



Különféle rendeltetésű szerkezetek tervezése számítógéppel

Erdősy Miklós

okleveles építőmérnök

az akkori Programtervező osztály vezetője

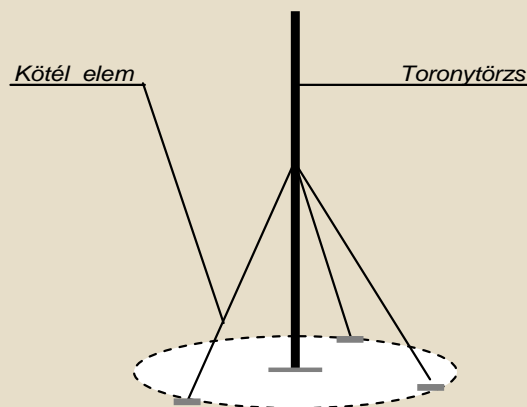
Tematika

- Kikötött toronyszerkezetek számítása
- Németországi WEIHER III Erőmű füstcsöveinek statikai számítása és ellenőrzése
- METRO statikai tervezése számítógéppel

Kikötött toronyszerkezetek számítása

Szerkezet típus kialakítási jellegzetességei

- Igen magas szerkezetek
- Rendkívül vékony szerkezetek
- Egy vagy több ponton kötelekkel való megfogása a toronytörzsnek



Szerkezet típus statikai jellegzetességei

- Hajlékony szerkezet → Másodrendű elmélet alkalmazása
- Nemlineáris működésű szerkezeti elem alkalmazása → Kötél elem

Kikötött toronyszerkezetek számítása

Szerkezet számítási modelljének fejlődése

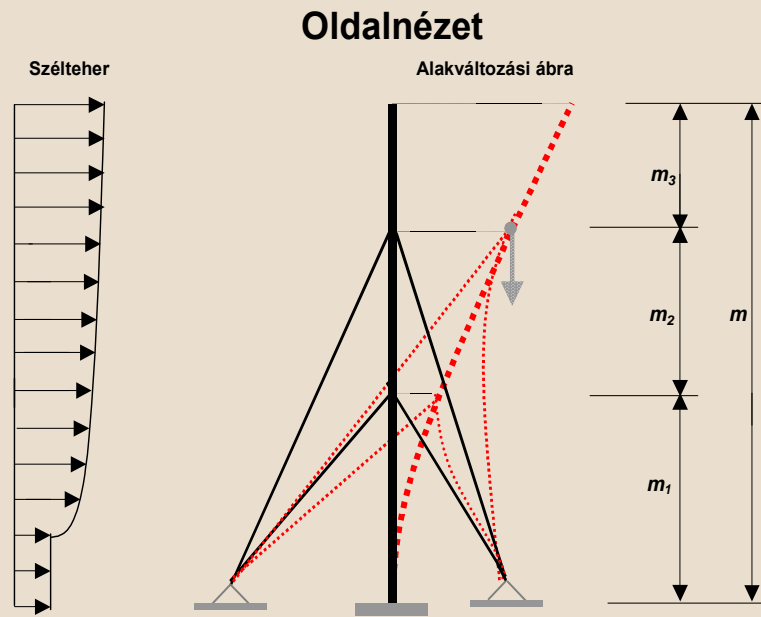
Klasszikus módszer

- Nemlineárisan működő rugókkal alátámasztott többtámaszú tartó modell
 - Többtámaszú tartó egyenletrendszerének többszöri megoldása más és más rugótényezővel
 - Rugótényező változtatása a statikus tervező feladata

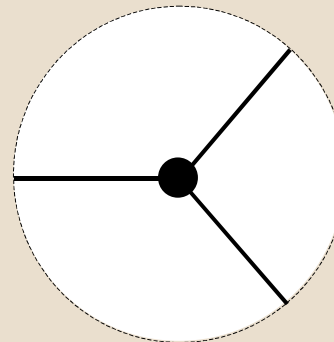
Megvalósított módszer

- Nemlineárisan működő kötélekkel megtámasztott rúdszerkezet modell
 - Rúdszerkezet nemlineáris egyenletrendszerének megoldása
 - Automatikus megoldás

Kikötött toronyszerkezetek számítása



Felülnézet



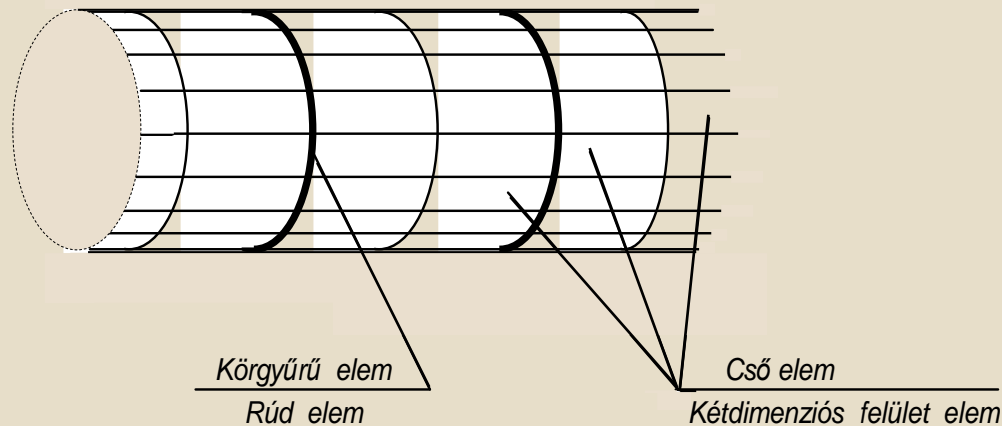
Németországi Weiher III erőmű füstcsöveinek statikai számítása és ellenőrzése

Feladat és jellegzetességei

- Két cső → Egyenes cső + Hajlított cső belőle leágazó csővel
- Igen vékony falú cső rendkívüli átmérővel

Feladat statikai modellje

- Cső → Kétdimenziós elemek → Háromszög és négyszög lapok
- Körgyűrűs megerősítés → Rúdszerkezet



Németországi Weiher III erőmű füstcsöveinek statikai számítása és ellenőrzése

Feladat megoldásához rendelkezésre álló eszközök

Erőtani számítás → MIT végeelem program (idegen program) →
→ Feszültség számítás csomópontokban

Alapadatok előállítása → Saját készítésű program → Geometriai adatok
→ Hálózati adatok
→ Szerkezet statikai adatai
→ Terhelési adatok

Feladat nehézségei

• MIT programhiba és kezelése

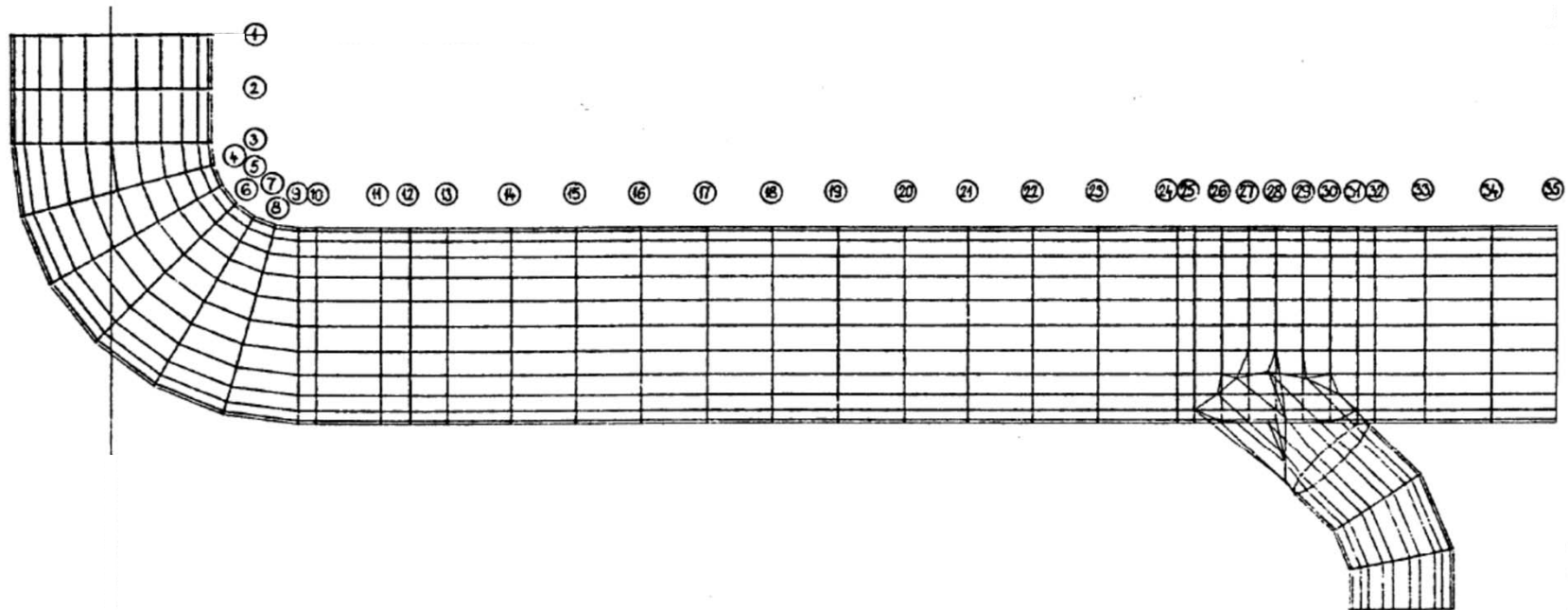
- Négyszög elemek hibátlanok voltak
- Háromszög elemek hibásak voltak
- Háromszög elemek hibája ki lett javítva a forrásnyelvi programban

• Alapadat program

- Két egymástól eltérő átmérőjű és ferde szögben csatlakozó cső geometriájának számítása
- Áthatásnál a háromszög- és négyszögelemek automatikus előállítása
- Minden elem sarokponti csomószámainak automatikus előállítása

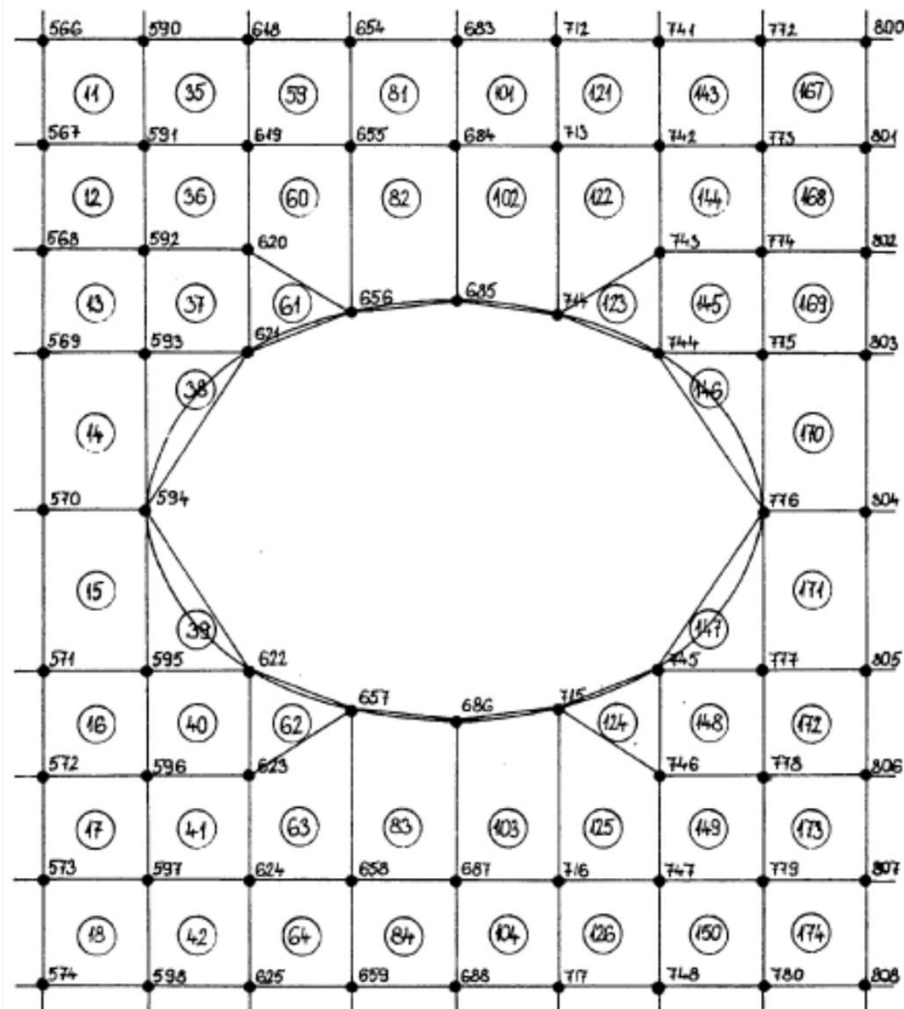
Németországi Weiher III erőmű füstcsöveinek statikai számítása és ellenőrzése

6,0 és 3,2 m-es cső a merevítő gyűrűk kiosztásával



Németországi Weiher III erőmű füstcsöveinek statikai számítása és ellenőrzése

6,0 és 3,2 m-es cső áthatásánál és környezetében a véges elemek modellje



METRÓ statikai tervezése számítógéppel

Mélyalagút és mélyállomás statikai modelljének a jellemzői

- Síkbeli vizsgálat alkalmazható
- Alagút ill. mélyállomás falazata és azt körülvevő közet kölcsönhatásának figyelembe vétele
- Köralakú alagút keresztmetszet előnyei
- Mélyállomások köríves kialakítása

Alagút ill. mélyállomás falazatának modellezése

- Sokszög alakú rúdszerkezet

METRÓ statikai tervezése számítógéppel

Falazat és kőzet kölcsönhatás modellezése

Winkler-féle ágyazási modell

- Falazatra merőleges és tangenciális kölcsönhatás
- Rugalmas kapcsolat a falazat és a kőzet között mindkét irányban
- Egyedi rugók reprezentálják a kölcsönhatást
- Rugókban csak nyomás léphet fel (Húzott rugókat kiiktatják)

Falazat számításának matematikai háttere

Rúdszerkezet modell → Két közönséges differenciálegyenlet

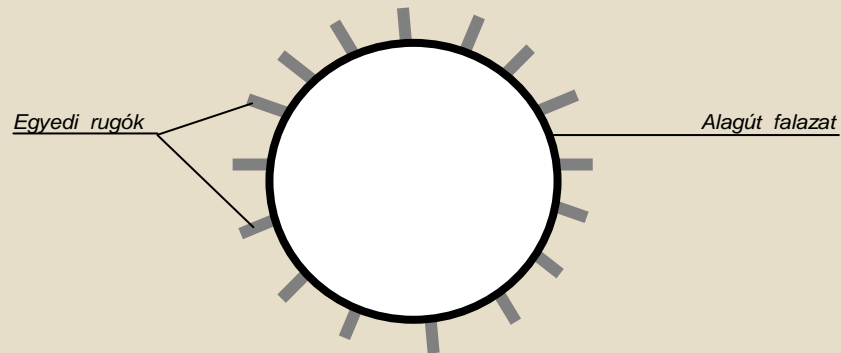
(Húzás-nyomás + Hajlítás)

Klasszikus mátrix felépítésű rúdszerkezet modell

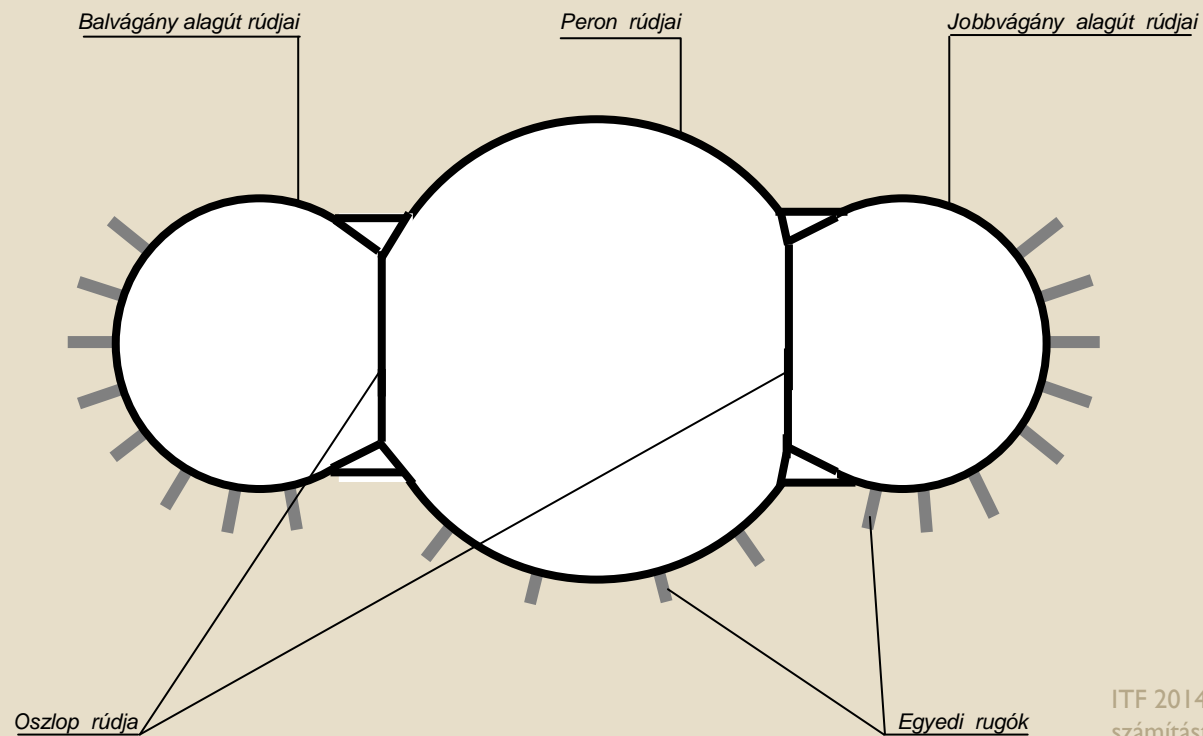
METRÓ statikai tervezése számítógéppel

Rugalmas ágyazású rúdszerkezet modell

Mélyalagút rúdszerkezeti modellje



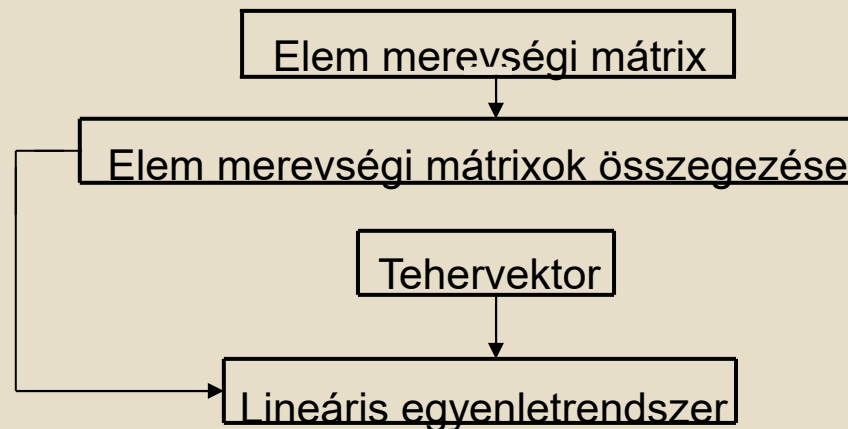
Három csöves mélyállomás rúdszerkezeti modellje



METRÓ statikai tervezése számítógéppel

- **Falazat és kőzet kölcsönhatás modellezése**
 - **Kontinuum - végeelem modell**
 - Tartomány le van fedve háromszög alakú elemekkel
 - Egy-egy háromszög egy-egy síkjában terhelt tárcsa elem
 - Tárcsa elem lehet izotróp vagy ortotróp mechanikai tulajdonságú
 - Tárcsa elemek között erő átadás csak a csomópontokon van

Számítás végrehajtásának menete



METRÓ statikai tervezése számítógéppel

- **Végelem módszer statikai számítás céljára**

- **Elmozdulási függvény** $\mathbf{u} = \mathbf{N} \times \mathbf{e}$
- \mathbf{u} → Elem pontjainak elmozdulása csomóponti elmozdulás hatására
- \mathbf{N} → Elmozdulás mátrix (Célszerűen felvett kétváltozós függvény)
- \mathbf{e} → Csomóponti elmozdulások
- **Alakváltozási függvény** $\boldsymbol{\varepsilon} = \mathbf{B} \times \mathbf{e}$
- $\boldsymbol{\varepsilon}$ → Elem pontjainak alakváltozása a csomóponti elmozdulás hatására
- \mathbf{B} → \mathbf{N} mátrixnak az alakváltozás típusa szerinti deriváltja
- **Feszültség függvény** $\boldsymbol{\sigma} = \mathbf{D} \times \boldsymbol{\varepsilon}$
- $\boldsymbol{\sigma}$ → Elem bármely pontjának feszültsége a csomóponti alakváltozás hatására
- \mathbf{D} → Általánosított rugalmassági modulus mátrixa

Egyensúlyi feltétel kielégítése → Potenciális energia minimum

$$\Pi = \frac{1}{2} \int \boldsymbol{\varepsilon}^* \times \boldsymbol{\sigma} dV - \mathbf{e}^* \times \mathbf{q} = \text{Min}$$

$$\Pi = \frac{1}{2} \mathbf{e}^* \int \mathbf{B}^* \times \mathbf{D} \times \mathbf{B} dV \cdot \mathbf{e} - \mathbf{e}^* \times \mathbf{q} = \text{Min}$$

$$\mathbf{K}_i \times \mathbf{e}_i - \mathbf{q}_i = \mathbf{0}$$

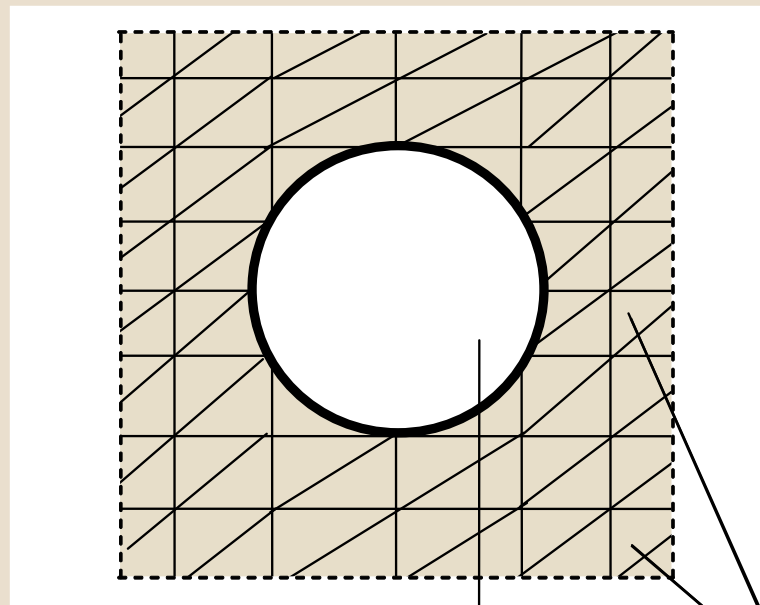
Teljes szerkezethez összegezve az egyes elemek merevségi mátrixait és tehervektorait kapjuk

$$\mathbf{K} \times \mathbf{e} - \mathbf{q} = \mathbf{0}$$

Szerkezet teljes egyenletrendszerét

METRÓ statikai tervezése számítógéppel

Kontinuum - végelem modell



Kifalazott üreg

Háromszög alakú tárcsaelem

METRÓ statikai tervezése számítógéppel

- **Winkler ágyazási és végeelem módszer összehasonlítása**

- **Műszaki színvonal értékelés**

- Végeelem módszer pontosabb eredményeket ad mint a Winkler ágyazási módszer
 - Végeelem módszer a felszíni süllyedéseket is számítja, a Winkler ágyazási módszer erre alkalmatlan

- **Alkalmazási értékelés**

- Winkler ágyazási módszernél a számítást húzott rugó(k) esetén meg kell ismételni, a végeelem módszer azonnal végeredményt ad
 - Végeelem módszernél a megoldandó lineáris egyenletrendszer nagyságrendekkel nagyobb a Winkler ágyazási módszerhez képest

Alkotók és a bevezetést elősegítők

Statikus tervezők

Dr.Rózsa László

Kovács Gábor

Dr.Scharle Péter

Földi András

Juhász Imre

Müller Miklós

Nagy Aladár

Pállossy László

Pethő Csaba

Soós Gábor

Stefányi Imre

Strébely Erzsébet

Vargha József

Programtervezők

Erdősy Miklós

Jakab György

Schwerteczky Ferenc

Babos Jánosné

Lámer Géza

Solti György

Dr. Márta Doležalová

Köszönetnyilvánítás

Tisztelt hölgyeim és uraim !
Köszönöm a figyelmet

Erdősy Miklós

Felhasznált irodalom

Erdősy Miklós – Földi András – Dr. Petúr Alajos

Kikötött toronyszerkezetek statikai vizsgálata számítógéppel

UVATERV Műszaki Közlemények 1982/1

Christian Pedersen

Abgespannte Maste und Schornsteine

Bauingenieur/Praxis H. 76.

Berlin; München; W. Ernst & Sohn, 1970

Lámer Géza – Pethő Csaba – Dr. Rózsa László

Metró alagútfalazatok tervezése számítógéppel

UVATERV Műszaki Közlemények 1982/1

Müller Miklós

Előregyártott elemekből épített metró- és közműalagutak igénybevételeinek és elmozdulásainak számítása elektronikus számítógéppel

Közlekedéstudományi Egyesület: Előregyártás a mélyépítésben konferencia 1973