

Bailey és Warren rácsos gerendák viselkedéselemzése 30 m-es nyílású gyaloghíd esetén

Behaviour analysis of Bailey and Warren lattice girders for a pedestrian walkway with 30m opening

SIMON Blanka-Zsófia¹, SÁRA András²

¹simonblankazsofia@yahoo.com, ²saraandrei2703@gmail.com

Kolozsvári Műszaki Egyetem, Építőipari Kar

Vezető tanára: S.L. Dr. Ing. DANCIU Alexandra Denisa

Kivonat:

A dolgozat két különböző típusú rácsos szerkezetű gyaloghíd összehasonlítását tartalmazza. A tanulmányozott Warren, illetve Bailey struktúrák geometriai felépítése megegyezik: nyílás 30 m, szélesség 2,8 m, valamint magasság 1,5 m. A szerkezeti elemzés, valamint számítás a SAP2000 számítási programmal lett elvégezve. A terhelések továbbá ezek kombinációjának megállapítására a SR EN 1991-2-2004 szabványt alkalmaztuk. A kapott eredményeket követően elvégeztük a fellépő feszültségek mennyiségi összehasonlítását. Ezen elemzések után a Bailey-típusú szerkezetek kivitelezési technológiáját és az építőiparban betöltött jelentőségét ismertetjük mindemellett a két struktúra célszerű alkalmazását is tárgyaljuk.

Kulcsszavak: Rácsos gerenda, moduláris, elemzés, struktúra, SAP2000

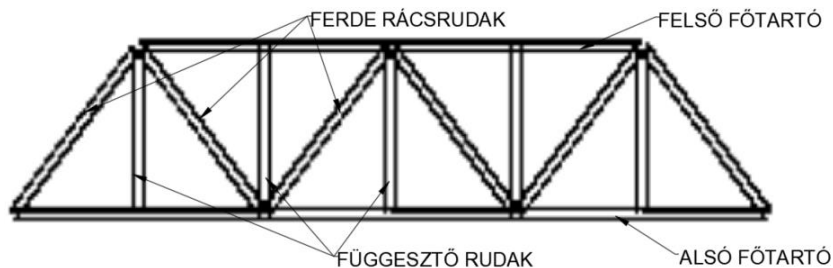
1. BEVEZETÉS

A rácsszerkezetű gerendák nagy merevségű és jó viselkedésű szerkezetek különböző terhelések alatt, költséghatékonyak és jó választásnak bizonyulnak különböző konstrukciókhoz. A Warren szerkezetek a világ minden részén közepes és nagy nyílású hidak és különböző szerkezeti rendszerek alapját képezik. A szerkezet tervét James Warren és Willoughby Theobald Monzani mérnökök 1848-ban szabadalmaztatták [1]. Az első híd, amely a Warren-konfigurációt alkalmazta, a New York-i Manhattan-híd. Ezeket a szerkezeteket általában 20 és 100 m közötti nagy nyílásoknál használják [2]. A szerkezet két főtartóból áll, amelyeket egyenlő oldalú háromszög alakú ferde rácsrudak kötnek össze. A jobb merevítés érdekében függőleges elemeket, úgynevezett függesztő rudakat használnak (1. ábra). A Warren-rácsos gerenda egyik fő előnye, hogy képes a terheket egyenletesen elosztani az elemeiben, ez abban az esetben érvényes, ha a hídra egyenletesen elosztott terhek hatnak. Koncentrált terhelés esetén a szerkezet kedvezőtlenül viselkedik. A szerkezeti kialakítás és a szerkezet elemeinek rögzített csomópontjai miatt csak húzó- és nyomófeszültségek lépnek fel, a hajlító igénybevétel figyelmen kívül hagyásával [3]. A Warren-féle rácsos gerendákat gyakran használják vasúti híd-infrastruktúra építéséhez. Repülőtéri hangárok és repülőgép-szárnyak építésénél is alkalmazzák.

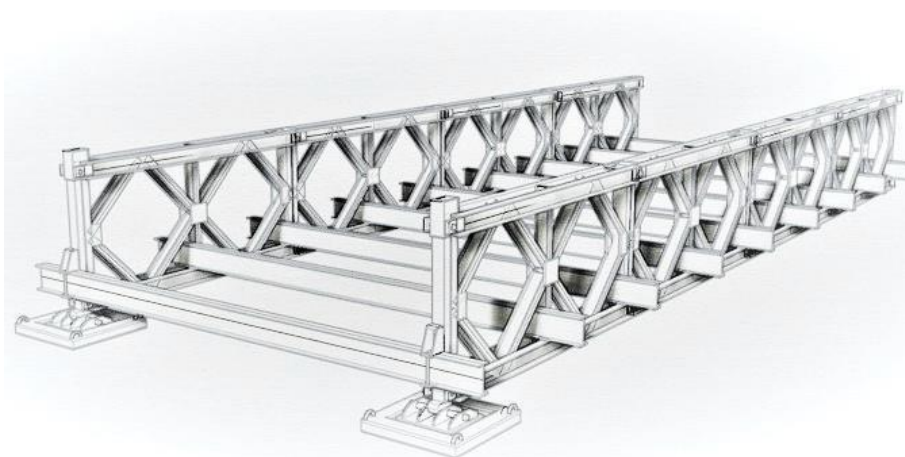
Az 1900-as évek egyik legnagyobb híd-találmánya a Donald Bailey mérnök által feltalált Bailey-híd volt. 1940-1941-ben a britek fejlesztették ki katonai felhasználásra a második világháború alatt, és széles körben alkalmazták a brit, kanadai és amerikai katonai mérnöki egységek. A Bailey szerkezet (2. ábra) előnye, hogy az összeszereléshez nincs szükség speciális szerszámokra vagy nehézgépekre. A fa és acél hídelemek elég kicsik és könnyűek ahhoz, hogy teherautóval szállítsák őket, és daru használata nélkül, kézzel emeljék a helyükre. A hidak teherbírásának köszönhetően tankokkal is át lehet kelni rajtuk. A Bailey hidakat továbbra is széles körben használják.

A Bailey alkatrészek szabványos acélötvözetekből készültek, és elég egyszerűek ahhoz, hogy a különböző gyárakban készült alkatrészek egymással felcserélhetőek legyenek. Az alkatrészek mozgatásához kevés ember szükséges, így a hadsereg mérnökei könnyen és gyorsan tudták összerakni a hidat, utat nyitva a mögöttük haladó csapatoknak és szállítmányoknak. A moduláris kialakítás lehetővé tette a mérnökök számára, hogy minden hidat olyan hosszúra és erősre építsenek, amilyenre szükségük van, megduplázva vagy megháromszorozva a tartó oldallapokat vagy az úttest szakaszait. Így a Bailey hidak konfigurációja különböző alakú, és egy szópárral utalnak rá: SINGLE-SINGLE, DOUBLE-SINGLE, TRIPLE-SINGLE, DOUBLE-DOUBLE, TRIPLE-DOUBLE (3. ábra) [5]. Az első szó az egymás mellett elhelyezett panelek számát, a második szó pedig a szintek számát jelöli, amelyekre a paneleket szerelték. A Bailey struktúra hasznos tulajdonsága, hogy

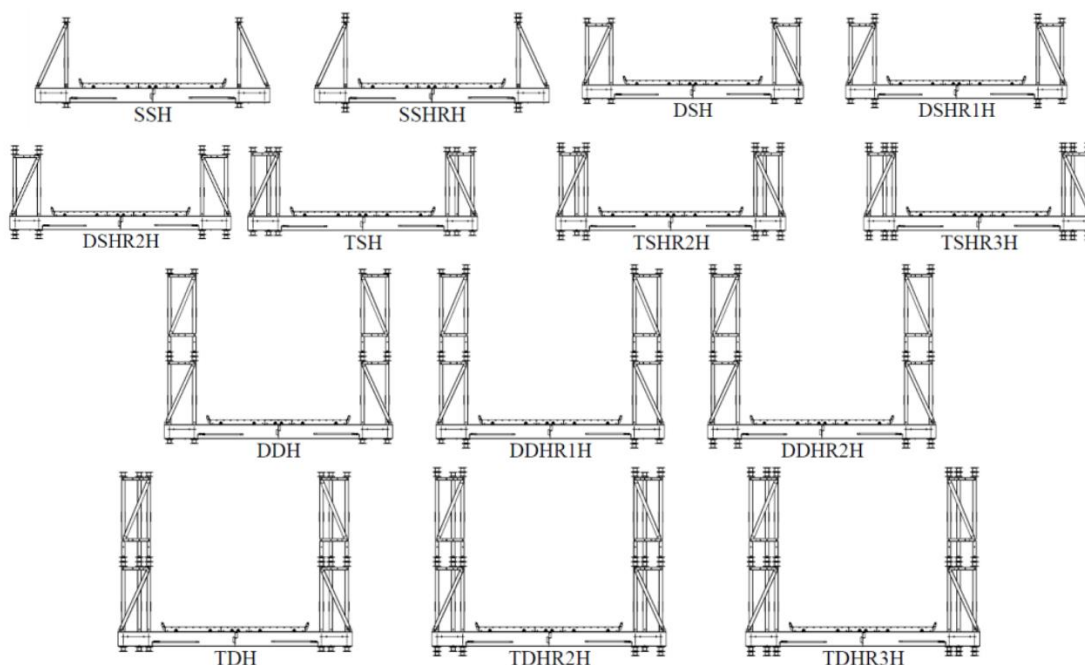
az akadály egyik oldaláról a másik oldalára is át lehet csúsztatni (4. ábra) [6]. Az első fázisban görgőket szerelnek fel, hogy lehetővé tegyék a híd áthelyezését. Ezután a paneleket összeillesztik, és ezzel egyidejűleg a hídra szerelik a pályaszerkezetet is. Ebben a rendszerben a híd elülső részét ékekkel felfelé billentik, hogy megkönnyítsék a híd egyik oldaláról a másikra való csúsztatását. A híd másik végén van egy tartószerkezet, amelyet teherautóval, lánctalpas járművel, de akár emberi erővel tolnak a felszerelt görgőkön. Végül, miután a híd a végleges helyzetébe került, a görgőket emelőkkal eltávolítják. Ezután a híd használatba vehető.



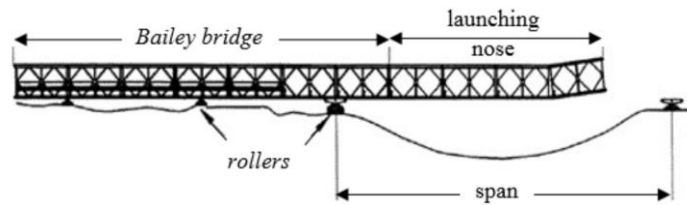
1. ábra



2. ábra



3. ábra

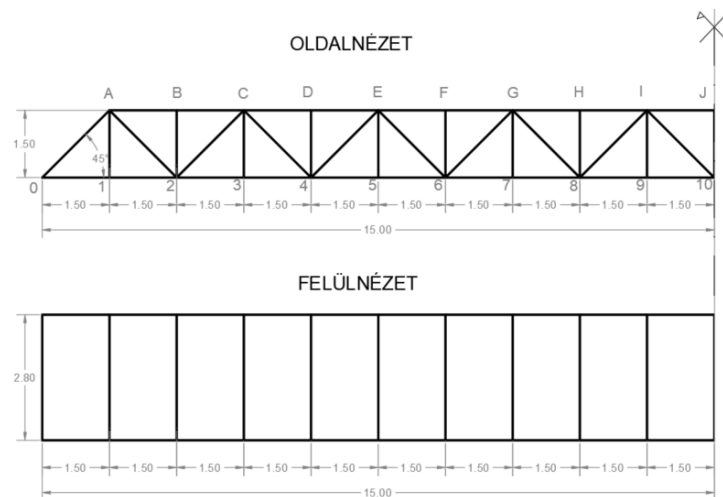


4. ábra

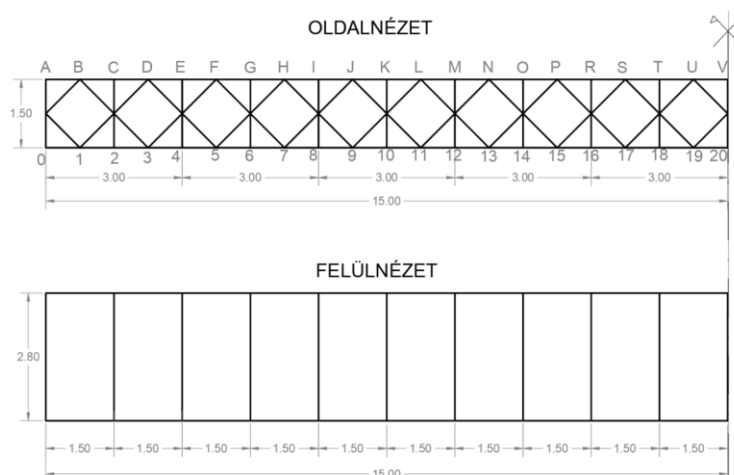
2. ÖSSZEHAISONLÍTÓ ELEMZÉS

Ebben a cikkben két 30 m-es nyílású, 2,8 m széles és 1,5 m magas főgerendákból álló gyaloghídat vizsgáltunk. A két vizsgált szerkezet geometriai sémáját a 5. és 6. ábra mutatja. A feszültségelosztás összehasonlításhoz két típusú főgerendát választottunk: Warren típusú és a Bailey típusú rácsos gerendák. A következő lépésben a rácsos gerendák főtartóinak méretezését végeztük el a kapott maximális axiális feszültségre. Az útpálya része betonlapból, a burkolat pedig aszfaltból készül. Az itt bemutatott előzetes méretezési szakaszban nem vettük figyelembe az útpálya gerendái és a betonlap közötti összetett viselkedést. A második lépésben a karakterisztikus terhelést értékeltük. A terhelések több kategóriába sorolhatók attól függően, hogy milyen okból keletkeznek. Az egy folyóméterre jutó terhelést a főgerendák, az összekötő darabok, a betonlap és a kiöntött aszfalt önsúlya adja. A változó terhelést a gyalogosforgalomból, a szervízjárműből és a közvetett szélhajtásból származó esetleges terhelés jelenti. A terhelések értékeit a 2.2. alfejezet mutatja be.

A harmadik szakasz az anyagok és a szelvények kiválasztása. A két híd építéséhez használt anyag S275 acél, amelynek folyáshatára $f_y = 275 \text{ N/mm}^2$ és szakítószilárdsága $f_u = 430 \text{ N/mm}^2$. A két szerkezetben használt szelvényeket az 1. táblázat tartalmazza.



5. ábra



6. ábra

1.táblázat – Warren és Bailey struktúrák szerkezeti elemei

Szerkezeti elemek	Warren		Bailey	
	Szelvény (mm)	Terület (cm ²)	Szelvény (mm)	Terület (cm ²)
Felső főtartó	180x100x12.5	63.75	2IPE 200	63.75
Alsó főtartó	180x100x12.5	63.75	2IPE 200	63.75
Ferde rácsrudak	100x60x10	12.16	IPE140	12,16
Függesztő rudak	100x40x4	10.56	IPE140	10.56

2.1. A szerkezet geometriája

A vizsgált szerkezetek geometriája a 4. és 5. ábrán látható. A geometriai elemeket a 2. táblázat foglalja össze.

2.táblázat – A struktúrák geometriai sémája

	Warren/ Bailey
Hossz (L)	30 m
Szélesség (B)	2,8 m
Hasznos szélesség (Bc)	2,6 m
Alfa szög	45 °
Panel hossza (l)	1,5 m
Magasság (H)	1,5 m
Betonlap vastagsága	0,12 m
Aszfalt burkolat vastagsága	0,04 m

2.2. Terhelések

A főgerenda számításánál figyelembe vett terhek a következők: állandó terhek, a gyalogosok, valamint a szervízjármű által adott terhelés és a szél hatása. A figyelembe vett tervezési helyzetek a szerkezet normál működési feltételeinek megfelelő állandó helyzetek, amelyeket az alapvető csoportosítás szerint az (1) összefüggés szerint kombinálnak:

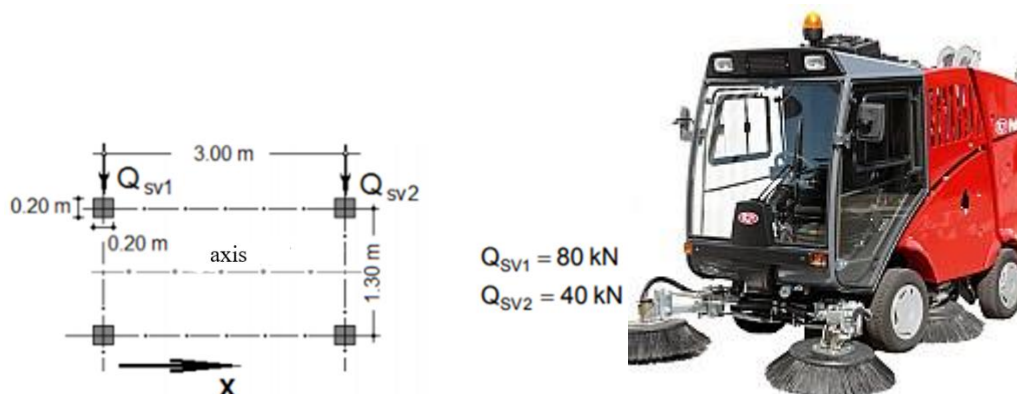
$$\sum_j \gamma_{G,j} * G_{k,j} + \gamma_{Q,1} * Q_{k,j} + \sum_{i>1} \gamma_{Q,i} * \Psi_{0,i} * Q_{k,i} \quad (1)$$

ahol: $G_{k,j}$ - az állandó terhek karakterisztikus értékei, $Q_{k,1}$ - egy változó terhelés karakterisztikus értéke, $Q_{k,i}$ - a változó terhelések karakterisztikus értékei, $\gamma_{G,j}$ - az állandó terhelés $G_{k,j}$ részleges biztonsági együtthatója, $\gamma_{Q,j}$ - a változó hatás $Q_{k,j}$ részleges biztonsági együtthatója, Ψ_0, Ψ_1, Ψ_2 - csökkentési együtthatók a változó terhelések csoportosításakor [7].

A gyaloghidakra előírt hatások: a gyalogos- és kerékpárosforgalomból, kisebb és közös szerkezetekből, a szerkezetek karbantartásából (a szervizjárművekből) és baleseti helyzetekből eredő terhelések. Ezek a terhelések függőleges és vízszintes statikus és dinamikus erőket okoznak a szerkezetben. A függőleges terhelések statikai számításánál egyenletesen elosztott terhelést vesz figyelembe $q_{flk} = 5 \text{ kN/m}^2$ és koncentrált terhelés $Q_{fwk} = 10 \text{ kN}$. Ha a közlekedőfolyosót szervizjárművel látják el, akkor a koncentrált terhelést Q_{fwk} figyelmen kívül kell hagyni. A 7. ábra mutatja a két szerkezet véletlenszerű terhelésének tekintett szolgálati járművet. A jármű négy keréssel rendelkezik, amelyek egyenként $0,20 \times 0,20 \text{ m}$ alapterületűek, a két tengely közötti távolság 3 m , a kerekek közötti távolság pedig $1,30 \text{ m}$. Az első kerekre ható terhelést a következővel jelöljük Q_{sv2} és értéke 40 kN . A hátsó kerekek terhelése kétszerese az első kerekek terhelésének $Q_{sv1} = 80 \text{ kN}$.

A számítások során $1,35$ -ös részleges biztonsági tényezőt alkalmazunk a saját tömegre, valamint a személyek és a szervizjármű által okozott terhelésekre. Közvetett szélhatás esetén a részleges biztonsági tényező $1,5$, a csökkentési tényező pedig $0,3$. A gyaloghidaknál alkalmazott terhelési csoportok szerint a gyaloghídat vagy gyalogosokkal, vagy szervizjárművel lehet terhelni, a két terhelést nem vesszük egyidejűleg figyelembe a gyaloghíd normál üzemének megfelelő tervezési helyzetekben.

A terhelésértékelésből eredő terhelések a 3. táblázatban láthatók. A szélhatást a két szerkezet referenciamaagasságának figyelembevételével értékeltük, a következőképpen $Z_e = 10 \text{ m}$ II. kategóriájú terepen, amely kevés növényzettel és elszigetelt akadályokkal rendelkező területnek felel meg, ahol a szélsősebesség $V_b = 16 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ és a levegő sűrűsége $\rho_{\text{levegő}} = 1,25 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$. A fent bemutatott adatok alapján a következő expozíciós együtthatót vontuk ki: $c_{e,Ze} = 2,35$.



7. ábra

3. táblázat - Terhelésértékelés

Terhelés típus	Érték
Állandó terhelés	$g_{tot} = g_{főgerenda} + g_{ö.elem} + g_{betonlap} + g_{aszfalt}$ $= 13,59 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$ $g_{\text{állandó}} = \frac{g_{tot}}{2} = 6,79 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$
Esetleges terhelés – emberek	$p_{ember} = 5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

<i>Terhelés típus</i>	<i>Érték</i>
	$p_{ember.1} = p_{ember} * B_c = 13 \frac{kN}{m}$
Esetleges terhelés – szervízármű	$Q_{SV1} = 80kN$ $Q_{SV2} = 40kN$
Szél hatása	$w = C_{f,x} * q_{p,Ze} = 0,79 \frac{kN}{m^2}$ Közvetett szélhatás: $p_{w.ind} = \frac{p_w * \frac{h_w}{2}}{B} = 0,32 \frac{kN}{m}$

2.3. Az erőfeszítés kiszámítása

A gerendák elemeiben fellépő tengelyerőket a 2D szerkezetek SAP2000-ben történő modellezéséből nyertük. A két főgerenda által egyenlő mértékben felvett terheket vettünk figyelembe. A terheket statikus terhek formájában (önsúly, közvetett szélhatás, zsúfoltságból eredő terhelés) alkalmaztuk a szerkezetekre. Mivel a szervízármű mozgó erők konvoját képviseli, olyan erőkét, amelyek bármikor a szerkezet hosszában bármelyik pozíciót elfoglalhatják, a jármű hatását mozgó teherként modelleztük.

A terhelések 4 különböző kombinációját vettük figyelembe, mind az SLS (üzemi határállapot), mind az ULS (végső határállapot) esetében. Ezekben a határállapotokban az Eurocode által előírtaknak megfelelően külön vettük figyelembe a személyekre és a járműre ható terheket. Minden egyes kombináció esetében különböző szorzási együtthatókat használtunk, amelyeket az 4. táblázat tartalmaz.

4. táblázat – Szorzási együtthatók

	<i>Önsúly</i> <i>(g.Ed.g)</i>	<i>Közvetett szélhatás</i> <i>(Pw)</i>	<i>Zsúfoltságból</i> <i>eredő terhelés</i> <i>(Pem)</i>	<i>Szervízármű</i> <i>(Szervjár)</i>
Komb_EM_SLS	1	0,3	1	-
Komb_JÁR_SLS	1	0,3	-	1
Komb_EM_ULS	1,35	0,45	1,35	-
Komb_JÁR_ULS	1,35	0,45	-	1,35

Az SLS-nél SAP szoftverrel kiszámítottuk a maximális rugalmas alakváltozásokat (5. táblázat), az ULS-nél pedig a maximális tengelyfeszültségeket (6. táblázat).

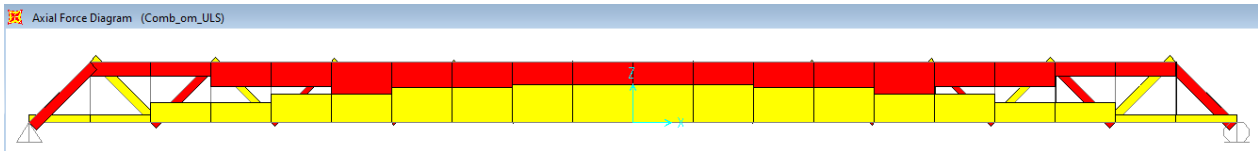
5. táblázat - Maximális rugalmas alakváltozások

	<i>Kombináció</i>	<i>Érték</i>		<i>% reduction Bailey vs Warren</i>	<i>% reduction Warren vs Bailey</i>
		<i>WARREN</i>	<i>BAILEY</i>		
Rugalmas alakváltozás	EM_SLS	-0,187	-0,138	26,20%	-35,51%
	JÁR_SLS	-0,14	-0,103	26,43%	-35,92%
Rugalmas alakváltozás az esetleges terhelésekből	P.em	-0,09	-0,067		
	Szervjár	-0,44	-0,032		

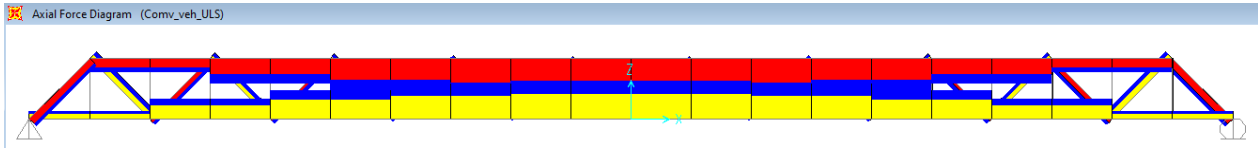
6. táblázat – Maximális tengelyfeszültségeket

<i>Szerkezeti elemek</i>	<i>Kombináció</i>	<i>Érték</i>		<i>% reduction Bailey vs Warren</i>	<i>% reduction Warren vs Bailey</i>
		<i>WARREN</i>	<i>BAILEY</i>		
Felső főtartó	EM_ULS	-1357	-1287	5,16%	
	JÁR_ULS	-1066	-1010	5,25%	
Alsó főtartó	EM_ULS	1339	1282	4,26%	
	JÁR_ULS	1040	1006	3,27%	
Ferde rácsrudak +	EM_ULS	319	175	45,14%	
	JÁR_ULS	259	140	45,95%	
Ferde rácsrudak -	EM_ULS	-368	-170	53,80%	
	JÁR_ULS	-288	-137	52,43%	
Függesztő rudak	EM_ULS	29	-240	927,59%	112,08%
	JÁR_ULS	16	-187	1268,75%	108,56%

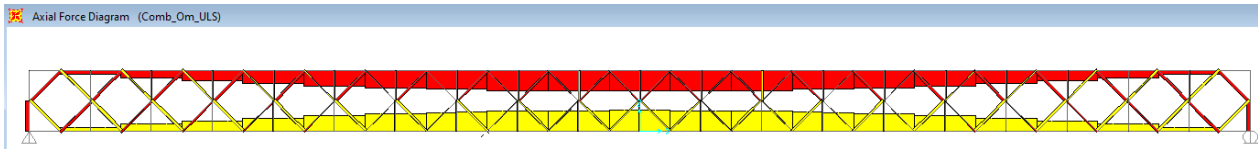
A 8., 9., 10. és 11. ábrákon az gyalogosterhelés és a szolgálati járműterhelés kombinációjának erő kifejtési diagramjai láthatók a Warren majd Bailey struktúrákon.



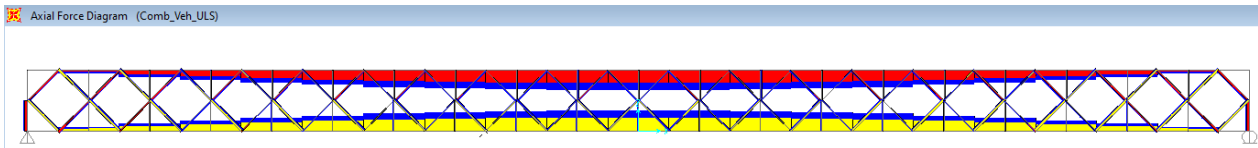
8. ábra



9. ábra



10. ábra



11. ábra

3. 2D STRUKTÚRA MÉRETEZÉSE

A két szerkezetet a kétdimenziós elemzésből kapott erők szerint méreteztük. Mindkét szerkezet esetében S275-ös acélt alkalmaztak: $f_y = 275 \frac{N}{mm^2}$ és $f_u = 430 \frac{N}{mm^2}$. (12. ábra, 13. ábra)

A Warren-szerkezet elemeihez használt keresztmetszeteket a 7. táblázat mutatja be, az egyes elemekben lévő feszültségek megfelelő szilárdsági ellenőrzésével együtt, a Bailey-szerkezet esetében ugyanezeket az elemeket a 8. táblázat tartalmazza.



12. ábra



13. ábra

7. táblázat – Warren 2D struktúra méretezése

<i>Szerkezeti elem</i>	<i>Szelvény</i>	<i>Normál erő</i> [kN]	<i>Teherbírás</i> [kN]	<i>Ellenőrzés</i>
Alsó fő-tartó	180x100x12.5mm	$N_{T.I.W} = 1339$	$N_{pl.Rd.T.I.W} = \frac{A_{T.I.W} * f_y}{\gamma_{M0}} = 1753,13$	$\frac{N_{T.I.W}}{N_{pl.Rd.T.I.W}} = 0,76 < 1$
Felső fő-tartó	180x100x12.5mm	$N_{Ed.T.S.W} = -1357$	$N_{b.rd.T.S.W} = \chi_{T.S.W} * \frac{A_{T.S.W} * f_y}{\gamma_{M1}} = 1494,94$	$\frac{N_{Ed.T.S.W}}{N_{b.rd.T.S.W}} = 0,91 < 1$
Ferde rács-rudak -	100x60x10mm	$N_{Ed.D.c.W} = -368$	$N_{b.rd.D.W} = \chi_{D.W} * \frac{A_{D.W} * f_y}{\gamma_{M1}} = 412,3$	$\frac{N_{Ed.D.c.W}}{N_{b.rd.D.W}} = 0,89 < 1$
Ferde rács-rudak +	100x60x10mm	$N_{Ed.D.i.W} = 319$	$N_{pl.Rd.D.i.W} = \frac{A_{D.W} * f_y}{\gamma_{M0}} = 770$	$\frac{N_{Ed.D.i.W}}{N_{pl.Rd.D.i.W}} = 0,41 < 1$
Függesztő rudak	140x40x4mm	$N_{Ed.M.W} = 29$	$N_{pl.Rd.M.W} = \frac{A_{D.W} * f_y}{\gamma_{M0}} = 290 \text{ kN}$	$\frac{N_{Ed.M.W}}{N_{pl.Rd.M.W}} = 0,1 < 1$

8. táblázat – Bailey 2D struktúra méretezése

Szerkezeti elem	Szelvény	Normál erő [kN]	Teherbírás [kN]	Ellenőrzés
Alsó főtartó	2 x IPE 200	$N_{Ed.T.I.B} = 1282$	$N_{pl.Rd.T.I.B} = \frac{A_{TB} * f_y}{\gamma_{M0}}$ $= 1567,5 \text{ kN}$	$\frac{N_{Ed.T.I.B}}{N_{u.Rd.T.I.B}} = 0,79$ < 1
Felső fő-tartó	2 x IPE200	$N_{Ed.T.S.B} = -1287$	$N_{b.Rd.T.S.B} = \chi_{T.S.B} * \frac{A_{TB} * f_y}{\gamma_{M1}}$ $= 1439,25$	$\frac{N_{Ed.T.S.B}}{N_{u.Rd.i.B}} = 0,89 < 1$
Ferde rács-rudak és függesztő rudak	IPE 140	$N_{Ed.i.B} = 240$	$N_{u.Rd.i.B} = 362,48$	$0,66 < 1$

4. KÖVETKEZTETÉSEK

A Warren és Bailey szerkezetek tanulmányozását követően megállapíthatjuk, hogy a rácsos gerendák feltalálása jelentős szerepet töltenek be az építészetben. Azonban mindkét szerkezetnek megvan a célszerű alkalmazása. Hidak tervezésekor a Warren típusú struktúrák előnyben részesülnek nagy nyílások, valamint jelentős terhelések esetén például vasúti hidaknál. A Bailey szerkezetek erőssége a moduláris konfigurációban rejlik. Ellenben ez nagy terhelések esetén hátrányt jelent mivel számottevően megnő a híd mérete ezáltal az önsúlya. Így a Bailey típusú hidak főként gyalogosforgalomra alkalmasak.

Az elemzés azt mutatta, hogy azonos nyílású és nyomtávú gyalogosjárda-szerkezet esetén a Bailey-típusú szerkezeteknél a tengelyerők eloszlása 4...5%-kal kisebb a lábzatokban (felső és alsó láb) a Warren-típusú szerkezetekhez képest, míg a Bailey-szerkezet függőleges és ferde elemeiben a tengelyerő összege 50%-kal kisebb.

A Bailey-hidak világméretű sikere ismét egyedülálló moduláris felépítésüknek és a nehézsúlyú gépek minimális igénybevételével történő összeszerelésüknek köszönhető, mivel a hidak szabványos acélból készülnek, amelynek kis önsúlya van. Így ezek gazdaságos szerkezetek mind a gyártás, mind a kivitelezés szempontjából [8].

IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] https://en.wikipedia.org/wiki/Warren_truss
- [2] https://www.steelconstruction.info/Trusses#Warren_truss
- [3] <https://www.engineeringcivil.com/what-are-the-differences-among-warren-truss-howe-truss-and-pratt-truss.html>
- [4] https://ro.other.wiki/wiki/Bailey_bridge
- [5] <https://web.mst.edu/~rogersda/umrcourses/ge342/Bailey%20Bridge-revised.pdf>
- [6] <https://www.chuan.eu.com/our-products/steel-structures/bailey-bridge/>
- [7] UT Press, P. Moga, Ș. I. Guțiu, C. Moga, Pasarele pietonale – lucrare de sinteză.
- [8] <http://m.ro.jsbaileybridge.com/steel-frame-bridge>
- [9] Andrei-Dorel SARA, Blanka-Zsófia SIMON, "Analiza comportării grinzelor cu zăbrele de tip Bailey și Warren pentru o pasarelă pietonală cu deschiderea de 30 m" Revista drumuri poduri, Vol. Anul XXVII, nr. 286, pg. 18-22, 2021