

8. MODELLEZÉS AZ ALKATRÉSZGYÁRTÁS TECHNOLÓGIAI TERVEZÉSÉNÉL

E fejezet az alkatrészgyártás technológiai tervezésénél használt modellek közül az **alkatrészek geometriai modellezését** és az alkatrészgyártás **technológiai folyamatának modellezését** tárgyalja. .

8.1. Az alkatrészek geometriai modellezése

Az alkatrészek geometriai modellje a gyártmánymodell (alkatrészmodell) része, mely az alkatrészmodellben kiegészül a műhelyrajz geometriai modellből hiányzó előírásaival. Ilyenek a méretláncok, a tűrések, a felületi minőség előírásai, a munkadarab anyaga, a hőkezelési információk, a szöveges utasítások, melyek vonatkozhatnak a munkadarab ellenőrzésére, a szerelés során megmunkálandó felületekre és így tovább.

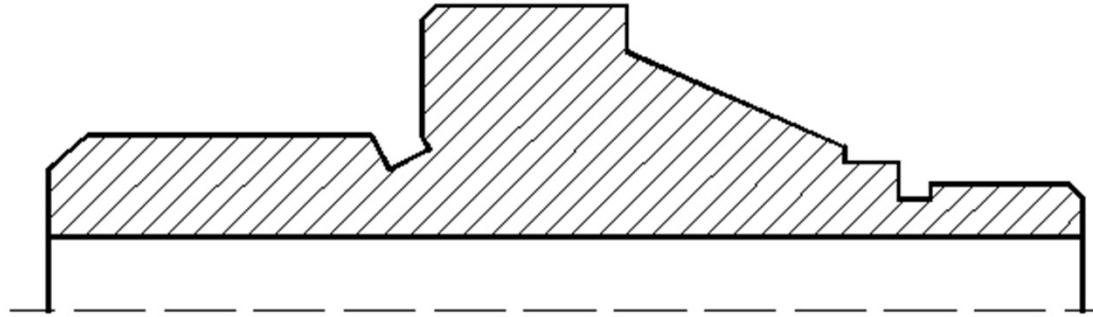
8.1.1. Gépipari alkatrészek geometriai modellezése

A geometriai modellezés fő típusai a következők:

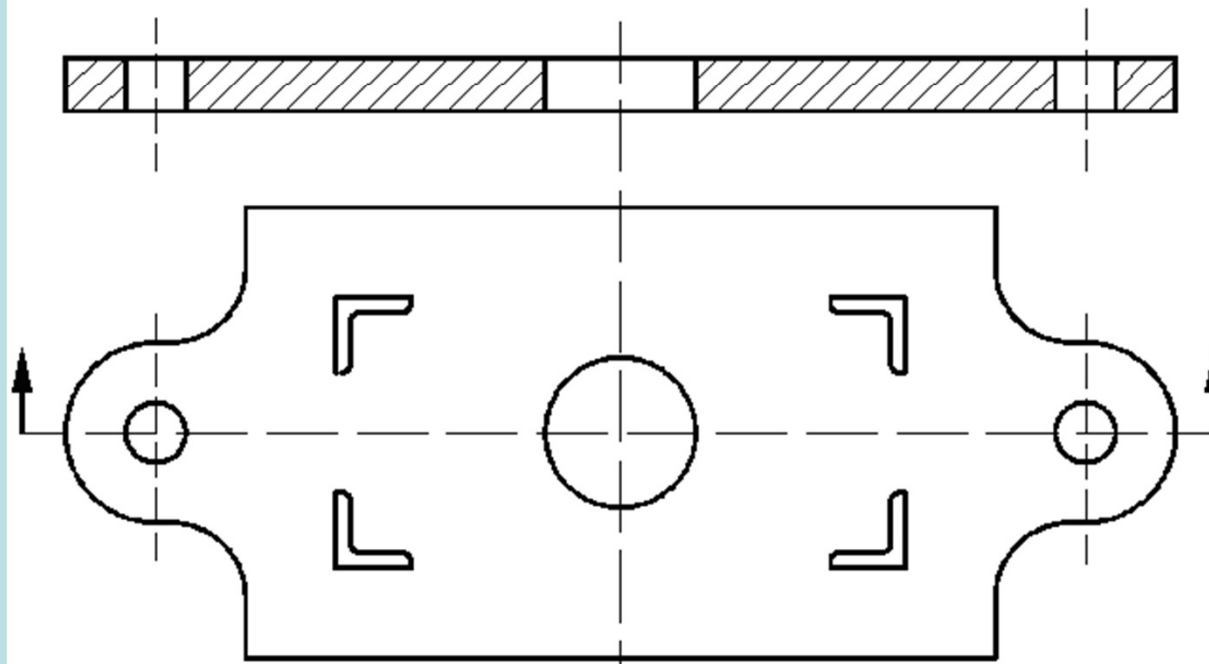
- a) **2D-s modell**, melyek lényege az **alkatrészek kétdimenziós ábrázolása**, síkbeli modellezése (8.1. ábra). Ilyen például az alkatrész műhelyrajza, mely a műszaki dokumentálásban és kommunikációban régóta használatos. Az alkalmazóknak persze ismerniük kell a géprajz szabályait. Ezzel is összefügg, hogy a 2D-s modell számítógépes kezelése **nehézkes**, ezért **technológiai tervezőrendszerekben nem használják** két eset kivételével, ezek:
- a forgástestek, melyeket egyértelműen meghatároz **hosszmenti kontúrjuk** (8.1.a. ábra)
 - a lemezalkatrészek, melyeknél a harmadik dimenziót a **lemezvastagság** adja (8.1.b. ábra)

b) **2.5D-s modell** esetében az ábrázolás XY fősíkkal (igazából bármely fősíkkal) párhuzamos munkasíkokban (8.2. ábra) történik. Az eljárást hívják **teraszolásnak** is, ami azt jelenti, hogy folytonos az ábrázolás a munkasíkokban, a harmadik (z) koordináta mentén az ábrázolás diszkrét. **E modell a technológiai tervezőrendszerekben széles körben használt, ugyanis használata egyszerű és e modell alkalmas minden olyan prizmatikus – köztük szekrényszerű – alkatrész leírására, amelyet sík felületek határolnak, e sík hordozófelületek további felületcsoportokat hordozhatnak.** Szekrényes alkatrészek esetében az XY fősíkkal nem párhuzamos munkasíkok felvételéhez relatív koordinátarendszereket vesznek fel (8.3. ábra). **A munkasíokban a felületcsoport helyzetét és síkmetszeti alakját (pl. a zsebet határoló kontúrt) írja le a modell. A felületcsoport (zseb, horony, furat, stb.) mélységét z-koordináta irányú mélységadattal adják meg.**

a) forgástestek tengelymetszeti kontúrja

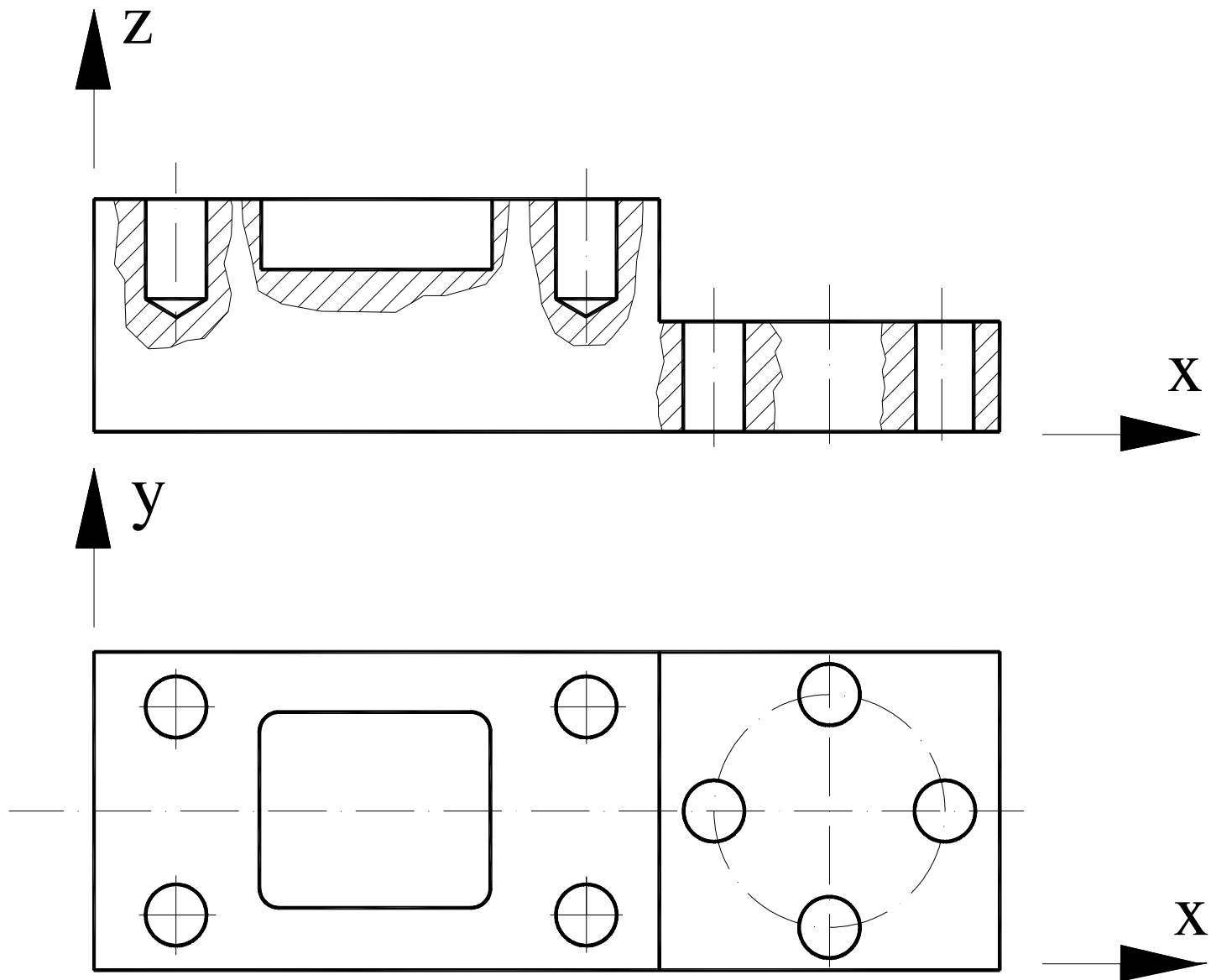


b) lemez-alkatrészek geometriai modellje



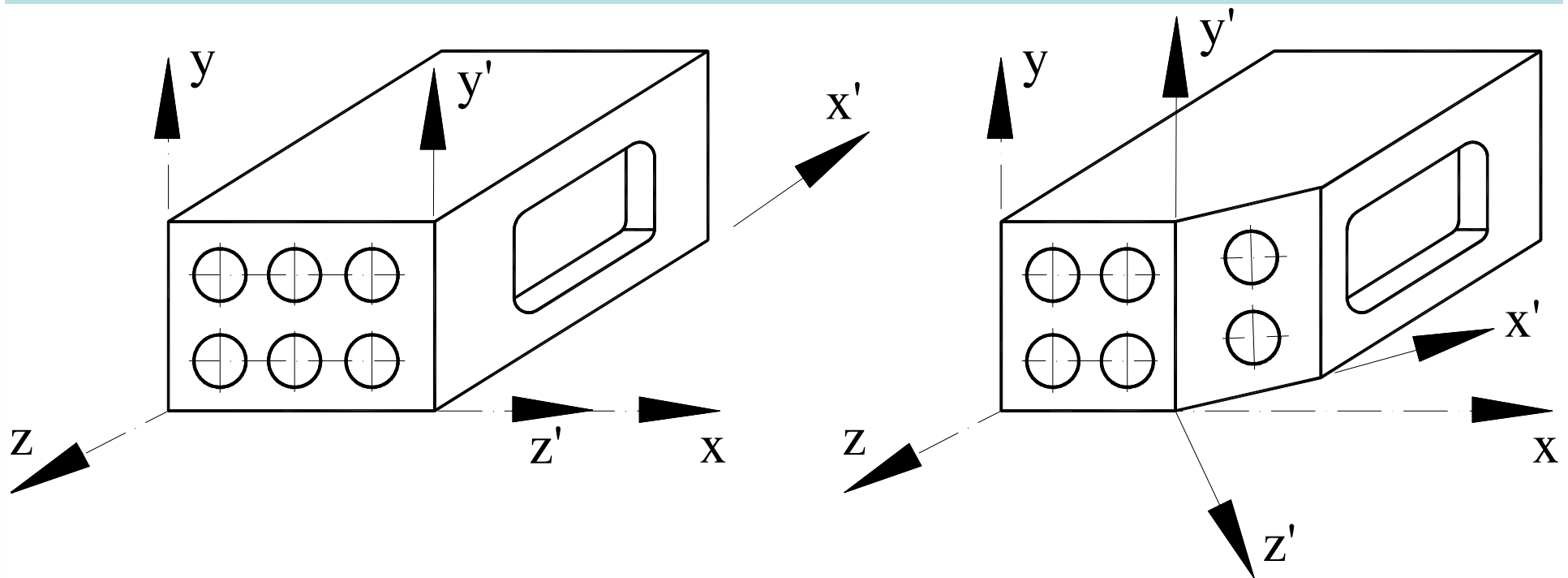
8.1. ábra

Példa a technológiai tervezőrendszerben használt 2D-s modellekre



8.2. ábra

A 2,5 D-s alkatrészmodell



8.3. ábra
A 2,5 D modell kiterjesztett esete

c) **3D-s vagy térbeli modell**, melynek fő típusai:

- **a drótváz modell**, amit úgy képzelhetünk el, mintha az alkatrészeire dróthálót feszítenénk, melynek térbeli hálónálai határozzák meg az alkatrész-geometriát. A drótváz modellt a **technológiai tervezőrendszerek nem használják**, mivel ebben a modellben:
 - nehézséget jelent az átmeneti felületek (élettörések, lekerekítések), alámetszések kezelése,
 - gondot okoz a méret- és tűrésadatok és más jellemzők hozzárendelése a felületelemekhez,
 - szinte megoldhatatlan a technológiai egységet képező felületcsoportok képzése, feltárása, kigyűjtése,

- **a felületmodell** az alkatrész-geometriát felület-primitívekből építi fel, ilyenek:
 - a sík felület,
 - a hengerfelület,
 - a kúpfelület,
 - a gömbfelület,
 - a tóruszfelület,
 - a translációs felület,
 - a vonalfelület,
 - a szoborfelület, stb.

A mai rendszerek valamennyi felülettípust translációs-, vonal vagy szoborfelületként írják le.

- **a volumetrikus vagy test modell** testprimitívekből építkeznek, ilyenek:
 - a kocka,
 - a hasáb,
 - a kúp,
 - a csonkakúp,
 - a gömb,
 - a henger, stb.

A **felület és testmodellezés** esetén a primitívekből való építkezés halmazműveletekkel (**Boole algebra**) történik:

- egyesítés, unió (\cup),
- kivonás ($-$),
- metszetképzés (\cap).

d) **„Feature” alapú** geometriai modell vagy tipizált **felületcsoportokra épülő** modell

A feature-alapú modellezés arra a felismerésre épül, hogy az alkatrész a felületcsoportok rendezett halmaza, azaz a **felületcsoportokból felépíthető az alkatrész**. Ha tipizáljuk a felületcsoportokat, akkor a geometriai modellezés rendszereiben létrehozható olyan feature-készlet, amit eredményesen használhatunk különféle alkatrészek geometriai modellezésére.

A **felületcsoportok (feature)** konstrukciós és/vagy technológiai egységet képező, egymáshoz csatlakozó felületekből áll (8.4. ábra). Ilyen a beszúrás (hosszirányú, keresztirányú), az alászúrás, a menetes felület, a bordás felület, a reteszhorony, a lelapolás, a poligon, a rögzítőfuratok, a lépcsős furat, stb.

8.1.1.1. A geometriai modellezés strukturális elemeinek fő típusai

- a **Pont** (pl. furatközéppontok) definiálható:
 - koordinátaival, (P_i=POINT/x, y, [z])
 - két egyenes metszéspontjaként, (P₁= POINT/LINE1, LINE2)
 - kör és egyenes metszéspontjaként, (P₂= POINT/C1, L1, XSMALL)
 - két kör metszéspontjaként, stb. (P₃= POINT/C1, C2, YLARGE)
- a **Pontminta** a pontok rendezett halmaza, mely egyenes szakaszon vagy osztókörön fekszik. **Általában furatközéppontokat jelölnek.** (8.5. ábra)

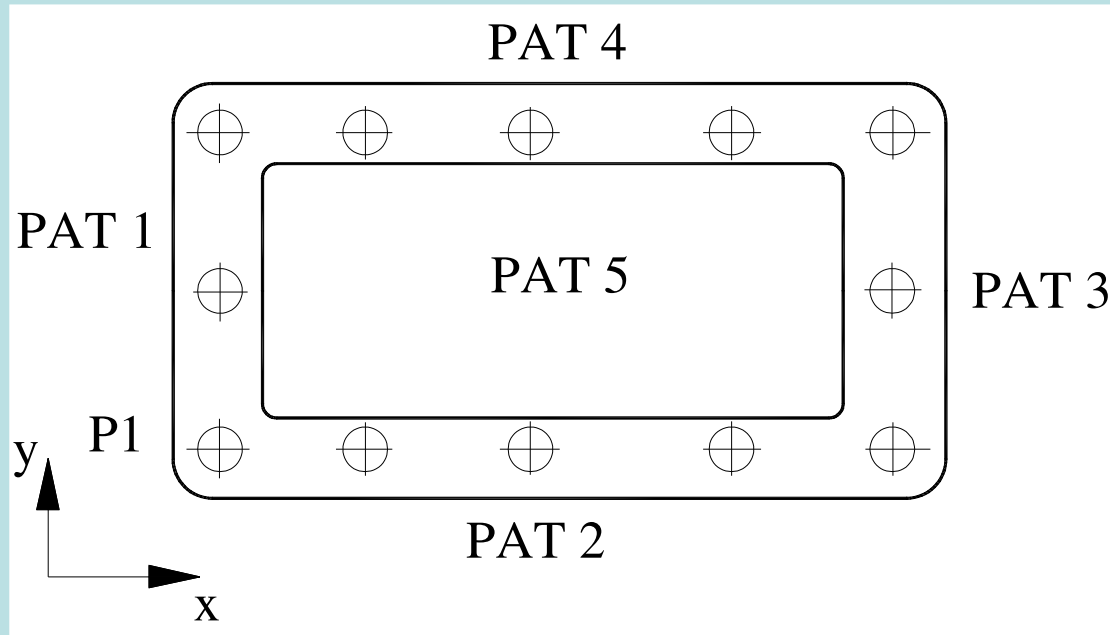
A 8.5. ábrán a PAT5 pontmintát a PAT1, PAT2, PAT3 és PAT4 összevonásával (RANDOM) definiáljuk.

A PAT1 párhuzamos az y-tengellyel (YPAR), a P1 pontból kiindulva az y-nagyobb irányban (YL=YLARGE) a d₁ távolságot kétszer (AT, 2) mérjük fel a P1 feletti két pont meghatározásához.

A PAT2 a PAT1-hez hasonló módon definiálható.

A PAT3 párhuzamos a PAT1-gyel, attól x-nagyobb (XL=XLARGE) irányban d₃ távolságra fekszik.

A PAT4 definíciója a PAT3-éhoz hasonló.



PAT1=PATTERN/P1, YPAR, YL, d1, AT, 2
 PAT2=PATTERN/P1, XPAR, XL, d2, AT, 4
 PAT3=PATTERN/PARLEL, PAT1, d3, XL
 PAT4=PATTERN/PARLEL, PAT2, d4, YL
 PAT5=PATTERN/RANDOM, PAT1, PAT2, PAT3, PAT4

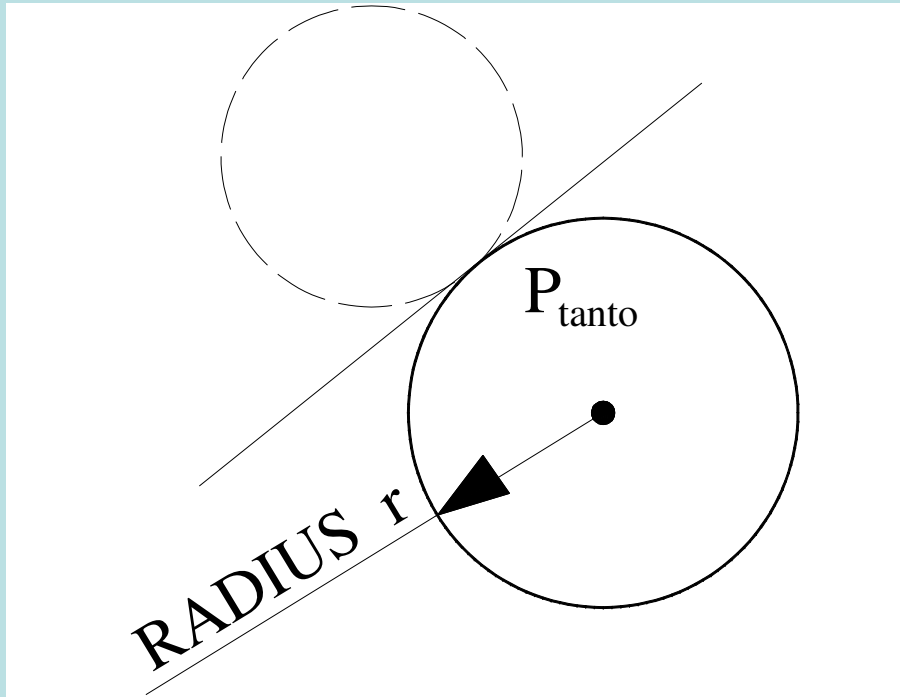
8.5. ábra

Pontminták a kereten lévő furatközéppontok (PAT5) leírására

- az **egyenes**: geometriai segédelem vagy kontúr építőeleme
 - két pontjával (L1=LINE/P1, P2)
 - adott egyenestől (L0) párhuzamosan x-nagyobb irányban „d” távolságra (L1=LINE/, PARLEL, LØ d, XLARGE)
 - adott ponton (P1) átmenő adott kört (C1) y-nagyobb érintési pontban érintő egyenes (L2=LINE/P1, YL)

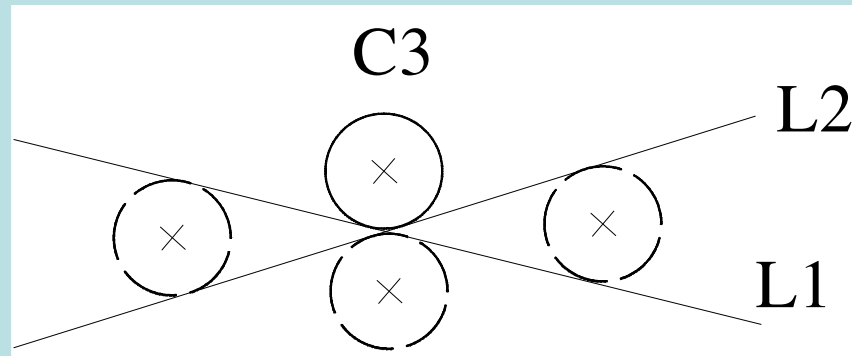
Az egyenesnek további nagyszámú definíciós lehetőségét használhatjuk.

- a **kör** geometriai segédelem vagy funkcionális elem (pl. osztókörön elhelyezkedő furatok középpontjainak megadásához) vagy kontúr építőeleme. Számos definíciója van, itt négyet mutatunk be. (8.6., 8.7., 8.8. ábra)
 - középpontjával és sugarával (RADIUS, r) adott kör (C1=CIRCLE/Pk, RADIUS, r)
 - érintési pontjával (Ptanto), érintőjével (L1) y-kisebb (YS) helyzetével és sugarával (RADIUS, r) adott kör (C2= CIRCLE/Ptando, L1, XL, RADIUS, r)

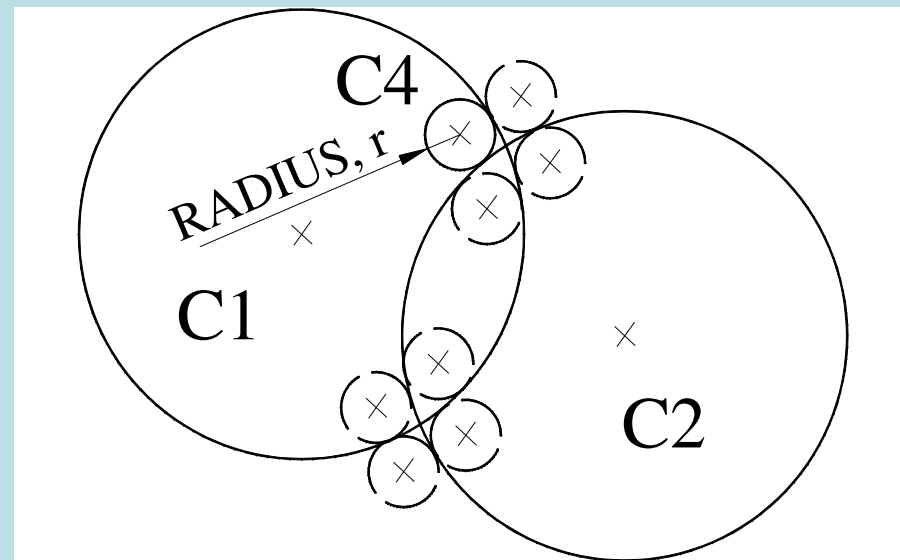


8.6. ábra
Adott egyenest (L1) érintő kör

- kör, mely érinti az L2 egyenest és attól balra (LEFT) fekszik, érinti az L1 egyenest is, az x-nagyobb (XL) helyzetben van, sugara (RADIUS, r) adott
(C3=CIRCLE/LEFT, L2, XL, TANTO, L1, RADIUS, r)
- kör, mely belülről (IN) érinti a C1 kört, kívülről (OUT) a C2 kört, y-nagyobb (YL) helyzetű és sugara (RADIUS, r) adott
(C4=CIRCLE/IN, C1, OUT, C2, YL, RADIUS, r)

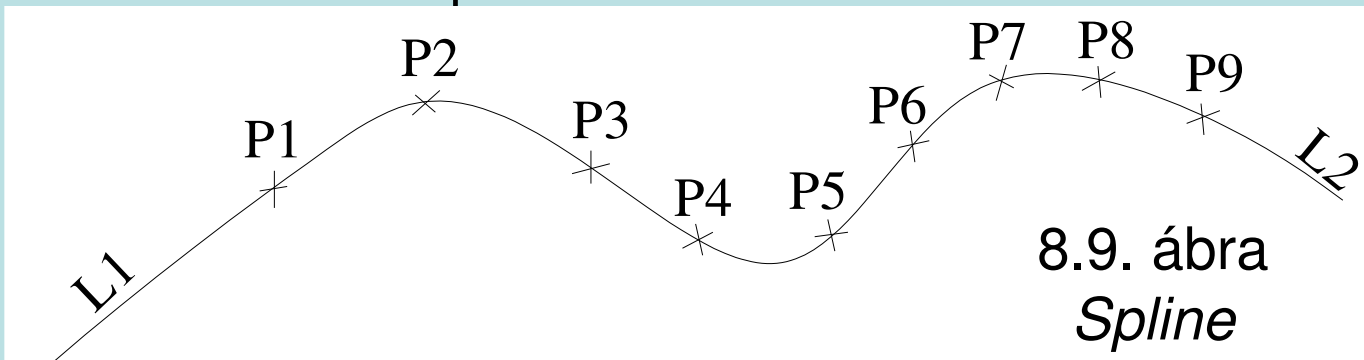


8.7. ábra
Két egyenest (L1, L2) érintő kör



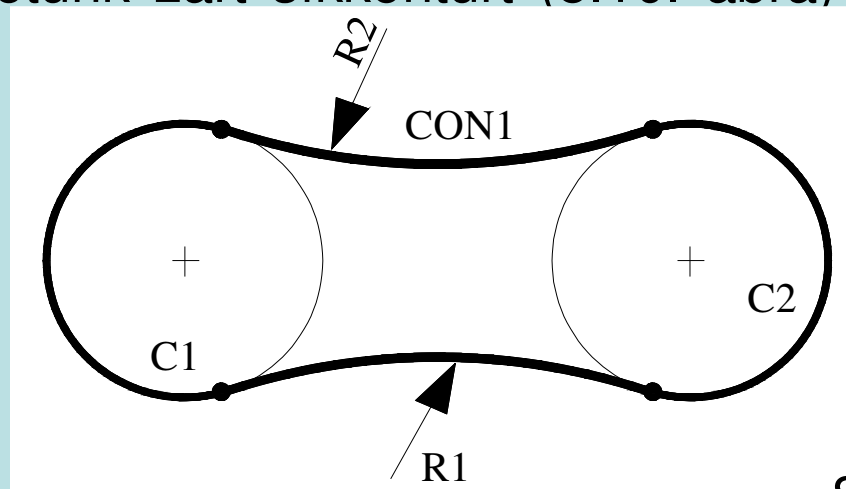
8.8. ábra
Két kört (C1, C2) érintő kör

- **Analitikus görbék** (parabola, ellipszis, stb.)
- **Spline** (szabad formájú síkgörbe) tartópontjaival adott simuló görbe (8.9. ábra) A tartópontok nem feltétlenül görbepontok. Általában a közelítés harmadfokú polinommal történik.

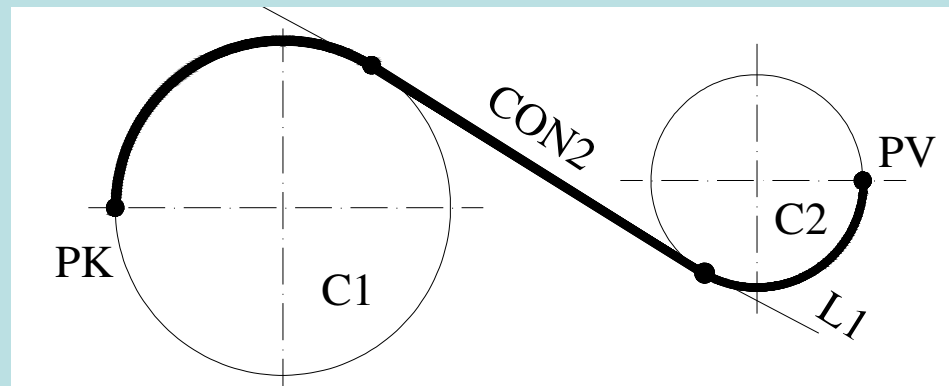


8.9. ábra
Spline

- a **Síkkontúr** összetett geometriai elem, egyenesekből és síkgörbékéből áll. Megkülönböztetünk zárt síkkontúrt (8.10. ábra) és nyitott síkkontúrt (8.11. ábra).



8.10. ábra
Zárt síkkontúr

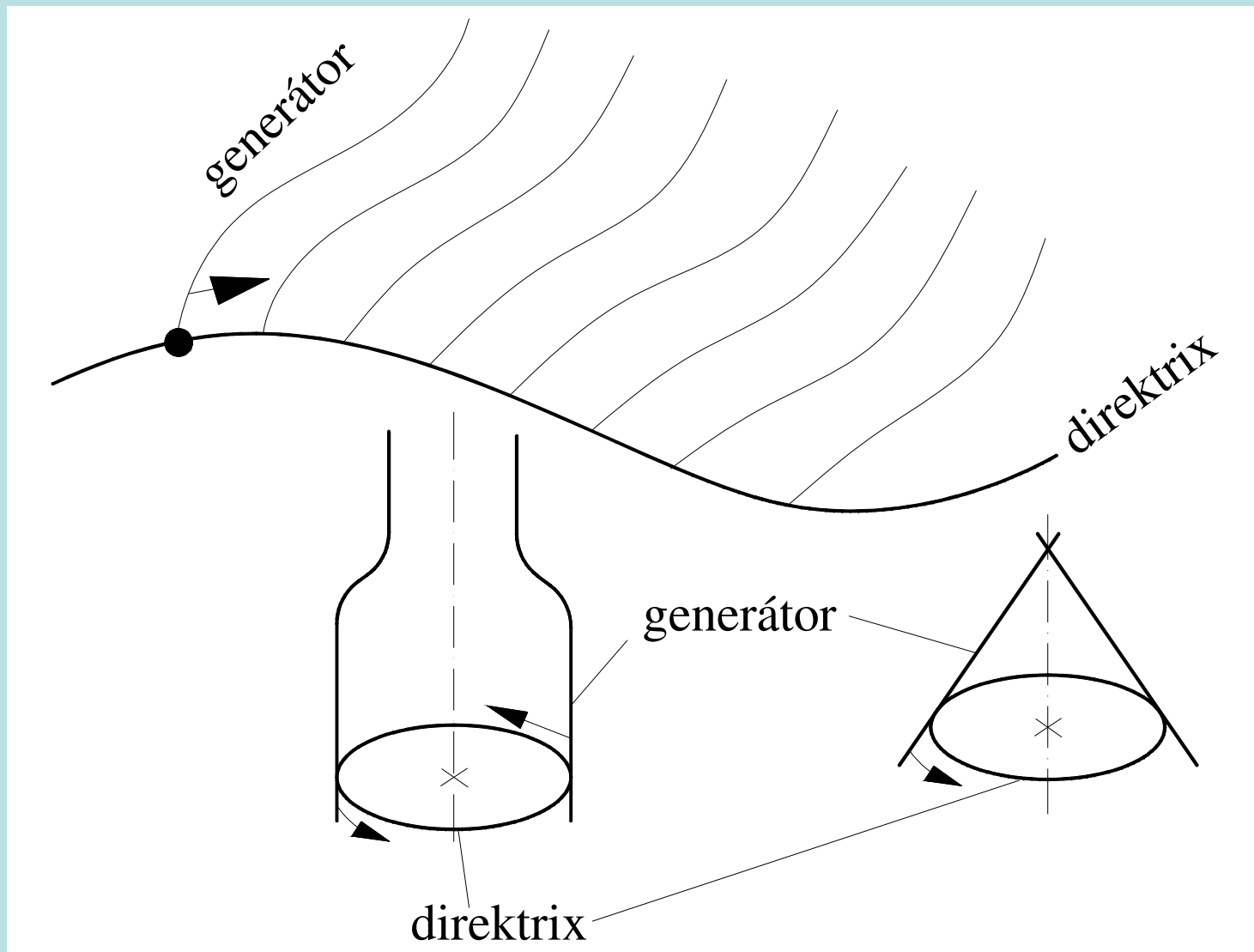


PK – a kontúr kezdőpontja
PV – a kontúr végpontja

8.11. ábra
Nytott síkkontúr

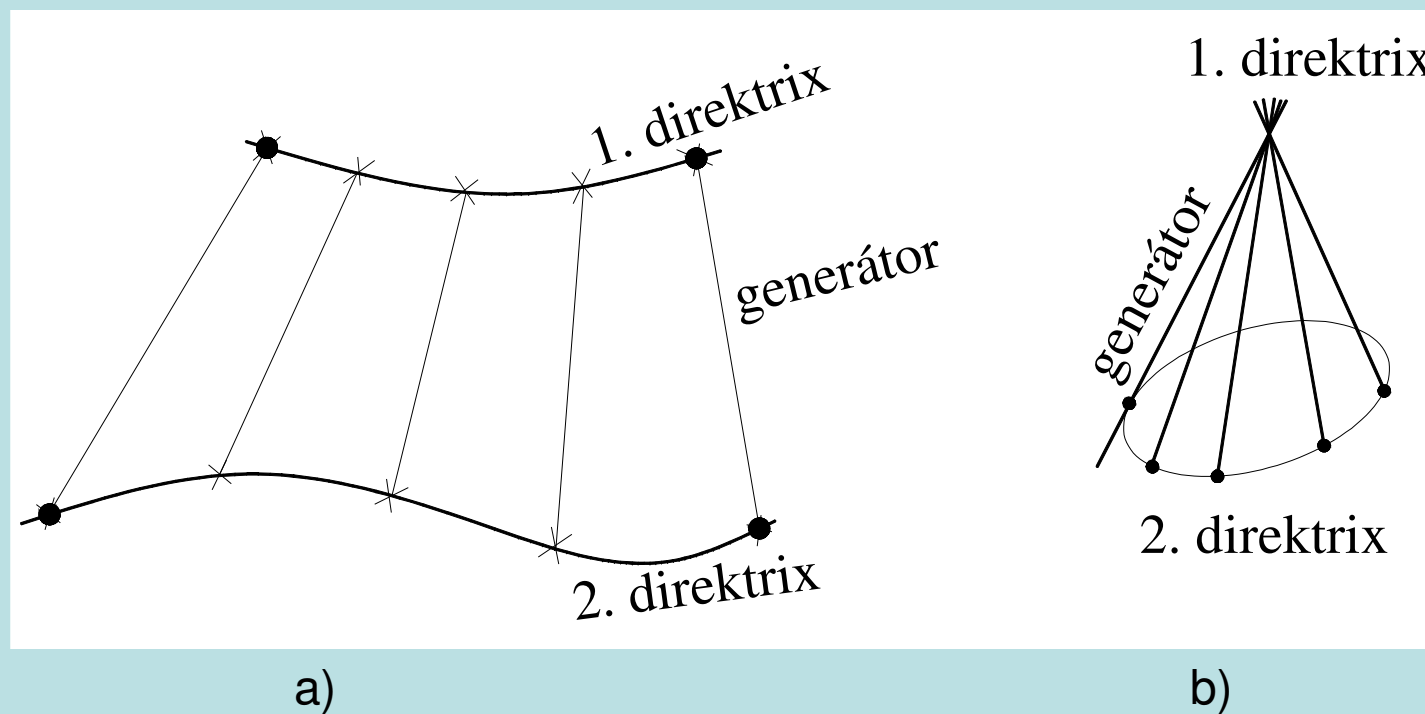
A **felületek** lehetnek analitikusak (sík, gömb, henger, kúp, stb.) és szabad formájúak. Utóbbiak a translációs felületek, a vonalfelületek és a szoborfelületek.

Transzlációs felület (8.12. ábra) úgy képződik, hogy egyik síkgörbe (direktrix) mentén eltoljuk a másik síkgörbét (generátort) valamilyen adott szabály szerint. Kúpfelület képzésénél a generátort egy pontban rögzítjük.



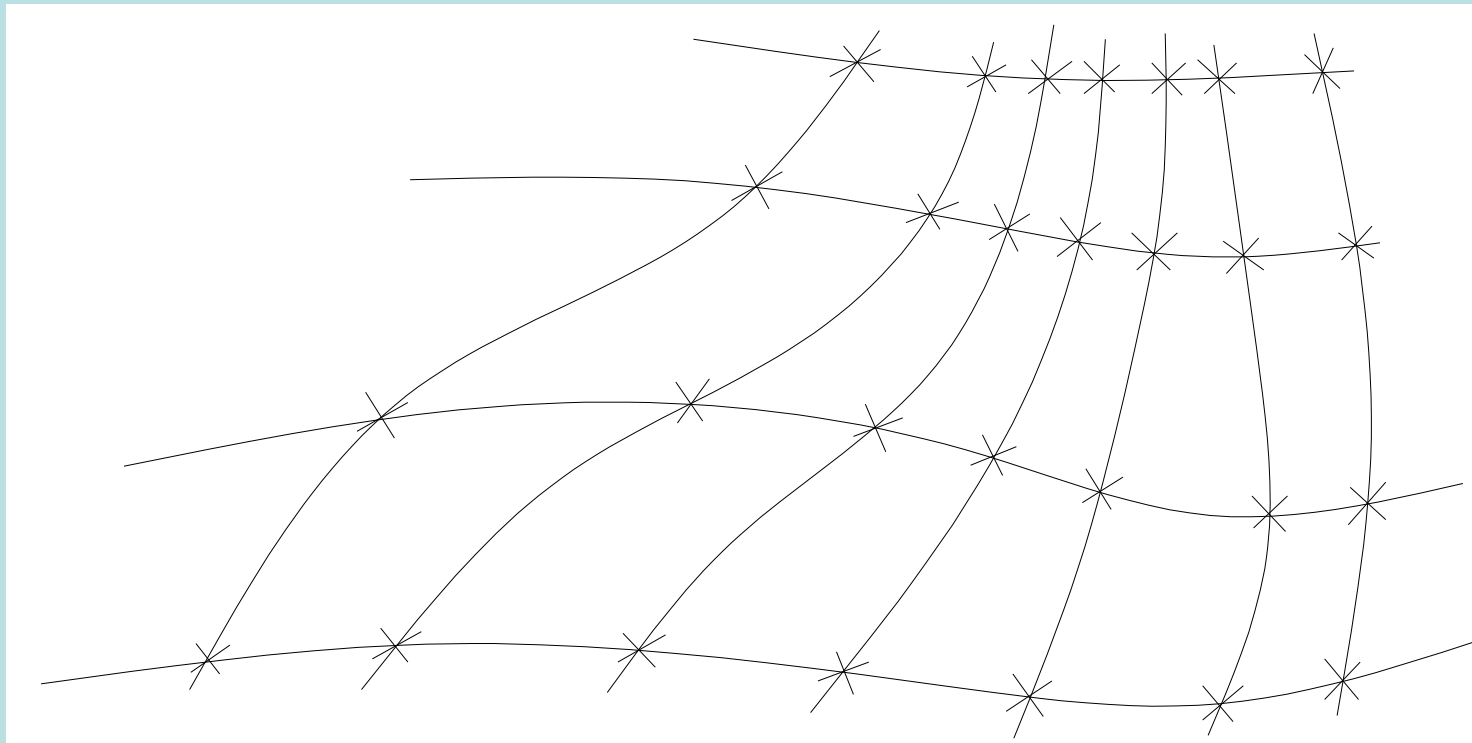
8.12. ábra
Transzlációs felület

Vonalfelület (8.13. ábra) esetében két görbeszakasz (direktrix) és egyenes generátor képezi a felületet. A felület úgy képződik, hogy az egyenes generátort a két direktrix megfelelő végpontjaira illesztjük és úgy mozdítjuk el a két direktrix-görbén, hogy egyszerre érjen a másik két végpontba. Tehát a rövidebb görbeszakaszon lassabban, a hosszabban gyorsabban mozog az egyenes. Kúpfelület esetén az egyik direktrix ponttá zsugorodik. Ez látható a 8.13.b. ábrán.



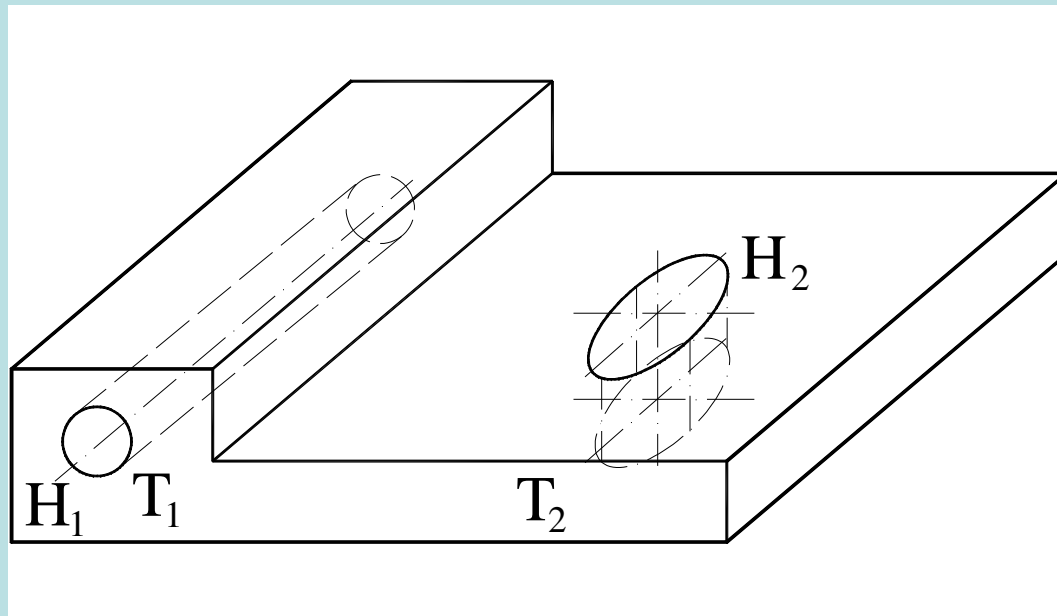
8.13. ábra
Vonalfelület

A **Szoborfelület** (8.14. ábra) a spline térbeli megfelelője. Itt is tartó- illetve támaszpontokat kell megadni, melyekre simuló felületet (nem spline-okat) illeszt a rendszer. A tartópontok nem feltétlenül lesznek részei a felületnek. A felületképzés matematikai háttérére többféle módszer ismert: Bezier, Coons, Renner stb.



8.14. ábra
Szoborfelület

Testprimitívek a kocka, a téglá, a henger, a kúp, a gömb, stb. A testmodellezés a testprimitívekből halmazműveletekkel történik. (8.15. ábra)



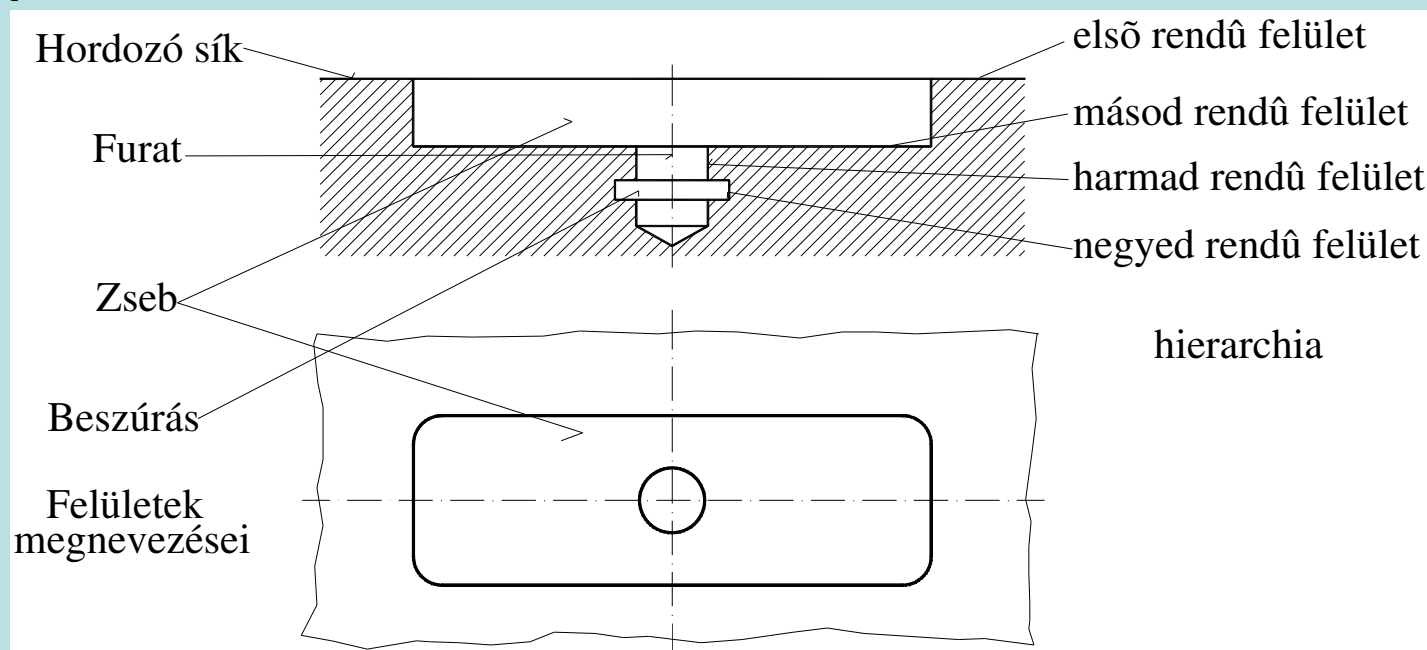
$$\begin{aligned} T &= T_1 \cup T_2 \\ T_1 &= T_1 - H_1 \\ T_2 &= T_2 - H_2 \end{aligned}$$

8.15. ábra

Építkezés testprimitívekből halmazműveletekkel

8.1.1.2. A felületek hierarchiája

Az alkatrészzen **hordozófelület** vagy főelem, amely hordoz további felületcsoportokat, melyek a **hordozott felületek**. (8.16. ábra) Az ábrán a hordozósík hordozza a zsebet. A zseb főelemként (amely egyébként mellékelem) hordozza a furatot. A furat mint főelem hordozza a beszúrást.



8.16. ábra

Felületek hierarchiája

A geometriai modellezésnél is lehet rendező elv, amit célszerű kihasználni (pl.: helyzetadatok öröklődése ismételt megadásuk elkerülésére a hordozott felület leírásánál) és a hierarchiai szinteket megjegyezni. A felületek hierarchiája a megmunkálási sorrendet is befolyásolja.

8.1.1.3. A gyártmánymodell és szabványosításának helyzete

Napjainkban több szabványos adatformátumot használnak a gyártmánymodellek leírására, amelyek a geometriai adatokon túlmenően tartalmaznak méretezési, tűrési, anyag, felületi érdekesség, stb. információkat. Ilyen formátumok: az IGES, a STEP, stb. [73], [166].

8.2. Az alkatrészgyártás technológiai folyamatának modellezése

Megmunkálás során az alkatrész **állapotváltozások sorozatán** megy át. Egy-egy állapothoz minőségi és mennyiségi paraméterek tartoznak. Egy valamilyen (közbenső) állapotra felírható [80]:

$$C_i = F(T_{mi}, T_{ai}, T_{hi}, R_{ai}, F_{ai}, R_{hi}) \quad (8.1)$$

ahol:

C_i - az i-edik közbenső állapot,

T_{mi} - az i-edik méretpontosság,

T_{ai} - az i-edik alakpontosság,

T_{hi} - az i-edik helyzetpontosság,

R_{ai} - az i-edik érdesség,

F_{ai} - az i-edik felületállapot (hőkezelttség, keménység, stb.),

R_{hi} - az i-edik ráhagyás további megmunkálásra.

Az **előgyártmány** (nyers) állapotból egyre finomabb közbenső állapotokon keresztül jutunk el az előírt kész állapotig:

$$C_E \geq C_i \geq C_A \quad (8.2)$$

ahol:

C_E - nyers állapot

C_A - kész állapot

Az alkatrészre és annak egyes felületcsoportjaira is érvényes:

$$C_o \geq C_E \geq C_i \geq C_A \geq C_{\max}. \quad (8.3)$$

ahol:

C_o - a lehetséges (elméleti) legdurvább állapot,
 C_{\max} - a lehetséges (elméleti) legfinomabb állapot.

Egy adott állapot a megmunkálások egy adott sorozatával állítható elő:

$$C_i = F(M_a, M_b, \dots, M_n) \quad (8.4)$$

ahol:

M_a, M_b, \dots, M_n megmunkálási módok sorozata, mely a kiindulás nyers állapotból a kész állapot előállításához szükséges.

Egy megmunkálási mód alkalmazható különböző típusú felületcsoportok állapotának megváltoztatására. Másrészt, egy megmunkálási mód különféle gyártóberendezéseken végrehajtható. Továbbá egy gyártóberendezésen többféle megmunkálási mód megvalósítható. Fontos az is, hogy egy felületcsoport megmunkálására más-más megmunkálási mód is szóba jöhet. Három fő részből áll. Kapcsolat van az adott típusú **felületcsoport lehetséges állapotai**, a hozzájuk tartozó **minőségi jellemzők**, a szóba jöhető **megmunkálási módok** és **gyártóberendezések** között. Ez a kapcsolat táblázatos formában szemlélhető, (8.17. ábra) melynek megnevezése **állapotváltási fázistábla**.

Megmunkálási mód az alkatrész előállítására irányuló gyártási folyamat egy szakasza, melyet jellemez:

- a megmunkálható felületcsoport típusa,
- a pontosítási fokozat: milyen állapotból milyen képes előállítani,
- a felületcsoport méretkategóriája,
- a felületcsoportot hordozó alkatrész méretkategóriája.

Megmunkálási mód megfelel egy vagy több műveletelemnek. Például külső lépcsős felületek nagyoló esztergálása, melynek paraméterei d_{\min} , d_{\max} , l_{\min} , l_{\max} , De_{\min} , De_{\max} , L/D_{\min} , L/D_{\max} , IT_e , Ra_e, \dots , IT_a , Ra_a .

A **felületcsoportok megmunkálási folyamata** a megmunkálási módok sorozatából áll (elemi sorrend). Az alkatrész megmunkálásakor az elemi sorrend a megmunkálási szakaszokba beépülve a szakaszok szerinti részekre tagozódik: **előnagyolás, nagyolás, ..., befejező megmunkálás**. Az alakítási folyamatok közé beépülhetnek olyan műveletek, mint hőkezelés, minőség-ellenőrzés, tisztítás, stb. A megmunkálási sorrend kialakításánál az alábbi ökölszabályokat lehet alkalmazni (8.16. ábra):

- a bázisfelületek megmunkálása megelőzi a többi felület megmunkálását,
- a hordozófelület megmunkálása megelőzi a hordozottét,
- a nagy kiterjedésű felületek megmunkálása megelőzi a kis kiterjedésűekét,
- a durva megmunkálás megelőzi a finommegmunkálásokat.

"A" típ. felületcsoport		ÁLLAPOTVÁLTOZÁSI FÁZISTÁBLA							
Állapot sorsz.	Minőségi jellemzők					Megmunkálási módok			
	IT	Ra	Síkhûség	...	Ráhagyás	1.	2.	3.
0						M11	M21	M31	
1						M12	M22	M32	
2						M13	M23	M33	

Gyártó- berendezés	Megvalósítható megmunkálási módok			
1.	M11	M12	
2.	M13			
3.	M23			
4.	M33			

8.17. ábra

*Állapotjellemzők, megmunkálási módok és gyártóberendezések
összerendelése az állapotváltozási fázistáblában*

Egyéb esetben munkadarab invariáns a megmunkálási sorrendet tekintve. A felületcsoportok állapotváltási folyamataiból az alkatrész állapotváltási folyamatának képzését rögzítő szabályok ugyancsak megfogalmazhatók táblázatos formában (8.1. táblázat), ez a sorrendtervezési vezérlőtábla más néven „TANLÓ”, mely adott alkatrészcsaládra (pl. forgástestek) rögzíti, hogy az egyes felületcsoport-típusok állapotváltási folyamatainak mely részei, mely megmunkálási szakaszokban (előnagyolás, nagyolás, stb.) kell végrehajtani (ha ilyen felületcsoportok egyáltalán léteznek a konkrét alkatrészen) és milyen relatív sorrendi kötöttség mellett. A TANLÓ az alábbiak szerinti adatsorok szekvenciális sorozata:

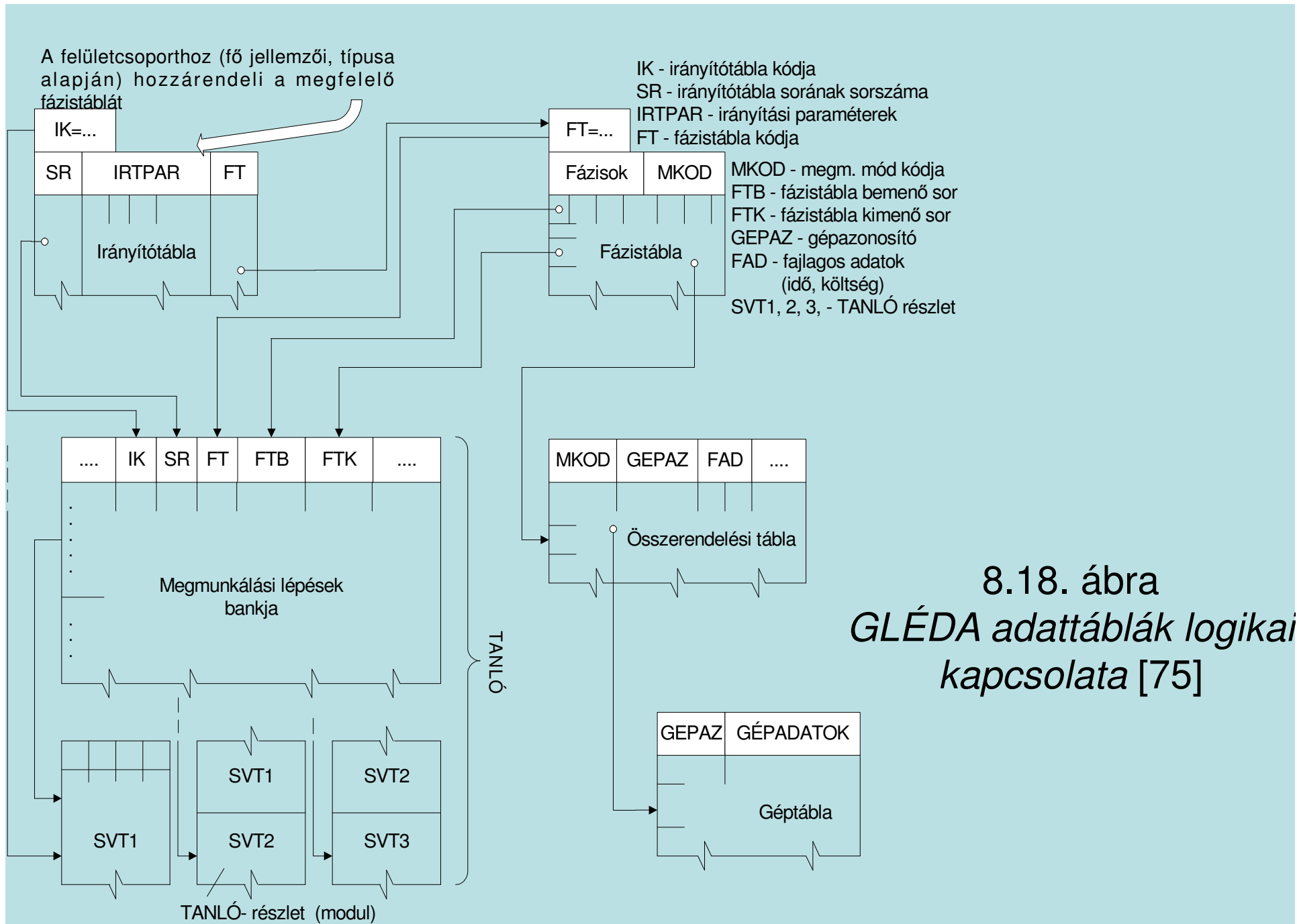
8.1. táblázat *Sorrendtervezési vezérlőtábla (TANLÓ)*

a	b	c	d	e	f	g	h							
							1	2	3	4	5	6	7	...

- a) az adatsor sorszáma,
- b) az állapotváltóási fázistábla irányítótáblájának (a felületcsoport és a megfelelő fázistáblát összerendelő táblának) a kódja,
- c) a fázistábla kódja,
- d) a fázistáblából az adott megmunkálási szakaszhoz rendelt kezdő (bemenő) állapot,
- e) a végső (kimenő) fázis sorszáma,
- f) a megmunkálási szakasz (előnagyolás, nagyolás, ...) sorszáma,
- g) az adott megmunkálási szakaszon belüli sorszám,
- h) a relatív sorrendi kötöttség: az adott megmunkálási szakaszon belül az előbb elvégzendő sorok sorszámai.

Egy konkrét alkatrész esetében, ha megnézzük, hogy a TANLÓ egyes soraihoz tartozó felületcsoportok az alkatrészen léteznek-e, s ha igen, akkor a megmunkálási igényük szerinti fázisokat melyik megmunkálási szakaszokban kell végrehajtani (a TANLÓ szerint), akkor megkapjuk az alkatrész állapotváltóási folyamatát, melyet primer sorrendnek szokás nevezni.

A GLEDA műveleti sorrendtervező rendszert az [53] 15.5.3.1. fejezete mutatja be.



8.18. ábra
GLÉDA adattáblák logikai kapcsolata [75]

A primer sorrend:

- leírja az adott alkatrész állapotváltozási folyamatát,
- besorolja a felületcsoportok állapotváltozásait (megfelelő részekre tagolva) a megmunkálási szakaszokba,
- a relatív sorrendi kötöttségek (előzési feltételek) feltüntetésével valamennyi lehetséges sorrendváltozatot tartalmazza,
- a szóbajöhető megmunkálási módokat, gyártóberendezéseket csak implicit formában tartalmazza (a fázistáblákon keresztül). Így viszont valamennyi lehetséges megoldás megtalálható.

A primer sorrendből megfelelő gépválasztási stratégiák (műveletkoncentráció, egyenletes gépterhelés, stb.) érvényesítésével képezhetők műveleti sorrendtervek, melyek már tartalmazzák:

- a megmunkáláshoz szükséges gyártóberendezéseket,
- az egyes gépeken végrehajtani kívánt megmunkálási feladatokat és az azokhoz rendelt megmunkálási módokat,
- a műveleteket és azok végrehajtási sorrendjét, valamint a megmunkálás fajlagos adatok alapján számított idő és költségadatait.

Tehát a primer sorrendből hagyományos algoritmussal is eljuthatunk technológiai változatokig, azonban nem biztos, hogy kivárrjuk a legkedvezőbb változatot. Igazából itt a megoldáshoz mesterséges intelligencia-eszközöket kell használni.

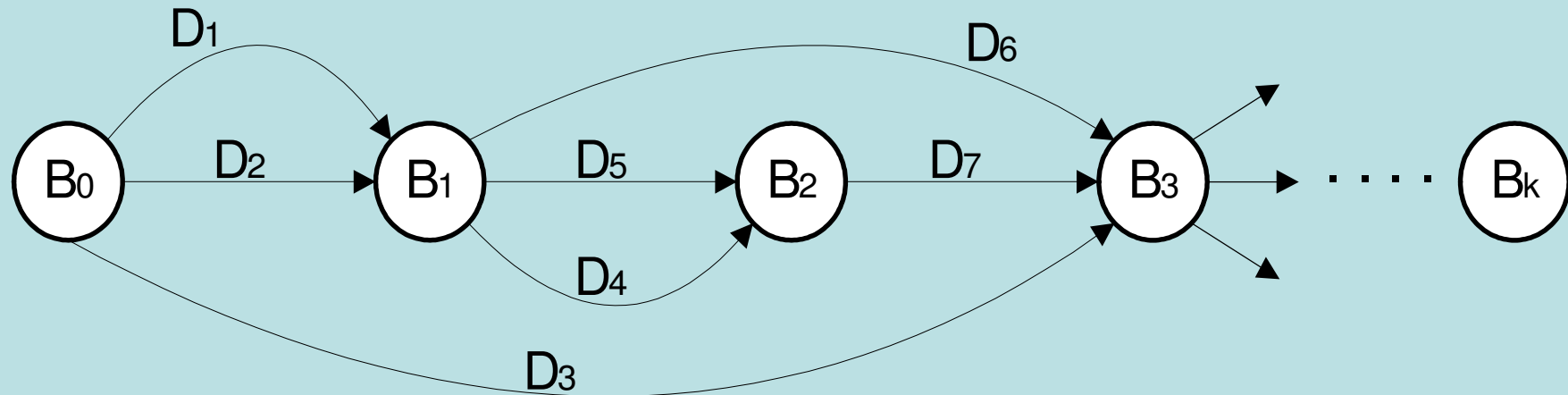
A megmunkálási folyamat fő- és mellékelemekből áll.

A **fő megmunkálási elemek**: változtatják az alkatrész tulajdonságát.

A **mellékelemek (segédelemek)**: a főelemek végrehajtásához szükségesek (alkatrész ki és befogás, szerszámcsere, pozicionálás, stb.). A megmunkálási folyamatban a fő és segédelemek egymást váltogatják. Mindkettőnek van idő- és költségvonzata.

8.2.1. Technológiai gráf az alkatrész állapotváltozási (megmunkálási) folyamatának leírására

A technológiai gráf lényegét a 8.20 ábra mutatja be.



B_0, \dots : állapotok

D_1, \dots : megmunkálási fő- és segédelemek

8.20. ábra

Technológiai gráf

Irányított gráf, azaz ha egy állapotot valamilyen megmunkálási móddal már elértünk, akkor ugyanaz az állapot más megmunkálási móddal már nem érhető el (nem is kell elérni).

Az **elméleti gráf** a tudományág eredményeire épül, míg a valós gráf figyelembe veszi a konkrét gyártórendszer lehetőségeit, valamint korlátait és csak az adott gyártórendszerben megvalósítható technológia változatokat tartalmazza.

Miskolci Egyetem, Gyártástudományi Intézet, Prof. Dr. Dudás Illés

8.2.2. Optimálási lehetőség

A gráf íveihez (a megmunkálási elemekhez) mennyiségi paraméterek (idő, költség) rendelhetők.

Célfüggvény:
$$K = \sum_{i=1}^k K_i n_j \rightarrow \min \quad (8.5)$$

ahol:

K megmunkálás idő vagy költségadat,

k csúcsok (állapotok) száma,

K_i, n_j az i csúcsba futó n_j -ik ív idő vagy költség adata (megmunkálás fő vagy segédelem ideje vagy költsége).

A technológiai tervezés során a magasabb tervezési szinttől az alacsonyabb felé haladva a technológiai gráf egyre pontosabban tükrözi az alkatrész megmunkálási folyamatát, az idő- és költségadatok is egyre pontosabbá válnak. A műveleti sorrendtervezés szintjén becsült (fajlagos adatok alapján számított) idő- és költségadatok állnak rendelkezésünkre, míg műveletelem tervezés szintjén már számíthatók a normaidők és azokra alapozott költségadatok. A technológiai gráf alkalmazása az „utazó ügynök” problémára visszavezethető tervezési feladat.