

Gerendahidak tervezése elektronikus számítógéppel végleges és építés közbeni állapotok figyelembe vételével

Erdősy Miklós
okleveles építőmérnök
az akkori Programtervező osztály vezetője

Tematika

- Hídstatika számítástechnikai jellegzeteségei más szerkezetekkel összehasonlítva
- Bratislavai ferdekábeles Duna híd szerelési fázisainak számítása
- Többtámaszú tartók és síkbeli rúdszerkezetek számítása
- Előregyártott tartós autópálya hídszerkezetek számítása
- Gerendahidak komplex számítási programcsomagja
- Síkbeli rúdszerkezetek továbbfejlesztett számítása (MIFRA)
- Szabadon szerelt feszített betonhidak komplex számítása

Hídtervezés statikai sajátosságai

Mozgó terhek

Maximum - Minimum
keresés

Építésközbeni állapot

Változó statikai rendszer

Minden építési fázis statikai
vizsgálata

Reológiai hatások

Lineáris mellett nemlineáris erő - elmozdulás

Kábel elemek

Reológiai hatások

Másodrendű elmélet
alkalmazása

Hídtervezés gazdaságossági és építéstechnológiai sajátosságai

Szerkezet önsúlyának csökkentése

Szerkezet vastagsági méreteinek csökkentése

Erőtanilag többfunkciós szerkezet kialakítás

Megoldás módszere

Számítási pontosság növelése

Szerkezet építési idejének lerövidítése

Előregyártott elemes építéstechnológia

Előtölösos építéstechnológia

Megoldás módszere

Számítási mennyiség növelése

Hídtervezés matematikai sajátosságai

- **Algebra**

- Nagy lineáris egyenletrendszerek
- Nagy nemlineáris egyenletrendszerek

- **Matematikai analízis**

- Közönséges differenciálegyenletrendszerek
 - Parciális differenciálegyenletek

- **Buktatók a matematikában**

- **Konvergencia problémák**
 - Lassú a konvergencia
 - Divergencia
 - **Numerikus instabilitás**
- Lineáris egyenletrendszerek kondicionáltsága → Nagy számok különbsége
 - Különböző nagyságrendű számok összegezése

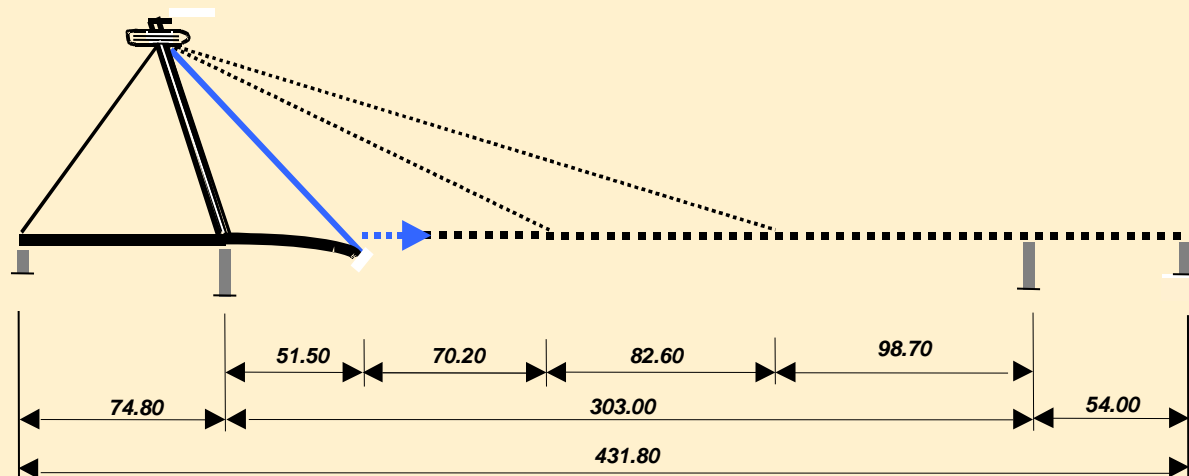
Bratislavai Duna híd



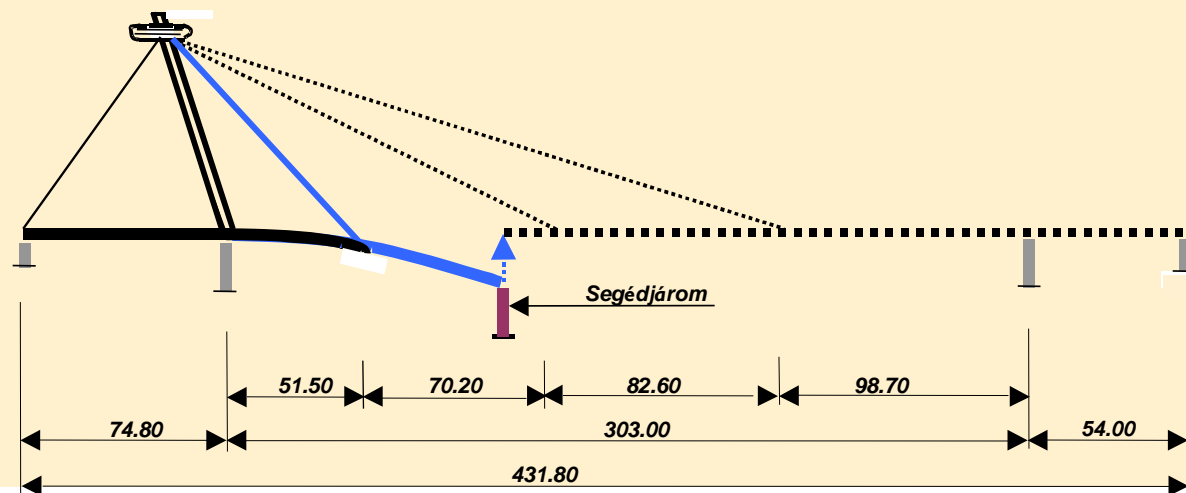
Kaushik, The UFO bridge of Bratislava, AMUSING PLANET, 2014/01

Bratislavai Duna híd szerelés számítása

Egy kiválasztott szerelési fázis

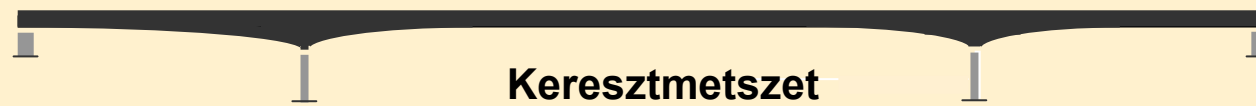


Következő szerelési fázis



Többtámaszú tartók számítása

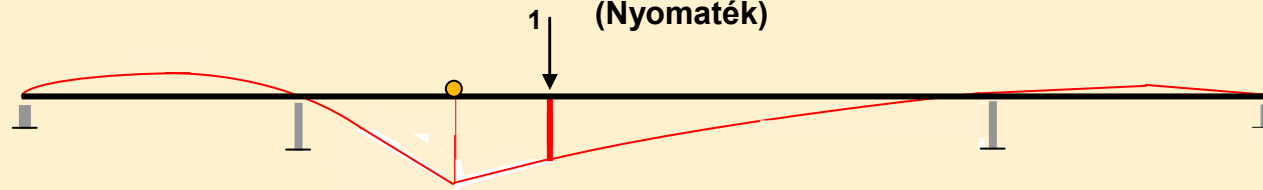
Híd oldalnézet



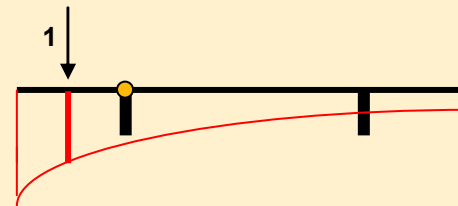
Keresztmetszet



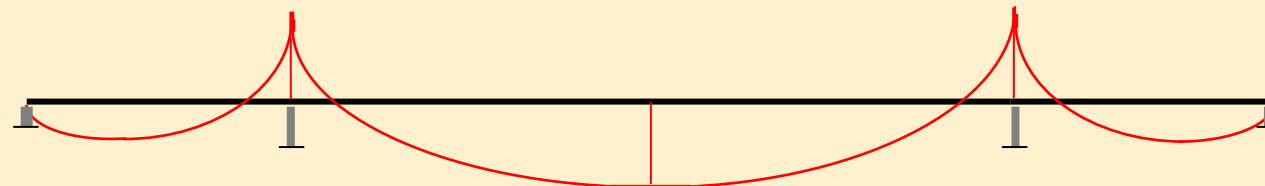
Hosszirányú hatására
(Nyomaték)



Kereszteloszlási ábra
(Minden igénybevételre azonos)

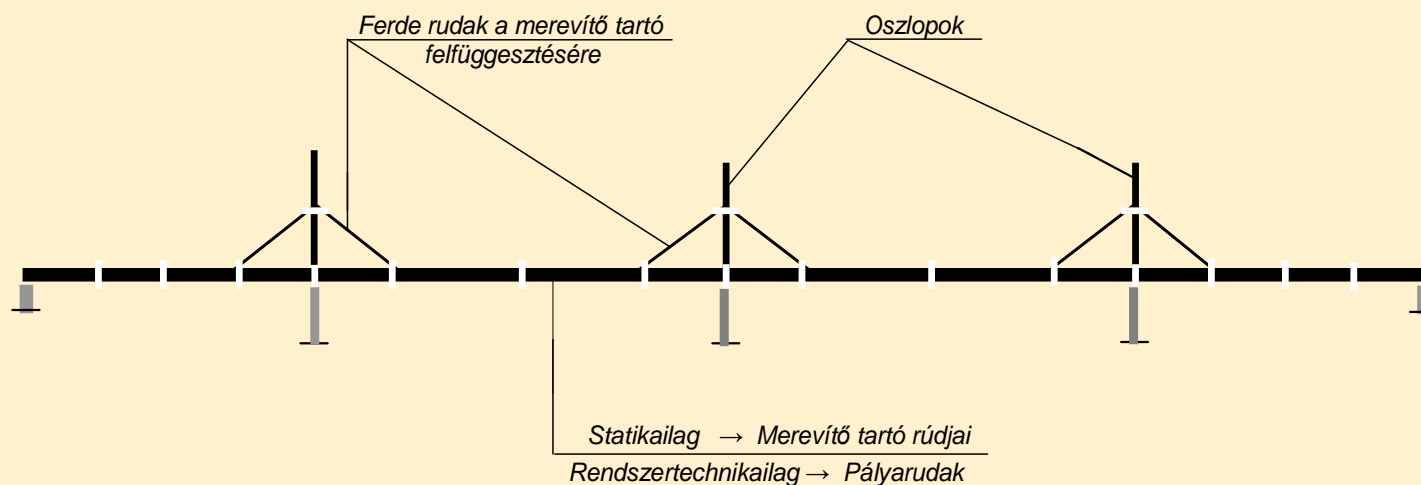


Többtámaszú hídszerkezet igénybevétele önsúlyra
(Nyomaték)



Síkbeli rúdszerkezetek számítása

Függesztőműves rendszerű híd rúdszerkezeti modellje



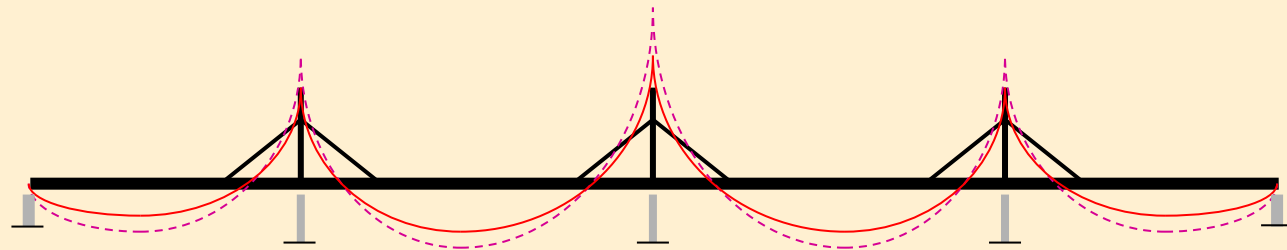
Program statikai jellemzői

- Állandó vagy hiperbola szerint változó inercia
- Nyíróerő okozta deformáció beszámítása az erőjátékba
 - Állandó teher
- Mozgó teherhez igénybevételi hatásábrák
 - Támaszsüllyedés

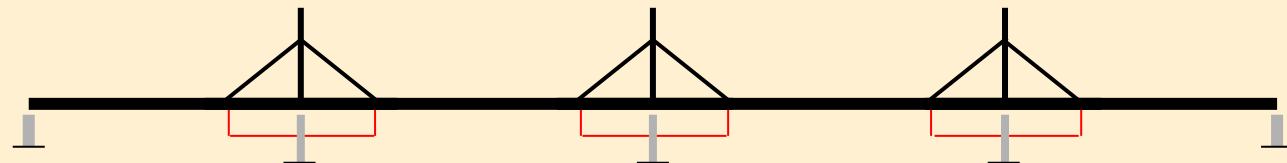
Síkbeli rúdszerkezetek számítása

Függesztőműves tartó és többtámaszú tartó igénybevételeinek az összehasonlítása önsúly teherre

Nyomaték a merevítő tartón



Normálerő a merevítő tartón

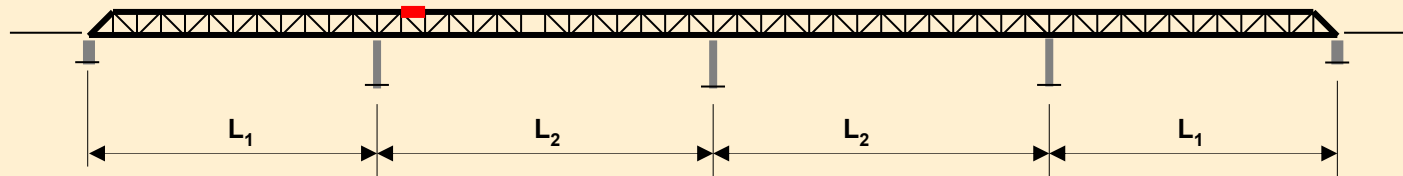


Függesztőműves tartó ———

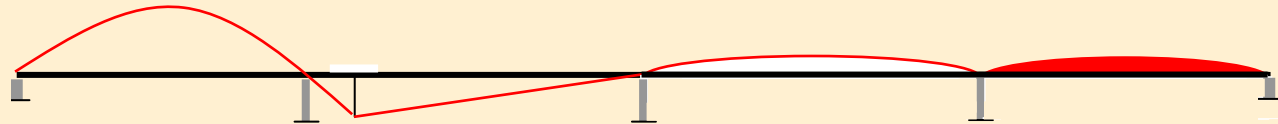
Többtámaszú tartó - - - - -

Síkbeli rúdszerkezetek számítása

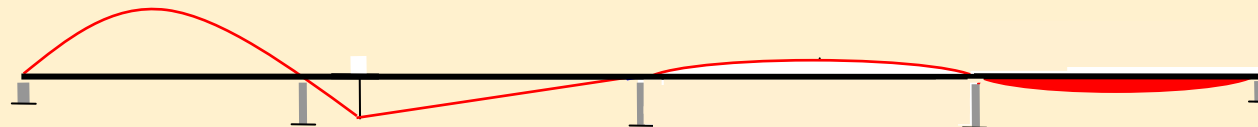
Rácsos főtartós híd övrúderő hatására



Számított övrúderő hatására

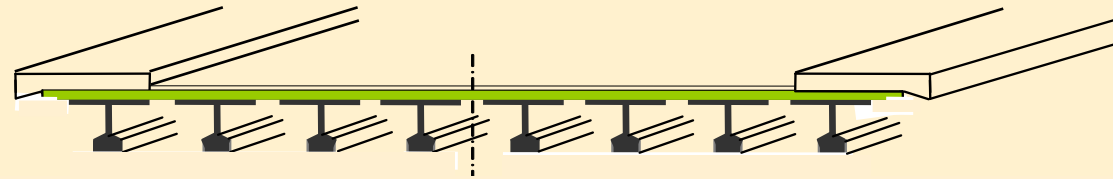


Elvárt övrúderő hatására

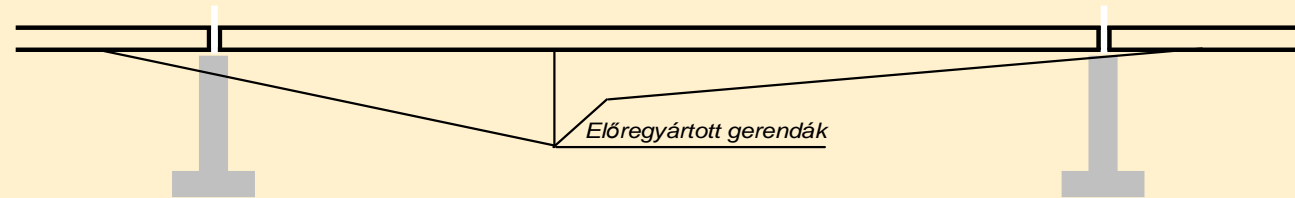


Előregyártott tartós autópálya hídszerkezetek számítása

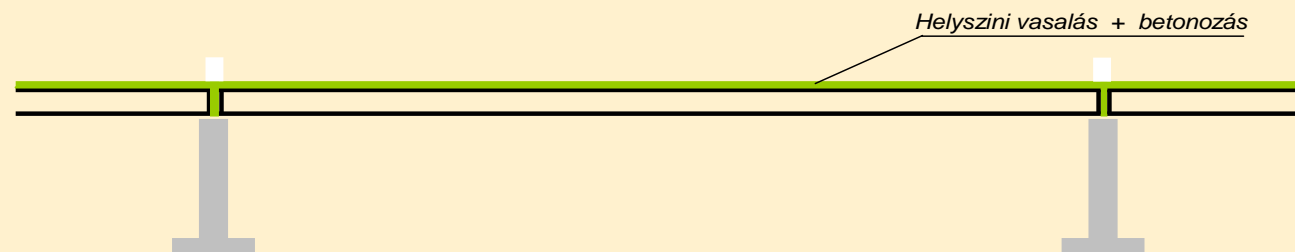
Hídtípus építéstechnológiája



Építés I. fázisa



Építés II. fázisa



Előregyártott tartós autópálya hídszerkezetek számítása

Szerkezet

Sűrűbordás felszerkezet

Statikai modell

Két merőleges irányban eltérő merevségű lemez

Statikai számítás megvalósítása

Statikai modell matematikai háttere → Negyedrendű parciális differenciálegyenlet

Kereszteloszlás számítás

$$EJ_x \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \cdot E \cdot \sqrt{J_x \cdot J_y} \cdot \alpha \cdot \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + EJ_y \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = p(x,y)$$

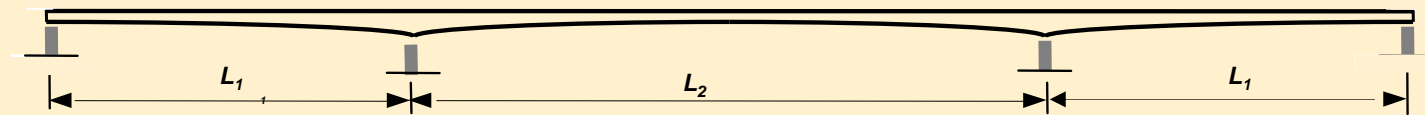
$$\begin{aligned} \text{Guyon – Massonnet módszer} &\rightarrow \alpha = 0 \rightarrow K_0 \\ &\rightarrow \alpha = 1 \rightarrow K_1 \\ &\rightarrow K_\alpha = K_0 + (K_1 - K_0) \cdot \sqrt{\alpha} \end{aligned}$$

Trigonometrikus sorok alkalmazása (Fourier sor)

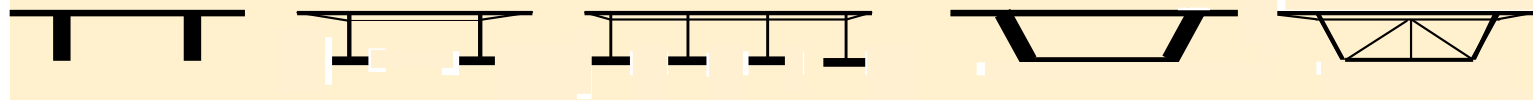
Gerendahidak komplex számítási programcsomagja

Gerinclemezes gerendahíd

Oldalnézet



Néhány keresztmetszet típus



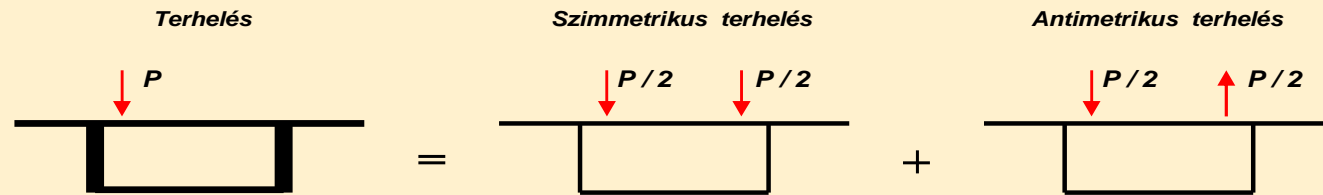
Statikai módszer alapeleme



Rúd

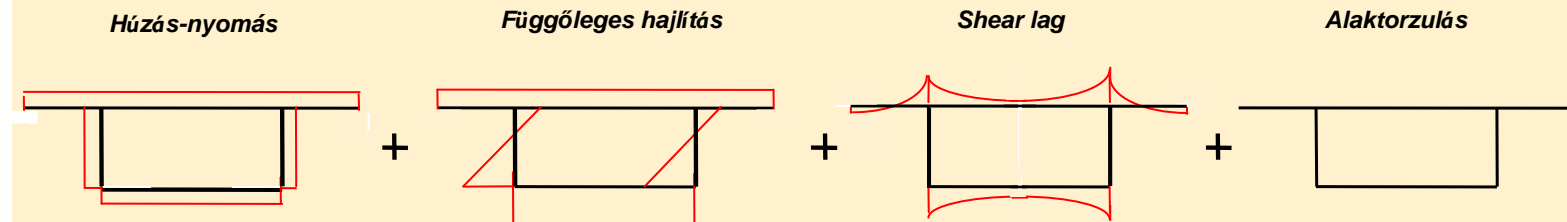
Gerendahidak komplex számítási programcsomagja

Keresztmetszet ható terhek felbontása

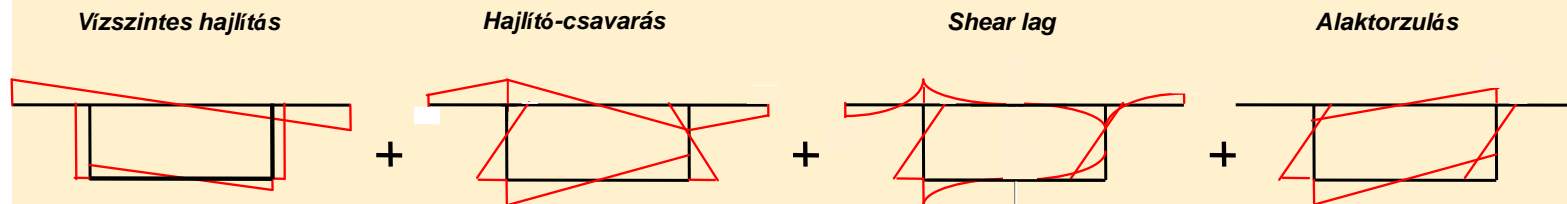


Keresztmetszet normál feszültségi eloszlásai

Szimmetrikus terhelés



Antimetrikus terhelés



Gerendahidak komplex számítási

- **Rúdszerkezet számításának az elméleti háttere**

Differenciálegyenlet felállítása feszültségeloszlás alapján

- $\sigma = E \cdot w'' \cdot y$
- $M = \int \sigma \cdot y \, dF \rightarrow M = \int E \cdot w'' \cdot y^2 \, dF \rightarrow M = E \cdot w'' \cdot \int y^2 \, dF \rightarrow M = E J \cdot w''$
- Kétszer differenciálva mindkét oldalt
 - $M'' = q$
 - $E J \cdot w'''' = q$

Differenciálegyenlet megoldása → Átviteli mátrix módszer

Differenciálegyenletrendszer átalakítása elsőfokú differenciálegyenletekké

$$w' = \varphi \quad \varphi' = M / EJ \quad M' = Q \quad Q' = q$$

Integráljuk a differenciálegyenleteket és előállítjuk a rúdszakasz statikai mennyiségeit

$$z_{i+1} = U_i \times z_i + q_i$$

Végighaladva a teljes rúdon

$$z_n = U_1 \times U_2 \dots \times U_n \times z_0 + r(q) = U_S \times z_a + r(q)$$

Az U_S -ből és a rúdvégeken beiktatott alakváltozásokból számítható a rúd merevségi mátrix

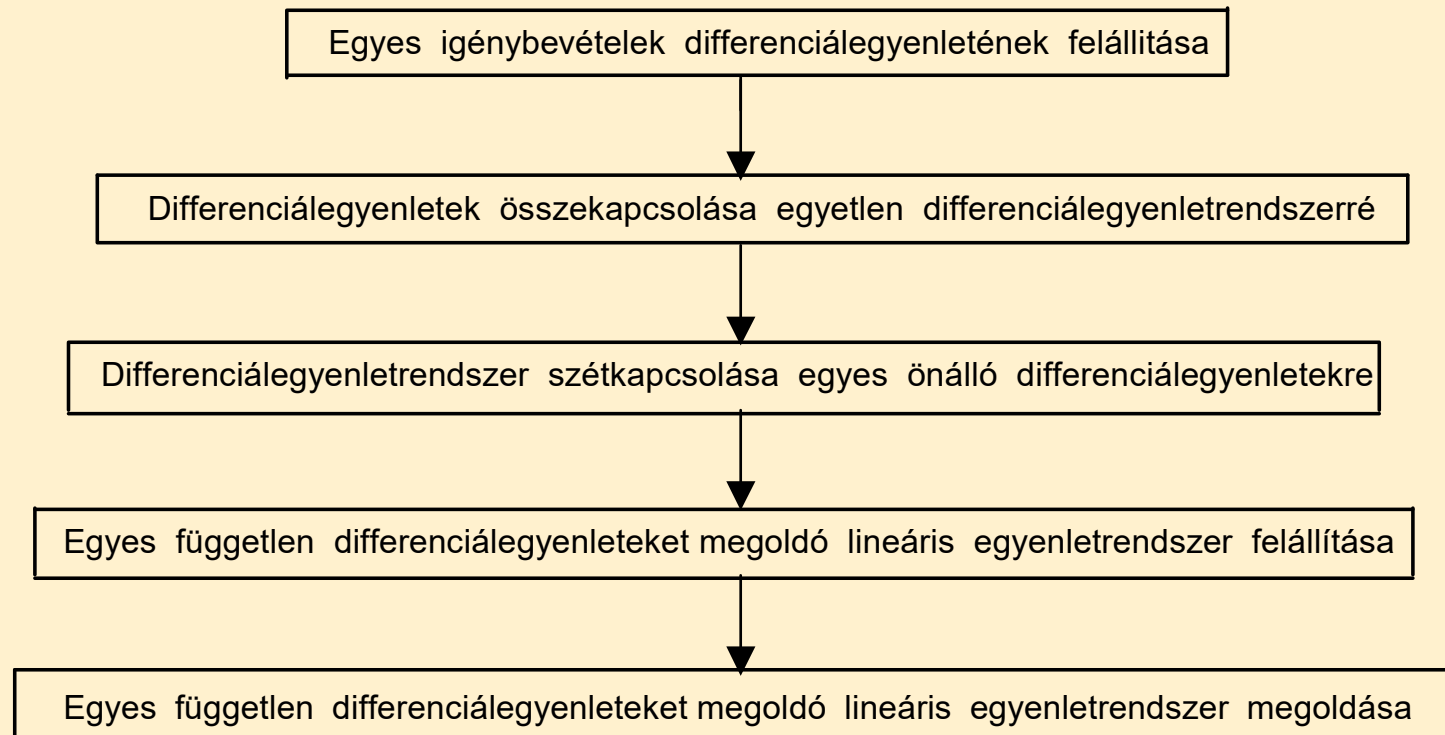
A rúd merevségi mátrixait és tehervektorait az egész szerkezetre összegezve kapjuk

$$K \times v - q = 0$$

Szerkezet statikai egyenletrendszerét

Gerendahidak komplex számítási programcsomagja

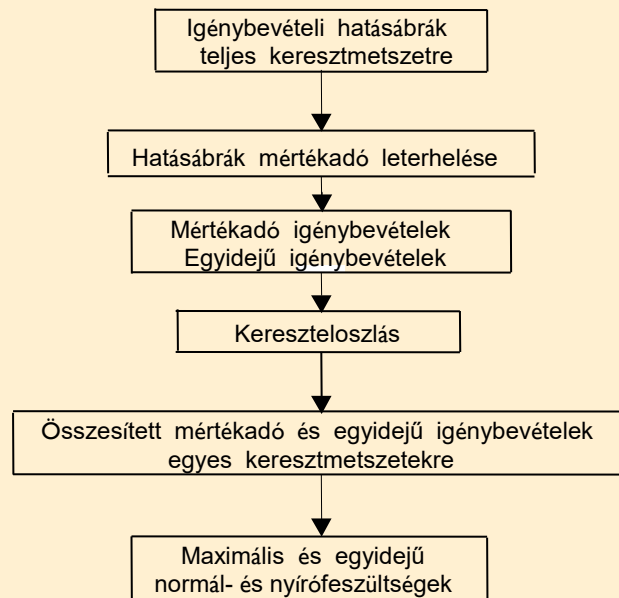
Matematikai háttér



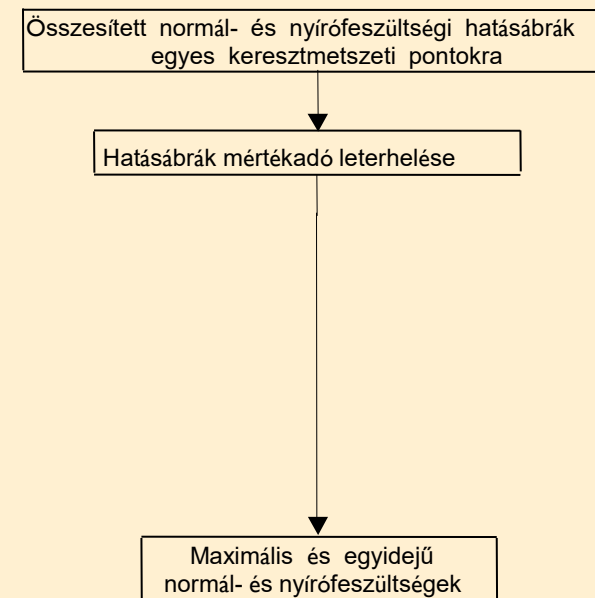
Gerendahidak komplex számítási programcsomagja

Minőségi változás a hidak számításában

Hagyományos módszer



Jelen módszer



Gerendahidak komplex számítási programcsomagja

Értékelés

Közelítő módszer

Pontos módszer

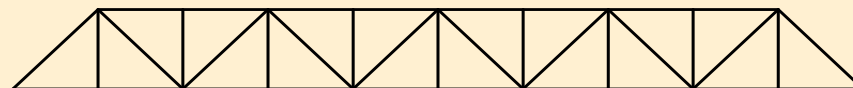
Kereszteloszlás közelítő
+
Alaktorzulás
nincs figyelembe véve

Kereszteloszlás pontos
+
Alaktorzulás
figyelembe véve

Síkbeli rúdszerkezetek továbbfejlesztett számítása (MIFRA)

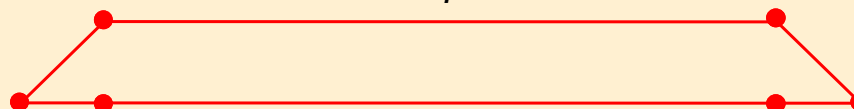
Interaktív numerikus-grafikus input-output

Szerkezet hálózata

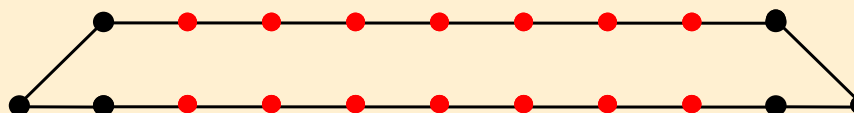


Szerkezet hálózatának interaktív előállítás

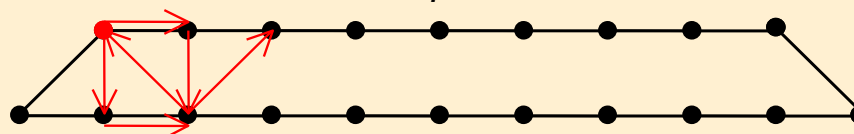
1. lépés



2. lépés

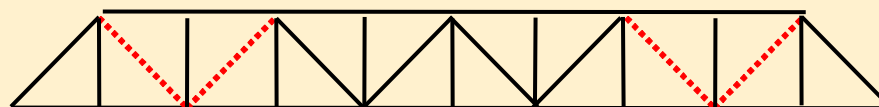


3. lépés



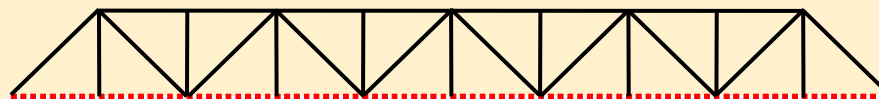
Síkbeli rúdszerkezetek továbbfejlesztett számítása (MIFRA)

Szerkezet rúdjaihoz statikai jellemzők megadása



- Művelet lépései: → Rudak kijelölése egyedileg vagy csoportosan
→ Rudak statikai jellemzőinek megadása

Szerkezet rúdjaihoz a terhelési jellemzők megadása

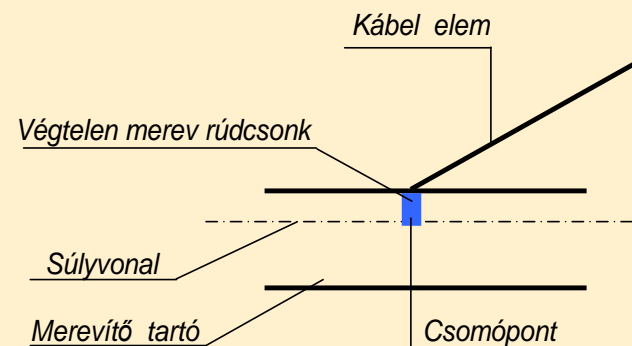


- Művelet lépései: → Rudak kijelölése egyedileg vagy csoportosan
→ Rudak terhelési jellemzőinek megadása

Síkbeli rúdszerkezetek továbbfejlesztett számítása (MIFRA)

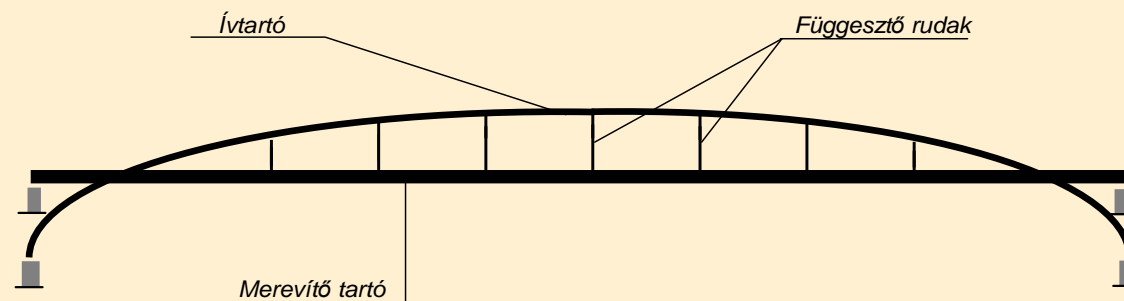
Számítás jellemzői

- Konstans és hiperbola szerint változó merevség
 - Szerkezeti súly automatikus számítása
 - Koncentrált teher
- Egyenletes vagy változó intenzitású megoszló teher
 - Támaszmozgás teher
- Egyenletes hőmérséklet változás
- Excentrikus rúd-csomópont kapcsolat → Numerikus stabilitás probléma

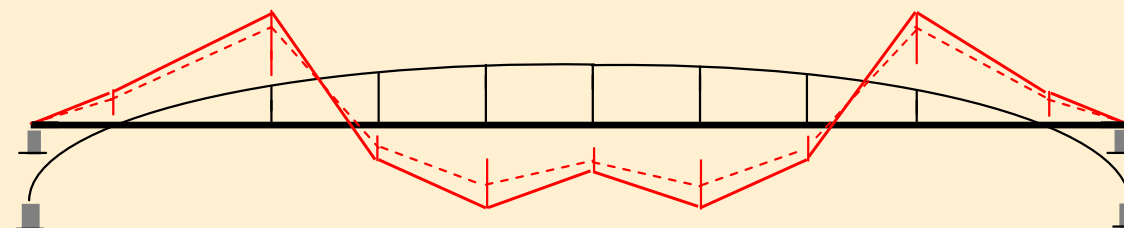


Síkbeli rúdszerkezetek továbbfejlesztett számítása (MIFRA)

- Másodrendű elmélet alkalmazása ívhíd szerkezetnél



- Merevítő tartó nyomatéki igénybevételei koncentrált erőrendszerre



Elsőrendű elmélet



Másodrendű elmélet



Szabadon szerelt feszített betonhidak komplex számítása

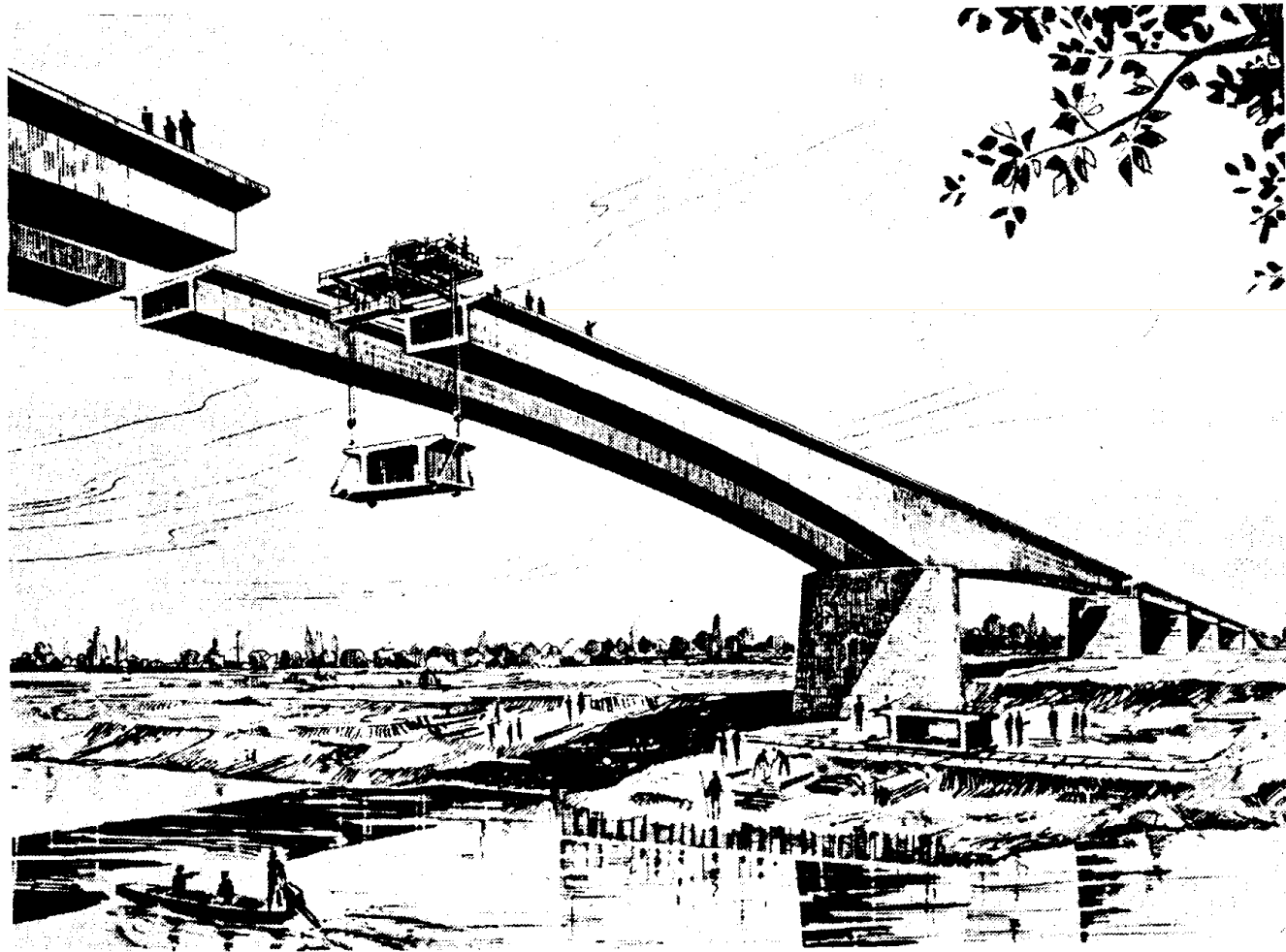
Hídtípus jelentősége

- Nagyobb fesztávok áthidalására is alkalmas beton anyagú hídtípus :
Feszítés statikai szerepe
- Relatív gyors megépítés

Hídtípus megépíthetőségének alapvető feltételei

- Beton időbeli alakváltozásának pontos számítása
- Építés precíz végrehajtása és kontrollja

Szabadon szerelt feszített betonhidak komplex számítása

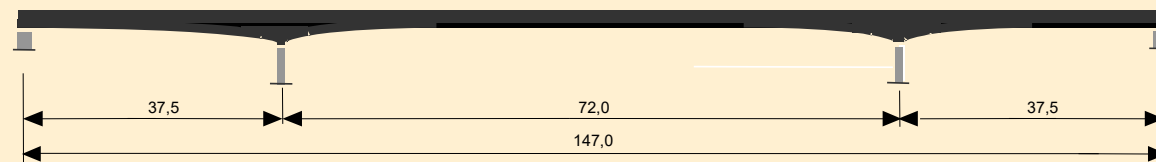


Kaján László - Reviczky János - Zámolyi Ferenc
Szabadonszerelt vasbeton hidak számításának programrendszere
UVATERV Műszaki Közlemények, 1982/1

Szabadon szerelt feszített betonhidak komplex számítása

Első magyarországi szabadon szerelt feszített betonhid
Kunszentmártoni Hármaskörös híd

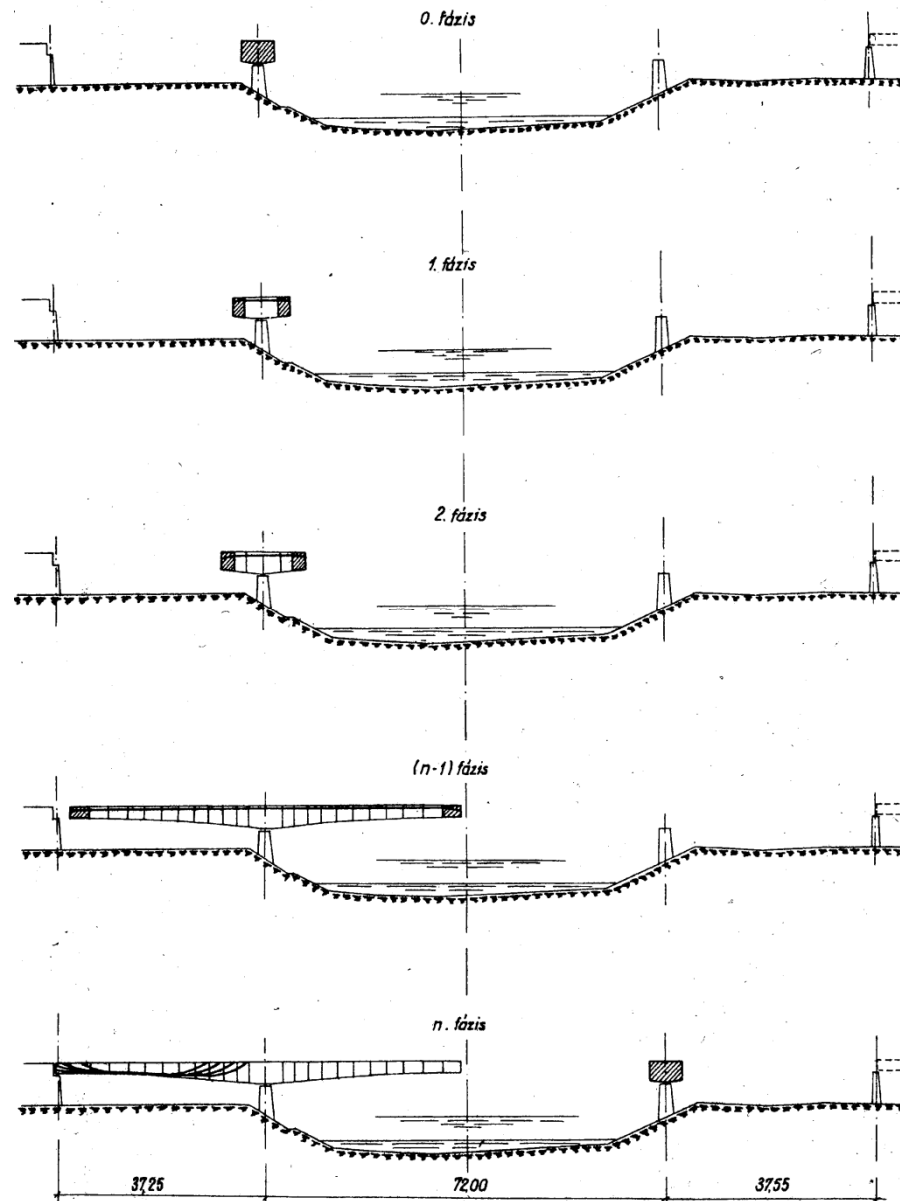
Oldalnézet



Keresztmetszet

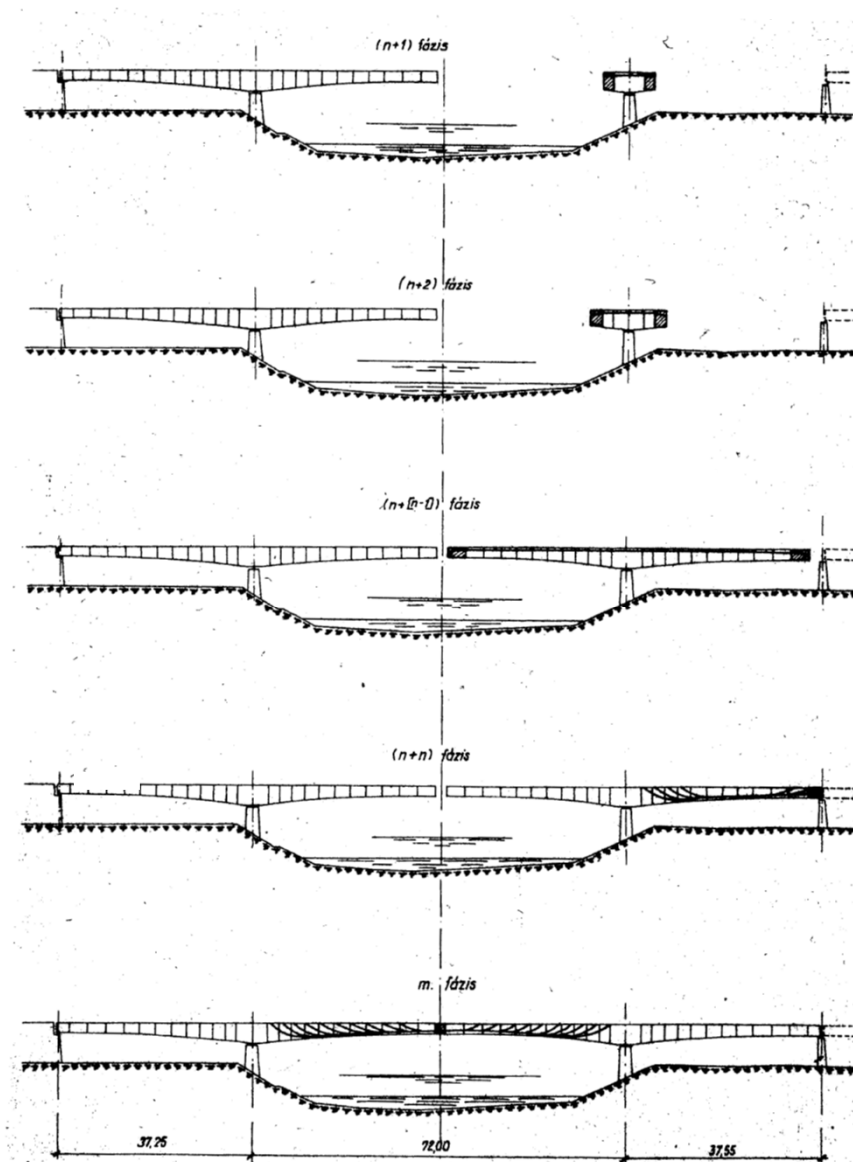


Szabadon szerelt feszített betonhidak komplex számítása



Reviczky János - Wellner Péter
Szabadonszerelt feszítettbeton
hidak erőtani számítása
Mélyépítéstudományi
Szemle, 1975/6

Szabadon szerelt feszített betonhidak komplex számítása



Reviczky János - Wellner Péter
Szabadonszerelt feszítettbeton hidak
erőtani számítása
Mélyépítéstudományi
Szemle, 1975/6

Szabadon szerelt feszített betonhidak komplex számítása

Számítástechnikai háttér

- Keresztmetszeti adatok számítása
- Többtámaszú tartó erőtani számítása
(Konkrét terhek + Hatásábrák + Támaszsüllyedés)
 - Szerelés számítás
(Összes szerelési fázis egyvégtében)
 - Kábelgeometria számítása
 - Kábelveszteségek számítása

Alkotók és a bevezetést elősegítők

Hídtervezők

Dr. Petur Alajos
Dr. Sigrái Tibor
Földváry Kálmán
Kerényi György
Kiss Lajos
Reviczky János
Strébl László
Szánthó Pál
Wellner Péter
Zámolyi Ferenc

Programtervezők

Erdősy Miklós
Jakab György
Schwerteczky Ferenc
Balázs Egon
Balogh Jenő
Bokor Gábor
Deim Tamás
Csécsi Irén
Hajnóczy Csilla
Kaján László
Lámer Géza
Solti György

Köszönetnyilvánítás

*Tisztelt hölgyeim és uraim !
Köszönöm a figyelmet*

Erdősy Miklós

Felhasznált irodalom

A. Coull

Cable stayed continuous steel box girder Danube bridge at Bratislava

Civil Engineering and Public Works
Review 8/1972

D. Kaushik

The UFO Bridge of Bratislava

AMUSING PLANET 2014/01

Strébl László

A szegedi északi Tisza-híd tervezése

MÉLYÉPÍTÉSTUDOMÁNYI SZEMLE
1975/6

*Strébl László – Földváry Kálmán – Kaján
László – Hajnóczy Csilla – Solti György*

**Gerendadidak tervezéséhez alkalmazói
programcsomag**

UVATERV Hídtervezések Elektronikus
Számítógéppel HIDTESZ III/27 1980

*Kaján László – Reviczky János – Zámolyi
Ferenc*

**Szabadon szerelt vasbeton hidak
számításának programrendszere**

UVATERV Műszaki Közlemények 1982/1

Reviczky János – Wellner Péter

**Szabadonszerelt feszítettbeton hidak
erőtani számítása számítógéppel**

Mélyépítéstudományi Szemle 1975/6

*Erdősy Miklós – Bokor Gábor – Deim
Tamás – Jakab György*

**Síkbeli rúdszerkezetek számítása
(MIFRA)**

Tervezés ismertető UVATERV
Számítóközpont 1989

Dr. Szalay János – Knebel Jenő

Szekrénytartós szerkezetek számítása

UVATERV Segédlet 1976