

SZERKEZETFÖLDTANI ÁBRÁZOLÁSOK ÉS SZERKESZTÉSEK SZÁMÍTÓGÉPEN

Computer projections and constructions in structural geology

GERNER PÉTER

ÖSSZEFOGLALÁS

A cikk áttekinti a szerkezetföldtanban gyakran használt ábrázolási módok és szerkesztések matematikai alapjait. Ezek segítségével leírja a sztereografikus vetületben vagy a Lambert-féle területtartó vetületben megjelenített egyenes és sík számítógépes ábrázolását, valamint néhány szerkesztés menetét is. Részletesen foglalkozik a vetőanalízis egy módszerével - az ún. grafikus módszerrel - , amelynek segítségével vetőkarcokból paleofeszültségi irányokat határozhatunk meg, és amely számítógép alkalmazása nélkül már nehezen végezhető el.

ABSTRACT

The mathematical basis of the calculation of projections and constructions currently used in structural geology are discussed in this paper. The display of stereographic plot of planes and different constructions can be given by the help of these mathematical calculations. Algorithms of these projections and displays are presented. A computer program of graphical search procedure is used to determine the principal stress axes of a fault population. The manual determination can be also checked by the program.

BEVEZETÉS

A földtanban mindig problémát okozott a tanulmányozott objektum térbeli helyzetének megjelenítése két dimenzióban. Egyik megoldás blokk-diagram készítése volt, de az ásványtanban valamennyire jártas geológusok már a század elején a szögtartó sztereografikus projekciót használták a terepen mért síkok szemléletes ábrázolására. Schmidt berlini professzor javaslatára kezdték alkalmazni a Lambert-féle területtartó vetületet olyan feladatok megoldásában, amelyeknél a szögtartóság kevésbé fontos a területtartás mellett. A szerkesztések sztereografikus projekció esetén Wulff-háló, területtartó vetületnél Schmidt-háló segítségével történtek. Ugyanezek az eljárások számítógép felhasználásával pontosabbá, gyorsabbá tehetők. Ilyen jellegű program létezik például Franciaországban (Angelier, 1979) és Nagy-Britanniában (Lisle, 1987), de Magyarországon sajnos ezek nem hozzáférhetők.

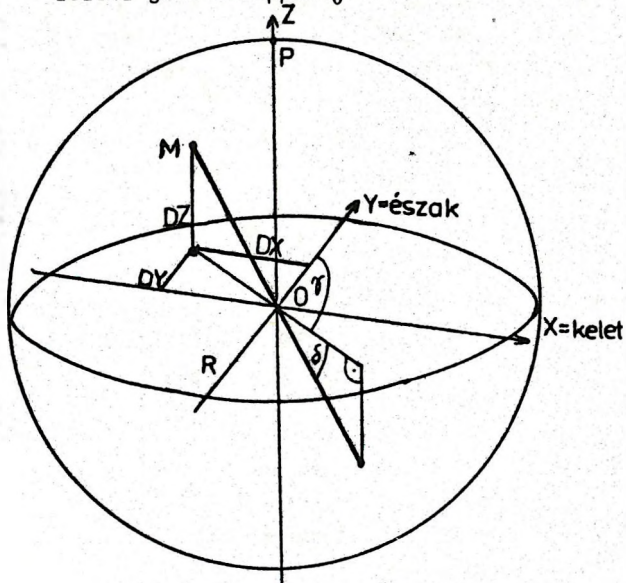
1. A VETÜLETEK ÉS TULAJDONSÁGAIK

A felhasználandó vetületek a kartográfiai gyakorlatnak megfelelően egy gömb alakú alapfelületről képeznek le a képfelület síkjára. Ahhoz, hogy matemati-

kiallag le tudjuk írni ezt a folyamatot, szükségünk van egy alapfelületi koordináta-rendszerre, továbbá ismernünk kell a képfelületre történő leképezés szabályait is. Mivel a földtanban nem gömbfelületen lévő pontokat akarunk ábrázolni, hanem síkokat és egyeneseket, megköteéseket kell tennünk ezek mérésére és alapfelülethez való helyzetükre is.

1.1. Alapfelületi koordináta-rendszerek

A számítások során a Descartes-féle derékszögű koordináta-rendszert és a polárkoordináta-rendszert használjuk. Az előbbi a számítások során fontos, az utóbbi segítségével a terepen mért szögértékek jeleníthetők meg. A két rendszer tengelyei között olyan kapcsolat van, hogy a derékszögű koordináta-rendszer Y tengelye megfelel a polárkoordináta-rendszer egyenlítőjén az északi iránynak, ugyanakkor az X tengely a keleti iránynak. A Z tengely a felső pólus (P) felé mutat (1.ábra). Az origó (O) mindig egybeesik az R sugarú alapfelületi gömb középpontjával.



1.ábra Kapcsolat a Descartes-féle derékszögű koordináta-rendszer és a polárkoordináta-rendszer tengelyei között, valamint az M pont koordinátái a két rendszerben.

α : dőlésirány (dip direction of plane)
 δ : dőlésszög (angle of dip of plane)
 Fig.1. Relationship between Descartes' rectangular system of coordinates and polar system of coordinates. Coordinates of any point M in the two systems.

1.1.1. átváltás polárkoordináta-rendszerrel derékszögű koordináta-rendszerre:

$$\begin{aligned} DX &= -R \cdot \cos \delta \cdot \sin \alpha \\ DY &= -R \cdot \cos \delta \cdot \cos \alpha \\ DZ &= R \cdot \sin \delta \end{aligned}$$

ahol $R = \sqrt{DX^2 + DY^2 + DZ^2}$

1.1.2. átváltás derékszögű koordináta-rendszerrel polárkoordináta-rendszerre:

$$\delta = \arctan \frac{DZ}{\sqrt{DX^2 + DY^2}}$$

$$\alpha = \arccos \frac{DY}{\sqrt{DX^2 + DY^2}}$$

Ha $DX < 0$, akkor $\alpha = 2 \cdot \pi - \arccos \frac{DY}{\sqrt{DX^2 + DY^2}}$

1.2. Vetítés a képfelületre

A képfelület síkja megfelel a derékszögű koordináta-rendszer X-Y síkjának, méghozzá az x tengely az X iránnyal, az y az Y tengellyel azonos. A térbeli pontok leképezésére leggyakrabban a következő két vetületet használják.

1.2.1. Sztereografikus projekció

Az R sugarú gömb felső pólusával (P) összekötjük az M pontot, az MP egyenes és az egyenlítő metszéspontja lesz az M képfelületi megfelelője (W) (2.ábra). Az O-W távolságot leíró egyenlet polárkoordináta-rendszerben:

$$WO = R \cdot \operatorname{tg} \frac{90 - \delta}{2}$$

mivel az $MPN \sphericalangle$ kerületi szöge $MON \sphericalangle$ -nek.

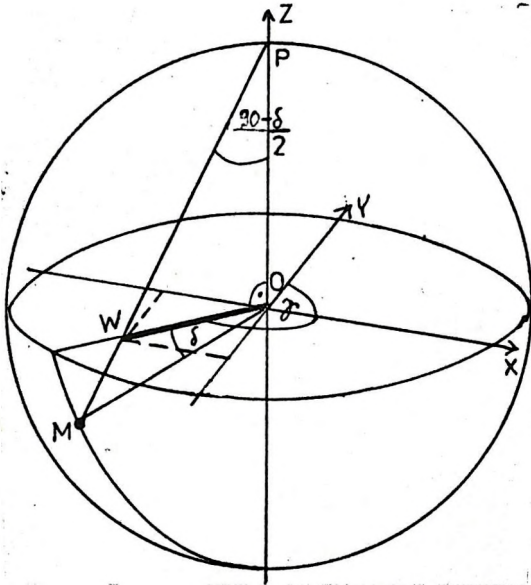
Ugyanez derékszögű koordináta-rendszerbeli adatokkal kifejezve :

$$WO = \sqrt{\frac{R - DZ}{R + DZ}}$$

Innen az x és y irányú képfelületi koordináták (Angelier, 1979):

$$WX = WO \cdot \sin \gamma = \frac{-R \cdot DX}{R + DZ}$$

$$WY = WO \cdot \cos \gamma = \frac{-R \cdot DY}{R + DZ}$$



2. ábra Az M pont leképezése a képfelületre sztereografikus vetületben.
 γ : dőlésirány (dip direction of plane)
 δ : dőlésszög (angle of dip of plane)
 Fig.2. Stereographic projection of point M

A vetületnek jól felhasználható tulajdonsága a szögtartóság és hogy kört körré képez le, ugyanakkor nem területtartó, és emiatt pontok alapfelületi eloszlását torzítja a képsíkon (Stegena, 1988). Amikor ennek pontos ismeretére van szükségünk, akkor ajánlott a következő vetület:

1.2.2. Területtartó vetület

M-et összekötjük a felső póluson lévő P ponttal, majd erre a szakaszra merőlegest bocsátunk az O pontból. Az így kapott SO távolságot mérjük fel az O-tól a képfelületen. (3. ábra)

Polárkoordináta-rendszerben:

$$SO = R \cdot \sin \frac{90 - \delta}{2}$$

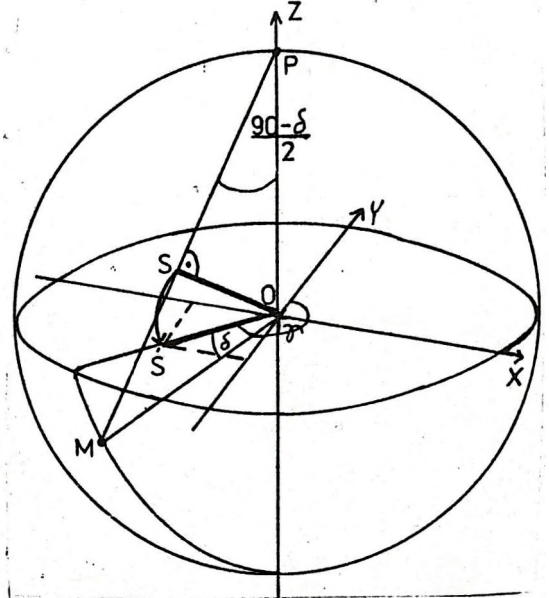
Derékszögű koordináta-rendszerben:

$$SO = \frac{\sqrt{R \cdot (R - DZ)}}{2}$$

Az x és y irányú képfelületi koordináták:

$$SX = SO \cdot \sin \gamma = -DX \cdot \sqrt{\frac{R}{2(R + DZ)}}$$

$$SY = SO \cdot \cos \gamma = -DY \cdot \sqrt{\frac{R}{2(R + DZ)}}$$



3. ábra Az M pont leképezése a képfelületre Lambert-élc területtartó vetületben.
 γ : dőlésirány (dip direction of plane)
 δ : dőlésszög (angle of dip of plane)
 Fig.3. Lambert's equal-area projection of point M

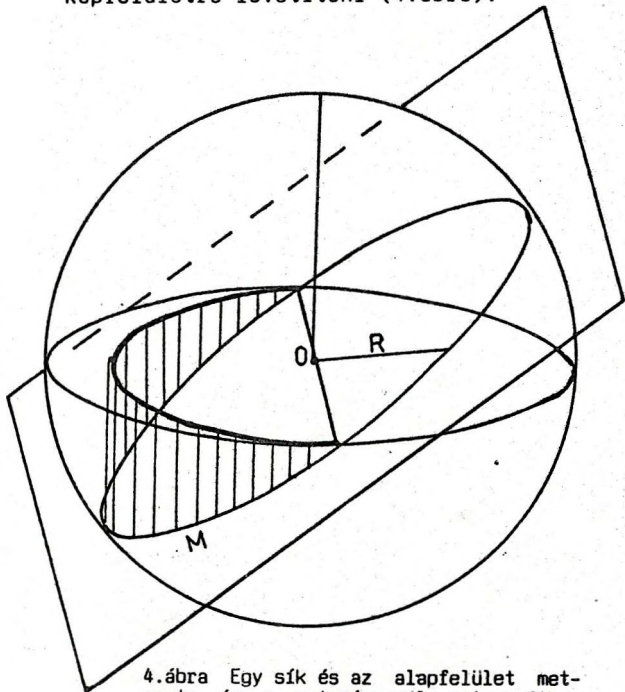
A vetület területtartó, ugyanakkor nem szögtartó, amire szerkesztéskor tekintettel kell lenni. A képfelületen kapott pontok területi eloszlása viszont a valós helyzetet tükrözi (Stegena, 1988).

1.3. Sík és egyenes az alapfelületen

A szerkezetföldtanban különböző helyzetű egyenesek és síkok ábrázolására van szükség, illetve minden szerkesztés visszavezethető erre a problémára. Egyértelműen akkor tudjuk a síkokat megjeleníteni, ha az alapfelületet az 1.1. pontban leírtak szerint tájoljuk, és

minden síkot és egyenest úgy veszünk fel, hogy illeszkedjen az O középpontra.

Gömb és sík metszete egy R sugarú kör lesz, míg az egyenesek két pontban dőlik az alapfelületet. Az így kapott M metszéspontokat a gömbön már különböző projekciós eljárásokkal (pl. ortografikus, sztereografikus, területtartó) lehet a gömb egyenlítőjének síkjára mint képfelületre levetíteni (4.ábra).



4.ábra Egy sík és az alapfelület metszete, és a metszévonal ortografikus képe.

Fig.4. Intersection of a plane and the sphere. Orthographic projection of this intersection line.

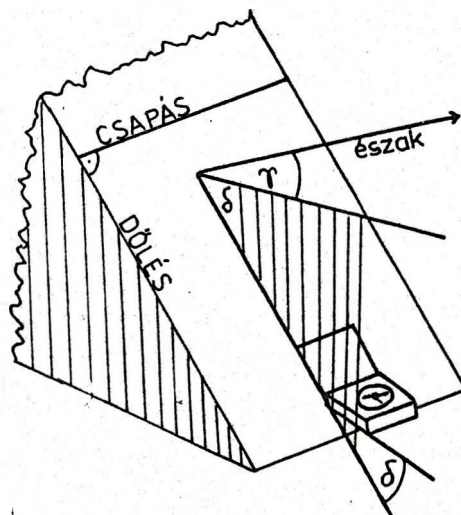
A kialakult gyakorlatnak megfelelően elég vagy csak az egyenlítő alatti pontokat ábrázolni - alsó félgömb vetület -, vagy a felső részbe eső pontokat - felső félgömb vetület -. E cikkben a sztereografikus projekciót alsó félgömb vetületben használjuk.

1.3.1. Síkok térbeli helyzetét az alapfelületi koordináta-tengelyekhez viszonyítva két jellemző egyenesük segítségével adhatjuk meg.

Csapásnak nevezzük a síkban található egyetlen vízszintes egyenest, azaz a sík és a vízszintes sík metszetét.

A dőlés a sík legmeredekebb egyenese, amely közös a függőleges síkkal, és merőleges a csapásra.

Ennek a két egyenesnek a mágneses északhoz és a vízszinteshez mért szögével rögzíthetjük a síkok helyzetét. Bányászkompasszal a legkönnyebben a dőlés és a vízszintes közti szöget (dőlésszög, δ), és a dőlés vízszintes vetületének északkal bezárt szögét mérhetjük (dőlésirány, τ) (5.ábra).



5.ábra Síkok térbeli helyzetét leíró két szög.

τ : dőlésirány (dip direction of plane)

δ : dőlésszög (angle of dip of plane)

Fig.5. Measurement of position of plane.

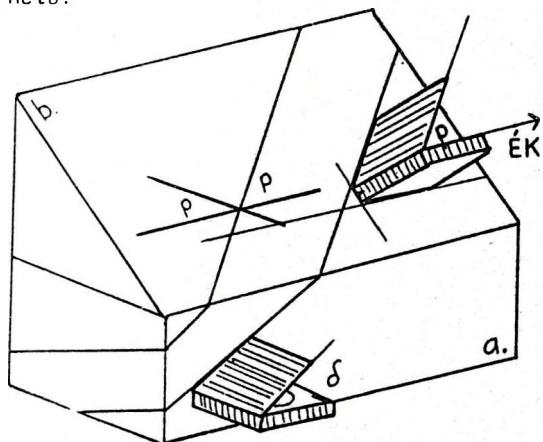
1.3.2. Egyeneseket két módszerrel tudunk mérni:

a. Mivel egy egyenesre végtelen sok sík illeszthető, azt választjuk ki, amelyben a mérendő irány a legmeredekebb dőlésű (6.ábra a.). Ekkor egy sík dőléseként dőlésiránnyal és dőlésszöggel rögzíthetjük az egyenes helyzetét, amely most egy ténylegesen nem létező síkot is meghatároz.

A feltárásban nem mindig tudjuk ezt a speciális síkot kompasszal lemérni. Ebben az esetben a következő módszert alkalmazhatjuk:

b. Azt a síkot mérjük le, amelyben látható az egyenes. Utána a síkon megmérjük a csapás és az egyenes által bezárt szöget (pitch, p). Figyelnünk kell arra is, hogy a csapással két irány is ugyanazt a szöget zárja be (6.ábra b.). Az egyértelmű iránymeghatározáshoz még fel kell jegyeznünk azt a csapásirányt is, amelyhez a pitch-et mértük. Végül

négy adattal tudtuk az egyenes térbeli helyzetét meghatározni. Vetőkarcok mérésére ez a módszer ajánlható, mivel a vetősík és a karc iránya egyszerre mérhető.



6.ábra Egyenes mérése:

a. a függőleges síkon mérjük az egyenes dőlésirányát és dőlésszögét.

b. a sík dőlésiránya és dőlésszöge után a p szöveget (ún. pitch) és ennek dőlésirányát is lemérjük.

Fig.6. Measurement of line

a. the angle of dip of the line and the dip direction of line is measured at the vertical plane.

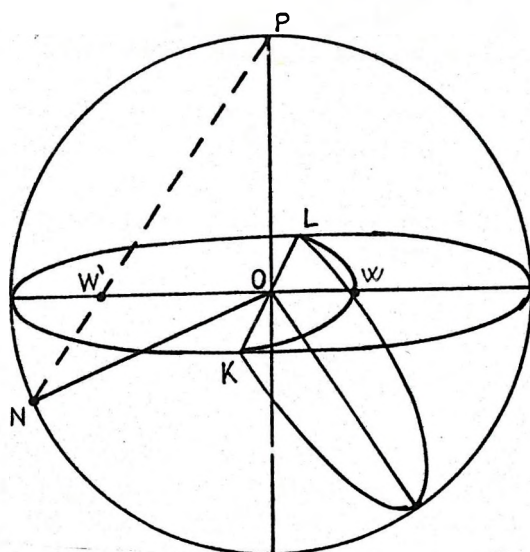
b. the angle of the dip of the plane, the dip direction of the plane and the pitch of the lincation is measured.

2. SÍK ÉS EGYENES KÉPE SZÁMÍTÓGÉPPEL

2.1. Sík megjelenítése

Sík metszete az alapfelülettel egy origóra illeszkedő kör, amely az alkalmazott vetület tulajdonságának megfelelően a képfelületen körívként jelenik meg. Normálvektorának képe egy pont lesz. Mindezek alapján síkot ábrázolhatunk körívvel vagy a sík normálisának képével, az úgynevezett pólusponttal. (7.ábra)

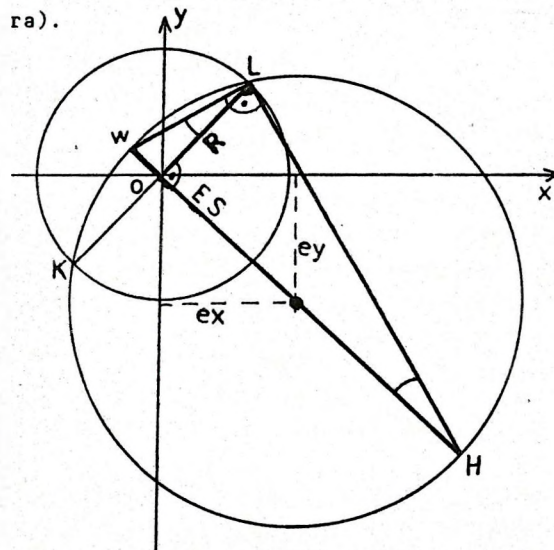
2.1.1. Amikor körívként ábrázoljuk a síkot, először az adatokból kiszámoljuk a körív sugarát (ES), a középpontjának koordinátáit (ex,ey) és képfelület alapkörével keletkező metszéspontjait (L,K). Amikor ez megtörtént, akkor a metszéspontokat az alapkörön belül körívvel kötjük össze.



7.ábra Sík ábrázolása pólusponttal (W) és körívvel.

Fig.7. Representation of the plane either by great circle or by pole.

A sugár (ES) kiszámolása hasonló háromszögek segítségével történik (8.ábra).



8.ábra Körív sugarának (ES), középpontjának (ex, ey) és a metszéspontoknak (L,K) kapcsolata a WO szakasz helyzetével és hosszával.

Fig.8. The radius of the circle (ES), the centre of the circle (ex, ey) and intersection points (L,K) can be determined by help of the of section WO.

Mivel WLO és LHW merőleges szárú szögek, ezért WLO és LHW háromszögek hasonlóak. Így:

$$\frac{2 \cdot ES}{\sqrt{w^2 + R^2}} = \frac{\sqrt{w^2 + R^2}}{w}$$

Ebből ES kiszámolható, mert R adott, WO-t pedig a dőlésszögből kapjuk (lásd 1.2.1.) :

$$ES = \frac{WO^2 + R^2}{2 \cdot WO}$$

A középpont koordinátái (EX,EY) egyszerűen adódnak, ha ismert a fentiekén kívül a dőlésirány is:

$$EX = (ES - WO) \cdot \sin(\varphi - 180)$$

$$EY = (ES - WO) \cdot \cos(\varphi - 180)$$

A metszéspontok (LX,LY;KX,KY) értékeit megkapjuk, ha DI+90 és DI+270 szögek szinuszával és koszinuszával megszorozzuk az alapkör sugarát.

$$LX = R \cdot \sin(\varphi + 90)$$

$$LY = R \cdot \cos(\varphi + 90)$$

$$KX = R \cdot \sin(\varphi + 270)$$

$$KY = R \cdot \cos(\varphi + 270)$$

A körívet úgy rajzoltatjuk meg, hogy kiszámoljuk a KEL φ -et, majd az egyik metszéspontot az E körül elforgatjuk a szög tizedével. Tízszer elvégezve ezt a lépést a másik metszéspontba jutunk. A forgatással kapott pontokat egyenes szakaszokkal összekötve jó közelítéssel megkapjuk a körívet.

A szorzás után :

$$x' = \cos\varphi \cdot (x - EX) + \sin\varphi \cdot (y - EY) + EX$$

$$y' = \cos\varphi \cdot (y - EY) - \sin\varphi \cdot (x - EX) + EY$$

2.1.2. Ha pólusponttal akarjuk ábrázolni a síkot, akkor elég egy olyan egyenest venni, amelynek dőlésiránya a síkhoz viszonyítva DI-180 fok, dőlésszöge pedig 90-DS (7.ábra). Egyenes leképezésével a következő pont foglalkozik.

2.2. Egyenes ábrázolása

Mivel egyenes kétféleképpen mérhető, két algoritmus létezik a megjelenítésére.

2.2.1. Amennyiben az egyenest dőlésiránnyal és dőlésszöggel adjuk meg, akkor először WO (vagy a másik vetület-

ben SO) számolható az 1.2.1.-ben leírtak alapján (2.ábra), majd WO és a dőlésirány segítségével adódik WX és WY mint képfelületi koordináta.

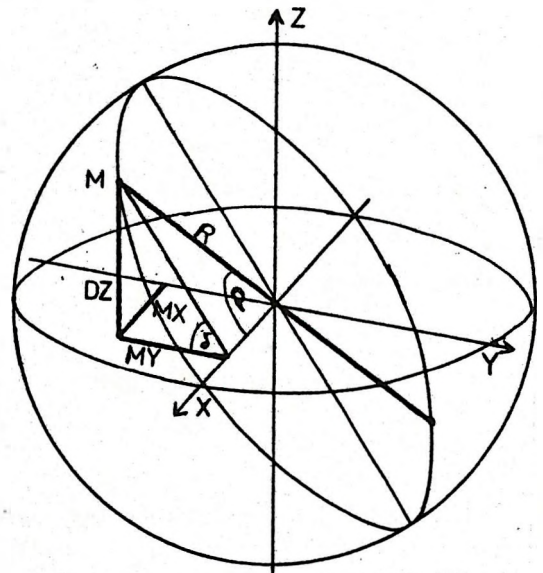
2.2.2. Ha a másik módon adjuk meg az egyenest (ha DI,DS,p és IR ismert), akkor a helyzet bonyolultabb. Ilyenkor x-y-z koordináta-rendszerbe számoljuk át az adatokat, majd innen képezzük le a pontot a képfelületre.

Az átváltás két lépcsőben történik. Először DI=0 szöveget feltételezve megkapjuk MX,MY és DZ értékét (9.ábra) :

$$MX = -R \cdot \cos\varphi$$

$$MY = -R \cdot \sin\varphi \cdot \cos\delta$$

$$DZ = R \cdot \sin\varphi \cdot \sin\delta$$



9.ábra Pitch-csel mért egyenes dőléspontjának (M) koordinátái =0-nál.
Fig.9. Determination of coordinates of the point M by using the pitch of the lineation.

Másodszor az MX és MY koordinátájú pontokat a valós DI szöggel elforgatjuk az origó körül a képfelületen, és így adódik DX és DY végleges értéke:

$$DX = MX \cdot \cos\varphi + MY \cdot \sin\varphi$$

$$DY = -MX \cdot \sin\varphi + MY \cdot \cos\varphi$$

Ezek után DX,OY és DZ-ből 1.2.1 alapján megkapjuk WX-et és WY-t.

3. EGYSZERŐ SZERKESZTÉSEK

Az adatok egyszerű ábrázolásán kívül szerkesztéseket is végezhetünk. Így módon a feltárásban közvetlenül nem mérhető értékek is meghatározhatók.

3.1. Sík szerkesztése áldőlésekből

Gyakori probléma, hogy magát a síkot nem tudjuk megmérni, de ismert két egyenese (6. ábra). Ilyen eset például az, hogyha adott két szelvény, amelyeknek tudjuk az irányát valamint a képződmények áldőléseit, és a sík valódi dőlésirányát szeretnénk megtudni.

Ekkor átváltjuk az egyenest meghatározó szögeket derékszögű koordináta-rendszerbeli értékekre ($A_1, A_2, A_3; B_1, B_2, B_3$). Ezt megtehetjük 1.1.1. és 2.2.2. alapján. A keresett sík normálisának koordinátáit jelölje DX, DY, DZ . Mivel az áldőlések mind átmennek az origón, ezért vektoriálisan összeszorozva őket megkapjuk síkjuk normálvektorának koordinátáit:

$$DX = A_2 \cdot B_3 - A_3 \cdot B_2$$

$$DY = A_3 \cdot B_1 - A_1 \cdot B_3$$

$$DZ = A_1 \cdot B_2 - A_2 \cdot B_1$$

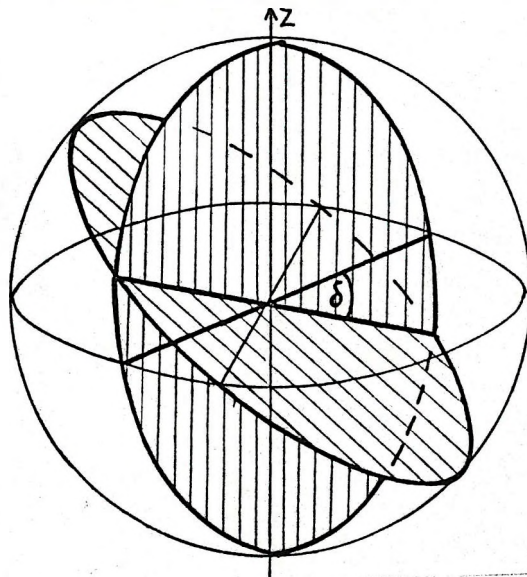
A DX, DY, DZ értékekből visszaszámolható dőlésszöget és dőlésirányt (1.1.2.) a 9. ábrát figyelembe véve még módosítani kell ($90 - \delta$, $180 + \text{DI}$), és ezután a sík már ábrázolható.

3.2. Sík adott irányú áldőlése

Szelvény szerkesztésénél adódó feladat egy ismert sík nem dőlésirányú dőlésének meghatározása. Másképp fogalmazva, egy síkot elmetszünk egy adott irányú függőleges síkkal, és a metszésvonalként kapott egyenes dőlésszögére vagyunk kíváncsiak (10. ábra).

Elsőként a síkok normálvektorait (póluspontjait) számoljuk ki (lásd 2.1.2. majd 1.1.1.). A normálvektorok vektoriális szorzata adja a keresett egyenes irányvektorát (I). (Bronstein

et al. 1982) Az I-ből 1.1.2. szerint a dőlésszög:



10. ábra Az ismert sík és a keresett irányba álló függőleges sík metszésvonalaként megszerkesztett áldőlés (δ).
Fig. 10. Construction of the intersection line of a vertical and an arbitrary plane. (determination of angle δ)

3.3. Két sík metszésvonala

Ilyen jellegű számolásra kényszerülünk akkor, amikor redő vagy szinklinális szárnyait két síkkal közelítjük, és a tengelyének helyzetét akarjuk kiszámolni (10. ábra).

A feladat gépi megoldása teljesen hasonló az előző ponthoz, azaz átváltjuk a síkokat meghatározó szögeket normálvektorra, és a szorzatuk eredményeként kapott vektor dőlésiránya és dőlésszöge (1.1.2.) jelenti a megoldást. A szög és az irány ismeretében az egyenest ábrázolhatjuk (2.1.1.).

3.4. Két sík szöge

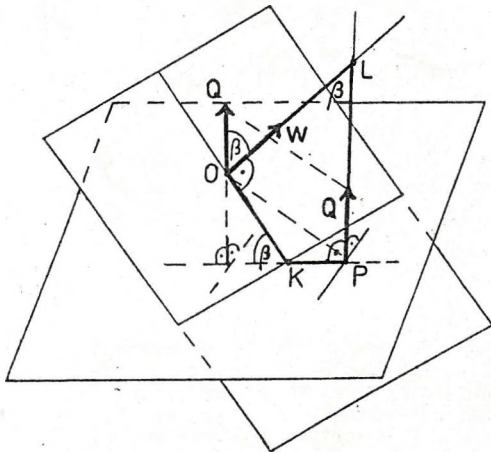
Az egy generációba tartozó vetőket könnyen elkülöníthetjük a síkjaik közti szögek összehasonlításával. Nagyobb adatmennyiségnél előnyös a vetők számí-

tógéppel történő szétválasztása.

Két sík szögének kiszámolása a normálvektorok (Q,W) ismeretében egyszerűen adódik (11.ábra) :

$$\cos \beta = \frac{Q \cdot W}{(Q \cdot Q) \cdot (W \cdot W)}$$

(Bronstein et al. 1982), ahol $Q \cdot W$ vektorok skaláris szorzata.



11.ábra A két sík közti szög megfelel a normálvektoraik közti szögnek, mivel OLPK húrnégyszög.
Fig.11. The angle between the two planes is equal to the angle between the normal vectors of the planes.

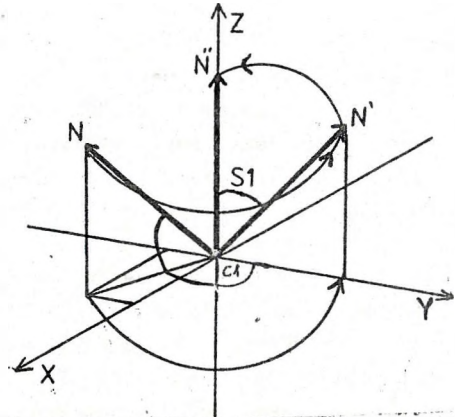
3.5. Sík forgatása

Szerkezetileg kibillent területen mért kereszttrétegzésből csak úgy kapunk információt a valódi szállítási irányokra, ha levonjuk a kibillenés hatását. Ugyanilyen elven alapul az elferdült fúrórólyukokban észlelt síkok valódi dőlésének meghatározása is.

Jelölje $S1$ a vízszintes sík kibillenésének szögét; ezzel kell a síkot függőlegesen visszaforgatnunk. $C1$ jelenti a billentés irányát. A forgatandó sík dőlésszöge DS , dőlésiránya DI .

A szerkesztés menete a következő: ha kiszámítjuk az $S1$, $C1$ szögek által meghatározott sík normálvektorát (N), majd ezt a vektort beforgatjuk a Z tengelybe, akkor a billenés hatása eltűnt. Ezzel szöggel a kibillent sík normálvektorát (K) is el kell forgatnunk.

Ezt a műveletet három lépésben végezzük el. Elsőként N-et Z körül beforgatjuk a Z-Y síkba, majd az X tengely körül a Z tengelybe (12.ábra). Ugyanezekkel a szögekkel transzformáljuk K-t is, majd harmadik lépésként még $-C1$ gyelel visszaforgatjuk a Z tengely körül az eredeti irányba :



12.ábra Az N irányába kibillentett függőleges vektor visszaforgatása N''-be két lépésben, az N'-n keresztül.
Fig.12. The tilted vector (N) is turned back across N' to original position (N'')

A K vektor Z tengely körüli forgatására: $\psi = -C1$. (Pirkó, 1988) :

$$\begin{aligned} x' &= x \cdot \cos \psi + y \cdot \sin \psi \\ y' &= -x \cdot \sin \psi + y \cdot \cos \psi \\ z' &= z \end{aligned}$$

A második forgatási szög: $\beta = S1$. Az X tengely körüli forgatás eredménye:

$$\begin{aligned} x'' &= x' \\ y'' &= y' \cdot \cos \beta + z' \cdot \sin \beta \\ z'' &= -y' \cdot \sin \beta + z' \cdot \cos \beta \end{aligned}$$

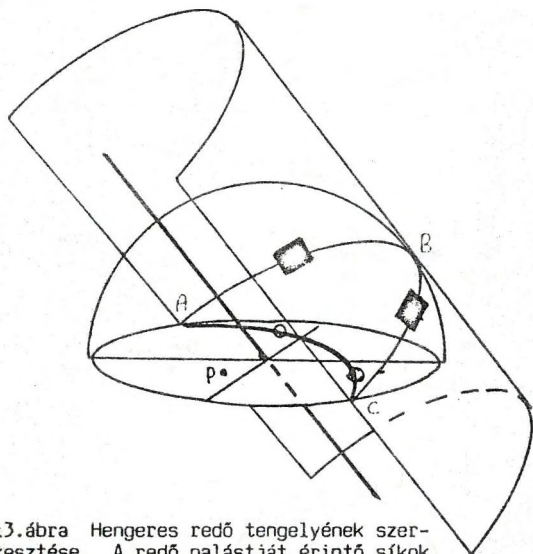
x'' , y'' és z'' -ből a visszaforgatás után megrajzolható a helyrebillentett sík köríve.

3.6. Hengeres redő tengelye

Hengeres redőnél legalább három, a paláston mért sík dőlésadatának ismeretében határozhatjuk meg a redőtengelyt.

A síkok az alapfelület és a redő metszeteként keletkezett főkörön helyezkednek el (13.ábra). A mért síkokat pő-

luspontjaikkal ábrázoljuk a képfelületen, majd körívet illesztünk rájuk. Mivel a főkörre merőleges a redőtengely, a kör póluspontja lesz a redő tengelyének képe.



13.ábra Hengeres redő tengelyének szerkesztése. A redő palástját érintő síkok illeszkednek arra a körre (ABC), amelynek normálvektora párhuzamos a redő tengelyével. A normálvektor vetületi képe P Fig.13. Construction of the axis of cylindrical fold. The planes of the limbs of the fold are tangential of a cylinder, and they are situated at a circle ABC. Normal vector of ABC circle is parallel to fold axis, its projection is point P.

4. VETŐANALÍZIS

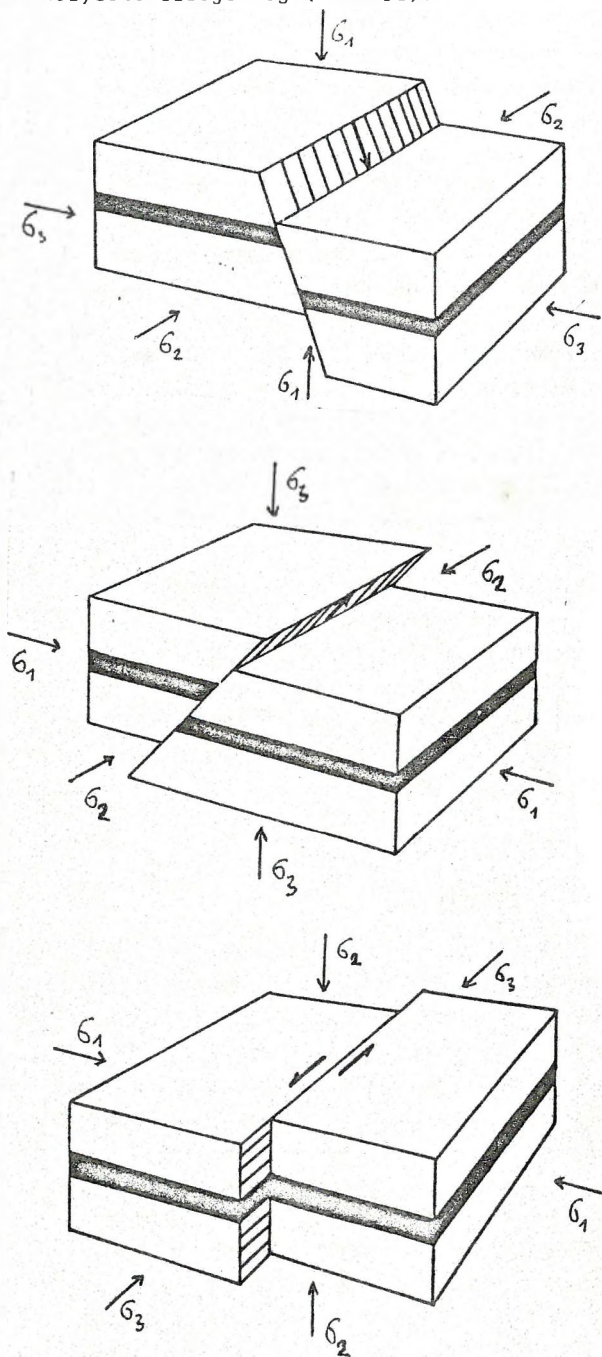
4.1. A vetőanalízis elve

Ezen elv segítségével vetőkarcokból paleofeszültségi irányokat határozhatunk meg, és lehetőség nyílik különböző korú mozgások szétválogatására is.

A módszer számítógépes megoldásában felhasználom az eddig leírt ábrázolásokat és néhány szerkesztést is.

Rugalmas, deformált kőzetekben három egymásra merőleges irányban csak nyomó - húzó - feszültségek hatnak, nyíró feszültségek nem. Ezeket az irányokat nevezzük főfeszültségeknek (Skrapits, 1989). Ez a három kitüntetett irány sem egyforma, megkülönböztetünk maximális (σ_1), közbülső (σ_2) és minimális (σ_3) főfeszültséget. Amikor elegendően nagy feszültség hatására a kőzettest eltörik

vagy már meglévő síkok mentén elmozog, a mozgás irányát a főfeszültségek térbeli helyzete szabja meg (14.ábra).



14.ábra Kapcsolat a három fő vetőtípus és a feszültségtér helyzete között. (σ_1 =max.; σ_2 =közbülső; σ_3 =min. főfeszültség)

a. normál vető (normal fault)
b. feltolódás (reverse fault)
c. oldalelmozdulás (strike-slip fault)
Fig.14. Relationship between the three main types of faults and the principal stress axes.

Amennyiben például a maximális és a közbűlső főfeszültség a vízszintes síkban helyezkedik el, feltolódás jön létre.

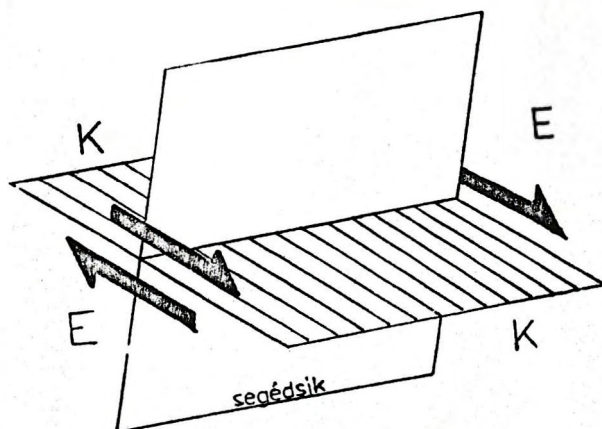
Mivel tehát a kőzettestek elmozdulása és a főfeszültségek helyzete között meghatározott összefüggés van, az elmozdulás ismeretében visszakövetkeztethetünk a főfeszültségek térbeli helyzetére. Terepen a vetőlapra történt mozgásokat vetőkarcként észleljük, és a karc irányán kívül az elmozdulás csapásmenti (balos vagy jobbos) és dőlésmenti (feltolódás vagy normálvető) komponensének jellegét is meg kell állapítanunk. Ezen adatok ismeretében (DS, DI, p , IR és az elmozdulás jellege) az elmozdulást létrehozó főfeszültségek irányait meghatározhatjuk. Ezt az elvet nevezzük vetőanalízisnek (Dövényi et al. 1988).

A módszer alkalmazásánál több feltételt figyelembe kell venni. Ismert, hogy nyomás hatására a kőzettestek két sík mentén törnek el (Mohr síkok). A terepen lehetőleg ilyen síkpárokat kell mérnünk. Szintén terepi feladat a különböző időben keletkezett törések szétválasztása, mert ezek más-más feszültségteret jelezhetnek.

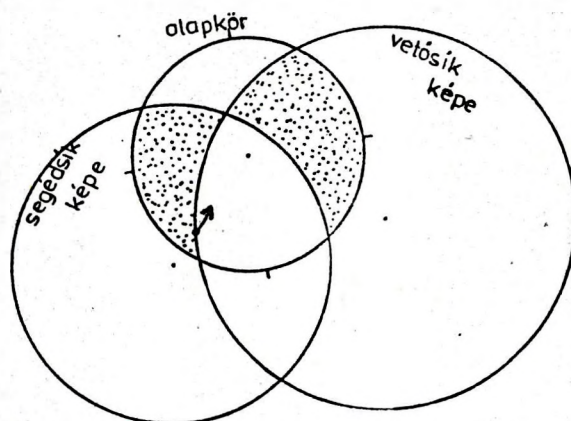
4.2. A grafikus módszer

A jellemző főfeszültségek kiszámolására többféle eljárás létezik. Ezek között a legegyszerűbb az ún. grafikus módszer (Angelier és Mechler, 1977), amelynek a lényege a következő: a törés síkját és a vetőkarcot ábrázoljuk, majd a karcra merőlegesen felvesszünk egy valóságban nem létező segédsíkot. A síkok között mindig két extenziós és két kompressziós jellegű térfelület lesz (15. ábra). Ha ezt a két síkot sztereogramon ábrázoljuk, a 16. ábrán látható módon jelennek meg a síkok és a térfelületek.

Egy vető alapján csak azt lehet megállapítani, hogy a maximális és minimális főfeszültségek melyik negyedbe esnek.

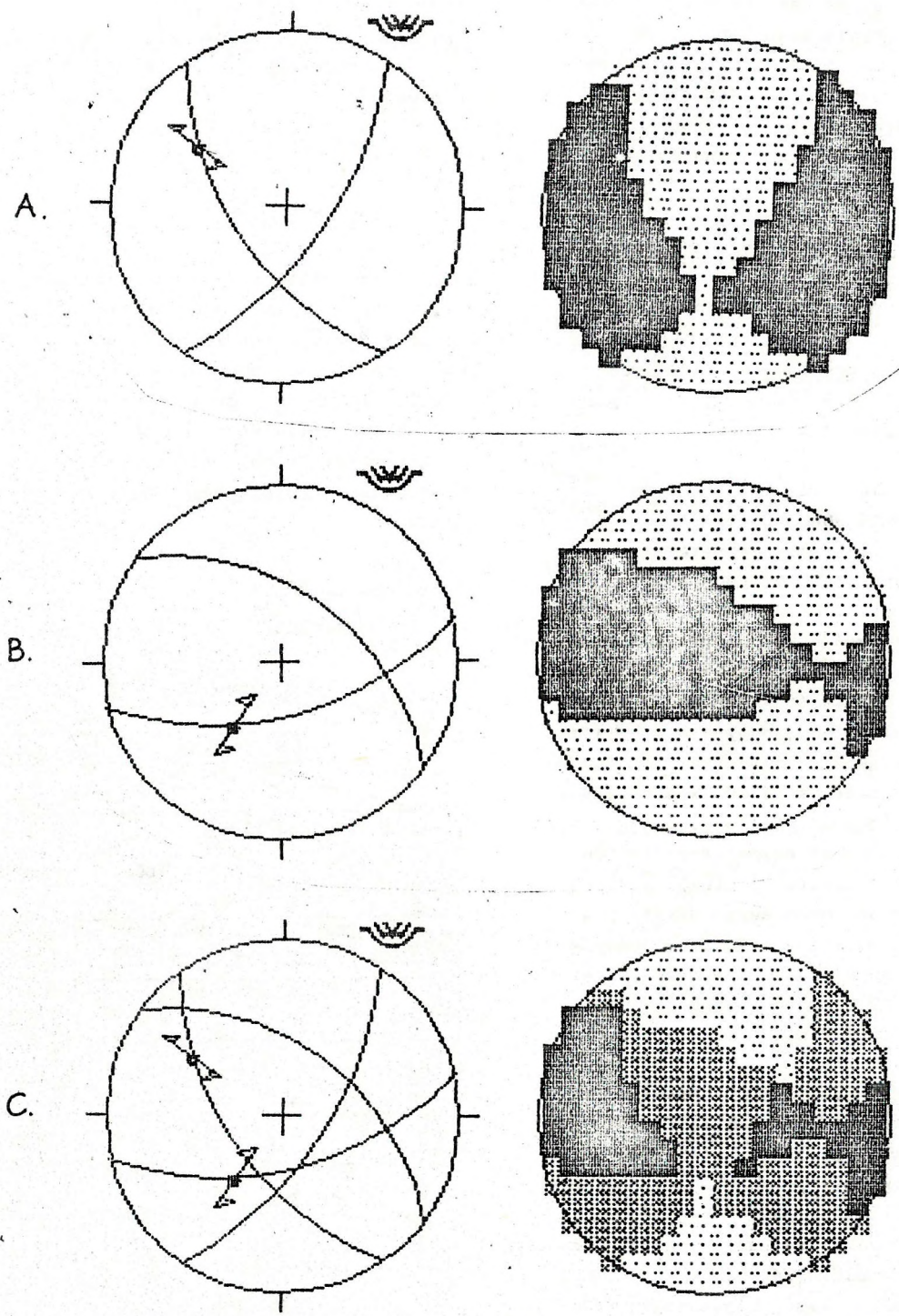


15. ábra A vető síkja és a vetőkarra merőleges segédsík által meghatározott kompressziós és extenziós térfelületek. Fig. 15. Compressional (K) and extensional (E) right dihedral bounded by the plane of the fault, and by the auxiliary plane which is perpendicular to the slickenslide.



16. ábra A 15. ábra vetületi képe. A pontozott részek kompressziósak, a fehérek extenziósak. Fig. 16. Projection of Fig. 15. Dotted areas are compressive.

Pontosabb képet nyerünk a főfeszültségek irányáról akkor, ha egy-egy vető által meghatározott kompressziós és extenziós negyedek összeadjuk (17. ábra). Továbbra is kompressziót jelentő értéket rendelünk azokhoz a helyekhez, amelyek mindegyik vetőnél kompressziós értéket mutatnak, és hasonlóan járunk el a minden vetőnél extenziót mutató pontoknál is. Azok a területek, melyek egyik vetőnél kompressziósak, másiknál extenziósak voltak, az összeadás után nyilván



17. ábra Két vetőkarc által meghatározott kompressziós és extenziós térszögek (A,B) összeadása. Az összegnél (C) azok a részek lesznek csak feketék illetve fehérek, amelyek minden vetőnél csak kompressziósak vagy csak extenziósak voltak.

fekete: kompresszió

fehér: extenzió

szürke: egyik vetőnél kompresszió, a másikonál extenziós jellegű térrész

Fig.17. Projection of compressional and extensional right dihedral (A,B) and their "sum" (C). On C the black and white represent the areas which are compressive and extensional on both stereographic plots.

black: compressional area

white: extensional area

grey: extensional on one stereographic plot and compressive on the other.

nem tartalmazhatják sem a maximális, sem a minimális főfeszültség tengelyét. Ha az összes vetőre elvégezzük az összeadást, a tengelyek egy kisebb tartományon belül keresendők, és irányuk viszonylag jó közelítéssel meghatározható.

4.3. A módszer számítógépes megoldása

Különösen előnyös a számítógépek alkalmazása ezen a területen, hiszen a rajzolás így gyorsabb és kényelmesebb mint manuálisan. A feladat gépi megoldása három lépésben történik:

4.3.1. A sík dőlésirányának és dőlésszögének értékéből a vető síkját ábrázoljuk (2.1.1.), és meghatározzuk a vetőkarc helyét is a köríven (2.2.2.).

4.3.2. A segédsík megszerkesztése a vetőkarcra merőlegesen.

Itt az előző pontnak azt a részeredményét használjuk fel, hogy a vetőkarc megjelenítése során kiszámoltuk a karc alapfelületi dőléspontjának koordinátáit. Ezekből az adatokból 1.1.2. alapján adódik az elmozdulás egyenesének dőlésszöge (DS) és dőlésiránya (DI). Mivel erre az egyenesre merőleges síkot akarunk szerkeszteni (7.ábra), a segédsík dőlésszöge = $90-DS$. Innen már a 2.1.1. pontban leírtak szerint a segédsík szerkeszthető.

4.3.3. Mindkét köríven kívül, illetve mindkét köríven belül található pontok azonos feszültségteret jeleznek. Ezzel ellentétes jellegű feszültség tartozik az olyan pontokhoz, amelyek csak az egyik köríven vannak kívül, a másikon pedig belül (16.ábra).

Ezek alapján kiszámoljuk egy pont távolságát a körök középpontjától, és összehasonlítva a sugarakkal eldönthető, hogy mely körön van kívül és melyiken belül. Miután így megállapítottuk egy pont helyét az alapkörben, az elmozdulás jellegétől függő értéket rendelünk hozzá.

Végül az egyes vetők által jelzett

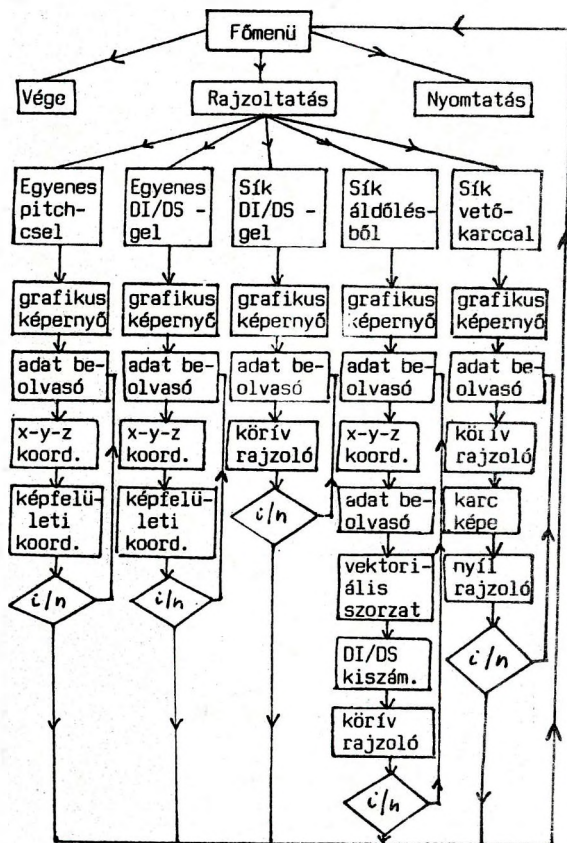
negyedeket a 17.ábrán látható módon összeadjuk, és a szórások miatt pontosabban lehatárolódnak a főfeszültségek irányai.

5. PROGRAMOK C-64 -RE

Az ismertetett számításokat felhasználva két programot készítettem C-64-re, de az eljárások más számítógépen is alkalmazhatók. Az egyszerű ábrázolásokon kívül érdemes a többi szerkesztést a felhasználó kívánsága szerint alakítani, hiszen a leírt lehetőségeken felül még számos más probléma megoldására használhatók.

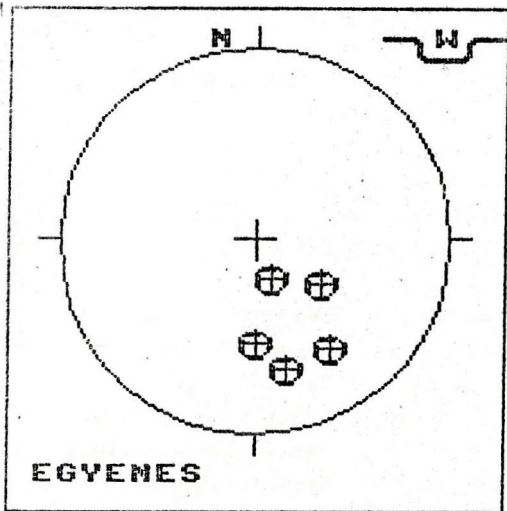
5.1 Sztereogram

Folyamatábra:

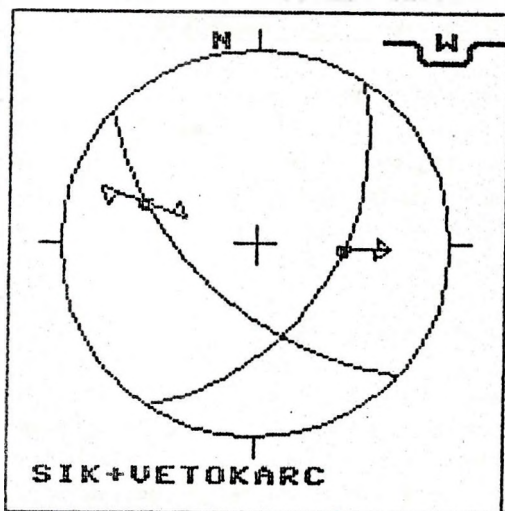


18.ábra A Sztereogram nevű program folyamatábrája.
Fig.18. Algorithms of program called Sztereogram.

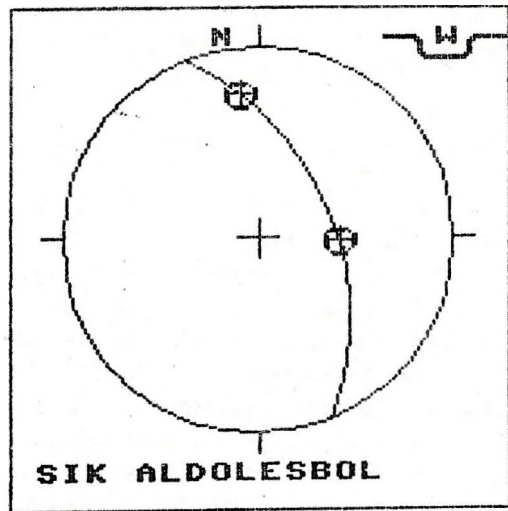
A program (18.ábra) a felhasználó választása - pontosabban a meglévő adatok - alapján ábrázolni tud egyenest (19.ábra) és síkot dőlésszög és dőlésirány alapján, valamint egyenest pitch-csel lemérve is. Lehetőség van sík és vetőkarc együttes ábrázolására is (20. ábra). Az egyszerű szerkesztések közül síkot tud szerkeszteni két áldőléséből (21.ábra), ugyanakkor megadja a sík dőlésirányát és dőlésszögét is.



19.ábra Egyenes ábrázolása a program segítségével.
Fig.19. Stereographic plot showing lineations drawing by the program.



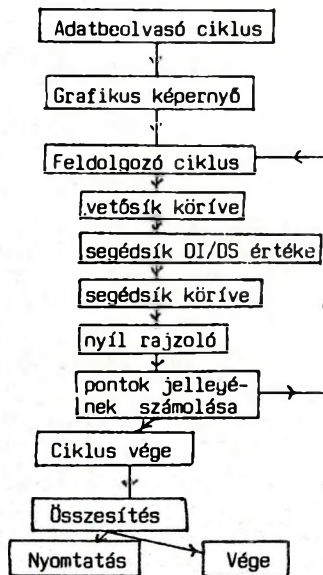
20.ábra Sík és a rajta mért vetőkarc ábrázolása a programmal.
Fig.20. Stereographic plot showing fault planes and slickenslides drawn by the program.



21.ábra Sík szerkesztése két áldőléséből.
Fig.21. Two lines of the plane can be used to construction of the plane itself.

5.2 Vetőanalízis

Folyamatábra:



22.ábra A Vetőanalízis nevű program folyamatábrája.
Fig.22. Algorithms of program called Vetőanalízis.

A 4.2 pontban található módszer számítógépi futtatását teszi lehetővé ez a program (22.ábra). A beírt adatokból

ábrázolja a vető síkját, a vetőkarcot és a segédsíkot, valamint kiszámolja az alapkör pontjaiban a feszültség jellegét. Az egyes vetőkre kapott rajzokat a gép összegzi, és önálló ábrában jeleníti meg.

A következő példa jól szemlélteti a program alkalmazási területét. A szlovákiai Jablonica-ból származó adatokat Fodor László bocsátotta a rendelkezésemre, és feldolgozásukat az előbb ismertetett programmal végeztem el.

Először a program segítségével megnéztem, hogy külön-külön az egyes adatok milyen jellegű feszültségteret jeleznek. A hasonló jellegű teret mutató rajzokat igyekeztem csoportokba sorolni, majd összeadtam az általuk jelzett feszültségtereket. (DI=vetősík dőlésiránya; DS=vetősík dőléssöge; p=egyenes pitch-e; IR= pitch iránya, jell=az elmozdulás jellege, F=feltolódás; N=normálvető)

	DI	DS	p	IR	jell
1. csop.	90	89	38	É	F
	270	55	18	D	F
	100	56	12	É	F
	70	50	12	É	F
	352	64	61	K	F
	8	46	76	K	F
	358	48	70	K	F
	247	60	24	D	F
	242	83	14	D	F
	212	70	25	D	F
	232	80	23	D	F
	314	72	5	D	N
2. csop.	103	65	10	D	F
	100	56	5	É	N
	90	89	30	É	N
	90	89	67	É	N
	56	72	60	É	N
	316	63	68	É	F
	70	50	14	D	F

3. csop.	272	60	70	É	N
	272	60	84	D	N
	103	65	84	É	N
	100	56	75	É	N
	70	50	72	D	N
	70	50	40	D	N
	316	63	68	É	N
	278	44	56	É	N
	286	75	68	É	N
	260	65	52	É	N
	317	40	55	D	N
	330	47	53	DNY	N
	20	55	28	NY	N
	22	60	40	NY	N

Az adatsorból látható, hogy azonos dőlésszögű és dőlésirányú vetősíkok különböző csoportokba kerültek (pl.70/50 vagy 100/56) a rajtuk talált eltérő irányú vetőkarcok alapján. Ez azt jelzi, hogy a területen több fázisban mozogtak illetve újultak fel a vetők.

Az adatok a fenti csoportosításban a 23.ábrán jelzett maximális és minimális főfeszültség-irányokat mutatják. A vetőrendszer többfázisú mozgása ezek alapján nyilvánvaló, hiszen az 1. és a 2. csoport feszültségtere nem létezhetett egyszerre. A fázisok időbeli sorrendjének megállapítása terepi feladat.

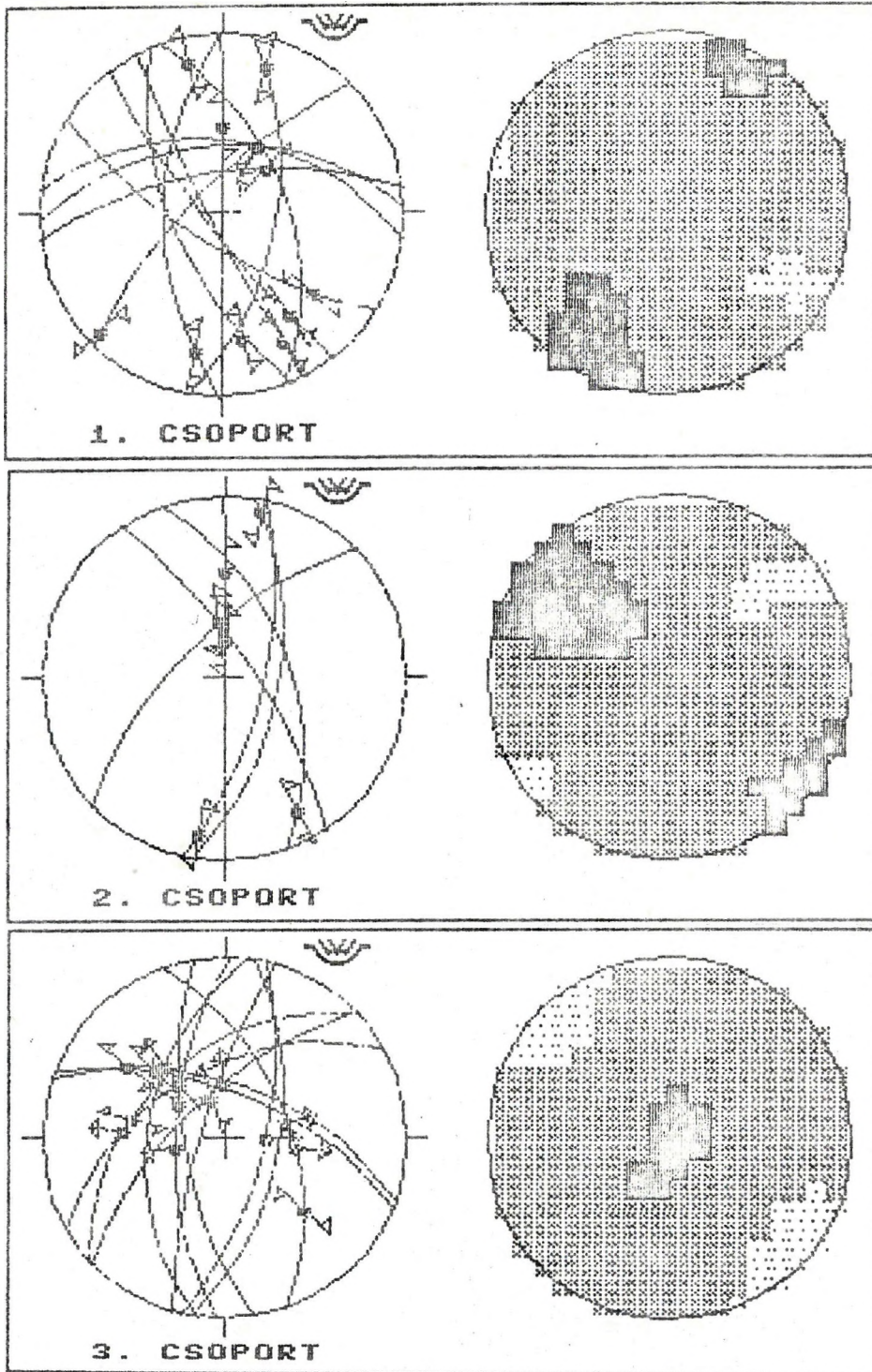
5.3 Néhány fontosabb programrészlet

Az eddig levezetett formulák gépi futtatásához több, nem matematikai tartalmú programrész is szükséges. Ilyen például az adatkezelés, a számítógép grafikus képernyőjének kezelése vagy a nyomtatási utasítások.

5.3.1 Adatkezelés

A legegyszerűbb adatkezelő alprogram csak a dőlésirányt és -szöget olvassa be, és csak a 0-90 illetve a 0-360 fok közti értéket fogad el, amelyeket a szögfüggvények használata miatt átvált radiánba.

Ha egyenest pitch-csel adunk meg, akkor a fenti két adaton kívül még a



23.ábra A jablonicai (Kis-Kárpátok) adatok által jelzett különböző jellegű feszültségterek, valamint az egyes csoportokba sorolt vetők sztereogramjai.

- 1.csoport ÉK-DNY irányú kompresszió
ÉNY-DK irányú extenzió
- 2.csoport ÉNY-DK irányú kompresszió
ÉK-DNY irányú extenzió
- 3.csoport függőleges irányú kompresszió
ÉNY-DK irányú extenzió

Fig.23. Plots of faults and slicken-slides measured at Jablonica (Male Karpaty Mts., Slovakia) and the approximate positions of axes (black) and (white). The faults were separated three phases.

- group 1.compression oriented to NE-SW
extension oriented to NW-SE
- group 2.compression oriented to NW-SE
extension oriented to NE-SW
- group 3.compression oriented to vertical
extension oriented to NW-SE

pitch szögét kell beolvasnunk a 0-90 tartományban, valamint kéri az egyenes dőlésirányát is. Az elfogadott gyakorlat szerint ezt nem az északkal bezárt szöggel, hanem az égtáj (É,ÉK,K,DK,D, DNY,NY,ÉNY) megjelölésével adjuk meg. A pitch és az irány egybevetésével lehet egyértelművé tenni az egyenes helyzetét a sík csapásához viszonyítva. Ezután a pitch értéke 0 - 180 fok közé esik.

Vetőanalízisnél a vető jellegére vonatkozó adatot is meg kell adnunk. Ha az elmozdulás normálvető, akkor N-et, ha feltolódás, akkor F-et vár a gép. Más betűt válaszként nem fogad el.



5.3.2 A C-64 grafikus rendszere

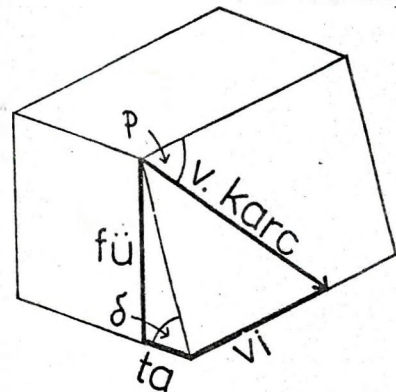
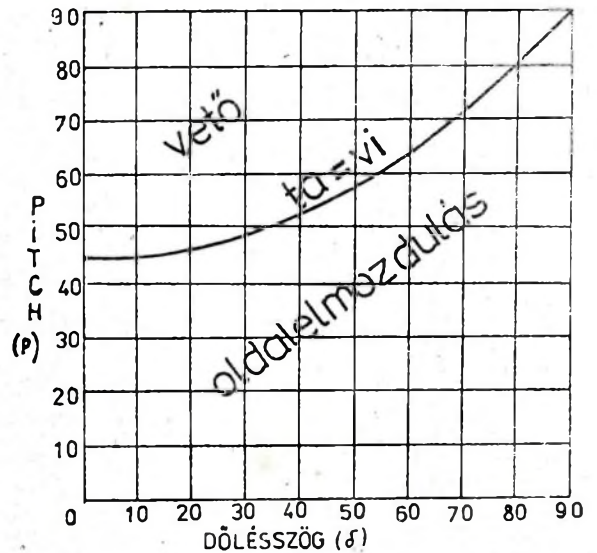
A programok futtatása előtt a GRAPHIC'S BASIC nevű segédprogramot kell a gépbe tölteni. Az így kapott grafikus rendszer gyors, lehetőség van lemezre kimásolni a képernyőt és a rajz nyomtatása is egyszerű. A képernyő 320x200-as felbontású.

A legnagyobb nehézséget az okozza, hogy a program koordináta-rendszere fordított járású a kompasz forgásához viszonyítva, és a kezdő értéke (nulla fok) a 90 foknál van. Tehát a dőlésirányt az x tengelytől számítja a gép, az óramutató járásával ellentétes irányban. Ahhoz, hogy a képernyőn a megfelelő állású és forgásirányú koordinátarendszert kapjuk, a $DI' = -(DI + 3 \cdot \pi / 2)$ kifejezést alkalmazzuk a programban.

A segédprogram lehetőséget ad az ún. sprite-ok használatára, amelyekkel tetszőleges alakzat jeleníthető meg a 320 x 200-as képernyőn 20x20-as nagyságban. Ezek segítségével ábrázolja a program vetőanalízisnél a kapott eredményeket. Az alakzatokat a tonus. spr nevű program tárolja, amely a főprogram futása közben töltődik be a gépbe. Sajnos erről a programról nem lehet programlistát adni, ellenben az EDIT utasítás begépelése után tetszés szerint szerkeszthetők (Erdős et al. 1986).

5.3.3. Vetőkarcok ábrázolása

A vetőkarcok szemléltetése nyilakkal történhet, amelyek irányát a vető jellege befolyásolja. Alsó félgömb vetület esetén feltolódásnál a nyíl a kör középpontja felé mutat, míg normálvetőnél kifelé. A nyilak típusát a pitch szöge és a dőlésszög együttesen határozza meg (24. ábra). Amennyiben a csapásmenti elmozdulás nagyobb a távulási komponensnél, akkor  fajtát, ellenkező esetben  típust rajzol a gép.



24. ábra A vetőkarc irányát meghatározó két szög (dőlésszög (δ) és pitch (p) és a vető jellege közti összefüggés. Fig.24. The function between the two angles (dip of angle (δ) and pitch of line (p) which determinates the type of the fault.

A legszebb rajz természetesen rajzó-
lógépen (plotteren) készülne. Sajnos
ilyen képek készítésére nem volt lehető-
ségem. A nyomtatókkal készült rajzon a
vonalak nem folytonosak, hanem - a tech-
nikai felépítés miatt - pontokból össze-
rakottak. Nehézséget okoz, hogy minden
nyomtató torzít. Ahhoz, hogy a kapott
rajz valóban kör legyen, az szükséges,
hogy az x koordinátákat egy nyújtási
faktórral (NY) beszorozzuk. Ezt az ér-
teket minden printerre külön ki kell
számolni. A képernyőn megjelenő rajz -
cserébe a kinyomtatott szabályos körért
- kissé torz lesz, ami azonban az
értelmezést nem zavarja.

ANGELIER, J. (1979) : Neotectonique de l'arc
égéen. Société géologique du Nord. publication
n.3., 20-40.

ANGELIER, J., MECHLER, P. (1977) : Sur une methode
graphique de recherche des contraintes principales
egalement utilisable en tectonique et en
seismologie: la methode de diedres droits. Bull.
Soc. Géol. France, 7, 1309-1318.

BRONSTEIN I.N., SZEMENGYAJEV K.A. (1982) :
Matematikai zsebkönyv. Műszaki Könyvkiadó, Buda-
pest

ERDÉLYI J. (1953) : Kristályszerkesztés és
kristályszerkesztés. Akadémiai Kiadó, Budapest

ERDŐS I., NÉMETH I., SCHMIDT E., SZÉKELY L. (1985)
: 1001 játék és a Graphic's Basic C-64 -re. LSI
Alkalmazástechnikai Tanácsadó Szolgálat, Budapest

DÖVÉNYI P., FODOR L., HORVÁTH F. (1988) :
Közetfeszültségi viszonyok meghatározási
lehetőségének vizsgálata mélyfúrásokban
lyukbőrségadatok alapján. Kutatási jelentés,
kézirat, ELTE Geofizikai Tanszék, Budapest

LISLIE, R.J. (1987) : Principal stress
orientations from faults: an additional
constraint. Annales tectonicae. vol.I.-n.2.
153-153

PIRKÓ J. (1988) : 3D Perspektívikus grafika. LSI
Alkalmazástechnikai Tanácsadó Szolgálat, Budapest

SKRAPITS I. (1989) : Mechanika. ELTE TTK egyetemi
jegyzet, Tankönyvkiadó

STEGENA L. (1988) : Vetülettan. Tankönyvkiadó,
Budapest


```

SZTEREOGRAM
10 rem
20 rem          főmenü
30 rem
40 reset
50 border black
60 background black:color white
70 text
80 r=75:ny=2.6/3.1
90 print"clr"
100 print"          STEREOGRAM          "
110 print"          v.l.                  "
120 print"          "
130 print"          rajzoltatás : F3      "
140 print"          nyomtatás   : F5      "
150 print"          vége        : F7      "
160 print"          "
170 print"          (c) Gerner Péter 1990. "
180 print"          "
190 get a$:ifa$="" then 190
200 ifa$=chr$(134) then 240
210 ifa$=chr$(135) then 2070
220 ifa$=chr$(136) then print"clr":end
230 goto 190
240 rem
250 rem          rajzoló menü
260 rem
270 print"clr"
280 print"          Kilépés : 0"
290 print"          "
300 print"          egyenes pitch-csel   : 1"
310 print"          egyenes DI /DS -gel  : 2"
320 print"          sík DI / DS -gel     : 3"
330 print"          sík áldölésekből szerk. : 4"
340 print"          sík vetőkarcral együtt : 5"
350 print"          "
360 get aa$:ifa$="" then 360
370 if aa$=chr$(40) then 70
380 if aa$=chr$(49) then 920
390 if aa$=chr$(50) then 800
400 if aa$=chr$(51) then 1030
410 if aa$=chr$(52) then 460
420 if aa$=chr$(53) then 1110
430 goto 360
440 rem
450 rem
460 rem
470 rem          A. sík áldölésből
480 rem
490 oo=l:clear:print"clr"
500 gosub 1730
510 gosub 1400: rem          pitch beolvasó
520 gosub 2000: rem          pitch-ből dx,dy,dz
530 a1=dx:a2=dy:a3=dz
540 wx=(-r·dx/(r+dz))·ny
550 wy=-r·dy/(r+dz)
560 line wx+5,wy to wx-5,wy
565 line wx,wy+5 to wx,wy-5:circlewx,wy xysize5,5
570 gosub 1400: rem          pitch beolvasó
580 gosub 2000: rem          p-ből dx,dy,dz
590 b1=dx:b2=dy:b3=dz
600 wx=(-r·dx/(r+dz))·ny
610 wy=-r·dy/(r+dz)
620 line wx+5,wy to wx-5,wy
625 line wx,wy+5 to wx,wy-5:circlewx,wy xysize5,5
630 dx=a2·b3-a3·b2 :rem a sík normálvektorának
640 dy=a3·b1-a1·b3 :rem          koordinátái
650 dz=a1·b2-a2·b1
660 a=sqr(dx·dx+dy·dy)
670 if dz<0 then dz=-dz:dy=-dy:dx=-dx
680 ds=atn(abs(dz)/a)
690 b=dy/a
700 di=-atn(b/sqr(1-b·b))+π/2
710 if dx<0 then di=2·π-di:rem a sík dőlésiránya
720 ds=π/2-ds :rem a sík dőlésszöge

```

```

730 print at 23,5:oo di·180/π," /",ds·180/π
740 di -(di+3·π/2)
750 gosub 2100 :rem a sík köríve
760 gosub 1900
770 goto 510
780 end
790 rem
800 rem          B. egyenes DI / DS -ből
810 rem
820 clear:print"clr":oo=l:gosub 1730
830 gosub 1300 :rem DI/DS beolvasó
840 dx=-r·cos(ds)·cos(di)
850 dy=-r·cos(ds)·sin(di)
860 dz=r·sin(ds)
870 wx=(-r·dx/(dz+r))·ny:rem a képfelületi koord.
880 wy=-r·dy/(dz+r)
890 line wx+5,wytowx-5,wy:line wx,wy+5towx,wy-5
895 circle wx,wy xysize 5,5
900 gosub 1900
910 goto 830
920 rem
930 rem          C. egyenes pitch-ből
940 rem
950 clear:print"clr":oo=l:gosub 1730
960 gosub 1400 :rem pitch beolvasó
970 gosub 2000 :rem pitch-ből dx,dy,dz
980 wx=(-r·dx/(r+dz))·ny
990 wy=-r·dy/(r+dz) :rem képfelületi koord.
1000 line wx+5,wytowx-5,wy:line wx,wy+5towx,wy-5
1005 circle wx,wy xysize 5,5
1010 gosub 1900
1020 goto 960
1030 rem
1040 rem          0. sík DI/DS-ből
1050 rem
1060 clear:print"clr":oo=l:gosub 1730
1070 gosub 1300 :rem DI/DS beolvasó
1080 gosub 2100 :rem körív rajzoló
1090 gosub 1900
1100 goto 1070
1110 rem
1120 rem          E. sík és vetőkarc
1130 rem
1140 clear:print"clr":oo=l:gosub 1730
1150 gosub 1400 :rem pitch beolvasó
1160 gosub 2100 :rem körív rajzoló
1170 gosub 2000
1180 wx=(-r·dx/(r+dz))·ny
1190 wy=-r·dy/(r+dz)
1200 gosub 2400 :rem nyíl rajzoló
1210 circle wx,wy xysize 2,2
1220 gosub 1900
1230 goto 1150
1240 rem
1250 rem          szubrutinok
1260 rem
1270 rem
1280 rem          DI/DS beolvasó szubrutin
1290 rem
1300 rem
1310 input"dőlésirány ";ca:di=ca
1320 if di>360 or di<0 then 1310
1330 input"dőlésszög ";da:ds=da
1340 if ds>90 or ds<0 then 1330
1350 di=di/180
1360 di=-(di+3·π/2)
1370 ds=ds/180
1380 return
1390 rem
1400 rem          pitch beolvasó szubrutin
1410 rem
1420 input"dőlésirány ";ca:di=ca
1430 if di>360 or di<0 then 1420
1440 input"dőlésszög ";da:ds=da
1450 if ds>90 or ds<0 then 1440
1460 input"egyenes dőlésiránya";a

```

```

1470 if a$=chr$(69) then ir=0:gotol580
1480 if a$=chr$(69)+chr$(75) then ir=π/4:gotol580
1490 if a$=chr$(75) then ir=2·π/4:gotol580
1500 if a$=chr$(68)+chr$(75) then ir=3·π/4
1505 goto 1580
1510 if a$=chr$(68) then ir=π:gotol580
1520 if a$=chr$(68)+chr$(78)+chr$(89) then ir=5·π/4
1525 goto 1580
1530 if a$=chr$(78)+chr$(89) then ir=6·π/4
1535 goto 1580
1540 if a$=chr$(69)+chr$(78)+chr$(89) then ir=7·π/4
1545 goto 1580
1550 print"a lehetséges irányok:"
1560 print"É,D,K,NY,ÉK,DK,DNY,ÉNY"
1570 geta$:ifa="" then 1570 else 1460
1580 input"egyenes dőlésszöge";ps
1590 if ps>90 or ps<0 then 1580
1600 di=di·π/180 :rem átváltás radiánba
1610 ps=ps·π/180
1620 ds=ds·π/180
1630 cc=di+π
1640 if cc>2·π then cc=cc-2·π
1650 if cc<0 then cc=2·π+cc
1660 if di<0 then if ir<di and ir>cc then ps=π-ps:0=1
1670 if di>0 then if ir>di and ir<cc then ps=ps:0=-1
1680 if di<0 then if ir<di and ir>cc then ps=ps:0=-1
1690 if di>0 then if ir>di and ir<cc then ps=π-ps:0=1
1700 di=-di+3·π/2)
1710 return
1720 end
1730 rem
1740 rem grafikus képernyő
1750 rem
1760 hires
1780 gprint at 16,2" W "
1790 gprint at 16,3" "
1800 gprint at 9,2"N"
1810 text from 22
1820 setorigin 80,110
1830 circle 0,0 xysize r ny,r
1840 line0,-11/10·r to 0,-r :line 0,r to 0,11/10·r
1845 line 0,-r/10 to 0,r/10
1850 line -11/10·r·ny,0 to -r·ny,0
1855 line r·ny,0 to 11/10·r·ny,0
1860 line -r·ny/10,0 to r·ny/10,0
1870 return
1880 end
1890 rem
1900 rem szöveg
1910 rem
1920 print" újabb rajz = space"
1930 print" kilépés = 0 "
1940 geta$:if a$="" then 1940
1950 if a$=chr$(32) then oo=oo+1:return
1960 if a$=chr$(48) then 70
1970 goto 1940
1980 end
2000 rem pitch-ből x-y-z koord.
2010 rem
2020 my=-r·sin(ps)·cos(ds)
2030 mx=-r·cos(ps)
2040 ca=ca·π/180
2050 dx=mx·cos(ca)+my·sin(ca): rem a koordináták
2060 dy=-mx·sin(ca)+my·cos(ca):rem deréksz. koord
2070 dz=r·sin(ps)·sin(ds)
2080 return
2090 end
2100 rem
2110 rem körív rajzoló
2130 wo=r·tan((π/2-ds)/2)
2140 if ds=π/2 then 2240
2150 es=(wo·wo+r·r)/2/wo :rem a körív sugara
2160 ex=(es-wo)·cos(di+π):rem a középpont koord.
2170 ey=(es-wo)·sin(di+π)
2180 fl=di+π/2

```

```

2190 f2=di+3·π/2
2200 lx=r·cos(f1) :rem a metszéspontok
2210 ly=r·sin(f1)
2220 kx=r·cos(f2)
2230 ky=r·sin(f2)
2240 if ds=π/2 then linelx·ny,ly tokx·ny,ky:return
2250 le=(ly-ey)/(lx-ex)
2260 ke=(ky-ey)/(kx-ex)
2270 a=(le-ke)/(1+le·ke)
2280 fi=atn(a) :rem a két egyenes szöge
2290 if ds<π/4 then fi=π+fi
2300 x2=kx:y2=ky:a=-abs(fi/10)
2310 fore=1 to i0 :rem a forgatás
2320 x1=cos(a)·(x2-ex)+sin(a)·(y2-ey)+ex
2330 y1=cos(a)·(y2-ey)-sin(a)·(x2-ex)+ey
2340 line x2·ry,y2 to x1·ny,yl
2350 x2=x1:y2=y1
2360 next e
2370 return
2380 end
2400 rem nyíl rajzoló
2420 print"normálvető = N feltolódás = F"
2430 get n$:if n$="" then 2430
2440 if n$="N" then a=1:goto 2470
2450 if n$="F" then a=-1:goto 2470
2460 goto 2430
2470 wo=sqr(wx·wx+wy·wy)
2480 vi=abs(mx):fu=abs(dz)
2490 n=(wo-wx)·(wo-wx)+wy·wy
2500 fc=(2·wo·wo-n)/(2·wo·wo)
2510 s=atn(fc/sqr(1-fc·fc))+π/2
2520 if wy<0 then s=2·π-s
2530 if vi<fu then 2660:rem az elmozdulások aránya
2540 xa=(wo+a·15)·cos(s)
2550 ya=(wo+a·15)·sin(s): rem a nyílak végpontja
2560 line xa,ya to wx,wy
2570 ww=(wo+a·10)·cos(s)
2580 qq=(wo+a·10)·sin(s)
2590 vl=ww+4·cos(s+π/2)
2600 v2=qq+4·sin(s+π/2)
2610 v3=ww-4·cos(s+π/2)
2620 v4=qq-4·sin(s+π/2)
2630 line vl,v2 to xa,ya to v3,v4
2640 line vl,v2 to v3,v4
2650 return
2660 rem oldalelmozdulás
2670 xa=(wo+15)·cos(s)
2680 ya=(wo+15)·sin(s) : rem a nyíl végpontjai
2690 xb=(wo-15)·cos(s)
2700 yb=(wo-15)·sin(s)
2710 line xa,ya to xb,yb
2720 yq=(wo+10)·sin(s)
2730 xq=(wo+10)·cos(s)
2740 xw=(wo-10)·cos(s)
2750 yw=(wo-10)·sin(s)
2760 n=0·a
2780 xi=n·(yb-yw)+xw
2790 yi=-n·(xb-xw)+yw
2800 line xi,yi to xw,yw
2810 line xi,yi to xb,yb
2820 xj=n·(ya-yq)+xq
2830 yj=-n·(xa-xq)+yq
2840 line xj,yj to xq,yq
2850 line xj,yj to xa,ya
2860 return
2870 rem
2880 rem nyomtatás
2890 rem
2900 print"clr"
2910 input" mi az ábra jele (max 18 betű)";ft$
2920 hires
2930 gprint at 2,23;ft$
2940 box -80,-105 xysize 160,1400
2950 cody hires to printer
2960 goto 70

```


VETŐANALÍZIS

```

10 rem
20 rem      adatok beolvasása
30 rem
40 print"clr"      :rem képernyő törlés
50 dim v$(30)
60 dim di(30)      :rem memória fogla-
70 dim ds(30)      :rem lása az adatok
80 dim ps(30)      :rem tárolásához
90 dim o(30)
100 dime(20,20)
110 input"hány adat van";ad
120 for i=1 to ad      :rem adatbeolvasó
130 print i;". adatsor" :rem ciklus
140 input"sík dőlésiránya";di(i)
150 if di(i)>360 or di(i)<0 then 140
160 input"sík dőlésszöge";ds(i)
170 if ds(i)>90 or ds(i)<0 then 160
180 input"egyenes dőlésiránya";a$
190 if a$=chr$(69) then ir=0:goto300
200 if a$=chr$(69)+chr$(75) then ir=π/4:goto300
210 if a$=chr$(75) then ir=2·π/4:goto300
220 if a$=chr$(68)+chr$(75) then ir=3·π/4:goto300
230 if a$=chr$(68) then ir=π:goto300
240 if a$=chr$(68)+chr$(78)+chr$(89) then ir=5·π/4
245 goto300
250 if a$=chr$(78)+chr$(89) then ir=6·π/4:goto300
260 if a$=chr$(69)+chr$(78)+chr$(89) then ir=7·π/4
265 goto300
270 print"a lehetséges irányok : "
280 print"É,K,D,NY,ÉK,DK,ÉNY,DK":rem pitch iránya
290 geta$:ifa$=""then290:else 180
300 input"az egyenes dőlésszöge";ps(i)
310 if ps(i)>90 or ps(i)<0 then 300
320 print"az elmozdulás jellege"
330 input"normálvető (N) feltölődés (F)";v$(i)
335 a =v$(i)
340 if a$="F" or a$="N" then350:else330
350 ds(i)=ds(i)·π/180
360 di=di(i)·π/180 :rem átváltás radiánba
370 p=ps(i)·π/180
380 cc=di+π :rem az egyenes szögének
390 if cc>2·π then cc=cc-2·π :rem értéke
400 if cc<0 then cc=2·π+cc
410 if di>cc then ifir<di and ir<cc then ps(i)=π-p:o=1
420 if di<cc then if ir>di or ir<cc then ps(i)=p:o=-1
430 if di<cc then if ir>di and ir<cc then ps(i)=p:o=-1
440 if di>cc then if ir<di or ir>cc then ps(i)=π-p:o=1
450 di(i)=-di+3·π/2:rem DI átváltása
460 next i :rem az adatbeolvasó ciklus vége
480 rem
490 rem      grafikus képernyő beállítás
500 rem
520 sprite load "tonus.spr":rem sprite betöltése
530 reset
540 hires
550 border black;background black;color white
560 r=75:ny=2.6/3.1:rem a torzítás aránya :ny=y/x
570 sprite8 shape 18
580 sprite 8 at 105,196 on
590 copy sprite8 to hires
600 text from 22
610 setorigin 78,110
620 circle 0,0 xysize r ny,r
630 line 0,-11/10·r to 0,-r:line 0,r to 0,11/10·r
635 line 0,-r/10 to 0,r/10
640 line -11/10·r·ny,0 to -r·ny,0
645 line r·ny,0 to 11/10·r·ny,0
650 line -r·ny/10,0 to r·ny/10,0
670 rem
680 rem      körívek megrajzolása
690 rem
710 for qw=1 to ad
720 di=di(qw)

```

```

730 ds=ds(qw)
740 p=ps(qw)
750 gosub 1500 :rem a vető síkjának ábrázolása
760 il=ex:j1=ey:r1=es :rem l.középpontja és sugara
770 mx=-r·cos(p)
780 my=-r·sin(p)·cos(ds)
790 di=-(di+3·π/2)
800 dx=mx·cos(di)+my·sin(di) :rem a vetőkarc
810 dy=-mx·sin(di)+my·cos(di) :rem koordinátái
820 dz=r·sin(p)·sin(ds) :rem 3 dim.-ban
830 wx=-r·dx/(r+dz)
840 wy=-r·dy/(r+dz) :rem a képfelületen
850 circle wx·ny,wy xysize 2,2
860 wo=sqr(wx·wx+wy·wy)
870 a=sqr(dx·dx+dy·dy)
880 ds=π/2-atn(dz/a) :rem a vetőkarc dőlésszöge
890 b=dy/a :rem és dőlésiránya
900 di=-atn(b/sqr(1-b·b))+π/2
905 if dx<0 then di=2·π-di:di=-(di+3·π/2)
910 fu=abs(my):rem függőleges elmozdulás
920 vi=abs(mx):rem csapásmenti elmozdulás
930 if v$(qw)="f" then v=-1
940 if v$(qw)="n" then v=1
950 o=v·o(qw):rem az oldalirányú elmozdulás jell.
960 if vi>fu then gosub 1810:rem oldalelmozdulás
970 if vi<fu then gosub 2040 :rem vető
980 gosub 1500:rem a segédsík ábrázolása
990 i2=ex:j2=ey:r2=es:tt=ti:rem a kör adatai
1000 rem
1020 rem      pontok jellegének kiszámolása
1030 rem
1050 for x=-68 to 68 step 8
1060 for y=-68 to 68 step 8
1070 ta=sqr(x·x+y·y)
1080 if ta>r then1170:rem alapkörön kívüli pontok
1090 t1=sqr((x-i1)·(x-i1)+(y-j1)·(y-j1))
1100 if t1>r1 then al=-1:else al=1
1105 rem az A körön kívüliek
1110 t2=sqr((x-i2)·(x-i2)+(y-j2)·(y-j2))
1120 if t2>r2 then a2=-1:else a2=1
1125 rem az S körön kívüliek
1130 aa=a1·a2
1135 rem azonos jellegű negyedekben aa egyforma
1140 cx=(x-4)/8+10
1150 cy=(y-4)/8+10
1160 if aa=v then e(cx,cy)=e(cx,cy)+1
1170 nexty:nextx :rem egy sík kész
1180 next qw
1200 rem
1210 rem      a számolás összesítése
1220 rem
1240 c=0
1250 for x=-68 to 68 step 8
1260 for y=-68 to 68 step 8
1270 ta=sqr(x·x+y·y)
1280 if ta r then 1380
1290 cx=(x-4)/8+10
1300 cy=(y-4)/8+10
1310 m=e(cx,cy):sp=13 :rem atlagérték
1320 if c=1 then sp=1+int(m/ad·10)
1330 if m=0 then sp=12-c·11 :rem minimum
1340 if m=ad then sp=14-c·3 :rem maximum
1350 spritel shape sp:spritel under background
1360 spritel on at x·ny+150,y+2:rem értékeknek
1370 copy spritel to hires :rem megfelelő tónus
1380 nexty:nextx
1390 copy spritel to hires
1400 sprite off:circle 154,0 xysize r ny,r
1410 print"shift crsr le"
1420 print"nyomtatás : p"
1430 print"vége : v"
1440 print"számmal : s"
1450 get a$:if a$=""then 1450
1460 if a$="p" then copy hires to printer:gotoi410
1470 if a$="s" then clear:c=1:ny=1:goto1250

```



```

1480 if a$="v" then reset:end
1490 goto 1450
1500 rem
1520 rem                körív rajzolás
1530 rem
1550 wo=r*tan((π/2-ds)/2)
1560 if ds=π/2 then 1600
1570 es=(wo-wo+r*r)/2/wo      :rem kör sugara
1580 ex=(es-wo)*cos(di+π) :rem kör koordinátái
1590 ey=(es-wo)*sin(di+π)
1600 f1=di+π/2                :rem metszéspontok
1610 f2=di+3*π/2:rem
1620 lx=r*cos(f1)
1630 ly=r*sin(f1)
1640 kx=r*cos(f2)
1650 ky=r*sin(f2)
1660 ifds=π/2 then linelx ny,lytokx ny,ky:return
1670 ke=(ky-ey)/(kx-ex):rem metszéspontokon és a
1680 le=(ly-ey)/(lx-ex):rem kör középpontján átme-
1690 a=(le-ke)/(1+ke le):rem nő egyenesek mere-
1700 fi=atn(a)                :rem dekaéje
1710 if ds<π/4 thenfi=π+fi:rem két egyenes szöge
1720 a=-abs(fi/10)
1730 x2=kx:y2=ky            :rem az egyik metszéspont
1740 for e=1 to 10 :rem elforgatása 10 lépéssel
1750 x1=cos(a)*(x2-ex)+sin(a)*(y2-ey)+ex
1760 y1=cos(a)*(y2-ey)-sin(a)*(x2-ex)+ey .
1770 line x2.ny,y2 to x1.ny,y1
1780 x2=x1:y2=y1
1790 next e
1800 return
1810 rem
1830 rem oldalelmozdulást jelző nyíl rajzolása
1840 rem
1860 lx=(wo-15)*cos(df)*ny :rem nyíl végpontja
1870 ly=(wo-15)*sin(df)
1880 kx=(wo+15)*cos(df)*ny
1890 ky=(wo+15)*sin(df)
1900 line lx,ly to kx,ky
1910 qx=(wo-10)*cos(df)*ny
1920 qy=(wo-10)*sin(df)
1930 wx=(wo+10)*cos(df)*ny
1940 wy=(wo+10)*sin(df)
1950 ax=qx+o*(ly-qy)        :rem a nyíl hegye
1960 ay=qy-o*(lx-qx)
1970 line ax,ay to qx,qy:rem oldalelmozdulás
1980 line ax,ay to lx,ly
1990 bx=wx+o*(ky-wy)
2000 by=wy-o*(kx-wx)
2010 line bx,by to wx,wy
2020 line bx,by to kx,ky
2030 return
2040 rem
2060 rem                vetőt jelző nyíl rajzolása
2070 rem
2090 lx=(wo+v*14)*cos(df) :rem nyíl végpontja
2100 ly=(wo+v*14)*sin(df)
2110 line lx.ny,ly to wx.ny,wy
2120 qx=(wo+v*10)*cos(df)
2130 qy=(wo+v*10)*sin(df)
2140 ax=qx+v*(ly-qy)
2150 ay=qy-v*(lx-qx)
2160 line ax.ny,ay to lx.ny,ly
2170 bx=qx-v*(ly-qy)
2180 by=qy+v*(lx-qx)
2190 line bx.ny,by to lx.ny,ly
2200 line ax.ny,ay to bx.ny,by
2210 return

```