



***Rácsos vasúti híd erőjátékának elemzése
próbaterhelési eredmények alapján***

TDK dolgozat – 2021

Készítette:

Viczián Norbert X6ODH7

Építőmérnök Hallgató BSc 3. évfolyam

Konzulensek:

Dr. Dunai László

egyetemi tanár, BME Hidak és Szerkezetek Tanszék

Dr. Kövesdi Balázs Géza

egyetemi docens, BME Hidak és Szerkezetek Tanszék

Összefoglaló

A TDK dolgozatom célja az új típusú, modern rácsos vasúti hidak szerkezeti viselkedésének elemzése. A kutatás első része egy szakirodalmi áttekintést tartalmaz. Ezen tanulmány során egy átfogó képet kapunk a Déli összekötő vasúti Duna-híd történetéről, fontosságáról és arról, hogy a korábbiakban milyen szerkezetek teremtettek vasúti átjárást a Duna medre felett ezen a helyen. Továbbá a fejezet végén részletesen bemutatásra kerül az elkészült B1 jelű új felszerkezet.

A Déli összekötő vasúti Duna-híd újonnan átadott hídszerkezetének próbaterhelését a BME Hidak és Szerkezetek Tanszék végezte 2021-ben, konzulenseim irányításával. A TDK dolgozatomban a próbaterhelési eredményeket értékelem ki és ezeken keresztül elemzem az új vasúti híd szerkezeti viselkedését. A kutatómunkám célja, hogy a mérési eredmények alapos kiértékelése alapján olyan konklúziókat fogalmazzak meg a szerkezet viselkedésére és a korábban kivitelezett mérés eredményeinek kiértékelésére vonatkozóan, melynek alapján a második és harmadik hídszerkezeten végzett próbaterhelési méréseket fejleszteni, pontosítani lehet.

Abstract

The aim of the TDK research work is analysing the structural behaviour of modern truss girder steel bridges. The first part of the research contains a literature review. In the course of this study we get a comprehensive picture of the history, importance and the structures that have created rail crossings over the Danube basin in this place. Furthermore, at the end of the chapter, the new structure B1 will be presented in details.

The loading test of the new Southern Railway Danube Bridge was made by the BME Department of Structural Engineering in 2021. Within the TDK research work the results of the loading tests are further evaluated, and the observed structural behaviour of the bridge is analysed. On this basis the goal of the research work is to reach a conclusion on the structural behaviour and to give proposals to refine the measurement system for the load testing of the second and third bridges.

Tartalomjegyzék

1.	Bevezetés.....	5
2.	Budapesti Déli összekötő vasúti Duna-híd története.....	6
2.1.	Előzmények.....	6
2.2.	Az első híd (1873-1913).....	6
a)	Szerkezeti felépítése.....	6
b)	Kivitelezés.....	7
c)	Azonos rendszerben épült hidak.....	8
2.3.	A második híd (1913-1944).....	8
a)	Előzmények.....	8
b)	Szerkezeti felépítés.....	8
c)	Kivitelezés.....	9
2.4.	A harmadik híd (1945-46).....	10
a)	Előzmények.....	10
b)	Szerkezeti felépítése.....	10
2.5.	A negyedik híd (1946-1953).....	10
a)	Előzmények.....	10
b)	Szerkezeti felépítése.....	11
c)	Kivitelezés.....	11
2.6.	A jelenlegi híd (1953-).....	12
a)	Előzmények.....	12
b)	Szerkezeti felépítése.....	12
c)	Kivitelezés.....	13
2.7.	Az új Déli összekötő vasúti Duna-híd.....	14
3.	Déli összekötő vasúti Duna-híd próbaterhelése – B1 híd.....	16
3.1.	A statikus próbaterhelés.....	16
3.2.	Statikus teherállások.....	17
3.3.	Villamos nyúlásmérés.....	18
	Villamos nyúlásmérő bélyeg.....	18
4.	A statikus próbaterhelési nyúlásmérési eredmények elemzése.....	20
4.1.	Kereszttartó feszültségváltozási eredményei.....	20
a)	K1 Nyúlásmérési hely.....	20
b)	K2 Nyúlásmérési hely.....	22
c)	K3 Nyúlásmérési hely.....	24
d)	A kereszttartók igénybevételeinek összehasonlítása.....	26
4.2.	Főtartó feszültségváltozási eredményei.....	27
a)	F1 Nyúlásmérési hely.....	27

b) R1 Nyúlásmérési hely	29
c) R2-R3 Nyúlásmérési hely	31
d) Ö1 Nyúlásmérési hely	33
e) Ö2 Nyúlásmérési hely	35
f) Ö3 Nyúlásmérési hely.....	38
4. 3. Hossztartó.....	39
a) H1 Nyúlásmérési hely	39
b) H2 Nyúlásmérési hely	41
c) H3 Nyúlásmérési hely	43
4. 4. Az övrudak és a hossztartók összehasonlítása.....	44
5. Konklúzió, javaslatétel mérőhelyek módosítására	48
6. Irodalomjegyzék.....	52

1. Bevezetés

A hídszerkezetek forgalomba helyezési eljárásának fontos eleme a próbaterhelés, melynek során vizsgálják a hídszerkezet viselkedését mind statikus, mind dinamikus terhelésre. Meghatározzák a szerkezet lehajlásait, oldalingásait, nyúlásait/feszültségeit, valamint sajátfrekvenciáit, melyek alapján a szerkezet viselkedése jellemezhető és értékelhető.

A TDK munkában az új Déli összekötő vasúti Duna-híd három felszerkezete közül elsőként megépült B1 jelű híd statikus próbaterhelési eredményeit elemeztem és dolgoztam fel részletesen. Ahhoz, hogy a hídszerkezet különböző szerkezeti elemeiben ébredő feszültségeket értelmezni tudjak, illetve abból a szerkezeti elem, illetve a hídszerkezet viselkedésére következtetni tudjak, először egy átfogó ismeretet kellett szereznem a hidak, azon belül is részletesebben az alsópályás rácsos vasúti hidak szerkezeti viselkedésével, illetve jellemző kialakításával, az egyes szerkezeti elemek funkcióival kapcsolatban (erre azért volt szüksége, mert eddigi tanulmányaimban még nem tanultam hidakról). Ennek érdekében először egy részletes szakirodalmi áttekintést végeztem rácsos vasúti hidak témájában, majd ezzel a háttérrel a dolgozatomban bemutattam a Déli összekötő vasúti Duna-híd szerkezeti kialakítását és fejlődéstörténetét.

A próbaterhelési eredmények vizsgálatakor minden mérési helyen mért feszültségváltozási értéket kiértékeltem a jellemző teherállásokban. A kiértékelés során meghatároztam az adott mérési hely mértékadó teherállását, valamint a rendelkezésre álló feszültségek alapján kiértékeltem a vizsgált szerkezeti elem feszültégeloszlását, melyek alapján következtettem az adott szerkezeti elem lokális, illetve globális igénybevételeire.

A részletes kiértékelés során célom volt, hogy a statikus próbaterhelési eredmények mélyebbre ható kiértékelésével olyan javaslatokat tudjak tenni, amelyek a következő – jelenlegivel azonos – két új hídszerkezet próbaterhelése során felhasználhatók a mérési helyek pontosítására. Ezáltal a szükséges nyúlásmérő bélyegek száma, illetve a felhasznált nyúlásmérő bélyegek elhelyezése pontosítható abból a szempontból, hogy azok a lehető legtöbb hasznos információval szolgáljanak a következő próbaterhelés során.

2. Budapesti Déli összekötő vasúti Duna-híd története

2. 1. Előzmények

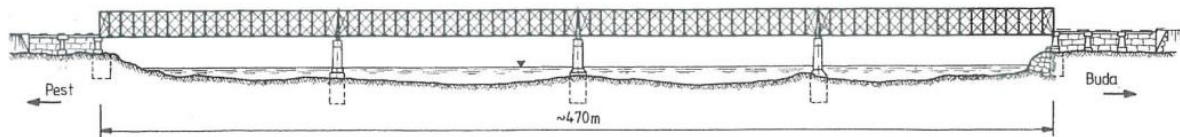
A Déli összekötő vasúti híd szükségessége egyre fokozódott a XIX. században, mert a Budapesten található vasútvonalakat egymástól teljes mértékben független vasúttársaságok építettek, ezért a XIX. század utolsó harmadáig fel sem merültek olyan szempontok, melyek ezen vonalak egymással való összekötését igényelték volna. Ebben az időben az állam szerepe növekedett a vasútvonalak létesítésében, így felmerült annak az igénye, hogy a Buda, illetve Pest oldalon lévő vasútvonalakat egymással össze kell kapcsolni és a Duna felett átívelő vasúti hidat kell létesíteni (Horváth és tsai, 2006).

A Vasútépítészeti Igazgatóság már 1868-ban és 1869-ben tanulmányozta, egy a Duna felett lévő vasúti híd kérdését, azonban konkrét intézkedésekre csak 1872-ben került sor. Addigra az összekötő vasútvonal építésének politikai feltételeit egyrészt az 1870. évi X. törvény adta meg, mely az Ausztriával való kiegyezést, illetve Buda, Pest és Óbuda egyesítését mondta ki, másfelől 1872-ben az Országgyűlés megalkotta az 1872. évi IX. törvényt, amely előírta a Déli és a Keleti pályaudvarokat összekötő vasút létesítését, illetve ennek kapcsán a harmadik Duna-híd építését (Horváth és tsai, 2006).

2. 2. Az első híd (1873-1913)

a) Szerkezeti felépítése

Az első hídszerkezet egy négynyílású híd volt, melyet eredetileg kéttámaszú szerkezetekkel terveztek, de ezt a kivitelező javaslatára két a 2. 2. 1. ábrán látható kétnyílású alsópályás szerkezetre módosították, így két többtámaszú rácsos gerendahídra osztva a szerkezetet. A négyszeres rácsos főtartókon az övek távolsága a teljes szerkezet mentén 9,8 m volt. A támaszközök távolsága a mederben egyenlően 98,5 m volt. A mederhídhoz a pesti oldalon két, illetve a budai oldalon egy parti nyílás csatlakozott, melyek egyenként 14 m-esek voltak. A híd két vasúti vágány átvezetésére lett tervezve, de kezdetben a csatlakozó vonalak csak egyvágányúak voltak. Főtartónként 44,5 kN/m vasúti, valamint 7,6 kN/m gyalogos terhet alkalmaztak a méretezés során. A 3093 tonnás vasszerkezetet a Cail és Társa cég műhelyében gyártották. Az anyag rugalmassági modulusa 150000 MPa, megengedett nyomófeszültsége 120 MPa, megengedett húzófeszültsége 70 MPa volt. A felépítmény elemeit részben vasúton, részben hajón szállították az építkezés helyszínére (Domanovszky és tsai, 2009).



2. 2. 1. ábra. Az 1877-ben átadott Összekötő Duna-híd korabeli metszeten
(Horváth és tsai, 2006, p 55)

b) Kivitelezés

Az 1872. évi pályázati kiírás keretein belül a francia Filleul-Brohy vállalat ajánlata került ki győztesen, akik az egyaránt francia Cail & Co. vállalattal közösen ajánlkoztak a híd kivitelezésére. A híd tervezője nem ismert, feltételezhetően Feketeházy János volt, akinek a nevéhez a szegedi, illetve a budapesti Ferenc József híd is köthető.

A hídfőket és a pilléreket keszonokra alapozták. A híd megvalósítása a pesti oldalon 1873. szeptember 29-én az első mederpillér keszonjának süllyesztésével kezdődött meg. Ezután következett a többi, 1874. tavaszára már a keszonok nagy részében folyt a munka. Ezen keszonokat pneumatikus úton süllyesztették, a legnagyobb süllyesztési mélység 10,1 m volt a Duna nulla vízszintje alatt. Eredetileg a keszonok munkakamrájának kitöltését falazattal tervezték, viszont a teherbíró réteg elérése után ezen kamrákat betonnal töltötték ki. A felmenő falak külső felületeit az árvízmagasságig gránitburkolattal képezték ki. Az e feletti szegmensét sósáki mészkővel burkolták. A pillérek magjait réteges falazattal alakították ki. Az egyik pillér esetében robbantó lyukakat is előírtak.

A helyszíni szerelést a háromtámaszú tartó sajátosságaihoz alkalmazkodva, egyszerre két nyílásban kezdték meg 1875. május 12-én. Először a középpillértől jobbra és balra egy-egy keretet felállítottak, majd azokat rögzítették. Később változtattak a kivitelezési eljárásról oly módon, hogy csak az alsó övet szerelték fix állványon és azt össze is szegecselték, ezután állították be az oszlopokat, rácsrudakat, majd a felső övet. A tartókat a saruk, illetve ékek süllyesztésével beszabályozták. A szerkezet 1875. szeptember végére készen lett.

A hidat 1877. október 23-án adták át a vasúti forgalomnak. Az addig önállóan működő vasúttársaságok egymás vonalain való közlekedés vasútbiztonsági, jogi szempontból nem volt szabályozva, így ez a forgalomba helyezés késleltetését eredményezte. Ez a mérnöki létesítmény tudatosította a mérnökökben, hogy az egész Európát átszelő vasúti hálózat csak úgy alakítható ki, hogy a hálózat egészére egységes műszaki, jogi, kereskedelmi előírások vonatkoznak (Horváth és tsai, 2006).

c) Azonos rendszerben épült hidak

Több támaszú rácsos felszerkezettel épült például a cernavoda-i Duna-híd is. Egyedi formavilággal rendelkező hídszerkezetek épülhetnek ebben a rendszerben, kivételesen a Gerber-hidaknál, mint amilyen pl. a Firth of Forth-híd, amely rombusz alakú rácsozással készült, vagy a quebeck-i híd, mely K-rácsozású. Az összes Gerber-híd közül kivételesen szépnek tartják a budapesti Szabadság-hidat, ami oszlopos rácsozású. Ezt a hidat úgy tartják, mint példa arra, hogy Gerber rendszerben is lehet kiváló esztétikai tulajdonságokkal rendelkező hidat építeni (Iványi, 1988).

2. 3. A második híd (1913-1944)

a) Előzmények

Az Összekötő vasúti híd szerkezetén a forgalom, illetve a tengelyterhelések növekedése miatt 1897-99-ben erősítést végeztek. Ekkor a hidat részletesen átvizsgálták, és azt tapasztalták, hogy a szerkezet erősen korrodálódott. Ez a körülmény nem csak a szerkezet nem megfelelő kezelésére, hanem a vasanyag hiányosságaira is utalt, ezért a felépítményből mintákat vettek, melyeket húzópróbának vetettek alá. E kísérletek legnagyobb része sikeres volt, azonban akadtak olyan mintapálcák, amelyek már a befogáskor eltörtek. Az eredmények így arra engedtek következtetni, hogy az anyag mechanikai tulajdonságai nem megbízhatóak. Ezenfelül a rozsdásodás következtében a keresztmetszett csökkenése a 20%-os értéket is elérte. Ezek miatt elhatározták, hogy a híd vasszerkezetét kicserélik.

Döntés született arról, hogy a híd alépítményét az északi irányba meghosszabbítják, és a meghosszabbított pillérekre új, kétvágányú hídszerkezetet létesítenek. A meglévő szerkezet alépítménye maradjon meg arra a lehetőségre, hogy a későbbiekben a vasúti vonalat egy újabb kétvágányú híd megvalósításával négyvágányúvá lehessen alakítani (Horváth és tsai, 2006).

b) Szerkezeti felépítés

Az új híd a 2. 3. 1. ábrán látható, nyílásonként önálló, alsópályás, csonka szegmens alakú, vonórudas rácsos ívszerkezetből állt. Ezek az ívek az alátámasztások irányába szélesedtek és a támaszközök közepén a legkeskenyebbek. Az ív alsó és felső övrúdjai közötti távolságot oszlopos rácsozással töltötték ki. A vonórudak a pillérektől számított alsó öv második csomópontjainál kapcsolódtak a főtartókhoz. Tengelyét a már meglévő híd tengelyvonalától 12 méterrel északra tűzték ki. A támaszközök a már meglévő híd alépítményeihez igazodva a medernyílásban egyenlően 98,5 m voltak, a pesti oldalon két, a

budai oldalon egy parti nyílás csatlakozott, melyek egyenként 14 m-esek voltak. A szerkezet terveit a Magyar Államvasutak készítette, tervezője Kölber Ernő volt, aki a kivitelezést is vezényelte (Horváth és tsai, 2006).



2. 3. 1. ábra. Az átépített kétvágányú Összekötő Duna-híd
(Horváth és tsai, 2006, p. 56)

c) Kivitelezés

Az új híd alépitményi munkálatai 1910 márciusában kezdődtek a pesti mederpillérnél és 1911. június 17-én fejeződtek be a budai hídfővel. Az új híd alátámasztásaira szánt pillérek a már meglévő híd pillérei mellé építették, majd az egymás melletti pilléreket boltozatos falazattal építették össze. A híd vasszerkezetét 1911. év elején kezdte el szerelni az Államvasutak Gépgyára. A főtartók és parti nyílás áthidalások a kereskedelmi miniszter 30.666/906. sz. a. kiadott szabályrendelet határeményainak megfelelően bázikus Martin-folytvasból készültek, melyet az állami vasművek gyártott. A felhasznált acél tömege a meder feletti nyílásokban összesen 4048, a parti áthidalásoknál 237 tonna volt (Kölber, 1917).

A medernyílások vasszerkezetét fix állványokról szerelték, szerelő daruk segítségével. A szerelést úgy bonyolították le, hogy az úgynevezett platón először a vonórudat, majd a kereszt- és hossztartókat helyezték el. Mikor ezeket összeszerelték, akkor a szerelődaru segítségével a főtartók két végső keretét is összeépítették, majd egészen az illesztésig állították fel az összes függő rudat. 1912-ben a pesti, majd 1913-ban pedig a budai hídnnyílásokban építették meg a szerkezetet (Horváth és tsai, 2006).

2. 4. A harmadik híd (1945-46)

a) Előzmények

Az Összekötő vasúti híd szerkezetét a második világháborúban a légitámadások következtében kétszer is megrongálták, viszont mind a kétszer sikerült a keletkezett károkat kijavítani és a hidat üzemben tartani. Végül 1944. december 31-én a visszavonuló német egységek a teljes szerkezetet felrobbantották. A robbantást tartónként, a mező közepén elhelyezett robbanótöltetekkel hajtották végre, ami következtében az egész felépítmény a Dunába roskadt. A hídfőkben a boltozatos falazatoknál elhelyezett robbanótöltetek komoly károkat okoztak (Horváth és tsai, 2006).

b) Szerkezeti felépítése

A roncsoktól északra a szovjet hadsereg egyvágányú szükséghidat létesített, amelyet 1945. március 23-án át adtak a forgalomnak. Ez a híd kb. 20 m nyílású, 2. 4. 1. ábrán látható cölöpjáromokkal alátámasztott szerkezet volt. Még ebben az évben a hajóval való közlekedés érdekében egy 70 m-es szerkezetet építettek be, melyet a tiszafüredi Tisza-híd szerkezetéből alakítottak ki (Domanovszky és tsai, 2009).



2. 4. 1. ábra. szovjet csapatok ideiglenes hidat építenek
(Horváth és tsai, 2006, p. 56)

2. 5. A negyedik híd (1946-1953)

a) Előzmények

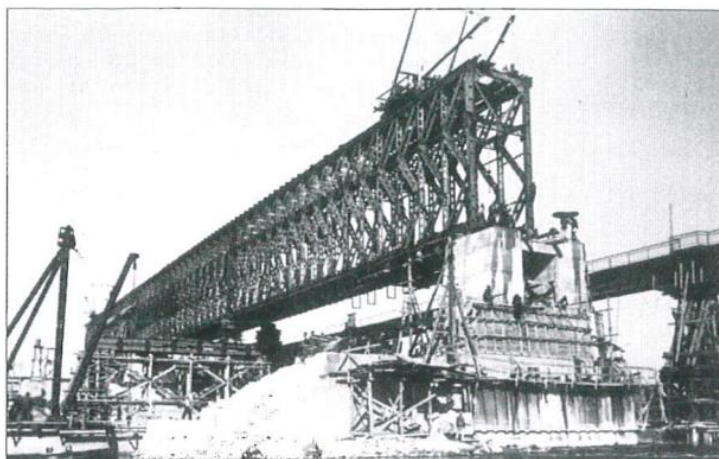
A szovjet hadsereg által épített szerkezetet mielőbb fel kellett váltani egy állandó híddal, amely biztosabb alapokon áll az ideiglenes hídnál. A leendő szerkezetnek nyilvánvalóan egy olyan hídnak kellett lennie, amely az eredeti 1877. évi pillérekre nyugszik, két vágányt hordoz, a meglévő vasúti pálya vonalvezetésében ellenívek nélkül beilleszkedik, valamint a hatályos terhelési előírásoknak maradéktalanul megfelel. Azonban ebben az időben egy ilyen szerkezethez szükséges mennyiségű vasanyag előteremtéséhez nem voltak meg a megfelelő erőforrások. Ezért egy félállandó egyvágányú híd építéséről döntöttek az alépítmények legészakibb részén, ahol a végleges híd megvalósítását nem akadályozza (Horváth és tsai, 2006).

b) Szerkezeti felépítése

Az átmeneti híd szerkezetének megválasztásakor Háromemeletes „K” rácsozású, csavarozott tartóra esett a választás, amelyet kéttámaszú szerkezetként helyeztek el a pillérekre. A „K” rendszerű hidakat az 1930-as évek elején a Magyar Haditechnikai intézetben Leimer László mérnök-alezredes tervei alapján fejlesztették ki. Ezen szerkezetek profilvasakból csavarozott kapcsolatokkal készültek, egy-, két- vagy három emeletes kivitelben, az áthidalni kívánt nyílásnak megfelelően, 22 tonna vasúti tengelyterhelésre, 50, 80, 105 m hosszúságban. Ez a hídszerkezet 3,0 m kerettávolságú, párhuzamos övű, rácsos szerkezet, amely nevét a K-alakú rácsozása révén kapta. A pályaszerkezet a szokványos vasúthidaktól annyiban tér el, hogy a hossztartók nem 1800 mm, hanem 1650 mm-re vannak elhelyezve egymástól (Horváth és tsai, 2006).

c) Kivitelezés

Ezen szerkezet megépítése sokkal inkább megvalósíthatónak tűnt, mivel az ország különböző vasúti raktáraiban a szükséges „K” anyag mennyiségének egyharmada már eleve rendelkezésre állt, így csak a fennmaradó kétharmad anyag mennyiséget kellett újonnan legyártani. Az alépítményi munkálatokat 1945. szeptemberében az Államvasutak kiadta a Zsigmondy, a Széchy és Fábián, a Somogyi és György, illetve az Erdélyi és Vajda vállalatokból alakult Dunahídépítő Vállalatok Munkaközösségének. A robbantás során a pillérek nagy károkat szenvedtek, így a munkálatok a szerkezet helyreállításával kezdődtek, majd a régi vonóvasas és az új „K” rácsozású híd szerkezeti különbségeit kiküszöbölendő, a pilléreket több mint négy méterrel fel kellett falazni. Ezután kerülhetett sor a „K” híd szerelésére, melynek folyamata a 2. 5. 1. ábrán látható.



*2. 5. 1. ábra. A „K” híd szerelése
(Horváth és tsai, 2006, p. 57)*

A híd megvalósítása 1946 júliusában kezdődött. A kivitelezés és gyártás jelentős részét a MÁVAG végezte. A szerelés a medernyílásokban állvány nélkül, csak egy-egy segédjárom, illetve „K” hídszerelő daruk segítségével zajlott. A szélső nyílások konzolos szerelését megelőzően a partokon 48 m-re kinyúló ellenszerkezetek épültek, a közbenső nyílások esetében a már megépült szerkezetet használták fel ellensúlyként. A teljes híd szerelése 76 napot vett igénybe. A négy medernyílásba összesen 2315 tonna „K” rácsoszású hídszerkezet épült be, ebből 1432 tonnát kellett újonnan legyártani. A kivitelezés során 110 000 tizedmilliméter pontossággal készített, esztergályozott orsójú csavart használtak fel, amelyekkel a szerkezet elemeit kötötték egymáshoz.

A szerkezet 1946. október végére teljesen elkészült. A próbaterhelésen kettő darab 424 sorozatú mozdony, valamint négy darab 28 tonnára terhelt teherkocsi volt a dinamikus terhelés. A hidat 1946. október 31-én adták át a vasúti forgalomnak (Horváth és tsai, 2006).

2. 6. A jelenlegi híd (1953-)

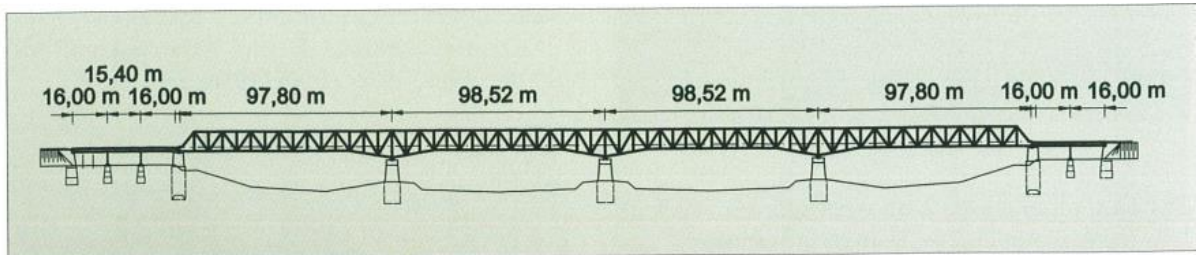
a) Előzmények

A K-rácsoszású híd, mint egy átmeneti szerkezet készült, hogy amíg nem rendeződik az ipar helyzete és sikerül megteremteni egy állandó híd építéséhez szükséges alapanyag mennyiséget, addig is kapcsolatot teremtsen a Déli- és a Keleti-pályaudvar között. Ez rövid időn belül be is következett, addig a pillérek déli felének helyreállítását a Munkaközösségbe tömörült vállalatok tovább folytatták, és 1947-ben befejezték. Ez alatt az idő alatt Korányi Imre Műegyetemi professzor irányításával, Fekete István mérnöki irodájában elkészültek a végleges Déli összekötő vasúti Duna-híd tervei (Horváth és tsai, 2006).

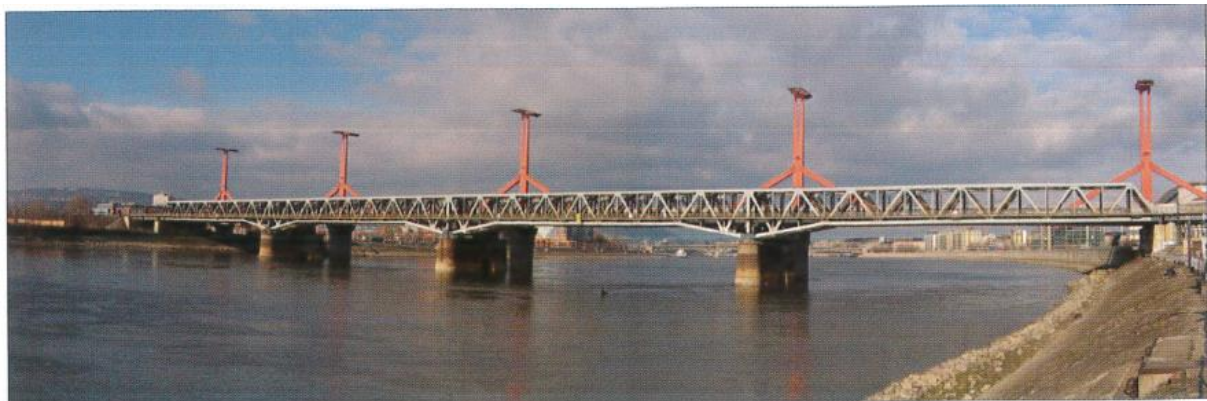
b) Szerkezeti felépítése

A végleges összekötő híd a már meglévő pillérekre épült, így annak támaszköz viszonyai megegyeznek az átmenetileg létesített K-rácsoszású hídéval, a támaszközök mérete a 2. 6. 1. ábrán látható. Maga a szerkezet két egymás mellé épített, többtámaszú alsópályás rácsos tartóból áll. Ezen tartók párhuzamos övvel, szimmetrikus rácsoszással készültek. Az alsó öv az alátámasztás mindkét oldalán, a pillérektől számolt negyedik csomópontnál megtörik, így növelve az öv-távolságot a támaszok felett. Az alsó és felső főtartó szélrács is rombikus rácsoszású. A főtartók között 2 darab hossztartó van elhelyezve, A keresztkötések sűrítése érdekében a főtartókat mellékrácsoszással látták el, így növelve a szerkezet merevségét. Az alsó

és felső öv, valamint a rácsrudak szegecselt kapcsolatokkal vannak összekötve (Horváth és tsai, 2006).



2. 6. 1. ábra. Déli összekötő vasúti Duna-híd – metszet
(Horváth és tsai, 2006, p. 54)



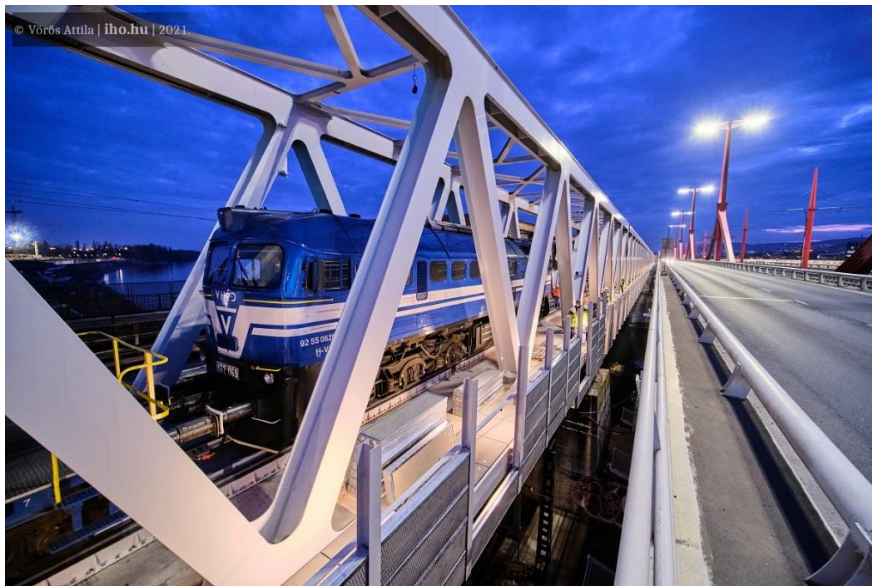
2. 6. 2. ábra. Déli összekötő vasúti Duna-híd, háttérben a Rákóczi híddal
(Horváth és tsai, 2006, p. 54)

c) Kivitelezés

1947-ben a Dunahídépítő Vállalatok Gépgyára Munkaközössége és a MÁVAG kivitelezésében elkezdődött a híd megépítése. A szerkezetet állvány nélkül, szabadon szerelték, medernylásonként egy-egy segédjárom segítségével. Az északi vágányt 1948. szeptember 6-án, a déli vágányt 1953. június 22-én adták át. A híd két oldalán konzolos járdákat építettek, az északi oldalon lévő járdát a gyalogosok használták, a déli oldalon lévő felett a főtartó külső síkjára 1968-ban közművezetékeket helyeztek el ideiglenesen, a vasúti pályától védőfallal elkülönítetten. A közművek felszerelésével megnövekedett szélteher miatt az iker híd két elemi hídját egymással összekötötték, hogy mindkettő szerkezet részt vegyen a teherviselésben. A közművezetékeket és a hídszerkezetek egymáshoz kötését 1995-ben elbontották. A vezetékeket az addigra elkészült szomszédos Rákóczi híd szekrénytartójának belsejében helyezték el, a két híd a 2. 6. 2. ábrán látható. (Horváth és tsai, 2006).

2. 7. Az új Déli összekötő vasúti Duna-híd

Az új Déli összekötő vasúti Duna-híd azonos alépítménnyel megtámasztott három független, azonos kialakítású felszerkezetből áll. A TDK dolgozat elkészítése idején az első felszerkezet (B1 jelű híd) elkészült és forgalomba helyezték, a második felszerkezet szerelése folyamatban van, próbaterhelése és forgalomba helyezése 2021. decemberében várható. A hidak felszerkezete szimmetrikus rácozású folytatólagos többtámaszú alsópályás rácsos tartó, amely az ortotrop pályaszerkezettel együtt dolgozik, 2. 7. 1. ábra. A hídszerkezet támaszközei a már meglévő alépítményekhez (49,26 m + 4 x 98,52 m + 49,26 m) igazodtak, így a felszerkezet teljes hossza 493,60 m. A rácsos főtartók tengelytávolsága 5200 mm, hálózati magasságuk 8000 mm. A felső övrudak hegesztett kalapszelvények, a rácsrudak hegesztett I-keresztmetszetűek, a rácsrudak keresztmetszeti magassága illeszkedik a felső öv gerinceinek távolságához. A kalapszelvények szélessége a teljes híd hossza mentén állandó.



2. 7. 1. ábra. Déli összekötő vasúti Duna-híd – 2021.

Az alsó öv a rácsrudak belső övlemezeinek síkjában elhelyezett hegesztett I-keresztmetszetű tartó, amely a hossztartókkal, a pályalemezzel és a hosszbordákkal együtt dolgozik. A hossztartók és a keresztartók alsó övlemezei egy síkban vannak. Keresztartók illeszkednek a rácsos tartó alsó csomóponti kiosztásához. A pályaszerkezetet kereszt- és hosszartók, illetve merevítőbordák támasztják alá. A szerkezeti magassága 1230 mm. A megfelelő csapadékvíz-elvezetés érdekében a pályalemez középvezetéstől két irányban 2%-os lejtéssel van kialakítva. A hosszbordák a keresztartók kivágásokon át vannak vezetve és a keresztartók gerinceleméhez hozzá vannak hegesztve, ezen kialakítás a 2. 7. 2. ábrán jól megfigyelhető.



2. 7. 2. ábra. Déli összekötő vasúti Duna-híd – gyártási egység a csepeli előszerelő telepen

A rácsos tartó felső K-rácsozású szélrács rendszerrel készült. A teljes felszerkezet a 2. 7. 3. ábrán látható előírásoknak megfelelő, korszerű korrózióvédelemmel lett ellátva. A hídszerkezet északi oldalára konzolosan alátámasztott 100 cm-es névleges szélességű vizsgálójárda került kialakításra. A karbantartási és javítási feladatok, valamint a hídfelületei munka könnyebb elvégzésének céljából a medernyílásokban vizsgálókocsikat szereltek fel. A hídfelületek korszerűsítése érdekében, valamint a hídszerkezet működésének nyomon követésé céljából a hídon monitoring rendszer került kialakításra (Duma és Gyurity, 2018).

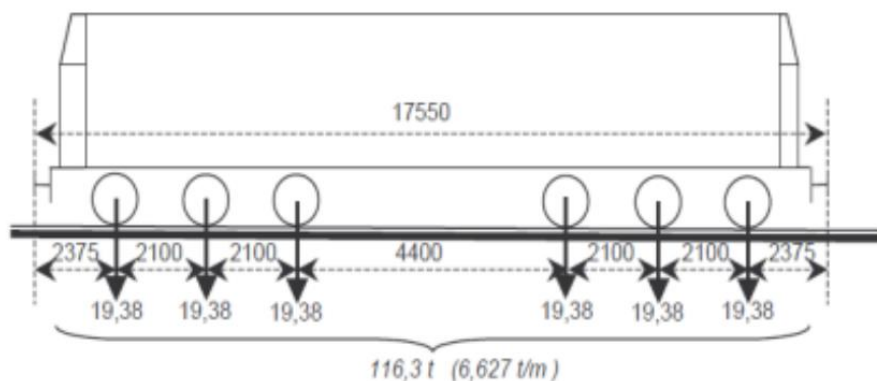


2. 7. 3. ábra. Déli összekötő vasúti Duna-híd: új és a régi felszerkezet

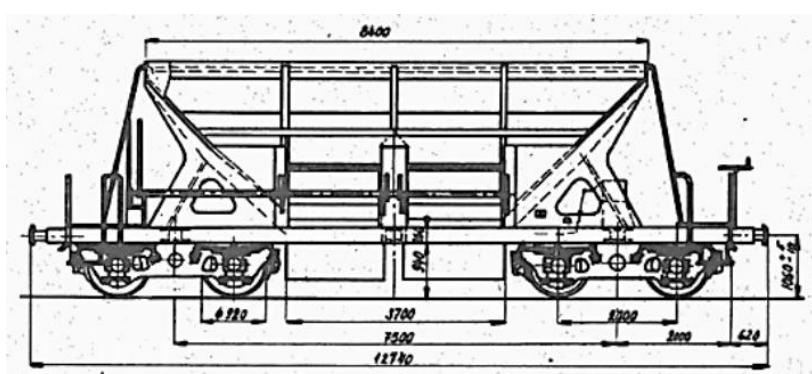
3. Déli összekötő vasúti Duna-híd próbaterhelése – B1 híd

3. 1. A statikus próbaterher

Az ebben a fejezetben bemutatott próbaterhelési mérési eredményeket a BME Hidak és Szerkezetek Tanszék által készített szakértői jelentés alapján dolgozom fel (Dunai és tsai, 2021). A próbaterhelés célja a három rácsos híd közül elsőként elkészült B1 jelű híd forgalomba helyezés előtti teherbírás ellenőrzése helyszíni méréssel. A statikus próbaterhelést 2021.04.19/20-án éjszaka végezve, 18:00-3:00 óra között hajtották végre. A szerkezet összesen 1 db M62-es mozdonyral és 14 db Faccs típusú zúzottkővel megrakott vagonnal lett terhelve. Az M62 típusú mozdony sematikus rajza a 3. 1. 1. ábrán látható, tengelysúlya 193,8 kN, a jármű összsúlya 1163 kN, fajlagos tömege 6,627 t/m. A mozdony teljes hossza 17550 mm, két szélső tengelyének távolsága 12800 mm. Az Faccs típusú vagonok sematikus rajza a 3. 1. 2. ábrán látható, tengelysúlya 175 kN. A vagonok 4 tengellyel rendelkeznek, így a vagonok összsúlya 700 kN, fajlagos tömegük 5,494 t/m. A vagonok teljes hossza 12740 mm, a forgóvázak távolsága 7500 mm, a két szélső tengelyének távolsága 7500 mm.



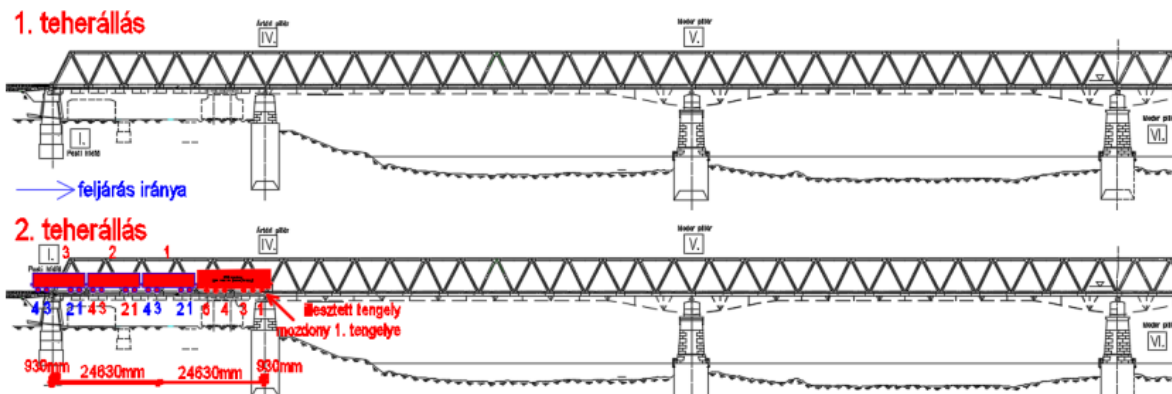
3. 1. 1. ábra. M62 típusú mozdony tengelyterhei



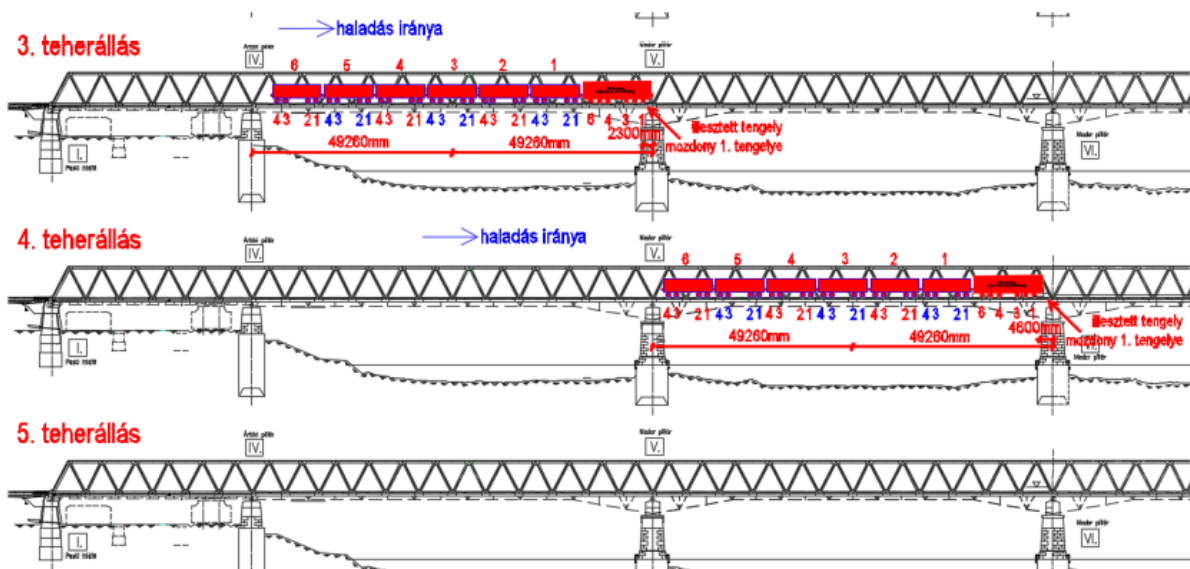
3. 1. 2. ábra. Faccs típusú vagon

3. 2. Statikus teherállások

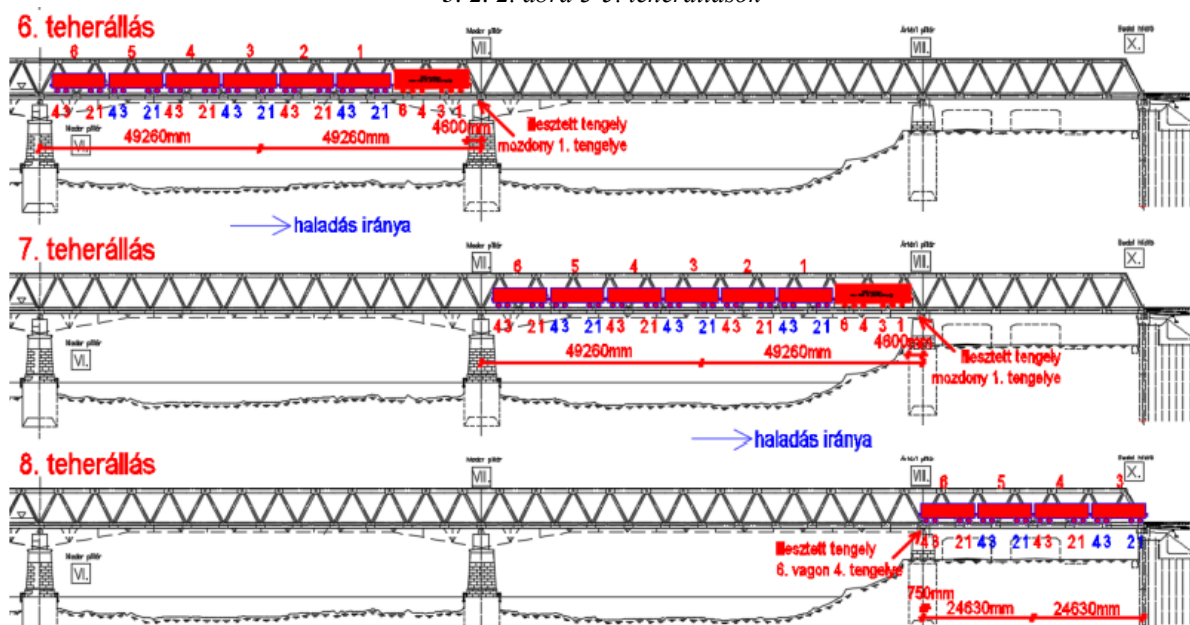
A statikus teherállásokat a 3. 2. 1 – 3. 2. 5. ábrák mutatják be (Dunai és tsai, 2021).



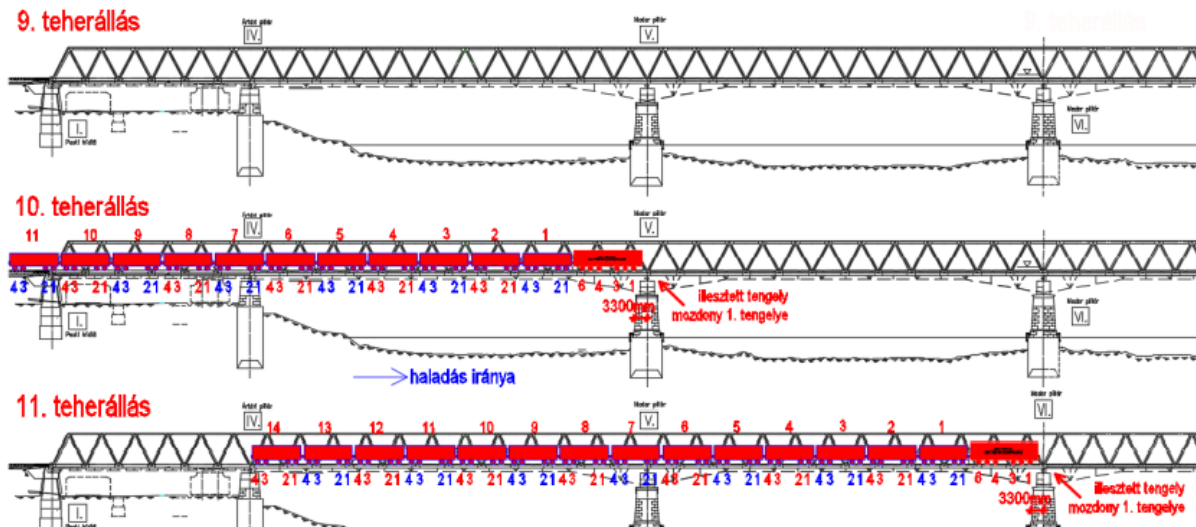
3. 2. 1. ábra. 1-2. teherállások



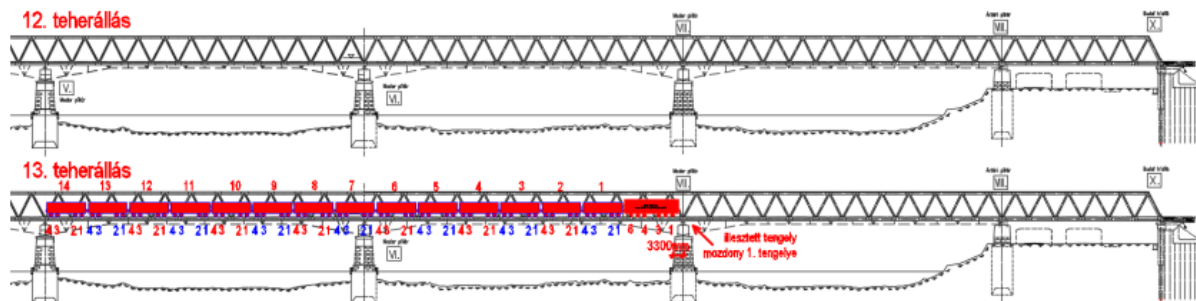
3. 2. 2. ábra 3-5. teherállások



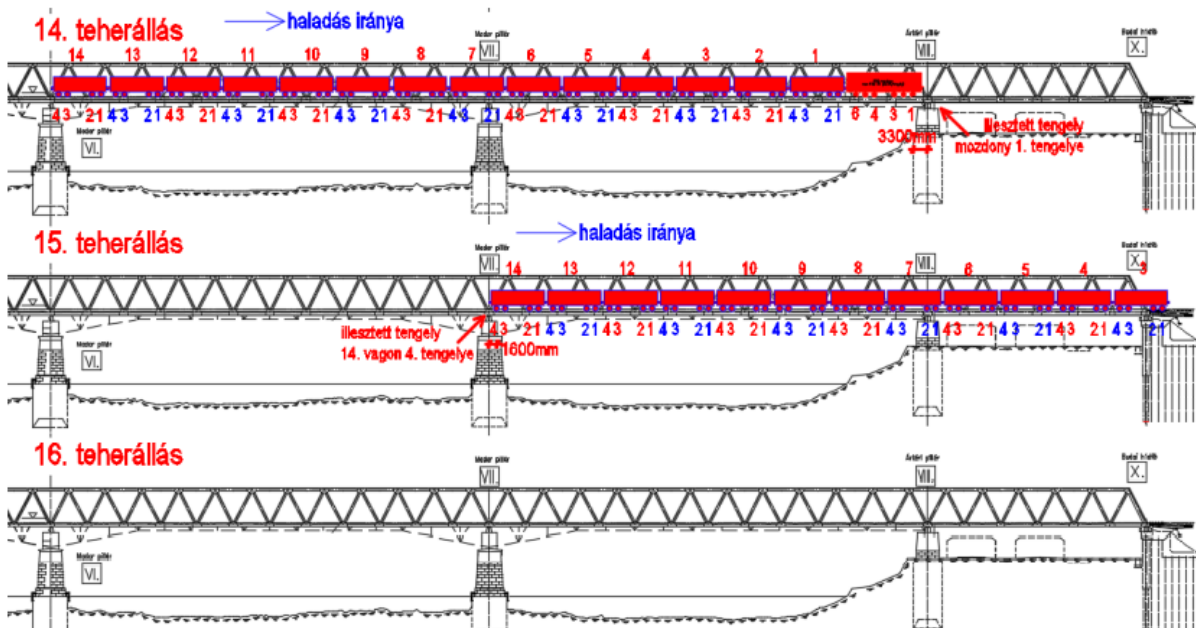
3. 2. 3. ábra. 6-8. teherállások



3. 2. 3. ábra. 9-11. teherállások



3. 2. 4. ábra. 12-13. teherállások



3. 2. 5. ábra. 14-16. teherállások

3. 3. Villamos nyúlásmérés

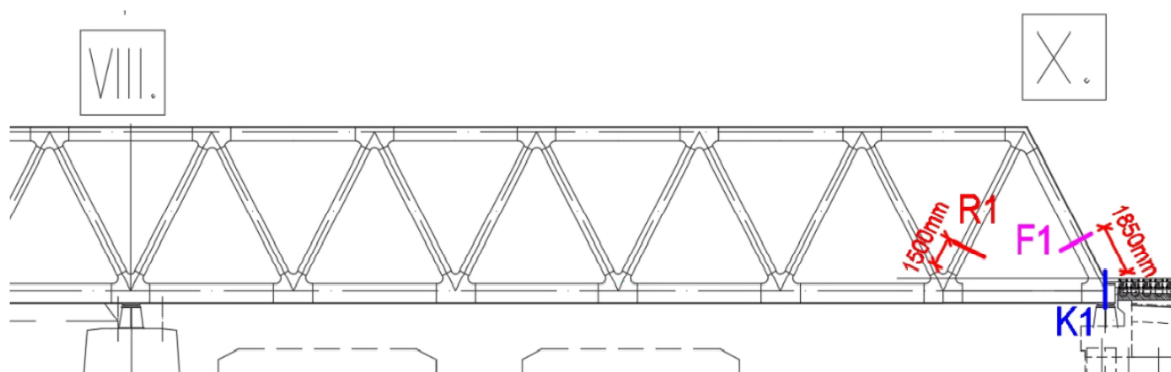
Villamos nyúlásmérő bélyeg

A próbaterhelés során – az elmozdulás mérések mellett – valamennyi teherállásban nyúlásmérést is végeztek. A nyúlásmérés célja a főtartók és a pályaszerkezet mértékadó keresztmetszeteiben kialakuló normál feszültségek meghatározása statikus, illetve dinamikus

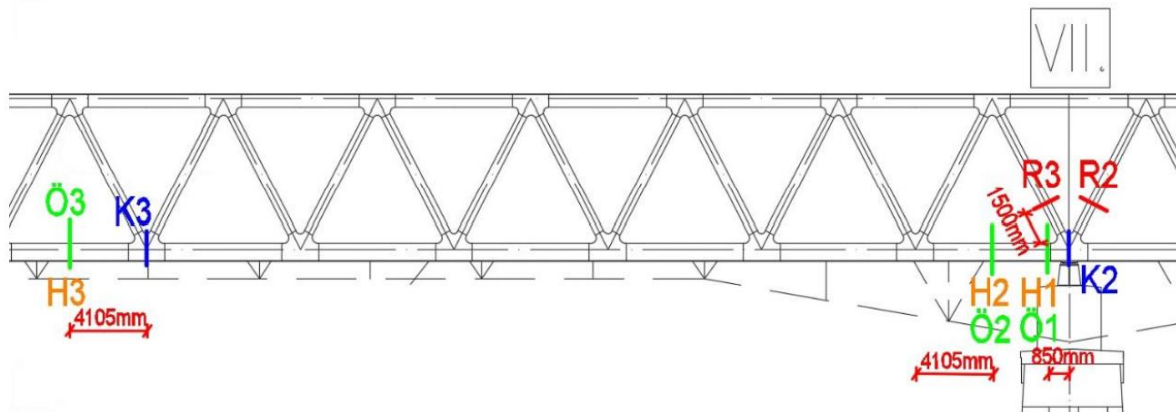
terhelés hatására. A teljes hídon mintegy 100 db KMT-LIAS 3/350 típusú nyúlásmérő bélyeg került elhelyezésre. A nyúlásmérés laptoppal irányított, HBM MGCPlus típusú mérőerősítő és HGM CANhead rendszerrel lett elvégezve. A bélyegek a vizsgált keresztmetszetek szerinti csoportosításban külön-külön CANhead egységbe voltak bekötve. A CANhead egységek speciális CanBus nagyteljesítményű kábelekkel lettek összekötve, amelyek az MGCPlus mérőerősítőn keresztül laptopra továbbították a mérési jeleket. A nyúlásmérés során összesen 11 CANhead egység volt alkalmazva, 2 mérőközpont kialakításával. A nyúlásmérő helyek a 3. 1. és a 3. 3. 2. ábrákon láthatóak.

A statikus próbaterhelés során minden teherállásban 3-4 mérés lett elvégezve, egyenként 15 másodperc hosszúsággal, 5 Hz mintavételi frekvenciával. A kiértékelés során az egy cikluson belül érkező adatok mediánja az adott bélyeg adott sorozatban mért nyúlása. Egy bélyeg adott teherálláshoz tartozó nyúlás, az egy sorozatban beérkező adatok mediánjának mediánja. Minden esetben meghatározásra került a mérési táj, illetve a bélyeg kúszásának mértéke az adott teherállásban, majd ennek kiértékelése után került meghatározásra a bélyegen az adott teherállásban a próbateher hatására mért nyúlás értéke.

A mérések továbbá tartalmazhatnak még különböző hatásokat, mint például a szerkezet egyenetlen hőmérsékletváltozásából származó globális nyúlások. A próbaterhelés időtartama alatt a szerkezet hőmérsékletváltozása kb. 2 °C volt. Minden egyes nyúlásmérő bélyegen meghatározásra került a kismértékű nullpont eltolódás az idő függvényében, ami jó egyezést mutatott a hőmérsékletváltozás tendenciájával. A mérési eredményekből a hőmérsékletváltozás hatása úgy került elkülönítésre, hogy a két egymás utáni üres teherállásban mért nyúlásértékek különbsége időarányosan el lett osztva a teherállások között (Dunai és tsai, 2021).



3. 3. 1. ábra. Nyúlásmérési helyek a VIII. és a X. jelű támasz között



3. 3. 2. ábra. Nyúlásmérési helyek a VI és a VII jelű támaszok között

4. A statikus próbaterhelési nyúlásmérési eredmények elemzése

Ebben a fejezetben a nyúlásmérési eredményeket foglalom össze és elemzem, a következő módszertan alapján. Minden nyúlásmérési helyen elemzem a mért nyúlásokból számított feszültségeket, ezek alapján megállapítom, hogy a mért szerkezeti elemben mely teherállás hatására keletkeznek a legnagyobb feszültségek. A mértékadó feszültségek alapján következtetek a szerkezet viselkedésére, illetve az igénybevétel típusára. Továbbá a mértékadó feszültségeket a hasonló szerkezeti elemeknél összehasonlítom és ebből következtetés vonok le. Ezentúl elemzem az adott szerkezeti elem mérésének fontosságát, illetve a szerkezet viselkedésével kapcsolatban szolgáltatott információkat. Amennyiben a szerkezeti elem adott helyén a mérés a további két híd próbaterhelése során nem tűnik szükségesnek (nem ad a viselkedéssel kapcsolatban újabb tisztázandó eredményt), akkor elemzem azon lehetőségeket, hogy a felszabadult nyúlásmérő bélyegeket hogyan lehet elhelyezni úgy, hogy azok a szerkezet viselkedésével – mind lokális, mind globális – kapcsolatban a lehető legtöbb újabb információval szolgáljon.

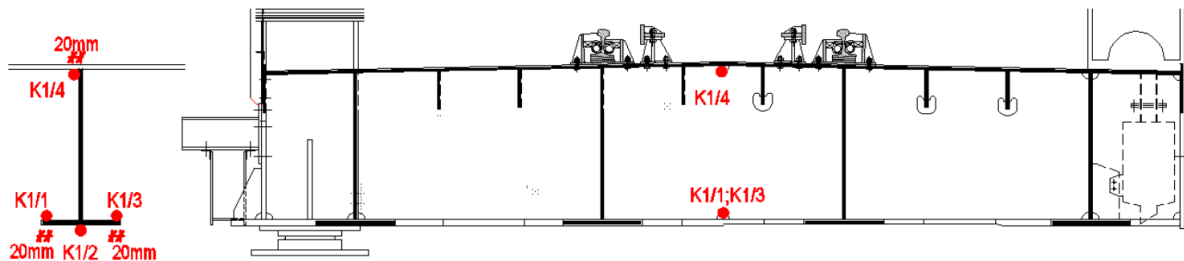
4. 1. Kereszttartó feszültségváltozási eredményei

a) K1 Nyúlásmérési hely

A Budai hídfőnél elhelyezkedő végkereszttartó. A nyúlásmérő bélyegek a 4. 1. 1. ábra szerint lettek elhelyezve a kereszttartón:

- K1/1 A kereszttartó mezőközepén az övlemez bal oldali részének tetején 20 mm-re a lemez szélétől,
- K1/2 A kereszttartó mezőközepén az öv alsó síkján középén,

- K1/3 A kereszttartó mezőközepén az övlemez jobb oldali részének tetején 20 mm-re a szélétől,
- K1/4 A kereszttartó mezőközepén a gerinclemez felső részén a pályalemeztől 20 mm távolságban.

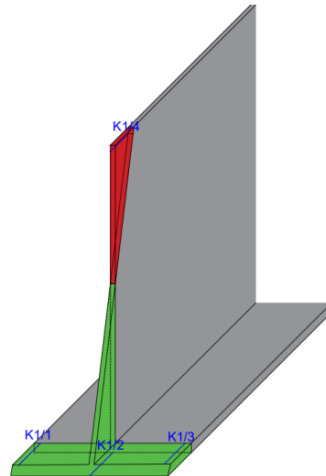


4. 1. 1. ábra. K1 kereszttartón elhelyezett nyúlásmérő bélyegek rajza

A mérési eredményeket a 4. 1. 1. táblázat foglalja össze minden teherállásban, a keresztmetszeten belüli feszültségeloszlást a mértékadó 8-as teherállásban a 4. 1. 2. ábra mutatja be. A mérési eredmények alapján megállapítottam, hogy a kereszttartóban a mértékadó feszültségek a 8. teherállás terheinek hatására keletkeztek. Ekkor a szerelvény a végkereszttartót megelőző mezőben helyezkedett el. Ennek a terhelésnek a hatására a kereszttartó hajlítást és csavarást kap, melyek közül az erős tengely körüli hajlítás a domináns igénybevétel. A mérési eredmények alapján látható, hogy a keresztmetszetben keletkező legnagyobb normál feszültség értéke 10,63 MPa.

4. 1. 1. táblázat. K1 nyúlásmérési hely mérési eredményei

	K1/1	K1/2	K1/3	K1/4
1. tá (üres)	0	0	0	0
2. tá.	-0,48	-0,08	0,08	-0,24
3. tá.	-0,62	-0,15	0,16	-0,09
4. tá.	-0,47	-0,13	0,11	0,08
5. tá (üres)	0	0	0	0
6. tá.	0,11	0,08	0,02	-0,11
7. tá.	-0,84	-0,43	0,12	1,27
8. tá.	9,88	10,63	9,37	-7,97
9. tá (üres)	0	0	0	0
10. tá.	-0,22	-0,08	0,11	0,10
11. tá.	-0,19	-0,08	0,11	0,23
12. tá. (üres)	0	0	0	0
13. tá.	-0,07	0,07	0,22	0,12
14. tá.	-0,96	-0,43	0,25	1,24
15. tá.	3,63	6,13	7,42	-4,15
16. tá. (üres)	0	0	0	0

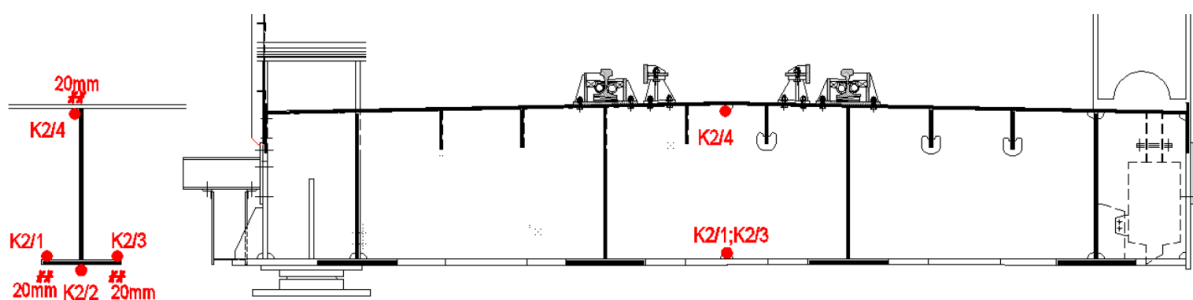


4. 1. 2. ábra. K1 keresztartó mértékadó feszültségeloszlása

b) K2 Nyúlásmérési hely

A K2 nyúlásmérési hely a VII. közbenső támasz feletti keresztartó feszültségeinek meghatározására szolgál. A keresztartón a nyúlásmérő bélyegek a 4. 1. 3. ábra szerint lettek elhelyezve.

- K2/1 A keresztartó mezőközepén az övlemez bal oldali részének tetején 20 mm-re a lemez szélétől,
- K2/2 A keresztartó mezőközepén az öv alsó síkján közepén,
- K2/3 A keresztartó mezőközepén az övlemez jobb oldali részének tetején 20 mm-re a lemez szélétől,
- K2/4 A keresztartó gerincén a pályalemeztől 20 mm-re.



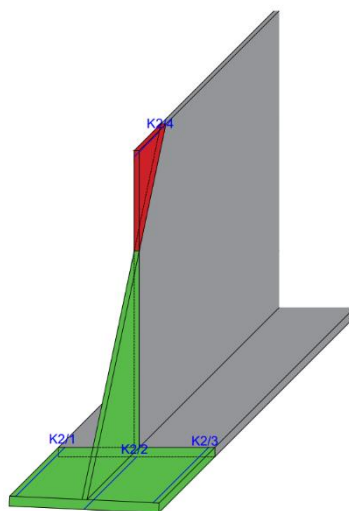
4. 1. 3. ábra. K2 keresztartón elhelyezett nyúlásmérő bélyegek rajza

A mérési eredményeket a 4. 1. 2. táblázat foglalja össze minden teherállásban, a keresztmetszeten belüli feszültségeloszlást a mértékadó 14-es teherállásban a 4. 1. 4. ábra mutatja be. A K2 nyúlásmérési hely mérési eredményei alapján megállapítottam, hogy a keresztartóban ébredő legnagyobb normál feszültség értéke 25,08 MPa, ami a 14. teherállás

terhének hatására keletkezett. Ebben a teherállásban a szerelvény a két szomszédos mezőn helyezkedett el, a kereszttartó domináns erős tengely körüli hajlítással volt terhelve.

4. 1. 2. táblázat. K2 nyúlásmérési hely mérési eredményei

	K2/1	K2/2	K2/3	K2/4
1. tá (üres)	0	0	0	0
2. tá.	0,14	0,09	0,07	-0,84
3. tá.	0,12	0,06	0,04	-0,60
4. tá.	-0,60	-0,58	-0,87	-0,17
5. tá (üres)	0	0	0	0
6. tá.	13,38	10,39	7,63	-4,96
7. tá.	7,17	9,43	11,81	-4,32
8. tá.	-0,05	0,21	0,07	0,00
9. tá. (üres)	0	0	0	0
10. tá.	0,16	2,96	0,05	0,00
11. tá.	-0,34	1,06	-0,62	0,16
12. tá. (üres)	0	0	0	0
13. tá.	14,61	11,15	7,32	-5,79
14. tá.	22,19	23,90	25,08	-11,31
15. tá.	9,54	12,10	14,28	-5,38
16. tá. (üres)	0	0	0	0



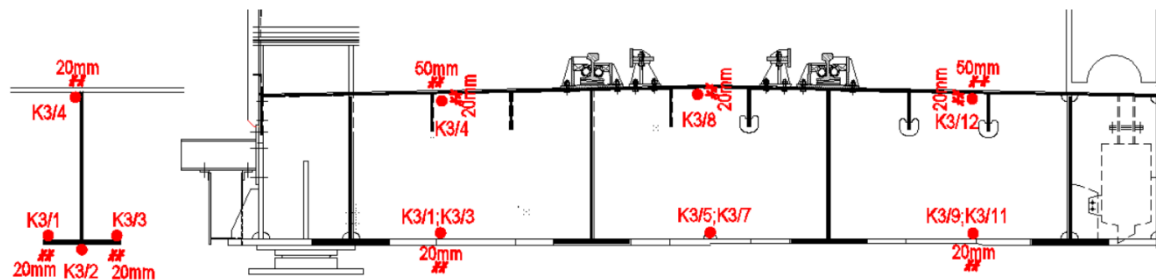
4. 1. 4. ábra. K2 kereszttartó mértékadó feszültségeloszlása

c) K3 Nyúlásmérési hely

A K3 nyúlásmérő hely a VI. és a VII. támaszok között egy általános, mezőben lévő kereszttartón helyezkedett el. Ezen mérések célja, hogy az általános kereszttartók feszültségeit meg lehessen határozni, ezen a kereszttartón több bélyeg került elhelyezésre, melyek a 4. 1. 5. ábra szerint:

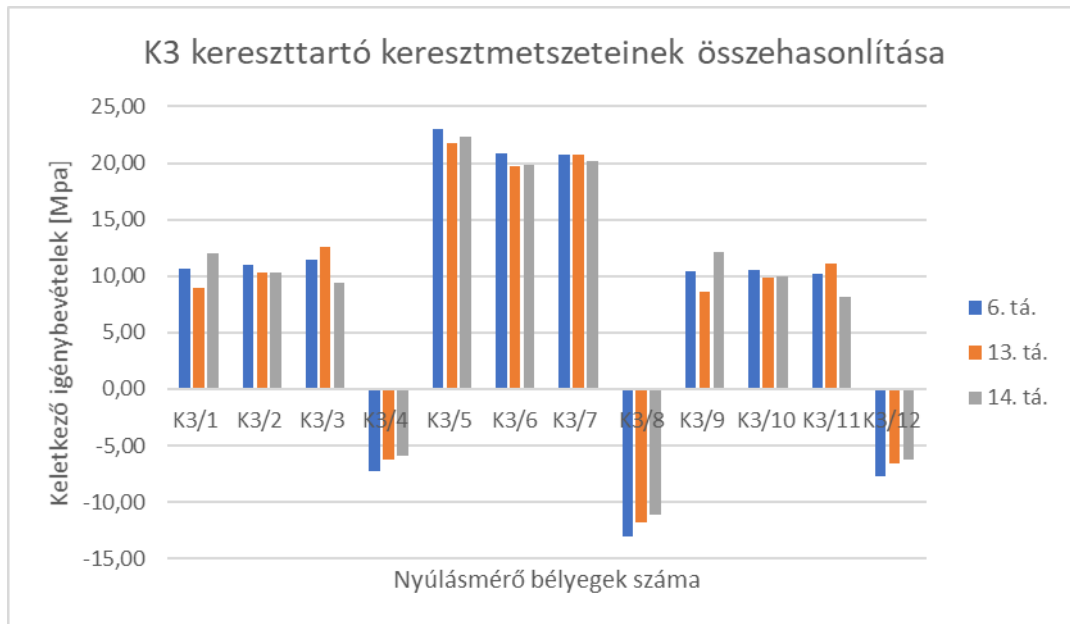
- K3/1 A kereszttartó övlemez bal oldali részének tetején 20 mm-re a szélétől,
- K3/2 A kereszttartó öv alsó síkján közepén,
- K3/3 A kereszttartó övlemez jobb oldali részének tetején 20 mm-re a szélétől,
- K3/4 A kereszttartó gerincén a pályalemeztől 20 mm-re helyezkednek el.

Ezen keresztmetszetből 3 helyezkedik el a tartón, 2 a főtartó övhöz közelebb eső merevítőbordától 60 mm-re a hídtengety irányába, illetve egy a kereszttartó felénél.

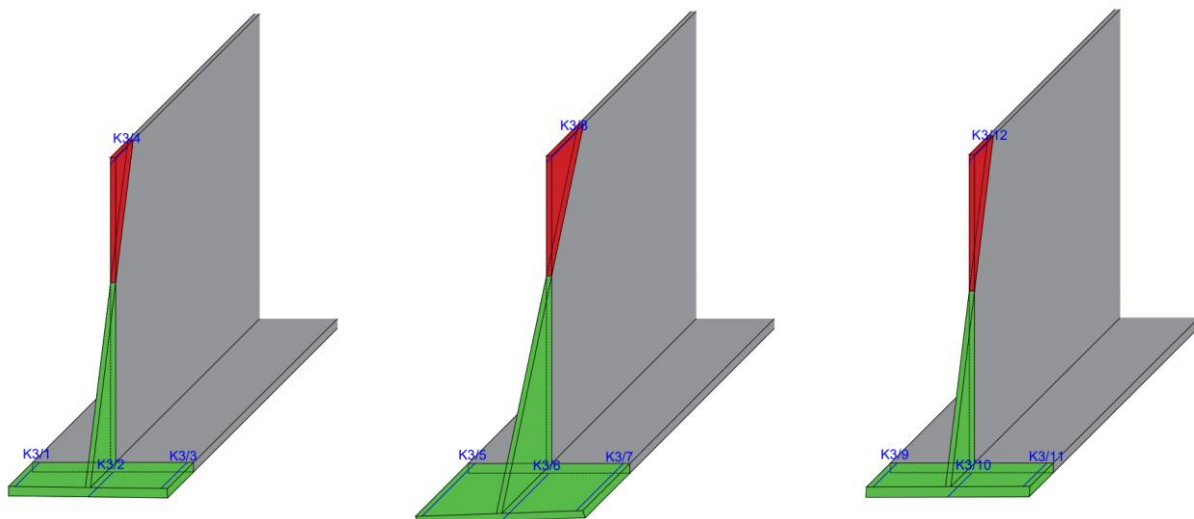


4. 1. 5. ábra. K3 kereszttartón elhelyezett nyúlásmérő bélyegek rajza

A mérési eredmények alapján kijelenthető, hogy az általános, mezőben elhelyezkedő kereszttartó mértékadó keresztmetszete a középső, itt keletkeznek a legnagyobb normál feszültségek, amelyek a 6. teherállás hatására léptek fel, mikor a szerelvény abban a mezőben helyezkedik el, amiben a kereszttartó is van. Ebben a teherállásban a kereszttartón domináns erős tengely körül hajlítás alakul ki. A 6. teherálláson kívül még a 13., illetve a 14. teherállásban is közel azonos mértékű igénybevételek keletkeznek, mint a mértékadó esetben. A mért feszültségek teherállások közötti és mérési helyenkénti összehasonlítását a 4. 1. 6. ábra, a keresztmetszeten belüli feszültségeloszlást a 4. 1. 7. ábra mutatja be.



4. 1. 6. ábra. Keresztartó keresztmetszeteinek mért feszültségváltozásai



4. 1. 7. ábra. K3 Keresztartó keresztmetszeteinek feszültségeloszlása

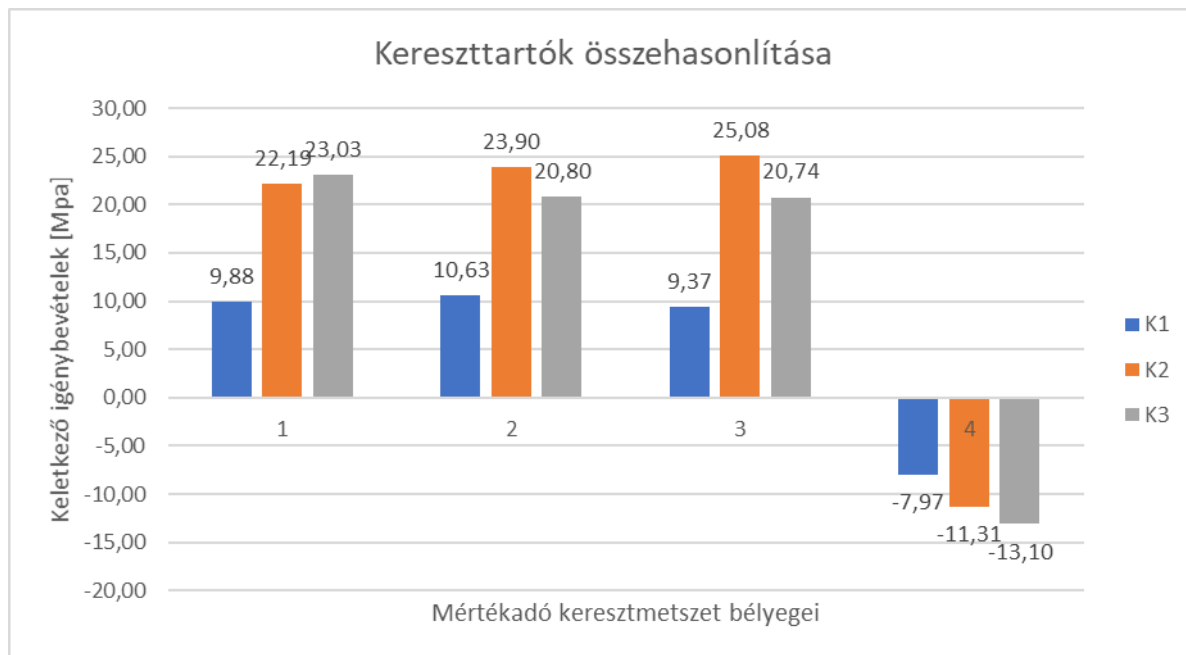
A diagram alapján megállapítható, hogy a mértékadó, illetve ahhoz közeli terhelések hatására kialakuló feszültségek minden esetben a középső keresztmetszetben a legnagyobbak. Továbbá az is jól látható, hogy a szerkezeti elem a mért feszültségek alapján úgy viselkedik, mint egy csuklós-csuklós tartó. Ebből arra lehet következtetni, hogy a főtartók csavarási merevségei kicsinyek, nem tudják befogni a keresztartókat, így nem alakul ki bennük a megtámasztás környezetében jelentős negatív nyomaték.

4. 1. 3. táblázat. K3 nyúlásmérési hely mérési eredményei

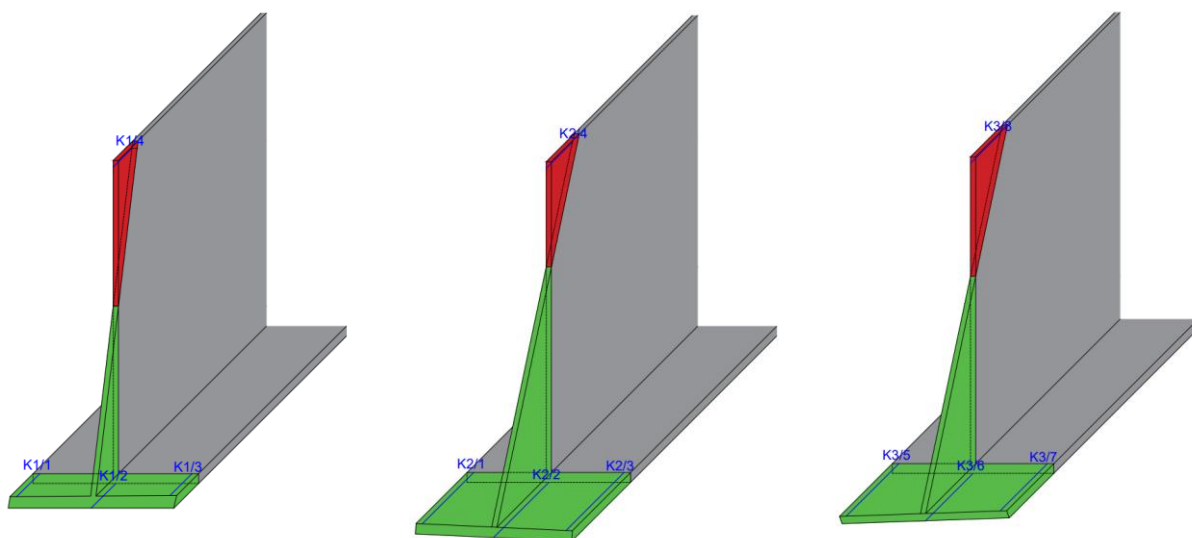
	K3/1	K3/2	K3/3	K3/4	K3/5	K3/6	K3/7	K3/8	K3/9	K3/10	K3/11	K3/12
1. tá. (üres)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2. tá.	0,08	-0,01	0,00	-1,21	0,16	-0,18	-0,04	-0,73	-0,14	-0,08	-0,12	-1,13
3. tá.	0,33	0,01	-0,37	-1,06	0,11	-0,07	-0,06	-0,71	0,23	-0,04	-0,40	-1,03
4. tá.	-1,77	-0,39	1,58	0,56	-0,03	-0,38	-0,04	0,84	-1,99	-0,43	1,65	0,61
5. tá. (üres)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6. tá.	10,66	10,97	11,47	-7,31	23,03	20,80	20,74	-13,10	10,43	10,57	10,15	-7,76
7. tá.	1,55	-0,39	-1,82	0,97	-0,06	-0,49	-0,25	1,00	1,65	-0,43	-1,79	1,02
8. tá.	-0,01	0,02	0,03	0,00	0,04	0,02	0,01	-0,08	-0,06	0,01	0,06	-0,02
9. tá. (üres)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10. tá.	0,23	0,00	-0,35	-0,17	-0,04	0,00	-0,09	-0,16	0,27	0,00	-0,36	-0,21
11. tá.	-1,52	-0,39	1,22	0,92	-0,14	-0,37	-0,11	0,97	-1,64	-0,40	1,23	0,96
12. tá. (üres)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13. tá.	8,91	10,33	12,54	-6,27	21,74	19,77	20,72	-11,79	8,60	9,90	11,12	-6,55
14. tá.	12,00	10,30	9,45	-5,91	22,32	19,86	20,16	-11,15	12,16	10,01	8,13	-6,29
15. tá.	1,57	-0,24	-1,57	0,98	0,00	-0,32	-0,10	1,04	1,62	-0,28	-1,55	1,03
16. tá. (üres)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

d) A keresztartók igénybevételeinek összehasonlítása

A három mért keresztartó maximális feszültségváltozásainak értékeit a 4. 1. 7. és a 4. 1. 8. ábrák mutatják be. Az eredmények alapján látható, hogy a végkeresztartó (K1) mértékadó igénybevételei jelentősen kisebbek, a közbenső támaszok felett elhelyezkedő (K2), valamint az általános (K3) keresztartók mértékadó normálfeszültségeitől. Átlagosan a végkeresztartó igénybevételei nem érik el a támaszok felett elhelyezkedő keresztartók igénybevételeinek 50%-át. Ez megfelel a személet alapján elvárt viselkedésnek, mivel a végkeresztartó funkciójából eredően általában nagyobb szerkezeti méretekkel kerül kialakításra, és terhelési sáv fele a többi keresztartó terhelési sávjának.



4. 1. 8. ábra. Kereszttartók mértékadó feszültségváltozásai



4. 1. 9. ábra. K1-K3 Kereszttartók mértékadók feszültségeloszlása

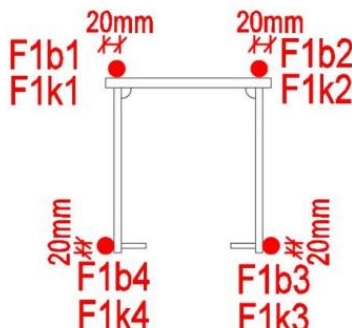
4. 2. Főtartó feszültségváltozásai eredményei

a) F1 Nyúlásmérési hely

Az F1 nyúlásmérő hely a X. jelű támasznál helyezkedik el a szerkezet utolsó ferde rúdjaiban, a kifolyási, illetve a befolyási oldalon is 1850 mm-re az öv- és a rácsrúd tengelyének metszetétől. A keresztmetszeten belül a nyúlásmérő bélyegek a 4. 2. 1. ábra szerint kerültek elhelyezésre:

- F1/b1,k1 a kalapszelvény felső övlemezén, a bal szélén 20 mm-re a lemez szélétől,

- F1/b2,k2 a kalapszelvény felső övlemezén, a jobb szélén 20 mm-re a lemez szélétől,
- F1/b3,k3 a kalapszelvény jobb oldali gerincén, 20 mm-re a lemez szélétől,
- F1/b4,k4 a kalapszelvény bal oldali gerincén, 20 mm-re a lemez szélétől.

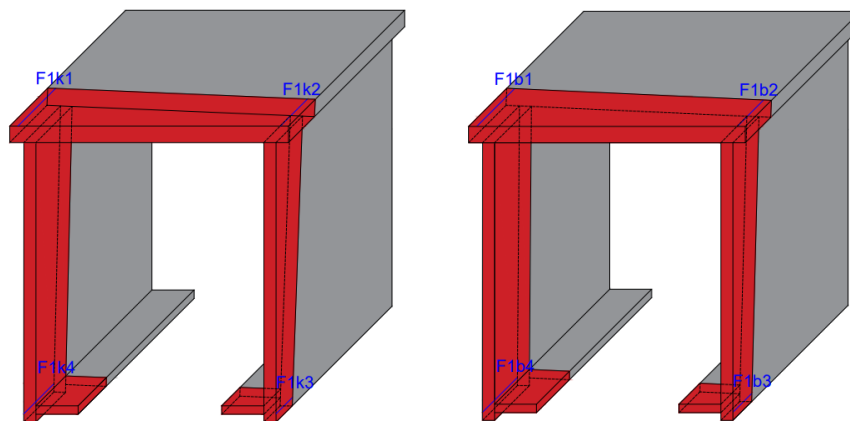


4. 2. 1. ábra. F1 mérési helyen elhelyezett bélyegek sematikus rajza

A mérési eredményeket a 4. 2. 1. táblázat foglalja össze minden teherállásban, a keresztmetszeten belüli feszültségeloszlást a mértékadó 8-as teherállásban a 4. 2. 2. ábra mutatja be. Ebben a teherállásban 4 vagon volt elhelyezve a VIII. és a X. támaszok között. Az eredményekből az is látszik, hogy ez a szerkezeti elem nyomó/húzó-, valamint hajlító igénybevételnek van kitéve. Látható, hogy a mértékadó normálfeszültségek esetén is kombinált igénybevételek lépnek fel, és a nyomóigénybevétel a domináns.

4. 2. 1. táblázat. F1 Nyúlásmérési hely mérési eredményei

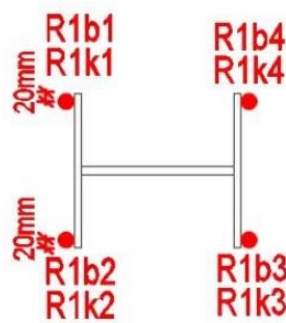
	F1b1	F1b2	F1b3	F1b4	F1k1	F1k2	F1k3	F1k4
1. tá. (üres)	0	0	0	0	0	0	0	0
2. tá.	-0,77	-0,25	0,68	0,49	-0,42	-0,12	0,39	0,18
3. tá.	-0,03	0,15	-0,18	-0,73	-0,51	-0,18	0,27	-0,05
4. tá.	0,61	0,59	-0,08	-0,64	0,02	0,25	0,38	0,20
5. tá. (üres)	0	0	0	0	0	0	0	0
6. tá.	-0,96	-1,20	-1,26	-1,47	-1,43	-1,34	-0,95	-1,06
7. tá.	6,55	6,72	5,64	5,79	7,31	6,69	4,94	5,45
8. tá.	-13,14	-9,07	-6,51	-12,09	-13,00	-9,37	-5,68	-10,36
9. tá. (üres)	0	0	0	0	0	0	0	0
10. tá.	0,66	0,39	-0,83	-1,36	-0,18	-0,05	-0,06	-0,15
11. tá.	1,21	0,78	-0,60	-1,03	0,19	0,26	0,17	0,10
12. tá. (üres)	0	0	0	0	0	0	0	0
13. tá.	0,49	-0,30	-1,88	-2,34	-1,27	-0,90	-0,65	-0,85
14. tá.	6,59	6,12	3,76	3,57	5,96	5,60	4,10	4,50



4. 2. 2. ábra. F1 mérési hely kifolyási és befolyási oldali keresztmetszetek feszültségváltozása

b) R1 Nyúlásmérési hely

Az R1 nyúlásmérő hely a X. támasznál helyezkedik el a szerkezet utolsó rácsrúdon, a kifolyási, illetve a befolyási oldalon is 1500 mm-re az öv- és a rácsrúd tengelyének metszetétől. A mérés célja, hogy a hídfőknél elhelyezkedő rácsrúdek feszültségeinek meghatározása. A keresztmetszeten a nyúlásmérő bélyegek a 4. 2. 3. ábra szerint a keresztmetszet négyszögében az övlemezek külső élén helyezkedtek el a lemezek szélétől 20 mm-re, számozásuk a bal felső sarokból indul óramutatóval ellentétes irányba haladva.



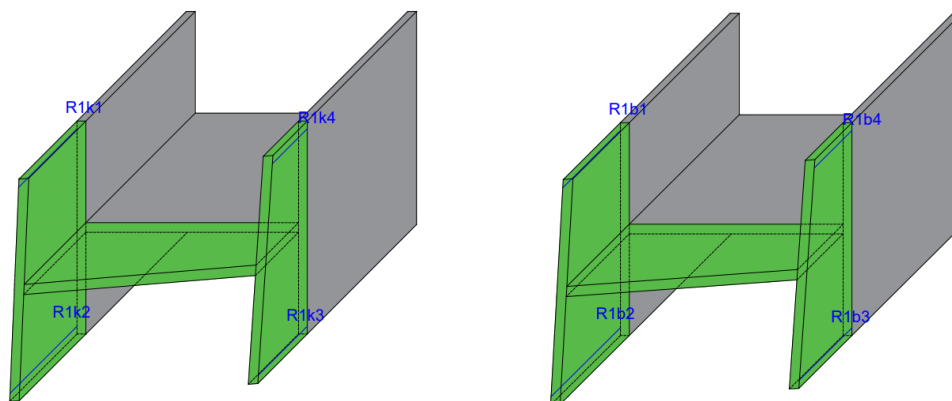
4. 2. 3. ábra. R1 mérési helyen elhelyezett bélyegek sematikus rajza

A mérési eredményeket a 4. 2. 2. táblázat foglalja össze minden teherállásban, a keresztmetszeten belüli feszültségeloszlást a mértékadó 8-as teherállásban a 4. 2. 4. ábra mutatja be. A mérési eredmények alapján látható, hogy a mértékadó igénybevétel a 8. teherállásban keletkezik, amikor a VIII. és X. támaszok közötti mező 4 vagonnal van leterhelve. Továbbá az eredmények alapján megállapítható, hogy az F1 mérési helyhez hasonlóan a nyomó/húzó-, illetve hajlítói igénybevételnek van kitéve a rácsrúd. A mértékadó igénybevételek esetében a rácsrúd dominánsan nyomásnak van kitéve, közben 2 irányú hajlítás is terheli. Érdeemes még megjegyezni, hogy a kifolyási, illetve a befolyási oldalon a rácsrúdek

igénybevételei közelítőleg egyezést mutatnak, ami azt igazolja, hogy a szerkezet hídtegyelre szimmetrikus terhelés hatására közel szimmetrikusan viselkedik.

4. 2. 2. táblázat. R1 nyúlásmérési hely mérési eredményei

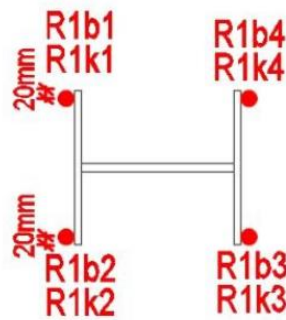
	R1b1	R1b2	R1b3	R1b4	R1k1	R1k2	R1k3	R1k4
1. tá. (üres)	0	0	0	0	0	0	0	0
2. tá.	0,03	-0,42	-1,17	-0,84	0,31	0,05	-0,64	-0,50
3. tá.	0,00	-0,25	-0,83	-0,91	0,23	0,01	-0,75	-0,47
4. tá.	-0,57	-0,70	-1,07	-1,02	-0,34	-0,60	-1,03	-0,64
5. tá. (üres)	0	0	0	0	0	0	0	0
6. tá.	2,12	2,96	2,91	1,93	2,23	2,85	2,72	1,88
7. tá.	-10,39	-14,23	-14,36	-9,72	-11,12	-14,39	-13,67	-9,17
8. tá.	20,98	25,24	19,12	13,72	21,37	24,52	17,90	12,77
9. tá. (üres)	0	0	0	0	0	0	0	0
10. tá.	-0,09	0,28	0,36	-0,06	0,11	0,06	0,12	0,07
11. tá.	-0,51	-0,32	-0,21	-0,47	-0,42	-0,54	-0,42	-0,24
12. tá. (üres)	0	0	0	0	0	0	0	0
13. tá.	1,47	2,54	2,52	1,34	1,84	2,20	2,21	1,59
14. tá.	-8,66	-11,44	-11,50	-8,09	-9,19	-12,02	-11,36	-7,53



4. 2. 4. ábra. R1 mérési hely kifolyás és befolyás oldali keresztmetszetek feszültségeloszlása

c) R2-R3 Nyúlásmérési hely

Az R2-R3 nyúlásmérési hely a VII. támasz felett elhelyezkedő csomópontba bevezető rácsrudakon helyezkedik el, a kifolyási, illetve a befolyási oldalon is 1500 mm-re az öv- és a rácsrúd tengelyének csatlakozási pontjától. A mérés célja, hogy a támaszoknál elhelyezkedő rácsrudak igénybevételeinek meghatározása. A keresztmetszeten belül a nyúlásmérő bélyegek a 4. 2. 5. ábra alapján, a keresztmetszet négy sarkában az övlemezek külső élén helyezkedtek el a lemezek szélétől 20 mm-re, számozásuk a bal felső sarokból indul óramutató járásával ellentétes irányba haladva.



4. 2. 5. ábra. R2-R3 mérési helyen elhelyezett bélyegek sematikus rajza

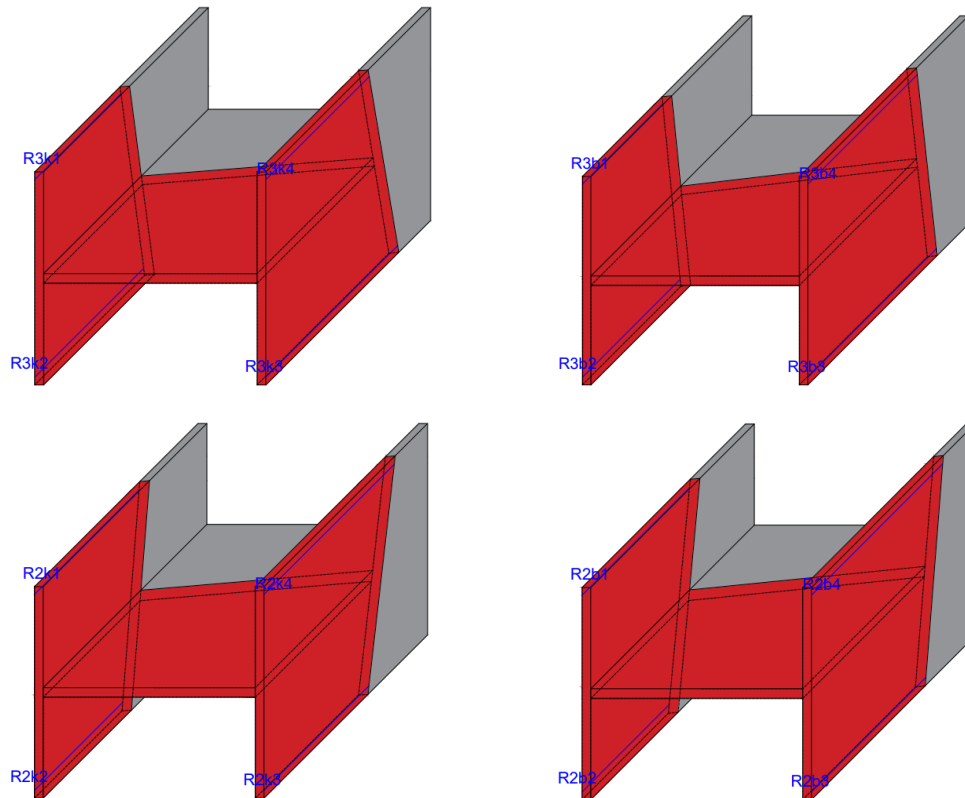
A mérési eredményeket a 4. 2. 3. – 4. 2. 4. táblázatok foglalják össze minden teherállásban, a keresztmetszeten belüli feszültségeloszlást a mértékadó 14-es teherállásban a 4. 2. 6. ábra mutatja be. A mérési eredmények alapján kijelenthető, hogy az R2, illetve R3 mérési helyen is a 14. teherállás terhei okoznak mértékadó normál feszültségeket. Ebben a teherállásban a VII. támasz melletti mezők voltak leterhelve. Megállapítható, hogy ezen rácsrudak is összetett igénybevételnek vannak kitéve, azonban egyértelműen látszik az eredményeken, hogy a nyomóigénybevétel a mértékadó. Továbbá az is jól látszik, hogy különböző teherállások esetén is jelentős igénybevételek keletkeznek a rudakon, azonban ezen teherállások különbözőek a két mérési helyen. Az R2 mérési helyen jelentős igénybevételt okoz a 7-es, illetve a 15-ös teherállás is. Ezen teherállások terhelik az R2 mérési hely feleli mezőt is. Eközben az R3 mérési helyen jelentős igénybevételek keletkeznek a 6-os és 13-as teherállás hatására is. Ezen teherállások is olyan terheket tartalmaznak, melyek a rúd felőli mezőt terhelik. Az eredményekben itt is közel azonos értékek szerepelnek mind a kifolyási, mind a befolyás oldali rudak igénybevételeit illetően. Továbbá az kijelenthető az, hogy a két rúd igénybevételei közelítően egymás tükörképei, ami igazolja a szerkezet szimmetrikus viselkedését.

4. 2. 3. táblázat. R2 Nyúlásmérési hely mérési eredményei

	R2k1	R2k2	R2k3	R2k4	R2b1	R2b2	R2b3	R2b4
1. tá (üres)	0	0	0	0	0	0	0	0
2. tá.	0,00	0,19	-0,36	-0,70	-0,14	0,20	-0,20	-0,78
3. tá.	-0,18	0,10	-0,40	-0,68	-0,32	0,06	-0,25	-0,93
4. tá.	1,40	0,12	0,07	1,51	1,38	0,16	0,34	1,23
5. tá (üres)	0	0	0	0	0	0	0	0
6. tá.	-6,48	5,38	0,80	-11,76	-6,39	5,85	0,17	-11,95
7. tá.	-32,55	-37,19	-38,49	-35,56	-33,51	-37,07	-41,08	-35,91
8. tá.	1,16	1,08	1,14	1,12	1,26	1,18	1,20	1,03
9. tá. (üres)	0	0	0	0	0	0	0	0
10. tá.	-0,26	-0,07	-0,07	-0,37	-0,25	-0,03	-0,03	-0,26
11. tá.	1,02	-0,12	0,07	1,32	1,09	0,02	0,21	1,26
12. tá. (üres)	0	0	0	0	0	0	0	0
13. tá.	-5,17	5,46	0,87	-10,24	-5,18	5,82	0,45	-10,52
14. tá.	-38,38	-32,35	-38,50	-47,77	-39,44	-31,98	-42,08	-48,16
15. tá.	-30,05	-34,48	-36,50	-33,94	-30,99	-34,42	-39,41	-34,41
16. tá. (üres)	0	0	0	0	0	0	0	0

4. 2. 4. táblázat. R3 Nyúlásmérési hely mérési eredményei

	R3k1	R3k2	R3k3	R3k4	R3b1	R3b2	R3b3	R3b4
1. tá (üres)	0	0	0	0	0	0	0	0
2. tá.	0,34	-0,06	-0,67	-0,41	0,13	-0,25	-0,97	-0,38
3. tá.	-0,58	-0,94	-1,51	-1,29	-0,77	-1,10	-1,83	-1,31
4. tá.	5,05	5,04	4,84	4,29	4,88	4,48	4,53	4,76
5. tá (üres)	0	0	0	0	0	0	0	0
6. tá.	-40,56	-37,20	-40,40	-40,99	-40,01	-34,07	-39,71	-44,17
7. tá.	4,36	-6,70	-11,41	0,69	5,36	-5,70	-11,60	0,00
8. tá.	-0,10	0,24	0,42	0,14	-0,08	0,43	0,35	0,05
9. tá. (üres)	0	0	0	0	0	0	0	0
10. tá.	-1,13	-0,91	-0,86	-0,96	-1,04	-0,93	-1,39	-1,04
11. tá.	3,88	4,08	4,21	3,86	3,90	3,80	3,76	3,93
12. tá. (üres)	0	0	0	0	0	0	0	0
13. tá.	-35,81	-32,34	-35,88	-36,77	-35,30	-29,88	-35,34	-39,33
14. tá.	-31,42	-39,71	-48,05	-37,65	-30,00	-36,51	-47,97	-40,84
15. tá.	4,72	-5,44	-10,71	-0,13	5,97	-4,74	-10,73	-0,61
16. tá. (üres)	0	0	0	0	0	0	0	0



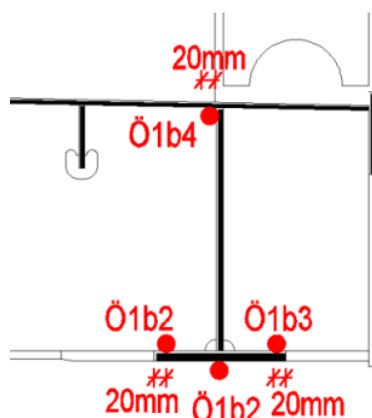
4. 2. 6. ábra. R2 és R3 mérési hely befolyás és kifolyás oldali keresztmetszeteinek feszültségeloszlása

d) Ö1 Nyúlásmérési hely

Az Ö1 nyúlásmérési hely a VII. támasz felett helyezkedik el a főtartó alsó övének, mind kifolyási, mind befolyási oldalon, az alsó öv és a rácsrudak tengelyének metszetétől 850 mm-re a VI. támasz irányába. A mérés célja, hogy a főtartó alsó övrúdjának igénybevételei meghatározásra kerüljenek. A nyúlásmérő bélyegek a 4. 2. 7. ábra szerint helyezkednek el.

- Ö1/b1,k1 az övrúd övlemez bal oldali részének tetején 20 mm-re a szélétől,
- Ö1/b2,k2 az övrúd övlemez alsó síkján közepén,
- Ö1/b3,k3 az övrúd övlemez jobb oldali részének tetején 20 mm-re a szélétől,
- Ö1/b4,k4 az övrúd gerincén a pályalemeztől 20 mm-re.

Az övrudak mindegyikén a fent említett módon helyezkednek el a nyúlásmérő bélyegek.



4. 2. 7. ábra. Ö mérési helyeken elhelyezett bélyegek sematikus rajza

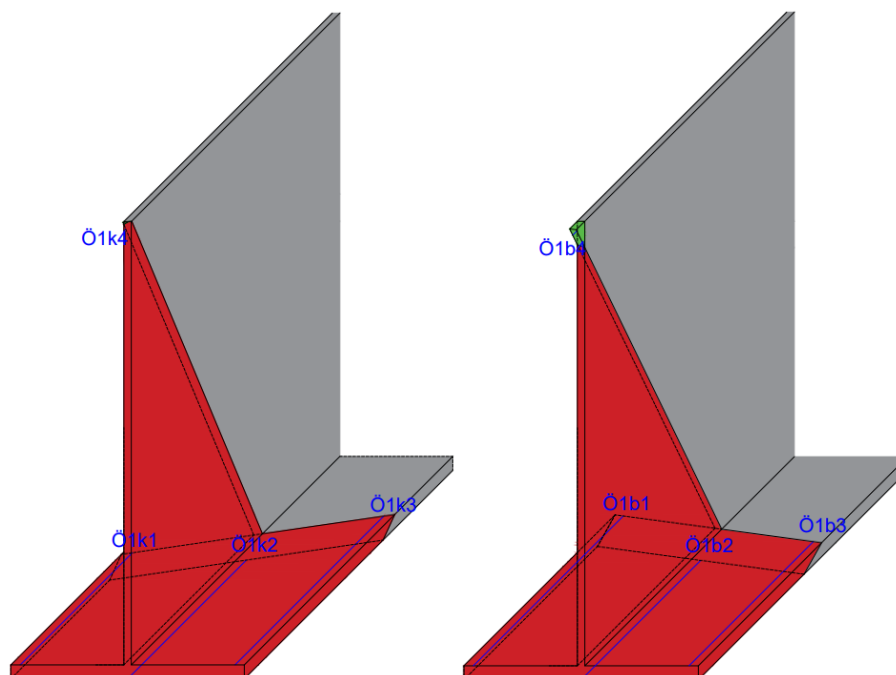
4. 2. 5. táblázat. Ö1 nyúlásmérési hely mérési eredményei

	Ö1k1	Ö1k2	Ö1k3	Ö1k4	Ö1b1	Ö1b2	Ö1b3	Ö1b4
1. tá. (üres)	0	0	0	0	0	0	0	0
2. tá.	-0,89	-1,04	-1,14	0,34	-0,87	-0,84	-0,83	0,77
3. tá.	-1,50	-1,73	-2,09	0,09	-1,99	-1,62	-1,57	0,46
4. tá.	2,96	2,80	3,28	0,01	3,22	2,85	3,35	0,04
5. tá. (üres)	0	0	0	0	0	0	0	0
6. tá.	-16,78	-17,19	-21,67	5,21	-21,58	-17,30	-18,65	6,27
7. tá.	-17,44	-20,14	-27,13	-4,45	-27,18	-20,23	-19,32	-3,70
8. tá.	0,57	0,66	0,82	0,32	1,11	0,77	0,70	0,36
9. tá. (üres)	0	0	0	0	0	0	0	0
10. tá.	-0,71	-0,64	-0,65	-0,30	-0,73	-0,72	-0,80	-0,26
11. tá.	2,65	2,62	3,18	-0,33	3,18	2,65	2,90	-0,53
12. tá. (üres)	0	0	0	0	0	0	0	0
13. tá.	-13,38	-13,94	-18,01	4,97	-18,04	-13,96	-14,79	5,94
14. tá.	-33,97	-35,98	-45,10	-0,48	-45,27	-36,10	-37,54	1,40
15. tá.	-16,23	-18,38	-24,23	-4,21	-24,34	-18,40	-17,84	-3,42
16. tá. (üres)	0	0	0	0	0	0	0	0

A mérési eredményeket minden teherállásra vonatkozóan a 4. 2. 5. táblázat foglalja össze, a mértékadó teherállás hatására a keresztmetszeten belüli feszültségeloszlást a 4. 2. 8. ábra mutatja. Ezek alapján kijelenthető, hogy az Ö1 mérési helyen a mértékadó igénybevételek a 14. teherállás terhei által keletkeznek, ekkor a szerelvény a VII. támasszal szomszédos mezőkben helyezkedik el. A feszültségekből az is jól látszik, hogy szerkezeti elem többféle igénybevételnek van kitéve. A mértékadó esetben 2 irányú hajlítás és nyomóerő terheli, amelyből a nyomóigénybevétel a domináns. Továbbá megállapítható, hogy a kifolyás, illetve

befolyás oldali övrúdak között az igénybevételek szempontjából nem keletkezik számottevő különbség.

A feszültségeken látszik, hogy az övrúd övlemezének alsó, illetve felső, valamint a 2 oldalán nagy mértékű feszültség különbségek jelentkeznek. Ez a jelenség azzal magyarázható, hogy a keresztartóknál az övlemezek lekerekítve kapcsolódnak egymáshoz. Ez a lekerekítés az övrúd külső felén a csomólemezek csatlakozása miatt szélesebb, és így a lekerekítésnél keletkező feszültségcsúcs hatással van az övrúd nyúlásmérési helyére. Ez a főtartóra vonatkozó eredményeket megzavaró jelenség kiküszöbölhető, ha a nyúlásmérési helyeket távolabb helyezzük el a támaszoktól.



4. 2. 8. ábra. Ö1 mérési hely kifolyás és befolyás oldali keresztmetszetek feszültségeloszlása

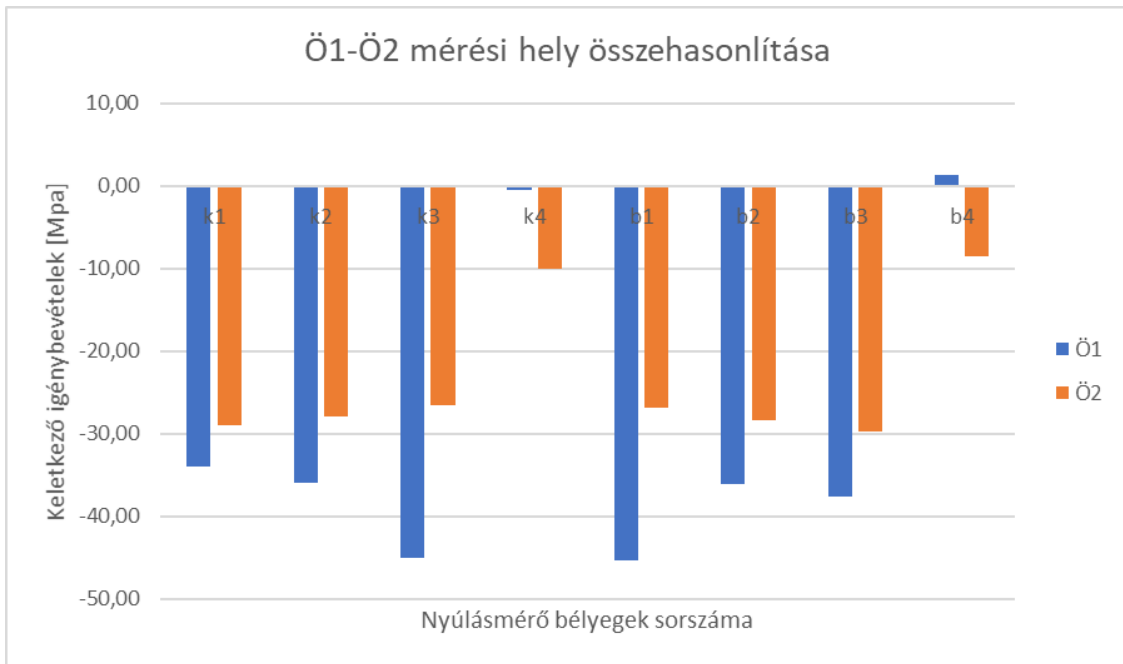
e) Ö2 Nyúlásmérési hely

Az Ö2 nyúlásmérési hely a VII. támasz feletti csomóponttól mintegy 4105 mm-re, a két szomszédos csomópont között féltávon helyezkedik el a főtartó alsó övrúdján. A mérés célja, hogy pontosabb képet kapjunk arról, hogy milyen feszültségek keletkeznek a főtartók alsó övrúdjaiban közbenső támaszok közelében. A nyúlásmérő bélyegek elhelyezkedése azonos az Ö1 mérési hellyel. A mérési eredményeket minden teherállásra vonatkozóan a 4. 2. 6. táblázat mutatja be, a mértékadó teherállásban kiértékelt eredményeket a 4. 2. 9. és a 4. 2. 10. ábrák mutatják be.

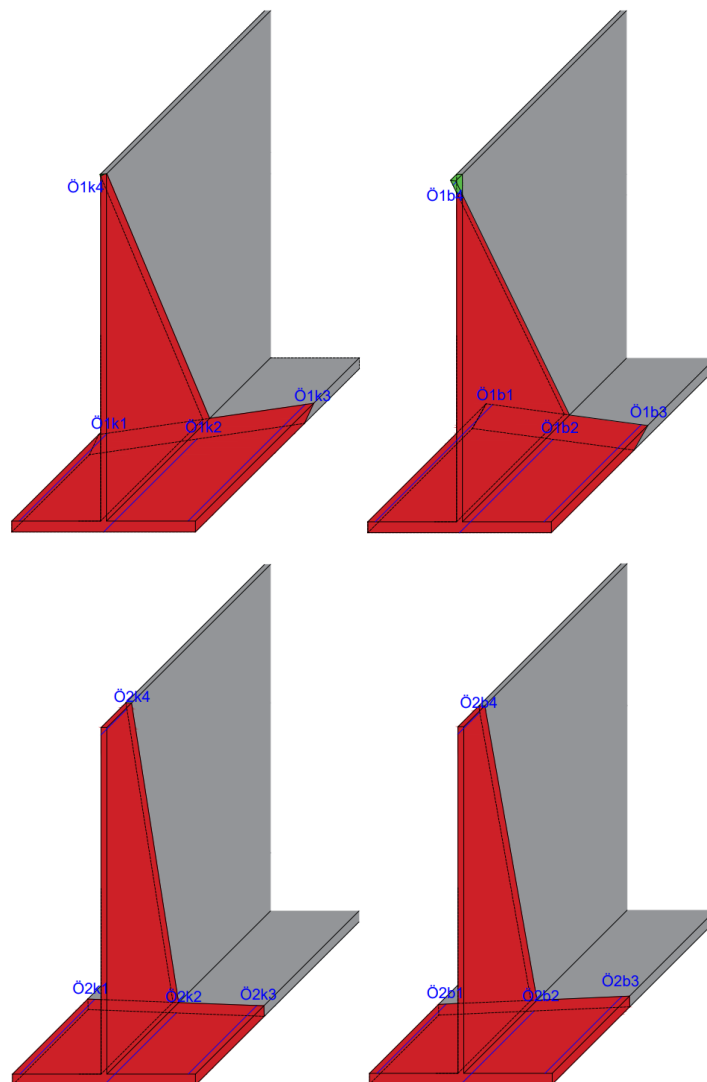
4. 2. 6. táblázat. Ö2 nyúlásmérési hely mérési eredményei

	Ö2k1	Ö2k2	Ö2k3	Ö2k4	Ö2b1	Ö2b2	Ö2b3	Ö2b4
1. tá. (üres)	0	0	0	0	0	0	0	0
2. tá.	-1,06	-1,04	-0,94	0,42	-0,92	-0,99	-1,03	0,69
3. tá.	-1,62	-1,61	-1,41	-0,06	-1,59	-1,62	-1,57	0,13
4. tá.	2,15	2,14	2,16	1,22	2,19	2,18	2,20	1,18
5. tá. (üres)	0	0	0	0	0	0	0	0
6. tá.	-13,03	-11,62	-10,07	-4,31	-10,26	-12,02	-13,65	-3,72
7. tá.	-16,74	-16,80	-16,69	-6,10	-16,85	-17,14	-17,36	-5,25
8. tá.	0,76	0,69	0,60	0,26	0,80	0,73	0,68	0,31
9. tá. (üres)	0	0	0	0	0	0	0	0
10. tá.	-0,59	-0,59	-0,60	-0,41	-0,72	-0,73	-0,70	-0,45
11. tá.	2,17	2,11	2,01	0,63	1,97	2,09	2,17	0,46
12. tá. (üres)	0	0	0	0	0	0	0	0
13. tá.	-10,58	-9,04	-7,34	-3,59	-7,38	-9,33	-11,21	-3,03
14. tá.	-28,97	-27,92	-26,55	-9,98	-26,82	-28,41	-29,78	-8,45
15. tá.	-15,28	-15,34	-15,26	-5,46	-15,22	-15,50	-15,75	-4,46
16. tá. (üres)	0	0	0	0	0	0	0	0

Az eredmények alapján ugyanúgy jellemezhető az Ö2 mérési helyen lévő keresztmetszet, mint az Ö1 helyen lévő, ez nem meglepő hiszen ugyanazon szakaszon helyezkednek el. A két mérési helyen keletkező mértékadó igénybevételeket összehasonlítva jól látszik, hogy az Ö1 mérési helyen nagyobb a hajlítói igénybevétel, míg a vele egyidejű normálerő közel azonos mindkét mérési helyen. Ennek oka, hogy az Ö2 mérési hely távolabb helyezkedik el a támasztól, a keresztartók között mezőközépen, ahol a globális hajlítás hatása dominánsabb, mint a támaszkörnyezetben.



4. 2. 9. ábra. Ö1-Ö2 mérési hely mértékadó igénybevételeinek összehasonlítása



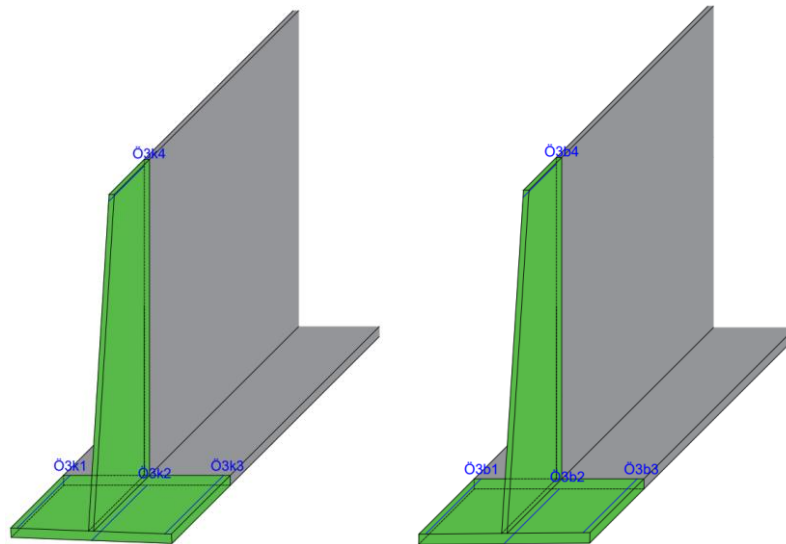
4. 2. 10. ábra. Ö1 és Ö2 mérési hely befolyás és kifolyás oldali keresztmetszeteinek feszültségeloszlása

f) Ö3 Nyúlásmérési hely

Az Ö3 nyúlásmérési hely a VI. és VII. támasz közötti mezőben helyezkedik el, két csomópont között féltávon, a főtartó alsó övrúdján. A mérés célja, hogy az övrúd igénybevételei meghatározásra kerüljenek a mezőkben. A nyúlásmérő bélyegek elhelyezkedés megegyezik az Ö1 mérési helyen lévő bélyegek helyzetével, mérési eredményeit minden teherállásra vonatkozóan a 4. 2. 7. táblázat foglalja össze. Az eredmények alapján kijelenthető, hogy az Ö3 mérési helyen a mértékadó igénybevétel a 6. teherállás terheinek hatására keletkezik, amikor a szerelvény VI. és VII. támaszok között helyezkedik el. A 4. 2. 11. ábrán ábrázolt feszültségeloszlásból látszik, hogy az övrúd dominánsan húzóigénybevételnek van kitéve. Ebből az a következtetés vonható le, hogy maga a hídszerkezet függőleges hajlításra van igénybevéve. Továbbá itt is megállapítható, hogy a kifolyás, illetve befolyás oldali övrúd értékei között nincs számottevő különbség a szimmetrikus terhelés hatására.

4. 2. 7. táblázat. Ö3 Nyúlásmérési hely mérési eredményei

	Ö3b1	Ö3b2	Ö3b3	Ö3b4	Ö3k1	Ö3k2	Ö3k3	Ö3k4
1. tá (üres)	0	0	0	0	0	0	0	0
2. tá.	-1,43	-1,43	-1,44	1,59	-1,37	-1,32	-1,36	1,04
3. tá.	-0,36	-0,29	-0,29	1,84	-0,17	-0,18	-0,23	1,38
4. tá.	-6,68	-6,89	-7,07	-3,67	-7,11	-7,06	-7,20	-4,28
5. tá (üres)	0	0	0	0	0	0	0	0
6. tá.	23,09	22,86	22,50	13,85	22,54	23,46	24,90	15,07
7. tá.	-4,36	-4,45	-4,61	-3,27	-4,81	-4,83	-4,62	-3,45
8. tá.	0,41	0,44	0,32	0,12	0,37	0,24	0,30	0,26
9. tá. (üres)	0	0	0	0	0	0	0	0
10. tá.	0,83	0,90	0,90	0,45	0,90	0,89	0,88	0,55
11. tá.	-5,05	-5,17	-5,31	-4,01	-5,50	-5,37	-5,42	-4,20
12. tá. (üres)	0	0	0	0	0	0	0	0
13. tá.	17,76	17,08	16,31	9,52	16,21	17,46	19,01	10,46
14. tá.	17,51	17,23	16,85	10,15	16,62	17,49	18,72	11,03
15. tá.	-3,76	-3,92	-3,98	-2,82	-4,25	-4,14	-4,09	-3,05
16. tá. (üres)	0	0	0	0	0	0	0	0



4. 2. 11. ábra. Ö3 mérési hely kifolyás és befolyás oldali keresztmetszetek feszültségeloszlása

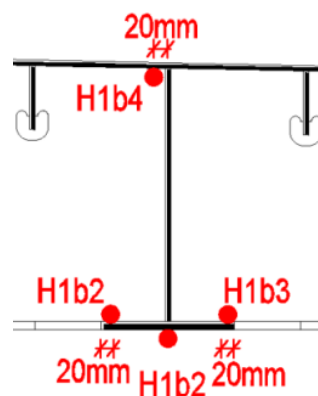
4. 3. Hossztartó

a) H1 Nyúlásmérési hely

Az H1 nyúlásmérési hely a VII. támasz felett helyezkedik el a hossztartókon, mind kifolyási, mind befolyási oldalon, az alsó öv és a rácsrudak tengelyének metszetétől 850 mm-re a VI. támasz irányába. A mérés célja, hogy pontosabb képet kapjunk a hossztartók feszültségeloszlásairól, illetve a főtartó és a pályaszerkezet együttdolgozásáról. A nyúlásmérő bélyegek a 4. 3. 1. ábra szerint helyezkedtek el.

- H1/b1,k1 a hossztartó övlemez bal oldali részének tetején 20 mm-re a lemez szélétől,
- H1/b2,k2 a hossztartó övlemez alsó síkján közén,
- H1/b3,k3 a hossztartó övlemez jobb oldali részének tetején 20 mm-re a lemez szélétől,
- H1/b4,k4 a hossztartó gerincén a pályalemeztől 20 mm-re.

A fentiekben leírtak szerint helyezkednek a nyúlásmérő bélyegek a további hossztartó nyúlásmérő helyeken is.

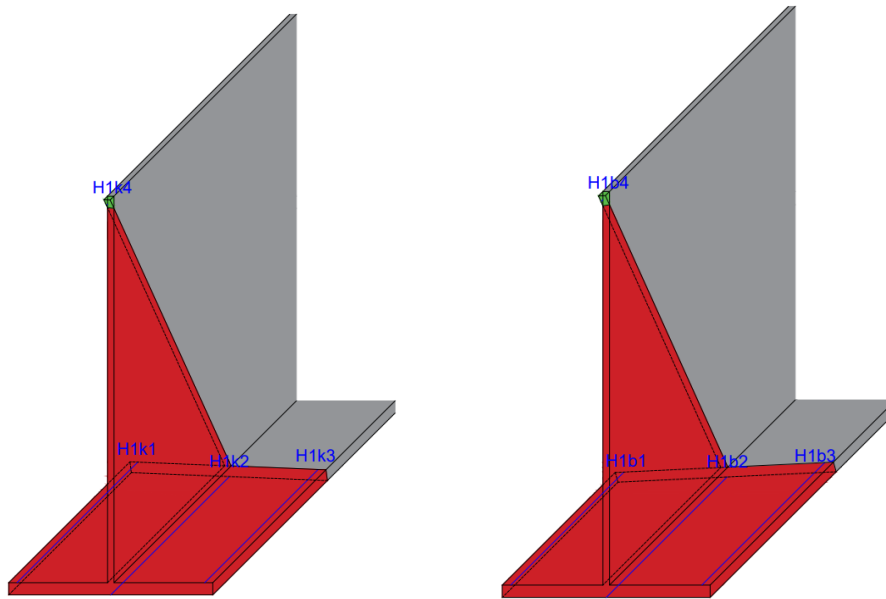


4. 3. 1. ábra. H1 mérési helyeken elhelyezett bélyegek sematikus rajza

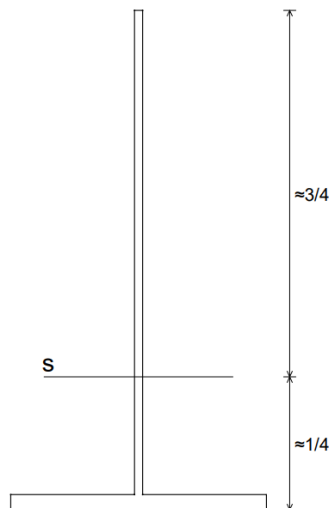
A nyúlásmérési eredményeket a 4. 3. 1. táblázat mutatja be, melyek alapján megállapítottam, hogy a hossztartó mértékadó igénybevétele a H1 mérési helyen a 14. teherállás terheinek hatására keletkezik, amikor a szerelvény a VII. támasszal szomszédos mezőkben helyezkedik el. A 4. 3. 2. ábrán ábrázolt keresztmetszeti feszültségeloszlásból az is jól látható, hogy szerkezeti elem többféle igénybevételnek van kitéve. A mértékadó esetben 2 irányú hajlítás és nyomóerő terheli, amelyből a nyomóigénybevétel a domináns, viszont az erős tengely körül hajlításból is számottevő feszültségek keletkeznek. A 4. 3. 3. ábrán látszik, hogy a keresztmetszet súlyvonala közelítőleg 1/4;3/4 arányban helyezkedik el. Ez alapján belátható, hogy a 4. 3. 2. ábrán ábrázolt feszültségeloszlás közelítőleg olyan esetben jöhet létre, amikor a szerkezeti elemet olyan tiszta nyomás terheli, amely 30 MPa feszültséget ébreszt, illetve olyan tiszta hajlítás, ami a felsőszálban 30 MPa húzófeszültséget, az alsó szálban 10 MPa nyomófeszültséget ébreszt. Érdekes még megjegyezni, hogy a hossztartóban és a főtartó alsó övében ugyanolyan feszültség eloszlás tapasztalható, ez arra enged következtetni, hogy e két szerkezeti elem azonos mértékben vesz részt a teherviselésben.

4. 3. 1. táblázat. H1 nyúlásmérési hely mérési eredményei

	H1k1	H1k2	H1k3	H1k4	H1b1	H1b2	H1b3	H1b4
1. tá (üres)	0	0	0	0	0	0	0	0
2. tá.	-1,25	-1,18	-1,20	-1,28	-0,93	-1,02	-1,09	0,01
3. tá.	-1,83	-1,78	-1,75	-1,25	-1,51	-1,63	-1,66	-0,11
4. tá.	2,82	2,73	2,58	0,17	2,61	2,79	2,84	0,72
5. tá (üres)	0	0	0	0	0	0	0	0
6. tá.	-20,02	-21,53	-22,58	0,65	-21,84	-21,56	-19,92	0,02
7. tá.	-23,08	-21,61	-19,64	0,56	-19,56	-21,90	-23,00	-1,23
8. tá.	0,83	0,76	0,62	0,45	0,77	0,75	0,71	-2,94
9. tá. (üres)	0	0	0	0	0	0	0	0
10. tá.	-0,80	-0,76	-0,97	-0,34	-0,63	-0,68	-0,66	-0,42
11. tá.	2,66	2,59	2,26	0,30	2,48	2,66	2,72	0,33
12. tá. (üres)	0	0	0	0	0	0	0	0
13. tá.	-16,18	-18,28	-20,20	0,48	-19,34	-18,58	-16,64	0,44
14. tá.	-41,88	-41,10	-39,35	0,36	-38,55	-41,13	-41,82	0,64
15. tá.	-21,31	-19,79	-17,42	0,17	-17,96	-20,17	-21,35	0,94
16. tá. (üres)	0	0	0	0	0	0	0	0



4. 3. 2. ábra. H1 mérési hely kifolyás és befolyás oldali keresztmetszetek feszültségeloszlása



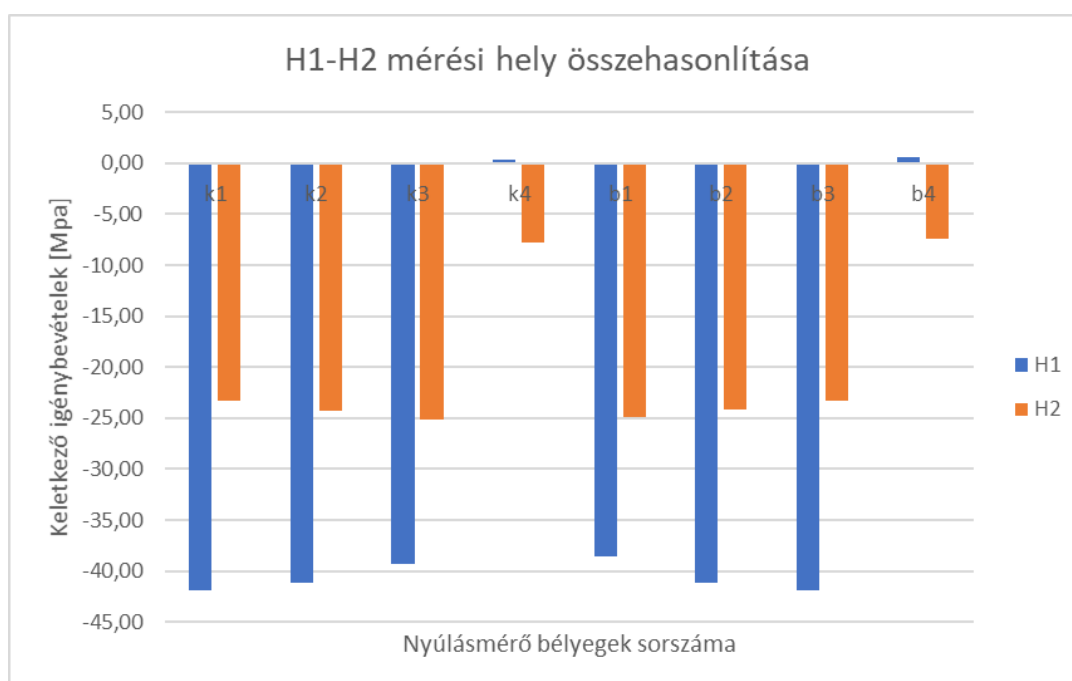
4. 3. 3. ábra. Hossztartó keresztmetszet súlyvonalának helye

b) H2 Nyúlásmérési hely

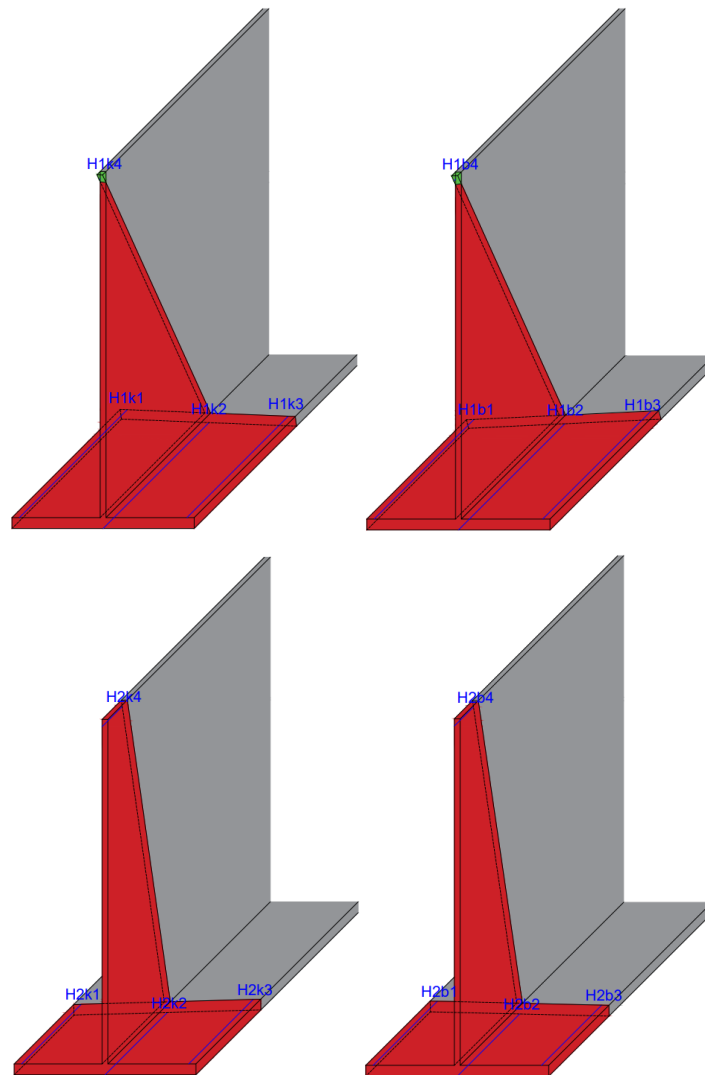
Az H2 nyúlásmérési hely a VII. támasz feletti csomóponttól mintegy 4105 mm-re, a két szomszédos csomópont között féltávon helyezkedik el a hossztartón. A nyúlásmérő bélyegek elhelyezkedése megegyezik az H1 mérési helyen elhelyezett bélyegek helyzetével. A feszültségeket a 4. 3. 2. táblázat foglalja össze minden teherállásra vonatkozóan, a 4. 3. 2. a H1, illetve a H2-ben keletkező mértékadó feszültségek eloszlását mutatja a keresztmetszeten belül. Az eredményeken jól látszik, hogy a H1, illetve a H2 mérési hely között a viselkedésben nincsen lényeges eltérés, így a két mérési hely hasonlóképpen jellemezhető. Itt is igaz, hogy a kifolyás, illetve befolyás oldali hossztartó feszültség értékei között nincs számottevő különbség szimmetrikus terhek hatására.

4. 3. 2. táblázat. H2 nyúlásmérési hely mérési eredményei

	H2k1	H2k2	H2k3	H2k4	H2b1	H2b2	H2b3	H2b4
1. tá. (üres)	0	0	0	0	0	0	0	0
2. tá.	-1,15	-1,14	-1,23	-0,73	-1,02	-0,97	-0,91	-0,40
3. tá.	-1,50	-1,55	-1,67	-0,85	-1,45	-1,42	-1,36	-0,55
4. tá.	1,69	1,79	1,83	0,47	1,86	1,76	1,72	0,51
5. tá. (üres)	0	0	0	0	0	0	0	0
6. tá.	-3,17	-3,14	-3,35	-5,54	-3,47	-3,55	-3,45	-5,00
7. tá.	-16,10	-16,86	-17,56	-3,91	-17,24	-16,57	-16,02	-3,70
8. tá.	0,64	0,69	0,71	0,28	0,70	0,66	0,65	0,28
9. tá. (üres)	0	0	0	0	0	0	0	0
10. tá.	-0,63	-0,64	-0,64	-0,34	-0,46	-0,43	-0,42	-0,13
11. tá.	1,68	1,78	1,86	0,50	1,96	1,89	1,84	0,66
12. tá. (üres)	0	0	0	0	0	0	0	0
13. tá.	0,62	1,08	1,23	-5,82	0,92	0,89	0,84	-5,51
14. tá.	-23,26	-24,28	-25,16	-7,82	-24,84	-24,14	-23,33	-7,41
15. tá.	-14,82	-15,57	-16,22	-3,33	-16,13	-15,50	-15,06	-3,37
16. tá. (üres)	0	0	0	0	0	0	0	0



4. 3. 3. ábra. H1-H2 mérési hely mértékadó feszültségváltozásainak összehasonlítása



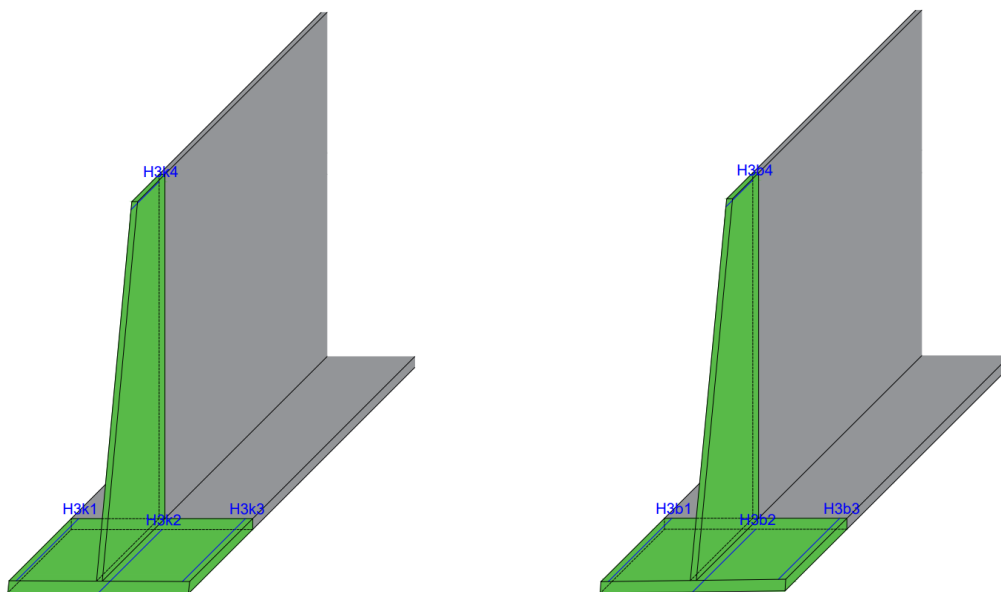
4. 3. 4. ábra. H1 és H2 mérési hely befolyás és kifolyás oldali keresztmetszeteinek feszültségeloszlása

c) H3 Nyúlásmérési hely

Az H3 nyúlásmérési hely a VI. és VII. támasz közötti mezőben helyezkedik el, két csomópont között féltávon, a hossztartókon. A mérés célja, hogy pontosabb képet kapjunk a hosszrúd igénybevételéről, illetve a főtartóval való együttműködéséről a mezőben. A nyúlásmérő bélyegek elhelyezkedése megegyezik a H1 mérési helyen lévő bélyegek helyzetével. A mérési eredményeket minden teherállásra vonatkozóan a 4. 3. 3. táblázat mutatja be. A mértékadó teherállásban a feszültségeloszlás jellegét a 4. 3. 4. ábra mutatja be. Az eredmények alapján kijelenthető, hogy a H3 mérési helyen a mértékadó igénybevétel a 6. teherállás terheinek hatására keletkezik, amikor a szerelvény a VI. és VII. támaszok között helyezkedik el. Továbbá egyértelműen látszik, hogy a szerkezet ebben a teherállásban domináns húzóerőnek és függőleges síkú hajlításnak van kitéve; a hossztartókban kizárólag húzófeszültségek keletkeznek.

4. 3. 3. táblázat. H3 nyúlásmérési hely mérési eredményei

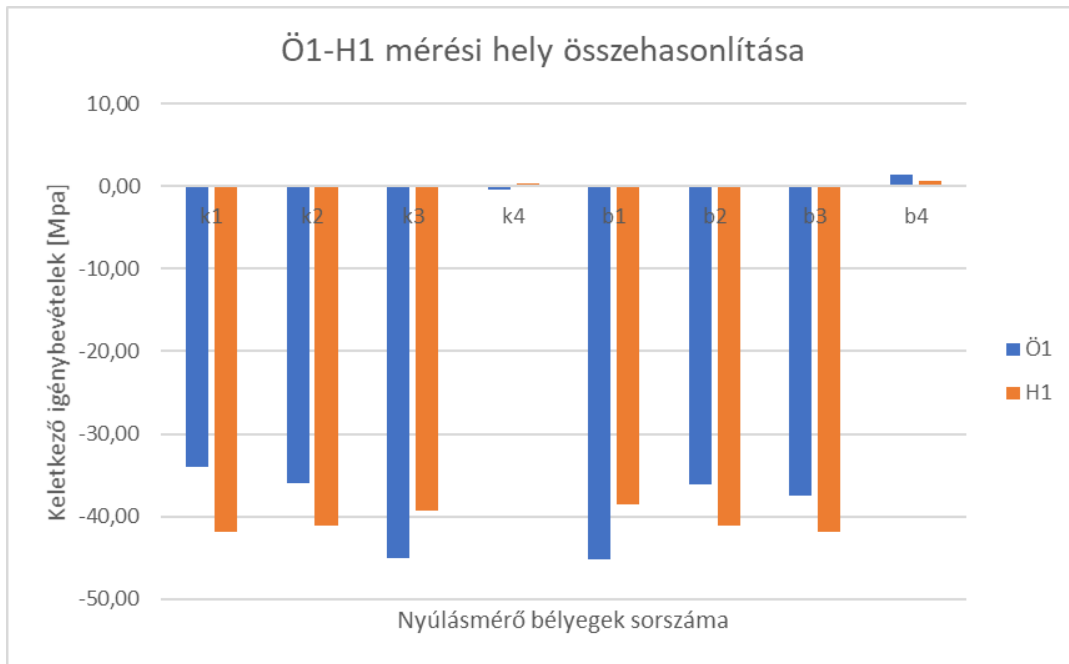
	H3b1	H3b2	H3b3	H3b4	H3k1	H3k2	H3k3	H3k4
1. tá. (üres)	0	0	0	0	0	0	0	0
2. tá.	-1,45	-1,43	-1,54	-0,72	-1,65	-1,61	-1,57	-0,75
3. tá.	-0,27	-0,25	-0,39	0,06	-0,45	-0,40	-0,35	0,02
4. tá.	-6,91	-6,88	-6,89	-4,26	-6,99	-7,01	-6,97	-4,44
5. tá. (üres)	0	0	0	0	0	0	0	0
6. tá.	24,66	24,46	23,76	10,42	24,29	24,96	24,57	10,95
7. tá.	-4,61	-4,89	-4,48	-2,96	-4,51	-4,41	-4,57	-3,14
8. tá.	0,34	0,21	0,32	0,22	0,36	0,52	0,33	0,22
9. tá. (üres)	0	0	0	0	0	0	0	0
10. tá.	0,83	0,85	0,82	0,44	0,84	0,82	0,82	0,43
11. tá.	-5,30	-5,26	-5,17	-3,42	-5,23	-5,30	-5,27	-3,60
12. tá. (üres)	0	0	0	0	0	0	0	0
13. tá.	21,79	21,78	20,99	5,65	20,98	21,22	21,12	6,12
14. tá.	16,74	16,50	15,98	8,13	15,95	16,00	16,47	8,50
15. tá.	-3,96	-4,00	-3,91	-2,45	-3,98	-4,13	-4,00	-2,59
16. tá. (üres)	0	0	0	0	0	0	0	0



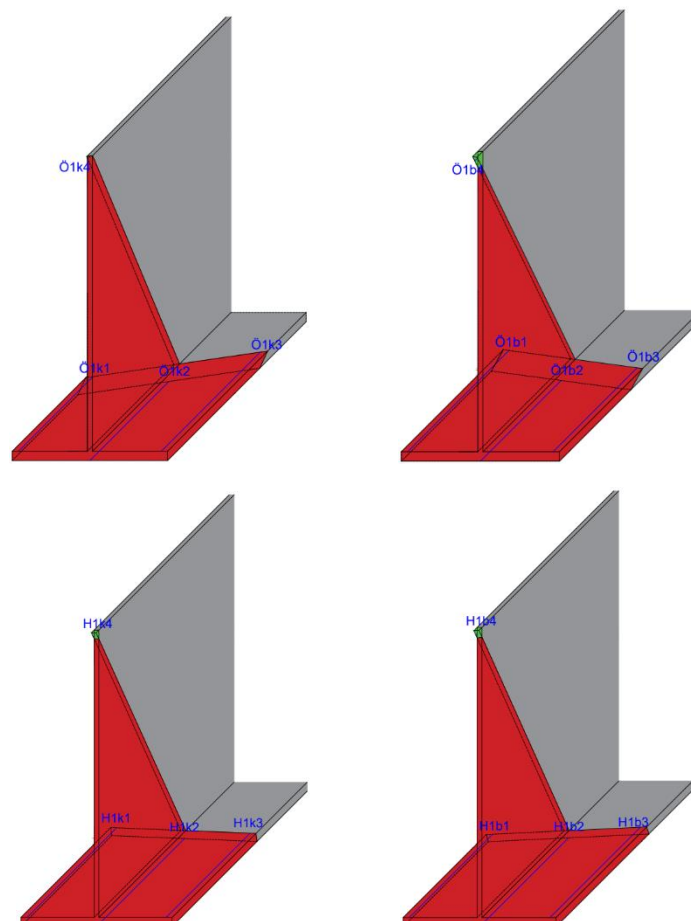
4. 3. 4. ábra. H3 mérési hely kifolyás és befolyás oldali keresztmetszetek feszültségeloszlása

4. 4. Az övrudak és a hossztartók összehasonlítása

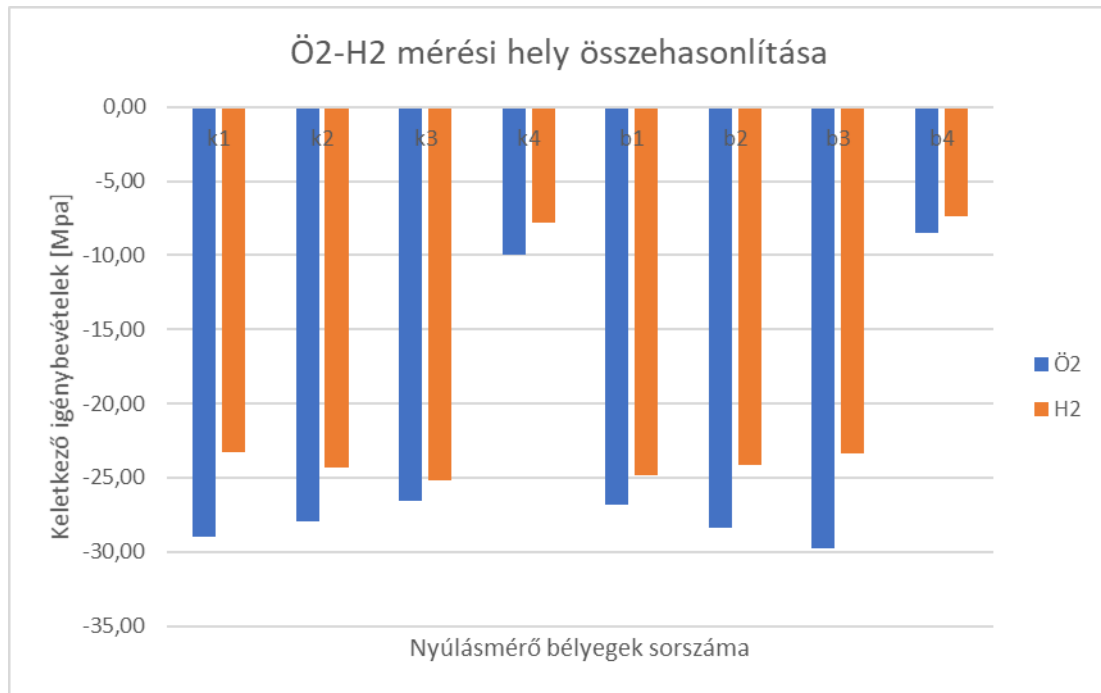
Ebben a fejezetben a hossztartók és az alsó övrúd mérési eredményeinek összehasonlítását mutatom be. A grafikonok a bélyegekben keletkező feszültségek értékeit, míg az ábrák a mértékadó feszültségek eloszlását ábrázolják a keresztmetszetben. Az Ö1-H1; az Ö2-H2 és az Ö3-H3 mérőhelyek összehasonlítását rendre a 4. 4. 1. – 4. 4. 6. ábrák mutatják be.



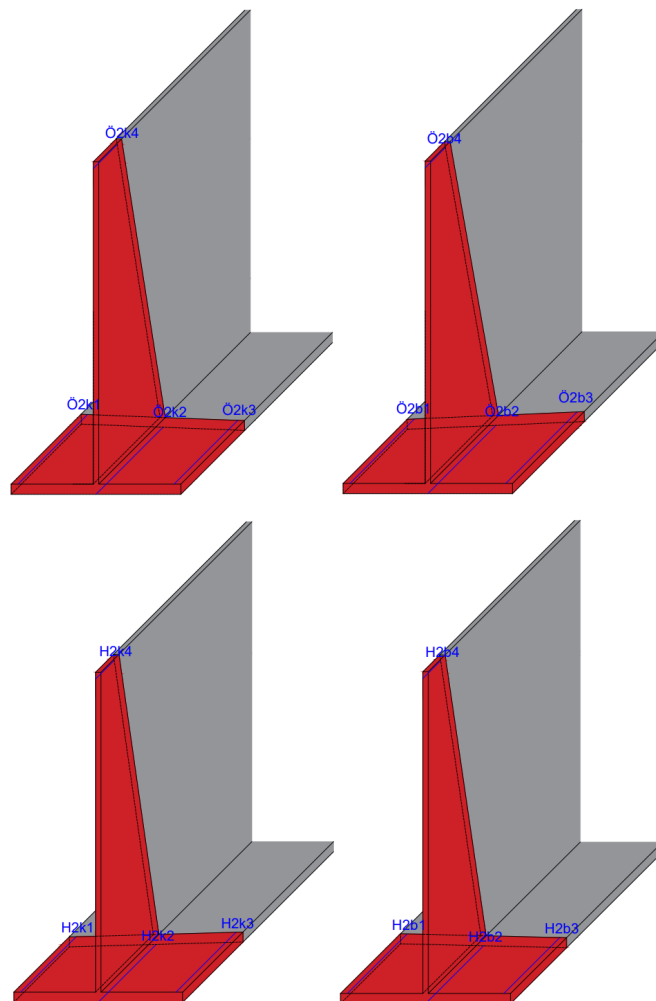
4. 4. 1. ábra. Ö1-H1 mérési hely mértékadó igénybevételeinek összehasonlítása



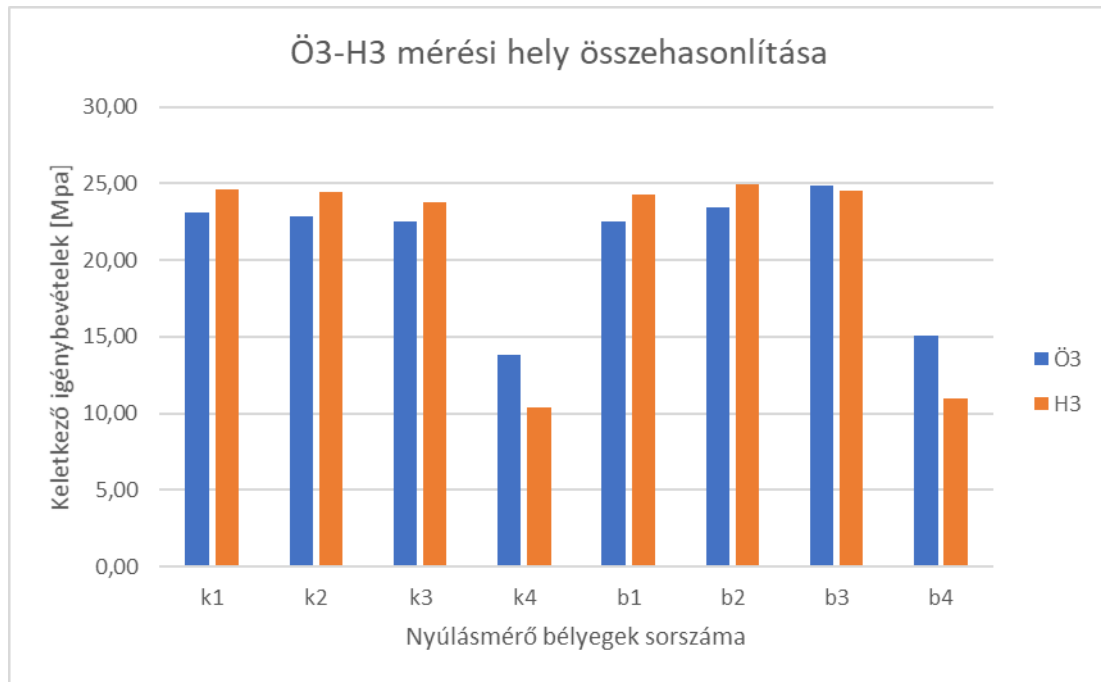
4. 4. 2. ábra. Ö1 H1 mérési hely befolyás és kifolyás oldali keresztmetszeteinek feszültségeloszlása



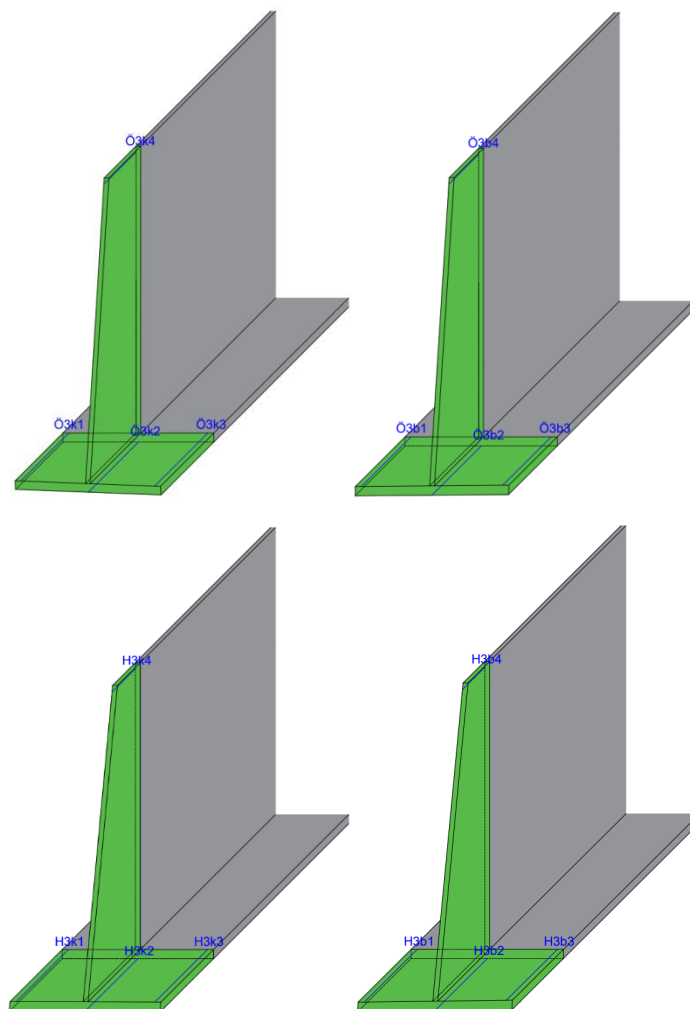
4. 4. 3. ábra. Ö2-H2 mérési hely mértékadó igénybevételeinek összehasonlítása



4. 4. 4. ábra. Ö2 H2 mérési hely befolyás és kifolyás oldali keresztmetszeteinek feszültségeloszlása



4. 4. 5. ábra. Ö3-H3 mérési hely mértékadó igénybevételeinek összehasonlítása



4. 4. 6. ábra. Ö3 H3 mérési hely befolyás és kifolyás oldali keresztmetszeteinek feszültségeloszlása

Az eredményeket összehasonlítva megállapítható, hogy a hossztartókban és az övrudakban keletkező feszültségek mind tendenciájukban, mint értékeiben jó egyezést mutat. Ez némiképp meglepő, mivel a hossztartók a vonatteher hatására közvetlen terhelést kapnak, míg az alsó övrúd közvetett módon, globális hatásból származó igénybevétellel van terhelve. A két szerkezeti elem azonos viselkedésének oka az, hogy a keresztartók tartórácsként nagyon erős együttműködést biztosítanak a pályaszerkezetnek, így a hosszartók és az alsó övrúd együtt a pályalemezzel alkotja a rácsos főtartó alsó övét, a közvetlen terhelést pedig a hosszartóval együtt az alsó övrúd is viseli. A grafikonok alapján az is jól látható, hogy a feszültségek a hídszerkezet tengelyére nézve szimmetrikusak, ami a szerkezet (adott esetben a pályaszerkezet) szimmetrikus viselkedését igazolja.

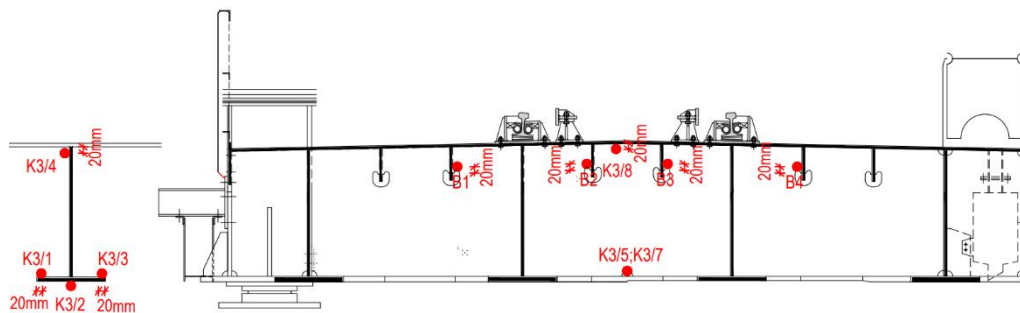
5. Konklúzió, javaslattétel mérőhelyek módosítására

A próbaterhelési eredmények kiértékelése során minden egyes keresztmetszetre megállapítottam és kiértékeltem a mértékadó feszültségeket, illetve azt is, hogy ezen feszültségek melyik teherállás hatására alakultak ki. A kiértékelések során a mértékadó feszültségeloszlásokból következtetéseket vontam le a hídszerkezet, illetve az adott szerkezeti elem működésével kapcsolatban. Azon szerkezeti elemek esetében, ahol több hasonló, vagy ugyanolyan szerkezeti elem feszültségei meghatározásra kerültek, ott ezen értékeket összehasonlítottam és következtetéseket vontam le belőlük. Ezen következtetések eredménye, hogy meglátásom szerint a B1 jelű hídszerkezet próbaterhelési tervében szerepelnek olyan mérési helyek, amelyeknek a vizsgálata a soron következő próbaterhelés során nem szükséges, így több információt adhat az ott elhelyezett nyúlásmérő bélyegek más keresztmetszetben való felhasználása.

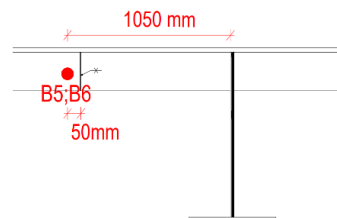
A mérőhelyek elrendezésének módosítására a javaslataim a következők:

- **K3 keresztartó mérése:** A mérési eredmények alapján megállapítható, hogy a szerkezeti elem közel csuklós megtámasztási viszonyoknak megfelelően működik, ennek értelmében belátható, hogy az igénybevételek a keresztartó közepén lesznek a legnagyobbak (amit a mérési eredmények is igazolnak). Várhatóan a következő próbaterhelés során is hasonlóképpen fog működni a szerkezeti elem, ezért a mértékadó feszültségek szempontjából elegendő csupán a keresztartó középső keresztmetszetét vizsgálni. Emiatt a felszabaduló nyúlásmérő bélyegek áthelyezhetők oly módon, hogy a keresztartón a feszültségkoncentráció, és így a fáradás szempontjából kritikus pontok mérhetőek legyenek. A keresztartó és a

hosszborda bekötés szempontjából kritikus a két szerkezeti elem összekötő hegesztési varrat, illetve a kereszttartó illesztésének keresztirányú varratai, melyek mérése fontos lehet a próbaterhelés során. Így az eredeti K3/1,2 jelű nyúlásmérő bélyegek áthelyezhetők a kereszttartók gerinclemezére, a hosszbordákat a kereszttartóba bekötő hegesztési varratok környezetébe. Ezen helyen a kereszttartó gerinclemezén a fáradásvizsgálatot a normál feszültség és nyírófeszültség interakciójára kell elvégezni, ennek megfelelően az 5. 1. ábrán bemutatott 4 hosszborða hegesztési varrata mellé rozetta nyúlásmérő bélyegeket lenne célszerű elhelyezni. Továbbá az 5. 2. ábra szerint a bal oldali hossztartó melletti merevítőbordákon, az illesztési varratok környezetébe 1-1 nyúlásmérő bélyeg elhelyezése is célszerű lenne. A kereszttartó közbenső keresztmetszetében az eredeti nyúlásmérő bélyegek azonos pozícióban maradnak.

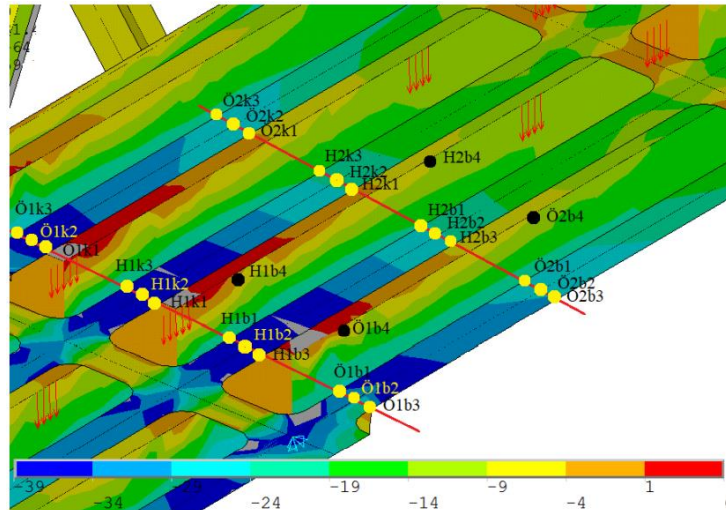


5. 1. ábra. K3 kereszttartó, áthelyezett nyúlásmérő bélyegek sematikus rajza



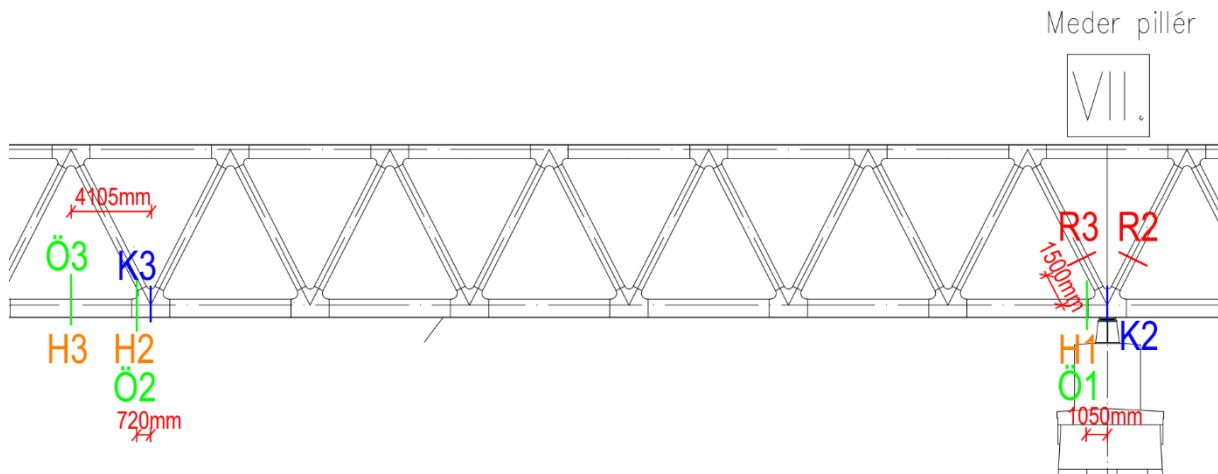
5. 2. ábra. K3 kereszttartóról a merevítőbordákra áthelyezett nyúlásmérő bélyegek sematikus rajza

- **Ö1 alsó övrúd és H1 hossztartó mérése:** A feszültségi eredmények alapján megállapítottam, hogy a hossztartókban közel azonos feszültségek keletkeznek, mint a rácsos főtartó alsó övrúdjaiban. Továbbá az eredményekből, valamint a 5. 3. ábrán látottak alapján megállapítható, hogy az Ö1 nyúlásmérési hely egy zavart feszültség eloszlási képet mutat annak okán, hogy túl közel helyezkedik el az övlemez lekerekítésekhez. Tehát az 1-es nyúlásmérési helyen javaslom az Ö1, H1 nyúlásmérési helyek támasztól való távolságának növelését 850 mm-ről 1050 mm-re – 5. 3. ábra –, így várhatóan a feszültségeloszlásban kisebb mértékben fog jelentkezni a lekerekítés hatása.



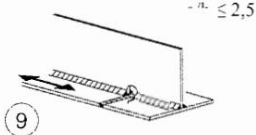
5. 3. ábra. K2 kereszttartó és környezetének feszültség eloszlása számítási modell alapján

- **Ö2-es nyúlásmérési hely:** A mérési eredmények alapján kijelenthető, hogy ezen nyúlásmérési hely a szerkezet viselkedésével kapcsolatban nem szolgál új információval. Emiatt javaslom ezen nyúlásmérési hely áthelyezését egy olyan keresztmetszetbe, ahol a pályaszerkezeten keresztirányú illesztés helyezkedik el, mint például a K3 mérési helynél elhelyezkedő csomóponttól 720 mm-re. Az Ö2 nyúlásmérési hely javasolt pozíciója az 5. 4. ábrán látható.

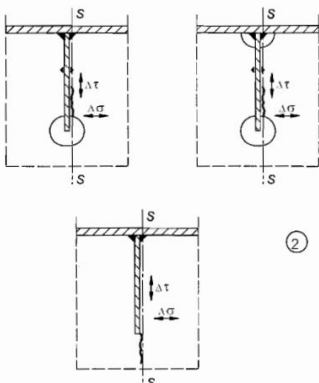


5. 4. ábra. Áthelyezett 1-es és 2-es nyúlásmérési hely sematikus rajza

A kereszttartó, illetve a hossztartó illesztéseihez áthelyezett nyúlásmérő bélyegek segítségével lehetőség adódik a következő próbaterhelés során igazolni az 5. 5. és 5. 6. ábrákon bemutatott, kritikusként vélt hegesztési varratok megfelelőségét.

71		<p>9) Longitudinal butt weld, fillet weld or intermittent weld with a cope hole height not greater than 60 mm. For cope holes with a height > 60 mm see detail 1) in Table 8.4</p>	<p>9) $\Delta\sigma$ based on direct stress in flange.</p>
----	---	---	---

5. 5. ábra. Részletosztály (MSZ EN 1993-1-9 8.2. táblázat)

56		<p>2) Connection of continuous longitudinal stringer to cross girder.</p> $\Delta\sigma = \frac{\Delta M_s}{W_{net,s}}$ $\Delta\tau = \frac{\Delta V_s}{A_{w,net,s}}$ <p>Check also stress range between stringers as defined in EN 1993-2.</p>	<p>2) Assessment based on combining the shear stress range $\Delta\tau$ and direct stress range $\Delta\sigma$ in the web of the cross girder, as an equivalent stress range:</p> $\Delta\sigma_{eq} = \frac{1}{2} \left(\Delta\sigma + \sqrt{\Delta\sigma^2 + 4\Delta\tau^2} \right)$
----	---	---	---

5. 6. ábra. Részletosztály (MSZ EN 1993-1-9 8.5. táblázat)

6. Irodalomjegyzék

Domanovszky S., Koller I., Kozma K., Tóth E., Träger H. (2009): Duna-hídjaink, Közlekedésfejlesztési Koordinációs Központ, 82–83.

Dunai L., Kövesdi B., Vigh L., Jáger B., Kachichian M. (2021): Déli Összekötő Vasúti Duna - híd próbaterhelése I. ütem – B1 jelű híd. BME Hidak és Szerkezetek Tanszék.

Horváth F., Kiss J., Koronkai J., Kovács P., Lada I., Legeza I., Muhari Z. (2006): Vasúti hidak a Budapesti Igazgatóság területén, Vasúti Hidak Alapítvány, 54–59.

Duma G., Gyurity M. (2018): A Déli összekötő vasúti Duna-híd (3. rész) – A felszerkezet tervezése. <http://www.sinekvilaga.hu/a-deli-osszekoto-vasuti-duna-hid-3-resz-a-felszerkezet-tervezese?index=1>.

Iványi M. (1988): Hidépítéstan Acélszerkezetek, Műegyetemi Kiadó, 22–38.

Kölber E. (1917): A Budapesti Összekötő Vasúti Duna-híd átépítése', Magyar Mérnök- és Építész Egylet Közlönye.