

## LEMEZHIDAK SZÁMÍTÓPROGRAMJA

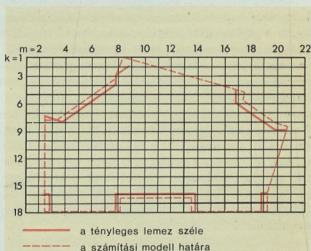
A hatvanas évek közepén — a számítástechnika szélesebb körű hazai elterjedésével egyidőben — a szerkezettervezésben is megkezdődött a számítógép felhasználása. A hajlított lemezek vizsgálatát mindaddig csak a közelítő modelleken alapuló, kifejezetten nehézkes módszerekkel lehetett elvégezni.

A kezdeti időszak első próbálkozása volt a hagyományos módszerekkel történő számítások géppel történő elvégzése. Mivel a DIN 1072 szabványban előírt terhelés figyelembevételével készült, általánosan elterjedt Rüschtáblázatok már nem voltak alkalmazhatók az 1967. évi Közúti Hídszabályzat megváltozott terheléseire, így született meg a Hídpályalemezek számítása című táblázatgyűjtemény. A derékszögű négyszöglemezeken igénybevételeinek meghatározása a Bittner által kidolgozott, számadatokkal megadott hatásfelületek elektronikus számítógéppel való kiértékelésével történt. Hasonló elven alapult a merevített szegélyű és a szabad szélű lemezhidak nyomatekainak számítására kidolgozott program is.

A helyszíni vasbeton lemezzel együttdolgoztatott, előregyártott hídgerendák tervezéséhez készített program ugyancsak a hagyományos módszereken alapuló számítások gépesítésének tekinthető. Guyon—Massonet—Bares eljárása a tartórácsok számítását mindkét irányban csavarómerev, illetve csavarásmentes ortotrop lemez igénybevételeinek meghatározására vezeti vissza. A tényleges csavarómerevségi tényezőhöz tartozó hatásábra-alapértékek meghatározásához az interpolációt a gép végzi el, majd a hasznos terheléseket Fourier-sorba fejtettt alakba veszi figyelembe. A program későbbi, továbbfejlesztett változatába már a mértékadó járműhelyzet kiválasztását is beépítettük a jármű kocsi pályán történő keresztirányú mozgásával.

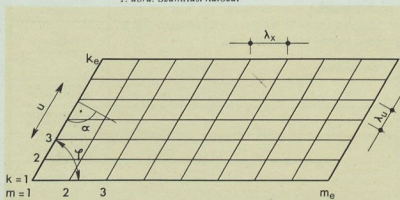
A további fejlődés két irányban indult meg. Az egyik a végeelem-módszer alkalmazása. Derékszögű négyszög,

illetve háromszög alakú mozaik elemekből összetett, mozgásmódszeren alapuló számítógépprogramok készültek. Valamennyi program tükrözte a végeelem-módszer előnyeit: a lemez alakjára semmilyen megkötést nem kellett tenni. Mód volt az általános alakú, áttört, tetszőleges peremfeltételű lemezek vizsgálatára is, ugyanakkor a lemez merevségek is tetszőlegesek lehettek. Sajnos a módszer hátrányai is igen plasztikusan jelentkeztek. A hídlemezek alakja általában szabályos, így az általános alakot biztosító igen sok geometriai adat megadása „hálózatgenerálás” nélkül nehézkessé teszi a felhasználást.



2. ábra. Aluljáró födémlemezének alaprajza a számítási hálózatra illesztve

1. ábra. Számítási hálózat



lást. A programok nem tartalmaztak hatásábra-előállító részeket sem, helyettük igen sok terhelési esetet kellett vizsgálni. Ez a módszer szintén járhatatlan a nagy tömegű adat automatizált eredménykiértékelése nélkül.

A végeelem-módszeren alapuló lemezszámító programok széles körű felhasználása a hídtervezésben — az adatok előállítását és az eredmények kiértékelését végző programok és berendezések (digitálisó és grafikus display) nélkül — egyelőre nem várható.

A fejlődés másik iránya a differencia módszeren alapuló programok alkalmazása volt. Néhány kisebb szolgáltató készségű program kidolgozása után vállalatunk megvásárolta az NDK-beli EIBSW-cég „Lemezszerkezetek vizsgálata” című programcsomagját, amelyet dr. Claus Schleicher professzor és munkatársai 15 évi kutatómunkával fejlesztettek ki.

## Lemezszervezetek vizsgálata c. programcsomag

A programcsomag a következő négy programból áll:

**ALEM** állandó vastagságú merőleges és ferde izotrop lemezek számítóprogramja;

**VLEM** változó vastagságú merőleges és ferde izotrop lemezek számítóprogramja;

**OLEM** tetszőlegesen változó merevségű, ortogonálisan anizotrop (ortotrop) lemezek számítóprogramja;

**SUP** a fenti három program által kiszámított igénybevételek szuperponáló programja.

Ezen programokkal vasbeton, feszített beton és acélhidak, ipari és magasépítési szerkezetek lemezei és lemezszerű tartószerkezetei vizsgálhatók.

### Számítási módszer

A programban végrehajtott számítás alapját az általános lemezelmélet képezi az ismert feltételekkel:

- lineárisan rugalmas anyagjellemzők (Hooke-törvény);
- a lemezvastagság a támaszközkhöz képest kicsi;
- a lemez lehajlása a lemezvastagsághoz képest kicsik;
- a keresztmetszetek az alakváltozások után is síkok maradnak (a nyírási alakváltozásokat elhanyagoljuk).

A lemez

$$D_{11} \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2(D_{11} + 2D_{33}) \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + D_{22} \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = q$$

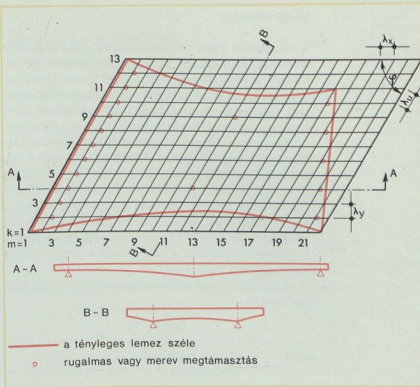
differenciálegyenletének megoldása differencia módszerrel történik. Ehhez a módszerhez a lemezt egy szabályos hálózattal kell lefedni. A hálózat minden csomópontjára felírunk egy differenciálegyenletet, amely ismeretlenként a csomópontbeli lehajlást tartalmazza. Az ismeretlen lehajlások együtthatói a lemez geometriájából, anyagjellemzőiből és a pontok helyzetéből számíthatók.

A pontokra felírt egyenletekből összeállítható a lemez lineáris egyenletrendszere, amelyben az ismeretlenek a lemez lehajlásai az összes hálózati pontban és ahol az egyenletrendszer jobb oldalát a különböző terhelési esetek határozzák meg.

### A hálózat felvétele

Az ALEM és a VLEM programok esetében merőleges és ferdeszögű (paralelogramma) hálózatot lehet alkalmazni, az OLEM programnál azonban csak derékszögű hálózatot lehet számolni.

A fentiek alapján úgy tűnik, hogy az ALEM és a VLEM program merőleges és ferde lemez, az OLEM program pedig csak merőleges lemez igénybevételeinek számítására alkalmas. A programokba beépített speciális algoritmusok (pl. bégygázási eljárás) azonban lehetővé



3. ábra. Szabálytalan alakú hídlemez számítási modellje

teszik azt, hogy a lemez geometriája és a terhelési módja ne jelentsen különösebb korlátozást a programok alkalmazásában.

A VLEM és az OLEM programok tetszőleges alakú lemezek igénybevételeinek számítására is alkalmasak, amennyiben a felhasználó alkalmazza a bégygázási eljárást. Az eredmények használhatósága szempontjából nagy jelentősége van a hálózat jó megválasztásának, mivel a megtámasztási helyek csak hálózati csomópontokra eshetnek, és a hálózati vonalak sűrűsége, valamint az egymásra merőleges vonaltávolságok aránya döntően befolyásolja a számítás pontosságát.

### Bégygázási eljárás

A tetszőleges alakú, valóságos lemezt paralelogramma formájú (izotrop eset), illetve téglalap formájú (izotrop, ortotrop eset) ún. „számítási lemezbe” kell bégygázni.

A lemezhez valójában nem tartozó részekre viszonylag kis vastagságot (izotrop eset), illetve kis merevséget (ortotrop eset) kell megadni. E nemlétező részek megadására a gyakorlatban a következő értékek felvétele alakult ki:

izotrop lemezeknél:  $h = \hat{h} \times 10^{-2}$

ortotrop lemezeknél  $K_{x,y,c} = \hat{K}_{x,y,c} \times 10^{-6}$

ahol  $h$ : lemezvastagság  
 $K_{x,y,c}$ : merevségek  
 $\hat{h}$ : a tényleges tartomány átlagértéke

## Megtámasztások

A vizsgálandó lemez megtámasztásának statikailag határozottnak, azaz legalább három, nem egy egyenesbe eső hálózati ponton alátámasztottnak kell lennie. Lehetőség van arra is, hogy valamennyi hálózati pontot mereven vagy rugalmasan megtámaszassuk. Ezek a programok tehát rugalmas ágyazású lemezek vizsgálatára is alkalmasak.

A programba beépített számítási módszer nem tesz különbséget merev és rugalmas megtámasztás között. A merev megtámasztású pontokban a lemez  $C_0 = 10^9$  Mp/cm értékű támszerevséget kap, tehát a megtámasztás elvileg rugalmas, azonban ezekben a pontokban a lehajlás gyakorlatilag nulla, így a merev megtámasztás feltételeit is kielégíti. (A  $C_0 = 10^9$  Mp/cm választását a nagyságrendi különbségek, valamint a számítási és a gépi pontosság összehangolása indokolja.)

A támszerekláció számítása közvetlenül a lehajlásokból történik:

$$S = W \cdot C_0$$

ahol S: támszerekláció  
W: lehajlás  
C<sub>0</sub>: támszerevség

## Korlátozások

A hálózati pontok maximális száma lényegében a számítógép központi tárnak kapacitásától és a felhasználható munkalemez nagyságától függ. Az R-20-as számítógép kapacitása az egyes programok esetében az alábbi maximális hálózati csomópontszám alkalmazását teszi lehetővé:

$$K_e \times m_e \begin{cases} 3000 & \text{az ALEM-nél} \\ 3000 & \text{a VLEM-nél} \\ 2000 & \text{az OLEM-nél} \end{cases}$$

A számítási módszerből adódik, hogy a hosszirányú vonalak száma csak

$$5 < K_e \leq 49,$$

a keresztirányú vonalak száma pedig

$$m_e \geq 5 \text{ lehet.}$$

Megtámasztások csak hálózati pontban lehetnek.

## Szuperponálás

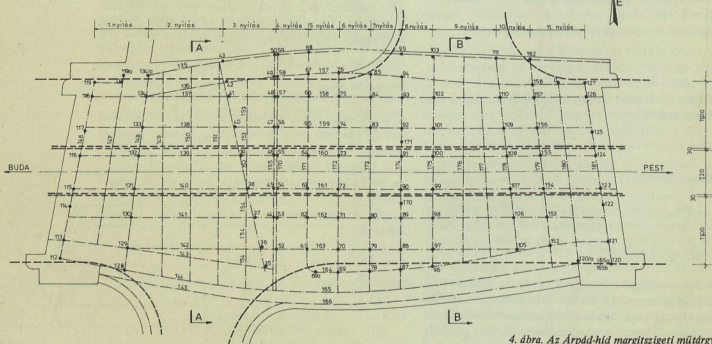
Az ALEM, VLEM és OLEM programok futás közben a megadott terhelési esetekben számított igénybevételeket nemcsak a soronymatórára, hanem egy mágnesszalagra is kiírják. A SUP program e mágnesszalagon levő adatokat bemenő adatokként használva, a terhelési eseteket a felhasználó kívánása szerinti kombinációban, az általa kért egyidejűségi tényezővel besorozva szuperponálja.

Ez a mágnesszalag megőrizhető, és bármikor kérhető újabb szuperponálási eset kiszámítása anélkül, hogy az alapesetekre újból lefuttatnánk az előző három program valamelyikét.

## A program felhasználása a tervezői gyakorlatban

Úgy tűnik, mai lehetőségeink mellett ez a program elégti ki optimálisan a hídervező igényeit. A program egyik

A RÉGI SZERKEZET TARTÓ-ELRENDEZÉSÉNEK VÁZLATA  
FELÜLNÉZET 1:250



4. ábra. Az Árpád-híd margitszigeti műtárgya