

Soproni Egyetem

Faipari Mérnöki és Kreatívipari Kar

**Hagyományos és modern faszerkezeti kapcsolatok összehasonlítása,
egyedi sarokösszekötő vasalatok tönkremenetelének elemzése**

Témavezető:

A dolgozat készítője:

Dr. Báder Máttyás

tudományos segédmunkatárs

Dr. Hantos Zoltán

egyetemi docens

Czeitlinger Dániel

faipari mérnöki BSc hallgató



Projektfeladat készítő neve:	Czeitlinger Dániel Faipari mérnök BSc hallgató
A projektfeladatot készítő Neptun kódja:	BLRJD2
Dolgozat címe:	Hagyományos és modern faszerkezeti kapcsolatok összehasonlítása, egyedi sarokösszekötő vasalatok tönkremenetelének elemzése
Témavezető:	Dr. Báder Mátyás Dr. Hantos Zoltán
Külső konzulens:	Szabó Gergely , építőmérnök
A dolgozat kódja	FMK-87-2025-SZ

Elvégzendő feladatok

1. Végezze el a témájához kapcsolódó szakirodalom áttekintését, fogalmazza meg munkájának célját. Ismertesse szerkezeti kapcsolatok jelentőségét a faépítészetben, mutassa be a dolgozat szempontjából releváns ácsszerkezeti és mérnöki kapcsolatokat
2. Párosítson össze olyan szerkezeti kötések, melyeknek van ácskötések között és mérnöki kapcsolatok között is megfelelője. Elemezze és hasonlítsa össze ezek előnyeit, hátrányait teherbírás, megmunkálási technológia, költségek és esztétikai szempontok szerint. A vizsgálat elsősorban a Magyarországon elterjedt, beszerezhető vasalatokra terjedjen ki.
3. Ismertesse a vasalatok statikai méretezésének, kiválasztásának módszerét. Végezzen összehasonlító számítást, a témavezetővel közösen kiválasztott fakötés – mérnöki kötés vonatkozásában
4. Mutassa be a vizsgálatra kijelölt vasalatokat, ismertesse az elvégzett vizsgálatokhoz felhasznált eszközöket és eljárásokat, a vizsgálati körülményeket.
5. Vizsgálja át a rendelkezésre álló mintacsoportokat, elemezze a terhelési próbán átesett kötőelemek torzulásait, rögzítse az általános hibákat és valószínűsíthető tönkremeneteli okokat, megállapításait a vizsgálat során készített fényképekkel is illusztrálja. A kapott eredmények alapján tegyen javaslatokat a vasalatok teherbírásának fokozására.

Beadási határidő: 2025. december 05.

Sopron, 2025.szeptember 19.

Prof. Dr. Magoss Endre

dékan





NYILATKOZAT

Alulírott (név) Czeitlinger Dániel (neptun kód: BLRJD2) jelen nyilatkozat aláírásával kijelentem, hogy a Hagyományos és modern faszerkezeti kapcsolatok összehasonlítása, egyedi sarokösszekötő vasalatok tönkremenetelének elemzése című (megfelelő rész aláhúzandó)

házi dolgozat;

diplomadolgozat;

szakdolgozat/diplomamunka

(a továbbiakban: dolgozat) önálló munkám, a dolgozat készítése során betartottam a szerzői jogról szóló 1999. évi LXXVI. tv. szabályait, különösen a hivatkozások és idézések tekintetében.

Hivatkozások és idézések szabályai:

Az 1999. évi LXXVI. tv. a szerzői jogról 34. § (1) és 36. § (1) első két mondata.)

Kijelentem továbbá, hogy a dolgozat készítése során az önálló munka kitétel tekintetében a konzulenszt illetve a feladatot kiadó oktatót **nem tévesztettem meg.**

Jelen nyilatkozat aláírásával tudomásul veszem, hogy amennyiben bizonyítható, hogy a dolgozatot **nem magam készítettem**, vagy a dolgozattal kapcsolatban szerzői jogsértés ténye merül fel, a Soproni Egyetem **megtagadja a dolgozat befogadását és ellenem fegyelmi eljárást indíthat.**

A dolgozat befogadásának megtagadása és a fegyelmi eljárás indítása nem érinti a szerzői jogsértés miatti egyéb (polgári jogi, szabálysértési jogi, büntetőjogi) jogkövetkezményeket.

Sopron, 2025.12.10

hallgató

1. Tartalomjegyzék

1. Tartalomjegyzék	2
2. Bevezetés	4
2.1 Munka célja	4
2.2 Szerkezeti kapcsolatok jelentősége a faépítészetben	4
2.3 Kapcsolati típusok és alkalmazási területeik:	4
Tradicionális ácskapcsolat	5
Modern kapcsolatok	7
3. Irodalmi áttekintés	15
3.1 Releváns ácsszerkezeti és mérnöki kapcsolatok	15
Európa	15
Ázsia	22
3.2 Szerkezeti kötések: ácskötések és mérnöki kapcsolatok összepárosítása és hasonlítása	28
Csap-Fészek kötés ~ Csap típusú kötőelem	28
Beeresztéses kötés ~ Szegezőlemez	28
Átlapolt kötés ~ Sarokösszekötő vasalat	29
Hossztoldás ~ Acéllemezes kötés	30
4. Anyagok és módszerek	31
4.1 Vasalatok statikai méretezésének, kiválasztásának módszere	31
Tervezési előírások	31
Vasalatok statikai méretezésének folyamata	32
Igénybevételek és tönkremeneteli módok csap-típusú kötőelemek példáján keresztül	33
Sarokösszekötő vasalatok vizsgálati módszerei:	39
4.2 Összehasonlító számítás: fakötés - mérnöki kötés vonatkozásában	42
4.2.1 Acéllemezes kötés	42
4.2.2 Beeresztett kötés	45
4.2.3 Összehasonlítás	47
4.3 Vizsgálatra kijelölt vasalatok bemutatása (Vizsgálati eszközök, eljárások, körülmények)	48
Anyagi jellemzők:	48
4.3 Rendelkezésre álló mintacsoportok vizsgálata	50
Vizsgálati típusok, konfigurációk, vizsgálat menete	50

5.	Eredmények és értékelés	52
5.1	Vizsgálatok eredménye és értékei	52
	Húzási vizsgálat:	52
	Nyíró vizsgálat:	54
	Kibillenési vizsgálat:	55
5.2	Összehasonlítás	59
5.3	Észrevételek javaslatok	61
6.	Összefoglalás	62
7.	Köszönetnyilvánítás	62
8.	Irodalomjegyzék	63

2. Bevezetés

2.1 Munka célja

Manapság a faépítészetben háttérbe szorulnak a hagyományosan kialakított ácskötések, ezzel szemben szinte minden faépületben megtalálhatóak a mérnöki acél kötőelemek. A dolgozatban az egyre kevesebbet használt fa-fa csomóponti kialakítások modern építészeti és fenntarthatósági szerepét vizsgálom gyakran használt vasalatokkal összevetve. Az összehasonlítás építészeti, szerkezeti, gyártási és fenntarthatósági szempontokat figyelembe véve történik, külön kiemelve néhány rendszeresen alkalmazott hagyományos fakötést és mérnöki kötést. Az összehasonlítás egyedi vasalatok vizsgálatának eredményeire is kiterjed.

A szakdolgozat célja a történelemben fellelhető, illetve fennmaradt faépítészeti ácskötések és modern mérnöki kapcsolatok összehasonlítása, ezzel vizsgálva, hogy az egyes megoldások milyen téren állnak helyt különböző építészeti helyzetekben. A dolgozat során különféle kultúrákra kitekintve, de főként az Európában és hazánkban megtalálható szerkezeti kialakításokat veszem alapul.

2.2 Szerkezeti kapcsolatok jelentősége a faépítészetben

Egy épületszerkezet tartóelemekből épül fel, amelyeknek valamilyen módon kapcsolódniuk kell egymáshoz, hogy szerkezeti rendszerként tudjanak működni. A kialakított kapcsolatok befolyásolják az egyes elemek strukturális viselkedését merev vagy csuklós csomópontok biztosításával.

Az épületek tervezése során kiemelt jelentőségű a csomópontok megfelelő kialakítása, mivel ezek jelentős szerepet játszanak a fellépő igénybevételek szerkezeti elemek közötti eloszlásában.

A faépületek esetében különösen igaz ez a kijelentés, ugyanis a fából épült szerkezetek esetében a szerkezeti kapcsolatok jelentősen befolyásolják a szerkezet terhelésekkel szembeni ellenállását. A kapcsolatok stabilitása meghatározza a szerkezet általános viselkedését és a terhelések biztonságos elvezetését.

2.3 Kapcsolati típusok és alkalmazási területeik:

Többféle kapcsolati típus is szóba jöhet a faszerkezetek tervezése során a modern építészetben, melyeket a következőkben mutatok be.

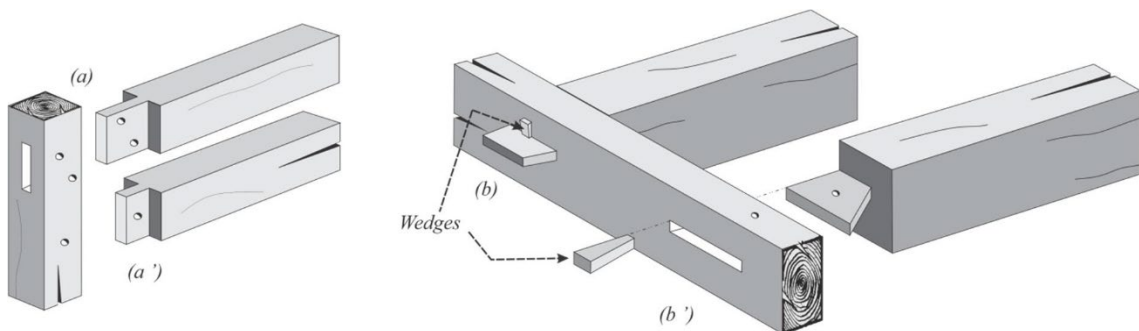
Tradicionális ácskapcsolat:

A tradicionális kialakítású egymásba illeszkedő fa-fa kötések az épületek tervezése során ritkán kerülnek alkalmazásra a modern kapcsolati kialakítások megjelenését követően, ugyanakkor a hagyományok megőrzése és a fenntartható építészet iránti igény növekedése újra felkeltette az érdeklődést a tradicionális ácskapcsolatok és a kortárs fa kapcsolatok építészeti alkalmazása iránt. A tradicionális technikák szerkezeti alkalmazása esztétikailag és fenntarthatóság szempontjából előnyös lehet, viszont ezek kialakítására vonatkozó tervezési útmutatók és szabályozások hiányosságokkal küzdenek, illetve a teherátadásuk limitált, főként húzóerőkkel szemben, tovább szűkítve az alkalmazási területeket. Ezek mellett a legtöbb ácskapcsolat megmunkálása a méretek, vagy komplexitás miatt kézzel történik, így használatuk költségesebb lehet.

A fennmaradt öreg favázak szerkezeteiben általánosan megtalálható régi tradicionális ácskötések geometriájuk szerint négy fő típusba sorolhatóak:

– Csap-fészek kötés:

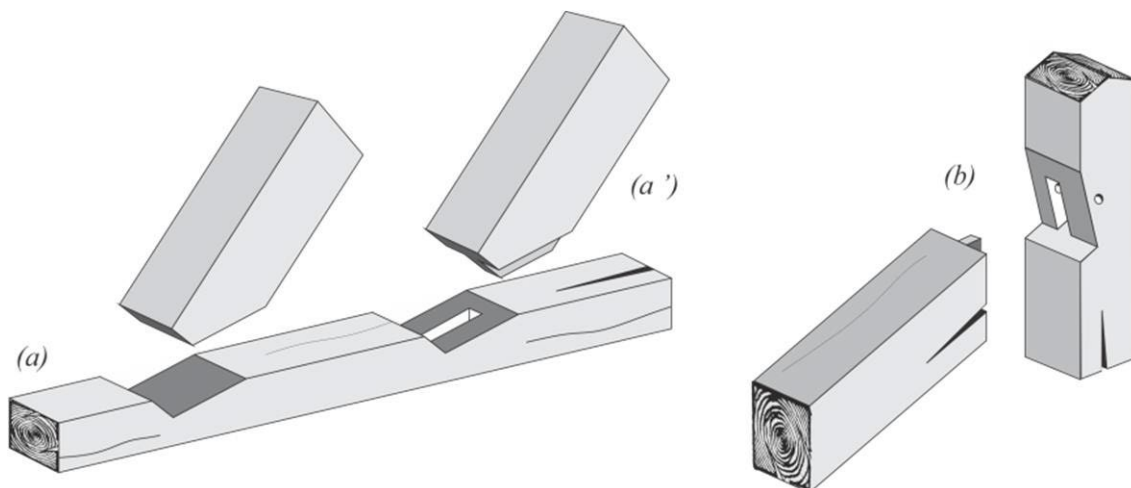
Az egyik legalapvetőbb ácskötési típus, ami világszerte szinte bárhol megtalálható volt az idők során. A csap-fészek kapcsolatokat rendszerint oszlop-gerenda, tetőszerkezetek elemei közötti kapcsolat kialakításánál alkalmazták. Az ilyen típusú kötések a leggyakrabban megtalálhatóak a történelmi ácsszerkezetekben. Jellemzően kettő vagy több elem között hoz létre kapcsolatot “L” vagy “T” formában. A kötés egy fészekből és az ebbe szorosan illeszkedő csapból áll (1. ábra). A csap és a fészek kialakítása lehet egyszerű téglalap vagy henger alakú, ugyanakkor lehet keskenyedő is, példaképp a fecskefarkú, vagy fél-fecskefarkú kötés forma javíthatja a kapcsolat húzóerővel- és csavarással szembeni ellenállását. [2]



(1. ábra Tipikus csap-fészek kötések [2])

– Beeresztéses kötés:

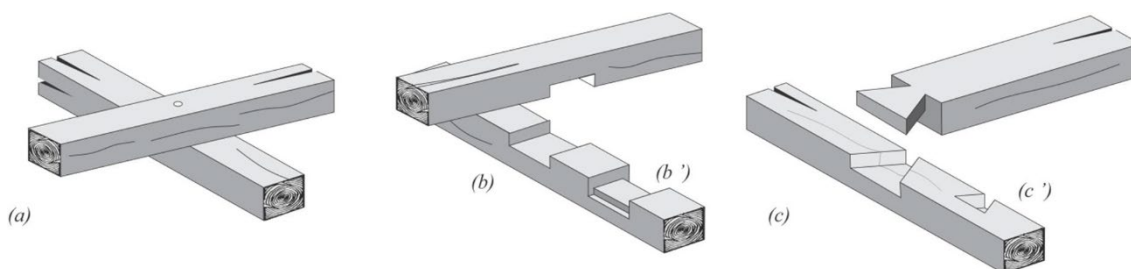
Az ilyen típusú kötések általánosan egy gerenda hosszára merőleges “V” formájú bevágásból és az ebbe pontosan illeszkedő másik elemből áll (2. ábra). A beeresztéses kötések kifejezetten az európai és nyugati stílusú tetőszerkezetekben elterjedtek, olyan helyzetekben, ahol stabil alátámasztás szükséges, példaképp szarufa, dúc alsó lábvégnél, vagy szarufa és függőállás között (főállású függesztőoszlop). Hozzáadható egy csap is, ami alapvetően a kötés párhuzamosság-tartását javíthatja, de továbbra sem ez fogja a kötés erejét adni. [1]



(2. Ábra Beeresztett kötések: (a) Szarufa és kötőgerenda között [2])

– Átlapoló kötés:

A kötés egy alsó és egy felső elemből áll, ezek vagy valamilyen idegencsappal vannak összekötve, vagy anyag eltávolításával jön létre a kapcsolat (3. ábra). A kivágás lehet mindkettő elemből, vagy csak az egyikből. Az elemek gyakran egymásra merőlegesen, mindkét félt bevágva kerülnek átlapolásra úgy, hogy az átlapoló rész vastagsága a vastagabb elemével egyezzen meg. Az átlapolás történhet szögben is és lehet fogazott, vagy fecskefarkú is ezzel javítva a húzási ellenállását. [2]



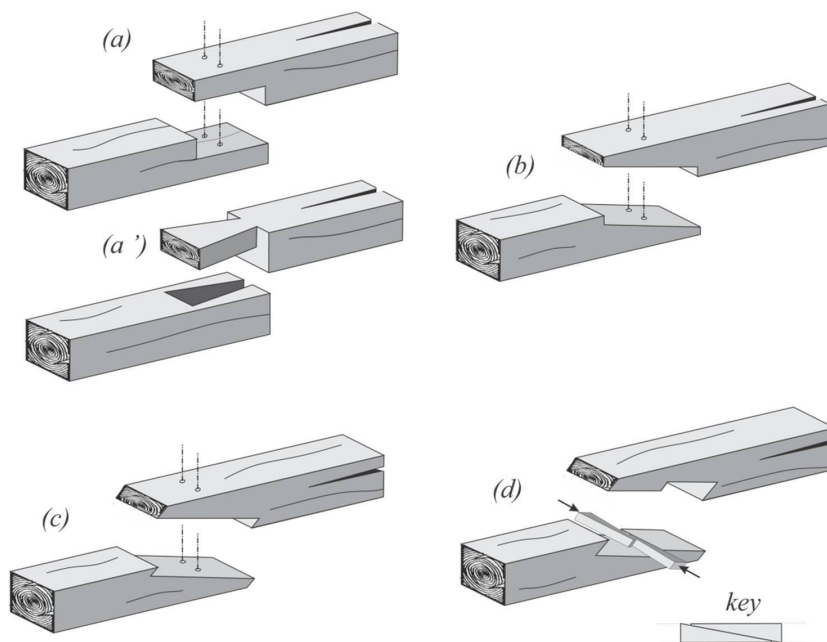
(3. ábra Átlapoló kötések lehetséges kialakításai [2])

– Hossztoldás:

A hosszoldás két elem vége között hoz létre kapcsolatot, ezáltal meghosszabbítva a nem elegendő mérettel rendelkező gerendákat, szelemeneket, illetve esetenként az oszlop elemeket, a szilárdság növelése érdekében a lapolások különféle csap típusú kötőelemekkel megerősíthetők (4. ábra). Az ilyen technikával kialakított kötések a legerősebb ragasztás nélküli elemhosszabbításként tartják számon. Leggyakrabban fajtája az egyenes lapolás és a ferde lapolás, ezek egyszerűen egy pár egymást kiegészítő bevágásból állnak, az egyenes lapolás húzóellenállásának megnövelése érdekében készülhet fecskefarkú kötéssel is (4.a' ábra).

Egy másik látványosabb hosszoldási megoldás, a Trait-de-Jupiter (4.d ábra) egy ferde fogas lapolás ferde ütközéssel, gyakran egy- vagy kettő keményfa ékkel ellátva kerül

kialakításra, ez a típus igen jó tulajdonságokkal rendelkezik mechanikai szempontból a keményfa ékek feszítésének köszönhetően. [2]



(4. ábra Hossztoldás kialakítások [2])

Modern kapcsolatok

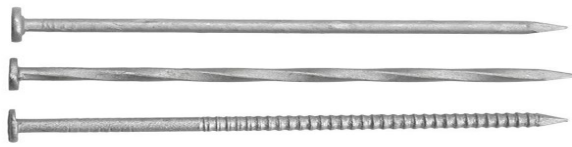
Csap típusú kapcsolóelemek

A csap típusú kapcsolóelemek esetében az erőátvitel módszere szinte megegyezik mindegyik típusnál. A csap típusú kapcsolatokban a fellépő erőket a kötőelemek nyírasként veszik fel, amennyiben a kötőelemek az erő irányára szögben kerülnek rögzítésre. Az ebbe a típusba sorolható kötőelemek számítanak a világszerte leggyakrabban alkalmazott megoldásnak a faszerkezetek kapcsolatainak kialakításánál.

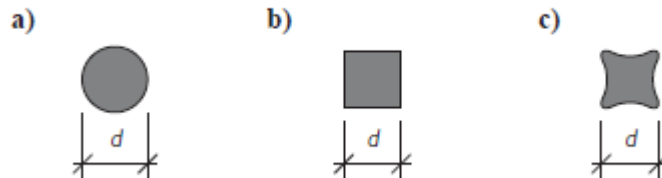
- Szegezett kötés:

A leggyakrabban használt kötőelemek a faszerkezetek építése során a csavarok elterjedése előtt.

Az Eurocode 5 sima felületű huzalszegek és profilozott, vagy nem sima felületű szegek között tesz különbséget. A sima felületű szegek keresztmetszete lehet egyszerű kör alakú, illetve négyzetes vagy hornyos keresztmetszetű is (5.b ábra). Nem sima felületű szegeknek számítanak, amik valamilyen profilozással rendelkeznek, például gyűrűs bordázott, körbordázott, vagy csavart szegek (5.a ábra). Az átmérőjük általában 8 mm-alatti, amennyiben ennél nagyobb a beágyazási szilárdságot a csavarokra vonatkozó szabályok szerint kell meghatározni, illetve előfúrás szükséges. Előfúrás kötelező, ha a faanyag karakterisztikus testsűrűsége nagyobb mint 500 kg/m^3 , és ha a szeg d átmérője nagyobb, mint 8 mm. [3]



(a)



(b)

(5. ábra Alkalmazott szeg típusok a faépítészetben (a) profilok. (b) keresztmetszetek)

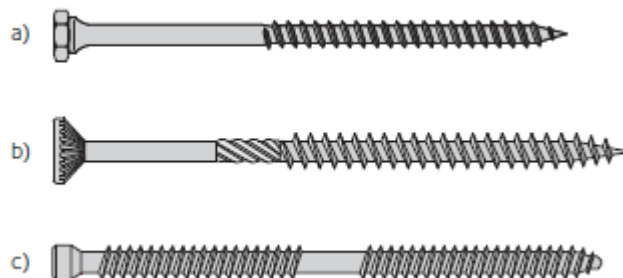
- Facsavaros kapcsolatok:

A facsavarok menettel és csavarfejjel rendelkező acélhengerek. Előfűrés általában nem szükséges sima szárszakasszal rendelkező 6 mm-nél nem nagyobb átmérőjű facsavarok puhafában (“C” ill. “GL”) történő alkalmazása esetén. A facsavarok menetkialakításukból fakadóan a faanyag rostjai közé vágódnak, belefeszítik magukat az anyagba, ezáltal húzó- és nyíróerők felvételére alkalmasak (6. ábra). [3]

Elő kell fűrni, amennyiben keményfához alkalmazzák, vagy a csavarátmérő nagyobb, mint 6 mm az alábbiak szerint:

- A sima szárszakasznak fűrt lyuk átmérője legyen azonos a szárátmérővel, mélysége legyen azonos a sima szárszakasz hosszával.
- A menetes részhez fűrt vezetőluk átmérője a szárátmérő kb. 70%-a legyen
- 500 kg-nál nagyobb testsűrűségű faanyag esetén az előfűrés átmérőjét kísérletekkel kell meghatározni.

6 mm, vagy kisebb átmérő esetén a sima szárszakaszú facsavarokra a szegekre vonatkozó szabályok érvényesek. [5]



(6. ábra Csavartípusok)

- Átmenőcsavarok:

Az átmenő csavarok általában köracélból készülnek menetvágással, mindkét végükön anyával és faszerkezetekhez való vastagabb és merevebb “fakötésű alátétek” használata szükséges rögzítésükhöz. Illesztésükhöz minden esetben előfúrás szükséges fa-fa és falemez-fa kapcsolatoknál az előfúrás legfeljebb 1 mm-rel lehet nagyobb a csavarátmérőnél, acél-fa kapcsolatok esetében az acéllemezbe fúrt lyuk átmérője legfeljebb 2 mm-rel lehet nagyobb.

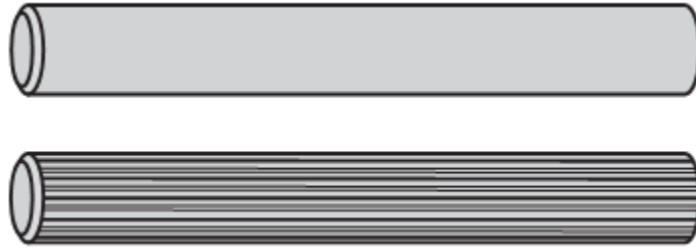
Általában olyan helyeken alkalmazzák, ahol nagy szilárdságú, húzó- és nyíróterheléseket felvevő kapcsolat szükséges (7. ábra). Acél-fa csomópontoknál tárcsák, lemezek és konzolok rögzítésére használják. [3] [5]



(7. ábra Főként átmenőcsavarokat alkalmazó szerkezet [Forrás: Party and Public Service Centre – LUO studio; dezeen.com])

- Hengercsapok:

Egyszerű henger alakú acélrudak, felületük sima, illetve előfordulnak bordázott változatban is (8. ábra). Esztétikus csomóponti kialakításra kifejezetten alkalmas lehet ez a kötőelem, amennyiben a köldökcsap nem megy át teljesen a faelemeken, az illesztési lyukak végeit fadúgókkal lezárva, egy viszonylag nehezen észrevehető kapcsolatot lehet létrehozni. A csapok átmérője minimum 6 mm-nél kezdődik és az előfúrt illesztési lyukak nem lehetnek nagyobbak a henger átmérőjénél. Esztétikai szempontokból előnyösebb az elrejtendő kapcsolat miatt, ugyanakkor kevésbé teherbíró, mint az átmenőcsavaros megoldás és pontosabb illesztés szükséges hozzá.



(8. ábra Hengercsap felület típusok)

Lemezes kötések

- Szeglemez:

A szeglemezek szegek-, vagy csavarokkal együtt rögzítik a faelemeket, előre sajtolt csavarkiosztással kerülnek forgalomba, hogy a lyukkiosztás megfeleljen a rájuk vonatkozó követelményeknek.

A fogazott szeglemez a szeglemezek egyik típusa, amelyben a “szegek” az acéllemezről kerülnek kialakításra préseléssel. Ezek a lemezek legfeljebb 2 mm-es vastagságúak lehetnek, hogy a szegeket ki lehessen hajtani az anyagból. A fogas szeglemezeket kontrollált gyártási környezetben, megfelelő nyomással préselik a faelemekbe, gyakori alkalmazási területük a tetőszerkezetek rácsos tartóinak kialakítása (9. ábra).

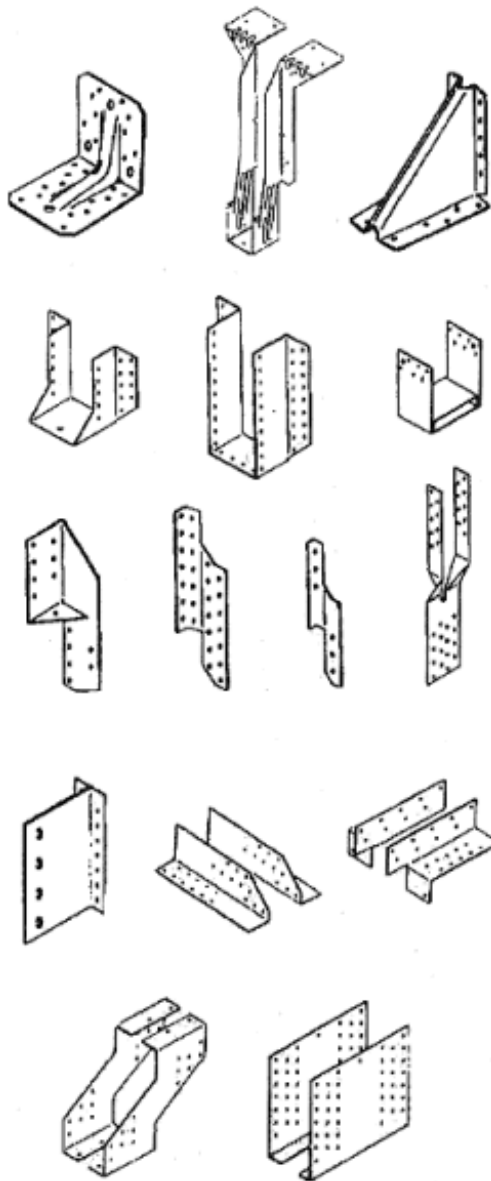


(9. ábra szeglemezes rácsos tetőszerkezet [Forrás: Family Home Kft.])

- Sarokösszekötő vasalat:

A sarokösszekötő vasalatok alkalmazása a modern faépítészetben sokoldalúan jelen van, felhasználási területük szerint egyaránt megtalálhatóak a tömörfa építészetben (pl.: CLT szerkezetek) és a bordavázás épületekben is összeköttetést biztosítva a faelemek és más építőanyagok (beton, acél) között. A másnéven háromdimenziós szegezőlemez-ként is emlegetett vasalat anyaga tűzihorganyzott acéllemez, amelyben előre kialakított furatok biztosítják a szabvány szerinti szegezési mintát. A sarokvasak teherbírasi értékét jelentősen befolyásolja a rögzítésre használt kötőelemek típusa, így a gyártók gyakran előre meghatározott rögzítőelemekkel együtt hozzák forgalomba a termékeiket.

Felhasználási területük szerint oszlop-gerenda, födémek gerendái között átlapoló kötések megerősítésére és tetőszerkezetben alkalmazzák a kapcsolatok biztosítására (10. ábra).



(10. ábra Háromdimenziós szegezőlemez típusok)

- Acéllemez kötések:

Az acéllemez hatékony, nagy teherbírással rendelkező kapcsolati elem és használata nagyon gyakori (11. ábra). A terhelés hatására kialakuló képlékeny csukló elméletben mindig a fa-acél csatlakozásnál fog kialakulni, ezáltal növelve a kapcsolat teherbírását a kizárólag fából álló kötésekhez képest. A képlékeny csukló kialakulásához feltétel, hogy az acéllemez vastagsága nagyobb vagy egyenlő legyen, mint a kötőelem (Csavar, henger csap) átmérőjének fele. Amennyiben a lemezvastagság kisebb, mint az átmérő fele a kötőelem szabadon elfordulhat a furatban, nem alakul ki képlékeny kötés, a kapcsolat egyszerű

csuklósnak

tekinthető.

Amennyiben fennál a lehetőség tűzveszélyre az acéllemezek használata nem minden esetben jó megoldás, a hő hatására az anyaguk gyorsan elveszítik erejüket, ami súlyos tönkremenetelhez vezethet. Így tehát a tűzveszélynek kitett acéllemezeket a szerkezetben mindenképpen, valamilyen módon meg kell védeni például tűzálló festékevonattal, vagy a faelemekkel történő elfedéssel. Megoldás lehet tehát a problémára, ha a faelemekbe vágott hornyokba kerülnek az acéllemezek, mindegyik elemben előfűrt lyukakkal, így befűzött acéllemezes kötést létrehozva.



(11. ábra Befűzött acéllemezes kötés RR-tartók között)

Gyűrűk és tárcsák:

- Gyűrűk és peremes tárcsák:

Az alapanyagukat tekintve acél, alumínium ötvözet, vagy öntött vas, kötőelemek 60-260 mm-es átmérőkben elérhetőek.

A gyűrűs és peremes tárcsás kapcsolóelemeket oldalirányban terhelt fa-fa és fa-acél kapcsolatokban használják. A gyűrűket kizárólag fa-fa kötésekben, míg a peremes tárcsákat fa-acél kapcsolatokban is lehet használni, kifejezetten nagy nyíróerőkre tervezve (12. ábra). A peremes tárcsás kötőelemeket általában a szerkezet összeszerelése előtt építik be a szerkezetbe, ugyanakkor a kapcsolatok később is szétválaszthatóak.

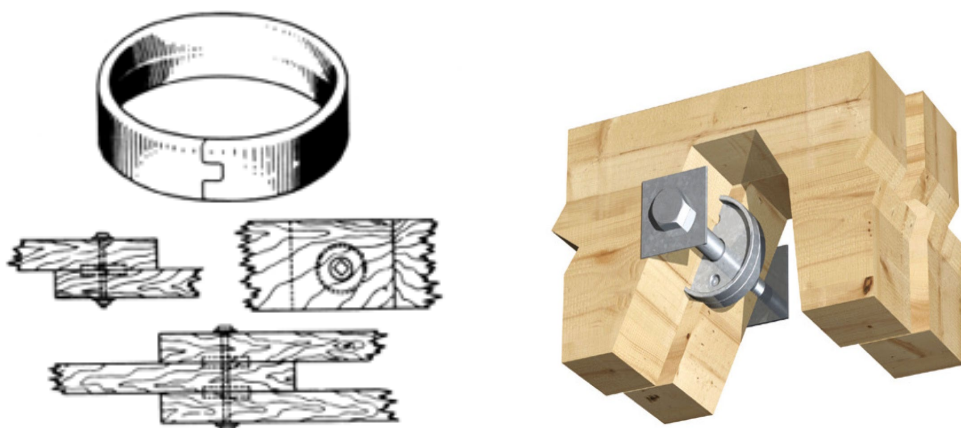
A gyűrűs és peremes tárcsás kapcsolatok kialakítása több lépésből áll. Először a csavarlyukat fúrják ki, majd forgókéses maróval hornyot alakítanak ki. A kapcsolóelemeket a horonyba illesztik, majd átmenőcsavarral szorítják össze a kötést. A marás pontossága létfontosságú a helyes beépítéshez, és a megfelelő teherbírás eléréséhez.

Teherhordozó viselkedés:

A gyűrűs kapcsolattal kialakított kötésekben a terhelés a faszerkezeti elemek között a gyűrűn keresztül fellépő palástnyomási feszültségekkel adódik át, a kapcsolt elemnek megfelelő nyírási teherbírással kell rendelkeznie.

A peremes tárcsás kapcsolatokban miután a teher átadódik a kapcsolóelemre, az átmenőcsavart a csavar és tárcsa között fellépő palástnyomás terheli, majd nyírási ellenállásán keresztül vezeti azt tovább. Ezek után egy második peremes tárcsa vagy acéllemez kerül terhelésre a csavar által.

A peremes tárcsákkal kialakított kapcsolatokban a furat és csavar átmérője közötti túrés következtében nagyobb kezdeti elmozdulás várható terhelés hatására. [6] [14]



(12. ábra (a) Gyűrű (b) Peremes tárcsa [Forrás:

<https://encyclopedia2.thefreedictionary.com/splitring+connector>])

- Fogas-tárcsák:

A fogas tárcsák hidegen hengerelt acéllemezből, vagy galvanizált lágyacélból készülnek. Különböző méretekben elérhetőek, 38-165 mm-ig terjedő átmérőkkel. Nagyobb elemek is elérhetőek rétegelt ragasztott tartóelemekhez. A kapcsolatokat szintén átmenőcsavarok fogják össze négyzetes, vagy kör alakú alátétek használatával (13. ábra).

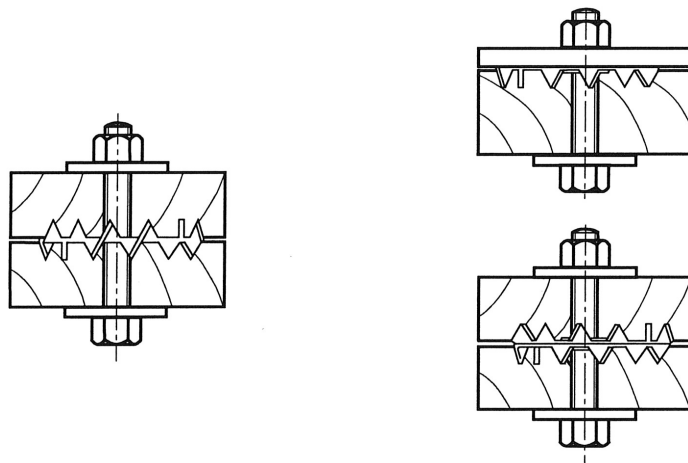
A fogas tárcsákat oldalirányú fa-fa és fa-acél kapcsolatokhoz alkalmazzák. A fa-fa kötéseknel kétoldalú fogastárcsákat alkalmaznak, alternatívaként két egymásnak fordított egyoldalú fogas tárcsa is használható, hogy a kapcsolat szétszerelhető legyen. Fogas tárcsát csak 500 kg/m^3 karakterisztikus sűrűség alatti fa, vagy faalapú elemnél lehet alkalmazni. [14]

A kötések kialakításához először a csavarlyukat fúrják ki majd elhelyezésre kerül a tárcsa és összenyomják az elemeket. A fogak fába süllyesztéséhez jelentős erőre van szükség, így hidraulikus préssel vagy nagy szilárdságú csavarral nyomják össze az elemeket.

Csak kisebb átmérőjű, legfeljebb 65 mm-es tárcsák esetében használhatóak tartósan a kötésben hagyományos anyagú átmenőcsavarok. Ezt meghaladva nagyszilárdságú csavarokat használnak széles alátétekkel a rostok összenyomódásának elkerüléséhez. Miután a faelemeket összenyomták, a nagyszilárdságú csavarokat faserkezetekhez használt lágyacél csavarokra cserélik, normál méretű alátétekkel.

Teherhordozó viselkedés:

Faelemek közötti kapcsolat esetében a kétoldalú fogastárcsa palástnyomáson keresztül vezeti tovább a terhelést egyikről a másik elemre. Egyoldalú fogak esetén a kötőelem terhelése következtében az átmenőcsavart a csavar és tárcsa között fellépő palástnyomás terheli és a csavar nyírásaként vezeti azt tovább. Ezek után egy második fogas tárcsa vagy acéllemez kerül terhelésre a csavar által. A fogas tárcsákkal kialakított kapcsolatokban a furat és csavar átmérője közötti túrés következtében nagyobb kezdeti elmozdulás várható terhelés hatására. [6] [14]



(13. ábra Kétoldalú (bal) és egyoldalú (jobb) fogas tárcsák)

3. Irodalmi áttekintés

3.1 Releváns ácsszerkezeti és mérnöki kapcsolatok

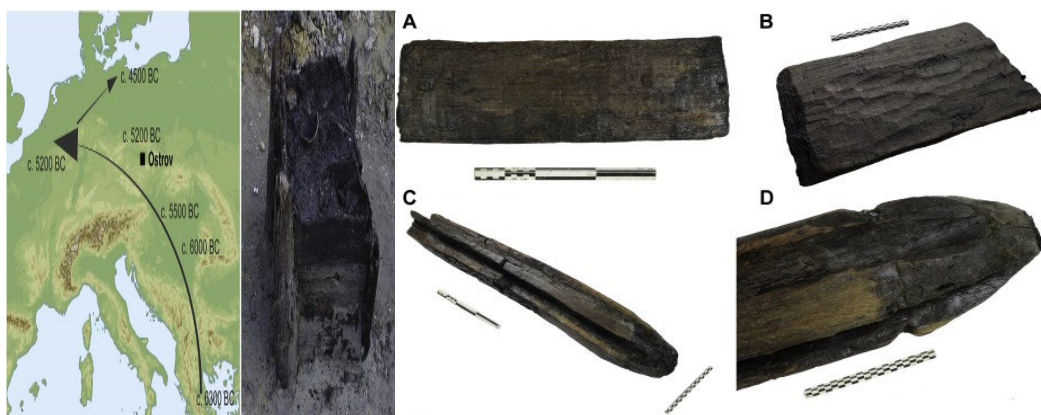
A számos kultúrát tekintve az egyik legkorábban használt építőanyag a fa volt az emberiség történelmében, a faépítészet kezdetleges formájának befolyása sok esetben még a szívosabb építőanyagokra való áttérés után is fellelhető egyes népek építészeti szokásaiban. Jól látható, hogy a technológia hiányából fakadóan a faépítészetben eleinte nem alkalmaztak fémből készült kötőelemeket az egyes kapcsolatok kialakításához, ezzel szemben a fennmaradt, akár ezeréves épületek jól szemléltetik, hogy az igényesen kialakított ácskötések és a jól átgondolt építészeti megoldások is tartós épületeket eredményezhetnek.

Az építészet és az ipar fejlődése a faépületek kötéseinek kialakítását is jelentősen átformálta, ma már többféle kapcsolat-típus is létezik a hagyományos technikák kiváltásához, vagy akár teljesen új modern alkalmazások a tömörfa építészet területén.

Európa

Az európai faépítészet történelme a közhiedelemmel szemben, az ilyen épületekkel asszociált középkori időszaknál is sokkal régebbre nyúlik vissza, egészen a kőkorszak idejéig a faanyag egyszerű megmunkálhatóságának köszönhetően. A legkorábbi faépületek leletei közé tartozik például a világ legöregebb dendrokronológiailag datált faszerkezete is, amely egy 2018-ban Csehország, Ostrov településéhez közeli, régészek által feltárt, fából készült kútbélés (13. ábra). A leletben vizsgált fák évgyűrű-növekedési mintázatát vizsgálva kivágásukat i. e. 5256/55-re keltezik, ezzel a legöregebb faszerkezetté téve azt.

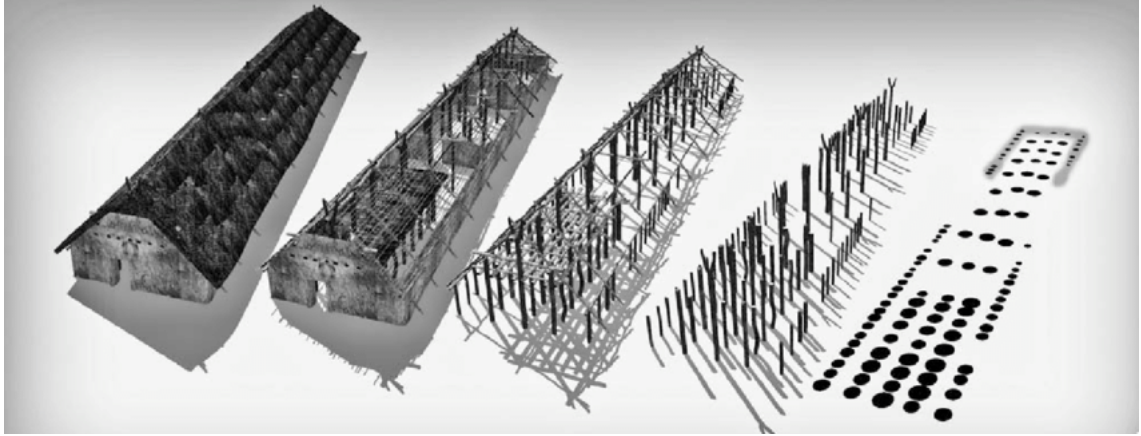
[7]



(13. ábra Ostrov kút lelet és megmunkálás [7])

Ezen kívül ide sorolhatóak még az újkőkorszaki favázak hosszúházak is, amik számos Közép-európai ország területén jelen voltak, ezek között Magyarország területén is

megtalálhatóak nyomai például az alföldi Füzesabony-Gubakút lelőhelyen. Ezeknek a házaknak a fő tartószerkezetét többsoros cölöpökből álló váz, ami a szelemenekből és tetőrácsból álló tetőszerkezet tartását biztosította, az elemek közötti kapcsolatok kivitelezése fejlett famegmunkálási képességekre utal (14. Ábra). [8]



(14. ábra Hosszúházak kialakítása [8])

Tradicionális építészet

- Norvég dongatemplomok

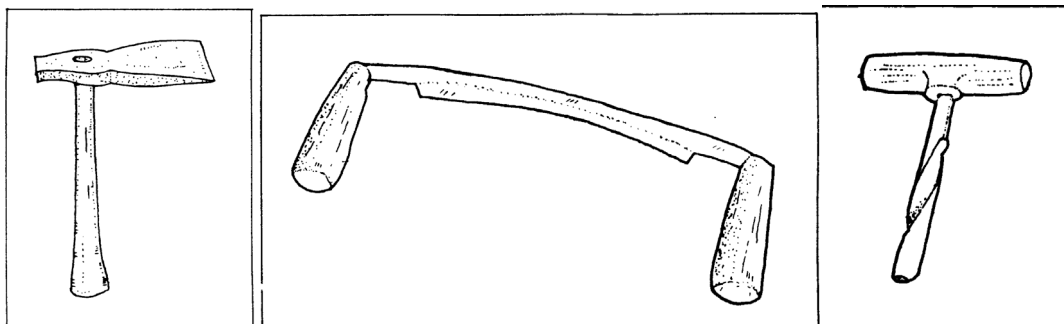
Az egyik számomra ékes példája a történelmi faépítészetnek az északi térségekben mai napig fennmaradt, több száz éves dongatemplomok (15. ábra), amelyek anyaghasználat szempontjából szinte teljes egészükben fából épültek, a kő alapzatuktól eltekintve. A viking népek a hajóépítés és famegmunkálás hosszú tradíciójának tapasztalatával építették ezeket a templomokat. [9]



(15. ábra Borgundi dongatemplom. Fotó: Jiri Havran)

A megmunkálási eszközök a szerkezet kialakítása során különböző, ebben az időben megtalálható eszközöket alkalmaztak. A rönkök faragására főként baltákat használtak,

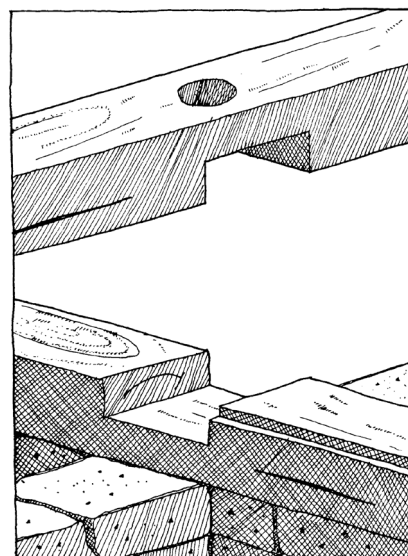
amelyek változatos formában és méretben voltak jelen. Finomabb megmunkálásra húzókéseket alkalmaztak, így kialakítva a hengeres és elliptikus oszlopokat, és a külső homlokzaton megtalálható íves dongaléceket. Ahol a szerkezeti kapcsolat megkívánta ott kézi csigafűrők segítségével alakították ki a csapoknak szükséges lyukakat (16. ábra).



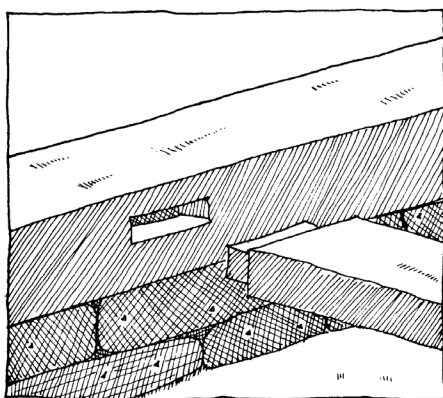
(16. ábra Megmunkálási eszközök, jobbról-balra: balta, húzóké, csigafűrő [9])

A dongatemplomok szerkezete meglehetősen fejlett strukturális kialakítással rendelkezett. (19. ábra)

Az épület alsó teherhordó eleme, durván megmunkált kövekre ültetett alapgerendákból állt, melyeket átlapolt kötésekkel kapcsoltak egymáshoz, a felső elemekben egy oszlop tartására tervezett kör alakú fészkek kialakítással. (17. ábra)

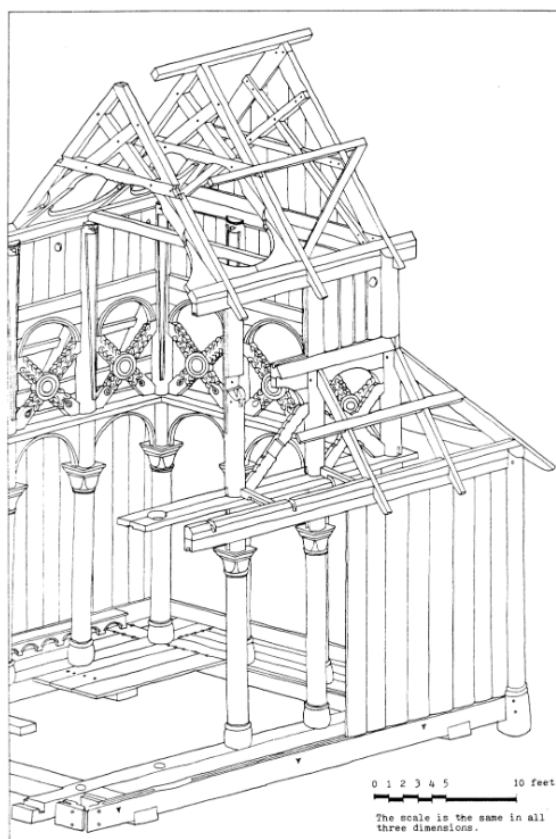


(17. ábra Alapgerendák illesztése [9])



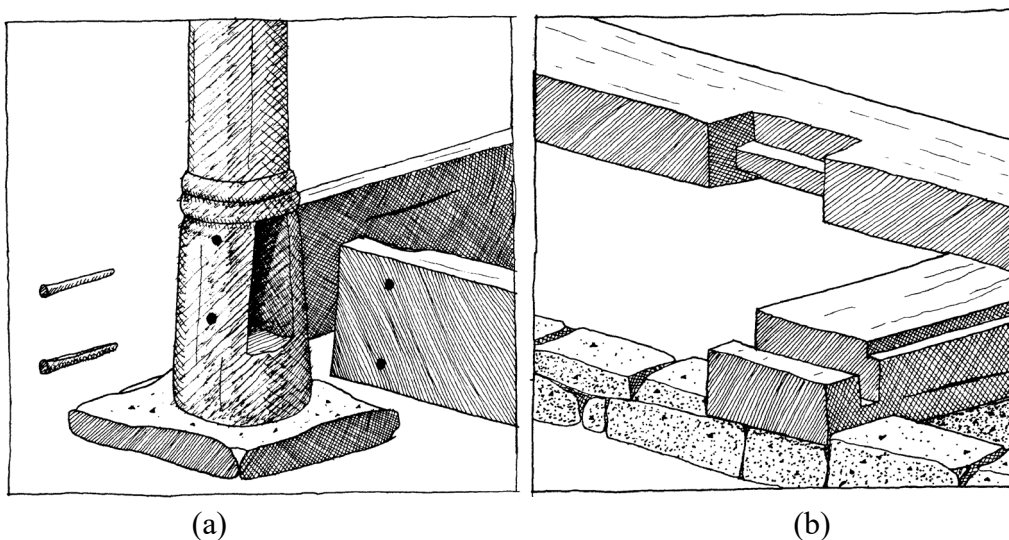
(18. ábra Padlógerenda - alapgerenda csatlakozás [9])

A hosszanti alapgerenda oldalába téglalap alakú fészkeket véstek, ezekbe ékelték a padlógerendákat, az alapgerenda élébe mart peremek a padlódeszkák tartását szolgálták. (18. ábra)



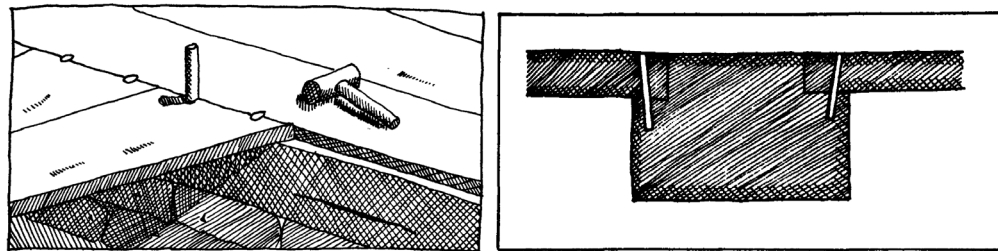
(19. ábra Dongtemplom szerkezeti felépítése [9])

Az épület alsó élén végigfutó nagyméretű vízszintes elemek a másodlagos alapgerendák szintén a kőből kialakított alapon fekszenek, és csatlakoznak az elsődleges alapgerendához, illetve a sarok-oszlopokhoz. (20. a ábra) Az oszlopokhoz csap-fészek kialakítású kötással csatlakozik és fa csapok zárják össze azt. Az elsődleges és másodlagos alapgerenda csatlakozását speciálisan kialakított átlapolás biztosítja. (20. b ábra)



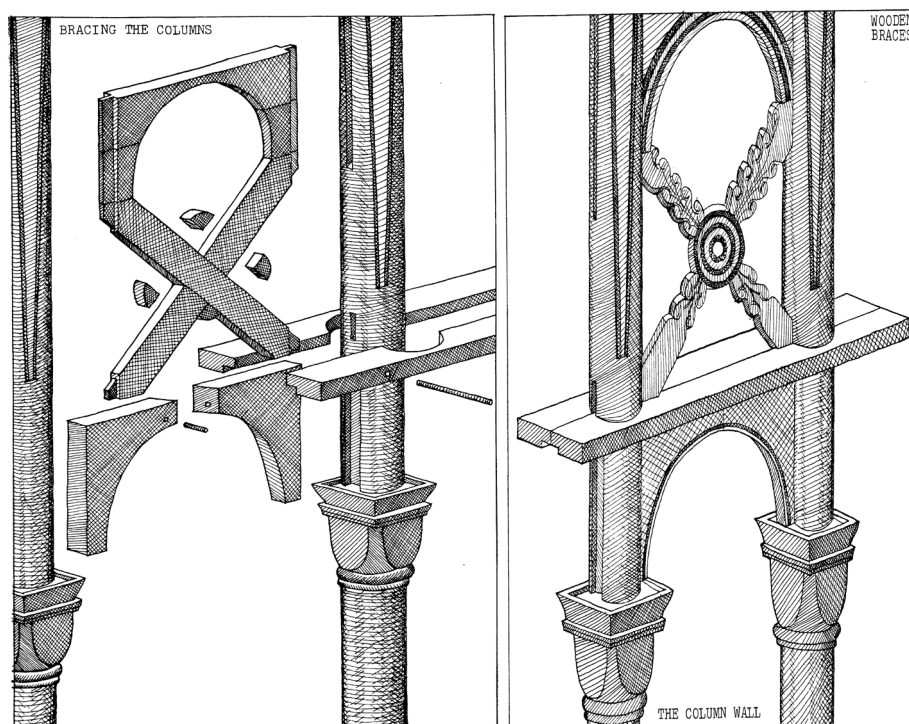
(20. ábra Másodlagos alapgerendák csatlakozása (a) -sarokoszlophoz, (b) -alapgerendához [9])

A padlódeszkák rögzítése a korábban említett peremek segítségével történik, a deszkák végeit fatiplik rögzítik az alapgerendához, a fa repedésének elkerülése végett több technikát is alkalmaztak különböző templomoknál. Egyik megoldásként a tipliket az ácsok a deszkák legvégénél verték bele, így minimalizálva a mélyebb repedések veszélyét. [9] Másik technikaként vastagabb deszkákat használtak, amiket vékonyabb, szögben átvezetett csapokkal rögzítettek a deszkák végeitől kicsit beljebb. (21. ábra)



(21. ábra padlódeszkák rögzítése [9])

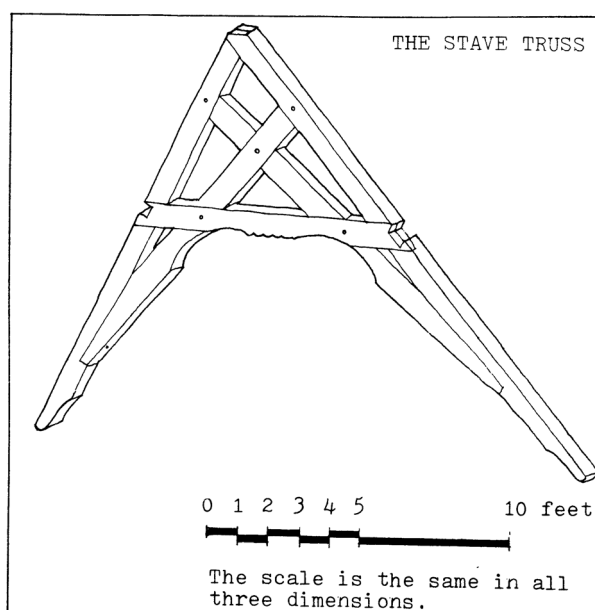
Az oszlopok merevítését komplex, díszített áthidaló támaszokkal oldották meg, amelynél szintén kizárólag fakötéseket alkalmaztak. A legfelső eleme egy vízszintes deszkából kivágott felső ívelem, aminek a végeit úgy alakították ki, hogy az oszlopokba mart nyílásokba illeszkedjen. A deszka ívét teherhordásra alkalmazták, a rajta fekvő magastetős fal súlyát hivatott tovább vezetni a következő elemre, azaz a közvetlen alatta lévő Szent András-keresztre (22. ábra). Az oszlopok közötti kereszt merevítés rendhívul teherbíró szerkezeti formát alkot, segíti az épület oldalirányú merevítését bármely irányból. Az oszlop és kereszt közötti csap-fészek kötés megakadályozza a merevítő oldalirányú elcsúszását, ugyanakkor külön rögzítés hiányában a csapok húzás hatására kicsúszhatnak a fészekből, így a merevítés csak nyomóellenállásra alkalmas. (22. ábra) Ezt a problémát szorítómerevítő elemek hárítják el, melyek amellet, hogy az oszlopokat egyvonalban tartják, megakadályozzák, hogy a kereszt merevítő elcsússzon a pozíciójából, így a szerkezet képes ellenállni a fellépő szélterhelésnek. A szorítómerevítők két pallóból állnak melyekbe félköríveket faragnak, amik szorosan közrefogják az oszlopokat. A pallókat hosszú fa-csapokkal illesztik össze és tartják helyükön. A szorító elemek továbbá a Szent András-keresztnek szolgálnak talapzatul, és segítik a terhelés egy részét átadni az oszlopoknak. Az alsó, íves könyökmerevítő a szorítómerevítők alján található horonyba szorosan illeszkedik. A kivágás nem csak a könyökmerevítők elcsúszását akadályozzák meg, hanem széllal szembeni ellenállást is elősegítik. A szél hatására a könyökmerevítők próbálnak felbillenni, amit a szorítók tartanak vissza. A könyökmerevítő általában két természetesen ívelt elemből áll, amiket közének ferde lapolással, és fa-csapokkal kapcsolnak össze. [9]



(22. ábra Oszlopmerevítő szerkezet felépítése [9])

Érdemes még megemlíteni a szinte minden fennmaradt dongatemplomban megjelenő ollós rácsos tartót. Ahogyan az oszlopfal esetében, a rácsos tartókat is a földön építették össze, majd emelték a helyükre.

A rácsos tartók a csúcsnál a tetőgerenda alátámasztását szolgálják, a szelemenek pedig mindkét oldalon süllyesztettek. Az ollós tartó teherbírásához és szilárdságához nagyban hozzájárul a szarufák közti kötőgerenda. A rácsos szerkezet beeresztett kötéseit mindenhol faszegekkel erősítették meg. (23. ábra)



(23. ábra Rácsos tetőszerkezet [9])

Modern építészet

– Stazione di Napoli Centro Direzionale

A dolgozat írásának időpontjához képest nemrég megnyitott nápolyi metróállomás egyedi tetőszerkezetét és tartóelemeit rétegelt ragasztott gerendákból állították össze. A Pompeii-i építészeti leletek által inspirált tetőszerkezet hullámos, természetet imitáló idomait a RR-tartók alacsony önsúlya és nagyfokú formálhatósága biztosítja. [10]

A robosztus faelemek szerkezeti kapcsolatait modern, nagy teherbírású acél kötőelemekkel oldották meg:

-A ragasztott tartóoszlopokat acél kötőelemek rögzítik az előzetesen kialakított alapul szolgáló betonoszlopokhoz. (24. ábra)

-Az íves tetőgerendák elemeinek csatlakozását befűzött acéllemezek biztosítják, a fő tartógerendák és tetőelemek között késlemezek oldják meg a kötést. (25. ábra)

-A tartóoszlopok végig alátétes átmenőcsavarokkal vannak összekötve és ugyanilyen csap-típusú kötőelemmel kerülnek rögzítésre az oszlop-gerenda kapcsolatok. (25. ábra)



(24. ábra RR tartóoszlopok rögzítési módja [10])



(25. ábra Képen látható: átmenőcsavaros kötés, befűzött késlemez, befűzött acéllemez [10])

Ázsia

Az európai faépítészettől eltérően kialakult szokások főként az ázsiai országokban jelennek meg, a fa tulajdonságaiból adódóan ugyan az anyag megmunkálása hasonló mégis más az épületek mögött rejlő kulturális háttér, ami az európaiaktól eltérő szerkezeti felépítést eredményez. Az építési szokások főként ebből a filozófiai hozzáállásból erednek, ami több fő alapelvet is magába foglal, melyekből kiemelek néhány fontosabbat a továbbiakban.

- A távolkeleti építészet rugalmas mozgásra képes szerkezeteket törekszik létrehozni, amely képes a természet által okozott igénybevételeknek ellenállni, ilyen például a kelet-ázsiaiában gyakori földrengés, vagy hurrikánok által okozott kilengés.

- Összefonódó kapcsolatok használata az acél kötőelemek használata helyett is az előző pontban meghatározott természeti jelenségek ellenállására szolgál, a geometriájukból adódóan összekapcsoló elemek közepesen merev, rugalmas alakváltozásra képes csatlakozási pontokat eredményeznek. Ennek hatására a szerkezet rideg helyett inkább energia elvezető lesz. Emellett az ilyen módon kialakított kapcsolatok teret biztosítanak a zsugorodás-dagadás jelenségének és az egyszerű szétválaszthatóságnak is bontáshoz, vagy javításhoz.

- Az épületek javíthatósága és egyszerű bonthatósága a következő alapelvből fakad, amely nem más, mint a moduláris építészet előnyben részesítése, ez lehetőséget biztosított a keleti épületekre jellemző oszlop-gerenda rendszerek szabályozására és ezáltal a hatékony előgyártásra.

Az Európai faépítészettel szemben a térségben korán kifejlődött az írásos szabványosított tervezési útmutatók rendszere, melynek az egyik legjobb korai példája a kínai építési előírások. A legtöbb történelmi kínai épületszerkezetet az évszázadokon át ilyen szabályrendszerben meghatározott módszerek alapján építettek, a szabályrendszer neve “Yingzao Fashi” vagy “Építési Szabványok”. Ezek a 9.-14. században alkalmazott leírások megszabták a faelemek alkalmazott geometriáját és relatív arányosságát, illetve a kapcsolatok kialakítását ezzel segítve a tervezést és az egyedi elemek kialakítását. Műemléki örökség épületek, amik az ilyen rendszerek alapján épültek, mint például a Yingxian pagoda (26. ábra) még ma is láthatóak.



(26. ábra Fogong templom – Yingxian pagodája, első építése i.sz. 1056 [1])

- Az építési szabványok alkalmazása mellett az ácsmesterek írásos útmutatók formájában örökítették tovább családjaikban a titkolt családi technikákat, egyik jól ismert példája ennek a *Yingzao Fauyan* (Az Építés alapvető szabályai). Ebből is látszik a következő alapelv, amely a hosszútávú karbantartás kultúrája. A faépületeket nem arra tervezték, hogy beavatkozás nélkül évszázadokon át fennmaradjanak, hanem hogy örökké javíthatóak legyenek. A kínai templomok restaurálása során egyenként cserélik le az oszlopokat, gerendákat így karbantartva az egész épületszerkezetet akár több, mint egy évezred alatt. Több ázsiai ország építésze is a kínai faépítészeti kultúrából ered, pl. Japán, Korea. Látványos példa még az előző elvekre a Japánban megtalálható Ise nagyszentély, amit minden 20 évben teljesen újraépítenek, az első dokumentált rekonstrukciója 690-ben ment végbe. (27. ábra) [11]



(27. ábra. Ise Jingū - Kaguraden [11])

Tradicionális építészet

– Yakushiji templom

A Nara térségben található nagytemplomot először Tenmu Császár alapította 680-ban egy másik helyszínen, később a főváros áthelyezésével 718-ban átépítették a ma ismert helyére.

A templomegyüttes épületei azonban a keleti pagoda kivételével, mind egy 973-ban keletkezett tűz áldozatai lettek. Az épületegyüttes ujjaépítése az 1300-éves keleti pagoda alapján 1976-ra lett készen.

A fennmaradt épület részletes felmérése, és a rekonstrukció folyamatának dokumentációjából jó rálátást lehet szerezni a történelmi ázsiai faépítészeti kapcsolatok kialakítására. [12]

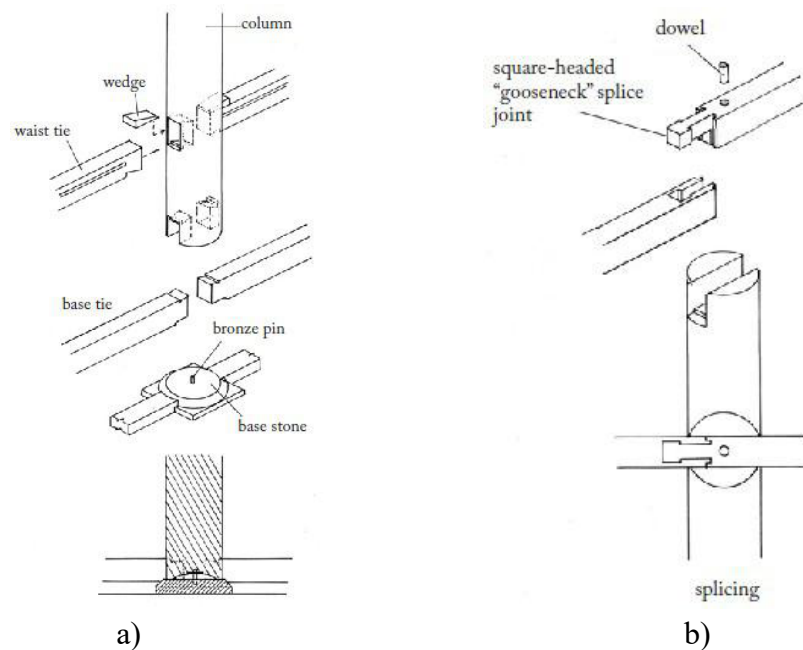


(28. ábra Yakushiji templom [12])

Az alkalmazott tradicionális kapcsolati kialakításokat a Sano-in alkomplexumban található Képcsarnok összeállításának néhány részletén keresztül szemléltetem a következőkben.

Az csarnok külső kerületét 20 oszlop alkotja, és még 6 megtalálható az épület belsejében. Az összes oszlopot átmenő kötőgerendák kapcsolják össze 4 szinten, az alpnál, derékmagasságban, falközép magasságban és az oszlopok tetejénél. Az alapgerendák közvetlen az alapon feküdtek így ezek kerültek először lehelyezésre. Az oszlopokat báziskövek és bronz- lap, csapok segítségével pozicionálták, az oszlopok alsó vége süllyesztettre lett faragva a víz felgyülemelésének elkerülésére ez ült rá a kövekre és az alapgerendákra. A közép és derékgerendák beeresztéssel kerültek a helyükre, amit ékekkel rögzítettek. (29.a ábra)

A fő kötőgerendákat, vagy fejgerendákat speciális négyzetes-fejű “libanyak” hosszoldással kötötték össze az oszlopok tetejénél, és kialakított illesztési hornyokkal erősítették oldalirányból. (29.b ábra)



(29. ábra a) oszlop alja b) oszlop teteje [13])

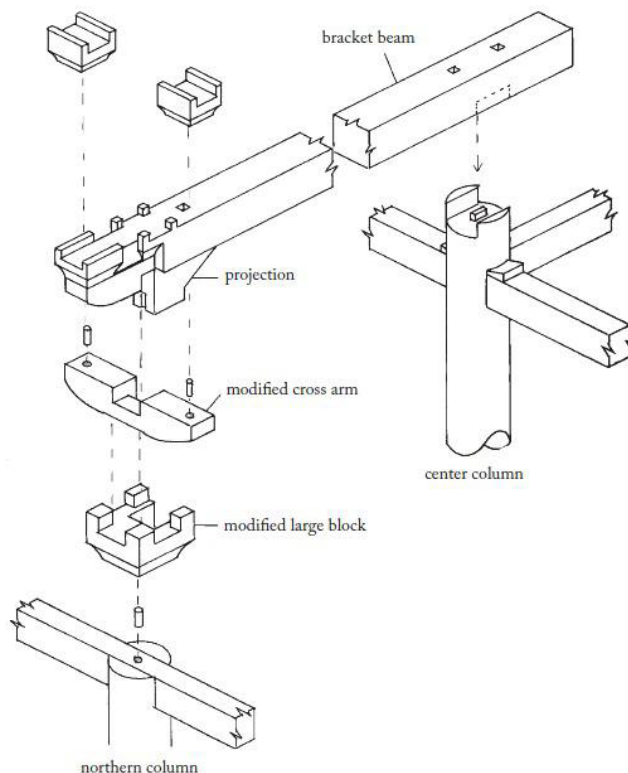
Az ázsiai faszerkezetekre jellemző Oszlop-Gerenda rendszeren kívül gyakori kapcsolati tartóelem a különböző kultúrákban megjelenő támasztókonzol-komplexum, amelyben többszintű egymásba illesztett konzolok vezetnek el a tető terhelését, és tartják a konzolgerendákat. A konzolrendszerek alkalmazása adja részben az épületek jellegzetes formáját a kelet-ázsiai építészetben, kínában “Dougong”, míg Japánban “Tokyō” vagy “Kumimono”-nak hívják

A Yakushiji Képcsarnokában 14 általános-, 4 sarok- és 2 speciális konzolrendszer van jelen.

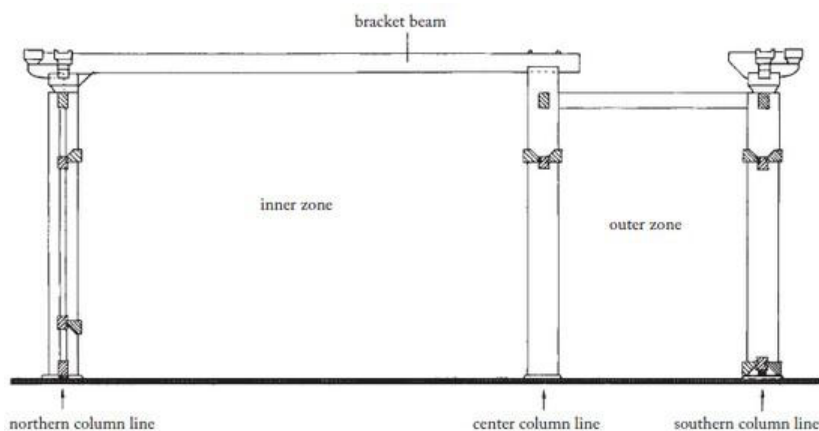
Az általános támasztókonzolok felépítése során először egy nagy fejblokkot

rögzítettek az oszlopok tetejére egy, a fejgerendába illesztett kerek csap segítségével. Következésképp hozzáadtak egy keresztkart, majd a középső konzolkart, amely a nagy fejblokkra és a keresztkarra támaszkodott. Végezetül két kisebb blokkot helyeztek a keresztkar tetejére, kerek csapokra ültetve. (30. ábra)

Középső konzolkar helyett a tetőorom megerősítése végett két helyen hosszú konzolgerendákat helyeztek el, ezek egyik vége speciálisan kialakított fejblokkokra támaszkodik, másik pedig az egyik középső oszlopon fekszik. (31. ábra) [13]



(30. ábra lentől fölfelé: Nagy fejblokk és a fejgerendába illesztett csap, keresztkar, kerek csapok, középső konzolkar (vagy a képen látható konzolgerenda), kis blokkok [13])

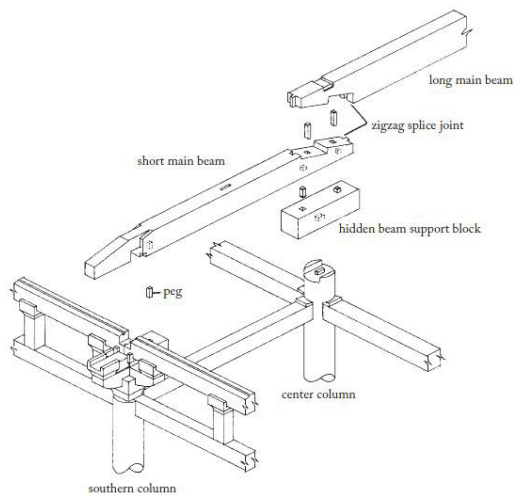


(31. ábra Konzolgerenda kialakításának metszetábrája [13])

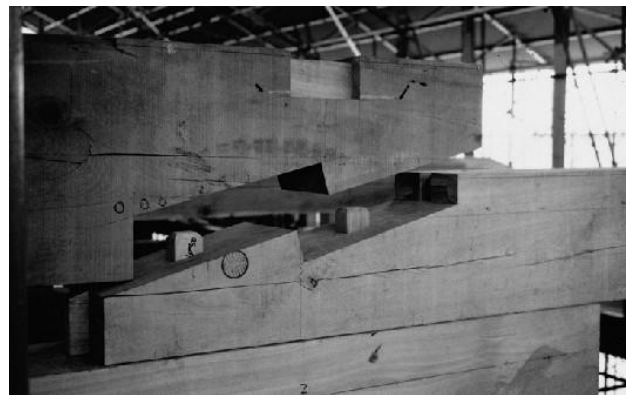
A megtalálható kötéseket jól szemlélteti még a főgerendák összeállítása, amely az egész szerkezetet keresztben átíveli, és a tető általi terhelés nagyrésztét hordozza. A gerendák két részből állnak, melyeknek hossza különbözik, ezek a belső oszlopok felett csatlakoznak.

Először a rövidebb elemek kerültek a helyükre, egyik végük a középső oszlopon, másik pedig a falszelemenek által közrefogva támaszkodik a tartókonzol középső karján. (32.a ábra)

A hosszú gerendák is az előzőhöz hasonlóan lettek elhelyezve, a rövidebb elemekhez cikkcakkos hosszötoldással kapcsolva, aminek fa csapolással növelték tovább a húzással szembeni ellenállását. (32.b ábra) [13]



(a)



(b)

(32. ábra (a) Főgerenda kialakítása - ábra
(b) Cikkcakk hosszötoldás, csapolással ellátva [13])

Modern építészet

– The Grand Ring – Osaka expo

Amikor a modern Japán faépítészetre gondolunk elkerülhetetlenül felmerülnek a tradicionális japán fakötések által inspirált kortárs, modern szerkezeti igényeket kielégítő kapcsolati kialakítások. A hagyományos technikák modern kötőelemekkel történő vegyítése kifejezetten esztétikus épületeket eredményez, amik jó statikai tulajdonságokkal rendelkeznek, nagyobb elérhető méretek mellett. A modern japán faépítészet egyik remek példája a Sou Fujimoto által tervezett “Grand Ring”. A szerkezet modern építési technikák és a szentélyekben is megtalálható “Nuki”-kötések alkalmazásával építették. (33. ábra)

Modern kapcsolati kialakításként jelen vannak:

- Befűzött acéllemezek hengercsapos rögzítéssel oldják meg a gerendák közötti kapcsolatokat. A csapok végét fadugók takarják ezzel azt az illúziót keltik, hogy a hosszú faelemek folyamatosak, nincsenek megszakítva.
- A “Nuki” kötéseket acéllemezek fogják közre a benyomódás csökkentése céljából és menetes szárákkal összehúzott faékek rögzítik a kapcsolatot



(33. ábra Kép a “Grand Ring” szerkezetéről [15])

3.2 Szerkezeti kötések: ácskötések és mérnöki kapcsolatok összepárosítása és hasonlítása

Csap-Fészek kötés ~ Csap típusú kötőelem

A csap-fészek kötések legtöbbször oszlop és gerenda közötti kötésként található meg. Főként nyomóigénybevétel esetén működnek jól, illetve használhatóak még forgás ellenállására, viszont a húzási teherbírása elhanyagolható. Ennek okán, hogy a kötés elemei a helyükön maradjanak, vagy nagyobb legyen a kapcsolat teherbírása a csap-fészek kötését kiegészíthetik valamilyen csap típusú kötőelemmel. Ez az egyszerű megoldás csökkenti a kihúzódás esélyét, így a tönkremenetel inkább a kötőelem elhajlásából, vagy a lyuk közelében fellépő összenyomódásból, elem széléhez közel kiszakadásból fakad. A csap típusú kötőelemeket önmagukban is gyakran alkalmazzák a modern építészetben, egyszerű és gyors kapcsolati kialakításokat tesz lehetővé.

Teherbírási szempontok

A csap-fészek kötések és csap típusú kötőelemek erőátadása hasonló módon megy végbe. Céljuk a fellépő terheléseket nyírásos és palástnyomáson keresztül átadni. A tradicionális megoldás idegencsap használata nélkül nem alkalmazható húzó igénybevétel esetén, ugyanakkor a csap-típusú kötőelemek húzásban is alkalmazhatóak és nagyobb teherbíró képességgel rendelkeznek. Jellemző tönkremenetel a csap-fészek kötések esetén a csap kihúzódása, illetve a nyírási tönkremenetel. Csap-típusú kötéseknel a kötőelem nyírása vagy a fa benyomódása okozza a tönkremenetelt. Tervezhetőség szempontjából a csap-típusú kötőelemekre számos szabvány vonatkozik, így különböző megoldások is jól tervezhetőek. A tradicionális kötés ezzel szemben nehezen számítható szabványok hiányából fakadóan.

Megmunkálási technológiai szempontok

Modern eszközök segítségével a csap-fészek kötések kialakítása is felgyorsítható. Pontos és igényes kialakításhoz CNC, vagy jól képzett munkaerő szükséges, amely időigényessé teszi a folyamatot, ezzel szemben a modern párja esetében gyorsan, helyszínen létrehozhatóak a kapcsolatok egyszerű fűrőgép használatával.

Költség és esztétikai szempontok

A tradicionális kötések megmunkálása jóval több időt és szakértelmet igényel, mint a modern kötőelemek, így költségesebb kapcsolatot eredményez. Esztétikai terén viszont élvezhetőbb látványt nyújt, mint a csap-típusú kötőelemek, amiket főként nem látszó, vagy nyers, ipari stílusú szerkezetekben érdemes használni látvány szempontjából.

Beeresztéses kötés ~ Szegezőlemez

A beeresztéses kötések gyakori alkalmazási területe tetőszerkezetek elemei közötti kapcsolat biztosítása (p.: Szarufák és kötőgerenda, szarufák és oszlopok)

Teteőszerkezeti megoldások szempontjából a szegezőlemezes kötés jó modern alternatívát biztosít a beeresztéses kötéseknek, fő alkalmazási területe az előregyártott rácsos tartók elemei közötti pontosan megtervezett kapcsolatok kötőelemeként szolgálni, a beeresztéshez hasonlóan az elemek összekötésére speciális szögekben is alkalmas.

Teherbírás szempontok

Mindkét kötési mód síkbeli kapcsolatot biztosít az elemek között, a tradicionális beeresztés főként nyomáson és a találkozási felület mentén nyíráson keresztül adja át az erőket húzó igénybevétel felvételére a legtöbb kialakítás szerint alkalmatlan. A szegezőlemezek kialakításuktól függetlenül nagyobb húzó és nyíró igénybevételeket képesek elviselni a kapcsolaton belül. A szegezőlemezes kapcsolatok tervezése a rájuk vonatkozó szabványok szerint egyszerűen megoldható [4], míg a beeresztett kötés elsősorban nemzeti szabványok alapján tervezhető.

Megmunkálási technológiai szempontok

A tradicionális kötés kialakítása akár helyszínen is megoldható véső és maró alkalmazásával, ellenben a szeglemezes kötések gyakran előre gyártják ipari környezetben, így a kész elemeket egyszerűen csak a helyükre kell illeszteni, ami nagyon gyors telepítést eredményez.

Költség és esztétikai szempontok

Szeglemezes kapcsolatokat az egyszerű és gyors helyszíni beépíthetőségnek köszönhetően gyakran alkalmaznak, ebből fakadóan Európa szerte számos forgalmazó elérhető viszonylag alacsony költségigény mellett.

Esztétika szempontjából látszó kötések esetében a beeresztett kötés látványos tradicionális hangulatot nyújt, míg a szeglemezes kötést nem látható helyeken célszerű inkább alkalmazni.

Átlapolt kötés ~ Sarokösszekötő vasalat

A gerendák találkozási pontjainál számos kialakítás lehetséges, ilyen megoldásokat biztosít az átlapolt kötés és sok sarokösszekötő vasalatot is ennél a konfigurációnál alkalmaznak. A kötések gyakran sarkokban kerülnek kialakításra a faszerkezeteken belül, ahol térbeli merevítő kapcsolat kialakítása a cél, illetve gerendák keresztezésénél is megjelennek, ahol az elemek egymáshoz képest történő elcsúszását akadályozzák meg oldalirányban.

Teherbírás szempontok

Átlapolt kötés esetén a faanyag az oldalirányú terheléseket benyomódáson keresztül a függőleges terheléseket nyírásként adja át. Ezzel szemben a sarokösszekötő vasalatok esetében a teherbírás főként a kötőelemek nyírási teherbírásától függ, így a sarokvasak jóval nagyobb teherbírással rendelkezhetnek.

Tervezhetőség szempontjából mindkét típus egyszerűen tervezhető.

Megmunkálási technológiai szempontok

Átlapolt kötés egyszerű helyszíni megmunkálás során is könnyen kialakítható, a sarokösszekötő vasalatokat pedig előre gyártva lehet megvásárolni, gyakran kötőelemekkel együtt így a telepítés mindkét típusnál gyorsan megoldható

Költség és esztétikai szempontok

Költség szempontjából a tradicionális kötés alkalmazása valamivel kedvezőbb az olcsó kialakításnak és alacsony szerszámigénynek köszönhetően.

Esztétikailag az átlapolt kötés igényes megmunkálással kellemesebb látványt nyújthat és jobban elrejtethető a látszó sarokösszekötő vasalatoknál.

Hossztoldás ~ Acéllemezes kötés

Az elemek meghosszabbítására alkalmazott fakötéseket manapság gyakran kiegészítik, vagy teljesen kiváltják a modern kötési típusok. Kiegészítésként használhatóak például a csap típusú kötőelemek, amik szilárdabbá teszik a fakötést, illetve az acéllemezek használata is. Ugyanakkor a modern építészeti elvárásokból fakadóan az egyre nagyobb tért nyerő tömörfa épületeknél elengedhetetlen a nagy teherbírású kapcsolatok biztosítása, amelyekhez különböző acél kötőelemeket alkalmaznak. A robosztus mérnöki faelemek (RR-tartók, CLT stb.) esetében a hagyományos hosszoldási megoldásokat legtöbbször acéllemezek alkalmazásával váltják ki.

Teherbírás szempontok

Célja a tengelyirányú erők átadása két faelem között, kialakításuktól függően a nyomóerőket és a húzóerőket nyírásos és nyomásos keresztül adja át mint kötés típus. Az acéllemezes kötés nagyon magas teherbírási értékekkel rendelkezik, emellett jól tervezhető a rá vonatkozó szabványok alkalmazásával. [4]Í A tradicionális hosszoldás hagyományos méretezési elvek szerint tervezhető és teherbírását erősen befolyásolja a faanyag minősége.

Megmunkálási technológiai szempontok

Helyszíni telepítés során a jellemzően nagyobb méretekből fakadóan az acéllemezek illesztése körülményesebb, elemei előgyártásban gyakran CNC-vel, kerülnek kialakításra, vagy fűrészalapokkal a pontos illeszkedés eléréséhez.

Különböző tradicionális hosszoldási kialakítások eltérő hozzáértést igényelhetnek, ugyanakkor többnyire bármelyik ácsműhelyben megoldhatóak, általános szerszám igény mellett.

Költség és esztétikai szempontok

Az acéllemezes kapcsolatok költségesebbek a gyártási-szerelési folyamatok és nagy acél anyag-igényből fakadóan.

Mindkét típust alkalmazzák látszó csomópontokhoz, a tradicionális hosszoldás hagyományos stílust és bonyolultabb kialakítások esetén nagy szakértelmet szemléltet.

Az acéllemezes kialakítás ezzel szemben modern ipari hatást kelt, hengerlapokkal alkalmazva akár rejtettebb kötést biztosítva.

4. Anyagok és módszerek

4.1 Vasalatok statikai méretezésének, kiválasztásának módszere

Tervezési előírások

Bármilyen szerkezeti tervezés során a követendő általános irányelveket a CEN tagállamok (CEN - European Committee for Standardization) esetében, a felelős CEN/TC250 műszaki bizottság által előkészített "Tartószerkezeti Eurocode"-ok tartalmazzák.

A Tartószerkezeti Eurocode szabvány sorozatként szolgál az erőtan tervezés alapjául Európában. A tartószerkezetek tervezését szabályozó előírásokat az EN 1990 – EN 1999 megnevezésű szabványrendszerek határozzák meg.

A szabvány sorozat első része: az EN 1990 meghatározza a szerkezetek biztonságára, használhatóságára és tartósságára vonatkozó alapelveket és követelményeket, leírja a tervezés és ellenőrzés alapjait, illetve útmutatást ad a szerkezeti megbízhatósághoz kapcsolódó kérdésekben.

A faszerkezetekre vonatkozó tervezési előírásokat az *EN 1995 – Eurocode 5 Faszerkezetek tervezése* szabványrendszer határozza meg, amely 3 szabványt foglal magába, részletesen lefedve a faépítészetre általánosan vonatkozó tervezési útmutatásokat, számításokat.

Ez a három szabvány a következő:

- EN 1995-1-1 Általános előírások és az épületekre vonatkozó szabályok
- EN 1995-1-2 Általános szabályok. Tervezés tűzterhelésre
- EN 1995-2 Hidak

A vasalatok statikai méretezése és kiválasztása az Eurocode-ban meghatározott módszer szerint megy végbe.

A szabványban nem tárgyalt kapcsolatok karakterisztikus teherbírását és merevségét a rájuk vonatkozó harmonizált szabvány szerinti teljesítménynyilatkozat (DoP), vagy Európai Értékelési Dokumentumra (EAD) alapuló Európai Műszaki Értékelésben (ETA) meghatározott módszerek alapján lehet megkapni, kísérletek során. Az EGT-n (Európai Gazdasági Térségen) belül minden építési terméknek meg kell felelnie az uniós építési termékekről szóló rendeletnek (Construction Product Regulation - CPR). Az Európai Parlament és a Tanács 768/2008/EK határozata (2008. július 9.) előírja, hogy amennyiben létezik az adott termékre harmonizált szabvány, úgy minden Európában kereskedelmi forgalomba vagy eladásra kerülő terméknek rendelkeznie kell teljesítménynyilatkozattal.

A teljesítménynyilatkozat kulcsfontosságú része az építési termékekről szóló rendeletnek. Főként a termék teherbírására, azaz mechanikai hatásokkal szembeni ellenállását, tartósságát tárgyalja a dokumentum. Minden építési terméknek, amire vonatkozik Európai

harmonizált szabvány, vagy Európai Műszaki Értékelés (ETA)-t adtak ki hozzá, rendelkeznie kell ezzel a nyilatkozattal.

Az elvégzendő kísérleteket a következő, Eurocode 5-ben megnevezett európai szabványok írják elő: [4] [5]

EN 1075 – szeglemez kapcsolatok

EN 1380 – csap típusú kötőelemek kapcsolatok

EN 26891 – próbatestek

EN 28970 – vizsgálati módszerek

Vasalatok statikai méretezésének folyamata

A fával való tervezés egyik kihívását adja, hogy az anyag természetes úton fejlődik, tulajdonságait jelentősen befolyásolja a növekedéskor rá ható környezet, a felhasználni kívánt alapanyag faja, és a különböző fahibák. A faanyag természetes kompozit: cső alakú sejtekből, cellulóz mikrofibrillákból, ezeket összetartó lignin mátrixból és keresztirányú bélsugarakból épül fel. Az így létrejött anyagszerkezet azt eredményezi, hogy a faanyag anizotróp, ebből fakadóan a különböző irányokból ható erőhatásokra eltérően reagál, így tehát tervezéskor figyelembe kell venni a terhelés irányát.

A fa felépítéséből adódóan a természetes, élő állapotában rá ható terheléseket törekszik leküzdeni, ezek lehetnek pl.: nyomás (önsúly, hóteher), húzás, csavarás (szél, földrengés), nyírás. Az anyag teherbírása tehát a természetben előforduló jelenségekre reagálva rostirányban sokkal jobban igénybevehető nyomásra és húzásra. Manapság viszont a mérnöki faanyagok, az acél kapcsolóelemek és a ragasztott megoldások előnyös alternatívát biztosítanak a faszerkezetekben szükséges csatlakozások megoldására. [3]

A vasalatok elsősorban az igénybevételek alapján kerülnek kiválasztásra. A faelemek közötti kapcsolatok kialakítására, mint a korábbiakban is látható többféle módszer létezik, ugyanakkor ezek eltérően reagálnak a szerkezetben fellépő erőhatásokra, így a tervezéshez elengedhetetlen a kapcsolatokban ható terhelések feltérképezése, pontos értékek meghatározásával. Az egyes terheléseket a szabványok segítségével, az ezekben megtalálható módszerekkel lehet számolásokkal vagy vizsgálatokkal meghatározni.

Egy fa tartószerkezetben általánosan a fő terhelési állapotokat az alábbi szabványok szerint kell meghatározni:

EN 1990 - Tartószerkezetek tervezésének alapjai

EN 1991 – A tartószerkezeteket érő hatások

A tartószerkezetekre ható terhelések megállapítását követően a csomópontokban fellépő erőhatások szerint kell kiválasztani a megfelelő vasalattípust funkció szerint.

Az igénybevételek meghatározását követően a tervezési folyamat a következő lépéseken keresztül megy végbe:

- Kötőelemek közötti tehermegoszlás meghatározása

- Egyes kötőelemek teherbírásának ellenőrzése
- Faelemek teherbírásának ellenőrzése
- Több kapcsolóelemből álló kapcsolatsorozat teherbírásának ellenőrzése
- Előfűrés szükségességének meghatározása, a repedések elkerüléséhez. [3]

Igénybevételek és tönkremeneteli módok csap-típusú kötőelemek példáján keresztül

Az oldalirányban terhelt csap típusú kötőelemeket széleskörben alkalmazzák faszerkezetekben.

Az így kialakított kapcsolatok teherbíró képességét az Eurocode 5 EN 1995-1-1:2004 szabványban található tervezési számítások szerint lehet megbecsülni, amik az Európai Folyáshatár Modellt (European Yield Model – EYM) veszik alapul. Az EYM Johansen (1949) munkájára épül, a modell a csap-típusú kötőelemekkel kialakított kapcsolatok teherbírását és lehetséges tönkremeneteli módjait állapítja meg feltételezve, hogy a kötőelem és faanyag merev-képlékeny viselkedéssel rendelkeznek.

Nyírási teherbírás

Nyíró igénybevétel esetén a rosttal párhuzamosan az elemek közötti elcsúszásról beszélünk, rostra merőlegesen pedig a rostokat próbálja az erő merőlegesen elcsúsztatni bizonyos ácskötéseknél, koncentrált támaszerőknél, és kötőelemek palástnyomásából adódóan.

A csap típusú kapcsolóelemek a terhelést nyíróerőkön keresztül adják át az erőhatásra szögben beépített mechanikus kötőelemek segítségével, így tehát a csap típusú kötőelemek esetében mindig számolni kell nyírással. [3]

Keresztirányban terhelt (hajlított-nyírt) önálló kötőelem nyírási teherbírása

A kötőelem általában az erőhatás irányára merőlegesen kerül beépítésre. A csap működését gerendaként is leírhatjuk, amire megoszló teherként hat a beágyazási nyomás. Vastag kötőelem nem hajlik meg, de ha vékonyabb csapot tekintünk, a terhelés hatására az hajlítási alakváltozást szenved, így egy vagy több képlékeny csukló alakul ki a kötőelemben. A deformációt követően a csapban nyíró- mellett húzó igénybevétel is felléphet. A húzóerő felvétele növelhető fejjel, és anyával ellátott csavarokkal, szögben beépített csavarokkal, vagy érdes felületű csapok használatával, amelyek növelik a kihúzási ellenállást. [3]

A nyírásban terhelt csap-típusú kötőelemes kapcsolatok teherbírási képességét a következő alapadatok befolyásolják:

- Összekapcsolat faelemek vastagsága t és karakterisztikus beágyazási szilárdsága f_h
- Kapcsolóelem d átmérője és karakterisztikus képlékeny nyomatéki teherbírása $M_{y,Rk}$
- A kapcsolóelem kihúzóási szilárdsága $F_{ax,Rk}$

Több kapcsolóelemből álló kapcsolatok

Több, azonos típusú és méretű kapcsolóelemből álló kapcsolat teherbírása kisebb lehet, mint az egyes kapcsolóelemek egyedi teherbírásának összege [5]

Több nyírt síkú kapcsolatok

Csap típusú kapcsolóelemek több nyírt síkú kapcsolatainál az egyes nyírt síkokat háromelemű kapcsolatsorozat részének tekintve határozhatjuk meg egy nyírt sík teherbírását, de az egyes nyírt síkok teherbírásának összegzésekor figyelemmel kell lenni a mértékadó tönkremeneteli módok kompatibilitására. [5]

Acél-fa kapcsolatok

Acéllemezek használata, mint kapcsolatban részt vevő elem igen gyakori. Elméletben a képlékeny csukló mindig a fa-acél találkozásánál kell, hogy kialakuljon. A teherbírás számításának módja esetben függ a lemez vastagságától. Vékony acéllemezeknek tekintjük a csap átmérőjének felét meg nem haladó vastagságú acéllemezeket, míg vastag acéllemezeknek tekintjük a csap átmérőjét meghaladó vastagságú acéllemezeket.

A képlékeny csukló kialakulásához feltétel, hogy az acéllemez vastagsága nagyobb vagy egyenlő legyen, mint a kötőelem (Csavar, henger csap) átmérőjének fele. Amennyiben a lemezvastagság kisebb, mint az átmérő fele a kötőelem szabadon elfordulhat a furatban, nem alakul ki képlékeny kötés, a kapcsolat egyszerű csuklósnak tekinthető. [3]

Kihúzóási teherbírás és “kötél effektus”

Nyírási tönkremeneteli módok esetén, amikor a kötőelem meghajlik, a teher egy részét húzó igénybevételként veszi fel. A felületi kialakítástól és kihúzóási ellenállástól függően, a húzóigénybevétel aránya lehet kisebb vagy nagyobb. Nagyobb kihúzóási ellenállása lehet a kapcsolóelemnek, ha:

- speciális felületi kialakítással rendelkezik (pl.: csavart-, gyűrűs felület, menetes kialakítás)

- Alátétekkel és anyákkal együtt kerülnek beépítésre.

Egy csap típusú kapcsolat nyírási teherbírásához jelentősen hozzájárulhat a húzóerő. Kuipers és Van Der Put (1982) kimutatták, hogy a menetes kialakítás akár 2,6-szorosára növelheti a kapcsolat ellenállását a képletekben Johansen-féle képlékeny elmélet alapján

számított teherbírást követő második tagjának (“kötél effektus” - $F_{ax,Rk}$) elhagyásával. [3]
Az Eurocode 5-ben a kötél effektust a $F_{ax,Rk} / 4$ kifejezés hozzáadásával veszik figyelembe egy kötőelemre vonatkozóan. Ez nem haladhatja meg a Johansen-tag kapcsolóelem-típusonként meghatározott bizonyos hányadát:

- Huzalszegnél: 15% (tartós terhelésnél 0%)¹¹
- Más szegeknél: 25-30%
- Átmenőcsavaroknál: 25%
- Hengercsapoknál: 0%
- Facsavaroknál: 100%

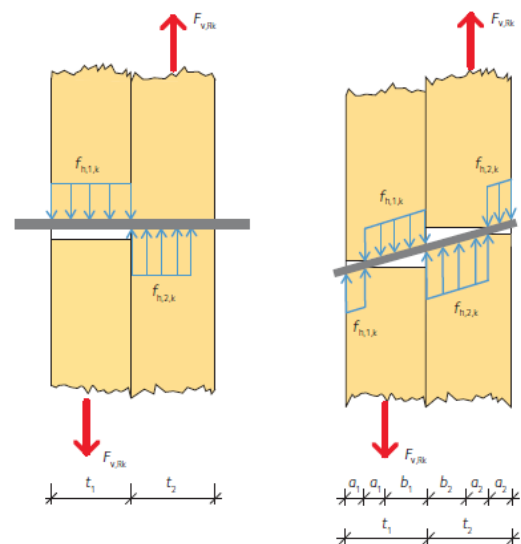
Amennyiben a kihúzóerő teherbírási értéke nem ismert a kötél-effektus hatása zérusnak tekinthető. [4] [5]

Tönkremeneteli módok

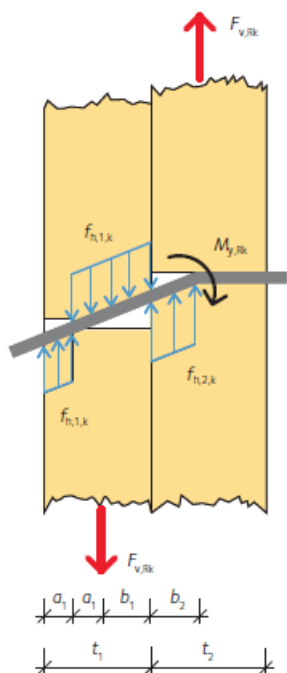
Johansen-féle képlékeny elmélet

Egy csap típusú kötőelem nyírási terhelés hatására számos módon képes tönkremenni a összekapcsolt faelemek karakterisztikus beágyazási szilárdsága és vastagsága, valamint a kapcsolóelem átmérője és karakterisztikus képlékeny nyomatóki teherbírástól függően. Az első teória, amely a csap-típusú kapcsolatok teherbírást tárgyalja Johansen által lett kidolgozva 1949-ben, ez szolgálja az Eurocode 5 ide tartozó számolásainak alapját. Johansen három lehetséges tönkremeneteli módot azonosított a kötőelemben kialakuló képlékeny csuklók számához kapcsolódóan: [3]

- I. tönkremeneteli mód: Nem alakul ki képlékeny csukló a kötőelem egyenes marad, faelemben keletkezik a tönkremenetel. Ez a tönkremeneteli mód gyakori átmenőcsavaros kapcsolatok esetében, szegezett kapcsolatoknál ritkán jelenik csak meg. A másik lehetséges ilyen tönkremenetel, amikor a kötőelem egyenes marad, viszont elfordul a faanyagban. Ez kizárólag egyszer nyírt kapcsolóelemek esetében következik be. Az elfordulás a legelőnytelenebb az I. típusú tönkremeneteli módok közül. (34. ábra)



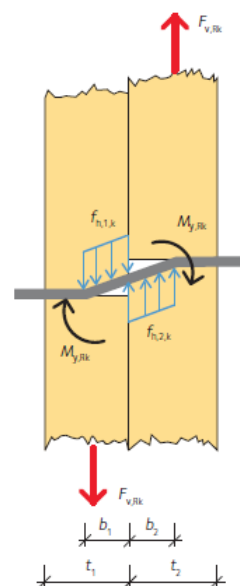
(34. ábra I. Tönkremeneteli módok [3])



- II. tönkrementeli mód: Egy képlékeny csukó alakul ki. Hogyha az egyik faelem vastagsága elég nagy, akkor a kötőelem a faanyagon belül fog elhajolni, képlékeny csuklót formálva. A hajlítónyomaték a kötőelemen belül a képlékeny csuklóban éri el a maximumot. (35. ábra)

(35. ábra II. Tönkrementeli mód [3])

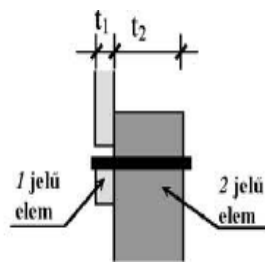
- III. tönkrementeli mód: két képlékeny csukló képződik a kötőelemen. Képlékenységi szempontjából ez a legkedvezőbb tönkrementeli mód. Ebben az esetben a kötőelem mindkét faelemen belül elhajlik. (36. ábra)



(36. ábra III. Tönkrementeli mód [3])

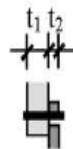
- Kétszer nyírt fa-fa kapcsolatok:

Kétszer nyírt kapcsolatokban a henger kifordulását a szimmetrikus terhelési állapot akadályozza meg. Ezen kívül ugyanaz a megközelítés alkalmazható a kötőelem ellenállásának kiszámolására, mint az egyszer nyírt kapcsolatok esetében az I., II. és III. tönkrementeli módok szerint. (37. ábra) (38. ábra)



(a)

palástnyomási
tönkremenetel
az 1. jelű elemnél



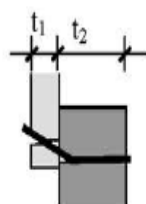
(b)

palástnyomási
tönkremenetel
a 2. jelű elemnél



(c)

palástnyomási
tönkremenetel
mindkét elemnél,
elforduló csap



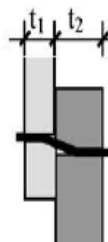
(d)

hajlítási
tönkremenetel,
képlékeny csukló
a 2. jelű elem



(e)

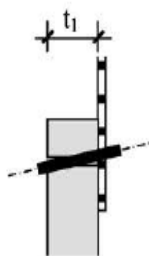
hajlítási
tönkremenetel,
képlékeny csukló
az 1. jelű elem



(f)

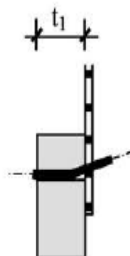
hajlítási
tönkremenetel,
képlékeny csukló
mindkét elem

(I.)



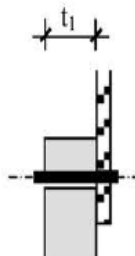
(a)

palástnyomási
tönkremenetel,
vékony acéllemez,
elforduló csap



(b)

hajlítási
tönkremenetel,
vékony acéllemez,
képlékeny csukló a
faelemen belül



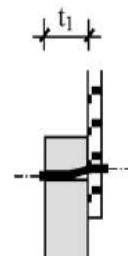
(c)

palástnyomási
tönkremenetel,
vastag acéllemez,
nem elforduló csap



(d)

hajlítási
tönkremenetel,
vastag acéllemez,
képlékeny csukló az
acéllemez szélénél



(e)

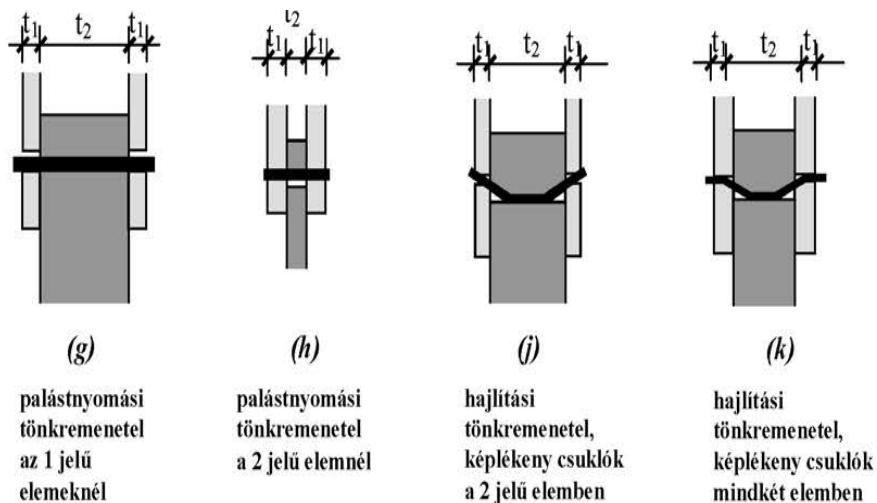
hajlítási
tönkremenetel,
vastag acéllemez,
képlékeny csukló az
acéllemez szélénél
és a faelemen belül

(II.)

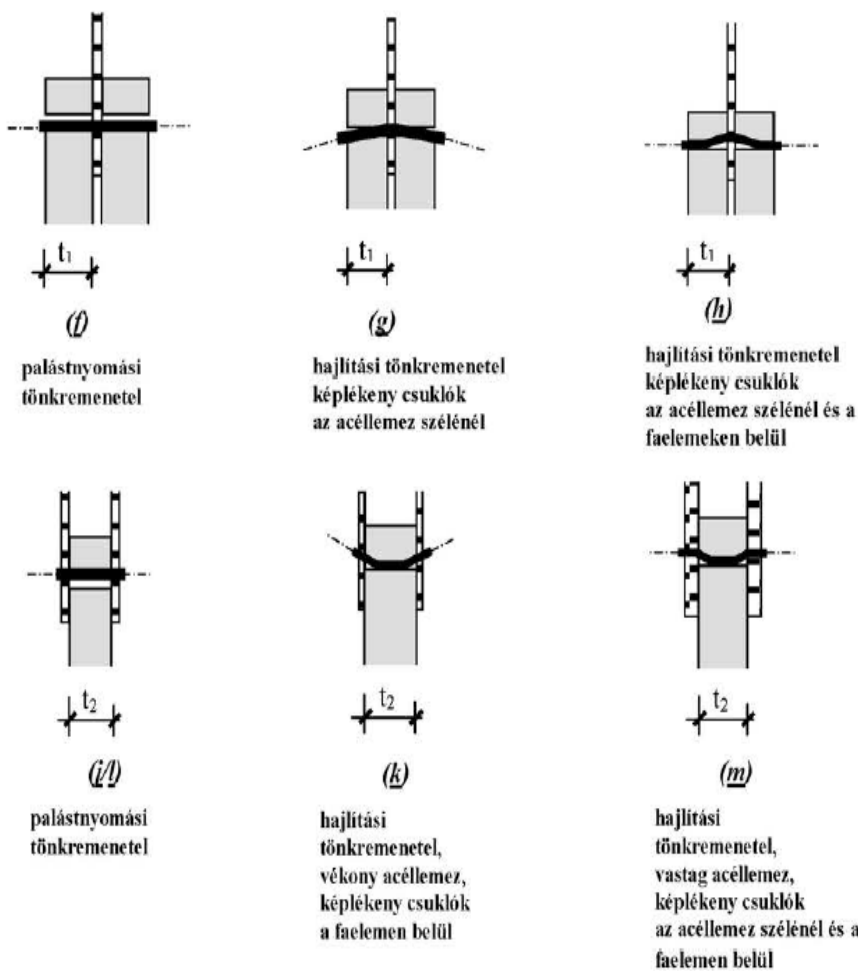
(37. ábra Tönkremeneteli módok egyszer nyírt kapcsolatokban

(I.) Fa-fa kapcsolatoknál

(II.) Acél-fa kapcsolatoknál [5])



(I)



(II.)

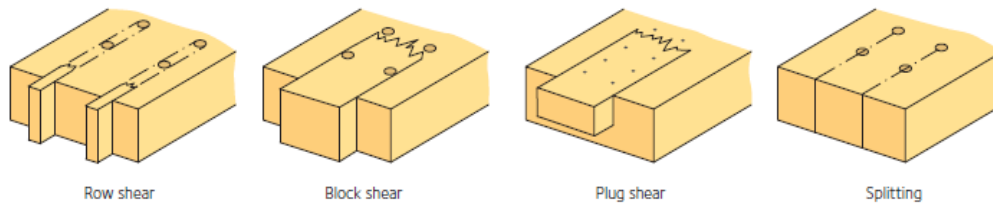
(38. ábra Tönkremeneteli módok kétszer nyírt kapcsolatokban

(I.) Fa-fa kapcsolatoknál

(II.) Acél-fa kapcsolatoknál [5])

Blokkos vagy réteges blokkos nyírási törés:

Csap típusú kötőelemek csoportjával kialakított, rostirányú erővel ill. erőkomponenssel terhelt acél-fa kapcsolatok esetében vizsgálni kell a blokkos vagy réteges blokkos nyírási törés lehetőségét is.



(39. ábra Blokkos és réteges blokkos nyírási tönkremeneteli módok [3])

Sarokösszekötő vasalatok vizsgálati módszerei:

A sarokösszekötő vasalatok teljesítménynyilatkozatának előállításához szükséges vizsgálatokat az építési termékekre vonatkozó rendelet szerint EAD (Európai Értékelési Dokumentum – European Assessment Document) alapján kell elvégezni és dokumentálni, mivel erre a termékcsoporthoz nincsen vonatkozó harmonizált szabvány.

A megvizsgálandó termékcsalád: sarokösszekötő vasalatokra, az EOTA által publikált, Háromdimenziós szegezőlemezek, EAD 130186-00-0603 számú Európai Értékelési Dokumentum érvényes. Az EAD lefedi a háromdimenziós szegezőlemezekből és kifejezetten hozzá tartozó rögzítőkből álló termékek értékelését. Amennyiben a rögzítők nem az ETA-t (Európai Műszaki Értékelés – European Technical Assessment) kérvényező gyártó termékei és már CE-jelöléssel rendelkeznek, nem kötelező ezeket újra megvizsgálni. [16]

Az alapvető tulajdonságok vizsgálatát a dokumentum két csoportra osztja: 1. - Mechanikai ellenállás és stabilitás; 2. - Biztonság tűz esetén. Első esetben, mellyel mi foglalkozunk a dolgozat további részeiben, a háromdimenziós szegezőlemez kapcsolatok erőhatásokkal szembeni ellenállás szempontjából vannak értékelve, bizonyos helyzetekben és/vagy pillanatokban, több irányból. Legalább egy erőhatási irányt kell értékelni és meghatározni az ETA-ban. Az erő- és nyomatéki teherbírás a faelemekben fellépő deformációk szerint megállapítható, melyek hasonlóak felhasználási céljuk szerinti szerkezetekben fellépőkhöz. A gyártónak meg kell határoznia a faanyag szilárdsági osztályát az EN 338 szabvány szerint, vagy fafaját, osztályozását, és felületkezelését a fűrészárunak, vagy tartószerkezeti kompozit faanyagának. Az elemek alátámasztási és befogási körülményei kritikusak a háromdimenziós szegezőlemezek teljesítménye, avagy a jellemző igénybevétel szempontjából, így tehát ezeknek tükröznie kell a tervezett felhasználási módot.

A mechanikai ellenállás és stabilitás vizsgálatához tartozó alapvető tulajdonságok az EAD 130186-00-0603 második fejezete szerint a következők:

1. Kapcsolat erőssége: kifejezi a kötőelem jellemző teherhordó képességét, tehát a legnagyobb terhelést, amit a tönkremenetelig képes elviselni. A kapcsolat erőssége több irányból vizsgált teherhordó képessége alapján meghatározható, a rögzítőelemek és a konfigurációk figyelembevételével.

2. Kapcsolat merevsége: A kapcsolat deformációval szembeni ellenállását határozza meg. Egy kapcsolat merevsége terhelés hatására történő, elemek közötti elmozdulás alapján vizsgálható. Az elmozdulás a faelemek tömegközéppontja közötti, terhelés irányában történő relatív mozgásaként mérhető. Esetünkben, ha meghaladja a 15 mm-t akkor ez a kapcsolat tönkremenetelének tekinthető.

3. Kapcsolat képlékenysége: A képlékenység a kapcsolat plasztikus deformációs képességét adja meg, tehát mekkora alakváltozást képes elszorítani a kötőelem hirtelen tönkremenetel nélkül. A kapcsolat képlékenysége különösen fontos dinamikus terhelések esetében.

4. Szeizmikus hatásokkal szembeni ellenállás: Szeizmikus zónákban fontos tervezési szempont, hogy a kapcsolatok képesek legyenek a dinamikus energiák eloszlására, elnyelésére jelentős ellenálláscsökkenés, vagy tönkremenetel nélkül. A kapcsolatokat ciklikus terhelési vizsgálat alá vetik, ahol a kötőelemeknek képesnek kell lenniük plasztikus deformációra legalább három teljes cikluson keresztül, kevesebb, mint 20% ellenálláscsökkenés mellett. Amennyiben a sarokösszekötő vasalat felhasználási célja szerint szeizmikus területen lévő disszipatív szerkezetben kerül alkalmazásra, akkor a ciklikus terhelés során, harmadik ciklusban eloszlott energia nem lehet kevesebb, mint 80%-a az első ciklusban eloszlott energiának. Az ehhez kapcsolódó ciklikus vizsgálatokat az EN 12512 szabvány alapján kell elvégezni.

5. Korrózió és állapotromlással szembeni ellenállás: A termék korrózióvédelmének vizsgálata a bevonat vastagságának megállapításán, vagy agyagmeghatározáson keresztül történik. A tűzihorganyzott, vagy galvanizált bevonatokra vonatkozó vizsgálatokat az EAD 130186-00-0603 erre vonatkozó fejezetében meghatározott szabványok szerint kell elvégezni. Bármilyen más anyaggal történő érintkezésből fakadó korróziót meg kell adni az ETA-ban a használati osztályok figyelembevételével. A kapcsolatokban vizsgált anyagok lehetnek: rögzítőelemek (bimetallikus korrózió), faelemek -tűzvédelmi, -védőszeres kezeléssel, vagy korrozív, savas fafajok (pl. magas csersav tartalmú lombosok).

A mechanikai ellenállást és a háromdimenziós szegezőlemez stabilitását a következő módokon lehet ellenőrizni:

-Számításokkal: A sarokvas tulajdonságai megállapíthatóak számításokkal amennyiben annak anyaga képes plasztikusan deformálódni törés előtt és teljesül a következő feltételek egyike:

- A kötés statikailag maradandó alakváltozásra képes, és annak elemei is képlékenyen deformálódnak erő hatására.

- Ha a mechanikus rögzítők statikai viselkedését a kötőelemek kihúzóereje határozza meg, akkor az ezeken ébredő erőeloszlást statikailag, vagy becsléssel kell meghatározni.

- A rögzítőelemek húzásra való tönkremenetele nem használható a kapcsolat teljesítményének meghatározására. A számításokhoz használt statikai modell kapcsolatainál figyelembe kell venni: a teljes szerkezet globális vizsgálatából származó belső erőket és deformációkat, a kapcsolatot alkotó összes elem statikai viselkedését, és a kapcsolat bármely részében egyensúlynak kell teljesülnie. A számítási módszerekre az EAD A-melléklete, vagy az EOTA Technical Report TR017 (2012) ad példát.

-Vizsgálatokkal segített számításokkal: A vizsgálatok célja igazolni, vagy pontosítani egy háromdimenziós szegezőlemez kapcsolat elméleti statikai modelljét és meghatározni a jellemzőket ott, ahol számításokkal nem praktikus, vagy nem lehetséges. A statikai modellnek tükröznie kell a valós statikai viselkedést.

-Vizsgálatokkal: A kapcsolat erősségének és merevségének vizsgálata az EN 26891 (1995) szabvány alapján történik. Az EAD általános alapelveket ad meg, a dokumentumban szereplő vasalatok nagy eltérései miatt. Az EAD B-melléklete tartalmazza a háromdimenziós szegezőlemezek vizsgálatára vonatkozó példákat. [16]

4.2 Összehasonlító számítás: fakötés - mérnöki kötés vonatkozásában

4.2.1 Acéllemezkes kötés

Alapadatok:

Átmenőcsavarok: M16; 8.8

$d=16\text{ mm}$

Furatátmérő: 18 mm

Szakítószilárdság: $f_{ub}=800\text{ N/mm}^2$

Kötő sorok száma: $n_{\text{sor}}=2$

Kapcsolóelemek száma egy sorban: $n=2$

Rétegelt ragasztott faanyag: GL 28h

Karakterisztikus nyírószilárdság: $f_{v,g,k}=3,5\text{ N/mm}^2$

Sűrűség: $\rho_k=425\text{ kg/m}^3$

$K_{mod}=0,6$

$\gamma_m=1,25$

$\alpha=30^\circ$

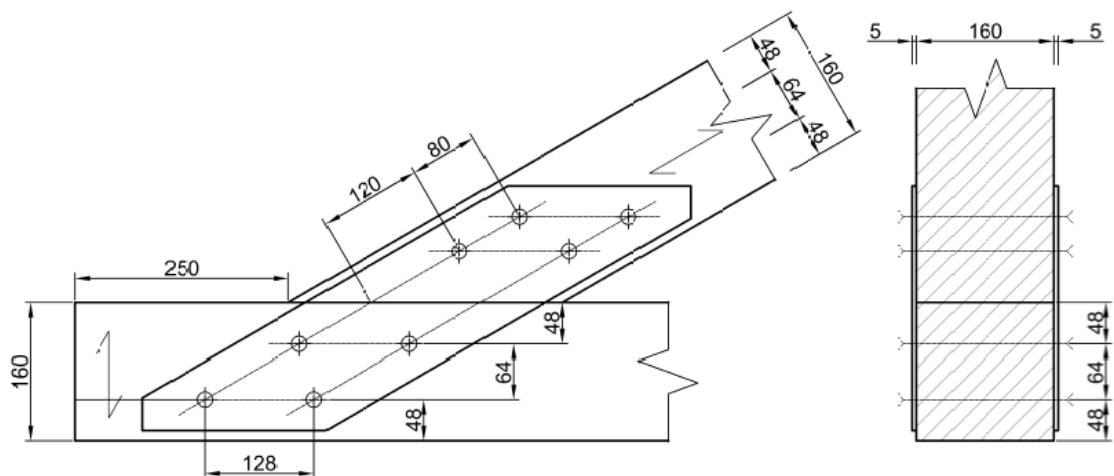
$t_{fa}=160\text{ mm}$

Heveder: S235

$f_y=235\text{ N/mm}^2$

$f_u=360\text{ N/mm}^2$

$t_{\text{acél}}=5\text{ mm} \leq 0,5d \rightarrow$ vékony acéllemez



(40. ábra Kapcsolat kialakítása)

Csavarkiosztás legkisebb távolsága:

A - Kötőgerenda:

$$a_{1,A} = (4 + |\cos \alpha|) \cdot d \approx 78 \text{ mm}$$

$$a_{2,A} = 4d = 4 \cdot 16 = 64 \text{ mm}$$

$$a_{3,A} = \text{Nem szükséges}$$

$$a_{4,c,A} = 3d = 3 \cdot 16 = 48 \text{ mm}$$

$$a_{4,t,A} = \max[(2 + 2\sin \alpha) \cdot d; 3d] \\ = 48 \text{ mm}$$

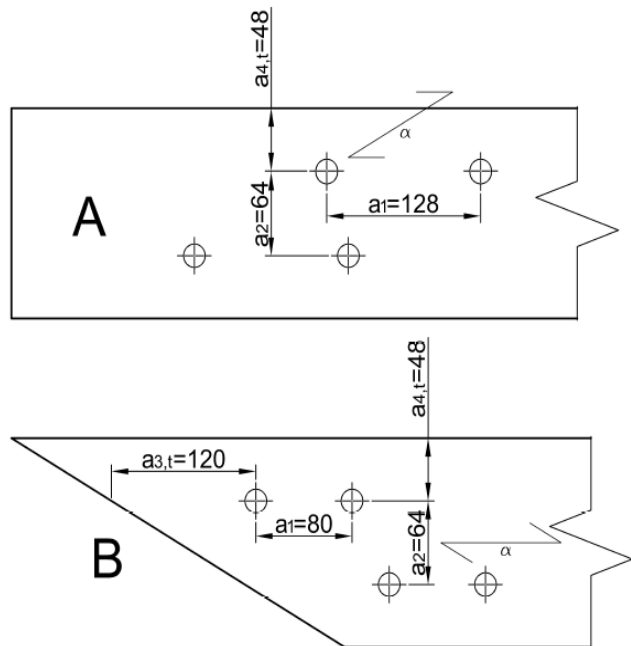
B - Szarufa:

$$a_{1,B} = (4 + |\cos \alpha|) \cdot d = 80 \text{ mm}$$

$$a_{2,B} = 4d = 4 \cdot 16 = 64 \text{ mm}$$

$$a_{3,t,B} = \max.(7d; 80 \text{ mm}) \rightarrow 7d \\ = 112 \text{ mm}$$

$$a_{4,t,B} = \max[(2 + 2\sin \alpha) \cdot d; 3d] \\ = 48 \text{ mm}$$



(41. ábra Csavarkiosztás, A - Kötőgerenda; B - Szarufa)

Kapcsolat karakterisztikus értékei:

Karakterisztikus beágyazási szilárdság: Eurocode 5 (8.31) és (8.32) képletek alapján

A - Kötőgerenda:

$$f_{h,30^\circ,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin^2 30^\circ + \cos^2 30^\circ} = \frac{29,27 \frac{N}{mm^2}}{1,54 \cdot \sin^2 30^\circ + \cos^2 30^\circ} = 25,79 \frac{N}{mm^2}$$

$$k_{90} = 1,30 + 0,015 \cdot d = 1,54 \text{ (GL – esetén)}$$

B – Szarufa:

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 16) \cdot 425 \frac{kg}{m^3} = 29,27 \frac{N}{mm^2}$$

Kötél effektus értéke: (acéllemez esetén)

$$F_{ax,Rk} = 3 \cdot f_{c,90,k} \cdot D = 3 \cdot 2,5 \frac{N}{mm^2} \cdot 60 \text{ mm}^2 = 450 \text{ N}$$

$$D = \min \left[\frac{12 \cdot t_{acél}}{4 \cdot d} \right] \rightarrow 12 \cdot t_{acél} = 60 \text{ mm}$$

$$\frac{F_{ax,Rk}}{4} = 112,5 \text{ N}$$

Kötőelem karakterisztikus képlékeny nyomatéki teherbírása: Eurocode 5 (8.30)

$$M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 800 \frac{N}{mm^2} \cdot 16^{2,6} = 324282,26 \text{ Nmm}$$

Kétszer nyírt kapcsolóelem, és vékony acéllemez esetén egy nyírt sík karakterisztikus teherbírása: Eurocode 5 (8.12) képletek alapján

A - Kötőgerenda esetén:

$$F_{v,Rk,A} = \min \left\{ \frac{0,5 \cdot f_{h,30,k} \cdot t_2 \cdot d}{1,15 \cdot \sqrt{2M_{y,Rk} \cdot f_{h,30,k} \cdot d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4}} \right\} = \mathbf{18925,6 \text{ N}}$$

$$(j) 0,5 \cdot f_{h,30,k} \cdot t_2 \cdot d = 0,5 \cdot 25,79 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 160 \text{ mm} \cdot 16 \text{ mm} = 33011,2 \text{ N}$$

$$(k) 1,15 \cdot \sqrt{2M_{y,Rk} \cdot f_{h,30,k} \cdot d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} =$$

$$1,15 \cdot \sqrt{2 \cdot 324282,26 \text{ Nmm} \cdot 25,79 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 16 \text{ mm}} + 112,5 \text{ N} = 18925,6 \text{ N}$$

B - Szarufa esetén:

$$F_{v,Rk,B} = \min \left\{ \frac{0,5 \cdot f_{h,0,k} \cdot t_2 \cdot d}{1,15 \cdot \sqrt{2M_{y,Rk} \cdot f_{h,0,k} \cdot d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4}} \right\} = \mathbf{20154,72 \text{ N}}$$

$$(j) 0,5 \cdot f_{h,0,k} \cdot t_2 \cdot d = 0,5 \cdot 29,27 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 160 \text{ mm} \cdot 16 \text{ mm} = 37465,6 \text{ N}$$

$$(k) 1,15 \cdot \sqrt{2M_{y,Rk} \cdot f_{h,0,k} \cdot d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} = 20042,2 \text{ N} + 112,5 \text{ N} = 20154,72 \text{ N}$$

Rideg tönkrementel jellemző teherbírása:

több kapcsolóelem sor figyelembevételével. Eurocode 5 (8.1) és (8.34) képletek alapján

A - Kötőgerenda esetén:

$$F_{v,ef,Rk,A} = n_{sor} \cdot n_{ef} \cdot F_{v,Rk,A} = 2 \cdot 1,65 \cdot 18925,6 \text{ N} = \mathbf{62454,48 \text{ N}}$$

$$n_{ef} = \min \left\{ \frac{n}{n^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{13d}}} \right\} = 1,65$$

B – Szarufa esetén:

$$F_{v,ef,Rk,B} = n_{sor} \cdot n_{ef} \cdot F_{v,Rk,B} = 2 \cdot 1,47 \cdot 20154,72 \text{ N} = \mathbf{59254,88 \text{ N}}$$

$$n_{ef} = \min \left\{ \frac{n}{n^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{13d}}} \right\} = 1,47$$

Blokkos, vagy réteges blokkos nyírási törés: (csak szarufát vizsgálva)

$$F_{bs,Rk} = \max. \left\{ \begin{matrix} 1,5 \cdot A_{net,t} \cdot f_{t,0,k} \\ 0,7 \cdot A_{net,v} \cdot f_{v,k} \end{matrix} \right\} = \mathbf{127319,04 \text{ N}}$$

$$t_{ef} = 36,84$$

$$L_{net,t} = \sum_i l_{t,i} = 128$$

$$L_{net,v} = \sum_i l_{v,i} = 400$$

$$A_{net,t} = L_{net,t} \cdot t_1 = 4715,52 \text{ mm}^2$$

$$A_{net,v} = L_{net,v} \cdot t_1 = 14736 \text{ mm}^2$$

$$1,5 \cdot A_{net,t} \cdot f_{t,0,k} = 1,5 \cdot 4715,52 \cdot 18 \frac{N}{\text{mm}^2} = 127319,04 \text{ N}$$

$$0,7 \cdot A_{net,v} \cdot f_{v,k} = 0,7 \cdot 14736 \cdot 3,5 \frac{N}{\text{mm}^2} = 36103,2 \text{ N}$$

4.2.2 Beeresztett kötés

Alapadatok:

Rétegelt ragasztott faanyag: GL 28h

Karakterisztikus nyírószilárdság:

$$f_{v,g,k} = 3,5 \text{ N/mm}^2$$

Karakterisztikus nyomószilárdság:

$$f_{c,0,k} = 28 \frac{N}{\text{mm}^2}; f_{c,90,k} = 2,5 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

$$\text{Sűrűség: } \rho_k = 425 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$K_{mod} = 0,6$$

$$\gamma_m = 1,25$$

Geometriai adatok:

$$\alpha = 15^\circ$$

$$\beta = 30^\circ$$

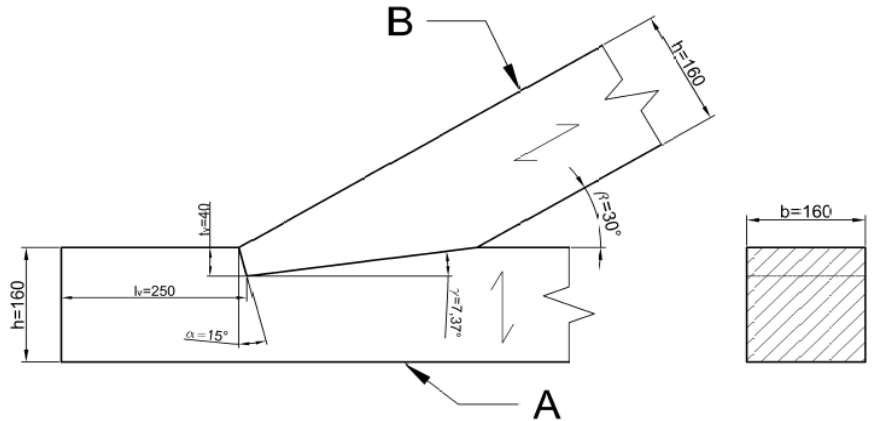
$$\gamma = 7,37^\circ$$

$$b = 160 \text{ mm}$$

$$h_{tb} = 160 \text{ mm}$$

$$t_v = 40 \text{ mm}$$

$$l_v = 250 \text{ mm}$$



(42. ábra Egylépcsős beeresztés geometriai paramétere)

	Germany [2, 9-10], Italy [11], Switzerland [3]			Netherlands [12-15]		Norway [16]		
β	$\leq 50^\circ$	$50^\circ \leq \beta \leq 60^\circ$	$\geq 60^\circ$	$\leq 50^\circ$	$\geq 60^\circ$	$\leq 50^\circ$	$50^\circ \leq \beta \leq 60^\circ$	$\geq 60^\circ$
t_v	$\leq \frac{h_{tb}}{4}$	Linear interpolation	$\leq \frac{h_{tb}}{6}$	$\leq \frac{h_{tb}}{4}$	$\leq \frac{h_{tb}}{5}$	$\leq \frac{h_{tb}}{4}$	$\leq \frac{h_{tb}}{5}$	$\leq \frac{h_{tb}}{6}$
l_v	$\geq 150 \text{ mm}$ [3]	$\leq 8 \cdot t_v, \geq 200 \text{ mm}$ [2]		$\geq 6 \cdot t_v$		$\geq 150 \text{ mm}$		
α	$\beta/2$ [3]	$\gamma \leq \alpha \leq \beta$ [2]		$\beta/2 \leq \alpha \leq \beta$		$\beta/2$		

(43. ábra Javaslatok a beeresztés geometriai kialakítására a kötőgerenda magassága viszonyában h_{tb} , különböző nemzeti szabványok szerint.)

Karakterisztikus nyomószilárdság: Eurocode 5 (6.16) képlet szerint

$$f_{c,\alpha,d} = \frac{f_{c,0,d}}{\frac{f_{c,0,d}}{k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} = \frac{13,44 \frac{N}{\text{mm}^2}}{\frac{13,44 \frac{N}{\text{mm}^2}}{1 \cdot 1,2 \frac{N}{\text{mm}^2}} \cdot \sin^2 15 + \cos^2 15} = 19,2 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

DIN 1052:2004-08 – Német nemzeti szabvány szerint, geometriai konfigurációból fakadó nyírást figyelembe véve

$$f_{c,\alpha,k} = \frac{f_{c,0,k} \cdot k_{c,\alpha}}{\sqrt{\left(\frac{f_{c,0,k}}{f_{c,90,k}} \cdot \sin^2 \alpha\right)^2 + \left(\frac{f_{c,0,k}}{1,5 \cdot f_{v,k}} \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha\right)^2 + \cos^4 \alpha}} = 15,62 \frac{N}{mm^2}$$

$$= \frac{28 \frac{N}{mm^2} \cdot 1}{\sqrt{\left(\frac{28 \frac{N}{mm^2}}{2,5 \frac{N}{mm^2}} \cdot \sin^2 15\right)^2 + \left(\frac{28 \frac{N}{mm^2}}{1,5 \cdot 3,5 \frac{N}{mm^2}} \cdot \sin 15 \cdot \cos 15\right)^2 + \cos^4 15}}$$

Méretezés nyírási tönkremenetel figyelembevételével:

A szarufa méretezési teherbírását ($N_{szf,Rd}$) egyenletek alapján ellenőrizni kell a kötőgerendában bekövetkező nyírási repedésből fakadó tönkremenetel elkerülését figyelembe véve. (44. ábra) [18]

$$N_{szf} \leq N_{szf,Rd} = k_{v,red} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot f_{v,k} \cdot \frac{b \cdot k_{cr} \cdot l_{v,ef}}{\cos \beta}$$

$$k_{v,red} = 0,8$$

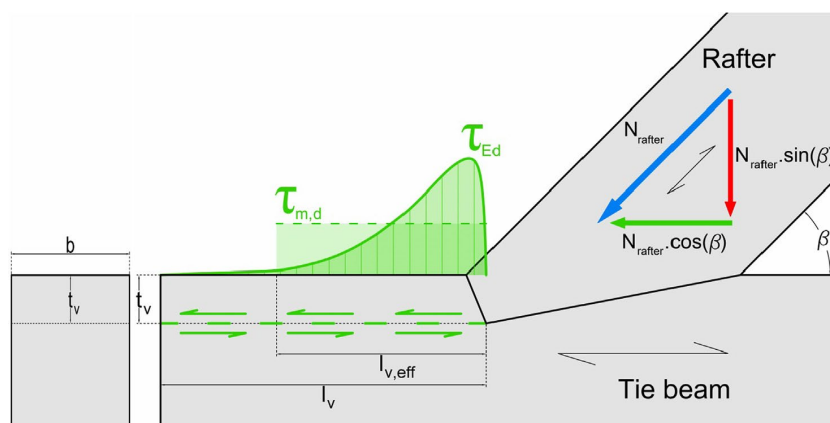
$$l_{ef} = \min(l_v ; 8 \cdot t_v) \rightarrow l_v = 250 \text{ mm}$$

$$k_{cr} = 0,67$$

$$\text{Eurocode} \quad 5 \quad (6.13a)$$

$$b_{ef} = k_{cr} \cdot b = 107,2 \text{ mm}$$

$$N_{szf,Rd} = 0,8 \cdot \frac{0,6}{1,25} \cdot 3,5 \frac{N}{mm^2} \cdot \frac{107,2 \text{ mm} \cdot 250 \text{ mm}}{\cos 30} = 41591,4 \text{ N}$$



(44. ábra nyírófeszültség τ_{Ed} eloszlása a kötőgerenda rostirányával bárhuzamosan, a beeresztés mélységében [18])

Méretezés a beeresztés homlokánál jelentkező összenyomódás figyelembevételével:

Szarufa oldalon:

$$N_{szf} \leq N_{szf,Rd,B} = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot f_{c,\alpha-\beta,k} \cdot \frac{b \cdot t_{ef,1} \cdot \sin(90 + \alpha - \gamma)}{\sin(90 - \beta + \gamma)}$$

$$t_{ef,1} = \frac{t_v}{\cos \alpha} + 30 \cdot \sin(\beta - \alpha) + 30 \cdot \sin(\alpha - \gamma) = 53,16 \text{ mm}$$

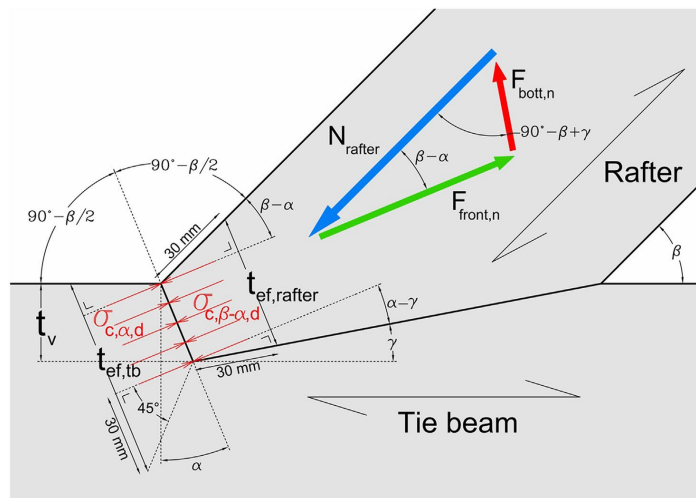
$$N_{szf,Rd,B} = 68479,26 \text{ N}$$

Kötőgerenda oldalon:

$$N_{szf} \leq N_{szf,Rd,A} = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot f_{c,\alpha,k} \cdot \frac{b \cdot t_{ef,2} \cdot \sin(90 + \alpha - \gamma)}{\sin(90 - \beta + \gamma)}$$

$$t_{ef,2} = \frac{t_v}{\cos \alpha} + 30 \cdot \sin \alpha + 30 = 79,18$$

$$N_{szf,Rd,A} = 101997,5 \text{ N}$$



(45. ábra Nyomófeszültség $\sigma_{c,\alpha,d}$ és $\sigma_{c,\beta-\alpha,d}$ iránya és t_{ef} effektív hosszok pozíciója)

4.2.3 Összehasonlítás

Összehasonlítás a két kapcsolati kialakítás kedvezőtlen tönkremeneteli módjain keresztül szarufát tekintve:

-Rideg tönkremenetel jellemző teherbírása több kapcsolóelem sor figyelembevételével:

$$F_{v,ef,Rk,B} = 59254,88 \text{ N}$$

-Szarufa teherbírása, kötőgerenda nyírási repedésből fakadó tönkremenetelét elkerülve

$$N_{szf,Rd} = 41591,4 \text{ N}$$

A kapcsolatban részt vevő elemek azonos mérete és tulajdonságai ellenére is nagyobb teherbírással rendelkezik a vékony acéllemez kötés, a hasonlóan kialakított csomópontban. A képletek is szemléltetik, hogy a modern kötőelem tönkremenetelét főként húzófeszültségek okozzák, így az egyenletek is főként erre térnek ki, míg a tradicionális kapcsolat esetében a kötőgerenda nyírása, és a rost-összenyomódás számít kritikus tervezési értéknek.

4.3 Vizsgálatra kijelölt vasalatok bemutatása (Vizsgálati eszközök, eljárások, körülmények)

A továbbiakban a sarokösszekötő vasaltok tönkremenetelének vizsgálata és elemzése kerül előtérbe, az dolgozatban alapul vett vizsgálatok az EAD 130186-00-0603 és MSZ EN 26891 (1995) dokumentumokat követik.

Anyagjellemzők:

A tesztelés során felhasznált szerkezeti teherbírást szemléltető faelemek, és rögzítőelemek teherbírását minden vizsgálat során változatlanul a teljesítménynyilatkozatuk szerint lehet tekinteni.

Faanyag: a felhasznált faanyag szilárdság szerint vizuálisan osztályozott, téglalap keresztmetszetű szerkezeti *Picea abies* - Lucfenyő gerenda (1. táblázat). Alkalmatási terület építkezési szerkezetek teherhordó elemeiként, 1.-2. Felhasználási osztályban.

(1. táblázat C30-as lucfenyő gerenda szilárdsági jellemzői)

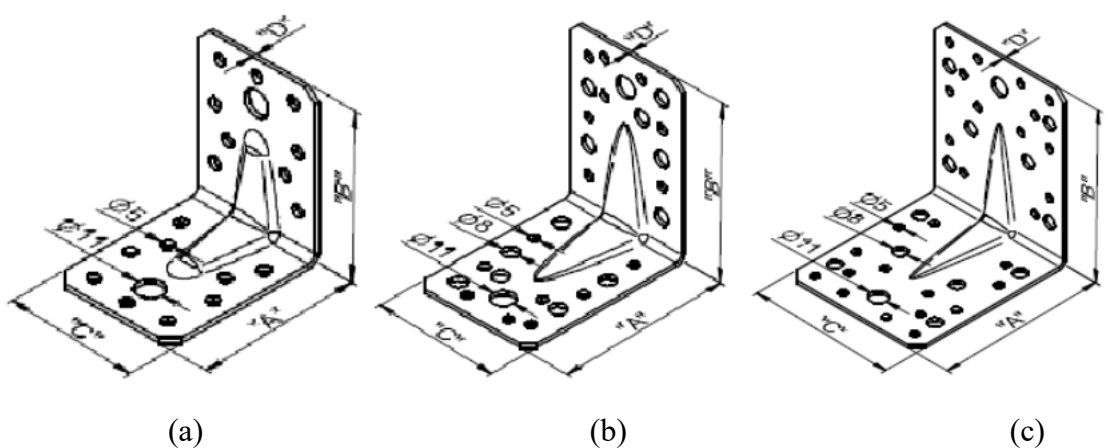
Alapvető tulajdonságok: C30-as lucfenyő gerenda	
Szilárdsági osztály:	C30
hajlítószilárdság (N/mm ²)	30
párhuzamos nyomó szilárdság (N/mm ²)	24
merőleges nyomó szilárdság (N/mm ²)	2,7
párhuzamos szakító szilárdság (N/mm ²)	19
merőleges szakító szilárdság (N/mm ²)	0,4
csúszó szilárdság (N/mm ²)	4
párhuzamos rugalmassági tényező - átmérőjének (N/mm ²)	12
merőleges rugalmassági tényező - átmérőjének (N/mm ²)	0,4

Rögzítőelem: Facsavarok Szén acél SAE 1022 alapanyagból, süllyesztett fejkialakítással (2. táblázat), PZ, TX horonnyal, tövigmenettel, fehér galvanikus horganyzott felülettel, fa szerkezetek elemeinek a rögzítésére.

(2. táblázat: 6,0 mm-es süllyesztett fejű rögzítőelem teljesítmény értékei)

Fejátmérő	Hossz	Pillanatnyi nyúlás teljesítmény M y,k[Nmm]	Kihúzási paraméter f _{ax,k} [N/mm ²]		Jellemző fejáthúzási paraméterek f _{fej,k} [N/mm ²]	Húzó kapacitás tens, k [^] [kN]	Torziós arány
6.0 mm	24- 300 mm	Menetes részén:10 437	Faroston keresztül	Farost mentén	23,53	14,85	4,15
		Sima részén: 15 981	17,44	13,95			

Vasalat: Erősített sarokösszekötő merevítő bordával, anyaga Tűzihorganyzott DX51D+Z finomlemez, ipari és építőipari felhasználási területre. A tesztelés 3 különböző méretű elemre terjedt ki, fő méreteik szerint: 55 / 65 / 90 mm-es sarokvasak kerültek vizsgálat alá. A sarokvasak csavarkiosztása és az ezekhez felhasználható rögzítőelemek átmérője a fő méretek szerint változik (46. ábra).



(46. ábra Háromdimenziós szegezőlemezek csavarkiosztása:

(a) "C"=55mm

(b) "C"=65mm

(c) "C"=90mm)

4.3 Rendelkezésre álló mintacsoportok vizsgálata

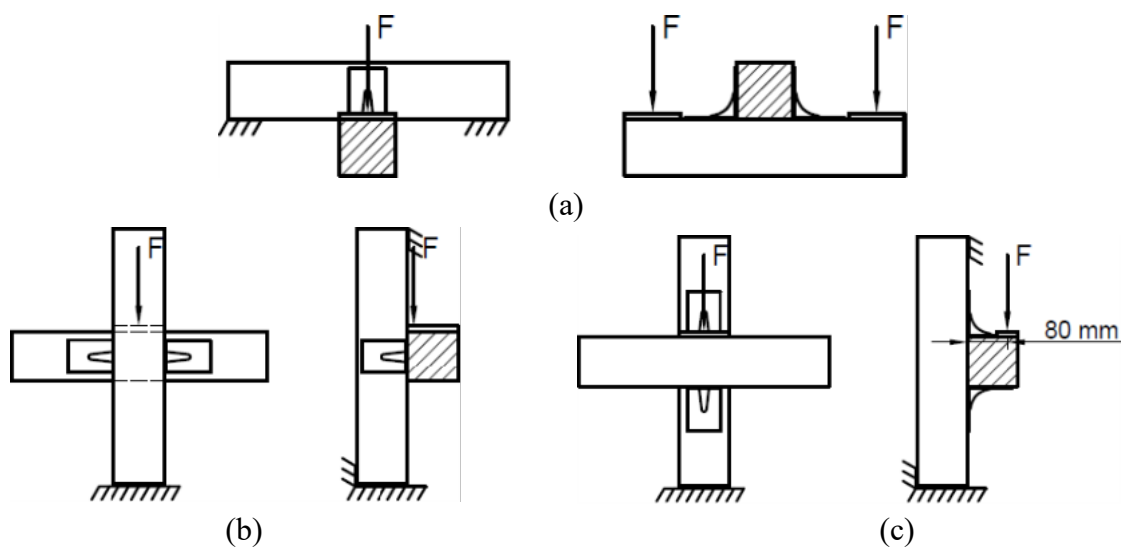
Vizsgálati típusok, konfigurációk, vizsgálat menete:

A vizsgálatok során a kapcsolatok tönkremenetele háromféle összeállítási konfigurációban történt: húzó igénybevételre (47.a ábra), nyomó vizsgálat (nyíró igénybevétel a sarokvas számára) (47.b ábra), nyomó vizsgálat (kibillenés a sarokvas számára) (47.c ábra). A tesztelés során főbb méreteként 5 db háromdimenziós szegezőlemez került terhelés alá minden vizsgálati típus esetében, ami összességében 45 db vizsgálatot jelentett.

Húzóvizsgálati konfigurációban a két gerenda hosszanti irányban, egymásra merőleges oldalfelületekkel került összeépítésre. Az elemek befogatása a 48.b ábrán látható módon kengyelekkel történt, melyek élén a találkozási pontban vastag acéllemez található a kengyel benyomódás elkerülése érdekében. A befogó kengyelek felül csuklós tartóval kerültek rögzítésre, alul vastag acéllemezhez kapcsolódnak és rögzítő pofák segítségével stabilan tartják az alsó gerendát (48.a ábra). A húzóigénybevételt a felső elem gép általi emelése fejt ki a két faelem között a mindkét oldalt hézag nélkül elhelyezett sarokvas kapcsolatokra.

Nyomó vizsgálat, nyírási síkban: A nyírási vizsgálatnak is tekinthető konfiguráció esetében egy rostirányban függőleges és egy vízszintes elem kapcsolódik egymás oldalfelületéhez. A vasalatok vízszintesen kerültek rögzítésre mindkét oldalon (47.b ábra). A függőleges gerenda rögzítésére egy vizsgálóberendezéshez csavarozott keret szolgál, a gerenda felső része menetes száruk és acéllemezek segítségével van a kerethez szorítva (48.c ábra). A nyomás a vízszintes elemet vastag acéllemezen keresztül terheli. A kialakításból fakadóan a két elem találkozási pontjában lép fel jelentős függőleges erőhatás (F), így a vasalatokra nyíró igénybevétel fog leginkább hatni.

Nyomó vizsgálat, kibillenéssel: A vizsgálatához kialakított kapcsolat a nyírási vizsgálatához hasonló gerenda elrendezéssel kerül kialakításra, viszont az előzőtől eltérően itt a háromdimenziós szegezőlemezek függőlegesen, a vízszintes gerenda oldalát alulról és felülről kapcsolják a függőleges faelemhez. A függőleges gerendát szintén a vizsgálóberendezéshez rögzített fémkeret tartja stabilan, aljánál és felső részén vastag lemezekkel befogatva (48.c ábra). A terhelés a vízszintes gerenda közepén, a vasalat merevítőgerincének vonalába esik, a csomóponttól (azaz függőleges elemtől) 80 mm távolságra (47.c ábra). Az eltoló erőhatás miatt, a nyomó igénybevétel kibillenéshez hasonlóan jelentős nyomatékkal fog hatni a kapcsolat elemeire, így a továbbiakban kibillenési vizsgálatként fogok rá utalni.



(47. ábra Vizsgálati konfigurációk: húzóvizsgálat (a), nyírési vizsgálat (b) és kibillentési vizsgálat (c) esetén.)



(a)

(b)



(c)

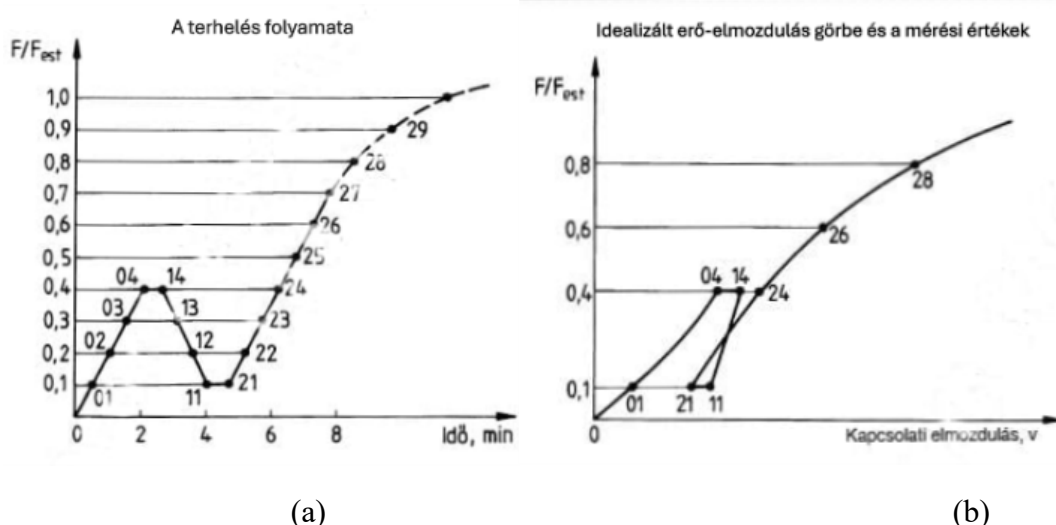
(48. ábra Rögzítési konfigurációk: (a) húzóvizsgálati szerelések
 (b) húzási vizsgálat összeállítva
 (c) függőleges elem rögzítése nyírési és kibillenési vizsgálat esetében)

5. Eredmények és értékelés

5.1 Vizsgálatok eredménye és értékei

A vizsgálati eredmények típusonként a három különböző méretű szegezőlemez tönkremeneteli folyamatát foglalják magukba, ezekből meghatározható a konfigurációkhoz kapcsolódó jellemző tönkremenetel és a vasalatok méretkülönbségéből adódó eltérés.

A terhelés felvitele előzetes vizsgálat után legnagyobb becsült teher (F_{est}) alapján történik a 49.a ábra szerint, elsőként egy előterhelési majd egy tönkremenetelig tartó szakaszból áll. Az erő-elmozdulás görbén jól látszik a kiegyenlítési szakasz, ahol a kapcsolat időlegesen visszarugózik, majd a tönkremenetelig deformálódik (49.b ábra).



(a) (b)
(49. ábra Az MSZ EN 26891 (1995) szerint meghatározott ábrák:
(a) Terhelés folyamata, (b) erő-elmozdulásmérés ábra [19])

Húzási vizsgálat:

A vizsgálatból általánosan elmondható, hogy az emelő erő hatására a rögzítőelemek jelentős kihúzódnak vannak kitéve és ebből fakad a jellemző tönkremenetel. Főként a belső csavarok játszanak szerepet a húzóerővel szembeni ellenállásban a sarokvas kialakításából fakadóan. A vízszintes elemhez rögzített kívülbire eső rögzítőkre nem hat a kihúzás, mivel a merevítő gerinc pereménél csukló alakul ki az anyag megfolyásának következtében (50.a ábra). A sarokvas az emelő erőt a függőleges lapjához közeli csavarokon keresztül húzófeszültségként veszi fel, a vízszintes lap szélénél pedig nyomó hatás lép fel, így a lemez pereme enyhén a fába nyomódik (50.a ábra)

55 mm:

A vizsgálat eredményeiből jól látható, hogy a tönkremenetel az EAD 130186-00-0603 A-mellékletének 3.3-as fejezetében bemutatott várható tönkremenetel szerint ment véghez. A lemez a merevítő gerinc végénél csuklóhoz hasonló módon deformálódott, belső csavarok kihúzódtak és a kapcsolat elérte a 15mm-es deformációt. (50.a ábra)

A vizsgálati értékek relatív szórása ennél a típusnál a legjelentősebb - 12%-kal, tehát vizsgált kötőelem csoportok viszonylag megbízható értékeket szemléltetnek (3. táblázat)

65 mm:

A terhelés során a 65 mm-es szegezőlemez deformációja, kialakítása miatt eltér a másik két vizsgált elemtől. Az aszimmetrikus csavarkiosztás eredményeként a vasalat belső részén, a merevítő borda mellett csak egy darab rögzítőelem került elhelyezésre, ez veszi fel a húzóterhelés nagy részét. A függőleges csavarkihúzóerő erőteljesebb, a vasalat a féloldalas terhelés hatására csavarodva is deformálódik (50.b ábra). Az előnytelen kialakítás és rögzítés a vizsgálati értékeken is megmutatkozik, a vasalat ellenállása majdhogynem feleződik átl.16kN-ról átl.8kN-ra (3.táblázat).

90 mm:

A nagyobb fő méretekkel rendelkező erősebb sarokösszekötő esetében a csavarkihúzóerő egyenletesebb, a húzófeszültség felvételében a saroktól távolabb eső rögzítőelemek is részt vesznek. A csuklás deformáció kevésbé látványos. (50.c ábra) A vizsgált csoport eredményei 10% alatti relatív szórást mutatnak és az elmozdulás átlagosan itt a legkevesebb 11,8 mm-el. (3. táblázat)



(a)



(a)



(c)

(50. ábra Húzási vizsgálat jellemző tönkremenetelei:

(a) 55 mm-es, (b) 65 mm-es, (c) és 90 mm-es -sarokösszekötő vasalat

3. táblázat Húzási vizsgálat értékei

Próbatest címke	Terhelés (N)	Keresztfej elmozdulás (mm)
55 mm		
Max.	18837,02	16,18
Átlagos érték:	16197,50	12,96
Szórás:	1974,70	2,82
65 mm		
Max	8907,11	14,47
Átlagos érték:	8233,31	13,33
Szórás:	598,47	1,56
90 mm		
Max	14085,48	12,60
Átlagos érték:	13364,70	11,80
Szórás:	1105,14	0,68

Nyíró vizsgálat:

A vizsgálat során fellépő terhelés hatására a kialakításból fakadóan a tönkremenetel főként a vízszintesen elhelyezett rögzítőelemekre ható nyírófeszültségből fakad, aminek hatására azok jelentősen deformálódnak, nyíródnak. A vizsgálat során szegezőlemezek sarkához közel ható nyíróerő hatására merevítőbordájuk jellemzően csavarodik, lemezük meghajlik. A nyomás során az erő elosztására szolgáló acéllemez a fába belemélyed (51.a ábra).

55 mm:

Az 55 mm-es vasalat tönkremenetelénél jól szemrevételezhető a vasalat csavarodása a rögzítőelemek deformációja mellett. A gerenda az erő hatására, és a kötőelem deformációjával fokozatosan billen kifelé, amíg a vizsgálat el nem éri a 15 mm-es elmozdulást.

65 mm:

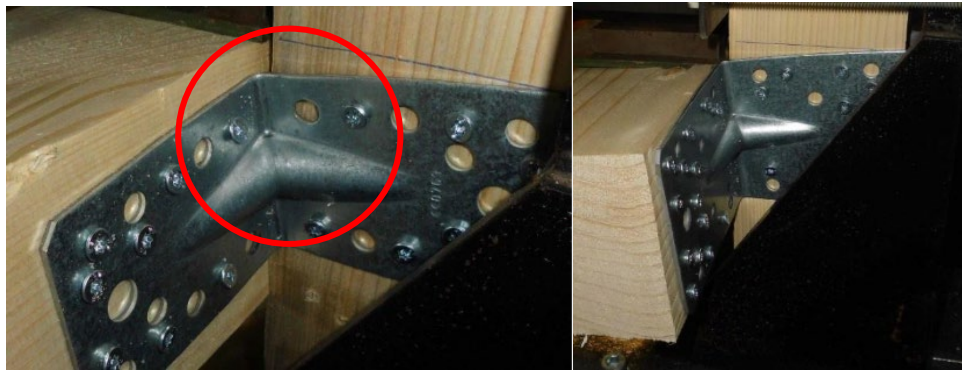
Az aszimmetrikus csavarkiosztásból fakadóan az előzőekben felsorolt jellemző deformációkhoz képest erősen megnő a csavarodás mértéke. A vasalatok függőleges lapján elhelyezett rögzítőelemek valamelyik oldalon mindenképpen előnytelenül helyezkednek el, azaz az egyik belső nyírásnak ellenálló csavar hiányzik felülről (51.b ábra). A hátrányosan rögzített elemnél a nyírófeszültségen kívül excentrikus erő is hat a kapcsolatra, amely kifordulást okoz az adott elem függőleges lapjánál az ábrán karikával jelzett területen. Az egyik oldali kifordulás magával húzhatja a gerendát, ezáltal a másik oldali elem is jobban csavarodik, a kapcsolat enyhén elcsúszik oldalirányba. A jelenség látszólag nem befolyásolja a vasalat ellenállási értékeit.

90 mm:

A nagyméretű szegezőlemez esetében a deformáció nem jelentős, a tönkremenetel főként a csavarok nyíródásából és hajlásából, valamint a faanyag tönkremeneteléből fakad (51.c ábra).



(a)



(b)

(c)

(51. ábra Nyírási vizsgálat jellemző tönkremenetelei:

(a) 55 mm-es, (b) 65 mm-es, (c) és 90 mm-es sarokösszekötő vasalat)

Kibillenési vizsgálat:

A kibillenési vizsgálat során a felső és alsó vasalatra teljesen eltérő erőhatások fognak hatni. Az eltolt erővonal következtében a kapcsolatra jelentős nyomaték hat, ebből kifolyólag a felül elhelyezett vasalat rögzítőelemei a tönkremenetel során kihúzódnak a gerendából és elhajlanak. A szegezőlemez szétnyílik, egyes esetekben a merevítő gerinc elrepedhet. Az alsó vasalatra főként nyomó igénybevétel fog hatni, a terhelés jelentős részét ez az elem veszi fel. A tönkremenetel okai tehát a felső rögzítőelemek kihúzódnak, és az alsó szegezőlemez megfolyása a nyomás hatására. A vizsgálati eredményekből megállapítható, hogy a vasalatok fő méretének növelésével a kapcsolat ellenállási értékeinek átlaga is megnő. A legnagyobb átlagos terhelést a legnagyobb méretekkel rendelkező kötőelem viselte el. (4. táblázat)

55 mm:

A vizsgálat következtében jól megfigyelhető a felső elem függőlegesen rögzített csavarjainak kihúzódása, és a lemez hajlása a gerinc keresztmetszetének vékonyodásával (52.a ábra). Az alsó elem esetében látható, hogy a nyomóterhelés jelentős része a függőleges rögzítéshez közel, a merevítőgerinc környékén lépett fel, a fellépő nyírófeszültséget a csavarok vették fel. A nagy nyomaték hatására az elem összezsugorlik a merevítőborda megfolyásával (52.b ábra). A továbbiakban vizsgált csoport átlagos teherbírásához hasonlítva szemléltetem a fő méretek és terhelés viszonyában történő növekedést.

17960 N - 100%

65 mm:

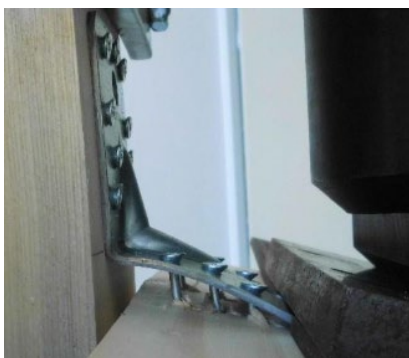
Az asszimetrikus csavarkiosztásból fakadóan a 65 mm-es elemek deformációja eltér a többitől. A felső elemek esetében a terhelés hatására a rögzítőelemek fokozatosan cipzár szerűen húzódnak ki mind a két gerendából, az így fellépő excentrikus terhelés csavarodást is okoz az elemekben (52.c ábra). Az alsó elem esetében nincs jelentős eltérés az előzőekhez képest. Az egyenlőtlen csavarkihúzódás az erő-elmozdulás görbén is láthatóan eltér a többi vasalat típustól (53. ábra). Az ábrán megfigyelhető, hogy az egyenletes nyomóterhelés mellett 16-18 kN erő környékén a kapcsolat nagyobb mértékben mozdul el (53.b ábra), a görbe a másik két típus esetében fokozatos alakváltozást mutat tönkremenetelig (53.a ábra) (53.c ábra).

20545 N - 114%

90 mm:

A 90 mm-es sarokösszekötő vasalat esetében kisebb mértékű deformációk figyelhetők meg. A felső elemnél a terhelés hatására a korábbiaktól eltérően főként a függőleges gerendából történik csavarkihúzódás, ez a jelenség főként a terhelés felviteléből adódhat a nyomófej stabilizálhatja a vasalat vízszintes felületét. Ezeknél az elemeknél gyakrabban jelentkezik a merevítőgerinc szétrepedése. (52.d ábra) Az alsó szegezőlemez esetében a nyomás hatására csak enyhe deformáció figyelhető meg (52.e ábra). A vizsgált csoport rendelkezik a legnagyobb teherbírással, ugyanakkor a kiugró értékek miatt a legnagyobb variációval is (>20%) a medián érték (21301 N) erősen közelít a vizsgált próbatestek átlagos teherbírásához (22424 N). (4. táblázat)

22424 N - 125%



(a)



(b)



(c)



(d)



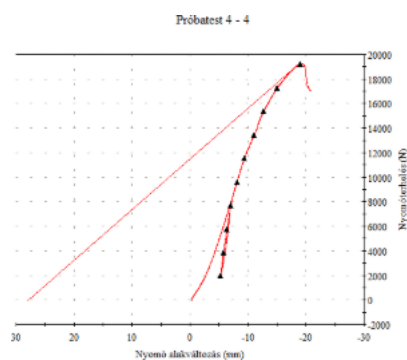
(e)

(52. ábra Kibillenési vizsgálat jellemző tönkremenetelei:

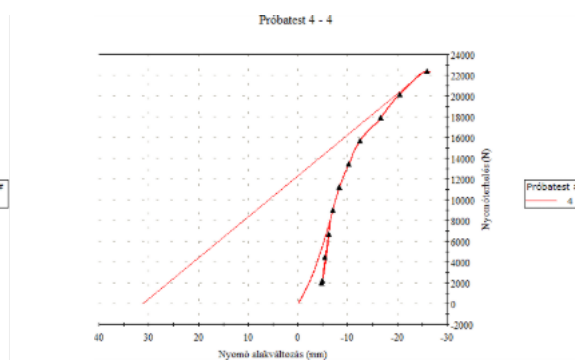
(a) 55 mm-es felső; (b) alsó; (c) 65 mm-es felső; (d) és 90 mm-es felső; (e) alsó)

4. táblázat Kibillenési nyomásvizsgálat értékei

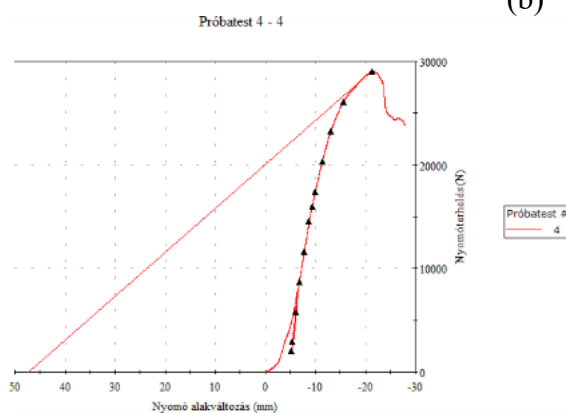
Próbatest címke	Terhelés (N)
55 mm e80	
Max.	21986
Átlag:	17960,80
Szórás:	3353,00
65 mm e80	
Max.	22421
Átlag:	20545,80
Szórás:	1743,57
90 mm e80	
Max.	29025
Átlag:	22424,00
Szórás:	4595,64



(a)



(b)



(c)

(53. ábra Tipikus erő-elmozdulás görbék kibillenési vizsgálat esetében:
(a) 55 mm-es, (b) 65 mm-es, (c) és 90 mm-es sarokösszekötő)

5.2 Összehasonlítás

Az összehasonlítás alapjául a Gust. Alberts GmbH & Co KG gyártó - 8633 10FH 1Z2.0 megnevezésű vasalat szolgál, mely anyagában és fő méreteiben (9.ábra) hasonlít a dolgozatban vizsgált 90 mm-es méretű vasalathoz. [20]

A GAH vasalat terhelési folyamata esetében, csak a húzási vizsgálat esetében biztosítható egyértelműen, hogy a vizsgálat a dolgozatban szereplő módhoz hasonlóan ment végbe (10.ábra).

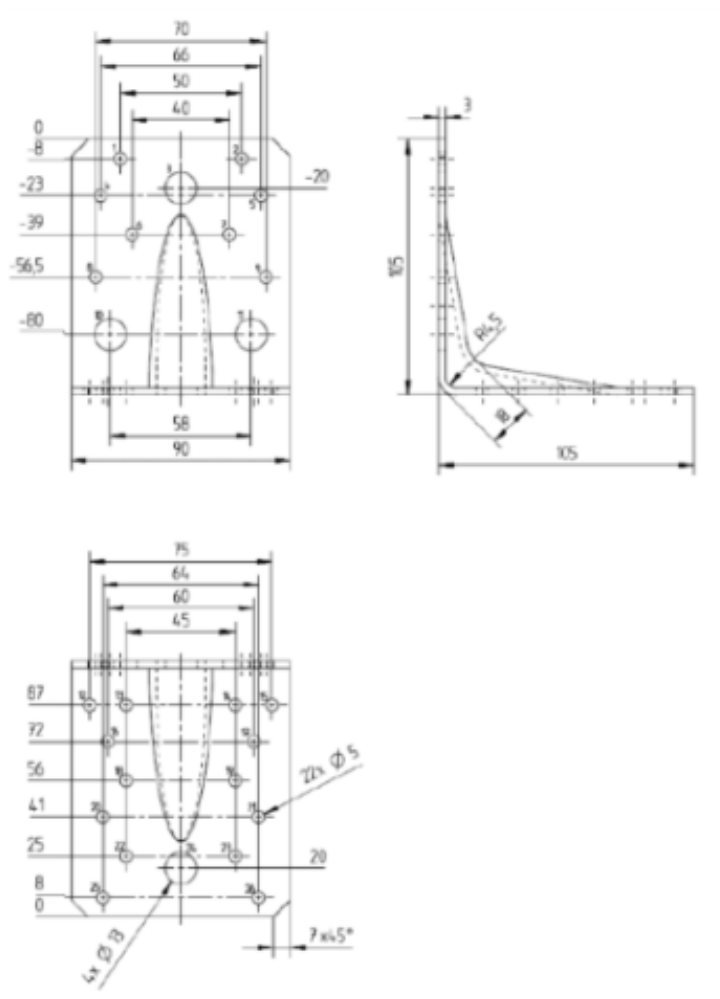
A két vasalat átlagos és karakterisztikus húzási teherbírásáról elmondható, hogy viszonylag közeli értékkel rendelkeznek. 90 mm átlag= 13,36 kN ; GAH 8633 = 13 kN (3.táblázat; 5.táblázat)

A 90 mm-es fő méretekkel rendelkező sarokösszekötő vasalat teherbírását más gyártó 3D szegezőlemezével összehasonlítva látható, hogy hasonló eredmény születik.

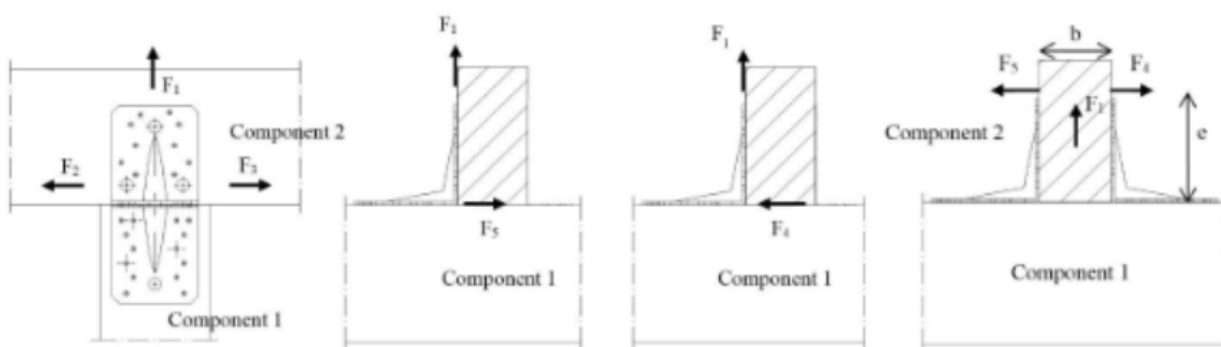
A teherbírási értékekből következtetni lehet arra, hogy hasonló anyagból és hasonló méretekkel rendelkező vasalatok vizsgálatainál csak minimális eltérések lehetnek tapasztalhatóak. A GAH sarokösszekötő vasalatok ár és teherbírás szempontjából a középkategóriát képviselik, számos forgalmazó árusítja a termékeket, ezzel elmondható, hogy a vizsgált vasalatok teherbírás szempontjából a piacon általánosan elterjedt sarokvasakhoz hasonló értékekkel rendelkezhet.

(5. táblázat GAH sarokösszekötő vasalatok teherbírás értékei [20])

GAH Angle Brackets - 8633 10FH 1Z2.0 - DX 51 D / Z 275	
Terhelés típusa (melyik vizsgálatához hasonlít)	Karakterisztikus teherbírás Frk (kN)
F1 Emelés (húzási)	13,0 kN
F2, F3 Oldalirányú (nyírási)	Faanyag tönkremenetele: 9,42 kN
F4, F5 Tengelyirányú (kibillenés)	10,4 kN



(54. ábra GAH sarokösszekötő vasalat főbb méretei és csavarkiosztása [20])



(55. ábra GAH sarokösszekötő vasalatok terhelési irányai [20])

5.3 Észrevételek javaslatok

A kapcsolati kialakításból fakadó problémák a következők lehetnek:

-Csavarkiosztás: A vasalatok rögzítése és az azokhoz használt csavar minősége, fajtája jelentősen befolyásolhatja azok teherbírását, erre példát szolgáltat a húzási és nyírási vizsgálatnál megfigyelhető gyenge teljesítmény a 65 mm-es elem esetében (3.táblázat). Ennek a jelenségnek a fő oka a vasalat csavarodása, az előnytelen csavarkiosztás következménye (5.b ábra; 6.b ábra).

Javaslat: A vasalat csavarkiosztását célszerű laponként szimmetrikusan kialakítani a cipzárszerű kihúzódás és a fellépő torziós erőhatás elkerülése érdekében.

-Rögzítőelemek: A tönkremenetek során megfigyelhető, hogy a rögzítőelemek milyensége befolyásolja a kapcsolat - és ezáltal a vasalat tönkremenetelét is.

Javaslat: A rögzítőelemeket szívós anyagból kell kialakítani, olyan módon, hogy azok a lehető legjobban ellenálljanak a nyíródásnak, hajlásnak, és kihúzódásnak.

-Anyagvastagság: A vizsgálatok várható eredményei, és a teszt során megfigyelhető tönkremenetek alapján kimondható, hogy a sarokösszekötő vasalatok teherbírása az anyagának vastagságának növekedésével javul, illetve változhatnak a tönkremeneteli módok, vastagabb anyagú sarokvasak esetében a húzási és kibillenési vizsgálat esetében a csavarok terhelés-eloszlása egyenletesebb lehet.

Javaslat: A nagyobb anyagvastagság pozitívan befolyásolja a teherbírási értékeket, de növeli a gyártás költségeit, kisebb fő méretekkel rendelkező vasalatok esetében érdemes lehet az anyagvastagsággal kompenzálni.

-Merevítés kialakítása: A gerinc kialakítása és annak méretei meghatározóak a vasalat teherbírása esetében, a húzási és kibillenési vizsgálatok esetében a plasztikus csukló kialakulásának esélye csökkenthető lehet a merevítés méreteinek növelésével, kialakításának változtatásával.

6. Összefoglalás

A dolgozat során bemutatásra kerültek az Európában megtalálható gyakori faépítészeti kapcsolati kialakítások mind tradicionális fakötések, mind modern kötőelemek képében. Valós építészeti példákon keresztül látható a kontraszt a közel ezeréves tradicionális kizárólag fából készült épületek és a közelmúltban épült modern technológiát alkalmazó robusztus faszerkezetek között Európa és Ázsia eltérő építészeti filozófiáját is szemléltetve. A sürgető klímaválság az építészet területén is változásokat von maga után, így a háttérbe szorult fa, mint építőanyag is új szerepet kap a fenntarthatóság jegyében. Ugyanez a probléma kívánja meg a körülményesebben tervezhető tradicionális fakötések helyzetének vizsgálatát a modern építészetben, a dolgozatban látható, hogy a tervezési szabványok hiánya tovább nehezíti a tradicionális fakötések esetleges alkalmazhatóságát, mint fő teherbíró kapcsolati kialakítás. Ezzel szemben a modern kötőelemeknél látszik, hogy hatékonyan alkalmazhatóak jelentős méretekkel rendelkező tömörfa szerkezetek csomópontjainak biztosítására, illetve a mindennapi faépítészetben is. Az összehasonlító számítások során egyértelművé válik a tradicionális kötések tervezési segédleteinek hiányából fakadó probléma, illetve a modern kötések előnye e-téren. A dolgozat további részében sarokösszekötő vasalatok terhelési vizsgálata található, amely adataiból megállapítható a vasalatok kialakításából fakadó jellemző tönkremenetel, a megfelelő csavarkiosztás fontossága, továbbá látható a fő méretek növeléséből fakadó növekvő teherbírás is. A teherbírás különbséget példaként szemléltet az 55 mm-es és 90 mm-es vizsgálati csoportok átlagos teherbírása közötti 124%-os emelkedés az utóbbi javára. A 90 mm-es vizsgált vasalat típust másik gyártó, hasonló méretekkel rendelkező termékével összehasonlítva, a két vasalat átlagos és karakterisztikus húzási teherbírásáról elmondható, hogy közeli értékkel rendelkeznek, így a vizsgált vasalat nagy eséllyel nem tér el jelentősen a piacon általánosan elterjedt, közepes teherbírású termékektől.

7. Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretném megköszönni témavezetőimnek Dr. Báder Mátyásnak és Dr. Hantos Zoltánnak, valamint külső konzulensemnek, Szabó Gergely okleveles építőmérnöknek a szakdolgozat elkészítése során nyújtott szakmai iránymutatásukért, értékes javaslataikért és megjegyzéseikért.

8. Irodalomjegyzék

- [1] Serena E. van Nimwegen, Pierre Latteur, A state-of-the-art review of carpentry connections: From traditional designs to emerging trends in wood-wood structural joints, *Journal of Building Engineering*, Volume 78, 2023, 107089, ISSN 2352-7102, <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2023.107089>.
- [2] Jorge M. Branco, Thierry Descamps. (2015) Analysis and strengthening of carpentry joints, *Construction and Building Materials*, Volume 97. pp 34-47, ISSN 0950-0618, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.05.089>.
- [3] Swedish Wood. (2022) Design of timber structures Volume 1, Structural Aspects of Timber Construction. 3. átdolgozott kiadás. ISBN 978-91-985212-5-2
- [4] EN 1995-1-1 (2004) (English): Eurocode 5: Design of timber structures - Part 1-1: General - Common rules and rules for buildings [Authority: The European Union Per Regulation 305/2011, Directive 98/34/EC, Directive 2004/18/EC]
- [5] Armuth Miklós, Bodnár Miklós (2018) Fa tartószerkezetek - Tervezés az Eurocode alapján. Budapest: Artifex Kiadó. ISBN: 978-9637727023
- [6] BLASS, H. J. *Toothed-plate connector joints*. STEP/EUROFORTECH – an initiative under the EU Comett Programme. STEP Lecture C10. Delft University of Technology.
- [7] Michal Rybníček, Petr Kočár, Bernhard Muigg, Jaroslav Peška, Radko Sedláček, Willy Tegel, Tomáš Kolář, World's oldest dendrochronologically dated archaeological wood construction, *Journal of Archaeological Science*, Volume 115, 2020, 105082, ISSN 0305-4403, <https://doi.org/10.1016/j.jas.2020.105082>.
- [8] Květina, Petr & Hrnčír, Václav. (2013). Between archaeology and anthropology: imagining Neolithic settlements. *Anthropologie*. 51. 323-347.
- [9] Harris, Nicholas Todd. Norwegian Wood: A Case Study of the Stave Churches. M.A. Thesis, MIT, 1982. pp. 40-100 <http://hdl.handle.net/1721.1/32563>
- [10] ArchitetturaViva (2025). Centro Direzionale Subway Station, Naples (in construction) <https://architetturaviva.com/works/centro-direzionale-subway-station-naples> (2025.11.26)

- [11] JapanReference – Ise Grand Shrine (Ise Jingu)
<https://jref.com/articles/ise-grand-shrine-ise-jingu.556/> (2025.11.24)
- [12] World Heritage Yakushiji Temple
<https://yakushiji.or.jp/en/> (2025.11.25)
- [13] Azby Brown. (2013): The Genius of Japanese Carpentry – Secrets of An Ancient Craft. Tuttle Publishing, North Clarendon. pp. 170-220.
- [14] TRADA Technology Ltd. (1996). Connectors and metal plate fasteners for structural timber (Wood Information Sheet 2/3-53). Timber Research and Development Association
- [15] Lizzie Crook (2025): World's largest wooden structure encircles Expo 2025 Osaka
<https://www.dezeen.com/2025/04/24/the-grand-ring-expo-2025-osaka/>
(2025.11.26)
- [16] EOTA (2020), European Assessment Document – EAD 130186-00-0603, Three-dimensional nailing plates
- [17] Bocquet, Jean-François & Lemaitre, Romain & Bader, Thomas. (2018). Design recommendations and example calculations for dowel-type connections with multiple shear planes.
- [18] Jorge M. Branco, Maxime Verbist, Thierry Descamps, Design of three Step Joint typologies: Review of European standardized approaches, Engineering Structures, Volume 174, 2018, Pages 573-585, ISSN 0141-0296,
<https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.06.073>.
- [19] Magyar Szabványügyi Testület. (1995). MSZ EN 26891: Faépítészeti kötések – Mechanikai kötőelemekkel készített kötések terhelésvizsgálata. Budapest: MSZT.
- [20] ETA-Danmark (2017). European Technical Assessment ETA-08/0165, GAH Angle Brackets