

Tapasztalatok és eredmények a CLT faházak légtömörségének vizsgálatából

Experiences and results from testing the airtightness of CLT timber buildings

KÁDÁR Ferenc^{1,2,3}, MOGA Ligia^{1,2}

¹Technical University of Cluj-Napoca/Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca/Kolozsvári Műszaki Egyetem,
str. Memorandumului 28, 400114 Cluj-Napoca/Kolozsvár, Románia,
ferenc.kadar@campust.utcluj.ro, www.constructii.utcluj.ro

²European University of Technology, European Union

³Kadar Energy KFT, 407505 Săvădisla/ Tordaszentászló 254 A, Románia,
office@kadar-energy.ro www.kadar-energy.ro

Abstract

This study examines the airtightness performance of cross-laminated timber (CLT) buildings constructed in Romania, based on in-situ measurements conducted between 2018 and 2024. Airtightness testing was carried out using the fan pressurization method, following the ISO 9972 standard. The findings enhance the understanding of how different CLT construction systems influence the air permeability of timber buildings, with direct implications for energy efficiency and indoor environmental quality.

Keywords: CLT timber buildings, airtightness, measuring air leakage, energy efficiency

Kivonat

A tanulmány a Romániában 2018 és 2024 között épített rétegelt-ragasztott fatartós (CLT) épületek légtömörégi teljesítményét vizsgálja helyszíni mérések alapján. A légtömörégi vizsgálatokat az ISO 9972 szabvány szerinti ventilátoros nyomáspróbás módszerrel végezték el. Az eredmények hozzájárulnak annak jobb megértéséhez, hogy a különböző CLT szerkezeti rendszerek miként befolyásolják a faházak épületek légáteresztő képességét, ami közvetlen hatással van az energiahatékonyságra és a beltéri környezeti minőségre.

Kulcsszavak: CLT faházak épületek, légtömörség, légszivárgás mérése, energiahatékonyság

1. BEVEZETÉS

Az egyik leggyakoribb épület-energetikai probléma (a hőhidakon mellett) az épületek légszigetelésének hiányossága. Találunk szerelési réseket, hibás illesztéseket (pl. tető és fal között, nyílászárók beépítésénél), tetőtér-beépítésnél részben vagy teljesen hiányoznak a párazáró fóliák, rosszul zárnak a nyílászárók. Mindezek a hibák az épület folyamatos (nem kívánt) légcseréjéhez vezetnek, ami miatt több energia szükséges a beáramló levegő felfűtésére (téli) ill. hűtésére (nyári).

Az épületek hőveszteségének termográfiai vizsgálatán túl érdemes tehát ezeket a légszigetelési hibákat is feltárni. Ennek legjobb eszköze a Blower Door eljárás, mely során az épületben ventilátor segítségével vákuumot (50 Pa) állítunk elő és hőkamerával (természetesen csak télen) vagy légáramlásmérővel (anemométerrel, egész évben) kimutatjuk a légszigetelés-hiányos helyeken beáramló külső levegőt. A levegő beáramlását ezen túl füstgenerátorral láthatóvá is tehetjük.

2. LÉGTÖMÖRSÉGI SZABÁLYOZÁSOK ÉS MÉRÉSI MÓDSZERTANOK EURÓPÁBAN ÉS NEMZETKÖZI SZINTEN

2.1. Nemzetközi és európai szabályozási környezet

Az épületek légtömörősége kulcsfontosságú tényező az energiahatékonyság, a beltéri levegőminőség és a lakókomfort szempontjából. Az Európai Unió 2024-ben frissítette az Épületek Energetikai Teljesítményéről szóló Irányelvet (EPBD), amely előírja a tagállamok számára, hogy nemzeti épületfelújítási terveket dolgozzanak ki, és minimális energiahatékonysági követelményeket vezessenek be, különös tekintettel a legrosszabb teljesítményű épületekre [1].

2.2. Légtömörőségi követelmények Európában és nemzetközi szinten

A légtömörőséget jellemzően a n_{50} légcseres értékkel (h^{-1} , 50 Pa nyomáskülönbség mért légcsereszám) vagy a q_{50} fajlagos légáteresztéssel ($\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$, 50 Pa nyomáskülönbségen mért fajlagos légszivárgás) fejezik ki.

A szabályozások és ajánlások országonként, illetve tartományonként változnak. Például British Kolumbia-Kanada [2], Skócia- Nagy Britannia [3] is külön szabályozással rendelkezik.

A legszigorúbb lakóházra vonatkozó követelménye a Passzívház követelménye: $n_{50} \leq 0,6 \text{ h}^{-1}$ [4]

Románia és Magyarország esetében a légtömörség vizsgálata elsősorban kutatási keretek között vagy passzívház-minősítési folyamatokban jelenik meg.

Magyarországon az Országos Tűzvédelmi Szabályzat és az energetikai számítások előírásai között indirekt módon jelenik meg az épületburok minőségének vizsgálata, de konkrét n_{50} vagy q_{50} határérték nincs meghatározva a szabályozásban.

A romániai épületenergetikai Mc 001-2022 szabályozás különösen kiemeli az épületburok légtömörségének szerepét az energiahatékonyság növelésében. [5]

2.3. A légtömörség mérési módszertana

A légtömörség vizsgálatának standard módszere az ún. ventilátoros nyomáspróba (blower door teszt). A mérés során egy kalibrált ventilátort helyeznek el egy külső nyílászáróba, mellyel pozitív vagy negatív nyomáskülönbséget hoznak létre az épület belső tere és a külső környezet között. A ventilátor által biztosított légáram alapján számítható az épület légáteresztési tulajdonsága.

A nemzetközileg elfogadott szabványok:

- ISO 9972:2015 – Épületek légtömörségének meghatározása ventilátoros nyomáspróbával. Ez a jelenleg leginkább elfogadott nemzetközi szabvány.
- EN 13829 – Korábban Európában alkalmazott szabvány, amelyet mára több országban az ISO 9972 váltott fel.
- ASTM E779 – Az amerikai szabvány, hasonló módszertannal.

A legszélesebb körben, Európai országokban is az ISO 9972 [6] szabvány a ventilátoros nyomáspróba (blower door teszt) módszerét írja le, amely során a belső és külső nyomáskülönbség alapján meghatározható az épület légáteresztése. A mérés során meghatározott legfontosabb paraméterek:

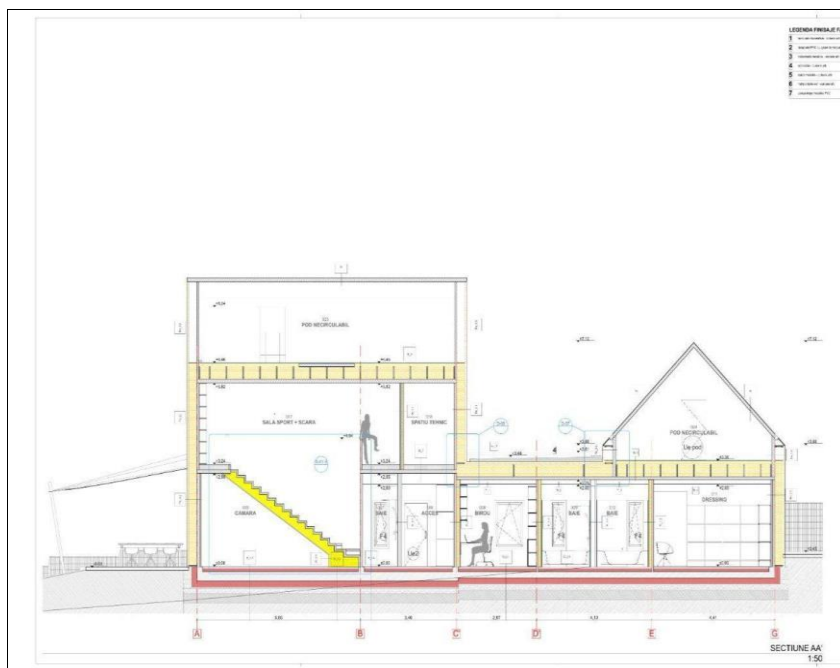
- n_{50} : 50 Pa nyomáskülönbség mellett mért légcsereszám (h^{-1}), az épület teljes térfogatára vonatkoztatva.
- q_{50} : fajlagos légáteresztés ($\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$), az épület burkolófelületére vetítve.

A mérési pontosságot jelentősen befolyásolják a környezeti viszonyok, mint például a szél és a hőmérséklet-különbség. A közelmúltban több tanulmány is rámutatott arra, hogy az ISO 9972 szabvány továbbfejlesztésére van szükség a mérési megbízhatóság növelése érdekében, különösen a magas épületek esetében, ahol a természetes nyomáskülönbségek jelentősen befolyásolhatják a méréseket [5].

3. A VIZSGÁLT ÉPÜLETEK

2018- 2024 időszakban épült négy CLT (Cross Laminated Timber) rétegragasztott fa szerkezetű lakóépület blower door tesztjének vizsgálati eredményeit mutatja be. Kiemelendő, hogy ezek az épületek magas energiahatékonyságra tervezett épületek, amelyek célja a passzívház vagy alacsony energiafelhasználású ház követelmények teljesítése volt – ezért nem tükrözik a romániai lakóépület-állomány általános jellemzőit.

A. épület – 2018 Építész tervező: Made by SRL, arh. Nicu Ștefănuți, arh. Camelia Ștefănuți



1. ábra
A. épület-keresztmetszet



2. ábra
A. épület 2018 – fotó Kádár Ferenc felvétele



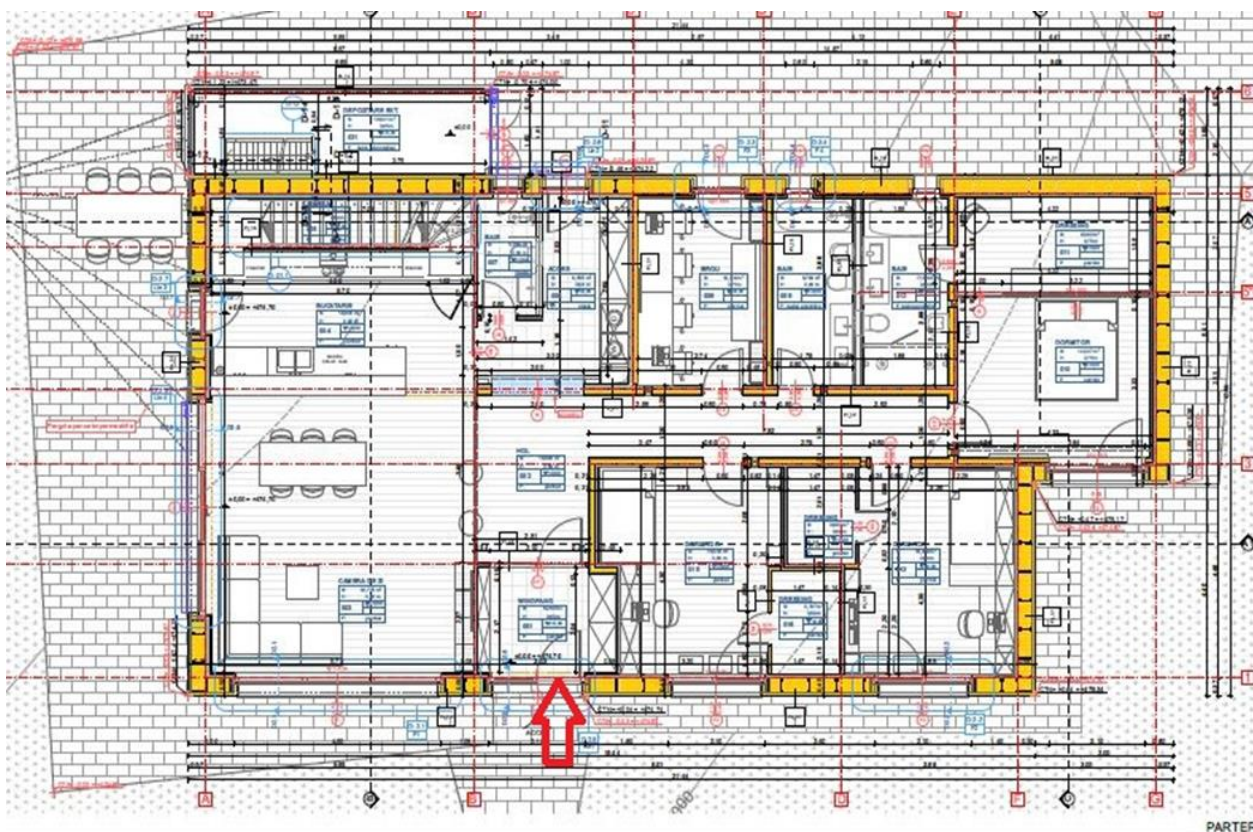
3. ábra
A. épület – fotó Szilveszter Szabolcs felvétele

A Passzívház szabvány szerint tervezett épület nagy felületű nyílászárók beépítésével maximalizálták a napenergia hasznosítását. Kiemelt figyelmet fordítottak a légtömorség biztosítására mind a tervezési, mind a kivitelezési szakaszban.

Az összes főbb épületelem – ideértve a külső falakat, a tetőt, az aljzatot, a belső válaszfalakat, valamint a lépcsőt – előregyártott CLT (Cross Laminated Timber) rétegragasztott fa elemekből készült, melyeket ellenőrzött üzemi körülmények között gyártottak le. A CLT teherviselő szerkezet helyszíni összeszerelését követően kívülről egy szélzáró fólia réteg került felhelyezésre, amelyet ezt követően fagyapott hőszigetelés fedett két rétegben (300 mm + 60 mm) vastagságban.

A légzáró fóliák illesztéseit gondosan, öntapadó szalagokkal tömítették. A nyílászárók beépítése után különleges tömítőszalagokat alkalmaztak az ablakok és ajtók környezetében is, biztosítva ezzel a légzáró réteg folytonosságát.

Az épület hővisszanyerős gépi szellőztető rendszerrel van felszerelve, amely hozzájárul az energiahatékonyság további növeléséhez és a belső komfort biztosításához.



4. ábra

A légzárási vizsgálathoz használt ventilátoros mérőberendezést a földszinti szinten, a bejárati ajtóba (piros nyíl jelöli) szerelték be a rajzon látható módon

B. épület – építész tervező: Evohouse, arch. Moldovan Arina , arch. Szilveszter Szabolcs

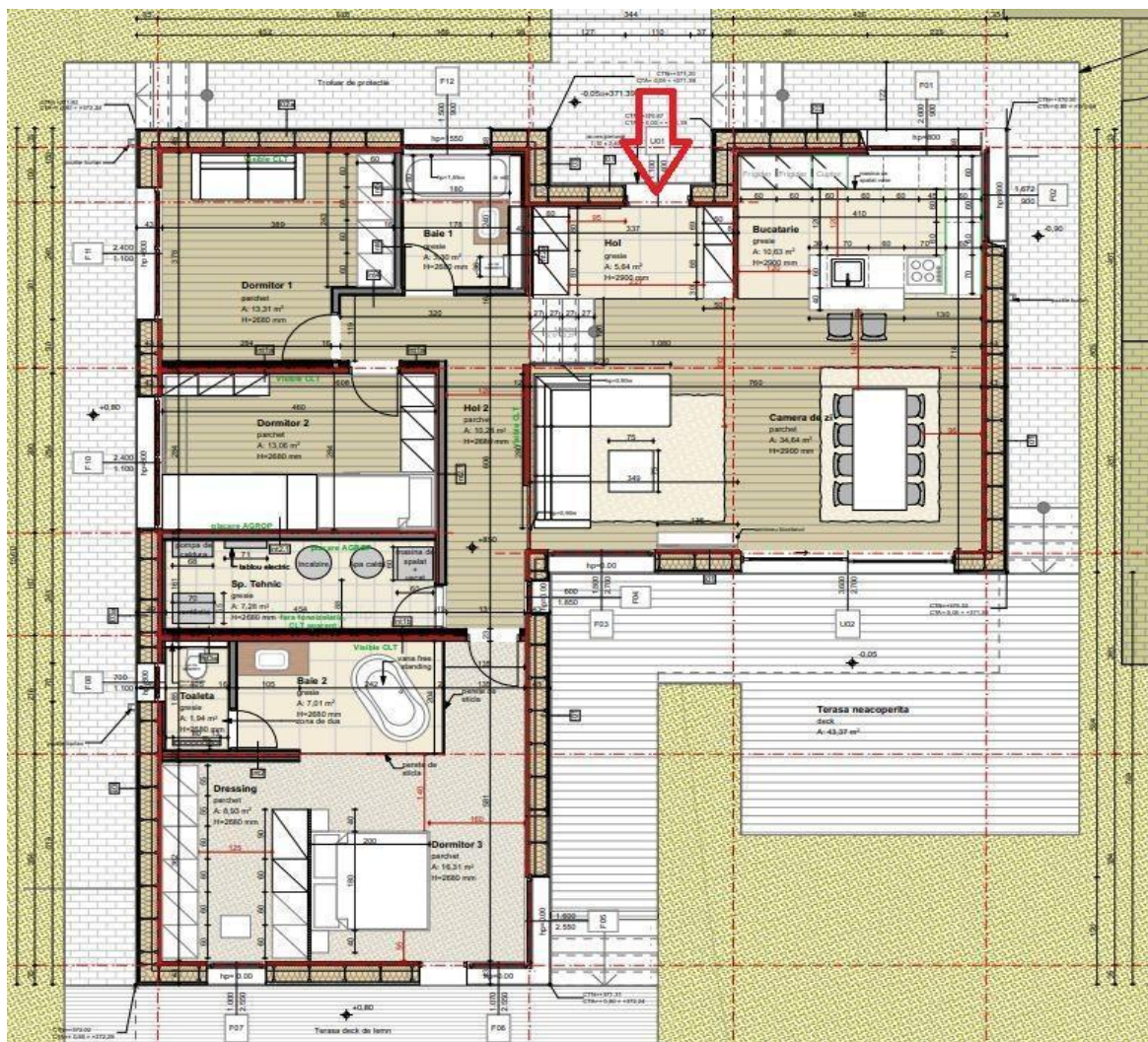


5. ábra

B. épület in 2018 – fotó Szilveszter Szabolcs

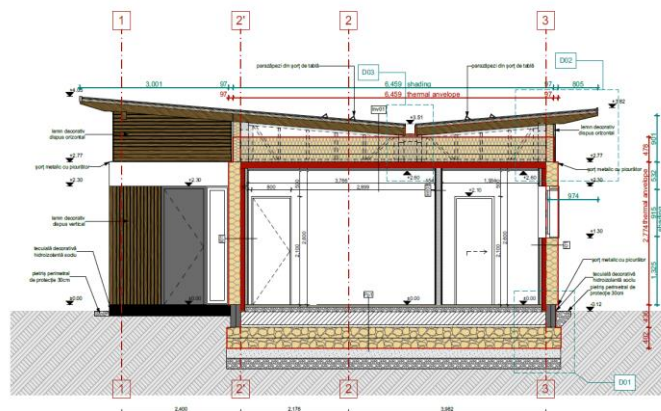
Az egyszintes épület a Passzívház szabványok előírásainak megfelelően került megtervezésre, és teljes egészében előregyártott technológiával valósult meg, a teherhordó CLT (cross-laminated timber) szerkezettől kezdve egészen a tető- és hőszigetelő rétegekig. A ház belső burkolata szinte teljes egészében látszó CLT felületekből áll. Az épület valamennyi fő szerkezeti eleme – beleértve a külső teherhordó falakat, a tetőszerkezetet és a belső válaszfalakat – CLT rétegragasztott fa elemekből készült, amelyeket kívülről egy szélzáró fólia réteggel burkoltak, ezt követően a külső falakat fagyapot szigeteléssel két rétegben (300 mm + 60 mm) burkoltak. A tetőszerkezet esetében a 140 mm CLT teherhordó födém szerkezet fölött 640 mm farost hőszigetelést alkalmaztak.

Az épület hővisszanyerős gépi szellőztető rendszerrel van felszerelve, amely hozzájárul az energiahatékonyság további növeléséhez és a belső komfort biztosításához.



6. ábra

A légzárási vizsgálatához használt ventilátoros mérőberendezést a földszinti szinten, a bejárati ajtóba (piros nyíl jelöli) szerelték be a rajzon látható módon

C. épület – építész tervező: *Evohouse, arch. Moldovan Arina , arch. Szilveszter Szabolcs*

7. ábra
C. épület-keresztmetszet

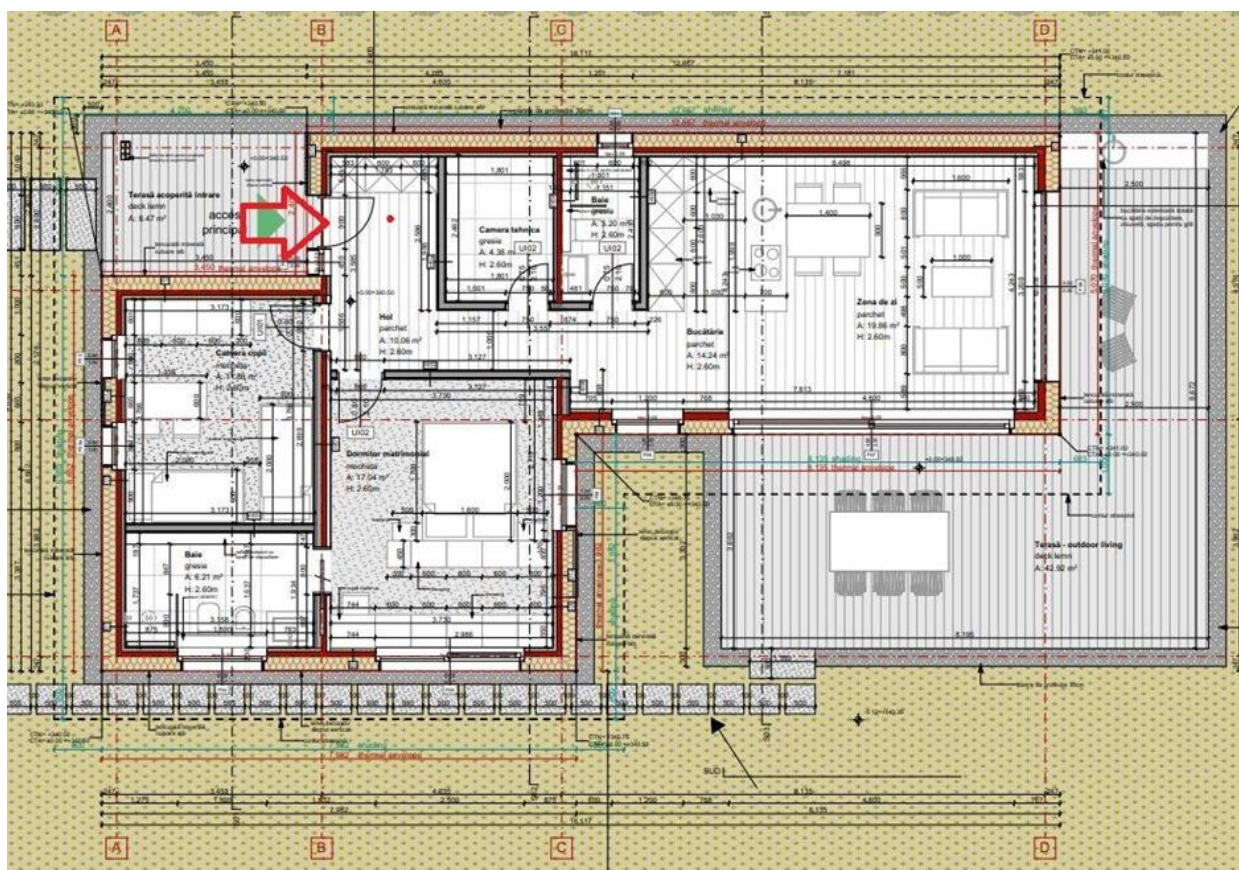


8. ábra
C. épület – fotó Szilveszter Szabolcs

A 82 m² alapterületű, egyszintes épület egy rendkívül letisztult esztétikai koncepció mentén valósult meg, amely a kontextushoz illeszkedő, lényegre szorító építészeti megközelítést követi. Az épület a Passzív ház szabványok előírásainak megfelelően került megtervezésre, és teljes egészében előregyártott technológiával valósult meg, a teherhordó CLT (cross-laminated timber – keresztirányban rétegezett, rétegragasztott fa) szerkezettől kezdve egészen a tető- és hőszigetelő rétegrendszerig.

A belső térburkolatok szinte teljes egészében látszó CLT felületekből állnak, amely különleges atmoszférát, valamint természetes anyaghasználaton alapuló esztétikai élményt biztosít. Az épület valamennyi fő szerkezeti eleme – beleértve a külső teherhordó falakat, a tetőszerkezetet és a belső válaszfalakat – CLT rétegragasztott fa elemekből készült, amelyeket kívülről egy légzáró fólia réteggel burkoltak, ezt követően a külső falakat fagyapot szigeteléssel két rétegben (240 mm + 60 mm) burkoltak. A tetőszerkezet esetében a 120 mm CLT teherhordó födém szerkezet fölött 640 mm farost hőszigetelést alkalmaztak.

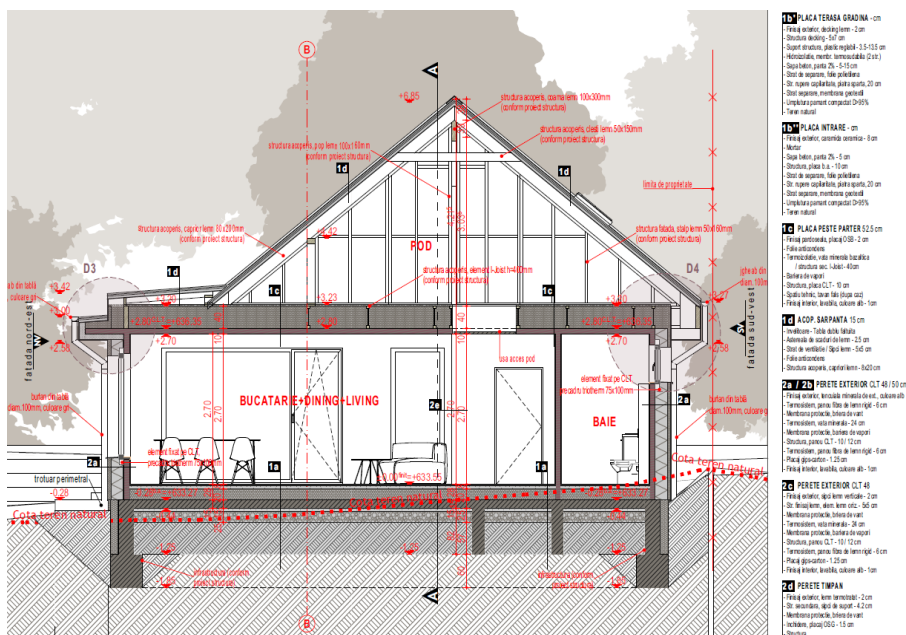
Az épület hővisszanyerős gépi szellőztető rendszerrel van felszerelve, amely hozzájárul az energiahatékonyság további növeléséhez és a belső komfort biztosításához.



9. ábra

A légzési vizsgálathoz használt ventilátoros mérőberendezést a földszinti szinten, a bejárati ajtóba (piros nyíl jelöli) szerelték be a rajzon látható módon

D. épület – építész tervező: AATostudio, Atelier de Arhitectura Terchilă S.R.L., Arh. Terchilă Ovidiu



10. ábra

D épület-keresztmetszet



11. ábra

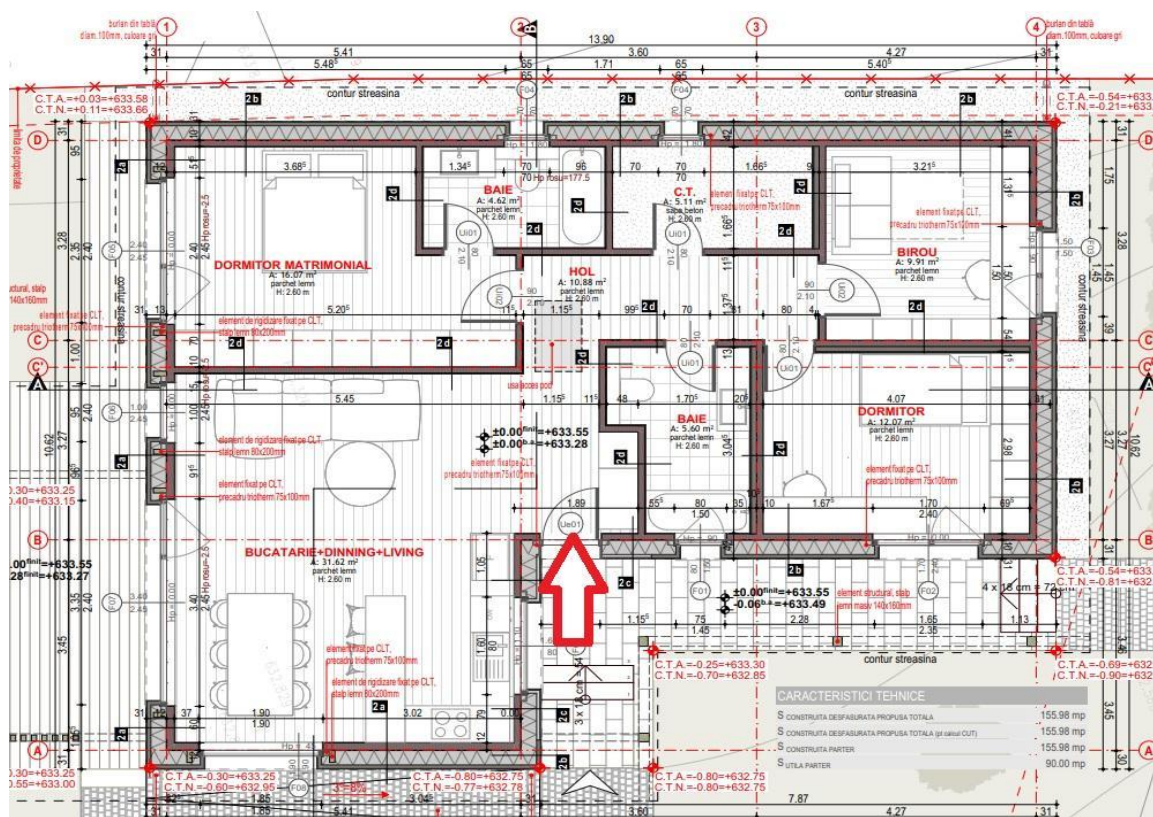
D. épület – fotó Kádár Ferenc



12. ábra

D. épület – fotó Terchilă Ovidiu

A 75,4 m² hasznos alapterületű, egyszintes épület a Passzívház szabvány követelményeinek megfelelően került megtervezésre, és teljes egészében előregyártott építési technológiával valósult meg. Az épület kialakítását a hőtechnikai optimalizálás, az energiatakarékos működés és a szerkezeti hatékonyság együttes figyelembevétele jellemezte, a légtömörségre, a hőhidmentes kialakításra és az épületburok folyamatos rétegeire kiemelt figyelmet fordítottak. Az épület teherviselő elemeit – beleértve a külső falakat, a tetőszerkezetet, valamint a belső válaszfalakat – előregyártott CLT rétegragasztott fa elemek alkotják, amelyeket szigorúan ellenőrzött üzemi körülmények között gyártottak, garantálva ezzel a magas gyártási minőséget és a precíz illesztést. A vizsgálat ideje alatt nem volt a külső CLT burkolatra felszerelve légzáró fólia réteg illetve a külső ásványgyapot (240 mm) és farost (60 mm) szigetelés.

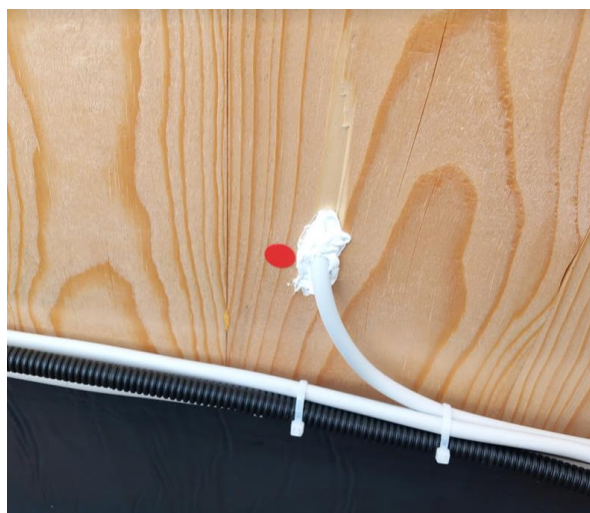


13. ábra

A légzárási vizsgálathoz használt ventilátoros mérőberendezést a földszinti szinten, a bejárati ajtóba (piros nyíl jelöli) szerelték be a rajzon látható módon



14. ábra
Levegőszivárgás a tolóajtónál



15. ábra
Levegőszivárgás kábel áttörésnél

4. MÉRÉSI EREDMÉNYEK:

1. táblázat. Négy favázas épület légzárási vizsgálati eredményeinek és építészeti jellemzőinek összefoglalása az ISO 9972 szabvány szerint végzett mérések alapján. A bemutatott paraméterek közé tartozik a belső térfogat, az A/V arány, a légcseré érték (n_{50}), az effektív szivárgási felület (ELA_{50}), valamint a blower door teszt során azonosított domináns szivárgási helyek.

	A. épület	B. épület	C. épület	D. épület
Belső térfogat (V) [m ³]	601	368	217	288
A/V arány (épületburok / térfogat arány)	1.41	1.69	1.91	1.42
Szintek száma	2	1	1	1
Épület belső maximális magassága [m]	5.82	3	2.6	3.0
Tengerszint feletti magasság [m]	468	371	340	628
Szélesebbesség (Beaufort skála)	gyenge szellő	gyenge szellő	gyenge szellő	gyenge szellő
Benti hőmérséklet [°C]	10.3	17.8	28.5	9.2
Külső hőmérséklet [°C]	2.5	14.7	34.7	8
Vizsgálati szabvány	ISO 9972	ISO 9972	ISO 9972	ISO 9972
Vizsgálat dátuma	2018-02-09	2018-03-14	2019-07-02	2024-02-20
Szellőztető rendszer / légcsatorna - ideiglenesen leragasztva/ lezárva	Igen	Igen	Igen	A szellőztető rendszer külső falon való átvezetéséhez szükséges nyílások még nem kerültek kialakításra
Lefolyó/ vízcső ideiglenes lezárása	Igen	Igen	Igen	Igen

	A. épület	B. épület	C. épület	D. épület
Szivárgási pontok	tolóajtók	nyílászárók, tolóajtók,	nyílászárók	sarokkötések, nyílászárók, tolóajtók, elektromos kábel áttörések
Légáramlás 50 Pa nyomáskülönbségnél [m^3/h]	91.25	126.5	70.86	110.5
Légcsere depressziónál 50 Pa-nál, n_{50} [$1/\text{h}$]	0.166	0.210	0.327	0.40
Légcsere túlnyomásnál 50 Pa-nál, n_{50} [$1/\text{h}$]	0.1375	0.216	0.326	0.36
Légcsere 50 Pa nyomáskülönbségnél, n_{50} [$1/\text{h}$]	0.15	0.21	0.33	0.38
Mérési bizonytalanság	+/-4.2%	+/-2.4%	+/-4.6%	+/-2.6%
szivárgási felület (ELA_{50}) [cm^2]	27.8	23.85	21.5	33.69

5. ÖSSZEGZÉS

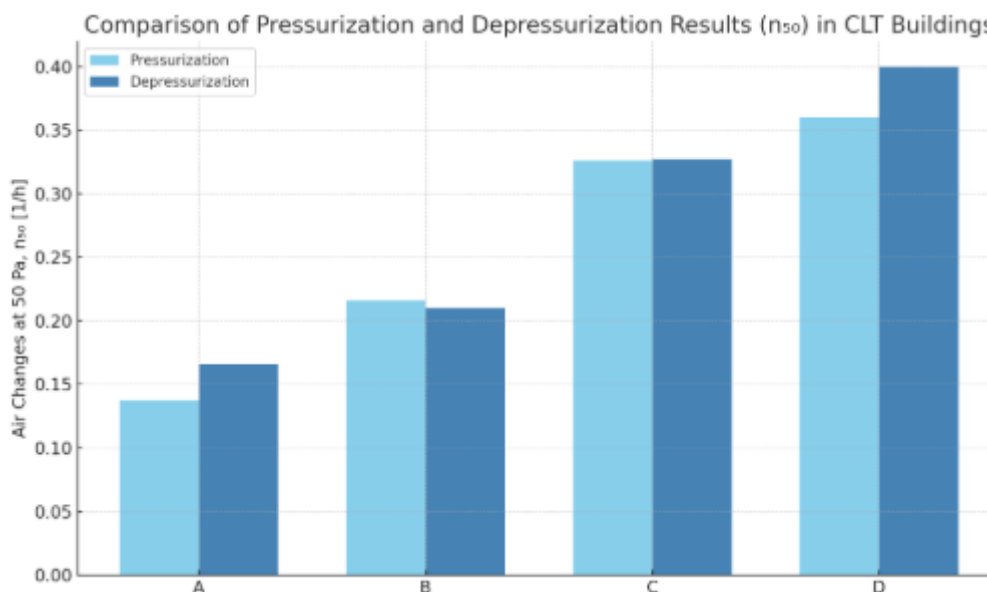
A túlnyomásos és vákuumos légtömörégi vizsgálatok alapján az alábbi következtetések vonhatók le.

A négy CLT szerkezetű épület légtömörségének vizsgálata ISO 9972 szabvány szerinti túlnyomásos és vákuumos mérések alapján alacsony légcsere értéket mutatott, mindegyik esetben a Passzívhoz szabvány 0,6 h^{-1} küszöbértéke alatt. A két mérési irány között kisebb eltérések mutatkoztak, amelyek aszimmetrikus légszivárgási útvonalakra vagy a légzáró réteg egyenetlenségeire utalhatnak.

Az „A” épület esetében a legalacsonyabb eltérés volt tapasztalható (0,1375 h^{-1} túlnyomásos és 0,166 h^{-1} vákuumos), ami magas kivitelezési minőségre utal. A „B” és „C” épületek csak minimális különbségeket mutattak (~0,006 és ~0,001 h^{-1}), míg a „D” épület esetében jelentősebb eltérés (0,04 h^{-1}) volt megfigyelhető, a sarkoknál, ablak csatlakozásoknál és vezetékáttöréseknél található légszivárgások miatt.

Ezek az eltérések rávilágítanak arra, hogy a légtömörség teljes körű értékeléséhez mindkét mérési irányt érdemes figyelembe venni. A vizsgált épületek ELA_{50} értékei (21,5–33,7 cm^2) azt mutatják, hogy a CLT alkalmas a magas légtömörégi követelmények teljesítésére, ha a részletes tervezés tervezés előzi meg a gondos és szakszerű kivitelezést.

2. táblázat. A túlnyomásos és vákuumos légcsere-értékek (n_{50}) összehasonlítása CLT épületek esetében



A fenti ábra négy CLT rétegragasztott fa szerkezetű lakóépület túlnyomásos és vákumos légzárási mérési eredményeit mutatja be 50 Pa nyomáskülönbség nél. Az n_{50} érték az épület légcsereszámát jellemzi, amely megmutatja, hogy egy óra alatt hányszor cserélődik ki a belső levegő a burokon keresztül szivárgó levegő révén.

A mérési eredmények szerint az A épület rendelkezik a legkedvezőbb légzárási tulajdonságokkal ($n_{50} \approx 0.13\text{--}0.16$ 1/h), míg a D épület mutatja a legnagyobb légcsereszámot ($n_{50} \approx 0.36\text{--}0.40$ 1/h). A nyomásirányok közötti különbségek kismértékűek, ami a mérések megbízhatóságát és az épületek légzárási viselkedésének konzisztenciáját jelzi.

Az eredmények igazolják, hogy megfelelő kivitelezési részletekkel a CLT épületek magas légtömörségi követelményeknek is képesek megfelelni, akár passzívház szintű követelmények elérésére is ($n_{50} < 0.6$ 1/h) is teljesíthető.

6. IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] Energy Performance of Buildings Directive 2024.
<https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2024/1275/oj>
- [2] BC Housing Design Guidelines and Construction Standards
[Elérhető:https://www.bchousing.org/publications/Technical-Bulletin-No.1-April-2020-Section-2-Energy-and-Environmental-Design.pdf?utm_source=chatgpt.com]
- [3] The Scottish Building Standards' new Section 6
[Elérhető:https://www.epic.uk.com/section-6-scottish-building-standards-answer-to-energy-efficiency/?utm_source=chatgpt.com]
- [4] Passive House certification criteria
https://passivehouse-international.org/index.php?page_id=150
- [5] METODOLOGIE DE CALCUL AL PERFORMANȚEI ENERGETICE A CLĂDIRILOR, INDICATIV Mc 001-2022
[Elérhető <https://www.mdlpa.ro/uploads/articole/attachments/63d8dcccfe6ae8244797864.pdf>]
- [6] ISO 9972:2015 - Thermal performance of buildings — Determination of air permeability of buildings — Fan pressurization method. International Organization for Standardization, 2015. [Elérhető: <https://www.iso.org/standard/55718.html>]
- [7] Benedikt Kölsch, Adeline Mélois, Valérie Leprince. et al. (2023). Improvement of the ISO 9972: proposal for a more reliable standard to measure air leakage rate using fan pressurization method. 13th International BUILDAIR Symposium, Conference paper, 2023, pp. 4-9 [Elérhető:https://www.researchgate.net/publication/371732492_Improvement_of_the_ISO_9972_proposal_for_a_more_reliable_standard_to_measure_air_leakage_rate_using_fan_pressurization_method]