

Róth Kristóf¹, Bukovics Ádám², Merczel Dániel³

CSALÁDI LAKÓHÁZ BŐVÍTÉSE KERESZTRÉTEGELT FAPANELES TECHNOLÓGIA ALKALMAZÁSÁVAL

EXTENSION OF A DETACHED HOUSE USING CROSS LAMINATED TIMBER CONSTRUCTION TECHNOLOGY

KIVONAT / HUN

Napjainkban világszerte egyre gyakrabban választják a fát az épületek tartószerkezeti alapanyagául. Ennek egyik oka a fenntarthatóságra és a környezettudatosságra való törekvés, illetve azon innovatív faipari termékek megjelenése, amelyek előnyös tulajdonságaik révén képesek hatékonyan felvenni a versenyt a többi építési megoldással szemben. A cikkben egy ilyen, egyre népszerűbb technológiát, a kereszttrétegelt fapanelt (CLT) mutatunk be, amely Magyarországon még kevésbé terjedt el. Ismertetjük a szerkezeti elemek főbb tulajdonságait, a tervezésükre vonatkozó irányelveket, valamint a kapcsolati kialakításait. Továbbá a cikk bemutatja egy meglévő földszintes épületre kerülő CLT szerkezetű emeletráépítés tervezésének lépéseit, amelyen keresztül megismerhetők a technológia sajátosságai és előnyei.

Kulcsszavak: fa, kereszttrétegelt fapanel, CLT, fenntarthatóság, innováció

ABSTRACT / ENG

Nowadays, timber is increasingly being chosen as a structural material for buildings worldwide. One reason for this is the drive for sustainability and environmental awareness, and the emergence of innovative wood products that can now effectively compete with other building solutions due to their beneficial properties. This article presents one such increasingly popular technology, the Cross Laminated Timber (CLT), which is less widespread in Hungary. It describes the main properties of structural elements, their design guidelines and their connection arrangements. It also proposes the use of CLT for a single-storey extension to an existing family house, which will help to understand the specificities and advantages of the design of the technology.

Keywords: wood, cross laminated timber, CLT, sustainability, innovation

ektorált tartalom

¹ építőmérnök, TSPC Engineering Kft., e-mail: rt.kristof@gmail.com

² okl. építőmérnök, PhD, egyetemi adjunktus, Széchenyi István Egyetem, Szerkezetépítési és Geotechnikai Tanszék, e-mail: bukovics@sze.hu

³ okl. építőmérnök, PhD, ügyvezető, ARC-S Innovation & Technology Kft., e-mail: daniel.merczel@arcs.hu

1. | BEVEZETÉS

Az építőipar legnagyobb kihívásai a megnövekedett építőanyagárak és a munkaerőhiány. Ebben a gazdasági környezetben a kis helyszíni élőmunka igényű CLT technológia egyre versenyképesebb más építési megoldásokkal összehasonlítva. A CLT az angol „cross laminated timber” kifejezés rövidítése, amely Magyarországon a „keresztrétegelt fapanel” nevet viseli. Ennek az innovatív építőipari terméknek az alapanyagát a fa adja, ami természetes megjelenést ad az épületeknek, ökológiai és fenntarthatósági szempontból kedvező, és további előnyei a gyors kivitelezhetőség, a könnyű alakíthatóság, illetve a magas minőség [1].

2. | MI AZ A CLT?

A CLT egy több fa anyagú rétegből álló, speciálisan összeállított szerkezeti elem, amely kiválóan alkalmas teherhordási és térelhatárolási célokra. Nagy méretekben való gyárthatóságának köszönhetően remekül felhasználható térelhatároló és térelválasztó elemek – falak, födémek, tetők – kialakítására. A CLT-t az 1990-es években kezdték el fejleszteni, melyet a fűrésziparban előállított fatermékek magasabb rendű felhasználhatósága ösztönzött.

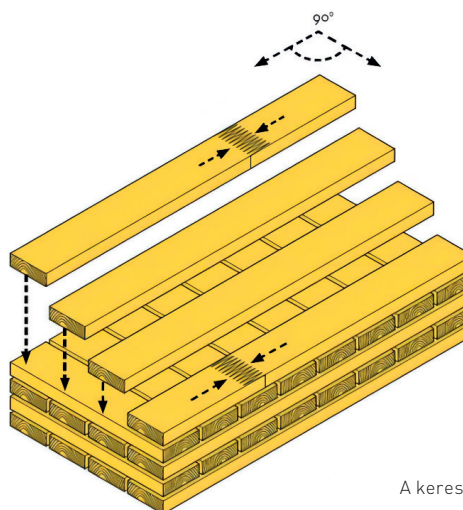
A CLT egy tömör, lemez formájú faipari termék, amely páratlan számú [3, 5, 7], egymásra merőleges száliránnyal ragasztott és préselt rétegből épül fel (1. ábra). A szomszédos rétegeket egymás mellé helyezett deszkák / lamellák alkotják. A panelek különleges szerkezeti felépítésének köszönhetően az elemek nagy síkbeli merevséggel rendelkeznek, így a mérnökök olyan szerkezeteket tervezhetnek fából, amelyeket eddig csak más építőanyagokból valósíthattak meg [1] [2].

2.1. FŐBB JELLEMZŐK

A CLT gyorsan kivitelezhető és azonnal terhelhető. Lehetőséget biztosít emelt szintű, különleges formatervezési igények követésére, a rugalmas tervezésre, a költségek optimalizálására. Az egyes szerkezeti elemek precíz előregyártóságával pedig jelentősen csökkenthető a beruházási idő és az élőmunkaigény.

A hagyományos ásványi alapú (tégla, vasbeton) építési módokhoz képest a CLT szerkezetek kisebb önsúllyal rendelkeznek, aminek köszönhetően gyengébb teherbírású altalajok esetében, vagy meglévő épületek bővítésénél, emeletráépítésnél optimális megoldást biztosítanak. Többszintes épületek létesítésénél pedig akár jelentősen csökkenthetők az alapozási költségek. A CLT falelemek a hagyományos építésű falakhoz képest lényegesen kisebb falvastagsága tágasabb lakótér kialakításokat, alapterület növekedést tesznek lehetővé, illetve hőszigetelő képességük is kitűnő (2. ábra).

A panel gyártás során a modern CAD/CAM technológiának köszönhetően milliméter pontosságú elemek állíthatók elő, a szükség szerinti nyílásokkal, gépészeti áttörésekkel együtt. A szabást CNC gépek végzik, amelynek eredményeként mind a kivitelezési idő, mind az építkezésen keletkező hulladék



1. ÁBRA:
A keresztrétegelt fapanel (CLT)
általános felépítése [3]

menyisége nagyon jól optimalizálható. Továbbá a BIM alapú szoftverek lehetőséget biztosítanak az építési folyamatok teljeskörű megtervezésére, akár az organizációs, pl. daruzásra, szállításra vonatkozó tervekkel együtt.

A CLT technológiával készülő épületek szükség esetén a földrengéshatásokkal szemben olyan speciális acél kapcsolóelemekkel is megerősíthetők, amelyek képesek lényegesen lecsökkenteni, mint egy lengéscsillapító, a szeizmikus hatásokat [1] [2].

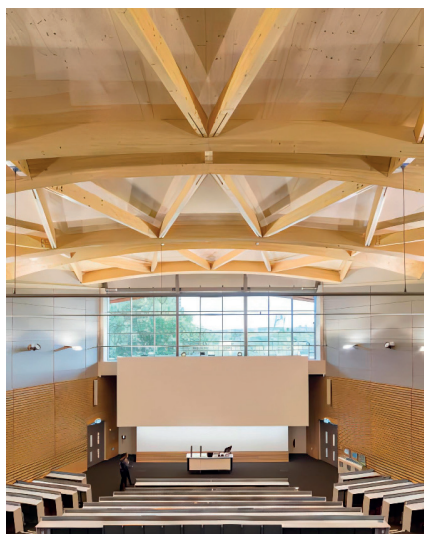
A CLT technológia számos előnye mellett rendelkezik néhány figyelmet igénylő egyéb jellemzővel is. Jelenlegi ár-arányokat tekintve költség szempontjából csak abban az esetben versenyképes a hagyományos építési módokkal összevetve, ha a helyszíni kivitelezési idő lerövidítése jelentősebb költségeket tud megtakarítani. Egyrészt a specifikus tervezést igénylő technológia miatt magasabb építészeti és tervezési költségek merülhetnek fel. Másrészt a gyártóüzemek csekély száma miatt a szállítási költségek is jelentősek lehetnek. A nedvességre érzékeny faanyagra tekintettel a gépészeti vezetékek és kapcsolatok kiviteli minőségével szemben fokozott az elvárás. Illetve a fából készült épületek magasságára, a tűzvédelmi előírások betartására is fokozott figyelmet kell fordítani.



2. ÁBRA: Magasház építés Kanadában glulam és CLT technológiával [4]



3. ÁBRA: Alfriston iskola uszodája, Buckinghamshire, Anglia [3]



4. ÁBRA: Oculus előadóterem, Warwickshire, Anglia [3]



5. ÁBRA: Ulls Hus aulája, Uppsala, Svédország [1]

2.2. A CLT FEJLŐDÉSE

A 20. század elejére a hagyományos faszervezetek – első sorban az acél és a vasbeton szerkezetek építőiparban való elterjedése miatt, – fokozatosan háttérbe szorultak. Ebben az időszakban a fának, mint építőanyagnak a piaci kereslete néhány százalékra esett vissza.

Az 1960-as évek közepétől újra elkezdett növekedni a faszervezetek iránti kereslet, köszönhetően az új mesterséges fa alapú termékeknek. Az olyan termékek, mint a rétegelt ragasztott faelemek (glulam), lehetővé tették az összetettebb kialakítású, hosszabb és nagy keresztmetszeti méretű, ezáltal nagy fesztávolság áthidalására alkalmas szerkezetek kialakítását. Az idővel megjelenő első lemez alakú termékeket, mint például a laminált furnér fűrészárut (LVL), vagy az OSB-lapokat többnyire másodlagos szerkezeti elemekként használták burkolásra, térelhatárolásra.

A keresztarétegelt fatermékekre és faszervezetekre irányuló első kutatási tevékenységek, illetve azok gyakorlati

alkalmazhatóságának vizsgálatai a 19. századtól kezdődtek (például: W. G. Schuchow 1896-ban, T. Kalep 1908-ban, Cziesielski 1974-ben).

1990-ben intenzív vizsgálati tevékenységek indultak a Grazi Műszaki Egyetemen a keresztarétegelt fapanelekkel kapcsolatban, melyek kezdetben a német rövidítésből származó KLH (Kreuzlagenholz) elnevezést viselték. Később több nemzetközi szakmai tudományos csoport is követte az osztrák egyetem kutatási példáját. Végül 2000-ben Schickhofer és Hasewend fordította le és vezette be a köztudatba az angol „Cross Laminated Timber” kifejezést. A több éves elemzést és tesztelést követően, 1995-től kezdtek el megvalósulni az első, – mai szemmel is korszerűnek tekinthető – többarétegű, keresztirányban ragasztott tömörfa szerkezeti panelekből álló épületek.

A gyártás- és építéstechnológia fejlődésének köszönhetően a CLT előállítására egyre inkább ipari méreteket öltött és világszerte ismertté vált. Számos Európán kívüli nemzetközi kutatás, fejlesztés, gyártás és szabványosítás kezdődött meg olyan – jellemzően erdősegekben gazdag – országokban, mint például Kanada, az Egyesült Államok, Japán, Kína és Új-Zéland [2] [4] [5].

2.3. CLT NAPJAINKBAN ÉS A JÖVŐBELI LEHETŐSÉGEK

Napjainkban, a világ számos pontján találkozhatunk olyan példakkal, amelyek kitűnően tükrözik a CLT alkalmazhatóságának sokszínűségét és a benne rejlő építészeti lehetőségeket [3, 4, 5. és 6. ábra].

Amellett, hogy a CLT-ből készült épületek formavilága egyre változatosabbá válik, a szerkezetek magassága is folyamatosan nő. Az elmúlt évtizedben a keresztarétegelt fapanelekből készült épületek szinte évről-évre megdöntötték a magassági rekordokat [7, 8. és 9. ábra].

Jelenleg, hivatalosan, a világ legmagasabb fából készült épülete a norvég Mjøstårnet, amelynek szerkezetét a legfelső



6. ÁBRA: Wildernesse étterem, Kent, Anglia [3]



7. ÁBRA: Stadthaus, London, Anglia, 2009
(magasság: 30,3 m, 9 emelet) [6]



8. ÁBRA: Forte Living, Melbourne, Ausztrália, 2012 (magasság: 32,2 m, 10 emelet) [6]



9. ÁBRA: Brock Commons, Vancouver, Kanada, 2016 (magasság: 53 m, 18 emelet) [7]

7 emelet betonfödémén kívül csak CLT panelek és Glulam tartók alkotják. A 18 emeletes, 85,4 méter magas létesítményben számos iroda, apartman, szálloda, étterem és egy uszoda is helyet kapott **(10. ábra)**.

A CLT technológia a magasépítés mellett a hídépítésben is nagy lehetőségeket rejt magába, ahol önállóan, vagy más fa- és acélapapírszerkezetekkel kombinálva bordás, vagy dobozos gerendák építésénél is alkalmazható [1] [4] [5] [6] [8].



10. ÁBRA: Mjøstårnet, Brumunddal, Norvégia, 2019,
látványterv és szerkezeti váz (magasság: 85,4 m, 18 emelet) [8]

2.4. CLT ELEMOK TERVEZÉSÉNEK IRÁNYELVEI

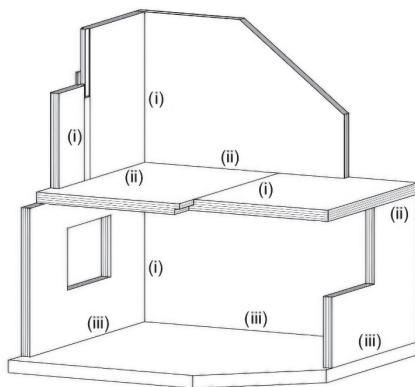
Európában, amely napjainkban is a CLT gyártás fellegvára, az 1990-es évek óta, számos szabványt adtak ki a faanyag osztályozására, illetve a CLT szerkezeti felépítésére vonatkozóan, azonban ezek nem tértek ki a keresztrétegelt fapanelek tervezéssel kapcsolatos szabályaira.

A faserkezetek tervezésére leggyakrabban használt szabvány az Eurocode 5 (EN 1995-1-1:2004 Design of timber structures). Ezt a szabványt 2004-ben adták ki és a faserkezetek biztonságára, tartósságára és használhatóságára vonatkozó követelményeket írja le. Jelenleg ennek felülvizsgálata folyik és új változata várhatóan 2025-ben fog megjelenni. Az új kiadás, a tervek szerint tartalmazni fog egy szakaszt a CLT-re vonatkozó tervezési szabályokról és a ragasztók viselkedéséről.

Összefoglalva, a mérnököknek a tervezéshez jelenleg a „szükszavú” szabványok mellett, főleg a különböző kutatókon, gyakorlati tapasztalatokon alapuló kézikönyvek, számos segédlet, illetve a gyártók által kiadott előírások nyújthatnak iránymutatást. Említhető példák az Európában használatos Schickhofer 2010-es kézikönyve [9], vagy Wallner-Novak 2013-as kézikönyve [10], továbbá a kanadai [11] és az amerikai [12] piacra készített kézikönyvek.

A megbízható szerkezeti tervezés alapja, az egységesen meghatározott, alapanyagra jellemző szilárdsági és merevségi tulajdonságokat leíró egyenletek ismerete, azonban ezek a CLT-vel kapcsolatban hiányosak. Ezért a CLT panelek anyagjellemzőinek meghatározását kétféle módszerrel végezhetik: az alapanyag vizsgált mechanikai tulajdonságainak és a terhbírási modellek kombinációjával, vagy a teljes méretű CLT elemek mechanikai tulajdonságainak vizsgálatával.

A CLT lemezek szabvány által meghatározott szilárdsági osztályainak hiányában, a rétegelt-ragasztott fatartók (glulam) kategorizálását vesszük alapul. Ehhez vizsgálni kell az



11. ÁBRA:
Különböző kapcsolatok a CLT szerkezeten belül [2]

alapanyag fizikai tulajdonságait, amihez elengedhetetlen az alapanyag, illetve a termék referencia keresztmetszeteinek ismerete. A szilárdsági osztályok elnevezése három részből tevődik össze. Például a CL 28h vagy a CL 28c elnevezésben a „CL” a CLT rövidítése, a „28” a tábla síkbeli hajlítószilárdságának karakterisztikus értéke N/mm²-ben a tábla síkjára merőleges síkú hajlítás esetén, amikor a szélső rétegekben rostirányú húzás/nyomás keletkezik, míg a „h” (homogén, azaz minden réteg azonos szilárdsággal rendelkezik), vagy a „c” (kombinált, azaz heterogén) rétegrendre utal [1] [2] [13].

2.5. SZERKEZETI KAPCSOLATOK

Jelentős különbség, hogy az általános faszerkezetekkel ellentétben, a keresztvértégtelt fapanelek száliránya nem egyértelmű, ezért erre a szerkezeti kapcsolatok méretezésénél különös figyelemmel kell lenni. CLT szerkezetek tervezésekor a fő irányelv, hogy az egyes panelek közötti erőátadás kontaktban történjen, ezáltal kevesebb erőt juttatva a kapcsolóelemekre.

A CLT-szerkezeten belül különböző kapcsolatokat lehet és érdemes megkülönböztetni (**11. ábra**):

- (i) fal-fal vagy födém-födém kapcsolatok,
- (ii) fal-födém kapcsolatok és
- (iii) fal-alapozás kapcsolatok.



12. ÁBRA: A tűzkár súlytotta lakóépület a hiányzó tetőszerkezettel

Az illesztéseknél a szerkezeti elemek anyagától, helyzetétől és az átvitt terheléstől függően többféle rögzítő-elem és kötés is alkalmazható. A CLT panelek szerkezeti illesztéseihez általában fém kötőelemeket használnak, például szegezőlemezt, csap típusú kapcsolóelemet (szeg, csavar, facsavar) vagy szeglemezt. Ezeken kívül gyakran alkalmaznak hornyolt acéllemezekkel ellátott dübeles csatlakozásokat és speciális rendszerösszekötő elemeket (pl. Sherpa-CLT-Connector vagy X-RAD) [2] [4].

3. | CLT EMELETRÁÉPÍTÉS TERVEZÉSE

A CLT rendszer előnyös tulajdonságainak bemutatására kedvező lehetőséget kínált egy 1990-ben épült, pince + földszintes, magastetős családiház rekonstrukciója, melynek tetőszerkezete és földszinti tartószerkezeteinek döntő többsége egy tűzkár következtében megsemmisült, illetve használhatatlanná vált. A földszint rekonstrukciója mellett, további igény volt az épület egy emelettel történő bővítése. A **12. és 13. ábrákon** jól látható, hogy a keletkezett tűz milyen károsodásokat okozott az épületszerkezetben.

3.1. A SZERKEZET BEMUTATÁSA

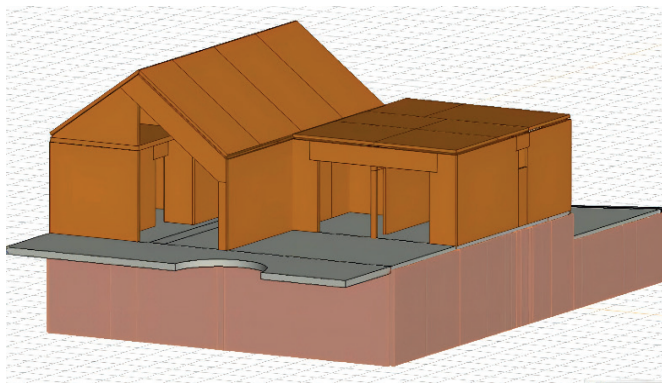
A két-traktusos épület emeletére a tervek szerint egy közel 74 m² alapterületű, nyeregteretű épületrész, illetve egy kb. 50 m² alapterületű, lapostetős épületrész került. Ezek alaprajzilag a közös határfal mentén egymáshoz képest eltoltnak helyezkednek el. A ráépítés teljes szerkezetét CLT fal-, födém-, és tetőpanelek alkotják.

3.2. A CLT PANELEK ELŐMÉRTEZÉSE

A CLT falpanelek és kapcsolataik terhek hatására történő viselkedésének megismerése, célszerűen az AXIS VM programban felállított szerkezeti modellen történt, melyhez azon-



13. ÁBRA: A földszint feletti födém és a falak állapota a tűzkár után



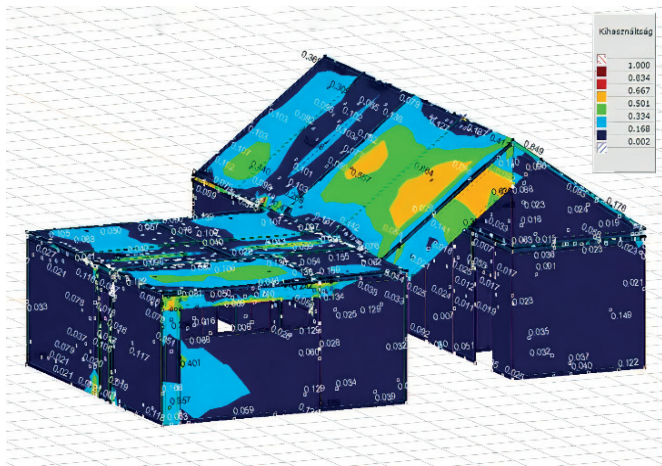
14. ÁBRA: A szerkezet Axis VM programban elkészített modellje

ban először az egyes szerkezeti elemek kiindulási elem-vastagságának meghatározása volt szükséges (14. ábra). Erre vonatkozóan a CLT-t gyártó és forgalmazó cégek által ajánlott előméretezési táblázatok állnak rendelkezésünkre, melyekből alapvetően a terhek és geometriai adatok alapján a kiindulási elemvastagságok meghatározhatók.

3.3. A TARTÓSZERKEZETI MODELL ELKÉSZÍTÉSE

Az épület teherhatásokra történő viselkedésének megismeréséhez és tartószerkezeti elemeinek részletes vizsgálatához az AXIS VM szoftver jól használható. A tervezőprogram „XLAM” moduljának segítségével megadható az alkalmazni kívánt paneltípus, illetve számos, a CLT panelek viselkedését jelentősen befolyásoló paraméter, mint

- a szálirány (x vagy y irány), attól függően, hogy melyik irányban szeretnénk, hogy több terhet viseljen a panel;
- a felhasználási osztály (I. vagy II.);
- a nedvességtartalom deformációkra gyakorolt hatásának tényezője (k_{def});
- a rendszerhatás, amelyet a k_{sys} szilárdságnövelő tényezővel lehet figyelembe venni. Ez a faanyagok esetében a réteges felépítés eredményeként kialakuló együttes teherviselésből származó hatást veszi figyelembe.



15. ÁBRA: A CLT panelek kihasználtsága

A tartószerkezetet alkotó elemek felvételét követően a megtámasztási, illetve kapcsolati viszonyokat szükséges definiálni, amit aztán a hálógenerálás követ. A modell megfelelő működésének előzetes ellenőrzése céljából, többirányú működtetéssel, egységnyi teherfelvételű tehereseteket érdemes definiálni és futtatni, mely számítások alapján a szerkezeti pontok megtámasztási viszonyainak szükség szerinti korrekciója elvégezhető.

Ezt követően a szerkezeti elemekre ható terhek, a szokásos módon, a vonatkozó Eurocode szabványok szerint határozandók meg, illetve helyezendők el az épület modelljére. A lineáris statikai számítást lefuttatva a kapott lehajlási és kihasználtsági értékekből látható (15. ábra), hogy mely panelek geometriáját és/vagy teherviselő irányát szükséges változtatni.

3.4. A CLT TECHNOLÓGIA SPECIFIKUS STATIKAI VIZSGÁLATAI

Általánosan a CLT szerkezetek tervezéséhez feszültségalapú lineáris rugalmas számítási módszereket lehet alkalmazni, melyeket az Eurocode is tartalmaz. Azonban a szokványos feszültségszámításokat ki kell egészíteni a gördülönnyírás (Rolling Shear) vizsgálatával, amely a keresztrétegelt fapanelek síkbeli hajlítási merevségét befolyásolja. Ennek számításához különböző kutatási anyagok, segédletek használhatók, mivel a jelenleg érvényben lévő szabvány ezt nem tartalmazza.

A CLT szerkezet tervezése során külön feladatot ad a falpanelelek kihajlásra történő ellenőrzése, mivel a rendelkezésre álló méretező szoftverek jelenleg még közvetlenül nem alkalmasak ennek meghatározására. Viszont tervezési segédletek rendelkezésre állnak, melyek segítségével a különböző irányú teherhatások és geometriai adatok függvényében kinyerhetők a számítások alapadatai, tényezői.

A CLT födémeknél gyakorta mértékadó a használhatósági határállapot, mikor a felhasználók által gerjesztett rezgések mértékét vizsgáljuk. A vizsgálatot „footfall” vizsgálatnak nevezik és az erre vonatkozó előírások megtalálhatók a tervezési segédletekben és a szabványokban.

A szerkezeti elemek méretezése mellett a csomóponti kapcsolatok megtervezése is külön figyelmet igényel. A kapcsolatok elemeinek kiválasztása termék-katalógusokból történhet a modelltől kinyerhető mértékadó igénybevételek alapján. Bonyolultabb szerkezeti csomóponthoz rendelkezésre állnak különböző csomópont méretező szoftverek is, melyek segítségével megtervezhető a szükséges kapcsolóelem kialakítása. A kapcsolati csomópontoknál különböző „kontaktáló” (légtömörséget és a felszívódó nedvesség elleni védelmet biztosító hézagzáró) szalagokat szükséges alkalmazni.

Tűzhatásra történő méretezés esetén meg kell vizsgálni, hogy az előre betervezett CLT panel képes-e az épület szerkezetére vonatkozó követelményeket teljesíteni, vagy esetleg szükség van a geometria, illetve a rétegrend módosítására. Az alkalmazott paneltípusok tűzzel szembeni ellenállásának tulajdonságait az előméretezési táblázatok általában tartalmazzák, továbbá tervezési segédletek alapján elvégezhető a tűzterhelésre is megfelelőséget igazoló kihajlásvizsgálat [1].

4. | ÖSSZEFOGLALÁS

A cikkben tárgyalt emeltráépítésen jól szemléltethetővé vált a CLT technológia és más építési megoldások (pl. vasbeton, falazott szerkezetek) közti különbségek. Egyrészt megállapítható, hogy a CLT szerkezethöz az emeltráépítéssel járó súlynövekmény lényegesen kisebb, az azonos alapterülethez tartozó hasznosítható lakótér pedig nagyobb. Másrészt fontos különbség, hogy – még az ilyen „kis” méretekkel rendelkező – szerkezet tervezése esetén is a CLT esetében a stabilitásvesztés vizsgálata a mértékadó, nem a szilárdsági vizsgálatok.

A CLT világszerte elterjedt, és alkalmazásának gyakorisági indexe évről évre erőteljes növekedést mutat. Várhatóan ez a tendencia a következő évtizedekben is folytatódik, köszönhetően a CLT számos előnyös tulajdonságának, illetve más anyagokkal (pl. vasbetonnal, acéllal, üveggel) történő együttes alkalmazása során létrejövő új öszvérszerkezetekben rejlő lehetőségeinek. A jövő nagy kihívása, hogy olyan energiahatékony településeket hozzunk létre, amelyek felépítése környezetkímélő és klímataudatos. Erre kitűnően alkalmas a CLT technológia, amelynek alapanyagához a helyi fafajok fenntartható módon hasznosíthatók a világszerte [1].

HIVATKOZÁSOK

[1] **Eric Borgström, Johan Fröbel:** Swedish Wood: CLT Handbook, Föreningen Sveriges Skogsindustrier, Stockholm, 2019, ISBN 978-91-983214-4-3, p. 188.

- [2] **Brandner, R., Flatscher, G., Ringhofer, A., Schickhofer, G., Thiel, A.:** Cross laminated timber (CLT): Overview and development, *European Journal of Wood and Wood Products*, vol. 74. no 3. (2016), pp. 331-351, <https://doi.org/10.1007/s00107-015-0999-5>
- [3] **Waugh Thistleton Architects:** 100 Projects UK CLT #constructionrevolution, e-könyv, <https://waughthistleton.com/100-projects-uk-clt/>
- [4] **M. Jeleč, D. Varevac, V. Rajčić:** Cross laminated timber (CLT) – a state of the art report, *GRAĐEVINAR*, vol 70. no 2. (2018), pp. 75-95, <https://doi.org/10.14256/JCE.2071.2017>
- [5] **Kurzinski, S., Crovella, P., Kremer, P.:** Overview of cross laminated timber (CLT) and timber structure standards across the world, *Mass Timber Construction Journal*, vol. 5. no 1. (2022), pp. 1-13, <https://www.researchgate.net/publication/360912171>
- [6] **Hao Li, Brad Jianhe Wang, Peixing Wei:** Cross laminated timber (CLT) in China: A State-of-the-Art, *Journal of Bioresources and Bioproducts*, vol 4. no 1. (2019), pp. 22-30, <https://doi.org/10.21967/jbb.v4i1.190>
- [7] **John Hill:** Building tall in timber. Online cikk, 2018.01.05. <https://www.world-architects.com/en/architecture-news/products/building-tall-in-timber>
- [8] **Rune Abrahamsen:** Mjøstårnet - Construction of an 81 m tall timber building. 23. Internationales Holzbau-Forum IHF 2017, p. 12., https://www.forum-holzbau.com/pdf/31_IHF2017_Abrahamsen.pdf
- [9] **Schickhofer, G., Bogensperger, T., Moosbrugger, T.:** BSPHandbuch: Holz- Massivbauweise in Brettsperrholz; Nachweise auf Basis des neuen europäischen Normenkonzepts, Verlag der Technischen Universität Graz, Graz, 2010, ISBN 978-3-85125-109-8
- [10] **Wallner-Novak, M., Koppelhuber, J., Pock, K.:** Cross laminated timber structural design – Basic design and engineering principles according to Eurocode, *ProHolz Austria*, Vienna, 2014, ISBN 978-3-902926-03-6, p. 191.
- [11] **Gagnon, S., Pirvu, C.:** CLT Handbook: cross laminated timber – Canadian edition, FPinnovations, Quebec, 2011, ISBN 978-0-86488-590-6
- [12] **Karacabeyli, E., Douglas, B.:** CLT Handbook: cross laminated timber – U.S. edition, FPinnovations, Pointe-Claire, 2013, ISBN 970-0-86488-553-1
- [13] **Schickhofer, G., Brandner, R., Bauer, H.:** Introduction to CLT, product properties, strength classes. In *Proceedings of the Joint Conference of COST Actions FP1402 & FP1404, Cross laminated timber – a competitive wood product for visionary and fire safe buildings*, Stockholm, 2016, pp. 9-32.