

## CUPRINS

CAP. 1 CONTEXTUL ACTUAL PRIVIND PERFORMANȚA ENERGETICĂ A CLĂDIRILOR	1
1.1 ASPECTE GENERALE	4
1.1.1. Problema eficienței energetice a clădirilor	4
1.1.2. Obiectivele UE și pe plan național	8
1.2. STADIUL ACTUAL AL REALIZĂRILOR ÎN DOMENIU	13
1.2.1 Clădiri cu consum redus de energie	14
1.2.2 Clădiri cu consum de energie zero	15
1.2.3 Clădiri autonome	15
1.2.4 Clădiri cu o balanță pozitivă a consumului de energie	16
1.2.5 Clădiri verzi	16
1.3 PROBLEME ALE PROIECTĂRII HIGROTERMICE A CLĂDIRILOR DE BIROURI	18
1.3.1 Evaluarea termică și energetică	18
1.3.2 Performanța termică și energetică	22
1.3.3 Probleme specifice clădirilor de birouri	22
CAP. 2 ANVELOPA ADAPTABILĂ LA CONDIȚIILE DE MEDIU - STADIUL ACTUAL AL PROBLEMEI	25
2.1 ANVELOPA ADAPTABILĂ – SISTEM DE CONTROL AL MEDIULUI	25
2.1.1 Introducere	25
2.1.2 Factori de mediu	28
2.1.3 Niveluri de adaptare la condițiile mediului exterior	29
2.2 FORMĂ, MATERIALE, TEHNOLOGIE	30
2.2.1 Anvelope adaptabile tradiționale	30
2.2.2 Anvelope cu sisteme de umbrire mobile	32
2.2.3 Anvelope cu izolație termică variabilă	43
2.2.4 Anvelope cu perne de aer ETFE	46
2.2.5 Anvelope cu bioreactoare cu alge	52
2.2.6 Anvelope din materiale inteligente	56
2.3 MOD DE OPERARE	59
2.3.1 Fațade operate manual	59
2.3.2 Fațade operate mecanizat	60
2.3.3 Fațade inteligente	61
2.4 MOBILITATEA ANVELOPELOR ADAPTABILE LA MEDIU	61
2.4.1 Anvelope statice	61
2.4.2 Anvelope dinamice	62
Concluzii	62
CAP. 3 PERFORMANȚA ENERGETICĂ A ANVELOPEI ADAPTABILE LA CONDIȚIILE DE MEDIU	64
3.1 FAȚADE CU SISTEME DE UMBRIRE MOBILE	64
3.1.1 Generalități	64
3.1.2 Determinarea geometriei optime a sistemelor de umbrire	66
3.1.3 Tipuri de sisteme de umbrire	68

3.1.4	Etape de evaluare a sistemelor de umbrire .....	71
3.1.5	Evaluarea eficienței sistemelor de umbrire pentru o clădire de birouri.....	77
3.2	ANVELOPE CU IZOLAȚIE TERMICĂ VARIABILĂ	84
3.2.1	Noțiuni introductive .....	84
3.2.2	Evaluarea eficienței izolației termice adaptabile pentru o clădire de birouri	85
3.3	ANVELOPE CU PERNE DE AER ETFE	87
3.3.1.....	Noțiuni introductive	87
3.3.2	Fluxul de căldură printr-un sistem cu perne ETFE	89
3.3.3	Comportarea materialului la radiația cu lungime mare de undă .....	90
3.3.4	Comportarea pernelor de aer de la nivelul acoperișului.....	91
3.3.5	Optimizarea performanței termice a pernelor de aer ETFE prin imprimare	92
3.4	ANVELOPE CU BIOREACTOARE CU ALGE	93
3.4.1	Noțiuni introductive .....	93
3.4.3	Evaluarea performanței termice pentru prototipul BIQ.....	94
3.4.4	Potențialul și beneficiile implementării bioreactoarelor cu alge .....	95
3.5	ANVELOPE DIN MATERIALE INTELIGENTE	95
3.5.1	Sticla electrocromată .....	95
3.5.2	Sticlă gazocromată .....	97
3.5.3	Sticlă termocromată .....	98
3.5.4	Materiale cu schimbare de fază (MSF)	100
3.6	INTEGRAREA SURSELOR DE ENERGIE REGENERABILĂ	101
3.6.1	Sisteme de umbrire mobile	101
3.6.2	Simulări pentru evaluarea performanței	103
3.6.3	Perne de aer ETFE	106
CAP. 4	STUDIUL EFECTELOR INTEGRĂRII ÎN FAȚADA CLĂDIRILOR A SOLUȚIILOR DE ANVELOPĂ ADAPTABILĂ LA MEDIU	109
4.1	METODOLOGIE DE CALCUL	109
4.1.1	Ipoteze de calcul – Clădirea de birouri studiată	110
4.1.2	Parametri și puncte de plecare – Studii de caz	112
4.1.3	Contribuția programelor de calcul utilizate	115
4.2	PERFORMANȚELE SOLUȚIILOR DE ANVELOPĂ ADAPTABILĂ LA MEDIU	116
4.2.1	Soluții de principiu privind modificările anvelopei	116
4.2.2	Studii de caz	117
4.2.2.1	Anvelopă statică și grad de umbrire = 0	117
4.2.2.2	Sistem de umbrire mobil	123
4.2.2.3	Perne de aer ETFE	136
4.2.2.4	Vitraje din materiale inteligente	142
4.2.2.5	Integrarea unor surse de energie regenerabilă	145
4.3	ANALIZA REZULTATELOR OBȚINUTE PRIN SIMULĂRI	149
4.3.1	Studiu comparativ al performanței energetice	149
4.3.2	Integrarea simultană a mai multor soluții	151
4.3.2.1	Umbrire mobilă cu celule fotovoltaice	151

4.3.2.2 Sisteme de umbrire mobile cu celule fotovoltaice și izolație termică adaptabilă	152
4.3.2.3 Perne de aer ETFE cu celule fotovoltaice	153
4.3.2.4 Perne de aer ETFE cu celule fotovoltaice și izolație termică adaptabilă	155
4.3.2.5 Vitraje din materiale inteligente și elemente opace cu izolație termică adaptabilă	156
Concluzii	157
CAP.5 ANALIZA PERFORMANȚEI ENERGETICE A CLĂDIRII DE BIROURI „CENTRIS”, IAȘI - STUDIU DE CAZ	160
5.1 CARACTERISTICILE CLĂDIRII STUDIATE	160
5.2 DATE INIȚIALE	161
5.3 IPOTEZA 1: INTRODUCEREA UNUI SISTEM DE UMBRIRE MOBIL	163
5.4 IPOTEZA 2: VITRAJ CU PERNE DE AER ETFE	168
5.5 IPOTEZA 3: INTEGRAREA UNOR SURSE DE ENERGIE REGENERABILĂ	172
5.5.1 Umbrire mobilă cu celule fotovoltaice	172
5.5.2 Perne de aer ETFE cu celule fotovoltaice	174
5.5.3 Comparație sisteme de umbrire fixe - sisteme de umbrire mobile	175
5.6 ANALIZA ECONOMICĂ	183
CAP.6 CONCLUZII	185
6.1 CONCLUZII FINALE	186
6.1.1 Componente specifice clădirilor de birouri și impactul lor asupra performanței energetice	186
6.1.2 Anvelopa adaptabilă și iminența atingerii standardului nZEB	186
6.1.3 Caracteristici ale componentelor anvelopei adaptabile	187
6.1.4 Concluzii privind alegerea soluțiilor de anvelopă adaptabilă adecvate unei teme de proiectare	189
6.1.5 Rentabilitatea/durata de recuperare a investiției	192
6.2 CONTRIBUȚII PERSONALE ȘI RECOMANDĂRI	192
6.2.1 Contribuții personale	192
6.2.2 Recomandari pentru acțiuni viitoare	193
BIBLIOGRAFIE	195

## **CAP. 1**

# **CONTEXTUL ACTUAL PRIVIND PERFORMANȚA ENERGETICĂ A CLĂDIRILOR**

## **1.1 ASPECTE GENERALE**

### **1.1.1. Problema eficienței energetice a clădirilor**

#### Consumul de energie la nivel global

În perioada postbelică prețul energiei a înregistrat cele mai scăzute valori din istorie, întrucât exploatarea și utilizarea resurselor de energie a devenit mai puțin laborioasă. Denumită „Era prosperității”, aceasta a fost o perioadă în care s-a înregistrat un progres considerabil care a condus la apogeul celei de a doua Revoluții Industriale, caracterizată prin introducerea pe scară largă a noi resurse de energie (petrol, electricitate) și noi metode de organizare a muncii (lucrul la bandă). Accesul la resurse fosile, precum și introducerea aerului condiționat fac posibilă pentru prima oară asigurarea parametrilor de confort pe toată perioada anului, indiferent de condițiile mediului exterior. Aceste premise au condus la dezvoltarea stilului arhitectural „International Style” care propunea clădiri cu pereți exteriori de tip cortină, vitraji pe suprafețe mari sau chiar pe toată suprafața, sau benzi orizontale lungi de ferestre. Neținându-se cont de tradiții și de contextul climatic, s-au construit o serie de clădiri cu performanțe energetice scăzute care consumau cantități semnificative de resurse neregenerabile.

Criza petrolului declansată în toamna anului 1973 a condus la conștientizarea faptului că resursele planetei sunt epuizabile, evidențiind un sistem industrial rigid, poluant și costisitor. Atingerea parametrilor de confort interior a devenit un obiectiv nefezabil, luând în considerare consumul energetic. Problema eficienței energetice a fost abordată diferit de către organele administrative în funcție de resurse și de regimul politic. În Europa de vest s-au elaborat programe pentru eficientizarea consumului de energie în utilizarea clădirilor, precum și pentru reducerea efectelor defavorabile ale producerii și utilizării energiei asupra mediului înconjurător, în timp ce în fostele țări socialiste criza energetică a fost ignorată o perioadă de timp datorită rezervelor de energie ale URSS și a prețurilor scăzute.

S-au conturat astfel strategii organizaționale, tehnologice, de management sau de marketing pentru rezolvarea problemei, iar tehnologia ca industrie a schimbat radical obișnuințele, arhitecturile teritoriale și cartografiile modernității. Tehnologia s-a remarcat ca artă a administrării resurselor: miniaturizare, înlocuirea materiilor prime clasice și reducerea drastică a consumurilor energetice.

Conceptul de „sustenabilitate” a apărut în anul 1987, definiția dezvoltării durabile fiind dată de Comisia Mondială pentru Mediu și Dezvoltare (înființată în 1983 de către Națiunile Unite) în raportul „Viitorul nostru comun” („Our Common Future”) sau „Raportul Bruntland” [124].

Conceptul de „dezvoltare durabilă” oferă o abordare diferită a clădirii, care este privită ca un organism în continuă evoluție pe parcursul căreia trebuie să răspundă exigențelor utilizatorilor. În contextul creșterii populației și al consumului de resurse naturale,

condițiile de confort corespunzătoare trebuie asigurate cu economie de energie, întrucât sustenabilitatea este strâns legată de eficiența energetică a clădirii, două obiective majore ale dezvoltării durabile fiind economia de resurse primare și reducerea emisiilor poluante în mediul înconjurător. Astfel, dezvoltarea durabilă este un model care promovează un echilibru între creșterea economică, calitatea vieții și conservarea mediului pe termen mediu și lung, fără creșterea consumului de resurse naturale.

Conștientizarea crescândă a impactului dioxidului de carbon și oxizilor de azot asupra mediului a generat tot mai mult interes în crearea unor tehnologii de încălzire și răcire prietenoase cu mediul. S-a dorit așadar reducerea ratei de consum a resurselor energetice mondiale și a poluării mediului. La nivel mondial primele întruniri importante în acest scop au fost: conferința UNO din 1992 de la Rio de Janeiro, Protocolul de la Kyoto din 1997, conferința UNO din 2002 de la Johannesburg, Conferința Națiunilor Unite de la Bali (Indonezia) din decembrie 2007, Conferința Națiunilor Unite de la Copenhaga din decembrie 2009, a 17-a Conferință a părților la Convenția Cadru a Națiunilor Unite asupra Schimbărilor Climatice (UNFCCC) de la Durban (Africa de Sud) din decembrie 2011, Conferința părților la Convenția Cadru a Națiunilor Unite privind schimbările climatice Paris noiembrie-decembrie 2015, Conferința ONU privind schimbările climatice de la Marrakech 2016.

În prezent, cererea de energie este în creștere la nivel mondial. Situația pieței energetice devine tot mai importantă, întrucât prețurile energiei sunt în creștere. Instabilitatea din mai multe țări exportatoare și de tranzit sunt un motiv de îngrijorare, iar utilizarea intensivă a resurselor de energie fosile accelerează schimbările climatice, care reprezintă o problemă globală importantă. În acest sens se estimează că încălzirea globală va depăși 2°C față de nivelurile anterioare procesului de industrializare și chiar 5°C până la sfârșitul secolului, dacă nu se iau măsuri pentru a reduce emisiile de gaze cu efect de seră la nivel mondial.

Se apreciază că în anul 2030 cererea totală de energie va crește cu aproximativ 50% față de anul 2003, iar cea pentru petrol va fi cu aproximativ 46% mai mare. Nivelul actual de consum poate fi susținut din rezervele cunoscute de petrol doar până în anul 2040, iar din cele de gaze naturale până în anul 2070. Rezervele mondiale de ulei pot asigura o perioadă de peste 200 de ani chiar în condițiile creșterii nivelului de exploatare. În plus, se prevede o viitoare creștere economică, ceea ce presupune un consum sporit de resurse energetice.

O extindere a opțiunilor de aprovizionare cu energie este costisitoare și presupune timp îndeungat. Pe de altă parte, creșterea eficienței energetice poate compensa prețurile energiei, reducând dependența de importurile de energie, contracarând conflictele de distribuție a energiei și reducând emisiile de carbon dăunătoare mediului.

Cele trei elemente de bază ale unei politici energetice durabile sunt:

- **securitatea energetică**, care presupune:
  - utilizarea resurselor locale de energie regenerabilă și reducerea importului de resurse energetice;
  - îmbunătățirea performanței rețelelor naționale de transport al energiei electrice și gazelor naturale;
  - protecția infrastructurii critice;
- **durabilitatea**, generată de:
  - creșterea eficienței energetice;
  - promovarea producerii energiei din resurse regenerabile;

- susținerea activităților de cercetare și dezvoltare;
- diseminarea rezultatelor aplicabile ale cercetărilor;
- reducerea efectelor defavorabile ale sectorului energetic asupra mediului înconjurător;
- *competitivitatea*, asigurată prin:
  - evoluția piețelor concurențiale de energie electrică, gaze naturale;
  - liberalizarea transportului de energie;
  - asigurarea accesului permanent, nediscriminatoriu al participanților la piață, la rețelele de transport și interconexiunile internaționale;
  - continuarea restructurării sectorului de lignit în vederea creșterii profitabilității și accesului pe piața de capital.

### Problemele legate de sectorul construcțiilor privind consumul de energie

La nivel global clădirile sunt responsabile pentru aproximativ 40% din consumul energetic anual total. Cea mai mare parte a acestei energii este utilizată pentru iluminat, încălzire, răcire și aer condiționat.

Structurile urbane dense constituie cele mai bune premise pentru eficiență energetică, oferind bazele pentru o utilizare mai eficientă, rațională și confortabilă a spațiului urban și a furnizării serviciilor pentru clădiri. În acest sens se constată o creștere substanțială a consumului de energie în cazul localităților cu densitate mai mică și o scădere de mică amploare a consumului pentru structuri cu densități mai mari, acest beneficiu fiind însă asociat cu diminuarea nivelului de confort urban.

Unul dintre modurile de a reduce consumul de energie al clădirilor este de a proiecta clădiri mai economice în ceea ce privește consumul energetic pentru încălzire, ventilare, iluminat și asigurarea apei calde. Măsurile pasive, în special ventilarea naturală sau hibridă care înlocuiește aerul condiționat, pot reduce semnificativ consumul primar de energie. Mai mult, utilizarea energiilor regenerabile pot contribui în mod semnificativ la reducerea dependenței de combustibili fosili. Așadar promovarea aplicațiilor inovative și consolidarea pieței energiilor regenerabile va contribui la prezervarea ecosistemului prin reducerea emisiilor la nivel local și global. De asemenea, acestea vor contribui la ameliorarea condițiilor de mediu prin înlocuirea combustibililor convenționali cu energiile regenerabile care nu poluează și nu generează gaze de seră.

Obiectivul principal este acela de a atinge un nivel înalt al performanței energetice a clădirii, care poate fi definit prin:

- calitatea mediului interior, condiție de confort pe care ocupanții clădirii o experimentează prin intermediul condițiilor fizice și psihologice ale mediului interior ai cărui parametri fizici principali sunt: viteza aerului, temperatura și umiditatea relativă;
- eficiența energetică, care presupune asigurarea confortului utilizatorilor concomitent cu un consum minim de energie pentru încălzire, ventilare și aer condiționat;
- eficiența costurilor, care presupune echilibrul dintre cheltuielile pentru energie, pe de o parte și nivelul de confort al mediului interior și al productivității ocupanților clădirii, pe de altă parte.

### Eficiență energetică

Clădirile constituie un important consumator de energie și o sursă de poluare a mediului înconjurător, iar continua expansiune a sectorului construcțiilor va conduce în timp la o

majorare a consumului de energie. Eficiența energetică a clădirilor constituie o prioritate, luând în considerare consumurile energetice din acest sector, reprezentând 40 % din consumul total de energie. Acest consum constă în energia necesară pentru încălzirea și răcirea clădirilor, precum și în pierderile de energie din cauza ineficienței energetice a materialelor de construcție, a echipamentelor tehnice folosite, a proiectării ori a executării construcției în sine. Prin urmare, reducerea consumului de energie și utilizarea energiei din resurse regenerabile în sectorul clădirilor constituie măsuri importante și absolut necesare pentru îndeplinirea normelor propuse la nivelul Uniunii Europene.

Ca urmare s-au definit sisteme de evaluare a performanțelor mediului construit în diverse state ale lumii, care propun valori de referință în funcție de care se poate evalua sustenabilitatea în proiectarea, construirea și exploatarea clădirilor. În acest mod se poate contura impactul pe care îl va avea o anumită clădire asupra mediului sau doar anumite aspecte precum eficiența energetică, calitatea mediului construit, abordând aspecte importante precum: dezvoltarea sustenabilă a amplasamentelor, sănătatea oamenilor și a mediului, selecția judicioasă a materialelor de construcție, aspecte sociale și economice.

Eficiența energetică reflectă un consum energetic rațional, prin evitarea consumului inutil de energie sau prin alegerea echipamentului potrivit pentru a reduce costul energiei. Aceasta conduce la un consum energetic individual scăzut fără a compromite confortul.

Eficiența energetică a unei clădiri este influențată de factori interni și externi (factori climatici care depind de amplasament: temperatura aerului, însorirea, viteza vântului, intemperii, umiditatea aerului). Aceștia sunt luați în considerare în cadrul proiectării clădirilor sub forma unor valori medii statistice corepunzătoare unei anumite perioade a anului, valori convenționale, standardizate.

#### Metode pentru reducerea consumului de energie

##### - Minimizarea consumului de energie

Reducerea transferului termic prin anvelopa clădirilor constituie metoda cea mai eficientă pentru scăderea consumului de energie, care presupune creșterea rezistenței termice a elementelor opace și a celor transparente.

În ceea ce privește *componenta opacă* a clădirii trebuie avute în vedere următoarele aspecte:

- evitarea punților termice;
- limitările constructive impuse de diferitele materiale termoizolatoare;
- raportul preț/eficiență;
- durata de viață;
- impactul asupra mediului și al utilizatorilor;
- controlul umidității;
- schimbul de aer dintre mediul interior și exterior.

*Componenta transparentă* a anvelopei conferă mediului interior iluminat natural, ventilare și aport pasiv de căldură, iar pentru eficiența termică pot fi folosite următoarele metode:

- folosirea ferestrelor cu trei sau patru foi de sticlă;
- vidarea spațiului dintre foile de sticlă sau umplerea cu gaze nobile;
- aplicarea unor pelicule low-e;

- includerea termoizolației în tocuri și cercevele.

- Eficientizarea sistemelor de ventilare, încălzire și alimentare cu apă are de asemenea un rol foarte important. Consumul de apă și schimbul de aer cu mediul exterior sunt esențiale, însă constituie o sursă importantă a pierderilor de energie. Recuperarea energiei termice este posibilă prin utilizarea schimbătoarelor de căldură în cadrul sistemelor de ventilare și a celor de evacuare a apelor uzate.

- Generarea de energie din surse regenerabile

Coroborat cu scăderea consumului de energie, un alt obiectiv major al arhitecturii sustenabile este acela de a genera căldură și electricitate exploatănd resurse regenerabile de energie. În funcție de condițiile climatice, restricționările tehnice și cele legate de costuri se pot folosi următoarele sisteme:

- colectoare solare;
- instalații fotovoltaice;
- turbine eoliene;
- pompe de căldură;
- centrale termice cu combustibil biomasă, energie geotermală, hidroenergie, energia valurilor etc.

### 1.1.2 Obiectivele UE și pe plan național

Secolul XXI a adus cu sine mari provocări economice, sociale și de mediu pentru orașe, de la creșterea demografică până la schimbări climatice. Se estimează că până în anul 2050 peste 2/3 din populația lumii va locui în orașe, punând o presiune din ce în ce mai mare asupra problemei resurselor și infrastructurii. Mai mult orașele Europei se confruntă cu provocarea de a atinge țintele de mediu impuse de Uniunea Europeană. Implementarea lor cu succes va depinde de abilitatea orașelor și regiunilor europene de a genera soluții locale pentru problema locală a schimbării climatului.

Potențialul semnificativ de îmbunătățire în sectorul construcțiilor a condus la noi standarde de performanță energetică ale Uniunii Europene pentru clădiri. Acești factori, împreună cu ținta de a reduce cu 20% emisiile de carbon până în anul 2020 și creșterea prețurilor pentru energie conduc la colaborarea dintre autoritățile locale, urbanisti, arhitecți și beneficiari în căutarea unor soluții de a îmbunătăți eficiența clădirilor urbane și de a reduce costul total de întreținere.

În 2008 Agenția Europeană de Mediu a afirmat că peste 80% din emisiile totale ale gazelor de seră din Uniunea Europeană sunt rezultatul producției de energie. Așadar este foarte important ca statele membre să-și revizuiască modul de generare a energiei precum și consumul energetic, luând în considerare reducerea emisiilor în special acolo unde cererea pentru electricitate este crescută. Orașele sustenabile nu vor mai folosi electricitate de la centrale electrice pe bază de carbon, aflate la distanță de oraș, ci se vor baza pe sisteme inteligente, integrate, care vor utiliza în mod eficient energie din diverse surse și vor distribui electricitatea la cele mai înalte standarde de eficiență.

Pe măsură ce orașele și populația urbană cresc, crește și necesarul de apă. Deja în anumite părți ale lumii, necesarul de apă depășește posibilitățile de aprovizionare. Se estimează că în anul 2030 jumătate din populația lumii va experimenta deficite importante de apă. În Europa producerea de energie, irigațiile, industria și



aprovizionarea publică reprezintă factorii cheie din spatele acestei creșteri a necesarului de apă. Mai mult, infrastructura învechită conduce la pierderi importante de apă (în anumite regiuni până la 40%) și multe orașe nu profită de cea mai mare resursă a lor: apele uzate. În acest sens trebuie găsite soluții care să reducă consumul de apă potabilă precum și cantitatea apelor uzate.

În momentul de față Europa depinde de importul de energie pentru 50% din consumul său curent, o cifră care poate ajunge la 70% până în anul 2030. Se tinde către o mai bună controlare a cererii energetice, având în vedere estimarea epuizării resurselor de energie tradiționale, precum și insuficiența dezvoltării resurselor de energie regenerabilă.

De asemenea, măsurile de abordare a schimbărilor climatice și de reducere a emisiilor de gaze cu efect de seră reprezintă o prioritate pentru UE. De aceea se dorește transformarea Europei într-o economie foarte eficientă din punct de vedere energetic, cu emisii reduse de dioxid de carbon, stabilindu-se obiectivul de a reduce cu 80%-95% emisiile de gaze cu efect de seră (GES) până în 2050 față de nivelurile din 1990.

Primul pachet de măsuri al UE privind schimbările climatice și energia a fost adoptat în 2008 și a stabilit obiective pentru 2020, înregistrându-se progrese semnificative în direcția realizării lor.

**Carta Europei** definește prin pachetul „Energie – Schimbări Climatice” o serie de obiective pentru Uniunea Europeană pentru anul 2020, „obiectivele 20-20-20”:

- reducerea a emisiilor de GES la nivelul UE cu cel puțin 20% față de nivelul anului 1990;
- creșterea cu 20% a ponderii resurselor de energie regenerabilă (SRE) în totalul consumului energetic al UE, precum și un obiectiv de 10% biocarburanți în consumul de energie pentru transporturi;
- reducerea cu 20% a consumului de energie primară, realizat prin îmbunătățirea eficienței energetice, față de nivelul la care ar fi ajuns consumul în lipsa acestor măsuri.

Uniunea Europeană cu cele 27 de state membre sunt semnatare ale Convenției-cadru a Națiunilor Unite asupra schimbărilor climatice (CCONUSC) și ale Protocolului de la Kyoto, precum și ale acordului global de la Paris privind schimbările climatice.

**Protocolul de la Kyoto** de la Convenția-cadru a Organizației Națiunilor Unite privind schimbările climatice (UNFCCC) susține:

- creșterea ratei de utilizare a energiei din resurse regenerabile;
- menținerea creșterii temperaturii globale sub 2°C;
- reducerea, până în anul 2020, a emisiile globale de gaze cu efect de seră cu cel puțin 20 % sub nivelurile din 1990 și cu 30 % în eventualitatea încheierii unui acord internațional.

**Acordul de la Paris** de la Conferința de la Paris privind schimbările climatice (noiembrie - decembrie 2015) a intrat în vigoare la data de 4 noiembrie 2016 și propune un plan de acțiune pentru limitarea încălzirii globale începând cu anul 2020:

- menținerea creșterii temperaturii medii la nivel mondial mult sub 2°C peste nivelurile preindustriale și continuarea eforturilor de a o limita la 1,5°C;

- planuri de acțiune naționale care susțin reducerea emisiilor gazelor cu efect de seră;
- comunicarea la fiecare 5 ani a contribuțiilor în vederea stabilirii unor obiective mai ambițioase;
- informarea reciprocă și a publicului cu privire la rezultatul eforturilor de realizare a obiectivelor pe care și le-au propus țările semnatare;
- continuarea finanțării proiectelor pentru combaterea schimbărilor climatice și a țărilor în curs de dezvoltare pentru reducerea emisiilor, dar și pentru consolidarea capacității de rezistență la efectele schimbărilor climatice

În prezent țările membre ale Uniunii Europene utilizează diferite metode de evaluare a performanțelor energetice ale clădirilor care se regăsesc în norme și reglementări naționale. Actele normative iau în considerare amplasarea în diversele zone climatice ale Europei și alcătuirea elementelor de construcție. Pentru a crea un mod unic de abordare a consumurilor energetice în acest sector și pentru a putea compara performanțele clădirilor, au fost elaborate mai multe standarde CEN. Metodologia comună de calcul trebuie să includă toate aspectele care determină eficiența energetică și nu doar calitatea izolării clădirii; trebuie să țină cont de aspectele legate de sistemele tehnice ale clădirii (instalații de încălzire și producere a apei calde, climatizare, electrice), de orientarea clădirii, recuperarea căldurii etc.

Cerințele minime de performanță energetică pentru clădiri și elementele acestora vor fi stabilite pentru fiecare stat membru, astfel încât să fie atinse niveluri optime ale costurilor. La nivel național, aceste cerințe nu trebuie să fie mai mici cu mai mult de 15 % față de nivelul de referință la nivel național stabilit în urma calculelor nivelurilor optime din punctul de vedere al costurilor, care trebuie să se încadreze în intervalul nivelurilor de performanță pentru care analiza cost-beneficiu a ciclului de viață este pozitivă. Acest obiectiv poate genera obstacole în proiectarea clădirii sau alegerea opțiunilor tehnice, dar în același timp stimulează implementarea unor produse cu performanțe energetice mai bune.

După anul 2019 clădirile noi ocupate și deținute de autoritățile publice trebuie să îndeplinească cerința de clădire cu consum de energie aproape egal cu zero, iar după anul 2020 toate clădirile nou construite trebuie să respecte această cerință. Conform legislației Uniunii Europene, sectorul public trebuie să devină un exemplu de utilizare eficientă a energiei și a utilizării surselor regenerabile de energie, aplicând cele mai noi soluții de modernizare și re tehnologizare. Creșterea numărului de clădiri cu consum de energie egal cu zero este încurajată prin crearea unor planuri naționale, care să implice:

- aplicarea practică a definiției clădirilor cu consum de energie aproape egal cu zero de către statul membru;
- obiective intermediare legate de optimizarea performanței energetice a clădirilor nou construite, până în anul 2015;
- adoptarea și promovarea unor politici și măsuri financiare pentru a stimula îmbunătățirea performanței energetice a clădirilor.
- instituirea un sistem de certificare a performanței energetice a clădirilor, care include și informații referitoare la consumul de energie și recomandări pentru optimizarea costurilor;

- afișarea indicatorului de performanță energetică din certificatul de performanță energetică în toate anunțurile din mijloacele de comunicare în masă, în cazul vânzării sau închirierii unei clădiri sau a unei unități de clădire;
- prezentarea certificatului de performanță energetică potențialului cumpărător sau locatar și înmânarea sa cumpărătorului sau locatarului, în momentul construirii, vânzării sau închirierii unei clădiri sau a unei unități de clădire;
- afișarea certificatului de performanță energetică într-un loc vizibil publicului, pentru clădirile cu o suprafață utilă totală care depășește 500 m<sup>2</sup> și sunt ocupate de o autoritate publică și pentru clădirile cu o suprafață utilă totală care depășește 500 m<sup>2</sup> și sunt vizitate frecvent de public.

Pentru perioada 2020-2030, UE aprobă cadrul de politici privind clima și energia pentru 2030, stabilind obiectivele principale și măsurile pentru continuarea acestor politici la sfârșitul actualului cadru pentru 2020:

- reducerea emisiei de gaze cu efect de seră cu cel puțin 40 % până în 2030, comparativ cu 1990;
- un consum de energie din surse regenerabile de cel puțin 27 % în 2030;
- îmbunătățirea eficienței energetice cu cel puțin 27 % în 2030;
- interconexiunea energiei electrice de 10 %, nu mai târziu de 2020, în special pentru statele baltice și Peninsula Iberică, și atingerea nivelului de 15 % până în 2030.

#### România – situația actuală

În România, evoluția consumului de energie a fost influențată de restructurarea economiei. Astfel, după atingerea valorii maxime în 1996, consumul de energie s-a stabilizat în perioada 2001-2008 și a scăzut în perioada 2009-2010 din cauza crizei economice. Gazele naturale au cea mai mare pondere în consumul de energie primară, dar această pondere este în scădere (de la 38% în 1996 la 31% în 2010). De asemenea s-a înregistrat o scădere a consumului de produse de petrol. Energia regenerabilă (nucleară, hidroenergia, eoliană, solară, etc.) a crescut vizibil și această tendință va continua în viitor.

Industria a reprezentat cel mai mare consumator de energie la nivel național. În timpul perioadei economiei centralizate, dezvoltarea economiei s-a bazat pe dezvoltarea marilor ramuri industriale consumatoare de energie. Restructurarea a condus însă la o scădere importantă a ponderii industriei în cadrul economiei naționale și a consumului de energie.

În perioada 2000-2010 în România s-a înregistrat o evoluție mai bună decât media Uniunii Europene (cu 10%), indicatorul de eficiență energetică (ODEX) scăzând cu 20% la nivelul întregii economii din România, îmbunătățire la care a contribuit sectorul casnic și cel industrial. În acest sens, în sectorul industrial s-a înregistrat o creștere a eficienței energetice cu 24%. În sectorul casnic evoluția consumului de energie a fost influențată de:

- inițierea politicilor și a măsurilor tehnice de creștere a eficienței energetice (ex: etichetarea receptoarelor electrocasnice, izolarea termică a locuințelor);
- creșterea confortului populației (introducerea aerului condiționat, creșterea dotării cu aparatură electrocasnică).

Față de anul 2000, indicele global de eficiență energetică a anului 2010 s-a îmbunătățit cu 30%.

În urma adoptării Legii nr. 329/2009 privind restructurarea unor autorități și instituții publice, Departamentul de Reglementare din domeniul Eficienței Energetice din cadrul ANRE (Autoritatea Națională de Reglementare în domeniul Energiei) devine în anul 2010 principala instituție de la nivel național responsabilă de implementarea și monitorizarea politicilor din domeniul eficienței economice. Acesta se implică în dezvoltarea politicilor din domeniul eficienței economice și promovarea surselor regenerabile de energie (SRE).

În anul 2011, a fost întocmit cel de-al doilea Plan Național de Acțiune în domeniul Eficienței Energetice, în conformitate cu prevederile Directivei nr. 2006/32/EC prin care s-a impus scăderea consumului final de energie până în 2016, cu o rată medie anuală de 1,5% între 2008 și 2016.

„Casa Verde” este un program prin care sistemele tradiționale de încălzire sunt înlocuite cu sisteme care utilizează energia solară, geotermală și energia vântului sau alte sisteme care îmbunătățesc calitatea aerului, apei sau solului. Scopul acestui program este îmbunătățirea calității aerului prin reducerea poluării apei și a solului produsă prin arderea combustibilului lemnos și fosil utilizat în producerea energiei termice folosite pentru obținerea apei calde și căldurii. Beneficiarii acestui fond sunt sectorul rezidențial, unități administrativ teritoriale și instituții publice.

În domeniul energiei, Parlamentul României a adoptat Legea nr. 199/2000 privind eficiența energetică, care are scopul de a crea cadrul necesar elaborării și aplicării unei politici naționale de utilizare a energiei în conformitate cu prevederile Cartei Energiei și a Protocolului Cartei Energiei, precum și aspectele legate de mediu și de principiile care stau la baza dezvoltării durabile.

În baza Legii nr. 372/2005 s-a elaborat Metodologia de calcul a performanței energetice a clădirilor Mc001/1, 2, 3-2006, Mc 001/4-2009 [119], intrată în vigoare la începutul anului 2007.

Activitatea de proiectare termică și energetică este reglementată astfel:

- Partea I – Anvelopa clădirii;
- Partea a II-a – Performanța energetică a instalațiilor din clădiri;
- Partea a III-a – Auditul și certificatul de performanță a clădirii;
- Partea a IV-a – Breviar de calcul al performanței energetice a clădirilor și apartamentelor.

La baza Metodologiei Mc 001-2006 stau Euronormele ISO specifice domeniului, adoptate și în România, la care se adaugă reglementări tehnice cu specific național.

Metodologia Mc 001-2006 este prima reglementare tehnică care se adresează deopotrivă arhitecților, inginerilor constructori și inginerilor de instalații. Reglementarea subliniază necesitatea colaborării dintre cele trei specializări în scopul obținerii unor clădiri eficiente din punct de vedere funcțional și energetic. Metodologia evidențiază rolul concepției constructiv-arhitecturale în general și în detaliu, asupra performanței clădirilor sub aspect tehnic, al ventilării naturale, al însoririi și iluminatului natural. De asemenea, se fac referiri și propune soluții cu efecte concrete valorice relativ la:

- echilibrarea heliotermică prin conformare volumetrică, orientarea cardinală, mărimea și orientarea golurilor din fațade, selectarea tipurilor de geamuri, sisteme de umbrire etc.;

- optimizarea izolării termice în vederea reducerii consumului de energie necesară încălzirii sau răcirii spațiilor interioare;
- utilizarea cantității de masă termică a anvelopei clădirii în corelație cu regimul de încălzire sau climatizare;
- asigurarea integrității anvelopei clădirii pentru a se obține confortul interior și a se preveni condensul superficial și structural;
- utilizarea procesului natural de evaporare a apei în răcirea adiabatică a anvelopei clădirii;
- stocajul termic în masa construcției;
- utilizarea turnurilor termice pentru asigurarea ventilării și a stocajului termic;
- tehnici de umbrire;
- strategia de iluminat natural și factorii care o influențează (raportul arie fereastra/arie pardoseală în funcție de destinația încăperilor, efectele reflexiei etc.);
- distribuția luminii controlată prin reglementări stabilite de planul urbanistic (regimul de înălțime și distanța dintre clădiri), finisajul suprafețelor interioare, tehnologii noi de captare și introducere a luminii naturale în zonele întunecate ale clădirilor.

Metodologia prezintă o clasificare explicită a clădirilor din punct de vedere al regimului de utilizare și de funcționare a instalațiilor de încălzire. Pe baza acestei clasificări sunt stabilite criteriile de performanță termotehnice și energetice ale clădirilor.

## 1.2. STADIUL ACTUAL AL REALIZĂRILOR ÎN DOMENIU

În urma crizei energetice din anii 1970, mai multe țări europene au emis legislații speciale, legate și de termoizolația clădirilor. Germania este una dintre țările în care această direcție a avut cea mai mare amploare, plecând inițial de la ideea de a limita consumul de energie termică la o valoare maximă de 180 kWh/m<sup>2</sup>an (suprafața locuibilă), ca mai apoi aceasta să fie redusă la 100 kWh/m<sup>2</sup>an în anul 1995. Politica adoptată a fost schimbată, accentul fiind mutat de la reducerea pierderilor de căldură prin termoizolație la economisirea de energie, luând în considerare nu doar căldura, ci și costurile de funcționare ale sistemului de încălzire sau climatizare. S-au elaborat astfel standarde pentru „clădirile cu energie redusă”, care existau în varianta pilot încă de la sfârșitul anilor 1970 în Suedia, Danemarca și Germania.

În funcție de încadrarea în aceste standarde, clădirile pot fi clasificate în următoarele categorii:

- clădiri cu consum redus de energie;
- clădiri cu consum de energie (aproape) zero;
- clădiri autonome;
- clădiri cu o balanță pozitivă a consumului de energie;
- clădiri verzi.

Pentru proiectarea clădirilor eficiente energetic trebuie avute în vedere:

- *Aspecte ale proiectării pasive:*
  - poziționarea clădirii pe teren în vederea exploatării optime a radiației solare, a curenților de aer dominanți, a vegetației existente etc.;

- dispunerea planimetrică a încăperilor pentru a se crea o zonare funcțională adaptată nevoilor de încălzire și lumină;
- utilizarea elementelor de construcție cu masa termică ridicată (Trombe Wall), favorizarea răcirii pasive, realizarea controlului solar;
- preîncălzirea aerului prin proiectarea de atriumuri, fațade duble și sere solare;
- favorizarea iluminării și ventilării naturale, ventilare cu recuperare de căldură.
- *Utilizarea surselor de energie regenerabile:*
  - realizarea de parcuri eoliene care să furnizeze energie pe plan zonal;
  - utilizarea panourilor fotovoltaice incluse în anvelopa clădirilor;
  - utilizarea panourilor solare de înaltă performanță pentru prepararea a.c.m.;
  - utilizarea pompelor de căldură – geotermale, aer-apă, aer-aer – pentru încălzirea spațiilor;
  - utilizarea biomasei ca sursă de energie pentru încălzire, economisind lemnul.

Scopul *proiectării pasive* este de a integra încă din etapa de concepere a unei clădiri acele elemente care să creeze premisele pentru un consum cât mai scăzut de energie. Aceasta presupune o analiză amănunțită a contextului climatic, geografic și urbanistic pentru a putea răspunde tuturor nevoilor utilizatorilor unei clădiri pe fondul unei cât mai bune adaptări la particularitățile unui amplasament. Utilizarea cu succes a principiilor proiectării pasive presupune integrarea soluțiilor specifice într-un mod firesc, fără a concura cu criteriile de performanță de natură estetică și funcțională avute în vedere de utilizatori.

Progresul înregistrat în *utilizarea surselor regenerabile de energie* stimulează permanent crearea de noi tehnologii energetice. Conferind avantaje ecologice, sursele regenerabile de energie nu sunt luate în calculul consumului anual de energie primară convențională, ceea ce permite ca în limita stabilită de standarde să fie incluși noi consumatori energetici (de exemplu, sistemele de climatizare). Prin folosirea surselor regenerabile de energie, cum este energia solară, poate fi asigurată prepararea apei calde menajere, cel mai mare consumator de energie într-o clădire cu consum redus de energie. De asemenea, o altă sursă de energie regenerabilă, cea a solului, poate servi și la preîncălzirea aerului proaspăt introdus în locuință.

### 1.2.1 Clădiri cu consum redus de energie

O clădire cu consum redus de energie („low energy building”) este aceea care, prin proiectare, tehnologii înglobate și materialele folosite, are un consum global de energie sensibil mai mic decât o clădire convențională. În Germania, consumul de energie al clădirilor considerate eficiente energetic trebuie să se încadreze sub 50 kWh/m<sup>2</sup>/an, iar în Elveția sub 42 kWh/m<sup>2</sup>/an.

Pe parcursul ultimelor decenii standardele au evoluat, astfel încât în Europa, termenul se referă în general la clădiri rezidențiale care au un consum global de energie cuprins între 30 kWh/m<sup>2</sup>/an și 20 kWh/m<sup>2</sup>/an. Încadrarea consumului de energie sub valoarea de 15 kWh/m<sup>2</sup>/a conduce la înscrierea clădirilor în categoria „Ultra-low-energy standard”, un concept formulat pentru prima dată în Germania și preluat de tot mai multe state Europene.

O clădire cu consum redus de energie este orice clădire care utilizează mai puțină energie decât o clădire oarecare, dar mai multă decât una pasivă. Performanța

energetică a unei clădiri cu consum redus de energie ajunge la aproape jumătate față de cerințele minime. Standardele naționale diferă considerabil de la țară la țară, o clădire cu consum redus de energie neputând fi definită la nivel global. Astfel, în Germania „casa cu consum scăzut de energie” presupune un consum maxim de 50 kWh/m<sup>2</sup>an pentru spațiul încălzit.

### **1.2.2 Clădiri cu consum de energie zero**

Pentru asigurarea necesarului de energie, o clădire cu consum de energie zero („Nearly Zero Energy Building” - nZEB) se bazează pe surse nepoluante, regenerabile, disponibile local sau în apropiere și cu un cost redus, care pot să producă o cantitate de energie egală cu cea pe care o consumă.

Prin revizuirea Directivei privind Performanța Energetică a Clădirilor (EPBD) toate clădirile publice trebuie să respecte cerința de „clădire cu consum de energie aproape zero” (nZEB) începând cu anul 2019, urmând ca din anul 2021 această cerință să fie obligatorie pentru toate clădirile nou construite. Definiția dată de directivă este următoarea: „O clădire cu consum de energie aproape zero este o [...] clădire cu o performanță energetică ridicată [...], iar acest necesar de energie redus sau aproape egal cu zero ar trebui să fie acoperit în mare măsură din surse regenerabile, inclusiv energie produsă la fața locului sau în apropiere” [3].

Directiva nu stabilește o metodologie uniformă pentru implementarea clădirilor cu consum de energie aproape zero (nZEB), lăsând la latitudinea fiecărui stat membru al Uniunii Europene modul propriu de respectare a acestei cerințe. În acest sens, statele membre ale UE formulează planuri naționale specifice pentru sprijinirea obiectivelor legate de nZEB, care trebuie să ia în considerare contextul național, regional sau local. Implementarea cerinței nZEB presupune măsuri și definiții practice și aplicabile. În anul 2013 statele membre au prezentat Comisiei Europene definițiile și foile de parcurs pentru sprijinirea transpunerea conceptului de nZEB în Planurile Naționale de Acțiune privind Eficiența Energetică, numărul de politici și măsuri raportate fiind în creștere.

### **1.2.3 Clădiri autonome**

Clădirile autonome se bazează pe o funcționare independentă a infrastructurii edilitare, fiind deconectate de la rețelele publice de electricitate, gaz, alimentare cu apă, canalizare și uneori chiar drumuri publice. Impactul asupra mediului înconjurător este astfel minim, asigurând totodată costuri de întreținere foarte mici și capacitatea de a asigura confort și siguranță în cazuri de forță majoră: dezastre naturale sau conflicte militare.

Complet independentă de sursele externe de energie, acest tip de clădire folosește pentru producerea și înmagazinarea electricității și căldurii micro-centrale energetice sau sisteme solare active amplasate în interiorul locuinței sau adiacente acesteia. Încălzirea este pasivă, o mare parte din căldura pentru încălzire fiind generată de surse interne, cum sunt emisiile de căldură ale corpului uman și dispozitivelor din interiorul locuinței, dar și de aportul solar prin suprafața vitrată. Căldura provenită din mediul exterior poate fi redusă prin mecanisme de răcire pasivă (umbirea clădirii, izolarea pereților). De asemenea, prin ventilare naturală se poate îndepărta căldura nedorită.

#### 1.2.4 Clădiri cu o balanță pozitivă a consumului de energie

Aceste clădiri au un aport de energie din surse regenerabile mai mare decât consumul de energie pe parcursul unui an, ceea ce presupune îmbinarea dintre microregenerare și elemente de proiectare pasivă. La baza proiectării clădirilor cu o balanță pozitivă a consumului de energie stau mai multe principii, între care: încălzirea solară pasivă și scăderea necesarului de energie pentru iluminatul artificial în timpul zilei prin amplasarea unor suprafețe vitrate (cu  $U_{max}=0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) de mari dimensiuni pe latura sudică; utilizarea elementelor cu masa termică ridicată pentru stocarea de căldură; utilizarea izolației termice eficiente pentru diminuarea pierderilor de căldură.

#### 1.2.5 Clădiri verzi

Clădirile verzi se bazează pe un concept și o exploatare care respectă mediul înconjurător și folosește rațional resursele pe parcursul întregii durate de viață, începând cu alegerea amplasamentului și continuând cu proiectarea, construirea, utilizarea și întreținerea, până la renovare și demolare. Aceste criterii de performanță vin în completarea celor considerate tradiționale: funcționalitate, durabilitate și confort.

##### Casa pasivă

**Casa pasivă face parte din categoria clădirilor eficiente energetic. Denumirea sa indică faptul că, datorită modului de construire, confortul termic al locuinței este foarte puțin influențat de modificările parametrilor de climă și meteorologici. În general pentru păstrarea unei temperaturi interioare confortabile pe întreaga perioadă a sezonului rece este suficientă radiația solară incidentă pe suprafața exterioară a clădirii, care pătrunde în mediul interior prin diferite mecanisme de transfer, la care se adaugă energia generată de ocupanți și cea generată prin funcționarea aparaturii electrice sau de altă natură.**

Pentru a fi catalogată drept „casă pasivă” de către PassivHaus Institut din Darmstadt, necesarul de energie termică destinată încălzirii spațiului locuit al unei clădiri nu trebuie să depășească  $15 \text{ kWh/m}^2\text{an}$  (echivalent al arderii a mai puțin de  $1,5 \text{ l}$  de benzină/ $\text{m}^2\text{an}$ ). Necesarul de energie pentru o casă pasivă este de aproximativ zece ori mai mic decât în cazul unei locuințe care respectă standardul german din anul 1995 legat de izolația termică a clădirilor.

O altă caracteristică a casei pasive se referă la consumul total de energie din surse convenționale care provine, direct sau indirect, din combustibili fosili (care include energia necesară pentru încălzirea locuinței, prepararea apei calde, iluminat, punerea în funcțiune a aparatelor electrice) și nu trebuie să depășească  $120 \text{ kWh/m}^2\text{an}$ . Consumul de energie pentru încălzire al primei case pasive din Germania (Wiesbaden, 1992) s-a încadrat sub  $13 \text{ kWh/m}^2\text{an}$ .

Principalele cercetări privind **casele pasive** au loc la **Passivhaus Institut din Darmstadt** (Germania), rezultatul cercetărilor desfășurate până în prezent definind principiile casei pasive.

##### Principiile clădirilor eficiente energetic

Ca principii de bază pot fi menționate următoarele:

- *izolare termică și volum compact*



Acest principiu conduce la reducerea pierderilor de căldură către mediul exterior.

- Stratul de izolație termică a pereților depinde de condițiile climatice ale amplasamentului clădirii și materialele izolatoare utilizate.

- Elementele constitutive ale anvelopantei clădirii sunt caracterizate prin valori ale coeficientului de transfer termic convectiv mai mici de  $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

- De regulă ferestrele utilizate au trei rânduri de geamuri cu emisivitate redusă, iar punțile termice în pereți și tâmplăria ferestrelor sunt reduse la minimum. Valoarea coeficientului de transfer termic convectiv al ferestrelor este mai mică de  $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ , deși transmitanța solară a geamului este mai mare de 50%.

- *o bună orientare a clădirii*

Orientarea clădirii trebuie să ia în considerare traiectoria aparentă a soarelui și alte aspecte legate de microclimat. Clădirile dispun de vitraje semnificative orientate spre sud, astfel încât radiația solară să fie utilizată judicios: supraîncălzirea este evitată pe timpul verii, iar pătrunderea razelor solare în încăperi este permisă pe timpul iernii. În partea nordică a clădirii ferestrele de dimensiuni reduse asigură iluminatul natural al încăperilor cu funcțiuni secundare dispuse în această zonă a locuinței (de exemplu bucătăria, anexele sau vestibulul).

- *etanșeitate*

Etanșeitatea clădirii poate fi asigurată prin utilizarea în timpul construirii a unor spume poliuretanică sau de alta natură. Pierderile de aer prin fisuri și interstiții pot fi reduse la valori mai mici de jumătate din volumul încăperii pentru o suprapresiune a aerului interior de 50 Pa. De asemenea, este necesar un sistem integrat de ventilație care furnizează aerul necesar respirației.

- *recuperarea căldurii*

Aerul viciat preluat din bucătărie și baie dispune de o energie termică recuperată parțial prin recuperatoarele de căldură care îl vor transfera aerului proaspăt introdus în clădire, entalpia aerului viciat eliminat putând fi recuperată până la 90%.

Caracteristicile clădirilor eficiente energetic:

- *Confort termic*

Pereții bine izolați termic, lipsa radiatoarelor termice, precum și izolația termică ridicată a ferestrelor conduce la o diferență de temperatură redusă dintre pereții încăperilor, condiționând confortul termic.

- *Sistem integrat de ventilație*

Calitatea aerului interior este asigurată printr-un sistem mecanic performant de încălzire, ventilație și condiționare a aerului. Din punct de vedere energetic, recircularea aerului este de evitat, dar cu toate acestea în clădire trebuie introdusă o cantitate de aer din exterior pentru respirația optimă a ocupanților. Mai mult, sistemul de ventilație poate deveni o sursă de încălzire suplimentară a aerului prin dispunerea unor încălzitoare în circuit.

- *Soluții energetice pentru „casele pasive”*

Sarcina termică a unei clădiri este de aproximativ  $100 \text{ kW/m}^2$  pentru suprafața locuibilă, dar dacă poate fi redusă la mai puțin de  $10 \text{ kW/m}^2$ , atunci căldura necesară poate fi generată exclusiv de sistemul de ventilație. Astfel, principiul de la baza ideii de „casă pasivă” constă în reducerea pierderilor de căldură până la nivelul la care un sistem separat de încălzire nu mai este necesar.

- Avantaje financiare pe termen mediu și lung  
Investiția pe care o implică construirea unei case pasive este doar cu 5 – 25 % mai mare decât în cazul unei construcții convenționale.

### 1.3 PROBLEME ALE PROIECTĂRII HIGROTHERMICE A CLĂDIRILOR DE BIROURI

#### 1.3.1 Evaluarea termică și energetică

Expertiza termică și energetică a clădirilor este reglementată prin Metodologia Mc 001/3-2006, în curs de revizuire, care prezintă modul de calcul al principalelor caracteristici termice și energetice ale clădirii și ale instalațiilor aferente preparării apei calde de consum, iluminatului, ventilării și climatizării acesteia. Expertiza termică urmărește determinarea funcțiilor de transfer caracteristice clădirii prin crearea unei simulări a comportamentului acesteia în contextul condițiilor reale de exploatare. Expertiza energetică are ca scop determinarea eficienței energetice a clădirii și a sistemelor tehnice aferente.

- Performanța energetică a unei clădiri se exprimă prin unul sau mai mulți indicatori numerici care se calculează luându-se în considerare mai mulți factori externi și interni:
  - izolația termică;
  - caracteristicile tehnice ale clădirii și instalațiilor;
  - amplasarea clădirii și proiectarea în raport cu factorii climatici exteriori;
  - expunerea la soare și influența clădirilor învecinate;
  - sursele proprii de producere a energiei;
  - climatul interior al clădirii, care influențează necesarul de energie [122].
- Exigențele de performanță specifice proiectării higrotermice a clădirilor sunt:
  - confortul termic;
  - calitatea aerului;
  - consumul de energie necesar încălzirii clădirilor;
  - durabilitatea asigurată prin limitarea condensului structural;
  - reducerea poluării mediului, prin reducerea consumului de energie pentru exploatarea clădirilor.
- Mijloacele prin care se satisfac aceste exigențe sunt materializate în proiectarea higrotermică prin:
  - conformare volumetrică;
  - protecție termică;
  - sisteme performante de producere și de distribuție a energiei termice;
  - valorificarea aperturilor gratuite de energie.
- Calculul energetic presupune determinarea următorilor parametri termodinamici:
  - valorile orare ale temperaturilor interioare în spațiile ocupate în lipsa funcționării sistemelor de asigurare a confortului termic (temperatura medie volumică a aerului  $\vartheta_a(t)$ , temperatura interioară rezultantă  $\vartheta_i(t)$ , temperatura medie a

elementelor interioare de construcție  $\vartheta_p(t)$ , temperatura medie radiantă a spațiilor  $\vartheta_R(t)$ ;

- intervalul de variație admisibil pentru valorile temperaturii aerului interior:

$$\vartheta_{a.min}, \vartheta_{a.max};$$

- rata de ventilare minimă în funcție de specificul activității clădirii și de limitele admise ale umidității aerului interior și a concentrației de CO<sub>2</sub>;
  - necesarul orar de încălzire și răcire în funcție de tipul de ventilare a clădirii. Ventilarea naturală este controlată prin gradul de deschidere a vitrajelor mobile, astfel încât temperatura interioară să nu scadă semnificativ sub cea minim admisă. De asemenea, se stabilește umbrirea totală sau parțială a suprafețelor vitrate, pentru a evita creșterea temperaturii interioare mult peste cea maxim admisă și astfel supraîncălzirea clădirii;
  - randamentul instalațiilor de încălzire și răcire;
  - consumul de energie pentru încălzirea și răcirea spațiilor;
  - consumul de energie pentru producerea apei calde;
  - consumul de energie electrică pentru iluminat;
  - consumul de energie aferent aparaturii electrice;
  - energia primară aferentă furnizării utilităților termice și electrice prin utilizarea coeficienților de conversie adecvați sistemelor de asigurare a utilităților.
- Verificarea criteriului de satisfacere a exigenței de performanță termoenergetică globală a unei clădiri, sau a unei părți de clădire, se face pe baza relației:

$$G1 \leq G1_{ref} [W/(m^3K)] \quad (1.1)$$

unde G1 este coeficientul global de izolare termică, un indicator convențional al nivelului de performanță termoenergetică al unei clădiri în ansamblul ei, sau al unei părți de clădire distinctă din punct de vedere funcțional. El reprezintă pierderile orare de căldură prin elementele de închidere, pentru o diferență de temperatură de un grad între interior și exterior, raportate la volumul încălzit al acesteia [124]. Prin compararea cu coeficientului global de referință G1<sub>ref</sub> se stabilesc performanțele termoenergetice ale clădirii care trebuie asigurate prin proiectare și execuție și menținute pe toată durata de viață a clădirii.

De asemenea trebuie avute în vedere și celelalte criterii de performanță privind confortul interior din punct de vedere termotehnic și transferul de căldură și masă prin elementele de închidere. De asemenea, permeabilitatea la aer a elementelor de închidere ale unei clădiri nu trebuie să permită ratei de ventilare suplimentare să depășească 0,2 schimburi pe oră în perioada de încălzire.

- Fluxul de căldură, aer și umiditate prin anvelopă

Elementele de închidere care constituie anvelopa au un rol decisiv în realizarea confortului, prin proprietăților lor - caracteristici geometrice și termofizice (conductivitatea termică, permeabilitatea la aer și vapori) - trebuind să satisfacă și alte exigențe legate de transparentă, mobilitate, caracteristici mecanice.

În ceea ce privește protecția termică, aceste elemente trebuie să asigure :

- un climat interior confortabil în funcție de destinația clădirii;
- reducerea pierderilor de căldură către mediul exterior;

- evitarea condensării vaporilor de apă pe suprafața interioară a elementelor de construcție și în interiorul acestora;
- stabilitate termică în vederea limitării oscilațiilor temperaturii aerului interior și pe suprafața interioară a elementelor de construcție;
- rezistență la infiltrațiile de aer pentru reducerea pierderilor de căldură.

Rolul anvelopei este, așadar, acela de a menține confortul interior prin controlul fluxurilor de căldură, aer și umiditate între mediul interior și mediul exterior al clădirii. Anvelopa clădirii poate fi definită ca totalitatea suprafețelor elementelor de construcție perimetrice care delimitează volumul interior al clădirii față de mediul exterior, constituit din aerul exterior, sol, spații-anexă neîncălzite ale clădirii sau mai puțin încălzite, spații cu funcțiuni diferite față de funcțiunea principală a clădirii din care fac parte, alte clădiri seprate prin rosturi.

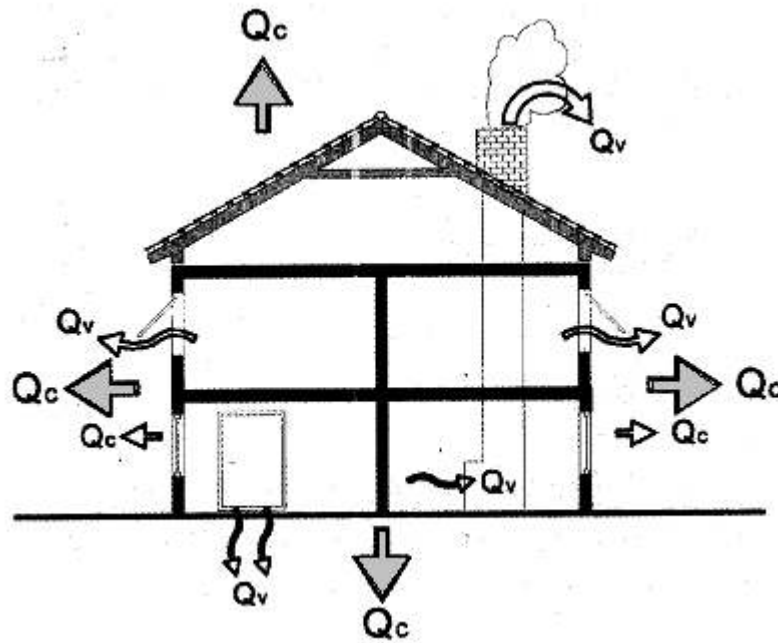


Fig. 1 – Fluxul de căldură prin anvelopă [81]

Fluxul de căldură prin anvelopa clădirii (Fig. 1) poate fi controlat eficient printr-un material izolator termic, grosimea sa influențând direct protecția termică. Deși creșterea grosimii se traduce prin reducerea pierderilor de căldură și implicit a consumului de energie, ea determină totodată și creșterea costurilor. Rezistența termică este invers proporțională cu fluxul de căldură care trece prin material:

$$R_t = \Delta T / Q \text{ [KW]} \quad (1.2)$$

- Creșterea gradului de izolare termică reduce pierderile de căldură care au loc prin elementele anvelopei și care reprezintă 70% din pierderile totale de energie ale clădirilor existente. Din acest punct de vedere, un principiu important al clădirilor eficiente energetic este evitarea sau reducerea la minimum a punților termice, anvelopa trebuind să fie izolată continuu, fără întreruperi, limitând pierderile de căldură. Astfel în etapa de proiectare este importantă definirea unei geometrii simple

și compacte, reducând suprafața anvelopei care delimitează volumul încălzit și costul execuției. Se recomandă ca raportul dintre volumul încălzit și suprafața anvelopei să se încadreze în intervalul 1 ... 4.

- O altă cauză a pierderilor de energie o constituie schimbul de aer prin elementele anvelopei (Fig. 2), care se desfășoară în paralel cu fluxul de umiditate de la nivelul anvelopei: aerul interior transportă căldură și umiditate, fiind înlocuit de aerul exterior uscat și rece (în timpul iernii). Fluxul de aer se produce atunci când se creează o diferență de presiune determinată de: acțiunea vântului, o diferență de temperatură care induce o stratificare termică pe verticală, echipamente de ventilare.

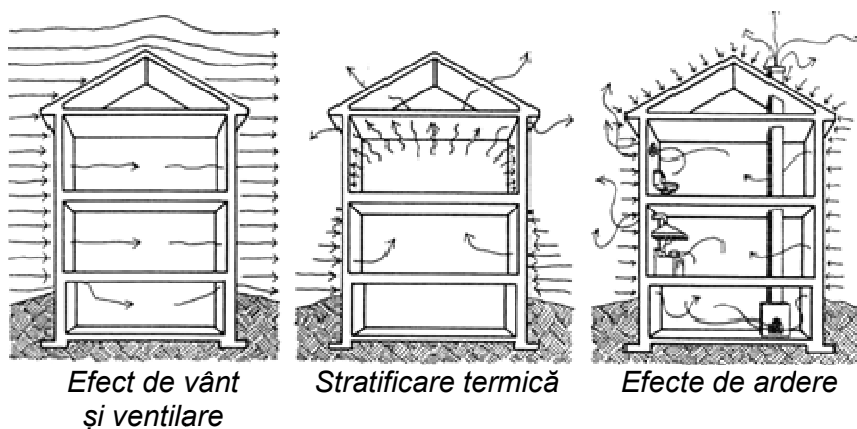


Fig. 2 – Fluxul de aer prin anvelopă [81]

Controlul fluxului de aer poate fi realizat prin asigurarea etanșeității anvelopei, evacuarea aerului uzat și înlocuirea cu aer proaspăt, asigurarea tirajului și aerului necesar echipamentelor de încălzire a mediului interior. Astfel, se asigură creșterea eficienței energetice a clădirii, a confortului interior (întrucât sunt evitați curenții de aer, zonele reci), precum și eliminarea aerului uzat.

- Fluxul de umiditate prin anvelopa clădirii poate avea loc sub influența gravitației (în cazul apei meteorice), a capilarității care determină circulația apei în toate direcțiile (efectul de sugativă), a difuziei (în cazul unei diferențe de presiune a vaporilor de apă), a fluxului de aer prin anvelopă. Condensul se produce atunci când umiditatea relativă atinge valoarea de saturație pentru o temperatură dată, de aceea normativele impun verificarea la condensul pe suprafața și în masa elementelor de construcție care alcătuiesc anvelopa clădirilor. Așa cum se știe, umiditatea poate să afecteze atât structura elementelor clădirii cât și confortul interior, dacă fluxul de umiditate nu este controlat prin tehnici de construcție specifice. Efectele negative ale umidității pot fi evitate prin protejarea elementelor exterioare ale construcției împotriva intemperiiilor și a umezelii din mediul exterior (aplicarea de materiale impermeabile, tehnici de construcție care îndepărtează sau rezistă apei, scurgeri și pante corespunzătoare), reducerea umidității la nivelul surselor (reducerea emisiei de vapori, dar și evacuarea aerului umed) și instalarea de bariere de vapori care reduc umiditatea din difuzie, precum și a barierelor de aer care nu permit transportul umidității în paralel cu cel al aerului.

### **1.3.2 Performanța termică și energetică**

La nivelul Uniunii Europene, scăderea consumului de energie pentru un angajat (-3%) este într-un puternic contrast cu creșterea substanțială a consumului de energie electrică pentru angajat (+16%), care este în mare parte cauzat de utilizarea a tot mai multe aparate de IT, precum și a aerului condiționat în țările sudice, sau de creșterea economică puternică în țările din Europa de Est. Consumul de energie electrică pentru fiecare angajat este fie stabil sau chiar în scădere pentru țările cu un nivel ridicat de bunăstare economică. Acest lucru ar putea semnala că consumul de energie electrică ajunge la un nivel de saturație.

În România, clădirile de birouri reprezintă aproximativ 13% din totalul clădirilor nerezidențiale, având însă o rată de construire ridicată în ultimul deceniu, care evidențiază progresul semnificativ din sectorul serviciilor și deficitul de clădiri destinate spațiilor de birouri din România. Proiectarea clădirilor de birouri a început să țină cont tot mai mult de normele de dezvoltare sustenabilă, dorindu-se obținerea unei certificări BREEAM, LEED sau WELL. Această practică se remarcă și în cazul noilor centre comerciale, al segmentului rezidențial și al spațiilor logistice care urmează să adopte de asemenea normele de dezvoltare sustenabilă.

Piața de certificări sustenabile a evoluat într-o perioadă de dezvoltare accelerată a pieței imobiliare, fiind inițiată de dezvoltatorii unor clădiri de birouri care își propuneau să se diferențieze de concurență prin obținerea unor certificate de eficiență energetică pentru clădirile lor.

Cercetările de piață ilustrează o dublare a suprafeței birourilor comerciale din 2005 până în 2011. În această perioadă rata ridicată de construire s-a diminuat treptat din 2009 până în 2011 (2,5%). Rata de construire este cuprinsă între 1,5 – 2,5% pentru sectorul nerezidențial general, iar în cazul clădirilor de birouri constituie 5% (în intervalul 2009-2011), fiind asemănătoare cu cea din țările central și est europene (Polonia, Ungaria).

Din cauza crizei economice, numărul proiectelor finalizate s-a redus și implicit numărul certificărilor de sustenabilitate. În schimb, proiectele de clădiri de birouri începute în 2011 au ținut cont de normele de dezvoltare sustenabilă, următoarea perioadă conducând la creșterea semnificativă a numărului de proiecte de birouri certificate ca sustenabile. Aceasta a fost susținută și de introducerea unor deduceri de taxe și impozite pentru dezvoltatorii de proiecte sustenabile.

În prezent în România sunt peste 200 de clădiri și proiecte imobiliare care au obținut o certificare BREEAM sau LEED. Clădirile de birouri sunt obligate să dețină o astfel de certificare, centrele comerciale respectă de cele mai multe ori principiile sustenabile, iar spațiile logistice, industriale și ansamblurile rezidențiale sunt segmente care vor respecta normele de dezvoltare sustenabilă în viitor.

### **1.3.3 Probleme specifice clădirilor de birouri**

Anvelopa tipică clădirilor de birouri a suferit modificări în ultimul deceniu, evoluând de la o masă monolitică la o serie de straturi, fiecare cu funcțiune specifică: de protejare a fațadei la intemperii, controlul vaporilor de apă, de a reține căldura sau răcoarea și de a controla fluxul aerului. O altă tendință o reprezintă crearea de straturi tot mai ușoare

care nu se mai bazează pe masa materialelor pentru izolație. Cu toate acestea, se remarcă două probleme importante legate de performanța acestor straturi ușoare:

- defazajul termic redus substanțial din cauza masei reduse, ceea ce determină fluctuații mai rapide ale aerului interior;
- posibilitatea ridicată a compromiterii stratului izolator.

Conform Breviarului de Calcul al Performanței Energetice a Clădirilor și Apartamentelor<sup>1</sup>, clădirile de birouri se încadrează în subcategoria clădirilor cu „ocupare discontinuă”, a căror funcționalitate permite ca abaterea de la temperatura normală de exploatare să fie mai mare de 7°C pe o perioadă de 10 ore pe zi, dintre care cel puțin 5 ore în intervalul orar 0-7.

Pentru a avea o ambianță interioară confortabilă din punct de vedere fonic, în încăperile cu destinația de birouri nu trebuie să se depășească nivelul de zgomot de 45 Db.

În ceea ce privește iluminatul, în funcție de destinația încăperii sunt stabilite anumite valori admisibile prezentate în Tabelul 1<sup>2</sup>.

Tab. 1 – Niveluri de iluminat în funcție de destinația încăperii

Destinația încăperii	Nivelul de iluminat (lx)
Birouri	300 – 500
Săli de conferințe	300
Săli de calculatoare sau cu panouri de comandă	500
Săli de desen	750

Pentru clădirile la care suprafața pereților transparenți sau translucizi reprezintă cel puțin 50% din suprafața elementelor verticale de închidere, coeficientul global de referință  $G1_{ref}$  poate fi mărit cu o cantitate  $\Delta G1_{ref}$  a cărei valoare depinde de categoria clădirii, de indicele solar,  $I_s$ , și de inerția termică a clădirii.

În evaluarea ratei minime de ventilare din spațiile ocupate, calculul pentru clădirile de birouri este diferit, conduce la rezultate mai mari, întrucât degajările de apă și dioxid de carbon metabolic sunt mai mari datorită numărului mare de persoane. Rata minimă a ventilării se determină prin alegerea valorii maxime dintre rata de ventilare pentru asigurarea unei valori de umiditate sub valoarea normată și rata de ventilare pentru ca degajările de dioxid de carbon să nu depășească valoarea normată.

Valorile orare ale temperaturilor interioare ale necesarului de căldură / frig al clădirii depind de datele de intrare: caracteristici geometrice; caracteristici termice ale anvelopei; caracteristicile sistemelor și echipamentelor; zona termică, profilul energetic; parametri climatici, an climatic tip. Acestea, împreună cu considerarea efectului punților termice, influențează evaluarea răspunsului termic al anvelopei.

Principalele punți termice care trebuie să fie avute în vedere sunt:

- la pereți: stâlpi, grinzi, centuri, plăci de balcoane, logii și bowindow-uri, buiandrugi, stâlpișori, colțuri și conturul tâmplăriei;

<sup>1</sup> Metodologie de calcul al Performanței Energetice a Clădirilor, Partea a IV-a – Breviar de Calcul al Performanței Energetice a Clădirilor și Apartamentelor Indicativ MC 001/4-2009

<sup>2</sup> Normativ pentru Calculul Coeficientului Global de Izolare Termică la Clădiri cu altă Destinație decât cele de locuit Indicativ C107/2-97

- la planșeele de la terase și poduri: atice, cornișe, streșini, coșuri și ventilații;
- la planșeele peste subsol, termoizolate la partea superioară: pereții structurali și nestructurali de la parter și zona de racordare cu soclul;
- la planșeele de peste subsol, termoizolate la partea inferioară: pereții structurali și nestructurali de la subsol, grinzile (dacă nu sunt termoizolate) și zona de racordare cu soclul;
- la plăcile în contact cu solul: zona de racordare cu soclul, precum și toate suprafețele cu termoizolația întreruptă;
- la planșeele care delimitează volumul clădirii la partea inferioară, de aerul exterior: grinzi (dacă nu sunt termoizolate), centuri, precum și zona de racordare cu pereții adiacenți [124].

Necesarul de căldură rezultă din compararea parametrilor de confort cu regimul termic natural.

Regimul termic natural al unei clădiri de birouri diferă față de alte tipuri de clădiri, întrucât calculul acestuia depinde de:

- vitraje – cu suprafețe mai mari în cazul clădirilor de birouri - și sisteme de umbrire;
- rata ventilării naturale a clădirii;
- aporturile din metabolism (mai mari, datorită numărului mai mare de utilizatori), iluminat, birotică, însorire, cu valori considerabile în cazul unei clădiri de birouri.



## **CAP. 2**

### **ANVELOPA ADAPTABILĂ LA CONDIȚIILE DE MEDIU - STADIUL ACTUAL AL PROBLEMEI**

Conservarea energiei clădirilor este în general asociată cu trei măsuri: o izolație termică eficientă, utilizarea suprafețelor vitrate cu performanță înaltă și instalații HVAC (încălzire, ventilare și aer condiționat) eficiente energetic. Termoizolarea pereților contribuie substanțial la reducerea pierderilor de căldură, dar de cele multe ori o problemă mai importantă o reprezintă supraîncălzirea în perioada verii, în special în cazul clădirilor cu mari suprafețe vitrate, cum sunt clădirile de birouri. Suprafețele mari vitrate sunt preferate atât pentru iluminatul natural și ideea de deschidere, cât și pentru a transmite un mesaj legat de ideea de transparență și democrație (de exemplu în cazul clădirilor administrative cum este cazul domului clădirii Reichstag din Berlin – arhitect Norman Foster – Fig. 2.1).



Fig. 2.1 – Domul clădirii Reichstag din Berlin [45]

Clădirile de birouri se situează între cei mai mari consumatori de energie. Sistemul de iluminat și HVAC are consumul cel mai mare, studiile demonstrând că doar sistemele de aer condiționat consumă 10-60% din totalul energiei necesare acestor clădiri. Urmărindu-se soluționarea acestui tip de probleme, s-a ajuns la conceptul de anvelopă adaptabilă la condițiile de mediu.

## **2.1 ANVELOPA ADAPTABILĂ – SISTEM DE CONTROL AL MEDIULUI**

### **2.1.1 Introducere**

#### **Definiție**

O anvelopă adaptabilă la mediu are capacitatea de a-și modifica în mod repetat și reversibil o parte dintre funcțiuni, proprietăți sau comportarea de-a lungul timpului ca

răspuns la cerințele de performanță și condițiile de mediu cu caracter variabil. Acest tip de anvelopă se referă la un concept strâns legat de alți termeni: activ, dinamic, cinetic, inteligent, sensibil, explorând diverse modalități de adaptare în raport cu schimbările condițiilor climatice sau cu preferințele utilizatorilor.

Proiectarea unei clădiri adaptabile la mediu are la bază ideea utilizării sustenabile a materialelor și resurselor în mediul construit, maximizând timpul de viață a componentelor și materialelor clădirii ca strategie de evitare a uzurii morale, impactului asupra mediului și costurilor legate de consumul și irosirea materialelor. În acest context, clădirea este privită ca un sistem de straturi cu durată de viață diferită și nu ca obiect static. Proiectarea pentru adaptabilitate conturează un cadru pentru luarea unor decizii strategice referitoare la flexibilitatea și durabilitatea clădirilor.

Astfel, anvelopa sporește performanța clădirii în ceea ce privește consumul primar de energie, menținând în același timp o calitate acceptabilă a mediului interior. Simulările pentru determinarea performanței clădirilor, împreună cu materialele de construcție și tehnologiile, au un rol important în proiectarea și evoluția anvelopelor adaptabile, eficienței și timpului de răspuns. În acest sens se pot distinge două tipuri de strategii de proiectare care contribuie la modul în care sistemul se poate adapta: masa termică și flexibilitatea. În timp ce o clădire convențională se bazează pe masa termică pentru a menține calitatea mediului interior în contextul schimbărilor mediului exterior, clădirile cu anvelopă adaptabilă se bazează pe flexibilitate pentru a-și schimba funcția, proprietățile sau comportarea ca răspuns la schimbările de context și, mai mult, la diferitele preferințe ale utilizatorilor.

### Funcțiunile anvelopei

Arhitectura industrială conferă o nouă libertate de expresie prin posibilitatea noilor materiale de a înlocui zidăria de cărămidă cu pereți în întregime vitrați, fapt ce conduce la o arhitectură nouă cu de lumină naturală. Prima expresie a fațadei cortină și dezvoltarea sa pornește de la evoluția înțelegerii istorice a fațadei ca sistem care îndeplinește o dublă funcție: medierea climatului între mediul exterior-interior și reprezentare estetică. Anii 1950 și 1960 pun în evidență însă efectele defavorabile asupra mediului interior, iar criza petrolului din anii 1970 a condus la necesitatea de a optimiza performanța termică a pereților vitrați.

Pentru a putea fi considerată o alternativă viabilă a tehnicilor de construcție tradiționale, peretele-cortină trebuie să dețină caracteristici comparabile, principala cerință a anvelopei fiind aceea de a media climatul între mediul exterior și cel interior. Fațada trebuie să ofere posibilitatea și controlul iluminatului natural, izolare termică și acustică, ventilare și răcire naturală, rezistență la acțiunile exterioare și posibilitatea integrării unor componente diverse pe suprafața lor. Aceste cerințe trebuie îndeplinite de sistemele de anvelopă încă din faza de implementare, costurile pentru optimizarea ulterioară fiind considerabile în cazul fațadelor cortină. Performanțele termice și iluminatul pot fi îmbunătățite prin modificarea caracteristicilor elementelor din sticlă.

Anvelopa multifuncțională pleacă de la conceptul anvelopei alcătuite dintr-un singur strat capabil să răspundă diferitor cerințe, ceea ce presupune integrarea mai multor proprietăți, fiecare răspunzând unor necesități specifice.

Majoritatea fațadelor moderne nu au nici un mijloc de a amortiza schimbările parametrilor mediului exterior. Deși unele clădiri utilizează masa termică a pardoselii sau tavanului și elemente acvifere pentru a stoca căldura sau răcoarea, aceste tehnologii

funcționează independent de anvelopa clădirii, fiind integrate sistemului de instalații ale clădirii.

Anvelopa adaptabilă diferă de anvelopa convențională, fiind capabilă să-și ajusteze caracteristicile și să devină un mediator al schimbărilor mediului exterior, asigurând o temperatură interioară confortabilă, un nivel bun al iluminatului și calității aerului. Astfel se creează un mediu de lucru optim fără a face exces de energie.

### Situația prezentă

Costurile pentru construcția unei clădiri de birouri este estimată la 5-10% din costurile anuale totale de exploatare pe o perioadă de 20 de ani. Având în vedere că mulți angajați nu sunt satisfăcuți de mediul în care lucrează și că o parte a acestei disatisfacții este legată și de mediul fizic de lucru, o performanță sporită a clădirii poate reduce problemele de sănătate și optimiza confortul mediului interior, eficientizând lucrul. Astfel, acordând mai multă atenție performanței fațadei se poate ajunge la un profit mai mare.

Clădirile și sistemele de control al climatului interior sunt de regulă proiectate separat și nu integrat, ceea ce are drept rezultat un număr mare de instalații de încălzire, ventilare și aer condiționat. Astfel, nu sunt îndeplinite cerințele legate de eficiență energetică și confort a utilizatorilor. Mai mult, s-a constatat că utilizatorii care pot controla mediul interior (de exemplu prin operarea ferestrelor) resimt mai puțin disconfort decât cei care au control limitat (de exemplu cei situați la o anumită distanță de ferestre).

Proiectarea în scopul atingerii obiectivului de eficiență energetică presupune înțelegerea anvelopei ca strat cu dimensiuni variabile și rol activ, definit de condițiile climatice ale amplasamentului. Vitrajele inteligente și sistemele de umbrire prezintă proprietăți optice și termice care pot varia ca răspuns la climat, preferințele utilizatorilor și cerințele sistemului de control managerial al energiei clădirii. Determinarea echilibrului optim dintre aporturile de căldură provenite din radiația solară și nivelul iluminatului natural este un aspect important, reprezentând un element cheie pentru optimizarea vitrajelor. Vitrajele care includ sisteme de umbrire mobile, straturi din sticlă electrocromată sau gazocromată și sistemele de fațade duble pot reduce consumul energetic al clădirilor de birouri cu 20-30%, sporind nivelul de iluminat natural și implicit confortul utilizatorilor.

Aceste tehnologii oferă flexibilitate maximă, contribuind la obiectivul de a proiecta clădiri cu impact minim asupra resurselor energetice. Inovațiile din domeniu au scopul de a dezvolta componente inteligente integrate anvelopei, controlate automat și capabile să monitorizeze condițiile climatice interioare și exterioare, răspunzând în consecință. Adoptând concomitent o filosofie generală de reducere a energiei, se creează un mediu interior confortabil cu un cost redus de energie și impact minim asupra mediului. Această tendință a condus la proiectarea unor sisteme tehnologice avansate pentru clădirile contemporane, ideea de clădire inteligentă transformându-se într-o realitate care implică reconsiderarea utilizării resurselor de energie regenerabilă.

### Aspectul schimbărilor climatice

Adaptarea anvelopei la contextul climatic trebuie să ia în considerare și aspectul schimbării climei, conturând astfel o strategie eficientă pentru sporirea performanțelor energetice ale clădirilor noi, dar și a celor existente.

Clădirile adaptabile la mediu sunt cele proiectate să reziste impactului negativ preconizat al schimbărilor climatice și să maximizeze orice impact pozitiv. Adaptarea la

contextul climatic reprezintă o încercare de a atinge un obiectiv variabil, având în vedere că atât climatul, cât și societatea constituie elemente dinamice, în continuă evoluție. Modalitățile prin care anvelopa se poate adapta la atenuare a schimbărilor climatice și extinderea timpului de exploatare a clădirilor existente, pot fi: proiectarea pentru o durată mai lungă de exploatare, masa termică pentru amortizarea variației parametrilor exteriori, funcționarea clădirii în întregime în sistem pasiv, sisteme de răcire pe zone, utilizarea căldurii generate de alte sisteme și reducerea volumului de materiale folosite, pe lângă alte măsuri de reducere a efectului de insulă de căldură urbană. Astfel, anvelopa adaptabilă la mediu devine un factor cheie în proiectarea clădirilor în contextul schimbărilor climatice și al mediului urban.

### Comparație anvelope tradiționale – anvelope adaptabile

Fațada statică tradițională este proiectată pentru a răspunde cât mai bine la toate condițiile de mediu pe care clădirea le va experimenta, performanța sa energetică fiind de regulă nesatisfăcătoare în cazul anotimpurilor cu temperaturi extreme sau al aporturilor solare foarte mari în anumite momente ale zilei. Astfel, performanța clădirii și confortul utilizatorilor pot fi compromise. În opoziție cu anvelopa statică tradițională, anvelopa adaptabilă presupune eficiență energetică ridicată și confort sporit, prezentând o serie de avantaje:

- reducerea consumului total de energie în exploatare până la 6%;
- reducerea necesarului de aer condiționat cu 15-20%;
- crearea unui efect vizual – poate fi considerată o lucrare de artă funcțională.

### **2.1.2 Factori de mediu**

O fațadă adaptabilă are abilitatea de a răspunde condițiilor interioare sau exterioare, influențând confortul spațiului interior și având un efect pozitiv asupra eficienței energetice a clădirii. Mai mult decât atât, o fațadă adaptabilă poate conferi clădirii un grad mai mare de flexibilitate în ceea ce privește utilizarea spațiului, putând să îndeplinească cerințe diferite ale utilizatorilor din încăperi diferite ale clădirii, în funcție de necesități (încăperi cu cerințe diferite în privința confortului, cu posibilitatea adaptării nivelului de iluminat sau ventilare). Astfel, variația temperaturii, luminii, ventilării sau/și zgomotului influențează proiectarea fațadei și climatul interior.

Factorii de mediu pot fi clasificați în:

- *factori externi* (care depind de amplasament și orientare):
  - radiația solară – intensitatea și durata acesteia este dată de orientarea și înclinația anvelopei;
  - temperatura aerului exterior – cu efect asupra transferului de căldură prin anvelopă;
  - umiditatea – trebuie avută în vedere pentru evitarea efectului de condens în interiorul anvelopei;
  - precipitații;
  - vânt – cu efect pozitiv în ventilarea naturală;
  - zgomot – anvelopa poate avea și funcție de protecție fonică împotriva zgomotului exterior.

- *factori interni* (al căror efect asupra climatului interior diferă în funcție de tipologia încăperii, numărul utilizatorilor și suprafață):
  - temperatura aerului;
  - umiditatea aerului;
  - temperatura superficială a componentelor clădirii;
  - circulația aerului.

Cerințele pentru un mediu interior confortabil sunt legate de:

- iluminat: cantitatea și calitatea nivelului de iluminat (300-750 lx în funcție de destinația încăperii), confort vizual;
- temperatură (18-27°C);
- umiditate (30-65%);
- viteza aerului (0-0,20 m/s);
- acustică.

### **2.1.3 Niveluri de adaptare la condițiile mediului exterior**

Pentru a fi eficientă, anvelopa trebuie să își adapteze diverse componente pe diferite intervale de timp, la condiții ale mediului exterior. Anumite elemente ale anvelopei trebuie să răspundă imediat schimbărilor rapide, de exemplu în cazul sistemelor mobile de umbrire care trebuie închise imediat în eventualitatea unor furtuni. Alte componente se pot adapta în funcție de alternanța zi-noapte, de exemplu izolația termică adaptabilă poate varia pentru a exploata condițiile exterioare. Anumite componente își pot schimba caracteristicile în funcție de sezon, sistemele de umbrire de exemplu fiind necesare în perioada verii, dar redundante în timpul iernii.

#### Izolație termică

Variația izolației termice a anvelopei este necesară în funcție de sezon, performanța sa putând fi optimizată prin adaptarea la alternanța zi-noapte. În zilele călduroase de vară izolația termică are rolul de a menține spațiul interior răcoros, în timp ce pe timpul nopții, aceasta trebuie redusă pentru a permite eliminarea căldurii acumulate ziua. Pe perioada iernii, este necesară o izolație termică performantă pentru a menține în interior căldură generată de sistemul de încălzire.

#### Masă termică

Adaptarea masei termice nu poate avea loc în intervale scurte de timp (întrucât stocarea căldurii se realizează lent), variind în funcție de sezon și alternanța zi-noapte. Deși în timpul iernii este necesară o izolație termică semnificativă, masa termică a clădirii trebuie să fie cât mai redusă pentru a permite radiației solare să pătrundă în interiorul clădirii, sporind acumularea de căldură. Primăvara sau toamna capacitatea de stocare a căldurii ar trebui să fie flexibilă în funcție de vreme. Vara căldura trebuie să fie stocată în masa clădirii pentru a evita supraîncălzirea, urmând să fie eliberată pe perioada nopții.

#### Umiditatea aerului

Umiditatea aerului diferă semnificativ în funcție de sezon. Vara umiditatea relativă a aerului este de obicei mai ridicată, generând un mediu inconfortabil în contextul temperaturilor ridicate. Iarna sunt necesare umidificatoarele, sistemul de încălzire

generând un aer uscat. În plus, umiditatea aerului dintr-o încăpere trebuie reglată continuu în funcție de numărul ocupanților.

### Ventilare naturală

Adaptarea ventilării trebuie să aibă loc de asemenea continuu, fiind influențată de numărul de oameni din încăpere, dar și de alternanța sezonelor și temperaturile caracteristice. Primăvara și toamna este în general necesară ventilarea naturală, dar trebuie redusă în cazul unor temperaturi exterioare scăzute. Iarna, ventilarea trebuie limitată mai ales noaptea pentru a reduce pierderile de căldură. În noapțile de vară ventilarea este necesară pentru eliminarea căldurii acumulate pe timpul zilei.

### Iluminat natural și supraîncălzire

În funcție de radiația solară incidentă, iluminatul trebuie adaptat continuu de-a lungul unei zile, pentru a controla aportul energiei solare și acumularea de căldură în mediul interior. Optimizarea consumului de energie presupune sisteme de umbrire mobile a căror înclinație se modifică în funcție de sezon, dar care reacționează și la alternanța zi-noapte, poziția lor fiind mereu diferită. În funcție de lungimea de undă, radiația solară cuprinde două categorii: lumina vizibilă care poate conduce la efectul de orbire și radiația infraroșie și ultravioletă care pot determina supraîncălzirea spațiului interior. Radiația solară stă la baza efectului de seră, benefic doar în perioada rece, în timp ce vara este nevoie de sisteme de umbrire adaptabile pentru a evita pătrunderea radiației în interior.

Comportarea dinamică a anvelopei conduce la sporirea confortului și reducerea consumului de energie, fiind necesare soluții tehnologice avansate (de exemplu încorporarea materialelor inteligente, izolația termică adaptabilă) sau mai puțin avansate, dar și soluții aflate în prezent doar la nivel de prototip, în curs de dezvoltare.

## **2.2 FORMĂ, MATERIALE, TEHNOLOGIE**

### **2.2.1 Anvelope adaptabile tradiționale**

#### Igloo-urile

Igloo-urile sunt alcătuite din blocuri independente de zăpadă așezate în formă de dom, care se susțin între ele. Igloo-ul tradițional reprezintă o primă formă de anvelopă adaptabilă, întrucât căldura din interior determină topirea lentă a blocurilor, formând un strat lichid care apoi îngheață la contactul cu aerul exterior. Stratul de gheață astfel obținut contribuie atât la consolidarea construcției cât și la etanșeizarea sa, igloo-ul oferind protecție împotriva vântului și conferind o bună izolație termică datorită proprietăților termice ale zăpezii. Coeficientul de conductivitate termică al zăpezii variază între 0,12- 0,54 W/mK în funcție de porozitate (0,4-0,68).

Igloo-ul reprezintă o formă de locuință minimală al cărui volum include un tunel de intrare cu rol de tampon termic între spațiul interior și cel exterior și care menține o temperatură mai ridicată în zonele funcționale datorită cotei ridicate din zona acoperită de dom. Ventilarea spațiului interior se realizează printr-un gol de dimensiuni reduse poziționat în partea superioară a anvelopei.

### Façade verzi

Façadele sau acoperișurile verzi (Fig. 2.2) presupun structuri artificiale pentru cultivarea unor plante cu un necesar minim de îngrijire. Astfel de anvelope presupun o structură multistrat care include membrane rezistente la pătrunderea rădăcinilor, precum și sisteme specifice de drenare. Dezvoltându-se spre partea superioară sau spre partea inferioară a anvelopei, plantele, de obicei agățătoare, necesită un anumit tip de structură pentru a-și menține poziția. În acest sens, proiectarea fațadelor verzi trebuie să țină cont de încărcările din zăpadă, vânt și greutate proprie pentru a răspunde cerințelor structurale.



Fig. 2.2 – a. Musée du quai Branly, Paris, arh. Jean Nouvel; b. California Academy of Science, San Francisco, arh. Renzo Piano [78;102]

Prezența vegetației, a copacilor și plantelor agățătoare, în special pe fațada sudică, conferă o formă eficientă de umbrire împotriva radiației solare directe, idee susținută atât de arhitectura tradițională cât și de cea modernă. Anvelopele verzi oferă beneficii prin umbrire și masa termică a stratului de pământ, putând fi considerate sisteme pasive în atingerea obiectivului de eficiență energetică a clădirilor prin trei mecanisme fundamentale:

- umbrire, a cărei eficiență depinde de densitatea frunzelor;
- răcire. prin evaporare datorită transpirației plantelor și substratului;
- izolare termică, conferită de vegetație și substrat, care depinde de grosimea stratului de sol, densitate aparentă și umiditate.

#### Avantaje:

- scăderea temperaturii aerului interior datorită reducerii fluxului termic prin anvelopă;
- scăderea temperaturii suprafeței exterioare a anvelopei, contribuind la reducerea consumului de energie pentru răcire;
- optimizarea performanței energetice a clădirilor prin reflexie și transpirație;

- reducerea vitezei vântului, diminuând încărcările asupra anvelopei (din acest punct de vedere trebuie să se țină cont de posibilitatea obstrucționării sau diminuării ventilării naturale);
- reducerea prafului și asigurarea confortului mediului interior prin controlul umidității;
- reducerea efectului de „insulă de căldură” prin diminuarea emisiei gazelor cu efect de seră și poluării aerului;
- managementul apei de ploaie care poate fi captată și utilizată ca apă gri;
- reducerea poluării fonice prin fonoabsorbție.

Prin intermediul transpirației, o mare parte a radiației solare este transformată în căldură latentă, care nu determină creșterea temperaturii. O anvelopă în întregime verde este protejată pe timpul verii de radiația solară intensă, putând reflecta sau absorbi între 40 - 80% din radiație în funcție de plantele utilizate. Transmitanța luminoasă a suprafeței frunzelor este de aproximativ 0,2, iar factorul de absorbție de aproximativ 0,5.

Adaptabilitatea anvelopei verzi se bazează pe variația densității frunzișului în funcție de sezonul rece sau cald. În acest sens, în timpul verii densitatea ridicată contribuie la blocarea unei părți semnificative a radiației solare, generând un mediu interior mai răcoros, efect amplificat prin procesul de transpirație și gradului de izolare termică ridicată. În timpul iernii densitatea scăzută a frunzișului permite pătrunderea radiației solare în spațiul interior, permițând acumulările de căldură.

## 2.2.2 Anvelope cu sisteme de umbrire mobile

### Premise

Utilizarea sistemelor de umbrire are o mare vechime în arhitectură, evoluția lor fiind profund marcată de contribuția arhitectului Le Corbusier, care a transformat brise-soleilurile în sisteme integrate clădirii, în acest sens putând fi menționate o serie de proiecte precum laboratoarele Saint Didier (1946), Unité d'Habitation din Marseilles (1949) – Fig. 2.3a, palatele din Chandigarh – Fig. 2.3 b, 2.3 c, 2.3 d, mănăstirea La Tourette. Trecerea de la sistemele fixe de umbrire la cele mobile a fost mai dificilă, până acum aceste elemente fiind considerate suprapuse structurii fără a se transforma însă în elemente predominante vizual.

În urma crizei energetice a anilor 1970, s-a acordat atenție sporită izolării termice a locuințelor și clădirilor comerciale, ceea ce a condus la economii substanțiale în privința consumului energetic. Eficientizarea izolației termice s-a dovedit însă insuficientă în contextul utilizării pe scară tot mai largă a elementelor transparente în detrimentul celor opace, suprafețele vitrate reprezentând încă o cauză a supraîncălzirii. Ca răspuns la noile tendințe, au fost instalate aparate de aer condiționat costisitoare și mari consumatoare de energie. Sistemele de răcire artificială au cunoscut un maxim de dezvoltare, punând în evidență un aspect important în ceea ce privește consumul de energie, întrucât ofereau soluții la o problemă care putea fi evitată prin utilizarea unor sisteme de umbrire eficiente.





Fig. 2.3: a. Unité d'Habitation, Marsilia; b. Clădirea Parlamentului, Chandigarh ; c. Curtea de Justiție, Chandigarh; d. Scretariatul, Chandigarh [27]

Evoluția și utilizarea elementelor de umbrire derivă astfel din nevoia de a reduce consumul de energie al unei clădiri, forma anvelopei fiind proiectată în scopul de a spori

absorbția și reflexia radiației solare prin mijloace active sau pasive. Cu toate acestea, suprafața tot mai mare a vitrajului poate conduce la probleme de supraîncălzire pe timpul verii, dar și la o acumulare semnificativă de căldură în perioada iernii.

### Proiectare

Pentru atingerea standardului de clădire verde este esențială o protecție solară optimă pentru a controla necesarul de energie pentru răcire și iluminat al încăperilor și, implicit, reducerea consumului energetic total. Suprafața vitrajului și sistemul de umbrire determină cantitatea de lumină care pătrunde în spațiul interior, necesarul de energie pentru răcire fiind invers proporțional cu necesarul de iluminat artificial.

Elementele de umbrire trebuie proiectate ca parte integrantă a sistemului vitrat pentru a echilibra necesarul de iluminat natural și nevoia de a reduce acumularea de căldură. De aceea sistemele de umbrire trebuie să țină cont de:

- *stilul și tipul vitrajului:*

Sistemul de umbrire trebuie ales în funcție de stilul și tipul vitrajului și poate fi reglat prin intermediul unor elemente suplimentare în ambele variante: sisteme fixe sau mobile.

Pentru vitraje cu suprafețe reduse pot fi utilizate sisteme de umbrire cu protecție solară scăzută, în timp ce pentru vitraje mai ample este necesară folosirea unor sisteme de umbrire cu eficiență ridicată.

- *amplasament: orientare cardinală și condiții de mediu*

Amplasarea într-o anumită regiune climatică sau cerințele proiectului generează diferite abordări și soluții pentru un sistem de umbrire eficient.

- *tipul și proprietățile elementelor de umbrire*

O abordare holistică în privința operării sistemelor de umbrire dinamică a vitrajului și a sistemelor de iluminat artificial poate conduce la minimizarea consumului energetic pentru răcirea spațiului interior în funcție de orientarea cardinală și de condițiile de mediu.

- *puterea și direcția vântului*

În cazul sistemelor de umbrire mobile trebuie luate în considerare încă din faza de concept, pe lângă traiectoria soarelui pentru amplasamentul și orientarea clădirii, puterea și direcția vântului. În regiunile cu încărcări importante date de intensitatea vântului pot fi folosite trei tipuri de protecție solară:

- sisteme de umbrire exterioare fixe - de obicei prelungiri ale acoperișului – însă acestea oferă protecție adecvată doar în zonele sudice, unde altitudinea soarelui este ridicată, și doar pentru radiația solară directă, în Europa Centrală fiind nevoie de măsuri suplimentare pentru protecția solară a fațadelor orientate spre sud;
- construcții din sticlă în consolă ca ecrane de protecție solară, protejate la acțiunea vântului – folosite de obicei pentru fațade duble;
- sisteme mobile rezistente la acțiunea vântului care pot fi executate dintr-o varietate de materiale (lemn, aluminiu sau sticlă serigrafată).

Sistemul de umbrire reprezintă un element estetic al fațadei și ca atare al întregii clădiri. În Europa Centrală este nevoie de umbrire în special pe timpul verii, în timp ce în zonele sudice aceasta trebuie luată în considerare pe toată perioada anului, motiv pentru care sistemele de umbrire devin factori decisivi în ceea ce privește imaginea de ansamblu a clădirii.

### Factori de care depinde eficiența sistemelor de umbrire

- caracteristicile materialelor și ale finisajului sistemului;
- alegerea unui sistem de umbrire static sau mobil;

Spre deosebire de sistemele de umbrire statice, cele mobile operate manual sau mecanizat permit adaptarea la mișcarea zilnică și anuală a soarelui pentru a asigura un nivel optim al iluminatului natural, reducerea supraîncălzirii și posibilitatea acumulărilor de căldură;

- poziționarea sistemului de umbrire în raport cu vitrajul: exterior, interior sau intermediar;

Sistemele exterioare sunt cele mai eficiente, blocând radiația solară înainte să pătrundă în spațiul interior și evitând efectul de seră. Mai mult, amplasarea lor la exteriorul vitrajului contribuie la atenuarea zgomotului din mediul extern, putând reduce semnificativ poluarea fonică la nivelul fațadei în cazul unei proiectări optime.

- orientarea sistemului de umbrire în raport cu fațada (paralel, perpendicular, orizontal, vertical etc.) și în funcție de amplasamentul geografic.

De obicei, sistemele de umbrire cu elemente verticale fixe sunt concepute pentru fațadele orientate spre est și vest, soarele având o altitudine mică dimineața și după-amiaza. Sistemul care utilizează elemente fixe este cel mai adecvat pentru protecția vitrajelor orientate spre est și vest în cazul climatelor fierbinți, dar este utilizat mai rar în cazul clădirilor rezidențiale, fiind folosit de obicei la clădirile publice și industriale din cauza imaginii de ansamblu create.

### Performanță energetică

Conform unui studiu cerut de Organizația Europeană pentru Umbrire [26] se poate conserva până la 10% din consumul total de energie al unei clădiri dacă doar una din două ferestre ar avea un sistem de umbrire. Astfel, ar putea fi reduse emisiile de dioxid de carbon cu 100 de milioane tone pe an și 9,5% din energia totală utilizată pentru fondul construit.

În Europa Centrală, în cazul unui raport scăzut dintre suprafața vitrată și suprafața totală a fațadei, la alegerea sistemului de umbrire trebuie să se acorde atenție faptului că reducerea considerabilă a nivelului de iluminat natural și creșterea utilizării iluminatului artificial conduc la un efect psihologic negativ asupra utilizatorilor

Pentru anumite regiuni ale Europei de Nord, acolo unde zilele calde și însorite sunt rare, implementarea unor soluții de umbrire eficiente energetic presupune vitraje considerabile și sisteme de umbrire interioare.

În cazul revitalizării sau renovării unor clădiri protejate, se evidențiază în general un conflict între eficiența energetică și posibilitățile de intervenție, întrucât în aceste cazuri clădirile nu pot fi echipate cu sisteme de umbrire exterioare.

### Avantajele utilizării sistemelor de umbrire:

- reducerea consumului de energie al clădirii:
- reducerea consumului de energie *pentru încălzire* pe timpul sezonului rece datorită sporirii izolației termice a anvelopei prin închiderea sistemului de umbrire și crearea unui strat de aer staționar, pe de o parte și utilizarea optimă a acumulărilor de căldură în perioada toamnă-primăvară prin reglarea înclinării elementelor sistemului de umbrire în funcție de mișcarea soarelui, pe de altă parte;

- reducerea consumului de energie *pentru răcire* pe timpul sezonului cald prin evitarea supraîncălzirii, sistemul de umbrire blocând pătrunderea radiației solare în exces;
  - condiții optime pentru confort termic;
  - confort vizual prin filtrarea luminii naturale excesive;
  - reducerea capacității echipamentelor pentru încălzire și răcire.

### Clasificare

Sistemele de umbrire diferă prin tipologie, formă și materiale din care sunt alcătuite. O primă clasificare în funcție de poziționarea față de vitraj separă sistemele de umbrire în:

- sisteme interioare;
- sisteme exterioare.

În funcție de soluția de proiectare adoptată, tipologiile sistemelor de umbrire se pot încadra într-o multitudine de clasificări, cea mai evidentă distincție fiind făcută după criteriul mobilității, care împarte sistemele de umbrire în:

- fixe (ex. copertine, parasolare);
- mobile (ex. copertine retractabile, jaluzele motorizate). Cele mobile pot fi aplicate pe diferite componente ale anvelopei, pot avea un sistem structural propriu, sau pot fi aplicate construcției.

Sistemele de umbrire mai pot fi clasificate în:

- sisteme care absorb radiația solară;
- sisteme care reflectă lumina directă sau indirectă zenitală, deși toate sistemele au influență asupra ambelor tipuri de iluminat. Sistemele care reflectă în principal lumina directă sunt mai eficiente pe fațadele sudice, fiind preferate și pentru geometria simplă, și sunt proiectate pentru a putea răspunde variațiilor sezoniere ale altitudinii soarelui și controla nivelul acumulărilor de căldură.

Mai mult, sistemele de umbrire pot fi formate din elemente ale căror greutate și dimensiuni pot varia de la câțiva centimetri la metri, având poziții diferite, fie orizontale (în general în cazul fațadelor sudice), fie verticale (în cazul fațadelor estice și vestice, în general).

### - tipologii, forme și materiale

Sistemele de umbrire absorb sau reflectă o parte din radiația solară directă sau difuză, putând fi clasificate în: console, lamele, rafturi de lumină sau anvelope exterioare secundare alcătuite din materiale translucide. Aceste sisteme sunt aplicate pe fațadele de sud, est și vest pentru a diminua nivelurile radiației solare incidente și lumina difuză și sunt alcătuite fie dintr-un material opac (țesut sau perforat, din panouri metalice sau textile), fie dintr-un material transparent (gravat, translucid, sticlă serigrafată sau materiale plastice). Eficiența umbririi este în general proporțională cu procentul opacității materialului și poate varia în funcție de grosimea, gradul de reflexie sau de absorbție al materialului și de poziția sa în cadrul fațadei.

În general elementele de umbrire sunt fabricate din aluminiu sau oțel galvanizat vopsit. Există, de asemenea, sisteme de umbrire alcătuite din alte materiale: lemn, PVC sau cupru. Indiferent de materialul folosit, dispozitivul trebuie să asigure o operabilitate adecvată și valoare estetică în timp. Din acest punct de vedere metalele tratate și vopsite au înlocuit în mod eficient lemnul mai predispus la deteriorare. Tendința din ultima perioadă a fost de a utiliza materiale care filtrează lumina (sticlă gravată și

serigrafiată, straturile de email ceramic bazându-se pe un tipar pentru a controla radiația solară). În funcție de secțiunea lamelelor, sunt posibile diverse configurații: elipsoidale, curbate, triunghiulare, în formă de diamant sau rectangulare.

Unul dintre cele mai eficiente sisteme de umbrire îl constituie lamelele orizontale, care îndeplinesc de asemenea cerințe legate de eficiență energetică, iluminat natural, vizibilitate și flexibilitate. Se pot utiliza și variante ale acestora: sisteme transparente, rezistente la vânt care urmăresc și posibilitatea iluminatului natural al spațiului interior, (de ex. lamele concave perforate care conferă iluminat optim și priveliște spre exterior); sisteme de umbrire ale căror lamele din sfertul superior sunt rotite sub un unghi diferit față de celelalte.

Un tip predominant al sistemelor de umbrire în contextul Europei îl constituie lamelele mobile și jaluzelele. Lamelele exterioare sunt mai durabile, elementele verticale sau orizontale fiind fabricate, în general, din oțel galvanizat, aluminiu fie anodizat, fie vopsit, sau PVC pentru o întreținere mai ușoară. Având mărimi diferite (mai generoase în cazul utilizării exterioare), lamelele pot varia în ceea ce privește forma (aplatizate sau curbe) sau gradul de reflexie, fiind utilizate nu doar pentru umbrire, ci și pentru redirectionarea luminii naturale.

Jaluzelele și lamelele mobile sunt eficiente în toate tipurile de climat: în cazul clădirilor de birouri din climatele tropical-deșertice, sistemele de umbrire pot fi mai eficiente energetic dacă sunt amplasate la exteriorul clădirii, un exemplu în acest sens fiind *turnurile Al Bahar* – Fig. 2.4. Sistemul de umbrire reprezintă în acest caz o versiune modernă a traforurilor tradiționale (mashrabiya) utilizate la casele din acele regiuni pentru a le proteja de radiația solară intensă. Aportul solar este redus cu 50%, contribuind la conservarea energiei pentru răcire. Fațadele turnurilor sunt înfășurate aproape în totalitate în această rețea geometrică constituită din triunghiuri acoperite cu fibră de sticlă și programate să răspundă în funcție de traiectoria soarelui. Respectând criteriile dezvoltării durabile, proiectul a primit premiul "*Tall Building Innovation Award*" în anul 2012.

- elemente de umbrire interioare – exterioare
  - *Sisteme de umbrire exterioare*

Amplasarea sistemului de umbrire în exteriorul fațadei este cea mai eficientă, întrucât se creează un strat de aer ventilat care reduce acumularea de căldură la nivelul structurii. Un dezavantaj însă sunt costurile de investiție și cheltuielile de întreținere mai mari (fiind permanent expuse la agenții atmosferici) față de sistemele de umbrire interioare sau intermediare. În schimb, soluțiile de umbrire exterioare adaugă un plus de valoare clădirii din punct de vedere estetic, dar și din punct de vedere economic.

Aceste sisteme definesc caracterul arhitectural al clădirii prin formă și geometrie, cu scopul de a bloca radiația solară directă, care o dată ce pătrunde în spațiul interior poate fi respinsă direct prin reflexie (cazul radiației cu lungimi de undă din spectrul vizibil și al radiației infraroșii) sau indirect, prin convecție și radiație – cazul lungimilor mari de undă. Sistemele de umbrire exterioare trebuie proiectate pentru a bloca radiația directă a soarelui în perioadele anului în care este necesară răcirea spațiului interior.

- *Sisteme de umbrire interioare*

Sistemele de umbrire din mediul interior se încălzesc, atingând temperaturi semnificative în apropierea vitrajului, cu efect negativ asupra consumului de energie pentru răcire și a confortului utilizatorilor.

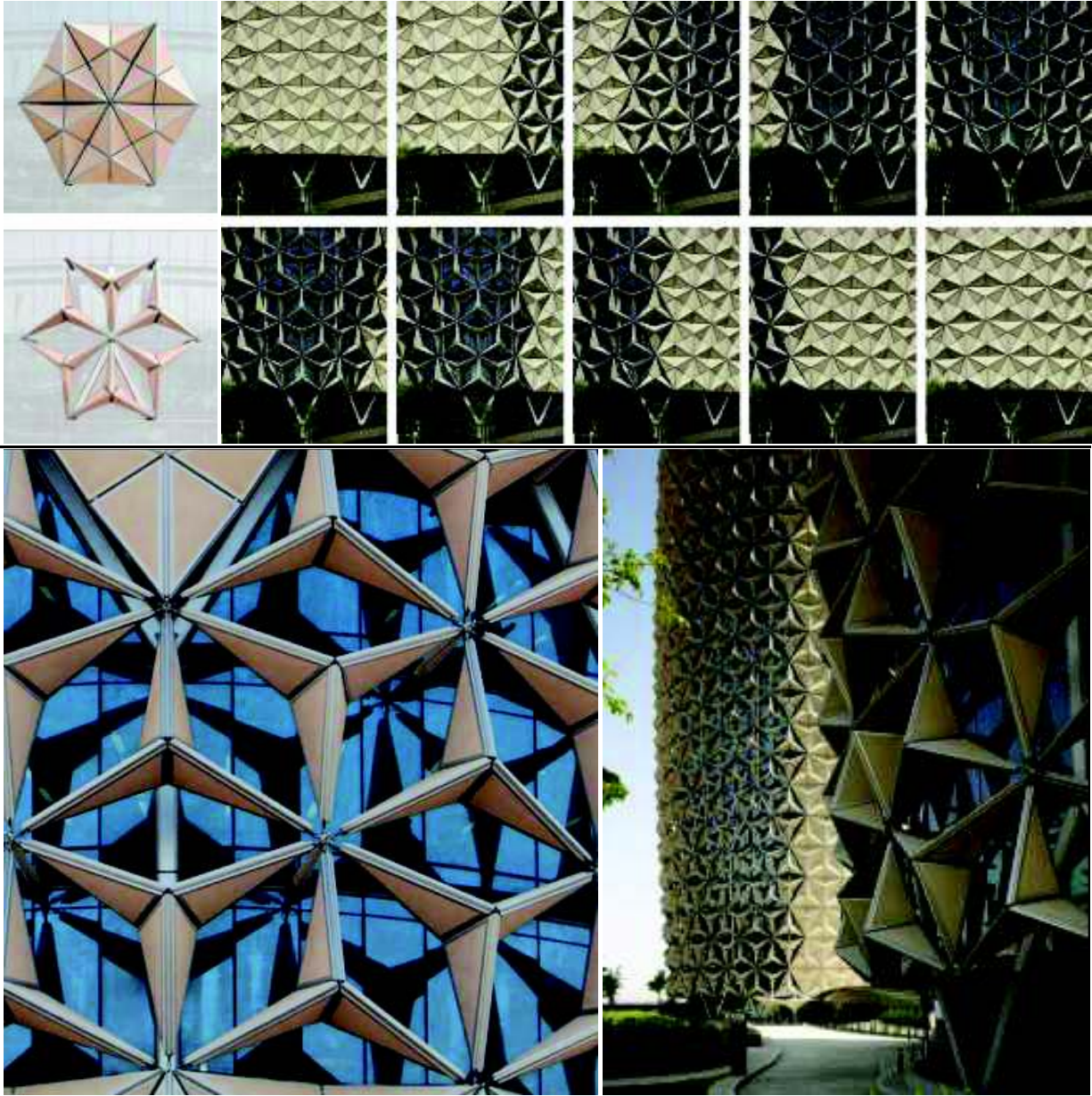


Fig. 2.4 – Turnurile Al Bahar, Abu Dhabi, arh.Aedas Architects [101;71]

- *Sisteme de umbrire amplasate între straturile anvelopei*

În cazul fațadelor duble, sistemul de umbrire cu lamele înguste este poziționat de obicei între cele două straturi de sticlă, combinând avantajele sistemelor interioare cu cele ale sistemelor exterioare. Acest tip de sisteme de umbrire pot conduce la acumulări importante de căldură și la creșterea temperaturii vitrajului.

Procentul radiației solare blocate de sistemul de umbrire (de regulă jaluzele) depinde de coeficientul de reflexie și transmisia energiei solare ( $g$ ). Pentru un sistem de umbrire exterior bine proiectat, valoarea  $g$  este cuprinsă în intervalul 0,1- 0,2, semnificând că 80-90% din radiația solară va fi oprită de sistemul de umbrire. Pentru sistemele de umbrire interioare, valoarea  $g$  se află în intervalul 0,3-0,7 în funcție de tipologie și cromatică. În ambele cazuri (poziționare exterioară sau interioară), se recomandă alegerea unor elemente mobile de umbrire, ideal motorizate și automate, pentru a beneficia de toate avantajele unor astfel de sisteme.

Un sistem hibrid conferă un nivel satisfăcător al controlului radiației solare, reprezentând o alternativă eficientă la sistemele exterioare de umbrire, luând în considerare costurile mai mici de întreținere. Cu toate acestea, indiferent de unghiul de înclinație al lamelelor sistemului hibrid, acesta este mai ineficient în ceea ce privește reducerea necesarului de energie pentru răcire, comparativ cu sistemul de umbrire exterior care oferă cea mai eficientă reducere de energie, atât în timpul anotimpului cald, cât și în cel rece.

#### Comparație sisteme de umbrire fixe - mobile

Spre deosebire de sistemele de umbrire fixe care sunt proiectate doar în scopul umbririi, sistemele mobile pot fi utilizate și pentru controlul acumularilor de căldură, reducerea efectului de orbire și redirectionarea luminii. Sistemele care pot fi operate manual sau mecanizat oferă mai multă flexibilitate datorită posibilității de retractare sau rotire a lamelelor, care răspund astfel condițiilor mediului exterior, așa cum demonstrează și *proiectul Penumbra* conceput de arhitectul Tyler Short (Fig. 2.5). Aflat la nivel de concept, acest proiect oferă o soluție mecanică la o problemă imposibil de rezolvat cu sistemele de umbrire fixe - asigurarea umbririi fațadei atât în cazul altitudinii reduse a soarelui la apus, cât și în cazul celei ridicate din timpul amiezii. Astfel, lamelele verticale se pot roti independent pe două direcții: *axial*, pentru maximizarea protecției solare, iar atunci când soarele ajunge la o altitudine la care lamelele verticale nu ar mai fi eficiente, acestea se rotesc *pe verticală* acționând asemenea unui element de umbrire orizontal și unui „raft de lumină”.

Un caz aparte în care sistemele fixe sunt preferate celor mobile îl constituie sistemele de umbrire ale clădirilor din regiunile fierbinți aflate la latitudini la care soarele se ridică rapid la altitudini ridicate. În acest context sunt recomandate sisteme de protecție solară fixe, luând în considerare eficiența lor pe toată perioada anului.

#### Avantajele sistemelor de umbrire mobile

Sistemele de umbrire mobile au un avantaj clar în fața celor fixe prin capacitatea lor de a se adapta în funcție de amplasarea într-o anumită zonă climatică și cerințele mediului interior. Ele pot fi operate manual sau prin intermediul unui sistem automat care folosește diverse sisteme de senzori.

Sistemele de umbrire mobile sunt elemente cu forme diverse, alcătuite din materiale diferite și parte a anvelopei proiectate. Această funcție a devenit treptat înglobată sistemului de anvelopă, evoluând de la obloanele tradiționale din lemn la lamele metalice, apoi la elemente inserate în anvelopă (de exemplu în cazul *Institutului Lumii arabe* - Fig. 2.6), ca apoi microcomponentele să fie inserate direct în cavitatea dintre

straturile duble din sticlă acționând la comenzi magnetice pentru reglarea gradului de reflexie și control al iluminatului natural.



Fig. 2.5 – Proiectul Penumbra, arh. Tyler Short [38;19]

Inițial sistemele de filtrare a luminii au fost folosite pe porțiunile anvelopei care nu ofereau priveliște utilizatorilor, însă în prezent acestea sunt folosite chiar și în aria vizuală a acestora pentru a crea un efect estetic vizual, dar care poate bloca priveliștea sau conduce la efectul de orbire din cauza contrastului ridicat. Sistemele cu panouri perforate pot oferi în acest sens control solar, permițând pătrunderea luminii naturale și îmbunătățind confortul vizual prin reducerea contrastului luminos al vitrajului.

Fereastra solară reprezintă un sistem hibrid care încorporează celule fotovoltaice și este alcătuită dintr-o serie de reflectori parabolici ajustabili cu aerogel și un colector hibrid. Atunci când reflectorii se află în poziție deschisă, lumina naturală pătrunde în interior și colectorul nu primește energie solară.



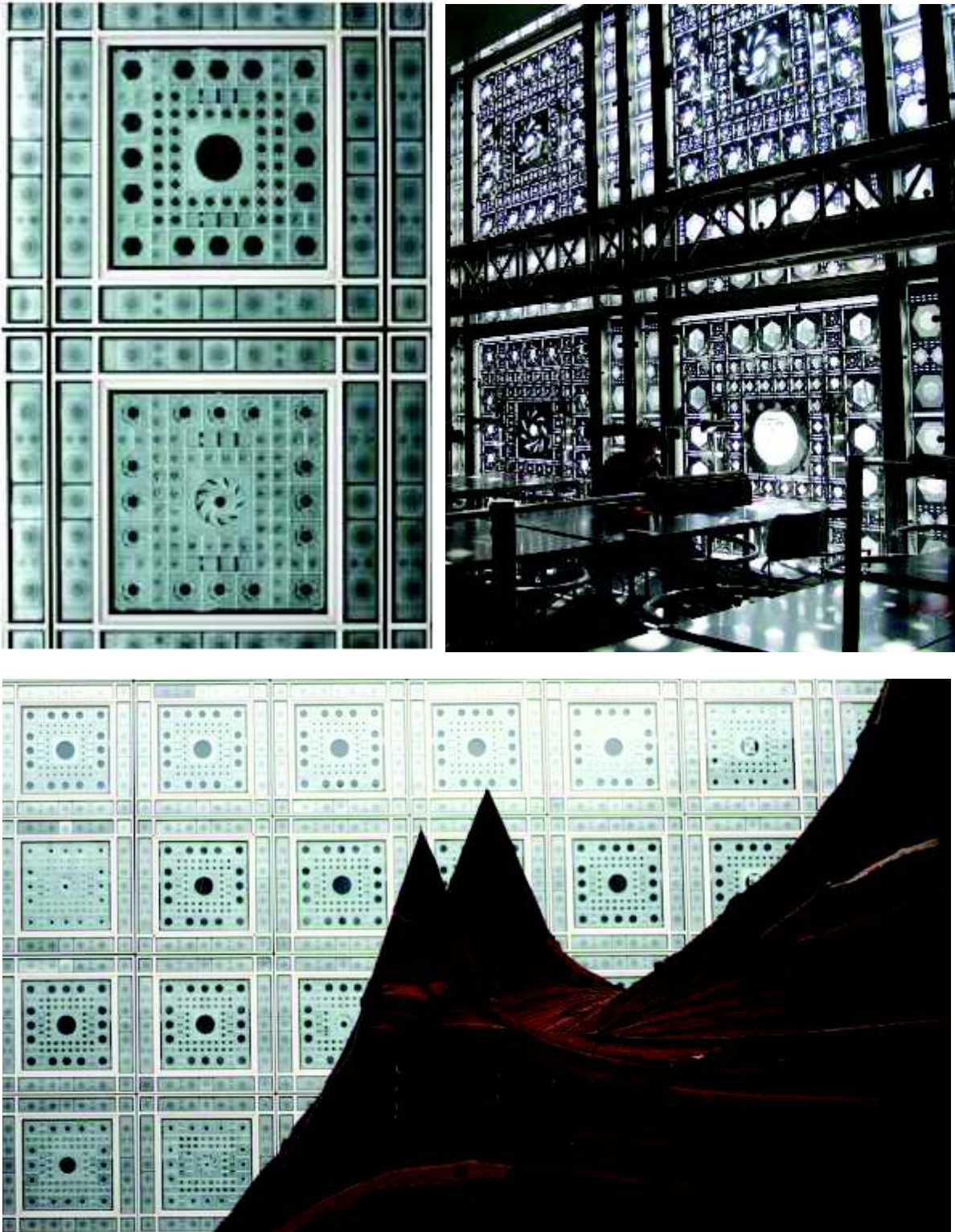


Fig. 2.6 – Institut du Monde Arabe, Paris, arh. Jean Nouvel [105;59]

### - Fereastra solară

Dacă reflectoarele sunt în poziție închisă, întreaga cantitate de lumină este concentrată asupra colectorului, sistemul având un factor de concentrare de 2,45. Energia colectată este folosită pentru a genera căldură și electricitate – Fig. 2.7.

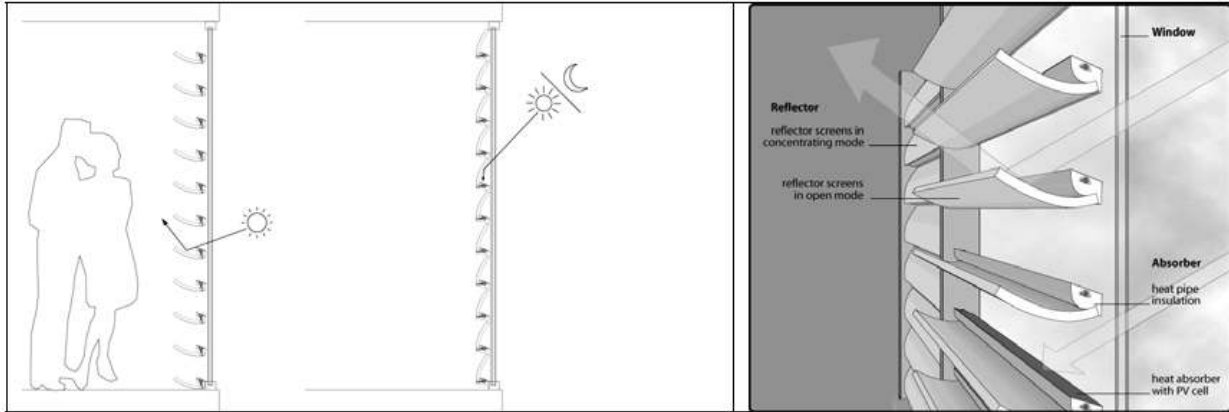


Fig. 2.7– Fereastră solară cu colector hibrid [23]

Seara și în zilele însorite, elementele reflectoare se închid, contribuind la scăderea transmitanței termice a ferestrei datorită izolării pe partea posterioară. Astfel ele au un rol important în reducerea pierderilor de căldură în perioada nopții, precum și în concentrarea luminii solare la maxim în perioada zilelor însorite, acționând totodată ca element de umbră. În timpul zilelor înnorate, lumina difuză nu poate fi concentrată, reflectorii se află în poziție deschisă și oferă mediului interior maximum de iluminat natural. Reflectorii fațadei solare pot fi integrați și pe peretele unei clădiri, idee ilustrată de sistemul utilizat de o clădire din Aneby, Suedia – Fig. 2.8.

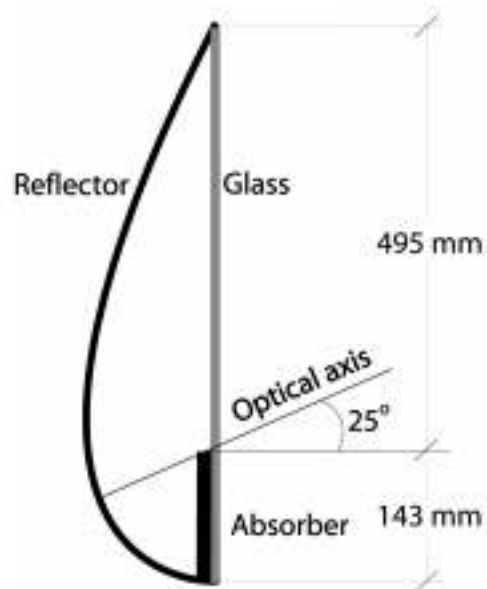


Fig. 2.8 – Fațadă care integrează colectori solari cu absorbție pe ambele fețe [23]

### 2.2.3 Anvelope cu izolație termică variabilă

#### Premise

Gradul de izolare termică a componentei opace a anvelopei a crescut semnificativ în ultimele decenii cu scopul de a conserva energia necesară încălzirii și răcirii. Separația termică dintre mediul interior și cel exterior, deși necesară, împiedică transferul de energie cu efect pozitiv asupra balanței energetice, care permite acumulările de căldură în perioada iernii și ventilarea pasivă în perioada verii. Astfel, performanța termică a anvelopei poate fi optimizată prin adaptarea transmitanței termice a stratului izolator în funcție de context.

#### Avantaje față de anvelopa tradițională

Aplicată unei fațade sudice, izolația termică adaptabilă transformă radiația solară incidentă în căldura utilizabilă care este transmisă în spațiul interior dacă termosistemul este în poziția cu rezistență termică scăzută (Fig. 2.9 a). Acesta proces are loc în cazul în care este necesară încălzirea mediului interior și intensitatea radiației solare este suficient de ridicată. În zilele reci de iarnă fără soare și în zilele de vară fierbinți, sistemul funcționează cu un grad de izolare termică ridicat (Fig. 2.9 b), având o transmitanță termică de aproximativ  $0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Stratul izolator trebuie acoperit cu un panou de sticlă pentru a se forma un strat de aer care reduce pierderile de căldură ale elementului absorbant (Fig. 2.9 c).

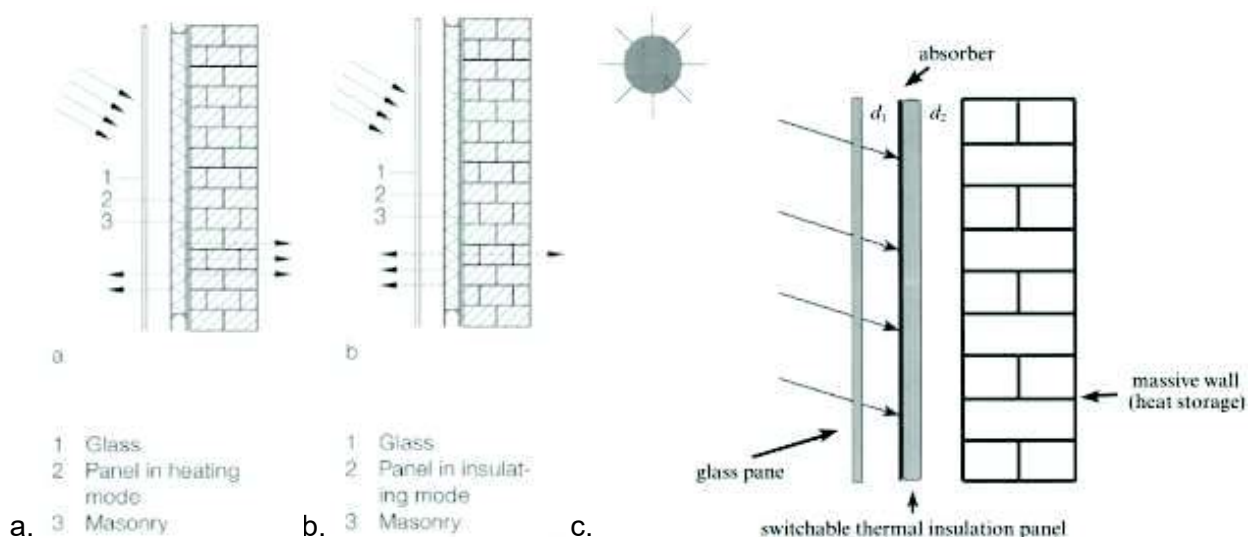


Fig. 2.9 – Izolație termică în poziția cu rezistență termică: a. scăzută; b. ridicată; c. Secțiune prin fațada unei clădiri cu izolație termică variabilă [24;25]

Un alt beneficiu al utilizării acestei tehnologii este reducerea complexității și greutateii sistemelor termoizolatoare existente. Fluxul termic este reglat atât în funcție de mediul interior, cât și de cel exterior, temperatura fiind reglată în mod eficient prin echilibrul dintre căldura corporală generată și absorbția căldurii, limitarea pierderilor de căldură și efectul de supraîncălzire.

Izolația termică adaptabilă poate oferi multiple avantaje și în cazul integrării la nivelul planșeelor în contact cu solul sau al acoperișurilor. În perioada iernii acoperișul cu izolație adaptabilă utilizează acumulările de căldură din timpul zilei, iar în timpul nopților de vară, răcirea prin convecție și radiație.

Performanța acestei componente este influențată de o serie de factori cum sunt:

- *proprietățile termice ale anvelopei;*
- *sarcina termică interioară;*
- *masa termică a clădirii.*

Izolația termică variabilă oferă protecție pentru un ecart mai mare de temperaturi, fiind alcătuită din unul sau cel mult două straturi. În timp ce sistemele tradiționale presupun sisteme stratificate complexe și voluminoase, un sistem cu reglare automată sau cu parametri variabili reprezintă soluția ideală pentru a controla gradul de izolare termică a anvelopei.

### Tehnologie

De regulă, sistemele cu izolație termică adaptabilă sunt alcătuite din panouri ermetice umplute cu gaz, având pelicule polimerice aluminizate și structură de tip fagure în interior. Coeficientul de conductivitate termică depinde de caracteristicile gazului, în cazul umplerii cu aer, atingând valorile materialelor izolatoare tradiționale (0,031 W/mK). Panourile pot fi umflate sau dezumflate prin intermediul unei duze, rezistența termică tinzând spre zero atunci când sunt dezumflate, datorită grosimii reduse.

O altă soluție o reprezintă panourile izolatoare vacuumate adapatabile. Existente doar la nivel de prototip, ele sunt alcătuite din panouri poroase vacuumate (de exemplu din dioxid de siliciu) învelite într-o folie cu rol de barieră. Coeficientul de conductivitate termică este de 0,004 W/mK, putând crește de 40 de ori atunci când presiunea gazului din interior crește prin aplicarea unei tensiuni electrice de 5 W/mp. Există de asemenea prototipuri pentru aplicații ale panourilor izolatoare vacuumate adapatabile în cadrul pereților Trombe pentru acumulări de căldură.

Un alt tip de izolație termică variabilă poate fi alcătuită din sisteme de izolare termică care combină elemente din fibre structurale reactive termic pentru a alcătui o vată cu izolație termică și posibilitatea de a își modifica grosimea în funcție de condițiile climatice. Conceptul optimizează secțiunea transversală, asocierea de materiale diferite și prelucrarea componentelor din fibră pentru a beneficia de efectele coeficienților diferențiați de dilatare termică. Fibrele bicomponente cu răsucire elicoidală se transformă de la forma de bază în forme tridimensionale pentru a produce volumul variabil dorit. Rețeaua de fibre structurale produce o țesătură auto-reglabilă care se poate transforma dintr-o configurație plată, cu rezistență termică redusă la o configurație cu grosime semnificativă și rezistență termică ridicată. Grosimea totală a stratului izolator se modifică atunci când izolația din fibre bicomponente este expusă la temperaturi ambientale diferite.

În curs de dezvoltare este izolația termică variabilă care presupune utilizarea energiei solare. Ea urmărește scăderea complexității sistemului și a costurilor de fabricare, păstrând în același timp o eficiență energetică cel puțin egală cu cea inițială. Izolația termică variabilă este combinată cu materiale care își pot modifica proprietățile optice (optical swiching materials - OSM) pentru îmbunătățirea proprietăților sistemului, în special pentru reducerea temperaturilor suprafețelor exterioare ale anvelopei în timpul

verii (când stratul termoizolator are rezistență termică ridicată). În plus, OSM pot fi de asemenea utilizate pentru un iluminat natural mai eficient.

### Proiectare

Proiectul *Bubble Building* (Fig. 2.10) utilizează perne de aer pentru a acoperi o clădire existentă.

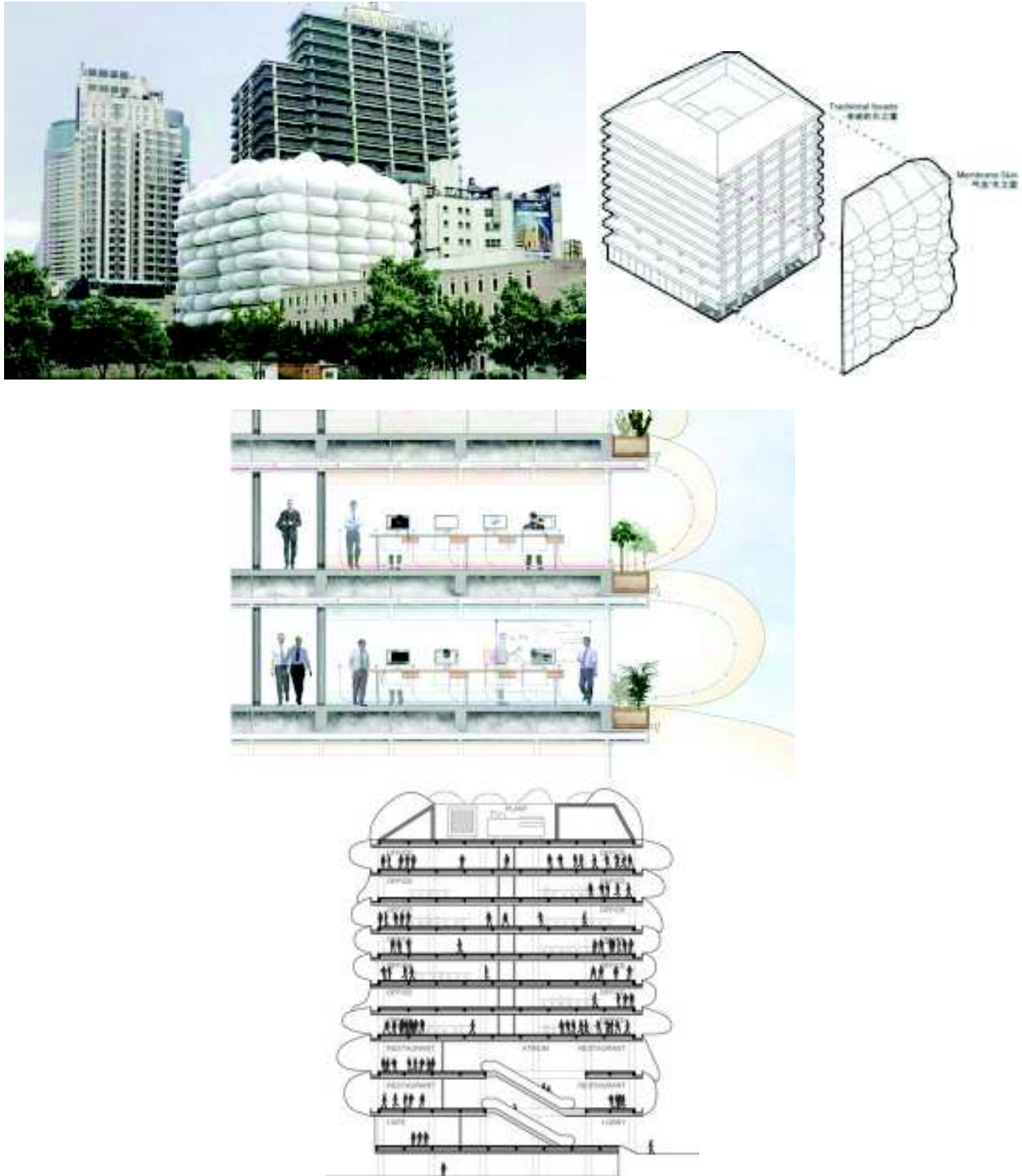


Fig. 2.10 – Proiectul Bubble Building, Shanghai [100]

Noua anvelopă va fi bine ventilată și pretensionată la maxim în timpul zilei atunci când numărul de utilizatori este maxim și se va dezumfla în timpul nopții. Aerul dintre anvelopa existentă și membrana de nailon va acționa ca izolație termică și mediu pentru plantele din jardiniere, creându-se un climat asemănător serelor, care menține stabile condițiile din cavitatea pernei, independent de parametrii mediului exterior. Anvelopa este dinamică, schimbându-și mereu forma, o problemă însă fiind obturarea perspectivelor exterioare.

## **2.2.4 Anvelope cu perne de aer ETFE**

### Premise

ETFE (ethylene tetrafluoroethylene) este un material ușor, folosit tot mai des în domeniul construcțiilor datorită transmisiei ridicate a energiei solare și potențialului pe care îl are în economia de energie. Bazele construirii cu membrane ETFE sunt puse de Otto Frei la construcția Stadionul Olimpic din München, Germania. Acest sistem se bazează pe principiul curbelor care se contracarează și pe pretensionarea membranelor. În anii 1980 au avut loc mai multe încercări de utilizare a membranelor ETFE în sisteme de perne de aer stabilizate pneumatic. Acest material a transformat industria construcțiilor în ultimii 30 de ani, remacându-se la numeroase clădiri prestigioase.

Deși membranele ETFE au o transmisivitate a energiei solare de 95%, nu poate oferi aceeași vizibilitatea și transparență ca sticla, motiv pentru care inițial acest material a fost folosit la proiectele unor grădini botanice, grădini zoologice, bazine de înot sau spații de expoziție. Cu toate acestea, materialul devine tot mai utilizat în cadrul: clădirilor tradiționale la acoperirea unor curți interioare, mall-uri, atriumuri, spații comerciale.

Pernele de aer cu membrane ETFE conferă izolare termică la costuri mici, în timp ce structura necesară susținerii este mult redusă în comparație cu o anvelopă din sticlă. Întrucât folia ETFE nu este în întregime opacă la radiația de undă lungă, aceasta nu poate fi tratată asemenea unei anvelope standard din sticlă.

### Tehnologie

Atunci când sunt folosite în cadrul anvelopei, membranele ETFE sunt adesea asamblate ca perne de aer, din motive structurale, și se constituie din două sau mai multe straturi de folie unite pe muchii. Pernele de aer sunt pretensionate pneumatic pentru a oferi suport structurii și izolație termică totodată. Se pot obține suprafețe mari, permitând proiectarea unor spații cu deschideri semnificative. Fiind un material ușor și având rezistență sporită, conturul pernelor de aer poate avea o infinitate de forme, iar încărcarea totală exercitată asupra structurii este redusă.

Pretensionarea pneumatică cu un strat de aer la presiune mică oferă pernei o formă stabilă. Pernele de aer sunt fixate de keder prin tubulaturi conectate la o structură ușoară fixată pe structura de susținere (Fig. 2.11), creând cadrul pe care sunt montate pernele.

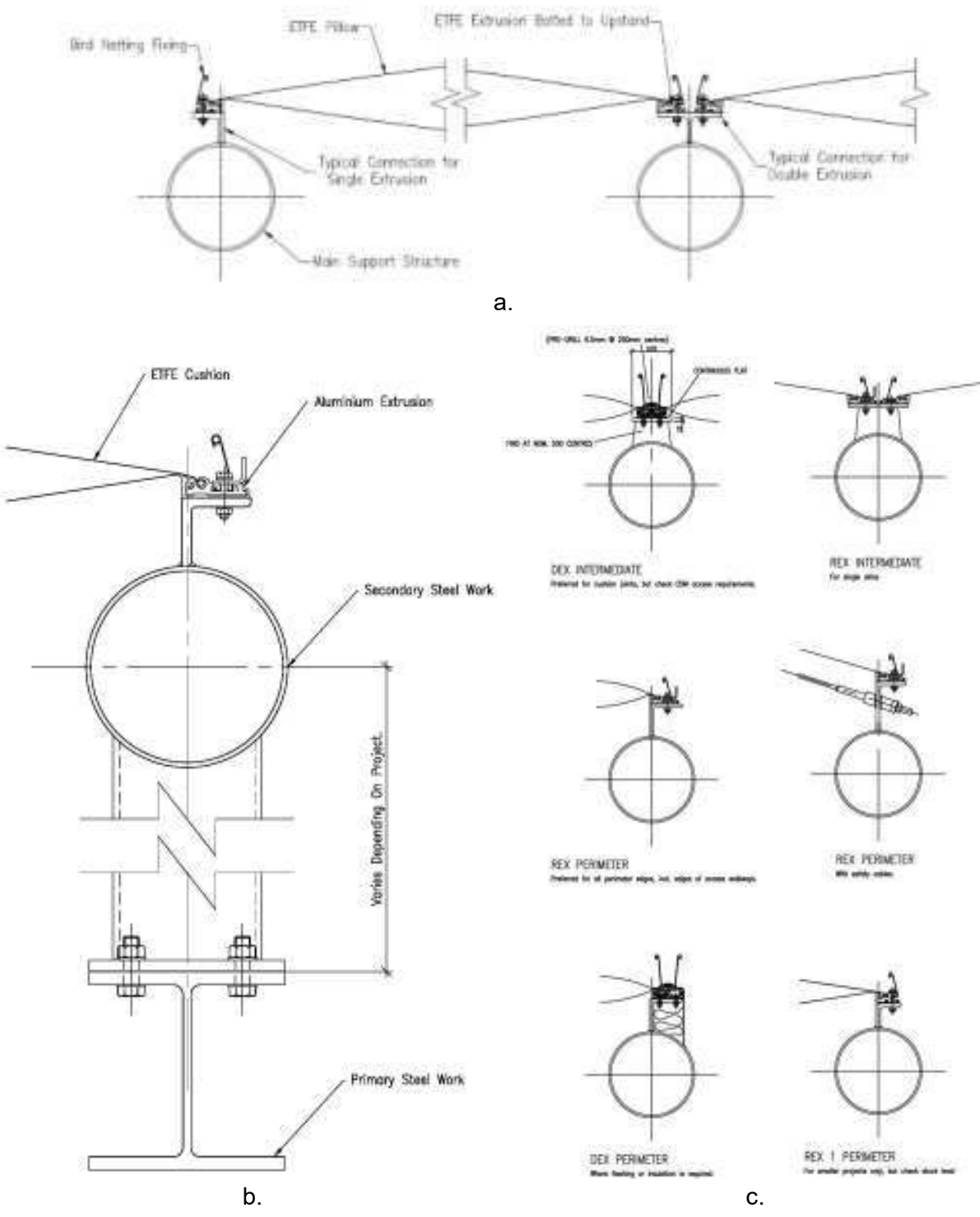


Fig. 2.11 – a. Secțiune tipică prin pernele de aer ETFE; b. Detaliu de prindere perimetrală la structura din oțel; c. Detalii de structură pe conturul pernelor de aer [62]

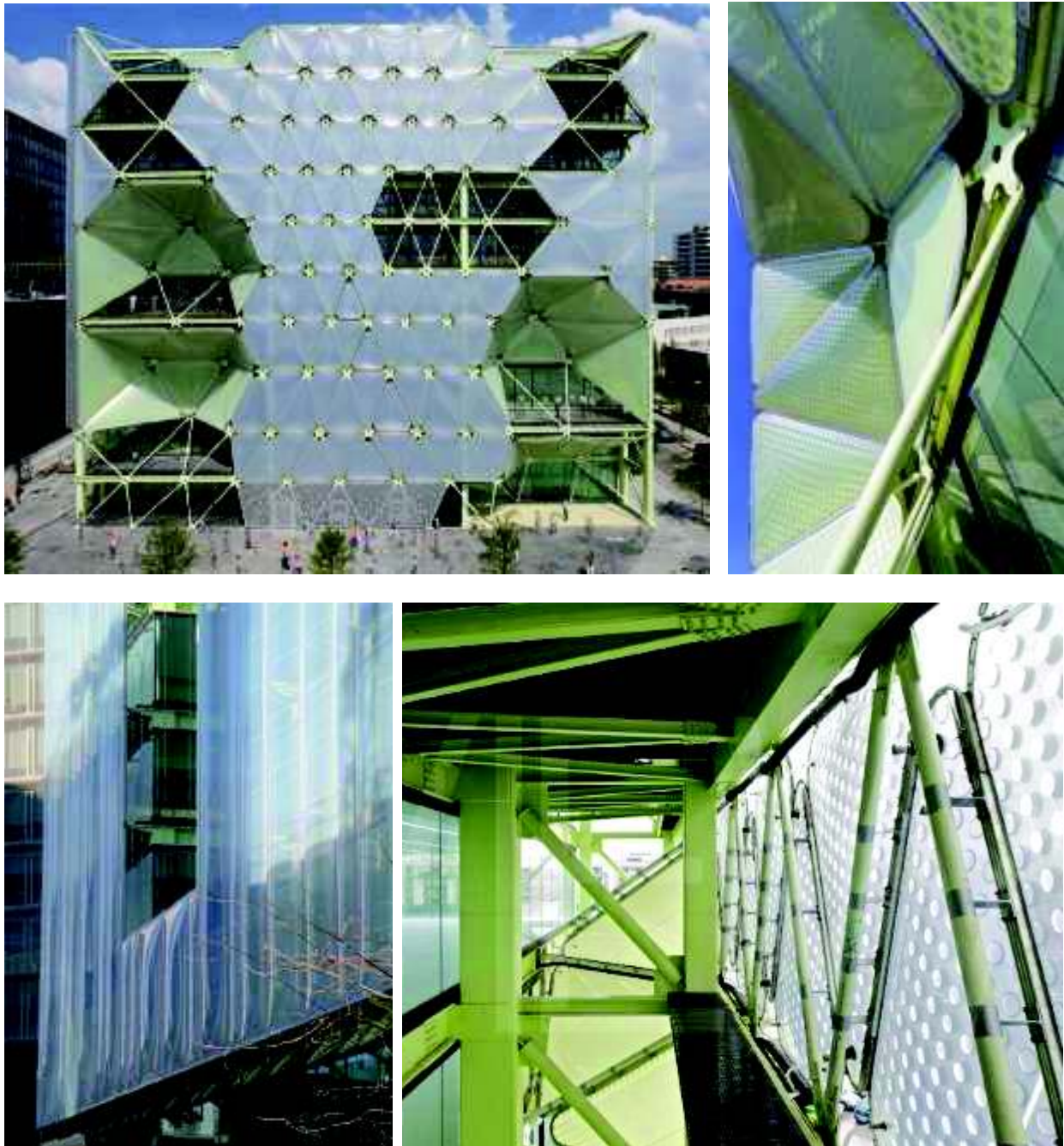


Fig. 2.12 – Media – ITC Building, Barcelona [93]

Pernele pot fi modelate în orice formă, de exemplu diamant sau triunghiulară (Fig. 2.12), sau pot avea margini curbate (Fig. 2.13). Foliile au grosimi cuprinse între 100 și 250 de micrometri, sunt decupate în forma dorită și sudate pentru a forma pernele.





Fig. 2.13- Kensington Academy, Londra [61]

Proprietăți optice și termice:

- Rezistență la temperaturi scăzute, până la  $-160^{\circ}\text{C}$ ;
- Valore mare a transmittanței energiei solare, inclusiv pentru radiația UV;
- pentru radiația UV;
- Stabil la radiația UV, rezistent la intemperii și îmbătrânire;
- Transmittanța energiei solare: 0,48 în cazul unei perne de aer ETFE cu două membrane, dintre care una serigrafiată; 0,35 în cazul uneia cu trei membrane;
- Transmittanța termică a unei membrane  $U=5,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ ;
- Transmittanța termică a unei perne de aer ETFE cu trei membrane  $U=1,96 \text{ W/m}^2\text{K}$ ;
- Rezistență la foc – clasa B1.

Expuse mai mult de 30 de ani la condiții meteorologice naturale și artificiale, pernele de aer ETFE nu au suferit modificări majore, neînregistrându-se descompuneri sau

deteriorări nici atunci când s-au înregistrat valori ridicate ale poluării aerului sau ale radiației UV. Materialul este stabil la radiațiile UV, neavând nevoie de aditivi chimici adiționali. Mai mult, foliile ETFE sunt în întregime reciclabile și pot fi reintroduse în procesul de fabricație. Datorită suprafeței neadezive, sistemele ETFE au și funcție de auto-curățare, murdăria fiind spălată de ploaie.

### Proiectare

La proiectarea pantei și geometriei pernelor de aer trebuie luată în considerare apa rezultată în urma ploilor sau din topirea zăpezii. De obicei apele meteorice sunt dirijate spre perimetrul acoperișului unde sunt preluate de sistemul pluvial principal al clădirii. Dacă se consideră necesar, se pot incorpora și rigole (Fig. 2.14), dar acestea nu sunt incluse de regulă în cadrul sistemelor de perne ETFE. În cazul în care acumulările de apă, zăpada sau încărcările din acțiunea vântului suprasolicită pernele de aer, poate fi necesară susținerea acestora cu cabluri metalice. Apa staționară rezultată din topirea zăpezii și cea pluvială poate staționa pe pernele depresurizate generând defecțiuni. Această situație este însă una temporară, pernele revenind la forma inițială atunci când apa este eliminată și presiunea este restaurată.

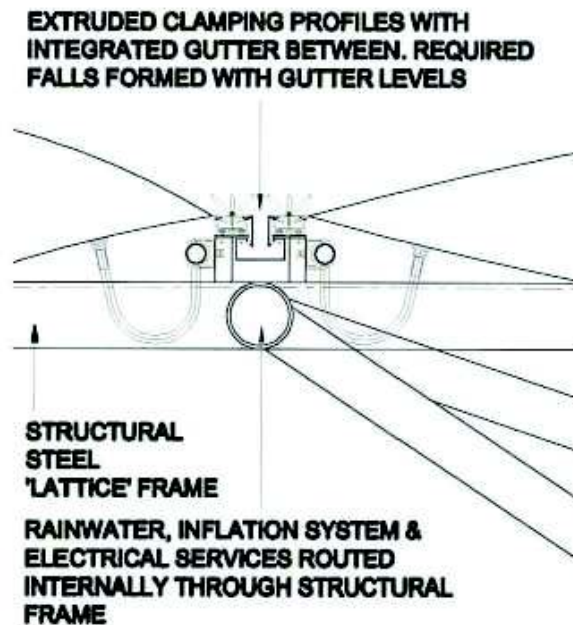


Fig. 2.14 – Detaliu: posibilitate de incorporare a rigolelor pentru colectarea apelor meteorice [62]

### Tehnologie

După instalare, pernele de aer sunt supuse unei presiuni de 200 Pa care pretensionează și alungesc foliile pentru a conferi pernelor forma de bază. În cazul expunerii la încărcări temporare, una dintre membrane este întinsă în timp ce membrana opusă este detensionată. Dacă o încărcare temporară depășește de două ori presiunea interioară a pernei, doar una dintre membrane susține această încărcare. În cazul încărcărilor de lungă durată, aerul interior este eliminat atunci când încărcarea depășește presiunea interioară, întrucât pernele de aer nu sunt sisteme închise. Într-un astfel de caz foliile se suprapun, contribuind la preluarea încărcării.

Simulările pentru calculul energetic al clădirilor care integrează pernelor cu aer ETFE sunt dificile din cauza caracteristicilor optice ale materialului, deoarece programele prezente nu iau în considerare radiația de undă lungă, pernele de aer fiind considerate în mod simplificat ca vitraje din sticlă. În funcție de destinația clădirii, modul de proiectare, orientare și amplasare geografică, această simplificare poate afecta acuratețea simulărilor de performanță a clădirii.

Unul dintre principalele avantaje ale utilizării membranelor ETFE este rezistența termică ridicată obținută pentru module cu deschideri mari. Tabelul 2.1 prezintă o comparație a valorilor transmitanței termice (U) și transmisiei energiei solare totale (g) a pernelor de aer ETFE comparativ cu vitrajele de sticlă.

Tabelul 2.1 – Comparație a proprietăților termice și optice ale pernelor de aer ETFE și vitrajelor din sticlă

	U (W/m <sup>2</sup> K)	Transmisia energiei solare totale g
Sticlă monolit 6 mm	5,9	0,95
Sticlă dublă 6-12-6 mm	2,8	0,83
Sticlă dublă cu performanță ridicată 6-12-6 mm	2,0	0,35
Perne de aer cu 2 membrane ETFE	2,9	0,71-0,22 (cu imprimarea foliilor)
Perne de aer cu 3 membrane ETFE	1,9	0,71-0,22 (cu imprimarea foliilor)
Perne de aer cu 4 membrane ETFE	1,4	0,71-0,22 (cu imprimarea foliilor)

Proprietățile termice și optice ale pernelor de aer ETFE pot fi îmbunătățite semnificativ prin aplicarea altor straturi, imprimare și geometrie. Un exemplu de modificare a fluxului de energie printr-o pernă de aer ETFE îl constituie aplicarea unei pelicule reflectante pe membranele intermediare.

Camera de aer intermediară poate fi umflată sau dezumflată, permitând sau blocând radiația solară și acumulările de căldură în spațiul interior (Fig. 2.15 a). Aplicarea unor pelicule cu emisivitate mică sau cu funcție de control solar pot reduce pierderile de căldură pe timpul nopților de iarnă sau diminua efectul de supraîncălzire pe timpul verii (Fig.2.15 b).

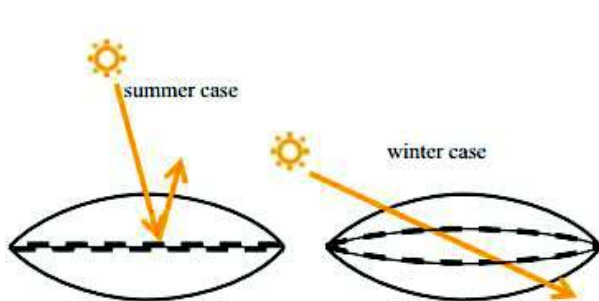


Fig. 2.15 a – Aplicarea unei pelicule reflectante pe membranele intermediare [43]

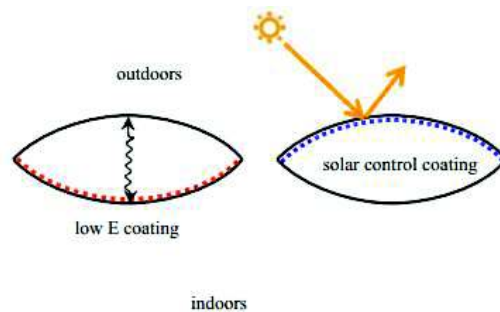


Fig. 2.15 b – Aplicarea unor pelicule cu emisivitate mică sau cu funcție de control solar [43]

Pernele de aer ETFE au de regulă două sau trei camere de aer al căror transfer termic prin convecție influențează performanța termică.

O diferență majoră dintre membranele ETFE și sticlă o constituie modul prin care radiația de undă lungă este blocată sau transmisă. Astfel, membranele ETFE transmit o parte din radiația cu lungime mare de undă, în timp ce sticla o blochează în întregime.

Transmitanța luminii din spectrul vizibil a membranelor ETFE este de 94-97%, iar cea a ultravioletelor de 83-88%. Din intervalul spectrului vizibil, frecvențele sunt transmise în mod egal, culorile observate prin intermediul membranei nefiind modificate.

## **2.2.5 Anvelope cu bioreactoare cu alge**

### Premise

Biomasa reprezintă cea mai importantă sursă de energie regenerabilă, dar până de curând nu exista nici o tehnologie disponibilă pentru utilizarea sa în cadrul unei clădiri. În urma unui concurs internațional din anul 2010 echipa Arup's Materials Consulting and Building Physics din Berlin a conceput un sistem de fațadă alcătuit din panouri cu fotobioreactoare care funcționează ca sisteme exterioare de umbrire. Constituite din recipiente transparente, acestea facilitează fotosinteza într-un mediu controlat. Speciile care se dezvoltă rapid, cum sunt microalgele, circulă în volumul de apă al panoului împreună cu nutrienții, absorbind lumina și dioxidul de carbon și producând biomasă și energie termică solară. Panourile sunt conectate printr-o buclă închisă la nivelul camerei de instalații unde are loc alimentarea cu dioxid de carbon din procesele de combustie din zonă. Algele sunt recoltate și transformate în metan, fie pe sit, fie în afara acestuia. Căldura generată este extrasă din sistem prin schimbătoare de căldură și înmagazinată geotermal sau readusă în clădire pentru încălzire și apă caldă prin intermediul unei pompe de căldură.

### Tehnologie

Microalgele sunt amplasate în recipiente transparente, subțiri, rectangulare, fiind ulterior atașate schelelor exterioare clădirii și rotindu-se automat în funcție de poziția soarelui, asemenea colectoarelor solare. De asemenea, un sistem automatizat alimentează sistemul cu dioxid de carbon și nutrienți pentru alge care trăiesc în soluția apoasă din interiorul fiecărui panou. Alegele conferă umbrire clădirii, având un rol important și în reducerea poluării fonice. Căldura colectată în apă este transferată unui colector subteran pentru utilizare ulterioară.

Dezvoltarea alegelor este monitorizată, acestea fiind recoltate la anumite perioade pentru a fi convertite în cadrul unui laborator în biogaz, folosit ulterior la încălzirea clădirii pe timpul iernii.

Utilizarea algelor pentru a asigura un iluminat optim poate fi dificilă. Microalgele absorb o parte a energiei solare și o folosesc pentru procesul de fotosinteză, astfel încât odată cu creșterea concentrației microalgelor din reactor, crește cantitatea de energie absorbită, precum și opacitatea soluției cu nutrienți care conține microorganismele.

Prima aplicație din lume a panourilor cu alge integrate o constituie proiectul unei clădiri rezidențiale cu 4 etaje din Hamburg (2013) (Fig. 2.16), cu o suprafață de 200 m<sup>2</sup>.



Fig. 2.16 –Proiectul BIQ House, Hamburg [80;96]

Clădirea a fost finanțată de Expoziția Internațională de Construcții de la Hamburg, în urma prezentării unui prototip la Târgul de Construcții BAU din München 2011. *Proiectul BIQ House* are la bază un concept holistic, energia necesară generării electricității și căldurii provenind din resurse regenerabile, fără aport din combustibili fosili. Anvelopa generează energie datorită biomasei extrase din microalge, absorbției radiației solare de alge și generării de căldură pe același principiu ca o unitate solară. Energia colectată poate fi folosită direct pentru asigurarea apei calde și încălzirii sau poate fi stocată în pământ utilizând schimbătoare de căldură forate (cavități cu adâncime de 80 m umplute cu apă sărată).

Proiectul pilot din Hamburg demonstrează fezabilitatea tehnică a sistemului, devenind o oportunitate în a arăta și beneficiile sale economice legate de generarea energiei termice și înlocuirea sistemelor de umbrire mecanice, pe lângă producerea de biomasă și absorbția carbonului. Întrucât sistemul permite absorbția dioxidului de carbon și înmagazinarea energiei solare sub formă de biomasă fără a avea pierderi, poate deveni un sistem complementar sistemului fotovoltaic pentru viitoarele clădiri autonome energetic și cu zero emisii de carbon.

*Potențialul și beneficiile integrării bioreactoarelor cu alge în anvelopa clădirii:*

- generarea biomasei ca sursă de energie regenerabilă în contextul urban, energia netă captată calculată fiind de aproximativ 30kWh/m<sup>2</sup>/an;
- generarea unei energii termice solare adiționale de aproximativ 30kWh/m<sup>2</sup>/an;
- absorbția dioxidului de carbon direct de la sursa agenților de emisie domestici sau industriali;
- sistem de umbrire auto-adaptabil;
- expresie arhitecturală dinamică.

### Proiectare

Pentru obținerea unor rezultate optime, elementele individuale ale reactorului trebuie să urmărească mișcarea soarelui, având grijă totodată ca radiația solară incidentă să nu fie prea intensă și să conducă la inhibarea dezvoltării microalgelor și reducerea biomasei. O altă posibilă problemă o reprezintă sensibilitatea termică, sistemele amplasate în exteriorul clădirii fiind supuse variațiilor de temperatură sezoniere, spre deosebire de cele amplasate în interior. Astfel, rata de productivitate este afectată de temperaturile scăzute în special din perioada sezonului rece, ceea ce reduce considerabil raportul cost-beneficiu, având în vedere costurile inițiale ale sistemului care impun obținerea unor rezultate optime. Mai mult decât atât, sistemele deja implementate au demonstrat că energia necesară pentru alimentarea cu nutrienți și dioxid de carbon crește proporțional cu înălțimea clădirii.

În plus față de aspectele biologice și tehnologice, integrarea optimă a fotoreactoarelor în anvelopa clădirii presupune utilizarea lor la scară mare, eficiența energetică neputând fi atinsă în cazul unor utilizări restrânse. Condițiile locale trebuie să ofere suficient spațiu pentru instalațiile și cisterne de mari dimensiuni, luând în considerare descompunerea rapidă a biomasei. Un alt aspect important îl constituie monitorizarea sistemului.

Acest tip de fațadă demonstrează abilitatea anvelopei de a deservi mai multe funcțiuni în viitor, depășind ideea tradițională de îmbrăcăminte estetică cu rol doar în protecția împotriva intemperiilor și fluctuației temperaturilor exterioare. Mai mult, aplicat fațadelor

sud-estice și sud-vestice ale clădirii, sistemul îndeplinește și funcții convenționale: izolare din punct de vedere acustic și termic; umbrire atunci când este cazul.

Utilizarea proceselor bio-chimice în cadrul fațadei pentru a conferi umbrire mediului interior reprezintă o soluție sustenabilă cu potențial ridicat în producerea energiei în zonele urbane, folosind un concept inovativ. Cu toate acestea, trebuie luată în considerare cantitatea radiației solare din zona respectivă, indiferent de orientarea cardinală a panourilor cu bioreactoare, alegele având nevoie de iluminat abundent pentru a se dezvolta. Deși alimentată prin circuitul cu apă cu nutrienți lichizi și dioxid de carbon comprimat, fără elementul cheie – fotosinteza – anvelopa cu alge are o productivitate scăzută în perioada iernii. Pe timpul verii panourile devin mai opace (concentrația de alge fiind mai mare) și asigură un mediu interior răcoros, fără sau cu aport redus al sistemului de aer condiționat.

*Urban Algae Canopy* (Fig. 2.17) este un proiect prezentat la Expoziția de la Milano 2015 și face parte dintr-un proiect mai amplu - „Future Food District”. Acest sistem de umbrire este capabil să producă echivalentul de oxigen a patru hectare de pădure și 150 kg de biomasă pe zi, combinând culturile de microalge cu protocoale digitale de cultivare în timp real. Structura este capabilă să controleze fluxurile de energie, apă și dioxid de carbon utilizând ca date de intrare mișcarea vizitatorilor și parametrii de mediu.

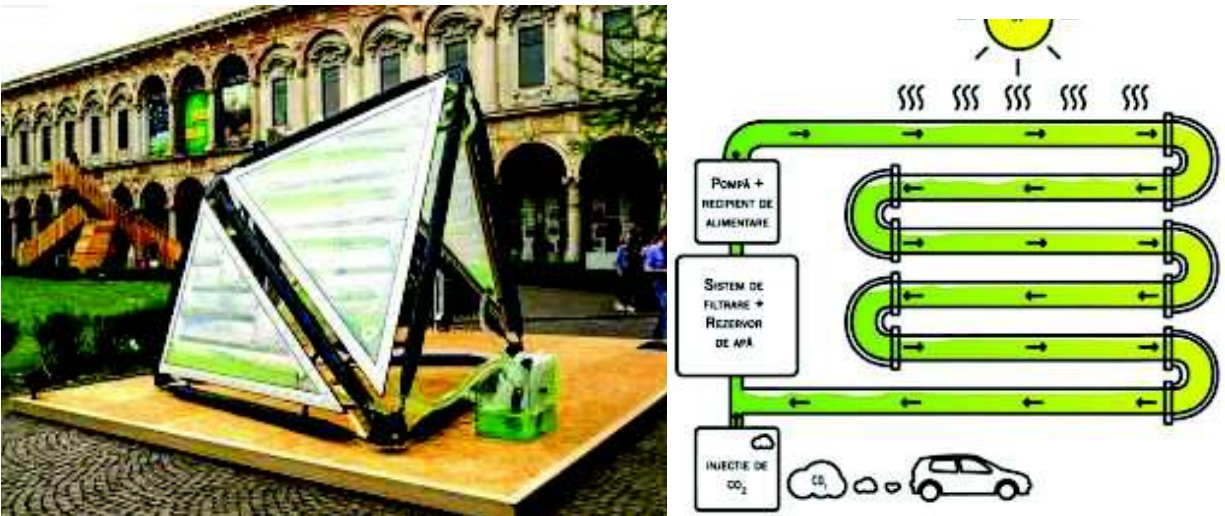


Fig. 2.17– Urban Algae Canopy [96]

Sistemul este alcătuit din trei straturi de membrane ETFE și mediul dezvoltării microorganismelor, apa care circulă prin structură. În ceea ce privește funcționarea, sistemul combină tehnologia și biologia, astfel încât pe măsură ce intensitatea radiației solare se intensifică, sporește procesul de fotosinteză și înmulțire a algelor, reducând transparența sistemului și oferind mai multă umbrire. Întrucât baza proiectului o constituie microalgele, acest sistem este adaptabil, vizitatorii putând să influențeze comportarea sa în timp real. Astfel, transparența, culoarea și capacitatea de umbrire a sistemului este rezultatul relației dintre climat, micro-alge, vizitatori și sistemul de control digital. Proiectul reprezintă o sinteză între tehnologie și natură, promovând o arhitectură care estompează granița dintre ele, specifică perioadei mecano-tehnologice.

Alegele pot deveni astfel o sursă curată și ieftină de energie, dezvoltată în bioreactoare, utilizând doar lumină, apă uzată și dioxid de carbon. Panourile din sticlă pot fi montate

pe fațada clădirii, oferind și un alt beneficiu legat de eficientizarea sistemului de termoizolație.

## 2.2.6 Anvelope din materiale inteligente

Anvelopele din materiale inteligente presupun încorporarea unor dispozitive care controlează nivelul de adaptabilitate, transformând fațada într-un moderator climatic și oferind clădirii posibilitatea de a accepta sau nu energia provenită din mediul extern prin ajustarea cantității de energie necesare atingerii unor condiții confortabile pentru mediul interior. În acest sens fațadele cu materiale inteligente își pot modifica masa termică (materiale termotropice, materiale cu schimbare de fază), controlul umidității (gel de siliciu), nivelul iluminatului și al perspectivei (materiale electrocromate, cristale lichide, fotocromate, particule suspendate, termocromate, termotropice).

Materialele inteligente se pot modifica la nivelul structurii materialului, răspunsurile fiind activate fie de factori ai mediului extern, fie prin aplicarea unui curent electric. Dezavantajul principal al materialelor activate de parametrii mediului exterior constă în faptul că răspunsul lor poate să nu concidă cu necesitățile mediului interior. Controlul iluminatului, căldurii și perspectivei are loc concomitent, răspunsul la unul dintre factorii externi putând să nu coincidă cu răspunsul dorit pentru alții. Ca urmare, accentul se pune pe dezvoltarea materialelor cromate activate electric.

Sistemele cu proprietăți optice variabile definesc clasa materialelor fotocromate, termocromate, mecanocromate și electrocromate - Fig. 2.18. Tehnologiile care stau la baza materialelor electrocromate includ dispozitive cu cristale lichide și particule suspendate care își schimbă culoarea sau gradul de transparență atunci când sunt activate electric, modificările proprietăților optice ale materialului (gradul de absorbție sau reflexie) constituind răspunsuri la sursa electrică externă.

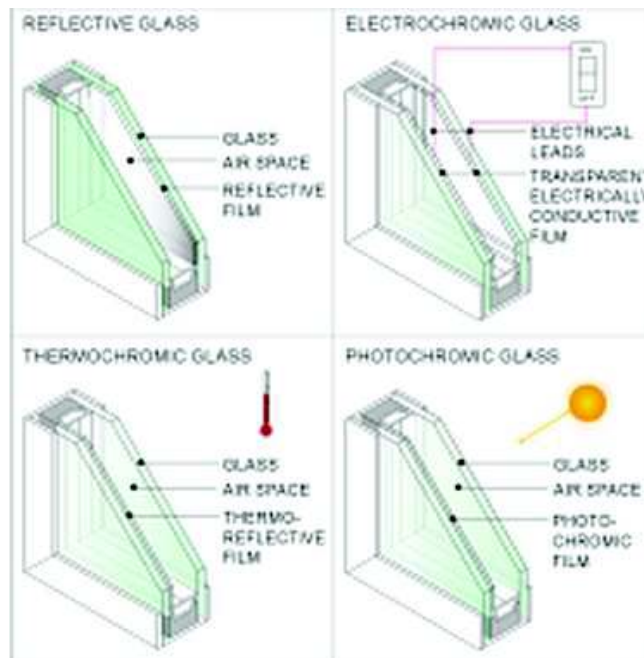


Fig. 2.18- Sistemele cu proprietăți optice variabile: fațade cu materiale electrocromate, termocromate și fotocromate



- Vitrajele din sticlă electrocromată își schimbă proprietățile optice, transformându-se din transparente în translucide de culoare închisă și blocând pătrunderea energiei solare fără a împiedica vizibilitatea (Fig. 2.19). Modificarea culorii sau a gradului de transmisie a energiei solare are loc prin aplicarea unei tensiuni electrice reduse printr-un strat microscopic intermediar încorporat. Activarea energiei electrice poate fi realizată de utilizator sau de sistemul managerial al clădirii prin intermediul unor senzori.

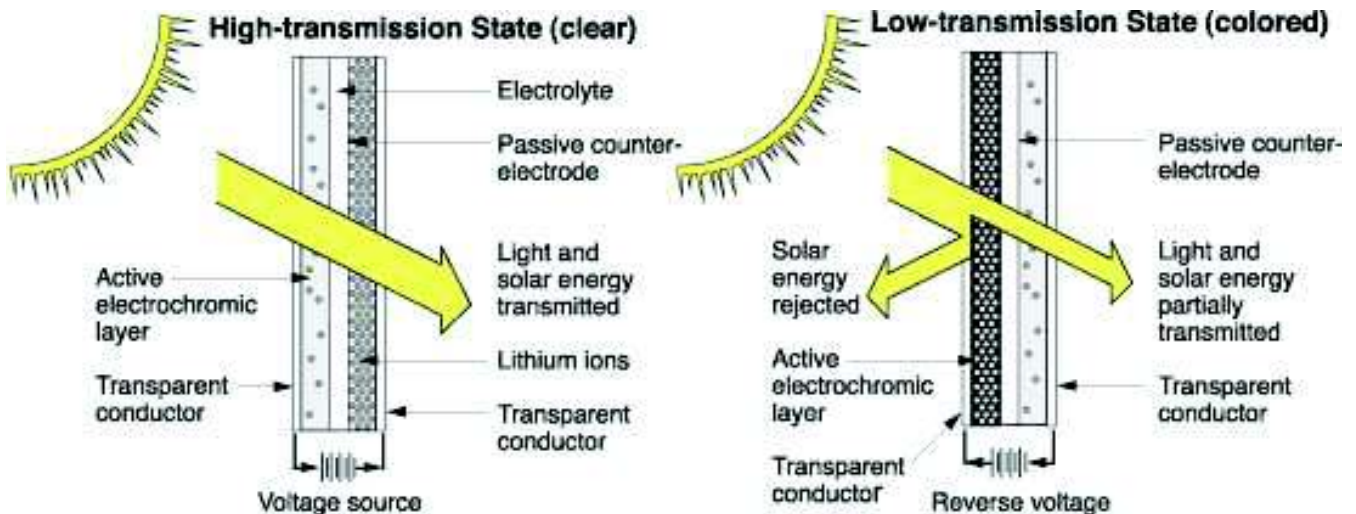


Fig. 2.19 – Schimbarea proprietăților optice ale sticlei electrocromate [66;67]

Sticla electrocromată este în continuă dezvoltare în ultimii ani, fiind instalată și testată în contextul mai multor proiecte pilot. Aceste sisteme pot contribui la conservarea energiei

în cazul clădirilor cu suprafețe mari vitrate. Trebuie însă luată în considerare energia totală necesară producerii acestui tip de vitraj, procesul implicând consumuri energetice semnificative pe perioade de timp îndelungate.

Utilizarea straturilor electrocromate conferă posibilitatea modificării proprietăților optice ale vitrajelor prin aplicarea unei tensiuni electrice, transmitanța energiei solare putând varia de la 0,1 la 0,6. Valoarea transmitanței energiei solare poate fi redusă, sticla devenind albăstruie, dar transparența este mereu asigurată. Acest tip de vitraj este operat automat prin intermediul unui sistem informatic.

- Sticla termocromată include straturi polimerice sensibile la căldură și își poate modifica transparența în funcție de variația temperaturii, reducându-și transmitanța energiei solare. Modificarea gradului de opacitate reprezintă un proces reversibil, fiind eficient în controlul acumulărilor de căldură. Cu toate acestea, odată cu limitarea aporturilor energiei solare, este redus și nivelul iluminatului interior. Astfel, deși schimbările caracteristicilor nu necesită aplicarea unui curent electric, crește consumul de energie pentru iluminat artificial. Un alt dezavantaj al utilizării sticlei termocromate este lipsa de control al utilizatorilor în ceea ce privește posibilitatea modificării vizibilității și acumulărilor de căldură.

- Sticla fotocromată încorporează o peliculă din material electrocromat, compus dintr-un material sensibil la radiația UV care își modifică culoarea ca răspuns la acțiunea radiației solare. Schimbarea proprietăților nu necesită aplicarea unui curent electric, fiind rezultatul unei reacții chimice în cadrul materialului. Acest tip de sticlă nu este însă potrivit în zonele climatice reci, întrucât își schimbă culoarea chiar și atunci când este expus unei radiații solare cu unghi de incidență redus (soarele având o altitudine joasă), blocând acumulările de căldură odată cu iluminatul natural. Având un proces de fabricație complex, sticla fotocromată presupune costuri inițiale ridicate.

- Alte materiale inteligente funcționează pe baza modificării structurii la nivel microscopic drept răspuns la variația energiei termice (materiale termotropice), radiației solare (materiale fototropice), electricității aplicate materialului (materiale electrotropice). Astfel, la schimbarea de fază materialul își modifică proprietăți precum conductivitatea, transmisivitatea, expansiunea volumetrică (poate fi utilizat pentru sisteme de umbrire auto-ajustabile la radiația solară, idee ilustrată de proiectul *Component Geometry: Pavilion in Barcelona* - Fig. 2.20) sau solubilitatea.

Materialele termotropice se asemănă cu cele termocromate, mecanismul intern oferindu-le o posibilitate mai largă de aplicare. Prin modificarea specularității, ele conferă o lumină difuză, perspectiva fiind redusă, și pot fi utilizate pentru supralumini sau absorbția căldurii.

Materialele cu schimbare de fază sunt alcătuite din microcapsule din parafină și hidrați de sare, care răspund la schimbări ale temperaturii sau presiunii. Schimbarea de fază este reversibilă și poate echilibra variațiile parametrilor mediului interior, limitând variațiile de temperatură.

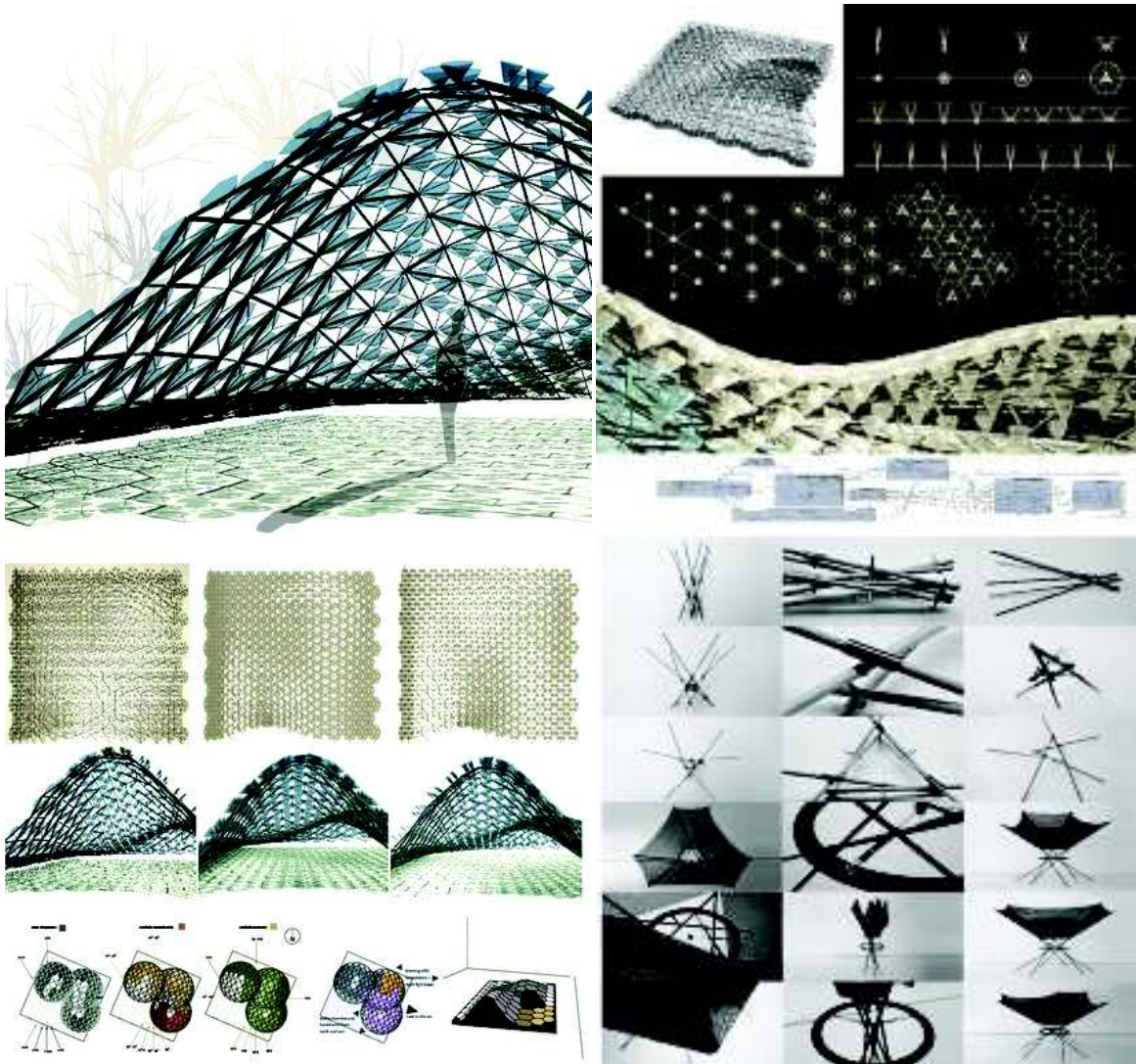


Fig. 2.20 – Component Geometry: Pavilion in Barcelona [94]

## 2.3 MOD DE OPERARE

Componentele fațadei se pot adapta manual, mecanizat sau la nivelul materialului din care sunt alcătuite - materiale „inteligente”.

### 2.3.1 Fațade operate manual

Aceste anvelope presupun operarea voluntară a sistemelor de umbrire ale ferestrelor de către ocupanții clădirii, lumina fiind redusă și ajustată astfel încât să atingă nivelurile de iluminat necesar desfășurării activității specifice încăperii.

Eficiența acestei strategii care poate fi aplicată oricărei clădiri de birouri depinde de nivelul de cooperare voluntară a utilizatorilor, de tipul sistemului de umbrire,

proprietățile, dimensiunile și orientarea vitrajului. Impactul asupra ocupanților este limitat la deranjul provocat de întreruperea temporară a activității curente.

### 2.3.2 Fațade operate mecanizat

În prezent studiul sistemelor de umbrire se concentrează asupra managementului elementelor de umbrire în contextul unor condiții climatice și sezoniere diferite, prin controlul tot mai sofisticat al microclimatului, precum și prin aplicații operaționale tot mai utilizate a unei baze electronice și a mecanismului serverului în scopul de a regla sistemul de umbrire și de a transmite comenzi.

În ultimii ani proiectanții și consultanții au creat o varietate de sisteme de umbrire controlate digital care se mișcă în funcție de schimbările condițiilor de mediu, ca răspuns la problemele de sustenabilitate și a necesității de a reduce amprenta de carbon a clădirii.

O rețea de senzori conectată la un circuit integrat alături de anumite mecanisme aplicate sistemului de umbrire pot să opereze independent reglarea sa pentru generarea unor condiții optime. Aceasta poate fi extinsă și la sistemul de ventilare și inserată altor servicii, ca funcție a parametrilor interni și externi și a cerințelor impuse.

Sistemul de umbrire interior sau exterior este operat automat de managerul instalației, prin intermediul unui sistem centralizat de control, reglarea sistemul de umbrire putând fi corelată cu sistemul de iluminat artificial, astfel încât să fie asigurat mereu un nivel optim de iluminat.

În cazul sistemelor automate (BMS – *Building Management System*), un senzor solar va deschide parasolarul imediat ce apare soarele, chiar și în lipsa ocupanților clădirii. Termostatul menține parasolarul în poziție deschisă până când este atinsă temperatura interioară dorită, contribuind la reducerea consumului de energie pentru încălzire prin aportul solar gratuit. Astfel, sistemul de umbrire micșorează consumul de energie pentru răcire și încălzire al clădirii. Eficiența sa depinde și de amplasarea geografică a clădirii, orientarea fațadei, calitatea și cantitatea suprafeței vitrate, rata ventilării și degajările de căldură din mediul interior. În general, consumul de energie pentru răcire poate scădea cu cel puțin 30%, în timp ce în anumite climate moderate, răcirea activă nu mai este necesară.

*Tehnologia rețelei neuronale* reprezintă o replică a proceselor de rezolvare a problemelor inițiate de sistemul cerebral, aplicând cunoștințele dobândite anterior noilor probleme. Astfel este dezvoltată capacitatea de a evalua fiecare situație sau o nouă problemă și alegerea acțiunii întreprinse de fiecare componentă în parte.

Componentele fațadei controlate printr-un sistem informatic neuronal reduc pierderile de căldură prin radiație infraroșie și acționează ventilarea mecanică pentru răcirea spațiilor interioare. În acest sens, pe suprafața anvelopei clădirii pot fi instalate componente care acționează ca interfață inteligentă între mediul interior și cel exterior, reglând gradul de izolare termică și schimburile de aer necesare pentru a îmbunătăți condițiile interioare, reducând costurile pentru încălzire, aer condiționat și ventilare prin intermediul unei rețele neuronale. Aceste sisteme pot fi cuplate cu materiale izolatoare transparente, cu o bună performanță optică și posibilitatea de ajustare a transmitanței energiei solare, devenind colectori solari eficienți, „pereti Trombe” controlabili și controlând fluxul de aer

prin anvelopă. În funcție de condițiile mediului exterior, este selectată în mod automat funcția acestor componente.

### 2.3.3 Fațade inteligente

Operarea anvelopelor cu materiale inteligente presupune întreținere minimă și mijloace non-mecanice pentru reglarea aportului solar de căldură și lumină. O anvelopă inteligentă încorporează componente auto-adaptabile, nefiind necesară intervenția utilizatorilor sau a unui sistem managerial centralizat. Astfel, elementele fațadei se ajustează automat pentru a genera un mediu interior confortabil.

Materialele inteligente se pot adapta la nivelul materialului, având capacitatea de a oferi un răspuns intrinsec imediat. Ele sunt capabile să se auto-adapteze, fiind activate fie de factori ai mediului exterior, fie prin aplicarea unui curent electric de joasă tensiune. O anvelopă cu materiale inteligente nu își poate însă modifica gradul de izolare termică sau rata de ventilare, acestea trebuind să fie reglate de alte componente, operate manual sau mecanizat.

## 2.4 MOBILITATEA ANVELOPELOR ADAPTABILE LA MEDIU

Anvelopele adaptabile sunt capabile să răspundă cerințelor și schimbărilor din mediul interior și exterior prin acțiuni statice sau dinamice.

### 2.4.1 Anvelope statice

Anvelopele statice își pot modifica proprietățile fizice și oferi un răspuns predeterminat, datorită potențialului materialelor din care sunt fabricate, un caz aparte fiind cel al materialelor inteligente.

În această categorie se încadrează *igloo-urile* inuite care datorită proprietăților termoizolante ale zăpezii conferă mediului interior o temperatură de până la 16°C, confortul utilizatorului fiind atins cu un consum minim de energie. Anvelopa se modifică datorită temperaturii aerului interior. Odată topită, zăpada de pe suprafața interioară alunecă și umple golurile din timpul fazei de construcție, iar la contactul cu aerul rece exterior apa îngheață, etanșeizând anvelopa.

O altă categorie de anvelope statice o reprezintă fațadele vitrate care înglobează materiale electrocromate sau fotocromate. Aceste straturi pot modifica transmitanța energiei solare prin sticlă, oferind control asupra acumulărilor de căldură, nivelului de intimitate, efectului de orbire. Materialele sunt activate fie prin aplicarea unui curent electric slab, fie datorită intensității radiației solare.

Aceste tehnologii prezintă însă și dezavantaje, un exemplu în acest sens reprezentându-l reacția sticlei fotocromate la lumină și nu la căldură. Autonomia unui astfel de sistem permite astfel acumulări importante de căldură, conducând la supraîncălzirea spațiului interior.

Sistemele cu izolație termică adaptabilă se încadrează, de asemenea, în categoria anvelopelor statice. Utilizând conductivitatea termică ridicată a hidrogenului, coeficientul de conductivitate termică a panourilor metalice care îmbracă plăci fibrolemnoase vidate, poate varia de la 0,002 W/mK la 0,1 W/mK prin eliminarea unor cantități mici de hidrogen. Astfel, panourile pot fi bune izolatoare termice în zilele înnorate ale iernii pentru a conserva căldura interioară și respectiv pentru a menține spațiul interior răcoros în zilele de vară, sau bune conductoare termice în zilele însorite de iarnă, permițând acumularea de căldură.

## 2.4.2 Anvelope dinamice

Anvelopele dinamice se constituie din sisteme cu elemente mobile care pot fi controlate manual sau mecanizat printr-un sistem managerial centralizat și operate fie la nivelul fiecărui de etaj, fie la nivelul fiecărui element al anvelopei, permițând sau nu intervenția utilizatorului.

Anvelopele controlate printr-un sistem informatic managerial încorporează senzori care controlează mediul interior prin rețeaua informațională. Aceștia reacționează la schimbări ale intensității luminoase, temperaturii interioare și exterioare, ale vitezei și calității aerului, generând răspunsuri la nivelul anvelopei.

Un sistem de control centralizat poate urmări traiectoria soarelui, modificând continuu poziția elementelor de umbrire pentru a proteja mediul interior de radiația solară în exces.

Sistemele de umbrire automate își pot schimba orientarea în funcție de nivelulul iluminatului interior și unghiul de incidență solară pentru a permite pătrunderea radiației solare, limitând în același timp efectul de orbire. Aceste sisteme contribuie la reducerea consumului de energie, fiind cu atât mai eficiente în contextul unghiurilor de incidență solară variabile, nu doar pe parcursul unei zile, ci și al anului în funcție de sezon.

Traectoria soarelui poate fi urmărită și de fațadele dinamice cu colectori solari a căror poziție variază pentru a maximiza cantitatea de energie colectată și care reprezintă o sursă de energie regenerabilă.

Categoria anvelopelor dinamice cuprinde și tipurile de anvelopă cu control al ventilației naturale, deschiderile de la nivelul fațadei putând fi operate prin intermediul unui senzor care măsoară calitatea aerului interior sau temperatura interioară. Un caz aparte este cel al ferestrei care își poate ajusta unghiul de deschidere în funcție de diferențele de presiune de pe fețele sale generate de mișcarea aerului (Swindow), așa cum arată Fig.2.21. De obicei, aceasta constă într-o fereastră pivotantă articulată chiar deasupra jumătății sale. Atunci când este deschisă, greutatea ferestrei este contrabalansată de o greutate amplasată la partea superioară.

Acest principiu de funcționare este utilizat pentru eliminarea aerului viciat și pentru introducerea aerului proaspăt în încăperi. În poziție deschisă, fereastra formează un unghi de 45° cu verticala – atunci când vântul este calm. Unghiul de deschidere este invers proporțional cu intensitatea vântului, închizându-se pe partea clădirii unde bate vântul și deschizându-se pe partea cu suțione. Acest tip de ferestre sunt potrivite și în cazul clădirilor amplasate în zone cu vânturi slabe și permit fluxul de aer prin anvelopă, limitând în același timp ventilarea excesivă.

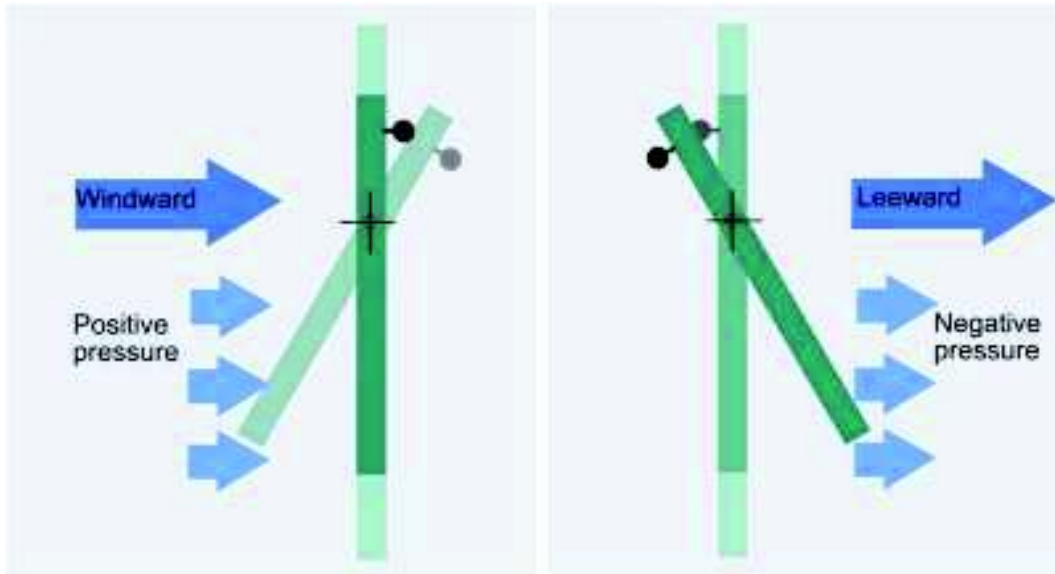


Fig. 2.21 – Swindow – poziție închisă și deschisă [8]

## Concluzii

Tipologiile definite în acest capitol conturează o imagine cât mai completă a stadiului actual al anvelopelor adaptabile la mediu, pornind de la fațadele adaptabile tradiționale (igloo-ul și anvelopele verzi), anvelope cu sisteme de umbrire mobile, izolație adaptabilă, perne ETFE, bioreactoare cu alge, materiale inteligente, unele dintre acestea aflate în curs de dezvoltare, la nivel de prototip.

Se evidențiază, de asemenea, o problemă în asigurarea performanței, adaptabilității anvelopei și confortului interior legată de anumite conflicte care pot să apară în procesul de proiectare. Astfel, satisfacerea unor cerințe poate conduce la compromiterea altora, de exemplu un nivel maxim al iluminatului poate conduce la supraîncălzire și efect de orbire. Anvelopele adaptabile încorporează sisteme și materiale pentru a răspunde acestor cerințe, contribuind mai mult decât oricare altă componentă a clădirii la conservarea energiei și proiectarea sustenabilă. Astfel, includerea la nivelul anvelopei a unor sisteme care generează energie prin intermediul panourilor fotovoltaice sau a unor colectori hibridi aduce un plus funcționalității sale, acest surplus de energie având scopul de a reduce amprenta de carbon a clădirii, pe lângă consumul de energie indispensabil utilizării sale.

O mare provocare în proiectarea unui mediu interior confortabil, o reprezintă utilizatorii în sine. În acest sens, indiferent cât de avansat este sistemul de management al clădirii pentru operarea automată, lipsa controlului asupra mediului personal al utilizatorilor poate conduce la disatisfacție.

Cercetările în domeniul biomimetismului generează noi soluții pentru modul în care anvelopa se poate adapta, preluând conceptul de organism viu. În acest fel anvelopa va integra sisteme sustenabile care se pot ajusta utilizând un minimum de energie, sisteme inteligente care vor putea analiza variația condițiilor exterioare și răspunde pe baza informațiilor dobândite anterior.

## **CAP. 3**

# **PERFORMANȚA ENERGETICĂ A ANVELOPEI ADAPTABILE LA CONDIȚIILE DE MEDIU**

## **Introducere**

Pentru a evalua eficiența energetică a unei anvelope adaptabile la mediu, trebuie definiți *parametrii de performanță specifici*:

– *Umbrirea*

Radiația solară care pătrunde în clădire afectează bioritmul ocupanților, întrucât lumina naturală directă în proporții ridicate afectează percepția de confort termic, iluminat și zgomot și conduce la oboseală și migrene. Performanța elementelor de umbrire se referă la cantitatea radiației solare pe care o blochează.

– *Sarcina termică*

Prin blocarea radiației solare scade necesarul de energie pentru răcirea clădirii, împiedicând încălzirea obiectelor și materialelor din interior prin procesul de absorbție a energiei solare care pătrunde prin anvelopa clădirii.

– *Confort vizual*

Acesta poate fi definit printr-un nivel optim al iluminatului, o distribuție egală a luminii, cromatică, evitarea reflexiilor și efectului de orbire.

– *Timp de reacție*

Timpul necesar ajustării anvelopei pentru a se adapta la modificările parametrilor climatici poate fi măsurat în ore, minute sau secunde, a cărei valoare depinde de rapiditatea reacției sistemului. Cu toate acestea trebuie luat în considerare disconfortul resimțit de utilizatori în cazul unei anvelope dinamice, ai cărei parametri variază la perioade scurte de timp.

– *Orientare*

Performanța sistemelor anvelopei depinde de orientarea sa, întrucât în cazul fațadelor estice și vestice radiația solară prezintă aceleași unghiuri de incidență, în timp ce în cazul fațadelor sudice unghiurile solare sunt mai ridicate.

## **3.1 FAȚADE CU SISTEME DE UMBRIRE MOBILE**

### **3.1.1 Generalități**

***Dispozitivele exterioare de umbrire*** reduc cantitatea radiației solare incidente (în special a celei directe) pe suprafața vitrajului, influențând astfel temperatura mediului interior. Eficiența sistemului depinde de tipul de umbrire ales și poziția sa în raport cu vitrajul. Atunci când radiația ajunge la elementul de umbrire, o parte este reflectată de suprafața sa, o altă parte este reflectată spre vitraj (în funcție de geometria vitrajului), iar partea rămasă este absorbită de dispozitiv și produce încălzirea acestuia (Tab.3.1). Astfel, se creează un flux de căldură prin radiație și conducție, care are ca sursă de căldură elementul de umbrire, preferându-se alcătuirea sa dintr-un material cu capacitate de reflexie și masă termică reduse.



Tab.3.1 – Proprietățile sistemelor de umbrire

	Radiația penetrantă	Radiația reflectată	Radiația absorbită	Factor de umbrire
<b>Jaluzele</b>				
Deschise, orizontale	5%	55%	40%	0,55
Semi-închise, orizontale	5%	35%	60%	0,64
Albe, verticale (închise)	0%	77%	23%	0,29
<b>Rolete</b>				
Albe, translucide	25%	60%	15%	0,39
Albe, opace	0%	80%	20%	0,25
Închise, opace	0%	12%	88%	0,59

Factorul de umbrire este calculat pentru dispozitive de umbrire combinate cu sticlă transparentă 3mm cu transmittanța energiei solare de 87%.

În cazul **sistemelor de umbrire interioare**, radiația pătrunde în spațiul interior, încălzește elementul de umbrire și ridică temperatura încăperilor atât prin radiație, cât și prin conducție, radiația de undă lungă emisă de elementul de umbrire neputând fi retransmisă înapoi în mediul exterior prin vitraj.

Geometria și intensitatea radiației solare variază în funcție de amplasament, în emisfera nordică intensitatea maximă fiind atinsă pe data de 21 iunie, iar cea minimă pe 21 decembrie (Fig. 3.1).

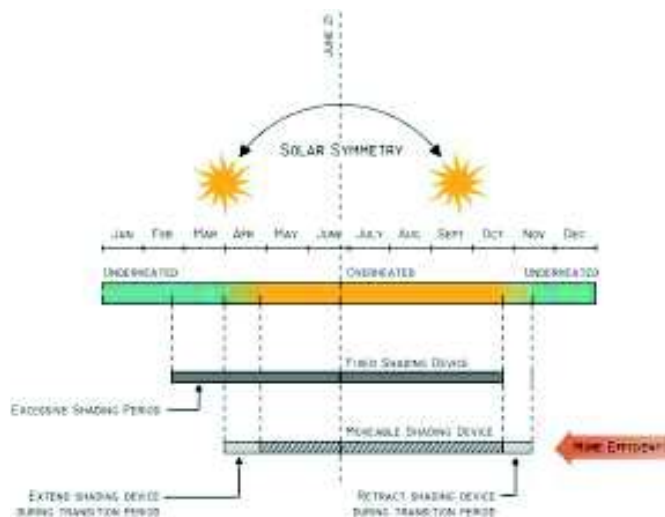
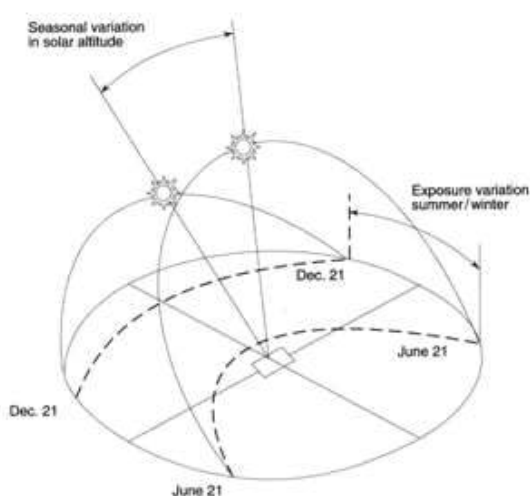


Fig. 3.1 – Mișcarea soarelui într-un an [86] Fig. 3.2 – Perioadele de supraîncălzire [86]

Cu toate acestea, temperaturile maxime sunt atinse în lunile iulie și august, iar cele minime în ianuarie și februarie, datorită masei termice a pământului. În acest sens se evidențiază avantajele utilizării unui sistem mobil de umbrire față de un sistem fix care nu poate fi eficient pe toată perioada anului.

Sistemele de umbrire trebuie proiectate astfel încât să fie eficiente nu doar în perioada solstițiului de vară atunci când soarele atinge altitudinea maximă. Geometria sistemelor de umbrire trebuie să fie proiectată pentru a corespunde nevoii de răcire a clădirii de la mijlocul primăverii până la sfârșitul toamnei, depinzând de condițiile climatice locale. Fig. 3.2 ilustrează perioadele de supraîncălzire ale unei clădiri, punând în evidență prin intermediul axei de simetrie solare (reprezentată de ziua de 21 iunie) eficiența mai ridicată a sistemelor de umbrire mobile care se pot retracta la începutul primăverii atunci când aportul solar este necesar și se pot extinde la sfârșitul toamnei atunci când clădirea este încă supraîncălzită.

În general protecția împotriva radiației directe nu este suficientă pentru a preveni supraîncălzirea unei clădiri, astfel încât în cazul zonelor aride, fără vegetație la nivelul solului, radiația directă din timpul verii reprezintă doar o mică parte din radiația totală la nivelul vitrajului. În timpul iernii radiația directă este cantitativ mai ridicată. Astfel, pentru a preveni încălzirea din radiație, în timpul verii se recomandă închiderea etanșă a deschiderilor prin intermediul jaluzelelor rulante, obloanelor cu lamele mobile, jaluzelelor exterioare sau panourilor sigilate.

De asemenea, pot fi utilizate elemente de umbrire care au în alcătuirea lor un material izolator (de regulă poliuretan), care previn în totalitate reflexia radiației către vitraj de către elementele de umbrire și reduc semnificativ cantitatea de căldură transmisă prin convecție, considerând etanșeitățile stratului de aer dintre elementul de umbrire și vitraj și presupunând că sistemul de umbrire nu formează punți termice.

### **3.1.2 Determinarea geometriei optime a sistemelor de umbrire**

Geometria optimă a dispozitivului de umbrire poate fi determinată prin metode grafice sau analitice.

Metoda grafică pornește de la ideea că forma topologică a elementelor de umbrire pentru o deschidere rectangulară este identică și că fiecare element de umbrire are un punct care stabilește toate dimensiunile dispozitivului.

Calcularea coordonatelor acestui punct este suficientă pentru determinarea dimensiunilor elementului de umbrire.

Metoda grafică pentru un obstacol sau element de umbrire a vitrajului pornește de la proiecția orizontală a unghiului profilului vitrajului ( $\Omega$ ) prezentat în Fig. 3.3, peste care se suprapune graficul umbririi obstacolului sau elementului de umbrire.

În Fig. 3.4 se evidențiază masca de umbrire pentru un obstacol orizontal considerat continuu, iar în Fig. 3.5 cea pentru un obstacol și o consolă orizontale, ambele considerate continue.

Orele din timpul anului în care vitrajul este 100% umbrît de cele două elemente este evidențiat prin suprapunerea graficului de umbrire asupra diagramei solare, așa cum se remarcă în Fig. 3.6. Pentru a pune în evidență cantitatea radiației solare care pătrunde prin intermediul vitrajului se utilizează graficul radiației solare redat în Fig. 3.7, care se suprapune diagramei solare, Fig. 3.8, în funcție de orientarea fațadei.

Efectul elementului de umbrire și al obstacolului orizontal sunt determinate prin suprapunerea măștii de umbrire peste aceste diagrame, așa cum ilustrează Fig. 3.9.

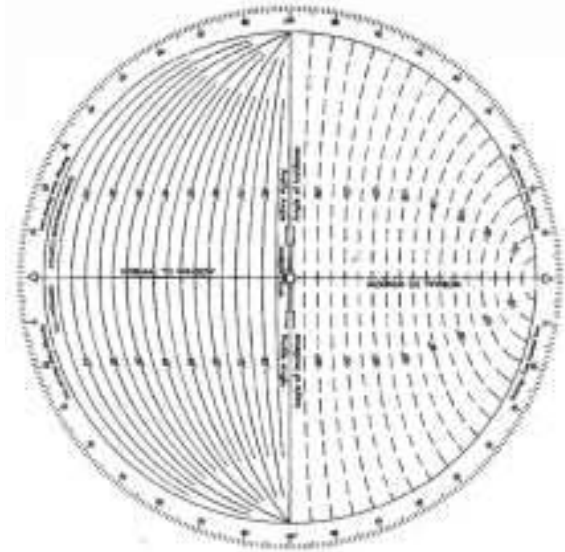


Fig. 3.3 - Proiecție orizontală a unghiului profilului vitrajului ( $\Omega$ ) utilizat pentru a localiza obstacolele orizontale [6]

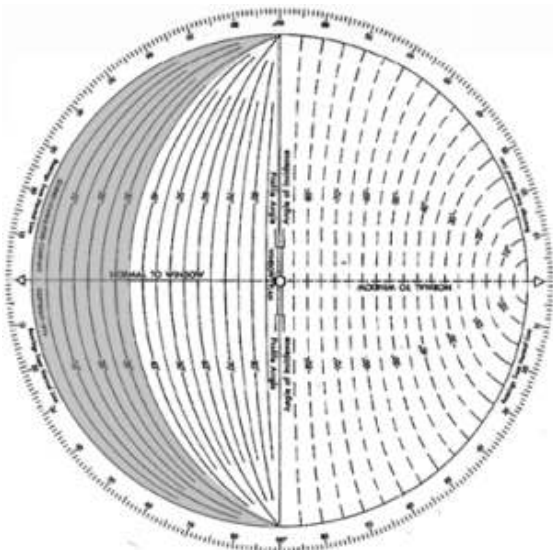
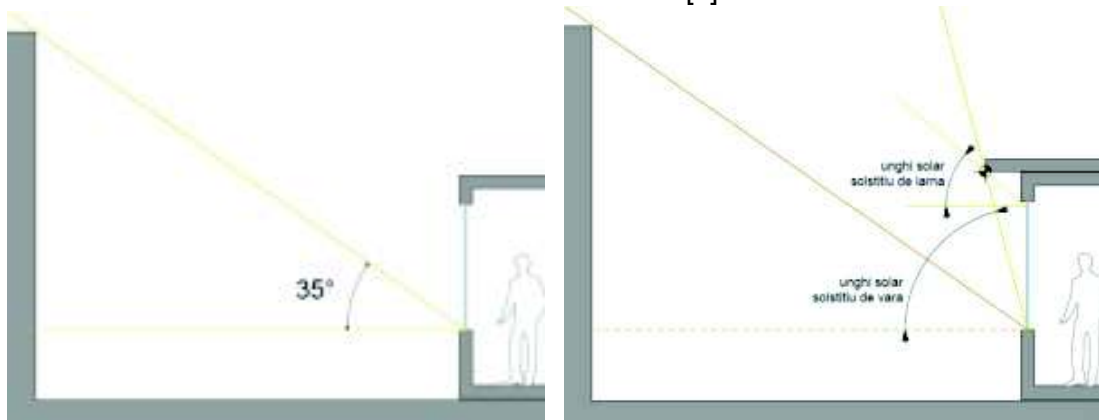


Fig.3.4 - Suprapunerea umbririi obstacolului orizontal (presupus continuu) asupra proiecției orizontale a unghiului profilului vitrajului

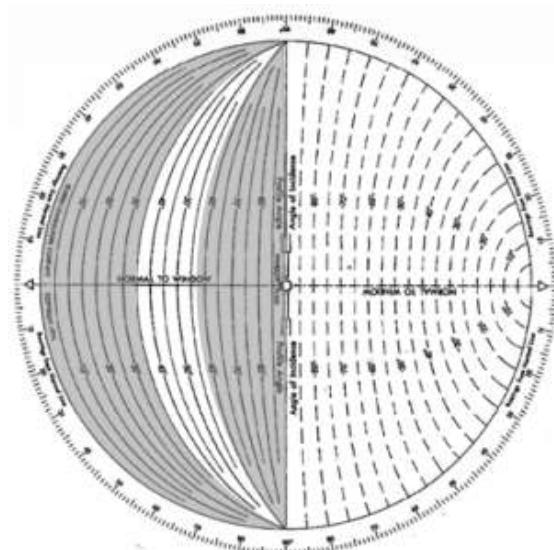


Fig.3.5 - Suprapunerea umbririi consolei (presupusă continuă) asupra proiecției orizontale a unghiului profilului vitrajului

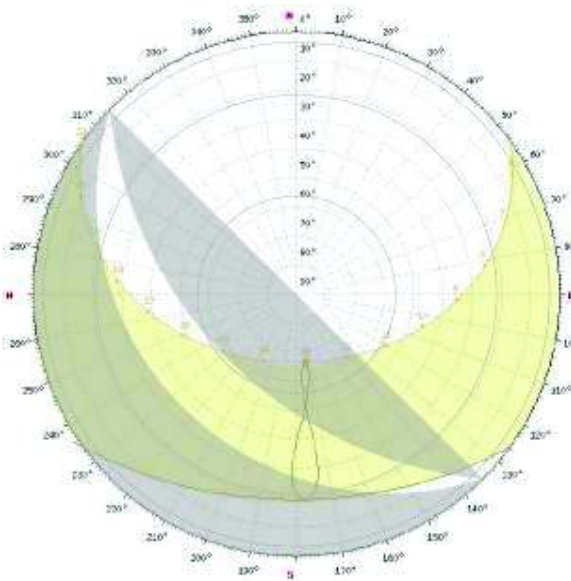


Fig. 3.6 - Diagrama solară peste care se suprapun cele două diagrame de umbrire

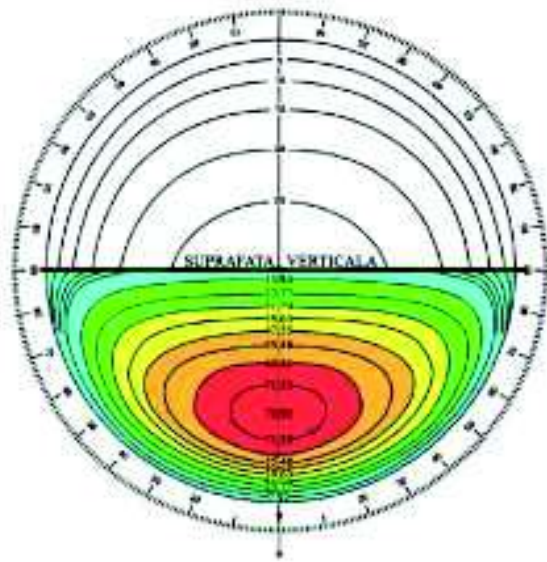


Fig. 3.7- Graficul radiației solare (W/m<sup>2</sup>) pentru un perete vertical [6]

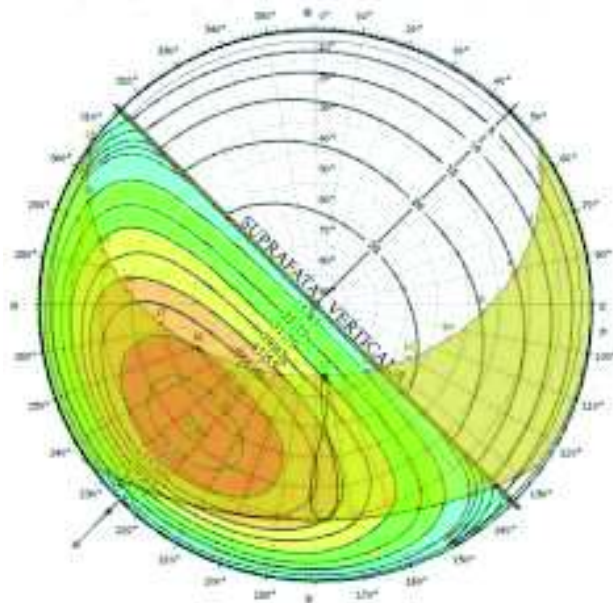


Fig. 3.8 - Suprapunerea diagramei solare pentru preconizarea radiației solare transmise - cazul unui perete de pe o fațadă sud-vestică

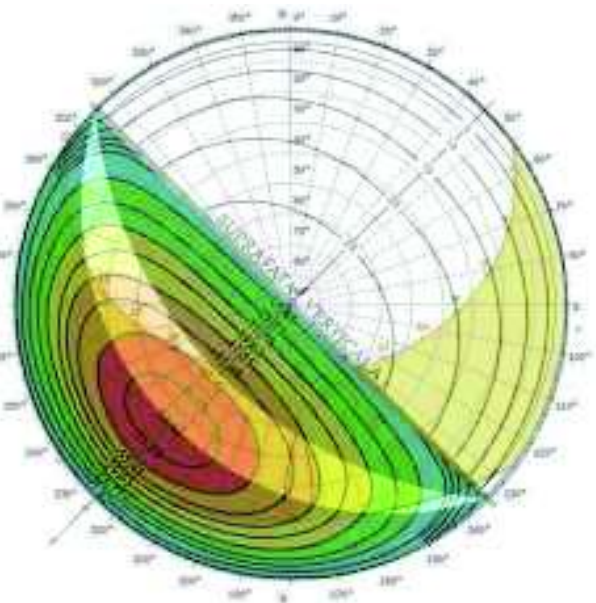


Fig. 3.9 - Diagrama radiației solare transmise peste care se suprapun cele două diagrame de umbrire pentru un obtacol orizontal și o consolă orizontală

### 3.1.3 Tipuri de sisteme de umbrire

Sistemele de umbrire se pot clasifica în trei tipuri formale: orizontale (Fig. 3.10), verticale (Fig. 3.11) și compuse (Fig. 3.12), având un impact considerabil diferit asupra gradului de umbrire, așa cum demonstrează și măștile lor de umbrire.

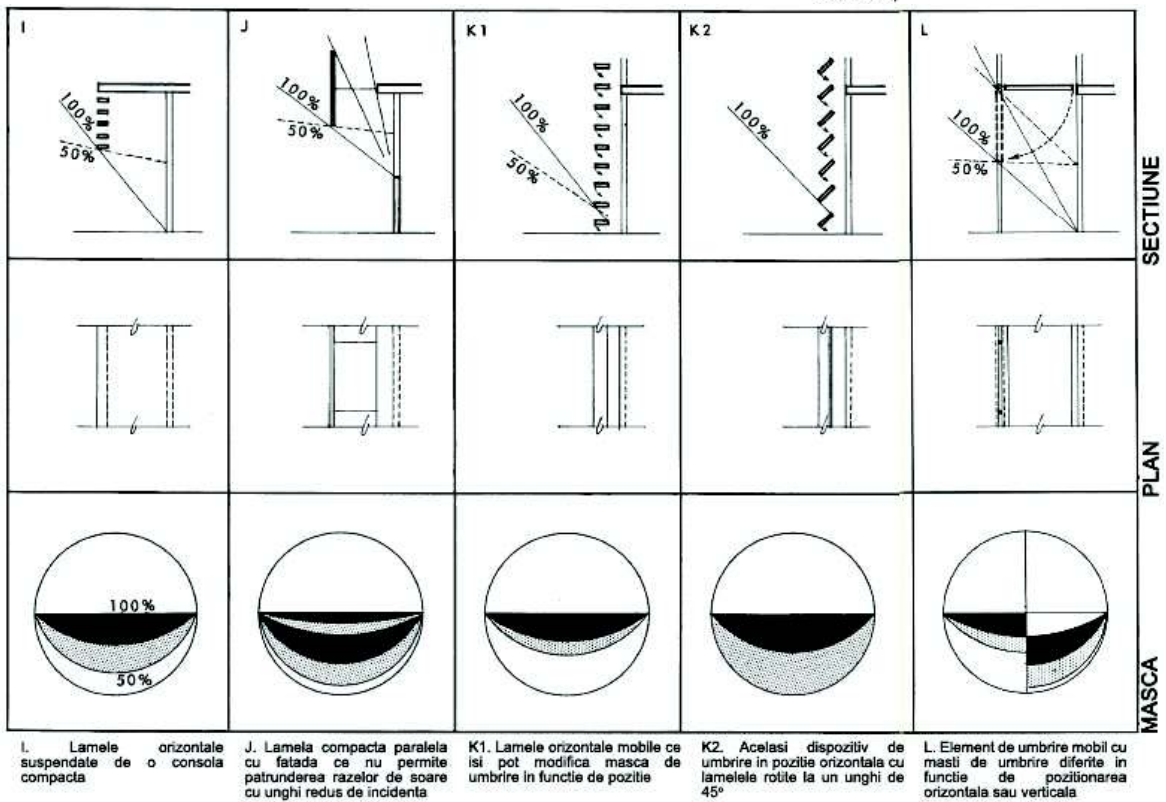
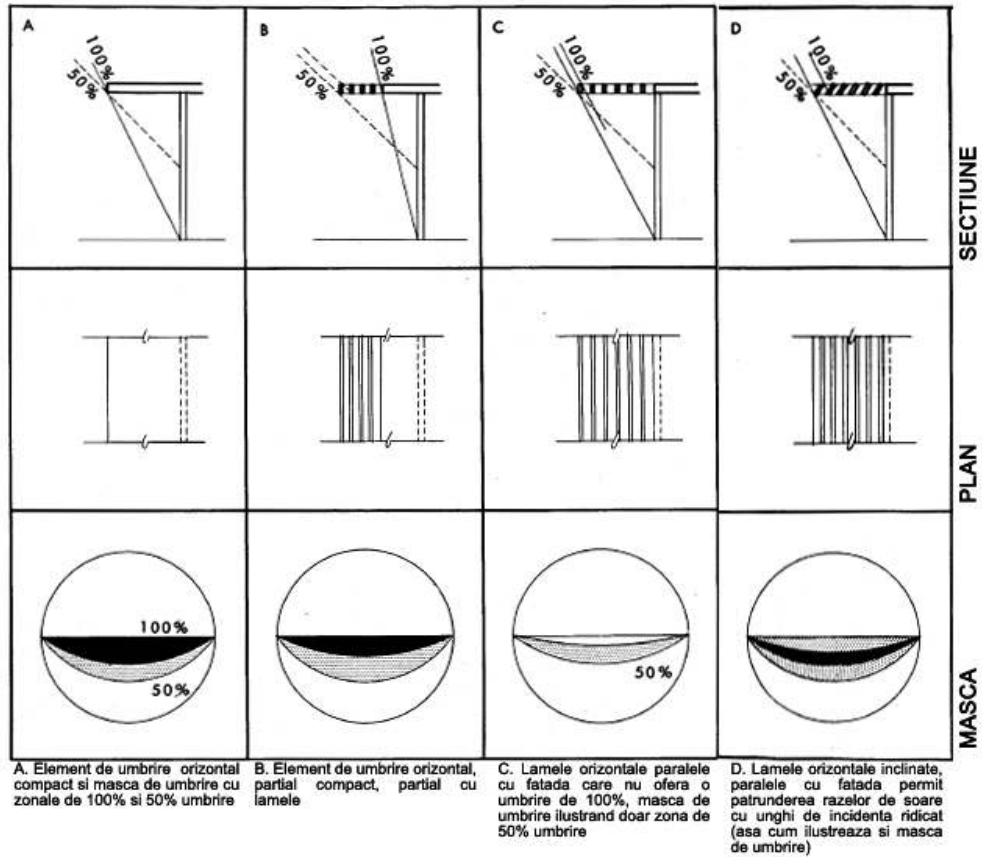
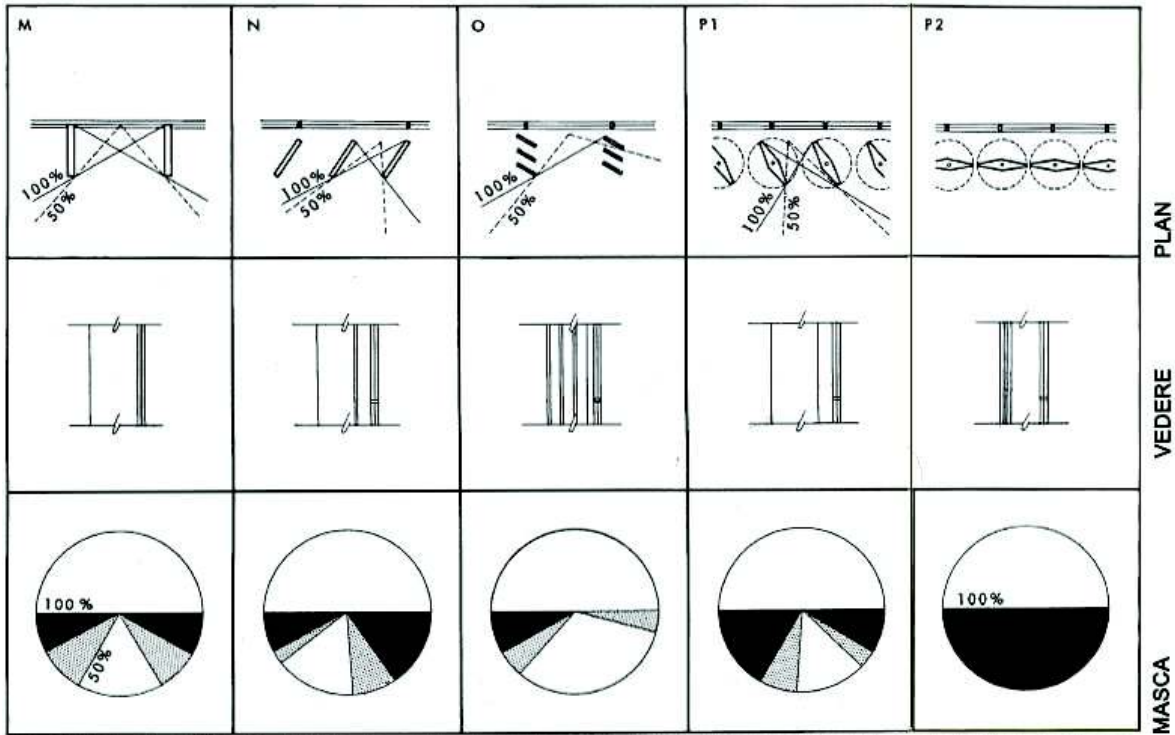
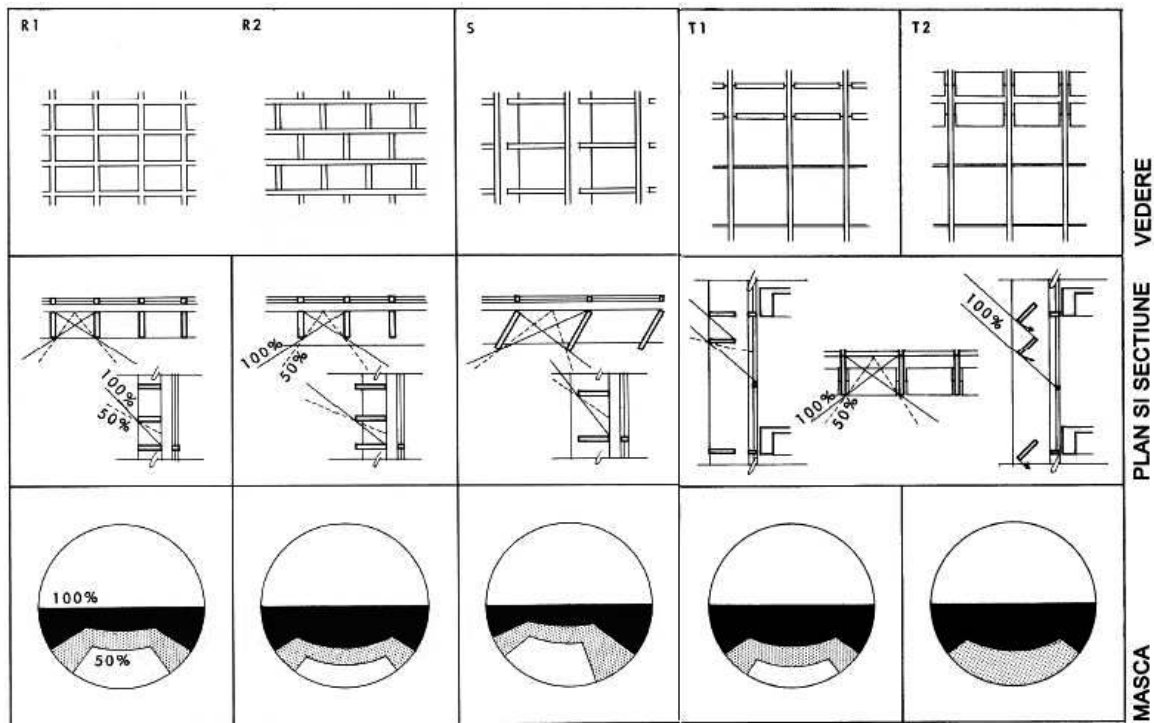


Fig. 3.10- Tipuri de dispozitive de umbrire orizontale [38]



M. Elemente de umbrire verticale compacte cu masti de umbrire pentru zonele de 100% si 50% umbrire  
 N. Elemente de umbrire verticale compacte oblice fata de fatada ca determina masti de umbrire asimetrici  
 O. Lamele verticale inclinate proiectate pentru a oferi 100% umbrire doar pentru una dintre laturile deschiderii  
 P. Lamele verticale mobile ce pot umbri intrega deschidere sau se pot deschide in inghiuri diferite, masca de umbrire avand intotdeauna caracteristici radiale

Fig. 3.11 - Tipuri de dispozitive de umbrire verticale [37]



R. Dispozitivele de umbrire ce combina elemente verticale si orizontale prezinta masti de umbrire cu diagrame suprapuse ale tipurilor A (element orizontal compact) si M (element vertical compact). Tipurile R1 si R2 pot avea aceeasi masca de umbrire in functi de inghiurile profilurilor orizontale si verticale  
 S. Dispozitivele de umbrire cu elemente orizontale si elemente verticale inclinate prezinta masti de umbrire asimetrici  
 T1. Dispozitivele de umbrire cu elemente verticale fixe si elemente orizontale mobile isi pot modifica masca de umbrire in functie de pozitionarea lor  
 T2. Aceleasi dispozitive de umbrire ale caror elemente orizontale isi modifica inclinatia de la 0° la 45°

Fig. 3.12 - Tipuri de dispozitive de umbrire cu elemente verticale si orizontale [38]

### 3.1.4 Etape de evaluare a sistemelor de umbrire

– *Determinarea necesarului de umbrire*



Fig. 3.13 – Schemă pentru determinarea gradului necesar de umbrire

Transferate asupra unei diagrame solare, criteriile de umbrire definesc porțiuni ale cerului pe care sistemele de umbrire trebuie să le blocheze. Determinarea gradului necesar de umbrire este ilustrată în Fig. 3.13. Sunt necesare două diagrame solare pentru a ilustra necesarul de umbrire pentru întregul an din cauza temperaturilor mai ridicate din perioada toamnei decât în cea a primăverii.

Pentru a determina procentul de umbrire necesar fiecărei fațade, în programul SHADE se introduc ca parametri pentru clădirea de birouri analizată (prezentată la punctul 3.1.5) dimensiunile vitrajelor, ale pereților și orientările. Programul a generat gradul de umbrire necesar pentru fiecare oră din zilele unei luni (Fig. 3.14).

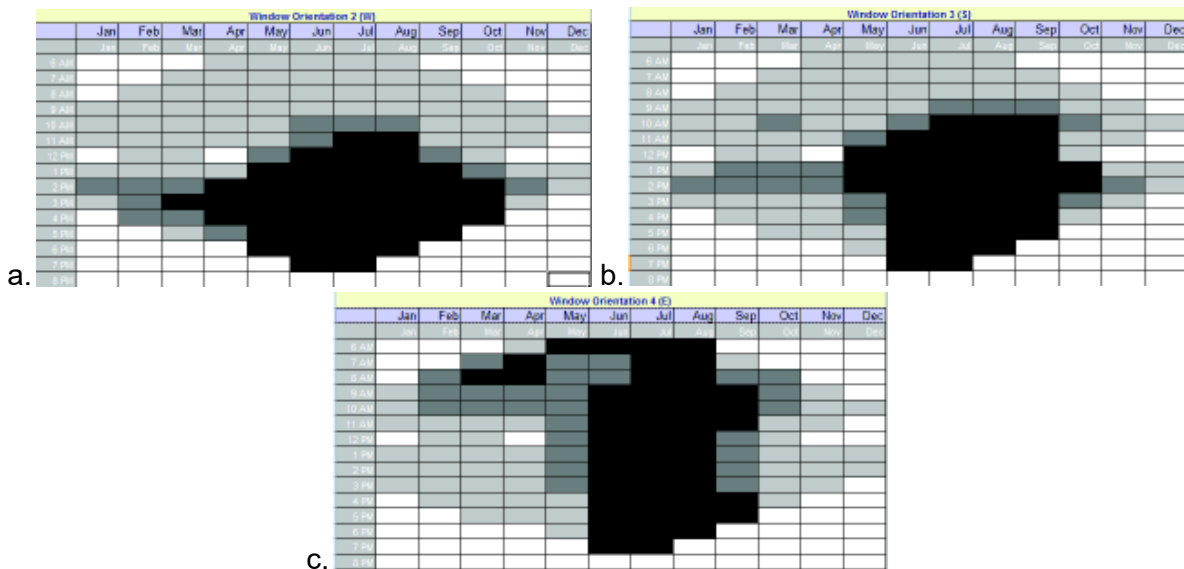
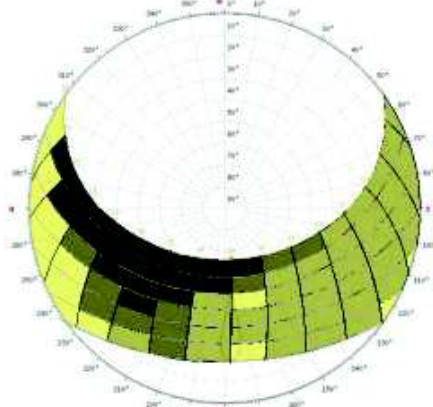


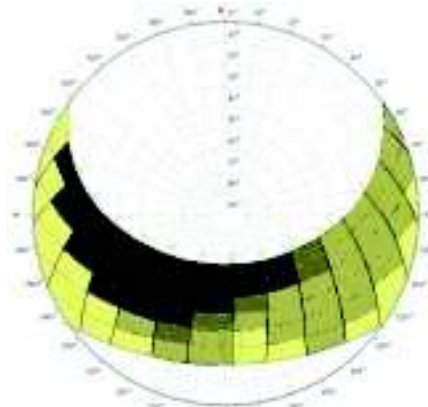
Fig. 3.14 - Gradul de umbrire necesar pe ore pentru fațada vestică (a), sudică (b) și estică (c)

– *Transferul necesarului de umbrire asupra diagramei solare*

Rezultatele generate de programul SHADE sunt transferate diagramei solare, în funcție de lunile anului și ore. Întrucât diagrama solară este simetrică față de echinocții și perioada ianuarie-iunie este suprapusă peste perioada iunie-decembrie, trebuie trasate două diagrame pentru fiecare fațadă, așa cum arată Fig. 3.15, 3.16 și 3.17.

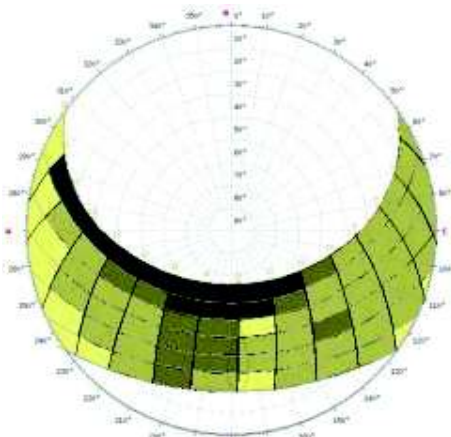


a.

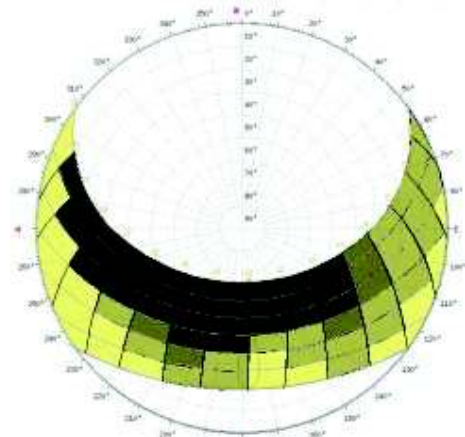


b.

Fig. 3.15 - Fațada vestică: a. perioada ianuarie – iunie; b. perioada iunie – decembrie

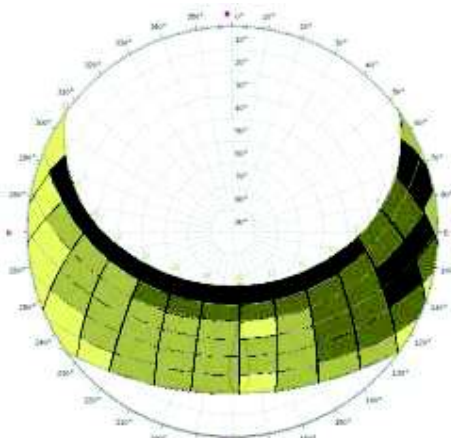


a.

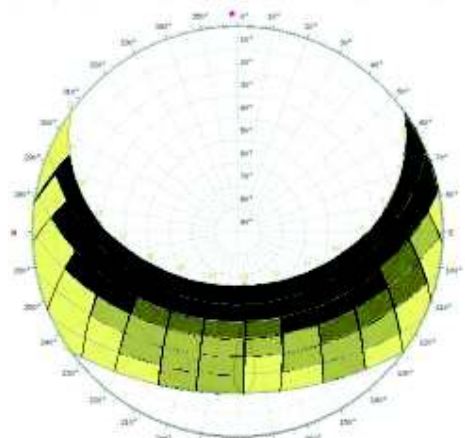


b.

Fig. 3.16 - Fațada sudică: a. perioada ianuarie – iunie; b. perioada iunie – decembrie



a.



b.

Fig. 3.17 - Fațada estică: a. perioada ianuarie – iunie; b. perioada iunie – decembrie



Se remarcă cerințe de umbrire mai ridicate pentru perioada iunie-decembrie față de perioada ianuarie-iunie, ceea ce determină proiectarea dispozitivelor de umbrire pe baza datelor generate pentru perioada toamnei. Această asimetrie este generată de masa termică a pământului care decalează rezultatele radiației solare cu intensitate maximă pe data de 21 iunie.

– *Determinarea măștii de umbrire a deschiderii*

Reprezentarea grafică a măștii de umbrire pune în evidență un set de curbe pentru elementele de umbrire orizontale discontinue și un set linii radiale pentru elementele de umbrire verticale (Fig. 3.18). Pe baza acestui grafic se trasează zona umbrită în proporție de 100% pentru un element orizontal considerat continuu, cu un unghi al profilului de  $60^\circ$  (Fig. 3.19), sistem care generează aceeași mască de umbrire ca și alte sisteme cu același unghi, dar poziționate diferit (Fig. 3.20).

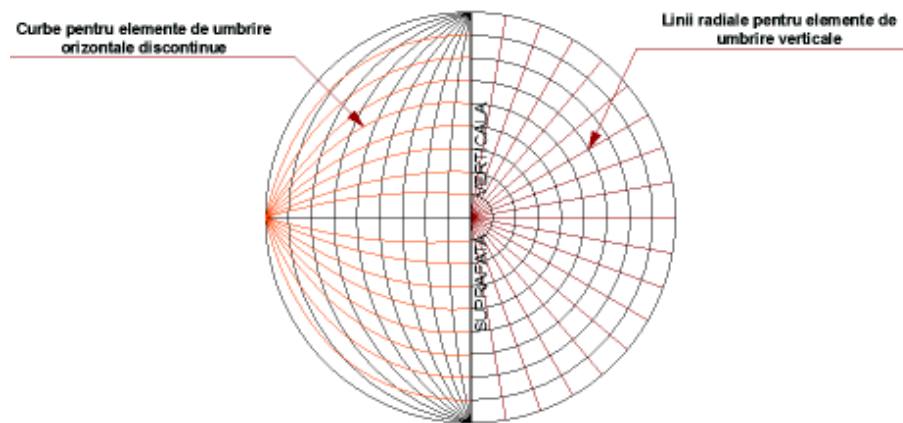


Fig. 3.18 - Graficul măștii de umbrire

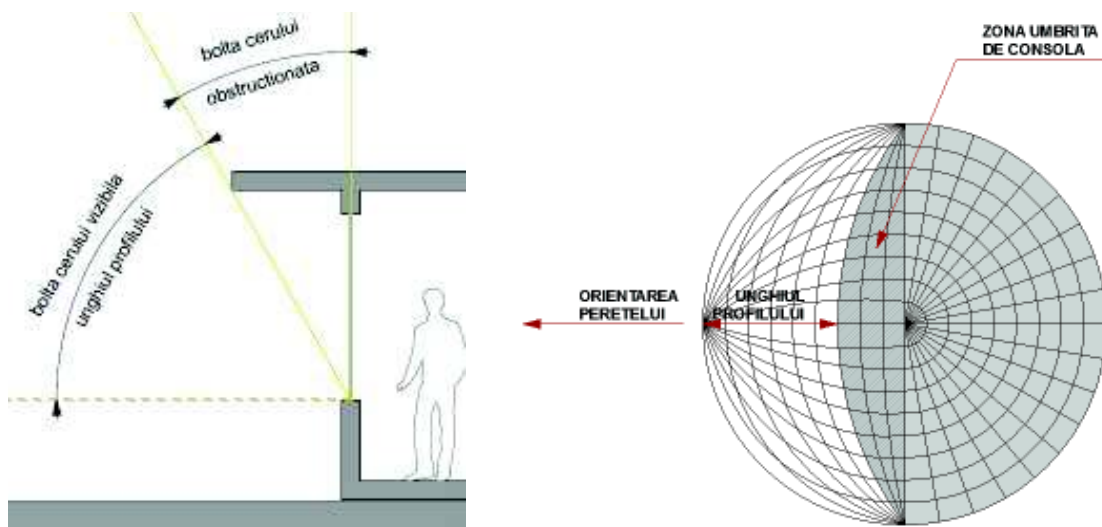


Fig. 3.19 - Schemă care ilustrează zona de 100% umbrire pentru o consolă orizontală considerată continuă

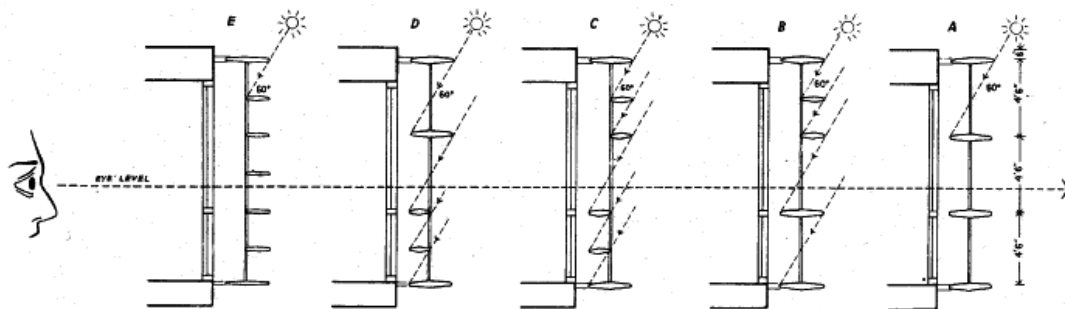


Fig. 3.20 - Diferite posibilități de poziționare a unor elemente orizontale care au același unghi al profilului  $60^\circ$ , imaginea la nivelul ochiului rămânând neobstrucționată [38]

Graficul poate fi completat și cu zona de 50% umbră, calculând unghiul profilului la nivelul ferestrei (Fig. 3.21).

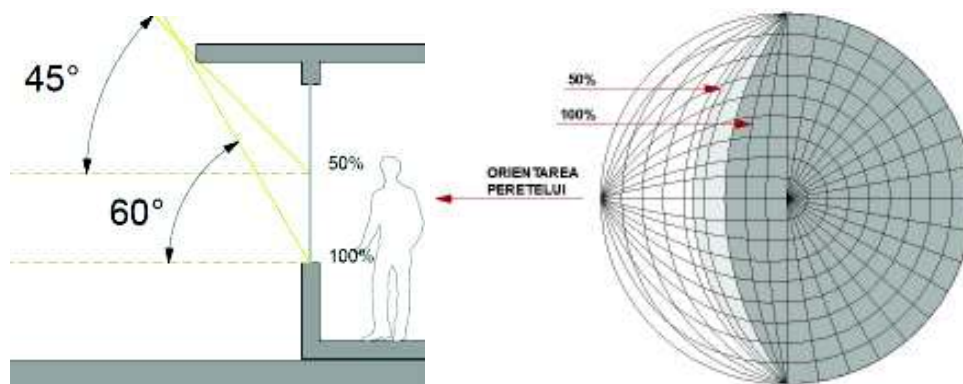


Fig. 3.21 - Extinderea schemei care ilustrează zona de 100% umbră pentru o consolă orizontală considerată continuă cu linia de 50% umbră

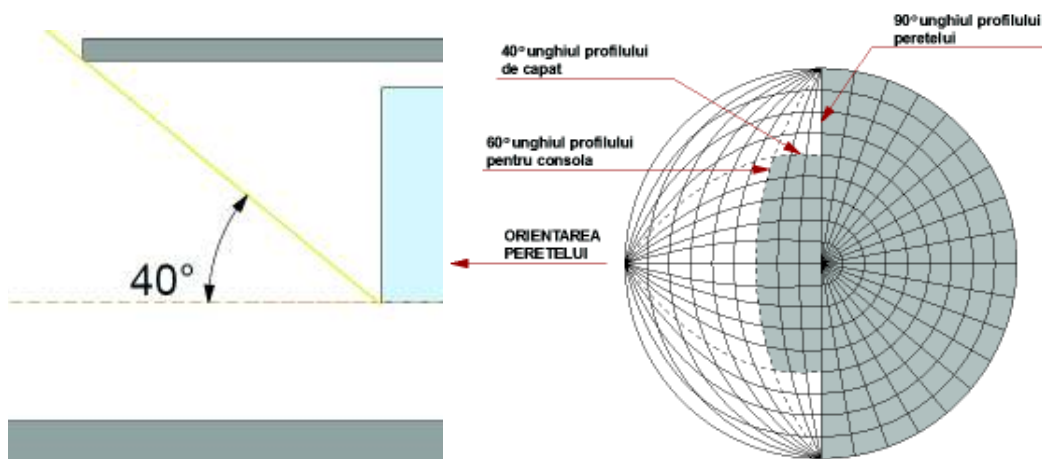


Fig. 3.22 - Masca de umbră pentru un element de umbră orizontal discontinuu

Masca de umbră se modifică pentru un element de umbră orizontal discontinuu, luând în considerare unghiul profilului de capăt (Fig. 3.22). În cazul unui element de umbră vertical, se utilizează razele graficului măștii de umbră, calculând unghiurile profilelor

atât în plan vertical, cât și în plan orizontal (Fig. 3.23). Pentru trasarea graficului de umbrire pentru un dispozitiv ce combină elemente verticale și orizontale, se suprapun măștile de umbrire ale elementelor considerate separat (Fig. 3.24 și 3.25).

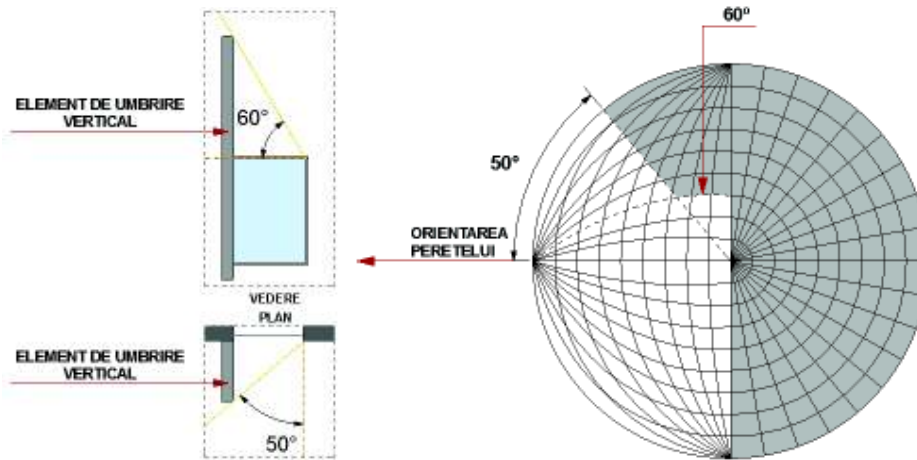


Fig. 3.23 - Masca de umbrire pentru un element de umbrire vertical asimetric

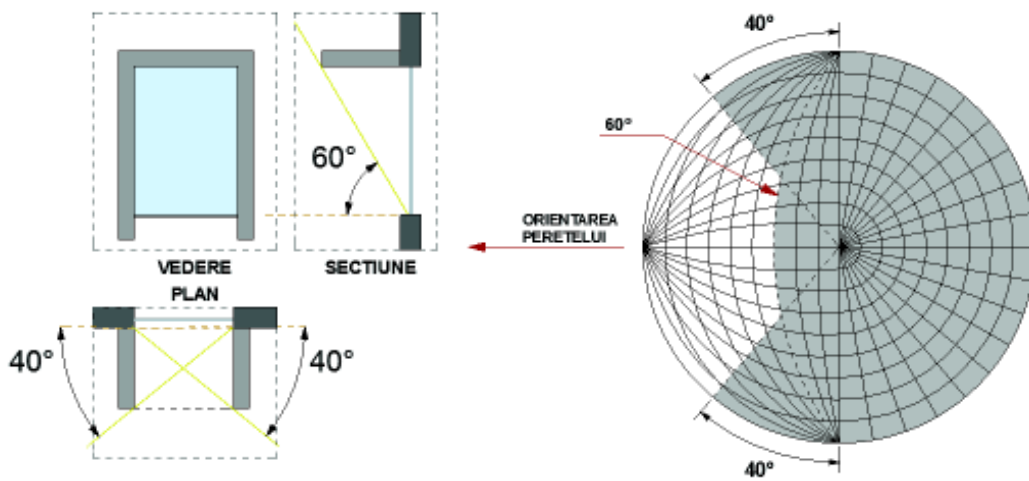


Fig. 3.24 - Masca de umbrire pentru un dispozitiv care combină elemente verticale și orizontale

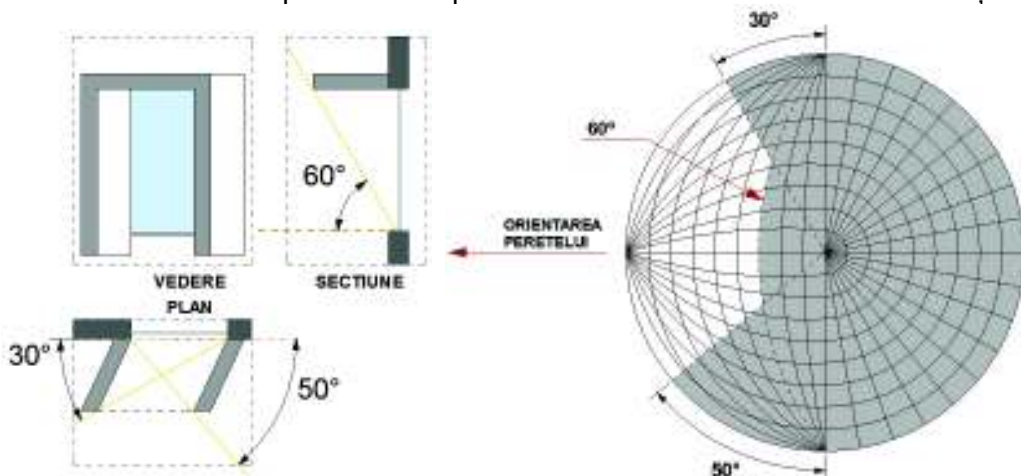


Fig. 3.25 - Masca de umbrire pentru un dispozitiv care combină elemente orizontale și verticale înclinate

– *Evaluarea performanței sistemului de umbrire*

Graficul măștii de umbrire depinde de planul și secțiunea deschiderii (Fig. 3.26), precum și de orientarea cardinală. Eficiența dispozitivului de umbrire din Fig. 3.26 este determinată prin suprapunerea măștii de umbrire peste diagrama solară cu necesarul de umbrire pentru fiecare fațadă calculat anterior (Fig. 3.27, 3.28 și 3.30).

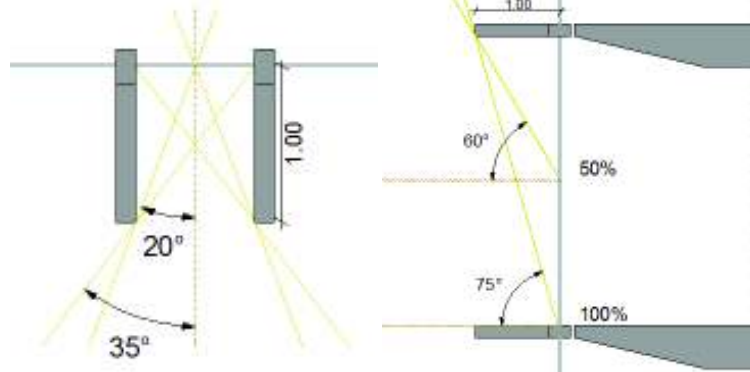


Fig. 3.26 - Plan și secțiune pentru vitrajele vestice și estice

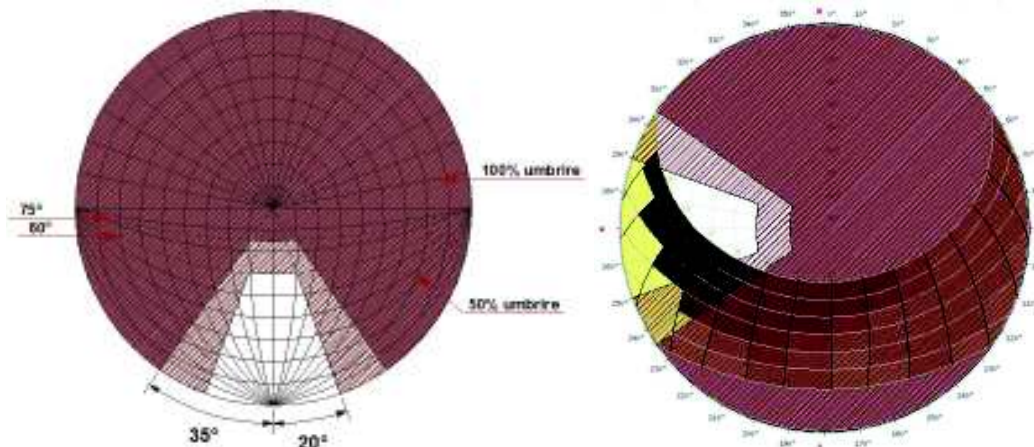


Fig. 3.27 - Fațada vestică – graficul măștii de umbrire suprapus diagramei solare cu necesarul de umbrire

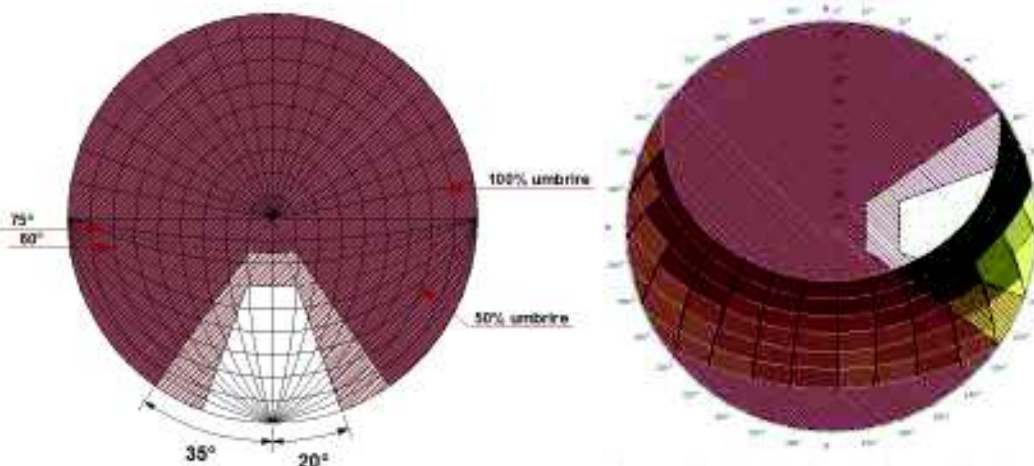


Fig. 3.28 - Fațada estică – graficul măștii de umbrire suprapus diagramei solare cu necesarul de umbrire

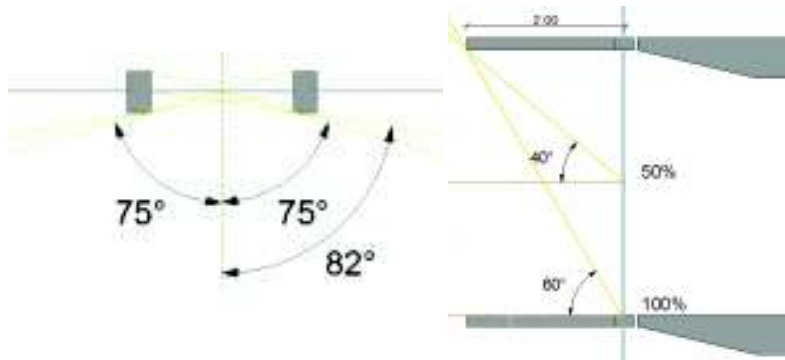


Fig. 3.29 - Plan și secțiune pentru vitrajul sudic

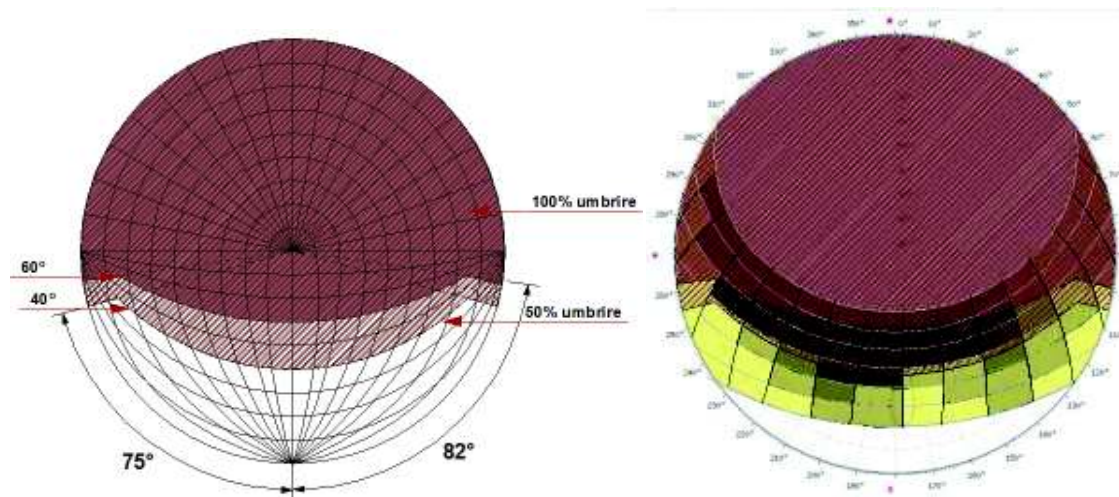


Fig. 3.30 - Fațada sudică – graficul măștii de umbră suprapus diamei solare cu necesarul de umbră

Pentru clădirea de birouri propusă se remarcă posibilitatea de a optimiza sistemul de umbră prin utilizarea unor elemente verticale înclinate pentru fațadele estice și vestice, ceea ce ar determina o mască de umbră asimetrică și ar putea răspunde necesarului de umbră rămas neacoperit în cazul dat. Pentru fațada sudică randamentul sistemului de umbră poate fi optimizat prin mărirea consolei orizontale compacte.

### 3.1.5 Evaluarea eficienței sistemelor de umbră pentru o clădire de birouri

Pentru a determina contribuția sistemelor de umbră la optimizarea eficienței totale a unei clădiri, s-a analizat o clădire de birouri care prezintă vitraje cu suprafețe mari pe laturile de est, sud și vest (Fig. 3.31), utilizând programul PHPP.

S-au evaluat două situații: i) clădirea fără nici un sistem de umbră și ii) umbrirea fațadei sudice printr-un sistem orizontal de umbră cu o adâncime de 2 m pe fiecare nivel (echivalent cu orice alt sistem orizontal cu același grad de umbră) și umbrirea fațadelor estice și vestice printr-un sistem de umbră vertical cu o adâncime de 1 m pe fiecare nivel (echivalent cu orice alt sistem vertical cu același grad de umbră).

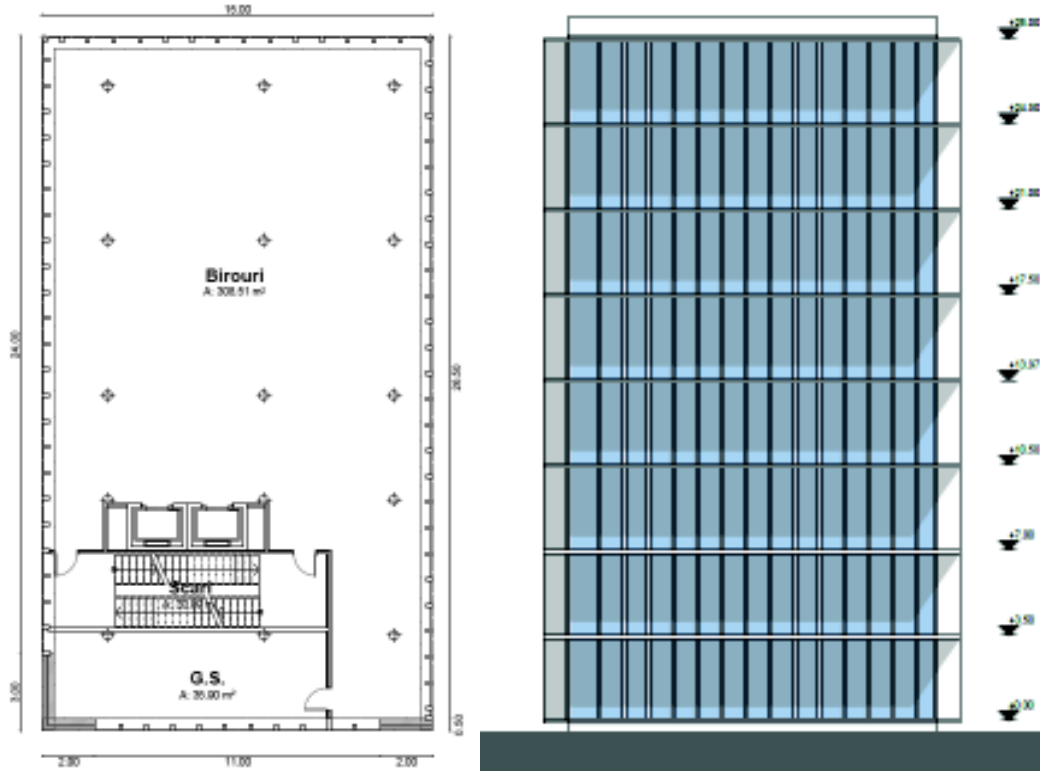
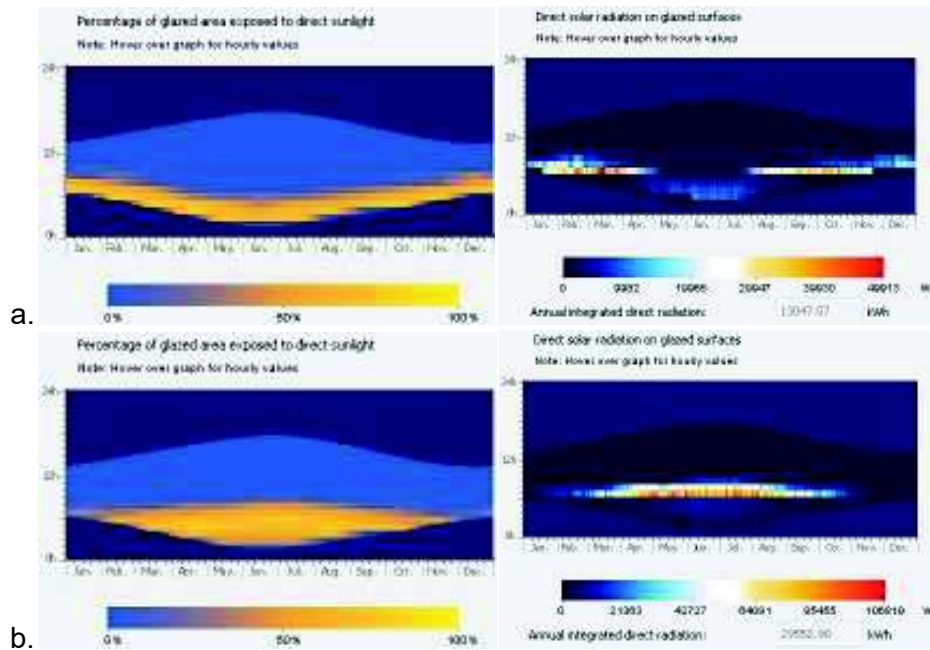


Fig. 3.31 - Clădire de birouri - plan și elevație

Procentul zonei vitrate expuse radiației directe și valoarea radiației solare la nivelul vitrajului pentru fiecare fațadă considerată cu sistem de umbrire se prezintă în Fig. 3.32.



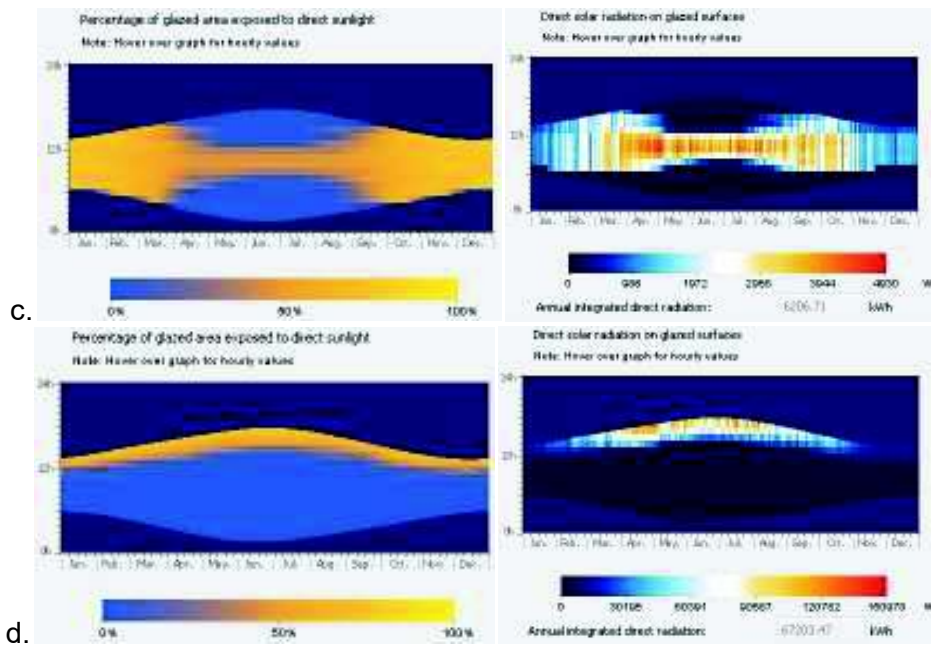


Fig. 3.32 - Procentul zonei vitrate expuse radiației directe și valoarea radiației pentru: fațada estică cu sistem de umbrire orizontal (a), și respectiv vertical (b); fațada sudică cu sistem de umbrire orizontal (c) și respectiv vertical (d)

Specific Demands with Reference to the Treated Floor Area					
Treated Floor Area:		3240.0 m <sup>2</sup>		PH Certificate:	Fulfilled?
Specific Space Heat Demand:	Applied:	Annual Method	11 kWh/(m <sup>2</sup> a)	15 kWh/(m <sup>2</sup> a)	Yes
Pressurization Test Result:	0.6	h <sup>-1</sup>		0.6 h <sup>-1</sup>	Yes
Heating Load:	12	W/m <sup>2</sup>			
Frequency of Overheating:	28.4	%	over 25 °C		
Specific Useful Cooling Energy Demand:	20	kWh/(m <sup>2</sup> a)		15 kWh/(m <sup>2</sup> a)	No
Cooling Load:	30	W/m <sup>2</sup>			

Specific Demands with Reference to the Treated Floor Area					
Treated Floor Area:		3240.0 m <sup>2</sup>		PH Certificate:	Fulfilled?
Specific Space Heat Demand:	Applied:	Annual Method	13 kWh/(m <sup>2</sup> a)	15 kWh/(m <sup>2</sup> a)	Yes
Pressurization Test Result:	0.6	h <sup>-1</sup>		0.6 h <sup>-1</sup>	Yes
Heating Load:	12	W/m <sup>2</sup>			
Frequency of Overheating:	6.3	%	over 25 °C		
Specific Useful Cooling Energy Demand:	4	kWh/(m <sup>2</sup> a)		15 kWh/(m <sup>2</sup> a)	Yes
Cooling Load:	16	W/m <sup>2</sup>			

Fig. 3.33 – Rezultatele generate de programul PHPP pentru clădirea de birouri: a. fără sistem de umbrire; b. cu un sistem de umbrire orizontal

În urma calculului se evidențiază creșterea necesarului de energie pentru încălzire a clădirii de la 11 kWh/m<sup>2</sup>an la 13 kWh/m<sup>2</sup>an (Fig. 3.33), întrucât elementele fixe de umbrire blochează acumulările de căldură din perioada rece a anului, așa cum evidențiază și graficele din Fig. 3.34. Factorul de utilizare a energiei solare crește de la

48% în primul caz la 52% în al doilea caz, întrucât prin prezența elementelor de umbrire acumulările de căldură scad în perioada verii de la 11 kWh/m<sup>2</sup>lună la sub 10 kWh/m<sup>2</sup>lună.

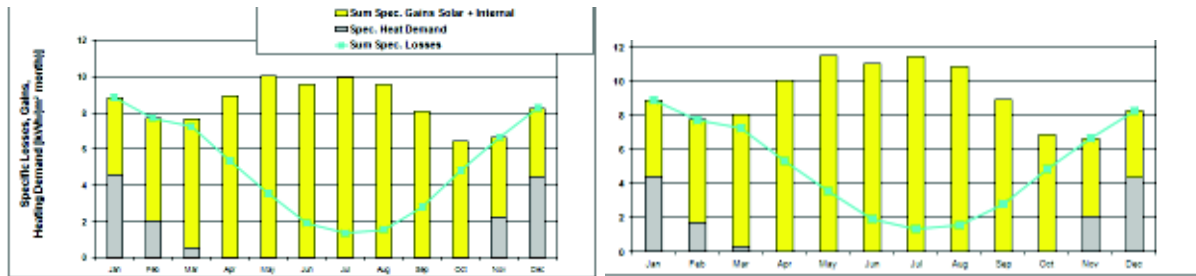


Fig. 3.34 – Graficele apurturilor solare și necesarului de energie pentru încălzire pentru clădirea de birouri fără nici un sistem de umbrire și cu un sistem de umbrire orizontal

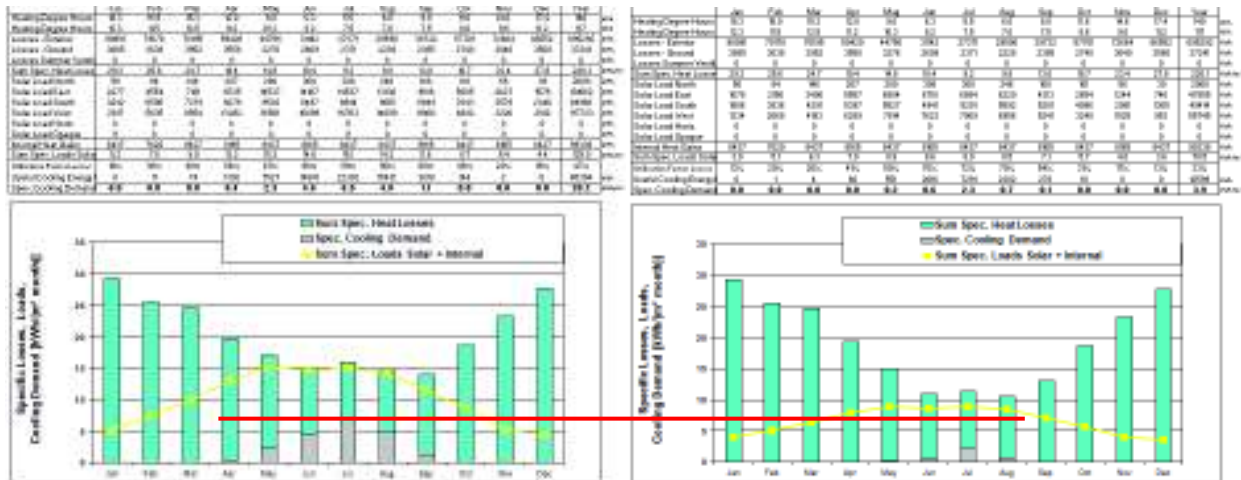


Fig. 3.35 – Graficele necesarului de energie pentru răcire pentru clădirea de birouri fără sistem de umbrire și respectiv cu un sistem de umbrire orizontal

În Fig.3.34 și 3.35 se pune în evidență scăderea necesarului de energie pentru răcire de la 20,2 kWh/m<sup>2</sup>an pentru clădirea neumbrită la 3,9 kWh/m<sup>2</sup>an pentru clădirea cu sistem de umbrire orizontal. De asemenea, se remarcă reducerea la zero a necesarului de energie pentru răcire în luna aprilie și reducerea aproape la zero a necesarului de energie pentru răcire în lunile mai (de la 2,3 kWh/m<sup>2</sup> lună la 0,2 kWh/m<sup>2</sup> lună) și septembrie (de la 1,1 kWh/m<sup>2</sup> lună la 0,1 kWh/m<sup>2</sup> lună). Pentru luna iulie cu cel mai ridicat necesar de energie pentru răcire, reducerea este de 66,66% prin utilizarea sistemelor de umbrire (de la 6,9 kWh/m<sup>2</sup> lună la 2,3 kWh/m<sup>2</sup> lună).

Pentru a determina eficiența sistemelor de umbrire în ceea ce privește apurturile solare, necesarul de energie pentru răcire și eficiența clădirii pe perioada unui an, clădirea de birouri este analizată cu programul CASAnova. Rezultatele privind necesarul de energie pentru încălzire și răcire, orele de zero energie pentru clădire fără utilizarea niciunui sistem de umbrire comparativ cu un grad de umbrire de 50% și 100% sunt ilustrate in Fig. 3.36.



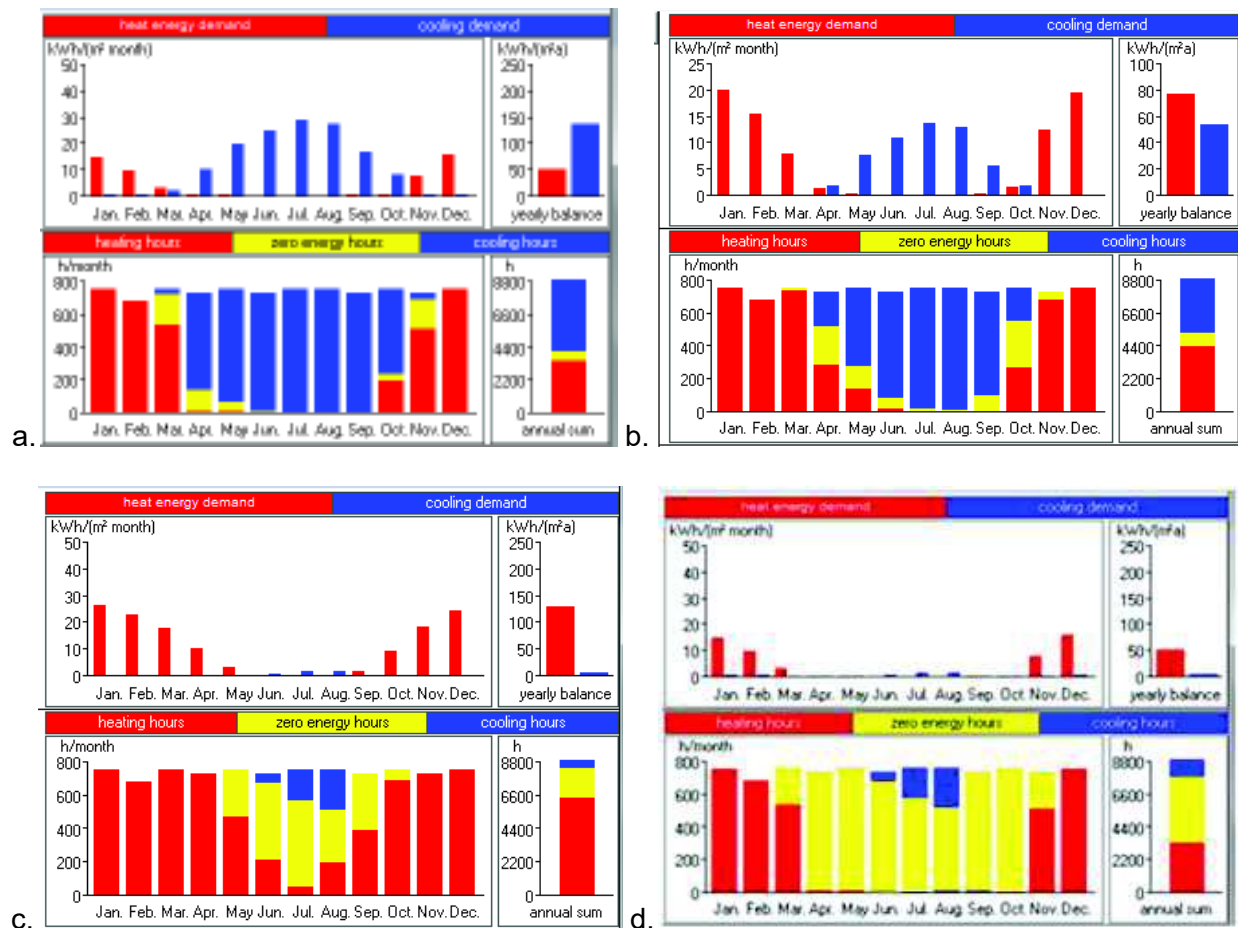


Fig. 3.36 – Graficele necesarului de energie pentru încălzire și răcire, orele de zero energie pentru clădirea de birouri propusă cu: grad de umbrire 0% (a), grad de umbrire 50% (b), grad de umbrire 100% (c) și creșterea numărului orelor de zero energie prin utilizarea unor sisteme de umbrire mobile (d)

Se evidențiază creșterea semnificativă a numărului de ore zero energie prin creșterea gradului de umbrire, dar și creșterea necesarului de energie pentru încălzire în raport cu necesarul de energie pentru răcire. Se remarcă de asemenea diferențele dintre necesarul de răcire și cel de încălzire pentru lunile în care traiectoria soarelui este aceeași. Astfel în luna aprilie, în care traiectoria soarelui este aceeași cu a lunii septembrie, umbrirea excesivă conduce la nevoia de a încălzi artificial clădirea, în timp ce în luna septembrie umbrirea este necesară în prima parte a lunii pentru a preveni supraîncălzirea. Graficele pun în evidență posibilitatea de a atinge obiectivul de zero energie în intervalul temporal care începe cu ultima treime a lunii martie și se termină cu prima treime a lunii noiembrie, prin utilizarea sistemelor mobile de umbrire care pot regla gradul de umbrire în funcție de condițiile exterioare, exceptând o treime din luna iulie și o treime din luna august când necesarul de răcire nu poate fi redus la zero.

Fig. 3.37 indică scăderea sarcinii maxime de răcire pe timpul verii de la 486,3 kW pentru clădirea neumbrită la 57,4 kW pentru un grad de 100% umbrire, reprezentând o scădere de 88,19%. Sarcina de răcire specifică maximă scade de la 187,6 W/m<sup>2</sup> la 22,1 W/m<sup>2</sup>.

Mean U-value	0.39	W / (m <sup>2</sup> K)	Mean U-value	0.39	W / (m <sup>2</sup> K)
Spec. transmission losses (U · A)	1221.4	W / K	Spec. transmission losses (U · A)	1221.4	W / K
Spec. ventilation losses ( $n \cdot (\rho \cdot c)_{L_{\text{air}}} \cdot V_{L_{\text{air}}}$ )	3413.3	W / K	Spec. ventilation losses ( $n \cdot (\rho \cdot c)_{L_{\text{air}}} \cdot V_{L_{\text{air}}}$ )	3413.3	W / K
Spec. losses (U · A + $n \cdot (\rho \cdot c)_{L_{\text{air}}} \cdot V_{L_{\text{air}}}$ )	4634.8	W / K	Spec. losses (U · A + $n \cdot (\rho \cdot c)_{L_{\text{air}}} \cdot V_{L_{\text{air}}}$ )	4634.8	W / K
Thermal inertia $\tau$	52.8	hours	Thermal inertia $\tau$	52.8	hours
Maximum heating load	159.2	kW	Maximum heating load	159.2	kW
Maximum specific heating load	61.4	W/m <sup>2</sup>	Maximum specific heating load	61.4	W/m <sup>2</sup>
Maximum cooling load	486.3	kW	Maximum cooling load	57.4	kW
Maximum specific cooling load	187.6	W/m <sup>2</sup>	Maximum specific cooling load	22.1	W/m <sup>2</sup>
Limit temperature for heating	18.4	°C	Limit temperature for heating	18.4	°C
Effective heating days	259	days	Effective heating days	259	days

Fig. 3.37 – Rezultatele necesarului de energie pentru răcire generate de programul CASanova pentru clădirea de birouri propusă cu grad de umbrire 0% și 100%

Astfel, fluxul de căldură care trebuie eliminat din clădire, suma acumulărilor și degajărilor de căldură scade datorită reducerii radiației solare prin suprafețele vitrate. Numai în lunile iunie, iulie și august necesarul de răcire nu poate fi anulat prin utilizarea sistemelor de umbrire, așa cum demonstrează Fig. 3.38.

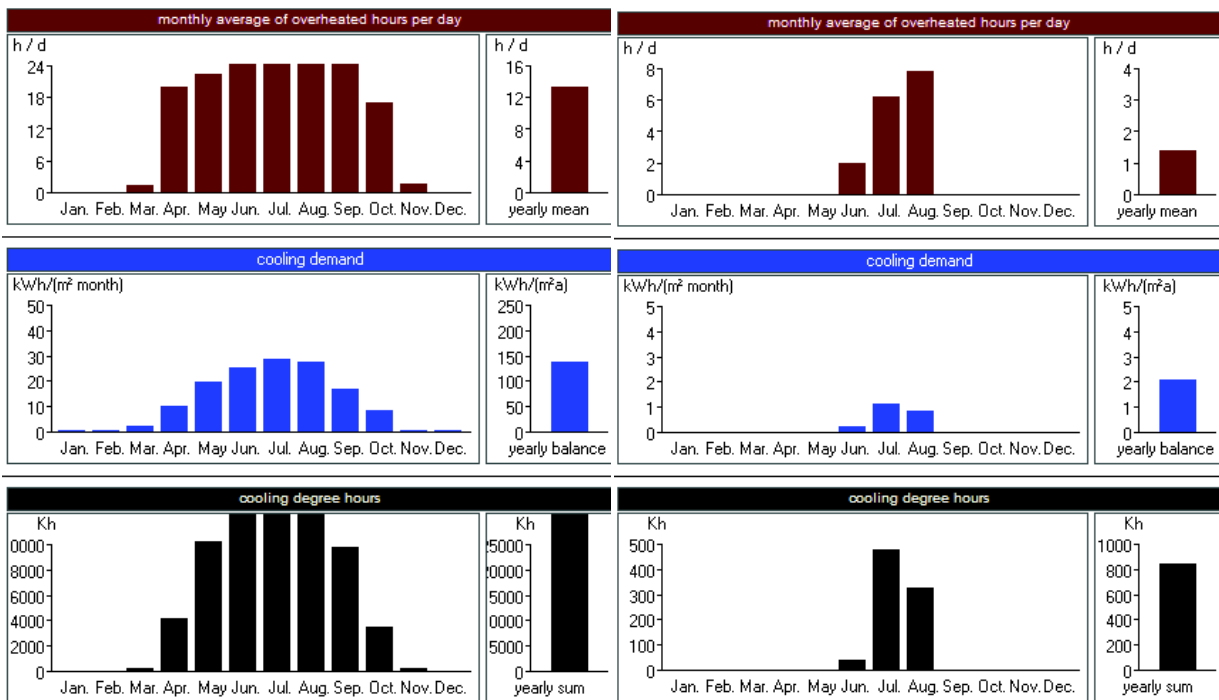


Fig. 3.38 – Graficele necesarului de energie pentru răcire și orele de supraîncălzire pentru clădirea de birouri cu grad de umbrire 0% și 100%

Utilizarea sistemelor fixe de umbrire conduce la creșterea necesarului de energie din cauza blocării radiației solare în perioadele reci. Astfel, necesarul de energie pentru încălzire crește (Fig. 3.39).

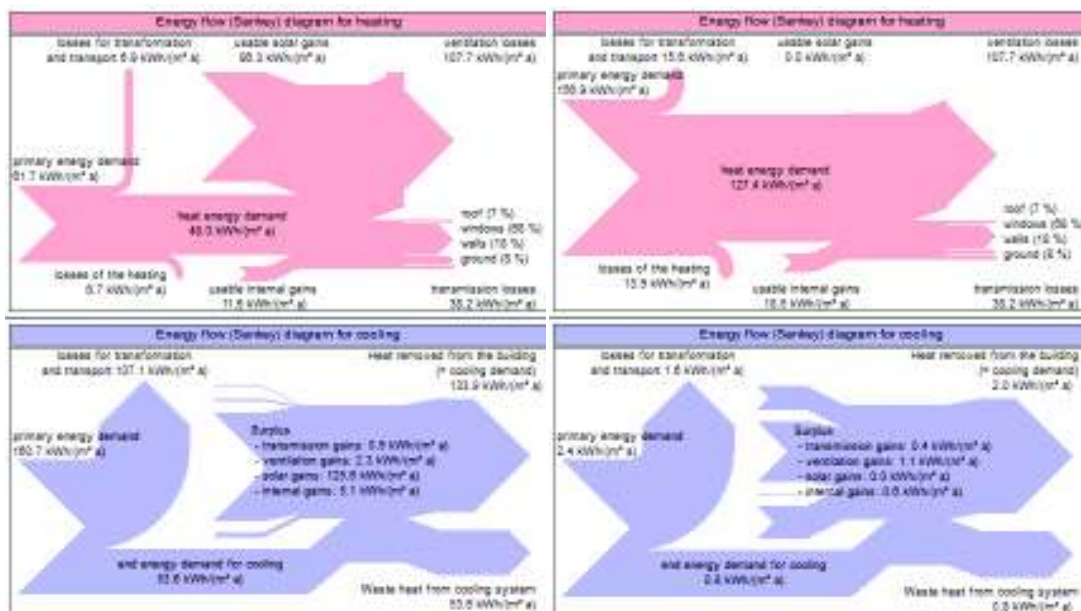


Fig. 39 – Graficele necesarului de energie pentru încălzire și răcire pentru clădirea de birouri cu grad de umbrire 0% și 100%

În cazul clădirii neumbrite, aportul radiației solare conduce la reducerea necesarului de energie pentru încălzire, iar necesarul de energie pentru răcire crește (Tabelul 3.2).

Tabelul 3.2 – Variația necesarului de energie pentru încălzire și răcire în funcție de gradul de umbrire

	Necesarul de energie pentru încălzire	[%]	Necesarul de energie pentru răcire	[%]
Fără umbrire	48 kW/m <sup>2</sup> an	38	133,9 kW/m <sup>2</sup> an	100
Umbrire 100%	127,4 kW/m <sup>2</sup> an	100	2 kW/m <sup>2</sup> an	1,5

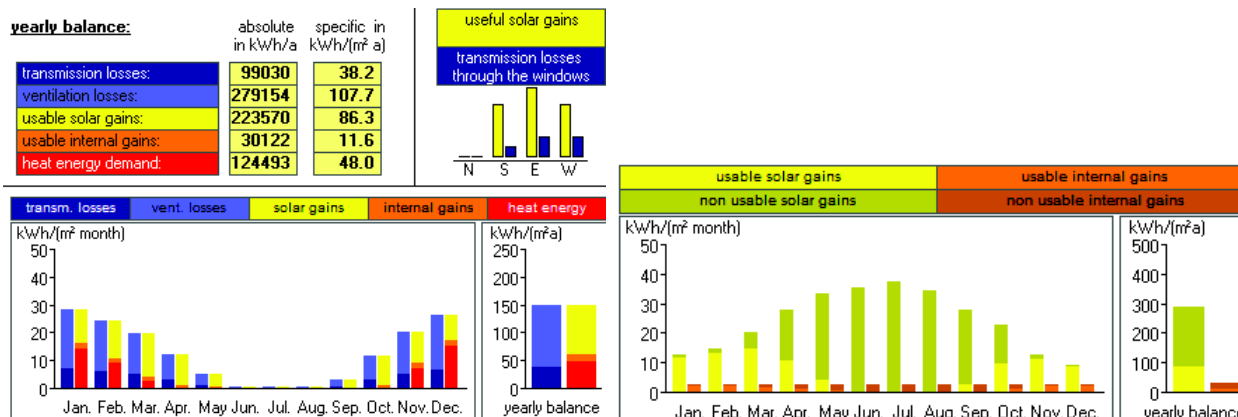


Fig. 3.40 – Graficele aporturilor utilizabile de căldură pentru clădirea de birouri fără umbrire

Fig.3.40 prezintă graficul aporturilor utilizabile de căldură din radiația solară și evidențiază eficiența utilizării unor sisteme de umbrire mobile, luând în considerare axa

simetriei solare (21 iunie) și cantitățile inegale de energie solară utilizabilă în lunile în care traiectoria soarelui este aceeași. Energia solară inutilizabilă poate fi la rândul său valorificată prin înglobarea unor sisteme de captare în cadrul sistemelor de umbrire, contribuind la reducerea necesarului de energie total al clădirii din resurse neregenerabile.

## 3.2 ANVELOPE CU IZOLAȚIE TERMICĂ VARIABILĂ

### 3.2.1 Noțiuni introductive

Izolația termică adaptabilă se bazează pe tehnici de izolare prin vidare, coeficientul de conductivitate termică  $\lambda$  a unui panou vidat cu fibră de sticlă variind de la 0,002 W/mK la 0,17 W/mK prin adăugarea de hidrogen la o presiune de 100 mbar. Acesta este eliberat prin încălzirea unei componente metalice cu hidrogen integrată în panou, proces care necesită aplicarea unui curent electric de până la 5 W/m<sup>2</sup> suprafață de panou. Atunci când hibridul metalic se răcește din nou la temperatura camerei, hidrogenul este reabsorbit și conducția prin gaz este suprimată.

O altă aplicație posibilă a izolației termice adaptabile poate fi realizată în combinație cu o izolație transparentă a anvelopei clădirii. Aplicațiile noii tehnologii oferă posibilitatea acumulării de căldură din radiația solară în perioada iernii, dar și protecție împotriva supraîncălzirii fațadei și mediului interior pe timpul verii (Fig. 3.41). În timpul zilelor însorite de iarnă, panourile în starea conductivă permit pătrunderea căldurii în interiorul clădirii.

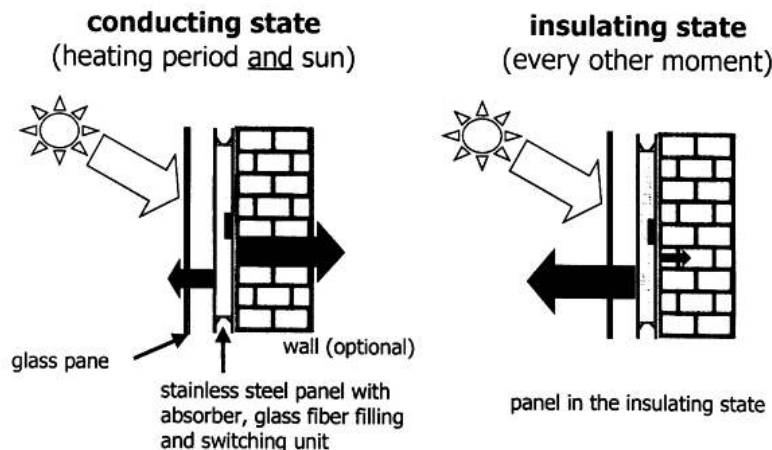


Fig. 3.41 – Variația transmitanței termice a panourilor cu izolație termică adaptabilă [17]

În cazul utilizării unui material din fibră de sticlă cu diametrul fibrei de 10  $\mu\text{m}$ , panoul vidat are un coeficient de conductivitate termică  $\lambda=1,6 \times 10^{-3}$  W/mK. Coeficientul de conductivitate termică gazoasă  $\lambda_g$  depinde de presiunea gazului, variația coeficientului de conductivitate termică a unui panou cu fibră de sticlă și hidrogen în funcție de presiune fiind ilustrată în Fig. 3.42.

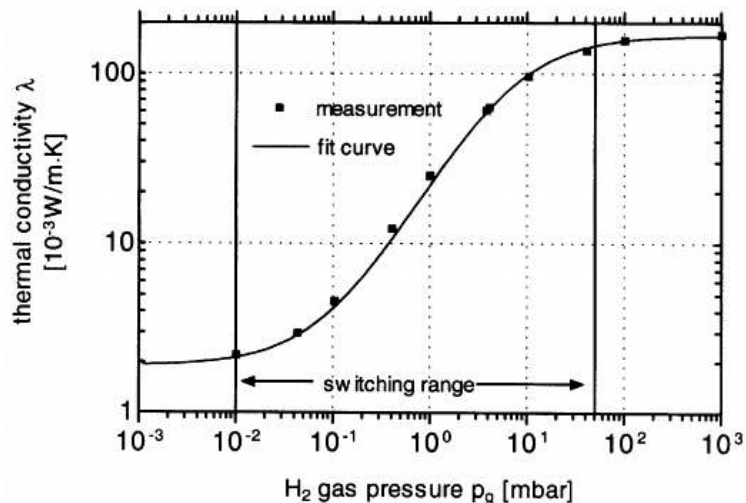


Fig. 3.42 – Graficul variației coeficientului de conductivitate termică a unui panou cu fibră de sticlă și hidrogen în funcție de presiunea  $p_g$  a gazului la temperatura încăperii și o încărcare exterioară de 1 bar, considerând presiunea caracteristică  $p_{1/2} = 6,75$  mbar și  $\lambda_g^0(T) = 170 \times 10^{-3}$  W/Mk [17]

Modificarea coeficientului de conductivitate termică a hidrogenului în funcție de presiune este mai accentuată între valorile 0,1 și 10 mbar. Presiunea caracteristică  $p_{1/2}$  pentru hidrogen în stare gazoasă în panoul cu fibră de sticlă este de aproximativ 7mbar.

Astfel, fibra de sticlă se dovedește a fi un material potrivit care poate fi folosit la interiorul panoului izolator vacuumat datorită conductivității termice scăzute,  $\lambda < 0,003$  W/mK, la o presiune de 0,01 mbar. O presiune de 50 mbar a gazului de hidrogen este suficientă pentru a modifica valoarea conductivității termice a panoului de la 50 la 0,15 W/mK, proprietățile termodinamice ale hibridului metalic utilizat pentru modificarea conductivității termice permițând un proces reversibil de eliberare și stocare a hidrogenului de până de câteva mii de ori.

Panourile izolatoare își pot modifica transmitanța termică prin această reacție, care este controlată prin intermediul unui senzor care reacționează la variația temperaturii exterioare. Prin creșterea rezistenței termice a panourilor, căldura este reținută pe timpul nopții sau în zilele înnorate. În funcție de natura fațadei pe care sunt montate panourile cu izolație termică adaptabilă, se pot obține valori ale transmitanței termice între 0,2 W/m<sup>2</sup>K în starea izolatoare a panourilor și 10 W/m<sup>2</sup>K în starea de conductivitate ridicată.

### 3.2.2 Evaluarea eficienței izolației termice adaptabile pentru o clădire de birouri

Izolația termică adaptabilă este analizată punând accent pe influența asupra eficienței energetice și a confortului termic în funcție de caracteristicile clădirii, orientare și climat. Se urmărește potențialul economisirii energiei pentru încălzire și răcire și posibilitatea îmbunătățirii confortului termic interior fără a utiliza instalația de aer condiționat.

În acest sens s-a analizat clădirea de birouri cu izolație termică adaptabilă pe acoperiș, luând în considerare cele două situații extreme, în care transmitanța termică este minimă și maximă. Fig. 3.43 arată scăderea necesarului de energie pentru încălzire în primul caz, datorită utilizării aperturilor solare de la 15,1 kWh/m<sup>2</sup>luna la 5 kWh/m<sup>2</sup>luna. Prin reducerea transmitanței termice ziua și creșterea acesteia în timpul nopții,

necesarul de energie pentru răcire scade de la 3,8 kWh/m<sup>2</sup>an la 2,3 kWh/m<sup>2</sup>an (Fig. 3.44). Frecvența supraîncălzirii se reduce de la 5,7% la 2,3%, datele fiind indicate în Fig. 3.45.

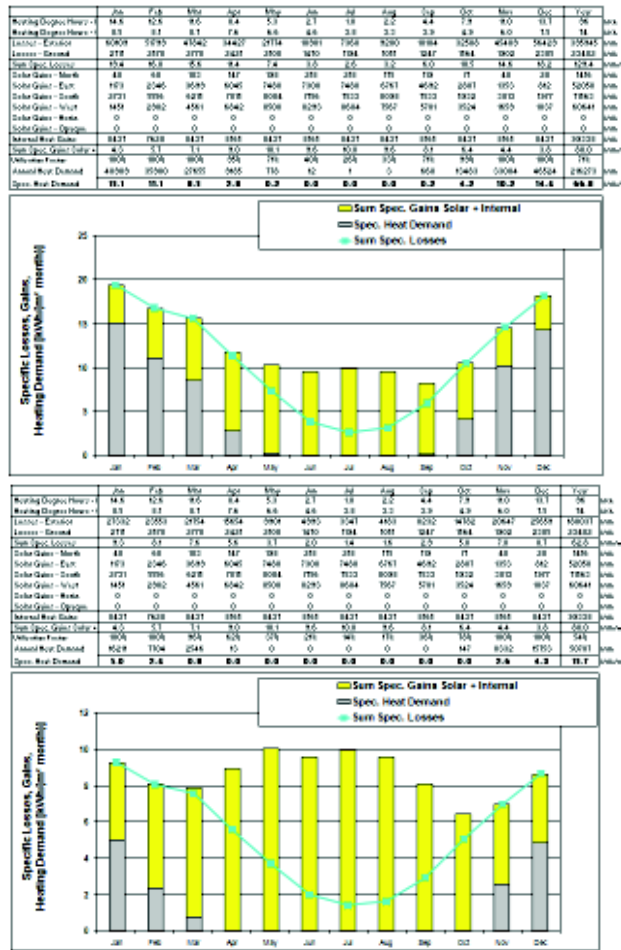


Fig. 3.43 – Graficele necesarului de energie pentru încălzire și ale aporturilor solare pentru clădirea de birouri cu izolație termică adaptabilă pe acoperiș

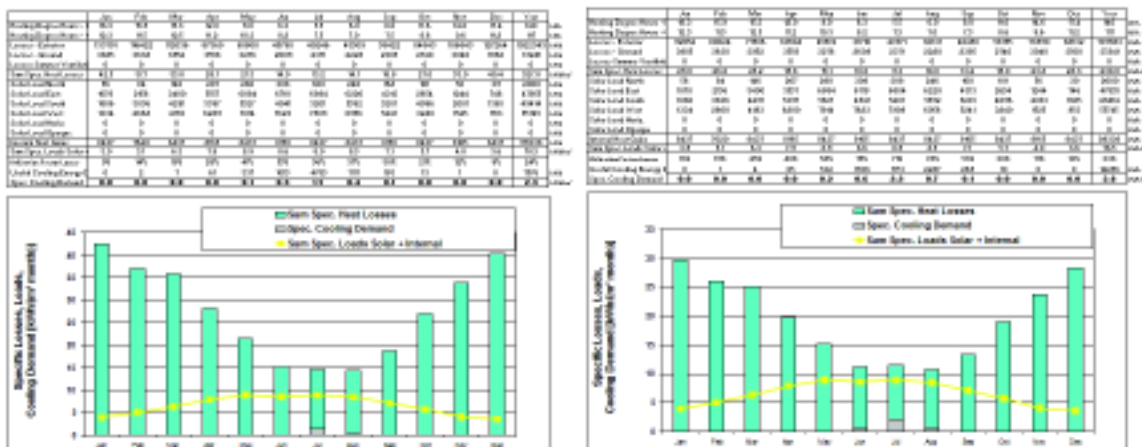


Fig. 3.44 – Graficele necesarului de energie pentru răcire pentru clădirea de birouri cu izolație termică adaptabilă pe acoperiș

Specific Demands with Reference to the Treated Floor Area				
Treated Floor Area:	3240,0 m <sup>2</sup>		PH Certificate:	Fulfilled?
	Applied:	Annual Method		
Specific Space Heat Demand:	59	kWh/(m <sup>2</sup> a)	15 kWh/(m <sup>2</sup> a)	No
Pressurization Test Result:	0.6	h <sup>-1</sup>	0.6 h <sup>-1</sup>	Yes
Heating Load:	34	W/m <sup>2</sup>		
Frequency of Overheating:	2.3	%	over 25 °C	
Specific Useful Cooling Energy Demand:	2	kWh/(m <sup>2</sup> a)	15 kWh/(m <sup>2</sup> a)	Yes
Cooling Load:	15	W/m <sup>2</sup>		

Specific Demands with Reference to the Treated Floor Area				
Treated Floor Area:	3240,0 m <sup>2</sup>		PH Certificate:	Fulfilled?
	Applied:	Annual Method		
Specific Space Heat Demand:	14	kWh/(m <sup>2</sup> a)	13 kWh/(m <sup>2</sup> a)	Yes
Pressurization Test Result:	0.6	h <sup>-1</sup>	0.6 h <sup>-1</sup>	Yes
Heating Load:	13	W/m <sup>2</sup>		
Frequency of Overheating:	5.7	%	over 25 °C	
Specific Useful Cooling Energy Demand:	4	kWh/(m <sup>2</sup> a)	15 kWh/(m <sup>2</sup> a)	Yes
Cooling Load:	15	W/m <sup>2</sup>		

Fig. 3.45 – Valorile necesarului de energie pentru încălzire și răcire și ale supraîncălzirii pentru clădirea fără și cu izolație termică adaptabilă

Calcululele demonstrează potențialul izolației adaptabile în optimizarea eficienței energetice a clădirilor, care depinde de:

- pierderile termice totale prin ventilare și transmisie, atât în varianta izolatoare, cât și în cea conductoare a izolației adaptabile;
- sarcina termică a încăperii;
- temperatura superficială a anvelopei adaptabile,

dar nu este considerabil influențat de:

- masa termică a încăperii;
- masa termică a materialelor utilizate.

În zilele însorite de iarnă temperatura superficială a anvelopei poate fi mai ridicată decât temperatura interioară. O anvelopă fără izolație termică permite transmiterea energiei solare pasive, reducând energia necesară pentru încălzire. Mai mult, în nopțile răcoase de vară căldura excesivă este eliberată spre mediul exterior printr-un acoperiș neizolat. Se evidențiază modul în care se poate reduce necesarul de energie și atingerea unui confort interior sporit prin adaptarea izolației termice a anvelopei la condițiile interioare și exterioare. În plus, aplicarea izolației adaptabile la nivelul solului permite utilizarea pasivă a masei termice a solului.

Conductivitatea termică depinde de gazul utilizat, în cazul umplerii cu aer aceasta corepunzând cu coeficientul de conductivitate termică al materialelor izolatoare tradiționale (0,031 W/mK). La evacuarea gazului, datorită grosimii reduse, rezistența termică se apropie de 0.

### 3.3 ANVELOPE CU PERNE DE AER ETFE

#### 3.3.1 Noțiuni introductive

ETFE (etilenă tetrafluoroetilenă) este un material ușor, folosit tot mai des în domeniul construcțiilor datorită transparenței și potențialului pe care îl are în economia de energie.

Pernele de aer cu membrane ETFE conferă izolare termică la costuri reduse în timp ce structura necesară susținerii este mult mai ușoară în comparație cu o anvelopă din sticlă. Întrucât folia ETFE nu este în întregime opacă la radiația cu lungime mare de undă, aceasta nu poate fi tratată asemenea unei anvelope din sticlă.

Din considerente structurale, membranele ETFE sunt asamblate de regulă ca perne de aer constituite din două sau mai multe straturi de folie. Pernele de aer sunt pretensionate pneumatic, asigurând structura de rezistență și izolație termică în același timp. Se pot obține suprafețe mari, permitând astfel proiectarea unor spații ample cu deschideri considerabile. Fiind un material ușor și având rezistență mare, conturul pernelor poate avea o infinitate de forme. Utilizarea pernelor de aer ETFE reduce încărcarea totală exercitată asupra structurii.

#### – *Transparență*

Membranele ETFE prezintă o transparență de aproximativ 94-97%, transmisia energiei solare putând fi redusă prin imprimare sau nuanțare. Din cauza suprapunerii membranelor și a suprafețelor curbe din cadrul pernelor de aer, transparența scade și vederea este obstrucționată.

#### – *Rezistență termică*

O membrană ETFE are transmitanța termică  $U$  de aproximativ  $5,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ , în timp ce o pernă de aer cu 3 membrane ETFE poate atinge o valoare  $U$  de  $1,77 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Proprietățile termice ale pernelor de aer ETFE pot fi optimizate prin adăgarea mai multor straturi de membrane ETFE (până la cinci membrane) sau prin tratarea foliilor cu pelicule speciale.

Sistemele cu perne de aer cu trei membrane ETFE au o rezistență termică de aproximativ  $0,51 \text{ m}^2\text{K/W}$ , valoare superioară altor materiale și sisteme transparente, în timp ce un sistem cu cinci membrane are o rezistență termică de aproximativ  $0,75 \text{ m}^2\text{K/W}$ .

Avantajul utilizării membranelor ETFE în cadrul unui sistem pneumatic îl constituie stratul de aer care conferă stabilitate și acționează ca izolator termic. De regulă sunt utilizate trei straturi de folie ETFE, acest sistem oferind un raport optim între performanța termică și transparență. Unele sisteme încorporează până la cinci membrane, performanța termică crescând cu 50%. Adăgarea mai multor straturi ETFE sporește astfel rezistența termică a pernelor de aer, volumul de aer din interiorul sistemului rămânând constant. Mai mult, performanța termică a sistemelor cu perne de aer poate fi îmbunătățită semnificativ prin integrarea unor straturi interioare de nanogel, rezistența termică adițională fiind proporțională cu grosimea stratului aplicat. Transmitanța termică  $U$  poate atinge astfel valori cuprinse între  $0,38-1,13 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

#### – *Proprietăți acustice*

Pernele de aer cu membrane ETFE conferă izolație acustică, acționând ca absorbanți fonici, calitate care le recomandă pentru anvelopele clădirilor cu scop recreațional sau cu importante emisii sonore, întrucât sunetul nu va mai fi reflectat spre spațiul interior. Din cauza tensiunii din interiorul pernelor de aer, sunetul produs de precipitații la nivelul acoperișului poate crea disconfort. Zgomotul ploii poate fi redus prin aplicarea unui strat de atenuare a zgomotului pe suprafața exterioară a pernei de aer, care acționează ca un amortizor, împiedicând reverberația sunetului în mediul interior. Aceste soluții de



atenuare a zgomotului ploii sunt necesare doar în condiții excepționale și pot fi montate ulterior, fiind recomandată instalarea lor după evaluarea zgomotului produs de ploaie.

– *Aspecte de sustenabilitate*

Datorită greutății scăzute, transportul membranelor ETFE necesită mai puțină energie (cu aproximativ 90%) decât în cazul sticlei. La finalul perioadei de utilizare sistemul poate fi demontat și reciclat prin topirea membranelor și re folosirea lor pentru fabricarea unor noi membrane ETFE. Mai mult, materia primă nu constă dintr-un derivat petrochimic, ci dintr-o substanță din clasa a II-a conform Protocolului de la Montreal, un material cu energie înglobată scăzută.

Cel mai important aspect în ceea ce privește proiectarea constă în capacitatea sistemului de a deveni un element catalizator pentru proiectare sustenabilă holistică, oferind posibilitatea ventilării naturale, reducerea greutății structurale și controlul transmitanței energiei solare pentru iluminat natural.

– *Consum de energie*

Un sistem pneumatic cu perne de aer ETFE este dotat cu una sau mai multe unități de umflare care usucă aerul înainte de a îl introduce în sistem pentru a evita condensul în interiorul pernelor de aer. Presiunea interioară a pernelor de aer este monitorizată continuu prin intermediul unor senzori pentru a o menține constantă (240-287 Pa). În cazul unor încărcări exterioare semnificative produse de zăpadă sau vânt, senzorii pot ajusta automat și continuu presiunea interioară pentru a compensa aceste încărcări și a menține forma anvelopei, presiunea putând crește până la 1436 Pa.

O astfel de unitate de umflare poate fi suficientă pentru o suprafață de până la 1400 m<sup>2</sup> a unui acoperiș cu perne de aer ETFE, funcționând la o tensiune de 110V cu consum sub 1 kW/h, în funcție și de temperatura aerului și umiditate.

– *Siguranță*

Datorită rezistenței ridicate și elasticității membranelor ETFE, acestea prezintă o bună comportare la încărcări dinamice din cutremure sau explozii, schimbându-și poziția sau dezumflându-se fără a cauza prejudicii importante (spre deosebire de sticlă).

### **3.3.2 Fluxul de căldură printr-un sistem cu perne ETFE**

Distribuția căldurii prin pernele de aer ETFE înclinate poate fi determinată prin utilizarea calculelor pentru dinamica fluidelor. Testele pe teren și modelele de calcul au pus în evidență o distribuție inegală a căldurii în interiorul pernelor de aer. Astfel, pentru o diferență de temperatură de 30° C între mediul exterior și cel interior s-a demonstrat că 30% din fluxul total de căldură are loc prin convecție, iar 70% prin radiație. De asemenea fluxul de căldură prin radiație nu depinde de înclinația pernelor de aer, fiind determinat în întregime de diferența de temperatură, spre deosebire de fluxul de căldură prin convecție care este direct proporțional cu înclinația.

În mod similar valoarea transmitanței termice a unui sistem ETFE este redusă atunci când este poziționat orizontal, performanța pernelor de aer amplasate la nivelul acoperișului fiind astfel mai ridicată decât în cazul celor amplasate la nivelul fațadei.

S-au făcut simulări privind transferul căldurii prin perne de aer ETFE, din care a rezultat că fluxul termic datorat radiației cu lungime mare de undă este cu aproape 12% mai mare în comparație cu cel care are loc prin sticlă.

În cazul poziționării orizontale se creează diverse vârtejuri, în timp ce la o înclinație de 45° volumul de aer prezintă un vârtej principal la nivelul suprafețelor interioare și unul secundar spre marginile inferioare și superioare, comportare asemănătoare și în cazul poziționării verticale, așa cum se remarcă în Fig. 3.46.

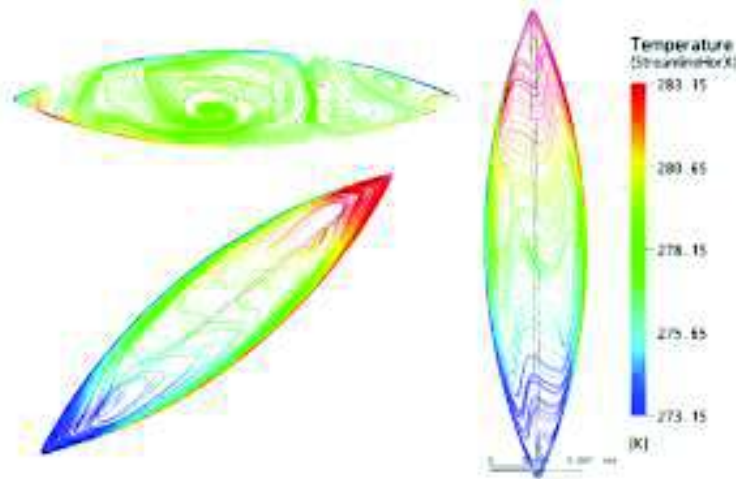


Fig. 3.46 – Linii de curent al aerului din interiorul pernei de aer ETFE colorate în funcție de temperatură [2]

În cazul poziționării orizontale, temperatura din interiorul pernei de aer este uniformă în întreg volumul datorită mișcării aerului din interior, remarcându-se diferențe de temperatură doar la contactul cu mediul interior și exterior, care determină majoritatea fluxurilor de căldură prin convecție. În cazul poziționării verticale sau înclinate, distribuția temperaturii diferă, creându-se straturi de aer cu temperaturi diferite, mai ridicate la partea superioară și mai joase la partea inferioară. Doar la nivelul suprafețelor exterioare temperaturile sunt relativ constante 20°C la fața interioară, temperatura la fața exterioară variind în funcție de temperatura mediului exterior. Viteza medie a aerului interior în cazul poziționării orizontale este de 9,6 cm/s, iar viteza maximă de 29,3 cm/s. Compararea valorilor medii ilustrează faptul că radiația produsă între cele două suprafețe produce un flux de căldură independent de înclinație, care depinde numai de diferența de temperatură. Ponderea fluxului de căldură prin convecție raportat la fluxul total de căldură crește odată cu înclinația pernelor de aer: creșterea în cazul înclinației 0° față de 45° este dublă în comparație cu cea în cazul înclinației 45° față de 90°.

### 3.3.3 Comportarea materialului la radiația cu lungime mare de undă

O diferență majoră dintre membranele ETFE și sticlă o constituie modul în care radiația cu lungime mare de undă este blocată sau transmisă. Astfel, în timp ce sticla este opacă la acest tip de radiație cu lungime mare de undă, membranele ETFE transmit o parte din ea.

Transmisia luminii vizibile a membranelor ETFE este de 94-97%, iar cea a ultravioletelor de 83-88%. Din intervalul spectrului solar vizibil frecvențele sunt transmise în mod egal, ceea ce înseamnă că nu sunt modificate culorile observate prin intermediul membranei. Sticla este opacă la radiația cu lungime mare de undă, depinzând de suprafața de emisie și de temperatură. O diferență de temperatură dintre panou și aer conduce la un schimb de căldură prin radiație.

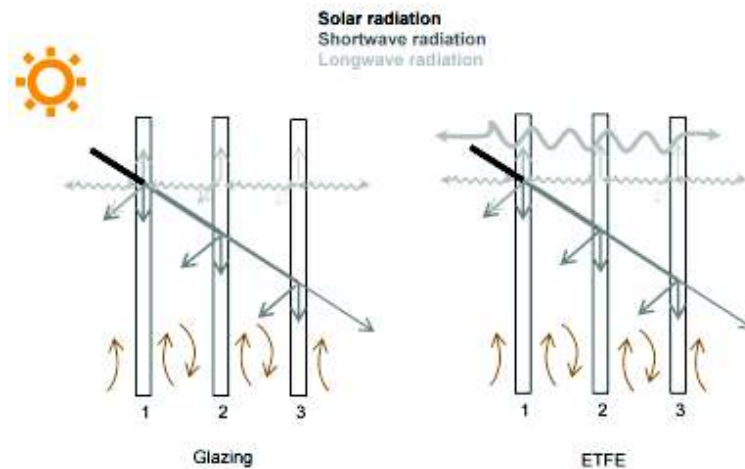


Fig. 3.47 – Mecanismul radiației solare pentru o fereastră cu trei straturi de sticlă și pentru o pernă de aer cu 3 straturi ETFE [43]

În cazul expunerii membranelor ETFE la radiația solară:

- Radiația solară incidentă, o parte cu lungime de undă scurtă, o parte cu lungime mare de undă, ajunge la prima membrană;
- Asemenea unui vitraj din sticlă, radiația cu lungime de undă scurtă este transmisă, absorbită și reflectată de către membrană. Energia absorbită conduce la o creștere a temperaturii primei membrane. Mecanismul este similar pentru a doua și a treia membrană.
- Membranele ETFE nu sunt opace la radiația cu lungime mare de undă, astfel încât atunci când ea ajunge la prima membrană, o parte este transmisă. Mecanismul este similar cu cel al vitrajului din sticlă, doar că în acest caz, o parte mai mică va fi absorbită și re-emisă (Fig. 3.47).
- În cazul membranelor ETFE transmisia radiației cu lungime mare de undă are impact asupra conducției energiei absorbite în membrane (de exemplu în cazul unei membrane imprimate) care este emisă și transmisă prin alte straturi și în situațiile în care schimbul de căldură prin radiație cu lungime mare de undă are loc între interior și exterior traversând perna de aer.

Aceste efecte pot varia în funcție de condițiile de mediu.

### 3.3.4 Comportarea pernelor de aer de la nivelul acoperișului

În timpul nopților reci de iarnă, temperatura interioară este mai mare decât temperatura radiantă a mediului exterior. Din moment ce pardoseala spațiului interior transmite radiația de undă lungă prin intermediul acoperișului ETFE direct spre mediul exterior, are loc un transfer de undă lungă între aceste două medii. Transferul de căldură rezultat

depinde de diferența de temperatură, temperatura membranelor ETFE și proprietățile lor în ceea ce privește schimbul de căldură prin radiație. În mod similar în funcție de amplasament, schimbul de căldură prin radiație poate avea loc între clădire și vecinătăți. În timpul zilelor călduroase de vară, domină de regulă transmisia căldurii prin radiație cu undă scurtă, dar transmisia prin radiație cu undă lungă poate afecta transferul termic rezultat, în funcție de diferențele de temperatură dintre membrane (care pot fi membrane imprimate sau absorbante), pardoseala spațiului ocupat, mediul exterior și clădirile învecinate.

### 3.3.5 Optimizarea performanței termice a pernelor de aer ETFE prin imprimare

Performanțele optice și termice ale pernelor de aer cu membrane ETFE sunt puternic influențate de imprimarea membranelor, întrucât mărirea suprafețelor imprimate reduce cantitatea radiației cu undă scurtă care pătrunde în spațiul interior și, implicit, valoarea transmisiei energiei solare.

Alți factori care influențează performanța pernelor de aer sunt aplicarea unor pelicule cu emisivitate redusă, imprimarea și geometria. Peliculele cu emisivitate redusă micșorează emisivitatea și fluxul căldurii prin anvelopă.

Un element cheie poate fi un strat intermediar imprimat. Principalul scop al imprimării îl constituie introducerea umbririi și reducerea cantității energiei solare transmise în spațiile interioare. Transmisia energiei solare poate varia în funcție de numărul de membrane imprimate care pot fi reglate pentru a controla efectul de umbrire (Fig. 3.48).

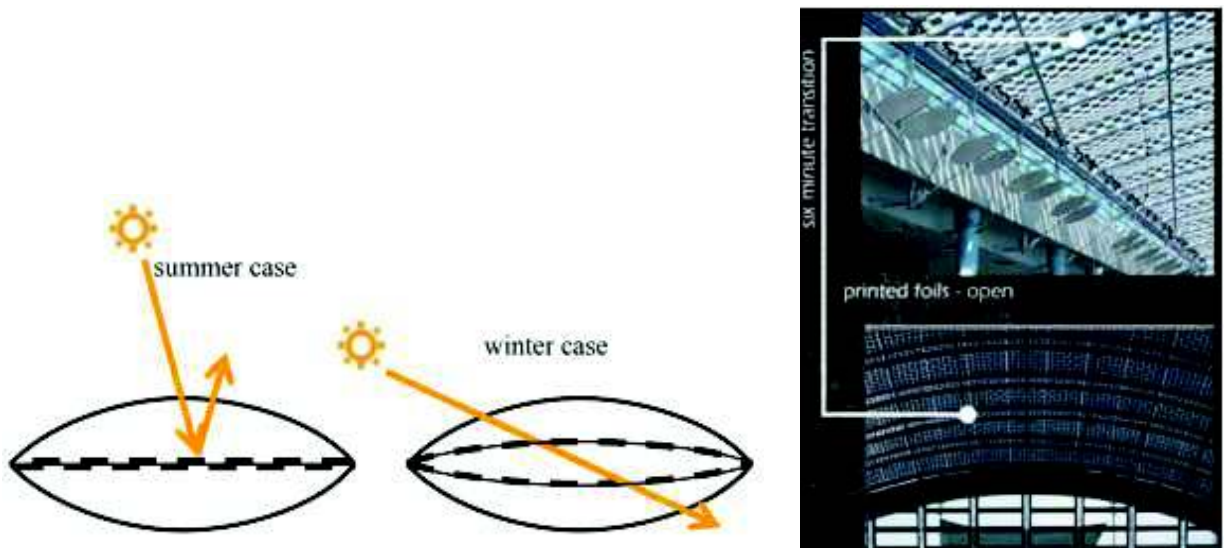


Fig. 3.48 – Controlul umbririi prin imprimarea a două membrane intermediare [43;108]

Pe timpul nopții membrana imprimată poate conduce la creșterea izolării termice, având în vedere că opacitatea sa la radiația cu lungime mare de undă reduce transferul de căldură dintre spațiul interior și cel exterior.

În zilele călduroase de vară, membrana imprimată reduce cantitatea de radiație cu undă scurtă care pătrunde în interior (cu cât densitatea imprimării este mai mare, cu atât pătrunderea radiației cu lungime de undă scurtă este mai redusă). Stratul imprimat reflectă o parte a radiației cu undă scurtă și absorbe o parte, crescând temperatura

membranei. Un strat imprimat cu absorbție mare crește temperatura membranei intermediare mai mult decât unul cu grad mare de reflexie, sporind radiația cu undă lungă (spre mediul interior sau exterior, în funcție de diferențele de temperatură și de emisivități). Pe de altă parte, din moment ce stratul imprimat este opac la radiația cu undă lungă, un strat intermediar imprimat împiedică transmiterea acestei radiații dinspre exterior. Prin imprimare este redus riscul de supraîncălzire a spațiului, mecanismul complex de transfer al căldurii fiind ilustrat în Fig. 3.49.

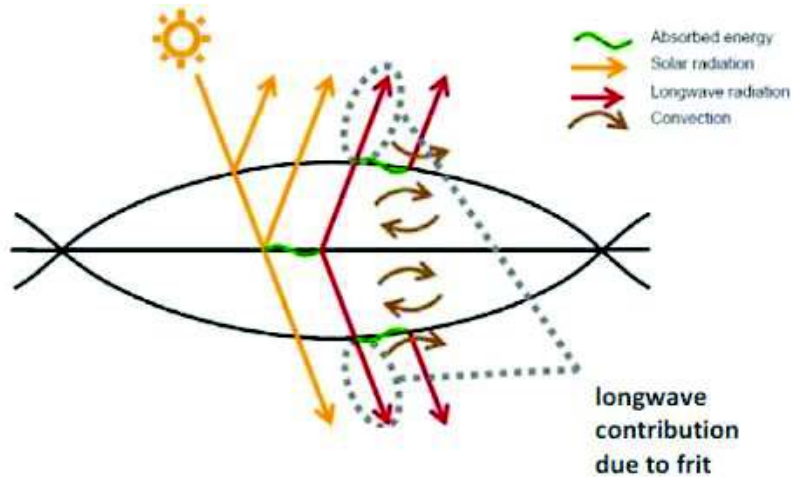


Fig. 3.49 - Impactul imprimării straturilor ETFE asupra performanței sistemului [43]

### 3.4 ANVELOPE CU BIOREACTOARE CU ALGE

#### 3.4.1 Noțiuni introductive

Fațada cu bioreactoare cu alge este un sistem pentru producerea energiei regenerabile, care utilizează biomasa algelor și energia solară și poate fi integrat atât clădirilor noi, cât și celor existente, având funcționalități diverse: clădiri industriale, comerciale, rezidențiale sau publice. Acest sistem de fațadă presupune integrarea unor panouri cu fotobioreactoare care acționează ca sisteme exterioare de umbră. Fațada se constituie din recipiente transparente în care are loc procesul de fotosinteză într-un mediu controlat. Microalgele se dezvoltă rapid și circulă în volumul de apă al panoului împreună cu nutrienții, absorbind lumina și bioxidul de carbon și producând biomasă și energie termică. Panourile sunt conectate printr-o buclă închisă la camera de instalații unde sunt alimentate cu bioxid de carbon din procesele de combustie din zonă. Algele sunt recoltate și transformate în metan fie la fața locului, fie în afara acestuia. Căldura generată este extrasă din sistem prin intermediul schimbătoarelor de căldură și înmagazinată geotermal sau readusă în cadrul clădirii cu ajutorul unei pompe de căldură pentru încălzire și apă caldă.

Odată cu evoluția fațadelor cu microalge, tehnicile termografice au fost utilizate pentru a determina performanțele termice preliminare, acestea conducând la dezvoltarea proiectării lor prin generarea unui feedback performant. Astfel, testele preliminare au indicat un coeficient de transfer termic al fațadelor cu alge comparabil cu cel al unei unități vitrate izolatoare din sticlă cu emisivitate redusă. Se preconizează că fațadele cu

alge le vor depăși ca performanță pe cele din sticlă cu emisivitate redusă datorită potențialului masei termice a algelor și reducerii cantității de bioxid de carbon prin introducerea sa în circuitul fațadei.

Temperatura la nivelul fațadei atinge valori de aproximativ 40°C, căldura captată putând fi utilizată fie direct pentru încălzirea apei, fie stocată în subsol prin folosirea unui sistem geotermal care poate funcționa pe perioada întregului an. Fațadele cu bioreactoare cu alge pot concura cu cele care utilizează alte tehnologii de captare a căldurii sau a energiei solare. În acest sens eficiența transformării energiei solare în biomasă este de 10%, iar cea a transformării energiei solare în căldură de 38%, în timp ce sistemele fotovoltaice au o eficiență de 12-15%, iar sistemele termice de 60-65%. Mai mult, fațadele cu bioreactoare absorb CO<sub>2</sub> din gazele de eșapament în cantități echivalente cu cele ale biomasei rezultate, reducând emisiile de CO<sub>2</sub> ale clădirilor și contribuind la scăderea concentrației globale de CO<sub>2</sub>.

### 3.4.2 Evaluarea performanței termice pentru prototipul BIQ

Locuința colectivă BIQ a fost prezentată la Expoziția Internațională a Construcțiilor (International Building Exhibition) din Hamburg, 2013. Această clădire pasivă cubică are cinci niveluri și o a doua anvelopă care îmbracă cele două fațade expuse radiației solare (sud-est și sud-vest). Cele 15 apartamente (dintre care și un duplex), au o suprafață care variază de la 50 la 120 m<sup>2</sup>, iar suprafața construită a unui nivel este de 1 600 m<sup>2</sup>. Fațada sa cu alge (200 m<sup>2</sup>) este alcătuită din 129 de module, fotobioreactoare, cu lungimea de 2,7 m, lățimea 70 cm și grosimea 8 cm și produce o biomasă de 30 kWh/m<sup>2</sup>an și o energie pentru încălzire de 150 kWh/m<sup>2</sup>an (Fig. 3.50). Modulele sunt grupate și montate pe o structură metalică care deservește atât pentru conectarea instalației modulelor, cât și ca ax vertical, urmărind mișcarea soarelui. Fațada contribuie de asemenea la reducerea emisiilor de bioxid de carbon ale clădirii cu 6 tone/an, eliminând în plus încă 2,5 tone de bioxid de carbon pe an.

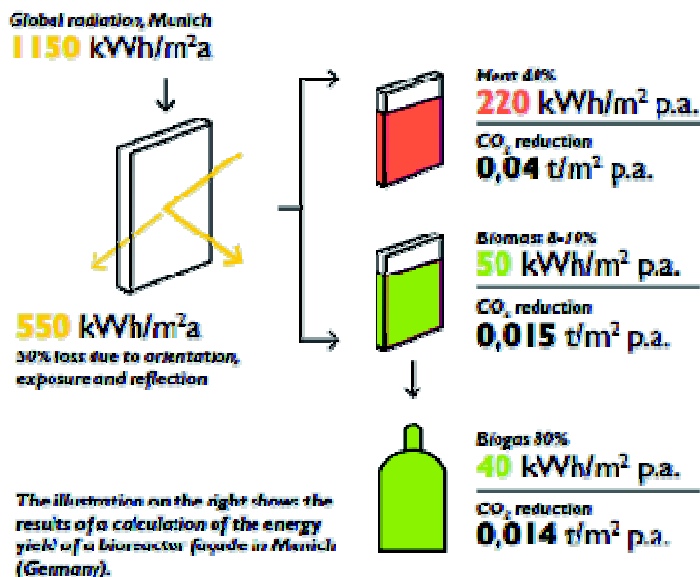


Fig. 3.50 –Performanța energetică a unei fațade cu bioreactoare cu alge din München [57]

### 3.4.3 Potențialul și beneficiile implementării bioreactoarelor cu alge

*Condițiile optime* pentru integrarea bioreactoarelor cu alge presupun:

- o sursă constantă de CO<sub>2</sub>;
- expunerea ideală pe fațadele sudice, acoperind o suprafață mai mare de 200 m<sup>2</sup>.

*Beneficii:*

- consum redus de energie pentru atingerea obiectivului de clădire eficientă energetic respectând standardul Passivhaus;
- conversia radiației solare în biomasă și căldură;
- stocarea energiei la nivel local și utilizarea energiei solare;
- proiectare sustenabilă, tinzând spre reducerea aproape totală a emisiilor de CO<sub>2</sub>;
- sistem de umbrire dinamic, adaptabil întrucât intensificarea radiației solare conduce la reducerea transparenței și transmitanței energiei solare (coeficientul *g*);
- experiența dinamică a utilizatorilor creată prin mișcarea bulelor de aer și variația culorii elementelor cu bioreactoare cu alge;
- posibilitatea aplicării ca sistem de anvelopă primară cu beneficii în ceea ce privește izolația termică și acustică.

Implementarea panourilor cu bioreactoare cu alge în anvelopa clădirii include următoarele *inovații*:

- generarea biomasei ca sursă de energie regenerabilă în contextul urban, energia netă captată calculată fiind de aproximativ 30 kWh /m<sup>2</sup>an;
- generarea unei energii solare termice adiționale de aproximativ 30kWh/m<sup>2</sup>an;
- absorbția bioxidului de carbon direct de la sursa agenților de emisie domestici sau industriali;
- sistem de umbrire auto-adaptabil;
- expresie arhitecturală dinamică.

## 3.5 ANVELOPE DIN MATERIALE INTELIGENTE

### 3.5.1 Sticla electrocromată

Tehnologiile care stau la baza materialelor electrocromate includ dispozitive cu cristale lichide și particule suspendate care își schimbă culoarea sau gradul de transparență atunci când sunt activate electric, modificările proprietăților optice ale materialului (gradul de absorbție sau reflexie) constuind răspunsuri la sursa electrică externă.

Fațadele din sticlă electrocromată își schimbă proprietățile optice, transformându-se din transparente în translucide de culoare închisă și blocând astfel transmisia energiei solare fără a împiedica vizibilitatea. Supusă unei tensiuni electrice slabe prin intermediul unui strat microscopic încorporat, acest tip de sticlă își poate alterna culoarea sau transmisia luminii. Activarea energiei electrice poate fi realizată de către utilizator sau de sistemul managerial al clădirii prin intermediul unor senzori.

Stratul electrocromat aplicat sticlei este alcătuit din cinci pelicule, fiecare având o grosime de un micron. Distribuția câmpului electric se realizează prin intermediul a două straturi metalice fine (din nichel sau oxid de wolfram) cuprinse între conductori electrici

transparenți care pot determina deplasarea ionilor pentru colorație de la pelicula de stocare la pelicula electrocromată (Fig. 3.51), modificând permeabilitatea anvelopei la radiația solară și totodată coeficientul aportului solar de căldură.

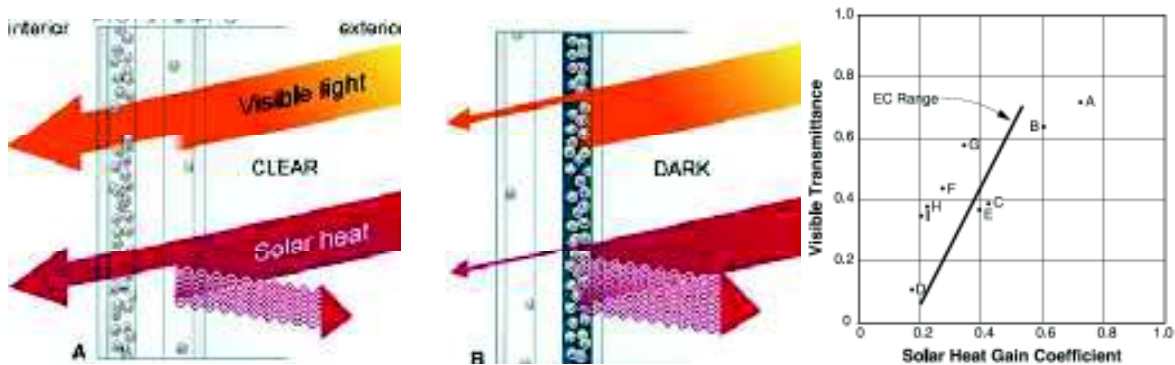


Fig. 3.51 – Modificarea transmitanței energiei solare pentru sticla electrocromată în stare transparentă și colorată [55]

Sticla electrocromată poate fi menținută în starea colorată prin aplicarea unui curent slab constant (în cazul sticlei electrocromate în stare solidă) sau își poate menține starea până la următoarea aplicare a unui curent (în cazul sticlei electrocromate laminare polimerice cu o memorie de 3-5 zile).

Proiectul pentru Biblioteca Națională Lawrence Berkley din Houston, Texas, din anul 2006 utilizează vitraje care pot fi controlate independent pentru a regla cantitatea iluminatului natural (Fig. 3.52). Ferestrele sunt conectate la senzori de lumină și la sistemul de iluminat al birourilor, astfel încât supraîncălzirea să fie redusă la minimum, dar să permită în același timp preluarea controlului de către utilizatori.



Fig. 3.52 –Biblioteca Națională Lawrence Berkley din Houston, Texas [55]

Ferestrele electrocromate reduc consumul de gaze naturale, electricitate și necesarul de energie în punctul de vârf, demonstrând că este mai eficient decât alte forme de sticlă energetic. Se remarcă de asemenea preferința ocupanților de a controla ei înșiși sistemul de vitraj.



### Puncte tari:

- necesitatea unui curent de joasă tensiune pentru a fi operate (0-10V);
- posibilitatea vitrajelor de a varia de la o stare complet transparentă la una colorată în totalitate;
- modificarea iluminatului interior în funcție de preferințele utilizatorilor datorită controlului individual al ferestrelor;
- contribuția la reducerea semnificativă a necesarului de energie pentru încălzire, ventilare și aer condiționat.

### Puncte slabe:

- cost ridicat;
- nuanța albastră nenaturală sau neatractivă pentru utilizatori;
- necesitatea protecției suplimentare împotriva efectului de orbire pentru unele ferestre;
- perioada lungă de schimbare a stării: 10-15 minute într-o zi caldă, până la 25 de minute într-o zi răcoroasă;
- oprirea funcționării sistemului determinate de condițiile meteorologice extreme – frigul, gheața, căldura sau șocul termic.

## 3.5.2 Sticlă gazocromată

Sticla gazocromată are o funcționare asemănătoare cu cea electrocromată, pelicula de oxid de wolfram colorându-se în prezența hidrogenului cu un catalizator potrivit. Profunzimea și proporția colorării depinde de grosimea peliculei și de concentrația hidrogenului, sticla revenind la starea inițială atunci când cavitatea din unitatea de vitraj este reumplută cu oxigen.

Transmitanța energiei solare pentru starea colorată și cea necolorată a unei unități vitrate gazocromate cu strat dublu de sticlă variază conform Fig. 3.53. De regulă acest sistem este combinat cu un al treilea strat de sticlă cu emisivitate redusă, rezultând un vitraj cu transmitanță termică mai mică de  $1 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Variația transmitanței spectrale în cazul unei unități vitrate gazocromate cu strat triplu de sticlă este redată în Fig. 3.54, Fig. 3.55 evidențiind transmitanța energiei solare pentru o singură foaie de sticlă. Proprietățile optice și termice ale unui vitraj cu trei straturi de sticlă sunt redată în Tabelul 3.3.

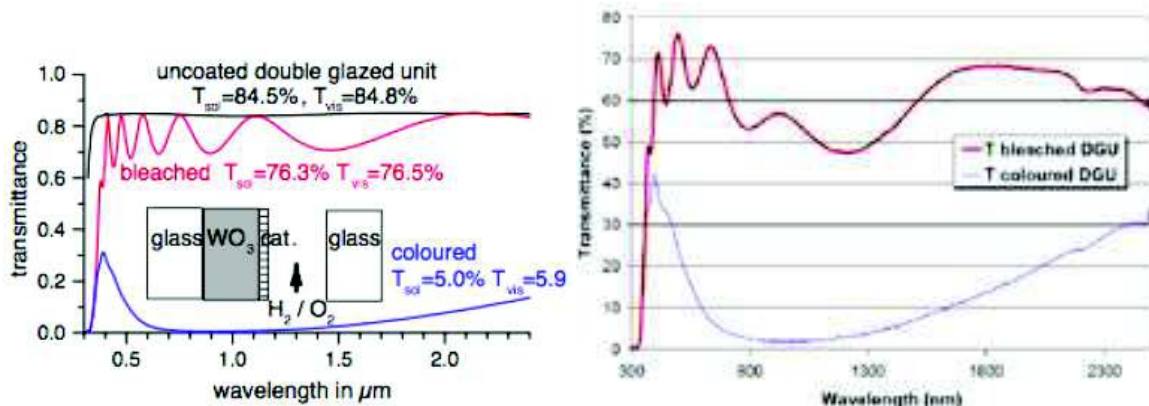


Fig. 3.53 - Transmitanța energiei solare pentru starea colorată și cea necolorată a unui vitraj gazocromat cu strat dublu de sticlă [55]

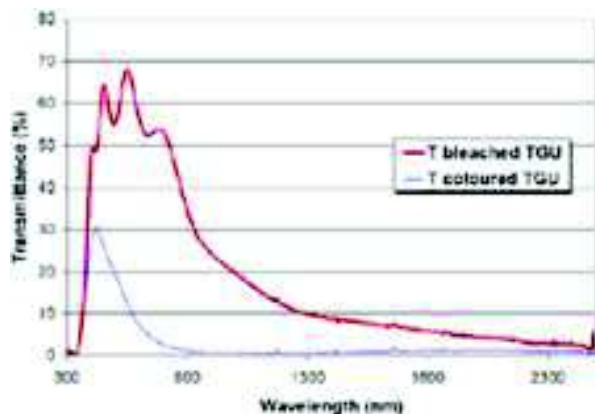


Fig. 3.54 – Transmittanța energiei solare pentru starea colorată și cea necolorată a unui vitraj gazocromat cu trei straturi de sticlă [55]

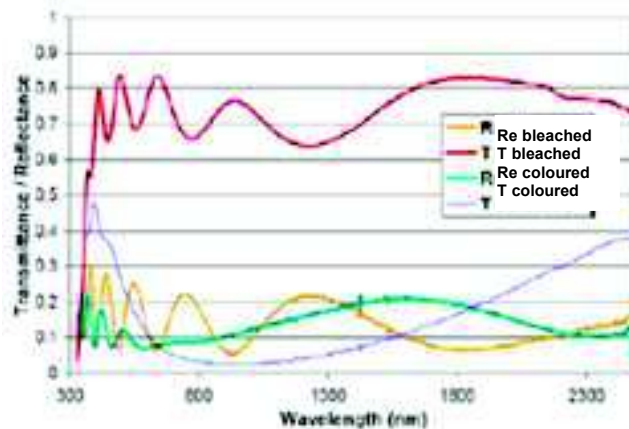


Fig.3.55 – Transmittanța energiei solare și reflectivitatea unei foi de sticlă gazocromată pentru starea colorată și cea necolorată (indicativul „e” se referă la graficele pentru fața gazocromată a sticlei) [55]

Tab. 3.3 - Proprietățile optice și termice ale unui sistem vitrat cu strat triplu de sticlă [55]

Proprietate	Măsurată		Calculată	
	stare necolorată	stare colorată	stare necolorată	stare colorată
Transmittanța radiației vizibile, $T_v$	0,6	0,17	0,57	0,13
Transmittanța energiei solare, $T_e$	0,38	0,10	0,36	0,08
Trasmittanța energiei solare totale, $g$	0,47	0,17	0,46	0,13
Factorul câștigului secundar de căldură, $q_i$	0,09	0,07	0,10	0,05
Transmittanța termică, $U$ [ $W/m^2K$ ]	-	-	0,9	0,9

#### Beneficii:

- operarea de către utilizatorii clădirii;
- stări intermediare de colorare;
- mai puține pelicule și o valoare mai ridicată a transmittanței energiei solare în stare necolorată față de cea a sticlei electrocromate.

#### Puncte slabe:

- culoarea albastră poate produce disconfort;
- disponibilitate încă limitată.

### 3.5.3 Sticlă termocromată

Sticla termocromată include straturi polimerice sensibile la căldură. Sticla își poate modifica transparența în funcție de variația temperaturii, reducându-și transmittanța energiei solare (Fig. 3.56). Modificarea opacității reprezintă un proces reversibil, fiind eficient în controlul acumulărilor de căldură. Cu toate acestea, odată cu limitarea aportului energiei solare, este redus și nivelul iluminatului natural. Astfel, deși

modificarea caracteristicilor nu necesită aplicarea unui curent electric, consumul de energie pentru iluminatul artificial crește.

Un alt dezavantaj al utilizării sticlei termocromate este lipsa de control al utilizatorilor în ceea ce privește posibilitatea modificării vizibilității și acumulărilor de căldură.

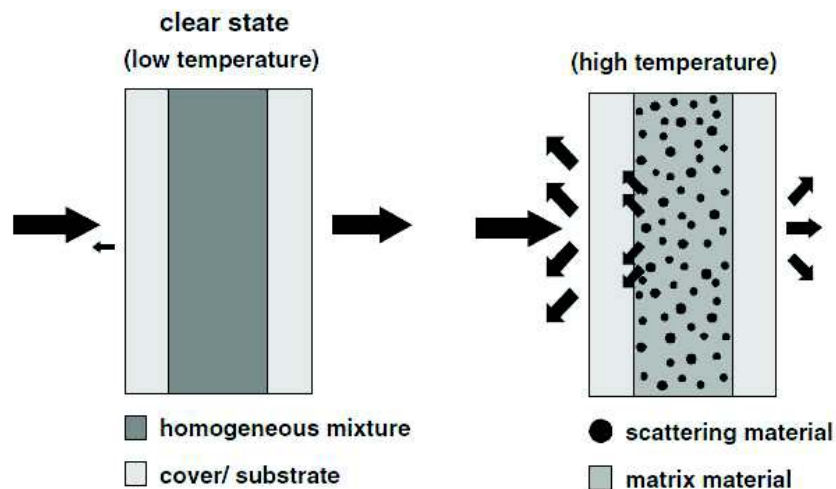


Fig. 3.56 - Modificarea sticlei termocromate în funcție de temperatură [55]

Sticla termocromată funcționează pe baza unui amestec omogen care atunci când se încălzește și atinge o anumită temperatură, începe să se separe devenind neomogen și dispersând lumina datorită particulelor microscopice, cristaline sau lichide (Fig. 3.56).

Procesul de modificare a stării de la cea transparentă la cea difuză poate avea loc în 15-60 minute.

*Clasificarea sticlei termocromate în funcție de natura stratului termocromat:*

- sisteme cu separare de fază, sistemul cel mai răspândit fiind alcătuit din una sau mai multe componente care atunci când ating o temperatură dată se separă, stratul devenind difuz la lumină (componentele redevin omogene atunci când temperatura scade sub temperatura dată);
- hidrogeluri, caz în care se formulează cerințe ridicate legate de etanșeitarea sticlei pentru a evita evaporarea lichidului;
- amestecuri polimerice caracterizate printr-o temperatură de separație mai mică;
- sisteme cu cristale lichide care își pot modifica starea transparentă în una albă difuză sau una colorată;
- sisteme cu domenii fixe de difuzie a luminii determinate de materialul neomogen;
- materiale cu schimbare de fază, folosite în primul rând pentru stocarea căldurii latente - unele materiale ating starea de difuzie la o temperatură mai mică decât cea de comutare a fazei, iar starea transparentă este atinsă la temperatura de comutare a stării (Fig. 3.57).

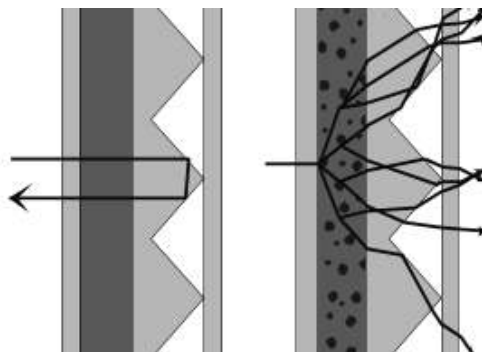


Fig. 3.57 - Funcționarea unei unități de sticlă cu suprafață reflectantă și strat termocromat cu material cu schimbare de fază [55]

**Beneficii:**

- auto-reglarea luminii și căldurii;
- reducerea efectului de orbire;
- nu sunt necesare instalații complexe pentru control activ al sistemului.

**Puncte slabe:**

- timp de răspuns îndelungat;
- potrivit doar pentru anumite porțiuni ale fațadei, întrucât blochează vizibilitatea;
- disponibilitate redusă sau chiar zero;
- costuri ridicate.

### 3.5.4 Materiale cu schimbare de fază (MSF)

Materialele cu schimbare de fază pot stoca și elibera căldura atunci când își schimbă faza de la cea solidă la cea lichidă sau invers, în funcție de variația temperaturii. Acestea se caracterizează prin punct de topire și capacitate de stocare termică ridicate. În timpul schimbului de căldură, temperatura materialului se modifică, acumulând căldură în faza solidă la temperaturi mai mici decât cea de topire și căldură latentă până la procesul de topire și schimbare de fază.

MSF transparente permit fluxul luminii, dar absorb radiația infraroșie, temperatura crescând până la punctul de topire. În comparație cu un sistem de fațadă cu strat dublu de sticlă, cel cu MSF oferă un confort termic interior sporit în majoritatea timpului. Mai mult, beneficiile oferite de acest sistem sunt direct proporționale cu intensitatea radiației solare. S-a demonstrat de asemenea capacitatea ridicată de stocare a energiei solare și de atenuare și decalare a momentelor de vârf ale consumului de energie.

Materialele cu schimbare de fază (MSF) incorporate vitrajului sunt hidrați ai sărurilor de  $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  complet etanșate în policarbonat transparent. Acestea au o capacitate de stocare termică latentă de până la  $4268 \text{ kJ/m}^2$ , fiind necesare 8 ore pentru a transmite căldura. Datorită acestei proprietăți punctul maxim al consumului de energie pe timpul verii este decalat, temperatura interioară fiind redusă cu cel puțin  $5^\circ\text{C}$ . În timpul iernii, aporturile solare sunt maximizate prin stocarea căldurii din timpul zilei și eliberarea sa în spațiul interior pr timpul nopții. Se estimează o reducere a necesarului de energie pentru încălzire și răcire de 30-50% doar prin utilizarea MSF pe o treime din vitrajul de pe fațada sudică. Aportul la eficiența energetică este demonstrat de un sistem de fațadă

vitrat cu MSF și panouri translucide din polimetacrilat de metil, utilizat în cazul unei clădiri de birouri din Kempen, Elveția, cu consum de energie zero (Fig. 3.58).



Fig. 3.58 – Clădire de birouri cu consum de energie zero, Kempen, Elveția [31;70]

### 3.6 INTEGRAREA SURSELOR DE ENERGIE REGENERABILĂ (SER)

Sursele de energie regenerabilă reprezintă forme de energie rezultate din procese naturale al căror ciclu de înlocuire are loc în perioade de timp egale sau mai mici decât perioadele de consum. Unele dintre aceste surse pot fi valorificate la nivelul clădirilor: energia solară, eoliană, geotermală, energia derivată din biomasă etc. Dintre acestea producerea de energie prin intermediul panourilor fotovoltaice este cea mai răspândită, constând în transformarea directă a radiației solare în electricitate datorită efectului fotoelectric asupra unei diode semiconductoare.

#### 3.6.1 Sisteme de umbrire mobile

Sistemele de umbrire mobile pot fi conectate la un sistem de control centralizat care să urmărească mișcarea soarelui și să ajusteze continuu poziția elementelor de umbrire pentru a oferi protecție împotriva efectului de orbire din mediul interior. În acest mod, elementele de umbrire automatizate pot răspunde nivelurilor de iluminat necesar și unghiurilor soarelui, permițând în același timp pătrunderea luminii în interior. Utilizarea unor sisteme dinamice de umbrire poate reduce consumul de energie pentru încălzire și răcire cu până la 30% în cazul unei clădiri de birouri. Mai mult, acest tip de fațadă poate constitui un sistem performant de captare a energiei solare, în care colectorii solari de la

nivelul anvelopei urmăresc mișcarea soarelui pentru a maximiza cantitatea radiației incidente.

Prima formă de celulă solară bazată pe silicon a fost dezvoltată în anul 1945 și încă domină piața datorită resurselor generoase de silicon și impactului ecologic scăzut. Celulele solare sunt conectate în serie și grupate în module solare care la rândul lor formează matrici solare.

#### *Beneficii:*

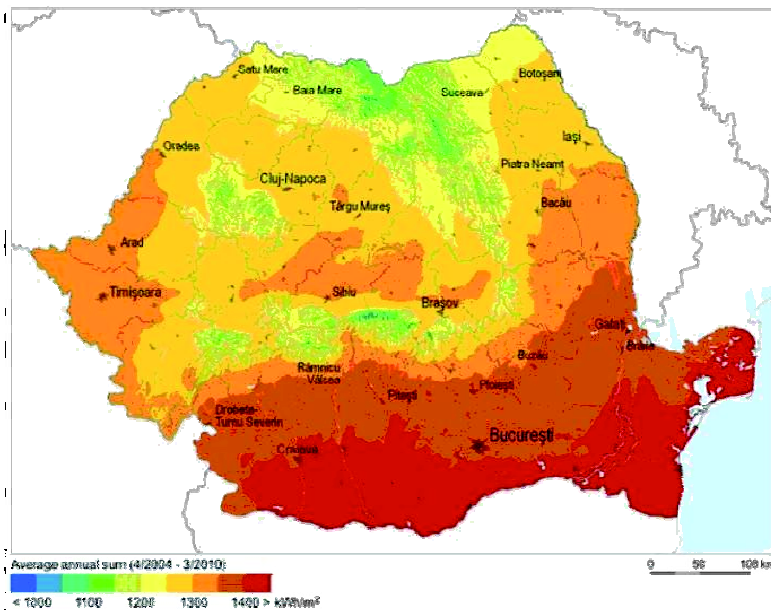
- mentenanță redusă;
- durată de viață de peste 25 de ani;
- integrarea panourilor fotovoltaice conduce la scăderea costurilor totale, sistemele putând îndeplini și o funcție secundară, cea de umbrire.

#### *Puncte slabe:*

- fluctuația gradului de însorire și a necesarului de energie conduce la necesitatea utilizării acumuloarelor;
- cost ridicat, dar care scade odată cu evoluția acestei tehnologii.

#### *Eficiența modulelor depinde de:*

- randamentul modulelor, care variază în jurul valorii de 15%;
- temperatura celulelor fotovoltaice, eficiența lor scăzând odată cu creșterea temperaturii la o rată de  $-0,5\%/^{\circ}\text{C}$ ;
- eficiența conversiei curentului continuu în curent alternativ la nivelul inverterului;
- praful sau zăpada care reduc cantitatea radiației solare captate;
- elemente care pot umbri panourile;
- pierderi datorate rezistenței diferitelor componente ale sistemului.



Pentru a calcula cantitatea radiației solare incidente pe panourile fotovoltaice trebuie cumulate trei componente: radiația solară directă, radiația difuză și radiația reflectată de teren. Randamentul sistemelor fotovoltaice depinde și de gradul de însorire, variind în funcție de anotimp. România se încadrează în zona B de însorire la nivelul Europei, fiind definite cinci zone de însorire, de la  $1250 \text{ kWh/m}^2\text{an}$  în nord la  $1600\text{-}1750 \text{ kWh/m}^2\text{an}$  în sud și sud-est (Fig. 3.59).

Fig. 3.59 - Nivelul de însorire în România [86]

### 3.6.2 Simulări pentru evaluarea performanței

Pentru clădirea de birouri propusă, se analizează eficiența integrării unor panouri fotovoltaice pe fațada sudică utilizând programul SolarPro. Se consideră folosirea a 9 module înclinate la 30° față de planul orizontal, amplasate la fiecare nivel (în total 90 de module cu dimensiuni de 0,8m înălțime, 1,2m lungime, 0,69 lățime). Eficiența sistemului pentru fiecare lună a anului este sintetizată în Tabelul 3.4 și ilustrată în Fig. 3.60.

Tabelul 3.4 – Eficiența modulelor fotovoltaice pentru fiecare lună

Name	Total Irrad.	Direct Irrad.	Diffuse Irrad.	Reflected Irrad.	Horizontal Irrad.	PV Energy	INV Energy	PV Voltage	PV Current	PV Temperature	Air Temperature	System Output Coeff.	PV Efficiency	Specific PV Energy	Specific INV Energy
Unit	kWh/m2	kWh/m2	kWh/m2	kWh/m2	kWh/m2	kWh	kWh	V	A	deg C	deg C	%	%	kWh/kWp	kWh/kWp
Jan	30.52	9.19	20.99	0.34	25.11	330.30	312.14	292.11	4.00	2.14	0.12	83.57	12.50	26.99	25.50
Feb	62.04	31.32	30.10	0.61	45.64	685.17	647.48	301.06	7.98	5.61	1.08	85.27	12.75	55.98	52.90
Mar	96.35	48.11	47.17	1.06	79.36	1043.39	986.00	290.62	9.47	11.52	5.16	83.61	12.50	85.24	80.56
Apr	128.94	66.52	60.85	1.57	117.30	675.33	638.18	276.64	5.95	18.17	9.37	40.44	8.06	55.17	52.14
May	136.60	62.31	72.47	1.82	135.78	777.15	734.41	271.81	6.14	22.58	13.57	43.82	6.57	63.49	60.00
Jun	152.26	74.13	76.04	2.09	156.00	796.83	753.00	266.08	6.41	27.30	16.91	40.46	6.04	65.10	61.52
Jul	156.52	77.50	76.91	2.12	158.10	787.69	753.81	262.15	6.36	29.11	18.77	39.95	5.88	65.17	61.59
Aug	150.04	79.04	69.11	1.90	141.67	724.15	684.32	263.36	6.32	28.14	18.23	37.26	5.57	59.16	55.91
Sep	114.97	60.34	53.32	1.32	98.40	574.78	543.17	270.89	5.72	22.83	14.99	38.60	5.77	46.96	44.38
Oct	66.75	28.24	37.78	0.73	54.56	707.62	668.70	268.21	7.27	13.99	9.59	81.85	12.24	57.81	54.63
Nov	43.96	18.89	24.62	0.44	32.70	474.03	447.96	291.11	5.65	7.90	4.90	83.26	12.45	38.73	36.60
Dec	26.83	7.81	18.72	0.29	22.01	286.15	272.30	291.94	3.72	2.77	1.00	82.92	12.40	23.54	22.25
Max Value	156.52	79.04	76.91	2.12	158.10	1043.39	986.00	301.06	9.47	29.11	18.77	85.27	12.75	85.24	80.56
Max Term	Jul	Aug	Jul	Jul	Jul	Mar	Mar	Feb	Mar	Jul	Jul	Feb	Feb	Mar	Mar
Mean Value								280.50	6.25	16.00	9.47	52.15	0.00		
Sum Value	1165.77	563.40	588.08	14.29	1086.63	7874.58	7441.48							643.35	607.96

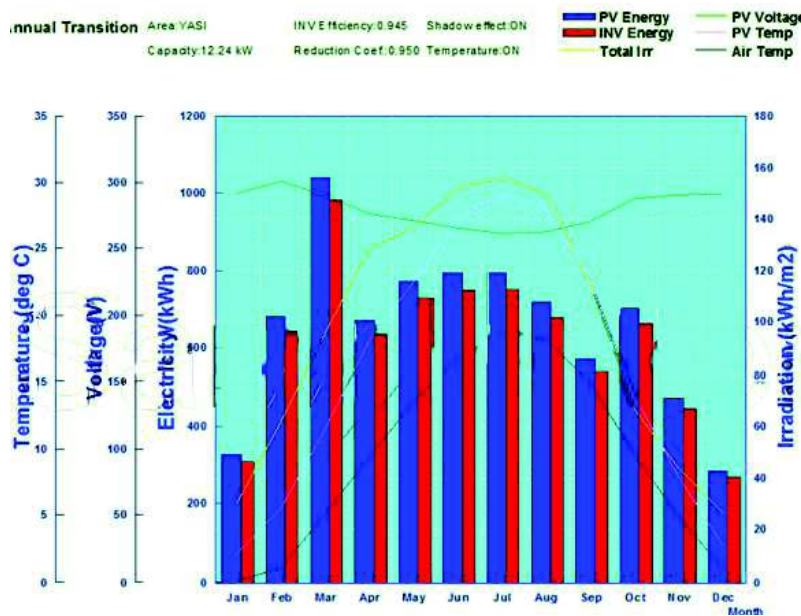


Fig. 3.60 - Graficul performanțelor panourilor PV pentru fiecare lună a anului

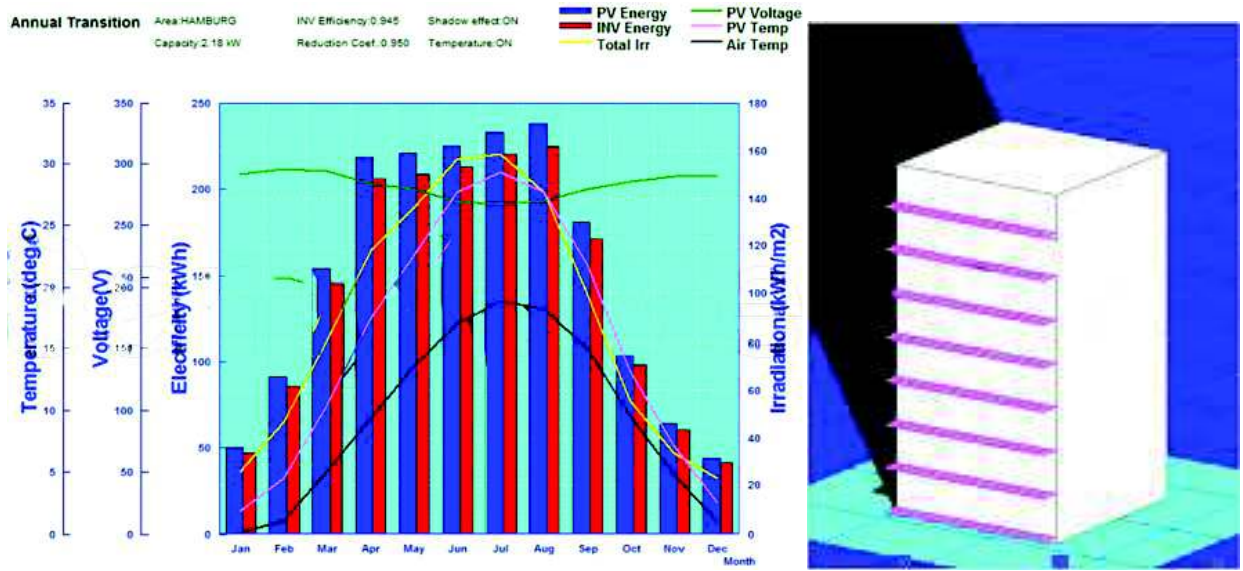


Fig. 3.61 - Graficul performanțelor panourilor PV pentru fiecare lună a anului

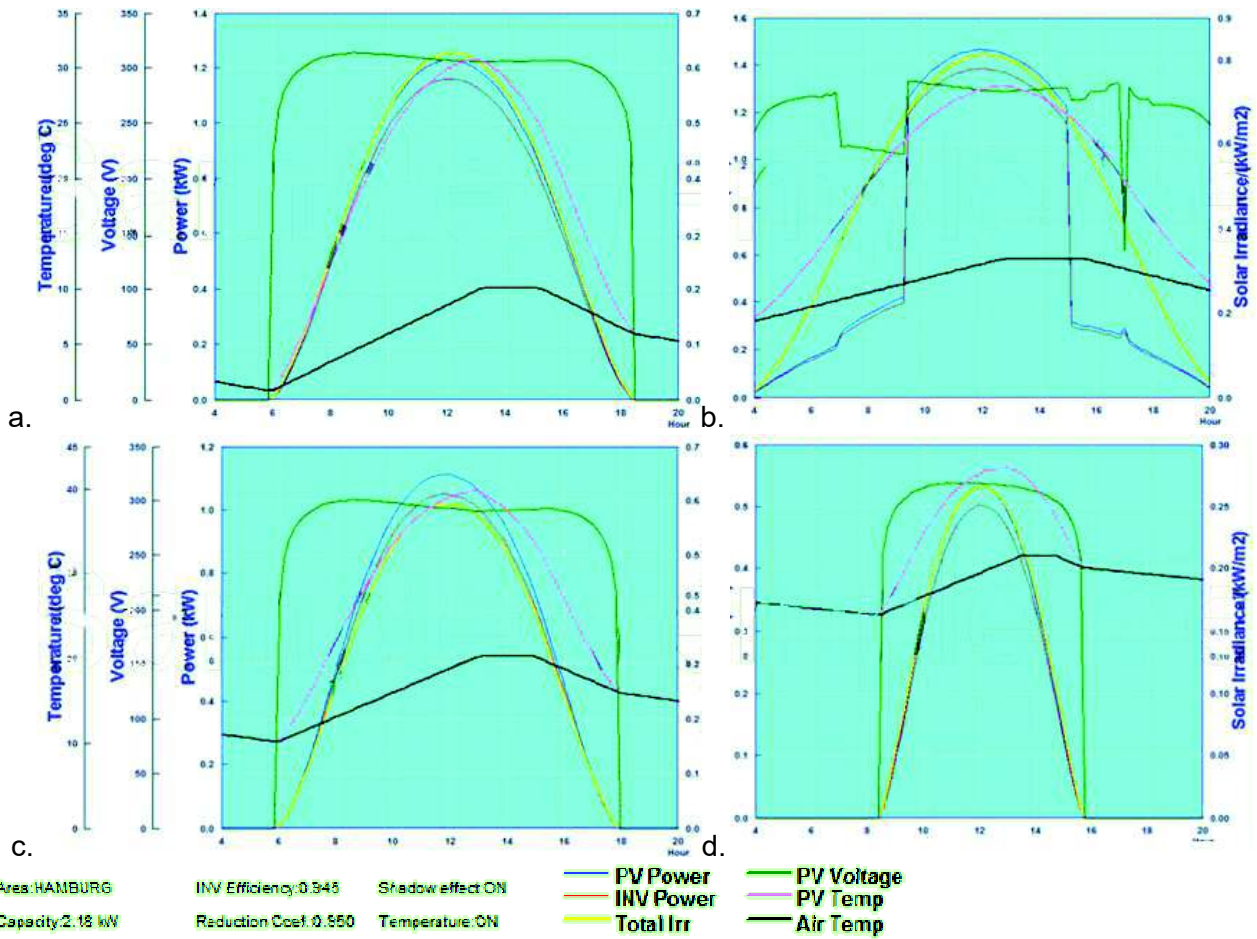


Fig. 3.62 - Graficele performanțelor panourilor PV pentru o zi însorită din luna: a.martie; b.iunie; c.septembrie; d.decembrie



Eficiența sistemului pentru fiecare lună a anului este prezentată în Fig. 3.61. Fig. 3.62 arată performanțele panourilor pentru 4 zile însorite din lunile martie, iunie, septembrie și decembrie.

Deși potențialul maxim este atins în luna iunie, graficul indică influența umbririi asupra eficienței panourilor, care generează scăderi importante ale voltajului energiei electrice generate. Mai mult, s-a demonstrat că scăderile energetice cauzate de umbrire sunt semnificative: 75% pentru 25% umbrire și 90% pentru 50% umbrire. În acest sens, este recomdată evitarea oricărui fel de umbrire a modulelor fotovoltaice: copaci, clădiri învecinate, obstacole sau alte panouri solare (dacă nu sunt bine aranjate).

De asemenea, se analizează eficiența integrării unor panouri fotovoltaice (PV) în sistemul de umbrire orizontal de pe fațada sudică. Se consideră folosirea a 15 module cu dimensiuni de 1m lățime, 1,6m lungime și o putere nominală de 136 W, amplasate la fiecare nivel (în total 120 de module cu o putere de 16,32 kW).

Utilizând pe fațada sudică module orizontale cu o putere nominală de 102 W și dimensiunile 988mm/858mm, care însumează o putere totală de 12,24 kW, se ating valori ale energiei captate de până la 1400 kWh pentru lunile iunie, iulie și august (Fig. 3.63).

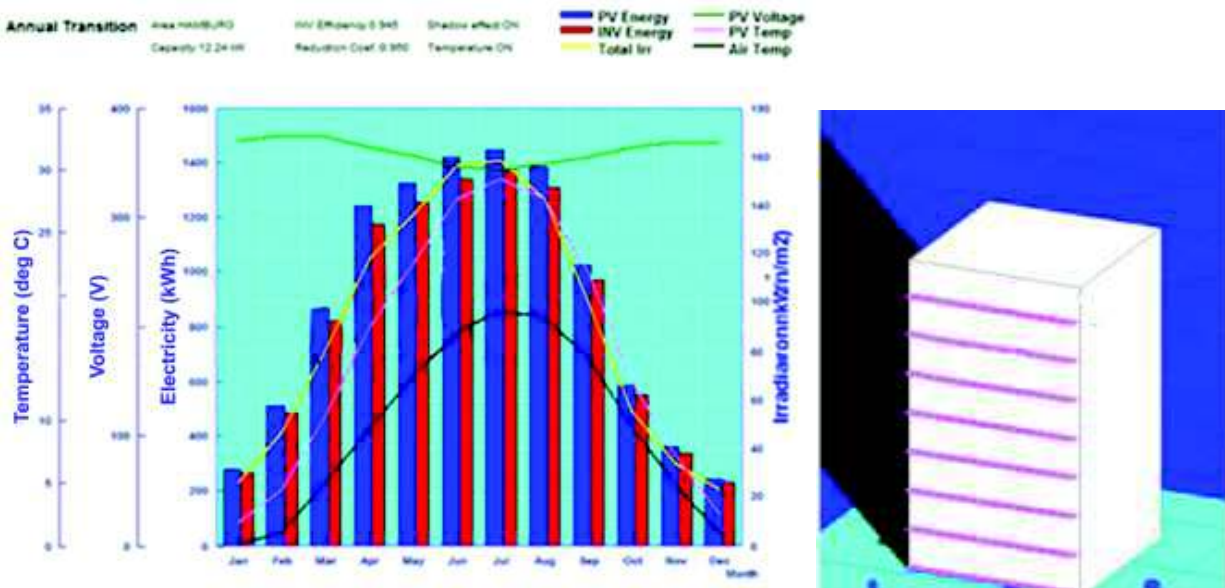


Fig. 3.63 - Graficul lunar al performanței panourilor PV

Pentru fațada vestică, s-a analizat eficiența integrării unor panouri fotovoltaice în sistemul de umbrire orizontal prin utilizarea a 8 matrici de panouri fotovoltaice cu dimensiuni de 4m lățime, 28,8m lungime, amplasate la fiecare nivel. Eficiența lunară a sistemului este ilustrată în Fig. 3.64. Energia maximă colectată de sistem este atinsă în lunile iunie și iulie, atingând valori de aproximativ 200 kWh.

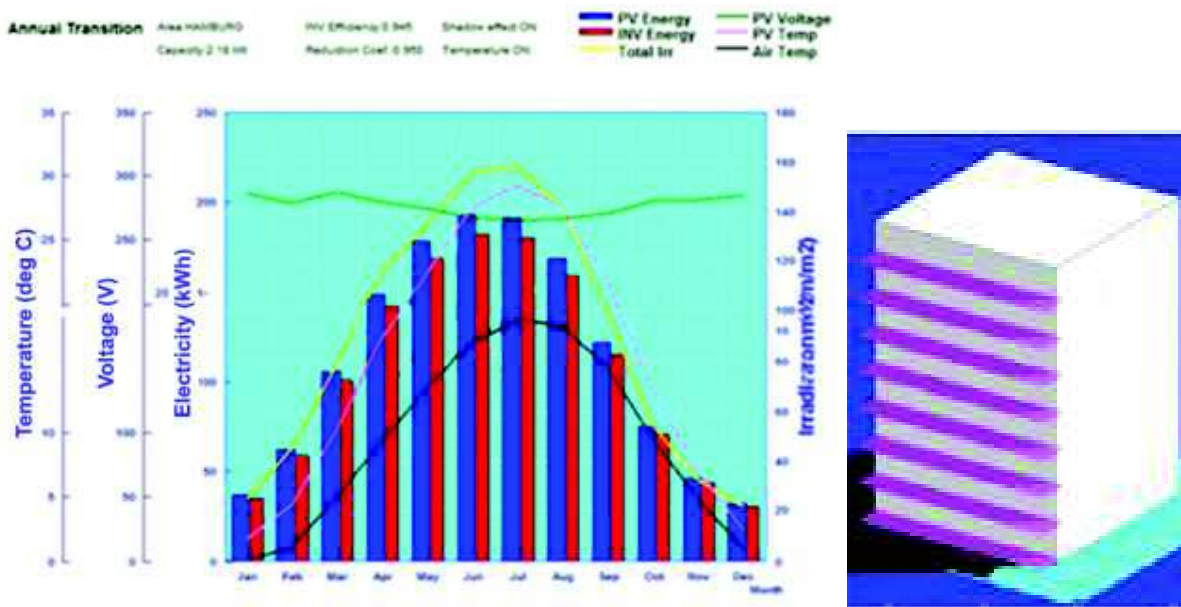


Fig. 3.64 - Graficul lunar al performanței panourilor PV

### 3.6.3 Perne de aer ETFE

Sistemele fotovoltaice integrate în elemente ale clădirii (BIPV – Building Integrated Photovoltaics) contribuie la obiectivul proiectării clădirilor autonome energetic. Anvelopele cu perne de aer ETFE au un rol important în optimizarea performanței energetice a clădirilor, însă, pentru a avea un impact mai semnificativ, ele trebuie cuplate cu soluții pentru utilizarea surselor de energie regenerabilă. Sistemele fotovoltaice sunt înglobate din etapa de construire, necesitând materiale specializate și proiectare integrată.

Sistemele cu celule fotovoltaice constituie surse sigure de energie care presupun întreținere minimă și o durată de viață de aproximativ 20-30 de ani. Atașate de regulă acoperișului, acestea pot fi folosite și la nivelul întregii anvelope, noi utilizări fiind dezvoltate datorită evoluției continue a industriei fotovoltaicelor integrate în clădiri.

Pernele cu aer și membrane ETFE au așadar un potențial semnificativ în special în cazul clădirilor publice, atât din perspectiva eficienței energetice, cât și a posibilităților de proiectare. Integrarea iluminatului artificial în cadrul sistemelor ETFE este tot mai utilizată, dar cu consumuri energetice și costuri de operare semnificative. Posibilitățile reducerii costurilor pentru iluminat poate dezvolta folosirea materialului ETFE la clădiri sustenabile de orice tip.

Modulele multifuncționale ETFE (ETFE-MFM) sunt în evoluție, evidențiind funcționalitățile adiționale ale modulelor fotovoltaice care pot optimiza performanțele clădirilor cu aplicații integrate ale sistemelor fotovoltaice. Modulele includ sisteme ETFE, tehnologie fotovoltaică, sisteme de iluminat și circuite integrate flexibile pentru a genera posibilități noi ale iluminatului unei clădiri sustenabile cu performanțe termice, acustice, ale iluminatului, suprafețelor mari vitrate și surse de energie regenerabilă.

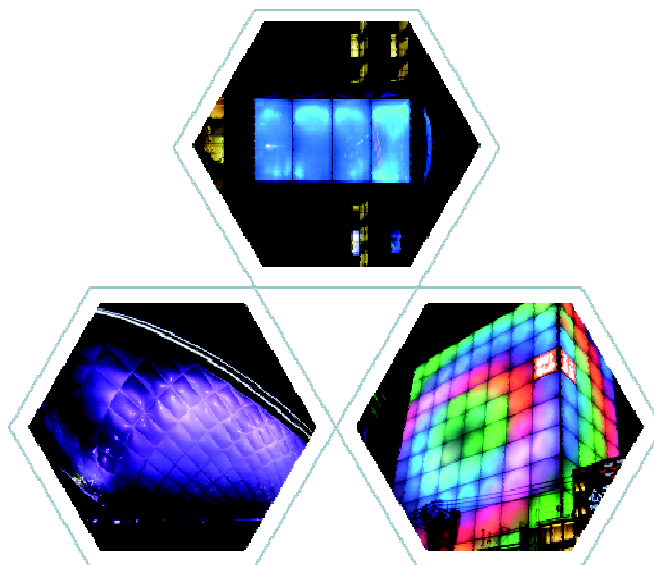


Fig. 3.65 – Module multifuncționale ETFE [51]

Astfel, modulele multifuncționale ETFE (Fig. 3.65) generează electricitate, acționează asemenea unui sistem vitrat, presupun un acumulator exterior de stocare, integrează LED-uri și OLED-uri și includ sisteme integrate de control. Elemente inovatoare în integrarea sistemelor fotovoltaice în clădiri, aceste module fac posibilă utilizarea la scară largă a arhitecturii cu membrane ETFE, având ca efecte: reducerea emisiilor de bioxid de carbon; reducerea costurilor de construcție; îmbunătățirea calității clădirii și sporirea independenței energetice a clădirilor.

### Concluzii

Anvelopa adaptabilă diferă de anvelopa convențională, fiind capabilă să-și ajusteze proprietățile și să devină un mediator al schimbărilor care au loc în mediul exterior, asigurând o temperatură interioară confortabilă, un nivel bun al iluminatului și calității aerului. Astfel, se creează un mediu interior optim fără a face exces în ceea ce privește consumul de energie.

În urma evaluării sistemelor de umbrire fixe s-a constatat performanța lor limitată în ceea ce privește satisfacerea gradului de umbrire necesar și a posibilității utilizării aperturilor solare în perioadele reci ale anului. Deși necesarul de energie pentru răcire scade prin folosirea unor sisteme de umbrire fixe, necesarul pentru încălzire crește. În acest sens se remarcă performanța energetică a sistemelor de umbrire mobile, existând posibilitatea de a atinge obiectivul de zero energie pe intervalul temporal cuprins între sfârșitul lunii martie și începutul lunii noiembrie, prin reglarea elementelor sistemului de umbrire. Din această perioadă fac excepție o treime a lunii iulie și o treime a lunii august în care necesarul de energie pentru răcire nu poate fi redus în totalitate. Energia solară care conduce la supraîncălzirea clădirii poate fi valorificată prin înglobarea unor sisteme de captare, contribuind la reducerea necesarului total de energie al clădirii.

Panourile cu izolație termică adaptabilă permit sau blochează pătrunderea radiației solare, putând fi combinate cu sisteme de stocare a căldurii. Excesul de căldură din interiorul clădirii (din timpul nopților de vară) poate fi eliberat în mediul exterior printr-o anvelopă cu rezistență termică mică. De asemenea, acest sistem face posibilă utilizarea pasivă a masei termice a solului.

Sistemele cu perne de aer ETFE oferă o performanță termică superioară sistemelor vitrate cu geam dublu, performanță care poate fi sporită prin suplimentarea camerelor cu aer și integrarea unor straturi cu nanogel. Prin imprimarea membranelor sau aplicarea unor straturi cu emisivitate redusă, se poate reduce cantitatea radiației solare care pătrunde în interior, odată cu gradul de supraîncălzire. Prin umflarea și dezumflarea unor camere ale sistemului, se poate diminua sau spori rezistența termică totală, iar prin imprimarea a două membrane se poate controla gradul de umbrire.

Anvelopele cu bioreactoare cu alge înglobează un sistem pentru captarea energiei regenerabile prin generarea de biomasă, conferind totodată umbrire adaptabilă clădirii, intensificarea radiației solare conducând la reducerea transparenței și transmitanței solare. Acestea contribuie și la reducerea cantității de bioxid de carbon din gazele de eșapament. Eficiența transformării energiei solare în biomasă este de 10%, iar cea a transformării energiei solare în căldură de 38%.

Anvelopele din materiale inteligente își pot modifica proprietățile optice, permițând sau blocând transmisia energiei solare fără a împiedica vizibilitatea. Panourile se activează prin: aplicarea unui curent slab (sticlă electrocromată), creșterea concentrației de hidrogen (sticlă gazocromată), variația temperaturii (sticlă termocromată), schimbarea de fază (materiale cu schimbare de fază). Performanța lor energetică depinde însă și de timpul de răspuns al anvelopei, vizibilitate și posibilitatea operării de către utilizatori.

Prin implementarea unor surse de energie regenerabilă la nivelul anvelopei, în special a celor care captează energia solară, se poate reduce necesarul total de energie al clădirii. Sistemele de umbrire mobile pot să își ajusteze continuu poziția pentru a satisface necesarul de umbrire sau pentru a permite aporturile solare, captând energia solară prin utilizarea unor colectori solari. Trebuie avută însă în vedere evitarea umbririi panourilor fotovoltaice, întrucât performanța acestora scade semnificativ chiar și în cazul unui grad de umbrire scăzut. Celulele fotovoltaice integrate în sistemele cu perne de aer ETFE pot spori eficiența energetică a unei clădiri, oferind și posibilitatea integrării iluminatului artificial.

Proiectarea în scopul atingerii obiectivului de eficiență energetică presupune înțelegerea anvelopei ca element cu caracteristici variabile și rol activ, definit de condițiile climatice ale amplasamentului. Anvelopa adaptabilă la mediu prezintă proprietăți optice și termice care pot varia dinamic ca răspuns la climat, preferințele utilizatorilor și la cerințele sistemului de control managerial al producerii și consumului de energie ale clădirii. Determinarea echilibrului optim dintre aporturile de căldură și iluminat natural este un aspect important, reprezentând un element cheie pentru optimizarea elementelor transparente ale anvelopei.

Aceste tehnologii conferă o flexibilitate maximă, contribuind la obiectivul de proiectare a clădirilor cu impact minim asupra resurselor energetice. Inovațiile din acest domeniu au scopul de a dezvolta componente inteligente integrate anvelopei, controlate automat și capabile să monitorizeze condițiile interioare și exterioare, reacționând apoi într-un mod adecvat. Ele pot fi utilizate având la bază o filosofie generală de reducere a energiei pentru a genera un mediu interior confortabil cu cost mic de energie și impact minim asupra mediului. Această tendință a condus la proiectarea unor sisteme tehnologice avansate pentru clădirile contemporane, ideea de clădire inteligentă transformându-se într-o realitate care implică reconsiderarea utilizării resurselor de energie regenerabilă.

## **CAP. 4**

# **STUDIUL EFECTELOR INTEGRĂRII ÎN FAȚADA CLĂDIRILOR A SOLUȚIILOR DE ANVELOPĂ ADAPTABILĂ LA MEDIU**

Anvelopa reprezintă elementul principal care influențează performanța energetică a unei clădiri. Răspunzând direct la condițiile interioare și exterioare clădirii, sistemele de anvelopă adaptabile la mediu conduc la scăderea la minimum a necesarului de energie. Evaluarea performanței energetice a anvelopelor adaptabile la mediu se realizează prin calcule efectuate pe baza unor simulări ale sistemelor, prin determinarea impactului asupra necesarului de energie pentru încălzire și răcire, definirea parametrilor de performanță specifici optimi (umbrire, sarcină termică, confort vizual, timp de reacție, orientare), compararea sistemelor propuse și studierea posibilității integrării unor soluții bazate pe energie regenerabilă. Se vor contura posibile optimizări ale acestor soluții, cum ar fi sisteme de umbrire mobile cu celule fotovoltaice înglobate.

În acest scop se propune evaluarea unor soluții ca: pereți cortină cu parametri diferiți, sisteme de umbrire mobilă cu elemente orizontale, izolație termică adaptabilă, sistem cu perne de aer ETFE, aplicarea unor straturi din materiale inteligente.

Studiul se bazează pe analiza unui model de clădire de birouri, pentru a oferi o perspectivă asupra potențialului implementării acestor soluții. Prin intermediul programelor de simulare termodinamică PHPP (Passive House Planning Package) și Design Builder cu EnergyPlus, a programului de modelare Archicad și a programului pentru evaluarea performanței panourilor fotovoltaice SolarPro sunt generate rezultatele calculelor mai multor scenarii de utilizare a sistemelor de anvelopă adaptabilă în scopul de a evidenția condițiile pentru atingerea confortului termic și nivelului optim al iluminatului. Se va analiza reducerea consumului de energie rezultat prin utilizarea acestor soluții, atât individual, cât și în cazul integrării mai multor soluții în cadrul aceleiași clădiri. Concluzia generală va urmări în ce măsură aceste sisteme au un impact pozitiv asupra necesarului de energie, care variază în funcție de o multitudine de factori care trebuie luați în considerare înainte de a opta pentru un astfel de sistem. De asemenea analiza va determina quantumul reducerii consumului de energie care se obține, comparativ cu costurile de investiție pentru implementarea unui astfel de sistem.

## **4.1 METODOLOGIE DE CALCUL**

Subcapitolul prezintă descrierea metodelor de analiză utilizate pentru a determina impactul sistemelor de anvelopă adaptabilă la mediu asupra performanței energetice a unei clădiri de birouri de dimensiuni medii și descrierea programelor alese pentru generarea simulărilor cu parametri diferiți.

Metodologia de cercetare urmărește astfel să răspundă următoarelor obiective:

- **CE** (obiectul cercetării) = creșterea performanței energetice a anvelopei adaptabile la mediu, pornind de la studiul performanțelor individuale ale diferitelor soluții și ajungând la aplicarea combinată a acestora;

- **DE CE** (scopul cercetării) = adaptarea dinamică a parametrilor de funcționare ai sistemului energetic al unei clădiri la condițiile de funcționare, în vederea creșterii eficienței energetice;
- **ÎN CE MOD** (metoda de cercetare) = studii de caz care au ca obiectiv aplicarea soluțiilor de anvelopă prezentate anterior și analiza performanțelor energetice ale acestora. Se determină perioadele în care parametrii sistemului trebuie să aibă anumite valori și momentele în care aceste valori trebuie modificate.

#### 4.1.1 Ipoteze de calcul – Clădirea de birouri studiată

Pentru generarea unor performanțe cât mai apropiate de realitate s-a optat pentru construirea în programe specifice de modelare a modelului 3D pentru o clădire de birouri aleasă. S-au definit proprietățile elementelor componente, s-au delimitat funcțiunile interioare specifice și s-au creat scenariile de utilizare pentru a le introduce apoi în programele de simulare dinamică [111,112]. S-a ales un amplasament pentru introducerea parametrilor climatici. Pentru fiecare program de calcul au fost concepute o serie de modele computerizate, corespunzătoare studiilor de caz propuse.

Pentru determinarea eficienței soluțiilor de anvelopă adaptabilă la mediu se alege o clădire de birouri care integrează astfel de sisteme. Analiza constă în compararea diferitelor modele cu soluții de anvelopă dinamică cu *modelul de bază* (clădirea cu *anvelopă statică*).

**Clădirea de birouri aleasă** are dimensiuni medii și raportul plin-gol în favoarea golului, pentru a pune cât mai bine în evidență problemele și posibilitățile de optimizare pentru acest tip de clădire (Fig. 4.1, 4.2). De multe ori, din rațiuni urbanistice și din cerințele temei, clădirile de acest tip nu respectă exigențele privind eficiența energetică (de exemplu reducerea la minimum a vitrajelor pe fațada nordică).

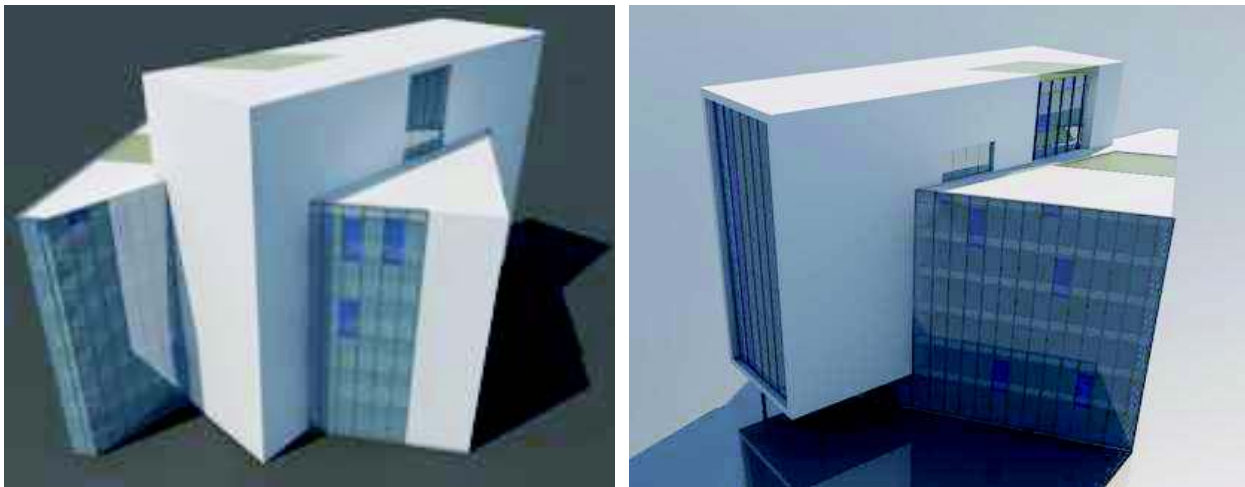


Fig. 4.1 – Perspective ale clădirii de birouri

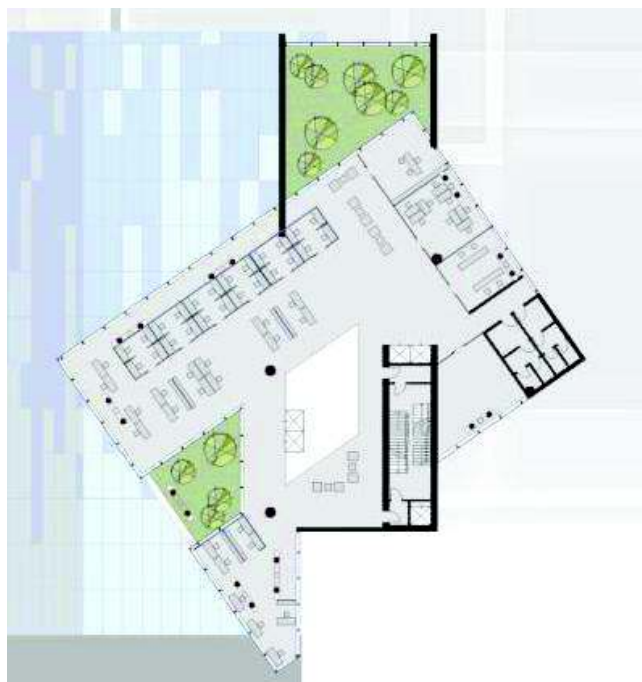


Fig. 4.2 – Plan general al clădirii de birouri

Clădirea propusă nu are subsol. Raportul plin-gol în favoarea golului are ca efect pierderi semnificative de căldură prin zona vitrată, precum și creșterea frecvenței supraîncălzirii concomitent cu creșterea necesarului pentru răcire. Elementele de compartimentare sunt ușoare, realizate din sticlă sau pereți din gips-carton, singurii pereți din beton armat fiind diafragmele care delimitează casa scării, contribuind împreună cu pereții exteriori (zona opacă) și cu planșeele la creșterea masei termice a clădirii. Clădirea se încadrează ca număr de etaje și înălțime în tipologia clădirilor medii pentru Europa, SUA și China, având 8 niveluri și 30 m înălțime.

Pereții exteriori sunt alcătuiți dintr-un strat cu masă termică ridicată la interior (cărămidă și respectiv beton armat în zona casei scării) și un strat de izolație termică la exterior. Detaliile constructive de principiu ale elementelor anvelopei sunt prezentate în Fig. 4.3, 4.4, 4.5, 4.6, fiind caracterizate de valori reduse ale transmitanței termice și ale pierderilor de căldură prin punțile termice.

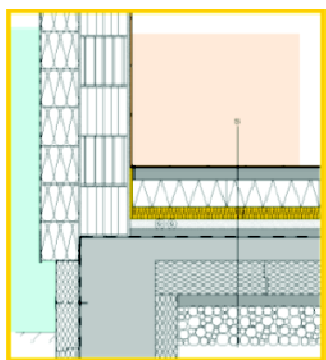


Fig. 4.3 – Detaliu perete exterior și planșeu

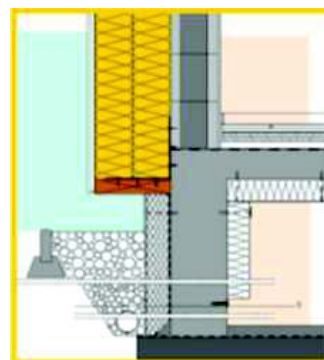


Fig. 4.4 – Detaliu perete exterior (parter) [82]

pe sol [82]

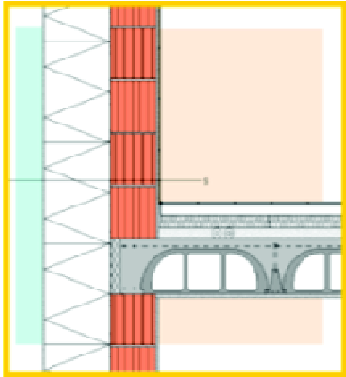


Fig. 4.5 – Detaliu perete exterior și planșeu curent [82]

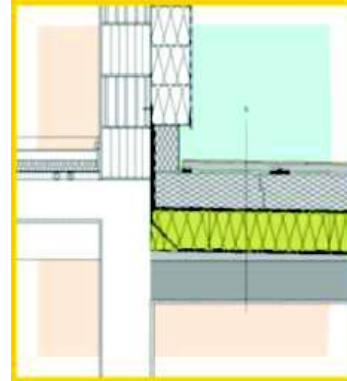


Fig. 4.6 – Detaliu terasă circulabilă [82]

- Volum = 16 960 m<sup>3</sup>
- Suprafață planșeu în contact cu solul = 858,43 mp
- Pereți exteriori opaci = 1 430,38 mp
- Suprafață vitrată = 2 227,88 mp
- Înălțime utilă nivel curent = 2,80 m
- Dimensiuni în plan: 30 m x 33 m

Pentru valoarea dată a raportului de vitrare, clădirea de birouri se încadrează în categoria celor cu grad maxim de performanță: fără vitraje mobile și prevăzută cu climatizare centralizată [122].

#### 4.1.2 Parametri și puncte de plecare – Studii de caz

Sunt propuse o serie de studii de caz pentru clădirea de birouri analizată, având ca parametri:

- orientarea clădirii;
- poziția clădirii și raportul opac-vitrat al anvelopei;
- compartimentarea interioară;
- numărul utilizatorilor.

Fiecare studiu de caz urmărește mai multe etape (comune pentru toate cazurile), care diferă doar prin sistemul de anvelopă adoptat.

Următoarele **date comune** au fost utilizate pentru fiecare caz:

- *date climatice* (Fig. 4.7, 4.8, 4.9) – pentru localitatea Iași – preluate din programul *Archicad* [110] și din baza de date a programului *EnergyPlus* [112];



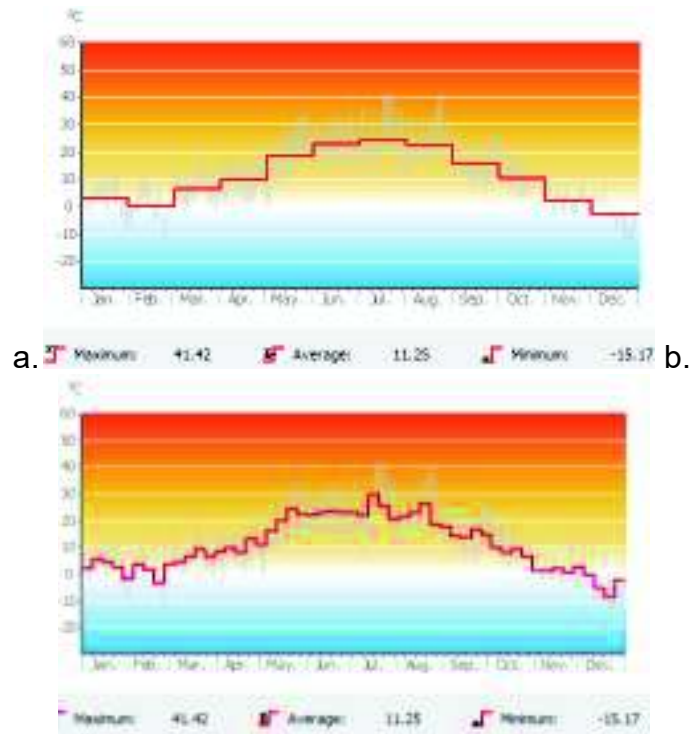


Fig. 4.7 – Temperatura aerului: a – lunar ; b - săptămânal [110]

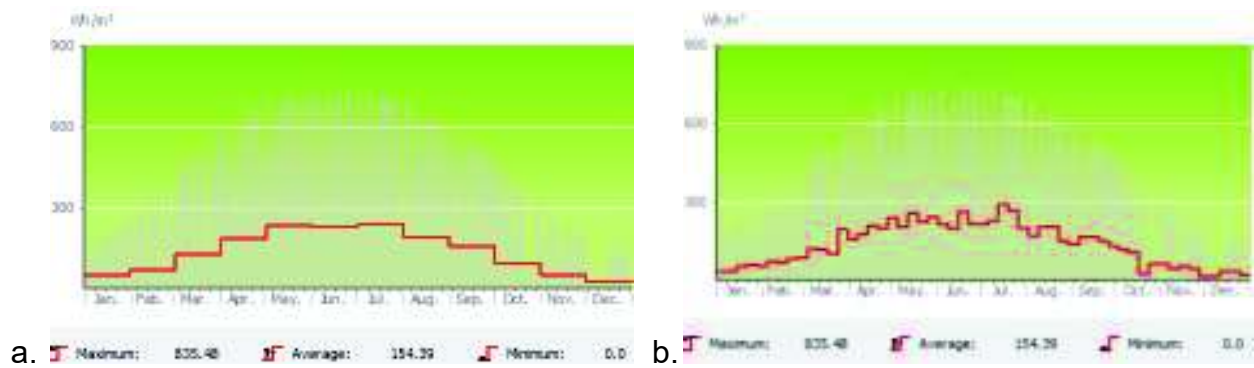


Fig. 4.8 – Radiația solară: a – lunară ; b - săptămânală [110]

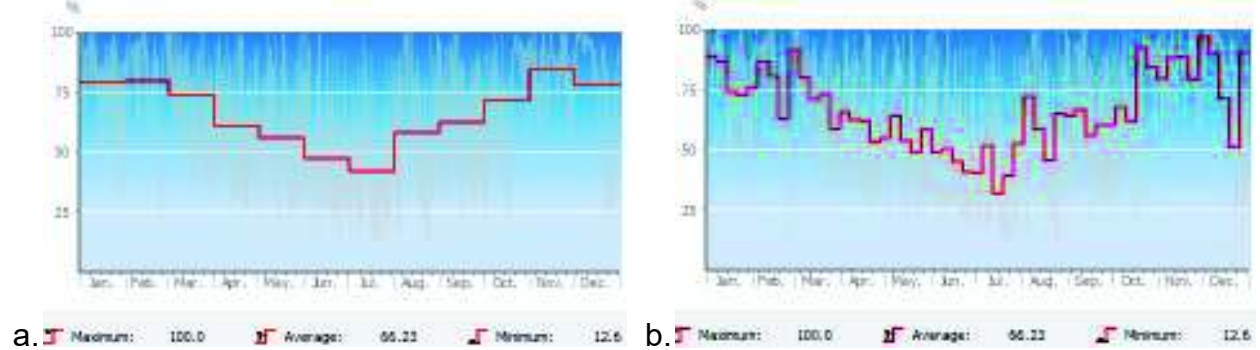


Fig. 4.9 – Umiditatea relativă: a – lunară; b – săptămânală [110]

- valorile *transmitanței termice U* pentru pereți, acoperiș, planșeu în contact cu solul – calculate cu programul PHPP [111];
- valorile *transmitanței termice U pentru pereții cotină* – alese din baza de date a programului PHPP [111];
- *necesarul de aer proaspăt*: 7 l/s/persoană + 0,35 l/s/mp;
- *densitatea utilizatorilor*: 10 mp/persoană;
- *scenariile de utilizare* (ilustrate în Fig. 4.10):
  - în timpul săptămânii:
    - orele 8-18 – 20 – 25°C;
    - restul zilei – 15 – 26°C;
  - sâmbăta:
    - orele 9-14 – 20 – 25°C;
    - restul zilei – 15 – 26°C;
  - duminica - 10 - 30°C.

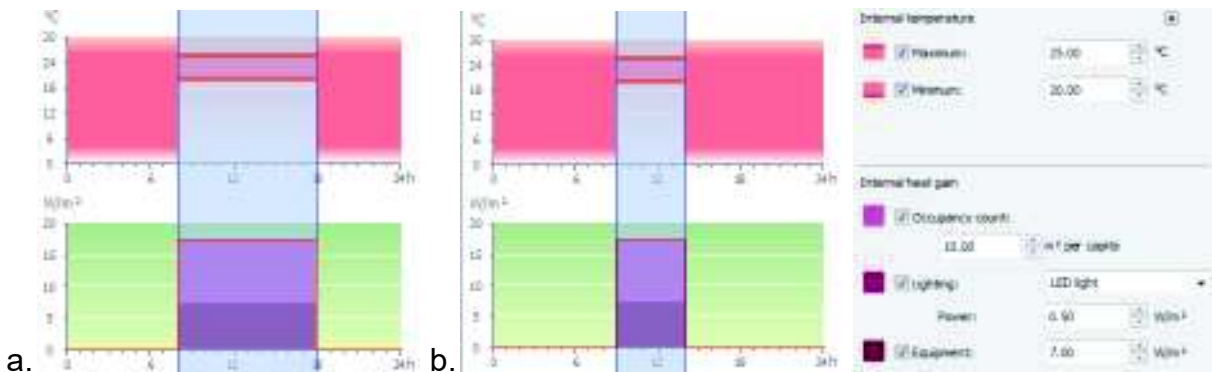


Fig. 4.10 – Scenarii de utilizare: a – luni-vineri (8-18); b – sâmbătă (9-14) [110]

### Etapa 1 – Identificarea perioadelor de calcul

Pentru fiecare simulare sunt identificate perioadele de referință pentru calcul, reprezentând fie lunile, fie anotimpurile anului. Acest pas este important pentru a determina perioadele de timp în care anvelopa trebuie să își modifice parametrii.

### Etapa 2 – Variația transmitanței termice și a gradului de umbră

În aceste perioade, în funcție de sistemele de anvelopă analizate, sunt considerate ca variabile, alternativ, *gradul de umbră* și respectiv *transmitanța termică* a elementelor anvelopei, pentru a determina valorile parametrilor de performanță specifici optimi.

Se introduc *modele diferite pentru simularea* în fiecare perioadă specifică, pentru care se consideră, pe rând, că:

- izolația termică a acoperișului sau a pereților exteriori este variabilă;
- vitrajul este înlocuit cu perne cu aer ETFE cu mai multe camere;
- se modifică gradului de umbră prin utilizarea elementelor de umbră mobilă sau prin imprimarea a două straturi ale pernei de aer ETFE.

### Etapa 3 – Compararea rezultatelor intermediare

Pentru a evidenția impactul modificărilor anvelopei asupra performanței energetice a clădirii, se compară necesarul de energie pentru încălzire și răcire înainte de modificările

survenite cu valoarea rezultată ulterior, corespunzătoare aceleiași perioade a anului. Se determină în acest fel valorile pentru clădirea cu sistem de anvelopă adaptabilă, cu mențiunea că acestea nu vor avea o precizie de 100% deoarece calculul pentru modificările sistemului într-un interval mai scurt de 24 de ore nu poate fi realizat prin intermediul programelor de calcul existente. Astfel prin reducerea rezistenței termice a unui element de anvelopă, transferul căldurii spre exterior este mai intens pe timpul nopții reducând necesarul de energie pentru răcire, dar permite totodată pătrunderea căldurii în timpul zilei (nefiind posibilă modificarea rezistenței termice la variația zi-noapte). Performanța sistemului este deci mai ridicată decât o demonstrează calculele.

#### Etapa 4 – Necesarul de energie anual estimat

Pentru a determina necesarul de energie anual pentru încălzirea și răcirea clădirii, sunt selectate valorile rezultate din fiecare perioadă de calcul, determinând de asemenea:

- perioadele în care sistemul trebuie să își modifice parametrii de performanță specifici;
- parametrii optimi care conferă clădirii o eficiență energetică sporită;
- eficiența unui sistem de umbrire mobil în care variația unghiului de înclinație a elementelor orizontale se face lunar;
- gradele de umbrire necesare pentru fiecare lună, precum și gradul de înclinare a elementelor de umbrire în cazul utilizării unor lamele orizontale sau verticale;
- eficiența introducerii unor surse de energie regenerabilă, cum ar fi instalarea unor celule fotovoltaice la nivelul sistemului de umbrire;
- rezultatele pentru o clădire care utilizează o combinație a unor soluții de anvelopă adaptabilă, prin compararea rezultatelor utilizării a două sau mai multe sisteme de anvelopă adaptabilă la mediu. Astfel, poate fi creat un model care integrează *sisteme mobile de umbrire și izolație termică adaptabilă* pentru elementele opace ale anvelopei.

#### **4.1.3 Contribuția programelor de calcul utilizate**

Programele de simulare sunt utilizate pentru a reda cât mai fidel comportarea clădirii în diferite situații.

a. Programul *PHPP* [111] permite evaluarea consumului energetic al clădirii și proiectarea termotehnică a elementelor anvelopei. Oferă utilizatorului posibilitatea de a efectua calcule pentru o gamă limitată de clădiri în ceea ce privește funcțiunea, dimensiunile, amplasamentul. De asemenea nu permite o simulare dinamică pentru clădirea propusă, de aceea sunt necesare câteva simplificări care însă nu afectează valabilitatea rezultatelor obținute.

Acest program permite:

- introducerea structurii elementelor componente ale anvelopei ;
- alegerea tipului de sticlă și tâmplărie din baza de date a programului;
- calculul necesarului de energie pentru încălzirea clădirii;
- calculul necesarului de energie pentru răcirea clădirii;
- determinarea frecvenței supraîncălzirii.

b. Programul *Design Builder* [112] este utilizat pentru a genera o simulare anuală în care sunt calculate:

- variația temperaturii exterioare;
- variația temperaturii interioare;
- aporturile solare prin suprafața vitrată;
- impactul sistemelor de umbrire asupra încălzirii, răcirii și iluminatului;
- necesarul de energie pentru încălzire;
- necesarul de energie pentru răcire.

Simulările generează rezultate la fiecare oră, evidențiind impactul variației temperaturii exterioare și a radiației solare asupra necesarului de energie pentru încălzire și răcire. Astfel graficele care prezintă date privind temperatura exterioară, necesarul de energie pentru încălzire și răcire, sunt folosite pentru a determina perioadele în care este oportună modificarea transmitanței termice a anvelopei sau blocarea aportului solar.

Transmitanța elementelor opace poate varia prin utilizarea izolației termice variabile, iar cea a elementelor transparente prin utilizarea pernelor de aer ETFE cu mai multe camere sau prin închiderea totală a elementelor de umbrire care creează astfel un strat de aer staționar – soluții analizate în cadrul prezentei lucrări.

Pe baza graficelor și a rezultatelor generate se poate determina gradul de umbrire necesar pentru evitarea supraîncălzirii.

Variația valorii transmitanței termice a elementelor opace și transparente de-a lungul unei zile nu poate fi simulat prin intermediul programelor de calcul, motiv pentru care s-a optat pentru o abordare specială constând în analiza separată și conjugată a mai multor variante studiate, în vederea unei estimări cât mai apropiate de realitate.

## 4.2 PERFORMANȚELE SOLUȚIILOR DE ANVELOPĂ ADAPTABILĂ LA MEDIU

### 4.2.1 Soluții de principiu privind modificările anvelopei

- Folosirea unui **vitraj** cu performanțe termice mai ridicate și respectiv mai reduse și determinarea reducerilor anuale ale consumului de energie, pentru a evalua dacă investiția este rentabilă;
- Instalarea unor **sisteme de umbrire mobile** (al căror grad de umbrire variază lunar sau care sunt activate la creșterea temperaturii interioare) pentru a determina:
  - cu cât este mai eficient un sistem mobil față de unul fix;
  - unghiurile de înclinare lunare pentru care performanța energetică a sistemului este maximă - în cazul clasic al unui sistem de umbrire cu elemente orizontale mobile;
  - măsura în care un sistem de umbrire cu elemente care contribuie la creșterea rezistenței termice a vitrajului, are ca efect reducerea consumului de energie pe timpul nopților reci;
- Înlocuirea termoizolației pereților exteriori și a acoperișurilor cu **izolație termică adaptabilă** pentru a determina posibilele reduceri de energie și măsura în care acest sistem este activat pe perioada unui an;

- **Înlocuirea vitrajului cu sisteme de perne de aer ETFE** a căror rezistență termică și factor de umbrire variază, pentru a determina perioadele de modificare a parametrilor în vederea atingerii eficienței maxime a sistemului;
- **Aplicarea pe suprafața vitrată a unor straturi de materiale inteligente** care blochează radiația solară nedorită, pentru a determina eficiența și perioadele în care acestea sunt activate;
- **Integrarea panourilor fotovoltaice** la nivelul fațadei și acoperișului pentru determinarea înclinațiilor optime.

## 4.2.2 Studii de caz

### 4.2.2.1 Anvelopă statică și grad de umbrire = 0

Valorile pentru transmitanța termică  $U$  [ $W/m^2K$ ], transmisia energiei solare și fluxurile de căldură [ $W$ ] prin punțile termice ale distanțierilor din alcătuirea părții vitrate a anvelopei, sunt preluate din baza de date a programului PHPP [111], respectând normativele în vigoare [122] (Tab. 4.1).

Tab.4.1 – Rezistențe termice specifice necesare pentru elementele de construcție vitrate [122]

Grupa clădirii	R'nec [ $m^2K/W$ ]		
	Tâmplăria exterioară	Luminatoare	Pereți exteriori vitrați
I	0,39	0,31	0,33
II	0,35	0,28	0,30
III	0,31	0,25	0,27
IV	0,27	0,22	0,24

- A.** Perete cortină cu geam triplu strat iPlus 3 CE – Interpane  $g=0,47$ ,  $U_g=0,49$   $W/m^2K$
- tâmplărie Internorm cu distanțier „Thermix”  $U_f=0,63$   $W/m^2K$ ,  $\phi_{distanțier}=0,043$   $W$ ,  $\phi_{instalare}=0,040$   $W$
  - coeficient global de izolare termică  $G=0,474$   $W/m^2K$
  - consum de energie pentru încălzire = 117  $kWh/m^2an$  (Fig. 4.11 și 4.12)
  - consum de energie pentru răcire = 228  $kWh/m^2an$  (Fig. 4.11 și 4.13)

Specific Demands with Reference to the Treated Floor Area			
	Applied:	Monthly Method	PH Certificate:
Specific Space Heat Demand:	117	$kWh/(m^2a)$	15 $kWh/(m^2a)$
Pressurization Test Result:	0.6	$h^{-1}$	0.6 $h^{-1}$
Specific Primary Energy Demand (DHW, Heating, Cooling, Auxiliary and Household Electricity):		$kWh/(m^2a)$	120 $kWh/(m^2a)$
Specific Primary Energy Demand (DHW, Heating and Auxiliary Electricity):		$kWh/(m^2a)$	
Specific Primary Energy Demand Energy Conservation by Solar Electricity:		$kWh/(m^2a)$	
Heating Load:	77	$W/m^2$	
Frequency of Overheating:		%	over 25 °C
Specific Useful Cooling Energy Demand:	228	$kWh/(m^2a)$	15 $kWh/(m^2a)$
Cooling Load:	130	$W/m^2$	

Results from the Summer worksheet  
Frequency of Overheating:  $f_{o,summer}$  90.5%

Fig. 4.11 – Necesarul anual de energie și frecvența supraîncălzirii



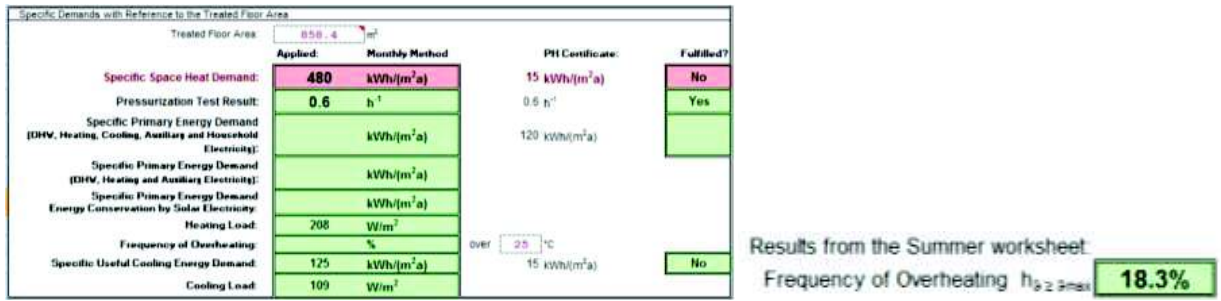


Fig. 4.14 – Necesarul anual de energie și frecvența supraîncălzirii

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Year
Heating Degree Hours	14.6	12.6	11.7	8.4	5.3	2.7	1.0	2.5	4.4	7.9	11.1	17.7	97
Heating Degree Hours	6.3	5.0	4.5	3.0	1.8	0.9	0.1	0.9	1.8	3.0	5.3	9.9	64
Losses - Exterior	94074	73773	67606	48742	30989	16672	10902	13107	25452	47950	64137	79462	503024
Losses - Internal	1450	1563	1634	1393	1247	1002	940	906	9276	186	1216	1362	14709
Sum Spec. Losses	95524	75336	69240	50135	32196	17604	11842	14013	36428	64353	85353	103244	517733
Solar Gains - North	1456	2303	4100	5995	8016	9626	8703	4980	4030	2826	1500	1026	56235
Solar Gains - East	745	1230	2380	3972	5361	6200	5377	4096	2976	1704	825	509	34910
Solar Gains - South	105	2280	2690	3621	3879	3635	3430	3620	3303	2490	1244	601	32448
Solar Gains - West	2075	5760	7530	10403	11066	11160	11621	11532	10319	6936	3174	2031	53273
Solar Gains - Other	416	792	1217	1738	2261	2791	2951	2494	1722	990	495	297	19049
Solar Gains - Overall	65	121	107	252	306	297	305	236	224	91	74	47	2320
Internal Heat Gains	2228	2059	2228	243	2228	1913	2228	2228	2163	2228	2763	2228	26239
Sum Spec. Gains Solar	81.3	17.9	22.8	33.2	40.0	32.4	40.5	36.7	29.6	19.7	11.0	9.1	306.2
Unbalance Factor	87%	85%	85%	76%	69%	39%	28%	36%	63%	86%	96%	90%	6%
Annual Heat Demand	7776	60852	51003	20423	12925	3429	801	2574	11248	32637	56337	74226	41289
Spec. Heat Demand	90.5	70.9	59.4	23.1	14.1	4.0	1.7	3.0	13.1	38.0	65.6	86.5	480.1

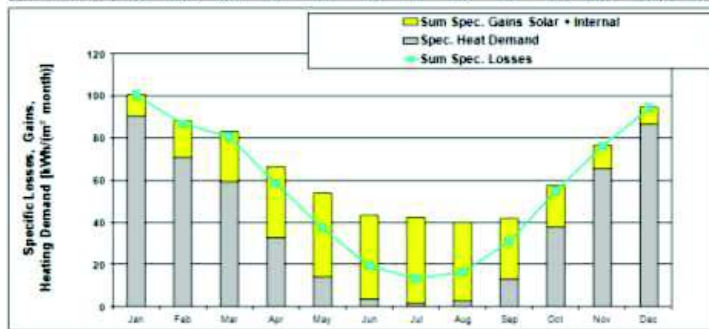


Fig. 4.15 – Necesarul lunar de energie pentru încălzire

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Year
Heating Degree Hours	14.6	12.6	11.7	8.4	5.3	2.7	1.0	2.5	4.4	7.9	11.1	17.7	97
Heating Degree Hours	6.3	5.0	4.5	3.0	1.8	0.9	0.1	0.9	1.8	3.0	5.3	9.9	64
Losses - Exterior	94074	73773	67606	48742	30989	16672	10902	13107	25452	47950	64137	79462	503024
Losses - Internal	1450	1563	1634	1393	1247	1002	940	906	9276	186	1216	1362	14709
Sum Spec. Heat Losses	95524	75336	69240	50135	32196	17604	11842	14013	36428	64353	85353	103244	517733
Solar Gain/Heating	105	2280	2690	3621	3879	3635	3430	3620	3303	2490	1244	601	32448
Solar Gain/Cooling	105	2280	2690	3621	3879	3635	3430	3620	3303	2490	1244	601	32448
Solar Gain/Heating	105	2280	2690	3621	3879	3635	3430	3620	3303	2490	1244	601	32448
Solar Gain/Cooling	105	2280	2690	3621	3879	3635	3430	3620	3303	2490	1244	601	32448
Internal Heat Gains	2228	2059	2228	243	2228	1913	2228	2228	2163	2228	2763	2228	26239
Sum Spec. Gains Solar	81.3	17.9	22.8	33.2	40.0	32.4	40.5	36.7	29.6	19.7	11.0	9.1	306.2
Unbalance Factor	87%	85%	85%	76%	69%	39%	28%	36%	63%	86%	96%	90%	6%
Annual Cooling Demand	109	109	109	109	109	109	109	109	109	109	109	109	109
Spec. Cooling Demand	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125

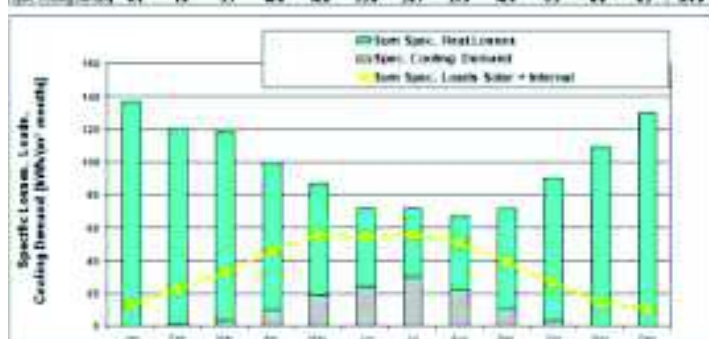


Fig. 4.16 – Necesarul lunar de energie pentru răcire

C. Perete cortină cu geam dublu strat low-E, Ar 90%  $e=0,04$ ,  $g=0,56$ ,  $U_g=1,10$   $W/m^2K$

- tâmplărie Internorm cu distanțier „Thermix”  $U_f=0,63$   $W/m^2K$ ,  $\phi_{distanțier}=0,043$ ,  $\phi_{instalare}=0,040$
- consum de energie pentru încălzire = 198 kWh/m<sup>2</sup>an (Fig. 4.17 și 4.18)
- consum de energie pentru răcire = 260 kWh/m<sup>2</sup>an (Fig. 4.17 și 4.19)

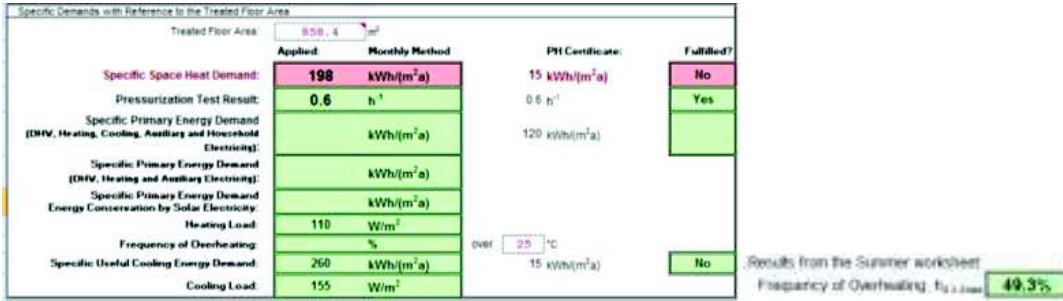


Fig. 4.17– Necesarul anual de energie și frecvența supraîncălzirii



Fig. 4.18 – Necesarul lunar de energie pentru încălzire



Fig. 4.19 – Necesarul lunar de energie pentru răcire



- D. Perete cortină cu geam dublu strat low-E cu Ar 90% e = 0,04, g=0,56,  $U_g=1,10$   $W/m^2K$
- tâmplărie metalică simplă fără întreruperea punților termice  $U_f=4,5$   $W/m^2K$ ,  $\phi_{distanțier}=0,030$   $W$ ,  $\phi_{instalare}=0,040$   $W$
  - consum de energie pentru încălzire = 554 kWh/m<sup>2</sup>an (Fig. 4.20 și 4.21)
  - consum de energie pentru răcire = 156 kWh/m<sup>2</sup>an (Fig. 4.20 și 4.22)

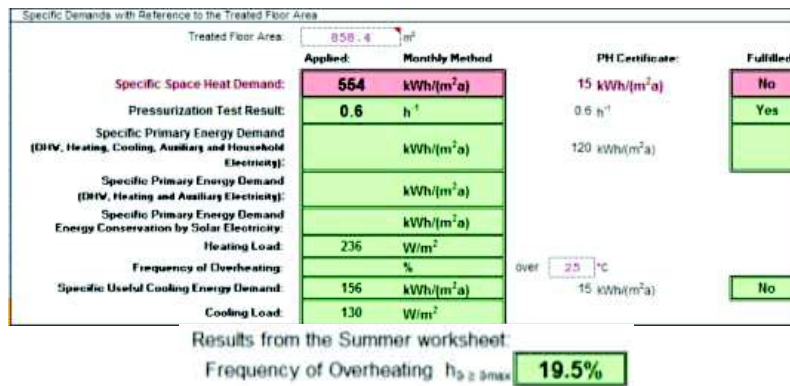


Fig. 4.20 – Necesarul anual de energie și frecvența supraîncălzirii

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Year
Heating Degree Hours	84.0	12.3	11.7	1.4	5.3	2.9	13	2.4	4.4	7.3	11.1	12.7	33
Heating Degree Hours	6.3	5.8	6.5	6.0	5.8	4.3	4.1	3.9	4.6	5.0	5.3	5.9	64
Losses - Exterior	30046	84824	79039	56287	35670	9879	1295	8133	2969	53074	74888	83328	644802
Losses - Ground	1450	1383	934	1393	1347	803	941	906	1076	186	131	192	18709
Sum Spec. Losses	31496	86207	80000	57680	40017	10682	2196	9039	4045	54940	75019	83520	663511
Solar Gains - North	1729	3144	4085	7096	8953	9278	8369	6329	5766	3367	1787	1222	67122
Solar Gains - East	887	888	2849	4733	4384	4328	4407	5463	3546	2031	304	606	44599
Solar Gains - South	1328	2778	3209	4395	4922	4211	4298	4552	3925	2967	182	954	30887
Solar Gains - West	3354	6963	8962	12395	14138	13226	12848	13284	10999	7784	3762	2420	10534
Solar Gains - Hons	496	944	933	2548	2350	3326	3387	2972	2062	1079	543	354	22632
Solar Gains - Double	65	101	101	262	300	295	206	224	191	74	47	47	2329
Internal Heat Gains	2236	2009	2236	1963	2236	1963	2236	2236	1963	2236	1963	2236	26319
Sum Spec. Gains Solar	19.8	19.8	27.8	39.8	47.1	48.4	47.7	43.2	33.8	22.3	12.6	9.1	263.0
Unknown Factor	975	925	875	745	575	385	285	385	65	85	95	105	605
Annual Heat Demand	8973	7072	5876	32763	14070	4044	1790	3091	10048	37646	68037	85743	478812
Spec. Heat Demand	106.5	81.7	68.4	38.2	16.4	4.7	2.1	3.6	15.2	43.9	75.8	99.9	554.3

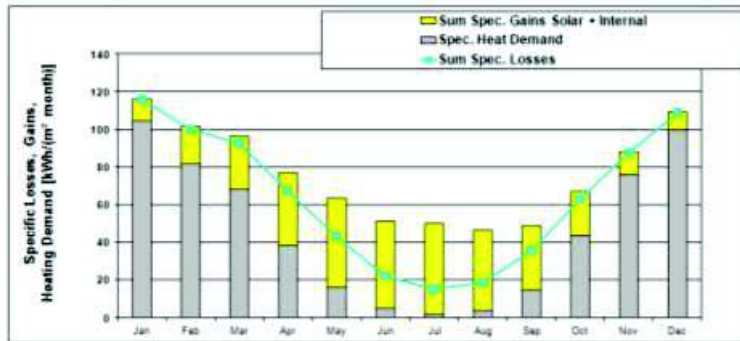


Fig. 4.21 – Necesarul lunar de energie pentru încălzire

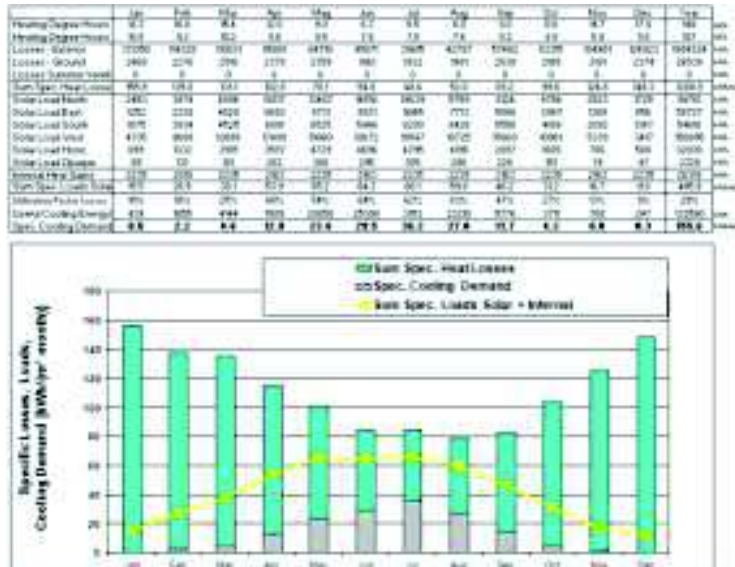
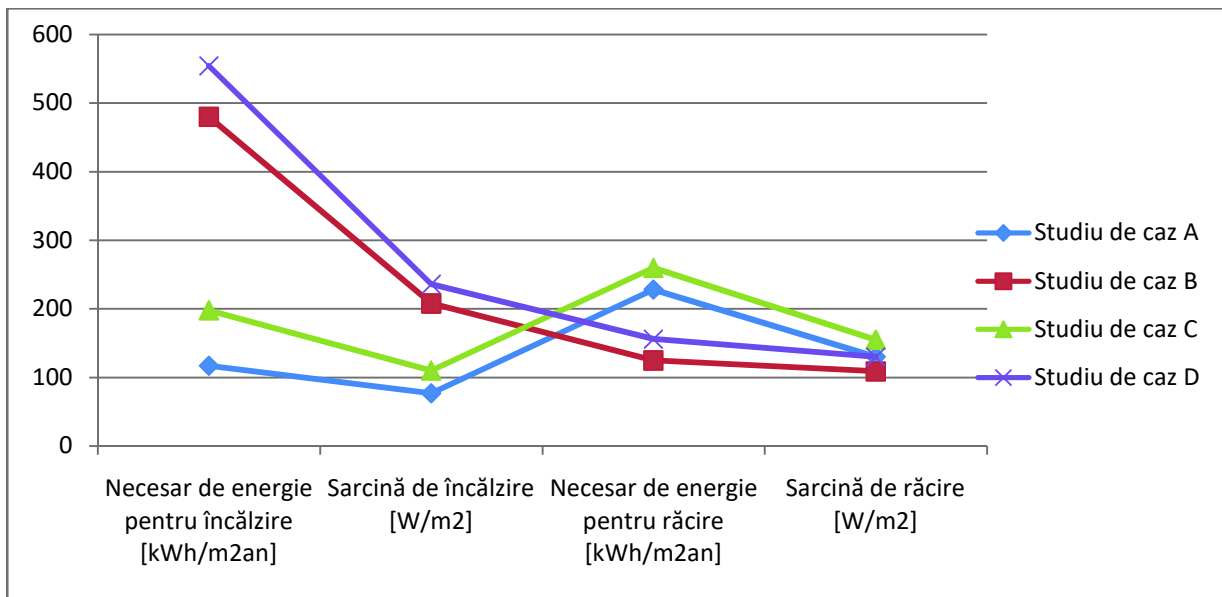


Fig. 4.22 – Calculul lunar al necesarului de energie pentru răcire  
 Tabel 4.2 – Compararea rezultatelor obținute pentru variantele de vitraj studiate

Studiu de caz	Necesar de energie pentru încălzire [kWh/m <sup>2</sup> an]	Sarcină de încălzire [W/m <sup>2</sup> ]	Necesar de energie pentru răcire [kWh/m <sup>2</sup> an]	Sarcină de răcire [W/m <sup>2</sup> ]	Frecvența supraîncălzirii %
A	117	77	228	130	50,5%
B	480	208	125	109	18,3%
C	198	110	260	155	49,3%
D	554	236	156	130	19,5%



Tabelul 4.2 și diagrama adiçantă indică, pe de o parte, creșterea necesarului de energie pentru încălzire odată cu descreșterea eficienței tâmplăriei și a sticlei alese pentru peretele cortină (cazul D) iar pe de altă parte, descreșterea necesarului de

energie pentru răcire și a frecvenței supraîncălzirii prin reducerea rezistenței termice a tâmplăriei (cazul B). Astfel, deși sarcina de încălzire aproape se triplează, sarcina de răcire scade cu  $21 \text{ W/m}^2$  (16,15%), iar frecvența supraîncălzirii scade cu 36,24% (de la 50,5% la 14,26%). Frecvența supraîncălzirii scade și atunci când sticla aleasă pentru peretele cortină are o rezistență termică mai mică (cazul C), însă diferențele față de cazul A sunt nesemnificative, întrucât în timpul zilei este permisă pătrunderea unui flux mai mare de căldură.

În Fig. 4.13, 4.16, 4.19 și 4.22 se remarcă modificarea valorilor maxime ale necesarului lunar de energie pentru răcire atins în luna iulie. În cazul A acesta atinge valoarea de  $46,4 \text{ W/m}^2$ , dar în cazul B în care performanța termică a tâmplăriei scade, valorile ajung la  $29,7 \text{ W/m}^2$ , adică 64% din valoarea inițială.

Aceste rezultate pun așadar în evidență posibilitatea de a reduce consumul de energie pentru răcire doar prin creșterea transmitanței termice a elementelor anvelopei clădirii pe timpul nopții în anotimpul cald, eliminând astfel căldura în exces. De asemenea, calculele ilustrează eficiența utilizării unui perete cortină cu proprietăți termice superioare, punând în evidență reducerea cu 78,88% a energiei anuale necesare pentru încălzire.

#### 4.2.2.2 Sistem de umbrire mobil

Acest calcul urmărește determinarea influenței unui sistem de umbrire mobil asupra performanței energetice a clădirii, prin două modalități:

A. *creșterea rezistenței termice a suprafețelor vitrate* obținută prin închiderea lamelelor pe timpul nopților reci;

B. *reducerea consumului de energie pentru răcire* prin blocarea radiației solare în exces.

##### A. Creșterea rezistenței termice a suprafețelor vitrate prin închiderea lamelelor pe timpul nopților reci

Pentru a determina cu programul de calcul PHPP eficiența unui sistem de umbrire care se închide total pentru a împiedica pierderile de căldură în nopțile anotimpului rece, se pornește de la calculul performanței energetice pentru situația în care lamelele sunt permanent și complet închise, urmând ca rezultatele să fie interpretate în funcție de orele de însorire și nopțile anotimpului cald în care acestea trebuie să rămână deschise. Variantele studiate urmăresc evaluarea unor sisteme de umbrire mobile cu lamele din lemn (studiul de caz **a**) și lamele orizontale izolate termic cu aerogel (studiul de caz **b**).

##### a. Sistem de umbrire mobil cu lamele orizontale din lemn (Fig. 4.23)

- perete cortină cu geam triplustrat  $g=0,47$ ,  $U_g=0,49 \text{ W/m}^2\text{K}$
- tâmplărie  $U_f=0,63 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,  $\phi_{\text{distanțier}}=0,043\text{W}$ ,  $\phi_{\text{instalare}}=0,040\text{W}$
- lamele din lemn închise total în orele fără însorire
- perete cortină cu lamelele din lemn închise  $U=0,554 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

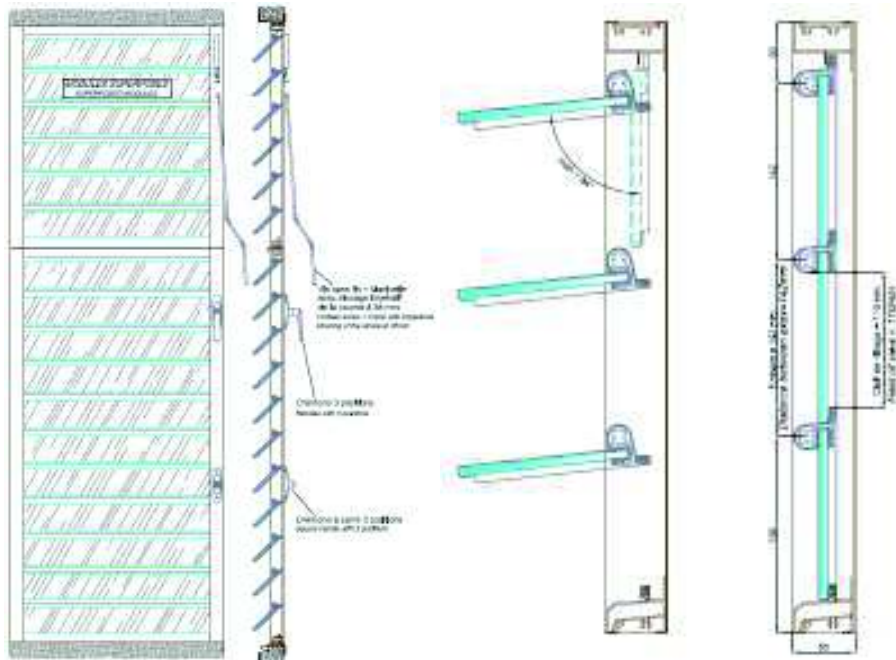


Fig. 4.23 – Sistem de umbrire mobil compus din lamele orizontale din lemn care se pot închide complet

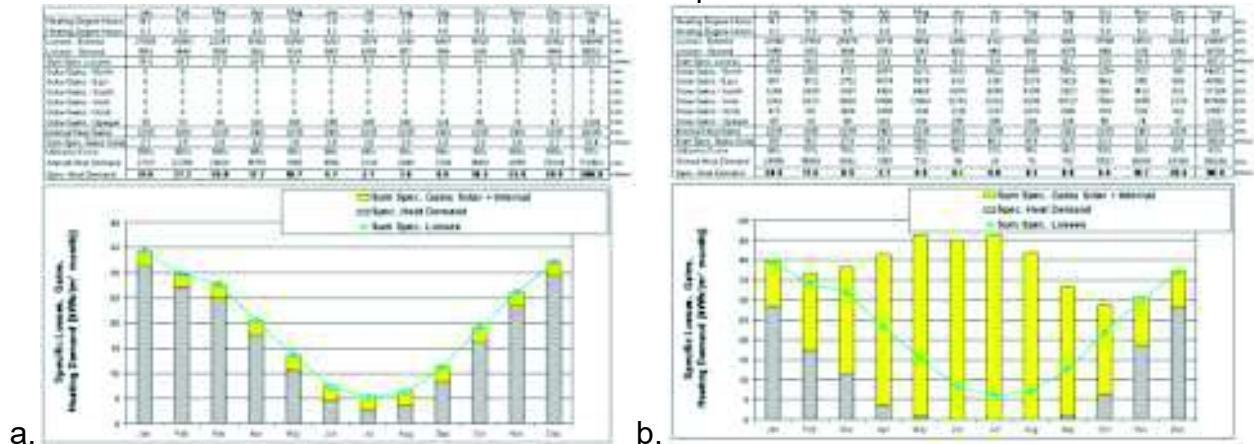
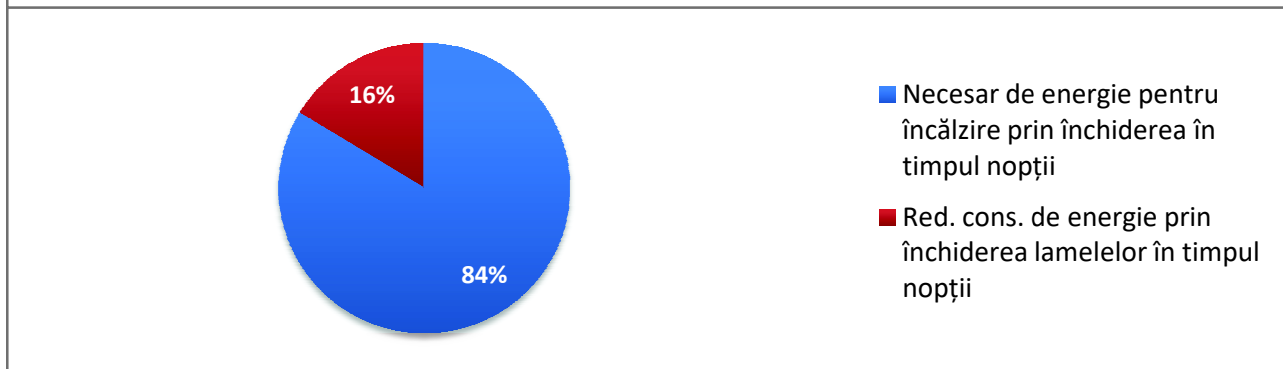
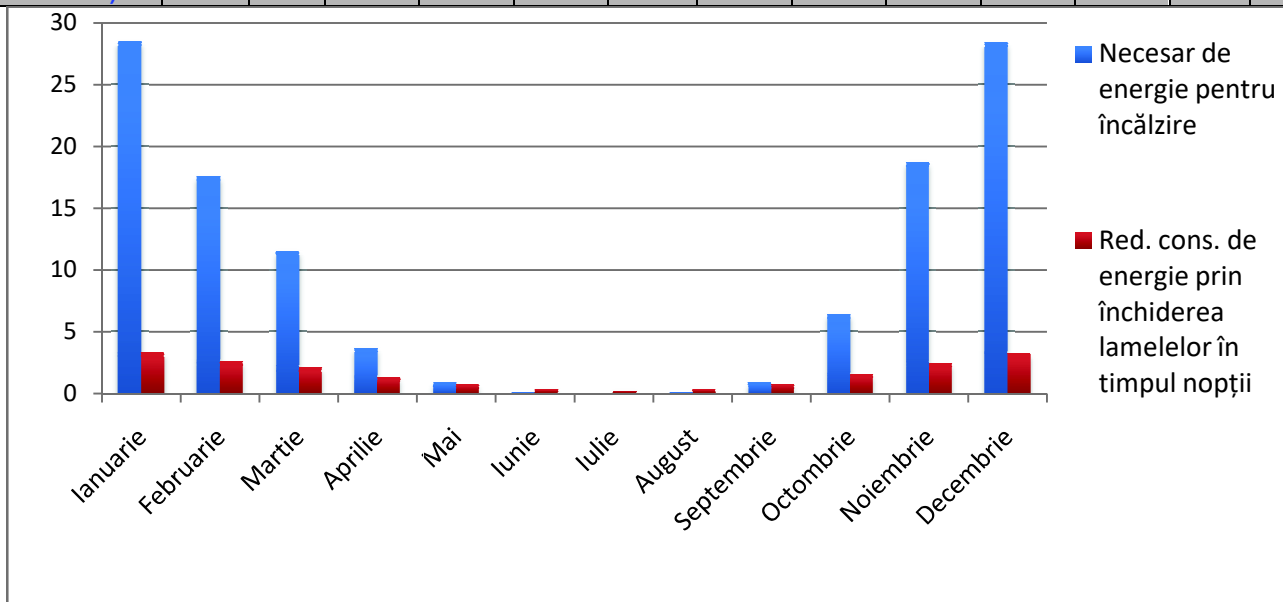


Fig. 4.24 – Necesarul lunar de energie pentru încălzire: a. în cazul închiderii totale a lamelor; b. fără sistem de umbrire

Tabel 4.3 – Reducerea pierderilor de energie prin închiderea parasolarelor în orele fără însorire

	Ian.	Feb.	Mar.	Apr.	Mai	Iun.	Iul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Tot.
Numărul orelor de însorire [h]	8.9	10.28	11.83	13.58	15.05	15.88	15.55	14.25	12.6	10.93	9.36	8.53	
Pierderi de căldură prin contact cu soluți	1450	1353	1494	1393	1347	1003	948	900	1075	1166	1218	1362	
Pierderi de căld. specifice fără elemente de	<b>39.48</b>	<b>34.18</b>	<b>31.88</b>	<b>23.42</b>	<b>15.44</b>	<b>8.27</b>	<b>5.91</b>	<b>6.98</b>	<b>12.74</b>	<b>21.85</b>	<b>29.99</b>	<b>37.04</b>	<b>267.18</b>

umbrire[kWh/m <sup>2</sup> ] (P1)														
Pierderi de căld. exterioare fără umbrire [kWh]	32446	27993	25876	18714	11906	6094	4132	5092	9861	17596	24531	30444		
Pierderi de căld. ext. cu închidere totală a parasol. [kWh]	27885	24063	22247	16102	10254	5261	3574	4394	8487	15130	21086	26162		
Pierderi exterioare cu închiderea parasolarelor noaptea [kWh]	29576	25746	24036	17580	11290	5812	3936	4808	9208	16253	22430	27684		
Pierderi de căldură specifice [kWh/m <sup>2</sup> ] (P2)	<b>36.14</b>	<b>31.56</b>	<b>29.74</b>	<b>22.1</b>	<b>14.72</b>	<b>7.94</b>	<b>5.69</b>	<b>6.65</b>	<b>11.98</b>	<b>20.29</b>	<b>27.54</b>	<b>33.83</b>	<b>248.18</b>	
<b>Reducerea pierderilor de căldură specifice prin închiderea parasolarelor noaptea [kWh/m<sup>2</sup>] (P3=P1-P2)</b>	<b>3.34</b>	<b>2.62</b>	<b>2.14</b>	<b>1.32</b>	<b>0.72</b>	<b>0.33</b>	<b>0.23</b>	<b>0.33</b>	<b>0.76</b>	<b>1.56</b>	<b>2.45</b>	<b>3.21</b>	<b>19</b>	



Pentru a calcula necesarul anual de energie pentru încălzire în cazul utilizării unui sistem de umbrire care se poate închide complet pe timpul nopții, se pornește de la ipoteza că lamelele vor fi deschise numai în timpul zilei, stabilind o durată medie a numărului zilnic de ore de însorire la nivelul fiecărei luni. De asemenea, conform Fig. 4.24 care ilustrează diagrama necesarului lunar de energie pentru încălzire, în lunile iunie, iulie și august lamelele vor rămâne deschise pentru a permite răcirea clădirii pe timpul nopții. Având în vedere datele prezentate în Tab. 4.3 și diagrama adiacentă, această soluție va permite reducerea pierderilor de energie cu 19 kWh/m<sup>2</sup>an, reducându-și astfel necesarul de energie pentru încălzire cu 16,24%.

**b. Sistem de umbrire mobil cu lamele orizontale izolate termic cu aerogel**

- perete cortina cu geam triplustrat  $g=0,47$ ,  $U_g=0,49$  W/m<sup>2</sup>K
- tâmplărie  $U_f=0,63$  W/m<sup>2</sup>K,  $\phi_{distanțier}=0,043$ W,  $\phi_{instalare}=0,040$  W
- U perete cortină cu lamelele cu aerogel închise = 0,178 W/m<sup>2</sup>K

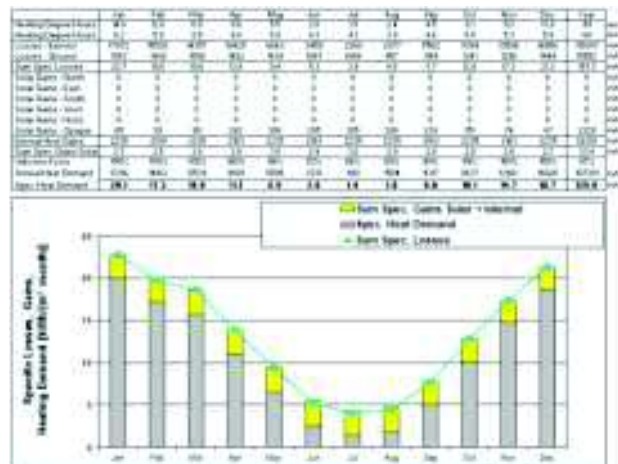
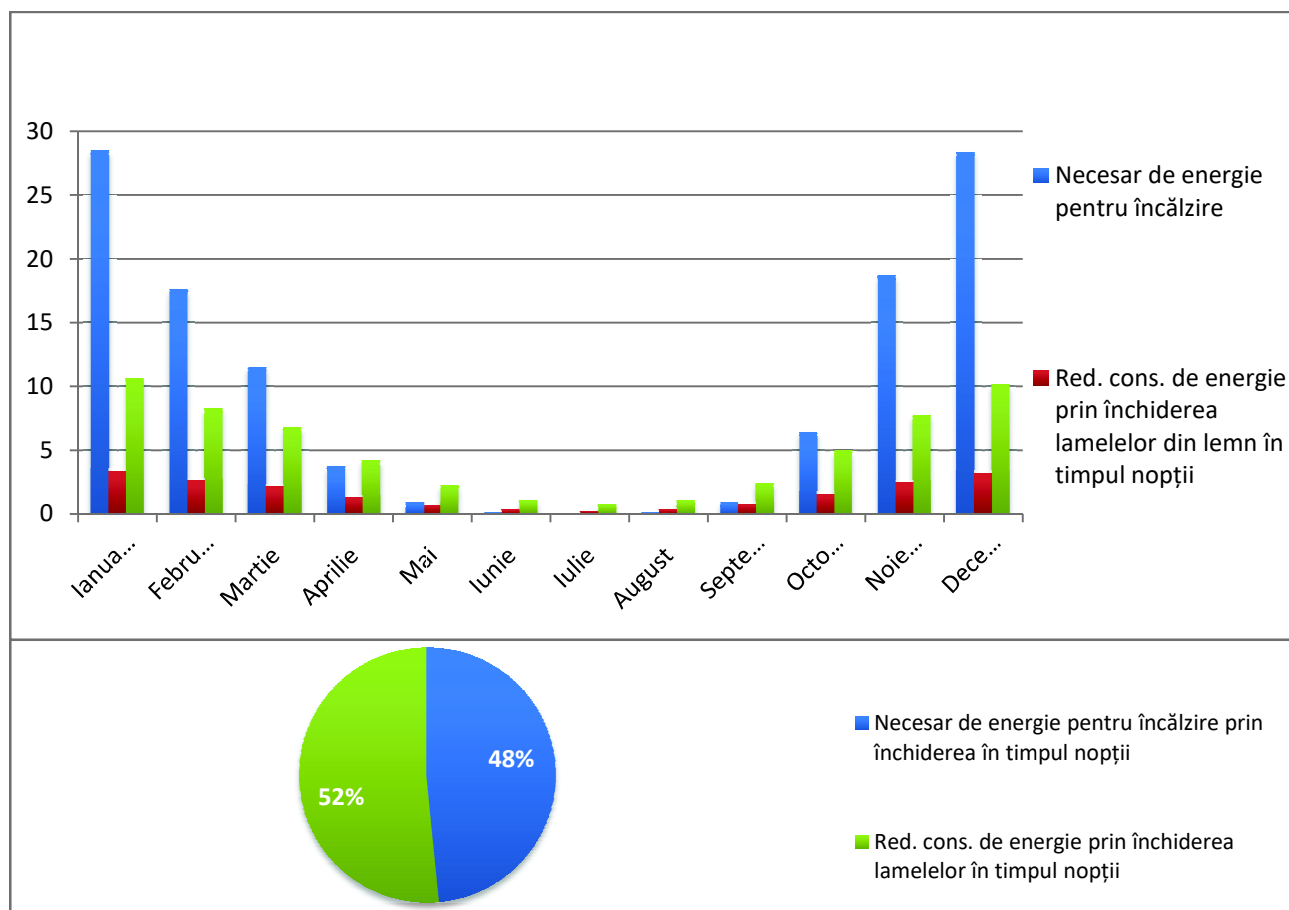


Fig. 4.25 – Necesari lunar de energie pentru încălzire în cazul închiderii totale a lamelelor izolate cu aerogel

	Ian.	Feb.	Mar.	Apr.	Mai	Iun.	Iul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
Nr. ore însorire [h]	8.9	10.28	11.83	13.58	15.05	15.88	15.55	14.25	12.6	10.93	9.36	8.53
Pierd. de căld. prin contact cu solul [kWh]	1543	1440	1590	1482	1434	1067	1009	957	1144	1241	1296	1449
Pierd. de căld. specifice fără elem. de umbrire [kWh/m <sup>2</sup> ]	39.59	34.28	31.99	23.52	15.54	8.34	5.99	7.05	12.82	21.94	30.08	37.15
Pierderi ext. fără umbrire	32446	27993	25876	18714	11906	6094	4132	5092	9861	17596	24531	30444

[kWh]												
Pierderi ext. cu închiderea tot. a parasol.[kWh]	17972	15520	14357	10425	6663	3450	2360	2877	5502	9769	13598	16856
Pierderi ext. cu închiderea parasolarelor noaptea [kWh]	3339.4	2086.6	2003.91	15115.2	9950.8	199.45	3508.1	4192.1	7790.4	3333.5	17861.8	21685.4
Pierderi de căld. specifice [kWh/m <sup>2</sup> ]	28.98	25.98	25.19	19.33	13.26	7.3	5.26	6	10.41	16.98	22.31	26.95
Red. pierd. de căld. specifice prin închiderea parasolarelor din lemn noaptea [kWh/m <sup>2</sup> ]	10.61	8.31	6.80	4.19	2.28	1.04	0.73	1.05	2.41	4.96	7.77	10.20

Tabel 4.4 – Calculul reducerii pierderilor de energie prin închiderea parasolarelor în orele fără însorire



Utilizând aerogelul ca material termoizolator pentru sistemul de umbră, economia de energie prin închiderea pe timpul nopților reci atinge 60,31 kWh/m<sup>2</sup>an (Tab. 4.4 cu diagrama adiacentă și Fig. 4.25), cu 31,15% mai mult față de cazul utilizării lamelelor

netermoizolate pentru sistemul de umbrire. Consumul de energie anual pentru încălzire scade așadar cu 51,54%, de la 117 kWh/m<sup>2</sup>an la 56,69 kWh/m<sup>2</sup>an.

Studiile de caz demonstrează aportul acestei soluții de anvelopă la reducerea consumului de energie prin creșterea rezistenței termice a vitrajului datorită închiderii totale a lamelelor, mai ales în perioada octombrie-aprilie.

## B. Reducerea consumului de energie pentru răcire prin blocarea radiației în exces

### a. Sistem de umbrire mobil cu lamelele orizontale

Analiza sistemului de umbrire mobil se realizează în programul PHPP [111] și Design Builder [112], având o abordare diferită pentru fiecare. Întrucât în programul PHPP nu se pot realiza simulări cu parametri variabili, se consideră ca dată de plecare procentul utilizării aperturilor radiației solare pentru fiecare lună a anului, determinând astfel gradul de umbrire lunar necesar (Fig. 4.26 și Tab. 4.5). În funcție de acestea se utilizează o metodă grafică pentru a trasa unghiul de înclinare în cazul unui sistem de umbrire cu lamelele mobile orizontale, precum și pentru a determina lățimea totală a acestora (având în vedere că sistemele de umbrire cu elemente orizontale care însumează aceeași lățime și au același unghi de înclinare sunt *sisteme echivalente*).

Se trasează diagramele de umbrire pentru fiecare lună.

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Year	
Heating Degree Hours	13.9	12.0	10.3	7.7	4.6	2.0	1.1	1.5	3.7	7.2	10.3	13.0	88	kKa
Heating Degree Hours	6.2	5.9	6.5	5.9	5.4	3.4	2.8	2.4	3.5	4.0	4.6	5.5	56	kKa
Losses - Exterior	204760	176092	160887	113328	67629	29288	15919	22425	54624	105848	152416	191507	1294722	kWh
Losses - Ground	5792	5538	6093	5506	5028	3151	2632	2293	3252	3764	4283	5168	52500	kWh
Sum Spec. Losses	245.3	211.6	194.5	138.4	84.6	37.8	21.6	28.8	67.4	127.7	182.5	229.1	1569.4	kWh/m <sup>2</sup>
Solar Gains - North	24421	37305	65294	93627	126350	137850	138301	110806	75921	45133	24682	17122	896792	kWh
Solar Gains - East	10066	19706	31547	51445	64254	63294	64705	57888	39814	24320	11504	6961	445504	kWh
Solar Gains - South	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	kWh
Solar Gains - West	15603	31951	41532	57116	64890	60578	63445	61026	51299	36057	17585	11262	512344	kWh
Solar Gains - Horiz.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	kWh
Solar Gains - Opaque	164	325	494	759	933	911	938	843	618	390	186	116	6677	kWh
Sum Spec. Gains Solar	61.1	106.4	164.4	238.9	301.3	308.5	314.1	271.2	197.8	126.0	85.4	43.9	2198.9	kWh/m <sup>2</sup>
Utilization Factor	90%	78%	64%	43%	25%	12%	7%	10%	29%	60%	84%	93%		
Annual Heat Demand	103400	106000	105000	106000	106000	106000	106000	106000	106000	106000	106000	106000	111700	kWh
Spec. Heat Demand	190.4	129.1	89.1	35.7	10.1	1.6	0.4	1.0	10.0	52.6	127.5	188.5	836.1	kWh/m <sup>2</sup>

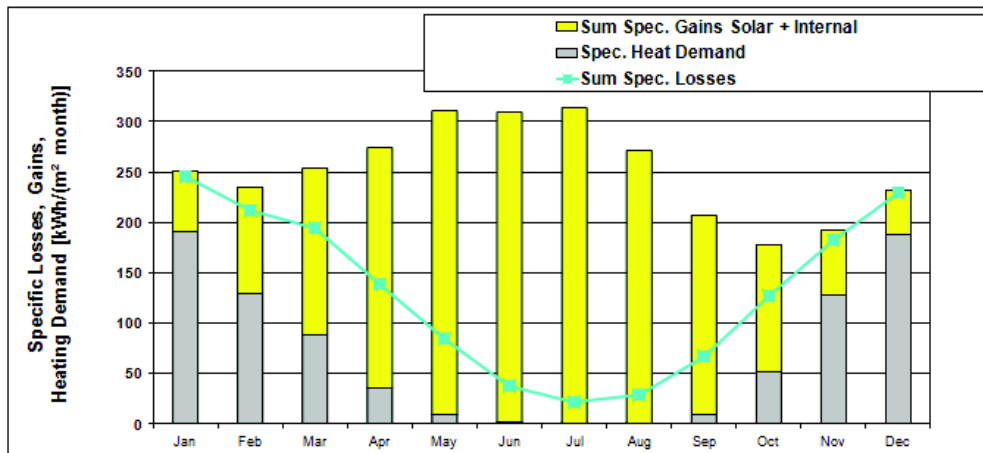
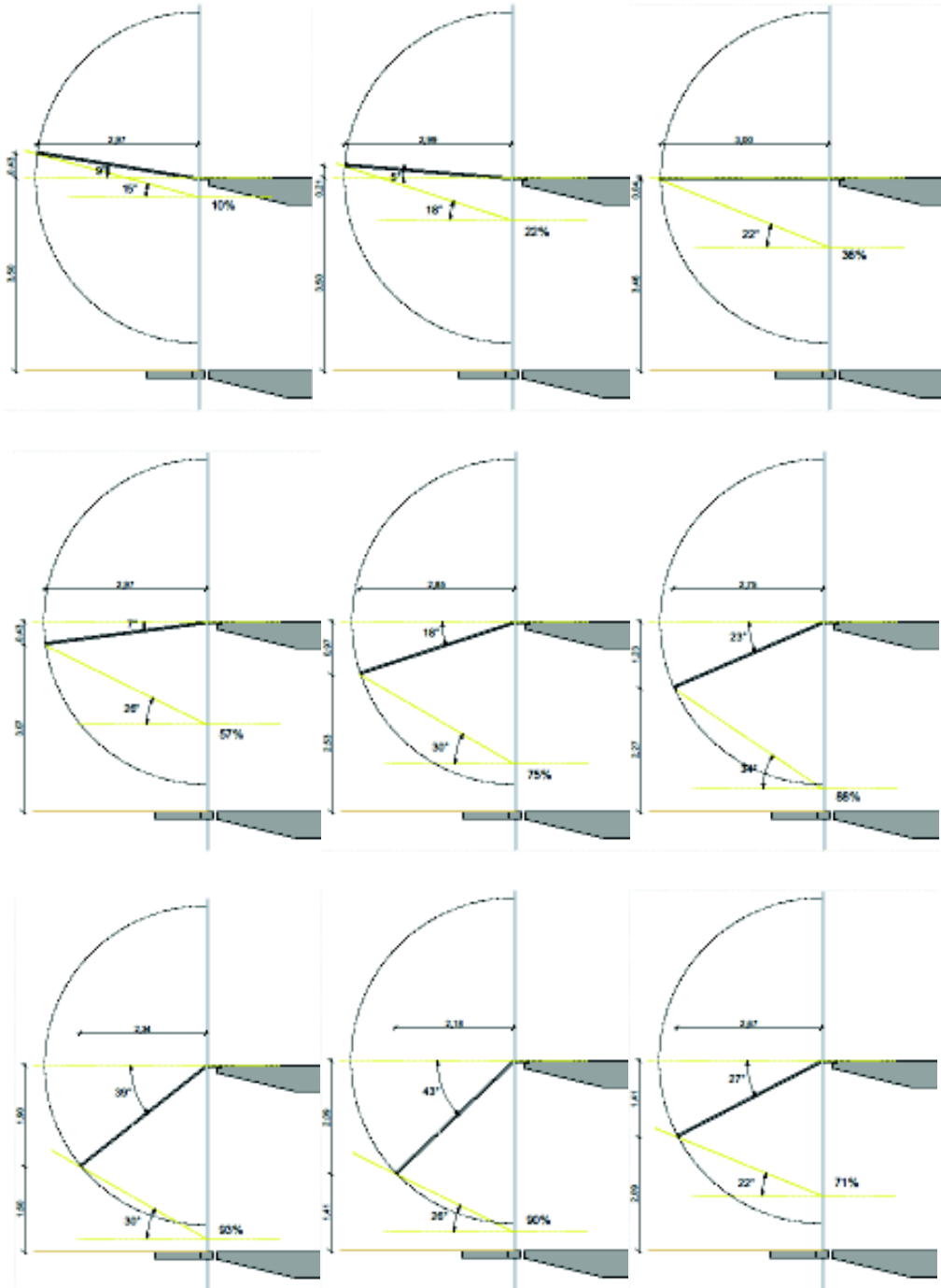


Fig. 4.26 – Necesarul anual de energie pentru încălzire

Tab. 4.5 – Determinarea gradului de umbrire necesar

	Ian.	Feb.	Mar.	Apr.	Mai	Iun.	Iul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
Factor de utilizare a radiației solare [%]	90	78	64	43	25	12	7	10	29	60	84	93
Grad de umbrire necesar [%]	10	22	36	57	75	88	93	90	71	30	16	7





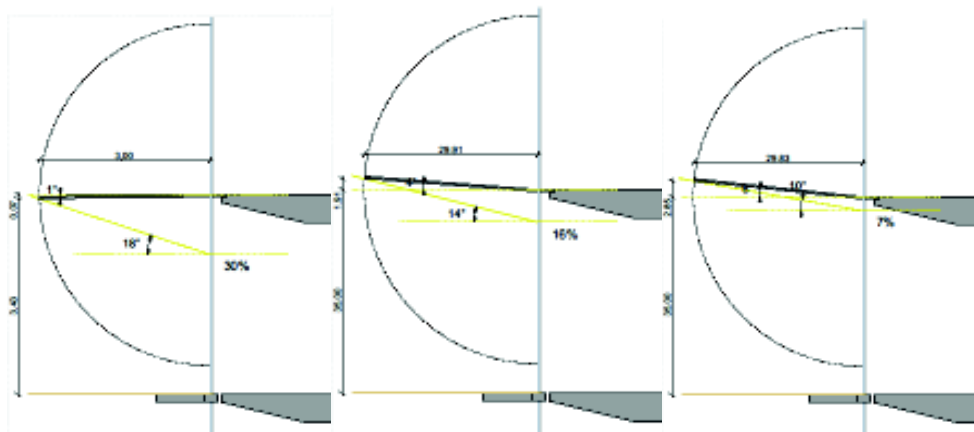


Fig. 4.27 – Determinarea unghiului de înclinare necesar al unui sistem de umbrire mobil cu elemente horizontale a căror lungime cumulată este minimă pentru atingerea gradului de umbrire necesar lunar

Tab. 4.6 – Unghiul de înclinare a lamelelor horizontale determinat grafic pentru fiecare lună

	Ian.	Feb.	Mar.	Apr.	Mai	Iun.	Iul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
Unghi de înclinare	-9°	-5°	0°	7°	18°	23°	39°	43°	27°	1°	-4°	-6°

Măștile de umbrire din Fig. 4.28 și 4.29 pun în evidență eficiența unui sistem care se poate adapta lunar, în comparație cu unul fix, pe de o parte prin evitarea simetriei perioadei ianuarie-iunie și iulie-decembrie, pe de altă parte prin posibilitatea de a utiliza radiația solară în timpul sezonului rece, dar și de a o bloca în anotimpul cald.

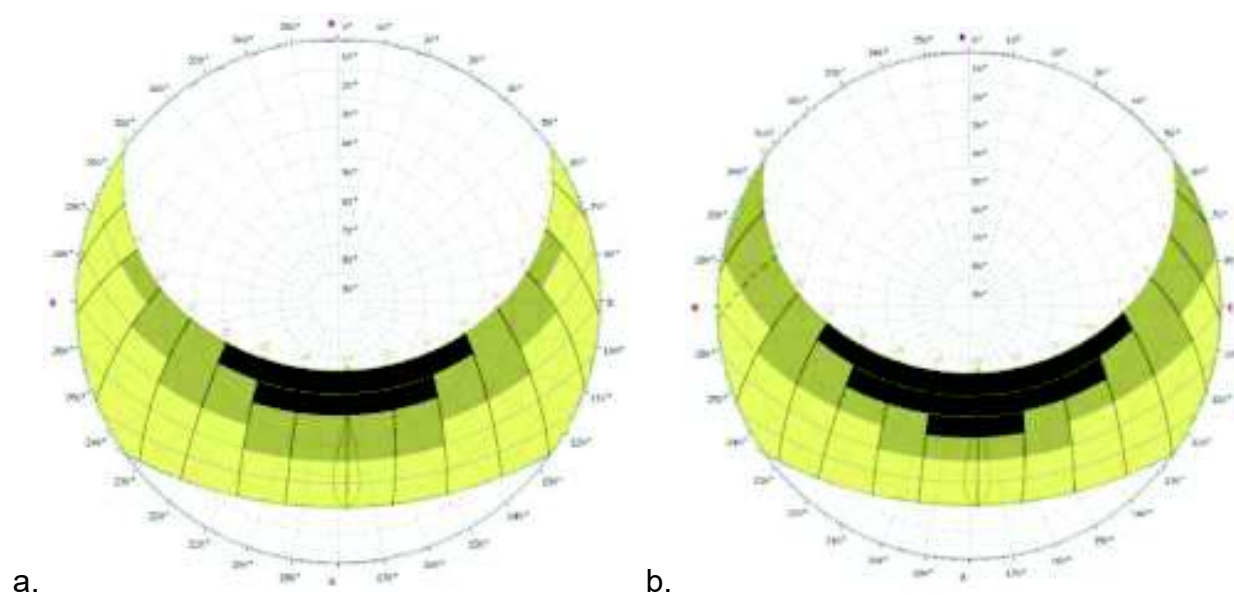


Fig. 4.28 – Măștile de umbrire pentru perioadele: a. ianuarie-iunie; b. iulie-decembrie

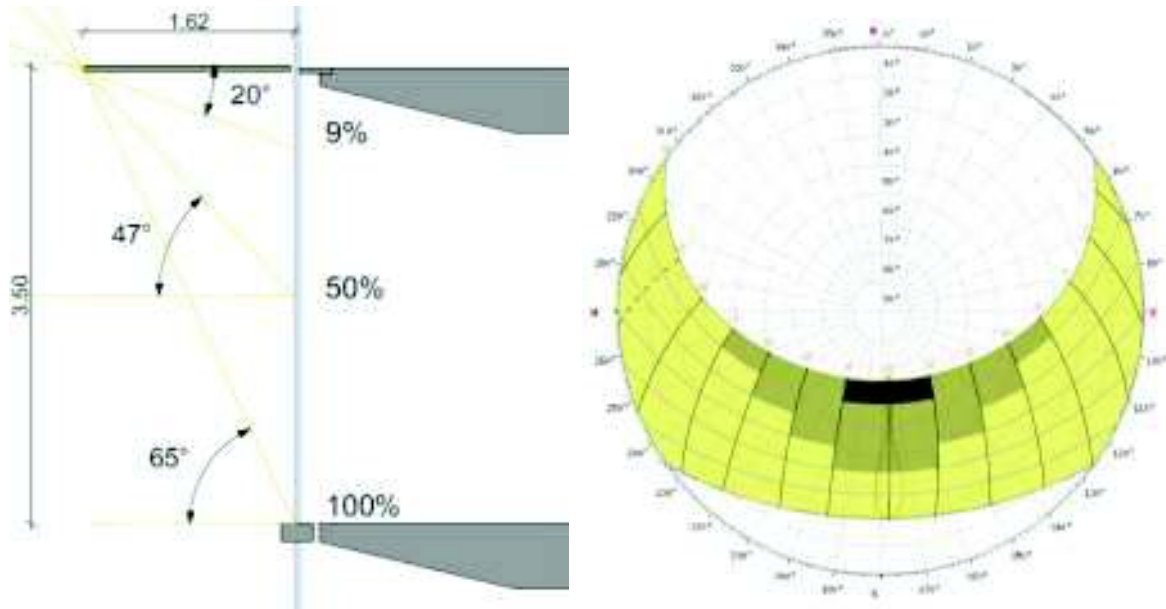


Fig. 4.29 – Masca de umbrire pentru un sistem de umbrire fix determinat

Un sistem de umbrire care se autoreglează zilnic ar fi mai eficient, pentru că se evită simetria valorii gradului de umbrire după ora amiezei (așa cum arată diagramele de umbrire), oferind posibilitatea creșterii acestuia în cursul după-amiezii, și pentru că se adaptează condițiilor exterioare zilnice (de exemplu într-o zi înnorată a verii gradul de umbrire nu trebuie să fie la fel de ridicat ca într-o zi însorită).

**b. Sistem de umbrire mobil cu activare automată**

Cu programul Design Builder [112], s-a analizat un studiu de caz pentru clădirea de birouri propusă cu sistem de umbrire mobil exterior, care se activează atunci când temperatura interioară atinge 25°C, temperaturile interioare, exterioare și aporturile de căldură fiind ilustrate în Fig. 4.31. De asemenea, graficele indică o durată anuală de 1029,5 ore în care sistemul este activ, minimum lunar fiind atins în luna ianuarie: 0, iar maximum în luna iulie 207,5 ore. Numărul de ore în care sistemul este activ în fiecare lună se regăsește în Fig. 4.31.

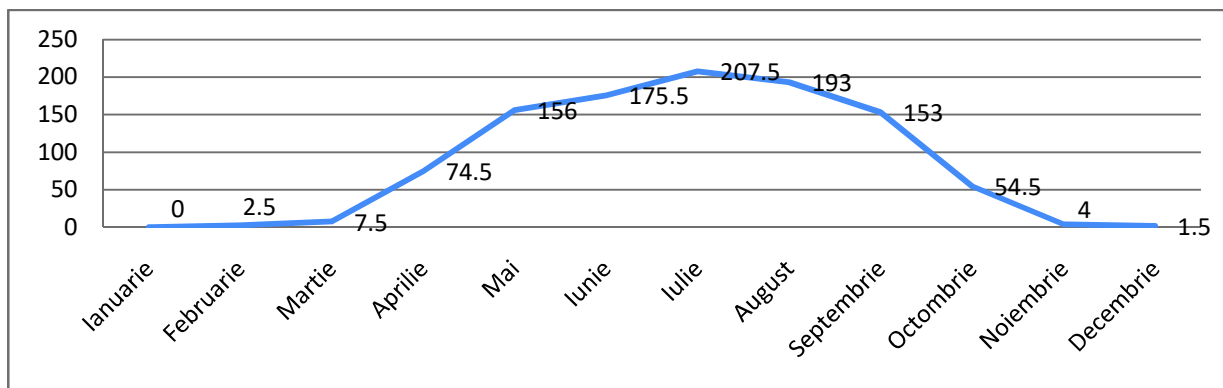


Fig. 4.30 - Numărul de ore în care sistemul este activat lunar

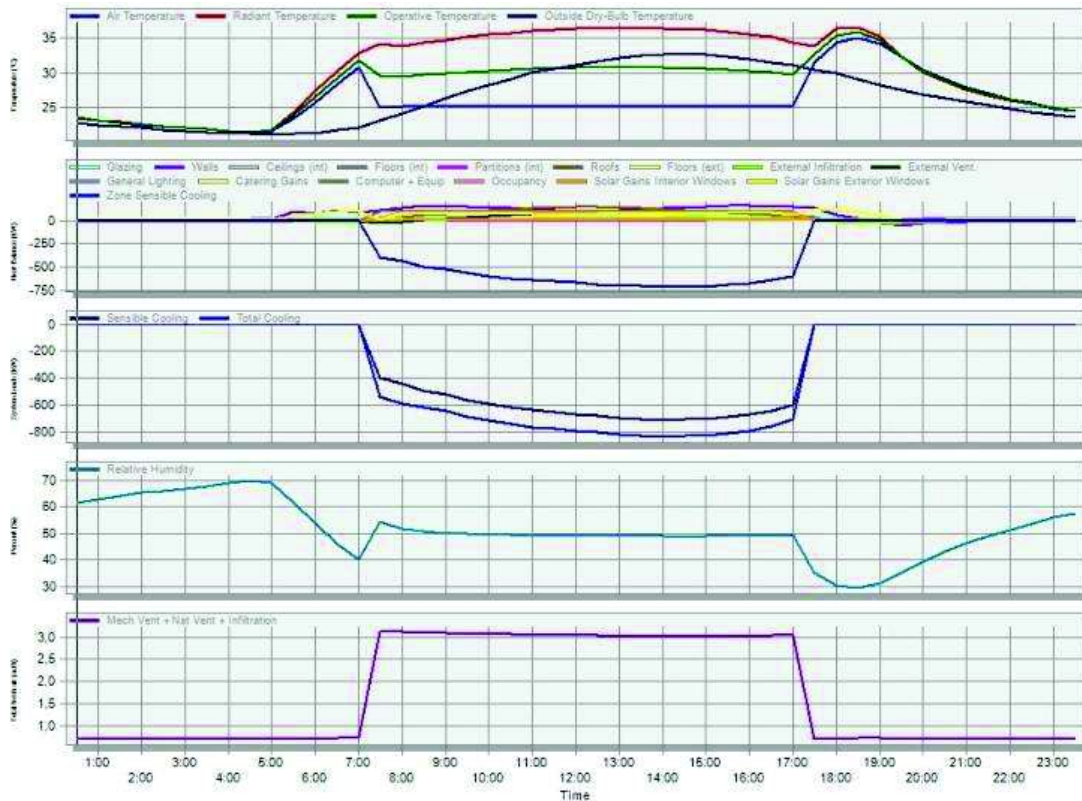


Fig. 4.31 – Temperaturi și aporturi de căldură calculate pentru 15 iulie

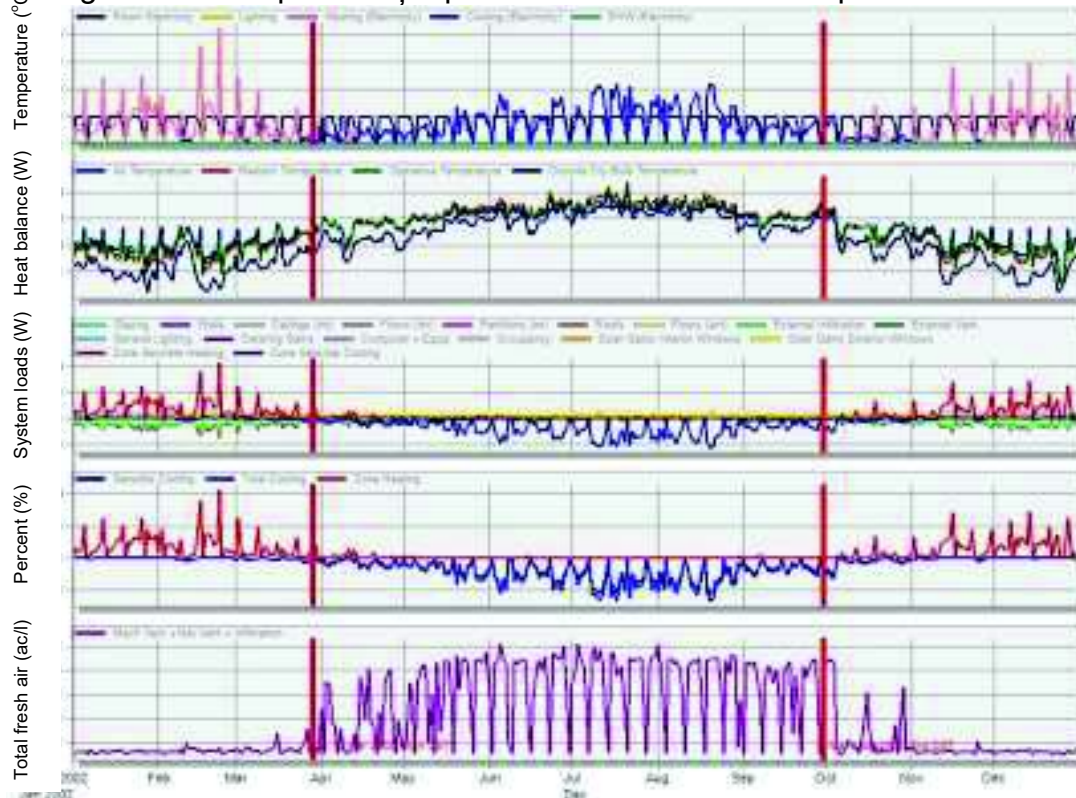


Fig. 4.32 - Temperaturi, aporturi de căldură și consum de energie calculate pe perioada unui an

Graficele din Fig. 4.31 și 4.32 pun în evidență scăderea sarcinii termice de răcire sensibilă pe perioada verii, energia anuală necesară pentru răcire scăzând cu 14,17% (de la 111,16 kW/m<sup>2</sup>K la 95,41 kW/m<sup>2</sup>K) – Fig. 4.33. Pe 20 august ora 13:00 sarcina de răcire atinge maximum: 1127 609,11W, acesta scăzând cu 0,09% prin utilizarea sistemului de umbrire și ajungând la 1 026 053,32 W.

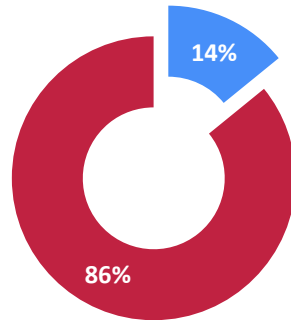


Fig. 4.33 - Reducerea necesarului de energie pentru răcire prin utilizarea sistemului de umbrire mobil

Prin compararea rezultatelor pentru clădirea de birouri fără sistem de umbrire (Fig. 4.34) și aceeași clădire cu sistem de umbrire mobil (Fig. 4.35), rezultă posibilitatea reducerii cu 27,05% a căldurii sensibile prin reducerea transferului de căldură la nivelul vitrajului de la 449 096,66 kWh la 327613,33 kWh.

	HVAC Zone Eq & Other Sensible Air Heating [GJ]	HVAC Zone Eq & Other Sensible Air Cooling [GJ]	HVAC Terminal Unit Sensible Air Heating [GJ]	HVAC Terminal Unit Sensible Air Cooling [GJ]	HVAC Input Heated Surface Heating [GJ]	HVAC Input Cooled Surface Cooling [GJ]	People Sensible Heat Addition [GJ]	Lights Sensible Heat Addition [GJ]	Equipment Sensible Heat Addition [GJ]	Window Heat Addition [GJ]
171	68.993	-202.687	0.000	0.000	0.000	0.000	150.025	12.360	148.321	265.192
244	59.952	-198.847	0.000	0.000	0.000	0.000	149.413	12.353	148.238	169.096
309	127.164	-255.823	0.000	0.000	0.000	0.000	152.904	12.353	148.238	175.512
374	62.338	-230.023	0.000	0.000	0.000	0.000	149.063	12.353	148.238	170.921
439	123.335	-219.904	0.000	0.000	0.000	0.000	153.516	12.353	148.238	173.048
665	197.050	-143.212	0.000	0.000	0.000	0.000	148.603	11.630	139.564	176.358
2938	79.849	-37.709	0.000	0.000	0.000	0.000	0.459	0.472	0.000	0.000
4770	52.567	-77.674	0.000	0.000	0.000	0.000	71.199	5.674	68.084	48.330
7732	173.905	-146.649	0.000	0.000	0.000	0.000	72.306	5.674	68.084	40.079
3442	21.783	-41.333	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	219.541
5383	94.265	-31.548	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.613	0.000	86.005
6875	7.243	-27.431	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.590	0.000	92.666
Total Facility	1068.443	-1612.841	0.000	0.000	0.000	0.000	1047.488	87.425	1017.006	1616.748

Fig. 4.34 – Acumulare de căldură sensibilă fără sistem de umbrire

	HVAC Zone Eq & Other Sensible Air Heating [GJ]	HVAC Zone Eq & Other Sensible Air Cooling [GJ]	HVAC Terminal Unit Sensible Air Heating [GJ]	HVAC Terminal Unit Sensible Air Cooling [GJ]	HVAC Input Heated Surface Heating [GJ]	HVAC Input Cooled Surface Cooling [GJ]	People Sensible Heat Addition [GJ]	Lights Sensible Heat Addition [GJ]	Equipment Sensible Heat Addition [GJ]	Window Heat Addition [GJ]
171	69.282	-160.969	0.000	0.000	0.000	0.000	150.112	12.360	148.321	187.890
244	60.118	-162.711	0.000	0.000	0.000	0.000	149.451	12.353	148.238	117.980
309	127.253	-224.921	0.000	0.000	0.000	0.000	152.961	12.353	148.238	122.129
374	62.380	-195.574	0.000	0.000	0.000	0.000	149.093	12.353	148.238	117.211
439	123.396	-199.471	0.000	0.000	0.000	0.000	153.542	12.353	148.238	123.870
665	197.273	-121.106	0.000	0.000	0.000	0.000	148.660	11.630	139.564	132.897
2938	79.979	-33.592	0.000	0.000	0.000	0.000	0.460	0.472	0.000	0.000
4770	52.621	-71.113	0.000	0.000	0.000	0.000	71.229	5.674	68.084	35.233
7732	173.922	-144.381	0.000	0.000	0.000	0.000	72.307	5.674	68.084	29.906
3442	21.915	-16.296	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	166.901
5383	94.290	-26.173	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1,613	0.000	61.087
6875	7.270	-22.287	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.590	0.000	84,305
Total Facility	1069.699	-1378.594	0.000	0.000	0.000	0.000	1047.816	87.425	1017.006	1179.408

Fig. 4.35 – Acumulare de căldură sensibilă cu sistem de umbrire adaptabil

Maximul valorilor aporturilor de căldură prin intermediul vitrajelor la nivelul unui etaj intermediar este atins în 20 iulie și scade de la 20 232,57 W la 2 861,78 W (cu 85,85%) în cazul integrării sistemului de umbrire.

ZONE AIR SYSTEM SENSIBLE COOLING ENERGY [kWh]	ZONE AIR SYSTEM SENSIBLE COOLING ENERGY [kWh]	ZONE AIR SYSTEM SENSIBLE COOLING RATE [Watt/zone]	ZONE AIR SYSTEM SENSIBLE COOLING RATE [TIMESTAMP]	SITE OUTDOOR AIR SURFACE TEMPERATURE [°C]	SITE OUTDOOR AIR SURFACE TEMPERATURE [°C]	ZONE TOTAL INTERNAL LATENT GAIN RATE [Watt/zone]	ZONE TOTAL INTERNAL LATENT GAIN RATE [TIMESTAMP]	ZONE TOTAL INTERNAL LATENT GAIN RATE [Watt/zone]	SITE OUTDOOR AIR SURFACE TEMPERATURE [°C]	SITE OUTDOOR AIR SURFACE TEMPERATURE [°C]
15.1	95.18	20299.17	18-FEB-08:03	8.3	8.4	1380.96	0425.47	07-08-12:00	7.80	8.43
217.08	304.29	23273.39	18-FEB-08:03	8.8	8.8	1337.94	0425.47	08-FEB-08:00	08.00	7.27
327.37	312.44	16315.10	27-FEB-08:03	7.20	5.46	1032.96	0425.47	27-FEB-12:30	12.10	8.87
3750.84	3788.86	22207.36	28-FEB-07:03	5.79	4.80	1091.26	0425.47	28-FEB-12:00	12.00	15.26
7209.30	4351.31	22280.41	01-MAR-07:03	7.20	7.04	2325.68	0425.47	23-MAR-12:00	12.00	16.80
10921.04	6642.27	20755.36	07-MAR-12:00	27.00	26.68	2182.70	1036.43	20-MAR-08:00	08.00	17.08
15275.10	14117.80	22219.67	20-JUL-08:03	21.43	21.78	2427.23	1094.21	22-JUL-07:00	07.00	21.51
18487.29	13182.28	20812.71	20-AUG-08:03	20.80	18.84	2378.75	1470.00	20-AUG-08:00	08.00	18.49
20620.33	2925.20	18752.98	08-SEP-07:03	6.20	5.89	2147.85	0425.47	29-SEP-12:00	12.00	20.00
2776.23	2563.29	14308.40	25-OCT-08:03	9.13	9.12	2081.94	0425.47	04-OCT-10:00	10.00	18.45
30620.33	194.77	18968.84	19-NOV-08:03	8.8	9.1	1982.49	0425.47	27-NOV-11:00	11.00	15.80
36.40	94.45	20900.29	24-DEC-20:52	4.4	4.8	1275.21	0425.47	31-DEC-12:00	12.00	8.43
Annual Total for Heating	29410.79					23486.27				
Minimum of Month	94.45	18755.36		8.8	18.8	1368.21	0425.47		7.80	8.43
Maximum of Month	14117.80	22219.67		27.00	28.78	1827.23	1094.21		28.00	21.51

Fig. 4.36 – Necesarul de energie pentru răcire fără sistem de umbrire și cu sistem de umbrire adaptabil – spațiul pentru birouri de la etajul 3

Pentru un nivel intermediar al clădirii, necesarul de energie pentru răcire scade conform tabelului din Fig. 4.36 de la 15 373,19 kWh la 14 117,80 kWh, cu 8,17%, prin utilizarea sistemului de umbrire activat automat la atingerea valorii de 25°C a temperaturii interioare. De asemenea, sarcina termică de răcire sensibilă a lunii iulie, descrește de la 363 822,16 W la 355 216,67 W (cu 2,37%).

Rezultatele ilustrează scăderea transmisiei energiei solare, atât direct cât și indirect, precum și a fluxului termic prin peretele cortină orientat spre NE prin utilizarea sistemului de umbrire mobil care este activ 1029,5 ore/an. Astfel, rezultatele arată scăderea cu 29,14% a radiației directe, 33,85% a radiației difuze și 32,30 % a fluxului de căldură (Fig.

4.37). În luna iulie, cu cele mai mari valori ale necesarului de energie pentru răcire, radiația solară totală transmisă prin suprafeța vitrată este redusă cu 43,15%.

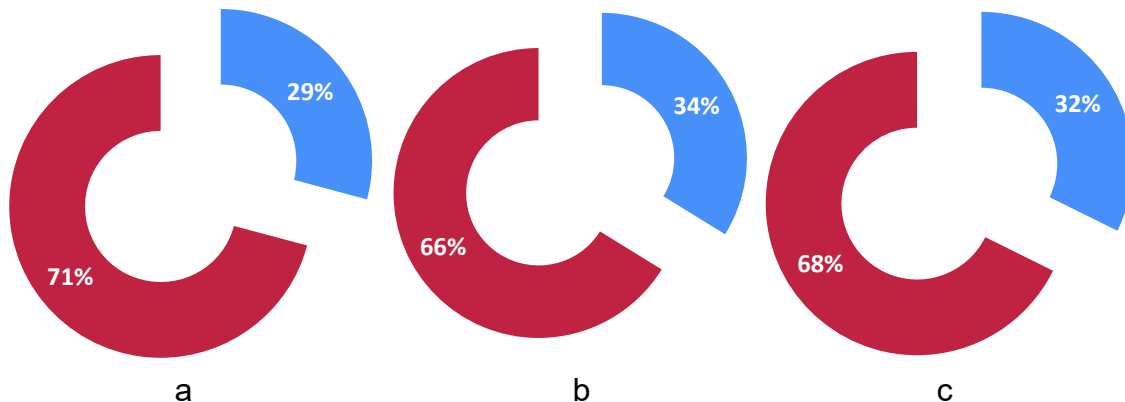


Fig. 4.37 – Reducere a: radiației directe (a), radiației difuze (b) și a fluxului de căldură (c) – prin utilizarea sistemului de umbrire mobil

Rezultatele calculelor pentru întreaga suprafață vitrată sunt ilustrate în Fig. 4.34, 4.35, 4.36 și 4.37, reducerea consumului de energie pentru răcire reprezentând aproximativ 30% față de situația în care nu este utilizat nici un sistem de umbrire:

- 32,87% pentru peretele cortină orientat NE;
- 30,66% pentru peretele cortină orientat NV;
- 26,38% pentru peretele cortină orientat SV;
- 30,55% pentru peretele cortină orientat E;
- 33,38% pentru peretele cortină orientat SE.

La nivelul întregii clădiri energia pentru răcire scade de la 111,16 kWh/m<sup>2</sup>an la 95,40 kWh/m<sup>2</sup>an (cu 14,18%), în timp ce prin utilizarea unui sistem de umbrire fix reducerea consumului de energie pentru răcire este de 10,84% (dar presupune și creșterea necesarului de energie pentru încălzire).

	SURFACE WINDOW TRANSMITTED SOLAR RADIATION RATE [W]	SURFACE WINDOW TRANSMITTED BEAM SOLAR RADIATION RATE [W]	SURFACE WINDOW TRANSMITTED DIFFUSE SOLAR RADIATION RATE [W]	SURFACE WINDOW HEAT GAIN RATE [W]		SURFACE WINDOW TRANSMITTED SOLAR RADIATION RATE [W]	SURFACE WINDOW TRANSMITTED BEAM SOLAR RADIATION RATE [W]	SURFACE WINDOW TRANSMITTED DIFFUSE SOLAR RADIATION RATE [W]	SURFACE WINDOW HEAT GAIN RATE [W]
January	245.65	114.41	131.24	297.46	January	333.10	154.68	178.42	424.89
February	373.56	171.96	201.60	473.79	February	529.53	268.59	260.94	701.13
March	440.48	168.90	271.58	576.81	March	630.61	272.84	357.77	854.04
April	507.65	158.77	348.88	683.29	April	567.03	201.73	365.30	783.03
May	514.82	118.33	396.30	714.77	May	478.50	146.91	331.58	684.32
June	510.04	92.17	417.87	720.17	June	445.27	121.77	323.50	649.13
July	518.30	116.27	402.03	745.33	July	391.68	115.46	276.22	589.11
August	523.47	153.58	369.90	753.17	August	395.71	138.06	257.65	595.16
September	493.64	182.89	312.75	694.49	September	361.13	131.46	229.67	524.55
October	403.92	179.21	224.70	549.22	October	462.46	213.35	249.12	644.12
November	289.45	138.56	152.90	372.21	November	390.21	190.81	199.40	520.26
December	309.78	176.88	132.90	391.94	December	398.07	229.35	168.72	521.04
Annual Sum or Average	427.91	147.35	280.56	581.54	Annual Sum or Average	448.03	181.60	266.43	623.65
Minimum of Months	245.65	92.17	131.24	297.46	Minimum of Months	333.10	115.46	168.72	424.89
Maximum of Months	523.47	182.89	417.87	753.17	Maximum of Months	630.61	272.84	365.30	854.04

Fig. 4.38 – Comparație între energia solară transmisă prin intermediul vitrajului cu sistem de umbrire fix (a), respectiv cu sistem de umbrire adaptabil (b)- perete cortină SV

Fig.4.38 prezintă o comparație între valorile radiației solare care pătrunde în interiorul clădirii prin vitrajul peretelui cortină de pe fațada SV, considerându-se un nivel intermediar general al clădirii de birouri, cu sistem de umbrire fix și adaptabil. Se remarcă avantajele clare ale integrării unui sistem de umbrire adaptabil, anume:

- valori mai mari pentru transmisia radiației solare în perioada rece (lunile octombrie-aprilie);
- valori mai mici pentru transmisia radiației solare în perioada caldă (lunile mai-septembrie).

În ceea ce privește iluminatul natural, așa cum rezultă din Fig. 4.39, sistemul de umbrire mobil în varianta inactivă permite pătrunderea radiației solare mai adânc în interiorul clădirii, însă suprafețele interioare adiacente vitrajelor sunt inadecvate lucrului, din cauza iluminatului excesiv. Evitarea efectului de orbire, precum și o mai bună distribuție a luminii în spațiul interior pot fi realizate prin folosirea unui sistem interior de umbrire (jaluzele, lamele orizontale sau verticale).

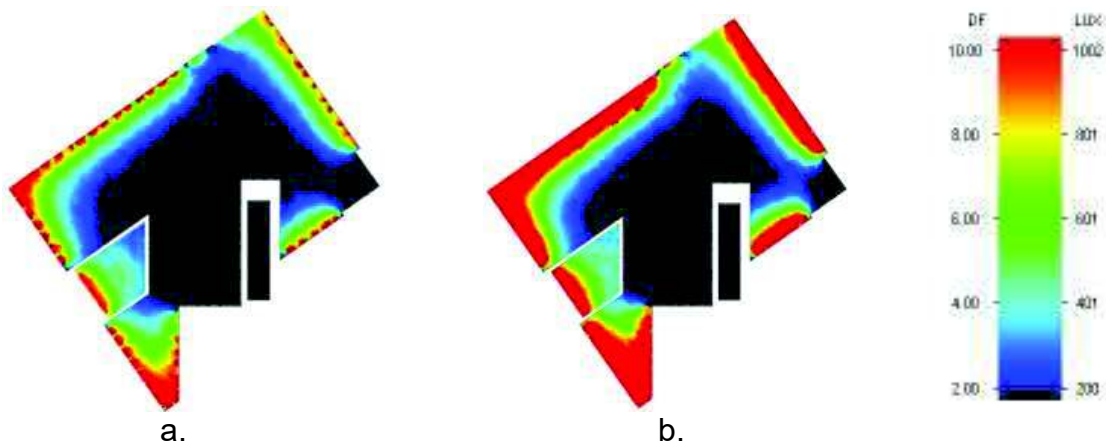


Fig. 4.39 – Diagramele iluminatului natural cu sistem de umbrire fix (a) și cu sistem de umbrire mobil (b)

#### 4.2.2.3 Perne de aer ETFE

Aceast calcul pornește de la premisa înlocuirii vitrajelor - atât a celor verticale de la nivelul fațadelor, cât și a celor orizontale de la nivelul acoperișurilor - cu perne de aer ETFE. Se realizează diferite simulări în care valoarea transmitanței termice  $U$  și a transmitanței energiei solare  $g$  pentru elementele transparente variază în funcție de condițiile mediului interior și exterior (Fig. 4.39). Astfel, cu programul PHPP se evaluează performanțele energetice ale clădirii care utilizează un sistem cu:

- A. două camere cu aer –  $U = 1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$  și  $g = 0,71$  (pentru perioada iernii);
- B. o cameră cu aer –  $U = 2 \text{ W/m}^2\text{K}$  și  $g = 0,22$  (pentru zilele de vară);
- C. fără aer –  $U = 5,6 \text{ W/m}^2\text{K}$  și  $g = 0,22$  (pentru nopțile de vară).

Aceste valori se pot modifica prin imprimăarea a două dintre straturile de folie ETFE, astfel încât atunci când camera dintre ele este umplută cu aer, energia solară poate pătrunde în interior, iar când se dezumflă, cele două straturi imprimate se suprapun blocând o mare parte a aportului solar.



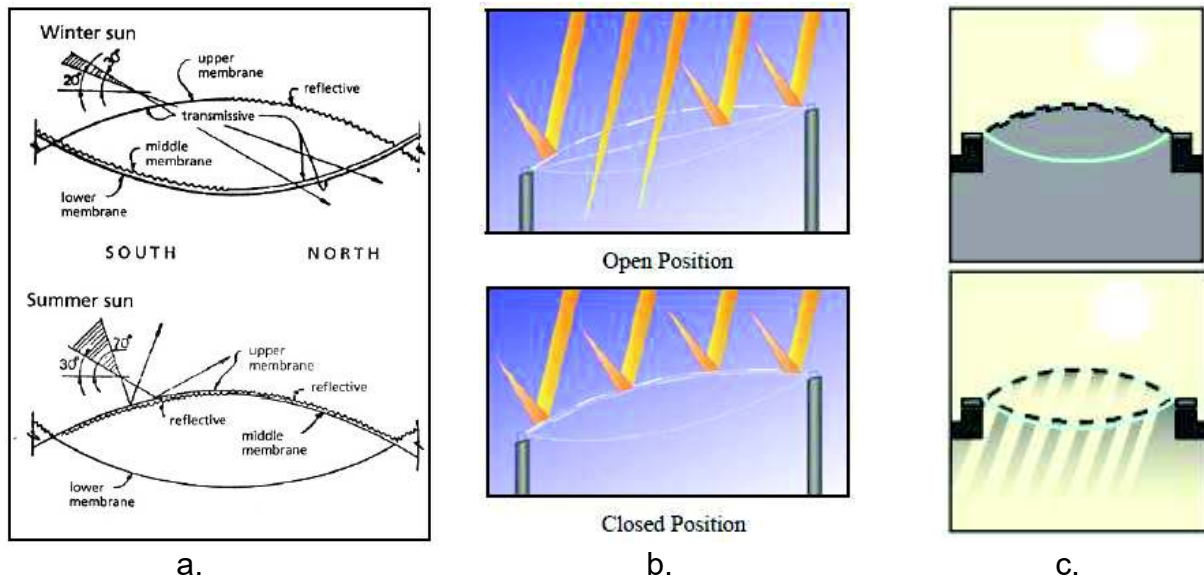


Fig. 4. 39– Modificarea a transmitanței energiei solare prin introducerea unei membrane intermediare reflectante (a) [3] și prin imprimarea a două membrane (b, c) [19; 20]

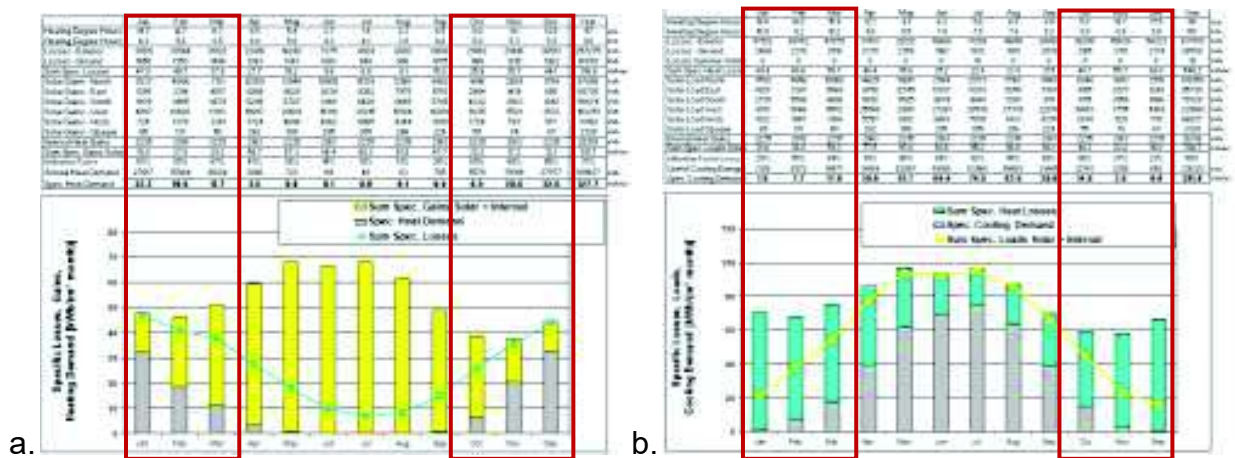


Fig. 4.40 – Evaluarea neces. de energie pentru încălzire (a) și răcire (b) - scenariul A

	Applied:	Monthly Method	PH Certificate:	Fulfilled?
Specific Space Heat Demand:	246	kWh/(m <sup>2</sup> a)	15 kWh/(m <sup>2</sup> a)	No
Pressurization Test Result:	0.6	h <sup>-1</sup>	0.6 h <sup>-1</sup>	Yes
Specific Primary Energy Demand (DHV, Heating, Cooling, Auxiliary and Household Electricity):		kWh/(m <sup>2</sup> a)	120 kWh/(m <sup>2</sup> a)	
Specific Primary Energy Demand (DHV, Heating and Auxiliary Electricity):		kWh/(m <sup>2</sup> a)		
Specific Primary Energy Demand Energy Conservation by Solar Electricity:		kWh/(m <sup>2</sup> a)		
Heating Load:	119	W/m <sup>2</sup>		
Frequency of Overheating:		%	over 25 °C	
Specific Useful Cooling Energy Demand:	58	kWh/(m <sup>2</sup> a)	15 kWh/(m <sup>2</sup> a)	No
Cooling Load:	59	W/m <sup>2</sup>		

Results from the Summer worksheet:  
Frequency of Overheating  $h_b \geq 5max$  **16.3%**

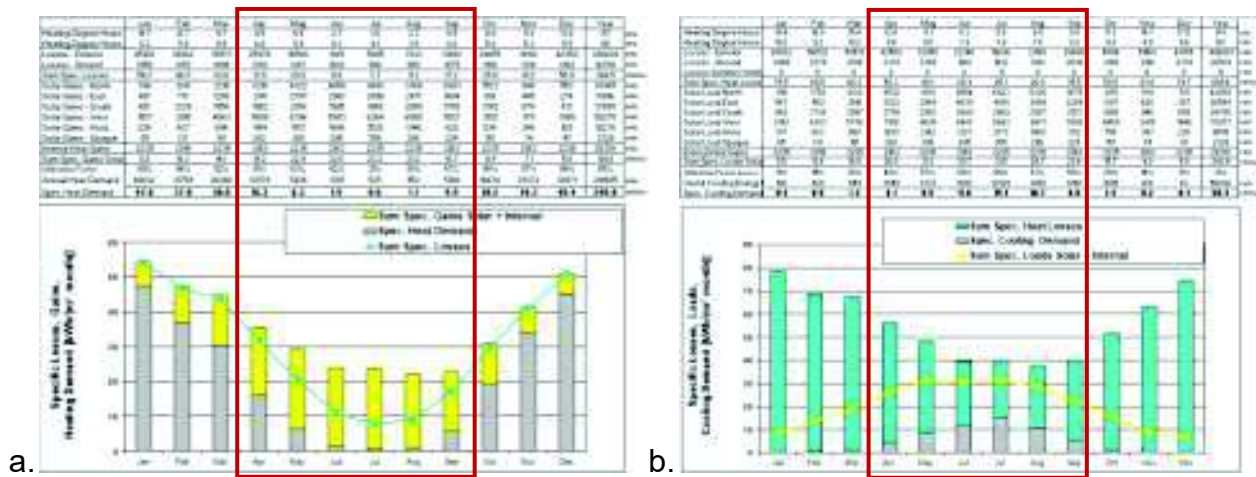


Fig. 4.41 – Evaluarea necesarului de energie pt. încălzire (a) și răcire (b) - scenariul B

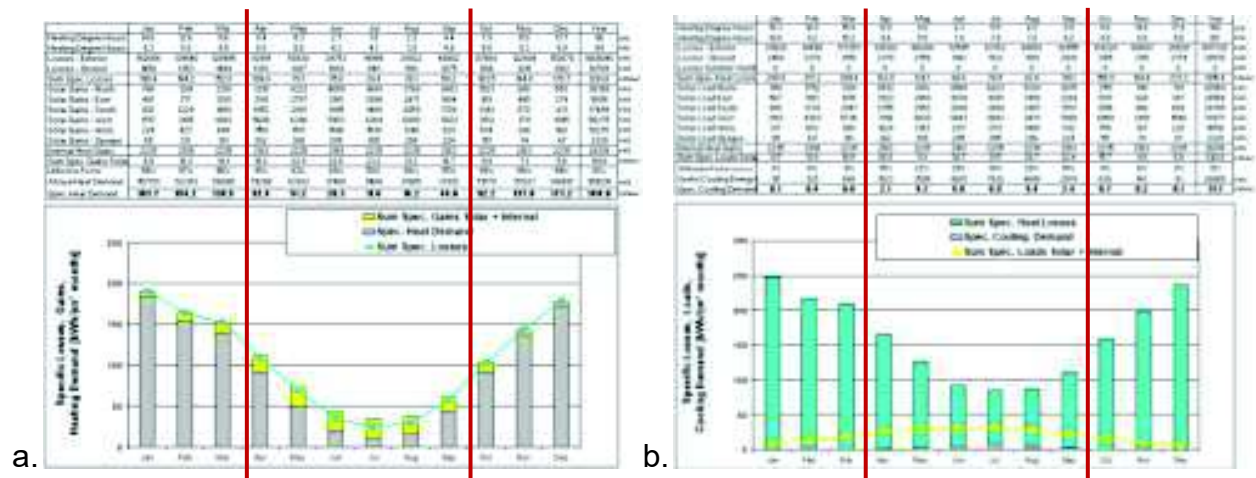


Fig. 4.42 – Evaluarea necesarului de energie pentru încălzire (a) și răcire (b) – scenariul C

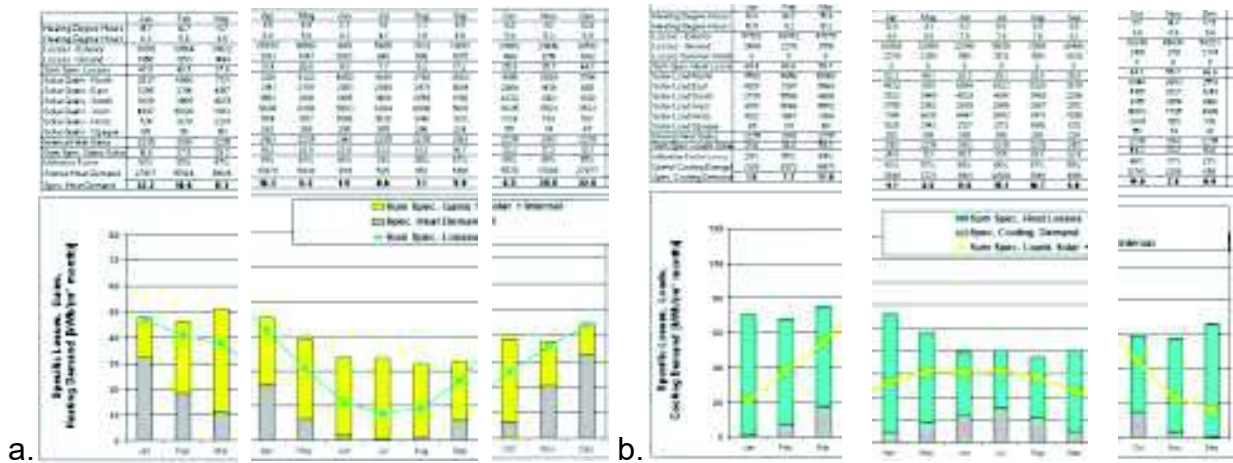


Fig. 4.43 – Evaluarea necesarului de energie pentru încălzire (a) și răcire (b) - scenariul A&B

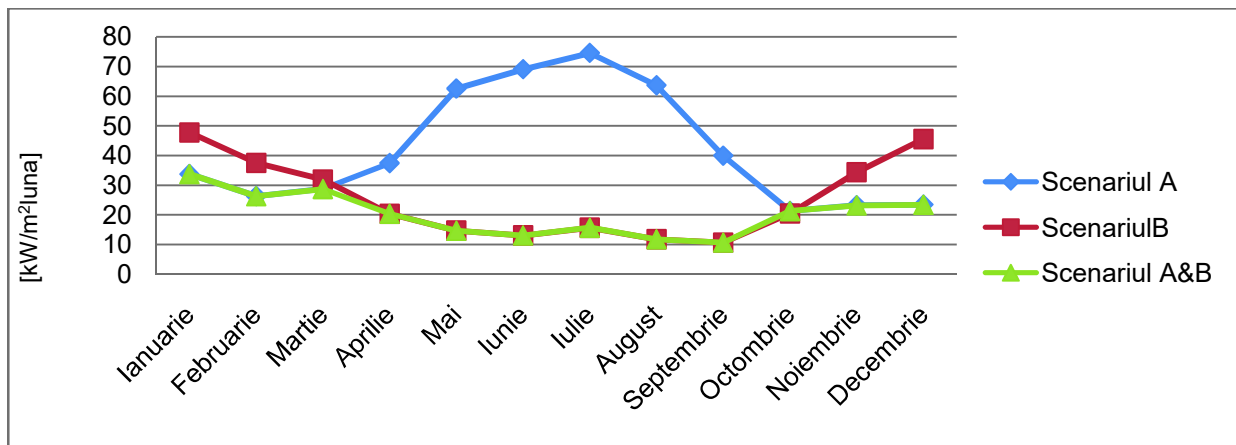


Fig. 4.44 – Necesarul anual de energie pentru încălzire și răcire - cazul aplicării scenariilor A și B

Comparând rezultatele pentru cazurile A (Fig. 4. 40) și B (Fig. 4. 41) considerate separat, se aleg perioadele de calcul, determinând momentul necesar schimbării parametrilor anvelopei, între poziția închisă sau deschisă a unei camere cu aer.

Pentru obținerea unor valori lunare minime, atât pentru încălzire cât și pentru răcire se alege perioada octombrie-martie pentru scenariul A și perioada aprilie-septembrie pentru scenariul B (Fig. 4.41, 4.42, 4.43 și 4.44). Rezultă astfel pentru consumul de energie valorile de 153,9 kWh/m<sup>2</sup>/an pentru încălzire și 100 kWh/m<sup>2</sup>/an pentru răcire. Se observă, conform Tab. 4.7, că deși consumul de energie pentru încălzire crește față de cazul A și energia pentru răcire scade față de cazul B, în scenariul A&B consumul total de energie pentru încălzire și răcire este diminuat.

Tab. 4.7 – Rezultatele consumurilor anuale de energie pentru aplicarea scenariilor A, B și A&B

	Energia anuală pentru încălzire [kWh/m <sup>2</sup> an]	Energia anuală pentru răcire [kWh/m <sup>2</sup> an]	Total [kWh/m <sup>2</sup> an]
Scenariul A	128	392	520
Scenariul B	246	58	304
Scenariul A&B	153,9	100	253,9

Luând în considerare și posibilitatea dezumflării celei de a doua camere (Fig. 4.42 - scenariul C), se calculează energia economisită prin reducerea necesarului de energie pentru răcire. Tab. 4.8 demonstrează posibilitatea reducerii la zero a necesarului de energie pentru răcire (de la 100 kWh/m<sup>2</sup>an) în cazul în care sistemul de perne cu aer ETFE urmează scenariul combinat A&B&C (Fig. 4.45). De asemenea pierderile de căldură prin intermediul pernelor de aer ETFE complet dezumflate pune în evidență posibilitatea de a utiliza scenariul A pe perioada mai multor luni ale anului, caz în care necesarul de energie pentru încălzire scade în timp ce necesarul de energie pentru răcire este acoperit în perioada verii prin aplicarea scenariului C.

Tab. 4.8 – Rezultatele reducerii consumului lunar de energie în cazul aplicării scenariilor A&B&C

	Ian.	Feb.	Mar.	Apr.	Mai	Iun.	Iul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
Pierderi de căldură prin contact cu mediul ambiant [kWh]	57129	49742	47879	42509	32050	22340	19636	21188	28400	36248	45630	54323
Pierderi de căldură prin contact cu solul [kWh]	2468	2276	2516	2378	2359	1961	1932	1881	2038	2165	2191	2374
Pierderi de căldură specifice prin aplicarea scenariului A&B [kWh/m <sup>2</sup> ]	69.42	60.59	58.7	52.28	40.08	28.3	25.12	26.87	35.45	44.74	55.7	66.04
Pierderi de căldură specifice prin aplicarea scenariul C [kWh/m <sup>2</sup> ]	249.4	217.2	209.4	163.9	124.1	86.8	76.5	82.4	110.1	158.9	199.4	237.2

Pierderi de căldură specifice în plus față de scenariul A&B [kWh/m <sup>2</sup> ]	179.98	156.61	150.70	111.62	84.02	58.5	51.38	55.53	74.65	114.16	143.7	171.16
Necesar de răcire pentru scenariul A&B [kWh/m <sup>2</sup> ]	1.5	7.7	17	4.1	8.5	11.6	15.1	10.7	4.8	14.8	2.6	0.8
<b>Reducerea consumului de energie pentru răcire [kWh/m<sup>2</sup>]</b>	<b>1.5</b>	<b>7.7</b>	<b>17</b>	<b>4.1</b>	<b>8.5</b>	<b>11.6</b>	<b>15.1</b>	<b>10.7</b>	<b>4.8</b>	<b>14.8</b>	<b>2.6</b>	<b>0.8</b>

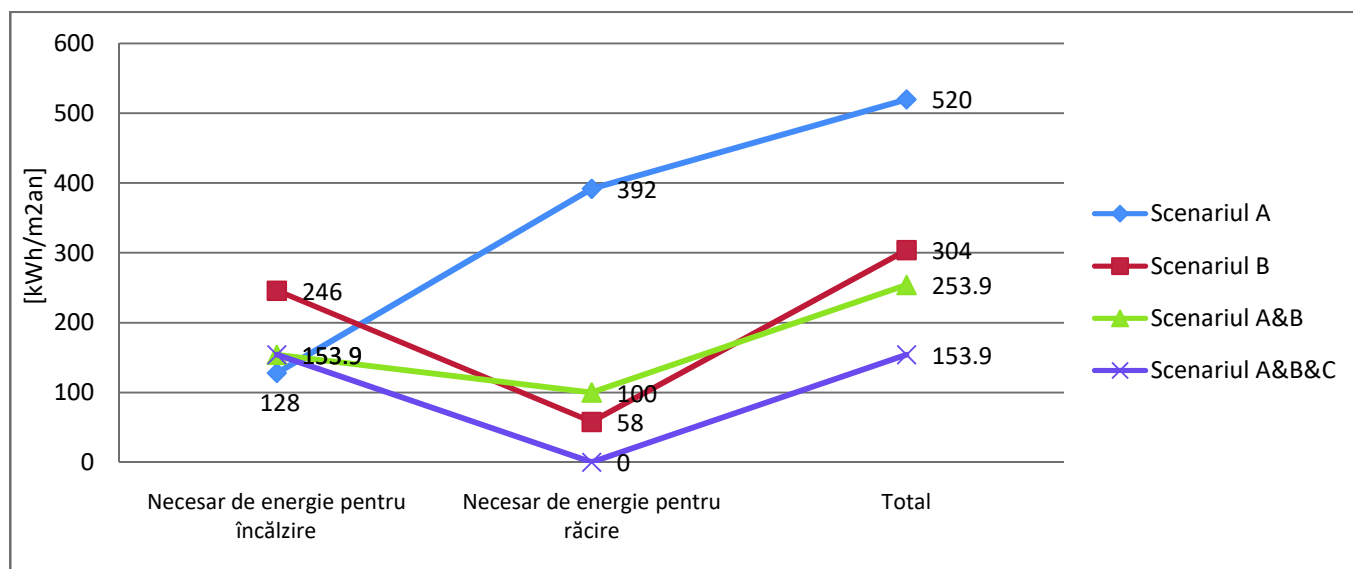


Fig. 4. 45 – Necesarul anual de energie pentru încălzire și răcire în cazul aplicării scenariilor A&B&C

Tab. 4.9 –Reducerea consumului lunar de energie pentru răcire în cazul aplicării scenariului A&C

	Aprilie	Mai	Iunie	Iulie	August	Total
Pierderi de căldură către mediul ambiant [kWh]	37413.0 0	28212.0 0	19669.0 0	17289.0 0	18650.0 0	
Pierderi de căldură prin contact cu solul [kWh]	2378.00	2359.00	1961.00	1932.00	1881.00	

Pierderi de căldură specifice - scenariul A [kWh/m <sup>2</sup> ]	46.34	35.60	25.19	22.38	23.91	
Pierderi de căldură specifice - scenariul C [kWh/m <sup>2</sup> ]	163.90	124.10	86.80	76.50	82.40	
Pierderi de căldură specifice suplimentare față de scenariul A [kWh/m <sup>2</sup> ]	117.55	88.49	61.60	54.11	58.48	
<b>Necesar de energie pentru răcire - scenariul A [kWh/m<sup>2</sup>]</b>	<b>39.80</b>	<b>68.90</b>	<b>74.50</b>	<b>63.50</b>	<b>39.00</b>	
<b>Reducerea consumului de energie pentru răcire [kWh/m<sup>2</sup>]</b>	<b>39.80</b>	<b>68.90</b>	<b>61.60</b>	<b>54.11</b>	<b>39.00</b>	<b>263.4 1</b>
<b>Necesar de energie pentru răcire - scenariul A&amp;C [kWh/m<sup>2</sup>]</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>12.9</b>	<b>9.39</b>	<b>0</b>	<b>22.29</b>

Tab. 4.9 arată rezultatele calculului în cazul scenariului A&C. Astfel, necesarul de energie pentru răcire nu mai este în totalitate anulat prin reducerea rezistenței termice a elementelor transparente ale fațadei, acesta având o valoare de 22,29 kWh/m<sup>2</sup>an, întrucât sarcina pentru răcire nu poate fi acoperită în lunile iunie și iulie. În schimb necesarul de energie pentru încălzire este de 128 kWh/m<sup>2</sup>an (Tab. 4.7), totalizând împreună cu necesarul de energie pentru răcire (22,29 kWh/m<sup>2</sup>an) o valoare de 150,29 kWh/m<sup>2</sup>an.

Deși acest scenariu pare optim, ar presupune ca aporturile totale de căldură din timpul unei zile de lucru să nu determine creșterea temperaturii peste limita admisă de 25°C până la finalul programului de lucru. Această ipoteză este puțin probabilă, luând în considerare valoarea ridicată a transmitanței energiei solare pentru scenariul A care implică câștiguri de căldură semnificative prin intermediul pernei de aer ETFE în perioada lunilor de vară.

Așadar, aplicarea combinată a scenariilor A, B și C pentru perioadele identificate mai sus ar reprezenta soluția pentru o performanță optimă a sistemului de perne de aer ETFE.

#### 4.2.2.4 Vitraje din materiale inteligente

##### A. Material electrocromat

Tehnologiile materialelor electrocromate includ dispozitive cu cristale lichide și particule suspendate care își schimbă culoarea sau gradul de transparență atunci când sunt activate electric, modificarea proprietăților optice ale materialului (gradul de absorbție sau reflexie) constituind răspunsuri la sursa electrică externă.

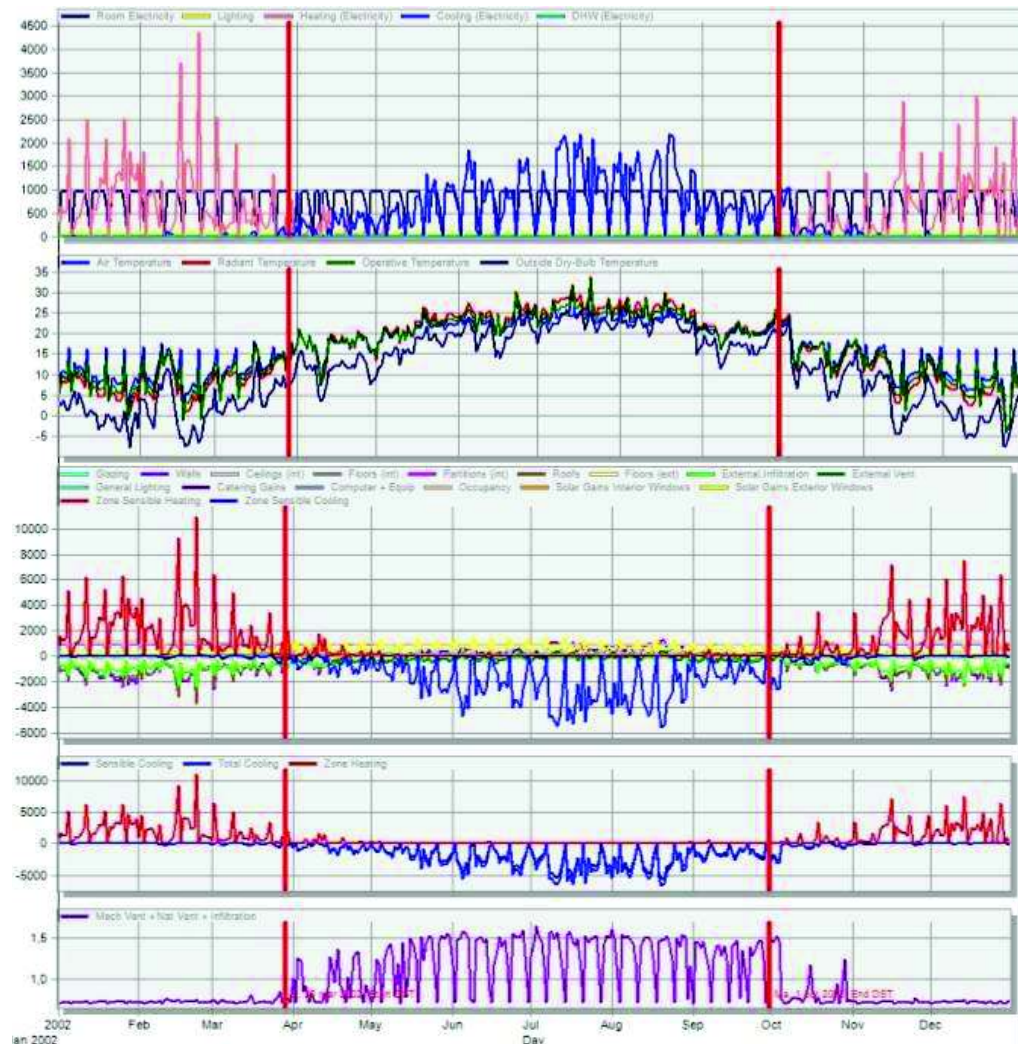


Fig. 4.46 - Temperaturi, aporturi de căldură, umiditate și ventilare în cazul utilizării materialelor electrocromate în componența vitrajelor

Pentru a determina eficiența utilizării materialelor electrocromate, s-au făcut încercări cercetări pe baza modelului de clădire de birouri în care vitrajul are aplicat un strat electrocromat reflectant de 6 mm, activat atunci când radiația solară depășește valoarea de 100W. Temperaturile interioare, aporturile de căldură, valorile umidității și ale ventilării sunt evidențiate în Fig. 4.46.

Prin calcul se determină numărul de ore în care sistemul este activat pentru fiecare fațadă:

- SV: 2494,5 ore anual, variind între 141 și 258 ore lunar (Fig. 4.47);
- NV: 2075,5 ore anual;
- NE: 2194,5 ore anual;
- E: 2263 ore anual;
- SE: 2431 ore anual.

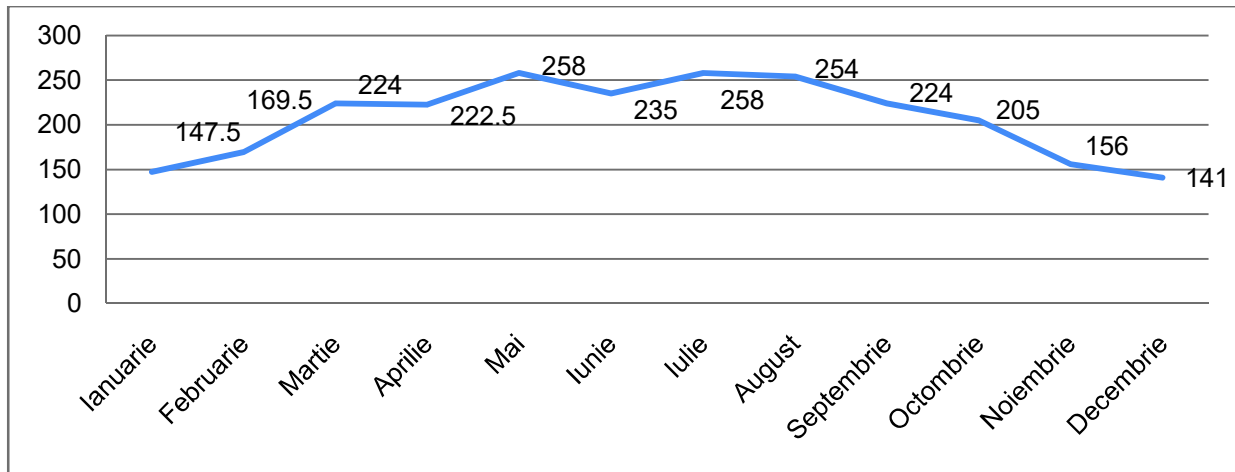


Fig. 4.47 - Numărul de ore în care sistemul este activ lunar pe fațada sud-vestică

Anual economia de energie pentru răcire este de 16,98%, modelul însumând un necesar de energie pentru răcire de 92,31 kWh/m<sup>2</sup>an (Fig. 4.48). În schimb necesarul de energie pentru încălzire crește cu 4,81% din cauza blocării aportului radiației solare utilizabile în timpul sezonului rece.

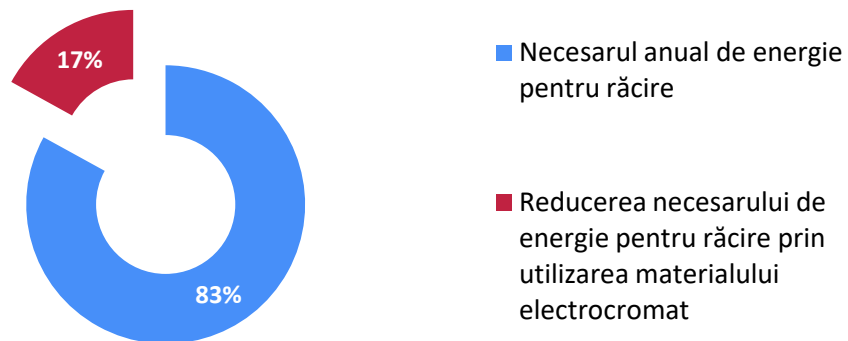


Fig 4.48 – Reducerea necesarului de energie pentru răcire prin utilizarea materialului electrocromat

### B. Material termocromat

Întrucât programul Design Builder nu permite simulări cu materiale termocromate, se folosesc ca puncte de plecare simulările cu un material electrocromat care imită comportarea unuia termocromat, activându-se la atingerea valorii temperaturii interioare de 24°C.

Rezultatele demonstrează scăderea necesarului de energie pentru răcire de la 228 kWh/m<sup>2</sup>an la 90,3 kWh/m<sup>2</sup>an, cu o creștere nesemnificativă a necesarului de energie pentru încălzire.



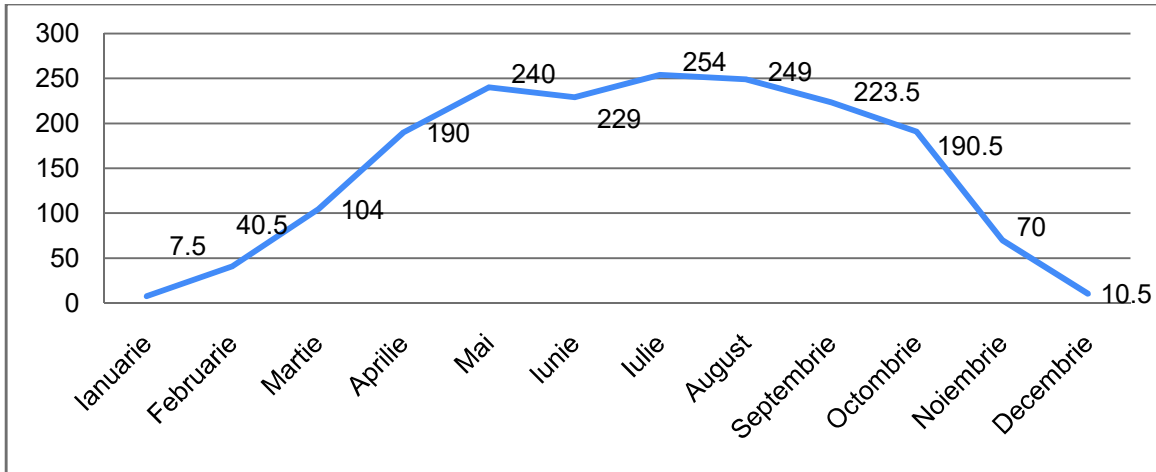


Fig. 4. 49 - Numărul de ore lunar în care sistemul este activ pe fațada de SV

De asemenea, numărul de ore anual în care sistemul este activ este de 1633 ore (Fig.4.50), variind între 7,5 ore pentru luna ianuarie și 254 ore pentru luna iulie (Fig.4.49).

	SURFACE WINDOW TRANSMITTED SOLAR RADIATION RATE [W]	SURFACE WINDOW TRANSMITTED BEAM SOLAR RADIATION RATE [W]	SURFACE WINDOW TRANSMITTED DIFFUSE SOLAR RADIATION RATE [W]	SURFACE WINDOW HEAT GAIN RATE [W]	SURFACE WINDOW HEAT LOSS RATE [W]	SURFACE WINDOW (INSIDE FACE) GLAZING CONSTRUCTION STATUS (HOURS NON ZERO) [HOURS]	SURFACE WINDOW DEVICE IS ON TIME FRACTION (OURS NON ZERO) [HOURS]	SURFACE WINDOW SET STATUS (HOURS NON ZERO) [HOURS]
January	127.54	104.25	177.38	418.18	47.86	127.00	5.81	544.00
February	430.07	223.73	235.24	819.28	46.00	46.00	23.81	875.00
March	475.28	181.81	293.47	857.68	31.30	101.50	52.53	544.00
April	384.28	127.40	256.88	543.80	21.47	46.50	172.50	735.00
May	324.41	118.87	205.54	318.87	15.58	32.50	228.00	544.00
June	146.87	123.33	225.84	558.24	14.61	38.50	219.00	735.00
July	618.04	128.75	187.29	542.44	25.34	38.50	252.00	544.00
August	384.27	118.81	164.46	313.34	17.00	37.50	147.00	544.00
September	233.47	123.86	139.60	418.62	21.04	32.00	221.00	735.00
October	224.87	79.40	145.46	375.23	37.50	76.00	107.00	544.00
November	118.23	123.83	173.18	418.03	43.24	123.00	34.00	735.00
December	387.58	203.84	185.80	508.61	51.38	101.00	5.81	544.00
Annual Supply Average	342.75	147.81	195.13	508.72	28.48	805.50	1633.00	8750.00
Minimum of Month	124.87	83.40	134.46	375.23	14.61	37.50	5.81	475.00
Maximum of Month	475.28	223.73	293.47	857.68	31.38	101.50	52.53	544.00

Fig. 4.50 – Raportul lunar al radiației solare incidente și aporturilor de căldură prin vitrajul de pe fațada de SV – cazul unui nivel general intermediar

#### 4.2.2.5 Integrarea unor surse de energie regenerabilă

Pentru a obține o performanță ridicată a panourilor fotovoltaice (PV) trebuie avute în vedere:

- orientarea lor spre sud pentru a beneficia la maximum de radiația solară;
- unghiul optim de înclinație (valabil pentru localitatea Iași):
  - unghiul optim pentru situația în care panourile sunt fixe:
    - $\alpha = \text{latitudine} * 0,76 + 3,1^\circ$  (dacă latitudinea se înscrie în intervalul 25-50°) = 34,69°;
  - unghiurile optime pentru sezonul rece și cald în situația în care panourile sunt ajustabile:

- $\alpha = \text{latitudine} + 15^\circ \text{ (vara)} = 62,15^\circ$ ;
- $\alpha = \text{latitudine} - 15^\circ \text{ (iarna)} = 35,15^\circ$ ;
- În cazul panourilor care urmăresc mișcarea soarelui s-a demonstrat creșterea eficienței de la 10% în perioada iernii până la 40% în perioada verii față de panourile fixe.

Deși panourile fixe nu necesită consum de energie pentru operare, diferențele dintre unghiurile soarelui de-a lungul unui an pun în evidență posibilitatea acumulării unei cantități considerabil mai ridicate de energie doar prin ajustarea unghiului de înclinație la schimbarea sezonelor. Astfel, în comparație cu un sistem de panouri fotovoltaice care sunt capabile să urmărească direcția soarelui pe 2 axe, celelalte sisteme au eficiență mai scăzută (așa cum demonstrează și graficul din Fig. 4.51):

- un sistem fix: 71,1% față de un sistem ajustabil pe două axe;
- un sistem ajustabil cu două poziții: 75,2% față de un sistem ajustabil pe două axe;
- un sistem ajustabil cu patru poziții: 75,7% față de un sistem ajustabil pe două axe.

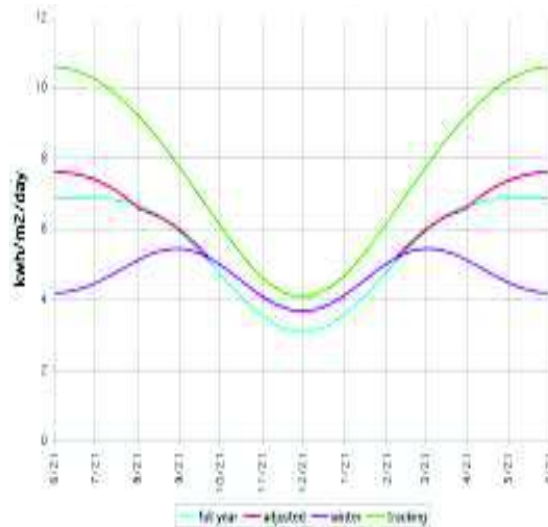


Fig. 4.51 – Eficiența panourilor PV în funcție de ajustabilitatea poziției [15]

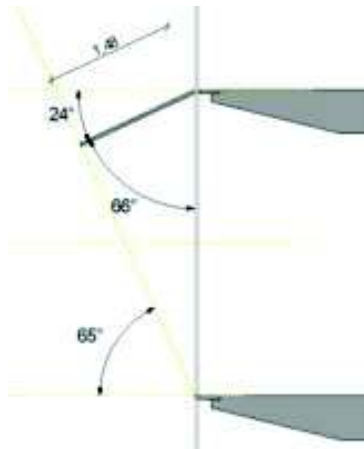


Fig. 4.52 – Determinarea grafică a lățimii maxime cumulate a panourilor PV astfel încât să se evite umbrirea lor – calcul pentru luna iulie

Orientation Chart showing yearly output for different orientation and tilt angles (% of maximum).

		Orientation - Compass bearing (°) measures from North													
		West			S.W			South			S.E			East	
Tilt (°) from horizontal	Horizontal	270°	255°	240°	225°	210°	195°	180°	165°	150°	135°	120°	105°	90°	
	0°	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90
	10°	89	91	92	94	95	95	96	95	95	94	93	91	90	
	20°	87	90	93	96	97	98	98	98	97	96	94	91	88	
	30°	86	89	93	96	98	99	100	100	98	96	94	90	86	
	40°	82	86	90	95	97	99	100	99	98	96	92	88	84	
	50°	78	84	88	92	95	96	97	97	96	93	89	85	80	
	60°	74	79	84	87	90	91	93	93	92	89	86	81	76	
	70°	69	74	78	82	85	86	87	87	86	84	80	76	70	
	80°	63	68	72	75	77	79	80	80	79	77	74	69	65	
90°	56	60	64	67	69	71	71	71	71	69	65	62	58		
Vertical	Near horizontal 0° inclinations are not recommended as the self-cleaning cannot be relied on at less than about 10°														

Fig. 4.53 – Calculator pentru orientarea și unghiul de înclinare al panourilor PV [16]



Fig. 4.54 – Unghiurile optime de înclinare ale panourilor PV [13]

Integrând panouri fotovoltaice cu unghiul indicat în Fig. 4.53 și 4.54 și cu lățimea însumată de 1,48 m (Fig. 4.58) pe fațada sud-vestică a clădirii de birouri, se obține o cantitate de energie electrică de 9707,59 kWh, datele fiind indicate în Fig. 4.55.

Name	Total Irr	Direct Irr	Diffuse Irr	Reflected Irr	Horizontal Irr	PV Energy	AC Energy	PV Voltage	PV Current	PV Temperature	Air Temperature	System Output Coef	PV Efficiency	Specific PV Energy	Specific AC Energy
Unit	kWh/m2	kWh/m2	kWh/m2	kWh/m2	kWh/m2	kWh	kWh	V	A	deg C	deg C	%	%	kWh/kWp	kWh/kWp
Jan	69.33	43.85	24.74	0.73	40.92	612.89	579.18	298.59	7.33	0.19	-4.38	87.03	11.22	83.84	80.33
Feb	80.50	48.30	31.20	1.01	56.56	696.52	658.21	295.93	8.25	3.39	-2.50	85.17	10.99	72.55	68.56
Mar	117.78	68.03	48.04	1.71	96.10	947.69	895.57	288.98	8.80	10.27	2.50	79.21	10.22	98.72	93.29
Apr	137.58	75.02	60.29	2.27	127.80	994.69	939.98	278.94	8.76	19.31	9.93	71.17	9.18	103.61	97.62
May	173.37	95.95	74.32	3.10	174.53	1,111.08	1,049.97	267.46	9.03	27.50	16.06	63.08	8.14	115.74	109.37
Jun	179.88	99.54	78.90	3.34	188.10	1,081.49	1,022.01	262.06	8.90	31.95	19.68	59.18	7.63	112.98	108.46
Jul	184.53	103.28	77.88	3.38	190.03	1,069.57	1,038.15	256.09	9.10	34.11	21.93	58.00	7.56	114.43	108.14
Aug	172.41	99.78	69.69	2.94	165.54	1,101.62	1,041.04	249.85	10.48	32.28	20.90	62.90	8.11	114.75	108.44
Sep	139.97	83.43	54.40	2.13	120.00	992.65	938.05	256.97	10.20	25.87	16.32	69.81	9.00	103.40	97.71
Oct	99.99	58.61	40.05	1.34	75.33	798.68	754.75	260.51	8.50	16.67	10.07	78.63	10.14	83.20	78.62
Nov	50.42	25.03	24.75	0.65	38.30	428.48	404.91	265.21	5.19	7.41	3.97	63.66	10.79	44.63	42.18
Dec	47.03	25.90	20.80	0.53	29.78	408.21	385.78	265.11	5.25	1.92	-1.18	65.44	11.02	42.52	40.18
Max Value	184.53	103.28	77.88	3.38	190.03	1,111.08	1,049.97	268.50	10.48	34.11	21.93	87.03	11.22	115.74	109.37
Max Term	Jul	Jul	Jul	Jul	Jul	May	May	Jan	Aug	Jul	Jul	Jan	Jan	May	May
Mean Value															
Sum Value	1,452.79	826.73	602.94	23.13	1,300.97	10,272.58	9,707.59							1,070.08	1,011.21

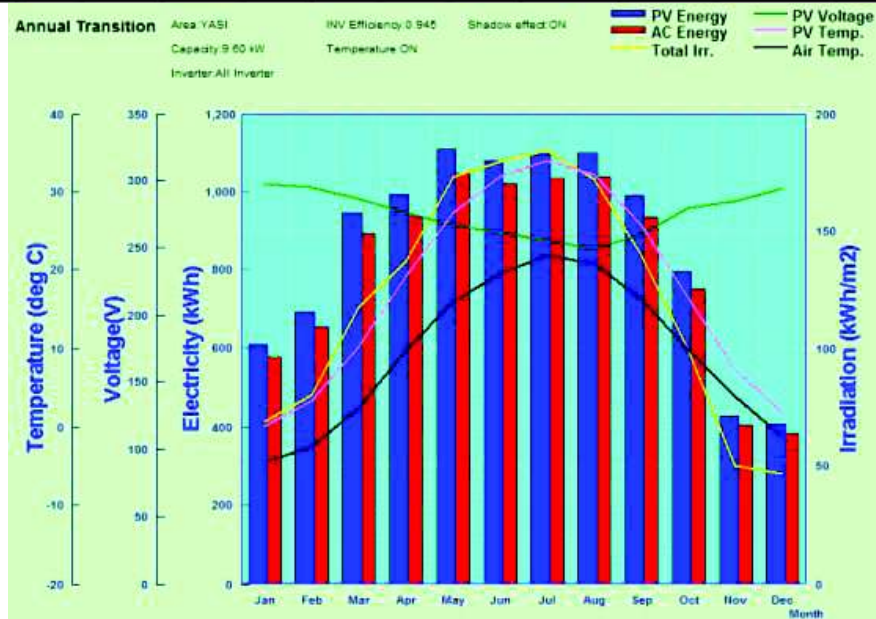


Fig. 4.55 – Energia acumulată de panourile PV înclinate la 34,7° (unghi optim anual) și lungimea cumulată l=1,36m, amplasate pe fațada SV a clădirii de birouri propuse

Name	Total In	Direct In	Diffuse In	Reflected In	Horizontal In	PV Energy	AC Energy	PV Voltage	PV Current	PV Temperature	Air Temperature	System Output Coef	PV Efficiency	Specific PV Energy	Specific AC Energy
Unit	kWh/m2	kWh/m2	kWh/m2	kWh/m2	kWh/m2	kWh	kWh	V	A	deg C	deg C	%	%	kWh/kwp	kWh/kwp
Jan	80.58	44.08	34.75	0.75	40.92	815.18	581.34	296.81	7.38	0.21	-4.38	87.03	11.23	94.08	60.55
Feb	80.68	48.46	31.18	1.03	56.56	698.11	659.72	295.91	8.27	3.40	-2.60	85.16	10.99	72.72	66.72
Mar	117.87	68.14	47.68	1.75	86.10	949.47	897.25	287.24	8.81	10.28	2.50	79.30	10.23	68.90	93.45
Apr	137.49	74.99	60.17	2.33	127.80	994.80	940.09	278.93	8.78	19.31	9.93	71.23	9.19	103.62	87.93
May	173.06	95.78	74.14	3.18	174.53	1,110.58	1,049.50	267.48	9.02	27.49	16.06	63.16	8.15	115.60	109.32
Jun	179.50	99.27	78.79	3.43	186.10	1,080.77	1,021.33	262.10	8.89	31.92	19.68	59.27	7.94	112.58	108.36
Jul	184.17	103.03	77.68	3.47	190.03	1,097.98	1,037.59	266.12	9.09	34.09	21.93	58.66	7.57	114.37	108.06
Aug	172.22	99.98	69.54	3.02	185.54	1,101.57	1,040.98	249.88	10.48	32.27	20.90	62.95	8.12	114.75	108.44
Sep	136.99	83.48	64.33	2.19	120.00	1,003.81	948.60	261.90	10.21	26.87	16.32	70.58	9.10	104.56	98.81
Oct	100.15	58.79	40.02	1.37	75.33	800.07	756.07	260.52	8.52	16.68	10.07	76.04	10.14	83.34	78.79
Nov	80.53	35.14	24.72	0.88	38.30	429.42	405.80	286.22	5.20	7.42	3.97	83.66	10.79	44.73	42.27
Dec	47.18	28.05	20.59	0.54	29.76	406.58	387.06	265.14	5.27	1.93	-1.18	85.45	11.02	42.96	40.32
Max Value	184.17	103.03	77.68	3.47	190.03	1,110.58	1,049.50	266.81	10.48	34.09	21.93	62.03	11.23	115.60	109.32
Mean Value	Jul	Jul	Jul	Jul	Jul	May	May	Jul	Jul	Jul	Jul	Jul	Jul	May	May
Sum Value	1,482.44	838.92	601.90	23.72	1,300.97	10,291.33	9,795.37	276.42	8.92	17.97	9.44	69.75	9.00	1,072.91	1,013.05

Fig. 4.56 – Energia acumulată de panourile PV cu unghiul de înclinare optim pe timpul verii

Name	Total In	Direct In	Diffuse In	Reflected In	Horizontal In	PV Energy	AC Energy	PV Voltage	PV Current	PV Temperature	Air Temperature	System Output Coef	PV Efficiency	Specific PV Energy	Specific AC Energy
Unit	kWh/m2	kWh/m2	kWh/m2	kWh/m2	kWh/m2	kWh	kWh	V	A	deg C	deg C	%	%	kWh/kwp	kWh/kwp
Jan	77.71	51.94	23.99	2.18	40.92	697.19	649.40	296.30	8.21	0.79	-4.38	87.00	11.23	71.58	67.66
Feb	83.72	52.87	28.14	3.01	56.56	729.91	689.78	297.24	8.64	3.62	-2.60	85.82	11.07	78.03	71.86
Mar	113.24	68.77	41.35	5.12	86.10	945.39	893.30	286.85	8.78	9.97	2.50	82.18	10.60	98.47	93.09
Apr	122.30	65.75	49.74	6.81	127.80	994.77	902.29	277.33	8.37	18.27	9.93	75.85	9.91	99.49	93.99
May	145.41	78.46	59.65	9.30	174.53	1,056.27	998.17	260.51	8.48	25.88	16.06	71.50	9.22	110.03	103.98
Jun	146.65	78.81	60.92	10.02	186.10	1,027.91	971.37	264.43	8.34	29.67	19.68	69.04	8.90	107.07	101.18
Jul	152.03	79.95	61.95	10.13	190.03	1,052.99	995.07	260.23	8.48	31.97	21.93	68.18	8.79	109.50	103.55
Aug	149.22	83.53	58.67	8.82	185.54	1,096.92	1,008.24	262.59	9.39	30.79	20.90	70.38	9.08	111.14	105.02
Sep	136.99	72.46	48.33	6.38	120.00	996.54	932.30	266.87	8.73	26.31	16.32	74.63	9.44	104.56	98.81
Oct	100.45	61.06	35.35	4.01	75.33	819.49	774.41	260.70	8.72	16.70	10.07	80.31	10.36	85.36	80.67
Nov	82.56	29.78	21.94	1.93	38.30	447.35	422.75	285.38	5.42	7.56	3.97	83.78	10.81	46.50	44.04
Dec	51.80	31.30	18.91	1.89	29.76	450.68	428.08	285.78	5.79	2.24	-1.18	85.69	11.05	48.97	44.35
Max Value	152.03	83.53	61.95	10.13	190.03	1,096.92	1,008.24	266.30	9.73	31.97	21.93	67.05	11.23	111.14	105.02
Mean Value	Jul	Jul	Jul	Jul	Jul	Aug	Aug	Jul	Jul	Jul	Jul	Jul	Jul	Aug	Aug
Sum Value	1,325.30	751.43	504.55	69.32	1,300.07	10,226.50	9,863.10	278.90	8.20	18.88	9.44	75.95	9.50	1,065.18	1,006.57

Fig. 4.57 – Energia acumulată de panourile PV cu unghiul de înclinare optim pe timpul iernii

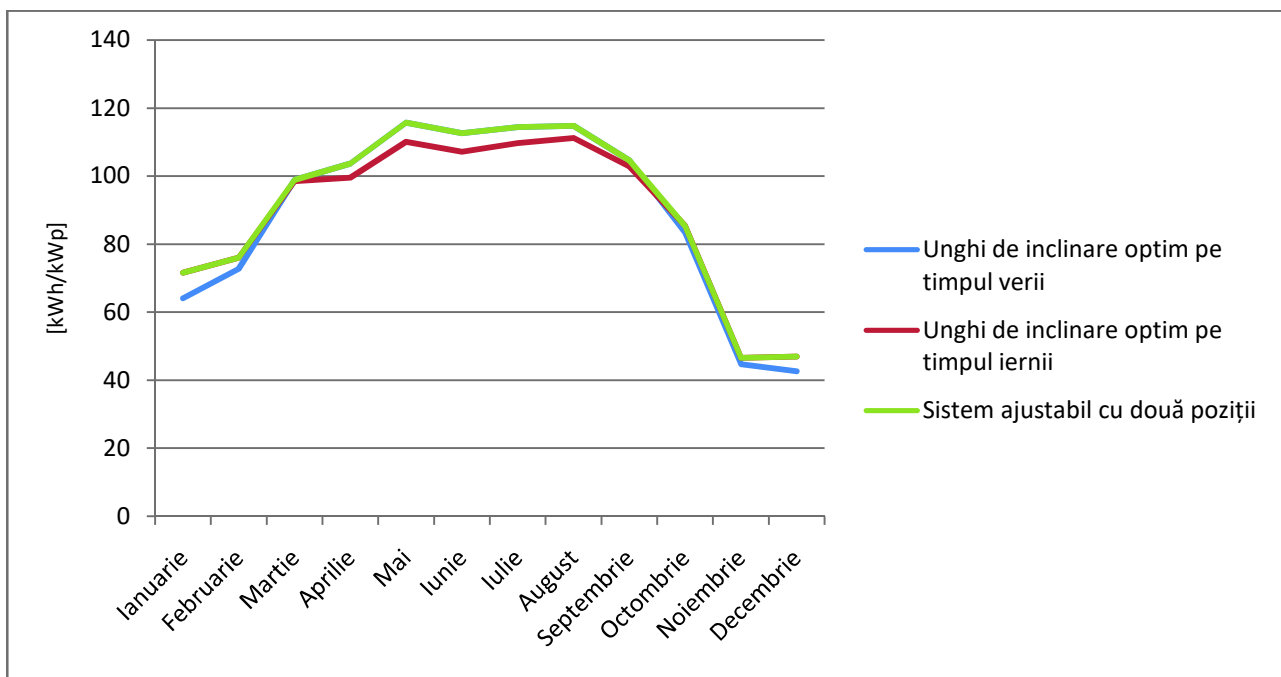


Fig. 4.58 – Energia acumulată de panourile PV cu ajustarea unghiului de înclinare optim pe timpul iernii și al verii

Se introduc în programul SolarPro unghiuri de înclinare diferite pentru sezonul rece și cald, ajustând unghiul de înclinare al panourilor la începutul lunii martie ( $62,15^\circ$ ) și la începutul lunii octombrie ( $35,15^\circ$ ). Energia colectată astfel este de 9 897,74 kWh anual, cu 1,96% mai mult decât în cazul panourilor fixe, date ilustrate în Fig. 4.56, 4.57 și 4.58. Utilizând panouri fotovoltaice fixe, orientate spre sud pe acoperișul terasă necirculabil, cu unghiul de înclinare optim, energia colectată se ridică la valoarea de 13 610,34 kWh. Valoarea este superioară celei obținute pentru panourile aplicate pe fațadă, punând în evidență importanța orientării panourilor. Această soluție poate conduce la scăderea cu  $15,86 \text{ kWh/m}^2\text{an}$  a consumului de energie al clădirii. Înlocuind panourile fotovoltaice fixe cu unele mobile pe axa orizontală, energia colectată crește la 13 878,21 kWh, iar în cazul utilizării unor panouri mobile pe două axe, valoarea energiei colectate este de 13 242,88 kWh. Valoarea mai mică în cazul panourilor mobile pe două axe se explică prin umbrirea reciprocă a panourilor în cazul rotirii și în jurul axei verticale. Prin mărirea distanței dintre panouri se atinge valoarea de 14 746,46 kWh, aceasta putând fi sporită prin îndepărtarea lor cât mai mult pentru a evita umbrirea, însă s-ar depăși astfel suprafața disponibilă necesară (suprafața terasei). Astfel, rezultatele pun în evidență faptul că pentru suprafața dată, cel mai eficient mod de amplasare a panourilor este în sistem mobil pe axa orizontală, valoarea energiei obținute astfel putând contribui la scăderea cu  $16,18 \text{ kWh/m}^2\text{an}$  a consumului de energie al clădirii.

### 4.3 ANALIZA REZULTATELOR OBȚINUTE PRIN SIMULĂRI

#### 4.3.1 Studiu comparativ al performanței energetice

Tab. 4.10 și Fig. 4.59 indică aporturile de energie ale soluțiilor de anvelopă studiate în capitolul anterior care contribuie la reducerea consumului de energie pentru încălzire și răcire, precum și momentele sau perioadele în care parametrii specifici trebuie să se modifice.

Tab. 4.10 – Rezultatele studiilor de caz

Soluția de anvelopă utilizată	Consum de energ. pentru încălzire [kWh/m <sup>2</sup> an]	Consum de energ. pentru răcire [kWh/m <sup>2</sup> an]	Momentele de activare / perioada în care sistemul este activ
Perete cortină cu geam triplustrat iPlus 3 CE – Interpane și tâmplărie Internorm cu distanțier „Thermix”	117.00	228.00	-
Sistem de umbrire mobil cu lamele din lemn închise pe timpul nopților reci	97.99	-	orele neînsorite ale lunilor octombrie - aprilie
Sistem de umbrire mobil	56.69	-	orele neînsorite ale lunilor

cu lamele izolate termic cu aerogel închise pe timpul noptilor reci			octombrie - aprilie
Sistem de umbrire activat la depășirea valorii de 25°C a temperaturii interioare		159.60	1029.5 ore
Utilizarea izolației termice adaptabile pentru elementele opace ale anvelopei	213.00	59.14	noaptele din perioada verii
Materiale electrocromate aplicate vitrajului	122.63	189.29	
Înlocuirea vitrajului cu perne cu aer ETFE	128.00	22.30	octombrie, martie noaptele din perioada verii
Aplicarea panourilor fotovoltaice pe fațada sud-vestică	105.47	-	
Aplicarea panourilor fotovoltaice pe acoperișul terasă superior	100.82	-	

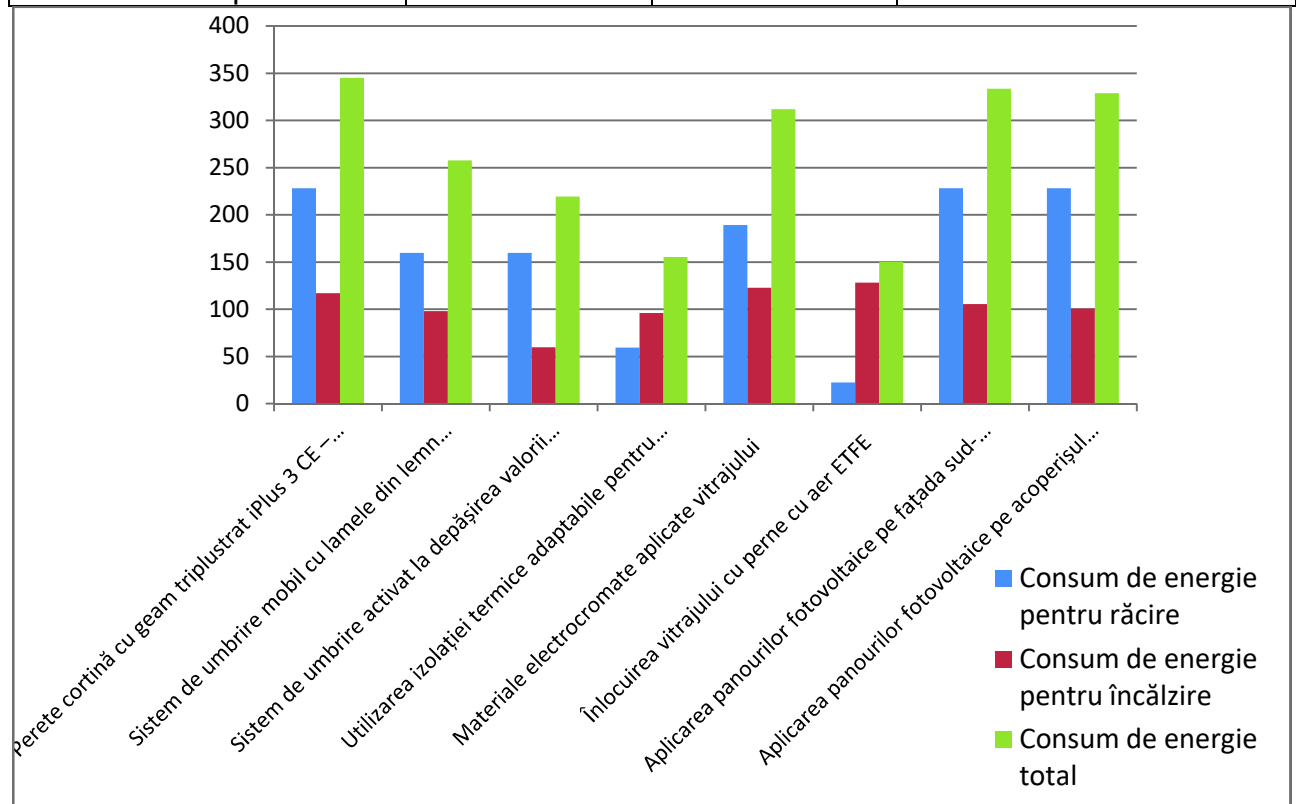


Fig. 4.59– Consumul de energie pentru încălzire și răcire pentru cazurile analizate

## 4.3.2 Integrearea simultană a mai multor soluții

### 4.3.2.1 Umbrire mobilă cu celule fotovoltaice

Acest studiu de caz pornește de la premisa integrării unor panouri fotovoltaice în elementele orizontale ale sistemului de umbrire mobil. Panourile fotovoltaice au așadar același unghi de înclinație cu cel al lamelelor, modificându-și poziția lunar.

Utilizând programul SolarPro, pentru fațada sud-vestică a clădirii de birouri studiate se calculează energia obținută prin aplicarea unor panouri fotovoltaice la sistemul de umbrire. Din baza de date a programului se aleg panouri fotovoltaice Solar-Fabrik, SF 125-120, cu dimensiunile 1,485/0,663 m și capacitate 120 W. S-a ales acest tip pentru a însuma o lățime cât mai apropiată de cea necesară calculată (1,48 m), cu o capacitate cât mai mare. La fiecare etaj sistemul este compus din două panouri pe verticală (1,326 m) și 16 pe orizontală, pentru a obține rezultate maxime (Fig. 4.60).

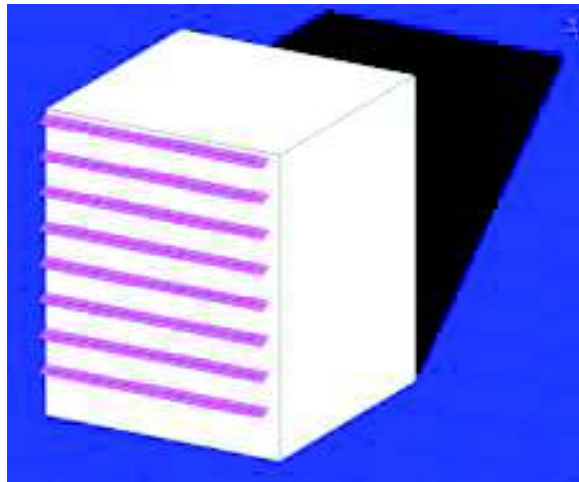


Fig. 4.60 – Simulare în programul SolarPro pentru fațada sud-vestică a clădirii de birouri propuse

Tab. 4.11 –Energia obținută în fiecare lună în funcție de unghiul de înclinare al panourilor PV

	Ian.	Feb.	Mar.	Apr.	Mai	Iun.	Iul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
Unghi de înclinare	0°	0°	0°	7°	18°	23°	39°	43°	27°	1°	0°	0°
Energie AC [kWh]	1224	1584	2451	3047	3828	3888	3950	3781	3169	1932	1045	894

Pentru lunile în care unghiul de înclinare este negativ se va considera pentru panourile fotovoltaice o înclinare minimă de 1°. Energia obținută anual însumează 30 791,64 kWh (Tab. 4.11), conducând la o reducere a consumului de energie pentru încălzire cu 35,88 kWh/m<sup>2</sup>an care reprezintă 60,67% din 117 kWh/m<sup>2</sup>an (necesarul de energie pentru încălzire inițial).

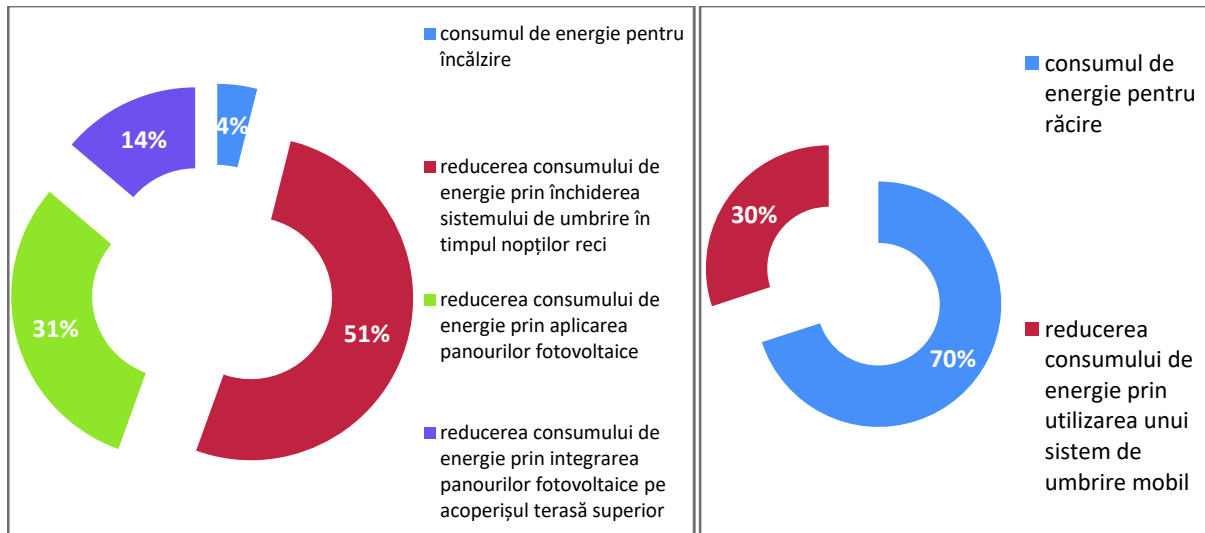


Fig. 4.61 – Reducerea consumului de energie pentru încălzire și răcire prin aplicarea unui sistem de umbrire mobil și a panourilor fotovoltaice

Astfel, rezultatele privind consumul de energie pentru clădirea de birouri propusă cu sistem de umbrire mobil în care sunt aplicate panouri fotovoltaice elementelor de umbrire de pe fațada sud-vestică și pe acoperișul terasă necirculabil, sunt următoarele:

- consumul de energie **pentru încălzire: 4,63 kWh/m<sup>2</sup>an** (de la 117 kWh/m<sup>2</sup>an):
  - 60,31 kWh/m<sup>2</sup>an reducere prin închiderea sistemului de umbrire în timpul nopților reci;
  - 35,88 kWh/m<sup>2</sup>an prin aplicarea panourilor fotovoltaice sistemului de umbrire pe fațada sud-vestică;
  - 16,18 kWh/m<sup>2</sup>an prin integrarea panourilor fotovoltaice pe acoperișul terasă superior;
- consumul de energie **pentru răcire: 159,6 kWh/m<sup>2</sup>an** (scade de la 228 kWh/m<sup>2</sup>an):
  - reducere cu 68,4 kWh/m<sup>2</sup>an prin blocarea radiației solare nedorite prin utilizarea unui sistem de umbrire mobil.

Calcululele indică eficiența sistemului de umbrire mobil în reducerea consumului de energie, atât prin blocarea aportului de căldură în zilele verii, cât și prin creșterea rezistenței termice a vitrajului în nopțile reci din perioada octombrie-aprilie. Deși consumul de energie pentru încălzire este substanțial redus, consumul de energie pentru răcire scade cu doar 30% (Fig. 4.61).

#### 4.3.2.2 Sisteme de umbrire mobile cu celule fotovoltaice și izolație termică adaptabilă

Pe baza rezultatelor studiului de caz pentru clădirea de birouri propusă care integrează un sistem de umbrire mobil cu panouri fotovoltaice pe elementele mobile orizontale de pe fațada sud-vestică și a celui pentru aceeași clădire care utilizează izolație termică adaptabilă pentru elementele opace ale anvelopei, s-au determinat:

- consumul de energie pentru încălzire 0 kWh/m<sup>2</sup>an (scade de la 96 kWh/m<sup>2</sup>an):



- 60,31 kWh/m<sup>2</sup>an reducere prin închiderea sistemului de umbrire pe timpul nopților reci;
- 35,88 kWh/m<sup>2</sup>an reducere prin aplicarea panourilor fotovoltaice sistemului de umbrire pe fațada sud-vestică;
- 16,18 kWh/m<sup>2</sup>an reducere prin integrarea panourilor fotovoltaice pe acoperișul terasă superior.
- consumul de energie pentru răcire 0 kWh/m<sup>2</sup>an (scade de la 228 kWh/m<sup>2</sup>an):
  - 68,4 kWh/m<sup>2</sup>an reducere prin blocarea radiației solare nedorite prin utilizarea unui sistem de umbrire mobil;
  - 168,86 kWh/m<sup>2</sup>an reducere prin utilizarea unei izolații termice adaptabile.

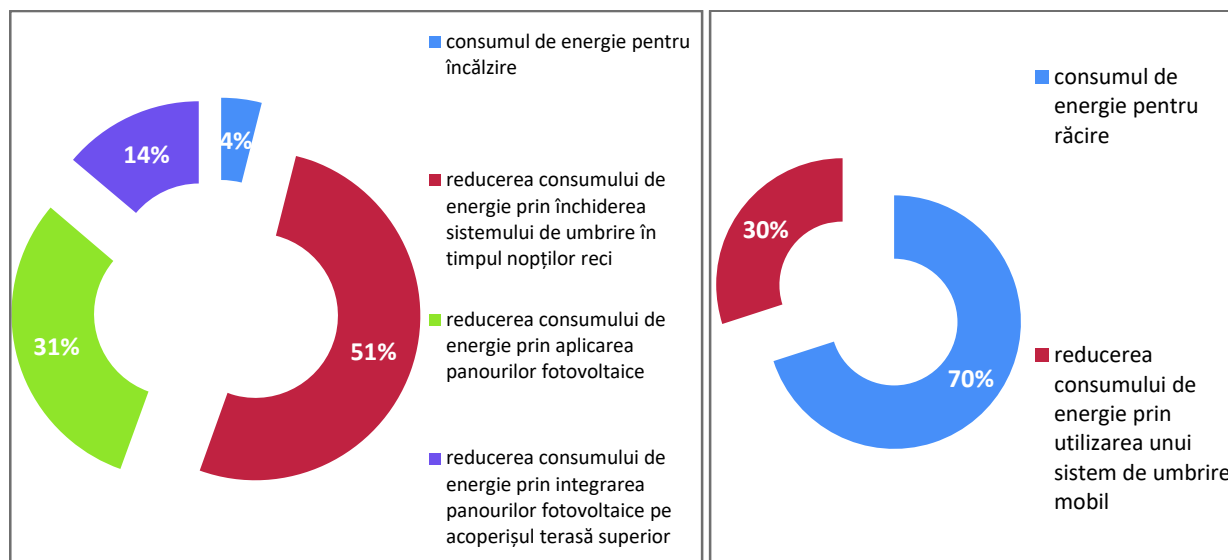


Fig. 4. 62 – Reducerea consumului de energie pentru încălzire și răcire prin aplicarea unui sistem de umbrire mobil cu panouri fotovoltaice și izolație termică adaptabilă

Aceste rezultate (Fig. 4.62) indică o balanță pozitivă a consumului de energie pentru încălzire și răcire, utilizarea unor astfel de sisteme, în care izolația termică își modifică parametrii în perioada martie-octombrie, oferind posibilitatea producerii unei cantități anuale de energie de 21 990,54 kWh, conducând la o reducere a energiei pentru încălzire cu 25,63 kWh/m<sup>2</sup>an care reprezintă 21,917% din 117 kWh/m<sup>2</sup>an (necesarul de energie pentru încălzire inițial). Aceasta poate fi utilizată pentru iluminat și funcționarea echipamentelor electrice.

#### 4.3.2.3 Perne de aer ETFE cu celule fotovoltaice

Considerând o transmisie a energiei solare  $g=0,71$  pentru perioada octombrie-martie și  $g=0,2$  pentru perioada aprilie-septembrie, care se poate modifica prin umflarea și dezumflarea unei perne de aer pe ale cărei membrane sunt aplicate celule fotovoltaice, se calculează energia colectată de pe fațada sud-vestică, aferentă fiecărei perioade de calcul. Se consideră amplasarea celulelor fotovoltaice pe 0,29%, respectiv 0,80% din suprafața vitrajului, cu o înclinație de 90°, deci în planul fațadei. Energia colectată anual

Însumează 45 161,42 kWh (Tab. 4.12), contribuind la reducerea consumului de energie pentru încălzire cu 52,64 kWh/m<sup>2</sup>an, care reprezintă o scădere de 55%.

Tab. 4.12 – Energia colectată de celulele fotovoltaice de pe membranele pernelor de aer ETFE pe fațada sud-vestică a clădirii de birouri studiate

	Ian.	Feb.	Mar.	Apr.	Mai	Iun.	Iul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
% din suprafața pernelor de aer ETFE	0,29	0,29	0,29	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,29	0,29	0,29
Energie AC [kWh]	1759	1989	2634	5198	5973	5905	6031	5930	5309	2129	1148	1157

Month	Total in kWh/m <sup>2</sup>	Direct in kWh/m <sup>2</sup>	Diffuse in kWh/m <sup>2</sup>	Reflected in kWh/m <sup>2</sup>	Horizontal in kWh/m <sup>2</sup>	PV Energy kWh/m <sup>2</sup>	AC Energy kWh/m <sup>2</sup>	PV Voltage V	PV Current A	PV Temperature deg. C	Air Temperature deg. C	System Output Coef. %	PV Efficiency %	Specific PV Energy kWh/m <sup>2</sup>	Specific AC Energy kWh/m <sup>2</sup>
Jan	71.50	44.20	14.90	4.39	40.92	1.267.92	1.198.08	253.11	17.02	3.32	-4.39	27.52	11.30	62.03	62.40
Feb	71.50	44.20	21.20	5.65	50.56	1.268.61	1.198.94	252.75	16.78	2.75	-2.50	28.93	11.21	65.07	62.44
Mar	90.21	51.17	29.44	8.60	65.10	1.557.94	1.472.18	253.21	19.09	3.45	34.99	19.96	11.14	76.68	76.68
Apr	100.32	49.85	33.69	12.77	127.80	1.934.30	1.821.56	248.78	14.68	16.50	9.93	31.89	10.57	78.36	74.04
May	100.72	44.30	38.68	17.44	174.65	1.934.78	1.836.41	236.51	14.25	22.71	16.39	29.40	10.24	84.62	79.67
Jun	105.20	48.50	39.00	18.85	185.10	1.934.43	1.858.94	236.39	13.77	26.35	19.66	27.89	9.91	82.06	76.61
Jul	103.08	44.29	39.60	18.26	180.00	1.899.79	1.821.28	232.79	14.14	28.74	21.83	29.57	9.91	83.84	79.23
Aug	106.62	52.29	37.70	16.88	185.94	1.872.65	1.858.56	236.09	13.02	27.20	20.90	27.29	9.97	87.11	82.32
Sep	100.17	58.07	32.21	11.98	120.00	1.814.28	1.828.45	248.57	17.78	23.36	16.32	29.32	10.23	84.06	79.48
Oct	60.48	48.00	24.06	7.53	75.30	1.395.34	1.319.62	248.75	18.51	18.88	10.97	32.27	10.61	72.67	66.68
Nov	45.91	28.96	19.30	3.63	36.80	760.62	740.52	251.38	13.67	7.10	3.67	34.00	10.63	40.61	38.67
Dec	47.25	29.50	14.72	2.97	29.78	825.40	790.02	236.95	11.92	1.84	-1.76	32.96	11.00	42.96	40.63
Mean Value	100.52	52.21	39.00	18.99	180.00	1.872.33	1.800.06	253.11	17.18	23.74	21.83	27.52	11.30	81.11	82.32
Mean Value	Aug	May	Jul	Jul	Jul	Aug	Aug	Aug	Jul	Jul	Jul	Aug	Aug	Aug	Aug
Mean Value	1.200.92	521.13	347.75	132.03	1.300.97	18.070.77	25.705.44	247.52	14.62	-2.20	3.44	31.27	10.49	820.59	820.97

Fig. 4.63 - Energia colectată de celulele fotovoltaice de pe membranele pernelor de aer ETFE pe fațada sud-estică a clădirii de birouri studiate

În cazul amplasării de celule fotovoltaice și pe pernele de aer de pe fațada sud-estică (Fig. 4.63), energia colectată este de 15 761,44 kWh, conducând la reducerea consumului de energie pentru încălzire cu 18,37 kWh/m<sup>2</sup>an, care reprezintă 14,35% din consumul inițial (128 kWh/m<sup>2</sup>an).

Plecând de la rezultatele obținute pentru studiile de caz anterioare s-a determinat:

- consumul de energie pentru încălzire: 19,81 kWh/m<sup>2</sup>an (scade de la 107 kWh/m<sup>2</sup>an - Fig. 4.64):
  - o 52,64 kWh/m<sup>2</sup>an reducere prin aplicarea celulelor fotovoltaice pe fațada sud-vestică;
  - o 18,37 kWh/m<sup>2</sup>an reducere prin aplicarea celulelor fotovoltaice pe fațada estică;
  - o 16,18 kWh/m<sup>2</sup>an reducere prin integrarea panourilor fotovoltaice pe acoperișul terasă superior;
- consumul de energie pentru răcire: 22,3 kWh/m<sup>2</sup>an.

Clădirea se încadrează, așadar, în categoria clădirilor cu consum redus de energie, prin înlocuirea vitrajului cu perne de aer ETFE cu celule fotovoltaice, consumul anual de energie pentru încălzire și răcire totalizând 42,11 kWh/m<sup>2</sup>an.

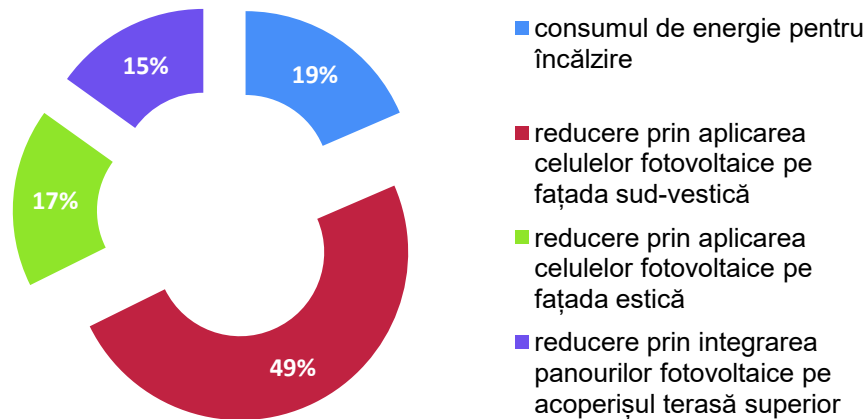


Fig. 4.64 – Reducerea consumului de energie pentru încălzire

#### 4.3.2.4 Perne de aer ETFE cu celule fotovoltaice și izolație termică adaptabilă

Consumul de energie pentru aceste soluții de anvelopă se calculează pe baza rezultatelor obținute pentru studiile de caz individuale (Fig. 4.65):

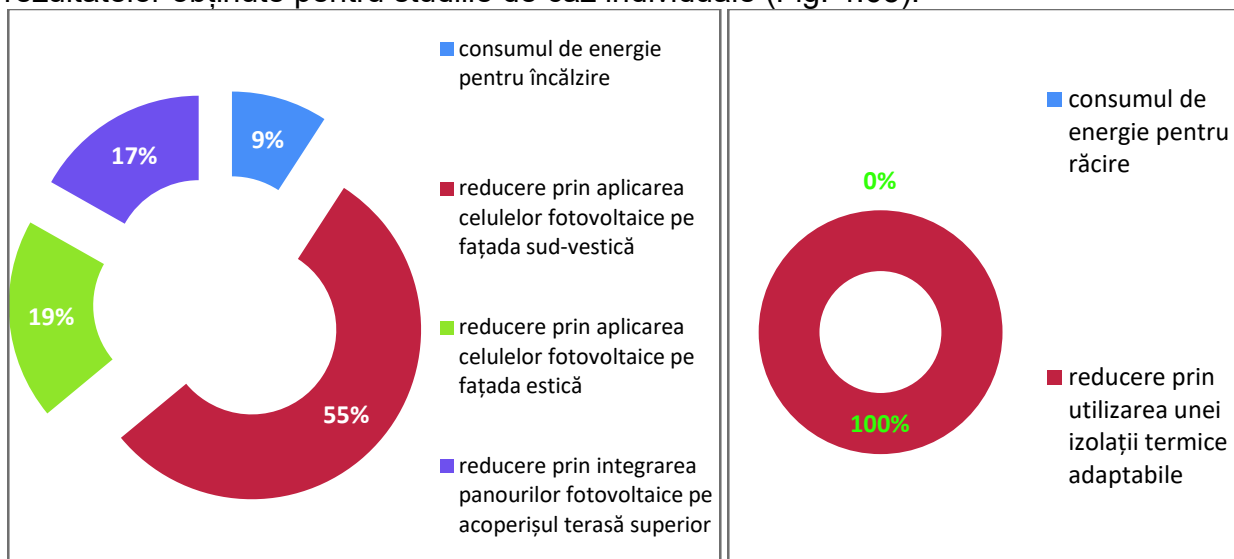


Fig. 4.65 – Reducerea consumului de energie pentru încălzire și răcire

- consumul de energie **pentru încălzire: 8,81 kWh/m<sup>2</sup>an** (scade de la 96 kWh/m<sup>2</sup>an):
  - 52,64 kWh/m<sup>2</sup>an reducere prin aplicarea celulelor fotovoltaice pe fațada sud-vestică;
  - 18,37 kWh/m<sup>2</sup>an reducere prin aplicarea celulelor fotovoltaice pe fațada estică;
  - 16,18 kWh/m<sup>2</sup>an reducere prin integrarea panourilor fotovoltaice pe acoperișul terasă superior;
- consumul de energie **pentru răcire: 0 kWh/m<sup>2</sup>an** (scade de la 22,3 kWh/m<sup>2</sup>an);

- 168,86 kWh/m<sup>2</sup>an reducere prin utilizarea unei izolații termice adaptabile.

Față de situația în care sunt înlocuite vitrajele cu perne de aer ETFE, în situația în care se înlocuiește și termoizolația clasică cu o izolație termică adaptabilă, reducerea consumului de energie este de 11kWh/m<sup>2</sup>an pentru încălzire de la 19,81 kWh/m<sup>2</sup>an (cu 55,53% mai puțin) și 22,3kWh/m<sup>2</sup>an pentru răcire (100% din consumul de energie pentru răcire fără izolație termică adaptabilă). Potențialul izolației termice adaptabile este folosit doar la 13,2% (reducerea consumului de energie pentru răcire cu 22,3kWh/m<sup>2</sup>an, față de 168,86 kWh/m<sup>2</sup>an potențial), rentabilitatea sa în acest sistem fiind scăzută.

#### 4.3.2.5 Vitraje din materiale inteligente și elemente opace cu izolație termică adaptabilă

Pornind de la rezultatele obținute pentru studiile de caz anterioare se determină:

- consumul de energie **pentru încălzire: 106,45 kWh/m<sup>2</sup>an** (scade de la 117 kWh/m<sup>2</sup>an):
  - 16,18 kWh/m<sup>2</sup>an reducere prin integrarea panourilor fotovoltaice pe acoperișul terasă superior;
  - 5,63 kWh/m<sup>2</sup>an adaos, din cauza blocării aperturilor solare prin utilizarea materialelor electrocromate;
- consumul de energie **pentru răcire: 17,1 kWh/m<sup>2</sup>an** (scade de la 224 kWh/m<sup>2</sup>an):
  - 168,86 kWh/m<sup>2</sup>an reducere prin utilizarea unei izolații termice adaptabile;
  - 38,04 kWh/m<sup>2</sup>an reducere datorită materialelor electrocromate.

Integrarea acestor soluții de anvelopă conduce la scăderi importante ale consumului de energie pentru răcire, în schimb consumul de energie pentru încălzire este prea puțin diminuat (Fig. 4.66). Performanța acestui sistem este mult inferioară sistemelor combinate evaluate anterior.

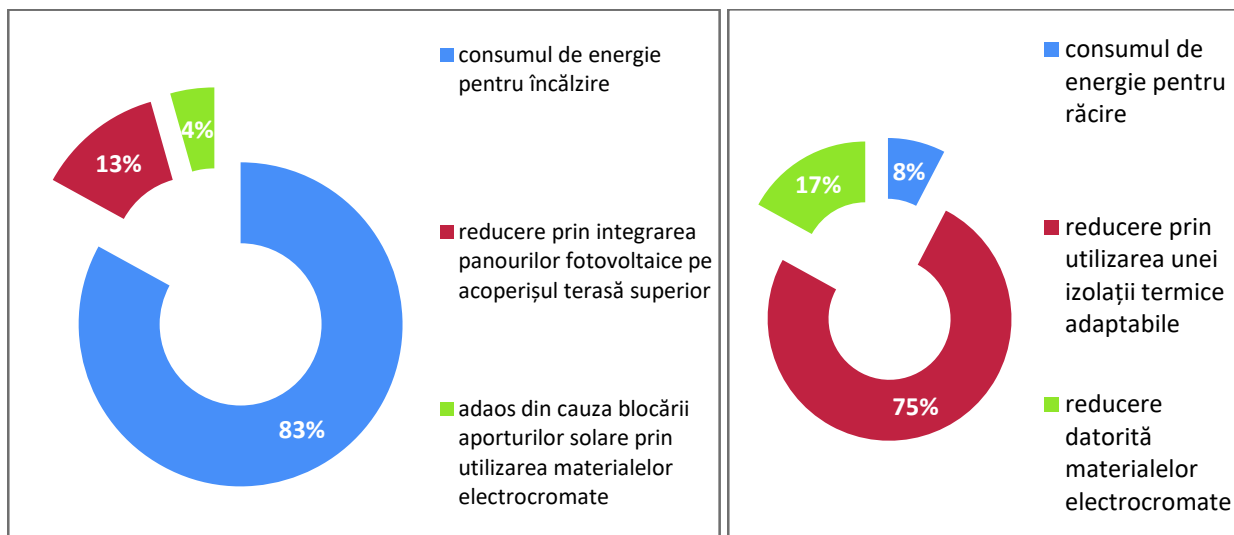


Fig. 4.66 – Reducerea consumului de energie pentru încălzire și răcire

## Concluzii

Fiecare sistem de anvelopă dinamică contribuie la optimizarea performanțelor energetice ale clădirii, însă atunci când sunt integrate simultan două sau mai multe soluții, ele conduc la economii importante de energie, oferind posibilitatea de a produce energie care poate fi utilizată pentru iluminat și echipamente electrice.

Fig. 4.67 pune în evidență performanțele energetice ale soluțiilor de anvelopă dinamică considerate ca soluții individuale, în comparație cu performanțele energetice ale soluțiilor integrate simultan (marcate cu roșu și detaliate în Fig. 4.68). Se evidențiază în acest sens o reducere semnificativă a cantității de energie necesară pentru încălzire și răcire. Dintre soluțiile de anvelopă dinamică, cele mai eficiente energetic le reprezintă izolației termice adaptabile și înlocuirea vitrajului cu perne de aer ETFE cu celule fotovoltaice, care presupun un consum total de energie de aproximativ 8,81 kWh/m<sup>2</sup>an, jumătate din media celorlate soluții analizate. Acestea sunt comparabile ca performanță cu integrarea unui sistem de umbrire mobil cu panouri fotovoltaice.

În ceea ce privește colectarea energiei solare, cantitatea cea mai mare de energie rezultă în cazul combinării pernelor de aer ETFE cu celule fotovoltaice pe fațadele sud-vestice și estice și cu panouri fotovoltaice pe acoperișul terasă superior. Energia solară colectată reduce necesarul de energie pentru încălzire și răcire cu 87,19 kWh/m<sup>2</sup>an. În schimb în scenariul utilizării unui sistem de umbrire mobilă cu panouri fotovoltaice integrate și izolație termică adaptabilă pentru elementele opace ale anvelopei, **consumul de energie pentru încălzire și răcire este acoperit în totalitate de energia solară colectată**. În acest caz, din energia solară colectată 52,06 kWh/m<sup>2</sup>an, 25,45 kWh/m<sup>2</sup>an (48,88%) este utilizată pentru încălzirea și răcirea clădirii, restul de 26,61 kWh/m<sup>2</sup>an putând fi folosită pentru echipamentele electrice.

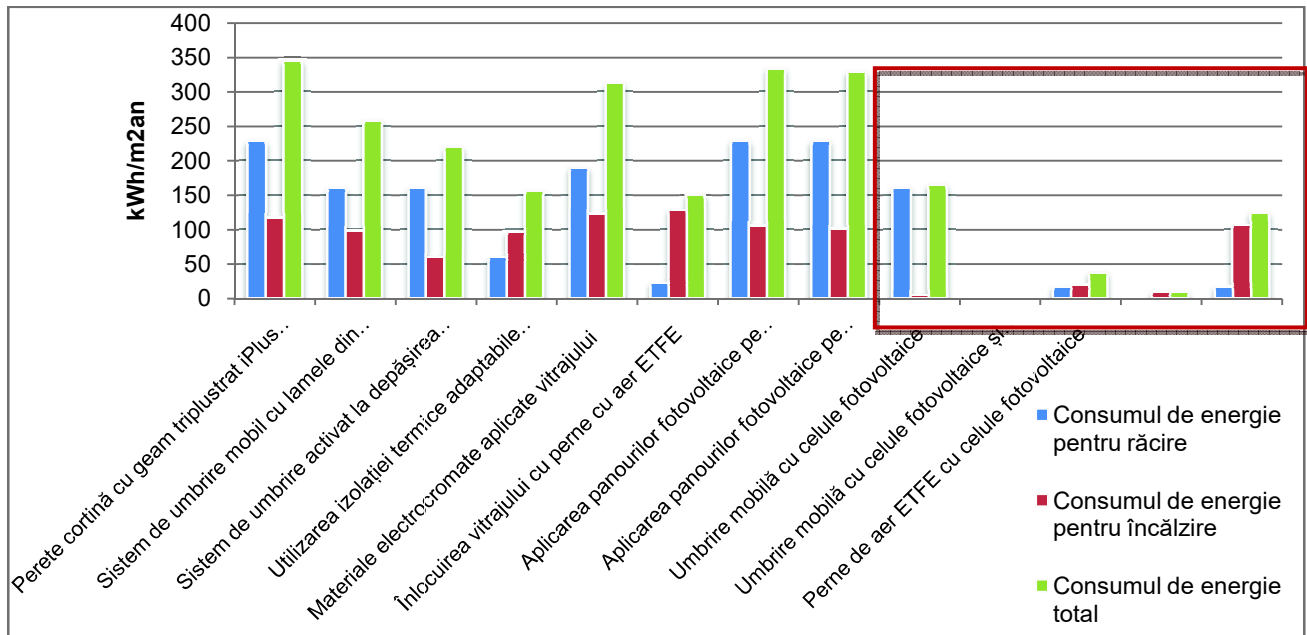
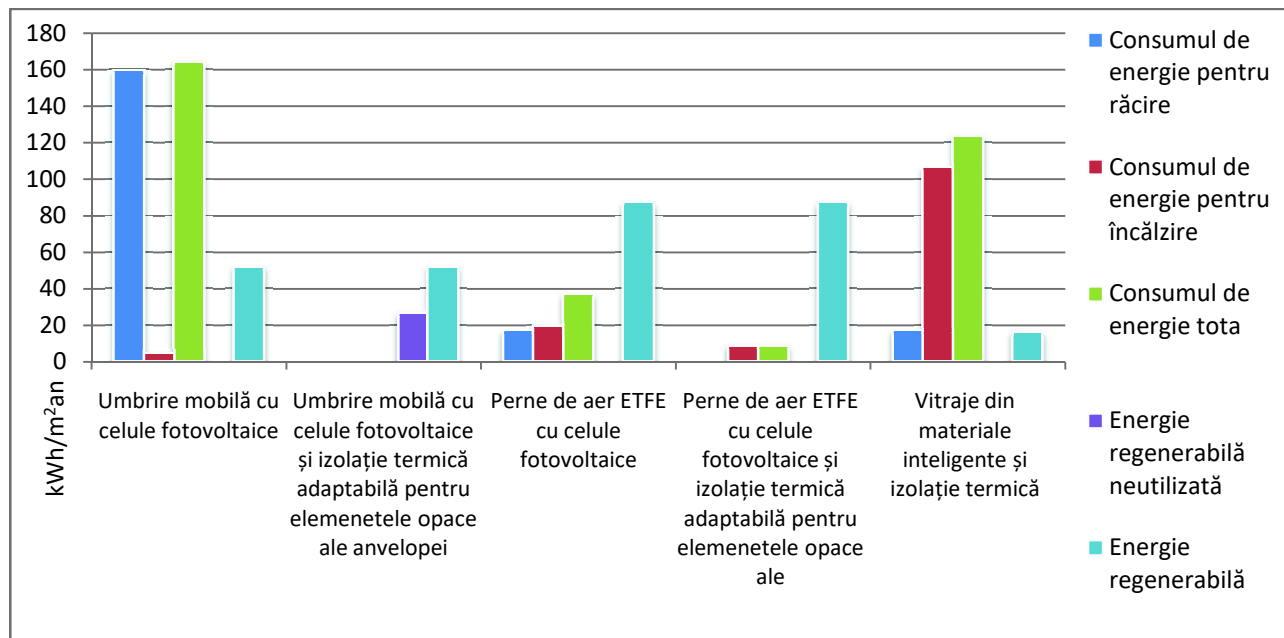


Fig. 4.67 – Consumul de energie pentru încălzire și răcire pentru soluțiile individuale și combinate



g. 4.68 – Consumul de energie pentru încălzire și răcire pentru soluții combinate

Urmărind Tab. 4.13, cel mai eficient scenariu este cel al integrării sistemelor de umbrire mobile cu panouri fotovoltaice pe fațada sud-vestică pentru elementele transparente ale anvelopei și izolație termică adaptabilă pentru elementele opace. Acest sistem complex are multiple modalități de a reduce la zero consumul de energie, datorită blocării radiației solare în exces (din care o parte este transformată în energie datorită panourilor fotovoltaice), creșterea rezistenței termice a vitrajului prin închiderea elementelor orizontale de umbrire în nopțile reci și eliminarea căldurii în exces acumulate în timpul zilei prin reducerea rezistenței termice a pereților și acoperișului pe timpul nopților de vară. Panourile fotovoltaice colectează în plus o cantitate de energie care poate fi folosită pentru iluminat și echipamente electrice. În cazul în care este eliminată izolația adaptabilă, consumul de energie pentru încălzire este redus semnificativ, însă cel pentru răcire scade doar cu o treime.

Tab. 4.13 - Consumul anual de energie în cazul integrării mai multor soluții

5	Umbrire mobilă cu celule fotovoltaice	Umbrire mobilă cu celule PV și izolație termică adaptabilă la elementele opace	Perne de aer ETFE cu celule PV	Perne de aer ETFE cu celule PV și izolație termică adaptabilă la elementele opace	0 Vitraje din materiale inteligente și izolație termică adaptabilă la elementele opace
Consum de energie pentru încălzire [kWh/m²an]	12 13 4,63	14 15 0,00	16 17 19,81	18 19 8,81	20 21 106,45
Consum de energie pentru răcire [kWh/m²an]	23 24 159,60	25 26 0,00	27 28 17,10	29 30 0,00	31 32 17,10

Studiile de caz demonstrează o eficiență crescută și în cazul utilizării pernelor de aer ETFE cu celule fotovoltaice pentru elementele transparente ale anvelopei, încadrând clădirea de birouri în categoria clădirilor cu consum redus de energie 36,91 kWh/m<sup>2</sup>·an. Prin adăugarea unei izolații termice adaptabile, performanța energetică a clădirii crește (consum energie 8,81 kWh/m<sup>2</sup>·an), însă rezultatele obținute indică o investiție nerentabilă.

Folosirea materialelor inteligente nu are influențe semnificative asupra consumului de energie, reprezentând mai mult o soluție pentru eliminarea efectului de orbire și implicit pentru îmbunătățirea confortului interior.

Rezultatele studiilor pun în evidență reduceri considerabile ale consumului de energie în cazul unei clădiri de birouri cu suprafețe vitrate extinse, chiar și pe fațada nordică. Se demonstrează astfel eficiența utilizării unei anvelope dinamice, aceasta având un impact considerabil asupra performanței energetice a clădirii.

## **CAP.5**

### **ANALIZA PERFORMANȚEI ENERGETICE A CLĂDIRII DE BIROURI „CENTRIS”, IAȘI - STUDIU DE CAZ**

#### **5.1 CARACTERISTICILE CLĂDIRII STUDIATE**

Studiul de caz urmărește evaluarea performanței energetice a unei clădiri de birouri existente din municipiul Iași (Fig. 5.1), Centrul de sprijinire a afacerilor pentru IMM „Centris”. Clădirea are regimul de înălțime D+P+3E și o suprafață desfășurată de 2278,40 mp, cuprinzând spații de birouri individuale și open space, săli de ședințe și o sală de conferințe. Proiectul a fost selectat în cadrul Programului Operațional Regional 2007-2013 și co-finanțat de Uniunea Europeană prin Fondul European pentru Dezvoltare Regională. Execuția construcției a avut loc în perioada iulie 2013 – decembrie 2015, după doi ani de proiectare (2011-2013).



Fig. 5.1 – Imagine de ansamblu - clădirea de birouri Centris [83]

Într-o primă variantă, studiul utilizează ca date inițiale soluțiile de anvelopă existente adoptate prin proiectul de execuție, care sunt apoi înlocuite cu alte seturi de soluții de anvelopă dinamică analizate anterior: sistem de umbrire mobilă, perne de aer ETFE și integrarea celulelor fotovoltaice. Aceste tipuri de anvelopă sau fost alese dintre cele care au fost analizate în subcapitolul 4.3, pe baza simulărilor efectuate, întrucât au condus la cele mai bune rezultate privind performanța energetică a clădirii propuse.



Calculule pentru ipotezele adoptate în studiul de caz se efectuează cu programul PHPP [111] și respectiv SolarPro [113].

Scopul acestei analize este:

- demonstrarea avantajelor și dezavantajelor soluțiilor de anvelopă statică în comparație cu cele dinamice care integrează și surse de energie regenerabilă;
- formularea unor concluzii cu aplicabilitate practică – susținute de cele teoretice;
- efectuarea unui calcul economic comparativ privind evaluarea costurilor inițiale, pentru a determina fezabilitatea implementării soluțiilor și timpul de amortizare a investițiilor;
- comparația între soluțiile considerate, sub aspectul consumului de energie din surse neregenerabile / regenerabile.

## 5.2 DATE INIȚIALE

Clădirea de birouri Centris este orientată cu latura dinspre stradă spre nord-vest, cele 3 fațade perpendiculare făcând un unghi de  $50^\circ$  față de orientările cardinale (Fig. 5.2). Numărul estimat al utilizatorilor este de 116 persoane, rezultând o densitate de  $0,068$  persoane/ $m^2$ .

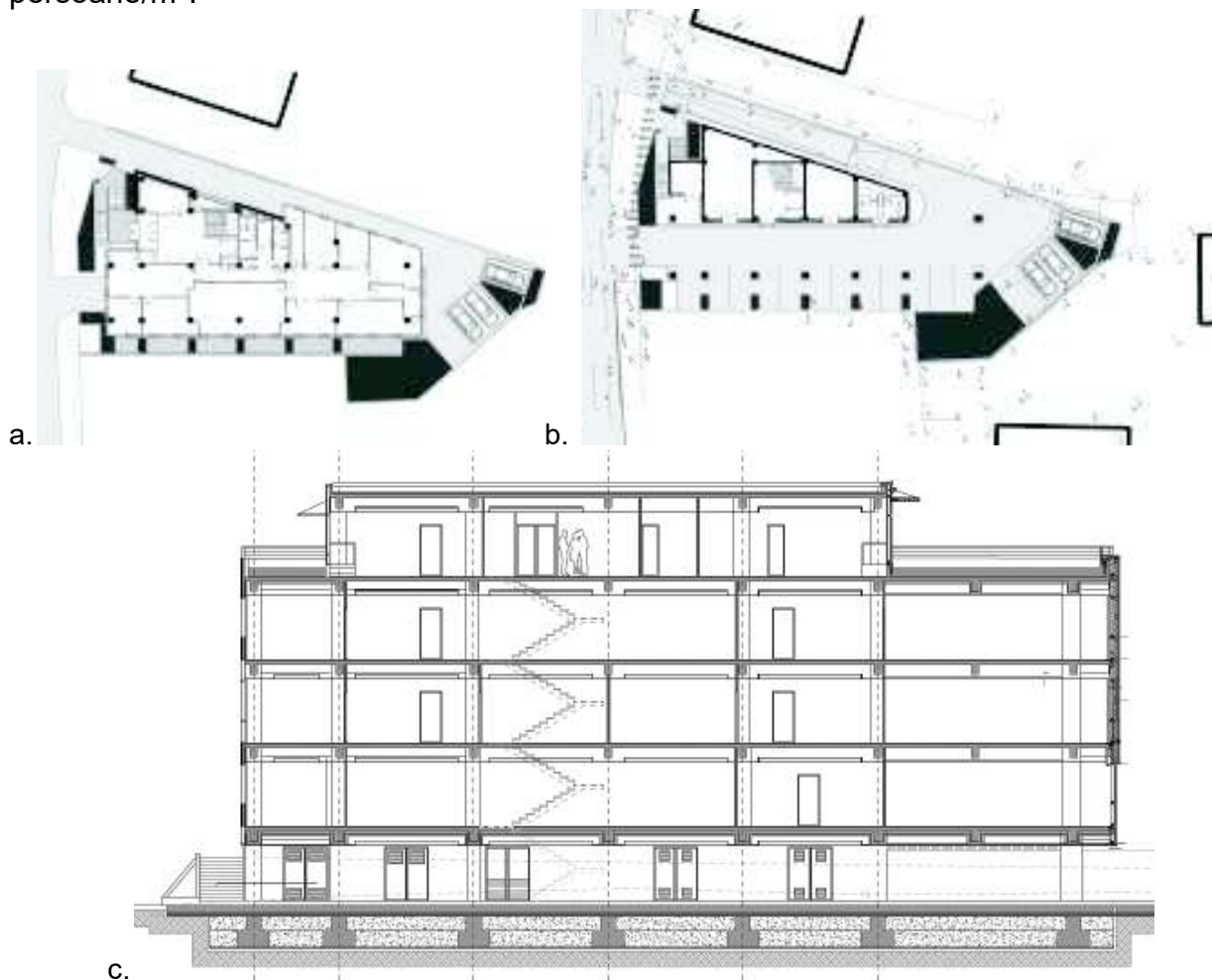


Fig. 5.2 – a. plan parter; b. plan demisol; c. secțiune longitudinală [107]

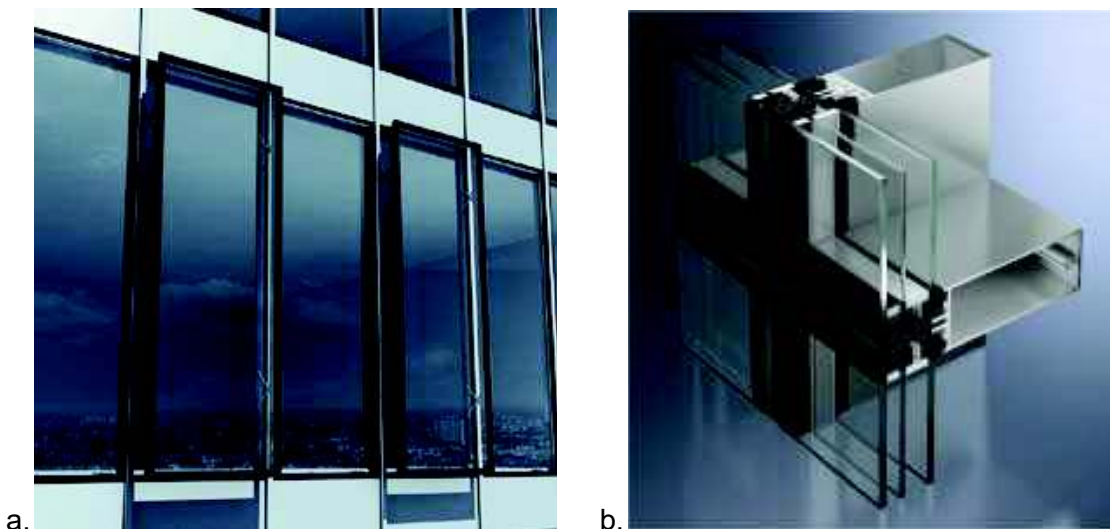


Fig. 5.3 – Detalii fațadă: a. Schüco AWS 102; b. Schüco FW 50 + SG.SI.

**Soluțiile de anvelopă** utilizate pentru clădirea de birouri sunt:

- *Elemente de închidere verticale:*
  - a. vitraje:
    - ferestre cu trei foi de sticlă cu deschidere în exterior în plan paralel, Schüco AWS 102 (Fig. 5.3.a.);
    - $U_f=1,3-2 \text{ W/m}^2\text{K}$ ;
    - izolare fonică 38-45 dB;
    - traverse și montași Schüco FW 50 + SG.SI. (Fig. 5.3.b.);
    - $U_f= 0,9-1,11,3-2 \text{ W/m}^2\text{K}$ ;
    - izolare fonică 38-45 dB;
  - b. elemente opace:
    - panouri Kingspan 6 cm KS 1150TF/KS 1150TC;
    - $\lambda=0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$ .
- *Elemente de închidere orizontale:*
  - a. acoperiș terasă necirculabil:
    - polistiren extrudat 10 cm, placă de beton armat, beton de pantă, strat DDC (difuziune, decompresie, compensare), bariera contra vaporilor, polistiren extrudat 12 cm, șapă de protecție, 2 straturi de membrană hidroizolantă;
  - b. acoperiș terasă circulabil:
    - polistiren extrudat 10 cm, placă de beton armat, beton de pantă, strat DDC, bariera contra vaporilor, polistiren extrudat 12 cm, șapă de protecție, 2 straturi de membrană hidroizolantă, șapă de protecție, adeziv, granit fiamat;
  - c. planșeu în contact cu exteriorul (cota= + 1,26 aflată la 3,05 m față de cota terenului amenajat – Fig. 5.2.c.):
    - tavan placat cu bond, polistiren extrudat 20 cm, placă din beton armat, șapă suport, pardoseală din parchet.

Peretele cortină de la nivelul ultimului nivel, retras, precum și o parte din pereții orientați spre sud-vest și sud-est sunt protejați printr-un sistem de umbrire cu lamele din aluminiu fixe de culoare gri deschis (Fig. 5.4.a și b).



Fig. 5.4 – a. Brise-soleil fix, pe fațadele de sud-est și sud-vest [64]; b. Copertină – etaj retras [83]

Introducând datele inițiale în programul de calcul PHPP, rezultă necesarul de energie pentru încălzire de 47 kWh/m<sup>2</sup>an, necesarul de energie pentru răcire de 43 kWh/m<sup>2</sup>an și o frecvență a supraîncălzirii de 32% (Fig. 5.5).

Specific Space Heat Demand:	47	kWh/(m <sup>2</sup> a)
Pressurization Test Result:	0.6	h <sup>-1</sup>
Heating Load:	32	W/m <sup>2</sup>
Frequency of Overheating:		%
Specific Useful Cooling Energy Demand:	43	kWh/(m <sup>2</sup> a)
Cooling Load:	17	W/m <sup>2</sup>

Fig. 5.5 – Valori ale parametrilor energetici ai clădirii calculate cu programul PHPP

### 5.3 IPOTEZA 1: INTRODUCEREA UNUI SISTEM DE UMBRIRE MOBIL

Având ca date de plecare datele inițiale ale clădirii și înlocuind sistemul de umbrire existent cu un sistem de umbrire cu lamele mobile ajustabile lunar, aplicat pe fațadele de sud-vest și sud-est, se calculează performanța energetică a clădirii Centris cu acest nou set de soluții pentru anvelopă. Pe baza metodei grafice (Fig. 5.6) se determină unghiul pe care trebuie să îl aibă lamelele față de orizontală pentru a satisface necesarul de umbrire definit de factorul de utilizare a radiației solare (Tab. 5.1).

Tab. 5.1 – Unghiurile de umbrire calculate, necesare lunar

	Ian.	Feb.	Mar.	Apr.	Mai	Iun.	Iul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
Factor de utiliz. a rad. solare [%]	100	100	96	77	33	10	0	0	31	78	99	100
Necesar de umbrire [%]	0	0	4	23	67	90	100	100	66	22	1	0
Unghi [°]	-15	-18	-21	-15	5	13	29	37	15	-7	-9	-10

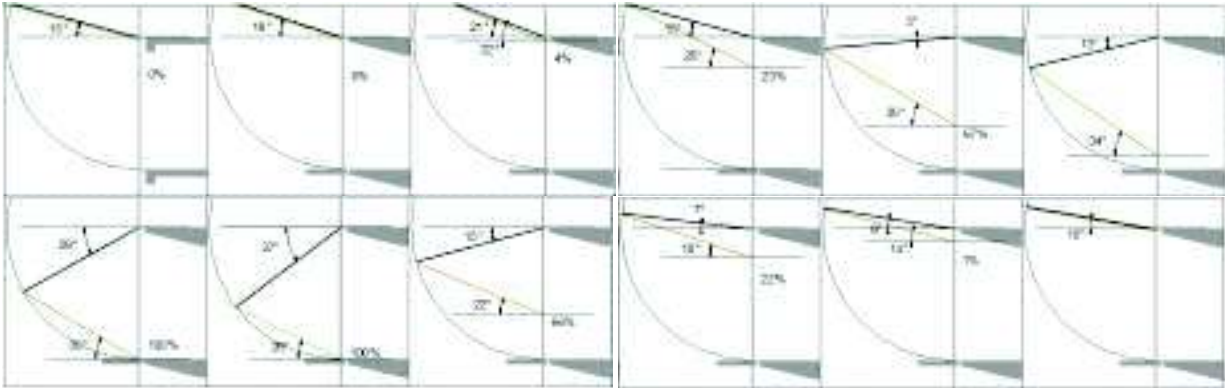


Fig. 5.6 – Determinarea unghiului de umbrire necesar lunar prin metoda grafică

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Year	
Heating Degree Hours	17.5	14.2	12.4	7.8	3.3	0.6	-0.8	-0.3	3.9	8.1	11.7	16.7	95	kWh
Heating Degree Hours	11.3	11.4	12.3	10.1	7.1	3.7	1.3	-0.1	0.6	2.5	5.3	8.6	74	kWh
Losses - Exterior	34867	28321	24728	15474	6517	1275	-1627	-599	7827	16066	23264	33237	189352	kWh
Losses - Ground	4538	4583	4949	4060	2850	1509	504	-32	250	1012	2122	3483	29828	kWh
Sum Spec. Losses	23.2	19.4	17.5	11.5	5.5	1.6	-0.7	-0.4	4.8	10.1	15.0	21.6	129.2	kWh/m <sup>2</sup>
Solar Gains - North	966	1428	2450	3175	4252	4780	4693	4065	2875	1953	1124	856	32617	kWh
Solar Gains - East	1298	1787	3173	4376	6195	6558	6801	5565	3743	2540	1175	960	44170	kWh
Solar Gains - South	2591	3161	4057	4154	4648	4534	4836	4899	4374	3988	2238	2019	45498	kWh
Solar Gains - West	6509	8233	10966	11277	12287	12491	12897	13559	12083	10527	6055	5283	122168	kWh
Solar Gains - Horiz.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	kWh
Solar Gains - Opaque	61	80	119	139	172	181	185	171	135	106	58	49	1456	kWh
Internal Heat Gains	4419	3991	4419	4276	4419	4276	4419	4419	4276	4419	4276	4419	52030	kWh
Sum Spec. Gains Solar	9.3	11.0	14.8	16.1	18.8	19.3	19.9	19.3	16.2	13.9	8.8	8.0	175.6	kWh/m <sup>2</sup>
Utilization Factor	100%	99%	93%	69%	29%	8%	0%	0%	29%	70%	99%	100%	47%	
Annual Heat Demand	23580	14392	6202	594	1	0	0	0	1	567	10623	23144	79102	kWh
Spec. Heat Demand	<b>13.9</b>	<b>8.5</b>	<b>3.7</b>	<b>0.3</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.3</b>	<b>6.3</b>	<b>13.6</b>	<b>46.6</b>	kWh/m <sup>2</sup>

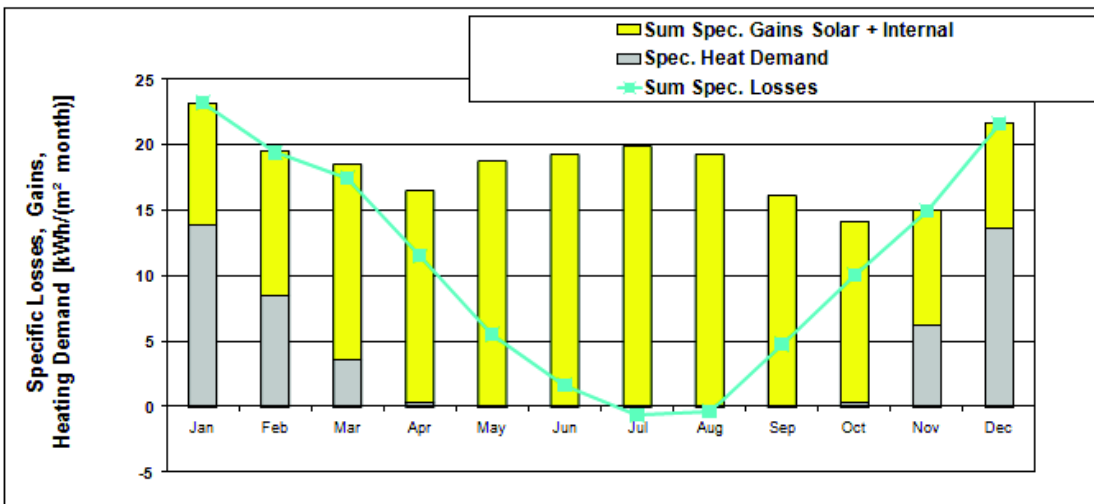


Fig. 5.7 – Evaluarea necesarului de energie pentru încălzire fără sisteme de umbrire

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Heating Degree Hours	17.5	14.2	12.4	7.8	3.3	0.6	-0.8	-0.3	3.9	8.1	11.7	16.7
Heating Degree Hours	11.3	11.4	12.3	10.1	7.1	3.7	1.3	-0.1	0.6	2.5	5.3	8.6
Losses - Exterior	34867	28321	24728	15474	6517	1275	-1627	-599	7827	16066	23264	33237
Losses - Ground	4538	4583	4349	4060	2850	1509	504	-32	250	1012	2122	3483
Sum Spec. Losses	23.2	19.4	17.5	11.5	5.5	1.6	-0.7	-0.4	4.8	10.1	15.0	21.6
Solar Gains - North	699	1386	1902	2354	2646	2222	1177	66933	1199	1338	791	606
Solar Gains - East	1190	2208	3120	4101	4824	3703	1729	105385	1866	2191	1042	857
Solar Gains - South	2395	3685	3933	3870	3705	2697	520	48416	2295	3468	1991	1806
Solar Gains - West	4926	8096	8844	8717	8044	6019	1446	135001	5118	7560	4456	3910
Solar Gains - Horiz.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Solar Gains - Opaque	61	80	119	139	172	181	185	171	135	106	58	49
Internal Heat Gains	4419	3991	4419	4276	4419	4276	4419	4419	4276	4419	4276	4419
Sum Spec. Gains Solar	8.1	11.5	13.2	13.8	14.0	11.3	5.6	212.3	54%	82%	100%	100%
Utilization Factor	100%	99%	96%	78%	39%	15%	0%	0%	56	1442	12824	25077
Annual Heat Demand	25732	13678	8224	1223	10	0	0	0	0.0	0.8	7.6	14.8
Spec. Heat Demand	15.2	8.1	4.8	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	7.6	14.8

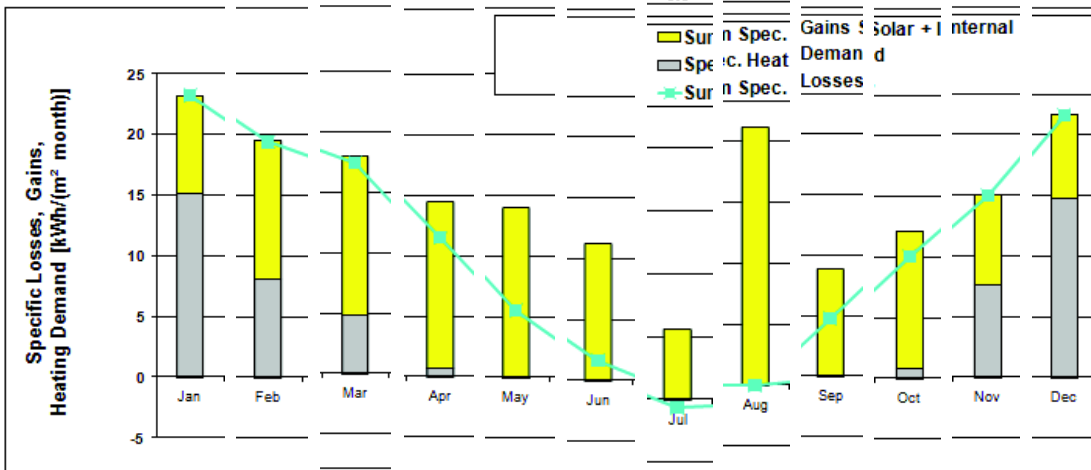


Fig. 5.8 – Evaluarea necesarului de energie pentru încălzire cu sistem de umbră mobil

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Year
Heating Degree Hours	21.2	17.8	16.1	11.3	6.9	4.2	2.9	3.4	7.5	11.8	15.3	20.4	139
Heating Degree Hours	15.0	14.7	16.0	13.7	10.8	7.3	5.0	3.6	4.2	6.2	8.9	12.4	118
Losses - Exterior	76293	63146	57905	40755	24990	15102	10270	12134	26976	42309	54908	73348	498136
Losses - Ground	3256	3203	3478	2972	2346	1596	1080	791	917	1354	1927	2687	25608
Losses Summer Ventil.	0	0	0	0	4623	3545	3131	3315	4763	0	0	0	19378
Sum Spec. Heat Losses	46.9	39.1	36.2	25.8	18.8	11.9	8.5	9.6	19.2	25.7	33.5	44.8	320.0
Solar Load North	1039	1535	2634	3413	4570	5139	5044	4369	3091	2099	1209	920	35061
Solar Load East	1832	2523	4480	6178	8746	9258	9602	7856	5284	3586	1659	1356	62358
Solar Load South	2382	2907	3731	3820	4274	4169	4447	4505	4022	3667	2058	1857	41840
Solar Load West	6755	8544	11381	11703	12751	12963	13383	14070	12539	10925	6284	5482	126781
Solar Load Horiz.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Solar Load Opaque	61	80	119	139	172	181	185	171	135	106	58	49	1456
Internal Heat Gains	4419	3991	4419	4276	4419	4276	4419	4419	4276	4419	4276	4419	52030
Sum Spec. Loads Solar	9.7	11.5	15.8	17.4	20.6	21.2	21.9	20.9	17.3	14.6	9.2	8.3	188.3
Utilization Factor Losses	21%	29%	43%	64%	86%	97%	99%	99%	78%	55%	27%	14%	45%
Useful Cooling Energy	8	46	315	1717	7505	16369	22713	19384	3973	795	26	4	72858
Spec. Cooling Demand	0.0	0.0	0.2	1.0	4.4	9.6	13.4	11.4	2.3	0.5	0.0	0.0	42.9

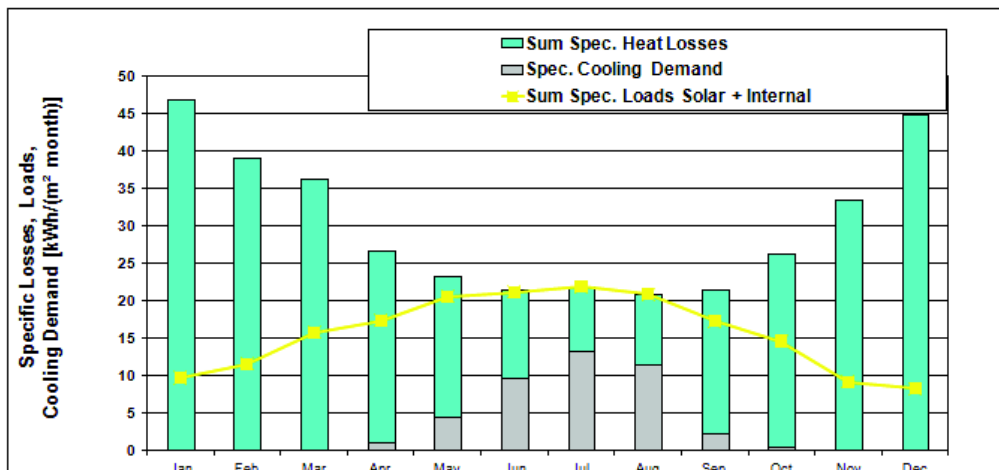


Fig. 5.9 – Evaluarea necesarului de energie pentru răcire fără sistem de umbră

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Heating Degree Hours	21.2	17.6	16.1	11.3	6.9	4.2	2.9	3.4	7.5	11.8	15.3	20.4
Heating Degree Hours	15.0	14.7	16.0	13.7	10.8	7.3	5.0	3.6	4.2	6.2	8.9	12.4
Losses - Exterior	76293	63146	57905	40755	24990	15102	10270	12134	26976	42309	54908	73348
Losses - Ground	3256	3203	3478	2972	2346	1596	1080	791	917	1354	1927	2687
Losses Summer Ventil.	0	0	0	0	4623	3545	3131	3315	4763	0	0	0
Sum Spec. Heat Losses	46.9	39.1	36.2	25.8	18.8	11.9	8.5	9.6	19.2	25.7	33.5	44.8
Solar Load North	718	1539	2006	2439	2639	2290	1232	1448	1277	1354	806	618
Solar Load East	1203	2452	3252	4183	4658	3611	1495	2056	1873	2168	1040	857
Solar Load South	1605	3892	2880	2650	2181	1584	950	1290	1418	2177	1281	1170
Solar Load West	3735	8679	7229	6761	5510	4078	1918	3100	3608	5467	3288	2900
Solar Load Horiz.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Solar Load Opaque	61	80	119	139	172	181	185	171	135	106	58	49
Internal Heat Gains	4419	3991	4419	4276	4419	4276	4419	4419	4276	4419	4276	4419
Sum Spec. Loads Solar + Internal	6.9	12.2	11.7	12.0	11.5	9.4	6.0	7.4	7.4	9.2	6.3	5.9
Utilisation Factor Losses	15%	31%	32%	46%	59%	72%	66%	70%	38%	36%	19%	13%
Useful Cooling Energy	1	61	70	317	820	1525	695	1091	90	85	4	1
Spec. Cooling Demand	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.2</b>	<b>0.5</b>	<b>0.9</b>	<b>0.4</b>	<b>0.6</b>	<b>0.1</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>

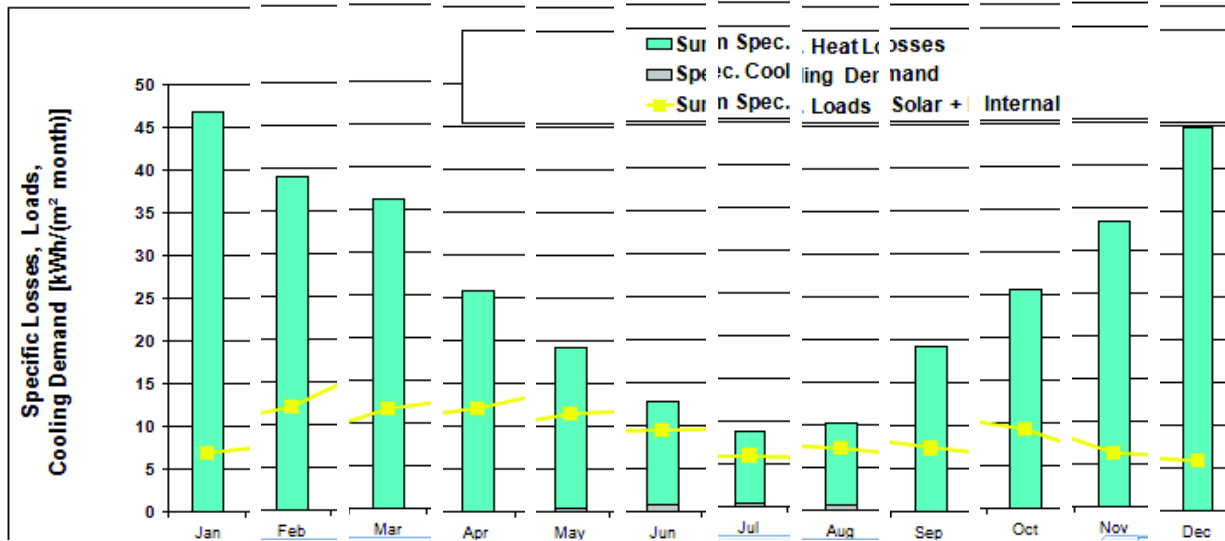


Fig. 5.10 – Evaluarea necesarului de energie pentru răcire cu sistem de umbrire mobil

În urma calculului efectuat în acest caz (cu sistem de umbrire mobil) rezultă un consum de energie pentru încălzire de 52 kWh/m<sup>2</sup>an (Fig. 5.8), respectiv o creștere de 10.38% față de cazul clădirii în situația existentă (Fig. 5.7) din cauza blocării unei părți a radiației solare. În schimb, consumul de energie pentru răcire scade de la 43 kWh/m<sup>2</sup>an (Fig. 5.9) la **2,7 kWh/m<sup>2</sup>an** (Fig. 5.10), deci cu 93.72%.

Mai mult, dacă se consideră închiderea totală a lamelelor în timpul nopților reci, se poate obține o reducere a pierderilor de căldură de 14,92 kWh/m<sup>2</sup>an (de la 52 kWh/m<sup>2</sup>an la 37,08 kWh/m<sup>2</sup>an, reprezentând 28.70%), în cazul utilizării lamelelor din lemn (Tab. 5.2). Astfel, se poate înregistra și în acest caz o reducere netă de 19.58% (de la 47 kWh/m<sup>2</sup>an la 37.08 kWh/m<sup>2</sup>an) a consumului de energie pentru încălzire.

În cazul lamelelor din lemn izolate cu aerogel 5 mm (Tab. 5.3), pierderile de căldură pentru încălzire scad la **29,6 kWh/m<sup>2</sup>an** (o economie de 22,4 kWh/m<sup>2</sup>an), reprezentând o reducere de 37.02% față de consumul clădirii reale (47 kWh/m<sup>2</sup>an).

Tab. 5.2 – Reducerea pierderilor de căldură prin închiderea **lamelelor din lemn** pe timpul nopții

	Ian.	Feb.	Mar.	Apr.	Mai	Iun.	Iul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Total
Ore însorire [h]	8,9	10,28	11,83	13,58	15,05	15,88	15,55	14,25	12,6	10,93	9,36	8,53	
Pierderi de căldură prin contact cu solul [kWh]	4538	4538	4949	4060	2850	1509	504	-32	250	1012	2122	3483	
Pierderi de căldură specifice fără sistem de umbrire [kWh/m <sup>2</sup> ] (P1)	<b>23,2</b>	<b>19,4</b>	<b>17,5</b>	<b>11,5</b>	<b>5,5</b>	<b>1,6</b>	<b>-0,7</b>	<b>-0,4</b>	<b>4,8</b>	<b>10,1</b>	<b>15</b>	<b>21,6</b>	<b>129,1</b>
Pierderi de căldură către mediul ambiant fără sistem de umbrire [kWh]	34867	28321	24728	15474	6517	1275	-1627	-599	7827	16066	23264	33237	
Pierderi de căldură către mediul ambiant cu închiderea totală a parasolarelor [kWh]	26602	21619	18893	11837	5012	1011	-1196	-415	5996	12273	17753	25360	
Pierd. căld.spre med.ambiant cu înch. parasol. noaptea [kWh]	29667	24490	21769	13895	5956	1186	-1475	-524	6957	14000	19902	28160	
Pierderi de căldură specifice cu sistem de umbrire [kWh/m <sup>2</sup> ] (P2)	<b>20,16</b>	<b>17,11</b>	<b>15,74</b>	<b>10,58</b>	<b>5,19</b>	<b>1,59</b>	<b>-0,57</b>	<b>-0,33</b>	<b>4,25</b>	<b>8,85</b>	<b>12,98</b>	<b>18,65</b>	<b>114,2</b>
<b>Red.pierd. specif prin închiderea parasolarelor noaptea [kWh/m<sup>2</sup>] (P3=P1-P2)</b>	<b>3,044</b>	<b>2,2952</b>	<b>1,756</b>	<b>0,920</b>	<b>0,311</b>	<b>0,012</b>	<b>-0,128</b>	<b>0,072</b>	<b>0,553</b>	<b>1,254</b>	<b>2,022</b>	<b>2,954</b>	<b>14,92</b>

Tab. 5.3 – Reducerea pierderilor de căldură prin închiderea lamelelor din lemn izolate cu aerogel pe timpul nopții

	Ian.	Feb.	Mar.	Apr.	Mai	Iun.	Iul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Total
Ore de însorire [h]	<b>8,9</b>	10,28	11,83	13,58	15,05	15,88	15,55	14,25	12,6	10,93	9,36	8,53	
Pierd. de căld. prin contact cu solul [kWh]	4538	4538	4949	4060	2850	1509	504	-32	250	1012	2122	3483	
Pierderi de căldură	<b>23,2</b>	<b>19,4</b>	<b>17,5</b>	<b>11,5</b>	<b>5,5</b>	<b>1,6</b>	<b>-0,7</b>	<b>-0,4</b>	<b>4,8</b>	<b>10,1</b>	<b>15</b>	<b>21,6</b>	<b>129,1</b>

specifice fără sistem de umbrire [kWh/m <sup>2</sup> ] (P1)														
Pierd.de căld. către mediu fără sistem de umbrire [kWh]	34867	28321	24728	15474	6517	1275	-1627	-599	7827	6066	23264	33237		
Pierd. de căld. către mediu cu înch. totală a parasol. [kWh]	22470	18268	15975	10018	4259	879	-981	-323	5080	0376	14997	21421		
Pierd. de căld. către mediu cu înch. parasolarelor noaptea [kWh]	27067	22574	20289	13105	5675	1141	-1400	-487	6522	2967	8221	25621		
Pierd. de căld. specif. cu sist. de umbrire [kWh/m <sup>2</sup> ] (P2)	18,62	15,98	14,87	10,12	5,024	1,56	-0,53	-0,31	3,9	8,24	11,99	17,15	06,71	
Red.pierd. specif. prin închid.parasol.noaptea [kWh/m <sup>2</sup> ] (P3=P1-P2)	4,576	3,424	2,628	1,385	0,476	0,038	-0,172	-0,094	0,809	1,862	3,012	4,450	22,39	

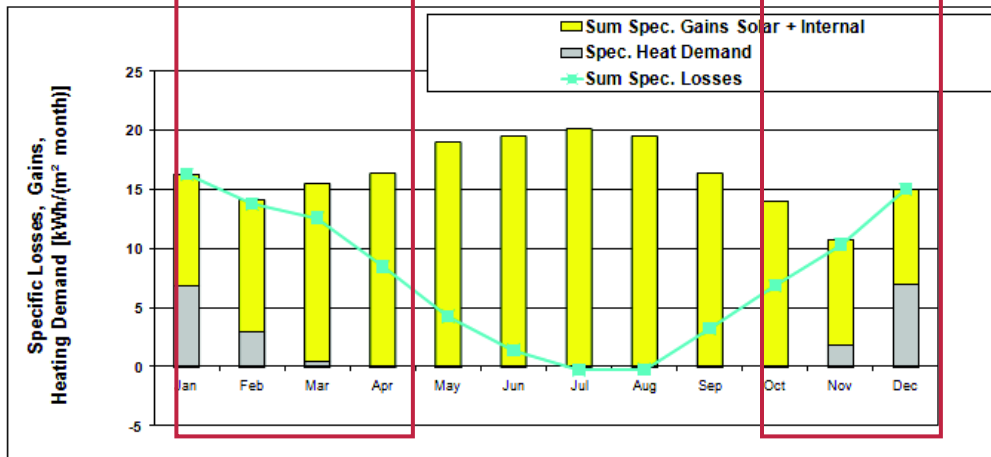
#### 5.4 IPOTEZA 2: VITRAJ CU PERNE DE AER ETFE

Se recalculează performanța energetică a clădirii de birouri Centris considerându-se că vitrajul este înlocuit cu perne de aer ETFE cu 4 camere, care se pot umfla sau dezumfla pentru optimizarea consumului de energie pentru încălzire și răcire. Se fac diferite simulări în care valoarea transmitanței termice U și a transmitanței energiei solare pentru elementele transparente variază în funcție de condițiile mediului interior și exterior. Astfel, în programul PHPP se fac calcule separate pentru cazurile în care sistemul are:

- patru camere cu aer –  $U = 1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$  și  $g = 0,71$  (scenariu în care sistemul de anvelopă are transmitanța termică minimă oferind o izolare mai bună pentru perioada iernii și factorul de transmisie a energiei solare maxim pentru un aport maxim al radiației solare la încălzirea spațiului interior);
- o cameră cu aer –  $U = 2 \text{ W/m}^2\text{K}$  și  $g = 0,22$  (scenariu în care sistemul de anvelopă are transmitanța termică moderată și factorul de transmisie a energiei solare minim pentru limitarea perioadelor de supraîncălzire în zilele de vară);
- camere fără aer –  $U = 5,6 \text{ W/m}^2\text{K}$  și  $g = 0,22$  (scenariu în care sistemul de anvelopă are transmitanța termică maximă în timpul nopților de vară pentru eliminarea căldurii acumulare în timpul zilei).



	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Year
Heating Degree Hours	17.6	14.3	12.5	7.8	3.3	0.7	-0.8	-0.3	4.0	8.1	11.7	16.7	96
Heating Degree Hours	11.3	11.4	12.3	10.1	7.1	3.7	1.3	-0.1	0.6	2.5	5.3	8.6	74
Losses - Exterior	23133	18806	16443	10310	4380	900	-1015	-337	5227	0680	15440	22053	126019
Losses - Ground	538	4583	4349	4060	2850	1509	504	-32	250	1012	2122	3483	29828
Sum Spec. Losses	16.3	13.8	12.6	8.5	4.3	1.4	-0.3	-0.2	3.2	6.9	10.3	15.0	91.8
Solar Gains - North	980	1449	2485	3220	4313	4849	4760	4123	2916	1980	1140	868	33083
Solar Gains - East	1316	1812	3218	4439	6283	6651	6898	5644	3797	2576	1192	974	44801
Solar Gains - South	628	3207	4115	4213	4715	4539	4905	4969	4436	4045	2270	2048	46148
Solar Gains - West	602	8351	11123	11438	12463	12670	13081	13752	12255	10678	6142	5358	123913
Solar Gains - Horiz.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Solar Gains - Opaque	61	80	119	139	172	181	185	171	135	106	58	49	1456
Internal Heat Gains	4419	3991	4419	4276	4419	4276	4419	4419	4276	4419	4276	4419	52030
Sum Spec. Gains Solar	9.4	11.1	15.0	16.3	19.1	19.6	20.2	19.5	16.4	14.0	8.9	8.1	177.6
Utilization Factor	00%	97%	81%	52%	22%	7%	0%	0%	20%	49%	96%	100%	41%
Annual Heat Demand	1710	5082	837	17	0	0	0	0	0	9	3156	11842	32652
Spec. Heat Demand	6.9	3.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.9	7.0	19.2



	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Year
Heating Degree Hours	21.2	17.6	16.1	11.3	7.0	4.2	2.9	3.4	7.5	11.8	15.3	20.4	139
Heating Degree Hours	15.0	14.7	16.0	13.7	10.8	7.3	5.0	3.6	4.2	6.2	8.9	12.4	118
Losses - Exterior	62060	51374	47121	33172	20353	12308	8382	9897	21957	34424	44665	59665	405378
Losses - Ground	3256	3203	3478	2972	2346	1596	1080	791	917	1354	1927	2687	25608
Losses Summer Ventil.	0	0	0	3561	4893	3721	3272	3470	5057	3482	0	0	27456
Sum Spec. Heat Losses	38.5	32.2	29.8	23.4	16.3	10.4	7.5	8.3	16.5	23.1	27.5	36.7	270.1
Solar Load North	1054	1557	2671	3461	4636	5212	5116	4432	3195	2129	1226	933	35562
Solar Load East	1858	2559	4544	6266	8870	9390	9739	7968	5360	3637	1683	1375	63249
Solar Load South	2416	2949	3784	3874	4336	4229	4511	4569	4080	3720	2087	1883	42437
Solar Load West	6851	8666	11543	11870	12933	13148	13575	14271	12718	11081	6374	5561	128592
Solar Load Horiz.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Solar Load Opaque	61	80	119	139	172	181	185	171	135	106	58	49	1456
Internal Heat Gains	4419	3991	4419	4276	4419	4276	4419	4419	4276	4419	4276	4419	52030
Sum Spec. Loads Solar	9.8	11.7	16.0	17.6	20.8	21.5	22.1	21.1	17.5	14.8	9.3	8.4	190.5
Utilization Factor Losses	25%	36%	53%	71%	93%	99%	100%	100%	87%	62%	34%	23%	52%
Useful Cooling Energy	7	50	423	1867	9734	18986	24834	21728	5407	834	28	3	83901
Spec. Cooling Demand	0.0	0.0	0.2	1.1	5.7	11.2	14.6	12.8	3.2	0.5	0.0	0.0	49.4

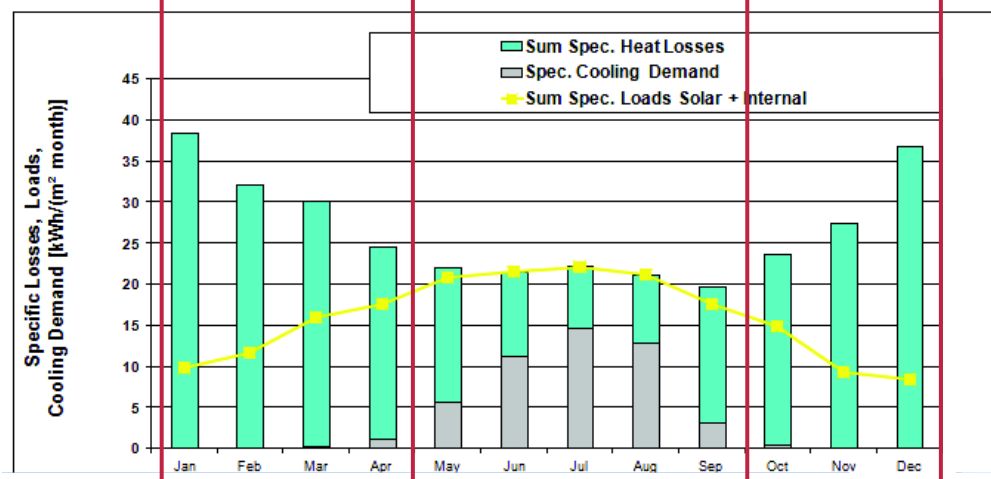


Fig. 5.11 – Consum de energie pentru încălzire și răcire în cazul vitrajului cu perne de aer ETFE cu 4 camere

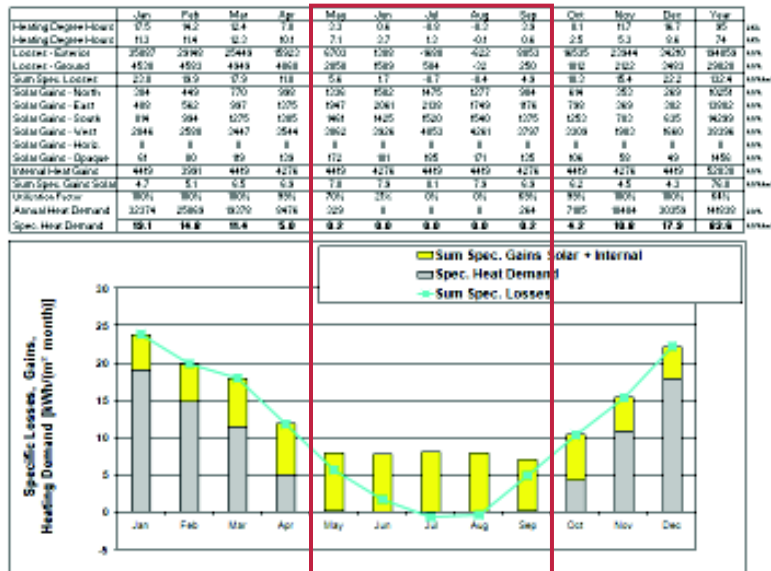


Fig. 5.12 – Consum de energie pentru încălzire și răcire în cazul vitrajului cu perne de aer ETFE cu o cameră

Tab. 5.4 – Consum de energie pentru încălzire și răcire în cazul aplicării scenariilor A&B

	Ian	Feb	Mar	Apr	Mai	Iun	Iul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Scenariul A	<b>6,93</b>	<b>3,0</b>	<b>0,7</b>	<b>1,1</b>	<b>5,7</b>	<b>11,2</b>	<b>14,6</b>	<b>12,8</b>	<b>3,2</b>	<b>0,5</b>	<b>1,9</b>	<b>7,0</b>
Scenariul B	19,1	14,8	11,4	5,0	<b>0,3</b>	<b>0,6</b>	<b>1,6</b>	<b>1,1</b>	<b>0,2</b>	4,2	10,8	17,9
Scenariul A&B	6,93	3,0	0,7	1,1	0,3	0,6	1,6	1,1	0,2	0,5	1,9	7,0

Analizând valorile pentru consumurile de energie pentru încălzirea și răcirea clădirii pentru fiecare lună a anului pentru ambele scenarii A (Fig. 5.11) și B (Fig. 5.12) și, alegând consumurile lunare de energie cele mai mici, se determină intervalele de timp pentru activarea fiecărui scenariu (Tab. 5.4). Astfel, pentru perioada octombrie-aprilie se alege scenariul A (perne ETFE cu 4 camere de aer), iar pentru perioada mai-septembrie se alege scenariul B (perne ETFE cu o cameră de aer). În cazul aplicării combinate a scenariilor A și B se obține o valoare a consumului de energie pentru încălzire și răcire a clădirii de **24,93 kWh/m<sup>2</sup>an** din care:

- consum de energie pentru încălzire: 19,3 kWh/m<sup>2</sup>an;
- consum de energie pentru răcire: 5,63 kWh/m<sup>2</sup>an.

În cazul dezumflării totale a pernelor de aer pe timpul nopților din perioada verii (scenariul C) cresc pierderile de căldură prin fațadă în timpul nopților de vară, obținându-se o economie de energie pentru consumul de energie pentru răcire de 5,1 kWh/m<sup>2</sup>an (Tab. 5.5) care reprezintă o reducere de 90% față de cazul scenariului A&B.

Tab. 5.5 – Reducerea necesarului de energie pentru răcire prin adăugarea scenariului C la scenariul A&B

	Ian.	Feb.	Mar.	Apr.	Mai	Iun.	Iul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Tot.
Pierd. de căld. spre mediul ambiant [kWh]	123324	102046	93540	65810	40310	24334	16506	19527	43561	68365	88754	118563	
Pierd. de căld. prin contact cu solul [kWh]	3256	3203	3478	2972	2346	1596	1080	791	917	1354	1927	2687	
Pierd. de căldură specifice prin dezumflarea totală a pernelor de aer [kWh/m <sup>2</sup> ] (P1)	74,59	62,02	57,17	40,53	25,14	15,28	10,36	11,97	26,21	41,08	53,44	71,45	<b>489,24</b>
Pierd. de căld. specif. în cazul scenariilor A & B [kWh/m <sup>2</sup> ] (P2)	38,5	32,2	29,8	23,4	8,3	8,5	8,7	8,4	7,2	23,1	27,5	36,7	<b>252,3</b>
Pierd. de căld. specifice suplim. prin dezumflarea totală a pernelor de aer [kWh/m <sup>2</sup> ] (P3= P1-P2)	36,09	29,82	27,37	17,13	16,84	6,78	1,66	3,57	19,01	17,98	25,94	34,75	<b>236,94</b>
Nec. de energ. pt răcire în cazul scenariilor A&B [kWh/m <sup>2</sup> ]	0	0	0,2	1	0,1	0,6	1,6	1,1	0	0,5	0	0	
<b>Red. neces. de energ.pt.răcire prin aplicarea scenariului C [kWh/m<sup>2</sup>]</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0,2</b>	<b>1</b>	<b>0,1</b>	<b>0,6</b>	<b>1,6</b>	<b>1,1</b>	<b>0</b>	<b>0,5</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>5,1</b>

Prin combinarea celor trei scenarii, A,B și C, valorile consumului de energie vor fi:

- **19,3 kWh/m<sup>2</sup>an** pentru încălzire;
- **0,53 kWh/m<sup>2</sup>an** pentru răcire.

Astfel, prin înlocuirea vitrajului cu un sistem cu perne de aer ETFE *cu 4 camere, în perioada octombrie – martie* (scenariul A, care conferă o rezistență termică mai ridicată suprafețelor transparente ale anvelopei) și *cu o singură cameră în perioada aprilie-septembrie* (scenariul B) cu *posibilitatea dezumflării totale în nopțile de vară* (scenariul C, care permite eliminarea căldurii din spațiul interior), necesarul de energie pentru încălzire scade cu 58.94%, iar necesarul de energie pentru răcire cu 98.77% (Fig. 5.13).

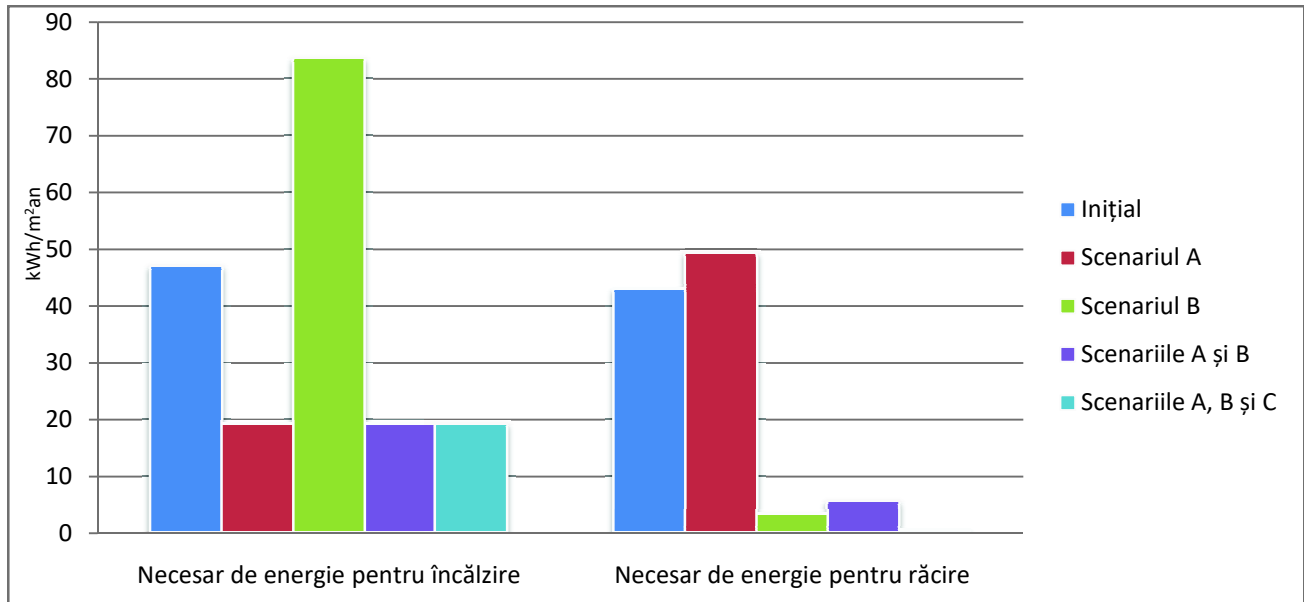


Fig. 5.13 – Graficul necesarului de energie pentru încălzire și răcire în cazul aplicării scenariilor propuse

## 5.5 IPOTEZA 3: INTEGRAREA UNOR SURSE DE ENERGIE REGENERABILĂ

### 5.5.1 Umbrire mobilă cu celule fotovoltaice

Utilizând programul SolarPro pentru fațadele spre sud-vest și sud-est ale clădirii de birouri Centris se calculează energia obținută prin integrarea unor panouri fotovoltaice în elementele orizontale ale sistemului de umbrire mobil. Panourile fotovoltaice au același unghi de înclinare cu cel al lamelelor, modificându-și poziția lunar. Din baza de date a programului s-au ales panouri fotovoltaice Solar-Fabrik, SF 125-120, cu dimensiunile de 1,485/0,663 m și capacitate de 120W. S-a ales acest tip pentru a însuma o lățime cât mai apropiată de cea rezultată ca necesară din calcul, de 1,45m (Fig. 14), cu o capacitate cât mai mare. Pe fațada sud-vestică la nivelul vitrajului fiecărui etaj sistemul este aranjat într-o configurație de două rânduri și între 3 și 24 coloane (în funcție de lățimea vitrajului) de module fotovoltaice, cu o dimensiune totală de:

- înălțime:  $2 \times 0,663 = 1,326$  m
- lățime variabilă: între  $3 \times 1,485 = 4,455$  m și  $24 \times 1,485 = 35,64$  m.

Pe fațada sud-estică la nivelul vitrajului fiecărui etaj sistemul este aranjat într-o configurație de două rânduri și între 2 și 6 coloane (în funcție de lățimea vitrajului) de module fotovoltaice, cu o dimensiune totală de:

- înălțime:  $2 \times 0,663 = 1,326\text{m}$
- lățime variabilă: între  $2 \times 1,485 = 2,97\text{m}$  și  $6 \times 1,485 = 8,91\text{m}$ .

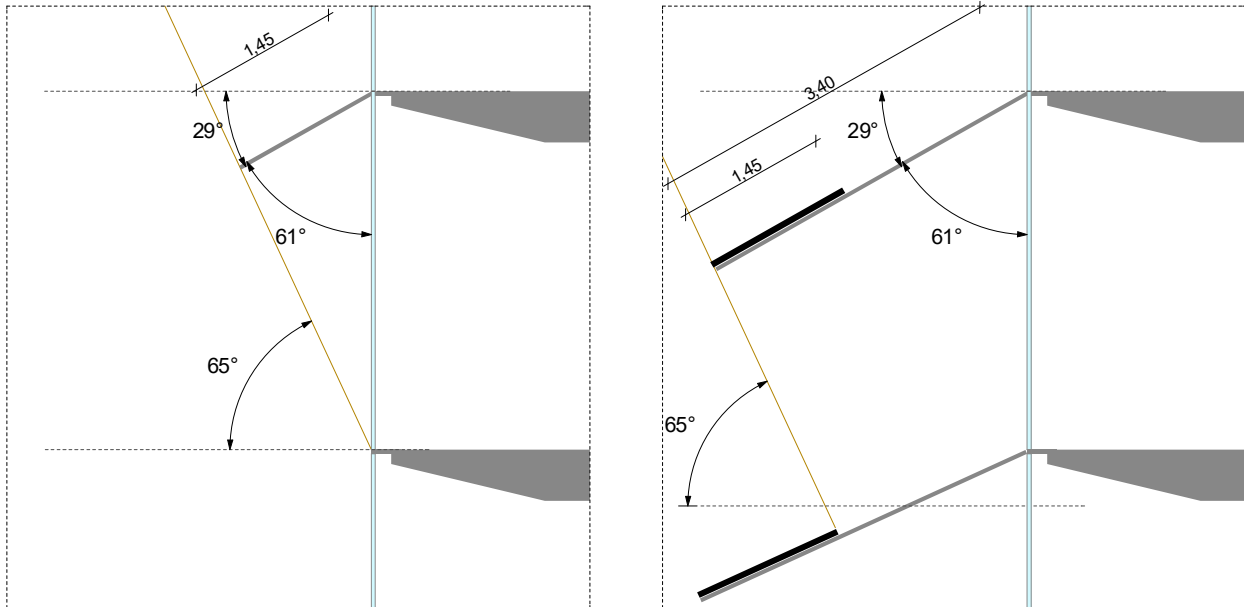


Fig. 5.14 –Proiectarea geometriei panourilor PV integrate în sistemul de umbrire mobil

Tab. 5.6 – Energia produsă lunar în funcție de unghiul de înclinare al panourilor fotovoltaice

	lan.	Feb.	Mar.	Apr.	Mai	Iun.	Iul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Total
Unghi de înclinare [°]	1	1	1	1	5	13	29	37	15	1	1	1	
Energie AC Fațada SV [kWh]	388,3	503,0	779,5	916,3	1136,8	1166,9	1206,4	1176,0	949,9	612,4	328,3	279,6	<b>9443,4</b>
Energie AC Fațada SE [kWh]	110,3	144,9	222,7	256,8	311,5	320,3	330,2	327,5	270,4	176,7	92,9	78,1	<b>2642,3</b>

Pentru lunile în care unghiul de înclinare este negativ se consideră pentru panourile fotovoltaice o înclinare minimă ( $1^\circ$ ). Energia produsă anual este de 9 443,28 kWh pe fațada sud-vestică și 2 642,26 kWh pe fațada sud-estică (Tab. 5.6), **totalizând 12 085,54 kWh**. Considerând că și pe acoperișul terasă necirculabil se pot instala 33 de panouri fotovoltaice Solar-Fabrik, SF 125-120, înclinate la  $45^\circ$  și orientate spre sud (Fig. 5.15) pentru a obține o eficiență maximă, valoarea energiei solare colectate crește cu 4255,79 kWh, ajungând astfel la un **total de 16 341,33 kWh** (Fig. 5.16).

**Energia produsă** de panourile PV poate conduce la o **economie de energie** pentru încălzire și răcire de  $9,63 \text{ kWh/m}^2\text{an}$ . **Consumul total de energie** pentru răcire și încălzire scade astfel de la  $32,3 \text{ kWh/m}^2\text{an}$  la  $22,67 \text{ kWh/m}^2\text{an}$  (cu 29,81%).

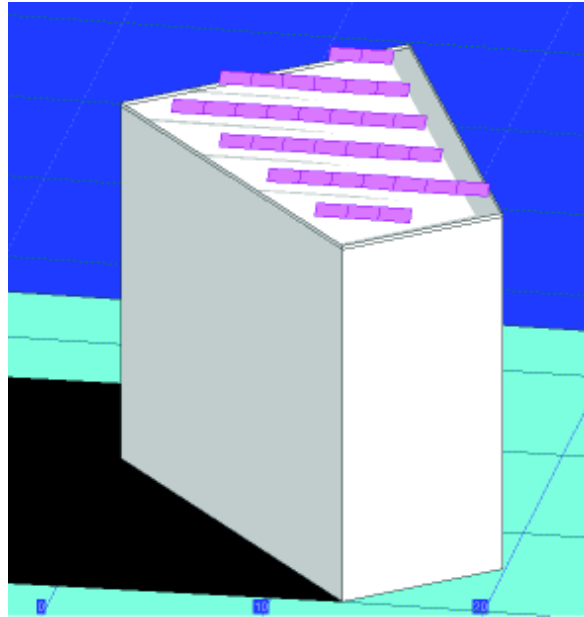


Fig. 5.15 – Amplasarea panourilor fotovoltaice pe acoperișul terasă necircular

Month	Total In (kWh/m <sup>2</sup> )	Direct In (kWh/m <sup>2</sup> )	Diffuse In (kWh/m <sup>2</sup> )	Reflected In (kWh/m <sup>2</sup> )	Horizontal In (kWh/m <sup>2</sup> )	PV Energy (kWh)	AC Energy (kWh)	PV Voltage (V)	PV Current (A)	PV Temperature (°C)	Air Temperature (°C)	System Output Coef (%)	PV Efficiency (%)	Specific PV Energy (kWh/m <sup>2</sup> )	Specific AC Energy (kWh/m <sup>2</sup> )
Jan	65.49	41.12	23.18	1.20	40.92	251.30	218.54	258.26	3.07	-0.06	-4.33	84.26	10.87	58.40	58.19
Feb	75.97	45.13	29.19	1.66	50.58	271.84	236.89	264.58	3.53	3.00	-2.50	85.39	11.01	68.65	64.87
Mar	111.06	63.36	44.90	2.81	96.10	380.11	368.66	257.68	3.96	9.83	2.50	83.61	10.81	98.51	93.10
Apr	129.61	69.57	56.30	3.74	127.00	437.91	413.03	252.72	4.19	16.77	9.93	80.63	10.40	110.55	104.50
May	163.03	88.56	69.33	5.11	174.53	528.10	488.05	247.16	4.64	26.82	16.06	77.30	9.97	133.36	126.02
Jun	165.98	91.88	71.78	5.51	188.10	534.32	504.94	242.81	4.75	31.20	19.68	75.48	9.73	134.93	127.51
Jul	173.40	95.21	72.62	5.57	190.03	539.18	500.52	238.75	4.76	33.38	21.92	74.20	9.57	136.16	128.67
Aug	162.22	82.33	65.04	4.85	165.64	507.42	479.51	239.82	4.88	31.61	20.90	74.66	9.63	129.14	121.09
Sep	131.89	77.55	50.83	3.51	120.00	426.47	403.01	242.00	4.59	25.32	16.32	77.16	9.95	107.69	101.77
Oct	94.34	54.66	37.45	2.21	75.33	319.57	301.04	251.46	3.71	16.29	10.07	80.56	10.39	80.45	76.02
Nov	47.67	23.44	23.17	1.06	36.30	154.67	155.82	251.54	2.19	7.22	3.97	82.44	10.63	41.58	39.33
Dec	44.46	24.31	19.30	0.87	29.76	153.64	145.19	255.07	2.20	1.75	-1.18	82.42	10.63	38.93	36.66
Max Value	173.40	95.21	72.62	5.57	190.03	539.18	500.52	264.36	4.83	33.38	21.92	85.56	11.01	136.16	128.67
Max Term	Jul	Jul	Jul	Jul	Jul	Jul	Jul	Feb	Aug	Jul	Jul	Feb	Feb	Jul	Jul
Min Value															
Sum Value	1.366.17	768.98	563.55	35.12	1.303.97	4.923.48	4.256.79	257.29	3.97	17.10	9.44	78.56	10.13	1.137.24	1.074.69

Fig. 5.16 – Energia colectată de panourile PV amplasate pe acoperișul terasă necircular

### 5.5.2 Perne de aer ETFE cu celule fotovoltaice

Luând în considerare necesarul de umbrire lunar, alegând pentru factorul de transmisie a energiei solare valoarea maximă pentru perioada octombrie-aprilie ( $g = 0,71$ ) și minimă pentru perioada mai-septembrie ( $g = 0,2$ ), care se poate modifica prin umflarea și dezumflarea unei perne de aer ale cărei membrane includ celule fotovoltaice, se calculează energia colectată pentru fiecare perioadă de calcul pentru fațadele de sud-vest și sud-est.

Se consideră amplasarea celulelor fotovoltaice pe 0,29%, respectiv 0,8% din suprafața vitrajului, unghiul de înclinare fiind de  $90^\circ$  (deci în planul fațadei).

Energia colectată anual este de 10 495,8 kWh – Tab. 5.7 (7 423,3 kWh pentru fațada sud-vestică și 3 072,5 kWh pentru fațada sud-estică), contribuind la reducerea consumului de energie pentru încălzire și răcire cu 6,2 kWh/m<sup>2</sup>an.

Astfel, consumul total pentru încălzire și răcire scade de la 19,8 kWh/m<sup>2</sup>an la 13,6 kWh/m<sup>2</sup>an (cu 31,26%)

Tab. 5.7 – Energia produsă lunar de celulele fotovoltaice de pe membranele pernelor de aer ETFE pe fațadele de sud-vest și sud-est

	Ian.	Feb.	Mar.	Apr.	Mai	Iun.	Iul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Total
% din suprafața vitrajului	0,29	0,29	0,29	0,29	0,8%	0,8	0,8	0,8	0,8	0,29	0,29	0,29	
Energie AC S-V [kWh]	495,7	519,2	673,2	688,8	779,7	764,9	783,6	780,3	711,7	582,6	318,3	325,3	<b>7423,3</b>
Energie AC S-E [kWh]	224,1	227,1	283,9	279,6	307,1	296,4	306,0	313,5	296,8	251,7	140,0	146,2	<b>3072,5</b>

### 5.5.3 Comparație sisteme de umbrire fixe - sisteme de umbrire mobile

Pentru a face o comparație între sistemele de umbrire fixe și cele mobile, se introduce modelul 3D și datele clădirii de birouri Centris în programul DesignBuilder care permite simulări cu sisteme de anvelopă dinamice. Sunt considerate 4 variante:

- Clădirea de birouri *fără sisteme de umbrire*;
- Clădirea de birouri *cu un sistem fix de umbrire* care constă în lamele din lemn 50mm, adâncime 85cm, înclinate la 30°, distanțate la 85 cm pe verticală, factor de emisivitate 0,9, absorbție solară 0,78 (Fig. 5.17);
- Clădirea de birouri *cu un sistem mobil de umbrire* cu lamele 1 mm, înclinate la 45°, distanțate la 20 cm pe verticală, factor de emisivitate 0,9, reflectivitate medie 0,5, care se activează atunci când temperatura interioară depășește 24°C;
- Clădirea de birouri *cu un sistem mobil de umbrire* cu lamele 1 mm, înclinate la 45°, distanțate la 20 cm pe verticală, emisivitate 0,9, reflectivitate medie 0,5, conductivitate termică 0,9 W/mK care se activează atunci când spațiul interior se supraîncălzește și se închid în noapțile reci ale iernii.

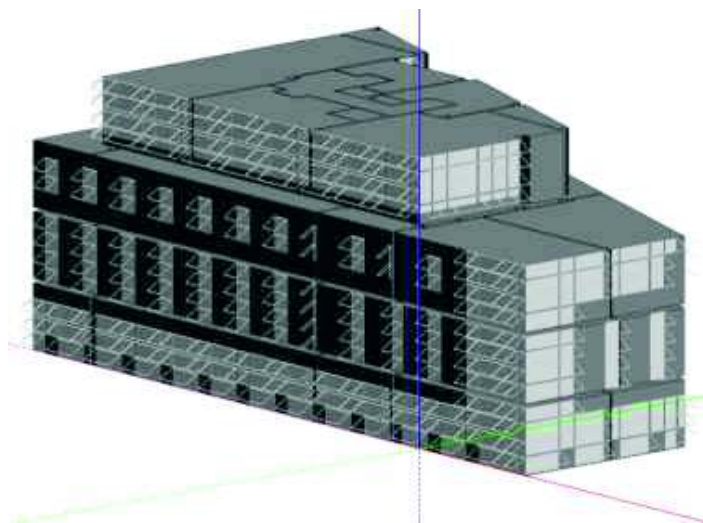


Fig. 5.17 – Clădirea de birouri Centris cu lamele fixe înclinate la 30° – model 3D în programul DesignBuilder

Se analizează trei încăperi ale clădirii cu cele mai mari suprafețe vitrate orientate spre sud-vest, luând în considerare aportul solar semnificativ:

- suprafață vitrată 1 = 8,08 mp;
- suprafață vitrată 2 = 10,66 mp;
- suprafață vitrată 3 = 14,06 mp.

Pentru aceste ferestre se analizează variația radiației solare transmise prin sticlă, respectiv radiația solară directă și indirectă, precum și aportul de căldură prin intermediul vitrajului.

Tab. 5.8 – Radiația solară pentru suprafața vitrată 1 în scenariul A

	SURFACE WINDOW TRANSMITTED SOLAR RADIATION RATE [W]	SURFACE WINDOW TRANSMITTED BEAM SOLAR RADIATION RATE [W]	SURFACE WINDOW TRANSMITTED DIFFUSE SOLAR RADIATION RATE [W]	SURFACE WINDOW HEAT GAIN RATE [W]	SURFACE WINDOW HEAT LOSS RATE [W]
January	464.64	257.94	206.70	422.68	149.10
February	738.68	442.23	288.45	706.37	147.16
March	738.83	363.63	375.19	713.97	109.70
April	768.04	327.54	440.50	750.48	85.73
May	682.49	211.97	470.53	662.11	61.33
June	641.88	161.01	480.87	632.73	51.42
July	651.30	192.82	458.47	654.11	47.54
August	754.62	315.23	439.38	776.22	52.75
September	872.00	469.07	403.94	905.57	73.62
October	767.19	451.72	315.47	782.99	87.87
November	559.38	330.36	229.22	543.79	124.43
December	600.13	402.23	197.89	576.54	154.60
Annual Sum or Average	685.36	326.26	389.11	676.72	89.14
Minimum of Months	464.64	161.01	197.89	422.68	47.54
Maximum of Months	872.00	469.07	480.87	905.57	154.60

Tab. 5.9 – Radiația solară pentru suprafața vitrată 1 în scenariul B

	SURFACE WINDOW TRANSMITTED SOLAR RADIATION RATE [W]	SURFACE WINDOW TRANSMITTED BEAM SOLAR RADIATION RATE [W]	SURFACE WINDOW TRANSMITTED DIFFUSE SOLAR RADIATION RATE [W]	SURFACE WINDOW HEAT GAIN RATE [W]	SURFACE WINDOW HEAT LOSS RATE [W]
January	159.48	66.12	93.36	94.53	142.48
February	240.60	90.28	150.32	176.83	136.89
March	283.37	78.74	204.64	230.06	99.26
April	333.29	64.42	268.87	297.94	72.63
May	353.70	39.39	314.30	333.88	50.37
June	363.69	30.05	333.65	363.20	40.41
July	357.25	36.46	320.79	365.12	35.44
August	352.39	60.00	292.39	362.99	38.74
September	336.15	62.06	244.09	334.64	57.28
October	264.31	83.09	171.22	246.48	74.89
November	187.99	76.28	111.71	142.62	114.01
December	205.13	107.68	97.45	146.82	144.94
Annual Sum or Average	286.62	69.42	217.20	257.74	83.66
Minimum of Months	159.48	30.05	93.36	94.53	35.44
Maximum of Months	363.69	107.68	333.65	365.12	144.94



Se observă că în **scenariul A** (Tab. 5.8) aporturile solare pentru suprafața vitrată 1 (8,08 mp) ating valoarea maximă în luna septembrie: 905,57 W.

În **scenariul B** (Tab. 5.9), aceasta scade la 334,64W (cu 63,05%); în același timp aporturile solare scad semnificativ în lunile reci, valoarea minimă reprezentând 22,36% din cea aferentă scenariului A în luna ianuarie.

Tab.5.10 – Radiația solară pentru suprafața vitrată 1 în scenariul C

	SURFACE WINDOW TRANSMITTED SOLAR RADIATION RATE [W]	SURFACE WINDOW TRANSMITTED BEAM SOLAR RADIATION RATE [W]	SURFACE WINDOW TRANSMITTED DIFFUSE SOLAR RADIATION RATE [W]	SURFACE WINDOW HEAT GAIN RATE [W]	SURFACE WINDOW HEAT LOSS RATE [W]	SURFACE WINDOW INSIDE FACE GLAZING CONDENSATION STATUS (HOURS NON-ZERO) [HOURS]	SURFACE SHADING DEVICE IS ON TIME FRACTION (HOURS NON-ZERO) [HOURS]	SURFACE STORM WINDOW ON OFF STATUS (HOURS NON-ZERO) [HOURS]
January	458.51	253.44	205.07	416.60	148.74	0.00	19.50	744.00
February	681.39	415.49	275.90	666.92	146.46	0.00	30.50	672.00
March	660.88	315.79	345.09	638.82	108.72	0.00	69.50	744.00
April	513.23	185.07	330.17	501.37	84.28	0.00	123.30	720.00
May	400.66	97.42	303.24	395.98	58.84	0.00	186.50	744.00
June	383.47	65.82	316.65	393.64	49.09	0.00	185.00	720.00
July	346.65	73.40	273.25	373.24	44.86	0.00	228.00	744.00
August	386.12	128.48	257.64	420.01	50.17	0.00	220.00	744.00
September	462.71	216.78	245.92	490.43	71.24	0.00	180.00	720.00
October	551.89	306.53	245.35	562.02	85.89	0.00	135.00	744.00
November	535.40	316.11	219.29	520.44	123.96	0.00	39.00	720.00
December	584.41	397.83	196.58	570.67	154.33	0.00	6.00	744.00
Annual Sum or Average	497.63	229.97	267.67	494.57	93.58	0.00	1413.50	8760.00
Minimum of Months	346.65	66.82	196.58	373.24	44.86	0.00	6.00	672.00
Maximum of Months	681.39	415.49	345.09	666.92	154.33	0.00	228.00	744.00

Tab. 5.11 – Radiația solară pentru suprafața vitrată 1 în scenariul D

	SURFACE WINDOW TRANSMITTED SOLAR RADIATION RATE [W]	SURFACE WINDOW TRANSMITTED BEAM SOLAR RADIATION RATE [W]	SURFACE WINDOW TRANSMITTED DIFFUSE SOLAR RADIATION RATE [W]	SURFACE WINDOW HEAT GAIN RATE [W]	SURFACE WINDOW HEAT LOSS RATE [W]	SURFACE WINDOW INSIDE FACE GLAZING CONDENSATION STATUS (HOURS NON-ZERO) [HOURS]	SURFACE SHADING DEVICE IS ON TIME FRACTION (HOURS NON-ZERO) [HOURS]	SURFACE STORM WINDOW ON OFF STATUS (HOURS NON-ZERO) [HOURS]
January	429.22	228.58	200.65	383.63	145.52	0.00	36.50	744.00
February	643.41	376.98	266.43	616.75	145.59	0.00	45.50	672.00
March	581.70	256.53	325.17	558.77	108.25	0.00	93.00	744.00
April	467.16	168.40	298.77	461.26	84.47	0.00	180.00	720.00
May	343.60	109.98	233.63	347.72	58.92	0.00	250.00	744.00
June	329.17	89.44	239.73	344.38	48.95	0.00	232.50	720.00
July	300.82	97.59	203.23	331.30	44.86	0.00	272.00	744.00
August	386.17	154.84	231.33	428.38	50.19	0.00	250.00	744.00
September	453.74	200.00	253.15	489.39	71.34	0.00	231.00	720.00
October	457.54	229.58	227.97	466.15	86.84	0.00	152.00	744.00
November	481.69	277.20	204.43	464.91	122.81	0.00	66.00	720.00
December	568.34	376.08	192.26	543.28	150.27	0.00	69.00	744.00
Annual Sum or Average	452.21	212.81	239.41	451.96	92.86	0.00	1906.50	8760.00
Minimum of Months	300.82	89.44	192.26	331.30	44.86	0.00	45.50	672.00
Maximum of Months	643.41	376.98	325.17	616.75	150.27	0.00	272.00	744.00

**Scenariul C** (Tab. 5.10, Fig. 5.18) oferă un echilibru din acest punct de vedere, permițând pătrunderea radiației solare în timpul lunilor reci, activând sistemul de umbrire doar atunci când temperatura interioară depășește 24°C (1413,5 ore/an).

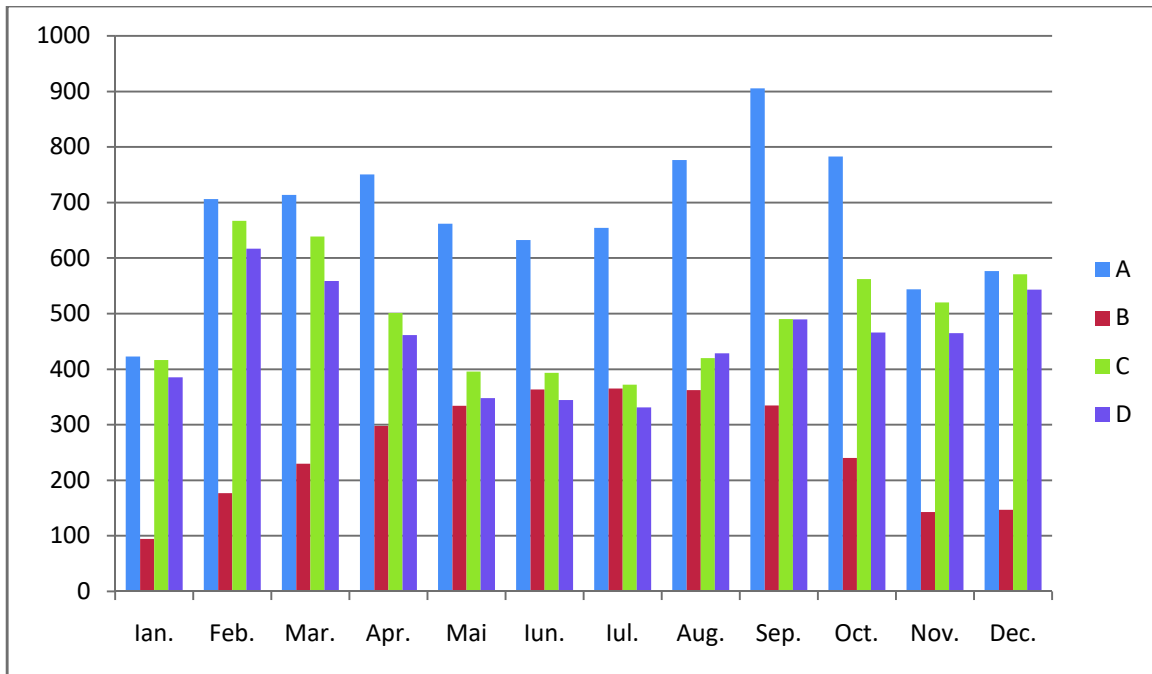


Fig. 5.18 - Graficul aporturilor solare prin suprafața vitrată 1 în scenariile A, B, C și D

Se remarcă în acest sens scăderea aporturilor solare începând cu luna aprilie până în luna octombrie. Aporturile solare maxime sunt atinse în luna februarie, 666,92W, iar cele minime în luna iulie, 372,24 W (o scădere cu 43,09% față de scenariul fără sistem de umbrire A). Consumul de energie pentru răcire scade față de scenariul A cu 37,04%.

În **scenariul D** (Tab. 5.11) valoarea aporturilor solare este aproximativ egală cu cea din scenariul C, necesarul de energie pentru răcire scăzând cu 33,37% față de scenariul A. În plus față de scenariul C necesarul de energie pentru încălzire scade cu 24% prin închiderea lamelelor în timpul nopților reci, sistemul fiind activ 1906,5 ore/an.

În cazul **suprafetei vitrate 2** (10,66 mp), valoarea maximă a aporturilor solare este atinsă de asemenea în luna septembrie, 1186,23 W, radiația solară transmisă prin intermediul ferestrelor fiind de 1150,86 W (Tab.5.12).

În scenariul B (Tab.5.13), în luna septembrie aporturile solare scad la 473,17W (cu 60,11%), iar radiația solară transmisă la 479,07 W (cu 58,37%). În lunile reci aporturile solare scad până la 30,46% în luna ianuarie față de scenariul A (Fig. 5.19). În scenariul C (Tab.5.14) aporturile solare maxime sunt atinse în luna februarie, 867,59 W, iar cele minime în luna iulie, 482,84W (o scădere cu 43,56% față de scenariul fără sistem de umbrire A).

Sistemul de umbrire se activează 1412 ore/an, față de scenariul D (Tab.5.15), care este activ 1926 ore/an.

Tab. 5.12 – Radiația solară pentru suprafața vitrată 2 în scenariul A

	SURFACE WINDOW TRANSMITTED SOLAR RADIATION RATE [W]	SURFACE WINDOW TRANSMITTED BEAM SOLAR RADIATION RATE [W]	SURFACE WINDOW TRANSMITTED DIFFUSE SOLAR RADIATION RATE [W]	SURFACE WINDOW HEAT GAIN RATE [W]	SURFACE WINDOW HEAT LOSS RATE [W]
January	612.80	340.19	272.61	553.89	199.73
February	963.68	583.25	380.44	926.06	107.66
March	874.42	479.99	494.83	933.13	148.26
April	1012.94	431.98	580.97	982.84	116.10
May	900.13	279.36	620.77	806.13	83.47
June	846.56	212.35	634.21	826.00	70.31
July	858.98	234.31	604.67	855.43	65.08
August	995.25	415.76	579.49	1015.73	72.65
September	1150.86	618.64	532.22	1186.23	101.81
October	1011.84	595.77	416.07	1025.53	121.20
November	738.02	435.71	302.31	712.15	168.83
December	791.49	530.50	261.00	755.89	207.49
Annual Sum or Average	803.91	430.29	473.02	886.07	129.00
Minimum of Months	612.80	212.35	261.00	553.89	65.08
Maximum of Months	1150.86	618.64	634.21	1186.23	207.49

Tab. 5.13– Radiația solară pentru suprafața vitrată 2 în scenariul B

	SURFACE WINDOW TRANSMITTED SOLAR RADIATION RATE [W]	SURFACE WINDOW TRANSMITTED BEAM SOLAR RADIATION RATE [W]	SURFACE WINDOW TRANSMITTED DIFFUSE SOLAR RADIATION RATE [W]	SURFACE WINDOW HEAT GAIN RATE [W]	SURFACE WINDOW HEAT LOSS RATE [W]
January	253.08	116.00	136.90	168.74	100.56
February	352.40	141.50	210.90	267.93	183.57
March	405.72	121.38	284.35	333.14	134.73
April	403.48	96.74	306.74	414.64	99.81
May	475.16	50.17	424.99	443.23	70.33
June	483.56	33.92	449.64	476.76	57.27
July	476.75	44.03	432.72	481.06	50.81
August	482.05	84.73	397.29	489.18	55.73
September	479.07	142.41	336.67	473.17	81.01
October	382.81	144.31	238.50	349.25	103.96
November	286.24	126.40	159.83	226.60	154.47
December	338.07	194.02	144.05	265.13	194.34
Annual Sum or Average	406.90	107.79	299.12	366.19	114.33
Minimum of Months	253.08	33.92	136.90	168.74	50.81
Maximum of Months	483.56	194.02	449.64	489.18	194.34

Tab. 5.14 – Radiația solară pentru suprafața vitrată 2 în scenariul C

	SURFACE WINDOW TRANSMITTED SOLAR RADIATION RATE [W]	SURFACE WINDOW TRANSMITTED BEAM SOLAR RADIATION RATE [W]	SURFACE WINDOW TRANSMITTED DIFFUSE SOLAR RADIATION RATE [W]	SURFACE WINDOW HEAT GAIN RATE [W]	SURFACE WINDOW HEAT LOSS RATE [W]	SURFACE WINDOW INSIDE FACE GLAZING CONDENSATION STATUS [HOURS NON-ZERO] [HOURS]	SURFACE SHADING DEVICE IS ON TIME FRACTION [HOURS NON-ZERO] [HOURS]	SURFACE STORM WINDOW ON OFF STATUS [HOURS NON-ZERO] [HOURS]
January	395.40	326.36	269.04	536.06	199.31	0.00	10.00	744.00
February	904.81	543.31	361.51	867.59	197.11	0.00	31.50	672.00
March	871.48	416.00	455.49	836.18	147.14	0.00	65.30	744.00
April	673.40	243.02	430.38	650.82	114.02	0.00	130.50	720.00
May	537.60	130.41	407.19	526.01	80.12	0.00	181.00	744.00
June	523.03	87.22	425.81	530.45	66.99	0.00	181.00	720.00
July	453.20	97.33	355.88	482.84	61.57	0.00	230.50	744.00
August	531.06	186.27	345.69	571.46	69.32	0.00	215.50	744.00
September	608.81	279.86	328.83	638.18	96.33	0.00	177.00	720.00
October	709.12	368.81	320.31	715.73	118.11	0.00	135.00	744.00
November	687.66	410.36	287.30	673.14	168.13	0.00	45.00	720.00
December	770.85	514.24	256.62	734.74	207.12	0.00	9.50	744.00
Annual Sum or Average	654.74	301.29	353.45	645.46	126.87	0.00	1412.00	8760.00
Minimum of Months	453.20	87.22	256.62	482.84	61.57	0.00	9.50	672.00
Maximum of Months	904.81	543.31	455.49	867.59	207.12	0.00	230.50	744.00

Tab. 5.15– Radiația solară pentru suprafața vitrată 2 în scenariul D

	SURFACE WINDOW TRANSMITTED SOLAR RADIATION RATE [W]	SURFACE WINDOW TRANSMITTED BEAM SOLAR RADIATION RATE [W]	SURFACE WINDOW TRANSMITTED DIFFUSE SOLAR RADIATION RATE [W]	SURFACE WINDOW HEAT GAIN RATE [W]	SURFACE WINDOW HEAT LOSS RATE [W]	SURFACE WINDOW INSIDE FACE GLAZING CONDENSATION STATUS (HOURS NON-ZERO) [HOURS]	SURFACE SHADING DEVICE IS ON TIME FRACTION (HOURS NON-ZERO) [HOURS]	SURFACE STORM WINDOW ON OFF STATUS (HOURS NON-ZERO) [HOURS]
January	552.37	290.14	262.23	490.98	194.70	0.00	61.00	744.00
February	831.28	483.46	347.82	700.14	195.27	0.00	48.00	872.00
March	748.63	324.88	423.76	712.25	146.01	0.00	97.50	744.00
April	612.74	220.20	392.54	600.22	114.35	0.00	181.50	720.00
May	454.26	144.99	309.20	455.28	80.18	0.00	248.50	744.00
June	434.47	117.95	316.51	449.74	66.93	0.00	232.00	720.00
July	396.98	128.72	268.25	432.83	61.45	0.00	271.50	744.00
August	509.32	204.22	305.10	559.07	69.40	0.00	259.00	744.00
September	597.88	264.27	333.00	639.90	96.57	0.00	231.50	720.00
October	592.22	295.48	296.74	508.35	119.39	0.00	155.50	744.00
November	620.31	353.83	266.48	592.87	100.29	0.00	69.50	720.00
December	741.16	489.15	252.01	703.43	201.75	0.00	70.50	744.00
Annual Sum or Average	589.26	275.15	314.11	583.98	125.78	0.00	1926.00	8760.00
Minimum of Months	396.98	117.95	252.01	432.83	61.45	0.00	48.00	672.00
Maximum of Months	831.28	489.15	423.76	700.14	201.75	0.00	271.50	744.00

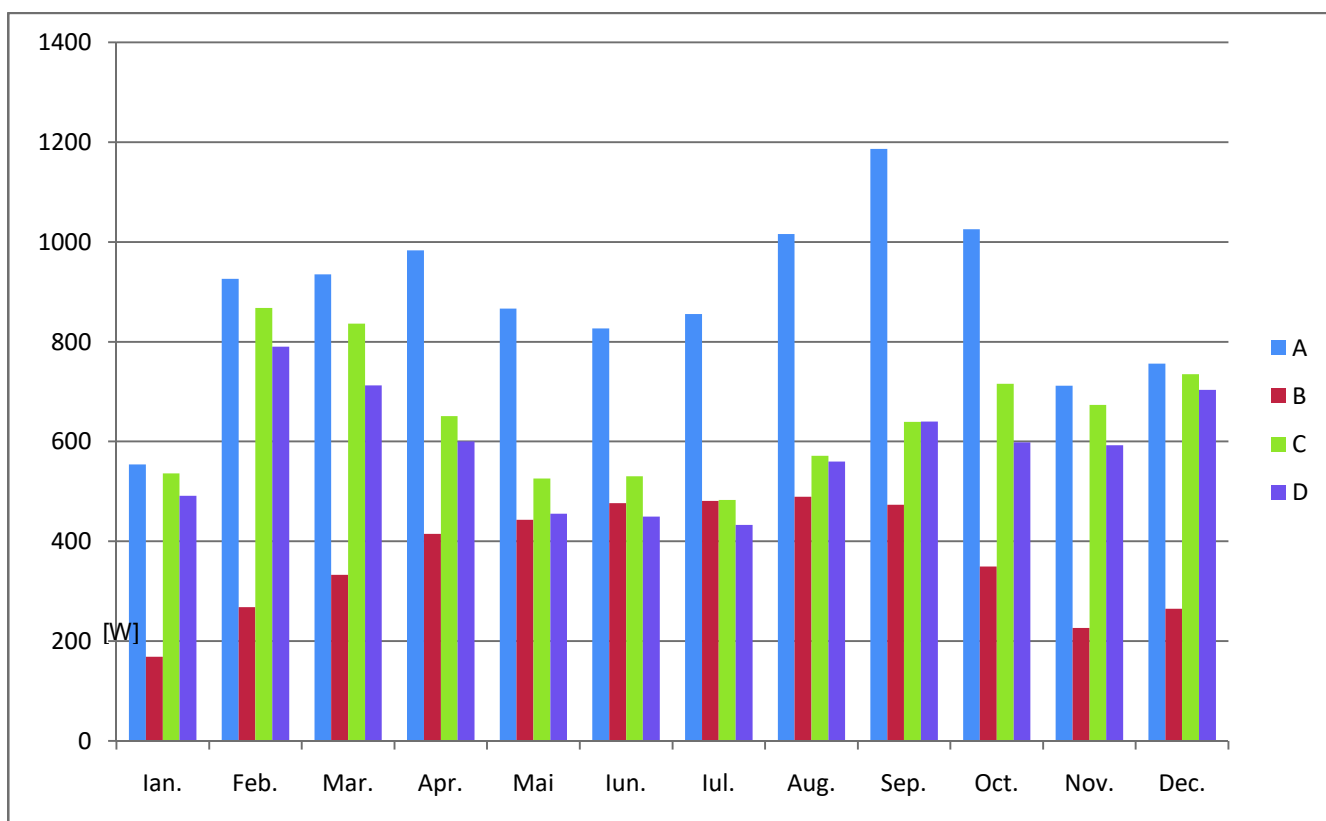


Fig. 5.19 - Graficul aporturilor solare prin suprafața vitrată 2 în scenariile A, B, C și D

Tab. 5.16 – Radiația solară pentru suprafața vitrată 3 în scenariul A

	SURFACE WINDOW TRANSMITTED SOLAR RADIATION RATE [W]	SURFACE WINDOW TRANSMITTED BEAM SOLAR RADIATION RATE [W]	SURFACE WINDOW TRANSMITTED DIFFUSE SOLAR RADIATION RATE [W]	SURFACE WINDOW HEAT GAIN RATE [W]	SURFACE WINDOW HEAT LOSS RATE [W]
January	808.32	448.73	359.60	714.23	263.81
February	1271.10	769.34	501.82	1190.02	268.02
March	1285.32	632.60	652.72	1199.75	202.89
April	1336.14	569.81	766.33	1238.83	164.30
May	1187.32	368.75	818.57	1106.29	120.33
June	1116.66	280.10	836.57	1093.20	104.05
July	1133.05	335.45	797.60	1093.50	96.82
August	1312.79	548.41	764.39	1301.66	109.43
September	1518.05	816.02	702.03	1524.40	150.14
October	1334.67	785.86	548.82	1319.49	171.82
November	973.49	574.73	398.76	915.19	230.53
December	1044.03	695.76	344.27	974.80	278.06
Annual Sum or Average	1192.31	567.58	624.73	1136.63	179.55
Minimum of Months	808.32	280.10	344.27	714.23	96.82
Maximum of Months	1518.05	816.02	836.57	1524.40	278.06

Tab. 5.17 – Radiația solară pentru suprafața vitrată 3 în scenariul B

	SURFACE WINDOW TRANSMITTED SOLAR RADIATION RATE [W]	SURFACE WINDOW TRANSMITTED BEAM SOLAR RADIATION RATE [W]	SURFACE WINDOW TRANSMITTED DIFFUSE SOLAR RADIATION RATE [W]	SURFACE WINDOW HEAT GAIN RATE [W]	SURFACE WINDOW HEAT LOSS RATE [W]
January	192.35	69.29	123.06	81.01	252.57
February	261.05	59.11	202.85	141.70	239.78
March	324.33	43.10	281.23	217.89	172.35
April	422.14	31.73	390.42	346.55	125.23
May	495.01	21.33	473.68	446.26	90.43
June	523.92	14.77	509.16	506.98	75.02
July	509.67	18.57	491.10	508.62	65.92
August	468.36	29.98	438.38	469.45	70.26
September	395.81	45.96	349.85	371.84	98.40
October	287.80	54.36	233.45	229.42	128.21
November	218.28	67.43	150.84	130.78	197.08
December	253.84	119.63	134.01	144.69	251.74
Annual Sum or Average	363.30	47.04	315.37	300.42	146.74
Minimum of Months	192.35	14.77	123.06	81.01	65.92
Maximum of Months	523.92	119.63	509.16	508.62	252.57

Tab. 5.18– Radiația solară pentru suprafața vitrată 3 în scenariul C

	SURFACE WINDOW TRANSMITTED SOLAR RADIATION RATE [W]	SURFACE WINDOW TRANSMITTED BEAM SOLAR RADIATION RATE [W]	SURFACE WINDOW TRANSMITTED DIFFUSE SOLAR RADIATION RATE [W]	SURFACE WINDOW HEAT GAIN RATE [W]	SURFACE WINDOW HEAT LOSS RATE [W]	SURFACE WINDOW INSIDE FACE GLAZING CONDENSATION STATUS (HOURS NON-ZERO) [HOURS]	SURFACE SHADING DEVICE IS ON TIME FRACTION (HOURS NON-ZERO) [HOURS]	SURFACE STORM WINDOW ON OFF STATUS (HOURS NON-ZERO) [HOURS]
January	739.54	393.02	346.51	644.16	262.39	0.00	19.00	744.00
February	1129.00	670.23	459.67	1050.86	267.27	0.00	43.50	672.00
March	1040.82	481.32	559.50	964.69	199.42	0.00	92.50	744.00
April	929.79	345.19	584.59	870.98	159.72	0.00	126.00	720.00
May	717.65	176.94	540.71	679.35	113.71	0.00	179.00	744.00
June	685.84	122.45	563.39	670.19	97.82	0.00	175.00	720.00
July	604.33	124.83	479.50	621.04	90.05	0.00	221.50	744.00
August	707.58	248.79	458.79	736.14	102.23	0.00	210.50	744.00
September	800.21	366.97	433.24	814.06	142.39	0.00	174.00	720.00
October	917.26	502.08	415.13	900.92	166.82	0.00	129.50	744.00
November	871.17	504.29	366.88	815.39	229.31	0.00	35.00	720.00
December	931.74	608.89	322.85	859.51	275.43	0.00	25.00	744.00
Annual Sum or Average	837.46	376.84	460.62	800.32	174.99	0.00	1454.50	8760.00
Minimum of Months	604.33	122.45	322.85	621.04	90.05	0.00	19.00	672.00
Maximum of Months	1129.00	670.23	584.59	1050.86	275.43	0.00	221.50	744.00

Tab. 5.19– Radiația solară pentru suprafața vitrată 3 în scenariul D

	SURFACE WINDOW TRANSMITTED SOLAR RADIATION RATE [W]	SURFACE WINDOW TRANSMITTED BEAM SOLAR RADIATION RATE [W]	SURFACE WINDOW TRANSMITTED DIFFUSE SOLAR RADIATION RATE [W]	SURFACE WINDOW HEAT GAIN RATE [W]	SURFACE WINDOW HEAT LOSS RATE [W]	SURFACE WINDOW INSIDE FACE GLAZING CONDENSATION STATUS (HOURS NON-ZERO) [HOURS]	SURFACE SHADING DEVICE IS ON TIME FRACTION (HOURS NON-ZERO) [HOURS]	SURFACE STORM WINDOW ON OFF STATUS (HOURS NON-ZERO) [HOURS]
January	658.43	324.20	334.25	360.23	355.91	0.00	72.00	744.00
February	965.13	536.49	428.65	880.93	262.56	0.00	69.00	672.00
March	860.58	342.48	518.10	786.58	197.13	0.00	128.50	744.00
April	783.00	279.76	503.24	743.86	159.18	0.00	190.00	720.00
May	596.23	190.22	406.03	578.88	113.03	0.00	249.50	744.00
June	573.74	155.59	418.15	572.53	97.04	0.00	231.00	720.00
July	524.49	169.78	354.70	353.91	89.22	0.00	270.00	744.00
August	672.27	269.38	402.89	717.18	102.16	0.00	258.00	744.00
September	790.50	349.10	442.40	820.71	143.23	0.00	226.00	720.00
October	739.66	363.69	375.97	726.02	166.78	0.00	167.00	744.00
November	741.91	410.83	331.08	694.21	325.46	0.00	88.00	720.00
December	831.35	523.09	308.26	755.57	268.12	0.00	91.50	744.00
Annual Sum or Average	726.23	324.71	401.52	696.81	172.78	0.00	2040.50	8760.00
Minimum of Months	524.49	155.59	308.26	353.91	89.22	0.00	69.00	672.00
Maximum of Months	965.13	536.49	518.10	880.93	268.12	0.00	270.00	744.00

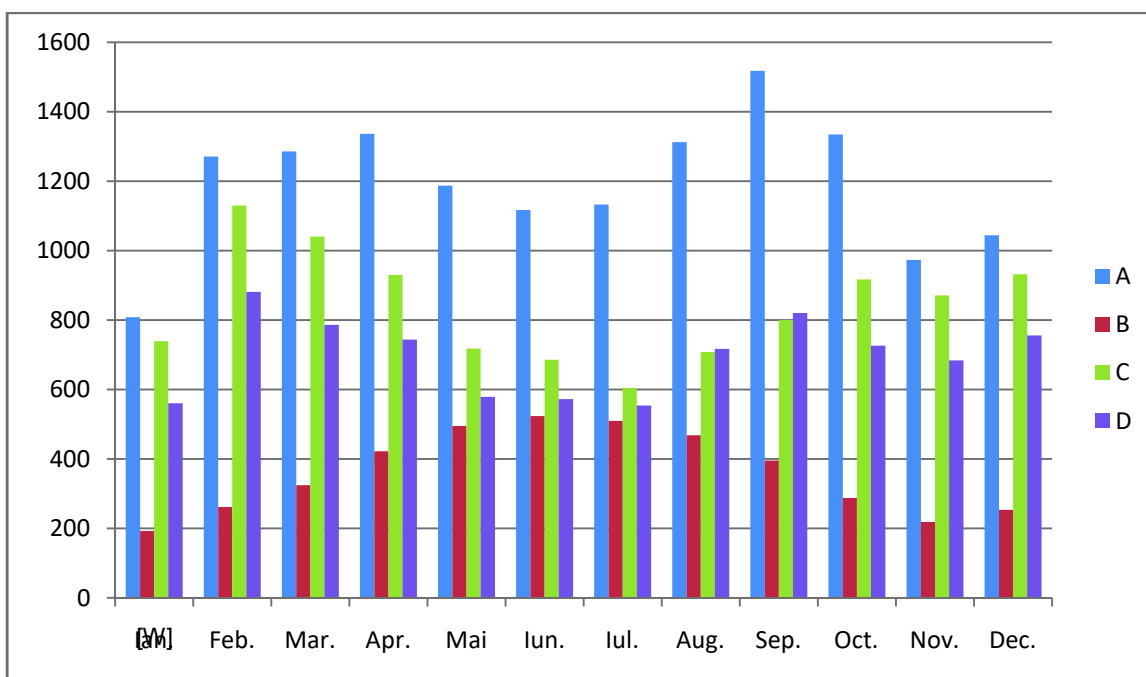


Fig. 5.20– Graficul radiației solare pentru suprafața vitrată 3 în scenariile A, B, C și D

Pentru suprafața vitrată cu aria cea mai amplă, 14,06 mp, valoarea maximă a radiației solare din luna septembrie atinge 1518,05 W în **scenariul A** (Tab.5.16). Prin aplicarea sistemului fix de umbrire, **scenariul B** (Tab.5.17), aceasta scade la 395,81 W (cu 73,93%) față de scenariul A, valoarea maximă fiind de 523,92 W în luna iunie (scade cu 53,08%). Față de scenariul A în luna ianuarie aportul radiației solare la încălzire scade la 23,8%. **Scenariul C** (Tab.5.18) pune în evidență activarea sistemului de umbrire 1454,5 ore/an atunci când temperatura interioară depășește 24°C. Valoarea maximă a

radiației solare care traversează suprafața vitrată este atinsă în luna februarie, 1129,9 W, iar cea minimă în luna iulie, 604,35W (o scădere cu 46,66% față de scenariul A - fără sistem de umbrire – Fig. 5.20). Consumul de energie pentru răcire scade față de scenariul A cu 37,04%. În **scenariul D** (Tab.5.19) sistemul de umbrire se activează 2040,5 ore/an, valorile radiației solare care pătrunde în interior fiind egale cu cele din scenariul C. Față de scenariul C, prin închiderea parasolarelor pe timpul nopții, consumul de energie pentru încălzire scade cu 24%.

## 5.6 ANALIZA ECONOMICĂ

Analiza economică s-a făcut pornind de la următoarele premise:

- utilizarea unor rolete exterioare din aluminiu cu lamele orizontale mobile acționate electric prin intermediul unui motor de 230 V cu telecomandă, al căror preț variază între 105-130 euro/mp;
- se consideră prețul pentru gaze naturale 1 kWh = 0,15 RON = 0,0332 euro [75];
- se consideră prețul pentru energia electrică 1 kWh = 0,4975 RON = 0,10676 euro [75].

Pentru cazul integrării unor lamele a căror înclinare variază lunar, rezultatele au arătat o creștere a consumului de energie pentru încălzire cu 5,4 kWh/m<sup>2</sup>an mai mult față de situația existentă și scăderea consumului de energie pentru răcire cu 40,2 kWh/m<sup>2</sup>an. Pentru suprafața de 1 697 mp a clădirii de birouri considerate, consumul de gaze naturale crește cu 9163,8 kWh/an (1), în timp ce consumul de energie electrică scade cu 68 219,4 kWh/an (3). Corespunzător acestor valori, cheltuielile pentru gaze naturale cresc cu 295 euro/an (2), respectiv scad cu 7 283,08 euro/an (4) pentru energia electrică.

Creșterea consumului de gaze naturale:	$5,4 \text{ kWh/m}^2\text{an} \times 1697 \text{ m}^2 = 9 \ 163,8 \text{ kWh/an (1)}$
Creșterea costurilor pentru consumul de gaze naturale:	$9 \ 163,8 \text{ kWh/an} \times 0,0332 \text{ euro/kWh} = 295 \text{ euro/an (2)}$
Reducerea consumului de energie electrică:	$40,2 \text{ kWh/m}^2\text{an} \times 1697 \text{ m}^2 = 68 \ 219,4 \text{ kWh/an (3)}$
Reducerea costurilor pentru consumul de energie electrică:	$68 \ 219,4 \text{ kWh/an} \times 0,10676 \text{ euro/kWh} = 7 \ 283,08 \text{ euro/an (4)}$
<b>Reducerea totală a costurilor:</b>	$7 \ 283,08 \text{ euro/an} - 295 \text{ euro/an} = \mathbf{6 \ 988,08 \text{ euro/an (5)}}$

Considerând integrarea sistemului de umbrire pentru suprafețele vitrate orientate spre est, sud și sud-vest care însumează o suprafață de 448,84 mp, costurile inițiale ar fi de minimum 47 128 euro (6). Raportat la scăderea costurilor pentru încălzire și răcire de 6 988,08 euro/an (5), costurile integrării unui astfel de sistem s-ar amortiza într-o perioadă de minimum 6 ani și 9 luni (8) și maximum 8 ani și 4 luni (9).

Costuri inițiale pentru sistemul de umbrire:	448,84 mp x 105 euro/mp = 47 128 euro (6)
	448,84 mp x 130 euro/mp = 58 350 euro (7)
Perioada de amortizare a costurilor inițiale:	47 128 euro / 6 988,08 euro/an = 6 ani 9 luni (8)
	58 350 euro / 6 988,08 euro/an = 8 ani 4 luni (9)

Pentru reducerea costurilor pentru încălzire prin închiderea totală a lamelelor în timpul nopților reci, acestea trebuie integrate la nivelul întregii suprafețe vitrate de 584,22 mp, ceea ce presupune un cost inițial de minimum 61 345 euro. În acest caz, economia de energie pentru încălzire de 14,92 kWh/m<sup>2</sup>an, adică 25 320 kWh/an (10), ar reduce costurile cu 815,02 euro/an (11). Împreună cu economia de 6 988,08 euro/an, reducerea totală a costurilor atinge 7803,1 euro/an (12). Amortizarea costurilor inițiale pentru un astfel de sistem cuprinse între 61 345 euro (13) și 75 950 euro (14) se face astfel după o perioadă de cel puțin 7 ani și 11 luni (15) și cel mult 9 ani și 9 luni (16).

Reducerea consumului de gaze naturale:	14,92 kWh/m <sup>2</sup> an x 1697 m <sup>2</sup> = 25 320 kWh/an (10)
Reducerea costurilor pentru consumul de gaze naturale:	25 320 kWh/an x 0,0332 euro/kWh = 815,02 euro/an (11)
<b>Reducerea totală a costurilor:</b>	6 988,08 euro/an + 815,02 euro/an = <b>7803,1 euro/an</b> (12)
Costuri inițiale pentru sistemul de umbrire:	584,22 mp x 105 euro/mp = 61 345 euro (13) 584,22 mp x 130 euro/mp = 75 950 euro (14)
Perioada de amortizare a costurilor inițiale:	61 345 euro / 7803,1 euro/an = 7 ani 11 luni (15) 75 950 euro / 7803,1 euro/an = 9 ani 9 luni (16)



## **CAP.6**

### **CONCLUZII**

Proiectarea sustenabilă devine tot mai complexă datorită nevoii de a satisface cerințele din ce în ce mai severe legate de performanțele economice, sociale și de mediu - unde eficiența energetică este primordială. Clădirile trebuie să fie într-o relație strânsă cu contextul climatic, iar anvelopa ca mediator între climat și mediul interior constituie un element cheie al proiectării sustenabile. O bună termoizolare a părții opace a anvelopei reduce substanțial pierderile de căldură, dar nu rezolvă exhaustiv problema economiei de energie în exploatare.

O problemă importantă în cazul clădirilor de birouri o reprezintă suprafețele mari vitrate. Acestea conduc la supraîncălzirea clădirii pe timpul verii și pierderi semnificative de căldură pe perioada iernii, consumul de energie pentru răcire și încălzire fiind ridicat. Dezvoltarea tehnologiilor pentru anvelope adaptabile, capabile să-și modifice caracteristicile în funcție de variația parametrilor mediului exterior și interior, reprezintă un pas important spre optimizarea performanței energetice a clădirilor și atingerea obiectivului nZEB.

Tipologiile de anvelope adaptabile definite în această lucrare conturează o imagine amplă, edificatoare a stadiului actual al anvelopelor adaptabile la mediu: fațade adaptabile tradiționale (igloo și anvelope verzi), anvelope cu sisteme de umbrire mobile, izolație adaptabilă, perne ETFE, bioreactoare cu alge, materiale inteligente, unele dintre acestea aflate în curs de dezvoltare, la nivel de prototip.

O mare provocare în proiectarea unui mediu interior confortabil, o reprezintă *utilizatorii* în sine. În acest sens, indiferent cât de avansat este sistemul de management al clădirii pentru operarea automată, lipsa controlului asupra mediului personal al utilizatorilor poate conduce la disatisfacție.

Cercetările în domeniul *biomimetismului* generează noi soluții pentru modul în care anvelopa se poate adapta, preluând conceptul de organism viu. În acest fel anvelopa va integra sisteme sustenabile care se pot ajusta utilizând un minimum de energie, sisteme inteligente care vor putea analiza variația condițiilor exterioare și răspunde pe baza informațiilor dobândite anterior.

Cercetarea efectuată în vederea elaborării tezei de doctorat s-a desfășurat începând cu o documentare intensă și vastă într-un domeniu de început în general și nou în România, investigând modele de anvelope adaptabile mai des utilizate și relativ cunoscute (sisteme de umbrire), dar și sisteme aflate în curs de dezvoltare, la nivel de prototip (reactoare cu microalge). Analiza performanțelor acestor sisteme a fost realizată utilizând programe de calcul performante care permit calculul termodinamic pentru simulări pe modele de clădiri:

PHPP pentru evaluarea consumului de energie anual și lunar, DesignBuilder pentru simulări cu anvelope dinamice, SolarPro pentru evaluarea SER integrate anvelopelor studiate. Pentru trasarea unor concluzii cu caracter aplicativ au fost elaborate studii de caz pornind de la datele concrete ale clădirii de birouri Centris din Iași, pe care s-a simulat integrarea unor soluții specifice anvelopelor adaptabile. În cadrul acestui demers au avut loc discuții cu specialiști în domeniu sau conexe domeniului, care au completat

imaginea de ansamblu, influențând modul de abordare a tematicii. De asemenea, experiența proprie în proiectare a condus la o înțelegere mai aplicativă a problematicii eficienței energetice.

## 6.1 CONCLUZII FINALE

Concluziile care se desprind din cuprinsul acestei lucrări au fost analizate și grupate în concordanță cu aspectele relevante la care se referă, după cum urmează:

### 6.1.1 Componente specifice clădirilor de birouri și impactul lor asupra performanței energetice

- Încadrarea în subcategoria „clădirilor cu ocupare discontinuă” presupune ca funcționalitatea clădirilor de birouri să permită abaterea de la temperatura normală de exploatare cu 7°C pe un interval de 10 ore pe zi, dintre care cel puțin 5 ore în intervalul orar 0-7.

- *Regimul termic natural* diferă față de alte tipuri de clădiri, depinzând de:

- vitraje – cu suprafețe mai mari - și sisteme de umbrire;
- rata ventilării naturale a clădirii;
- aporturile din metabolism, iluminat, biotică, însorire cu valori considerabile.

- *Suprafețele mari vitrate* preferate atât pentru iluminatul natural și ideea de deschidere, cât și pentru a transmite un mesaj legat de ideea de transparentă și democrație, conduc la supraîncălzirea clădirilor în perioada verii și pierderi semnificative de căldură în perioada iernii.

- *Consumul ridicat de energie pentru sistemul de iluminat și HVAC*, (doar sistemele de aer condiționat consumă 10-60% din totalul energiei necesare), încadrează clădirile de birouri în categoria celor mai mari consumatori de energie.

- *Rata minimă de ventilare din spațiile ocupate este mai ridicată*, din cauza degajărilor de apă și dioxid de carbon metabolic a numărului mai mare de persoane.

- *Valorile orare ale temperaturilor interioare* ale necesarului de căldură / frig al clădirii depind de datele de intrare: caracteristici geometrice; caracteristici termice ale anvelopei; caracteristicile sistemelor și echipamentelor; zonarea termică, profilul energetic; parametrii climatici, an climatic tip. Acestea, împreună cu considerarea efectului punților termice, influențează răspunsul termic al anvelopei și sunt, fiecare dintre ei, factori de impact major în performanța energetică a clădirii.

### 6.1.2 Anvelopa adaptabilă și iminența atingerii standardului nZEB

- În tendința spre proiectarea, începând cu anul 2019, a clădirilor cu consum redus de energie (nZEB) [120], anvelopa tipică a suferit modificări în ultimul deceniu, evoluând de la o masă quasi-monolitică la alcătuirea din straturi tot mai ușoare, a căror performanță prezintă două puncte slabe:

- defazajul termic redus substanțial determinat de masa redusă, care determină fluctuații mai rapide ale temperaturii aerului interior;
- pericolul major al compromiterii stratului izolator.

- Urmărindu-se soluționarea acestor probleme, s-a ajuns la conceptul de anvelopă adaptabilă la condițiile de mediu. Se evidențiază o problemă în asigurarea performanței, adaptabilității anvelopei și confortului interior, legată de anumite conflicte care pot să apară în procesul de proiectare, astfel încât satisfacerea unor cerințe poate conduce la compromiterea altora.

- Proiectarea în scopul atingerii obiectivului de eficiență energetică presupune înțelegerea anvelopei ca element cu caracteristici variabile și rol activ, definit de condițiile climatice ale amplasamentului. Astfel, proprietățile optice și termice pot fi acționate pentru a se modifica dinamic ca răspuns la climat, preferințele utilizatorilor și la cerințele sistemului de control managerial al producerii și consumului de energie ale clădirii.

- Determinarea *echilibrului optim dintre aporturile de căldură și iluminatul natural* este un aspect important, reprezentând un element cheie pentru optimizarea elementelor transparente ale anvelopei.

- Tehnologiile noi contribuie la atingerea obiectivului de proiectare a clădirilor cu impact minim asupra resurselor energetice. Componentele inteligente integrate anvelopei sunt controlate automat și monitorizează condițiile interioare și exterioare, reacționând apoi într-un mod adecvat.

- Această tendință a condus la proiectarea unor sisteme tehnologice avansate pentru clădirile contemporane, ideea de clădire inteligentă energetic transformându-se într-o realitate care implică reconsiderarea utilizării resurselor de energie regenerabilă, inclusiv integrarea lor la nivelul anvelopei.

- În contextul reglementărilor directivei europene 2010/31/UE [120], anvelopa trebuie să colecteze energie regenerabilă (în principal energie solară) și să o utilizeze pentru satisfacerea necesarului de energie al clădirii. Aceasta contribuie atât la funcționarea clădirii cu consum redus de energie, cât și la o calitate ridicată a parametrilor confortului interior.

- Pentru a răspunde provocării de a proiecta, începând cu anul 2019, clădiri cu consum redus de energie (nZEB) [120] nu mai este suficientă optimizarea izolației termice a componentelor anvelopei, fiind nevoie de dezvoltarea unor tehnologii noi și revoluționare. Potențialele beneficii ale dezvoltării tehnologiei sunt relevante având în vedere că anvelopa este un factor cheie în controlarea fluxului de energie între mediul exterior și cel interior și oferă oportunitatea colectării energiei solare.

- Limitările soluțiilor pentru fațadele existente pot fi depășite doar prin trecerea de la sisteme statice la sisteme dinamice adaptabile care răspund continuu la schimbările condițiilor parametrilor mediului interior și exterior și care înglobează surse de energie regenerabilă.

- Pentru a reduce consumul de energie, a maximiza condițiile de confort interior și a produce energie in situ, anvelopele adaptabile încorporează tehnologii avansate și, datorită concentrării eforturilor materiale asupra cercetării în domeniu, devin din ce în ce mai performante și atractive.

### 6.1.3 Caracteristici ale componentelor unei anvelope adaptabile

- Sistemele de umbrire fixe au fost analizate și evaluate, constându-se performanța lor limitată în ceea ce privește satisfacerea gradului de umbrire necesar și a posibilității

utilizării aperturilor solare în perioadele reci ale anului. Deși necesarul de energie pentru răcire scade prin folosirea unor sisteme de umbrire fixe, necesarul pentru încălzire crește.

- S-a remarcat performanța energetică a sistemelor de umbrire mobile care, prin reglare, oferă posibilitatea de a atinge obiectivul consumului zero de energie pe intervalul temporal cuprins între sfârșitul lunii martie și începutul lunii noiembrie.

- Aportul de energie solară care are ca efect supraîncălzirea clădirii poate fi valorificat prin înglobarea unor sisteme de captare care contribuie la reducerea necesarului total de energie al clădirii.

- Panourile vitrajelor cu izolație termică adaptabilă permit sau blochează pătrunderea radiației solare, putând fi combinate cu sisteme de stocare a căldurii. Excesul de căldură din interiorul clădirii (din timpul nopților de vară) poate fi eliberat în mediul exterior printr-o anvelopă cu rezistență termică mică. De asemenea, acest sistem face posibilă utilizarea pasivă a masei termice a solului.

- Sistemele cu perne de aer ETFE asigură o performanță termică superioară vitrajelor cu geam dublu, care poate fi sporită prin suplimentarea camerelor cu aer și integrarea unor straturi cu nanogel. Avantajele pe care le oferă sunt complexe:

- prin imprimarea membranelor sau aplicarea unor straturi cu emisivitate redusă, se poate reduce cantitatea radiației solare care pătrunde în interior, odată cu gradul de supraîncălzire al clădirii,
- prin umflarea și dezumflarea unor camere ale sistemului, se poate diminua sau spori rezistența termică totală, iar
- prin imprimarea a două membrane se poate controla gradul de umbrire.

- Anvelopele cu bioreactoare cu alge înglobează un sistem pentru captarea energiei regenerabile prin generarea de biomasă, conferind totodată umbrire adaptabilă clădirii, intensificarea radiației solare având ca efect reducerea transparenței și transmitanței solare. Acestea contribuie și la reducerea cantității de bioxid de carbon din gazele de eșapament. Eficiența transformării energiei solare în biomasă este de 10%, iar cea a transformării energiei solare în căldură de 38%.

- Anvelopele din materiale inteligente își pot modifica proprietățile optice, permițând sau blocând transmisia energiei solare fără a împiedica vizibilitatea. Panourile zonei vitrate se activează prin: aplicarea unui curent slab (sticlă electrocromată), creșterea concentrației de hidrogen (sticlă gazocromată), variația temperaturii (sticlă termocromată), schimbarea stării de agregare (materiale cu schimbare de fază). Performanța lor energetică depinde însă și de timpul de răspuns al anvelopei, vizibilitate și posibilitatea operării de către utilizatori.

- Prin implementarea unor surse de energie regenerabilă la nivelul anvelopei, în special a celor care captează energia solară, se poate reduce necesarul total de energie al clădirii. Sistemele de umbrire mobile pot să își ajusteze continuu poziția pentru a satisface necesarul de umbrire sau pentru a facilita aperturile solare, captând energia prin utilizarea unor colectori solari. În cazul panourilor fotovoltaice trebuie avută însă în vedere evitarea umbririi, întrucât performanța lor scade semnificativ chiar și în cazul unui grad de umbrire scăzut. Celulele fotovoltaice integrate în sistemele cu perne de aer ETFE pot spori eficiența energetică a unei clădiri, oferind și posibilitatea integrării iluminatului artificial.

- Performanțele energetice ale sistemelor de anvelopă analizate, considerate ca soluții individuale, au fost evaluate pe baza unor studii de caz pe un model de clădire de

birouri de dimensiuni medii utilizând programe specifice de modelare 3D și calcul termodinamic (Fig. 6.1). S-a remarcat o reducere semnificativă a cantității de energie necesare pentru încălzire și răcire. Dintre soluțiile de anvelopă dinamică, cele mai eficiente energetic le reprezintă utilizarea izolației termice adaptabile la zona opacă sau înlocuirea vitrajului cu perne de aer ETFE, care pot să asigure o reducere a consumului total de energie cu aproximativ 56,52% față consumul clădirii în varianta cu anvelopă statică .

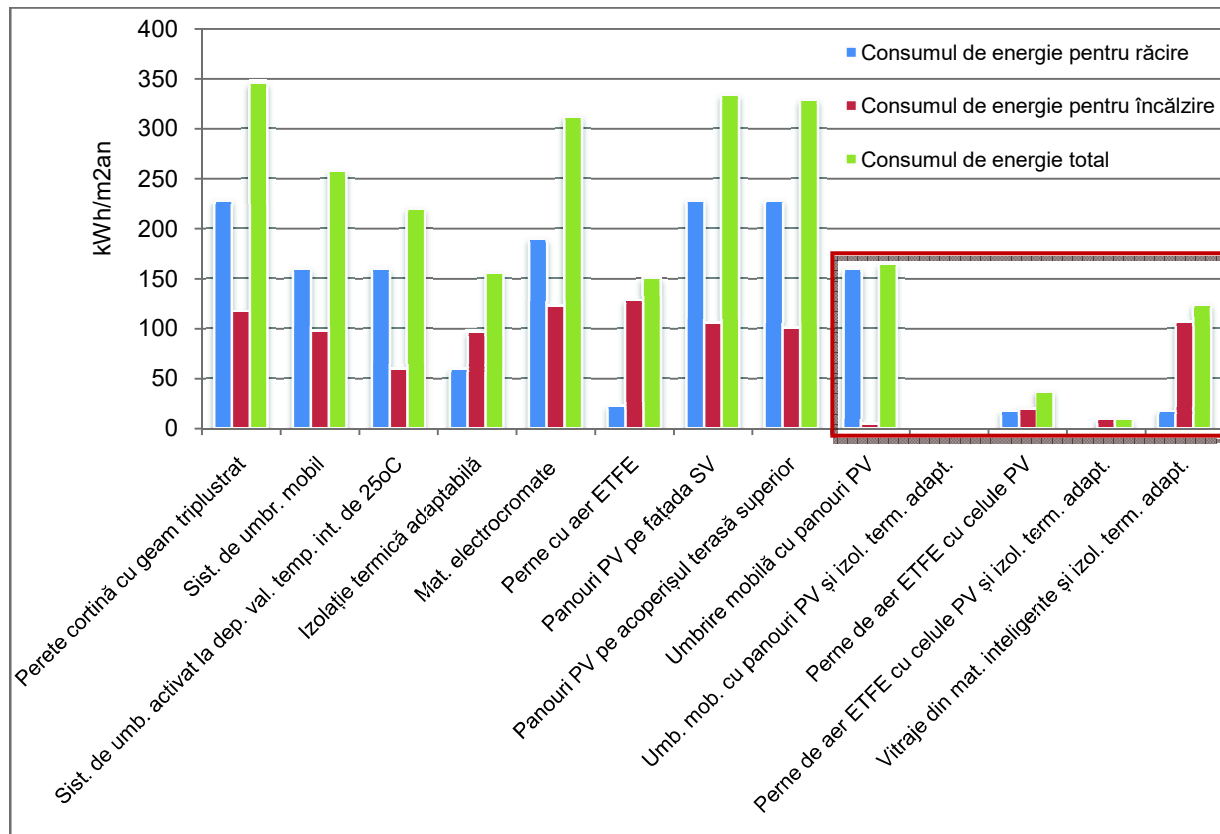


Fig. 6.1 – Consumul de energie pentru încălzire și răcire aferente soluțiilor individuale și combinate

#### 6.1.4 Concluzii privind alegerea soluțiilor de anvelopă adaptabilă adecvate unei teme de proiectare

- Rezultatele au demonstrat că fiecare sistem de anvelopă dinamică contribuie la optimizarea performanței energetice a clădirii, însă doar atunci când sunt integrate simultan (două sau mai multe soluții), conduc la economii importante de energie, oferind chiar posibilitatea de a produce energie în plus, care poate fi utilizată pentru iluminat și echipamente electrice (Fig. 6.1, Fig. 6.2).

Tab. 6.1 - Consumul de energie în cazul integrării mai multor soluții

	Sistem de umbrire mobil cu celule fotovoltaice	Sistem de umbrire mobil cu celule PV și izolație termică adaptabilă pentru elementele opace ale anvelopei	Perne de aer ETFE cu celule fotovoltaice	Perne de aer ETFE cu celule fotovoltaice și izolație termică adaptabilă pentru elementele opace ale anvelopei	Vitraje din materiale inteligente și izolație termică adaptabilă pentru elementele opace ale anvelopei
Consum de energie pentru încălzire [kWh/m <sup>2</sup> an]	8 9 4,63	10 11 0	12 13 19,81	14 15 8,81	16 17 106,45
Consum de energie pentru răcire [kWh/m <sup>2</sup> an]	19 20 159,60	21 22 0	23 24 17,10	25 26 0	27 28 17,10
<b>29 Consum total [kWh/m<sup>2</sup>an]</b>	<b>30 164,23</b>	<b>31 0</b>	<b>32 36,91</b>	<b>33 8,81</b>	<b>34 123,55</b>

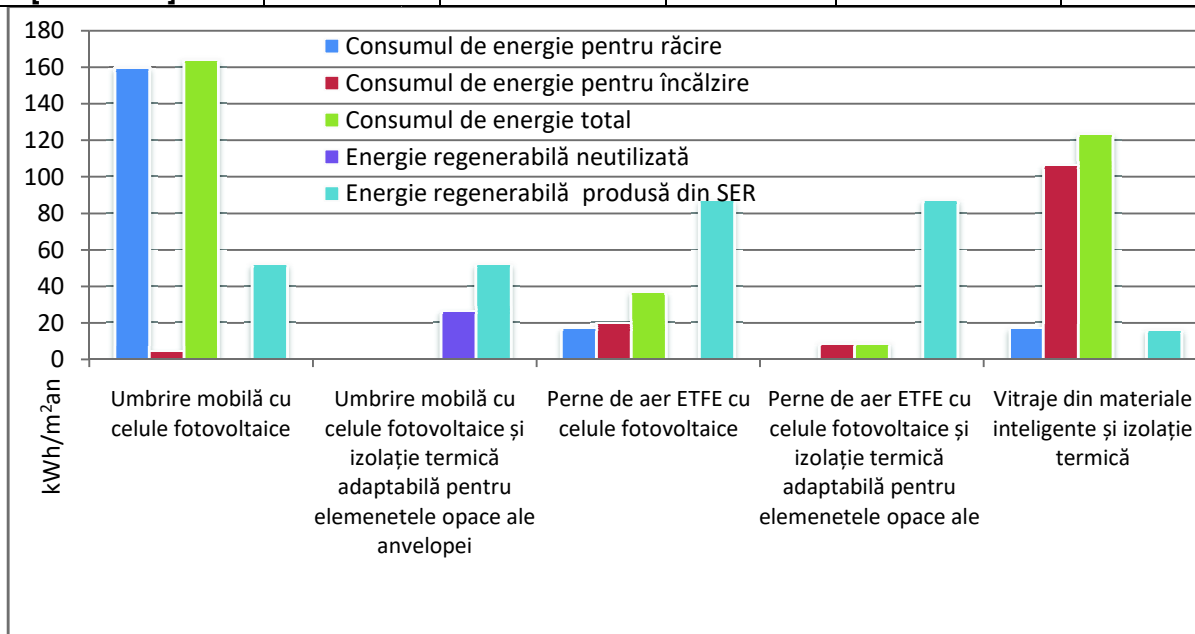


Fig. 6.2 – Consumul de energie pentru încălzire și răcire pentru soluții combinate

- Cantitatea cea mai mare de energie solară este colectată în cazul combinării pernelor de aer ETFE cu celule fotovoltaice pe fațadele sud-vestice și estice și cu panouri fotovoltaice pe acoperișul terasă superior, reducând necesarul de energie pentru încălzire și răcire cu 87,19 kWh/m<sup>2</sup>an (58,13% din consumul total de energie inițial de 150 kWh/m<sup>2</sup>an).

- **Consumul de energie pentru încălzire și răcire este acoperit în totalitate de energia solară colectată** în scenariul utilizării unui sistem de umbrire mobilă cu panouri fotovoltaice integrate și izolație termică adaptabilă pentru elementele opace ale anvelopei. În acest caz, din energia solară colectată de 52,06 kWh/m<sup>2</sup>an, 25,45 kWh/m<sup>2</sup>an (48,88%) se utilizează pentru încălzirea și răcirea clădirii, restul de 26,61 kWh/m<sup>2</sup>an putând fi folosită pentru echipamentele electrice.

- **Consumul de energie este redus la zero și se colectează în plus o cantitate de energie** (care poate fi folosită pentru iluminat și echipamente electrice) în cazul

integrării sistemelor de umbrire mobile cu panouri fotovoltaice pe fațada sud-vestică pentru elementele transparente ale anvelopei și izolație termică adaptabilă pentru elementele opace (Tab. 6.1 și Fig. 6.2) datorită: blocării radiației solare în exces (din care o parte este transformată în energie prin intermediul panourilor fotovoltaice), creșterea rezistenței termice a vitrajului prin închiderea elementelor orizontale de umbrire în nopțile reci și eliminarea căldurii în exces acumulate în timpul zilei prin reducerea rezistenței termice a pereților și acoperișului pe timpul nopților de vară.

- Studiile de caz demonstrează o eficiență crescută și în cazul utilizării pernelor de aer ETFE în combinație cu celule fotovoltaice în cadrul elementelor transparente ale anvelopei, înscriind clădirea de birouri în categoria **clădirilor cu consum redus de energie**. Prin adăugarea unei izolații termice adaptabile, performanțele clădirii cresc, însă rezultatele obținute indică nerentabilitatea investiției.

- Folosirea materialelor inteligente nu are influențe semnificative asupra consumului de energie, reprezentând mai mult o soluție pentru eliminarea efectului de orbire și implicit pentru îmbunătățirea confortului interior.

- Pentru a formula o serie de concluzii cu aplicabilitate practică, susținute de cele teoretice, s-au făcut simulări pe modelul 3D și datele clădirii de birouri Centris din Iași. Rezultatele performanțelor energetice sunt prezentate în Tab. 6.2:

- soluția optimă este cea a utilizării pernelor de aer ETFE cu celule PV pentru suprafețele transparente ale anvelopei: consum de energie pentru încălzire și răcire de 8,81 kWh/m<sup>2</sup>an (15,14% din consumul total de energie pentru încălzire și răcire al clădirii cu perete cortină);
- aplicarea unui sistem de umbrire mobil cu panouri PV reduce consumul de energie cu 66,48%.

Tab. 6.2 - Consumul anual de energie pentru clădirea de birouri Centris

	În varianta cu anvelopă statică	Sistem de umbrire mobil cu lamele din lemn	Sistem de umbrire mobil cu lamele izolate cu aerogel	Perne de aer ETFE	Sistem de umbrire mobil cu panouri PV	Perne de aer ETFE cu celule PV
Consumul de energie pentru încălzire [kWh/m <sup>2</sup> an]	47,00	37,10	29,60	19,30	27,47	13,10
Consumul de energie pentru răcire [kWh/m <sup>2</sup> an]	43,00	2,70	2,70	0,53	2,70	0,53
<b>Consum total [kWh/m<sup>2</sup>an]</b>	<b>90,00</b>	<b>39,80</b>	<b>32,30</b>	<b>19,83</b>	<b>30,17</b>	<b>13,63</b>

- Comparația între sistemele de umbrire fixe și cele mobile a demonstrat:
  - scăderea semnificativă a aporturilor solare în lunile reci în cazul utilizării unui *sistem fix de umbrire* față de cazul fără sistem de umbrire;
  - reducerea consumului de energie pentru răcire cu 37,04% dacă se folosește un *sistem mobil de umbrire*, care se activează atunci când temperatura interioară depășește 24°C;

- reducerea consumului de energie pentru răcire cu 33,37% și a necesarului de energie pentru încălzire cu 24% pentru un *sistem mobil de umbrire care se activează atunci când spațiul interior se supraîncălzește și se închide în nopțile reci ale iernii.*

### 6.1.5 Rentabilitatea/durata de recuperare a investiției

- *Analiza economică* efectuată pentru cazul clădirii de birouri Centris demonstrează rentabilitatea utilizării sistemului prin amortizarea costurilor inițiale pentru sistemul de umbrire cu lamele orizontale mobile aplicat pe suprafețele vitrate orientate spre est, sud și sud-vest într-o perioadă de timp relativ scurtă (Tab. 6.3). În cazul integrării la nivelul întregii suprafețe vitrate (584,22 mp), pentru a reduce costurile pentru încălzire prin închiderea totală a lamelor în timpul nopților reci, amortizarea investiției are loc după o perioadă de timp mai îndelungată, investiția rămânând totuși rentabilă, având în vedere durată medie viață a clădirilor de birouri de 50 de ani.

Tab. 6.3 - Amortizarea costurilor sistemului de umbrire pentru clădirea de birouri CENTRIS

Suprafață vitrată [mp]	Durăță minimă de amortizare	Durăță maximă de amortizare
448,84	6 ani 9 luni	8 ani 4 luni
584,22	7 ani 11 luni	9 ani 9 luni

- Rezultatele studiilor indică reduceri considerabile ale consumului de energie în cazul unei clădiri de birouri cu suprafețe vitrate considerabile, chiar și pe fațada nordică. Se demonstrează astfel eficiența utilizării unei anvelope dinamice, aceasta având un impact considerabil asupra performanțelor energetice ale clădirii.

## 6.2 CONTRIBUȚII PERSONALE ȘI RECOMANDĂRI

### 6.2.1 Contribuții personale

Principalele contribuții originale, aduse pe parcursul realizării obiectivelor tezei de doctorat, se referă la:

#### A. *contribuții teoretice:*

- **analiza evoluției** anvelopelor adaptabile în contextul mondial de reducere a consumului de energie și utilizarea resurselor de energie regenerabilă;
- **studiu teoretic cu privire la stadiul actual de dezvoltare** al anvelopelor adaptabile la mediu, a tipologiilor, impactului pe care îl au asupra performanței energetice a clădirilor și tehnologiei utilizate;
- **analiza aprofundată a sistemelor de umbrire:** determinarea geometriei optime prin trasarea măștilor de umbrire, determinarea gradului de umbrire necesar pe baza procentului de utilizare a aporturilor energiei solare prin suprafețele vitrate și



a necesarului de căldură al clădirii, evaluarea performanței sistemului de umbrire prin transferarea măștii de umbrire și a gradului necesar de umbrire asupra diagramei solare;

- **definirea parametrilor de performanță specifici** anvelopelor adaptabile;
- **elaborarea unei metodologii de calcul** pentru a determina impactul sistemelor de anvelopă adaptabilă la mediu asupra performanței energetice a unei clădiri de birouri de dimensiuni medii;

**B. contribuții aplicative:**

- **determinarea geometriei optime a sistemelor de umbrire:** unghiul de înclinație optim lunar și lățimea totală a elementelor orizontale pentru un sistem de umbrire cu lamele orizontale în funcție de gradul de umbrire necesar;
- **identificarea perioadelor** în care parametrii anvelopei trebuie să aibă anumite valori și **momentelor** în care acestea trebuie să fie modificate;
- **analiza impactului sistemelor de anvelopă adaptabilă** la mediu prezentate în capitolul 2 asupra performanței energetice a unei clădiri de birouri de dimensiuni medii prin simulări realizate pe un modelul de clădire în programe de modelare 3D și calcul termodinamic;
- **evaluarea performanțelor integrării SER** în sistemele de umbrire mobile cu elemente orizontale și a pernelor de aer ETFE prin simulări în programe specifice pe modelul de clădire de birouri propus;
- **studiul performanțelor individuale** ale diferitelor soluții și ale **aplicării combinate** a acestora prin studii de caz realizate comparativ pe modelul de clădire de birouri studiat;
- **studiu comparativ al performanțelor energetice** ale clădirii de birouri **Centris** (lași) în situația inițială și în cazurile:
  - aplicării unui sistem de umbrire mobil cu elemente orizontale;
  - vitrajului cu perne de aer ETFE;
  - integrarea panourilor PV sistemului de umbrire mobil;
  - vitrajului cu perne de aer ETFE cu celule fotovoltaice;
- **studiu comparativ al performanțelor energetice** ale clădirii de birouri Centris:
  - fără sisteme de umbrire;
  - cu sistem fix de umbrire;
  - cu sistem mobil de umbrire, care se activează atunci când temperatura interioară depășește 24°C;
  - cu sistem mobil de umbrire care se activează atunci când spațiul interior se supraîncălzește și se închid în nopțile reci ale iernii.
- **analiza fezabilității** integrării mai multor soluții de anvelopă adaptabilă;
- **evaluarea rentabilității investiției pentru cazurile studiate.**

## 6.2.2 Recomandări pentru acțiuni viitoare

În România, proiectarea clădirilor de birouri a început să țină cont tot mai mult de normele de dezvoltare sustenabilă, evidențiindu-se o creștere semnificativă a numărului celor care sunt certificate ca sustenabile. În acest sens, apare ca oportună propunerea unei serii de recomandări pentru activitatea de proiectare în scopul atingerii criteriilor de eficiență energetică:

- integrarea unui sistem de umbrire dinamic care poate să ajusteze gradul de umbrire în funcție de nivelul de iluminat și aporturile de căldură necesare și care înglobează sisteme de colectare a radiației solare în exces;
- înglobarea unor materiale care pot să își modifice rezistența termică pentru a limita pierderile de căldură sau permite eliminarea căldurii în exces;
- prevederea unor dispozitive/soluții care permit reducerea transmitanței termice a părții transparente a anvelopei (închiderea parasolarelor pe timpul nopții / umplerea a mai multor camere cu aer în cazul pernelor cu aer ETFE);
- adăugarea unei anvelope suplimentare cu soluțiile descrise, care să îmbrace fațadele expuse radiației solare și să îmbunătățească performanța energetică ale clădirilor de birouri existente.

#### **Alte recomandări:**

- facilitarea și încurajarea prin legislație și politici financiare guvernamentale a implementării soluțiilor de anvelopă adaptabilă (ex. perne cu aer ETFE, bioreactoare cu alge);
- încurajarea/susținerea prin politici financiare adecvate a integrării SER și la nivelul clădirilor de birouri (ex: introducerea unor deduceri de taxe și impozite pentru dezvoltatorii de proiecte sustenabile);
- promovarea soluțiilor de anvelopă adaptabilă prin expoziții, simpozioane, cursuri de perfecționare ale proiectanților și factorilor de decizie, schimb de experiență cu proiectanți și producători de tehnologie din străinătate, introducerea cursurilor specifice în curricula facultăților de profil;
- colaborarea între proiectanți și producătorii de anvelope statice din țară în vederea cercetării și elaborării, testării și implementării unor soluții noi de anvelopă adaptabilă.

## BIBLIOGRAFIE

1. Addington, M.; Schodeck D.: „*Smart Materials and New Technologies- For the architecture and design professions*”, Architectural Press, Oxford 2005, pag. 165 -173
2. Antretter, F.; Haupt, W.; Holm, A.: „*Thermal Transfer through Membrane Cushions Analyzed by Computational Fluid Dynamics*”, Nordic Symposium on Building Physics, June16-18, 2008
3. Atanasiu, B.; Petran, H.: „*Implementarea Clădirilor cu Consum de Energie Aproape Zero (nZEB) în România*”, Institutul European pentru Performanța Clădirilor (BPIE), 2012
4. Bahr, W.: „*Integration of shading devices and photovoltaic panels into existing building facades*”, Green Retrofit Conference – Dubai Knowledge Village, December 15-16, 2009
5. Bauer, M.; Mosle, P.; Schwartz M.: „*Green Building – Guidebook for Sustainable Architecture*”, Springer Science & Business Media, Stuttgart, Germania, 2009, pag. 80-87
6. Brown, C.: „*Shading Masks and Fenestration Design*”, ARCH 140, Architecture 140 Energy and Environmental Management College of Environmental Design, UC Berkeley, 2015
7. Candemir, K.U.: „*Inflatable Pillow System as a Glass Substitute In Terms of Building Envelope*”, Izmir Institute of Technology, Izmir, Turcia, 2003, pag. 28-99
8. Cauberg-Huygen Consulting Engineers: „*Designing with Responsive Building Elements*”, Aalborg University, Politecnico di Torino, 2011
9. Cellai, G.; Carletti, C.; Scieurpi, F.; Secchi, S.: „*Transparent Building Envelope: Windows and Shading Devices Typologies for Energy Efficiency Refurbishments*”, Building Refurbishment for Energy Performance. A Global Approach, Springer International Publishing , Elveția, 2014
10. Danny, H. W. Li; Lam, N. T. Tony: „*Determining the Optimum Tilt Angle and Orientation for Solar Energy Collection Based on Measured Solar Radiance Data*” , Hindawi Publishing Corporation, International Journal of Photoenergy, Volume 2007, Hong Kong , 2007
11. Dave, M.; Varshney, A.; Graham, P.: „*Assesing the Climate Change Adaptability of Buildings*”, Node 3 – Built Environment, Innovation and Institutional Reform, ACCARNSI Discussion paper, , City Futures Research Centre, Iunie, 2012
12. de Boer, B.J.; Ruijg, G.J.; Loonen R.C.G.M.; Trcka, M.; Hensen, J.L.M.; Kornaat, W.: „*Climate adaptive building shells for the future – optimization with an inverse modelling approach*”, Proceedings of the ECEEE Summer Study 2011, Belambra Presqu'île de Giens, Franța, European Council for an Energy Efficient Economy, 2011, pag. 1413-1422

13. Dimitriadou, W.A.; Shea, A.: „*Experimental Assessment and Thermal Characterization of Ethylene TetraFluoroEthylene ETFE Foil*”, Athens Journal of Technology & Engineering, 2014
14. Dolmans, D.: „*Synergies between Solar Shading and HVAC Technologies*”, Rehva journal – september 2008
15. Fokaides, P.; Kylili, A.; Kalogirou, S.: „*Phase change materials (PCMs) integrated into transparent building elements: a review*”, Mater Renew Sustain Energy, April 2015, springerlink.com
16. Fortmeyer, R.; Linn, C.D.: „*Kinetic Architecture: Design for Active Envelopes*”, The Images Publishing Group, Melbourne, Australia, 2014
17. Fricke, J.: „*Physical Aspects of Heat Transfer and the Development of Thermal Insulations*”, „*High Performance Thermal Insulation Systems – Vacuum Insulated Products (VIP)*”, Proceedings of the International Conference and Workshop EMPA Duebendorf, Ianuarie 22-24, 2001, pag. 13-22
18. Gaal, P.S.: „*Thermal Conductivity 24/Thermal Expansion 12*”, Technomic Publishing Company, Lanchester, Pennsylvania, U.S.A., 1999
19. Gondrie, N.; Gooskens, G.: „*Responsive Facades – A brief Introduction to dinamic facade systems*”, Window & Facade Magazine – Volume 1, Issue 6, Anniversary Issue, 2014
20. Gugliermetti, F.; Bisegna, F.: „*Static and Dynamic Daylight Control Systems: Shading Devices and Electrochromic Windows*”, Ninth International IBPSA Conference, Montreal, Canada, August 15-18, 2005
21. Hansanuwat, R.: „*Kinetic Facades as Environmental Control Systems: Using Kinetic Facades to increase energy efficiency and building performance in office buildings*”, Faculty of the School of Architecture, University of Southern California, California, mai, 2010
22. Hasselaar, B. L. H.: „*Climate Adaptive Skins: towards the new energy-efficient façade*”, WIT Transactions on Ecology and the Environment, Vol. 99, WIT Press, Wessex, UK, 2006
23. Hastings, R.; Wall M.: „*Sustainable Solar Housing – Strategies and Solutions*”, Cromwell Press, Trowbridge, UK, 2009
24. Hegger, D.M.; Auch-Schwelk, V.; Fuchs, M.; Rosenkranz, T.: „*Construction Materials Manual, Birkhauser*”, Publishers for Architecture, Basel, Elveția, 2006
25. Horn, R.; Neusinger, R.; Meister, M.; Hetfleisch, J.; Caps, R.; Fricke, J.: „*Switchable thermal insulation: results of computer simulations for optimisation in building applications*”, High Temperatures - High Pressures, 2000, volume 32, pages 669-675, Presented at the 15th European Conference on Thermophysical Properties, Wurzburg, Germany, 5- 9 September 1999
26. Hutchins, M.: „*High Performance dynamic Shading Solutions for Energy Efficiency and Comfort in Buildings*”, Sonnergy Limited, United Kingdom, 2015

27. Kamal, M. A.: „Le Corbusier’s Solar Shading Strategy for Tropical Environment: A Sustainable Approach”, Journal of Architectural/Planning Research and Studies, Vol 10 No 1 (2013): August-October 2013, pag. 19-26
28. Karlsson, B.: „*Innovative Solar Energy Technologies*”, Lund University, Suedia, 2005
29. Khambatta, I.: „*Just FACE It! – Facade Applications*”, Window and Facade Magazine, Vol. 2, Issue 3, September- October 2015, F&F Media and Publications, New Delhi, 2015, pag. 14-18
30. Knaack, U.; Tillmann, K.: „*The Future Envelope 2: Architecture, Climate, Skin*”, IOS Press, Amsterdam, Olanda, 2009
31. Kosny, J.: „*PCM-Enhanced Building Components: An Application of Phase Change Materials in Building Envelopes and Internal Structures*”, Springer International Publishing, Switzerland, 2015
32. Kyoung-Hee, K.: „*Beyond Green: Growing Algae Facade*”, International Conference on Sustainable Building Asia, SB13 Seoul, 2013
33. LeCuyer, A.: „*ETFE: Technology and Design*”, Springer Science + Business Media, Germany, 2008
34. Lee, E.; Selkowitz, S.; Bazjanac, V.; Inkarojrit, V.; Kohler, C.: „*High-performance Commercial Building Facades*”, University of California, Berkley, 2002
35. Lomanowski, B.A.: „*Implementation of Window Shading Models into Dynamic Whole-Building Simulation*”, Ontario, Canada, 2008
36. Loonen, R.C.G.M.; Trcka, M.; Hensen, J.L.M.: „*Exploring the Potential of Climate Adaptive Building Shells*”, Proceedings of Building Simulation 2011: 12<sup>th</sup> Conference of International Building Performance Simulation Association, Sydney, 14-16 Noiembrie, 2011
37. Ogwezi, B.; Bonser, R.; Cook, G.; Sakula, J.: „*Multifunctional, Adaptable Facades, Abstracts of Conference Papers*”, TSBE EngD Conference, TSBE Centre, University of Reading, Whiteknights, RG6 6AF, 5th July 2011, <http://www.reading.ac.uk/tsbe/>
38. Olgyay, A.; Olgyay, V.: „*Solar Control and Shading Devices*”, Oxford University Press, London, 1957
39. Olgyay, V.: „*Design with Climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism*”, New and Expanded Edition, Princeton University Press, London, 2015
40. Peck, E.M.: „*ETFE systems – ETFE moves mainstream*”, Fabric Architecture, September 2011
41. Petrea, S.G.; Moleavin, A.: „*Etanșeizarea Clădirilor*” <https://vdocuments.site/etansezarea-cladirilor.html>

42. Pfundstein , M.; Gellert, R.; Spitzner, M.; Rudolphi, A.: „*Insulating Materials: Principles, Materials, Applications*”, Institut fur Internationale Arkitektur – Dokumentation GmbH & Co. GB, Munich, 2007
43. Poirazis, H.; Kragh, M.; Arup C. H.: „*Energy Modelling of ETFE Membranes in Building Applications*”, Eleventh International IBPSA Conference, Glasgow, Scotland, July 27-30, 2009
44. Popa, L., G., Brumaru, M.: „BUILDINGS WITH DYNAMIC FAÇADES: THE ENERGY PERFORMANCE OF A BUILDING WITH E.T.F.E. AIR CUSHIONS”, Bulletin of the *Transilvania University of Braşov* • Vol. 10 (59) No. 1 - 2017 Series I: Engineering Sciences
45. Popa, L., G., Brumaru, M. : "ENERGY PERFORMANCE EVALUATION OF AN OFFICE BUILDING WITH MOBILE SHADING AND INTEGRATED PV CELLS", Bulletin of the *Transilvania University of Braşov* • Vol. 10 (59) No. 1 - 2017 Series I: Engineering Sciences
46. Popa, L., G., Brumaru, M. : "OPTIMIZING BUILDINGS ENERGY PERFORMANCE THROUGH PHOTOVOLTAIC PANEL INTEGRATION WITHIN A MOBILE SHADING SYSTEM", 11th International Conference Interdisciplinarity in Engineering, INTER-ENG 2017, 5-6 October 2017, Targu-Mures, Romania
47. Popa, L., G., Brumaru, M. : "CLĂDIRE DE BIROURI CU ANVELOPĂ ADAPTABILĂ LA MEDIU – STUDIU DE CAZ", volumul celei de a XII-a Conferințe Naționale AAECR, "Performanța energetică a clădirilor. Evoluția și varietatea soluțiilor impuse", pag.25-36, Craiova, 18.05.2018
48. Ri, R.; Chung-gu, J.; Janghoo, S.; Yongseong, K.: „*A Preliminary study on the Double Skin Facade using Phase Change Material*”, Advanced Science and Technology Letters Vol. 32, Kookmin University, Seoul, Korea, 2013
49. Sala, M.; Gallo, C.; Sayigh A. A. M.: „*Architecture: Comfort and Energy*”, Elsevier Science Ltd, Oxford, UK, 1998
50. Stanciu, E.L.: „*Eficiența Energetică a Clădirilor*”, <https://www.scribd.com/document/138327452/Eficiența-energetică-cladiri>
51. Van der Spoel , W.H.: „*Passive cooling and heating using adaptable insulation*”, Delft University of Technology Faculty of Architecture, Building Technology Group Climate Design PB 5043, 2628 CR, Delft The Netherlands, August, 2012
52. Vassig, D.S.; Ozer, E.; Spiegelhalter, T.: „*Best Practices in Sustainable Building Design*”, J. Ross Publishing, Florida 2013
53. Zulu, A.; Kashweka, G.: „*The Influence of Artificial Light and Shading on Photovoltaic Solar Panels*”, International Journal of Energy Engeneering, 2013

#### Web

54. <http://etfe-mfm.eu/contents/publicationsitem/etfe-mfm-d232-architectural-possibilities-for-etfe-mfm.pdf>

55. <http://explore-house.eu/en/2013/05/08/expert-talk-christine-rosch/>
56. <http://indulgd.com/kinetic-facade-features-adaptive-daylight-window-shading-system/>
57. <http://inhabitat.com/bizarre-bubble-building-wrapped-in-inflatable-antibacterial-nylon-replaces-existing-shanghai-icon/3gatti-bubble-building-9/>
58. <https://inhabitat.com/incredible-urban-algae-canopy-produces-the-oxygen-equivalent-of-four-hectares-of-woodland-every-day/>
59. <http://isites.harvard.edu/fs/docs/icb.topic260272.files/Group03.SwitchableGlazing.s.pdf>
60. <http://solarelectricityhandbook.com/solar-angle-calculator.html>
61. <http://syndebio.com/biq-algae-house-splitterwerk/>
62. <http://uac.incd.ro/Art/v2n4a06.pdf>
63. <https://www.alukoenigstahl.ro/ro/sisteme/produse/schueco-aws-102>
64. <http://www.anarchitectabroad.com/wp-content/uploads/2015/06/Institut-du-Monde-Arabe.jpg>
65. <http://www.archdaily.com/339451/worlds-first-algae-bioreactor-facade-nears-completion/>
66. <http://www.architen.com/articles/etfe-foil/>
67. <http://www.architen.com/articles/etfe-foil-a-guide-to-design/>
68. <http://www.centrisiasi.ro/echipa-proiectului/>
69. <http://www.centrisiasi.ro/galerie-foto/>
70. <http://www.centrisiasi.ro/informatii-proiect/>
71. [http://www.ceramicindustry.com/Articles/Glass/BNP\\_GUID\\_9-5-2006\\_A\\_1000000000000110392](http://www.ceramicindustry.com/Articles/Glass/BNP_GUID_9-5-2006_A_1000000000000110392)
72. <http://www.citiesandpeople.eu/photobioreactors/>  
<http://www.commercialwindows.org/electrochromic.php>
73. <http://www.consilium.europa.eu/ro/policies/climate-change/>
74. <http://www.consilium.europa.eu/ro/policies/energy-union/>
75. <http://www.cosella-dorken.com/bvf-ca-en/projects/pcm/kempen.php>
76. <http://www.ctbuh.org/LinkClick.aspx?fileticket=c8GlZooATFg%3D&tabid=3845&language=en-US>
77. <http://www.designbuild-network.com/features/featureclimate-control-intelligent-facades/>
78. <http://www.dezeen.com/2014/03/19/penumbra-kinestic-louvres-tyler-short-movie/>
79. <http://www.domerama.com/coverings/etfe/building-with-foil-cushions/>

80. <http://www.electrifurnizare.ro/clienti/clienti-casnici/tarife-reglementate-avizate-de-anre/tarife-avizate-anre/>
81. <http://www.geiger-company.ro/schuco/ferestre/schueco-aws-102-ni>
82. [\*\*http://www.greenovate-europe.eu/ETFE-MFM\*\*](http://www.greenovate-europe.eu/ETFE-MFM)
83. <http://www.greenprophet.com/2013/07/powering-buildings-with-bioreactor-algae-skin-facades/#sthash.P1nEpkjZ.dpuf>
84. <http://www.greenroofs.com/projects/pview.php?id=553>
85. <http://www.iaac.net/archivos/project/pdf/endesa-brocheng.pdf>
86. <http://www.iba-hamburg.de/en/themes-projects/the-building-exhibition-within-the-building-exhibition/smart-material-houses/biq/projekt/biq.html>
87. <http://www.ipconsult.ro/Indrumar%20de%20Eficienta%20Energetica%20pentru%20Cladiri%20I.htm>
88. <http://www.isover-construction.com/>
89. <http://www.medaru.eu/medlinegroup/portfolio/centris/>
90. <http://www.mnn.com/your-home/remodeling-design/blogs/algae-powered-apartment-complex-blooms-in-hamburg#ixzz3IH1BTDH1>
91. [http://www.new-learn.info/packages/clear/interactive/matrix/d/hot\\_climate/shading\\_of\\_openings.html](http://www.new-learn.info/packages/clear/interactive/matrix/d/hot_climate/shading_of_openings.html)
92. [http://www.solarepanouri.ro/harta-soarelui\\_302\\_1.htm](http://www.solarepanouri.ro/harta-soarelui_302_1.htm)
93. <http://www.solar-facts.com/panels/panel-efficiency.php>
94. <http://www.solarpaneltilt.com/>
95. <http://www.solarpv.co.uk/solar-pv-orientation.html>
96. <http://www.sustainablehealthybuildings.org/PDF/7TH/KIMGON.pdf>
97. <http://www.tboake.com/carbon-aia/strategies1b.html>
98. [http://www.worldenergy.org/publications/energy\\_efficiency\\_policies\\_around\\_the\\_world\\_review\\_and\\_evaluation/1\\_introduction/1175.asp](http://www.worldenergy.org/publications/energy_efficiency_policies_around_the_world_review_and_evaluation/1_introduction/1175.asp)
99. <https://archello.com/project/media-tic-barcelona>
100. <https://archinect.com/people/project/42367547/component-geometry-pavilion-in-barcelona/42371165>
101. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/RO/ALL/?uri=celex:52011DC0112>
102. <https://inhabitat.com/the-worlds-first-algae-powered-building-opens-in-hamburg/>
103. <https://seele.com/structures/membrane-structures/>
104. <https://thermodul.com/ce-inseamna-absolut-pasiv/>
105. <https://weburbanist.com/2014/03/16/kinetic-facade-awesome-adaptive-window-shading-system/>
106. <https://www.archdaily.com/437560/bubble-building-3gatti-architecture-studio>



107. [https://www.archdaily.com/510226/light-matters-mashrabiya-translating-tradition-into-dynamic-facades?ad\\_medium=widget&ad\\_name=recommendation](https://www.archdaily.com/510226/light-matters-mashrabiya-translating-tradition-into-dynamic-facades?ad_medium=widget&ad_name=recommendation)
108. [https://www.archdaily.com/6810/california-academy-of-sciences-renzo-piano?ad\\_medium=gallery](https://www.archdaily.com/6810/california-academy-of-sciences-renzo-piano?ad_medium=gallery)
109. <https://www.archdaily.com/784723/etfe-the-rise-of-architectures-favorite-polymer>
110. <https://www.iba-hamburg.de/en/themes-projects/the-building-exhibition-within-the-building-exhibition/smart-material-houses/big/projekt/big.html>
111. [https://www.researchgate.net/figure/The-detail-of-the-adaptive-facade-of-the-Institute-du-Monde-Arabe\\_fig1\\_271329050](https://www.researchgate.net/figure/The-detail-of-the-adaptive-facade-of-the-Institute-du-Monde-Arabe_fig1_271329050)
112. [https://www.spatiulconstruit.ro/articol/fatada-adaptabila-gradului-de-insorire-pentru-turnurile-al-bahar-object\\_id=15091](https://www.spatiulconstruit.ro/articol/fatada-adaptabila-gradului-de-insorire-pentru-turnurile-al-bahar-object_id=15091)
113. <https://www.uar-bna.ro/2016/proiecte/16/>
114. [www.foiltec.de](http://www.foiltec.de)
115. [www.foiltec-vector.com](http://www.foiltec-vector.com)

#### Programe de calcul

116. Archicad 19 – Building Information Modeling (BIM) software
117. PHPP (Passive House Planning Package)
118. Design Builder cu EnergyPlus
119. Solar Pro

#### Legislație

120. Directiva 2010/31/UE
121. Hotărâre privind aprobarea Strategiei energetice a României pentru perioada 2007-2020
122. Legea nr. 372/2005 privind Performanța Energetică a Clădirilor
123. Metodologie de calcul al Performanței Energetice a Clădirilor aprobată prin Ordinul ministrului transporturilor, construcțiilor și turismului nr. 157/2007
124. Normativ pentru Calculul Coeficientului Global de Izolare Termică la Clădiri cu altă Destinație decât cele de locuit Indicativ C107/2-97
125. Normativ Privind Calculul Termotehnic al Elementelor de Construcție ale Clădirilor Indicativ C107/2005
126. Normativului privind Proiectarea și Montajul pereților cortină pentru satisfacerea cerințelor de calitate prevăzute de Legea nr. 10/1995, indicativ NP 102-04
127. Ordinul nr. 2641 din 4 aprilie 2017 privind modificarea și completarea

reglementării tehnice „Metodologie de calcul al performanței energetice a clădirilor”

128. *Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future*: <http://www.un-documents.net/our-common-future.pdf>