în vedere trei temperaturi de topire diferite pentru a acoperi întreaga funcționare pe tot parcursul anului a sistemului BIST.

6. Bibliografie

- 1.FAO, F., OMS, PAM și UNICEF, *The State of Food Security and Nutrition in the World 2018. Consolidarea reziliența la schimbările climatice pentru securitatea alimentară și nutriție*. Roma, FAO. 2018.
- 2.Zabalza Briabán, I., A. Valero Capilla și A. Aranda Usón, *Evaluarea ciclului de viață al materialelor de construcție: Analiza comparativă a impactului energetic și asupra mediului și evaluarea potențialului de îmbunătățire a ecoeficienței*. Construcții și mediu, 2011. **46**(5): p. 1133-1140.
- 3.Report, O. *Populația lumii se estimează că va ajunge la 9,7 miliarde până în 2050*, . 2015.
- 4.Willett, W., et al., *Food in the Anthropocene: the EAT–Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems*. The Lancet, 2019.
- 5.Comisia Europeană, *cadrul privind clima și energia pentru 2030*
https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030_en#tab-0-0. 2014.
- 6.AIE, *Tranziția către clădiri durabile - Strategii și oportunități până în 2050*. 2013.
- 7.IPCC, *Schimbările climatice 2014: Raport de sinteză. Contribuția grupurilor de lucru I, II și III la cel de-al cincilea raport de evaluare al Grupului interguvernamental privind schimbările climatice*. 2014,, IPCC: Geneva, Elveția, . p. 151 pp.
- 8.IPCC Expert Group Scoping Meeting Report, *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Reference Manual* 2003.
- 9.FAO, *Cadrul FAO pentru Agenda privind alimentația urbană*, FAO, editor. 2019: Roma.
- 10.FAO, *Orașe mai ecologice în creștere în America Latină și Caraibe. Un raport FAO privind agricultura urbană și periurbană din regiune*. 2014.
- 11.Ratti, C.a.A.S.M., *Uscarea solară a alimentelor: Modelare și simulare numerică*. . Energie solară , 1997. **60**(3): p. 151-157.
- 12.Gustavsson, J., C. Cederberg și U. Sonesson, *Global Food Losses and Food Waste*. 2011.
- 13.Dou, Z., et al., *Evaluarea risipei de alimente din SUA și oportunități de reducere*. Securitatea alimentară globală, 2016. **8**: p. 19-26.
- 14.Bradford, K.J., et al., *The dry chain: Reducing postharvest losses and improving food safety in humid climates*. Tendințe în știința și tehnologia alimentară, 2018. **71**: p. 84-93.
- 15.Organizația pentru Alimentație și Agricultură (FAO), *Food for the Cities*,.
- 16.Fudholi, A., et al., *Revizuirea uscătoare solare pentru produse agricole și marine*. Revizuiți privind energia regenerabilă și durabilă, 2010. **14**(1): p. 1-30.

17. Magrini, A., et al., *From almost zero energy buildings (NZEB) to positive energy buildings (PEB): The next challenge - The most recent European trends with some notes on the energy analysis of a forerunner PEB example*. *Evoluții în mediul construit*, 2020. **3**: p. 100019.
18. Talaei, M., et al., *A Review on Interaction of Innovative Building Envelope Technologies and Solar Energy Gain*. *Energie Procedia*, 2017. **141**: p. 24-28.
19. Luo, Y., et al., *Active building envelope systems towards renewable and sustainable energy*. *Revizuri privind energia din surse regenerabile și durabile*, 2019. **104**: p. 470-491.
20. O'Hegarty, R., O. Kinnane și S.J. McCormack, *Revizuirea și analiza fațadelor termice solare*. *Energia solară*, 2016. **135**: p. 408-422.
21. Bock, M., *O clădire integrată colector termic solar cu piei active din oțel*. *Energie și clădiri*, 2019. **201**: p. 134-147.
22. Smyth, M., et al., *Caracterizarea experimentală de performanță a unui hibrid fotovoltaice / solare termice fațadă modul în comparație cu un plat integrat colector de stocare solară modul de încălzire a apei*. *Energie regenerabilă*, 2019. **137**: p. 137-143.
23. Talaei, M., M. Mahdavinjad și R. Azari, *Performanța termică și energetică a fațadelor bioreactive ale algelor: O revizuire*. *Journal of Building Engineering*, 2020. **28**: p. 101011.
24. Elnokaly, A. și I. Keeling, *Un studiu empiric care investighează impactul tehnologiilor micro-algelor și aplicarea lor în țesături inteligente de construcție*. *Procedia - Științe sociale și comportamentale*, 2016. **216**: p. 712-723.
25. Maurer, C., C. Cappel și T.E. Kuhn, *Progress in building-integrated solar thermal systems*. *Energia solară*, 2017. **154**: p. 158-186.
26. Wall, M., et al., *Realizarea energiei solare în arhitectură-AIE SHC Sarcina 41*. *Energie Procedia*, 2012. **30**: p. 1250-1260.
27. Edoun, M., et al., *Practica uscării artisanale a fructelor și legumelor în sudul Camerunului*. *Fructe*, 2011. **66**: p. 25-36.
28. A., T.F., *Modelarea transferului de căldură și material în timpul uscării intermitente a fructelor cu conținut ridicat de apă: Aplicarea la mango "Amélie"*. în *Ecole Nationale Supérieure des Sciences Agro-Industrielles (ENSAI)*. 2018, Universitatea din Ngaoundere, Camerun. p. 218.
29. Desmorieux H, *Uscarea în zonele subsahariene: O analiză tehnică bazată pe realități geografice și umane*. , în *Thèse de Doctorat défense à l'INPL*. 1992: Loraine, Franța. p. 234p.
30. Villa-Corrales, L., et al., *Analiza numerică și experimentală a transferului de căldură și umiditate în timpul uscării Ataulfo mango*. *Journal of Food Engineering*, 2010. **98** (2): p. 198-206.
31. J.J., B., *Comerț în industria agricolă și alimentară*. Ediția a 2-a 34p ed. Cahiers du génie Industriel Alimentaire (G.I.A). 1984,.
32. Negi, P.S. și S.K. Roy, *Efectul metodelor de albire și uscare asupra β -caroten, acid ascorbic și retenție de clorofilă a legumelor cu frunze*. *LWT - Food Science and Technology*, 2000. **33**(4): p. 295-298.
33. Tetang Fokone, A., E. Marcel, și K. Alexis, *uscare intermitentă de felii de Mango (Mangifera indica L.) "Amélie": Un nou model*. *American Journal of Food Science and Technology*, 2020. **8**: p. 81-86.
34. M. A. și A. Sree Kumar, *Uscare solară - O modalitate durabilă de prelucrare a alimentelor*. 2015. p. 27-46.
35. Udomkun, P., et al., *Review of solar dryers for agricultural products in Asia and Africa: An innovation landscape approach*. *Journal of Environmental Management*, 2020. **268**: p. 110730.
36. Thamkaew, G., I. Sjöholm și F.G. Galindo, *O revizuire a metodelor de uscare pentru îmbunătățirea calității ierburilor uscate*. *Recenzii critice în știința și nutriția alimentară*, 2021. **61**(11): p. 1763-1786.
37. Stunda-Zujeva, A. și K. Veğere, *Cultivarea și uscarea Spirulina / Arthrospira pentru producerea de alimente și nutraceutice: O revizuire*. *Materiale ingineresti cheie*, 2018. **762**: p. 134-140.
38. Mohana, Y., et al., *Uscătoare solare pentru aplicații alimentare: Concepte, modele și progrese recente*. *Energia solară*, 2020. **208**: p. 321-344.
39. Agbossou, K., et al., *Studiu teoretic și experimental al performanței termice a colectorului de încălzire a aerului cu placă plată*. *International Journal of Science and Technology*, 2016. **5**: p. 473-490.
40. Bennamoun, L., M.T. Afzal și A. Léonard, *Uscarea algei ca sursă de materii prime pentru bioenergie și supliment alimentar – O revizuire*. *Revizuri privind energia din surse regenerabile și durabile*, 2015. **50**: p. 1203-1212.
41. Pirasteh, G., et al., *A review on development of solar drying applications*. *Revizuri privind energia din surse regenerabile și durabile*, 2014. **31**: p. 133-148.

42. Tomar, V., G.N. Tiwari și B. Norton, *Uscătoare solare pentru conservarea alimentelor tropicale: Termofizica culturilor, sistemelor și componentelor*. Energia solară, 2017. **154**: p. 2-13.
43. Yannick, E.R., et al., *Experimental Study of the Drying Kinetics of Mango (mangifera indica L.) during Airflow Drying Licking Countercurrent*. American Journal of Food Science and Technology, 2019. **7**(4): p. 127-132.
44. VijayaVenkataRaman, S., S. Iniyan și R. Goic, *O revizuire a tehnologiilor de uscare solară*. Revizuiți privind energia din surse regenerabile și durabile, 2012. **16**(5): p. 2652-2670.
45. Sharma, A., C.R. Chen și N. Vu Lan, *Sisteme de uscare cu energie solară: O revizuire*. Revizuiți privind energia regenerabilă și durabilă, 2009. **13**(6): p. 1185-1210.
46. Everitt, S.K., *SOLAR FOOD DRYER*. Statele Unite ale Americii de Brevete 4 221 059, 9 septembrie 1980.
47. Ekechukwu, O.V. și B. Norton, *Revizuirea sistemelor de uscare cu energie solară II: o prezentare generală a tehnologiei de uscare solară*. Conversia și gestionarea energiei, 1999. **40**(6): p. 615-655.
48. Augustus Leon, M., S. Kumar și S.C. Bhattacharya, *O procedură cuprinzătoare pentru evaluarea performanței uscătoarelor de alimente solare*. Revizuiți privind energia regenerabilă și durabilă, 2002. **6**(4): p. 367-393.
49. Dolado, P., et al., *An Approach to the Integrated Design of PCM-Air Heat Exchangers Based on Numerical Simulation: A Solar Cooling Case Study*. 2015. **4**(4): p. 796-818.
50. Gunnewiek, L.H., E. Brundrett și K.G.T. Hollands, *Distribuția fluxului în încălzitoarele solare de aer solar cu plăci neglazate de suprafață mare*. Energia solară, 1996. **58** (4): p. 227-237.
51. Gunnewiek, L.H., K.G.T. Hollands și E. Brundrett, *Efectul vântului asupra distribuției debitelor în colectoarele de plăci perforate neglazate*. Energie solară, 2002. **72**(4): p. 317-325.
52. Van Decker, G.W.E., K.G.T. Hollands și A.P. Brunger, *Relații de schimb de căldură pentru colectoare solare neglazate perforate cu găuri circulare pe un teren pătrat sau triunghiular*. Energie solară, 2001. **71**(1): p. 33-45.
53. Gawlik, K.M. și C.F.J.J.S.E.E. Kutscher, *Pierderi de căldură ale vântului din colectoare solare ondulate, perforate*. 2002. **124**(3): p. 256-261.
54. Gawlik, K.M. și C.F. Kutscher, *O investigație numerică și experimentală a încălzitoarelor solare de aer cu conductivitate scăzută, neglazate*. în cadrul Conferinței Internaționale privind Energia Solară. 2002.
55. Manea Hachim, D., Q.A. Abed, și V. Badescu, *Performanța colectoarelor cu dublu pass neglazate perforate cu stocare de energie în materiale de schimbare de fază în zilele cu diferite regimuri radiative*. Tehnologii și evaluări ale energiei durabile, 2021. **46**: p. 101309.
56. Andrei - Stelian, B., et al., *Experimental Investigation of the Performance of a Transpired Solar Collector Acting as a Solar Wall*. 2017.
57. Andrei - Stelian, B., et al., *Model numeric al unui element de fațadă ventilat solară: validare experimentală, parametri finali și rezultate*. E3S Web of Conferences, 2019. **85**: p. 02013.
58. Andrei - Stelian, B., C. Croitoru, și F. Bode, *Studii numerice preliminare efectuate pentru modelul numeric al unui colector solar real perforat cu materiale integrate de schimbare a fazelor*. E3S Web of Conferences, 2019. **111**: p. 03047.
59. Croitoru, C., et al., *Studiu inovator de performanță a pereților solari pentru aplicații de clădiri cu consum redus de energie*. 2014. **1**: p. 307-314.
60. Croitoru, C.V., et al., *Investigație termodinamică asupra unui colector solar inovator*. Energia solară, 2016. **131**: p. 21-29.
61. Wang, Y., A. Shukla și S. Liu, *O revizuire de ultimă oră privind metodologiile pentru transferul de căldură și caracteristicile fluxului de energie ale anvelopărilor active ale clădirii*. Revizuiți privind energia din surse regenerabile și durabile, 2017. **78**: p. 1102-1116.
62. Li, S., et al., *Airflow and thermal analysis of flat and corrugated unglazed transpired solar collectors*. Energia solară, 2013. **91**: p. 297-315.
63. Bake, M., et al., *A systematic review on parametric dependencies of transpired solar collector performance*. 2019. **43**(1): p. 86-112.
64. Sima, C., C. Teodosiu și C. Berville, *MESH INDEPENDENCY STUDY FOR A SOLAR GLAZED TRANSPIRED COLLECTOR*, in *Proceedings Of International Conference Building Services And Energy Efficiency*. 2020, Sciendo. p. 60-68.
65. Poole, M.R., et al., *Performance of a coupled transpired solar collector—phase change material-based thermal energy storage system*. Energie și clădiri, 2018. **161**: p. 72-79.

- 66.Wang, D., et al., *Studiu experimental și numeric al fluxului de aer și caracteristica termică a colectorului solar neuniform perforat*. Simularea clădirilor, 2020.
- 67.Badache, M., et al., *Simulare experimentală și numerică a unui colector de aer solar bidimensional neglazed perforat*. Energia solară, 2013. **93**: p. 209-219.
- 68.Kutscher, C.F., *Eficiența schimbului de căldură și căderea presiunii pentru fluxul de aer prin plăci perforate cu și fără vânt lateral*. 1994.
- 69.Chan, H.-Y., et al., *Thermal Analysis of Flat and Transpired Solar Facades*. Procedia energetică, 2014. **48**: p. 1345-1354.
- 70.Rad, H.M. și M. Ameri, *Energy and exergy study of unglazed transpired collector-2stage*. Energia solară, 2016. **132**: p. 570-586.
- 71.Yannick, E.R., et al., *Experimental Study of the Drying Kinetics of Mango (*Mangifera indica* L.) during Airflow Drying Licking Countercurrent*. American Journal of Food Science and Technology, 2019. **7**(4): p. 127-132.
- 72.Tetang Fokone, A., et al., *Experimental drying kinetics of mango slices (*Mangifera indica* L.) Amelie în condiții intermitente*. 2016. **6**: p. 9.
- 73.Pop, O.G., et al. *Numerical Analysis of PCM Packed Bed Heat Storage Coupled with Transpired Solar Collector*. in *2021 10th International Conference on ENERGY and ENVIRONMENT (CIEM)*. 2021.
- 74.Wei, J., et al., *Studiu privind un sistem de stocare a căldurii PCM pentru alimentarea rapidă cu căldură*. Inginerie termică aplicată, 2005. **25**(17): p. 2903-2920.
- 75.Berville, C., F. Bode și C. Croitoru, *Simulare numerică Investigație a unui colector de aer solar cu piele dublă*. Științe aplicate, 2022. **12** alineatul (1).
- 76.Aftab, W., X. Huang și R. Zou, *capitolul 9 - Aplicarea materialelor carbonului în stocarea energiei termice latente (LHTES), în transportul termic în nanomaterialele pe bază de carbon*, G. Zhang, Editor. 2017, Elsevier. p. 243-265.
- 77.Vasu, A., et al., *Efectul de coroziune al materialelor de schimbare de fază în aplicarea de stocare a energiei termice solare*. Revizuirii privind energia din surse regenerabile și durabile, 2017. **76**: p. 19-33.
- 78.González-Martín, J., et al., *A state-of-the-art review on indoor air pollution and strategies for indoor air pollution control*. Chimiosferă, 2021. **262**: p. 128376.
- 79.Ahmadi, Y., et al., *Progrese recente în îndepărtarea fotocatalitică a agenților patogeni din aer în aer*. Știința mediului total, 2021. **794**: p. 148477.
- 80.Pop, O., et al., *Investigarea numerică a utilizării materialelor de schimbare a fazelor în cascadă în colectoarele solare perforate*. Rapoarte energetice, 2022. **8**: p. 184-193.
- 81.Pop, O.G. și C. Berville. *Modelarea matematică a colectoarelor solare neglazed perforate*. în *2021 a 10-a Conferință internațională privind energia și mediul (CIEM)*. 2021.
- 82.Nwakuba, N., S. Asoegwu și K. Nwaigwe, *Cerințe energetice pentru uscarea produselor agricole feliate: o revizuire*. Agricultural Engineering International : Revista electronică CIGR, 2016. **(18)**.
- 83.Mugî, V.R. și C. V.P., *Compararea cineticii de uscare, a parametrilor termici și de performanță în timpul uscării feliilor de guava în uscătoare solare indirecte cu convecție naturală și forțată*. Energia solară, 2022. **234**: p. 319-329.
- 84.Rabha, D.K., P. Muthukumar și C. Somayaji, *Analize energetice și exergice ale proceselor de uscare solară a ardeiului iute fantomă și a ghimbirului*. Energie regenerabilă, 2017. **105**: p. 764-773.
- 85.Kesavan, S., T.V. Arjunan și S. Vijayan, *Analiza termodinamică a unui uscător solar triplu-pass pentru uscarea feliilor de cartofi*. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 2019. **136**(1): p. 159-171.
- 86.Liu, S., M. Iten și A. Shukla, *Studiu numeric privind performanța unui aer - Unitate PCM multiplă pentru răcire și ventilație gratuită*. Energie și clădiri, 2017. **151**: p. 520-533.