

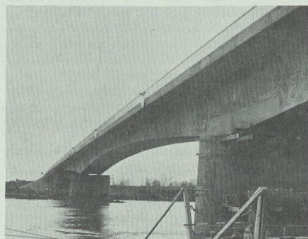
SZABADON SZERELT VASBETON HIDAK SZÁMÍTÁSÁNAK PROGRAMRENDSZERE

1964-ben, a kunszentmártoni Hármaskörös-híd tanulmánytervének elkészítése során javasoltuk, hogy ez a híd szabadszereléses feszítettbeton technológiával épüljön meg. Az új technológiával szemben kialakult kezdeti bizalmatlanság leküzdése után a Hídépítő Vállalat is támogatta javaslatunkat, így 1969-ben megkezdődött az első szabadon szerelt híd kiviteli terveinek elkészítése (1. ábra). A hídépítés sikere igazolta a technológia előnyeit, így azt újabb hidaknál is alkalmazhattuk. Az első híd építési tapasztalatai alapján a technológiát továbbfejlesztettük. Ennek köszönhetően 1977-ben a köröstarcsai Kettős-Körös-híd még gyorsabban és gördülékenyebben készült el (2. ábra). A következő híd, amely ezzel a technológiával épült, a körösladányi Sebes-Körös-híd volt (4. ábra). Ez az eset bizonyította, hogy a technológia nemcsak merőleges, hanem ferde áthidalásra is alkalmas, változtatás nélkül. Most már nyitva állt az út, hogy a bevált technológiával további hidak is épüljenek. A dobozi híd építése 1981-ben megkezdődött és várhatóan még 1982-ben befejeződik. 1982-ben megkezdődik a következő híd, a békési Kettős-Körös-híd építése is.

Bebizonyosodott, hogy ezzel a technológiával, a meglévő felszereléssel és gépekkel 60–100 m nyílású hidak jól és gyorsan felépíthetők. A legutóbb megépült 150 m hosszú híd 14 hónap alatt készült el.

Ahhoz, hogy ezzel a gyors kivitelezési idővel lépést tudjunk tartani, a tervezést is állandóan fejleszteni kel-

lett. Az első szabadon szerelt híd tervezése időszakában még csupán a keresztmetszeti mennyiségek számítására és a többtámaszú tartó számítására volt számítógépes programunk. Minden szabadon szerelt híd tervezésénél egy-egy új számítási rész programját is elkészítettük, majd megteremtettük az automatikus adatkapcsolatot. Így ma már a teljes statikai számítást átfogó programrendszer rendelkezésre áll. Erre annál is inkább szükség

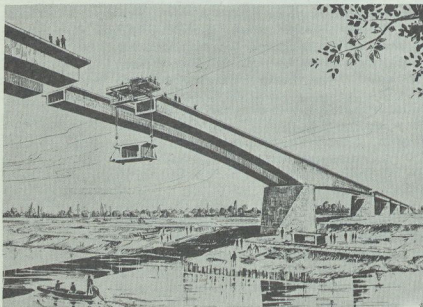


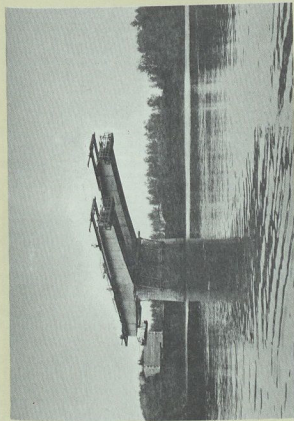
2. ábra. A köröstarcsai Kettős-Körös-híd

volt, mert a korszerű szerkezet és a gazdaságos anyagfelhasználás részletes és pontos statikai számítások készítését teszi szükségessé. Egy szabadon szerelt híd tervezéséhez kézi eljárással legalább 800–900 oldal terjedelmű statikai számítást kellene készíteni, ami a technológia sajátosságaiból fakad. Az előregyártott elemeket konzolos szereléssel kell elhelyezni és minden elempár elhelyezése után feszítőkábelekkel megfeszíteni. Ezt a folyamatot kell a számítással követni. Minden elempár szerelése és feszítése után ki kell számítani az összes megelőző illesztési hézagnál kialakuló feszültségeket. $15+15$ elem-ből álló fél hídnál ez $2 \times (1+2+3+\dots+14+15) = 240$ keresztmetszetre vonatkozó igénybevétel- és feszültség-számítást igényel. Ez kézi számítás esetén igen hosszadalmas.

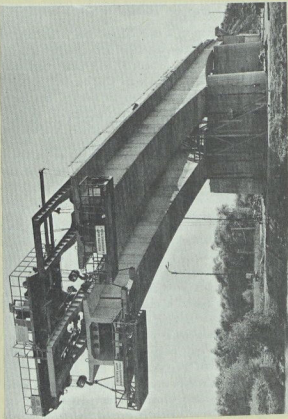
Az építés folyamán a statikai rendszer egy háromnyílású hídnál háromszor megváltozik. A szerelési folyamat alatt a szerkezet befogott konzoltartó. A fél hídszerkezet elemeinek beszerelése után a konzolos tartót sarura helyezve kéttámaszú konzolos tartó keletkezik. Mindkét oldali kéttámaszú konzolos tartó elkészülte után ezeket összekapcsoljuk és így alakul ki a végleges többtámaszú szerkezet (3. ábra). Többnyílású hídnál a statikai rend-

1. ábra. A kunszentmártoni Hármaskörös-híd

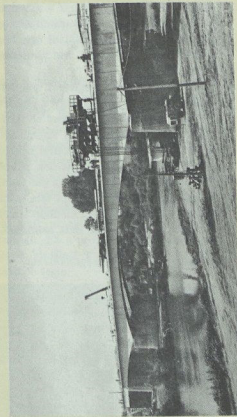
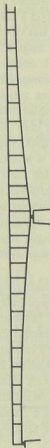




Konzolos szerelés



Kéttámaszú konzolos állapot



Végleges többtámaszú hídszerkezet



3. ábra. A hidépítés útjemei

szer változásainak száma a nyílások számának és az összekapcsolások kialakításának függvényében jelentősen megemelkedik. A statikai rendszer minden változása a korábban keletkezett igénybevételeknek a lassú alakváltozás hatására bekövetkező átrendeződését vonja maga után. A lassú alakváltozásnál az anyagjellemzőknek döntő befolyásuk van. Szabadszereléses hídnál az előregyártott elemek a készítési sorrendjüknek megfelelően más-más korúak, így az anyagjellemzők is mind különbözőek. Ezenkívül az építés folyamán az összes elem kora nő és így a különböző értékek is állandóan változnak, vagyis az elemek anyagjellemzői térben és időben is eltérőek. A számításnál tehát minden fázisban, minden elemnél a megfelelő időponthoz tartozó anyagjellemzőkkel kell számolni. Ebből következik a számítások összetettsége és hosszadalmasága. Kézi számítással ez csak egyszerűsítésekkel oldható meg (például úgy, hogy átlagos anyagjellemzőkkel számolunk), ami természetesen a pontosságot csökkenti.

Az előírásoknak megfelelő számítások mennyiségét többszöröseire növeli az, hogy a feszített tartó méretezését csak indirekt módon lehet elvégezni. Ez azt jelenti, hogy előre fel kell venni a feszítőkábelek mennyiségét és így kell számítani az illesztési hézagokban a feszültségeket. Ha ezek nem megfelelőek, akkor módosítani kell a kábelek számát és esetleg a beton méreteit. A változtatások után a feszültségeket újra számítjuk. Mindaddig kell ezt ismételni, amíg a kiadódó feszültségek a szabályzat által előírt értékek alatt maradnak. Ez a szükséges

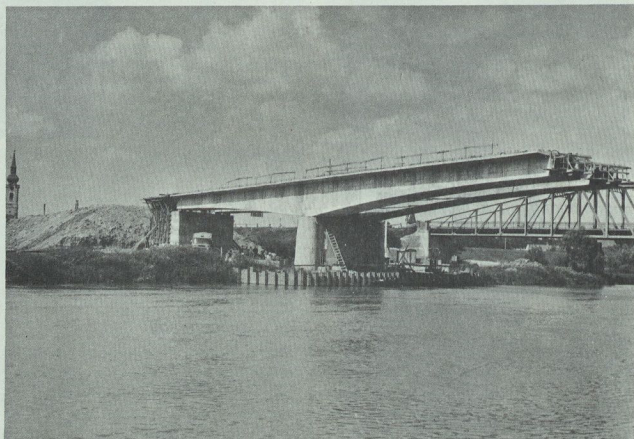
800–900 oldalnyi kézi számítás jelentős részének többszöri ismétlését kíváná.

Az előzőek alapján a szabadszereléses technológiával épülő hidak statikai méretezésénél nem csupán a számítás nagy terjedelme miatt, hanem az elkerülhetetlen ismétlések miatt is feltétlen szükséges volt a számítás gépesítése. Adatmódosítás esetén csupán néhány adatkártya kicserélésével a programok újra futtathatók és így a korrekciók gyorsan elkészíthetők, ami lehetővé teszi az optimálisan gazdaságos szerkezet kiválasztását.

A programrendszer elemei

A rendszer egyes programjai különböző időben, önálló programként készültek. Egy részük általános jelleggel, más részük speciálisan a szabadon szerelt hidak tervezéséhez készült. Az egyes programok között az összefonódás szoros, minden program számított értékeinek egy része a többi program alapadatául szolgál. Célszerűnek látszott tehát az eredetileg független programokat automatikus adatkapcsolatok útján egy egységes programrendszerre szervezni, hogy a nagy mennyiségű adat ismételt beolvasását megtakarítsuk. Erre az 5 jelű (realógiai vizsgálatot végző) program elkészítése után került sor. Az adattárkezelő program kidolgozása során egyrészt egységes elem-, kábel- és építési fázis-jelölési rendszert vezettünk be, másrészt mágneslemez adattárral hoztunk létre. Ez a tervezési feladathoz tartozó összes

4. ábra. A körösladányi Sebes-Körös-híd



lényeges adatot tartalmazza, ezáltal lehetővé teszi, hogy az egymásra épülő programok egymásnak alapadatokat és részeredményeket adjanak át. A mágneslemezen a számított eredmények hosszabb időre megőrizhetők és szükség szerint kiírhatók vagy kirajzolhatók. A létrehozott adattárakat az adattárkezelő program védi az alapvetően téves adatfelvittelek, törlések vagy módosítások ellen. Az adatrendszert úgy építettük fel, hogy néhány, a jelölési rendszerre vonatkozó indítókártya kivételével minden egyes kártya tetszőleges sorrendben olvasható be. Az egyes alrendszerek úgy kapcsolódnak az adattárhoz, hogy az eredményeket nemcsak kiírják táblázatos formában, hanem mágnesszalagra is felviszik. A mágnesszalag az adattárkezelő program kártya-inputjára vonatkozó szintaktikai szabályoknak megfelelően tartalmazza a szükséges adatokat.

A rendszer programjait (5. ábra) a célszerű futtatási sorrendben tartalmazza a blokkdiagram, a leglényegesebb adattáramlási irányok feltüntetésével. Minden egyes program futása után módja van a tervezőnek az eredmények alapján dönteni, hogy tovább lépjen-e a programrendszer futtatásában, vagy adtmódosítás után valamely korábbi programból ismétlje meg a számítást. Az egyes programokat a blokkdiagram alapján a következőkben részletesen ismertetjük.

1 Keresztmetszeti jellemzők számítása

Általános, minden hidtervezéshez használatos program. Tetszőleges alakú keresztmetszet szakpontjainak, a kábelek és kábelüregek koordinátáinak megadása után számítja a keresztmetszet felületét, inercianyomatékát, a félszelvény, illetve tetszőleges metszet statikai nyomatékát a súlypontra vonatkozóan. A program megadja továbbá bármely kívánt pontra a normálfeszültség-szorzót. A keresztmetszeti jellemzőket az összes további program használja.

2 Konzolos szerelés számítása

Ez a program már speciálisan a szabadon szerelt rendszerre vonatkozik, amely a technológia legjellemzőbb részének: a konzolos elemszerelésnek az ellenőrzését végzi. Az egyes keresztmetszetre és a negatív kábelekre vonatkozó, fázisonként változó néhány adat alapján megadja az igénybevételeket, a beton- és kábel-feszültségeket minden építési fázisban és minden elemhatáron. Mivel a program egy statikailag határozott tartó számítását végzi, futása rendkívül gyors, így a negatív kábel-számra vonatkozó néhány kísérleti futás után gyorsan megkapható a szereléshez feltétlenül szükséges kábel-szám. Ennek alapján a végleges állapothoz szükséges kábelmennyiség jól becsülhető.

3 Kábelgeometria számítása

A pozitív kábelek lehorgonyzási helyének és irányszögének, valamint az alsó betonkontúr követő parabola adatainak ismeretében meghatározza az adott sugarú

lekerekítő ív érintési pontjait. Számítja a kábeltengeley távolságát az alsó éltől és érintőjének irányszögét minden egyes elemhatáron, valamint kívánt tetszőleges pontokban. A kábelgeometria által számított adatokat a 4, 5 és 1 programok, valamint a rajzoló 6 alrendszer használja.

4 Kábelvezetések számítása

A kábelgeometria által számítottak alapján és a keresztmetszeti adatok ismeretében meghatározza minden egyes kábel feszültségeit a súrlódási, ékcsúszási, rugalmas, relaxációs és lassú alakváltozási veszteségek hatására. Kiszámítja a beadott kábelekből eredő kényszererő nélküli összegezett feszítőerőket és a szélső szál-feszültségeket minden elemhatáron, az építmény elkészültekor és $t = \infty$ időpontban.

5 Reológiai vizsgálat

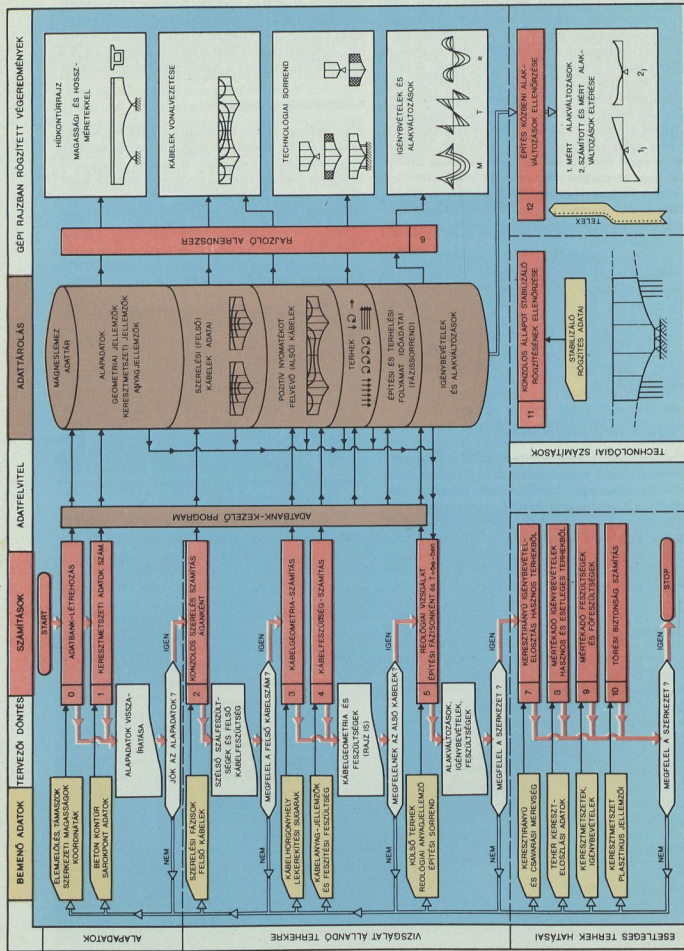
Az előző programok eredményei alapján ismerjük már a szerkezet geometriai adatait, merevségi jellemzőit, a feszítőkábelek geometriáját és feszültségeit. Szükségünk van még a szerkezet anyagjellemzőinek időbeni változását leíró függvényekre, a lassú alakváltozás és a zsugorodás végértékére és lefolyásfüggvényeire. Ezek, valamint az építés tervezett folyamatát leíró adatok segítségével nyomon követhető a szerkezet igénybevételeinek, elmozdulásainak, feszültségeinek és támaszreakcióinak változása az építés alatt, az ezt követő közben, valamint $t = \infty$ időpontban. Ez a program programrendszerünknek a legújabb elméleti kutatás megfontolásain alapuló, legösszettebb tagja.

A számítás során, annak részeredményei alapján az építés folyamatában bizonyos módosítások válhatnak szükségessé. Ezért célszerű volt a programot és adatrendszert úgy felépíteni, hogy csak a megváltozott adatokat kelljen újra megadni, és a program csak onnan kezdje újra a számítást, ahol az adatváltozásnak már hatása van. Az építés folyamatának részletes követése jelentős mennyiségű gépidőt igényel. Ennek gazdaságos kihasználása érdekében az építés folyamatát szakaszokban is meg lehet adni, sőt bármilyen programmegszakítás esetén a számítás eredményei megmaradnak és újraindításkor a program ott kezdi a számítást, ahol abbahagyta.

A program kidolgozásánál abból az alap gondolattól indultunk ki, hogy az építés folyamatát olyan egyszerű elemi események segítségével írjuk le, amelyek műszaki, mechanikai tartalma jól elkülöníthető és velük az építés egyértelműen jellemezhető. Az elemi események:

- elemek zsaluzatának elhelyezése vagy bontása;
- előregyártott elem beemelése vagy egy tartószakasz helyszíni betonozása;
- pozitív, illetve negatív kábel befeszítése;
- támaszra helyezés, illetve ideiglenes támaszok vagy támaszkomponensek megszűntetése;
- rugalmatlan támasz süllyesztése;
- tartós teher elhelyezése a szerkezetre;
- ideiglenes terhek mozgatása (betonozókocsi vagy szerelődaru feltétele, áthelyezése, levétele);

SZABADONSZERELT VASBETONHIDAK PROGRAMRENDSZER BLOKKDIAGRAMJA



- csukló zárása (a zárótag és a hídág közötti kapcsolat megszilárdulása).

Ezek az elemi események logikus sorrendben csoportosulnak. Az ilyen eseménycsoportokat nevezzük építési fázisoknak, amelyeket a hozzájuk tartozó vizsgálati időpontok jellemeznek.

A számítás során a következő elméleti és gyakorlati feladatokat kellett megoldani:

- a különálló részekből épülő, folyamatosan bővülő, változó statikai vázú szerkezet egységes kezelése;
- a feszítés által okozott erők minél pontosabb figyelembevétele;
- a feszítőkábelek egymás utáni feszítéséből, illetve a beton rugalmas összenyomódásából származó feszültségvesztések számítása;
- az inhomogén, az építés folyamán változó szilárdsági tengelyű beton-kábel keresztmetszetek kezelése;
- a zsugorodás és a lassú alakváltozás okozta igénybevétel-átrendeződések és alakváltozások megnyugtató számítása.

A felmerült problémák megoldásánál felhasznált elméleti megfontolásokat már az UVATERV Műszaki Közlemények 1979/2. számában ismertettük. Ezeket a program kidolgozásánál – az újabb elméleti és numerikus vizsgálatok eredményei alapján – csak az alábbi esetekben tértünk el:

- A különálló szerkezeti részeket a mindkét végén csuklós, terheletlen zárótaggal összekötve és így egységes egészként kezelve az egyes részekről egymásra terhek nem adódnak át. Ezzel a megoldással szükségtelemmé vált a kis merevségű elemek használata (6. ábra).
- A szerkezet időbeni viselkedését leíró integrálegyenlet-rendszer megoldására a mérnöki szemléletből fakadó elsőrendű módszer helyett egy olyan egylépéses, másodrendű Runge-Kutta típusú numerikus módszert alkalmaztunk, amelynek előnye az elsőrendű módszerrel szemben, hogy azonos műveletigény mellett egy nagyságrenddel pontosabb. A megoldás a vizsgálati időpontok bármilyen durva felvétele mellett is stabil, és az eredmények nagy időintervallumok felvétele esetén is elfogadható korlátok között maradnak.

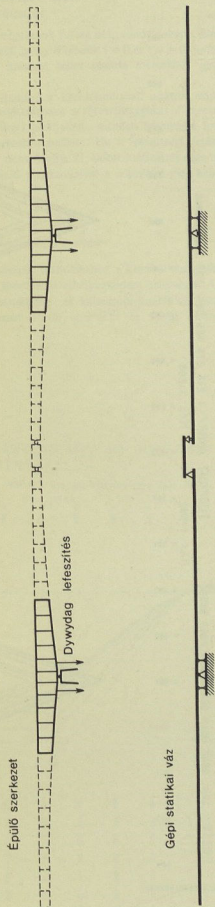
Az építés befejezése után, a stationárius állapot felé haladva az elmozdulási és igénybevételi állapot változása erősen lelassul. Emiatt elegendő az időintervallumokat az állapotváltozással fordított arányban felvenni. Ezeket az állandóan növekvő intervallumokat a program automatikusan állapítja meg és veszi fel.

Ezzel a programmal megoldottuk a hídszerkezet építési és végleges állapotának számítását az állandó jellegű, valamint az építés közbeni ideiglenes terhek hatására bekövetkező változások figyelembevételével. Megkapjuk a kialakuló feszültségeket és a deformációkat az összes keresztmetszetben, minden kívánt időpontban.

6 Rajzoló alrendszer

Az alrendszer a mágneslemezes adattárra épül, és többféle funkciót lát el. Egyik legfontosabb feladata, hogy az 5 program bemenő adatait vizuálisan ellenőrizhetővé

6. ábra. A reológiai számításhoz alkalmazott statikai váz



SZABADON SZERELT FESZITETT VASBETON HIDAK ELLENŐRZŐ SZÁMÍTÁSÁT VÉGZŐ PROGRAMRENDSZER
ALAKVÁLTOZÁS PROGRAM II. MINTAPELDA

FAZIS: 12A 900A 901A 902A 903A 904A 905A

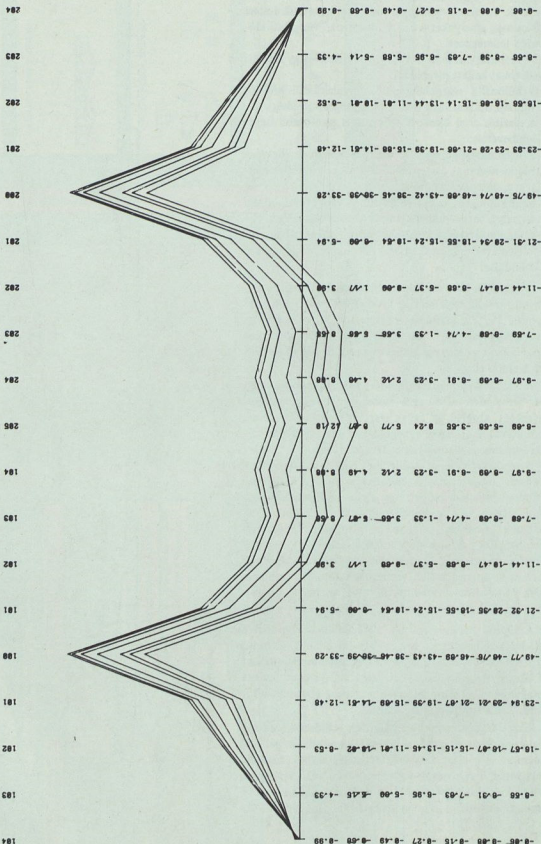
IDŐPONT /NAP/ : 245 275 425 685 1325 2405 14645

MY = 1:5000

MX = 1:5000

KERESZTMETSZETEK

NYOMTÉK ÉRTÉKEI /MM/



tege és így elkerülhessük a nagy futásidejű 5 program hibás futtatását. A másik fontos feladata az eredmények megjelenítése. Az időbeli változásokat a számhalmazok közel sem tükrözik olyan jól, mint az egymásra rajzolt alakváltozási és igénybevételi diagramok (7. és 8. ábra). A harmadik funkció: segítségnyújtás konkrét tervek elkészítésében. Erre mutat példát a kábelgeometria függőleges vonalvezetését ábrázoló rajz (9. ábra).

7 Keresztirányú igénybevétel-eloszlás számítása

A kereszteloszlás gépi meghatározása egy általános célú síkbeli rúdprogramon alapul, amelyhez az egyes rudak helyettesítő merevségét és síkbeli kapcsolatait úgy vesszük fel, hogy az a térbeli erőjáratot is modellezze.

8 Mértékadó igénybevételek hasznos és esetleges terhekből

Ez az általános gerendahidakat számító program, amelyvel minden elemhatár mértékadó leterhelésből származó igénybevételei előállíthatók.

9 Mértékadó feszültségek és főfeszültségek

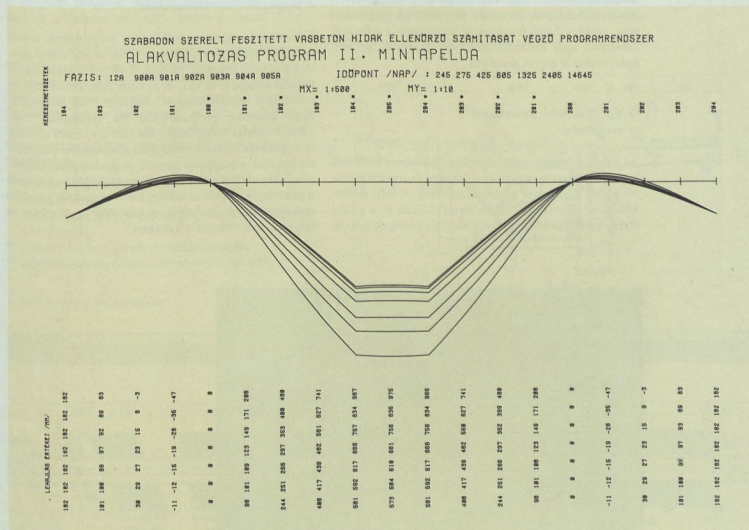
Az 5 és 8 programok futása után rendelkezésre állnak az állandó jellegű igénybevételek $t = 0$ és $t = \infty$ időpontban, valamint a hasznos teher okozta mértékadó igénybevételek.

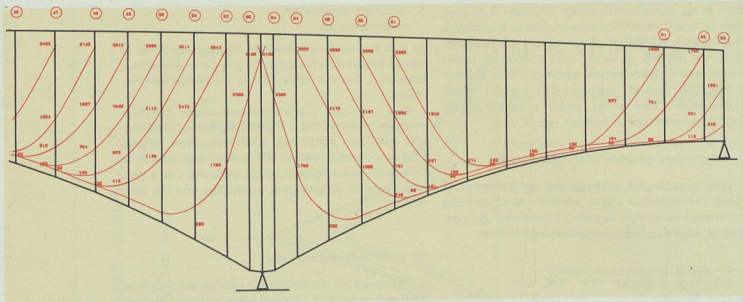
Ezek, valamint a keresztmetszeti adatok alapján a program meghatározza a főfeszültségeket a keresztmetszet tetszőleges pontjaiban, minden lehetséges igénybevétel-csoportosítás mellett. Ha a feszültségi értékek az előírásokat nem elégitik ki, akkor módosítás után a rendszer megfelelő programjaival a számítást meg kell ismételni.

10 Törési biztonság számítása

A törőnyomaték számításához a korábbi számításokból a kábelek geometriai elhelyezkedése szükséges. A program egy sarokpont- és kábelkoordinátákkal megadott keresztmetszet törőnyomatékát és törési biztonságát számítja.

8. ábra. Lehajlási ábra változásának gépi rajza (részlet)





9. ábra. Kábelgeometria gépi rajza

11 Konzolos állapot rögzítésének vizsgálata

A szerelés idejére a mérlegszerűen szerelt konzolágak stabilitásának biztosítására lefeszítő Dywidag-rudakat alkalmazunk. Ezek nagy erőt adnak át a felszerkezetre. Mind az állékonyság biztonsági tényezőjének meghatározása, mind a helyi feszültségek ellenőrzése a lefeszítés közelében levő elemhatárok sok számítását igényel. Ezért ezeket is géppel számítjuk.

12 Építés közbeni alakváltozás ellenőrzése

Az építés folyamán mért adatokat fázisonként beolvasva a program összehasonlítja az előzetesen (a statikai számítás során) létrehozott adatbank adataival. A mért értékek és a számítottól való eltérést listázza és a kívánt lépték szerint ki is rajzolja. A mérési eredmények telexen

is érkezhettek, ezért a program egyaránt alkalmas telexszalag vagy kártya beolvasására is.

A programrendszer felhasználása

Ismertett programrendszerünkkel megoldottuk a szakaszosan épülő feszítettbeton hidak teljes számítását. Még a közelmúltban is, ha ragaszkodtunk a teljes számítás gépesítéséhez, az csupán nyugati programrendszer és számítógép felhasználásával, devizáért volt lehetséges. Ilyen komplex programrendszerrel Európában csak néhány vállalat rendelkezik. Ma már erre nincs szükség és ez jelentős devizamegtakarítást eredményez. Programrendszerünk segítségével gyorsan és gazdaságosan tudjuk terveinket elkészíteni. Fontos ez azért is, mert a kedvező tapasztalatok alapján az előregyártott elemekből készülő, szabadszereléses hidépítési technológiát a jövőben is folyamatosan kívánjuk alkalmazni.

