

STUDIU DE CAZ: IMPLEMENTARE CONCEPT NZEB ÎN CLĂDIRI PUBLICE EXISTENTE (SPITAL JUDEȚEAN)

dr.ing. Ancuța Maria Măgurean – Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca

| Nomenclator | | | |
|-----------------|--|-------|--|
| c | cost al unității de energie [euro/kWh] | ESEER | European Seasonal Energy Efficiency / Eficiența Energetică Sezonieră Europeană |
| C ₀ | cost investiție [euro/kWh] | IEE | Intelligent Energy Europe |
| e | cost al unității de energie economisită [euro/kWh] | IPLV | Integrated Part Load Value / Eficiența Energetică Sezonieră echipamente de răcire |
| N _R | durata de recuperare a investiției [ani] | NZEB | Nearly Zero Energy Building / Clădire al cărei consum de energie este aproape egal cu zero |
| N _S | durata de viața a soluției de modernizare energetică [ani] | SCOP | Seasonal Coefficient of Performance / Coeficient de Performanță Sezonier |
| U | transmitanță termică [W/m ² K] | SRE | Surse Regenerabile de Energie |
| ε | emisivitate [-] | | |
| ΔC _E | economia de cost anual al energiei consumate [euro/an] | | |
| ΔE | economia de energie [kWh/an] | | |
| ΔVNA | valoare neta actualizată aferenta investiției [euro] | | |

1. CONCEPTUL NZEB, SOLUȚIE ÎN CONTEXTUL EUROPEAN AL ECONOMIEI DE ENERGIE ÎN CLĂDIRI

În Directiva Europeană a Performanței Energetice a Clădirilor 2010/31/EU [1], *clădirea cu consum de energie aproape egal cu zero* este definită ca fiind clădirea cu o performanță energetică foarte ridicată, a cărei *cerință de energie* (“energy required”) din surse convenționale este aproape egal cu zero sau foarte scăzută, și care este acoperită într-o mare proporție din surse regenerabile, incluzând energie regenerabilă generată local. În transpunerea directivei în legislația românească, în 2016, prin Legea 372/2005, actualizată [2], procentul de energie din surse regenerabile a fost stabilit la valoarea de minim 10% din *consumul de energie* al clădirii.

Tot ca urmare a transpunerii acestei directive, la nivel național s-a elaborat un document-cadru [3], ca suport pentru implementarea conceptului în reglementările tehnice naționale, unde sunt

precizate valori ale nivelului maxim impus pentru energia primară din surse convenționale, precum și ale emisiilor de CO₂ pentru clădirile din sectorul rezidențial și pentru anumite tipuri de clădiri din sectorul nerezidențial, valori preluate ulterior în reglementarea tehnică C107/3-2005, actualizată în 2016 [4]. Acest document-cadru conține și alte prescripții, însă ele nu au fost preluate în reglementările tehnice aflate în vigoare, astfel că conceptul NZEB rămâne încă unul neclar, vis-à-vis de implementarea în practica curentă de proiectare și execuție a clădirilor.

Eforturi de promovare și implementare a conceptului, respectiv de pregătire a actorilor relevanți pe piață, au fost făcute printr-o serie de proiecte finanțate de către Comisia Europeană (proiecte de tip HORIZON 2020, IEE) dezvoltate în cadrul unor consorții internaționale, din care România a făcut, respectiv face parte, fiind reprezentată prin universități, institute de cercetare sau agenții de management energetic, cum sunt proiectele [5]:

- MEnS (Meeting of Energy Professional Skills) [6], [7], reprezentat prin Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, desfășurat în perioada 2015-2017, în cadrul căruia s-au organizat cursuri postuniversitare cu caracter multidisciplinar, cu focusul spre proiectarea integrată a clădirilor cu consum de energie aproape egal cu zero;
- Train-to-NZEB (2015-2018) [8], [9], Fit-to-NZEB [10], [11], reprezentate în cadrul consorțiilor internaționale prin INCUB URBAN-INCERC București, în cadrul cărora s-au fundamentat scheme-cadru pentru dezvoltarea competențelor și a calificărilor pentru lucrătorii din construcții și a specialiștilor, inclusiv a formatorilor (“trainers”) pentru proiectarea și execuția NZEB;
- RepublicZeb [12], în cadrul căruia s-au dezvoltat strategii pentru implementarea NZEB în clădirile publice;
- neZEH [13], [14], reprezentat prin ABMEE (Agenția pentru Managementul Energiei și Protecția Mediului Brașov), în care s-au elaborat proiecte-pilot de transformare hoteluri existente în clădiri al căror consum de energie este aproape egal cu zero.

S-au întreprins studii privitor la ceea ce presupune implementarea conceptului, din punct de vedere al proiectării în inginerie, atât pentru clădiri noi [5], cât și pentru clădiri existente [15]. O implementare a conceptului într-o fază incipientă a procesului de proiectare al clădirii prin introducerea auditorului energetic în colectivul de proiectare a fost propusă în [5].

Trebuie evidențiat aspectul că există deja un fond foarte mare de clădiri existente, care trebuie îmbunătățit, pentru ca impactul să fie unul relevant. Acest aspect a fost surprins în cea mai recentă modificare a Directivei 2010/31/EU, (EU) 2018/844 [16] sub forma obligativității de introducere

în statele membre a strategiei de renovare pe termen lung pentru “a sprijini renovarea parcului național de clădiri rezidențiale și nerezidențiale, atât publice, cât și private, într-un parc imobiliar cu un nivel ridicat de eficiență energetică și decarbonizat până în 2050, facilitând transformarea eficace din punct de vedere al costurilor a clădirilor existente în *clădiri al căror consum de energie este aproape egal cu zero*” [16].

Având în vedere potențialul reprezentat de clădirile din fondul existent, se învederează faptul că acest concept de proiectare poate reprezenta o soluție viabilă, aplicabilă la scară largă, pentru reducerea emisiilor de CO₂.

În ceea ce privește implementarea efectivă a conceptului, una dintre întrebările care se ridică este dacă modelele de calcul, de regulă analitice, utilizate în mod curent de către auditorii energetici asigură nivelul de detaliere impus în atingerea indicatorilor, care să permită încadrarea unei clădiri în clădire cu consum de energie aproape egal cu zero.

Această întrebare devine relevantă în momentul implementării soluțiilor propuse în clădirile reale existente, respectiv a monitorizării și măsurării consumurilor de energie după implementarea măsurilor, măsurare care în acest mod devine o metodă indirectă de validare a modelului de calcul utilizat. Totuși, în cazul măsurării consumurilor energetice ar trebui avute în vedere următoarele aspecte care pot determina diferențe față de rezultatele predicționate, cum ar fi:

- Execuția defectuoasă a soluțiilor propuse în auditul energetic și în proiectul tehnic elaborat pe baza auditului energetic;
- Comportamentul utilizatorilor, diferit față de cel din modelul de calcul;
- Temperaturile interioare setate, diferite față de cele din modelul de calcul;
- Date climatice (temperaturi exterioare, intensitatea radiației solare), diferite față de cele prelucrate statistic și care se utilizează la modelare;
- Modul de utilizare al echipamentelor nou introduse care deservesc clădirea.

Referitor la execuția defectuoasă a unor soluții de creștere a eficienței energetice a clădirilor existente, câteva situații întâlnite în realitate au fost evidențiate în [17].

Un alt aspect al monitorizării și măsurării consumurilor de energie este cel privitor la răspunderea legală a specialistului care determină rezultatele de economie de energie previzionată și consumuri energetice după implementarea proiectului de modernizare, care deocamdată în România, cel puțin pentru clădiri existente, este auditorul energetic. Diferențe între consumurile de energie

predicționate în modelul de calcul și cel înregistrate ulterior implementării soluțiilor pot aduce consecințe juridice nedorite. În Marea Britanie există deja procese de această natură [18].

2. NZEB ÎN ROMÂNIA ÎN CLĂDIRI PUBLICE EXISTENTE: STUDIU DE CAZ SPITAL JUDEȚEAN

Clădirea studiată este Secția de Pneumologie a Spitalului Județean Mureș, fiind amplasată în municipiul Tg. Mureș, județul Mureș, având $S_{cd} = 3144 \text{ m}^2$ și regimul de înălțime: S+P+2E+Mp. Clădirea a fost construită în anul 1904. Câteva caracteristici sunt prezentate în Tab. 1.

Tab. 1. Caracteristici privind amplasarea clădirii

| | |
|--|--|
| Zona climatică | IV, $T_e = -21 \text{ }^\circ\text{C}$ |
| Zona eoliană | IV |
| Clasa de adăpostire | Moderat adăpostită |
| Categoria de importanță a construcției | C |

Descrierea arhitecturală a clădirii și a structurii de rezistență. Destinația clădirii este de *spital clinic județean*, iar principalele funcțiuni ale clădirii sunt: bloc alimentar și sală de mese la demisolul clădirii, zonă de ambulatoriu cu secțiile Bronhologie și Radiologie, precum și un Laborator la parterul clădirii, zonă de spital cu pacienți internați, cu Secția de Copii amplasată la parterul clădirii și Secția de adulți amplasată la etajele 1 și 2. La mansarda parțială este amenajată camera de gardă.

Structura de rezistență a clădirii: este realizată din zidărie de cărămidă plină portantă, cu grosimi diferite. În ultimii ani s-a realizat închiderea a două terase, cu zidărie din BCA de grosime 30 cm.

Planșeele identificate sunt de mai multe tipuri, astfel: planșeul peste subsol este de două tipuri, din bolți de cărămidă în zona centrală, respectiv din profile metalice și bolțișoare de cărămidă pe lateralele clădirii; planșeele peste parter și etajul 1 sunt din beton armat monolit; planșeul peste etajul 2 este din lemn, cu grinzi dispuse interax la distanța de 1,00 m, cu înălțimea de 18 cm, podină și tavan din scandură de lemn de rășinoase, respectiv umplutură de moloz între ele. Peste podina de lemn este amplasat un strat de circulație din cărămidă plină cu grosimea de 5 cm.

Tâmplăriile exterioare sunt de mai multe tipuri, majoritatea foarte vechi, astfel s-au identificat: tâmplărie simplă din lemn, cu geam simplu (în zona de subsol), respectiv un luminator de dimensiuni mari (1.18 x 6.08 m) dispus în zona casei scării, tot din tâmplărie simplă din lemn; tâmplărie dublă din lemn, cu geam dublu; tâmplărie PVC cu geam termoizolant dublu, montată la intervale de timp diferite, unele dintre ele fiind deja degradate, prezentând neetanșeități vizibile.

Descrierea instalațiilor interioare și alcătuirea acestora este efectuată în Tab. 2

Tab. 2. Descrierea instalațiilor interioare și alcătuirea acestora

| | |
|---|---|
| <i>Instalații de încălzire</i> | 3 x cazan în condensare Beretta Power Plus, putere termică 88.3 kW/cazan (80°/60°C) |
| <i>Instalații apă caldă menajeră</i> | 1 x boiler Styleboiler EG/P 600, capacitate 600 l 1 x boiler Coterm BG 600, capacitate 565 l |
| <i>Instalații de climatizare</i> | Câteva echipamente de tip split asigură climatizare locală |
| <i>Instalații de ventilare mecanică</i> | Clădirea nu este dotată cu instalații de ventilare mecanică. |
| <i>Instalații de iluminat</i> | Aparate de iluminat de tip tuburi fluorescente și câteva corpuri de iluminat incandescente. Puterea electrică instalată pe iluminat 9.11 kW. |

Regimul de ocupare al clădirii – clădirea are program de funcționare continuu.

Analiza vizuală și termografică. Câteva fotografii ale clădirii efectuate la investigarea vizuală sunt prezentate în Fig. 1.





Fig. 1. Imagini ale clădirii 2 (a) Fațada SE – fațada principală; (b) Fațada NV; (c) Acces secundar, fațada NV; (d) Planșeu terasă circulabilă peste parter; (e) Tencuială exterioară, fațada SE; (f) Pereți spre spațiu neîncălzit (dinspre casa scării spre pod); (g) Stratificație planșeu de pod

Câteva imagini termografice efectuate în cadrul investigației calitative a clădirii sunt prezentate în Fig. 2 și Fig. 3.

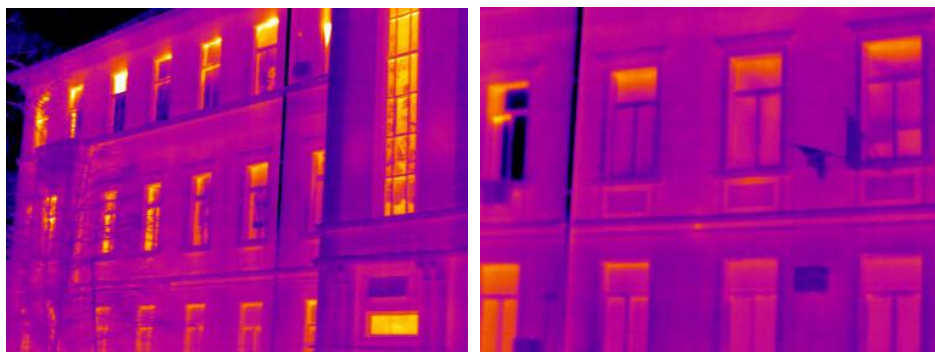


Fig. 2. Suprafața exterioară a pereților de pe fațada SE – imagini termografice

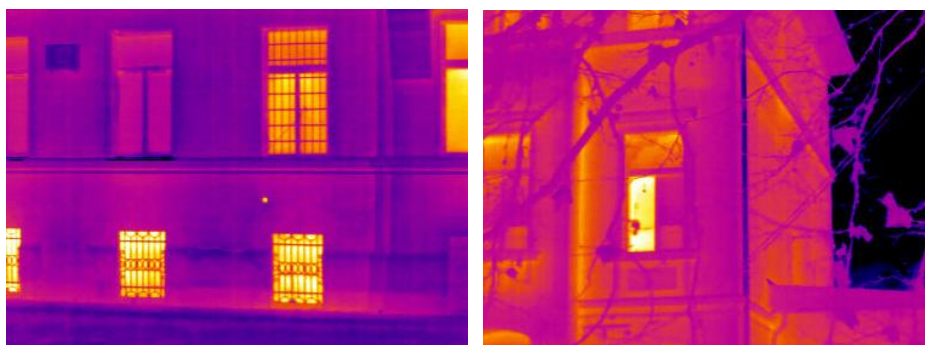


Fig. 3. Suprafața exterioară a pereților de pe fațada NV – imagini termografice

Aspecte identificate privind starea tehnică a clădirii. La inspecția vizuală s-au sesizat o serie de defecte pe care clădirea le-a acumulat de-a lungul timpului:

- Igrasie la unii pereți exteriori, în zona subsolului, cu tencuiala degradată local (scorojită și exfoliată), pe fațada Nord-Vest și pe fațada Nord-Est;

- Infiltrații de apă în pereții exteriori, în zona terasei peste parter (secția Bronhologie), pe fațada Nord-Vest;
- Tâmplărie simplă din lemn foarte veche și neetanșă (aproape toate încăperile de la subsol, dar care sunt încălzite) și luminatorul de la casa scării de dimensiuni 1.18 x 6.08 m;
- Tâmplărie PVC defectă în zona secției de Radiologie, care nu se închide etanș;
- Tâmplărie lipsă la o fereastră din subsol, în zona puțului liftului.

Analiza performanței termice a elementelor anvelopei clădirii. Caracteristicile geometrice și termice ale clădirii s-au determinat conform precizărilor din MC001/2006. Pentru detaliile constructive neidentificabile în cataloagele de punți termice existente s-au efectuat simulări numerice în regim staționar. Câteva detalii analizate numeric sunt prezentate în Fig. 4, Fig. 5, Fig. 6, Fig. 7, Fig. 8 și Fig. 9.

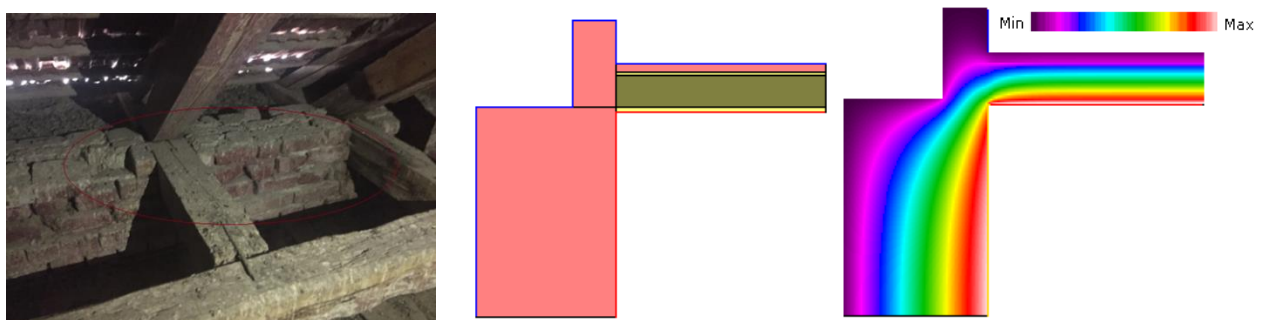


Fig. 4. Detaliu intersecție perete exterior P1 cu planșeu din lemn, sub pod P11 (secțiune verticală)

(a) Modelul geometric

(b) Suprafețe izoterme

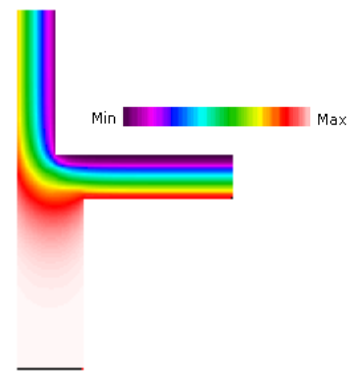
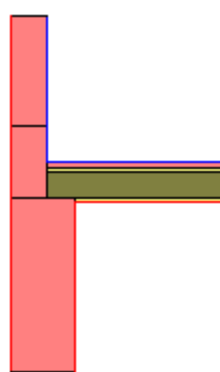


Fig. 5. Detaliu intersecție perete neîncălzit casa scării cu planșeu din lemn, spre pod neîncălzit (secțiune verticală)

(a) Modelul geometric

(b) Suprafețe izoterme

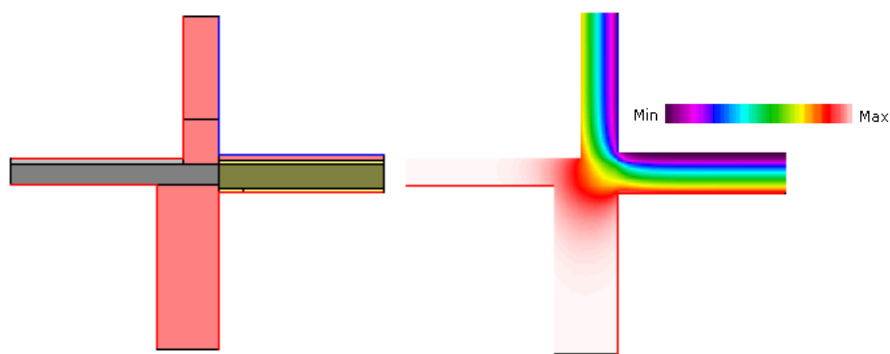


Fig. 6. Detaliu intersecție perete neîncălzit mansardă spre pod neîncălzit și planșeu lemn (secțiune verticală)

(a) Modelul geometric

(b) Suprafețe izoterme

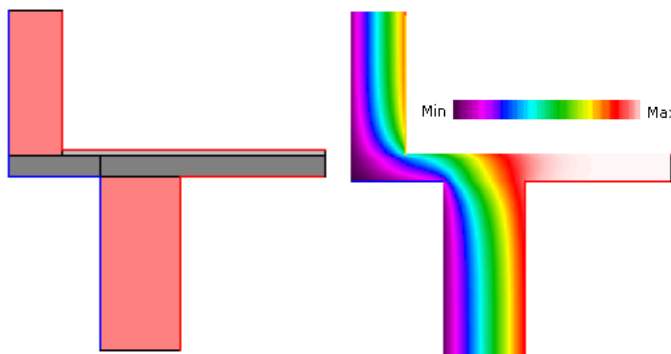


Fig. 7. Detaliu intersecție perete ext. cu planșeu inferior Pl.4.1 (fațadă SE) – ieșind (secțiune verticală)

(a) Modelul geometric

(b) Suprafețe izoterme

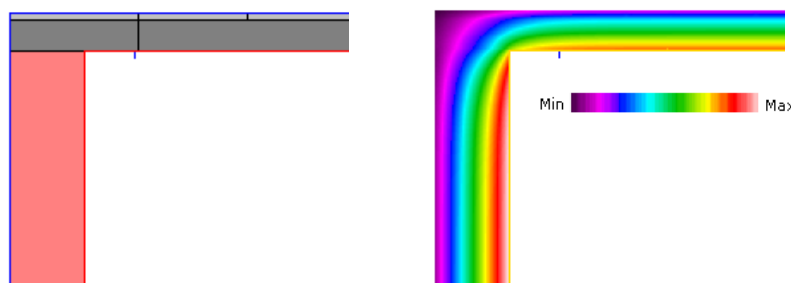


Fig. 8. Detaliu intersecție perete exterior P6 cu planșeu terasă Pl.3.2 – peste departament Bronhologie (ieșind)

(a) Modelul geometric

(b) Suprafețe izoterme

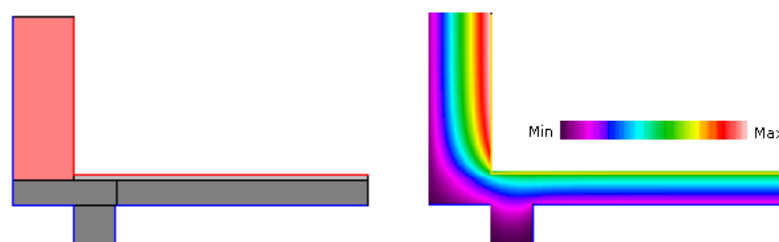


Fig. 9. Detaliu intersecție perete exterior cu planșeu exterior inferior peste subsol (Pl. 4.2/ Pl. 4.3)

(a) Modelul geometric

(b) Suprafețe izoterme

Analiza performanței energetice a clădirii. Rezultatele analizei energetice pentru situația actuală sunt centralizate în Tab. 3.

Tab. 3. Rezultate analiză performanță energetică - clădirea reală

| CONSUMURI Actuale clădirea existentă | | | |
|--|--------------------------------------|---------------------------------------|--|
| Consumuri anuale totale de energie și emisii CO₂ | En finala [kWh/an] | En primara [kWh/an] | Emisii CO₂ [kgCO₂/an] |
| <i>incalzire termic</i> | 1406621.40 | 1645747.04 | 288357.39 |
| <i>incalzire electric</i> | 4083.17 | 10697.91 | 1220.87 |
| Consum anual total de energie pentru încălzire | 1410704.57 | 1656444.94 | 289578.25 |
| Consum anual total de energie pentru apa calda de consum | 327539.64 | 383221.38 | 67145.63 |
| Consum anual total de energie pentru climatizare | - | - | - |
| Consum anual total de energie pentru ventilare mecanica | - | - | - |
| Consum anual total de energie iluminat artificial | 22577.81 | 59153.86 | 6750.77 |
| Total | 1760822.02 | 2098820.19 | 363474.65 |
| Consumuri anuale specifice de energie și emisii CO₂, din surse conventionale | En finala [kWh/m²] | En primara [kWh/m²] | Emisii CO₂ [kgCO₂/m²-an] |
| Consum anual specific de energie pentru încălzire | 665.32 | 781.21 | 136.57 |
| Consum anual specific de energie pentru apa calda de consum | 154.47 | 180.73 | 31.67 |
| Consum anual specific de energie pentru climatizare | - | - | - |
| Consum anual specific de energie pentru ventilare mecanica | - | - | - |
| Consum anual specific de energie iluminat artificial | 10.65 | 27.90 | 3.18 |
| Total | 830.44 | 989.85 | 171.42 |

Din rezultatele obținute se evidențiază un consum anual specific de energie finală din surse convenționale foarte mare, $q_{inc} = 665.32 \text{ kWh/m}^2\text{an}$, aferent încălzirii spațiilor, care încadrează clădirea în clasa energetică G pe grila de încălzire.

3. SPECIFICAȚII TEHNICE ÎN AUDITUL ENERGETIC ÎN CAZUL PROIECTĂRII NZEB LA CLĂDIRI EXISTENTE

În cele ce urmează se prezintă pachetul maximal de soluții propus, integrat pentru: anvelopa clădire, instalații, respectiv SRE (surse regenerabile de energie), care permit transformarea clădirii existente analizate în NZEB. Totodată se atrage atenția și, subsecvent, se propune un nivel de detaliere al specificațiilor tehnice, necesar pentru ca echipa de proiectare (DALI, PT) care preia auditul energetic ca documentație de specialitate să aibă toate datele necesare, astfel încât soluțiile propuse să fie implementate în clădire *în deplină corespondență cu scenariul propus și analizat de către auditorul energetic*, ca expert.

❖ *Soluții și detalii optimizate energetic, analiza tehnico-economică. Soluții de eficientizare energetică propuse pentru anvelopa clădirii. Se propune:*

➤ Izolarea termică a părții opace a fațadelor cu termosistem din vată minerală bazaltică, amplasat la exterior cu grosimea de 20 cm, cu următoarele specificații tehnice, care trebuie respectate:

| | |
|---|---------------------------|
| Conductivitate termică de calcul, λ | Max. 0.040 W/mK |
| Densitate aparentă, ρ | Min. 35 kg/m ³ |
| Efortul de compresiune a plăcilor la o deformație de 10% - CS(10/Y) | Minimum 30 kPa |
| Rezistența la tracțiune perpendicular pe fețe - TR | Minimum 10 kPa |
| Clasa de reacție la foc | A1/ A2-s1, d0 |

Pentru a se asigura reducerea efectului punților termice și pentru asigurarea respectării conformării energetice al detaliului constructiv introdus în modelul de calcul de transfer de flux termic, se recomandă respectarea dispunerii termoizolației conform Fig. 10.

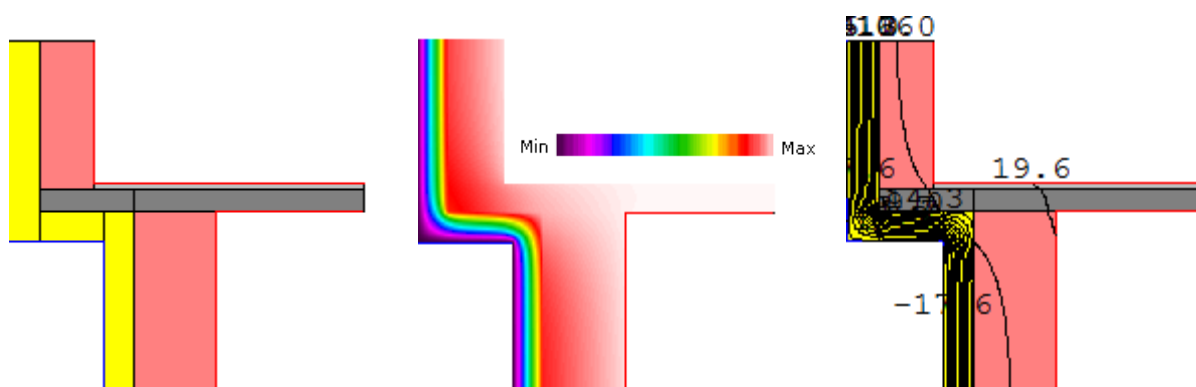


Fig. 10. Detaliu intersecție per. ext. cu pl. inferior Pl.4.1 (fațadă SE, Salon 13B, Salon 7 – Etajul 1) - ieșind

(a) Modelul geometric

(b) Suprafețe izoterme

(c) Linii izoterme

- Izolarea termică a spațiilor golurilor de ferestre și uși cu termosistem din EPS ignifugat, cu o grosime de 3 cm, cu specificațiile detaliate mai jos:

| | |
|---|---------------------------|
| Conductivitate termică de calcul, λ | Max. 0.040 W/mK |
| Densitate aparentă, ρ | Min. 16 kg/m ³ |
| Efortul de compresiune a plăcilor la o deformație de 10% - CS(10) | Minimum 80 kPa |
| Rezistența la tracțiune perpendicular pe fețe - TR | Minimum 120 kPa |
| Clasa de reacție la foc | B-s2, d0 |

- Izolarea termică a pereților subsolului, cu termosistem din XPS, cu prelungirea acestuia până la fundație, cu o grosime de 10 cm, cu următoarele specificații tehnice:

| | |
|---|---------------------------|
| Conductivitate termică de calcul, λ | Max. 0.040 W/mK |
| Densitate aparentă, ρ | Min. 28 kg/m ³ |
| Efortul de compresiune a plăcilor la o deformație de 10% - CS(10) | Minimum 80 kPa |
| Rezistența la tracțiune perpendicular pe fețe - TR | Minimum 120 kPa |
| Clasa de reacție la foc | B-s2, d0 |

- Izolarea termică a pereților neîncălziți dinspre casa scării și mansarda parțială, spre podul neîncălzit cu 10 cm polistiren expandat ignifugat, cu racordarea perimetrală a termoizolației la termoizolația podului și asigurarea continuității stratului termoizolant la intersecția perete spre spațiu neîncălzit – planșeu sub pod neîncălzit (a se vedea Fig.12). Termoizolația se va proteja cu tencuială subțire cu mortar adeziv armat cu plasă din fibră de sticlă, peste care se execută o zugrăveală simplă. Caracteristicile tehnice recomandate ale materialelor termoizolante sunt:

| | |
|--|--------------------|
| Conductivitate termică de calcul, λ | Max. 0.040 W/mK |
| Efortul de compresiune a plăcilor la o deformare de 10% - CS(10) | Minimum 80 kPa |
| Rezistența la tracțiune perpendicular pe fețe - TR | Minimum 120 kPa |
| Clasa de reacție la foc | C-s2, d0/ B-s2, d0 |

- Înlocuirea tâmplăriei exterioare existente, inclusiv a ușilor, cu tâmplărie termoizolantă etanșă, cu montarea tuturor ferestrelor la fața exterioară a peretelui (a zidăriei), cu respectarea următoarelor specificații:

| | |
|---|-----------------------------|
| Transmitanța termică corectată, U_w^* | Max. 1.1 W/m ² K |
| Clasa de reacție la foc a tâmplăriei exterioare termoizolante | Min. C-s2, d0 |

* U_w – coeficientul de transfer termic al ferestrei, calculat conform metodelor indicate în SR EN 10077-1/2008, valoarea conținând inclusiv efectul tâmplăriei și al distanțierilor asupra panoului de fereastră. Valoarea maximă a transmitanței termice trebuie asigurată pentru fiecare dimensiune de fereastră sau ușă care se va înlocui.

Cerințele constructive și de performanță termică pentru tâmplăria exterioară termoizolantă din profile PVC sunt următoarele:

- geam termoizolant triplu, cu două foi de sticlă acoperite cu pelicule low-e, $e \leq 0.1$, pachet de vitraj: 4-12-4-12-4 mm, umplute cu gaz inert (Argon), cu concentrație de min. 90% și distanțieri calzi “warm edges”, $U_f^{**} = \text{var } (0.8-1.2) \text{ W/m}^2\text{K}$, $g = 0.5$ (unde g – gradul de penetrare a energiei solare sau transmitanța totală a energiei solare prin sticlă), sau:
- geam termoizolant triplu, cu două foi de sticlă acoperite cu pelicule low-e, $e \leq 0.05$, pachet de vitraj: 4-12-4-12-4 mm, umplute cu gaz inert (Argon), cu concentrație de min. 90% și distanțieri calzi “warm edges”, $U_f^{**} = \text{var } (0.8-1.4) \text{ W/m}^2\text{K}$, $g = 0.5$ (unde g – gradul de penetrare a energiei solare sau transmitanța totală a energiei solare prin sticlă).

** U_f – coeficientul de transfer termic al ramei (conform terminologie SR EN 10077-1/2008 [19])

- Izolarea termică a planșeului sub pod ultimul nivel – peste etajul 2 (P11), respectiv peste casa scării și peste mansarda parțială (P12), propune următoarea soluție tehnică:

Disponerea de polistiren expandat ignifugat cu grosimea de 30 cm peste placa din beton armat (noua soluție constructivă, structurală, propusă conform Expertizei Tehnice), cu prevederea unei șape armate din mortar de 5 cm, cu rol de protecție termosistem și ca strat de circulație pentru planșeul peste etajul 2 (P11)/ fără strat de circulație peste mansardă și casa scării (P12). Sistemul termoizolant trebuie să aibă dispus la partea inferioară (pe partea “caldă” a termoizolației) o barieră de vapori. Specificațiile tehnice recomandate pentru materialele termoizolante sunt următoarele:

| | |
|---|--------------------|
| Conductivitate termică de calcul, λ | Max. 0.040 W/mK |
| Efortul de compresiune a plăcilor la o deformație de 10% - CS(10) | Minimum 120 kPa |
| Rezistența la tracțiune perpendicular pe fețe - TR | Minimum 150 kPa |
| Clasa de reacție la foc | C-s2, d0/ B-s2, d0 |

Analiza termotehnică a anvelopei cu noua soluție structurală constructivă a fost realizată cu următoarele detalii tehnice și se recomandă respectarea, de principiu, a modului dispunerii termoizolației.

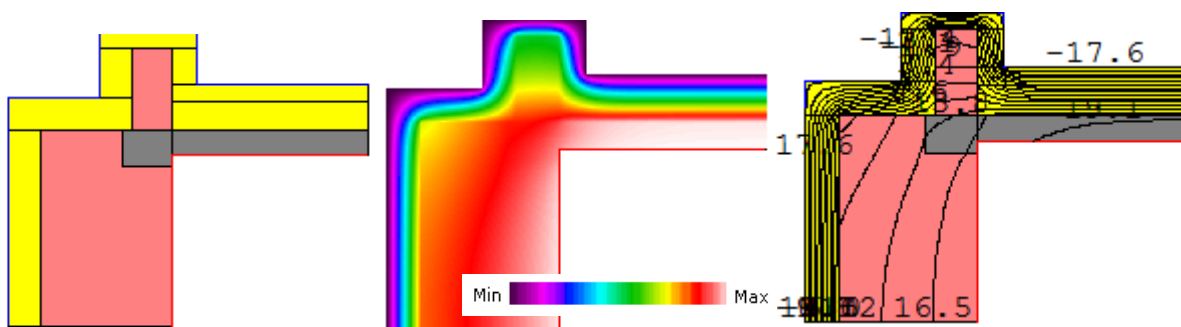


Fig. 11. Detaliu intersecție per. ext. P1 cu planșeu din lemn, sub pod, P11

(a) Modelul geometric

(b) Suprafețe izoterme

(c) Linii izoterme

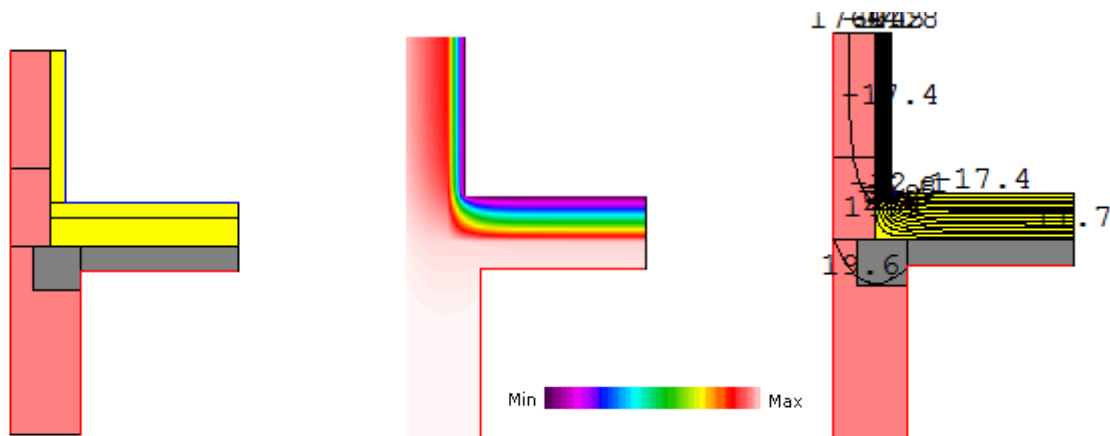


Fig. 12. Detaliu int. per. neîncălzit casa scării cu planșeu din lemn, spre pod neîncălzit

(a) Modelul geometric

(b) Suprafețe izoterme

(c) Linii izoterme

➤ Izolarea termică a planșeului peste zona acces Departament Radiologie / Departament Bronhologie (Cameră medici) – P15, cu parcurgerea următoarelor etape:

- Curățare strat suport și control tehnic de calitate;
- Dispunerea de polistiren expandat ignifugat cu grosimea de 25 cm, cu refacerea învelitorii (dacă este cazul), în vederea asigurării că stratul de termoizolație nu va fi afectat de infiltrații de apă și cu racordarea termoizolației planșeului la termosistemul pereților;

Sistemul termoizolant trebuie să aibă dispus la partea inferioară (pe partea “caldă” a termoizolației) o barieră de vapori.

➤ Termoizolare planșeu terasă circulabilă peste parter (zona Departament Bronhologie) – Pl. 3.2, cu montarea la exterior a unui strat termoizolant din XPS cu o grosime de 10 cm, protejat cu un strat de mortar de ciment și refacerea stratului de circulație. Cerințe de performanță ale materialelor termoizolante:

| | |
|---|--------------------|
| Conductivitate termică de calcul, λ | Max. 0.040 W/mK |
| Efortul de compresiune a plăcilor la o deformație de 10% - CS(10) | Minimum 200 kPa |
| Rezistența la tracțiune perpendicular pe fețe - TR | Minimum 200 kPa |
| Clasa de reacție la foc | C-s2, d0/ B-s2, d0 |

Pentru a se asigura reducerea efectului punților termice și pentru asigurarea respectării detaliilor constructive introduse în modelul de calcul de transfer termotehnic, se recomandă respectarea următoarelor detalii constructive:

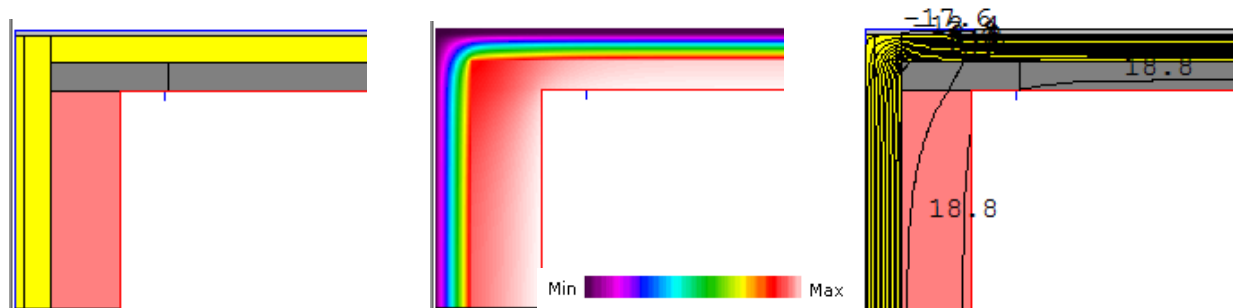


Fig. 13. Detaliu int. per. ext. cu planșeu terasă P1.5 – peste dep. Bronhologie (ieșind)
 (a) Modelul geometric (b) Suprafețe izoterme (c) Linii izoterme

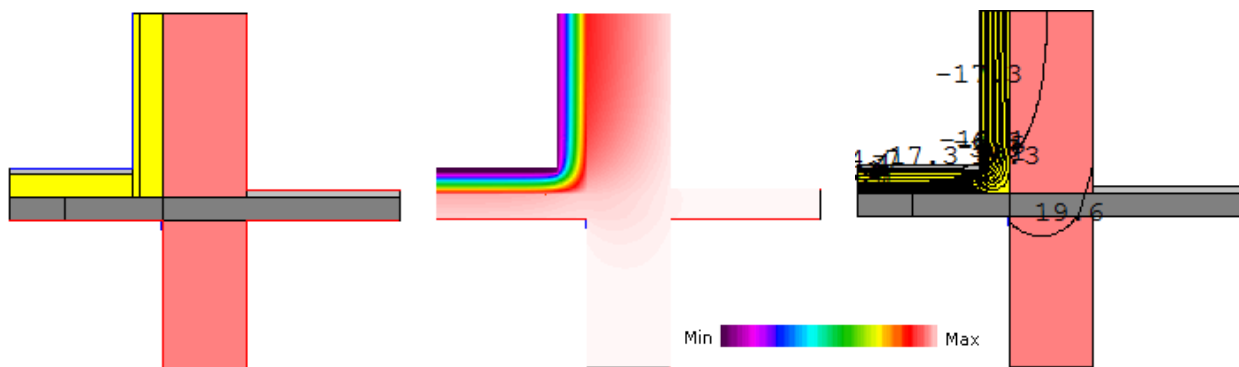


Fig. 14. Detaliu int. per. ext. cu planșeu terasă Pl.5 – peste dep. Bronhologie (întrând)

(a) Modelul geometric

(b) Suprafețe izoterme

(c) Linii izoterme

- Termoizolare planșee inferioare / exterioare, la exterior: ieșinduri pe fațada SE, sub etaj 1 (2 “buc.”) – Pl. 4.1 (Fig. 10), planșeu în zona de acces secundar la subsol (Arhivă) – Pl. 4.2, planșeu în zona de acces secundar la subsol, spre Bloc Alimentar – Pl. 4.3., cu 20 cm termosistem vată minerală, cu “îmbrăcare” grinzi din beton armat în termosistem (min. 10 cm. la partea inferioară a grinzilor), pt. plăcile Pl. 4.2 și Pl. 4.3 (Fig. 15). Cerințele de performanță propuse pentru termosistemul care se va utiliza: identice cu cele ale pereților exteriori.

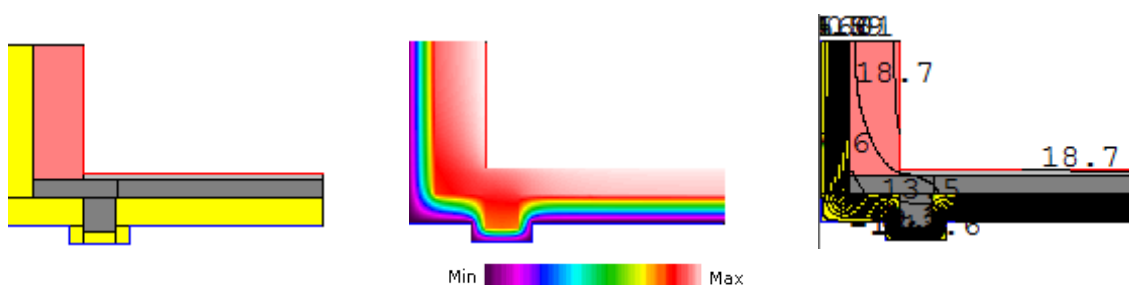


Fig. 15. Detaliu int. per. ext. cu planșeu ext. inferior subsol (Pl. 4.2/ Pl. 4.3)

(a) Modelul geometric

(b) Suprafețe izoterme

(c) Linii izoterme

- Izolarea termică a plăcii pe sol (zona îngropată din subsol) – Pl.7.1. Se propune următoarea soluție tehnică, cu parcurgerea următoarelor etape:
 - Îndepărtare stratificație actuală până la placa din beton armat;
 - Curățare strat suport;
 - Refacere hidroizolație;
 - Termoizolare cu XPS, cu grosimea de 10 cm, cu următoarele caracteristici:

| | |
|---|--------------------|
| Conductivitate termică de calcul, λ | Max. 0.040 W/mK |
| Efortul de compresiune a plăcilor la o deformație de 10% - CS(10) | Minimum 200 kPa |
| Rezistența la tracțiune perpendicular pe fețe – TR | Minimum 200 kPa |
| Clasa de reacție la foc | C-s2, d0/ B-s2, d0 |

- Realizarea unei șape din mortar de ciment pentru asigurare strat suport pardoseală;
- Refacere pardoseală.

❖ *Soluții propuse și parametrii de performanță energetică impuși pentru echipamentele de instalații*

Sursa de încălzire – înlocuire sursă de încălzire pentru noul necesar termic obținut după aplicarea măsurilor de izolare termică a anvelopei clădirii cu pompa de căldură geotermală, care să funcționeze în sarcină maximă pentru asigurarea a 60% din necesarul de încălzire, $SCOP_{net} = \text{min. } 3.8$ ($SCOP_{net}$ determinat conform SR EN 14825 [20]).

Se recomandă ca a doua sursă de energie termică să fie cazan în condensatie, cu combustibil gaz metan, cu randament energetic ridicat și arzător modulant.

Apă caldă menajeră (Sursa de producere a.c.m.) - Înlocuirea boilerelor actuale pe gaz cu boiler care să fie alimentate de la cazanele în condensatie, respectiv cu posibilitatea alimentării acestora cu agent termic produs cu ajutorul captatoarelor solare montate pe învelitoarea de pe fațada SE. Refacerea rețelei de distribuție, cu conducte termoizolate, grosime izolație $e = 2 \cdot e_{standard}$.

Pentru limitarea consumului de apă și evitarea risipei se propune înlocuirea bateriilor actuale cu baterii cu perlator, inclusiv senzori în grupurile sanitare comune utilizate de pacienți.

Climatizare - Având în vedere destinația clădirii, se recomandă introducerea climatizării centralizate. Cerințele de performanță pentru chiller sunt: $IPLV = \text{min. } 6.26$.

Ventilare mecanică - Având în vedere măsurile deja propuse în vederea reducerii consumului de încălzire (termoizolare anvelopă + etanșarea clădirii), este **obligatorie** introducerea ventilației mecanice cu recuperare de căldură, cu randament al recuperatorului 82 %, din cerințe de confort, în toate spațiile, pentru asigurarea unui schimb de aer corespunzător cu destinația spațiului.

Motoarele ventilatoarelor de introducere și evacuare să fie prevăzute cu sisteme de acționare cu turație variabilă, iar puterea nominală a motoarelor să fie maxim 7.5 kW pentru ventilatoarele de introducere cu debit 16000 m³/h, respectiv 5.5 kW pentru ventilatoarele de evacuare, cu debit 14000 m³/h. Se face precizarea că aceste specificații au fost propuse în urma predimensionării debitelor de ventilare necesare din asigurarea cerințelor de confort, debite ulterior armonizate cu cele determinate de proiectantul pe instalații de ventilare.

Iluminat - Se propune înlocuirea corpurilor de iluminat actuale cu corpuri de iluminat de tip LED, cu prevederea de senzori de prezență și/sau lumină naturală în toate spațiile comune (grupuri sanitare, casa scării, coridoare, etc.).

❖ *Surse regenerabile de energie (SRE)*

Pompă de căldură. Sursa de încălzire – înlocuire sursă de încălzire pentru noul necesar termic obținut după aplicarea măsurilor de izolare termică a anvelopei clădirii cu pompa de căldură geotermală, care să funcționeze în sarcină maximă pentru asigurarea a 60% din necesarul de încălzire, $SCOP_{net} = \text{min. } 3.8$ ($SCOP_{net}$ determinat conform SR EN 14825 [20]).

Captatoare solare. Pentru asigurarea unui procent de 45% din necesarul / consumul de apă caldă menajeră, se propune montarea de colectoare solare cu tuburi vidate, care să asigure în lunile de vară – Iunie, Iulie, August (Iulie fiind luna de producție maximă) a unui procent max. 85% din necesarul clădirii.

Specificații tehnice:

Tip: colectoare solare cu tuburi vidate

Suprafață (aria de apertură totală): 121 m²

Orientare: Fațada SE (montaj pe învelitoare)

Factor de corectie pentru pierderea de căldura k_1 : 1,42 W/m²K

Factor de corectie pentru pierderea de căldura k_2 : 0,005 W/m²K

Randament optic minim: $\eta_0 = 0.785$

Unghi de înclinare: 45°

Panouri fotovoltaice. Pentru asigurarea consumurilor electrice la funcționarea echipamentelor: de iluminat, CTA, pompă de căldură (sezon încălzire), chiller (sezon de răcire), se propune montarea de panouri fotovoltaice cu asigurarea unui procent de 26.7% din consumurile electrice ale utilităților clădirii evaluate în auditul energetic, de pe durata unui an, cu o producție estimată de 28200 kWh/an (pentru 27 kW instalați).

Specificații tehnice:

Tip: panouri policristaline

Suprafață (apertură totală): 178 m²

Orientare: Fațada SE/ SV (montaj pe învelitoare)

Randament minim: 14%

Unghi de înclinare: 45°

În tablele următoare s-au făcut analize atât pentru economiile de energie (Fig. Fig. 16, Tab. 4), cât și indicatori financiari (Tab. 5), care permit evaluarea fezabilității implementării măsurilor propuse.

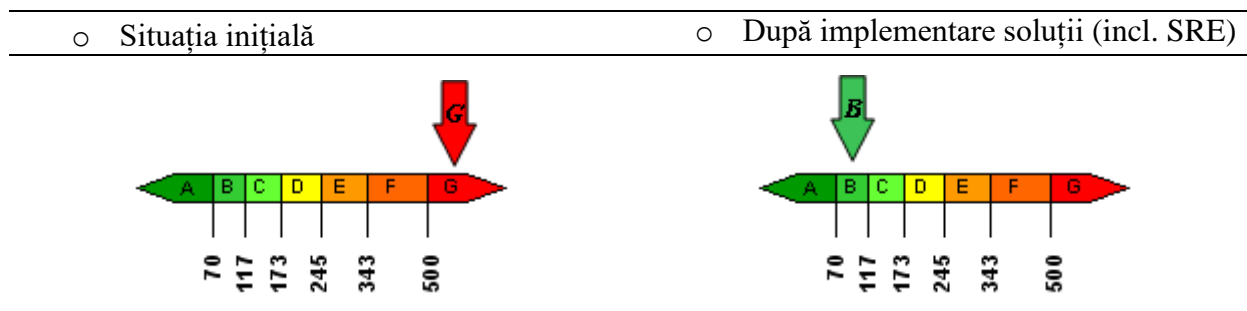
Tab. 4. Rezultate analiză performanță energetică - clădirea NZEB

| CONSUMURI Optimizate clădire Secția Pneumologie existentă, cu soluțiile de eficiențare propuse în auditul energetic | | | |
|---|---------------------------------------|--|---|
| Consumuri anuale totale de energie și emisii CO2 | En finală [kWh/an] | En primară [kWh/an] | Emisii CO2 [kgCO ₂ /an] |
| <i>încalzire termic</i> | 69124.29 | 80875.42 | 14170.48 |
| <i>încalzire electric</i> | 2704.25 | 7085.12 | 808.57 |
| <i>încalzire pompa</i> | 27285.90 | 23465.88 | 7012.48 |
| Consum anual total de energie pentru încălzire | 99114.44 | 111426.41 | 21991.53 |
| Consum anual total de energie pentru apa caldă de consum | 106661.81 | 124794.32 | 21865.67 |
| Consum anual total de energie pentru climatizare | 8883.19 | 23273.96 | 2656.07 |
| Consum anual total de energie pentru ventilare mecanică | 36187.56 | 94811.41 | 10820.08 |
| Consum anual total de energie iluminat artificial | 2079.91 | 5449.36 | 621.89 |
| Total | 252926.91 | 359755.46 | 57955.24 |
| Productie regenerabile (Asigurare consumuri necesare în clădire din SRE) | | | |
| Asigurare 60% din necesar incalzire cu pompa de caldura | 76400.53 | 51188.35 | |
| Producere apa caldă de consum cu ajutorul captatoarelor solare | 85336 | 85336 | |
| Producere energie electrică cu ajutorul panourilor PV | 28200 | 73884 | |
| TOTAL PRODUCTIE REGENERABILE | 189936 | 210408 | |
| Procent regenerabile raportat la consumurile finale de energie primară (Surse convenționale + SRE) | | 36.90% | |
| Consumuri anuale specifice de energie și emisii CO2 | En finală [kWh/m ² *an] | En primară [kWh/m ² *an] | Emisii CO2 [kgCO ₂ /m ² *an] |
| Consum anual specific de energie pentru încălzire | 46.74 | 52.55 | 10.37 |
| Consum anual specific de energie pentru apa caldă de consum | 50.30 | 58.86 | 10.31 |
| Consum anual specific de energie pentru climatizare | 4.19 | 10.98 | 1.25 |
| Consum anual specific de energie pentru ventilare mecanică | 17.07 | 44.71 | 5.10 |
| Consum anual specific de energie iluminat artificial | 0.98 | 2.57 | 0.29 |
| Total | 119.29 | 169.67 | 27.33 |

Tab. 5. Indicatori economici

| Soluția | N _S [Ani] | C ₀ [Euro] | ΔE [kWh/an] | c [Euro/kWh] | ΔC_E [Euro/an] | ΔVNA [Euro] | e [Euro/kWh] | N _R [Ani] |
|---------|-------------------------|--------------------------|------------------------|-----------------|---------------------------|------------------------|-----------------|-------------------------|
| PM | 20 | 1367023.38 | 1507895.12 | 0.06 | 90473.71 | -1082899.7 | 0.05 | 12.5 |

Tab. 6. Încadrare consumuri specifice de energie pe grila de încălzire



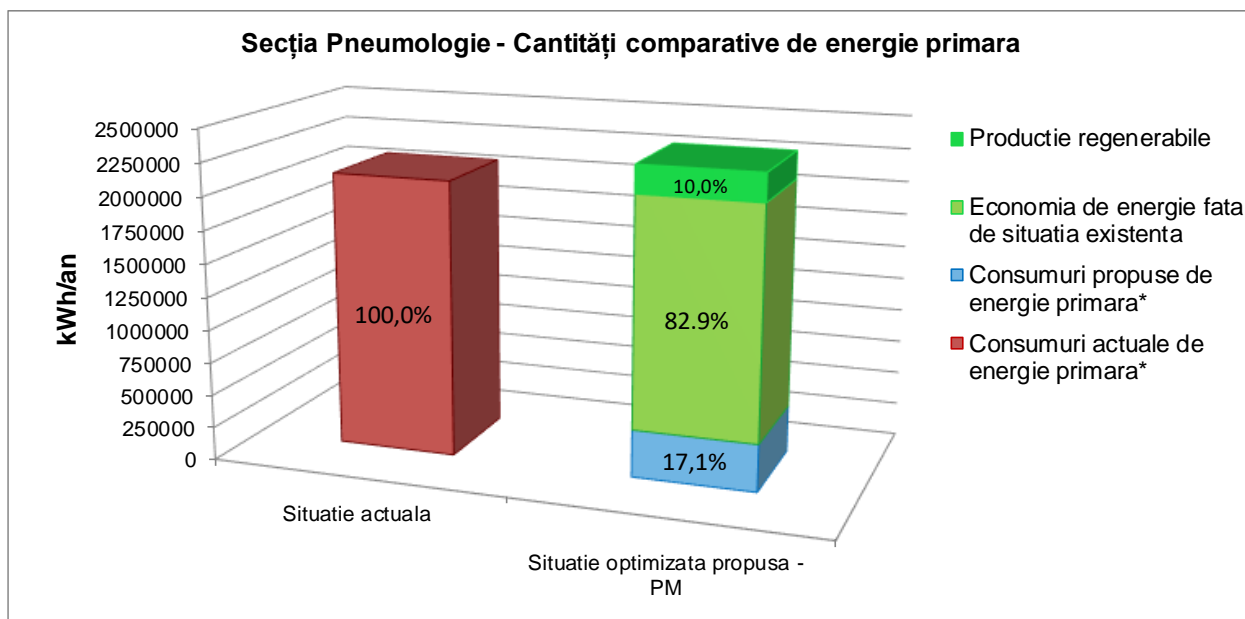


Fig. 16. Situație comparativă consumuri de energie: clădire reală vs. NZEB

Rezultă un consum anual specific de energie finală pentru încălzirea spațiilor, din surse convenționale $q_{inc.conventional} = 46.74 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{an}$. La acesta se adaugă o componentă de producție / consum, din surse regenerabile de energie $q_{inc.SRE} = 36.03 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{an}$.

4. ABORDAREA CONCEPTULUI NZEB LA CLĂDIRI EXISTENTE DE LA PARTICULAR LA GENERAL

În cadrul proiectului din acest studiu de caz, s-a fundamentat o strategie privind creșterea eficienței energetice a clădirii și transformarea acesteia în NZEB, totodată analizând integrat impactul unor soluții atât pentru anvelopa clădirii, cât și pentru instalații și surse regenerabile de energie.

Strategia în baza căreia s-a elaborat studiul de caz, promovată și în [5], cu aplicabilitate și în cazul clădirilor rezidențiale, constă în aplicarea a trei tipuri de măsuri în auditul energetic al clădirii:

- Primul tip de măsuri are ca scop *reducerea necesarului de încălzire al clădirii* într-un procent cât ridicat, prin măsuri de termoizolare și creșterea etanșeității anvelopei clădirii, având în vedere limitele pe care le au clădirile existente: amplasare în zone protejate istoric, spațiu limitat, umbrirea de la clădirile din jur, etc.
- Al doilea tip de măsuri propus în strategia privind creșterea eficienței energetice a clădirii este reprezentat de *utilizarea unor echipamente performante pentru încălzire, apă caldă menajeră, climatizare, ventilare mecanică și iluminat*, care au parametrii de performanță energetică în exploatare mult mai ridicați, cu scopul de a reduce consumul de energie primară aferent acestor utilități, cu impunerea parametrilor care vizează consumurile de

energie în exploatare ale echipamentelor (randamente la cazane, eficiența energetică sezonieră - ESEER sau IPLV - la chillere, SCOP la pompe de căldură, etc.).

Pentru specialitățile în care se intervine, o renovare complexă implică ridicarea la standardele actuale de proiectare, iar măsurile contribuie, de asemenea, și la creșterea confortului ocupanților clădirii, respectiv la asigurarea unui microclimat corespunzător destinației clădirii.

- Cerințele de energie deja semnificativ scăzute, trebuie să fie acoperite într-un procent cât mai ridicat, dar minim 10%, cu *surse regenerabile de energie*, care reprezintă al treilea tip de măsuri aplicabile acestui concept, cu impunerea unor specificații tehnice pentru echipamentele SRE.

În ceea ce privește *aplicabilitatea generalizată* a acestui studiu de caz (clădire de tip spital | clădire din sectorul nerezidențial), se subliniază modul în care auditul energetic al unui asemenea proiect trebuie elaborat, fiind necesar ca auditorul energetic, pe lângă propunerea detaliată (la nivel de detalii constructive, unde detaliile sunt atipice) a soluțiilor specifice anvelopei clădirii, să impună specificațiile tehnice referitoare la performanța energetică pentru **toate** echipamentele, care ulterior se proiectează pentru a deservi viitoarea clădire cu consum de energie aproape egal cu zero, respectiv pentru echipamentele care reprezintă surse regenerabile de energie.

O asemenea abordare, având puternic caracter interdisciplinar, implică un volum mare de cunoștințe, însă, deocamdată auditorul energetic este singurul specialist din România care are competențele legale să elaboreze aceste analize și care poartă răspunderea legală a lor. Totodată, o asemenea abordare identifică și necesitatea apariției unui nou tip de specialist în inginerie, care să aibă competențele să intervină punctual pe parcursul procesului de proiectare, cu o perspectivă energetică integrată, în cadrul specialităților arhitectură și instalații: încălzire, apă caldă, climatizare, ventilare mecanică, iluminat, respectiv surse regenerabile de energie, *inclusiv pentru clădirile noi*.

5. CONCLUZII

Reducerea necesarului de încălzire prin măsuri aplicate clădirilor, ca o primă etapă în procesul de *renovare majoră* a clădirii și transformare în NZEB, are un impact semnificativ în datele de intrare necesare proiectării instalațiilor, astfel că se impun modele riguroase de calcul termotehnic al construcțiilor, care să fie preluate în etapa de dimensionare a instalațiilor.

Un rol esențial în transformarea în clădire cu consum de energie aproape egal cu zero îl au instalațiile, astfel că, printr-o proiectare integrată (construcții și instalații) s-a ajuns la economii importante de energie din surse convenționale, economii mărite și mai mult prin producerea de energie din surse regenerabile de energie.

Durata de amortizare a investiției este semnificativ mai redusă față de cea rezultată din analizele energetice curente, așadar cu un impact pozitiv asupra conceptului, dar și cu obligativitatea utilizării unor modele de calcul mult mai detaliate.

Se subliniază importanța introducerii metodelor numerice în procesul curent de proiectare termotehnică al detaliilor constructive optimizate energetic.

Se subliniază importanța specificării caracteristicilor de performanță energetică a echipamentelor și transmiterea către echipa de proiectare de către specialistul care efectuează aceste analize pentru a exista un real control asupra viitoarelor consumuri de energie. În acest sens, detalierea și descrierea specificațiilor tehnice pentru anvelopa clădirii, instalații și surse regenerabile de energie descrise în această lucrare reprezintă o *propunere de conținut-cadru minimal în Auditul Energetic, privind nivelul de detaliere al soluțiilor integrate de eficientizare energetică a clădirii*, atât în ceea ce privește conformarea anvelopei clădirii, cât și al parametrilor de performanță energetică impuși pentru principalele echipamente de instalații și SRE, cu scopul obligării proiectanților să le preia din Auditul Energetic, ca ulterior să le dezvolte în proiectul tehnic, pe specialități. O asemenea abordare are scopul de a asigura o *colaborare interdisciplinară riguroasă între auditorul energetic - specialistul care are competențele de identificare a soluțiilor de eficientizare energetică, respectiv de evaluare a modului în care energia se consumă în clădiri, și proiectanții pe specialități* – care au competențele de proiectare a soluțiilor tehnice și echipamentelor identificate și propuse de către auditorul energetic, cu scopul final și nobil de reducere al consumului de energie în clădiri, într-o manieră controlată.

AKNOWLEDGEMENT

Acest articol reprezintă diseminarea către mediul academic și către mediul profesional al specialiștilor în eficiența energetică a clădirilor a unor cercetări aplicative întreprinse în teza de doctorat: „*Analiza performanței energetice a clădirilor nerezidențiale prin tehnici de modelare numerică și inteligență artificială aplicată*”, autor: Ancuța Maria Măgurean.

Mulțumiri către Consiliul Județean Mureș și Spitalul Clinic Județean Mureș pentru acordul de publicare al rezultatelor proiectului de creștere a eficienței energetice pentru clădirea Spitalului Județean Mureș – Secția Pneumologie.

BIBLIOGRAFIE

- [1] *** “Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings,” in Official Journal of the European Union, 2010.
- [2] ***“Ordonanță pentru modificarea și completarea Legii nr. 372/2005 privind performanța energetică a clădirilor,” Monitorul Oficial al României, Partea I, nr. 68/29.01.2016, 2016. [Online]. Available: http://www.mdrap.ro/userfiles/OG13_2016.PDF.
- [3] “Nearly Zero Energy Buildings (NZEB) România - Plan de creștere a numărului de clădiri al căror consum de energie este aproape egal cu zero,” 2014. [Online]. Available: http://www.mdrap.ro/userfiles/metodologie_calcul_performanta_energetica_iulie2014.pdf.
- [4] ***“Ordinul nr. 386/2016 pentru modificarea și completarea Reglementării tehnice ‘Normativ privind calculul termotehnic al elementelor de construcție ale clădirilor’, indicativ C 107-2005” 2016.
- [5] A. M. Măgurean, “Case Study of NZEB Implementation Into an Early Stage of the Design Phase for a New Residential Building,” *Procedia Manuf.*, vol. 32, pp. 450–457, 2019
- [6] ***, “Meeting of Energy Professional Skills.” [Online]. Available: <http://www.mens-nzeb.eu/en> .
- [7] ***, “Training information report,” Meeting of Energy Skills, 2015.
- [8] H.-A. Petran, M.-C. Niculuță, and C. Petcu, “Nearly Zero Energy Communities,” in Conference on Sustainable Energy, 2018, no. January, pp. 651–665.
- [9] ***, “The Building Knowledge Hubs. Advanced practical training for 21st century construction, Train-to-NZEB (H2020-grant agreement No 649810), March 2018, Available: http://www.train-to-nzeb.com/uploads/9/8/8/4/9884716/train_to_nzeb_brochure_online.pdf.”
- [10] ***, “Fit-to-nZEB.” [Online]. Available: <http://www.fit-to-nzeb.com>.
- [11] ***, “Train-the-trainer (TTT) training programmes in all focus countries. Deliverable 3.3.”
- [12] L. Aelenei et al., “New challenge of the public buildings: Nzeb findings from IEE RePublic-ZEB Project,” *Energy Procedia*, vol. 78, no. November 2015, pp. 2016–2021, 2015.
- [13] ***, “Nearly Zero Energy Hotels.” [Online] Available: <http://www.nezeh.eu/home/indez.html>.
- [14] S. Tournaki, M. Frangou, T. Tsoutsos, and R. Morell, “Nearly Zero Energy Hotels–From European Policy to Real Life Examples: the neZEH Pilot Hotels,” in EinB2014 - 3rd International Conference “ENERGY in BUILDINGS 2014,” 2014.
- [15] H.-A. Petran, “Conceptul nZEB în România: inițiative , scheme de formare profesională , rezultate, ...perspective”, INCD URBAN-INCERC - Sucursala INCERC București, Centrul de Performanță Energetică a Clădirilor, 2016.
- [16] *** “Directiva (UE) 2018/844 a Parlamentului European și a Consiliului din 30 mai 2018 de modificare a Directivei 2010/31/UE privind performanța energetică a clădirilor și a Directivei 2012/27/UE privind eficiența energetică,” *Jurnalul Of. al Un. Eur.*, 2018.
- [17] A. M. Măgurean, “Aspecte negative în reabilitarea termică a fondului de clădiri existent,” in Sesiune Națională de Comunicări Științifice Studentești, Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, 2009.
- [18] S. Knapton, “Energy scandal: misleading efficiency claims leading to huge bills for homeowners,” *The Telegraph*, 02-May-2017.
- [19] ***, “SR EN ISO 10077/1:2008 Performanța termică a ferestrelor, ușilor și obloanelor. Calculul coeficientului de transfer termic. Partea I: Generalități.”
- [20] ***,“SR EN 14825:2016 Aparate de condiționat aerul, grupuri de răcit lichide și pompe de căldură cu compresoare acționate cu motor electric, pentru încălzirea și răcirea spațiilor. Încercări și determinarea caracteristicilor în condiții de sarcină parțială și calculul de performanță sezonieră”