LÁNCHÍD FÜZETEK

32.

William Tierney Clark

ELSŐ LÁNCHÍD EREDETI ERŐTANI SZÁMÍTÁSA

Detail Calculations of the Suspension Bridge between Pesth and Buda

A Széchenyi lánchíd történetével kapcsolatosan
megjelent Lánchíd füzetek

31. Andrásy György, Széchenyi István: JELENTÉS

26. A Széchenyi lánchíd szerelési naplója II.
(1914. XII. 20. – 1915. XII. 18.)

15. Viszota Gyula: A Széchenyi híd története

6. Páll Gábor: A budapesti Duna-hidak története

Lánchíd füzetek letölthetőek:
WWW.HIDAK.HU

Lánchíd füzetek 32.

William Tierney Clark

ELSŐ LÁNCHÍD EREDETI ERŐTANI SZÁMÍTÁSA

Detail Calculations of the Suspension Bridge between Pesth and Buda

Lánchíd füzetek 32.

Első Lánchíd eredeti erőtani számítása

Detail Calculations of the Suspension Bridge between Pesth and Buda

Írta:

William Tierney Clark

Közreadja és jegyzetekkel ellátа:

Hajós Bence

ISSN 1787-257X
ISSN 2732-026X (pdf)
ISBN 978-615-6508-02-7
ISBN 978-615-6508-03-4 (pdf)

A Lánchíd füzetek szakmai kiadványsorozat helyet kíván biztosítani a hidász szakma tematikus és alkalmi kiadványaihoz. Sorozatszerkesztő Hajós Bence. Az eddig megjelent korábbi kötetek megismerhetőek és letölthetőek a ***www.hidak.hu*** *címen.*

A hátsó borítón a Széchenyi lánchíd építését megelőzően készített metszet szerepel, amelyet Széchenyi István készíttetett az országos küldöttség számára, valamint levélpapírra fejlécnek saját célra és a Lánchíd Részvénytársaság részére.

Címlapterv: Szabó Sándor.

Kézirat lezárva 2022. augusztus 30-án.

Felelős kiadó:
Első Lánchíd Bt.
4235 Biri, Fő út 103.

Társkiadó:
Fővárosi Szabó Ervin Könyvtár
1088 Budapest, Szabó Ervin tér 1.

Készült: KAPITÁLIS Nyomda, Debrecen

Tartalom

Köszöntő

Budapestnek nemcsak a látképe elképzelhetetlen a Lánchíd nélkül, hanem a főváros, sőt a magyarság közös történelmi emlékezete sem. Megalkotása összeforrt a nemzet reformkori felemelkedésével, az elpusztítására tett kísérletek az ország és függetlenségének a lerombolásával, újraépítése pedig az újjászületés reményképeivel. Jó ideig páratlan fontosságú közlekedési útvonal volt, mindenkire kötelező vámja révén pedig a feudális előjogok megtörésének, a polgárosodásnak a szimbóluma is. Napjainkban a budapestiek egyik legbecsesebb műemléke – Kosztolányi Dezső szavaival *„régi, előkelőséget lehelő karcsat”*, *„ránk maradt családi kincs”*, *„ódon klenódium”*, aminek a város ismeri az értékét, *„és – mint szegény lány árva ékszerével – mindig vele fényképezteti le magát.”*

Nem mellesleg, műszaki konstrukció is. Azoknak legfőképpen, akik értik is azt a sok bonyolult tervezési és technológiai részletet, ami lehetővé tette, hogy ez az elegáns kő-, fa- és vaskolosszus, időről időre megfiatalodva, egy és háromnegyed évszázadon át rendíthetetlenül ívelje át a folyót. A mindezt megalapozó statikai számításokat eddig egy szarvasbőrkötéses kézirat rejtette, ami az építkezést vezető mérnök, Clark Ádám hagyatékával egy időben került könyvtárunk Budapest Gyűjteményébe. A szerzőség nem volt pontosan tisztázva, és sem az egykori, sem a későbbi könyvtárosok nem érthették meg pontosan az oldalak tucatjain tornyosuló számsorok valódi műszaki jelentését. Mindenesetre mindig úgy óvták és tárták közönségük elé a kötetet, hogy tudták, különösen fontos érték átörökítésével vannak megbízva. Mint most kiderült, a Lánchíd tervezőjének, William Tierney Clark feljegyzéseiről volt szó, amit végre olyan szakember tanulmányozott, aki a kötetben nemcsak a várostörténeti relikviát látta, hanem a technikatörténeti forrásként is meg tudta szólaltatni. Hajós Bence kutatómunkájának eredményeképpen a kézirat most képben és átiratban, nyomtatásban és az interneten is a szélesebb nyilvánosság elé kerülhet.

Budapest főváros 2023-ban ünnepli egyesítésnek 150. évfordulóját, aminek egyik kiemelkedő eseménye lesz a felújított Lánchíd átadása. Öröm és megtiszteltetés a Fővárosi Szabó Ervin Könyvtár számára, hogy közreműködhettünk e kiadvány létrehozásában, ilyen módon is hozzájárulva ahhoz, hogy a megemlékezéssorozat valódi jubileum, nemzedékeket összekötő hidakat építő esemény legyen.

dr. Fodor Péter
főigazgató
Fővárosi Szabó Ervin Könyvtár

Bevezető

A Széchenyi lánchíd történetével számos könyv, tanulmány foglalkozik, mégis a mai napig a híd számos részletéről alig ismertek a korabeli adatok. A híd tervezője és a kivitelezésért felelős építési igazgatója William Tierney Clark (1783-1852) angol mérnök volt. A tervező helyszíni főépítésvezetője az építés megkezdésekor 28 esztendős, skót Clark Ádám (1811-1866).

„Első Lánchídnak” nevezhetjük a W. T. Clark tervei szerint 1839 és 1849 között megvalósult első állandó Duna-hidunkat. Ez a híd 65 esztendeig szolgálta a közlekedést, a teljes vasszerkezetét 1914-ben elbontották. A 1915. év végére teljesen átépített, nagyobb teherbírású hidat tekinthetjük második Lánchídnak, melyet a II. világháborúban felrobbantottak. A harmadik Lánchíd így az 1949-re újjáépített, és ma is álló szerkezet.

A világrekord méretű lánchíd erőtani számításáról az eddigi szakirodalomban szinte semmit sem találunk. Tudjuk, hogy a Lánchíd állami megváltása (1870) után is készítettek ellenőrző számításokat, ezek közül a legfontosabb Kherndl Antal részletes ellenőrzése, amely megalapozta a híd 1913-1915 közötti átépítését. Azonban ezen utólagos számításokat sem ismerjük, ezek is vagy elkallódtak, vagy valahol még lappanganak.

Valamennyi, eddigi Lánchíddal foglalkozó írás az erőtani számításokat, méretezési részleteket elveszettnek tekintette.

2022 júniusában A Fővárosi Szabó Ervin Könyvtár Budapest Gyűjteményében végzett Clark Ádám életrajzi kutatásom során váratlanul ráleltem a híd eredeti erőtani számítására.

Jelen forráskiadásban közreadjuk ezt a páratlan technikatörténeti dokumentumot. Az angol kézírásos számítást magyar átírásban és kiegészítő magyarázatokkal, mértékegységekkel közöljük az eredeti anyagban lévő, az értelmezést nehezítő számos rövidítés, jelölés helyett.

A most megismerhető erőtani számítás több szempontból is új megvilágításba helyezi az első, W. T. Clark-féle Lánchíd szerkezetének kialakítási részleteit.

Reméljük kiadványunk hozzájárul a leghíresebb magyar híd építéstörténetének további megismeréséhez, egyúttal bepillantást enged abba a heroikus mérnöki munkába, ami a híd megalkotásához szükséges volt. Az erőtani számítás páratlan abból a szempontból is, hogy a hídépítés őskorába repít vissza minket, a műszaki mechanika „újszülött” korába. A számítás tükrözi korának műszaki gondolkodását, a kézi számítások elvégzésének nehézségeit és a hídépítés közben végzett geometriai módosításokból fakadó újraszámolásokat is.

Az első Lánchíd eredeti számításának közreadásának pedig különös aktualitást ad a napjainkban folyó részleges Lánchíd átépítés és felújítás.

Az erőtani számítás megtalálása

Szépapám, Clark Ádám életrajzi kutatásaihoz kapcsolódóan végeztem kutatást a Fővárosi Szabó Ervin Könyvtár Budapest Gyűjteményében. A gyűjteményben négy dokumentumot őriznek, melynek Clark Ádám a nyilvántartott szerzője.

A gyűjteményben Clark Ádám szerzői megnevezése mellett, **Bf 0910/122** jelzet alatt található az **Account of timber used in the coffer-dams for the Pesth-Bridge**[1] címet viselő egyedi, díszes kötésű, nagyformátumú könyv.

Amint a mű címe mutatja a kézírásos könyv a Lánchíd facölöpjeinek kimutatását tartalmazza, egyéb faszerkezetek (merevítőrendszer, állványok) nincsenek benne.

A híd alapozása sűrűn egymás mellé levert facölöpök sorozatával készített jászolgátak védelmében épült meg. A négy alépítmény számozását a pesti oldalon kezdték: I. pesti hídfő, II. pesti mederpillér, III. budai mederpillér, IV. budai hídfő.

A 25 x 38 cm méretű egyedi könyv a hídhoz készült, angliában előre nyomtatott fejléces táblázatokkal, szarvasbőr kötéssel. Alépítményenként

[1] A pesti Lánchíd jászolgátjainak faanyag kimutatása.

külön táblázatot készítettek a jászolgát szádfalának cölöpjeihez és az egyéb szerkezeti részek cölöpjeinek.

Az előre elkészített könyvbe az egyes alépítmények cölöpjeinek szánt előnyomtatott táblázatos oldalak között teljesen üres jegyzet-oldalakat is bekötöttek. Ezen bekötött üres oldalakon található meg kézírással a híd eredeti erőtani számítása, **Detail Calculation of the Suspension Bridge between Pesth and Buda**[2] – cím alatt.

Vajon hogyan kerülhetett ez a páratlan dokumentum a Fővárosi Szabó Ervin Könyvtár Budapest Gyűjteményébe és miért maradt máig ismeretlen?

A Lánchíd eredeti iratanyagának többsége igen hamar elkallódott, már a híd állami megváltásakor (1870) és a híd 1913-1915 közötti átépítést megelőző vizsgálatoknál is hiányoztak.

Az ismert Lánchíd iratok, tervrajzok több közgyűjteményben szétszórva maradtak fenn. Így jelentős iratanyag található a Magyar Nemzeti Levéltár Országos Levéltárában, Budapest Főváros Levéltárában, az Országos Széchenyi Könyvtárban, a Magyar Nemzeti Múzeumban, a Budapesti Történeti Múzeumban, a Magyar Tudományos Akadémián és a Fővárosi Szabó Ervin Könyvtárban.

Clark Ádám saját személyes irattárából halála után jelentős Lánchíd iratanyag maradt a családi hagyatékban. E hagyatékban maradt fenn Clark Ádám levelezése is.

A családi hagyaték először Clark Ádám fiához Clark Simonhoz került, aki néhány dokumentumot ebből közgyűjteményeknek elajándékozott. A családi hagyaték legnagyobb része Clark Ádám unokája, ifj. Clark Ádám[3] révén a két világháború között a Budapesti Történeti Múzeumba került.

Sándor Tibornak, a Fővárosi Szabó Ervin Könyvtár osztályvezetőjének szíves adatközlése szerint a gyűjtemény 1938-as évkönyve a 383. oldalon tartalmazza a cölöpnapló beszerzését Bq 624/30 jelzettel. A

[2] A Pest és Buda közötti függőhíd részletes számítása.

[3] Clark Ádám (1811-1866) gyermeke Clark Simon 1866-ban született, így édesapját személyesen nem ismerhette. Simon fia, ifj. Clark Ádám 1900-ban született és 1967-ben hunyt el.

kéziratot a katalógusban később átszámozták, a hídépítés témából áttették az eredeti kéziratok közé, ezért lett a száma Bf 0910/122. A régi katalóguscédulán megjegyzésként szerepel: „Poss.: Lantos FSZEK 1938”. A „Poss.” rövidítés possessor bejegyzést jelent, vagyis eredetileg tulajdonosi beírást, pecsétet, ex librist stb. Ilyen nem található a kötetben, így sajnos nem tudható, ezt honnan vették. A „Lantos” egy nevezetes antikvárium volt a Múzeum körút 3. alatt, amellyel a könyvtár nagyon szoros kapcsolatban állt, ahonnan gyakran vásároltak (Lantos Rt. Könyvesboltja és Tudományos Antiquariuma).

A vizsgált dokumentum külseje és díszes címe alapján egyáltalán nem figyelemfelkeltő: Cölöpkimutatás. Oldalak tucatjain keresztül táblázatba foglalt, közel egyforma számok sorozata tartalmazza a Lánchíd építéséhez felhasznált többezer cölöp méretét, egyesével megadva a cölöp sorszámát, keresztmetszetét és hosszát, verési mélységét. A dokumentumnak azonban teljesen egyedi különlegességet, technikatörténeti értéket ad az üres jegyzet-oldalakra beírt, s most fellelt részletes erőtani számítások.

A Lánchíd építésekor, akárcsak napjainkban, a mérnökök féltve őrizték egyes műszaki részlet-megoldásaikat, „ipari titkaikat”. Ilyen titokra derített fényt dr. Gállik István a híd 1913-1915 közötti átépítésekor, mikor kiderítette, hogy a lánclemezek csaplyukjai nem kör alakúak, hanem azt két excentrikus körívből képezték ki, segítve a szerelést, azaz a lánccsap befűzését, de egyúttal megfeszített állapotban tökéletesen azonos sugarú felfekvést biztosítva.

A híd bizonyosan ehhez hasonló érzékeny adatának tekinthetjük az erőtani számítást is. E feltételezés alapján életszerűnek tűnik, hogy a cölöpkimutatás könyvet Clark Ádám elkülönítve őrizte meg, tudva azt, hogy a könyv tartalmazza az erőtani számítást. A kézirat 1938-ban antikváriumon keresztül került be a könyvtárba.

A Budapest Gyűjteménybe bekerült cölöpkimutatás 1938-tól kezdve nem keltette fel egy hídtörténeti kutató figyelmét sem, „félrevezető” cím alatt megőrizve a belejegyzett erőtani számításokat.

Természetesen a cölöpök tételes jegyzéke is értékes adatforrás a híd építéstörténetének kutatásához, ugyanis nem ismeretes a Lánchíd alapozásának pontos cölöp elrendezése, mivel a fennmaradt tervek egymásnak ellentmondanak, s bizonyosan az alapozás tekintetében is volt olyan technikai megoldás, részlet, amit az építéskor titokban tartottak. Talán nem túlzás mégis azt mondani, hogy a cölöpkimutatás eredeti tartalmánál érdekesebb, különlegesebb tartalom a könyvbe beírt részletes erőtani számítások.

Hogyan kerülhetett a cölöpkimutatás könyvébe a híd részletes erőtani számítása?

A híd alapozása az I. számú támasszal, azaz a pesti hídfővel 1840. július 28-án kezdődött el az első cölöp leverésével. A részletes erőtani számításban keltezést találunk a kézirat 2. oldalán, hogy az 1843. szeptemberi tervek szerint készül a számítás, továbbá a 18. és 19. oldalakon található láncfüzér görbéjének számításánál is található keltezés, mindkettőnél 1843. szeptember 22. Ekkorra lényegében már készen van az I. és a II. alépítmény cölöpözése és jászolgátja is. Így időrendileg feltételezhetjük, hogy a cölöpkimutatás vezetését az erőtani számítás belejegyzése előtt már évekkel megkezdték.

1843 szeptemberében a tervező W. T. Clark az építés helyszínén volt, ez volt szokásos, évi egyszeri, őszi látogatása. Így lehetséges, hogy a Clark Ádám által vezetett cölöpözési napló üres oldalaira a tervező W. T. Clark ekkor jegyezte be a híd részletes erőtani számítását beosztott főépítésvezetője, Clark Ádám részére.

Fenti feltételezésem alapja, hogy az erőtani számítás első részének kézírását vizsgálva az tökéletesen egyezik W. T. Clark kézírásával. A számításban vannak utólagos helyesbítések, átírások, kiegészítések, részben ceruzával, ezek eltérő kézírásúak, talán Clark Ádáméi lehetnek.

Mértékegységek

A lánchíd teljes iratanyaga az angol mértékegységrendszer szerint készült. Alábbiakban megadjuk ezek rendszerét és váltószámait.

Angol súly mértékegységek

1 ton	= 20 cwt	= 1016 kg	hosszú tonna	(ton)
1 cwt	= 4 qr	= 50,8 kg	mázsa (centum, hundredweight)	
1 qr	= 28 lb	= 12,7 kg	negyedmázsa	(quartres)
1 lb		= 0,4536 kg	font	(libra → lb = pound)

Angol hossz mértékegységek

1 fathom	= 6 ft	= 1,8288 m	öl	(fathom)
1 ft	= 12 in	= 30,48 cm	láb	(foot)
1 in	= 10 line	= 2,54 cm	hüvelyk	(inch)
1 line		= 2,54 mm	vonás	(line)

Az angol kéziratban a mértékegységek használata során a ton, qr és lb esetében, ha nem egységnyi mennyiségről van szó, akkor a többesszám miatt tons, qrs, lbs alak szerepel. Magyar nyelvű átiratban a magyar mértékegység-használatnak megfelelően minden esetben egyesszámú mértékegységet írtunk.

Az angol tonna (1016 kg) közel azonos mértékegységet jelöl, mint a metrikus tonna (1000 kg). Az angol mértékegységet minden esetben ton-ként jelöltük, a metrikus tonnát pedig t-vel.

Láncfüzér – lánctag – lánclemez – lánccsap

Lánchíd (képeslap), Fővárosi Szabó Ervin Könyvtár - bibFSZ01498858

A lánchidak elsődleges tartószerkezeti eleme a lánc. Rendszerint láncnak nevezzük a láncok összességét és egy-egy részét is. A továbbiakban következetesen az alábbiakban kifejtett szókapcsolatokat használjuk.

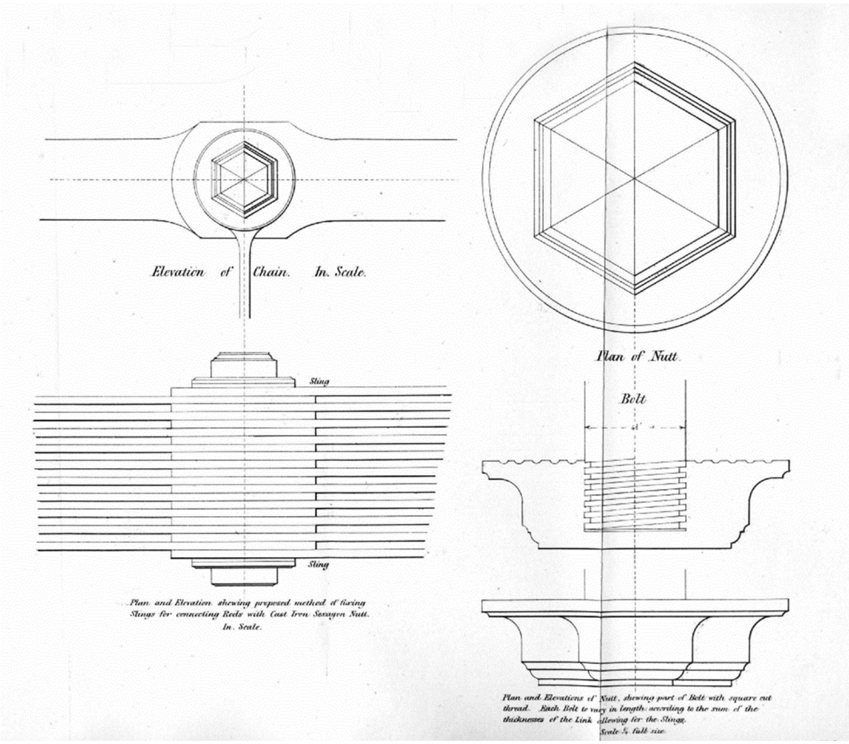
Az első Lánchíd terheit a mai szerkezettel azonosan négy **láncfüzér** hordozta, kettő-kettő egymás felett a kocsipálya két oldalán. Mindegyik láncfüzér a hídfő mélyén lévő horgonysarutól a másik hídfő horgonysarujáig vezet folyamatosan. A láncfüzéreknek iránytörése van a hídfők folyó felőli orr-részében, ahol a lánccsatornából kiérkeznek a szabadba, és iránytörése van a kőpillérek tetején, ahol a koronasarun átfordul a láncfüzér a parti nyílásokból a középnyílásba.

A láncfüzért alkotó **lánctagok** jellemző hossza 12 láb, azaz 3,66 m. A tagok egymáshoz **lánccsap**okkal kapcsolódnak, ahol a lánctagban lévő

lánclemezek fejrészei fésűsen sorakoznak. A pályaszerkezetet tartó függesztőrudak a lánccsapok végeihez csatlakoznak és a lánccsapok végeit egy-egy nagy csavarral zárták le.

Az egymás felett lévő láncfüzérek lánctagjai fél lánctag hosszal egymáshoz képest el vannak tolva, így a pályaszerkezet egymás utáni függesztői váltakozva kapcsolódnak az alsó és a felső láncfüzérhez.

Az első Lánchíd lánctagjaiban váltakozva 10 és 11 db lánclemez volt. A 10 db-os lánctagokban vastagabb (32 mm) lánclemezek, a 11 db-os lánctagokban vékonyabb (29 mm) lánclemezek voltak. A lánclemezek magassága egyforma volt.



Lánccsap és lánctag részlete, Clark, W. T. (1852)

Az erőtani számítás készítésének körülményei

A Lánchíd alapterve 1839-ben készült, ebben az évben kapott W. T. Clark megbízást a Lánchíd Társaságtól a tervezésre és a kivitelezés irányítására. Az erőtani számítás a mechanikai alapú méretezés őskorában készült. Ráadásul a függőhíd talán a legösszetettebb erőjátékú hídszerkezet, melynek tervezéséhez napjainkban is a legfelkészültebb tervezőre van szükség.

Az alkalmazott mechanikai ismeretek ezekben az évtizedekben kezdtek el csak felcseperedni „újszülött" állapotukból. Ismerik és számolják a húzó- és nyomófeszültséget, amit kísérleti úton ellenőriztek is nemcsak a vas, hanem a tégla és románcement esetében is.

A hajlítás méretezése ekkor még lényegében ismeretlen, végképp nem beszélve a nyírásról, illetve ezek együttes viselkedéséről. W. T. Clarknál 13 évvel fiatalabb az a Jacob Steiner svájci matematikus (1796-1863), akinek köszönhetjük a nevével fémjelzett párhuzamos tengelyek tételét, így a keresztmetszet másodrendű nyomatékának meghatározását, aminek mechanikai alkalmazása lesz majd a hajlítás-számítás alapja.

A W. T. Clarknál 38 évvel fiatalabb Carl Culmann német mérnök (1821-1881) majd csak 1865-ben alkotja meg a grafosztatika alapjait, s az ő tanítványa Kherndl Antal (1842-1919) honosítja meg e számítási módszert hazánban és dolgozza ki a merevítőtartós lánchidak méretezési eljárárását, melyet az 1890. évi akadémai székfoglalóján ismertet.

A Lánchíd szerkezete tehát korának mechanikai ismeretein alapuló méretezés, tapasztalati képletek és kísérletek alapján készült. A húzás-nyomást számították és próbatesteken ellenőrizték is. Hajlítást sem tudtak számítani, de kísérleti úton ellenőrizték a hajlított elemek teherbírását is.

A részletes erőtani számítás teljesen kézi módszerrel készült. A matematikai műveletek elvégzéséhez ekkor rendelkezésre állt a logarléc és a függvénytáblázatok. A számítás számológép hiányában sokszoros munkát jelentett, melyet tükröznek a kéziratban található hosszú levezetések.

A szögfüggvények értékpárjait az erőtani számításban található megjegyzés szerint a Hutton-táblázatokból vették. Ez az apró megjegyzés összeköti a fellelt dokumentumot a Clark Ádám hagyatékából családi tulajdonban máig megőrzött hétjegyű függvénytáblázattal.

Charles Hutton (1737-1823) angol matematikus Mathematical tables című könyvét 1822-ben adták ki Londonban.

A szögfüggvények táblázatos meghatározása az egyik számításban szereplő példán keresztül az alábbi lépésekből áll.

A középnyílás láncfüzérének irányszög számítása a kézirat 15. oldalán található. Ezek szerint a keresett hajlásszög szinusz értéke 0,27473.

A táblázatból kiolvasható, hogy sin(15°56') = 0,2745187, illetve sin(15°57') = 0,2747984. A két sin érték különbsége 0,0002797.

Ezt követően interpolációt végezve a keresett szög meghatározásához, a keresett szög sin érték eltérése 0,27473 – 0,2745187 = 0,0002113, így arányosíthatjuk az 1' táblázati osztásközt: (0,0002113/0,0002797), megkapjuk a keresett szög értékét másodperc pontossággal: 15°56'46".

482 15 Deg. NATURAL SINES, &c. Tab. 10.

'	Sine	Dif.	Covers	Cosec.	Tang.	Cotang.	Secant	Vers.	D.	Cosine	'
0	2588190	2810	7411810	3·8637033	2679492	3·7320508	1·0352762	0340742	753	9659258	60
1	2591000		7409000	3·8595135	2682610	3·7277131	1·0353569	0341495	754	9658505	59
55	2742390	2797	7257610	3·6464548	2851720	3·5066555	1·0398669	0383384	798	9616616	5
56	2745187	2797	7254813	3·6427392	2854866	3·5027916	1·0399532	0384182	799	9615818	4
57	2747984	2797	7252016	3·6390315	2858012	3·4989356	1·0400396	0384981	800	9615019	3
58	2750781	2796	7249219	3·6353316	2861159	3·4950874	1·0401261	0385781	801	9614219	2
59	2753577	2797	7246423	3·6316395	2864306	3·4912470	1·0402127	0386582	801	9613418	1
60	2756374		7243626	3·6279553	2867454	3·4874144	1·0402994	0387383		9612617	0
'	Cosine	Dif.	Vers.	Secant	Cotan.	Tang.	Cosec.	Covers	D.	Sine	'

Deg. 74.

Az erőtani számításban W. T. Clark a számításokat csak szögperc pontossággal végezte, így a fenti interpolációt kihagyva a keresett szögnek a 15°57' értéket vette figyelembe.

A bemutatott függvénytábla használata jól szemlélteti a számítás egyes matematikai lépéseihez tartozó munkát, ami egy egyszerű szorzásnál is igen terjedelmes volt, nem beszélve a négyzetgyökvonásról, köbgyökvonásról.

Az erőtani számítás láthatóan több részletben lett a könyvbe bejegyezve. Az egyes számítási lépések nem pontosan a számítás sorrendjében vannak leírva, ezért az értelmezéshez rendszeresen előre-hátra kell benne lapozni, ezt sok esetben az oldalszámra való hivatkozások segítik.

A számítás első részének kézírását azonosnak vélem a tervező W. T. Clark kézírásával, összevetve ezen kéziratot W. T. Clark által írt, fennmaradt levelekkel, azok jellegzetes stílusjegyei alapján.

A számítás nem csak több részletben készült, hanem tartalmaz újraszámított, javított, módosított részletszámításokat is. A javítások, kiegészítések, illetve a kézirat utolsó szakaszának kézírása eltérő stílusú, mint a dokumentum első feléé. A számításban vannak csak ceruzás bejegyzések, javítások is.

A változtatások közül a legjelentősebb a parti nyílások láncgörbe alakjának módosítása és ebből származó pilon tetején adódó láncgörbe irányszög és lánc húzóerő változások. A számításban a parti nyílás láncfüzérének felfüggesztési irányszöge háromféle szögértékkel szerepel, ezek a feltételezett számítási időrend szerint: 22°50'; 23°34'; 23°06'. Az utolsó szögértéknél megjegyzésként szerepel: „legutóbbi, december 4-i adatpontosítás szerint”. Ezen új irányszöghöz tartozó táblázatos koordináta-értékpárokat tartalmazzák a kézirat utolsó oldalai.

A számításon belüli hajlásszög-módosítások nem követik a kézirat oldalainak sorrendjét, így a kéziratban váltakozik, hogy éppen melyik hajlásszöggel számolnak. Ez is mutatja, hogy a számítás több részletben, javítgatva készült.

A számítás súlyelemzésének egyes részletei bizonyosan nem teljes pontossággal egyeznek meg a megépült hídszerkezettel. Különbséget láthatunk az öntöttvas öntvények számított formája és fennmaradt példányai között, de a különbség nem jelentős. A külső korlát a számításban váltakozó irányú ferde rácsrudas szerkezetként szerepel, valóságban tudjuk, hogy oszlopmezőnként X-rácsozással épült meg.

Hasonló kicsiny különbséget láthatunk a láncok súlyszámításában is. A számítás egységesnek tekinti a lánclemezek vastagságát (azaz a kétféle, 10- és 11-tagú típust), valóságban a terv szerint ezek vastagsága az erőjátékot követte.

Az erőtani számítás alapjai

Az első Lánchíd tervezése, így erőtani méretezése a mechanikai méretezés őskorába repít vissza minket. A számítás alapjait elsősorban a korszak következő jeles tudósai rakták le.

A korai lánchíd építés meghatározó személye volt Samuel Brown kapitány (1776-1852), aki az Union hidat (1820) építette, és a láncok gyártását tökéletesítette.

Minden idők leghíresebb angol építőmérnöke, Thomas Telford (1757-1834) 1826-ban fejezte be az akkor világrekord nyílású lánchídját Walesben, a Menai szoros felett. E világhíres híd tervezésekor a 65 éves neves tervezőt meggyőzte a 11 évves fiatalabb Davies Gilbert (1767–1839) matematikus, hogy a láncok belógását kétszeresére növelje meg, hogy a lánfüzérben ébredő húzóerő lényegesen csökkenjen.

A lánchíd tervezés elismert angol szaktekintéje volt W. T. Clark, aki három jelentős lánchidat épített Angliában (Hammersmith – 1827, Marlow – 1832, Shoreham – 1834).

A korszak tehetséges, fiatal mérnöke Isambard Kingdom Brunel (1806-1859), a Clifton lánchíd tervezője.

Kevéssé ismert kortárs fiatal mérnök volt Charles Stewart Drewry (1805-1881), aki csupán 27 évesen megírta a függőhidak kézikönyvét. [4] Drewry művében bemutatja korának jeles függőhídjait és részletesen megadja ezek méretezéséhez használható szabályokat, képleteket. Drewry könyvét Samuel Brown kapitánynak ajánlja, bevezetőben köszönetét fejezi ki W. T. Clarknak és Brunelnek, munkájának számítási részében pedig több helyen hivatkozik Gilbert munkájára.

W. T. Clark erőtani számításának alapja Charles Stewart Drewry (1805-1881) angol mérnök 1832-ben megjelent részletes, függőhidakról írt szakkönyve. A most bemutatott statikai számítás e szakkönyvben megadott számítási lépéseket követi.

---

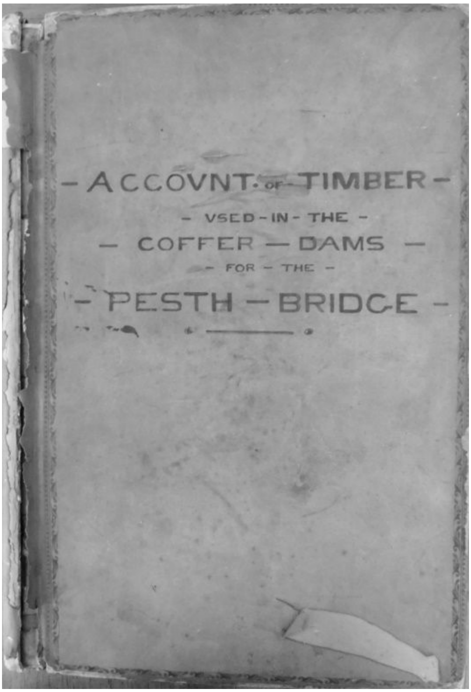
[4]Drewry C. S. (1832)

Az erőtani számítás tartalmi vizsgálata

A kézirat díszes címét tartalmazó első oldalon az erőtani számítás legfontosabb adatainak felsorolása kapott helyet.

Az erőtani számítás első fele a híd igen aprólékos súlyelemzését tartalmazza. A számítás a középnyílás faszerkezetének mennyiségkimutatásával kezdődik (2-4. oldal), végén a faanyagok összegzésével. A faanyagok után található az öntöttvas elemek és a kovácsoltvas kapcsolószerek súlyelemzése (6-10. oldal).

A Lánchíd mai szemmel sokszor kezdetlegesnek nevezett merevítőtartója a maga korában forradalmi újítás és műszaki előrelépés volt. A fából készített, összesen hat rácsos merevítőtartó összes csomópontjában az egyes fagerendákat és ferde farudakat öntöttvas papucselemek kapcsolták egybe, míg a függőleges oszlopok csavarral összefeszített öntöttvas részekből álltak. Azaz a Howe-rendszerű fatartóban nem voltak klasszikus ács-kapcsolatok, illesztései sokkal inkább úgy néztek ki, mint napjaink rétegelt-ragasztott faszerkezeteinek acéllemezes és acélcsavaros csomópontjai.



Az erőtani számítás 12-14. oldalán van a függesztőrudak méretezése. Ennek alapja az egy kereszttartó-közre vonatkozó súlyelemzés. Eszerint egy kereszttartóköz (6 ft = 1,83 m) pályaszerkezetének és hasznos terhelésének összege 11,81 ton = 12,0 t.

A 15. oldalon az egész középnyílás pályaszerkezetére és hasznos terhelésére vonatkozó összegzés található. A számításban itt megjelenik egy +5%-os biztonág, s a számítás további részeiben ezzel a megnövelt értékkel folytatódik a számítás.

Az erőtani számítás további részeiben következik a láncfüzér felfüggesztési pontjaiban lévő irányszögek számítása és a pályaszerkezet terheléséből származó láncirányú erők meghatározása.

A 16. oldalon kezdődik a láncok keresztmetszeti tervezése. Itt találjuk azt az értékes alapadatot, hogy a láncok megengedett feszültségi szintje 9 ton/in^2, ami átváltva 14,2 kg/mm^2 feszültségnek felel meg.

A láncok méretezésének első lépése annak meghatározása, hogy a láncok önsúlya mekkora feszültséget emészt el a megengedett feszültségszintből, majd a teherviselésre fennmaradó részből származtatja a szükséges lánc keresztmetszetet. Az így számított szükséges láncfüzér keresztmetszet 336,59 in^2 (217 154 mm^2). Ez az első közelítés nem tartalmazza sem a lánccsapok, sem a lánccsap-csavarok, sem a függesztőrudak önsúly-terhelését.

A kézirat 17. oldalán egy hivatkozás található Druny függőhidakról írt munkájára, amelyre hivatkozva a kiszámított lánckeresztmetszetet a biztonág javára +50%-kal megnöveli, 506 in^2-re (326 451 mm^2).

A láncfüzér keresztmetszetnek lánclemez keresztmetszetre osztása, a gyárthatóságot is szem előtt tartva, ezek után a 10,25 in x 1,25 in (a 10 db-os köteg esetén 260 x 32 mm) és 10,25 in x 1,125 in (a 11 db-os köteg esetén 260 x 29 mm).

A láncfüzér geometriai számítása után a láncok súlyelemzése és a lánccsapok méretezése, súlyelemzése következik. A kézirat 21. oldala tartalmazza a középnyílás lánclemezeinek és kapcsolódó alkatrészeinek tételes súlyelemzését és összegzését.

Ezt követően összegzi csak a láncokban ébredő mértékadó láncirányú erőt, ami a pályaszerkezetből és a láncfüzér önsúlyából származó részek összegeként adódik.

Mivel a láncfüzérben a lánctengely irányú húzóerő a láncfüzér mentén nem egyforma, a számítás a 21. oldalon tartalmazza különböző láncerőkhöz tartozó lánclemez szükséges keresztmetszeti értékeket úgy, hogy a lánclemez vastagságát tekinti adottnak és a lánclemez magasságát változtatja (10,25 in értéket csökkentve egészen 9,67 in-ig, 246 mm-ig). Különös ez a számítási részlet abból a szempontból, hogy az erőtani számítás egyéb részeiben és a híd fennmaradt tervei[5] szerint nem a lánclemez magasságát, hanem vastagságát vékonyították el[6].

A 22. oldaltól kezdődően található a mederpillérekre adódó függőleges terhelés számítása, majd a parti nyílásokhoz kapcsolódó méretezések.

A 24. oldalon található a mederpilléren ébredő vízszintes láncterhelés vizsgálata. Itt a középnyílásból származó többletet egyszerűen átviszi a parti nyílás láncfüzérére, és ezen többletből adódik az erőtani számításban előforduló legnagyobb, lánctengely irányú húzóerő, melynek értéke 3553,36 ton = 3610,2 t.

A lánckeresztmetszet ellenőrzésénél megjelenik egy új megengedett feszültség érték: 6,94 ton/in^2, ami átszámítva 10,9 kg/mm^2 feszültségnek felel meg. Az itt szereplő megengedett feszültségszint a korábban figyelembe vett 9 ton/in^2 feszültséghez képest 29,7% biztonági tartalékot jelent.

A 25. oldalon található a hídfőben lévő lehorgonyzó tömb csapjának méretezése. Itt az először bejegyzett számítás felül van ragasztva egy másik eljárás szerinti méretezéssel, Thomas Tredgold művére való hivatkozással.[7] A képlethez fűzött megjegyzés szerint a felvett csap-keresztmetszet háromszoros biztonági tartalékkal rendelkezik.

A 25. oldal alján van a hídfőben futó lánccsatorna láncgörbe számítása. Ez az egyik legfurcsább része a számításnak, mert a táblázatosan megadott láncfüzért a lehorgonyzásnál vízszintes (!) érintővel adja meg, a lánccsatorna tetejénél 32°38' irányszöggel. Az erőtani számítás végén, a 35-36. oldalon már a valóságnak megfelelően a lánccsatornában futó láncszakasz hajlászöge helyes értékkel (18°) szerepel.

---

[5] Clark, W. T. (1852)

[6] E kérdéskör további kutatást igényel. Statikában tized mm eltéréssel is szerepelnek láncvastagságok, ami gyárthatóság szempontjából nem életszerű – lásd az erőtani számítás 27-34. oldalát is. Feltételezhető, hogy a számításban szereplőhöz képest lényegesen kevesebb féle lánclemez vastagságot alkalmaztak az első Lánchídban.

[7] Thomas Tredgold (1788-1829) angol mérnök, Tredgold T. (1824)

A 27-34. oldalakon található részletszámításokkal együtt a középnyílás és a parti nyílás láncfüzér geometriája, a lánctagonként kiszámított szükséges lánckeresztmetszet és a teljes hídra vonatkozó lánclemez kimutatás.

Az erőtani számítás utolsó oldalai a parti nyílás megváltoztatott irányszögéhez tartozó számításokat és a láncgörbe geometriai adatait tartalmazza.

A fellelt részletes erőtani számítás technikatörténeti kuriózum, az első Lánchíd műszaki részleteinek további kutatásához használható forrásmű.

Éles kritika megfogalmazása nélkül, minden tiszteletet megadva a mechanika őskorában készült számítás készítőinek, három részletkérdést bátorkodom megjelölni, ami kiemelten további elemzéseket, kutatásokat igényel:

a) hídfőben futó láncfüzér szakasz érthetetlen láncgörbe számítása a kézirat 25. oldalán;

b) láncgörbék geometriai számításánál az egységesen 12 ft ordinátatávolságok számítása a változó hajlásszögű, egységesen 12 ft csaplyuk távolságú lánctagok mellett;

c) a láncokban ébredő változó húzóerőt követő különböző lánclemez-vastagságok kérdésköre, tekintettel azok gyárthatósági kérdésére.

Az első Lánchíd teherbírása

A Lánchíd, akárcsak bármelyik másik híd esetében is az a legfontosabb kérdés, hogy mekkor a híd teherbírása.

Az első Lánchíd méretezéséről, teherbírásáról eddig csak rendkívül keveset tudtunk. A Lánchíd legrészletesebb építéstörténetét Páll Gábor készítette el. Máig meghatározó, lényegében minden későbbi szakirodalomban alapul vett, két tanulmányát egyetemistaként készítette el. 1954-

ben „Pons” jelige alatt írta meg a Magyar Tudományos Akadémia pályázatára első tanulmányát A Széchenyi lánchíd története címmel[8].

Páll Gábor első 100 oldalas tanulmányának továbbdolgozásával készítette el 1956-ban, szintén a Magyar Tudományos Akadémia pályázatára „Danubius” jeligéjű pályaművét A Budapesti Duna-hidak története címmel. Mivel Páll Gábor 1956-ban elhagyta Magyarországot, kiváló munkája évtizedekre a fiókban maradt. Az ő dolgozata képezte alapvetően az 1984-ben megjelent dr. Gáll Imre: A budapesti Duna-hidak című könyv alapszövegét, így ennek 2005. évi bővített második kiadását is. Páll Gábor kutatásához köthető a Lánchídhoz kapcsolódó adatközlések túlnyomó többsége.

Páll Gábor sok részletet közöl Kherndl Antal 1888-1892 közötti vizsgálatairól is, így lehetséges, hogy dolgozatához felhasználta a valahol lappangó Kherndl-féle számításokat.

Páll Gábor kutatásaiból tudhatjuk, hogy az első Lánchíd méretezésekor négyzetlábanként 50 font hasznos terhelést, azaz 244 kg/m^2 terhet vettek alapul és a láncokban a megengedett feszültség 11,0 kg/mm^2 volt.[9]

A most fellelt erőtani számításban ezzel szemben a hasznos terhelés értéke négyzetlábanként 62 font (62 lb/ft^2), ami 302,7 kg/m^2 hasznos terhelésnek felel meg. Ez 24%-kal több, mint Páll Gábor által közölt érték.

A hasznos terhelés vonatkozásában külön kiemelendő, hogy a 302,7 kg/m^2 egyenletesen megoszló hasznos terhet nemcsak a kocsipálya teljes szélességében, hanem egyidejűleg mindkét gyalogjárda teljes szélességében is alkalmazták.

A láncokban megengedett feszültséget a részletes erőtani számítás 9 ton/in^2 értékben rögzíti, ami 14,2 kg/mm^2 feszültségnek felel meg. Ez 29%-kal magasabb, mint a Páll Gábor által közölt érték. Ha azonban az erőtani számítás 24. oldalán szereplő 6,94 ton/in^2-et, átszámítva 10,9 kg/mm^2 feszültség értéket tekintjük, akkor az lényegében azonos Páll Gábor által közölt 11,0 kg/mm^2 értékkel.

[8] Páll G. (2021) https://hidak.hu/konyvek/hidkincstar001.pdf
[9] lásd Páll G. (2007) 6. p.34 https://hidak.hu/konyvek/Lanchid_06_Danubius.pdf

A láncanyag szakítószilárdsága az első Lánchíd 1913-1915 közötti átépítésének előkészítéséhez kapcsolódóan kivett mintadarabok roncsolásos vizsgálatai szerint 33,0-34,0 kg/mm^2 volt, azaz a W. T. Clark-féle megengedett feszültség a szakító szilárdság 42,3%-a volt 9 ton/in^2 esetén, illetve 32,6%-a volt a 6,94 ton/in^2 esetén.

Mihailich Győző publikációja[10] szerint az átépítés előtti Kherndl-féle számítás a láncok 12,0 kg/mm^2-es megengedett feszültségszintje mellett a hidat 320 kg/m^2 egyenletesen megoszló terhelésre[11] tudta megfeleltetni. Mindenképpen kiemelendő, hogy ez közel azonos a W. T. Clark-féle erőtani számítással, amennyiben a megoszló terhelést Kherndl a gyalogjárdákon is alkalmazta.

A W. T. Clark-féle számításban igazolt teherbírás általános biztonág szintjét jellemezhetjük a következők szerint. A láncban ébredő számított legnagyobb húzóerő 3553,36 ton, a szélső nyílások legalsó pontjában, figyelembe véve a pilléren számolt vízszintes erők kiegyensúlyozásából adódó többletet. Ha ezt az erőtani számításban előforduló legnagyobb húzóerőt elosztjuk a láncok keresztmetszetével, azaz 506 in^2 értékkel (figyelmen kívül hagyva az egész kis értékkel eltérő tényleges láncvastagságokat), akkor a láncban ébrdő feszültség 7,022 ton/in^2 értékre adódik (11,4 kg/mm^2). A pályaszerkezet és hasznos teher súlyelemzésénél szerepelt +5% biztonági tartalék. A pályaszerkezet és a hasznos teher adja a láncterhelés 69%-t, így a fenti +5% biztonág globális szempontból +3,4%-nak felel meg. A kiszámolt feszültség a megadott 9 ton/in^2 megengedett feszültségszinthez képest 28% biztonágot jelent, ami a 3,4% teheroldali biztonággal együtt mindösszesen 32,5% biztonági tartaléknak felel meg.

Az előző gondolatsor mutatja, hogy a számítás a biztonágra törekvő, megnyugtató 32,5% tartalékot tartalmaz. Igaz számos részletvizsgálat (pl. parciális terhelések) hiányoznak.

Egyes alkatrészeknél magasabb biztonági szintet alkalmaztak (pl. horgonycsap háromszoros biztonága). S természetesen ezen felül értendő a megengedett feszültségértékből származó alap biztonági szint, ami mint láttuk a szakítószilárdság 42,3%-a.

---

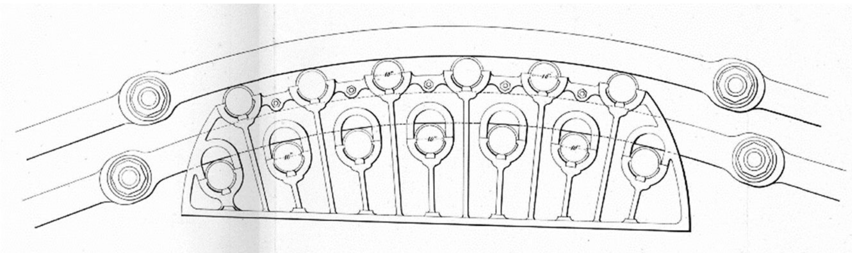
[10] Mihailich G. (1960), Domonkos Cs. (2022)

[11] Idézett műben 320 kg/cm^2 szerepel, ami bizonyosan nyomdahiba.

A Lánchíd erőtani számításának rövid elemzése után pár szót külön is érdemel a láncok mederpilléreken való átvezetése.

Mint az erőtani számításban láthatjuk, a Lánchíd erőtani vizsgálatának egyik legösszetettebb része a mederpillérek tetején lévő koronasarun átadódó erők kezelése.

A W. T. Clark-féle első Lánchídnak a koronasaruját az alábbi ábra[12] mutatja.



A koronsarun átvezetett íves láncok 6, illetve 7 sarucsapra fekszenek fel. Elvileg ezeken a csapokon a láncok saját körívük mentén elcsúszhattak, valamennyire, azt eredményezve, hogy a lánfüzérekben ébredő lánctengely irányú erők kiegyenlítődjenek.

Mivel a középnyílás és a parti nyílás láncfüzérének irányszöge nem volt egyforma, ezért a koronasarunál a pillérre átadódó terhelés eredője nem lehet függőleges. Ha azonos lánctengely irányú erőket feltételezünk, akkor a pillérre adódó közel függőleges terhelés iránya a középnyílás és parti nyílás láncfüzér hajlásszögének szögfelezőjével azonos.

A Magyar Nemzeti Levéltárban fennmaradt egy koronsarut ábrázoló tervlap[13] számos utólagos rájegyzeteléssel, mutatva a koronasaru pozícióját is a pillértest tetején.

E tervlapról két érdekes részlet állapítható meg. Egyrészt a koronasarut nem a pillér tengelyében ábrázolja, hanem jelentős külpontossággal. Másrészt látható, hogy a koronasaru öntöttvas öntvényének alsó síkja

[12] Clark, W. T. (1852)

[13] Magyar Nemzeti Levéltár Országos Levéltára – T14-No.34/III/108.

nem vízszintes, azaz ferde beépítést ábrázol. A ferde beépítéssel lehetséges volt az irányszögekhez való jobb igazodás[14]. A tervlap tartalmazza az íves lánchoz csatlakozó irányszögek szögfelezőjét is.

E tervlapon szereplő beépítési ferdeség látható a fenti ábrán is, amelyen a pillértest nincs ábrázolva, így nyomtatási pontatlanságnak tűnhet a koronasaru ferdesége, pedig nem az.

Mindez azért fontos részlet, mert a Lánchíd teherbírásának későbbi megítélésének egyik sarokköve volt a pillérekre adódó vízszintes terhelés kérdése.

A Lánchíd 1913-1915 közötti átépítésekor vízszintes görgősoron támaszkodó koronasarukat építettek be pont azért, hogy a láncfüzérekben a húzóerő vízszintes komponense egyforma legyen és a pillérek tisztán csak függőleges terhelést kapjanak. Az átépítési iratokból ismert, hogy miután megszüntették a káros ferde erőhatásokat – a régi 10 kg/cm^2-ről 5,5 kg/cm^2-re csökkent[15] a pillérek mértékadó talpfeszültsége.

Mindez figyelemreméltó csökkenés tudva, hogy közben a híd önsúlya és hasznos teherbírása is jelentősen megnőtt. A pillér talpfeszültségében jelentős hányaddal szerepel maga a pillér önsúlya[16].

A röviden felvillandott koronasaru-kérdéskör tisztázása, a láncfüzérek hajlásszöge és az esetleges láncfüzér szögtörés kérdése további vizsgálatokat, elemzéseket, kutatásokat kíván.

---

[14] A koronasaru szempontjából a legideálisabb az lenne, ha az érkező láncfüzérek hajlásszöge pontosan érintőlegesen csatlakozna a koronasarun átvetett íves lánctaghoz, biztosítva a láncfüzér iránytörés-mentességét. Aligha képzelhető el azonban az, hogy a léncfüzérek ezt a kívánalmat tökéletesen teljesítették volna.

[15] Mihailich G. (1960), Páll G. (2007)

[16] Ha gyors közelítésként az 1913-1915 közötti átépítés pillér talpterhelését az átépítés előtti állapot 1,1-szeresének vesszük, akkor a pillér keresztmetszete mentén egyenletesen 5,5 kg/cm^2 talpfeszültséggel szemben a hivatkozott átépítés előtti 10 kg/cm^2 talpfeszültség úgy állítható elő, ha az átépítés előtti pillér alapterhelés excenricitása a pillér szélességének 1/6-od része.

Néhány szó a magyar átíráshoz

Az alábbiakban közreadjuk a részletes erőtani számítás magyar átírását. Az átírás során nem ragaszkodtunk a kézirat szó szerinti fordításához, hanem a számítás követhetőségét, olvashatóságát szem előtt tartva éltünk magyarázó kiegészítésekkel.

A számértékeket minden esetben elláttuk angol mértékegységgel, az értéket megadva metrikus átváltásban is. A kéziratban[17] a számok értelmezését legtöbb esetben segíti a kiírt mértékegység, de sok esetben ez hiányzik, a számjegyek közötti pontozás, kettőspont pedig jelenthet tizedesvesszőt, ezresek csoportosítását vagy épp mértékegységek közötti váltást is.

Az átírásban következetesen a vessző minden esetben a tizedes értékek elválasztására használtuk, az ezresek csoportját a számjegyek közötti szóközzel tettük könnyebben átláthatóvá.

A kézirat átírásából az értelmezéshez nélkülözhető egyes számítási részleteket elhagytunk, ezeket a helyeket legtöbb esetben [...] – jelöléssel láttuk el.

A számításban majd minden esetben a terhek a teljes hídkeresztmetszetre vonatkoznak, azaz a négy láncfüzér számítása együtt történik. A számításban egyáltalán nincs parciális terhelés vizsgálat sem kereszt- sem hosszirányban.

A kézirat tetején tollal írt eredeti kézirat oldalszámozás van, amelyre a számítás belső hivatkozásai vonatkoznak. Ez a számozás folyamatos, a könyvben az üres oldalakra írt részletes erőtani számítás 21. és 22. oldala között található a II. támasz, azaz a pesti mederpillér cölöpadatait tartalmazó táblázatos oldalak. Ezen oldalszámokat alábbiakban megadjuk, segítve az eredeti kézirathoz való kapcsolódást.

[17] Továbbiakban W. T. Clark-féle erőtani számításra kéziratként hivatkozunk.

Köszönetnyilvánítás

Technikatörténeti forrás kiadványunk a Lánchíd füzetek szakmai kiadvány-sorozat 32. köteteként jelenik meg a sorozatgondozó Első Lánchíd Bt. és a Fővárosi Szabó Ervin Könyvtár közös kiadványként.

Ezúttal is köszönöm a Fővárosi Szabó Ervin Könyvtár főigazgatója, dr. Fodor Péter és a Budapest Gyűjteményt kezelő Sándor Tibor osztályvezető szíves támogatását és segítségét.

Hajós Bence

Irodalomjegyzék

Clark, W. T. (1852) An account, with illustrations, of the suspension bridge across the river Danube, uniting Pesth with Buda and the adjacent country, in the kingdom of Hungary. London

Domonkos Cs. (2022) A Lánchíd története 1849-től a XXI. századig. kézirat, kiadás előtt, Magyar Műszaki és Közlekedési Múzeum, Budapest

Drewry C. S. (1832) A memoir on Suspension bridges. London

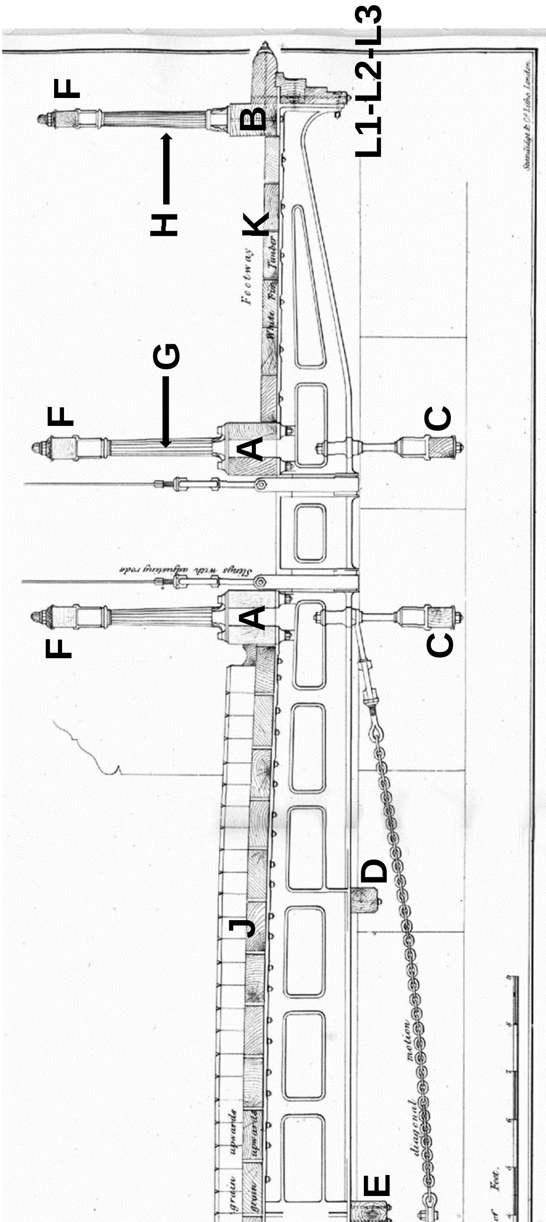
Hutton, C. (1822) Mathematical tables; containing the common, hyperbolic, and logistic logarithms, also sines, tangents, secants, & versed sines, both natural and logarithmic. London

Mihailich G. (1960) A XIX. és XX. századi magyar hídépítés emlékei. Akadémiai Kiadó, Budapest

Páll G. (2007) A budapesti Duna-hidak története. Lánchíd füzetek 6. Első Lánchíd Bt, Biri https://hidak.hu/konyvek/Lanchid_06_Danubius.pdf

Páll G. (2021) A Széchenyi lánchíd története. Hídkincstár 1. Első Lánchíd Bt, Biri https://hidak.hu/konyvek/hidkincstar001.pdf

Tredgold T. (1824) Practical essay ont he strength of cast iron, and other metals. London



A Lánchíd keresztmetszete W. T. Clark könyvének mellékletéből,
az egyes faalkatrészek lábjegyzetben szereplő betűjelével.

Részletes erőtani számítás

kézirat 1. oldala

A Pest és Buda közötti függőhíd részletes számítása

A pályaszerkezet hossza a mederpillérek között:		634 ft 193,24 m
A felfüggesztési pontok közötti távolság:		665 ft 202,69 m
Láncfüzés belógása, ami egyenlő a nyílás 1/14-ed részével:		47 ft 6 in 14,48 m
Pályaszerkezet szélessége:		
Kocsipálya szélessége:	24 ft ½ in	7,47 m
Gyalogjárda szélessége:	mindegyik: 5 ft 7½ in	1,71 m
Láncfüzérek tengelytávolsága:	28 ft 11 in	8,81 m
Középnyílásban lévő kereszttartók száma:		106
Pesten[18] öntött kereszttartók súlya:	31 cwt	1 574,9 kg
Láncfüzér hossza[19]		[20]

[18] W. T. Clark itt nyilván azt hangsúlyozza, hogy nem Angliában készültek a kereszttartók. Valójában ezeket nem Pesten, hanem Dernőn öntötték.
[19] Az innen következő adatok a középnyílásra vonatkoznak.
[20] A Láncfüzér hossza adat a kéziraton nincs beírva. A számítás 16. oldala szerint ennek hossza 677 ft, azaz 206,35 m.

Középnyílás láncfüzér irányszögének sin értéke: 0,27473

Középnyílás láncfüzér irányszögének cos értéke: 0,96150

Teljes felfüggesztett terhelés: 1 264,89 ton 1285,1 t

Teljes felfüggesztett terhelés 5% biztonággal együtt:
1 328,13 ton 1349,4 t

Parti nyílások láncfüzér irányszögének sin értéke: 0,38264

Parti nyílások láncfüzér irányszögének cos értéke: 0,92387

Lánc húzóerő és a láncot terhelő függőleges terhelés szorzószáma a felfüggesztési pontban: 1,819

Lánc húzóerő és a és a láncot terhelő függőleges terhelés szorzószáma a lánc legalsó pontjában: 1,7506

Lánccsapok átmérője: 4 3/8 in
111 mm

A láncfüzérek teljes tömege a csapokkal és csavarokkal: 601,05 ton
610,7 t

A láncfüzér keresztmetszeti területe a nullpontban: 445,13 in^2
287 180 mm^2

Függőleges terhelés egy mederpillére (lásd 34 oldal): 1843,463 ton
1873,0 t

Függőleges terhelés a pillérre egy láncfüzér párra: 921,7317 ton
936,5 t

kézirat 2. oldala

Pályaszerkezet súlyszámítása a középnyílásra vonatkozóan
az 1843. szeptemberi terveknek megfelelően

A pályaszerkezet hossza a középnyílásban: 634 ft 0 in $\boxed{193,24\ \mathrm{m}}$

8 db hosszirányú fagerenda, 4-4 a kocsipálya két oldalán[21]

10 in x 4 in x 634 ft x 8 db = 1375 ft^3 0,4 in^3 $\boxed{38,9\ m^3}$
[...][22]

2 db hosszirányú fagerenda a külső széleken[23]

12 in x 8 in x 634 ft x 2 db = 836 ft^3 10,8 in^3 $\boxed{23,7\ m^3}$
[...]

4 db hosszirányú fagerenda a pályaszint alatt[24]

9 in x 6 in x 634 ft x 4 db = 932 ft^3 4,8 in^3 $\boxed{26,4\ m^3}$
[...]

2 db hosszirányú gerenda a kocsipálya alatt[25]

6 in x 6 in x 634 ft x 2 db = 317 ft^3 0,0 in^3 $\boxed{9,0\ m^3}$
[...]

[21] Keresztmetszeti rajzon (26. oldal) A-jelű – merevítőtartó középgerendái a kereszttartó tetején. A további betűjelek ugyanezen ábra szerint értendőek.
[22] A fenti számítás kifejtve részletesen a kéziratban, további faelemek esetében is a részletszámításokat itt nem közöljük. Ezen részletszámítások egységesen először 50 ft faanyag mennyiségét adják meg köblábban – valószínűleg táblázatból, majd utána azt szorozza ki a pályaszerkezet hosszára. Az 50 lábra megadott mennyiség mintegy 2%-kal kevesebb, mint a fa keresztmetszetéből számított névleges térfogat, így az ebből képzett összegek is cirka 2%-kal kisebbek – ezen eltérés oka vélhetően a gerendák él-lemunkálásából származik.
[23] B-jelű – gyalogjárdák külső oldalán, a kereszttartó tetején
[24] C-jelű – merevítőtartó alsó övrúdja
[25] D-jelű – kereszttartó aljához erősítve a harmadaiban

1 db hosszirányú gerenda a kocsipálya alatt hídtengelyben[26]

6 in x 9 in x 634 ft x 1 db = 233 ft^3 1,2 in^3 6,6 m^3
[...]

kézirat 3. oldala

---

6 db hosszirányú gerenda a korlátok tetején[27]

4 in x 6 in x 634 ft x 6 db = 660 ft^3 5,0 in^3 18,7 m^3
[...]

4 sor dupla farácsozás összesen 1413 ft 4 in hosszban[28] 430,78 m

6 in x 4 in x 1413 ft 4 in x 4 db = 981 ft^3 3,0 in^3 27,8 m^3
[...]

2 sor szimpla farácsozás a gyalogjárda külső oldalán, összesen a szükséges 680 ft 207,26 m hosszban[29]

6 in x 4 in x 680 ft x 2 db = 236 ft^3 1,4 in^3 6,7 m^3
[...]

1 db hosszirányú faelem a kocsipálya alatt[30]

4 in x 2 in x 650 ft x 1 db = 72 ft^3 2,8 in^3 2,0 m^3
[...]

---

26 E-jelű – kereszttartó aljához erősítve középen
27 F-jelű – merevítőtartó és külső korlát felső öve
28 G-jelű – merevítőtartó ferde, egymást keresztező farácsrúdjai
29 H-jelű – külső gyalogoskorlát ferde farácsozata, itt valójában X-rácsozás készült és nem szimpla rácsozás, így ezzel kevesebb a számított mennyiség a valósághoz képest – nyilván összességében ez elenyésző hiány.
30 I-jelű – nem sikerült beazonosítani, de kicsiny mennyiségről van szó, angol megnevezése Herring boning

Kocsipálya fapalló borítása 6 in $\boxed{15{,}2\ \mathrm{cm}}$ vastagságban teljes kocsipálya szélességben, de figyelembe vesszük a kocsipálya fenyőkocka burkolatát is, amivel együtt az összvastagság pontosan 1 ft $\boxed{30{,}5\ \mathrm{cm}}$.

Kocsipálya szabad szélessége: 24 ft 1/2 in $\boxed{7{,}33\ \mathrm{m}}$

[...]

Kocsipálya területe: 24 ft 0,5 in x 634 ft = 15 242 ft^2 5 in^2

$\boxed{1\,416{,}03\ \mathrm{m}^2}$

Kocsipálya térfogata: 24 ft 0,5 in x 634 ft x 1 ft = 15 242 ft^3 5 in^3

$\boxed{431{,}6\ \mathrm{m}^3}$

kézirat 4. oldala

Gyalogjárdák pallózása 4 in vastagságban

A gyalogjárda szélessége 5 ft 7,5 in, a kettő együttesen 11 ft 3 in széles[31]

$\boxed{3{,}43\ \mathrm{m}}$

[...]

A gyalogjárda területe 11 ft 3 in x 634 ft = 7 132 ft^2 6 in^2

$\boxed{662{,}59\ \mathrm{m}^2}$

illetve ez osztva hárommal[32]

A gyalogjárda palló térfogata: = 2 377 ft^3 6,0 in^3

$\boxed{67{,}3\ \mathrm{m}^3}$

2 db díszpárkány a járdák külső oldalán három hosszirányú faelemből összeállítva – a részleteket lásd a 11. oldalon[33]

---

[31] K-jelű gyalogjárdák pallóburkolata 10 cm vastagságban

[32] mivel 4 in vatagságú a pallózás, ami 1 ft = 12 in harmada

[33] L-jelű – 3 db díszpadló, összecsapolva, vízorr képzéssel, ennek részletszámításai a kézirat 11. oldalán találhatóak, részelemenkénti számítással, itt csak a végösszeget adjuk meg:

L-1-elem: 12 in x 4 in legömbölyített palló
L-2-elem: 12 in x 5,5 in takarópalló
L-3-elem: 4,75 in x 3,25 in díszléc

A három elem összesen 634 ft hosszban két oldalon = 1118 ft^3 8,0 in^3

Faanyagok összegzése[34]

A	8 db hosszgerenda	1375 ft³ 0,4 in³	38,9 m³
B	2 db külső hosszgerenda	836 ft³ 10,8 in³	23,7 m³
C	4 db merevítőtartó alsóöv	932 ft³ 4,8 in³	26,4 m³
D	2 db kocsipálya alatti hosszgerenda	317 ft³ 0,0 in³	9,0 m³
E	1 db kocsipálya alatt hídtengelyben	233 ft³ 1,2 in³	6,6 m³
F	6 db felsőöv gerenda	660 ft³ 5,0 in³	18,7 m³
G	4 sor duplarácsozás a merevítőtartóhoz	981 ft³ 3,0 in³	27,8 m³
H	2 sor szimplarácsozás a külső korláthoz	236 ft³ 1,4 in³	6,7 m³
I	Herring boning	72 ft³ 2,8 in³	2,0 m³
J	Kocsipálya pallóburkolása és burkolata	15 242 ft³ 5,0 in³	431,6 m³
K	Gyalogjárda pallózása	2 377 ft³ 6,0 in³	67,3 m³
L	Díszpárkány külső oldalon	1 118 ft³ 8,0 in³	31,7 m³
	Mindösszesen:	24382 ft³ 11,1 in³	690,4 m³

Faanyag súlyszámítása[35]

faanyag: 24383 ft³ x 34 lb/ft³	= 829 022,0 lb	376 044 kg
díszpárkányok csavarjai	3 182,6 lb	1 444 kg
díszpárkányok alátétjei, egyéb alkatrészei	1 247,3 lb	566 kg
Összsúly:	833 451,9 lb	378 054 kg

kézirat 5. oldala

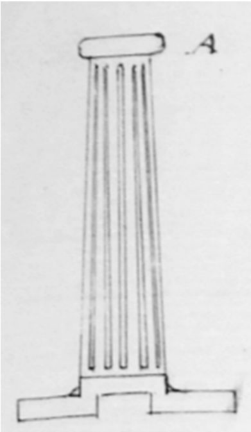
Szükséges kovácsoltvas elemek számítása a kocsipálya készítéséhez kereszttartónkként[36]

Kereszttartónként 11-féle kötőelem, összesen 177 db 240,53 lb
109,1 kg

[34] Megadtuk az előzőekben a lábjegyzetben bevezetett A-L betűjeleket is.
[35] A faanyag sűrűsége 34 lb/ft³ – ez 545 kg/m³-nek felel meg.
[36] A kézirat tételesen megadja a szükséges csavarokat átmérőnként és csavarhosszonként csoportosítva, ezek végösszegét közöljük csak itt.

kézirat 6. oldala

Szükséges öntöttvas elemek súlyszámítása



212 x 30

Kis öntöttvas oszlop a kocsipálya alatt, ahol nincs ferde rácsrúd[37]
[...]

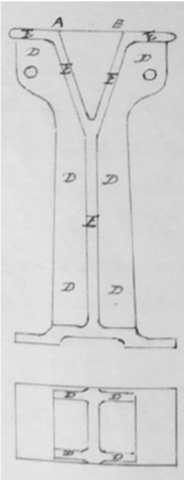
egy oszlopocska térfogata 119,674 in^3
1 961,1 cm^3

[...][38]

egy oszlopocska súlya 119,674 / 4 = 29,918 lb
helyett >> 30 lb
14,5 kg

Összesen[39] van a középnyílásban 212 oszlopocska:
= 6 360 lb
2 884,9 kg

[37] A kézirat az öntvény egyes részei alapján számítja a térfogatot, alábbiakban csak a végeredményeket adjuk meg.
[38] Itt és a későbbiekben is az öntöttvas súlyszámítás módja, a in^3-ben számított térfogat negyede a súly fontban – lb, azaz a számított sűrűség 0,25 lb/in^3, ami 6920 kg/m^3.
[39] A középnyílásban 106 kereszttartó van, minden másodiknál van ilyen alsó oszlopocska mind a négy merevítőtartóban, így 106 / 2 x 4 = 212 db



Kis öntöttvas oszlop a kocsipálya alatt, ahol beköt a ferde rácsrúd
[...]

egy oszlopocska térfogata 224,67 in^3

3681,7 cm^3

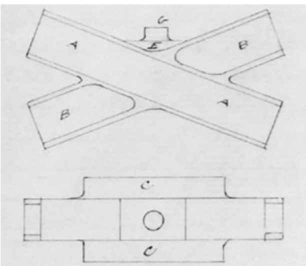
egy oszlopocska súlya 224,67 / 4 = 56,17 lb
helyett >> 56 lb

25,4 kg

Összesen van a középnyílásban 212 oszlopocska:
212 x 56 = 11 872 lb

5 385,1 kg

kézirat 7. oldala



Merevítőtartó keresztrácsozás keresztezési öntöttvas kapcsolóeleme
[...]

egy alkatrész térfogata 631,741 in^3

10 352,4 cm^3

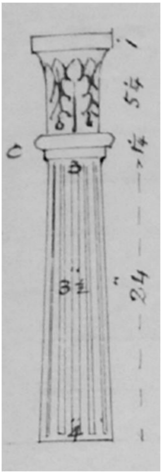
egy alkatrész súlya 631,741 / 4 = 157,935
helyett >> 158 lb

71,7 kg

Összesen van a középnyílásban 212 alkatrész: 212 x 158 = 33 496 lb

15 193,8 kg

kézirat 8. oldala



Leveles öntöttvas középoszlop ferde rácsrúd bekötés nélkül a kocsipálya felett

[...]

egy oszlop térfogata 282,927 in^3

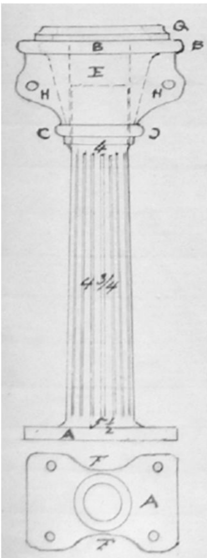
4 636,3 cm^3

egy oszlop súlya 282,927 / 4 = 70,731 helyett >> 71 lb

32,2 kg

Összesen a középnyílásban 318 oszlop[40] van: 318 x 71=22 578 lb

10 241,4 kg



Leveles öntöttvas középoszlop ferde rácsrúd bekötésekkel a kocsipálya felett

[...]

kézirat 9. oldala

[...]

egy oszlop térfogata 729,605 in^3

11 956,1 cm^3

[...]

egy oszlop súlya 729,605 / 4 = 182,401 lb

82,7 kg

[...]

Összesen van a középnyílásban 318 oszlop[41]:

318 x 182,401 =58 003,518 lb

26 310,4 kg

[40] A középnyílásban 106 kereszttartó van, minden másodiknál számít ilyen felső oszlopot mind a négy merevítőtartóban és a két külső korlátban, így 106 / 2 x 6 = 318 db

[41] Megjegyzésül: valójában a külső korlát x-rácsozással épült meg, ezért ténylegesen ebből a nehezebb oszlopból a középnyílásba 318 helyett 424 db épült be és a könnyebb leveles oszlopból pedig 318 helyett csak 212 db.

A ferde rácsrudakhoz a felső oldalukra szükséges laposvasak, egyenként 4 in széles, 9 in hosszú, és hozzávetőlegesen 1 in vastag

egy elem térfogata 1 x 4 x 9	= 36 in^3 589,9 cm^3

[...]

egy elem súlya 36 / 4	= 9 lb 4,1 kg cm^3
Összesen van a középnyílásban 318 elem: 318 x 9	= 2 862 lb 1 298,2 kg

Öntöttvas kereszttartók súlyszámítása

Középnyílásba szükséges 106 db öntöttvas kereszttartó

Minden egyes kereszttartó súlya, melyeket Pesten öntenek, hozzávetőlegesen súlya 31 cwt = 3472 lb
1 574,9 kg

[...]

Összes kereszttartó 106 x 3472 lb	= <u>368 032 lb</u> 166 939,3 kg

Öntöttvas elemek összegzése a középnyíláshoz

106 db kereszttaró	368 032 lb	166 939,3 kg
212 db kis alsó oszlop	6 360 lb	2 884,9 kg
212 db kis alsó oszlop rácsbekötésekkel	11 872 lb	5 385,1 kg
212 db rácsoszlopok keresztezési alkatrésze	33 496 lb	15 193,8 kg
318 db leveles felső oszlop	22 578 lb	10 241,4 kg
318 db felső oszlop rácsrúd bekötéssel	58 004 lb	26 310,4 kg
318 db fedőlemez	2 862 lb	1 298,2 kg
Összesen	<u>503 204 lb</u>	228 253,3 kg

Félkör vasrudak szükséges súlya 5 lb/ft 7,4 kg/fm, a gyalogjárda korlátjainak külső oldalán a híd teljes hosszában

A kocsipálya hossza:	634 ft	193,24 m
Félkör rúd szükséges hossza 634 ft x 4	= 2536 ft	772,97 m
Félkör rúd súlya 2536 ft x 5 lb/ft	= 12 680 lb	5 751,6 kg

Hasznos terhelés

A számítás során figyelembe veendő szükséges hasznos terhelés[42] nagysága 62 lb a kocsipálya és a gyalogjárdák minden négyzetlábnyi hasznos területe után 302,7 kg/m².

A kocsipálya területe[43]:	15 242,5 ft²	1 416,1 m²
A gyalogjárdák területe:	7 132,5 ft²	662,6 m²
Összesen:	22 375,0 ft²	2 078,1 m²

Hasznos terhelés: 22375 ft² x 62 lb/ft² = 1 387 250 lb

629 256,6 kg

Tehát 1 387 250 lb a teljes hasznos terhelés a középnyílásban.

kézirat 11. oldala

[...][44]

kézirat 12. oldala

[...][45]

Középnyílás díszpárkányához szükséges 3 féle méretű csavarból összesen 1470 db, ezek összsúlya: 3 182,605 lb

1 443,6 kg

Csavarokhoz szükséges alátétlemezek összsúlya: 1 247,31075 lb

565,8 kg

[42] insistant weight
[43] A kocsipálya és a gyalogjárda terület számítását lásd a 31. oldalon.
[44] A 11. kéziratoldal felén a fa díszpárkány három elemének részletes mennyiségszámítása található, amelynek eredményét korábban megadtuk a 31. oldalon
[45] A díszpárkányhoz szükséges kovácsoltvas rögzítő szerelvények, csavarok, alátét lemezek számítása a kézirat 11-12. oldalán található, itt csak az összsúlyt adjuk meg.

A függesztőrudak szükséges keresztmetszetének meghatározása

A kereszttartók egymástól 6 láb 1,83 m távolságra vannak, így minden csoport függesztőoszlopnak 6 láb hosszú pályaszerkezet teljes terhelését kell megtartania, ezért először meghatározzuk ezen 6 láb hosszú kocsipálya szakasz terhelését.

A fagerendák együttes keresztmetszete annyi mint:

8 db 10 in x 4 in = 40 x 8		= 320 in^2	2 064,5 cm^2
4 db 9 in x 6 in = 54 x 4		= 216 in^2	1 393,6 cm^2
2 db 12 in x 8 in = 96 x 2		= 192 in^2	1 238,7 cm^2
2 db 6 in x 6 in = 36 x 2		= 72 in^2	464,5 cm^2
	Összesen eddig:	800 in^2	5 161,3 cm^2

kézirat 13. oldala

	Áthozat:	800 in^2	5 161,3 cm^2
1 db 9 in x 6 in		= 54 in^2	348,4 cm^2
6 db 6 in x 4 in = 24 x 6		= 144 in^2	929,0 cm^2
10 db 6 in x 4 in = 24 x 10		= 240 in^2	1 548,4 cm^2
1 db 4 in x 4 in		= 16 in^2	103,2 cm^2
	Összesen:	1254 in^2	8090,3 cm^2

$$\frac{1254\ \text{in}^2}{144} = 8{,}708\ \text{ft}^2$$

Gerendák összesen	8,708 ft^2	0,81 m^2
Kocsipálya padló és burkolat keresztmetszete	24,000 ft^2	2,23 m^2
Gyalogjárda pallózás keresztmetszete	3,750 ft^2	0,35 m^2
Összes fa keresztmetszet:	36,458 ft^2	3,39 m^2

6 láb hosszú fa pályaszerkezet térfogata 36,458 x 6 = 218,748 ft^3
6,2 m^3

6 lábnyi fa pályaszerkezet súlya 218,748 ft x 34 lb/ft^3		6,2 m^3 x 544,6 kg/m^3
	= 7 438,432 lb	3 374,1 kg
Plusz kétoldali díszpárkány	= 350,880 lb	159,2 kg
Összes faanyag súlya:	= 7 789,312 lb	3 533,2 kg

Egy kereszttartóközhöz tartozó öntöttvas elemek súlya:

Maga az öntöttvas kereszttartó	3 472,0 lb	1 574,9 kg
6 db középoszlop ferde bekötőkkel 183 lb/db	1 098,0 lb	498,1 kg
2 db keresztezési kapcsolóelem 158 lb/db	316,0 lb	143,3 kg
4 db kis oszlop kocsipálya alatt 56 lb/db	224,0 lb	101,6 kg
2 db alátétek 6 lb/db	12,0 lb	5,4 kg
6 db laposvas 9 lb/db	54,0 lb	24,5 kg
Összes öntöttvas elem:	5 176,0 lb	2 347,8

Szükséges kovácsoltvas alkatrészek kereszttartónkként:

Csavarok:	241,0 lb	109,3 kg
Alátétek, anyák:	30,0 lb	13,6 kg
24 ft ½ átmérőjű rúd (5 lb/ft súllyal)	120,0 lb	54,4 kg
Összesen:	391,0 lb	177,4 kg

Hasznos terhelés meghatározása egy kereszttartó közre

Kocsipálya hasznos szélessége:	24 ft	7,32 m
Kocsipálya hasznos területe 24 ft x 6 ft	= 144 ft^2	13,38 m^2
Kocsipálya hasznos terhelése 62 lb/ft^2 x 144 ft^2	= 8 928 lb	4 049,7 kg

Két gyalogjárda hasznos szélessége: 11 ft 3 in

3,43 m

Gyalogjárdák hasznos területe 11 ft 3 in x 6 ft = 67 ft^2 6 in^2

6,23 m^2

Gyalogjárdák hasznos terhelése 62 lb/ft^2 x 67 ft^2 6 in^2 = 4 185 lb

1 898,3 kg

Hasznos terhelés a kocsipályán	8 928 lb	4 049,7 kg
Hasznos terhelés a gyalogjárdákon	4 185 lb	1 898,3 kg
Hasznos teher összesen egy kereszttartó közre	13 113 lb	5 948,1 kg

kézirat 14. oldala

Súlyösszegzés egy kereszttartó közre

Faanyagok súlya		7 789,312 lb	3 533,2 kg
Öntöttvas anyagok súlya		5 176,000 lb	2 347,8 kg
Kovácsoltvas kötőelemek súlya		391,000 lb	177,4 kg
Hasznos terhelés		13 113,000 lb	5 948,1 kg
	Összesen:	26 469,312 lb	12 006,5 kg

azaz egy kereszttartóköz pályaszerkezet teljes terhelése 26470 lb / 2240 = 11,81 ton 12,0 t terhelést kell felvennie a 4 db függesztőrúdnak.

A függesztőrudak igen hosszúak és kereszttartónként négy rúd szükséges. W. T. Clark úgy gondolja a tervezett elrendezés elegendő mozgásképességet enged a szükséges alakváltozásokhoz.

A függesztőrudak beszabályozó egysége = 6,25 = egy rúd 2,5 sq[46]

A függesztőrudak átlagos hossza:	22,5 ft	6,86 m
A 106 függesztőrúd együttes hossza 106 x 22,5 ft	= 2385,0 ft	726,95 m
Egy függesztőrúd készlet (4 db) súlya	20,8 lb/ft	31,0 kg/m

[...]

A 106 függesztőrúd készlet súlya 2385 ft x 20,8 lb/ft = 49 608 lb
22 502,2 kg

Szükséges további elemek
[...]

212 pár alsó kapcsolóelem 54 lb/pár	11 448,00 lb	5 192,8 kg
212 pár függesztő hevederszalag és kapocs 3 in x ¾ in x 3ft 76 x 19 x 914 mm	10 216,32 lb	4 634,1 kg

Összegzés:

106 készlet (106 x 4 db) függesztőrúd	49 608,00 lb	22 502,2 kg
212 pár alsó kapcsolóelem	11 448,00 lb	5 192,8 kg
212 pár függesztő hevederszalag és kapocs	10 216,32 lb	4 634,1 kg
Összesen:	71 272,32 lb	32 329,1 kg

46 Mértékegység hiányos a kéziratlap szélén.

kézirat 15. oldala

Súly összegzés a középnyílásra

Pályaburkolat faanyaga és csavarjai		833 452,00 lb	378 053,8 kg
Kovácsoltvas csavarok		25 496,00 lb	11 565,0 kg
Félkör rúd a korlátok külső oldalán		12 680,00 lb	5 751,6 kg
Függesztőrudak és kapcsolódó elemei		71 272,32 lb	32 329,1 kg
Öntöttvas elemek		503 204,00 lb	228 253,3 kg
Hasznos teher 62 lb/ft²	302,7 kg/m²	1 387 250,00 lb	629 256,6 kg
	Összesen:	2 833 354,00 lb	1 285 209,4 kg
	+5% biztonág	141 667,00 lb	64 260,2 kg m²
	Mindösszesen:	2 975 021,00 lb	1 349 469,5 kg

A teljes függesztett teher mindösszesen tehát[47]:

$$\frac{2\,975\,021 \text{ lb}}{2\,240} = 1\,328{,}13 \text{ ton}$$

1 349,5 t

illetve a +5% biztonág nélkül pedig:

$$\frac{2\,833\,354 \text{ lb}}{2\,240} = 1\,264{,}89 \text{ ton}$$

1 285,2 t

Először is megállapítjuk a középnyílásban a lánc hajlásszögét, azaz a lánc kezdőívének a vízszintes húrral bezárt szögét.

A lánchajlás keresett hajlásszögének szinusz értéke a felfüggesztés pontjában =

$$\sin(\alpha) = \frac{2 \cdot \text{lehajlás}}{\sqrt{((2 \cdot \text{lehajlás})^2 + \text{félhúr}^2)}}$$

$$\sin(\alpha) = \frac{2 \cdot 47{,}5}{\sqrt{((2 \cdot 47{,}5)^2 + 332{,}5^2)}}$$

[47] A 2240-es osztás a mértékegység átváltásból adódik (20 x 4 x 28 = 2240).

$$\sin(\alpha) = \frac{95,0}{\sqrt{9\,025 + 110\,556,25}}$$

$$\sin(\alpha) = \frac{95}{\sqrt{119\,581,25}}$$

$$\sin(\alpha) = \frac{95}{345,81}$$

$$\sin(\alpha) = 0,27473$$

$$\alpha = 15°57'0''$$

$\cos(15°57'0'') = 0,96150$ Hutton-táblázat[48] szerint

A parti nyílásokban a lánc hajlásszögének meghatározása:

A fél húrhossz a parti nyílásban 297 ft 0 in 90,53 m
A függőleges távolság a piloncsúcs és a hídfő iránytörő között, ami egyúttal a parti nyílásban a lánc belógásával egyenlő 62 ft 6 in 19,05 m

A lánchíjlás keresett hajlásszög szinusza a felfüggesztés pontjában =

$$\sin(\alpha) = \frac{2 \cdot 62,5}{\sqrt{((2 \cdot 62,5)^2 + 297^2)}}$$

$$\sin(\alpha) = \frac{125}{\sqrt{15625 + 88209}}$$

$$\sin(\alpha) = \frac{125}{\sqrt{103834}}$$

$$\sin(\alpha) = \frac{125}{322,23}$$

[48] Hétjegyű függvénytáblázat – Clark Ádám saját példánya fennmaradt, családi tulajdonban. Charles Hutton: Mathematical tables. London 1822

$$\sin(\alpha) = 0{,}38799$$

$$\alpha = 22°50'0''$$

$$\cos(22°50'0'') = 0{,}9216375 \qquad \text{Hutton táblázat szerint}$$

kézirat 16. oldala

Húzóerő meghatározása a pályaszerkezet terheléséből a felfüggesztési pontban

$$\text{Húzóerő } = \frac{\text{Teljes függesztett terhelés}}{2 \cdot \sin(\text{lánc hajlásszöge})}$$

$$= \frac{1\,328{,}13 \text{ ton}}{2 \cdot 0{,}27473} = \frac{1\,328{,}13 \text{ ton}}{0{,}54946}$$

$$= 2417{,}15 \text{ ton}$$

$\boxed{2\,455{,}8 \text{ t}}$

Húzóerő meghatározása a pályaszerkezet terheléséből a középnyílás közepén, a lánc legalacsonyabb pontján[49]

$$\text{Húzóerő } = \begin{cases} \text{Húzóerő a felfüggesztésnél} \\ \cdot \cos\ (\text{felfüggesztés hajlásszöge}) \end{cases}$$

$$= 2\,417{,}15 \text{ ton} \cdot 0{,}96150$$

$$= 2\,324{,}089 \text{ ton}$$

$\boxed{2\,361{,}3 \text{ t}}$

Lánc szükséges keresztmetszetének meghatározása a felfüggesztési pontban

A felfüggesztési pontban adódó húzóerő

$$= \frac{2\,417{,}15 \text{ ton}}{1\,328{,}13 \text{ ton}} = 1{,}819$$

1,819-szerese a felfüggesztett tehernek.

A legalacsonyabb pontban adódó húzóerő

[49] A láncgörbe vízszintes érintőjű pontjában, a nyílás közepén.

$$= \frac{2\,324{,}089 \text{ ton}}{1\,328{,}13 \text{ ton}} = 1{,}7506$$

1,7506-szorosa a felfüggesztett tehernek.

A keresztmetszet kiválasztásának szabálya: a lánc hosszát szorozva 0,00148 ton értékkel[50], valamint a felfüggesztési pontban érvényes láncirányú húzóerő arányszámával, a kapott szorzatot kivonjuk a láncok megengedett feszültség értékéből, a 9 ton/in^2 $\boxed{14{,}2 \text{ kg/mm}^2}$ értékből[51], így megkapjuk a terhek viselésére alkalmas feszültségszintet.

A láncgörbe hossza =

$$= 2 \cdot \sqrt{\left(\text{belógás} + \frac{\text{belógás}}{3}\right)^2 + \text{húr fele}^2}$$

$$= 2 \cdot \sqrt{(47{,}5 + 15{,}83)^2 + 332{,}5^2}$$

$$= 2 \cdot \sqrt{4\,010{,}6889 + 110\,556{,}25}$$

$$= 2 \cdot \sqrt{114\,566{,}9389}$$

$$= 2 \cdot 338{,}475$$

láncgörbe teljes hossza = 676,95 ft helyett a továbbiakban >> 677 ft $\boxed{206{,}35 \text{ m}}$

Középnyílásban a teljes lánc egy négyzetinch keresztmetszetének súlya:

677 ft x 0,00148 ton/in^2/ft = 1,00196 ton/in^2 $\boxed{1{,}6 \text{ kg/mm}^2}$

[50] A megadott szabályban a 0,00148 ton érték egy láb hosszú, egy négyzetinch keresztmetszetű láncanyag tömegét jelenti. Ez 7647 kg/m^3 sűrűségnek felel meg.
[51] A 9 ton/in^2 megengedett feszültség 14,173 kg/mm^2 feszültségnek felel meg. A láncanyag szakítószilárdsága a kivett mintadarabok alapján 33-34 kg/mm^2 volt, azaz a megengedett feszültség a szakító szilárdság 42,3%-a.

Ebből származó láncirányú erő:

1,00196 ton/in^2 x 1,819 = 1,82256524 ton/in^2 2,9 kg/mm^2

Ezt kivonva a lánc megengedett feszültségéből, ami 9 ton/in^2 14,2 kg/mm^2:

9,00000000 ton/in^2 – 1,82256524 ton/in^2 = 7,17743476 ton/in^2
11,3 kg/mm^2

A terhelés felvételére alkalmas feszültség rész tehát 7,17743476 ton/in^2

kézirat 17. oldala

Összeszorozzuk a felfüggesztett teljes terhelés értékét a láncok kivételével a felfüggesztési pontban érvényes láncirányú húzóerő arányszámával, majd ezt elosztjuk az előbb megállapított terhelés felvételére alkalmas feszültség résszel, megkapjuk a lánc szükséges keresztmetszetét.

A főtartó lánc keresztmetszete =

$$= \frac{1328{,}13\ \mathrm{ton} \cdot 1{,}819}{7{,}1774\ \frac{\mathrm{ton}}{\mathrm{in}^2}}$$

$$\frac{2415{,}86947\ \mathrm{ton}}{7{,}1774\ \frac{\mathrm{ton}}{\mathrm{in}^2}} = 336{,}59\ \mathrm{in}^2$$

217 154 mm^2

Drewry[52] a függőhidakról írt munkájában azt ajánlja, hogy az ilyen jellegű hidak esetében, mikor fedetlen helyen épülnek, vagy bármilyen fontosabb utakhoz kapcsolódnak, az előzőekben megadott szabály szerint kiszámolt keresztmetszeti értéket mérnöki biztonágból növeljük meg ¼-ével, vagy ½-vel.

[52] Drewry C. S. (1832)

A keresztmetszet területét tehát 506 in^2 326 451 mm^2 értékkel vesszük fel[53]. Az egy keresztmetszetben lévő 42 db lánclemez magassága egységesen 10,25 in 260 mm. 20 lemezes és 22 lemezes lánctagokat alkalmazunk[54].

Egy-egy lánclemez szükséges keresztmetszete és adódó vastagsága, a lánclemezek 10,25 in 260 mm magasság esetén

$$\frac{506\ \mathrm{in}^2}{2} = 253\ \mathrm{in}^2$$

163 225 mm^2

mindkét lánctag típus esetében, és

$$\frac{253\ \mathrm{in}^2}{20} = 12{,}65\ \mathrm{in}^2$$

8 161 mm^2

szükséges terület a 20 lemezre osztva,

$$\frac{12{,}65\ \mathrm{in}^2}{10{,}25\ \mathrm{in}} = 1{,}2342\ \mathrm{in}$$

31 mm

egy vastagabb típusú láncszem adódó vastagsága,

illetve

$$\frac{253\ \mathrm{in}^2}{22} = 11{,}5\ \mathrm{in}^2$$

7 419 mm^2

szükséges terület a 22 lemezre osztva,

[53] Alkalmazott növekmény +50%, ez biztonági többletet ad a teherbírásban, a további részletszámítások során ez a +50% kis mértékben csökken az itt még elhanyagolt tételek miatt.
[54] A számítás a teljes híd keresztmetszetre vonatkozik, így a lánctagok valójában oldalanként tagonként váltakozva 10 és 11 lánclemezből állnak.

$$\frac{11{,}5\ \text{in}^2}{10{,}25\ \text{in}} = 1{,}122\ \text{in}$$

28 mm

egy vékonyabb típusú láncszem adódó vastagsága.

Most a gyárthatóságot szem előtt tartva, a lánclemezek méretét felvesszük az alábbiak szerint:

vastagabb lánclemez (20 db-os): 10,25 in x 1,25 in 260 x 32 mm
= 12,8125 in^2
8 266 mm^2

vékonyabb lánclemez (22 db-os): 10,25 in x 1,125 in 260 x 29 mm
= 11,53125 in^2
7 440 mm^2

így:

12,815 in^2 x 20	= 256,250 in^2	165 322 mm^2
11,53125 in^2 x 22	= 253,6875 in^2	163 669 mm^2
Összes lánckeresztmetszet:	509,9375 in^2	328 991 mm^2

Így a felvett 506 in^2 keresztmetszet megnő 3,9375 in^2 2 540 mm^2 értékkel. Ha erre ismét kiszámolnánk a láncok tömegét, akkor kiderülne, hogy a biztonág javára leszünk.

Láncfüzérek súlyszámítása a középnyílásra

A híd pályaszerkezetét négy láncfüzér hordozza, kettő-kettő a kocsipálya két oldalán.

A láncfüzérek 57 lánctagból állnak, a láncok csapjainak távolsága egységesen 12 láb 3,66 m, a lánctagok váltakozva 10 és 11 különböző vastagságú lánclemezből állnak.

kézirat 18. oldala

A Pesti híd függesztő láncfüzéreinek geometriai számítása

Középnyílás

Félhúr hossza:	332,5 ft	101,35 m
Függőleges belógás:	47,5 ft	14,48 m

A kocsipálya emelkedése a mederpillérektől a hídközépig: 5 ft 1,52 m

Hídközépen az alsó láncfüzér 1 ft 3 in 38 cm értékkel magasabban van, mint a kocsipálya szintje, míg a legmagasabb ponton a láncfüzér a kocsipálya felett van 53 ft 9 in 16,38 m értékkel[55].

Az abszcissza értékeket 12 ft 3,66 m távolságonként határoztuk meg az első kettő kivételével.

Az első abszcissza értéket a felfüggesztési ponttól 6 ft 1,83 m távolságban adtuk meg, a második abszcissza értéket a felfüggesztési ponttól 15 ft 9 in 4,80 m távolságban adtuk meg. Ezt követően 12 ft 3,66 m távolságonként adtuk meg az abszcissza értékeket.
[...][56]

1843. szeptember 22.

kézirat 19. oldala

A Pesti híd függesztő láncfüzéreinek geometriai számítása

Parti nyílások

Félhúr hossza:	297 ft	90,53 m
Függőleges belógás:	62 ft 6 in	19,5 m

[55] Azaz 47 ft 6 in + 5 ft + 1 ft 3 in = 53 ft 9 in.
[56] Az itt következő táblázat csak az ordináta–abszcissza értékpárokat tartalmazza, amely megtalálható a kézirat 27. oldalán is.

A kocsipálya emelkedése a hídfőtől a mederpillérekig: 8 ft 2,44 m

Az abszcissza értékeket 12 ft 3,66 m távolságonként határoztuk meg a hídfőben lévő nullpnttól kezdve folyamatosan a felfüggesztő mederpillérig.

[...][57]

1843. szeptember 22.

kézirat 20. oldala

A 10 lánclemezes tagokban lévő lánclemezek magassága 10,25 in és a vastagsága 1,25 in, ezek súlya a gyártó Hawkes & C.[58] közlése szerint:

5 cwt 0 qr 12 lb 259,5 kg

A 11 lánclemezes tagokban lévő lánclemezek magassága 10,25 in és a vastagsága 1,125 in, ezek súlya a gyártó Hawkes & C. közlése szerint:

4 cwt 2 qr 11 lb 233,6 kg

A 4 láncfüzérben van összesen 112 db 10 lánclemezes lánctag és 116 db 11 lánclemezes tag:

112 x 10 = 1120 lánclemez, egyenként 10,25 in x 1,25 in metszetű
1 lánclemez = 5 cwt 0 qr 12 lb >> 1120 lánclemez = 286 ton
290 594,3 kg

116 x 11 = 1276 lánclemez, egyenként 10,25 in x 1,125 in metszetű
1 lánclemez = 4 cwt 2 qr 11 lb
>> 1276 lánclemez = 293 ton 7 cwt 1 qr 8 lb
298 078,7 kg

Összesen a lánclemezek súlya: 579 ton 7 ctw 1 qr 8 lb
588 673,0 kg

Ez csak a lánclemezek súlya, amihez hozzá kell adni a lánccsapok és csapcsavarok súlyait.

[57] Az itt következő táblázat csak az ordináta–abszcissza értékpárokat tartalmazza, amely megtalálható a kézirat 30. oldalán is.
[58] A cégnév vélhetően elírás, a láncokat valamennyi szakirodalom szerint az angol Howard & Ravenhill cég készítette.

Szükséges lánccsap átmérő megállapítása

Mivel a lánclemezeket 9 ton/in^2 14,2 kg/mm^2 megengedett feszültségre méretezzük, egy lánclemez esetében, egyenletes terheléssel számolva:

10,25 in x 1,25 in x 9 ton/in^2 = 115,3125 ton
117,2 t

és az átmérő egyenlő:

$$= \sqrt[3]{\frac{\text{terhelés [lb]} \cdot \text{csaphossz [ft]}}{600}}$$

egy lánclemez megengedett terhelése = 115,3125 ton = 258 300 lb
117 164,9 kg

a felfekvő csap hossza = 1,25 in 32 mm = 0,10417 ft

$$\text{csapátmérő} = \sqrt[3]{\frac{258\,300\text{ lb} \cdot 0{,}10417\text{ ft}}{600}}$$

$$\text{csapátmérő} = \sqrt[3]{\frac{26907{,}111}{600}} = \sqrt[3]{44{,}845}$$

$$\text{csapátmérő} \gg \text{legyen } \sqrt[3]{45} = 3{,}5568\text{ in}$$

90 mm

Vegyük fel a lánccsapok átmérőjét 4,375 in 111 mm méretűnek, amelynek a nagy forgalmat és a folyamatos katonai használatot is bírnia kell.[59]

Ezután állapítsuk meg a lánccsapok súlyát a hozzá szükséges öntöttvas csavarokkal együtt.

A középnyílás négy láncfüzérében összesen 228 lánccsap van, a lánccsap 2 ft 8 in 813 mm hosszú és 4,375 in 111 mm átmérőjű.

[59] A felvett nagyobb átmérő +51% -kal nagyobb biztonságot jelent.

A lánccsapok együttes hossza: 228 ft x 2 ft 8 in = 608 ft 185,32 m

A 4,375 in átmérőjű csap súlya 50,09 lb/ft 74,5 kg/m

A lánccsapok együttes súlya: 608 ft x 50,09 lb/ft = 30 454,72 lb
13 814,3 kg
= 13 ton 11 ctw 3 qr 18 lb lánccsap

kézirat 21. oldala

Lánccsapokhoz szükséges öntöttvas csavar 8,75 in 222 mm átmérőjű és 3,5 in 89 mm vastag, a 8,75 átmérőjű csavar területe 60,1321 in^2 38 795 mm^2

Egy csavar térfogata: 60,1321 in^2 x 3,5 in = 210,46235 in^3 3 448,9 cm^3

A 4,375 in átmérőjű csavarlyuk területe 15,0331 in^2 9 699 mm^2

Egy csavarlyuk térfogata: 15,0331 in^2 x 3,5 in = 52,61585 in^3 862,2 cm^3

A csavar tényleges térfogata e kettő különbsége: = 157,84650 in^3
2 586,6 cm^3

A csavar tényleges tömege (0,25 lb/in^3 6 920,1 kg/m^3) 39,461625 lb
17,9 kg

Szükséges összesen 228 x 2 = 456 db csavar

Összes csavar súlya: 456 x 39,5 lb = 18 012,0 lb 8 170,2 t

= 8 ton 1 cwt 2 qr 24 lb

Lánclemezek súlya	579 ton 7 cwt 1 qr 8 lb	588 673,0 kg
228 lánccsap súlya	13 ton 11 cwt 3 qr 18 lb	13 813,9 kg
456 lánccsap-csavar súlya	8 ton 1 cwt 2 qr 24 lb	8 215,6 kg
Összesen:	601 ton 0 cwt 3 qr 22 lb	610 702,5 kg

A lánc keresztmetszetének ellenőrzése a legalsó pontban, a nyílás közepén

Lánc húzóerő kocsipálya teherből a felfüggesztési pontban	2417,15 ton
	2 455,8 t
Lánc húzóerő kocsipálya teherből a legalsó pontban	2324,089 ton
	2 361,3 t
Húzóerő láncból és teherből a felfüggesztési pontban[60]	3511,03 ton
	3 567,2 t
Húzóerő láncból és teherből a legalsó pontban	3375,8546 ton)
	3 429,9 t

Legalsó pont szükséges keresztmetszete =

$$= \frac{\text{keresztmetszet területe} \cdot \text{teljes húzóerő legalul}}{\text{teljes húzóerő a felfüggesztésnél}}$$

$$= \frac{506\ \text{in}^2 \cdot 3375{,}8546\ \text{ton}}{3511{,}03\ \text{ton}} = \frac{17081824276}{3511{,}03}$$

$$= 483{,}64\ \text{in}^2$$

312 025 mm^2

Szükséges keresztmetszet felfüggesztésnél:	506,00 in^2	326 451 mm^2
Szükséges keresztmetszet legalul:	483,64 in^2	312 025 mm^2
Különbség:	22,36 in^2	14 426 mm^2

A legalacsonyabb ponton az egyes lánclemezek szükséges keresztmetszeté-nek ellenőrzése a kiszámolt 483,64 in^2 312 025 mm^2 keresztmetszethez:[61]

A négy láncfüzér teljes keresztmetszetét 22 db 1,125 in vastag lánclemez és 20 db 1,25 in vastag lánclemez alkotja.

[60] Lásd kifejtve a kézirat későbbi részében, kiadványunk 54. oldalán.
[61] Itt a kéziratban egy elírás szerepel, 483,64 helyett 445,13 értékkel, de további-akban a helyes adat szerepel.

A szükséges lemezmagasság meghatározása[62]

Mindkét típusú lánclemezköteg szükséges keresztmetszete
483,64 in^2 / 2 = 241,82 in^2

$$\frac{241{,}82\ \text{in}^2}{22} = 10{,}99\ \text{in}^2$$

és a lemez magassága:

$$\frac{10{,}99\ \text{in}^2}{1{,}125\ \text{in}} = 9{,}769\ \text{in}$$

248 mm

illetve

$$\frac{241{,}82\ \text{in}^2}{20} = 12{,}091\ \text{in}^2$$

és a lemez magassága:

$$\frac{12{,}091\ \text{in}^2}{1{,}25\ \text{in}} = 9{,}67\ \text{in}$$

246 mm

kézirat 22. oldala

A láncok húzóerejének meghatározása a legmagasabb és a legalacsonyabb pontban

A láncfüzérek, lánccsapok és csap-csavarok súlya:
601 ton 0 cwt 3 qr 22 lb = 601,05 ton
601,7 t

$$\text{Húzóerő} = \frac{\text{Teljes függesztett terhelés}}{2 \cdot \sin(\text{lánc hajlásszöge})}$$

[62] Az itt található számítás a láncfűzésben ébredő változó erőket a lánclemez magasságának változtatásával követi. Valójában a láncok magassága egységes volt, mint a további részekben látjuk majd, a lánclemezek vastagságának változtatásával követték a különböző láncerőket.

$$= \frac{601{,}05 \text{ ton}}{2 \cdot 0{,}27473} = \frac{601{,}05 \text{ ton}}{0{,}54946}$$

$$= 1093{,}88 \text{ ton}$$

$\boxed{1\,111{,}4 \text{ t}}$

Húzóerő a legalacsonyabb pontban:

$$\text{Húzóerő} = \begin{cases} \text{Húzóerő a felfüggesztésnél} \\ \cdot \cos\ (\text{felfüggesztés hajlásszöge}) \end{cases}$$

$$= 1093{,}88 \text{ ton} \cdot 0{,}96150$$

$$= 1051{,}7656 \text{ ton}$$

$\boxed{1\,068{,}6 \text{ t}}$

Lánc húzóerő a felfüggesztési pontban:		
Lánc húzóerő teherből a felfüggesztési pontban	2417,15 ton	2 455,8 t
Húzóerő láncból a felfüggesztési pontban	1093,88 ton	1 111,4 t
Összesen:	3511,03 ton	3 567,2 t

Lánc húzóerő a legalacsonyabb pontban:		
Lánc húzóerő teherből a legalsó pontban	2324,0890 ton	2 361,3 t
Húzóerő láncból a legalsó pontban	1051,7656 ton	1 068,6 t
Összesen:	3375,8546 ton	3 429,9 t

A mederpillérek függőleges terhelésének meghatározása

A pillérek tetejére nehezedő függőleges nyomást a középnyílás és a parti nyílás láncainak húzóerejeinek szinuszaiból kaphatjuk meg.

Függőleges teher középnyílásból = Húzóerő · sin(lánc hajlásszöge)

Függőleges teher oldalnyílásból = Húzóerő · sin(lánc hajlásszöge)

Függőleges nyomás a középnyílásból = 3511,03 ton x 0,27473
= 964,5527 ton

$\boxed{980{,}0 \text{ t}}$

Függőleges nyomás a parti nyílásból = 2178,62 x 0,39988

= 871,1865 ton

885,1 t

Így a teljes nyomás a pilléren = 1 835,7392 ton

1 865,1 t

Parti nyílásokból származó lánc húzóerő meghatározása

A parti nyílások láncfüzérének hajlásszöge:

$$\alpha = 23°34'$$

$$\sin(23°34') = \quad 0{,}39988$$

Először meg kell határozni a parti nyílások terhelését, amelyhez szükséges a parti nyílások láncfüzérének görbe hosszúsága a legalsó ponttól a felfüggesztésig:

Arányosítsuk hossz alapján a középnyílás teljes felfüggesztett súlyából, beleértve a középnyílás láncait is.

kézirat 23. oldala

A középnyílásban a láncfüzér görbe hossza:	677 ft	206,35 m
A teljes felfüggesztett terhelés:	1 328,13 ton	1 349,4 t
A középnyílás láncai a tartozékaival együtt:	601,05 ton	610,7 t
Összesen:	1 929,18 ton	1 960,0 t

Szorzandó:

$$\frac{1929{,}18\ \text{ton}}{677\ \text{ft}} \approx 2{,}85\frac{\text{ton}}{\text{ft}}$$

9,5 t/m

A parti nyílás láncfüzés görbehosszának számítása

$$= \sqrt{\left(\text{belógás} + \frac{\text{belógás}}{3}\right)^2 + \text{húr fele}^2}$$

$$= \sqrt{(62{,}5 + \ 20{,}83)^2 + 297^2}$$

$$= \sqrt{6943{,}8889 + 88209{,}0009}$$

$$= \sqrt{95152{,}8889}$$

$$= 308{,}39 \text{ ft}$$

94,00 m

Így a terhelés = 308,39 ft x 2,85 ton/ft =878,9115 ton

893,0 t

$$\text{Húzóerő} = \frac{\text{Teljes függesztett terhelés} \cdot 2}{2 \cdot \sin(\text{lánc hajlásszöge})}$$

$$= \frac{878{,}91 \text{ ton} \cdot 2}{2 \cdot 0{,}38799} = \frac{878{,}91 \text{ ton}}{0{,}38799}$$

$$= 2\,265{,}29 \text{ ton}$$

2 301,5 t

És a húzóerő a legalacsonyabb pontban = 2 265,29 ton x 0,9216375
=2 087,776212375 ton

2 121,1 t

Arányosítsuk a szükséges lánc keresztmetszetet a parti nyílások felfüggesztési pontjában a középnyílás 3511,03 ton 3 567,2 t húzóerejéhez tartozó 506 in^2 326 451 mm^2 keresztmetszeti területtel.

Ezért:

$$\frac{3511{,}03 \text{ ton}}{506 \text{ in}^2} \approx \frac{2265{,}29}{\text{keresett keresztmetszet}}$$

Így a keresztmetszet:

$$\frac{2265{,}29 \text{ ton} \cdot 506 \text{ in}^2}{3511{,}03 \text{ ton}} = 326{,}46 \text{ in}^2$$

210 619 mm^2

A 327 in^2 keresztmetszet megfelelő a már felvett 506 in^2 keresztmetszet miatt és így megfelelő a 2265,29 ton felfüggesztett terhelés viselésére.

Azonban a parti nyílások láncainak felfüggesztési hajlásszöge meghaladja a középnyílásét, ezért kiegyensúlyozatlan vízszintes erő adódik, amelyet ellensúlyozni kell.

A vízszintes erőt meghatározzuk az egyes lánc irányú húzóerők cosinusaként.

kézirat 24. oldala

Húzóerő vízszintes komponense:

középnyílásból = húzóerő x cos(15°57′)
= 3511,03 ton x 0,9615
= 3375,855345 ton
3 429,9 t

oldalnyílásokból = húzóerő x cos(22°50′)
= 2265,29 ton x 0,9216375
= 2087,776212375 ton
2 121,1 t

Különbség a pillérre ható vízszintes erőkben:
= 3375,855345 ton – 2087,776212 ton
= 1288,079132 ton
1 308,7 t

és ezt hozzá kell adni a szélső nyílások láncaiban lévő erőhöz:
= 2265,29 ton + 1288,07 ton
= <u>3553,36 ton</u>
3 610,2 t

ezt kell ellenőrizni a 506 in^2 keresztmetszetű láncokra a parti nyílás legalacsonyabb pontjában:
= 3557,77 ton x 0,91659
=3261,0164043 ton
3 313,2 t

és a 3557,77 ton – 3261,016 ton = 296,754 ton
301,5 t

A felfüggesztési pontban ébredő feszültség 6,94 ton/in² $\boxed{10{,}9\ \text{kg/mm}^2}$, így a parti nyílás legalsó pontján szükséges keresztmetszet mérete:

$$= 506\ \text{in}^2 - \frac{296{,}754\ \text{ton}}{6{,}94\ \frac{\text{ton}}{\text{in}^2}}$$

$$= 506\ \text{in}^2 - 42{,}76\ \text{in}^2$$
$$= 463{,}24\ \text{in}^2$$
$$\boxed{298\ 864\ \text{mm}^2}$$

Most határozzuk meg a **láncokban ébredő húzóerőt a lehorgonyzó tömbök** és a hídfőn lévő iránytörő saru között.

Húrhossz fele:	128 ft	39,01 m
Függőleges különbség:	41 ft	12,50 m

A lánc hajlásszögének meghatározása a legmagasabb pontban:

$$\sin(\alpha) = \frac{2\ \text{x behajlás}}{\sqrt{(2\ \text{x behajlás})^2 + \text{húr fele}^2}}$$

$$\sin(\alpha) = \frac{2\ \text{x}\ 41\ \text{ft}}{\sqrt{(2\ \text{x}\ 41\ \text{ft})^2 + 128\ \text{ft}^2}}$$

$$\sin(\alpha) = \frac{82}{\sqrt{23108}}$$

$$\sin(\alpha) = \frac{82}{152{,}01}$$

$$\sin(\alpha) = 0{,}5394$$

Keresett szög: $\alpha = 32°38'$

$\cos(32°38') = 0{,}8421388$

A húzóerő a legmagasabb pontban tehát 3 261,016 ton

$\boxed{3\ 313{,}2\ \text{t}}$

A húzóerő a legalacsonyabb pontban: = 3 261,016 ton x 0,84214

=2 746,3622 ton
2 790,3 t

és

$$\frac{2740{,}3622\ \text{ton}}{6{,}94\ \frac{\text{ton}}{\text{in}^2}} = 394{,}86\ \text{in}^2$$

254,748 mm²

kézirat 25. oldala

A legalacsonyabb pontban a láncban ébredő húzóerő egyenlő 2740,36 ton 2 784,2 t értékkel, a négy láncnak együttes szükséges keresztmetszete 395 in², a láncok megengedett feszültsége 9 ton/in² 14,2 kg/mm², így a teherbírása e keresztmetszetnek:

395 in² x 9 ton/in² =3555 ton 3 611,9 t

a négy láncfüzérnek, így láncfüzérenkénti terhelés:

3555 ton / 4 =888,75 ton 903,0 t

tehát minden lehorgonyzó lánccsapnak 888,75 ton értéket kell megtartania.

Szabály[63]:

$$\sqrt[3]{\frac{\text{terhelés [lb]} \cdot \text{felfekvési hossz [ft]}}{1600}} = \text{átmérő}$$

$$\sqrt[3]{\frac{1\,990\,800\ \text{lb} \cdot 2\ \text{ft}}{1600}} = \sqrt[3]{\frac{3\,981\,600}{1600}}$$

$\sqrt[3]{2488{,}5} = 13{,}6$ in, ami az átmérő 345 mm

és a csap területe akkor 145,2675 in² 93 721 mm²

[63] A szabály, és az azt követő számítási rész felhajtható módon felül van ragasztva. A felülragasztáson szereplő szabályt és számítást lásd lentebb.

Mivel az ellipszis forma a legerősebb, feltételezzük, hogy az ellipszis kistengelyének:

$$b = 2\ \text{in} \quad \boxed{51\ \text{mm}}$$

keressük meg az ellipszis nagytengelyét az alábbi összefüggéssel:

$$a \cdot b \cdot \pi = 145{,}2675\ \text{in}^2 \quad \boxed{93\,721\ \text{mm}^2}$$

$$a = \frac{145{,}2675\ \text{in}^2}{2\ \text{in} \cdot 3{,}145} = \frac{145{,}2675\ \text{in}^2}{3{,}29\ \text{in}} = 23{,}09\ \text{in}$$

$$\boxed{586\ \text{mm}}$$

helyett legyen a nagytengely: 23,1 in $\boxed{587\ \text{mm}}$

Megkaptuk a lehorgonyzó lánccsap méreteit.[64]

Szabály[65]:

Ahhoz, hogy megtaláljuk a kovácsoltvas négyzetes keresztmetszetű, 6 in széles kovácsoltvas lehorgonyzó csaprúd szükséges vastagságát, amely elbírja a 1 990 8000 lb = 888,75 ton $\boxed{903{,}0\ \text{t}}$ terhelést:

Tredgold művének[66] 150. oldalán írtak szerint

$$\sqrt{\frac{\text{terhelés [lb]} \cdot \text{felfekvési hossz [ft]}}{952 \ \cdot \text{szélesség [in]}}} = \text{vastagság}$$

$$\sqrt{\frac{1\,990\,800\ \text{lb} \cdot 2\ \text{ft}}{952 \ \cdot 6\ \text{in} \ \cdot 2}} = \sqrt{\frac{3\,981\,600}{11\,424}} = \sqrt{348{,}53}$$

és a $\sqrt{348{,}53} = 18{,}66$ in vastagság, $\boxed{474\ \text{mm}}$

[64] Eddig tartó szakaszt takarja a hivatkozott felülragasztás, ami a lehogonyzócsap módosított számítását tartalmazza, lásd lentebb.
[65] Beragasztott felülíráson.
[66] Tredgold T. (1824)

A meghatározott méret a szükséges háromszorosát bírja, így a 18 in 457 mm érték tökéletesen megfelelőnek tekinthetjük, így legyen a lehorgonyzó csap keresztmetszete 18 in x 6 in 457 x 152 mm méretű négyszögletes szelvény, két végén félköríves záródásokkal.

Meg kell határozni a lánccsatornában a láncfüzér behajlását a lánccsatorna bejáratától a lehorgonyzásig 24 ft távolságonként, amit a tervben A-val jelöltünk.

Szabály:

$$\frac{\left(\begin{matrix}\text{középponti}\\ \text{belógás}\end{matrix}\right)\cdot\left(\begin{matrix}\text{félhúr}-\text{vízszintes távolság a}\\ \text{felfüggesztési ponttól}\end{matrix}\right)^2}{(\text{félhúr})^2}=\text{lehajlás}$$

A lánccsatornában futó láncfüzér lehajlása

Félhúr hossza:	128 ft	39,01 m
Magasságkülönbség:	41 ft	12,50 m

Abszcissza sorszáma	Ordináta távolság [ft]	Magasság [ft]	sin(α)	α	sec(α)	Lánckeresztmetszet [in²]
1	24	1,441	0,1192	6°51′	1,0071895	397,8398525
2	48	5,763	0,23427	13°33′	1,0286311	406,3092845
3	72	12,97	0,3269	19°05′	1,0581517	417,9699215
4	96	23,062	0,4327	25°42′	1,1097830	438,3642850
5	120	36,035	0,5149	30°59′	1,1664296	460,7396920
Legmagasabb pontban	128	41,000	0,5394	32°38′	1,1874527	463,24

A táblázat számításának részleteit a következő kézirat oldal tartalmazza.

kézirat 26. oldala

[...][67]

Magasság meghatározása:

(csak No 1. sor)

$$\frac{41\ \mathrm{ft} \cdot 24^2}{128^2} = \frac{41 \cdot 576}{16\ 384} = \frac{23\ 616}{16\ 384} = 1{,}441\ \mathrm{ft}$$

[...]

Hajlásszög meghatározása:

(csak No 1. sor)

$$\sin(\alpha) = \frac{2 \cdot 1{,}441}{\sqrt{(2 \cdot 1{,}441)^2 + 24^2}} = \frac{2{,}882}{\sqrt{576{,}000 + 8{,}305924}} = \frac{2{,}882}{\sqrt{584{,}305924}}$$

$$\sin(\alpha) = \frac{2{,}882}{24{,}172} = 0{,}1192$$

$$\alpha = 6°51'$$

$$\sec(\alpha) = \quad 1{,}0071895$$

[...]

Mivel a húzóerő minden pontban közvetlenül meghatározható a szekéns értékből, így a szükséges lánc keresztmetszet is számítható a szekáns értékkel szorozva a legalsó pontban lévő lánc keresztmetszetet, ami 395 in^2.

(csak No 1. sor)

24 ft vízszintes távolságnál = 395 x 1,0071895 = 397,8398 in^2

256 670 mm^2

[67] A kézirat 26. oldala a 25. oldal alján található lehorgonyzó láncszakaszhoz tartozó értékek részletszámításait tartalmazza lépésről lépésre. Ebből itt csak a táblázat első sorához (ordinátatávolság 24 ft) tartozó képleteket adjuk meg.

kézirat 27. oldala

A parti nyílások láncfüzérének hajlásszög táblázata megadva vízszintesen 12 ft távolságonként, a szög szinuszával és szekáns értékével együtt.

A szinusz értékeket megadtuk ugyanazon abszcissza értékekhez, az adatokat a kézirat 19. oldaláról vettük.

A láncfüzér félhúrjának hossza:	297 ft	90,53 m
A láncfüzér magasságkülönbsége:	62 ft 6 in	19,05 m

A távolságokat a görbe vízszintes érintőjű talppontjától vesszük.

Abszcisz sorszáma	Ordináta távolság [ft]	Magasság [ft]	sin(α)	α	sec(α)	Lánckeresztmetszet [in²]
1	12	0,102	0,016997	0°59′	1,0001473	463,3082352
2	24	0,408	0,033980	1°57′	1,0005794	463,5089012
3	36	0,910	0,050492	2°59′	1,0012676	463,8272030
4	48	1,63	0,067702	3°53′	1,0023013	464,1818543
5	60	2,55	0,084529	4°51′	1,0035934	464,9046066
6	72	3,67	0,101419	5°50′	1,0052052	465,6512568
7	84	4,99	0,11786	6°46′	1,0070146	466,4894433
8	96	6,53	0,1348003	7°45′	1,0092183	467,5102852
9	108	8,26	0,151204	8°42′	1,0116400	468,6321136
10	120	10,20	0,16759	9°39′	1,0143500	469,8888372
11	132	12,34	0,18378	10°36′	1,0173609	471,2822633
12	144	14,69	0,20671	11°56′	1,0220885	473,4722767
13	156	17,24	0,21581	12°28′	1,0241476	474,4261342
14	168	19,99	0,231027	13°23′	1,0278437	476,1383155
15	180	22,95	0,24709	14°18′	1,0319750	478,0520990
16	192	26,11	0,26245	15°13′	1,0363337	480,0712231
17	204	29,48	0,27952	16°14′	1,0415243	482,4757167
18	216	33,05	0,29262	17°01′	1,0457848	484,4493507
19	228	36,83	0,307425	17°54′	1,0508679	486,8040459
20	240	40,81	0,32197	18°47′	1,0562529	489,2985933
21	252	44,99	0,34041	19°54′	1,0635038	492,6575003
22	264	49,38	0,3482	20°23′	1,0667994	494,1831640
23	276	54,17	0,36541	21°26′	1,0742946	497,6542305
24	288	58,76	0,37781	22°12′	1,0800646	500,329125
25	297	62,5	0,38375	23°34′	1,0909938	505,391967

[...][68]

A táblázat számításának részleteit a következő kézirat oldal tartalmazza.

kézirat 28-29. oldala

[...][69]

(csak No 1. sor)

$$\sin(\alpha) = \frac{2 \cdot 0{,}102}{\sqrt{(2 \cdot 0{,}102)^2 + 12^2}} = \frac{0{,}204}{\sqrt{144{,}041616}} = \frac{0{,}204}{12{,}002}$$

$$\sin(\alpha) = 0{,}016997$$

$$\alpha = 0°59'$$

$$\sec(\alpha) = \qquad 1{,}0001473$$

[...]

kézirat 30. oldala

A középnyílás láncfüzérének hajlásszög táblázata, megadva vízszintesen 12 ft távolságonként, a szög szinuszával és szekáns értékével együtt, a láncgörge legalacsonyabb pontjától 16 ft 9 in 5,11 m távolságból indulva.

A szinusz értékeket megadtuk ugyanazon abszcissza értékekhez, az adatokat a kézirat 18. oldaláról vettük.

A láncfüzér félhúrjának hossza:	332 ft 6 in	101,35 m
A láncfüzér magasságkülönbsége:	47 ft 6 in	14,48 m

---

[68] A fenti táblázatnak egy további megjegyzés oszlopa tartalmazza a lánclemezek gyártási méretét, részben egységesítve, a lánclemez magasságát változtatva az egységes 10,25 in helyett 9,3 in és 10,25 között.

[69] A kézirat 28-29. oldala a 27. oldalon található parti nyílás láncfüzéréhez tartozó értékek részletszámításait tartalmazza. Ebből itt csak a táblázat első sorához (ordinátatávolság 12 ft) tartozó képleteket adjuk meg.

A távolságokat a görbe vízszintes érintőjű talppontjától vesszük.

Abszcissza sorszáma	Ordináta távolság [ft]	Magasság [ft]	sin(α)	α	sec(α)	Lánckeresztmetszet [in²]
1	16,75	0,1200	0,01432	0°50′	1,0001050	486,461073
2	28,75	0,3550	0,02468	1°25′	1,0003050	486,55835
3	40,75	0,713	0,03497	2°01′	1,0006198	486,711476
4	52,75	1,190	0,04507	2°35′	1,0010173	486,904824
5	64,75	1,8013	0,055553	3°11′	1,0015454	487,161698
6	76,75	2,53	0,065801	3°46′	1,0021648	487,46298
7	88,75	3,38	0,07954	4°34′	1,0031847	487,95906
8	100,7	4,36	0,08627	4°57′	1,0037436	488,230924
9	112,7	5,46	0,09644	5°32′	1,0046815	488,687128
10	124,7	6,68	0,10654	6°07′	1,0057256	489,194989
11	136,7	8,03	0,11668	6°43′	1,0069108	489,771482
12	148,7	9,49	0,12661	7°17′	1,0081343	490,366604
13	160,7	11,10	0,13684	7°52′	1,0095001	491,030943
14	172,7	12,82	0,14685	8°27′	1,0109747	491,748203
15	184,7	14,66	0,1567	9°00′	1,0124651	492,473149
16	196,7	16,63	0,16672	9°36′	1,0142029	493,318432
17	208,7	18,72	0,17657	10°11′	1,0160050	494,194992
18	220,7	20,93	0,18634	10°45′	1,0178631	495,098790
19	232,7	23,28	0,19619	11°19′	1,0198279	496,054488
20	244,7	25,735	0,20583	11°53′	1,0219630	497,088022
21	256,7	28,32	0,21546	12°27′	1,0240818	498,123628
22	268,7	31,03	0,22504	13°01′	1,0263730	499,238090
23	280,7	33,86	0,234506	13°34′	1,0287033	500,372544
24	292,7	36,82	0,24398	14°08′	1,0312147	501,5931422
25	304,7	39,9	0,25335	14°41′	1,0337411	502,8317366
26	316,7	43,106	0,26266	15°14′	1,0364157	504,1229606
27	326,5	45,8	0,27012	15°41′	1,0386692	505,2190855
28	332,5	47,5	0,274798	15°57′	1,0400396	506,0000000

[…][70]

A táblázat számításának részleteit a következő kézirat oldal tartalmazza.

[70] A fenti táblázatnak egy további megjegyzés oszlopai tartalmazza a lánclemezek gyártási méretét, részben egységesítve, a lánclemez magasságát változtatva az egységes 10,25 in helyett 9,76 in és 10,25 között.

kézirat 31-33. oldala

[...][71]

(csak No 1. sor)

$$\sin(\alpha) = \frac{2 \cdot 0{,}12}{\sqrt{(2 \cdot 0{,}12)^2 + 16{,}75^2}} = \frac{0{,}24}{\sqrt{280{,}6201}} = \frac{0{,}24}{16{,}7517}$$

$$\sin(\alpha) = 0{,}01432$$

$$\alpha = 0°50'$$

$$\sec(\alpha) = \qquad 1{,}0001050$$

[...]

kézirat 33-34. oldala

Itt következik a szükséges **láncokat összefoglaló táblázat** mind a négy láncfüzérre vonatkoztatva, a szerződéshez mellékelt rajz szerint, a lehorgonyzó láncokkal, folyamatosan a középnyílás nullpontjáig (hídközép), megadva a láncok méretét csaptengelytől csaptengelyig.

Lánclemez magassága [in]	Lánclemez vastagsága [in]	Lánclemezek száma [db]	Lánclemez hossza csaptengelytől csaptengelyig	Megjegyzés
10,25	0,98	80	25 ft 1 in	Lehorgonyzó lánc
10,25	0,901	88	12 ft	Lánc a lehorgonyzó alagútban
10,25	0,991	80	12 ft	
10,25	0,926	88	12 ft	
10,25	1,019	80	12 ft	
10,25	0,972	88	12 ft	
10,25	1,074	80	12 ft	
10,25	1,021	88	12 ft	
10,25	1,122	80	12 ft	

[71] A kézirat 31-33. oldala a 30. oldalon álló középnyílás láncfüzéréhez tartozó értékek részletszámításait tartalmazza. Ebből itt csak a táblázat első sorához (ordinátatávolság 12 ft) tartozó képleteket adjuk meg.

10,25	1,028	44	12 ft	
10,25	1,028	44	10 ft 9 in	Iránytörőíves lánc a hídfőben
10,25	1,1307	40	11 ft 2½ in	
10,25	1,1307	40	13 ft ¾ in	Parti nyílás
10,25	1,028	44	7 ft 8 in	
10,25	1,028	132	12 ft	
10,25	1,1307	80	12 ft	
10,25	1,142	240	12 ft	
10,25	1,0388	176	12 ft	
10,25	1,055	264	12 ft	
10,25	1,1609	160	12 ft	
10,25	1,1815	160	12 ft	
10,25	1,0742	176	12 ft	
10,25	1,2048	240	12 ft	
10,25	1,0956	176	12 ft	
10,25	1,122	88	12 ft	
10,25	1,2342	80	13 ft 11 in	Íves pillérlánchoz kétoldalról csatlakozó egyedi láncok
10,25	1,2342	80	7 ft 3 in	
10,25	1,125	44	17 ft 4 in	Íves lánc a pilonon
10,25	1,125	44	18 ft 8 in	
10,25	1,122	176	12 ft	Középnyílás láncai
10,25	1,2342	80	12 ft	
10,25	1,215	160	12 ft	
10,25	1,104	176	12 ft	
10,25	1,207	160	12 ft	
10,25	1,097	88	12 ft	
10,25	1,091	176	12 ft	
10,25	1,201	80	12 ft	
10,25	1,196	160	12 ft	
10,25	1,087	88	12 ft	
10,25	1,083	176	12 ft	
10,25	1,08	264	12 ft	
10,25	1,191	160	12 ft	
10,25	1,186	200	12 ft	
10,25	1,186	20	13 ft 8 in	Hídközép
10,25	1,08	22	15 ft 4 in	
Mindösszesen:		**5290** lánclemez szükséges[72]		

[72] A fenti táblázatban a láncok száma a kézirat szerint 5293 db, ami bizonyosan elírás, mert a sorok összege 5290 db-ot ad, a páratlan lánclemez szám amúgy is bizonyosan téves.

A pilléren adódó függőleges terhelés meghatározható a középnyílás és a parti nyílás láncfüzérének hajlásszögének szinusz értékével.

$$\begin{matrix}\text{A függőleges terhelés a}\\ \text{középnyílás láncfüzéreiből}\end{matrix} = \text{Húzóerő} \cdot \sin(\text{hajlásszög})$$

$$\begin{matrix}\text{A függőleges terhelés a}\\ \text{parti nyílás láncfüzéreiből}\end{matrix} = \text{Húzóerő} \cdot \sin(\text{hajlásszög})$$

Középnyílásból: 3511,03 ton x 0,27473 =	964,5527 ton	980,0 t
Parti nyílásból: 2265,29 ton x 0,38799 =	878,90986 ton	893,0 t
Egy pillérre adódó teljes függőleges terhelés =	1 843,46256 ton	1 873,0 t
Egy oldali láncfüzér pár függőleges terhelése = 1843,46256 ton / 2 =	921,73178 ton	936,5 t

A legutóbbi, december 4-i keltezésű adatpontosítás szerint a parti nyílás láncfüzérének hajlásszöge

$$23°06'$$

A láncgörbe főggőleges belógása 63 ft 19,20 m és a hozzá tartozó ordináta értéke 295 ft 6 in 90,07 m

kézirat 35-36. oldala

---

ebből következőleg a függőleges terhelés a parti nyílásból:

2265,29 ton x 0,39223 =	888,5146 ton	902,7 m
hozzáadva a középnyílásból eredő terhelést:	964,5527 ton	980,0 t
Egy pillérre adódó teljes függőleges terhelés =	1 853,0673 ton	1 882,7 t
Egy oldali láncfüzér pár függőleges terhelése = 1853,0673 ton / 2 =	926,03 ton	940,8 m

A parti nyílás láncfüzér hajlásszögének kiszámítása

Függőleges belógás[73]:	63 ft	19,20 m
Ordináta érték:	295 ft 6 in	90,07 m

$$\sin(\alpha) = \frac{2 \cdot 63}{\sqrt{(2 \cdot 63)^2 + 295{,}5^2}} = \frac{126}{\sqrt{15\,876 + 87\,320{,}25}}$$

$$\sin(\alpha) = \frac{126}{\sqrt{103\,196{,}25}} = \frac{126}{321{,}24}$$

$$\sin(\alpha) = 0{,}39223$$

$$\alpha = 23°06'$$

és

$$\cos(23°06') = 0{,}9198215$$

A hídfő iránytörősaruján ébredő függőleges erő meghatározása[74]

A lehorgonyzó láncfüzér hajlásszöge = $32°38'$

$\sin(\alpha) =$ 0,5394

A függőletes terhelés = 3 261,016 ton x 0,5394 = 1 758,99203 ton
mindkét hídfő esetében. 1 787,1 m

Egy oldali láncfüzér-pár függőleges terhelése =
1758,99203 ton / 2 = 879,496 ton[75]
893,6 t

[73] A módosított számításban a belógás értéke 62,5 ft helyett 63,0 ft, a félhúr hossza pedig 297 ft helyett 295,5 ft.
[74] A hídfőt terhelő függőleges terhelés számítási szakasza felhajtható módon felül van ragasztva. A felülragasztáson szereplő helyesbítést lásd lentebb.
[75] Felülragasztott szakasz vége. A helyesbítés oka, hogy a hajlásszög javított értéke 18 fok.

A hídfő iránytörő saruján ébredő függőleges erő meghatározása[76]

A lehorgonyzó láncfüzér hajlásszöge = 18°

$\sin(18°) =$ 0,30901

$\cos(18°) =$ 0,95115

A függőleges terhelés = 3 261,016 ton x 0,30901 = 1 007,68 ton
1 023,8 t

Egy oldali láncfüzér pár függőleges terhelése =
1 007,68 ton / 2 = 503,84 ton
511,9 t

A parti láncfüzér abszcissza értékeinek számítása $23°06'$ hajlásszöghöz tartozóan, a legmagasabb ponttól számított 7 ft 6 in távolságból kezdődőleg:

Láncfüzér belógása: 63 ft 19,20 m

Láncfüzér félhúrja: 295,5 ft 90,07 m

(csak No 1. sor)

$$\frac{63 \cdot 288^2}{(295{,}5)^2} = \frac{63 \cdot 82944}{87320{,}25} = \frac{5225472}{87320{,}25} = 59{,}84 = 59 \text{ ft } 10 \text{ in}$$

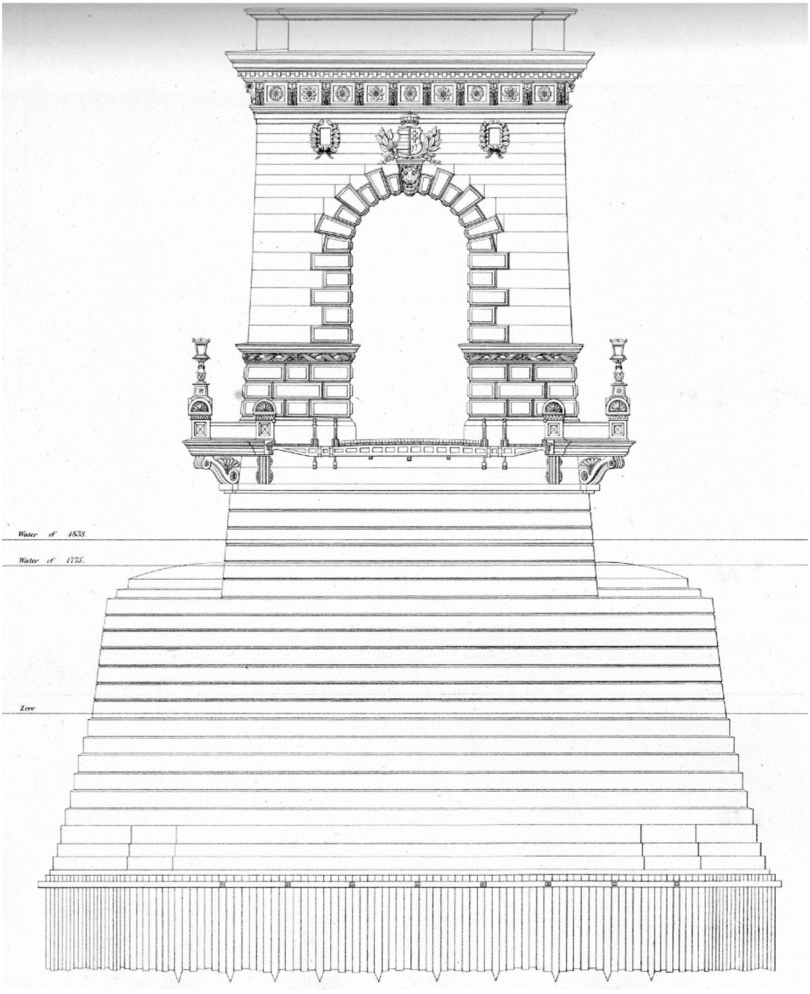
[...]

(vége)

[76] A felülragasztáson szereplő helyesbítés.

Részletes erőtani számítás – reprint

A következő 36 oldalon közreadjuk az eredeti számítás kéziratát.



Mederpillér nézetrajza, Clark, W. T. (1852)

1

Detail Calculations of the Suspension Bridge between Pesth and Buda

Length of platform between the Piers – " – 634
Distance of the points of Suspension – " 665
Versed sine equal 1/14 of span – 47.6"
Width of platform
Width of Carriage way 24.0½
width of footpaths – each 5.7½
width centre to centre of chains – 28.11
Number of beams – 106
Weight of each beam as cast at Pesth 31 cwt
Length of catinory
Sine – of angle of direction of centre chains .27473
Cosine of angle of direction " – " – " .96150
Weight of whole load to be supported Tons 1264.89
Whole load to be supported with 5 p. c. added. 1328.13
Sine of angle of Backstays – " – " – .38264
Cosine of angle of Backstays. " – " – .92387
Tension pt. Susp. of load in times of load suspended 1.819.
Tension at Apex " – " – " – " – " – 1.7506
Diameter of coupling bolt. 4 3/8 inches –
Total weight of chain including bolts & nuts – Tons 601.05
Sectional area of chain at Apex – 445.13 sq. inches
Vertical pressure on each Pier page 34 – 1843.463 tons
Vertical pressure on each system of support 921.7317 tons on towers –

Required the weight of platform – as per design
in September 1843 –

Length of platform centre opening .. —— 634' : 0" –

1 8 Longitudinal timbers 4 on each side of roadway
10" × 4" × 634 × 8 = 1375 : 0 : 4 cube feet
square of 10" × 4" = 6¼ and 50 ft run = 13' : 6" : 8''' cube feet
12
600 ft run = 162 : 8 : 0
34 .. .. = 9 : 2 : 8
634 .. .. = 171 : 10 : 8
8
1375 : 0 : 4 cube feet

2 2 Outside longitudinal timbers
12" × 8" × 634' 0 × 2 = 836 : 10 : 8 cube ft.
square of 8" × 12" = 9¾ and 50 ft run = 33 : 0 : 0 cube ft
12
600 .. .. = 396 : 0 : 0
34 .. .. = 22 : 5 : 4
634 .. .. = 418 : 5 : 4
2
836 : 10 : 8 cube ft –

4 longitudinal timbers under side of platform
3 9" × 6" × 634 × 4 = 932' : 4" : 8'''
square of 6" × 9" = 7¼ and 50 ft run = 18' : 2" : 11''' cube feet
12
600 .. .. = 218 : 11 : 0
34 .. .. = 14 : 2 : 2
634 .. .. 233 : 1 : 2
4
932 : 4 : 8 cube ft –

2. longitudinal timbers 6 × 6 underside of platform
6" × 6" × 634' × 2 = 317' : 0" : 0'''
50 ft run = 12 : 6 cube feet
12
600 .. .. 150 : 0 :
34 .. .. 8 : 6
634 .. .. 158 : 6
2
317 : 0 cube feet

1 centre longitudinal timber 6 × 9" underside of platform
4 6" × 9" × 634' × 1 = 233' : 1" : 2'''
square of 6" × 9" = 7¼ and 50 ft run = 18' : 2" : 11''' cube feet
12
600 .. .. 218 : 11 : 0
34 .. .. 14 : 2 : 2
634 233 – 1 – 2

over

5 6 longitudinal pieces 6×4 top tie along trussed Fences
4×6 × 634 × 6 = 660·5:0
square of 4×6 = 5" and 50 ft run = 8:8:2 cube feet
600 " — " = 104·2·0
34 — " — 3. 10·10
634 " — " = 110 ·0:10
660 5 0 cube feet

4 Rows double truss timbers 6×4 and 1413·4" run in each
6 6×4 × 1413·4 × 4 = 981:3:0
square 6×4 = 5" and 50 ft run = 8·8:2 cube ft.
100 " — " = 17·4·4
1400 " — " = 243:0:8
13·4 " " = 2:3:1
1413·4 " — " = 245:3:9
981 3:0 cube feet

7 2. Rows single trussing outside footpaths 680 ft run in ea
6×4 × 680 × 2 = 236·1·4
square 6×4 = 5" and 50 ft run = 8·8:2 cube feet
600 ft. " = 104:2:0
50 " — " = 8·8·2
30 " — " = 5·2·6
680 " — " = 118:0 8
236·1·4

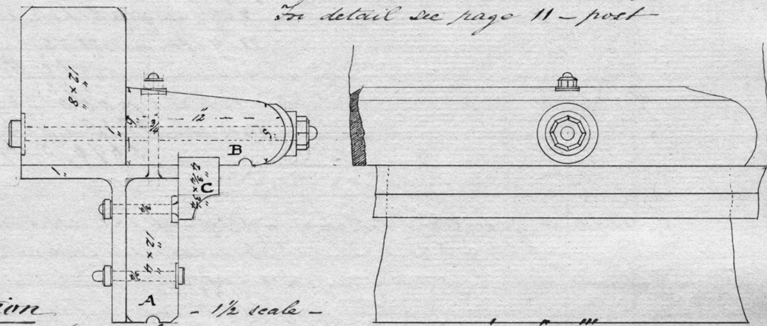
Herring boning underside at centre of roadway
scantling 4×2 or one piece 4×4 × 650 × 1 = 72:2·8
50 ft run = 5·6·8 cube feet
600 " — " = 66: 8 0
50· 5·6 8
650 " — " = 72:2·8 cube feet.

Planking on roadway is 6" deep and on this plank'g
is laid a course of woodpavement 6" deep mak'g
thickness of material of road just 1 ft in Fir —
clear width of platform 24:0½ × 634:0 —
634:0:0
24:0:6
2536:0:0
1268 : 0·0
26:5:0
area of roadway = 15242:5:0 = cube feet in Roadway —

Planking on footpaths is 4" deep.
clear width of footpaths 5:7½" ea

	5:7½	ea
	2	footpaths
	11:3	width of both
	634:0:0	
	11:3:0	
	6974:0:0	
	158:6:0	
area of footpaths	7132:6:0	add divided by 3
	2377:6:0	cube feet

2 Ornamented Cornices one each side of platform
For detail see page 11 – post



– ½ scale –

Recapitulation

8 longitu.l timbers	10 × 4 " –	1375:0:4	cube feet
2 outside ditto	12 × 8 " –	836:10:8	" – "
4 longi.l do. underside	9 × 6 "	932:4:8	" – "
2 " – " – " –	6 × 6 " –	317:0:0	" – "
1 centre longi.l "	9 × 6 " –	233:1:2	" – "
6 top rail of truss	6 × 4 " –	660:5:0	" – "
4 Rows double trusses	6 × 4 "	981:3:0	" – "
2 " – single " –	6 × 4	236:1:4	" – "
Herring boning –	4 × 2	72:2:8	" – "
Planking & paving on roadway		15242:5:0	" – "
Planking on two footpaths		2377:6:0	" – "
2 Ornamented cornices – . .		1118:8:0	" – "
Total cubic feet		24382:11:10	" – " say

	24383 c. feet	
	34 lb.	weight per cubic ft.
	97532	
	73149	
	829022 lbs	in timber
Add for wrot. iron in cornices – .	3182.6	" – "
" – " cast iron " – " – "	1247.3	
	833.451.9 lbs	– " –

over.

Required the weight of the wrot. iron work necessary for fixing platform to each beam –

1¼ Bolts 4 bolts – 1.4 long = 5.4 in outside longitud^l timbers
8 " – 1.1 " = 8.8 in timbers underside of truss
2 " – 1.1 " = 2.2 in centre timber underside
16:2 = 16.166 ft run
4.08 lbs per ft run
129328
64664
65.95728 lbs. total.

1" Bolts. 8 bolts 1:2 long = 9:4 in timbers 10×4
6 " – 1.7½ " = 9:9 for columns –
8 " – 4 " = 2:8 in flanches underside
21:9 ft = 21.75
2.61 lbs per foot run
2175
13050
4350
56.7675 lbs

¾ Bolts 4 bolts – 0.9 long = 3:0 in 6×6 timbers underside
1.47 lbs per foot run
3
4.41 lbs.

5/8 Bolts – 5 Bolts " – 0:6 long = 2:6 for herring boning
20 " – " – 0:6½ long = 5.10 for ends of truss timbers
8:4 = 8.33 of a foot
1.02 lbs per foot run
8.33
1866
833
8.5166 lbs. 8.4966

¾ Coach screws 88 screws 0.6 long = 44:0 for roadway planks –
1.47 lbs per ft run
44
588
588
64.68 lbs –

5/8 Coach screws 24 screws 0.5 long = 10:0 for footpath planks
1.02 lbs per foot run
10.20 lbs total

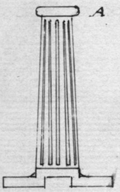
Recapitulation

16.2 run	1¼ bolts	65.957 lbs		
21.9 run	1" "	56.767 "		
3.0 "	¾ "	4.410 "		
8:4 "	5/8 "	8.516 "		
44 0 "	¾ screws	64 680 "		
10.0 "	5/8 "	10.200		
		210 530		
		30.000	for heads & nuts	
		240.530	lbs. total for one beam	

There are cast iron Beam 106 –
therefore 240.53
106
144318
24053
25496.18 lbs.
in all the Beams –

12 –

Required the weight of cast iron Work –
Small column underside of platform
Average diameter 3"
Length of shaft 10"
Dia.r of bead at A 5¼" metal ½"
Bottom flanche 6×9 with space for joggle 1" thick



Circum of 3" diameter = 9.4248
10" length of shaft
94.2480
.5 thickness.
47.124 cube inches in shaft

cir. of 5¼ dia.r = 16.4934.
1½ metal
16.4934
8.2467
24.7401
.75 Depth
1237005
1731807
18.555075 cube in. in bead

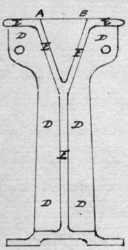
In flanch plate 6×9×1 = 54 cube inches –

Reca.

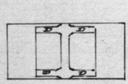
In shaft – 47.124 cube inches
" Bead 18.550 " – "
" Flanche 54.000 " – "
4 | 119.674 total cube inches in one column
29.918. say 30 lbs.
There are 212 such columns therefore
30
6360 lbs. total weight

Total weight 6360 lbs. – " " " "

Columns for receiving trusses underside.
Centre Rib E 1.9 long ¾ thick and 6" wide
1.9" = 21 inches
6 width
126
.75 thick
630
882
94.50 cube inches in E



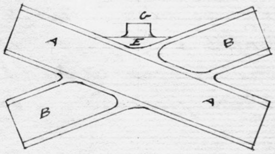
In V plate from A to B 4.25 length
2.25 = ½ of width
2125
850
850
9.5625
.75 thick
7.171875 cube inches
In side flanches D: 11½ long × 2 wide × .75
2
23
.75
17.25 in each
4 No. of flanches
69.00 cube inches

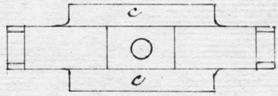


Reca. 54:000 cube in. in base plate.
94.500 in centre rib
7.170 in V plate
69.000 in 4 D flanches.
4 | 224.67 total cube inches
56.17 say 56 lbs each
There are 212 such columns therefore
56
11872 lbs.

Total weight

Required the weights of the Socket pieces for receiving truss timbers 6" × 4" — " — " — "





Length of A is 26½ inches . outside dimen. 7 deep × 5 wide
take 22 inches the girt

26½
132
44
11
583
.5 thick
291.5 cube inches

Average length of the two sockets BB = 9½ inches and

22 girt
9½
198
11
209
.5 thick
10.45
2
209.0 cube inches in 2B.

In the flanches C.C. 14" × 4 × 1
4
56
2
112 cube inches

In the boss G. 2½ dia.r " — area = 4.9087 inch
2 deep
9.8174

In the filling up piece E. = 4" dia.r × .75 average depth
area of 4" = 12.5664
.75
9.4248 cube inches

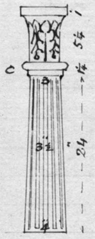
Recapitulation

In the part. A 291.5 cube inches
" — " — 2B 209.0 " — "
" flanches C 112.0 " — " —
" boss. G 9.817
" filling up E. 9.424
4 | 631.741 total cube inches in each
157.935 say 158 lbs in each

And there will be required 212 of such Socket pieces
therefore 158 lbs.
1696
1060
212

Total weight of 212 — " — " — " — 33496 lbs.

Required the weight of middle columns between columns
for receiving trusses - Top side of Platform.



Shaft of Column 24" high average diaʳ. 3½
circum. of 3½ diaʳ = 10.9956
24 height
43 9824
21 9912
263.8944
.75 thickness.
1419472 0
1979 2608
212.920800 cube in. in shaft

In part C = 4.5 diameter
cir. 4.5 = 14.1372 circum.
1.25 deep
706860
282744
141372
17.671500
.75 thick
883575
1237005
13.262625 cube inches in C — " — "

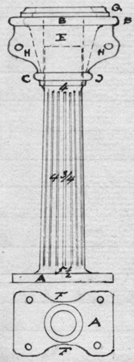
In ornamented cap 3" diaʳ.
3" = 9.4248
5.25 height
471240
188496
471240
49.480200
.75 thick.
2474010
3463614
37.110150 Cube inches in cap

In B 5" dia × 1 × 1¼ deep
cir. 5" = 15.708
1.25 depth
15708
3927
19.635 cube in.

Recapitulation

In Shaft. 212.920 cube inches.
" C — 13.262 " — "
" cap — 37.110 " — "
" B — 19.635 " — "
4/282.927
70.731 lbs say 71 lbs each

And there will be 318 such columns required.
therefore 71 lb.
318
2226
Total weight " — " 22578 lbs in 318 columns



Required the weight of truss column top side as
" represented in the margin — " — "
with moveable cap — " —

Mean diameter of Column = 4¾ and 28 high .75 thick
cir. 4¾ diaʳ = 14.9226 inches
28 height
1193808
298452
417.8328
.75 thickness
20891640
29248296
313.374600 cube inches in shaft

Plate A. = 14 × 14 × 1
14
196 cube inches
subt. area of hollow part of col. & F.F. & holes 24 -
172 cube inches

over.

Required the weights of the different parts of cap.

The plate B is 12"5 long × 8" wide × .75" deep

```
      8 depth
  100.0              subtract  8 × 2¼ × .75
   .75 thick                   2¼
  75.00                        18
  13.55                        .75
  61.45 cube inches            90
                              126
                              13.55 cube inches
```

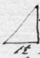
The bead C say 5"5 dia^r × 1½ × .75"

```
5.5 dia^r = 17.2788 circumference
                1½
          26.9182
             .75 thick
          1345910
         1884274
         20.188650 cube inches
```

Side cheeks E without luggs average width 8" × 7" deep × .75"

```
  8
  7
 56                 In 2 end plates 4 wide by 7 deep .75"
 .75                          7
 280                          28
392                           .75 thick
42.00                         140
   2 number of cheeks        196
 8400 cube inches -          21.00 cube in. in one end
                                2
                             4200 cube inches in 2 ends
```

In luggs F 3½ long × 3¾ deep × .75 thick



```
   3.75
    3.5
   1875           Lguide pieces inside cap
  1125
  13125                                         5.5
    .75                 1½ × 1" thick            1.5
  65625                                         275
 91875                                          55
 9.84375 cube in. one lugg                      8.25 c. inches
       2
 19.68750 cube in. in 2 luggs.
```

In 2 Q pieces 7/8 deep × 7/8 × 10" long

```
 .875
 .875
 765625
     10
 7.656250 cube inches
```

Recapitulation

In Shaft	" —	313.374	cube inches
" A Plate	" —	172.000	" — " —
" B plate	" —	61.450	" — " —
" C bead	" —	21.188	" — " —
" E cheeks	" —	84.000	" — "
" 2 end plates	—	42.000	" — "
" F luggs.	—	19.687	" — "
" guide pieces	—	8.250	inside cap
" 2 Q pieces	—	7.656	" — " —

```
4/729.605
  182.401. lbs in one column.
```

There will be 318 such columns required, therefore

```
                       182.401
                           318
                      1459208
                      182401
                     547203
Total weight - " — " — 58003.518 lbs in 318 colums.
```

Required the weight of caps for truss columns on the top side of top rail 6×4.

The caps are 4 inches wide × 9" long and of an average thickness of 1"

$\therefore 1 \times 4 \times 9 = 36$ cube inches and

$\frac{36}{4} = 9$ lbs. each cap

there will be 318 such caps required therefore

Total weight — " — " — " — 318 × 9 = 2862 lbs. total weight —

Required the weight of the cast iron Beams of which there are 106 and each beam weighs according to the castings made at Perth 31 cwt = 3472 lb.

therefore " — 3472 lbs × 106

20832
3472
368032 lbs in all the Beams.

Total weight — " — "

Recapitulation of all the cast iron work as above calculated for the centre opening of the Bridge

106	Cast iron	bearing beams — " — " —	368.032 lbs	— " —
212	" — "	small columns underside —	6,360	" — "
212	" — "	Columns for trusses underside —	11,872	" — "
212	" — "	Socket pieces for truss timbers —	33,496	" — "
318	" — "	Middle columns top side —	22 578	" — "
318	" — "	Truss Columns top side — " —	58,004	" — "
318	" — "	Caps on top rail to truss col.	2 862	" — "
			503,204 lbs	— " —

Required the weight of wrot half round iron at a weight of 5 lbs to the foot run — There are to be two such bars screwed to the outside fence on each side of the Bridge platform

Length of platform 634 feet × 4

2536 feet run of Bar.

5 lbs weight of 1 ft

½ Round iron — 12680 total weight of Bar —

Required the insistant weight which is to be calculated as 62 lb. on every square foot of platform available

Area of carriage Road — 15,242.5 square feet

Area of footpaths — " — 7,132.5 " — " —

22375.0

62 lbs. insistant weight

44750
134250
1,387,250 lbs.

Insistant — Therefore 1,387,250 lbs = total insistant weight

Required the weight of timber and necessary iron work for the cornice as shewn at page 4 –
The cornice to be made up of the three timbers marked A – B – C –

A = 12" × 4" × 634 ft.   B. 12 × 5.5 × 634 & C = 4¾ × 3¼ × 634

square of 4 × 12 = 7"

and 50 ft run = — " — " . 17 : 0 . 2 cube feet

8 " 600 ft run – 204 : 2 0 (× 12)

34 " – " 11 . 6 . 10

634 " – " . 215 : 8 . 10 cube feet in A

B. 12 × 5½ × 634

square of 5½ × 12 = 8" – and 50 ft run = 22 . 2 . 8 cube ft

600 " – " 266 8 0 (× 12)

9 34 " – " 15 . 1 . 4

634 " – " 281 : 9 . 4 cube ft in B.

C = 4¾ × 3¼ × 634.

10 square of 3½ × 4½ = 3¾ and 50 ft run = 4 : 10 . 6 cube ft

600 " " – 58 : 6 : 0 (× 12)

34 . " – 3 . 3 . 10

634 . " – 61 : 9 : 10

A = 215 : 8 : 10

B = 281 : 9 . 4

C = 61 : 9 . 10

559 : 4 0 cube ft in 1 cornice

(× 2)

1118 : 8 : 0 total cube feet in cornices –

Required the weight of wrot iron for fixing cornice –
There will be 105 one inch bolts 2' 0" long for B timber on each side, therefore

105
× 2
210 = No. of bolts
× 2
420 = ft run of 1" bolt.
2.61 lbs per foot
420
2520
840
1096.20 lbs.

there are 210 octagon nuts 2½ dia. and 1" deep equal a bar 17.5 ft long 2½ dia. and
subt. for bolt 1" dia

17.5 × 2.61
1.75
1305
1827
261
45.675

16.32 lbs = weight per foot
1.75
8160
11424
1632
285.600
45.675
239.925 total weight of nuts

239 925

and we may assume 240 . 000 the weight of heads & plates

1096 . 200 the weight of 1" bolts

1576 . 125 . total weight 1" bolts.

3/4" bolts A. B. length between head & nut taken only
the heads & nuts being added afterwards
as solid — " — " — " — " —

420 = 3/4" bolts in B - 7" long = 245 - run of bar
420 = " — " — " A - 5" long = 175 " — " — "

420 ft run of 3/4" bar
1.47 lbs weight per foot
2940
1680
420
617.40 lbs total
280.00 lbs in nuts
240.00 in heads & plates
1137.40 lbs in 3/4" bolts.

There are 840 heads 13/4 dia .75
= 35 ft run of 13/4 Bar
8.00 lbs.
35
280 lbs.

5/8 Bolts for screwing C piece to A. There will be required
420 — 5/8 bolts in C — 7 1/4 long = 254 run of bar
1.02 lbs. per foot
504
254
259.08 lbs total.

One large timber head)
One plate and 1 nut = 1/2 lbs × 420 = 210.00 lbs —
259.08 " — "
469.08 lbs. total 5/8 bolts

Required weight of cast iron plate E —
plate = 5 1/2 dia. and average thickness 1" —
area 5 1/2" = 23.7583 × 1 = cube inches
210 number of plates
2375830
475166
4) 4989.2430 total cube inches
1247.31075 lbs —

Recapitulation

Weight of iron work —

210 - Bolts	1" dia.	2 ft long		1576.125 lbs.
840 - Bolts	3/4	dia. 7 & 5"	" —	1137.400 " —
420 "	5/8	"	7 1/4 long	469.080
				3182.605 lbs

Cast Iron plates — " — " " — 1247.31075 lbs.

Required the necessary section and the weight of vertical
rods and slings — " — " — " — " —
Now since the beams are 6 ft apart each set of
vertical rods will have to support a length of
platform with its load of 6 ft. we must therefore
proceed to find that load.

The total sectional area of timber in beams & ties is equal
to. 8 pieces 10 × 4 = 40 × 8 = — 320
4 " — 9 × 6 = 54 × 4 = — 216 underside.
2 " — 12 × 8 = 96 × 2 = — 192
2 " — 6 × 6 = 36 × 2 = — 72 underside.
carried over — 800 square inches.

Brought forward " 800 square inches
1 Piece – 9×6 = " — " — 54 - underside
6 Pieces – 6×4 = 24×6 = " " — " 144 - " —
10 pieces of truss 6×4 = 24×10 = " — " 240 -
1 " herring boning . 4×4 = 16 underside
1254 square in

$\frac{1254}{144}$ = 8.708 square feet
See - area of planking on roadway. 24.000 " — " -
See. area of two footpath — 3.75 " — "
36.458 square ft.
6 length
218.748 cube feet
34 lbs per foot
874992
656344
7438.432 lbs - in timber
Add for two cornices 350.880 " " " —
7789.312 " — " —

Cast iron supported by each Beam.
The Beam itself " — " " 3472.0 lbs
6 Truss columns at 183 lbs say " — 1098.0 . "
2 Socket pieces @ 158 " — " — " — 316.0 . "
4 Truss columns @ . 56 " — " " — 224.0 " underside
2 . plates for bolts @ . 6 " — " — 12.0 " cornice.
6 . caps for col. @ 9 " — . 54.0 . " —
5176.0 lbs.

Wrot iron supported by each Beam —
Bolts, coach screws &c — " — " — 241.0 say lbs
Bolts & nuts in cornice " — " — 30.0 — " —
24 ft run of ½ round iron at 5 lbs - 120.0 . " — "
total - 391.0 . " — "

Insistant load —
width of available carriage way 24 . ft say
6 length
144 . square ft
62 . lbs.
288
864
8928 lbs.

with of two foot paths is 11'.3".
6
67.6 sq.e ft
62 . lbs.
134
402
31
4185 . lbs - " —

Insistant weight on carriage way 8928 lbs
" — " on 2 footpaths 4185 " —
Total — . 13113 lbs

Recapitulation — " — " —

Weight of timber in a 6 feet length " — " 7789.312
" — " Cast iron " — " — " — " — " 5176.000
" — " Wro^t. iron " — " — " — " — " 391....
" — Transitant load " — " — " — 13113....
Total lbs — 26469.312

and $\frac{26470 \text{ say}}{2240}$ = 11.81 tons. to be supported. by the 4 vertical rods.

Since the vertical rods will be required of a very great length and as there are proposed to be 4 bars to form the system of connection Mr. Clark thinks it better to adopt the original section and weight for the rods, and which section will afford a sufficient latitude for any alteration that may be determined upon.

Disposable section for vertical rods = 6.25 = a bar 2.5 sq.in
average length of connecting rods = 22.5 feet

and there would by 106 vertical rods 6.25 sec.

```
   22.5
  1350
 225
 2385.0 Feet run
   20.8 lbs per foot in bar 2½ square
 190800
47700
49608.00 lbs. in connecting rods
```

Required the weight of slings

there will be 212 pair of slings at 54 lbs. each

```
   54
  848
 1060
11448 lbs. in slings.
```

Required the weight of suspending straps and keys.

straps = 3 × ¾ × 3 ft long double or 6 ft when opened out

there will be 212 pair of slings

```
   636 ft run
  15.12 lbs. pr. ft double
   9072
  4536
 9072
 9616.32 lbs. weight.
  600.00 " — for Keys.
10216.32 lbs.
```

Recapitulation.

Weight of vertical rods " — " — 49608.0
" of straps & keys. " — " — 10216.32
" — " slings " — " — " — 11448.0
Total. 71272.32 lbs

Recapitulation

Weight of timber in platform with bolts for cornice	833,452	lbs.
" — " wrought iron bolts " — " —	25,496	"
" — " — half round iron for Fence — " —	12,680	— "
" — " wrot. iron slings incldg. vertical rods &c.	71,272	— "
" — " — cast iron work complete " — "	503.204	— "
Insistant load " — " — 62 lb. per sq. foot	1387,250	— "
	2833354	— "
Add 5 per cent — " —	141.667	— "
	2975021	=

$\frac{2975021}{2240}$ = 1328.13 tons weight of whole load to be supported — " — " — "

and $\frac{2833354}{2240}$ = 1264.89 tons = load without 5 per cent.

First it is required to find the angle of direction of the chain at the extremities i.e. the angle contained between the tangent to the curve at that point and the chord line —

$$\left.\begin{array}{l}\text{The sine of the angle of}\\ \text{direction of the curve at}\\ \text{the point of Suspension}\end{array}\right\} = \frac{2 \text{ deflection}}{\sqrt{(2\text{deflection}^2 + \text{semichord}^2)}}$$

$$= \frac{2 \times 47.5}{\{(2\times(47.5)^2 + (332.5)\}^{\frac{1}{2}}} = \frac{95.0}{(9025.0)+(110556.25)^{\frac{1}{2}}}$$

$$= \frac{95}{(119581.25)^{\frac{1}{2}}} = \frac{95}{345.81} = .27473$$

$$= 15^\circ\ 57'\ 0''$$

and Cosine $15^\circ 57'$ = .96150 Huttons tables

Required the angle of direction of Back stays.

Length of semichord . " — " — " 297.0

Versed sine " — " — " — 62 6

$$\left.\begin{array}{l}\text{The sine of the angle}\\ \text{of direction of the curve}\\ \text{at the point of Suspension}\end{array}\right\} = \frac{2 \times 62.5}{\{(2\times 62.5)^2 + 297^2\}^{\frac{1}{2}}} = \frac{125.}{(125^2 + 297^2)^{\frac{1}{2}}}$$

$$= \frac{125}{(15625 + 88209.)^{\frac{1}{2}}} = \frac{125.}{(103834.)^{\frac{1}{2}}}$$

~~[illegible]~~ = ~~[illegible]~~ $\frac{125}{322.23} = .38799$

= ~~[illegible]~~ $= 22^\circ.50'$

and Cosine = ~~[illegible]~~ = .9216375

Huttons tables of sines

Required the tension of the load at the point of Suspension –

$$\left.\begin{array}{r}\text{Tension at point of}\\ \text{Suspension}\end{array}\right\} = \frac{\text{The whole load suspended}}{\text{2 sin angle of direction}}$$

$$= \frac{\overset{\text{Tons.}}{1328.13}}{2 \times .27473} = \frac{\overset{\text{Tons}}{1328.13}}{.54946}$$

$$= 2417.15 \text{ tons} -$$

Required the tension at Apex " — " — " —

$$\left.\begin{array}{r}\text{The tension at the}\\ \text{lowest point}\end{array}\right\} = \left\{\begin{array}{l}\text{Tension at extremity} \times \text{cos. angle}\\ \text{of direction at extremity}\end{array}\right.$$

$$= 2417.15 \text{ tons} \times .96150$$

$$\text{tension} = 2324.089 \text{ tons}$$

It is required to find the necessary section of wrought iron for the suspending chains that will be capable of bearing the above load at point of Suspension –

The tension at the point of suspension $\frac{2417.15}{1328.13} = 1.819$ times the load suspended –

The tension at the lowest point " — " $\frac{2324.089}{1328.13} = 1.7506$ times the load suspended –

Rule to find section. Multiply the length of the chain by 0.00148 Tons multiply the product by the number expressing the tension at the points of Suspension and subtract the last product from 9 for a Divisor –

$$\text{The length of the chain} = \left\{\left(\text{deflect.} + \frac{\text{deflect.}}{3}\right)^2 + \text{semichord}^2\right\}^{\frac{1}{2}} \times 2$$

$$" = \sqrt{(47.5 + 15.83)^2 + (332.5)^2} \times 2$$

$$" = \sqrt{(4010.6889 + 110556.25)} \times 2$$

$$" = \sqrt{114566.9389} \times 2$$

$$" = 338.475 \times 2$$

of chain = 676.95 total length say 677 ft.

now 677 × 00148 tons

```
       .00148
         5416
        2708
        677
      1.00196  weight in tons of a bar 1" square 677 long
        1.819  number expressing tension
       901764
      100196
     801568
    100196
   1.82256524
subt. 9.00000000

   7.17743476  The required divisor and
```

which denotes surplus strength per square inch section.

11th Multiply the whole weight suspended, exclusive of the weight of the chains, by the tension or the number expressing the tension in parts of the load suspended and divide this product by the Divisor found — page 16

viz. $\dfrac{1328.13 \times .1.819}{7.1774}$ Section of main chains —

$\dfrac{2415.86947}{7.1774} = 336.59$ square inches —

Drury in his work on Suspension Bridges, recommends that in cases where bridges of this description are constructed in very exposed places and are situated at the outlet of any very great thoroughfare that the section given by this rule should be increased from a ¼ to a ½ times and even more at the discretion of the Engineer —

The section therefore has been made 506 square inches which is to be equally divided amongst 42 bars 10.25 deep and varying in thickness —

There are to be 20 of the one sort and
22 of the other

Required the respective section of each bar and the necessary thickness the depth being 10.25

$\dfrac{506}{2} = 253$ number of square inches in each kind —

and $\dfrac{253}{20} = 12.65$ square inches in each bar

again $\dfrac{12.65}{10.25} = 1.2342$ = width

and $\dfrac{253}{22} = 11.5$ square inches in ea bar

$\dfrac{11.5}{10.25} = 1.122$ = width

Now for the sake of round numbers and the more easy manufacture the various sizes of the bars are as follows viz: 20 bars $10.25 \times 1.25 = 12.8125$ each
and 22 „ $10.25 \times 1.125 = 11.53125$ each

and $12.8125 \times 20 = 256.25$
$11.53125 \times 22 = \underline{253.6875}$
509.9375 no. of square inches

Therefore the even section of 506 square inches becomes increased 3.9375 inches to allow the figures to run out therefore if we calculate the weight of the chain to this quantity we shall be on the safe side —

Required the weight of such chain —

The platform is to be supported by four chains two on each side the platform.

Each chain has 57 lengths or links 12 ft from centre to centre of each bolt hole; each alternate link being made.

— see page 20 —

Calculations for the Curve of the Suspension Chains of the Pesth Bridge

Centre opening

Semi Chord – 232·5 ft. versed sine 47·5 ft.
Platform rises 5 ft in the centre and the underside of under chain is 1'3" above the Top of outside side timber making total length from level of roadway to underside of chain 53'9" –
The Abscisses are calculated at every 12 ft of the length with the exception of the two first.

No. of Absciss	Length of Ordinate Ft.	in.	Absciss.	Constant Quantity	Length of Absciss Ft.	in.	Remarks –
1	326	6	45.8	6.25	52.	0 6/10	The first Absciss is calculated at 6 ft distance from the point Suspension; the 2nd is calculated at a distance of 15'9" from the pt. Suspension and from this point we commence to calculate the abscisses at every 12 ft. horizontal.
2	316	9	43.146	6.25	49	4 1/4	
3	304	9	39.902	6.25	46	1 3/4	
4	292	9	36.82	6.25	43	0 3/4	
5	280	9	33.864	6.25	40	0 5/16	
6	268	9	31.03	6.25	37	3 5/16	
7	256	9	28.322	6.25	34	6 5/16	
8	244	9	25.735	6.25	31	11 3/4	
9	232	9	23.28	6.25	29	6 5/16	
10	220	9	20.93	6.25	27	2 1/10	
11	208	9	18,72	6.25	24	11 6/10	
12	196	9	16.63	6.25	22	10 1/2	
13	184	9	14.66	6.25	20	10 8/10	
14	172	9	12,82	6,25	19	0 8/10	
15	160	9	11,10	6.25	17	2 4/10	
16	148	9	9.49	6,25	15	8 7/10	
17	136	9	8,03	6,25	14	3 3/10	
18	124	9	6.68	6,25	12	11 1/10	
19	112	9	5.46	6,25	11	8 1/2	
20	100	9	4.36	6,25	10	7 3/10	
21	88	9	3,38	6,25	9	7 1/2	
22	76	9	2,53	6,25	8	9 3/10	
23	64	9	1,80	6,25	8	0 6/10	
24	52	9	1.19	6,25	7	5 3/10	
25	40	9	0.713	6,25	6	11 1/2	
26	28	9	0.355	6,25	6	7 2/10	Sept. 22nd 1843.
27	16	9	0.120	6,25	6	4 4/10	

Calculations for the Curve of the Suspension Chains of the Pesth Bridge.

Side Opening –

Semi chord equals 297 ft.
Versed sige " — 62. 6 in –

Rise of platform from face of work in the retaining Pier to the face of work of the Suspension Pier is 8 ft. " –

The Abscissæ are calculated at every 12 ft begining at the Apex or centre line of the head of Retaining Pier and setting off towards the Suspension Tower

No. of Absciss	Lengths of Ordinates ft	in	Absciss	Length of Absciss ft	in	Remarks –
1	12	"	0.102	0	$1\frac{2}{10}$	
2	24	"	0,408	0	$4\frac{9}{10}$	
3	36	"	0.910	0	$10\frac{9}{10}$	
4	48	"	1.63	1	$7\frac{1}{2}$	
5	60	"	2,55	2	$6\frac{6}{10}$	
6	72	"	3,67	3	8	
7	84	"	4,99	4	$11\frac{8}{10}$	
8	96	"	6,53	6	$6\frac{3}{10}$	
9	1.08	"	8,26	8	$3\frac{1}{10}$	
10	120	"	10,20	10	$2\frac{4}{10}$	
11	132	"	12,34	12	4	
12	144	"	14,69	14	$8\frac{2}{10}$	
13	156	"	17.24	17	$2\frac{8}{10}$	
14	168	"	19.99	19	$11\frac{8}{10}$	
15	180	"	22,95	22	$11\frac{4}{10}$	
16	192	"	26.11	26	$1\frac{3}{10}$	
17	204	"	29,48	29	$5\frac{7}{10}$	
18	216	"	33, 05	33	$0\frac{6}{10}$	
19	228	"	36, 83	36	$9\frac{9}{10}$	
20	240	"	40,81	40	$9\frac{7}{10}$	
21	252	"	44.99	44	$11\frac{8}{10}$	
22	264	"	49,38	49	$4\frac{5}{10}$	
23	276	"	54,17	54	2	September 22nd 1843 –
24	288	"	58,76	58	$9\frac{1}{10}$	
25						

up of from 10 to 11 bars of different thicknesses

Those bars of which there are only 10 to each link have a dimension of 10.25 deep × 1.25 thick and a weight as manufactured by Hawkes & Co of.

cwt. 5 : qrs. 0 : 12 lbs

Those bars of which there are 11 in each link have a dimension of 10.25 deep and 1.125 thick also a weight as by the manufacturers above of

cwt. 4 : qrs. 2 . 11 lbs.

There are in all 4 chains 112 lengths or links composed of 10 Bars each and 116 lengths composed of 11 Bars each – " — " — " — " — " —

now 112 × 10 = 1120 . links 10.25 × 1.25		Tons . cwt qrs lbs
and . 1 link = 5 . 0 . 12 lbs × 1120 =	" —	286 : 0 : 0 : 0
116 × 11 = 1276 links 10.25 × 1.125		
and 1 link = 4 . 2 . 11 × 1276 — " =	" —	293 . 7 . 1 . 8
	Tons.	579 : 7 : 1 . 8

This then is the weight of the chain only, to which must be added the weight ~~of the weight~~ of the coupling bolts and cast iron nuts for ditto –

It is therefore required to find the necessary diameter

Now since the links of the chain are to be adapted to a proof strain of 9 tons on the square inch, the whole proportionate load to be sustained by the bolt will be

$$10.25 \times 1.25 \times 9 \text{ tons} = 115.3125 \text{ tons}.$$

and the diameter equals.

$$\left\{\frac{\text{strain in lbs} \times \text{length of bearing in ft.}}{600}\right\}^{\frac{1}{3}}$$

and length of bearing = 1.25 inches = .10417. of a foot

$$\therefore \left\{\frac{(115.3125 \text{ tons}) = 258300 \text{ lbs} \times .10417}{600}\right\}^{\frac{1}{3}} = \text{diameter}.$$

$$\left\{\frac{26907.111}{600}\right\}^{\frac{1}{3}} = \{44.845\}^{\frac{1}{3}} = \text{say } (45)^{\frac{1}{3}} = 3.5568.$$

There has been a dia. of 4 3/8 inches been given to the bolt the Bridge being situated in a great thoroughfare, will have to sustain a great traffic and the continual passing of troops and artillery –

Now to find the weight of these bolts with their necessary nuts of cast iron.

There are 228 coupling bolts in all 4 chains in centre opening, 2 ft 8 inches long and 4 3/8 dia.

$$\begin{array}{r} 228 \\ 2.8 \\ \hline 456.0 \\ 114.0 \\ 38.0 \\ \hline 608.0 \end{array}$$

608.0 feet run of 4 3/8 bolt.

and 50.09 lbs equal weight per foot lineal

608

30454.72 lbs in coupling bolts.

= 13 tons 11 cwt. 3 qrs. 18 lbs.

Required the weight of the nuts, cast iron, $8\frac{3}{4}$" dia^{r} and $3\frac{1}{2}$" deep

area of 8.75 = 60.1321 square inches
$3\frac{1}{2}$ depth

1803963
3006605

210.46235 cube inches

52.61585 " — " —

4 / 157.84650

39.461625 lbs per nut.

subtract area $4\frac{3}{8} \times 3\frac{1}{2}$ for hole

area = 15.0331
$3\frac{1}{2}$
450993
751655
52.61585

and there are 228 × 2 = 456 nuts × 39.5 say

39.5
2280
4104
1368
18012.0 lbs weight of nuts

= 8 tons. 1 cwt. 2 qrs. 24 lbs.

		tons. cwt. qr. lbs.
	Therefore weight of chain only. " —	579 . 7 . 1 : 8
228.	weight of coupling bolts " — " —	13 . 11 . 3 . 18
456.	" — cast iron nuts " —	8 . 1 . 2 . 24
	Total weight of chain.	601 : 0 . 3 22

Required to find the proportionate section of chains at the apex only –

Tension, at extremities, of the load 2417.15" tons

Tension of load at apex . " — 2324.089 tons

and Section at Apex = $\dfrac{\text{sectional area of chain} \times \text{tension of load and chains at Apex}}{\text{tension of load at summit}}$

— " — $= \dfrac{506 \times 3375.8546 \text{ tons}}{3511.03} = \dfrac{1708182.4276}{3511.03}$

" " " = 483.64 square inches

Sectional area at summit 506
" " " at Apex 483.64
Difference = 22 36 square inches

Required to find the proper section for each bar of chain at Apex to comprise the above sectional area of 445.13

The cross section of all four chains is made up of 22 bars $1\frac{1}{8}$ thick and 20 Bars say $1\frac{1}{4}$ in thick required the necessary depth of each Bar.

now. $\dfrac{483.64 \text{ say}}{2}$ = section of each set of Bars = 241.82

$\therefore \dfrac{241.82}{22} = 10.99$ square inches

and $\dfrac{10.99}{1.125} = 9.769$ in depth of Bar. 1/8 in thick

$\dfrac{241.82}{20} = 12.091$" square inches –

$\dfrac{12.091}{1.25} = 9.67$ in Depth of Bar. 1/4 thick.

(See page 22.)

Required to find the tension of the chains at the highest & and lowest point or apex.

Weight of chain with bolts & nutts — tons cwt qrs lbs. 601. 0 . 3. 22 = 601. 05 tons

and tension = $\dfrac{\text{whole weight suspended}}{\text{2 sin angl. of direction}}$

$$= \frac{601.05}{2 \times .27473} = \frac{601.05}{.54946} = 1093.88 \text{ tons}$$

Tension at apex = tension at extremities × cos. angl. direction
= 1093.88 × .9615
= 1051.7656 tons.

Required total tension at extremities and at apex.

Tension at extrim.^s of load — " — "	Tons.	2417.15
" — at — " — of chains — " — " — "		1093.88
Total — "	.	3511:03

Tension at apex of load " — "	Tons	2324.089
" — at " — of chains " — " — "		1051.7656
Total — " — "		3375.8546

Required to find the vertical pressure on the main supporting towers — " —

The vertical pressure on the Piers is measured by the sines of the angles of direction of the central chains and Backstays; viz —

The vertical pressure of the central part of the chains } = { Tension × sine angle of direction of the chains

and The vertical pressure of the backstays } = { Tension × sine angle of direction of the backstays.

Vertical pressure of central chains = 3511.03 tons × .27473
" —— " —— " —— = 964.5527 tons.

Vertical pressure of Backstays = 2178.62 × .39988
" —— " —— " —— = 871.1865 tons pressure.

Therefore 964.5527 tons "
871.1865 "
1835.7392 = total tons pressure on one Pier

Required to find the tension the backstayes the angle being 23° 34′ and sin ∠ 23° 34′ = .39988.

It will be first necessary to find the load on the backstays, which can be done by finding the curved length of the chain from the apex to the summit & multiply each foot in length by the multiplicand found by dividing the whole weight suspended including the chains to be supported in the centre in the centre opening by the length of chain 677 feet

whole load to be supported — " — Tons. 1328.13
weight of chains complete " — " — 601.05
total — " — 1929.18

and $\frac{1929.18}{677} = 2.85$ nearly = the multiplicand.

Required to find the length of the chain

Rule. Length of semichain $= \left\{ \left(\text{deflect} + \frac{\text{deflect}}{3}\right)^2 + \text{semichord}^2 \right\}^{\frac{1}{2}}$

" — " — " $= \sqrt{\left(62.5 + \frac{62.5}{3}\right)^2 + (297)^2}$

" — " — " $= \sqrt{(83.33)^2 + (297)^2} = \sqrt{\begin{matrix}6943.8889\\88209.0009\end{matrix}}$

" — " — " $= \sqrt{95152.8889}$

" — " — " $=$ 308.39 feet

Therefore Load = 308.39 × 2.85 tons = 878.9115 tons

and tension at extremities $\Big\} = \frac{878.91 \times 2}{2 \times .38799} = \frac{878.91}{.38799}$

" — " — = 2265.29 tons tension

and tension at apex = 2265.29 × .9216375

" — " — " — = 2087.776212375 tons

Required the proportionate section for the backstays at the point of suspension when compared with 506 sq. in. and a tension 3511.03 tons
therefore as 3511.03 : 506. :: 2265.29 : to the section

$\therefore \frac{2265.29 \times 506}{3511.03} = 326.46$ square inches —

327 square inches is the section therefore corresponding to 506 square inches and which would be capable of sustaining the permanent load of 2265.29 tons — But since the angle of the Backstays exceeds the angle of the chains of the central opening there will be a considerable unbalanced horizontal pull inwards to be compensated for.

The horizontal strain is measured by the cosines of the several angles of direction — : —

Horizontal draw inwards –
of central chains = tension × cos. ∠ 15°–57′
" — " — = 3511.03 tons × .9615
" — " — = 3375.855345 tons
and Horizontal draw
inwards of Backstays = tension × cos. ∠ 22°.50′.
" — " — = 2265.29 × .9216375
" — " — = 2087.776212375. tons.

and the excess for central
chains – " — = 3375.855345 – 2087.776212
" — " — = 1288.079132 – and this
therefore must be added to the tension at
summit of Backstays. = 2265.29
1288.07
3553.36 tons

and will
therefore require the same section of 506 square in –
and tension at apex
of this load = 3557.77 × .91659.
= 3261.0164043. tons
and 3557.77 – 3261.016 = 296.754 tons and since the
load per square inch at point of suspension is
equal to 6.94 tons ∴ $\frac{296.754}{6.94}$ – 506 – section at Apex

= 506 – 42.76 = 463.24 square inches –

Now we will proceed to find the tension of
portion of chain lying between the retaining
plates and the centre of roller frames in the
head of the Pier –
Semichord = 128. feet
Versed sine = 41 feet.
Required to find the angle of direction of chain
Sine of the angle of direction at Highest point $\Big\} = \dfrac{2 \text{ deflection}}{\sqrt{(2 \text{ deflec.})^2 + (\text{semichord})^2}}$

" — " — " — $= \dfrac{2\times 41}{\sqrt{(82)^2 + (128)^2}} = \dfrac{82}{\sqrt{23108.}}$

" — " — " — $= \dfrac{82}{152.01} = .5394 = 32°\ 38'$

and Cosine 32°. 38′ = . 8421388.

The tension at the highest point we have given equal to
3261.016 tons – therefore
Tension at lowest point = 3261.016 × .84214.
" — " — " — = 2746.3622 tons and
$\frac{2740.3622}{694}$ = 394.86 square inches –

Now the tension of the chains at the lowest point or the point where they are to be secured is equal to 2740.36 tons on all four chains or require a sectional area of 395 square inches & as the chains are to be proved to bear 9 tons on each square inch the tension becomes

$395 \times 9 = 3555$ tons for the 4 chains &

$\frac{3555}{4} = 888.75$ tons on each chain or = the load each retaining Bar will have to sustain and 888.75 tons =

Rule - to find the depth of a wrought Rectangular bar whose width is 6 inches to bear a load of 1990800 lbs. = 888.75 tons -

See Thredgold page 150.

$$\sqrt{\left(\frac{\text{the load in lbs} \times \text{length of bearing in ft}}{952 \text{ times the breadth in inches}}\right)} = \text{the depth}$$

$$\sqrt{\left(\frac{1990800 \times 2 ft.}{952 \times 6 \times 2}\right)} = \sqrt{\left(\frac{3981600}{11424}\right)} = \sqrt{348.53}$$

and $\sqrt{348.53} = 18.66$ inches the depth but these dimentions are equal to bear 3 times as much and 18 inches will therefore be found fully adiquate - and 18 in × 6 in = dimension of retaining pin with the ends semicircles -

begining at the entrance to the tunnel in the retaining chamber marked A on the tracing

$$\text{Rule.}\quad \frac{\left\{\text{Middle deflection}\right\} \times \left\{\text{semichord - horizontal distance of the point from the point of Suspension}\right\}^2}{(\text{semichord})^2} = \text{Deflect.}$$

Deflection of Chain in Tunnels.

Semichord. 128 feet

Versed sine. 41. " -

No. of Absciss	Length of Ordinate. Ft.	in	Length of Abscis Ft.	Sin. ∠ of direction at corresponding point	Angle.	Secant of corresponding Angle.	Section of chain in sq. inches at each point.	Remarks -
1	24	"	1.441	.1192	6° 51′	1.0071895	397.8398525	
2	48	"	5.763	.23427	13° 33′	1.0286311	406.3092845	
3	72	.	12.97	.3269	19° 5′	1.0581517	417.9699215	
4	96	"	23.062	.4337	25° 42′	1.1097830	438.3642850	
5	120	"	36.035	.5149	30° 59′	1.1664296	460.7396920	
Highest point	128	"	41.000	.5394	32° 38′	1.1874527	463.24	
								For detail of these calculations see next page.

To find the Abscissæ at the 5 following points according to the proceeding rule—

No. 1. $\frac{41\text{ft} \times 24^2}{128^2} = \frac{576 \times 41}{16384} = \frac{23616}{16384} = 1.441$ feet.

No. 2. $\frac{41\text{ft} \times 48^2}{128^2} = \frac{41 \times 2304}{16384} = \frac{94464}{16384} = 5.763$ "—

" 3. $\frac{41\text{ft} \times 72^2}{128^2} = \frac{41 \times 5184}{16384} = \frac{212544}{16384} = 12.97$ "

" 4 $\frac{41\text{ft} \times 96^2}{128^2} = \frac{41 \times 9216}{16384} = \frac{377856}{16384} = 23.062$ "

" 5. $\frac{41\text{ft} \times 120^2}{128^2} = \frac{41 \times 14400}{16384} = \frac{590400}{16384} = 36.035$ "

Required to find sine of the angle of direction of the curve at each of these points — " —

No. 1. $\sin x = \frac{2 \times 1.441}{\sqrt{(2 \times 1.441)^2 + 24^2}} = \frac{2.882}{\sqrt{576.000 + 8.305924}} = \frac{2.882}{\sqrt{584.305924}}$

" $= \frac{2.882}{24.172} = .1192 = 6°51' = 1.0071895$ secant.

" 2 $\sin x = \frac{2 \times 5.763}{\sqrt{(2 \times 5.763)^2 + 48^2}} = \frac{11.526}{\sqrt{2304.000 + 132.7104}} = \frac{11.52}{\sqrt{2436.7104}}$

" $= \frac{11.52}{49.2906} = .23427 = 13°33' = 1.0286311$ sec.

" 3 $\sin x = \frac{2 \times 12.97}{\sqrt{(2 \times 12.97)^2 + 72^2}} = \frac{25.94}{\sqrt{5184.000 + 672.8836}} = \frac{25.94}{\sqrt{5856.8836}}$

" $= \frac{25.94}{76.276} = .3269 = 19°5' = 1.0581517$ sec.

" 4 $\sin x = \frac{2 \times 23.06}{\sqrt{(2 \times 23.06)^2 + 96^2}} = \frac{46.12}{\sqrt{9216.000 + 2127.0544}} = \frac{46.12}{\sqrt{11343.0544}}$

" $= \frac{46.12}{106.503} = .4337 = 25°42' = 1.1097830$ sec.

" 5. $\sin x = \frac{2 \times 36.037}{\sqrt{(2 \times 36.035)^2 + 120^2}} = \frac{72.07}{\sqrt{14400.000 + 5194.0849}} = \frac{72.07}{\sqrt{19594.0849}}$

$= \frac{72.07}{139.98} = .5149 = 30°59' = 1.1664296$ sec.

Now since the tension at any point is directly as the secant to that point so must also the sectional area and the section may be found by multiplying in succession the section at the lowest point = 395 by the several secants found.

Section at lowest point —— = 395.000 sq. in.
at 24 ft horiz.l distance = 395 × 1.0071895 = 397.8398 "—
" 48 " — " — " — = 395 × 1.0286311 = 406.30928 "
" 72 " — " — " — = 395 × 1.0581517 = 417.96992 "
" 96 " — " — " — = 395 × 1.1097830 = 438.364285 "
" 120 " — " — " = 395 × 1.1664296 = 460.7396920.
128 " — " — " = 394.86 × 1.1874527 = 468.87755.

Table of angles of the direction of the Backstays taken at every 12 ft horizontal distance with their sines and secants.

The sines are computed from the table of the abscissa calculated for the same points and given at page 19 –

Semichord = 297 feet

Versed sine = 62:6 ft.

Beginning at the apex of the curve –

No. of points	Length of Ordinate	Length of Abscifs	sin. of angle	Angle.	Secant of angle.	Section of chain at each point in square inches.	– Remarks –
	Ft – pts.	Ft – pts				Square Inches	
1	12.00	0.102	.016997	0°59′	1.0001473	463.3082352	
2	24.00	0.408	.033980	1°57′	1.0005794	463.5034012	465 inch. {1.25 × 9.3. / 1.125 × 9.39}
3	36.00	0.910	.050492	2°53′	1.0012676	463.8272030	
4	48.00	1.63	.067702	3°53′	1.0023013	464.1818543	
5	60.00	2.55	.084529	4°51′	1.0035934	464.9046066	
6	72.00	3.67	.101419	5°50′	1.0052052	465.6512568	468.5 469 in. 1.25″ × 9.38″ / 1.125 × 9.475
7	84.00	4.99	.11786	6°46′	1.0070146	466.4894433	
8	96.00	6.53	.1348003	7°45′	1.0092183	467.5102852	
9	108.00	8.26	.151204	8°42′	1.0116400	468.6321136	
10	120.00	10.20	.16759	9°39′	1.0143530	469.8888372	472 in 1.25″ × 9.44″ / 1.125 × 9.53
11	132.00	12.34	.18378	10°36′	1.0173609	471.2822633	
12	144.00	14.69	.20671	11°56′	1.0220885	473.4722767	4.77 in. 9.54″ × 1.25″ / 9.636 × 1.125
13	156.00	17.24	.21581	12°28′	1.0241476	474.4261342	
14	168.00	19.99	.231027	13°23′	1.0278437	476.1383155	
15	180.00	22.95	.24709	14°18′	1.0319750	478.0520990	481 in 1.25″ × 9.62″ / 1.125 × 9.71.
16	192.00	26.11	.26245	15°13′	1.0363337	480.0712231	485 in 1.25″ × 9.7″– / 1.125 × 9.79
17	204.00	29.48	.27952	16°14′	1.0415243	482.4757167	
18	216.00	33.05	.29262	17°1′	1.0457248	484.4493507	
19	228.00	36.83	.307425	17°54′	1.0508679	486.8040459	490 in 1.25″ × 9.8″ / 1.125 × 9.898
20	240.00	40.81	.32197	18°47′	1.0562527	489.2985933	495 in. 1.25″ × 9.9″ / 1.125 × 10.0
21	252.00	44.99	.34041	19°54′	1.0635038	492.6575003	
22	264.00	49.38	.3482	20°23′	1.0667994	494.1831640	
23	276.00	54.17	.36541	21°26′	1.0742946	497.6562305	498 in 1.25″ × 9.96″ / 1.125 × 10.061
24	288.00	58.76	.37781	22°12′	1.0800646	500.329125	The section is actually
25	297.00	62.5	.38375	23°34′	1.0909938	505.391967	506 sq. inches

For detail of these calculations see next page

No. 1. $\sin x = \dfrac{2\times .102}{\sqrt{(2\times .102)^2+12^2}} = \dfrac{.204}{\sqrt{144.041616}} = \dfrac{.204}{12.002}$

$= .016997 = 0°59' = 1.0001473$ sec –

No. 2. $\sin x = \dfrac{2\times .408}{\sqrt{(2\times 408)^2+24^2}} = \dfrac{.816}{\sqrt{576.665856}} = \dfrac{.816}{24.0138}$

$= .033980 = 1°57' = 1.0005794$ sec –

– 3. $\sin x = \dfrac{2\times .910}{\sqrt{(2\times .910)^2+36^2}} = \dfrac{1.82}{\sqrt{1296. \atop 3.3124}} = \dfrac{1.82}{\sqrt{1299.3124}} = \dfrac{1.82}{36.045}$

$= .050492 = 2°53' = 1.0012676$ sec –

– 4 $\sin x = \dfrac{2\times 1.63}{\sqrt{(2\times 1.63)^2+48^2}} = \dfrac{3.26}{\sqrt{2304. \atop 10.6276}} = \dfrac{3.26}{\sqrt{2314.6276}} = \dfrac{3.26}{48.152}$

$= .067702 = 3°53' = 1.0023013$ sec –

– 5. $\sin x = \dfrac{2\times 2.55}{\sqrt{(2\times 2.55)^2+60^2}} = \dfrac{5.1}{\sqrt{3600. \atop 26.01}} = \dfrac{5.1}{\sqrt{3626.01}} = \dfrac{5.1}{60.216}$

$= .084529 = 4°51' = 1.0035934$ sec –

– 6. $\sin x = \dfrac{2\times 3.67}{\sqrt{(2\times 3.67)^2+72^2}} = \dfrac{7.34}{\sqrt{5184.000 \atop 53.8756}} = \dfrac{7.34}{\sqrt{5237.8756}} = \dfrac{7.34}{72.373}$

$= .101419 = 5°50' = 1.0052052$ sec –

– 7. $\sin x = \dfrac{2\times 4.99}{\sqrt{(2\times 4.99)^2+84^2}} = \dfrac{9.98}{\sqrt{7056.000 \atop 99.6004}} = \dfrac{9.98}{\sqrt{7155.6004}} = \dfrac{9.98}{84.5907}$

$= .11786 = 6°46' = 1.0070146$ sec –

– 8 $\sin x = \dfrac{2\times 6.53}{\sqrt{(2\times 6.53)^2+96^2}} = \dfrac{13.06}{\sqrt{9216.000 \atop 170.5636}} = \dfrac{13.06}{\sqrt{9386.5636}} = \dfrac{13.06}{96.884}$

$= .1348003 = 7°45' = 1.0092183$ sec –

– 9. $\sin x = \dfrac{2\times 8.26}{\sqrt{(2\times 8.26)^2+108^2}} = \dfrac{16.52}{\sqrt{11664.000 \atop 272.9104}} = \dfrac{16.52}{\sqrt{11936.9104}} = \dfrac{16.52}{109.256}$

$= .151204 = 8°42' = 1.0116400$ sec –

– 10 $\sin x = \dfrac{2\times 10.20}{\sqrt{(2\times 10.20)^2+120^2}} = \dfrac{20.4}{\sqrt{14400.000 \atop 416.16}} = \dfrac{20.4}{\sqrt{14816.16}} = \dfrac{20.4}{121.721}$

$= .16759 = 9°39' = 1.0143530$ sec –

– 11. $\sin x = \dfrac{2\times 12.34}{\sqrt{(2\times 12.34)^2+132^2}} = \dfrac{24.68}{\sqrt{17424.000 \atop 609.1024}} = \dfrac{24.68}{\sqrt{18033.1024}} = \dfrac{24.68}{134.287}$

$= .18378 = 10°36' = 1.0173609$ sec –

– 12 $\sin x = \dfrac{2\times 14.69}{\sqrt{(2\times 14.69)^2+144^2}} = \dfrac{29.38}{\sqrt{20736.000 \atop 863.7844}} = \dfrac{29.38}{\sqrt{21599.7844}} = \dfrac{29.38}{146.966}$

$= .20671 = 11°56' = 1.0220885$ sec –

No. 13. $\sin x = \dfrac{2 \times 17.24}{\sqrt{(2\times 17.24)^2 + 156^2}} = \dfrac{34.48}{\sqrt{\begin{matrix}24336.000\\1188.8704\end{matrix}}} = \dfrac{34.48}{\sqrt{25524.8704}} = \dfrac{34.48}{159.765}$

$= .21581 = 12^\circ 28' = 1.0241476$ sec –

– 14. $\sin x = \dfrac{2 \times 19.99}{\sqrt{(2\times 19.99)^2 + 168^2}} = \dfrac{39.98}{\sqrt{\begin{matrix}28224.-\\1598.4004\end{matrix}}} = \dfrac{39.98}{\sqrt{29822.4004}} = \dfrac{39.98}{172.62}$

$= .231027 = 13^\circ 23' = 1.0278437$ sec –

– 15 $\sin x = \dfrac{2 \times 22.95}{\sqrt{(2\times 22.95)^2 + 180^2}} = \dfrac{45.90}{\sqrt{\begin{matrix}32400.000\\2106.810\end{matrix}}} = \dfrac{45.9}{\sqrt{34506.81}} = \dfrac{45.9}{185.760}$

$= .24709 = 14^\circ 18' = 1.0319750$ sec –

– 16. $\sin x = \dfrac{2 \times 26.11}{\sqrt{(2\times 26.11)^2 + 192^2}} = \dfrac{52.22}{\sqrt{\begin{matrix}36864.000\\2726.9284\end{matrix}}} = \dfrac{52.22}{\sqrt{39590.9284}} = \dfrac{52.22}{198.97}$

$= .26.245 = 15^\circ 13' = 1.0363337$ sec –

– 17. $\sin x = \dfrac{2 \times 29.48}{\sqrt{(2\times 29.48)^2 + 204^2}} = \dfrac{58.96}{\sqrt{\begin{matrix}41616.00\\3476.2816\end{matrix}}} = \dfrac{58.96}{\sqrt{44492.2816}} = \dfrac{58.96}{210.931}$

$= .27952 = 16^\circ 14' = 1.0415243$ sec –

– 18 $\sin x = \dfrac{2 \times 33.05}{\sqrt{(2\times 33.05)^2 + 216^2}} = \dfrac{66.1}{\sqrt{\begin{matrix}46656.000\\4369.210\end{matrix}}} = \dfrac{66.1}{\sqrt{51025.21}} = \dfrac{66.1}{225.887}$

$= .29262 = 17^\circ 1' = 1.0457848$ sec –

– 19. $\sin x = \dfrac{2 \times 36.83}{\sqrt{(2\times 36.83)^2 + 228^2}} = \dfrac{73.66}{\sqrt{\begin{matrix}51984.000\\5425.7956\end{matrix}}} = \dfrac{73.66}{\sqrt{57409.7956}} = \dfrac{73.66}{239.603}$

$= .307425 = 17^\circ 54' = 1.0508679$ sec –

– 20 $\sin x = \dfrac{2 \times 40.81}{\sqrt{(2\times 40.81)^2 + 240^2}} = \dfrac{81.62}{\sqrt{\begin{matrix}57600.-\\6661.8244\end{matrix}}} = \dfrac{81.62}{\sqrt{64261.8244}} = \dfrac{81.62}{253.497}$

$= .32197 = 18^\circ 47' = 1.0562529$ sec –

– 21 $\sin x = \dfrac{2 \times 44.99}{\sqrt{(2\times 44.99)^2 + 252^2}} = \dfrac{89.98}{\sqrt{\begin{matrix}63504\\8096.4004\end{matrix}}} = \dfrac{89.98}{\sqrt{71600.4004}} = \dfrac{89.98}{264.327}$

$= .34041 = 19^\circ 54' = 1.0635038$ sec.

– 22. $\sin x = \dfrac{2 \times 49.38}{\sqrt{(2\times 49.38)^2 + 264^2}} = \dfrac{98.76}{\sqrt{\begin{matrix}69696.000\\9753.5376\end{matrix}}} = \dfrac{98.76}{\sqrt{79449.5376}} = \dfrac{98.76}{283.636}$

$= .3482 = 20^\circ 23' = 1.0667994$ sec –

– 23 $\sin x = \dfrac{2 \times 54.17}{\sqrt{(2\times 54.7)^2 + 276^2}} = \dfrac{108.34}{\sqrt{\begin{matrix}76176.-\\11728.89\end{matrix}}} = \dfrac{108.34}{\sqrt{87904.89}} = \dfrac{108.34}{296.487}$

$= .36541 = 21^\circ 26' = 1.0742946$ sec –

– 24 $\sin x = \dfrac{2 \times 58.76}{\sqrt{(2\times 58.76)^2 + 288^2}} = \dfrac{117.52}{\sqrt{\begin{matrix}13810.9504\\82944.-\end{matrix}}} = \dfrac{117.52}{\sqrt{96754.9504}} = \dfrac{117.52}{311.054}$

$= .37781 = 22.12 = 1.0800646$ sec.

— Centre - Opening —

Table of angles of the direction of the chain taken at every 12 feet Horizontal distance begining at 16 ft 9 inches from the lowest point of the curve or Apex - together with their sines & secants —

The sines are calculated from the table of the abscissæ computed for the same points and given at page 18 —

Semichord 332 ft. 6 in.

Versedsine 47. 6 in. = 1/14

No. of points	Length of Ordinate	Length of Abscisse	Sine of angle.	Angle.	Secant of angle.	Section of chain at each pt in square inches	Remarks — Assumed section Depending on the ctl. calculated.	Feet run of assumed Section	Difference of Section
	ft. ins.	ft. ins.		° ′		Square In.			Sqre. In.
Section at lowest point of curve						486. 41			
1.	16.75	.1200	.01432	0° 50′	1.0001050	486.461073			
2.	28.75	.3550	.02468	1° 25′	1.0003050	486.55835			
3	40.75	.713	.03497	2° 1′	1.0006198	486.711476	486.5		19.5
4	52.75	1.190	.04507	2° 35′	1.0010173	486.904824			
5	64.75	1.8013	.055553	3° 11′	1.0015454	487.161698	= 488 in	9.76″ ×	1.25″
6	76.75	2.53	.065801	3° 46′	1.0021648	487.46298		9.85 ×	1.125
7	88.75	3.38	.07954	4° 34′	1.0031847	487.95900			
8	100.7	4.36	.08627	4° 57′	1.0037436	488.230924			
9	112.7	5.46	.09644	5° 32′	1.0046815	488.687128	488.5		17.5
10	124.7	6.68	.10654	6° 7′	1.0057256	489.194989	= 490 in	9.8″ × 9.89 −	1.25″ 1.125
11	136.7	8.03.	.11668	6° 43′	1.0069108	489.771482			
12.	148.7	9.49	.12661	7° 17′	1.0087343	490.366604	490.4		15. 5
13	160.7	11.10	.13684	7° 52′	1.0095001	491.030943	= 494 in	9.88″ × 9.97 ×	1.25 1.125
14	172.7	12.82	.14685	8° 27′	1.0109747	491.748203			
15	184.7	14.66	.1567	9° 0′	1.0124651	492.473149	492.5		13. 5
16.	196.7	16.63	.16672	9° 36′	1.0142029	493.318432			
17	208.7	18.72	.17657	10° 11′	1.0160050	494.194992			
18	220.7	20.93	.18634	10° 45′	1.0178631	495.098790	495.0	9.96″ × 10.061 −	1.25 11.0 1.125
19	232.7	23.28	.19619	11° 19′	1.0198279	496.054488			
20	244.7	25.735	.20583	11° 53′	1.0219630	497.088022			
21	256.7	28.32	.21546	12° 27′	1.0240818	498.123628	498.25		7.75
22	268.7	31.03	.22504	13° 1′	1.0263730	499 238090	= 502	10.00″ 10.10	1.25″ 1.125
23	280.7	33.86	.234506	13° 34′	1.0287033	500 372544			
24	292.7	36.82	.24398	14° 8′	1.0312147	501. 5931422			
25	304.7	39.9	.25335	14° 41′	1.0337611	502.8317366	506.00	10.25″ × 10.25 ×	1.25″ 1.25
26	316.7	43.106	.26266	15° 14′	1.0364157	504.1229606			
27	326.5	45.8	.27012	15° 41′	1.0386692	505.2190855			
28	332.5	47.5	.274798	15° 57′	1.0400396	506.0000000			

For detail see next page

No. 1. $\sin a = \dfrac{2\times .12}{\sqrt{(2\times .12)^2+(16.75)^2}} = \dfrac{.24}{\sqrt{\begin{matrix}280.5625\\ .0576\end{matrix}}} = \dfrac{.24}{\sqrt{280.6201}} = \dfrac{.24}{16.7517}$

$= .01432 = 0°50' = 1.0001050$ secant.

— 2. $\sin x = \dfrac{2\times .355}{\sqrt{(2\times .355)^2+(28.75)^2}} = \dfrac{.710}{\sqrt{\begin{matrix}826.5625\\ .5041\end{matrix}}} = \dfrac{.710}{\sqrt{827.0666}} = \dfrac{.71}{28.758}$

$= .02468 = 1°25' = 1.0003050$ sec –

— 3. $\sin x = \dfrac{2\times .713}{\sqrt{(2\times .713)^2+(40.75)^2}} = \dfrac{1.426}{\sqrt{\begin{matrix}1660.5625\\ 2.033476\end{matrix}}} = \dfrac{1.426}{\sqrt{1662.595976}} = \dfrac{1.426}{40.774}$

$= .03497 = 2°1' = 1.0006198$ sec –

— 4. $\sin x = \dfrac{2\times 1.19}{\sqrt{(2\times 1.19)^2+(52.75)^2}} = \dfrac{2.38}{\sqrt{\begin{matrix}2782.5625\\ 5.6644\end{matrix}}} = \dfrac{2.38}{\sqrt{2788.2269}} = \dfrac{2.38}{52.803}$

$= .04507 = 2°35' = 1.0010173$ sec –

— 5. $\sin x = \dfrac{2\times 1.8013}{\sqrt{(2\times 1.8013)^2+(64.75)^2}} = \dfrac{3.6026}{\sqrt{\begin{matrix}4192.5625\\ 12.97873\end{matrix}}} = \dfrac{3.6026}{\sqrt{4205.54173}} = \dfrac{3.6026}{64.3501}$

$= 055533 = 3°11' = 1.0015454$ sec –

— 6. $\sin x = \dfrac{2\times 2.53}{\sqrt{(2\times 2.53)^2+(76.75)^2}} = \dfrac{5.06}{\sqrt{\begin{matrix}5890.5625\\ 25.6036\end{matrix}}} = \dfrac{5.06}{\sqrt{5916.1661}} = \dfrac{506}{76.916}$

$= .065801 = 3°46' = 1.0021648$ sec –

— 7. $\sin x = \dfrac{2\times 3.38}{\sqrt{(2\times 3.38)^2+(88.75)^2}} = \dfrac{6.76}{\sqrt{\begin{matrix}7876.5625\\ 45.6976\end{matrix}}} = \dfrac{6.76}{\sqrt{7922.2601}} = \dfrac{6.76}{89.007}$

$= .07954 = 4°34' = 1.0031847$ sec –

— 8. $\sin x = \dfrac{2\times 9.36}{\sqrt{(2\times 9.36)^2+(100.7)^2}} = \dfrac{18.72}{\sqrt{\begin{matrix}10140.49\\ 76.0384\end{matrix}}} = \dfrac{8.72}{\sqrt{10216.5284}} = \dfrac{8.72}{101.076}$

$= .08627 = 4°57' = 1.0037436$ sec –

— 9 $\sin x = \dfrac{2\times 5.46}{\sqrt{(2\times 5.46)^2+(112.7)^2}} = \dfrac{10.92}{\sqrt{\begin{matrix}12701.29\\ 119.2464\end{matrix}}} = \dfrac{10.92}{\sqrt{12820.5364}} = \dfrac{10.92}{113.227}$

$= .09644 = 5°32' = 10046815$ sec.

— 10. $\sin x = \dfrac{2\times 6.68}{\sqrt{(2\times 6.68)^2+(124.7)^2}} = \dfrac{13.36}{\sqrt{\begin{matrix}15550.09\\ 178.4896\end{matrix}}} = \dfrac{13.36}{\sqrt{15728.5796}} = \dfrac{13.36}{125.413}$

$= .10654 = 6°7' = 1.0057256$ sec.

In 11 $\sin x = \dfrac{2\times 8.03}{\sqrt{(2\times 8.03)^2+(136.7)^2}} = \dfrac{16.06}{\sqrt{\begin{matrix}18686.89\\ 257.9236\end{matrix}}} = \dfrac{16.06}{\sqrt{18944.8136}} = \dfrac{16.06}{137.64}$

$= .11668 = 6°43' = 1.0069108$ sec.

12. $\sin x = \dfrac{2\times 9.49}{\sqrt{(2\times 9.49)^2+(148.7)^2}} = \dfrac{18.98}{\sqrt{\begin{matrix}22111.69\\ 360.2404\end{matrix}}} = \dfrac{18.98}{\sqrt{22471.9304}} = \dfrac{18.98}{149.906}$

$= .12661 = 7°17' = 1.0081343$ sec –

No 13. $\sin x = \frac{2\times 11.1}{\sqrt{(2\times 11.1)^2+(160.7)^2}} = \frac{22.2}{\sqrt{\substack{25824.49\\ 492.84}}} = \frac{22.2}{\sqrt{26317.33}} = \frac{22.2}{162.226}$

$= .13684 = 7^\circ 52' = 1.0095001$ sec —

" 14. $\sin x = \frac{2\times 12.82}{\sqrt{(2\times 12.82)^2+(172.7)^2}} = \frac{25.64}{\sqrt{\substack{29825.29\\ 657.4096}}} = \frac{25.64}{\sqrt{30482.6996}} = \frac{25.64}{}$

$= .14385 = 8^\circ.27' = 1.0109747$ sec —

" 15. $\sin x = \frac{2\times 14.66}{\sqrt{(2\times 14.66)^2+(184.7)^2}} = \frac{29.32}{\sqrt{\substack{34151.04\\ 859.6624}}} = \frac{29.32}{\sqrt{35010.7024}} = \frac{29.32}{187.111}$

$= .1567 = 9^\circ 0' = 1.0124651$ sec —

" 16 $\sin x = \frac{2\times 16.63}{\sqrt{(2\times 16.63)^2+(196.7)^2}} = \frac{33.26}{\sqrt{\substack{38690.89\\ 1106.2276}}} = \frac{33.26}{\sqrt{39797.1178}} = \frac{33.26}{199.492}$

$= .16672 = 9^\circ.36' = 1.0142029$ sec —

" 17. $\sin x = \frac{2\times 18.72}{\sqrt{(2\times 18.72)^2+(208.7)^2}} = \frac{37.44}{\sqrt{\substack{43555.69\\ 1401.7536}}} = \frac{37.44}{\sqrt{44957.4436}} = \frac{37.44}{212.031}$

$= .17657 = 10^\circ 11' = 1.0160050$ sec —

" 18. $\sin x = \frac{2\times 20.93}{\sqrt{(2\times 20.93)^2+(220.7)^2}} = \frac{41.86}{\sqrt{\substack{48708.49\\ 1752.2596}}} = \frac{41.86}{\sqrt{50460.7496}} = \frac{41.86}{224.634}$

$= .18634 = 10^\circ 45' = 1.0178631$ sec —

" 19. $\sin x = \frac{2\times 23.28}{\sqrt{(2\times 23.28)^2+(232.7)^2}} = \frac{46.56}{\sqrt{\substack{54149.29\\ 2167.8336}}} = \frac{46.56}{\sqrt{56317.1236}} = \frac{46.56}{227.312}$

w — — $= .19619 = 11^\circ.19' = 1.0198279$ sec —

" 20 $\sin x = \frac{2\times 25.735}{\sqrt{(2\times 25.735)^2+(244.7)^2}} = \frac{51.470}{\sqrt{\substack{59878.09\\ 2649.1609}}} = \frac{51.47}{\sqrt{62527.2509}} = \frac{51.47}{250.054}$

$= .20583 = 11^\circ 53' = 1.0219630$ sec —

" 21. $\sin x = \frac{2\times 28.32}{\sqrt{(2\times 28.32)^2+(256.7)^2}} = \frac{56.64}{\sqrt{\substack{65894.89\\ 3208.0896}}} = \frac{56.64}{\sqrt{69102.9796}} = \frac{56.64}{262.874}$

$= .21546 = 12^\circ 27' = 1.0240818$ sec —

" 22 $\sin x = \frac{2\times 31.03}{\sqrt{(2\times 31.03)^2+(268.7)^2}} = \frac{62.06}{\sqrt{\substack{72199.69\\ 3851.4436}}} = \frac{62.06}{\sqrt{76051.1336}} = \frac{62.06}{275.773}$

$= .22504 = 13^\circ.1' = 1.0263730$ sec.

" 23 $\sin x = \frac{2\times 33.86}{\sqrt{(2\times 33.86)^2+(280.7)^2}} = \frac{67.72}{\sqrt{\substack{78792.49\\ 4585.9984}}} = \frac{67.72}{\sqrt{83378.4884}} = \frac{67.72}{288.777}$

$= .234506 = 13^\circ.34' = 1.0287033$. sec —

" 24 $\sin x = \frac{2\times 36.82}{\sqrt{(2\times 36.82)^2+(292.7)^2}} = \frac{73.64}{\sqrt{\substack{85673.29\\ 5422.8496}}} = \frac{73.64}{\sqrt{91096.1396}} = \frac{73.64}{301.821}$

$= .24398 = 14^\circ.8' = 1.0312147$ sec —

$$\text{No. }25.\ \sin x = \frac{2\times 39.9}{\sqrt{(2\times39.9)^2+(304.7)^2}} = \frac{79.8}{\sqrt{\begin{matrix}32842.09\\6368.04\end{matrix}}} = \frac{79.8}{\sqrt{99210.13}} = \frac{79.8}{314.976}$$

$$= .25335 = 14^\circ 41' = 1.0337611.\ \sec-$$

$$\text{"} 26.\ \sin x = \frac{2\times 43.106}{\sqrt{(2\times43.106)^2+(316.7)^2}} = \frac{86.212}{\sqrt{\begin{matrix}100298.89\\7432.1641\end{matrix}}} = \frac{86.212}{\sqrt{107731.0541}} = \frac{86.212}{328.224}$$

$$= .26266. = 15^\circ 14' = 1.0364157.\ \sec-$$

$$\text{"} 27.\ \sin x = \frac{2\times 45.8}{\sqrt{(2\times45.8)^2+(326.5)^2}} = \frac{91.6}{\sqrt{\begin{matrix}106602.25\\8390.56\end{matrix}}} = \frac{91.6}{\sqrt{114992.81}} = \frac{91.6}{339.135}$$

$$= .27012 = 15^\circ 41' = 1.0386692.\ \sec-$$

Here follows a table of the number of Links required for forming all the four chains according to the contract drawing commencing with the retaining Links and following the chain to the apex of the centre opening, with their respective sections and distances from centre to centre.

Depth of Link	Thickness of Link	No. of Links	Distance from centre to centre of Links		Remarks.
Inches.	Inches.	"	Ft.	In.	
10.25	0.98	80.	25.	1	Retaining Links see drawt
10.25	0.901	88.	12	"	Chain in tunnels
10.25	0.991	80	12	"	— " —
10.25.	0.926.	88	12	"	— " — " —
10.25.	1.019	80	12	"	— " — " —
10.25	0.972	88	12	"	— " — " —
10.25	1.074	80	12.	"	— " — " —
10.25	1.021.	88	12	"	— " — " —
10.25	1.122	80	12	"	— " — " —
10.25	1.028	44	12	"	— " — " —
10.25.	1.028.	44	10	9	— " — "
10.25.	1.1307	40	11	2½	Curved links for frames in
10.25	1.1307	40	13	3/4	head of Pier — " — " —
10.25	1.028	44.	7	8	Chain for backstays.
10.25	1.028	132	12	"	" — " —
10.25	1.1307	80	12	"	" — " —
10.25	1.142.	240.	12	"	" — " —
10.25	1.0388	176	12.	0	" — " —
10.25	1.055.	264.	12	"	— " — " —
10.25	1.1609	160	12	"	" — " —
10.25	1.1815	160	12	"	" — " —
10.25	1.0742	176	12	"	" — " —
10.25	1.2048	240	12	"	" — " —
10.25	1.0956	176	12	"	" —
		2768			

K33

Depth of Link	Thickness of Link.	No. of Links	Distance from centre to centre of Link —		Remarks —
Inches.	Inches.		Ft.	In.	
		2768	"	"	carried up.
10.25.	1.122	88	12.	"	
10.25	1.2342	80.	13	11.	links each side of curved links for the point of Suspension —
10.25	1.2342.	80	7	3	
10.25	1.125	44	17	4	Curved Links —
10.25	1.125	44	18	8.	" — " —
10.25	1.122.	176	12.	"	Continuation of chain centre openg
10.25	1.2342	80	12.	"	— " — " — " —
10.25	1.215	160	12	"	— " — " — " —
10.25	1.104	176	12	"	— " — " — " —
10.25	1.207	160	12.	"	— " — " — " —
10.25	1.097	88	12	"	— " — " — " —
10.25	1.091	176	12	"	— " — " — " —
10.25	1.201	80	12	"	— " — " — "
10.25	1.196	160	12	"	— " — " — "
10.25	1.087	88	12.	"	— " — " — " —
10.25	1.083	176	12	"	— " — " — "
10.25	1.08	264	12	"	— " — " — " —
10.25	1.191	160	12.	0	— " — " — "
10.25	1.186	200	12.	0.	— " — " — "
10.25	1.186	20	13	8.	— " Apex " — "
10.25	1.08	22	15	4	— " Apex " —

5293 Total number of Links required.

The vertical pressure on the Piers is measured by the sines of the angles of direction of the central chains and backstays

Vertical pressure of the central part of the chains — } = tension × sin ∠ of direction

Vertical pressure of the backstays } = tension × sine angle of direction

∴ 3511.03 tons × .27473 = 964.5527 tons from centre and 2265.29 tons × .38799 = 878.90986 tons backstays total pressure in 1843.46256 tons on each suspension Pier and $\frac{1843.46356}{2}$ = 921.73178 tons pressure on each system of support.

According to the latest alteration dated the 4th Dec. the angle of Backstays has been made 23°. 6'. making the versed sine 63ft. and ordinate 295ft. 6" therefore

K34

therefore pressure = 2265.29 tons x .39223 = 888.5146 tons
and to which — " = 964.5527
Total pressure 1853.0673 tons

on each Suspension Pier $\frac{1853.0673}{2}$ = 926.03 tons.
on each system of support — " —

To compute the Angle.

Versed sin. 63 ft.
Ordinate 295:6.

Therefore sin of angle $\Big\} = \frac{2 \times 63}{\sqrt{(2\times 63)^2 + (295.5)^2}} = \frac{126}{\sqrt{15876. + 8320.25}}$

$$= \frac{126}{\sqrt{103196.25}} = \frac{126}{321.24}$$

$$= .39223 = 23^\circ\ 6'$$

and cos: 23°.6' = .9198215

Required vertical pressure on Head of Retaining Pier. Angle to which chains are to be backed up equal 18° and sin = .30901
cos = .95105

and vertical pressure = 3261. tons x .30901
= 1007.68 tons

and $\frac{1007.68}{2}$ = 503.84 tons on each system of support.

To calculate the abscissa to the curve of Back-stays with altered angle of 23°6'. begining at 7':6" from highest point.

63. ft = centre deflection
295.5 ft the semi chord. then

No. 1. $\frac{63 \times 288^2}{(295.5)^2} = \frac{63 \times 82944}{87320.25} = \frac{5225472}{87320.25} = 59.84 = \overset{ft.\ in}{59:10.}$

" 2 $\frac{63 \times 276^2}{(295.5)^2} = \frac{63 \times 76176}{87320.25} = \frac{4799088}{87320.25} = 54.959 = 54:11\frac{1}{2}$

" 3. $\frac{63 \times 264^2}{(295.5)^2} = \frac{63 \times 69696}{87320.25} = \frac{4390848}{87320.25} = 50.272 = 50:3\frac{1}{4}$

" 4 $\frac{63 \times 252^2}{(295.5)^2} = \frac{63 \times 63504}{87320.25} = \frac{4000752}{87320.25} = 45.817 = 45.9\frac{3}{4}$

" 5 $\frac{63 \times 240^2}{(295.5)^2} = \frac{63 \times 57600}{87320.25} = \frac{3628800}{87320.25} = 41.55 = 41.6\frac{6}{10}$

" 6 $\frac{63 \cdot 228^2}{(295.5)^2} = \frac{63 \times 51984}{87320.25} = \frac{3274992}{87320.25} = 37.505 = 37:6$

" 7 $\frac{63 \times 216^2}{(295.5)^2} = \frac{63 \times 46656}{87320.25} = \frac{2939328}{87320.25} = 33.66 = 33.7\frac{9}{10}$

Ft. in.

No. 8 $\frac{63 \times 204^2}{(295.5)^2} = \frac{63 \times 41616}{87320.25} = \frac{2621808}{87320.25} = 30.02 = 30.0\frac{1}{4}$

" 9 $\frac{63 \times 192^2}{(295.5)^2} = \frac{63 \times 36864}{87320.25} = \frac{2322432}{87320.25} = 26.66 = 26.7\frac{6}{10}$

" 10 $\frac{63 \times 180^2}{(295.5)^2} = \frac{63 \times 32400}{87320.25} = \frac{2041200}{87320.25} = 23.37 = 23.4\frac{4}{10}$

" 11 $\frac{63 \times 168^2}{(295.5)^2} = \frac{63 \times 28224}{87320.25} = \frac{1778112}{87320.25} = 20.36 = 20.4\frac{3}{10}$

" 12 $\frac{63 \times 156^2}{(295.5)^2} = \frac{63 \times 24336}{87320.25} = \frac{1533168}{87320.25} = 17.54 = 17.6\frac{1}{2}$

" 13 $\frac{63 \times 144^2}{(295.5)^2} = \frac{63 \times 20736}{87320.25} = \frac{1306368}{87320.25} = 14.96 = 14.11\frac{1}{2}$

" 14 $\frac{63 \times 132^2}{(295.5)^2} = \frac{63 \times 17424}{87320.25} = \frac{1097712}{87320.25} = 12.57 = 12.6\frac{8}{10}$

" 15 $\frac{63 \times 120^2}{(295.5)^2} = \frac{63 \times 14400}{87320.25} = \frac{907200}{87320.25} = 10.39 = 10.4\frac{6}{10}$

" 16 $\frac{63 \times 108^2}{(295.5)^2} = \frac{63 \times 11664}{87320.25} = \frac{734832}{87320.25} = 8.42 = 8.5$

" 17 $\frac{63 \times 96^2}{(295.5)^2} = \frac{63 \times 9216}{87320.25} = \frac{580608}{87320.25} = 6.64 = 6.7\frac{6}{10}$

" 18 $\frac{63 \cdot 84^2}{(295.5)^2} = \frac{63 \times 7056}{87320.25} = \frac{444528}{87320.25} = 5.09 = 5.1\frac{1}{10}$

" 19 $\frac{63 \times 72^2}{(295.5)^2} = \frac{63 \times 5184}{87320.25} = \frac{326592}{87320.25} = 3.73 = 3.8\frac{7}{10}$

" 20 $\frac{63 \times 60^2}{(295.5)^2} = \frac{63 \times 3600}{87320.25} = \frac{226800}{87320.25} = 2.59 = 2.7$

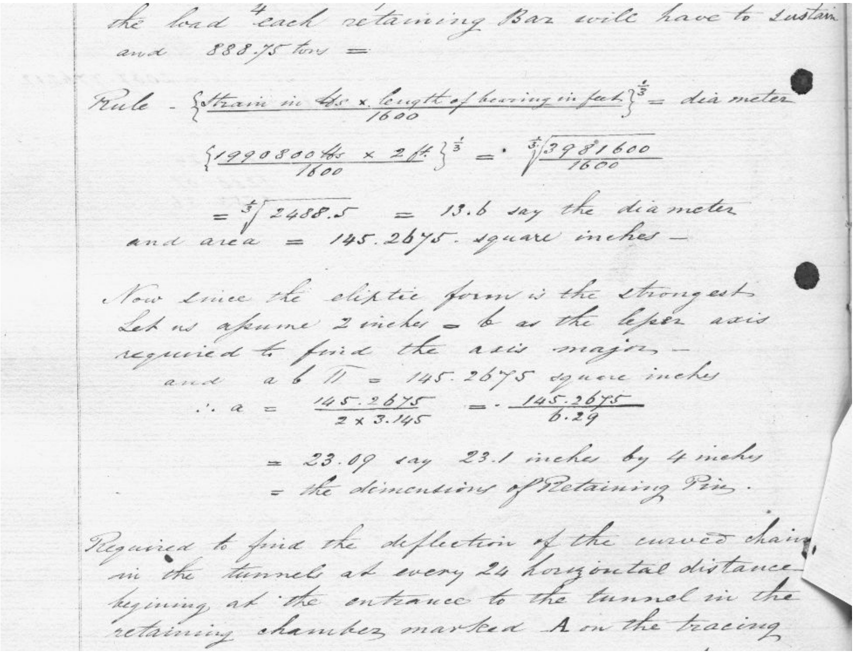
" 21 $\frac{63 \times 48^2}{(295.5)^2} = \frac{63 \times 2304}{87320.25} = \frac{145152}{87320.25} = 1.65 = 1.7\frac{8}{10}$

" 22 $\frac{63 \times 36^2}{(295.5)^2} = \frac{63 \times 1296}{87320.25} = \frac{81768}{87320.25} = 0.935 = 0.11\frac{2}{10}$

" 23 $\frac{63 \times 24^2}{(295.5)^2} = \frac{63 \times 576}{87320.25} = \frac{36288}{87320.25} = 0.401 = 0.4\frac{8}{10}$

" 24 $\frac{63 \times 12^2}{(295.5)^2} = \frac{63 \times 144}{87320.25} = \frac{9072}{87320.25} = 0.103 = 0.1\frac{2}{10}$

Függelék



the load each retaining Bar will have to sustain
and 888.75 tons =

Rule – $\left\{\frac{\text{strain in lbs} \times \text{length of bearing in feet}}{1600}\right\}^{\frac{1}{3}}$ = diameter

$\left\{\frac{1990800\text{ lbs} \times 2\text{ ft}}{1600}\right\}^{\frac{1}{3}} = \sqrt[3]{\frac{3981600}{1600}}$

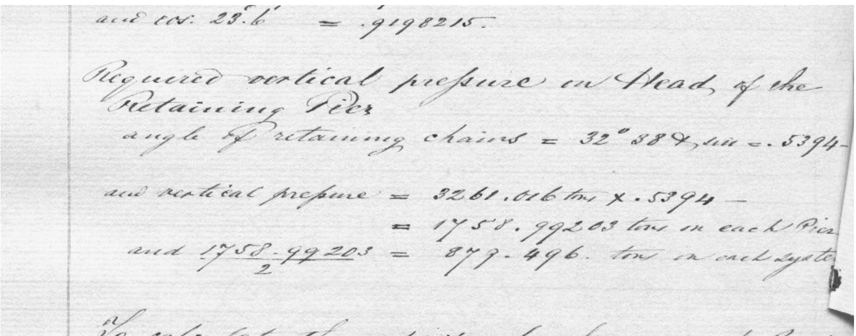
$= \sqrt[3]{2488.5} = 13.6$ say the diameter
and area = 145.2675 square inches –

Now since the eliptic form is the strongest
Let us assume 2 inches = b as the lesser axis
required to find the axis major –
and $a\,b\,\pi = 145.2675$ square inches
$\therefore a = \frac{145.2675}{2 \times 3.145} = \frac{145.2675}{6.29}$

= 23.09 say 23.1 inches by 4 inches
= the dimensions of Retaining Pier.

Required to find the deflection of the curved chain
in the tunnels at every 24 horizontal distance
begining at the entrance to the tunnel in the
retaining chamber marked A on the tracing

Kézirat 25. oldalán lévő felülragasztás alatti javított részlet



and cos. 23.6 = .9198215.

Required vertical pressure on Head of the
Retaining Pier
angle of retaining chains = 32° 38′ 4″, sin = .5394

and vertical pressure = 3261.016 tons × .5394 –
= 1758.99203 tons in each Pier
and $\frac{1758.99203}{2}$ = 879.496. tons in each system

To calculate the abscissa to the curve of Back-

Kézirat 35. oldalán lévő felülragasztás alatti javított részlet

A LÁNCHÍD FÜZETEK SOROZATBAN EDDIG MEGJELENT KÖTETEK:

Valamennyi megjelent Lánchíd füzet elérhető elektronikus formában a **www.hidak.hu** címen, a Közcélú Hidász Adatparkban.

(A vastagon szedett kötetek a Széchenyi lánchíd történetéhez szorosan kapcsolódó kiadványok.)

31. Andrásy György, Széchenyi István: Jelentés

30. Közúti és vasúti hidász almanach 2011-2021

29. Hidász napok 2021 előadásainak gyűjteménye

28. Dr. Korányi Imre a vasúti hídépítés kiemelkedő alakja (1896-1989)

27. Teiter Zoltán: Az építési technológia hatása az öszvér gerendahidak viselkedésére

26. A Széchenyi lánchíd szerelési naplója II. (1914. XII. 20. – 1915. XII. 18.)

25. Mérnökportrék – Magyar hidászok I.

24. Néhány szó a hidak villámvédelméről

23. Dr. Darvas Endre (1925-2003) az Uvaterv hídtervező mérnöke

22. Hidász név- és címtár (2020. június)

21. dr. Imre Lajos: Hídrajzok (Fehéren – feketén)

20. Hidak az irodalomban

19. Közúti és vasúti hidász almanach 2010
Tervmelléklet 1. – M43 szegedi Móra Ferenc Tisza-híd

18. Lorászkó Balázs: Gyalogos hidak Magyarországon

17. Közúti és vasúti hidász almanach 2009

16. Összefoglaló a magyar közúti hídgazdálkodásról 2004–2010

15. Viszota Gyula: A Széchenyi híd története

14. Gróf Széchenyi István gondolatai a magyar közlekedésügyről

13. 50. hídmérnöki konferencia előadásainak gyűjteménye

12. Közúti és vasúti hidász almanach 2008

11. M6-M60 Épülő nagy műtárgyai

10. 49. hídmérnöki konferencia előadásainak gyűjteménye

9. Épülő, szépülő hídjaink Budapesten

8. Közúti és vasúti hidász almanach 2007
Tervmelléklet 1. – Északi vasúti Duna-híd
Tervmelléklet 2. – Salgótarjáni völgyhíd 1911

7. 48. hídmérnöki konferencia előadásainak gyűjteménye

6. Páll Gábor: A budapesti Duna-hidak története

5. Közúti hidász almanach 2006
Tervmelléklet 1. – Margit híd 1876
Tervmelléklet 2. – M0 autóút északi Duna-híd

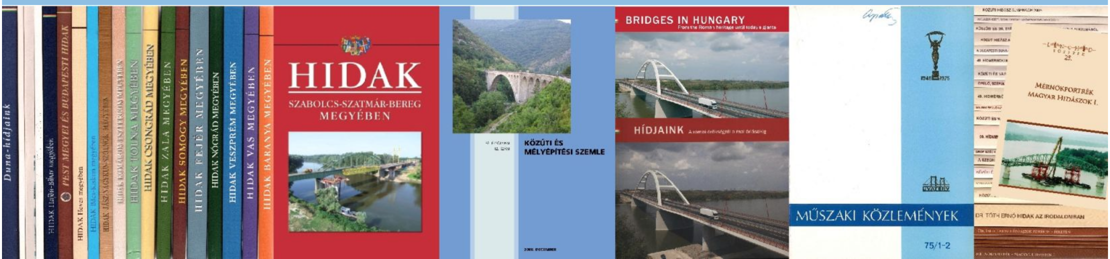
4. Köszöntés dr. Träger Herbert 80. születésnapja alkalmából

3. Zsámboki Gábor: Acélszerkezetű közúti hidak építése hazánkban 1945-1969 között

2. Közúti hidász almanach 2005
Tervmelléklet 1. – M8 autópálya dunaújvárosi Duna-híd
Tervmelléklet 2. – M7 autópálya kőröshegyi völgyhíd

1. Közúti hidász almanach 2004

WWW.HIDAK.HU

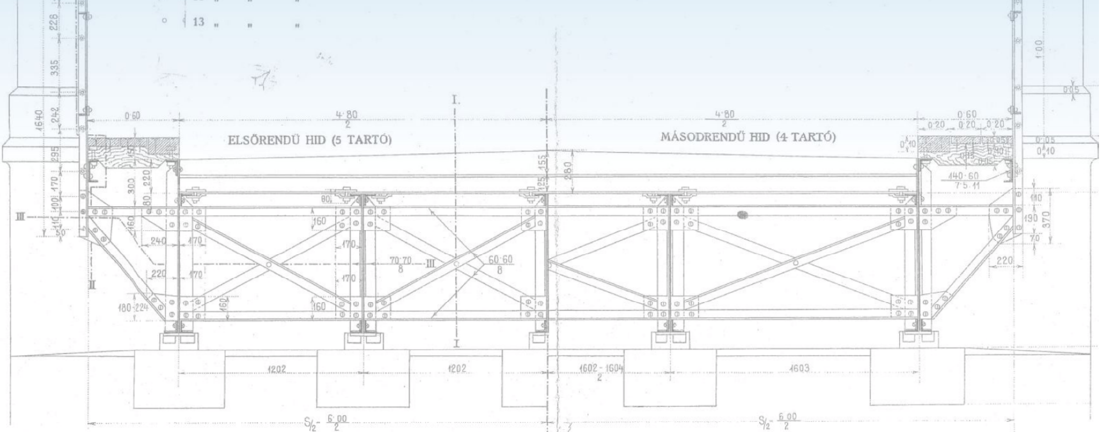


A Közcélú hidász adatpark html alapú első változata 2007-ben indult útjára elsolanchid.hu domain címen mintegy száz digitalizált szakkönyvvel, régi szabvánnyal és igen hamar roppant népszerű és gyakran használt gyűjteményévé vált a hidakkal foglalkozó mérnököknek és hidak iránt érdeklődőknek is.

A honlap célkitűzése a hidász szakmai anyagok gyűjtése, digitalizálása és közcélú, ingyenes, reklámmentes megosztása.

Az adatpark küldetése a minőségi hidász szakmai munka és a hídépítő szakma megbecsülésének, megismerésének előmozdítása.

www.hidak.hu



SUMMARY

DETAIL CALCULATION OF THE ORIGINAL CHAIN BRIDGE
OVER THE RIVER DANUBE IN BUDAPEST – 1842

The Chain Bridge over the River Danube in Budapest is the most famous chain bridge in the world. This bridge is the symbol of Hungary. It was originally built between 1839 and 1849 based on the plans of William Tierney Clark who also supervised the work.

The superstructure was rebuilt in 1914-15. 30 years later, it was destroyed at the end of World War II but rebuilt in 1949. The Chain Bridge still stands today and serves public traffic.

The stress-analysis of the original chain bridge was kept secret by the designer. In the summer of 2022, the original detailed calculation in the handwriting of W. T. Clark was found in an old library. This fascinating and previously-unseen document lets you follow the steps of the bridge design from a time when the knowledge of dimensioning had barely begun to develop.

In this publication we present the historical background of Budapest Chain Bridge, giving technical notes and explanation of the design process. The calculation can be read in Hungarian with metric units. The second half of the book contains a copy of the original English manuscript.

We hope that our publication contributes to further learning about the construction history of the bridge and provides an excellent view into the heroic engineering work that was necessary to create it.

Bence Hajós
Bridge Engineer, Hungary
elsolanchid@elsolanchid.hu