

FAHÍDÉPÍTÉS FINNORSZÁGBAN

Hajós Bence - Erdodi László***

RÖVID KIVONAT

Ha a fára, mint építőanyagra gondolunk, joggal tekintünk a messzi Finnország felé. Északi nyelvrokonaink nagy mesterei a fából való építkezésnek: évszázados feszítomuves hidak, házak, csarnokok, tornyok, valamint modern hídszerkezetek rétegelt ragasztott fatartókból. Az országban található faanyag igen jó minőségű mindenhez. Az elmúlt két évtized hídépítései alapján, a fa a legjobb anyag erdei utak, gyalogutak, és kerékpárutak hidjainak építéséhez. Emellett a fahidak esztétikai megjelenése is igen kedvező, és a tájhoz könnyen illeszkedik. Fahidak építését segíti a párhuzamosan folyó intenzív kutatómunka. Ebben a tanulmányban közelmúltban épült fahidak kerülnek bemutatásra. Néhány jellemző gerenda és ívhíd ismertetése után, Finnország egyik legnagyobb rétegelt ragasztott fahídját, a Vihantasalmi hidat ismertetjük részletebben.

1. BEVEZETÉS

Finnország területe három és félszerese hazánkénak, ám csupán feleannyian lakják. Az ország nagy része sík, csak a legészakibb részeken vannak nagyobb hegyek. Az ezer tó országában a legtöbb híd természetesen a tavak fölött található. A legnagyobb nyílású híd Vaasa tengerparti város mellett áll. A 250 méter szabad nyílású híd az egyik közeli szigetre vezet.

Fahidak építését segíti a párhuzamosan folyó intenzív kutatómunka. Gazdasági számításokat végeztek az 1986 és 1995 között épült finnországi hidak építési költségeinek összehasonlításával: számos esetben a fahíd bizonyult a leggazdaságosabb megoldásnak. A vizsgálatban 204 híd szerepelt, melyek közül 37 volt faszerkezetű. A hidak támaszközei 7 és 50 méter között változtak. A hidak négyzetméterre bontott költségeinek összehasonlítása alapján, 14 méter támaszközig a hagyományos vasbeton szerkezet, míg 14 és 28 méter között a faszerkezet bizonyult a legolcsóbbnak. 14 és 28 méter között a faszerkezetű híd négyzetméternyi egységára 900 és 700 EUR között változott. (Ez körülbelül 225 ezer illetve 175 ezer forint.) 28 méter felett a feszített vasbeton szerkezet adódott a legolcsóbbnak.

* okl. építómérnök, ÁKMI Kht. Hídosztály, területi hídmérnök

** okl. építómérnök, doktorandusz, BME Hidak és Szerkezetek Tanszéke

2. GERENDAHIDAK

Finnországban az állami közutakon 850 fahíd áll. A legtöbb ezek közül egyszerű, kis támaszközü gerendahíd. A következőkben rétegelt ragasztott gerendahidakra mutatunk be 3 jellemző példát.

2.1. Mukkulankatu gyalogos felüljáró



1. kép: Mukkulankatu gyalogos felüljáró

A Mukkulankatu gyalogos felüljáró Helsinkitől mintegy 100 km-re Lahti városában található. A háromnyílású folytatódó gerendahíd nyílásbeosztása 13,5 + 13,5 + 13,0 méter. A hidat 1997-ben adták át a forgalomnak. A kétoldali fa gerendatartó korlátként nyúlik a járdaszint fölé. A pályalemez szintén rétegelt faszervezetből készült. A 44 méter hosszú teljes hídszerkezethez 30m³ fát használtak fel. (1.kép)

2.2. Gyalogos felüljáró a hármás autópályán



2. kép: Gyalogos felüljáró a hármás autópálya felett

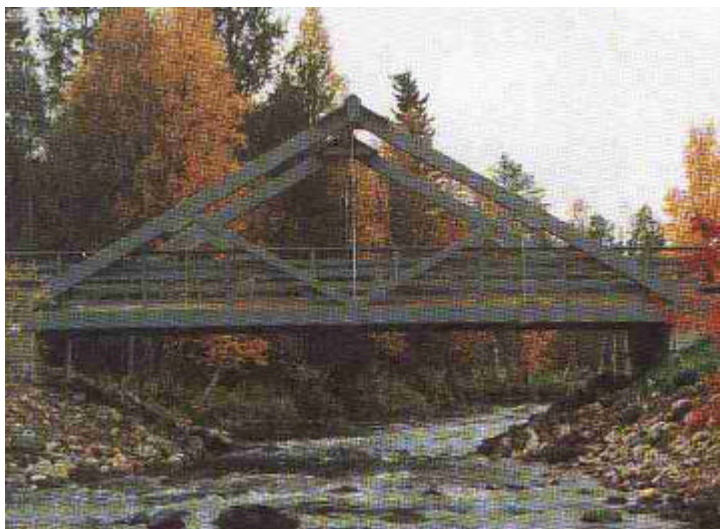
A hármás autópálya Helsinki és Tampere közötti szakaszának utolsó 36 km-es egységét 2000 októberében adták át a forgalomnak. Az új szakaszon egy fa gyalogos

felüljáró épült. Az új híd két nyílása 30-30 méter. A teljes szerkezet rétegelt ragasztott fatartós. Az útpálya szélessége 4,5 méter. A hídépítéshez 145 m^3 (4215 kg) faanyagot használtak fel. A hidat és környezetét éjszaka gyönyörű díszkivilágítás emeli ki. (2.kép)

2.3. Sinettajoki gyalogoshíd

A híd Rovaniemitol északra 30 km-re található. A hidat 1996-ban adták át. Az elozleg bemutatott két gyalogos felüljáróval ellentétben az a híd nem főtávon, hanem egy patak felett áll.

A híd szerkezeti kialakítása függesztomuves gerendahíd, melyeknek alakja a Vihantasalmi hídéval azonos. A húzott függesztorudak acélból készültek. A teljes hídhossz 15,2 méter, az egyetlen szabad nyílás 13,78 méter széles. A 4 méter széles pályaszerkezetet könnyű autóforgalomra méretezték. A felhasznált fa mennyisége 19 m^3 volt. (3.kép)



3. kép: Sinettajoki gyalogoshíd

3. ÍVHIDAK

A Finnország területén található nagyszámú fahíd közül csak néhány olyan van, amely íves kialakítású. Ezen hidak mindegyikét gyalogos és kerékpáros forgalomra tervezték, járószélességük 4 méter, anyaguk pedig rétegelt ragasztott fa. A hidak tervezésekor 4 kN/m^2 megoszló terhelést vettek figyelembe, valamint további 120 kN -os koncentrált terhelést, ami egy hídvizsgáló kocsis terhelésnek felel meg. A fahidak pályalemezének kialakításához egy lehetséges alternatíva a szálerősítéssel beton alkalmazása [9], amellyel nagyobb tartósságot, kisebb repedéstágasságot lehet biztosítani.

A fa kitűnő anyag ívhidak építésére, mivel a fa ívek könnyűek és könnyű őket szerelni. A hídpálya és az ívek helyzetének szempontjából az ívhidaknak két alapvető típusát különböztetjük meg: a hídpálya elhelyezhető az ívek között, vagy felettük is. Az előbbi esetben korlátozások vannak a forgalom úrszelvényének magasságra és szélességre is, így ez a típus nehezen alkalmazható járműforgalom esetében. Ugyanakkor gyalogos és kerékpáros forgalom esetében ez a típus is jól alkalmazható. A második esetben egyaránt megfelelő jármű és gyalogosforgalom esetében is.

Az ilyen szerkezeti kialakítás jó talajminőséget tesz szükségessé, mivel az ívek vízszintes reakcióerejét a talajnak kell felvennie.

A következőkben négy íves kialakítású hidat mutatunk be részletesebben.

3.1. Siilaistenpuro híd



4. kép: Siilaistenpuro híd

A Siilaistenpuro vonórudas ívhíd Finnország keleti részén Joensuuban található. A hidat 1985-ben építették. Fesztávolsága 22 méter, szerkezeti szélessége pedig 4.5 méter. Az acélból készült függeszto-rúd kivételével a tartó többi része rétegelt ragasztott falemezből készült. A fa felszerkezet betoncölöp alapokon nyugszik. A híd képe a 4.képen látható.

3.2. Ternujoki híd



5. kép: Ternujoki híd

A Ternujoki híd gyalogos és kerékpáros forgalomra készült a Ternu folyó felett Finnország északi részén Rovaniemi közelében. A híd 1996-ban készült, alapozása ugyancsak beton cölöpözés. A fa felszerkezet a hídpálya mindkét oldalán megtalálható vonórudas ívre támaszkodik.

Az ívek kissé döntött, nem teljesen függőleges, pozícióban lettek elhelyezve, így a távolságuk a tetoponton valamivel kisebb, mint a hídpálya magasságában. A híd támaszköze 40 méter, a gyalogjárda szélessége pedig 4 méter. Az ívek négyszög keresztmetszetűek és rétegelt ragasztott fából készültek. A rétegelt ragasztott szelvény mérete: 215*945 mm, egy réteg vastagsága 12mm. A hídpálya hosszirányban szegezett rétegekből készült, és dupla gerendákkal és acélszelvényekkel lett alátámasztva két méterenként. Az ívek vízszintes reakcióerejét az acélszelvények veszik fel. (5.kép)

3.3. Ollas felüljáró

A felüljáró 1997-ben épült, Helsinkitől 20 km-re nyugatra Espooban. A híd a gyalogos és kerékpáros forgalom átvezetésére szolgál egy nagy forgalmú út felett. Az ívek vízszintes reakcióerejét az alapozás veszi fel, mivel a lapos ívek alapozása alatt kemény szikla található.

A hídpálya mindkét oldalán lévo ív teherhordó, koronájuk a hídpálya szintje felé emelkedik. (6.kép) A statikai rendszer: kétcsuklós ív. A fa ív és a beton alapozás között vékony neoprén réteg található. A híd támaszköze 33m, a hídpálya szélessége pedig 4m. Az urszelvény magassága az útpálya szintje és a hídpálya keresztgerendái között 5.2m. Ez a magasság fél méterrel több a Finnországban szükségeshez képest. Ugyanakkor a híd 300 kN-os keresztirányú ütközőerőre lett tervezve, ami egy nehéz rácsos szerkezetet tett szükségessé a hídpálya alatt. A pályalemezt két párhuzamosan elhelyezett rétegelt ragasztott rész alkotja. A korlát anyaga rétegelt ragasztott fagerenda, valamint az erre felerősített acélháló.

A híd tervezésekor nagy figyelmet szenteltek a részletek kialakítására. Az ívek és a keresztgerendák két rétegelt ragasztott részből állnak. A függőleges helyzetű rudak és a támaszok az ívek és keresztgerendák két alkotórésze között lettek elhelyezve.

A csomópontok kapcsolatai fogazott lemezések. Az alkalmazott csavarok végei nem láthatóak az ívek felületén, mivel faanyagú ékekkel lettek eltakarva. A hídpálya lemez és a keresztirányú rácsos szerkezet kreozottal impregnált rétegelt ragasztott fából készült, barna színű. Az ívek és a korlát sóval impregnált fából készült, felületük sárga és kék festékkel festett.



6. kép: Ollas felüljáró

3.4. Puujoki híd

A Puujoki hidat 1999-ben építették. A híd egy folyót keresztez és egy régi vasbeton ívhíd és egy vasbeton gerenda híd mellett található.



A beton ívhíd a gépjárműforgalmat a gerendahíd pedig a vasúti forgalmat vezeti át a folyó felett. A Puujoki híd a kerekpáros és gyalogos forgalom átvezetésére szolgál. A hidak a 7.képen láthatóak. A felszerkezet kialakítása alapjaiban megegyezik az Ollas felüljáróéval. Az ívek és a korlát fából készült részei vörös színűek. A talaj anyaga homok és agyag, ezért cölöpalapozást kellett alkalmazni. (7.kép)

7. kép: Puujoki híd

4. A VIHANTASALMI FAHÍD

Gyors finnországi fahíd körkép után a legnagyobb nyílású, főútvonalon fekvő fahidat, a Vihantasalmi hidat ismertetjük részletesen.

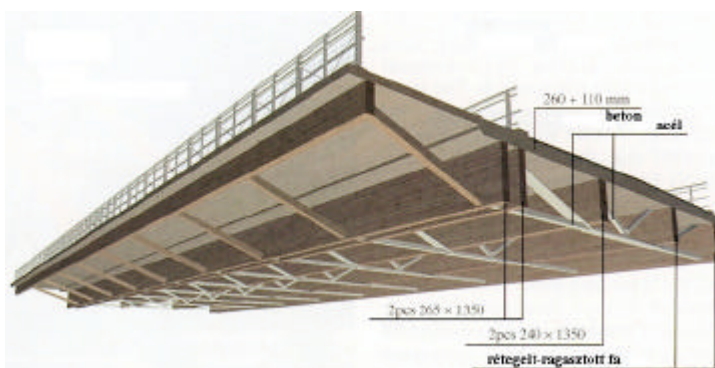


8.kép Az új Vihantasalmi fahíd és a régi Langertartós acélhíd látképe

A Lahnavesi és a Juolavesi tavak közötti szorost hidalja át a Vihantasalmi híd, mintegy 180 km-re észak Helsinkitől. Az új hidat egy régi szuk Langertartós acélhíd kiváltására terveztek meg.(8.kép) Az új híd tervezése során faszerkezetu híd építése mellett döntöttek. Az új hidat 1999 szeptemberében adták át a forgalomnak.

Az építőanyag kiválasztása során a híd tájképbe illesztése volt a fő szempont. A környék domináns eleme a fa, így a fahíd kedvezően illeszkedik a gyönyörű környezetbe. A híd építőanyagával összhangban, a hírhoz csatlakozó útszakaszon a lámpaoszlopokat is fából készítették. A tervezés során a statikai és esztétikai szempontok alapján keresték meg a legmegfelelőbb tartóformát. Az építést megelőző tervpályázat nyertes pályamunkájának felhasználásával készítették el a végso terveket.

A fő tartószerkezeti elemek modern technológiával gyártott, rétegelt-ragasztott fa elemek. (9.kép) A híd támasz-közei igen jelentősök. A három nagyobb közbenso nyílás 42 méter hosszú, így a világon ez a leghosszabb foközlekedési úton fekvő faszerkezetű híd.

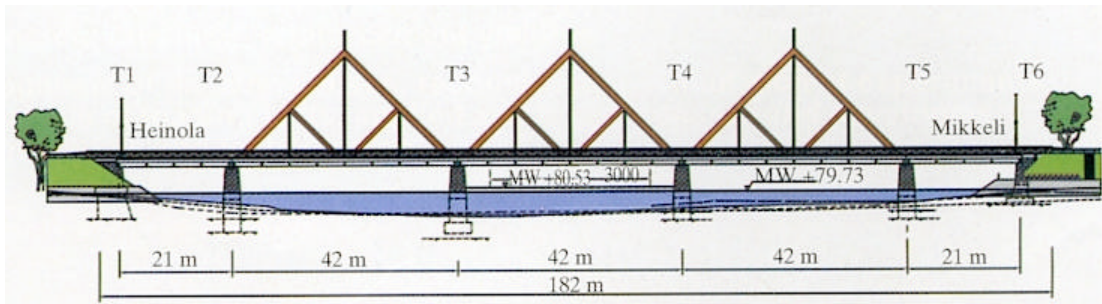


9. kép: A Vihantalsalmi híd tartószerkezete

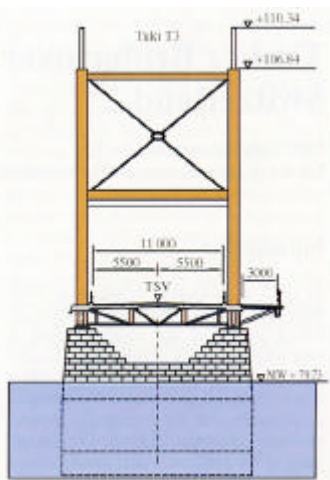
A Vihantalsalmi fahíd ötnyílású közúti híd. A három nagyobb, közbenso nyílás egyenként 42 méter támaszközu. A hídneyílások két oldalán egy-egy fa függesztomu hordozza az útpálya terheit. A tartó formája egy hagyományos finn karácsonyi szalmadíszre emlékezteto. A tartó formája hagyományos, de a nagy méret miatt kialakítása különleges feladatott jelentett. A két szélso kisebb nyílás (támaszközük 21 méter) hagyományos fabeton kompozit szerkezetu. A hídneyílások ezek szerint rendre $21 + 42 + 42 + 42 + 21 = 168$ méter. A híd teljes hossza 182 méter. (11.kép) Az útpálya szélessége 11 méter, melyhez 3 méter széles egyoldali gyalogjárda konzolosan csatlakozik az egyik fotartó külso oldalán. A híd alatt 4 méter magas hajózási urszelvényt biztosítottak. A tartó legmagasabb pontja 31 méterrel van a tó vízszintje felett. (10.kép)



10. kép: Vihantalsalmi fahíd



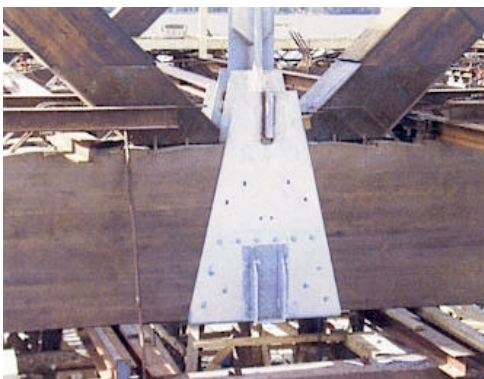
11. kép: A vihantasalmi híd nyílásbeosztása



A jelentős nyílás miatt nagy nyomás van a függesztomu ferde laminált farúdjában. A kihajlási tönkremenetel megakadályozására keresztkötések készültek szintén laminált fa szerkezetből és acél elemekből. (12.kép) Az útpálya feletti fa keresztgerenda és acél andráskereszt veszi fel az oldalirányú szélterhelést is. A fő rácsrudakat egy darabban gyártották. A rácsrudak acél csomóponti elemek segítségével illeszkednek össze. A nagy ferde rácsrudak befoglaló keresztmetszete 1000 mm * 1100 mm. A kisebb ferde rudak keresztmetszete pedig 630 mm * 670 mm. A rudak 45 fokos dolésszögek. A fotartó negyedeiben acél függesztörudak adják át a függőleges terheket a feszítómure.

12. kép: Hídmetszet

A feszítóműhöz közvetlen kapcsolódik két-két 1350 mm * 265 mm befoglalójú páros laminált faszerkezetű fotartó gerenda. (13.kép) A nyílások negyedei acélpapucsok segítségével vannak felfüggesztve. A fotartó gerenda, a feszítóművön kívül közvetlen szerkezeti kapcsolatban áll a beton szerkezetű pályalemezzel is.



13. kép: A feszítőrúd és a fotartó kapcsolata

A két fotartó gerenda két másodrendű hosszartó gerenda fut végig a pályalemez alatt. Ezek befoglaló mérete 240 mm * 1350 mm. Ez a hosszartó rendszer támasztja alá a vasbeton pályalemezt. Az egyoldali gyalog- és kerékpárutat fakonzolok hordozzák, és a pálya is fából készült. A két szélső rövidebb hídnyílás egyszerű fabeton kompozit szerkezetű. A beton és a fa nyírási együttműködését betonacél kapcsoló-elemekkel és fogazással oldották meg. Dinamikus igénybevételre a fa és a beton nyírási kapcsolatát laboratóriumi kísérletekkel vizsgálták. [1]

A szerkezeti faanyag jobb kihasználását a fa anizotrop tulajdonságaival kapcsolatos kutatások is [2], [8], [10] lehetővé tették.

A fő teherhordó szerkezeti elemeket másodrendű, nem lineáris elmélet szerint számolták. A szükséges teherbírást és merevséget, valamint a rácsostartó, és egyéb elemek stabilitását végelem módszer segítségével számították.

A korrózió ellen, a hídon beépített valamennyi faanyagot nyomás alatt telítették. Az útpálya feletti elemek külön védelmet kaptak a napsugárzás és a nedvesség ellen. Az acél elemek rozsdamentes acélból készültek. A pilléreket hagyományos módon gránit kövekkel burkolták. A fa és acél elemeket a lehetséges legnagyobb mértékben előregyártották, hogy a helyszíni munka csak a szükséges legkevesebb legyen. A legnagyobb egyben elkészített elem a 42 méter hosszú fotartó gerenda volt. Az első nagy nyílás szerelése sok időt vett igénybe, de a másik két nyílás szerelése a tapasztalatok felhasználásával már gyorsabban ment. Valamennyi faszerkezet elhelyezése után, a hossztartókra helyezett zsaluzattal készült a helyszínen betonozott pályalemez.



14. kép: A fotartó és a ferde helyzetű faelemek kapcsolata



15. kép: A vihantasalmi híd és környezete

A Vihantasalmi fahíd példa arra, hogy nagy közúti hidat is lehet fából építeni, számítógépes tervezéssel és korszerű technológiák felhasználásával. A három anyagból:

fából, betonból és acélból épült híd jelentos fejlesztés a hídépítés területén. A híd szép példája a szerkezet esztétikus kialakításának és tájba illesztésének. (15.kép)

5. ÖSSZEFOGLALÁS

Gazdaságossági számítások alapján azt mondhatjuk, hogy 14 és 28 méter közötti támaszköz estén faszerkezetu hidak alkalmazása a legelonyösebb. Mivel Finnországban nagy mennyiségben és igen jó minőségben áll rendelkezésre faanyag, az elmúlt években nagyszámban épültek fából készült hidak Finnországban. Ebben a tanulmányban három a közelmúltban épült gerendahíd, négy ívhíd, és Finnország egyik legnagyobb rétegelt ragasztott fahídját mutattuk be. A hidak tervezésénél és építésénél fontos szerepet játszott az esztétikus forma kialakítás és a modern technikák alkalmazása. A rétegelt ragasztott fa alapanyag korszerű gyártását és a szerkezetek és szerkezeti részletek kedvező kialakítását nagymértékben elősegítette az a kutatómunka, amely a Helsinki Muszaki Egyetemen folyik és folyt a hidak építésének idején. Az utolsónak bemutatott Vihantasalmi híd kiváló példa arra az előrelépésre, amely az utóbbi években volt tapasztalható a hídépítés területén. A korszerű technológiák felhasználásával és modern számítógépes tervezéssel készült híd három anyag együtteséből: fából, betonból és acélból áll. Emellett a híd szép példája az esztétikus tájba illo formakialakításnak is.

IRODALOM

- [1] Jutila A., Salokangas L.: Research on and Development of Wooden Bridges in Finland. *Structural Engineering International*, Vol. 10. No. 3, 2000 pp.182-185.
- [2] Jutila A., Makipuro R., Salokangas L.: Testing a Wood-Concrete Composite Bridge. *Structural Engineering International*, Vol. 7. No. 4, 1997 pp.275-277.
- [3] Rantakokko T., Salokangas L. : Design of the Vihantasalmi Bridge, Finland. *Structural Engineering International*, Vol. 10. No. 3. 2000 pp.150-152.
- [4] Rantakokko t.: Vihantasalmi Puusilta. *Puu*, 2/2000 p.6-11.
- [5] Aasheim E. : Timber Bridges – a Presentation of 22 Nordic Timber Bridges. Nordic Timber Council, Stockholm, 1999.
- [6] Vihantasalmen silta. <http://www.tieh.fi>
- [7] Rautakorpi H.: Wooden Arch Bridges in Finland. *Proceedings of the International IABSE Conference on Innovative Wooden Structures and Bridges, Lahti, Finland, 2001.* pp.193-196.
- [8] Bódi I., Erdodi L.: Comparison of the Strength Characteristics of Wood According to Combined Stress Theories and EC5. *Proceedings of the International IABSE Conference on Innovative Wooden Structures and Bridges, Lahti, Finland, 2001.* pp.125-130.
- [9] Bódi I., Erdodi L.: Load-Dependent Behaviour of Wood Fiber reinforced concrete. *Proceedings of the International IABSE Conference on Innovative Wooden Structures and Bridges, Lahti, Finland, 2001.* pp.543-548.
- [10] Szalai J. : *Anisotropic Elastic and Strength Theories of Wood and Wood-Based Composites.* Hillebrand Nyomda Ltd, Sopron