

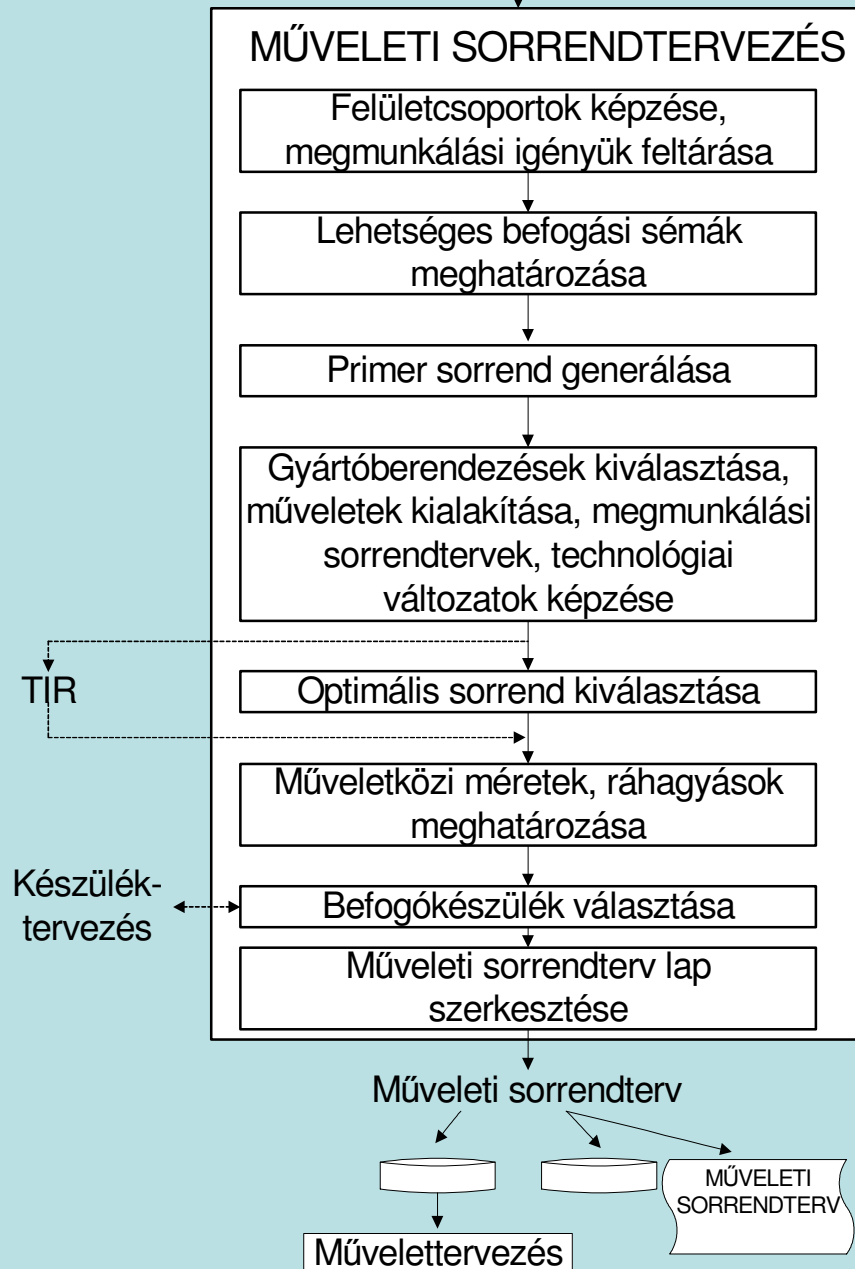
9. A FORGÁCSOLÁSTECHNOLÓGIAI TERVEZŐ-RENDSZER FUNKCIONÁLIS STRUKTÚRÁJA

Egy-egy konkrét forgácsolástechnológiai tervezőrendszer saját, a fejlesztő által megfogalmazott struktúrát testesít meg. Az itt tárgyalt struktúra egy lehetséges változatnak tekinthető. Ez a funkcióból kiinduló struktúra összehasonlítási alapot adhat egy konkrét – például forgalmazott – rendszer értékeléséhez.

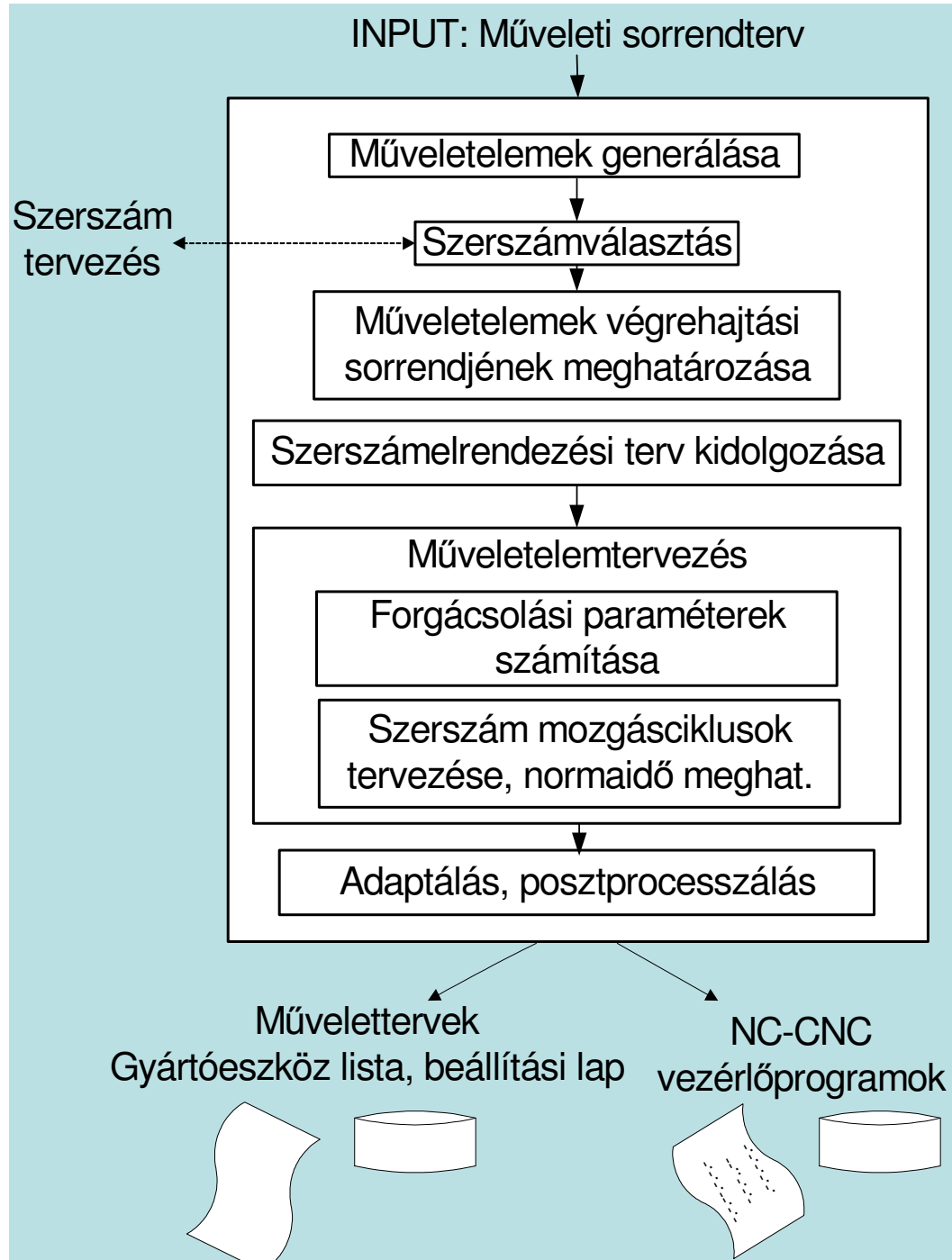
9.1. Számítógépes technológiai tervezés szintjei

Az alkatrészgyártás számítógépes **technológiai tervezésének** alapvetően **két szintjét** különböztetjük meg. A műveleti **sorrendtervezést** és a **művelettervezést**. Funkcionális struktúrájukat szemlélteti a 9.1. és 9.2. ábra.

INPUT a nyers- és a készdarab leírása,
sorozatnagyság, gyártórendszer stb.



9.1. ábra
A műveleti sorrendtervezés feladatai és szintjei



9.2. ábra
A művelet- és a művelelemtervezés feladatai és szintjei

Példaként vázoljuk egy technológiai tervezőrendszer **funkcionális moduljainak** készletét (9.1. táblázat).

A forgácsolástechnológiai tervezőrendszer egy lehetséges modulkészlete:

9.1. táblázat *ATTR funkcionális modulok összefoglalása*

1. FELÜLETCSOPORTOK KÉPZÉSE, MEGMUNKÁLÁSI IGÉNYÜK ELEMZÉSE						
1.1. Rögzítő furatok	1.2. Lépcsős és egy- tengelyű furatok	1.3. Síkok, lépcsős síkok	1.4. Felöntések sík keret- felületek	1.5. Hornyok, átvágások	1.6. Zsebek, esetleg szige- tekkel	1.7. Forgás- test fő- elemek
1.8. Forgástest mellékelemek		1.9. Lelapolások, sokszög alakzatok		1.10. Transzlációs, vonal és szoborfelületek		

2. LEHETSÉGES BEFOGÁSI SÉMÁK MEGHATÁROZÁSA

2.1. Forgástestekhez

2.2. Prizmatikus, szekrényes alkatrészekhez

3. PRIMER SORREND GENERÁLÁSA

3.1. Forgástestekhez

3.2. Prizmatikus alkatrészekhez

4. GYÁRTÓBERENDEZÉSEK KIVÁLASZTÁSA, MEGMUNKÁLÁSA, SORRENDVÁLTOZATOK GENERÁLÁSA

műveletkoncentrációra törekedve

más stratégiával

4.1. Forgástestekhez

4.2. Prizmatikus alkatrészekhez

4.3. Forgástestekhez

4.4. Prizmatikus alkatrészekhez

5. OPTIMÁLIS SORREND KIVÁLASZTÁSA

6. MŰVELETKÖZI MÉRETEK, RÁHAGYÁSOK MEGHATÁROZÁSA

6.1. Forgástestekhez

6.2. Prizmatikus alkatrészekhez

7. BEFOGÓKÉSZÜLÉKEK KIVÁLASZTÁSA

7.1. Forgástestekhez

7.2. Szekrényes alkatrészekhez

8. MŰVELETI SORRENDTERV SZERKESZTÉSE

9. MŰVELETELEMEK GENERÁLÁSA			
9.1. Esztergáláshoz	9.2. Méretes szerszámokkal végzett furatmegmunkáláshoz	9.3. Maráshoz	9.4. Egyszerű fúrási-marási munkákhoz, forgástestek esetében
10. SZERSZÁMVÁLASZTÁS			
10.1. Esztergáláshoz	10.2. Méretes szerszámokkal végzett furatmegmunkáláshoz	10.3. Maráshoz	10.4. Egyszerű fúrási-marási munkákhoz, forgástestek esetében
11. MŰVELETELEMEK VÉGREHAJTÁSI SORRENDJÉNEK MEGHATÁROZÁSA			
11.1. Esztergagépi művelethez	11.2. Fúró-maró gépi megmunkálás, központi műveletekhez	11.3. Esztergaközponti műveletekhez	
12. SZERSZÁMELRENDEZÉSI TERV KIDOLGOZÁSA			
12.1. Esztergagépi művelethez	12.2. Fúró-maró gépi megmunkálközponti műveletekhez	12.3. Esztergaközponti műveletekhez	

13. FORGÁCSOLÁSI PARAMÉTEREK MEGHATÁROZÁSA						
13.1. Furatmegmunkáláshoz	13.2. Fúrórudas megmunkáláshoz		13.3. Esztergáláshoz		13.4. Maráshoz	
14. SZERSZÁM MOZGÁSCIKLUSOK TERVEZÉSE						
14.1. Esztergagépi üresjárat mozgások	14.2. Fúrómá- ró gépi üresjárat mozgások	14.3. Eszterga- központi üresjárat mozgások	14.4. Mozgás- pálya transz- formáció	14.5. Fúrómá- ró- gépi elemi mozgás- utasítások	14.6. Megmun- káló- központi elemi mozgás- utasítások	14.7. Egyszerű fúrási- marási ciklusok forgás- testekhez
14.8. Furat megmun- kálási ciklusok	14.9. Nagyoló és simító eszter- gálás	14.10. Beszúrás, alászúrás, menet- vágás	14.11. 2,5D-s marási ciklusok	14.12. Vonalfelü- letek 3- 5D-s marása	14.13. Transzlá- ciós felületek 3-5D-s marása	14.14. Szobor- felületek 3-5D-s marása
14.15. Összetett felületek 3-5D-s marása				14.16. Hagyományos (nem NC) gépekre műszaki normaidők számítása (eszterga + maró + fúrógépek)		

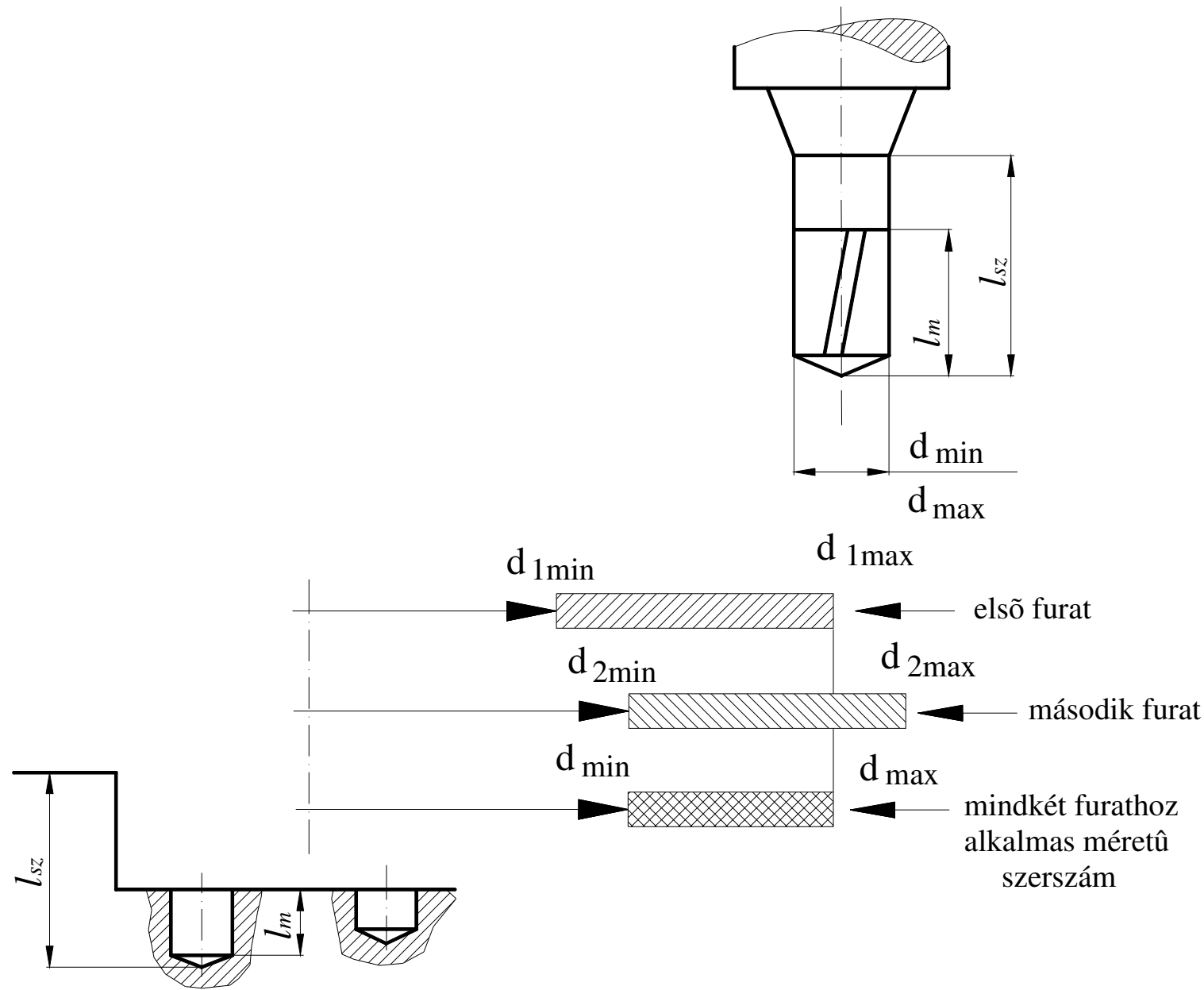
Szerszámválasztási (tervezési) **kritériumok** fúró-maró szerszámok esetében:

$$\text{SZER} = f(t_i, t_m, m, \text{etap}, d_{\min}, d_{\max}, l_{m.\min}, l_{sz.\min}, G_{\text{forg}}, G_{\text{bev}}, t_{i_{\text{hely}}}) \quad (9.1)$$

ahol:

t_i	szerszám típusa,
t_m	műveletelem típusa,
m	megmunkálandó anyag kódja,
etap	megmunkálandó szakasz (nagyolás, simítás),
d_{\min}	átmérő határ,
d_{\max}	átmérő határ,
$l_{m.\min}$	minimális működési hossz,
$l_{sz.\min}$	minimális szabad (ütközésmentes) hossz,
G_{forg}	élgeometria,
G_{bev}	bevezető rész geometriája,
$t_{i_{\text{hely}}}$	helyettesítő szerszám típusok.

A technológiai tervezőrendszerekben használt megoldások közül ismertetjük az egy műveleten belüli szerszámok számának minimalizálását (9.3. ábra), a nagyolt kontúr meghatározását (9.4. ábra) és egy marási probléma megoldását (9.5. ábra).



9.3. ábra

Szerszámok számának minimalizálása

A **modulokra bontás elvi alapjai** röviden a következőkben foglalhatók össze:

- Minden, viszonylag zárt egységet képező feladat vagy részfeladat-megoldás kerüljön **önálló modulba**, főként ha a rendszer különböző pontjain többször is felhasználható.
- **Egymást helyettesítő modulok** azonos jellegű feladatot más-más módszerrel oldanak meg.
- **Egymást kiegészítő modulok** síkgörbék, síkkontúrok, felületek, felületmodellezés, testprimitívek, testmodellezése, stb.
- Az egymást kiegészítő modulok bővítik a megoldható, az azonos jellegű feladatok körét.

A **vertikális modularitást** a tervezési szinteknek, lépéseknek megfelelő, egymást követő modulok határozzák meg. Egy modul hiánya a rendszer automatizálási szintjét csökkenti.

A **horizontális modularitás** az azonos tervezési szinten egymást kiegészítő modulok készlete. Egy-egy modul hiánya a rendszer alkalmazási területét szűkítheti.

A **tervezés egyes szintjein megoldandó feladatok**, optimalizációs lehetőségek a modulkészlettel összhangban a műveleti sorrendtervezés területén (9.1. táblázat). **Miskolci Egyetem, Gyártástudományi Intézet, Prof. Dr. Dudás Illés**

a) (1) **Felületcsoportok képzése**, megmunkálási igények feltárása

Feladat: a rendszerbe inputként bevitt kész és nyersdarab modell analízise útján **feltárni a technológiai egységet képező felületcsoportokat és meghatározni azok megmunkálási igényét.**

Megmunkálási igény: a megfelelő állapotváltozási táblában a nyers állapotnak és a kész állapotnak megfelelő sorok azonosítása. Ha a két sor azonos, akkor a felületcsoport nem munkálandó meg. Ha különböző, akkor a nyers állapotból a kész állapotba juttatás jelenti a megmunkálási igényt.

b) (2) **A lehetséges befogási sémák** meghatározása

Feladat: a felületcsoportok megmunkálási igényének és a teljes alkatrész-konfiguráció figyelembevételével a lehetséges befogási módok meghatározása. **Automatizált megoldás csak a jól tipizálható esetekre létezik. Egyébként a technológus interaktív közreműködése szükséges.**

c) (3) **Primer sorrend generálása**

Feladat: az alkatrész állapotváltozási folyamatának felépítése a felületcsoportok állapotváltozási folyamataiból (megmunkálási igényéből) kiindulva a megmunkálási szakaszok figyelembevételével a sorrendtervezési vezérlőtábla (TANLÓ) felhasználásával.

d) (4) **Gyártóberendezések kiválasztása**, műveletek kialakítása, megmunkálási sorrendtervek képzése

Feladat: a „becsült” idő és költségadatokkal ellátott változatok közül az adott kritérium szerint optimális kiválasztása. Célszerű együttműködni a termelésirányítással.

f) (6) **Műveletközi méretek**, ráhagyások meghatározása

Feladat: a műveletközi alkatrészállapotok és konfigurációk meghatározása, azaz egy-egy művelethez tartozó nyers és kész munkadarab meghatározása, a további megmunkálásra meghagyandó ráhagyásméretek figyelembe vételével.

g) (7) **Befogókészülékek választása**

Feladat: a műveleti sorrendterv és annak részeként az egyes műveletek tartalmának ismeretében, a művelethez tartozó kész és nyersdarab, továbbá gyártóberendezés [104] figyelembe vételével műveletenként a befogási séma véglegesítése, befogóeszköz választása – speciális befogóeszköz igény esetén – a készülékszerkesztést igénylő lap kitöltése.

Hatékony megoldás interaktív üzemmód mellett képzelhető el, amikor a rendszer felkínál a technológusnak megoldásváltozatokat, megjeleníti a munkadarabot a munkatérben (képernyőn), de a megfelelő megoldás kiválasztása vagy kitalálása a gépkezelő technológus feladata.

h) (8) **Műveleti sorrendterv szerkesztése**

Feladat: a tervezés eddigi eredményeinek egységes keretbe foglalása, előkészítése további feldolgozásra (pl. műveletelem tervezésre), valamint a gyártási dokumentációként használható műveleti sorrend szerkesztése és kiadása.

9.2. Optimalizációs lehetőségek a műveleti sorrend tervezéskor

A műveleti sorrendtervezés szintjén az **optimalizációs feladatok** megoldására felhasználható a korábban tárgyalt **technológiai gráf**. Ekkor a gráf éleihez tartozó tevékenységek (megmunkálás, helyzetváltoztatás, stb.) jellemzésére idő és költségadatokat használunk fel, amelyek a tervezés ezen szintjén fajlagos adatok alapján számíthatók.

A technológiai gráf tárgyalásakor megadtuk a célfüggvényt és utaltunk a megoldás módjára is (utazó ügynök típusú feladat).

A technológiai folyamat tervezésekor, pontosabban a **technológiai gráf összeállításakor számos korlátozást kell figyelembe venni:**

- a megmunkálási módok, gyártóberendezések választásakor nem vehetjük számításba a technika mindenkori állása szerinti legjobbakat, **csak az adott gyártórendszer lehetőségei közül választhatunk,**
- csak azokra a gyártóberendezésekre tervezhetünk, **amelyek a gyártás időszakában működőképesek és szabad kapacitásuk**

- egy-egy felület vagy felületcsoport egyik állapotból a másikba csak olyan megmunkálási móddal valósítható meg, amelynek megmunkálási pontossága nagyobb vagy egyenlő a megkívánt pontosságúval,
- az előbbi érvényes a felület érdeessége vonatkozásában is,
- jelentkezhetnek korlátok a gyártóberendezések oldalairól is, pl. a forgóasztal pozicionálási pontossága (pontosabban pontatlansága) csökkentheti a gépen megvalósítható megmunkálási módok által elérhető helyzetpontosságot. Ilyenkor célszerű lehet oldalanként készre munkálni a munkadarabot függetlenül attól, hogy ezzel növekszik a szerszámcserek száma.

Ha a korlátozások figyelembevételével állítjuk össze a technológiai gráfot, akkor az már csak azokat a reális technológiai megoldásokat (változatokat) tartalmazza, amelyek a gyártórendszer pillanatnyi állapotában megvalósíthatók és amelyek az alkatrész kívánt minőségét biztosítják.

A konkrét megoldást nehezítő tényezők:

- szóba jöhető variációk nagy száma,
- a célfüggvény számításához pontatlan adatháttér (fajlagos idő és költségadatok),
- a korlátok hatásukat és természetüket tekintve nem egységesen egy részük a választási lehetőségeket, más részük a sorrend egymásutániságot korlátozza.

A műveleti sorrendtervezés szintjén az optimálási feladat megoldására reális lehetőséget adó módszer: az optimumesélyes technológiai megoldások tudatos, irányított keresése. Az így kialakított sorrend változatok már csak az optimumesélyes változatok, melyek számuk lényegesen kevesebb, mint az összes lehetséges változat száma.

Az optimumesélyes változat keresését segítheti a TIR-rel való együttműködés: a TIR a választható gyártóberendezések megmunkálási módok sorozatából törölheti azokat, melyekre a gyártás időpontjában nem számíthatunk. Egyben a TIR kijelölheti az optimális kritériumot is, avagy maga dönti el, hogy mely változat optimális gyártórendszer működése szempontjából.

9.3. A művelettervezés szintjei, feladatai, optimalizációs lehetőségek

A művelettervezés alapadatai a műveleti sorrendtervezés eredményeit adják:

- a művelethez rendelt megmunkáló gép,
- az alkatrészbefogás jellemzői,
- optimalizációs kritérium,
- esetleges technológiai előírások.
- az alkatrész adott műveletre érvényes nyers és kész állapotának leírása,

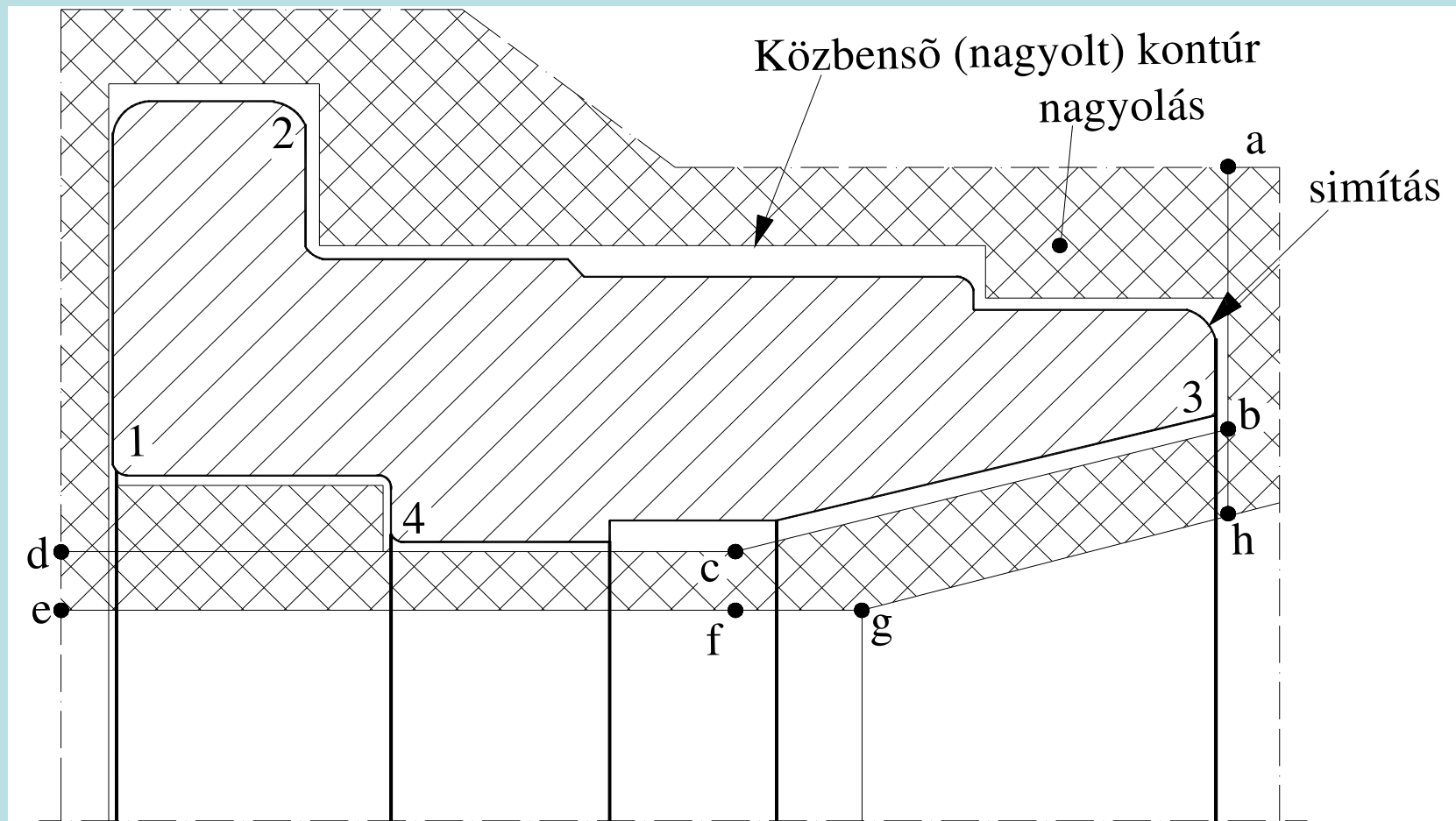
Az utóbbi adatcsoport között szerepelhetnek az alkatrész egyes felületelemeihez és elemcsoportjaihoz a műveleti sorrendtervezés szintjén hozzárendelt megmunkálási módok és azok végrehajtási sorrendje. A megmunkálási módok nem tévesztendőek össze a műveletelemek fogalmával.

A műveleti sorrendtervezés szintjén a megmunkálási módok bevezetésének célja csupán az alkatrész megmunkálásához szükséges műveletek kijelölése és a műveletek végrehajtási sorrendjének meghatározása, nem pedig az egyes műveletek részletes – műveletelemekre bontott – tartalmának megtervezése. A műveletelemek és megmunkálási módok közötti eltérések megvilágítására.

Nézzük meg a 9.4. ábrát. A 9.4. ábrán lévő alkatrész 3-4 szakaszára a műveleti sorrendtervezés furatban végrehajtandó nagyoló és simító kúp-palást-homlok típusú esztergálást ír elő, amelyet a művelettervezés a következő műveletelemekre bont le:

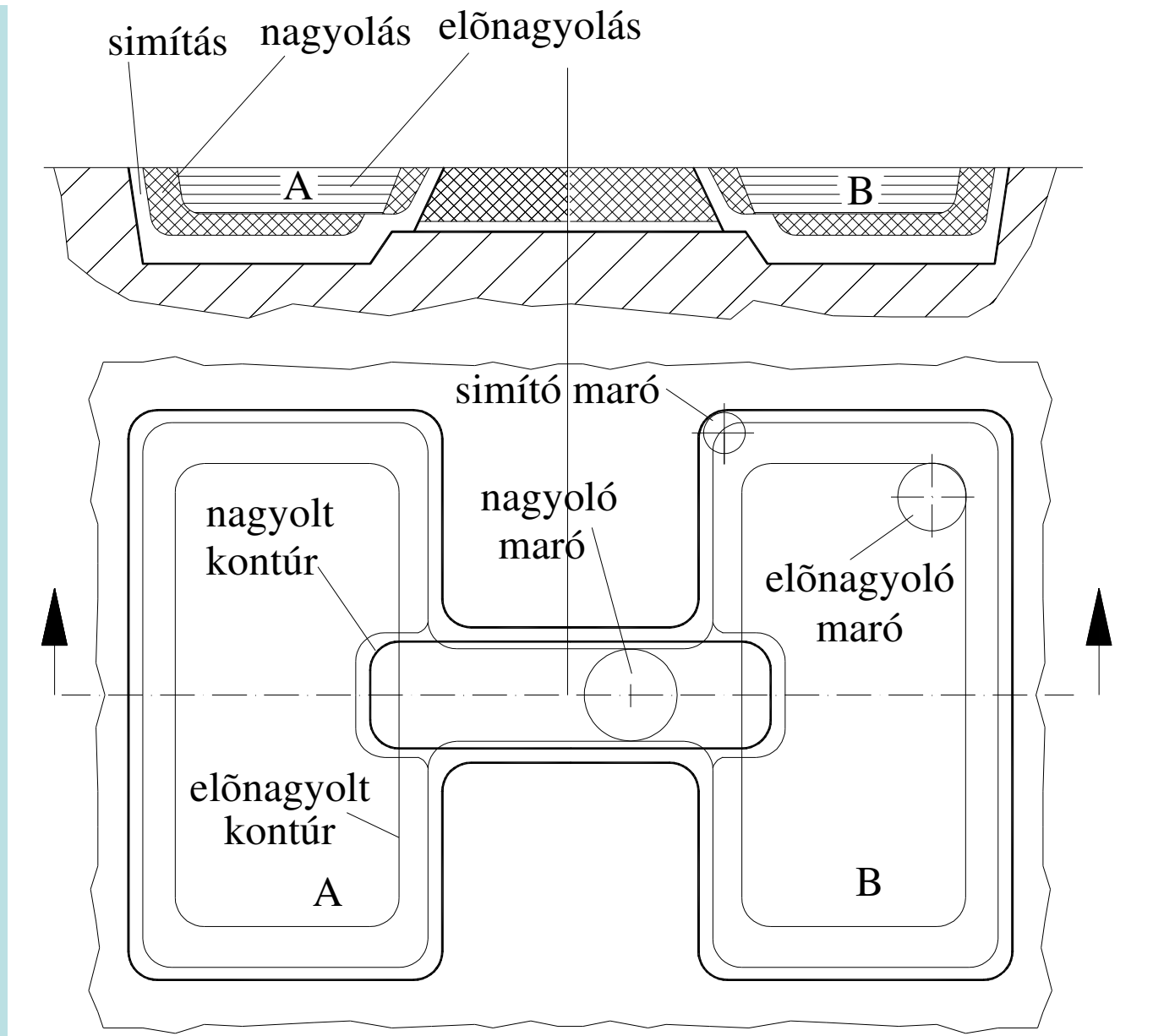
- a „*b-c-f-g-h*” ráhagyás leválasztása nagyoló kúpesztergálással furatban,
- a „*c-d-e-f*” ráhagyás leválasztása nagyoló hosszesztergálással furatban,
- a „3-4” szakasz kontúrkövető simító esztergálása furatban,

Példák a közbelső kontúrok képzésére.



9.4. ábra

Közberső kontúr képzése esztergálás esetében



9.5. ábra

Közbenső kontúr képzése marásnál

A 9.5. ábrán szereplő üreg megmunkálására a sorrendtervezés előír nagyoló és simító zsebmarást, amelyet a művelettervezés az alábbiak szerint fejthet ki:

- az „A” üregrész előnagyolása zsebmarással,
- a „B” üregrész előnagyolása zsebmarással,
- a teljes üreg nagyolása zsebmarással,
- a teljes üreg simítása zsebmarással.

Egy másik lehetséges megoldás erre az esetre:

- az üreg palástfelületének simítása kontúrkövető horonymarással,
- az üregben maradt sziget eltávolítása nagyoló zsebmarással,
- az üreg fenékrészének simítása zsebmarással.

Az előbbiekkel összhangban a művelettervezés alapvetően a nyers- és készdarab leírásából indul ki és figyelembe véve az adott gép és befogási mód jellemzőit, meghatározza, hogy **az adott műveleten belül:**

- az alkatrész megmunkálás milyen műveletelemekkel, milyen sorrendben történjék,
- az egyes műveletelemekkel milyen ráhagyási alakzatot kell eltávolítani,
- a műveletelemek végrehajtásához milyen szerszámkészlet szükséges és hogyan kell azt elhelyezni a gépen.

A művelettervezés eredménye tartalmazza a művelet részletes leírását a műveletelemekhez tartozó forgácsolási paraméterek és szerszámmozgások kivételével. A művelettervezés hatáskörébe tartozó feladatokat, a feladatok hierarchikus szintekre tagozódását és a szintek egymásra épülését a 9.6. ábra szemlélteti.

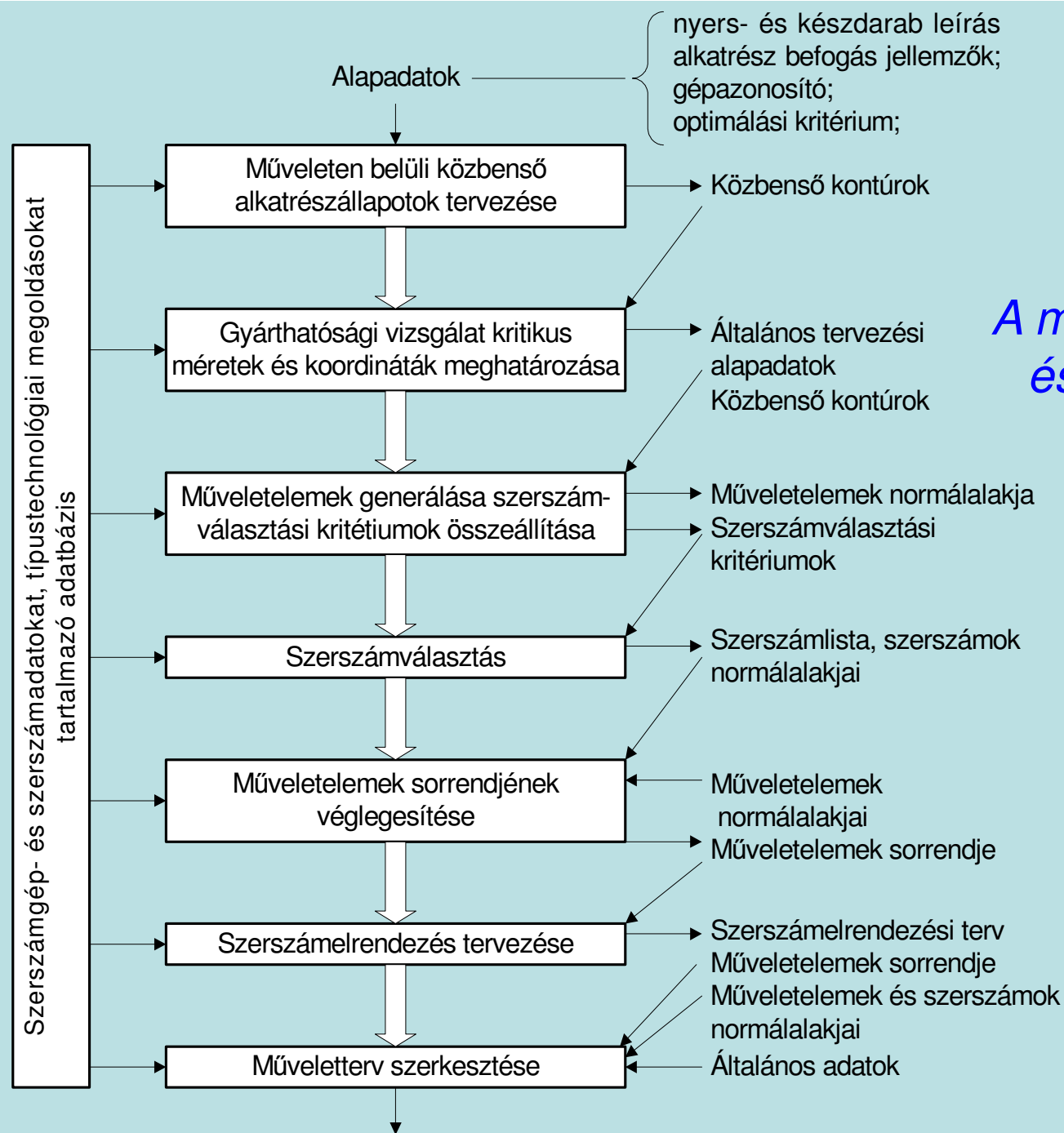
A művelettervezés folyamata visszavezethető az előzőekben tárgyalt technológiai gráf megfelelő – az egyes műveletekhez tartozó – szakaszainak pontosbítására. A tervezés előrehaladásával egyre hívebben tudjuk tükrözni az alkatrész egészének és egyes felületelemeinek állapotváltozási folyamatát – pontosbítva a gráf csúcsainak számát és sorrendjét – továbbá egyre megbízhatóbb adatok rendelkezhetők a gráf éleivel ábrázolt tevékenységhez.

Értelemszerűen **itt is használható a már tárgyalt célfüggvény**, amelynek megoldási problémái – a variánsok nagy száma, az adatok pontatlansága, stb. – a művelettervezés különböző szintjein differenciáltan jelentkeznek. Megoldást itt is az **optimumesélyes változatnak** a gyakorlati tapasztalatok alapján történő behatárolása vagy többlépcsős iterációs módszer alkalmazása jelent, mivel az egyes változatok kialakításához és értékeléséhez szükséges pontos információk gyakran csak a teljes technológiai tervezés befejezése után állnak rendelkezésünkre.

A művelettervezési feladatokat megoldó mai rendszerek többsége (pl. a GTIPROG) az optimumesélyes változatot az adatbázisban tárolt tapasztalati adatok alapján jelöli ki.[19]

A GTIPROG művelettervező és NC-CNC programozó rendszert az [53]

15.5.3.2. fejezet mutatja be



9.6. ábra
A művelettervezés szintjei és egymásra épülésük

A fentiekben vázolt általános tervezési és optimalási elvek érvényesek mind az egyszerszámos, mind a többszerszámos műveletelemeket és műveletelem-csoportokat tartalmazó műveletek tervezésére, azonban érvényesítésük többszerszámos megmunkálásra lényegesen bonyolultabb feladat, mint egyszerszámosra. Többszerszámos megmunkálás esetén a feladat megoldását mindenek előtt az nehezíti, hogy lényegesen nagyobb információhalmazt kell egyidejűleg kezelni ahhoz, hogy eljussunk a technológiailag helyes és az optimumhoz közeli megoldáshoz.

A műveletelemek (önálló fúrás, külső és belső palástesztergálás, stb.) kijelöléséig a tervezés menete változatlan, azonban ezekből a többszerszámos műveletelemek és műveletcsoportok képzése, a szerszámok kiválasztása, az átfedések lehetőségeit is tükröző végrehajtási sorrend generálása igényli a teljes MKGS rendszer megmunkálás közben változó állapotának (munkadarab alakjának, a rendszerelemek egymáshoz viszonyított helyzetének, a rendszer várható terhelési viszonyainak) a figyelését.

Ismereteink szerint a feladat általános megoldására eddig egyetlen tervezőrendszerben sincs példa, a megvalósított félautomatikus (a technológus által kívülről irányított) megoldások erősen gépkonstrukció-orientáltak. Ezzel összefüggésben a rendelkezésünkre álló tapasztalatok és elméleti alapok is meglehetősen hiányosak ahhoz, hogy a többszörös műveletek tervezési és optimalizációs módszereiről részletesen írjunk. Úgy véljük, hogy e területen még jelentős kutatómunkát kell elvégezni a módszertani alapok feltárása és gyakorlati kipróbálása céljából.

A következőkben tervezési szintenként (9.6. ábra) mutatjuk be a művelettervezés során megoldandó feladatokat, a lehetséges megoldási módokat és az optimalizálás lehetőségeit, de nem térünk ki a többszörös megmunkálás tervezésének speciális problémáira.

Közbenső alkatrészállapotok meghatározása

A műveleten belüli, közbenső alkatrészállapotok meghatározása bonyolult összefüggő ráhagyásalakzatok – általában esztergálással vagy marással történő – megmunkálásának tervezésekor jelentkezik feladatként. E tervezési szint beiktatásával célunk, hogy a műveletelemek generálása számára jól kezelhetővé tegyük az egyes megmunkálási szakaszokhoz (előnagyolás, nagyolás, félsimítás, simítás) tartozó nyers és kész állapotok leírását.

A feladat megoldása során vizsgálnunk kell az alkatrész felületelemeinek és összefüggő felületelemcsoportjainak nyers és kész állapotát és döntenünk kell készre munkálásuk szükséges szakaszairól, továbbá meg kell határoznunk az egyes megmunkálási szakaszokhoz tartozó ráhagyásméreteket, melyek alapján meghatározható a megmunkálási szakaszban előállítandó munkadarab-alakzat, például közbenső kontúr formájában.

A megmunkálási szakaszok kialakítására is értelemszerűen felépíthető a technológiai gráf, amelynek csúcsaihoz a megmunkálási szakaszok szerinti munkadarab állapotok, az éleihez pedig a szakaszok kialakításával kapcsolatos költség- és időadatokkal jellemezhető tevékenységek rendelhetők. **A feladat megoldása során korlátozásként veendő figyelembe:**

- az MKGS rendszer pontosítási fokozata, mely az adott felületelem csoport előállításához minimálisan szükséges megmunkálási szakaszok számát és a technológiailag indokolt ráhagyásméreteket behatárolja,
- a felületelemcsoport kiindulási állapota, mely meghatározza a rendelkezésre álló teljes megmunkálási ráhagyás mértékét,
- a felületelem csoport geometriai jellemzői (szűkületek, belső saroklekerekítések, stb.), amelyek behatárolják a szoba jöhető megmunkálási módokat és azok termelékenységi és költségmutatóit.

A célfüggvény megoldására itt is csak közelíthető, becsült adatok állnak rendelkezésre, hiszen még nem ismerjük a megmunkáláshoz szükséges műveletelemek készletét, a méreterezéseket, a forgácsolási paramétereket.

Értekezési vizsgálat, kritikus méretek és koordináták meghatározása

A művelettervezés e szintjén folytatódik a műveletelem generálásához szükséges adatok előkészítése, azaz:

- az ütközésveszély szempontjából kritikus alkatrész és befogóeszköz méretek feltárása,
- a felületelemek csoportosítása hozzáférhetőség szempontjából (külső, belső, egyik oldalon, másik oldalon, stb.),
- a bemenő adatok között előforduló technológiai előírások egységes belső (normál) alakjainak előállításának és a felületelemekkel való kölcsönkapcsolat adminisztrálása.

E feladatokkal párhuzamosan ellenőrizzük az alkatrész megmunkálhatóságát az adott gépen és a technológiai előírások végrehajthatóságát.

Műveletelemek generálása, szerszámválasztási kritériumok összeállítása

A műveletelemek generálása során kijelöljük az alkatrész egyes felületelemeinek és összefüggő felületelemcsoportjainak előállításához szükséges műveletelemek sorozatát, (elemi megmunkálási sorrend) meghatározzuk az egyes műveletelemekhez tartozó ráhagyás alakzatokat és a műveletelemek végrehajtásához szükséges szerszámokkal szembeni követelményeket, kritériumokat.

A műveletelemek generálásának elvi alapjai azonosak a megmunkálási módok kijelölésének elvi alapjaival: az alkatrészt alkotó tipizált felületelemekhez és -elemcsoportokhoz a kiindulási nyers állapot és a kívánt kész állapot figyelembe vételével hozzárendelhetők a műveletelemek tipizált sorozatai.

Itt is érvényes az a megállapítás, hogy egy és ugyanazon felületelem előállítható a műveletelemek különböző sorozataival. Például egy tárcsajellegű alkatrész esztergagépen végzett megmunkálásakor a furatban lévő felületelemek előállíthatók méretes fúrószerszámokkal (fúrás, felfúrás, süllyesztés, dörzsölés) vagy esztergakéssel is.

Az **optimum**, a célt legjobban kielégítő változat az egyes technológiai megoldások költség vagy **termelékenységi mutatóinak értékelésével** választható ki. A már tárgyalt technológia gráf és optimálási módszer könnyen alkalmazható egy-egy felületelem szempontjából optimális műveletsorozat kiválasztásához, mivel ezen a szinten a változatok száma nem túl nagy és az egyes műveletelemek költség és termelékenységi mutatói is viszonylag pontosan meghatározhatók. Célunk azonban a műveletszintű optimum megtalálása, ami nem feltétlenül esik egybe az egyes felületelemek szempontjából optimális változatok halmazával. Ugyanis több tényező (felszerszámozás, korrekciós kapcsolók beállítása stb.) hatása csak a teljes művelet szintjén értékelhető.

A teljes műveletre valamennyi technológiai változatot megtervezni olyan mélységig, hogy e tényezők hatását is értékelni lehessen rendkívül munkaigényes, ezért célszerű a műveletelem generálás folyamatát úgy irányítani, hogy az optimumesélyes változatot kapjuk eredményül. Ez az adatbázisban tárolt tapasztalati rokon esetek és – viszonylag könnyen figyelembe vehető – szempontok érvényesítésével érhető el. Ilyen például a szerszámok számának minimalizálása vagy a gyakorlati tapasztalatok alapján termelékenyebbnek minősített műveletelemek előnyben részesítése.

Szerszámválasztás

A művelet végrehajtásához szükséges szerszámokat a műveletelemek generálásával párhuzamosan összeállított szerszámválasztási kritériumok alapján választja ki a technológia tervezőrendszer az adott gép szerszámkészletéből.

A szerszámválasztás során keressük azt a szerszámot, amelyik a szerszámválasztási kritériumokban összefoglalt követelményeknek eleget tesz. A mai, számítógépes tervezőrendszerek általában elfogadják az első olyan szerszámot, amelynek paraméterei megfelelnek e követelményeknek és a többi szóba jöhető szerszámot nem vizsgálják. Optimálási törekvés a szerszámválasztási kritériumok összeállításakor érvényesül a szerszámok számának minimalizálása formájában. A mai tervezőrendszerek nem tartják nyilván, hogy egy-egy szerszámmal az adott műveleten belül mekkora ráhagyásmennyiséget kell leválasztani, nem figyelik a szerszám várható kopását sem. Holott ez befolyásolhatja a felszerszámozási tervet (esetleg több ugyanolyan szerszámot célszerű elhelyezni a szerszámtárban) és a művelet felszerszámozásával, valamint a szerszámcsereikkel kapcsolatos idő és költségtényezőket.

A műveletelemek végrehajtási sorrendjének meghatározása

A műveletelemek generálásakor kialakul a műveleten belüli műveletelemek végrehajtási sorrendje. Ez a sorrend technológiai szempontból helyes. Felmerül a kérdés akkor mégis miért foglalkozunk vele újból. Ennek az oka az, hogy a szerszámválasztás – ami a műveletelemek generálását követi – befolyásolhatja a műveletelemek végrehajtási sorrendjét. Elegendő utalni a szerszámválasztási kritériumok összeállításánál érvényesülő elvre, a szerszámok számának minimalizálására, aminek következtében több különböző művelet elem ugyanazzal a szerszámmal hajtandó végre. Az azonos szerszámmal végrehajtható műveletelemeket célszerű közvetlenül egymás után végrehajtani, hogy a felesleges szerszámváltásokat elkerüljük. A műveletelemek sorrendjének ilyen átrendezése természetesen csak akkor lehetséges, ha nem ütközik technológiai akadályba.

A szerszámelrendezés tervezése

Itt feladat a megmunkáláshoz szükséges szerszámok gépen (revolverfejben, szerszámtárban) történő elhelyezésének megtervezése. A szerszámok elrendezése hatással van a gép felszerszámozására (szerszámtár, revolverfej feltöltése) és a szerszámváltások költség- és időigényére.

Ennek megfelelően optimálási cél a költség és időadatok minimalizálása. A feladat megoldása során korlátozásként veendő figyelembe a következők:

- a szerszámoknak a műveletelemek végrehajtási sorrendjéből származó szerszám aktivizálási sorrendje,
- a gép konstrukciós jellemzői, amelyek behatárolják az egyes szerszámhelyekre fogható szerszámok típusát, méretét és a szerszámcsereket, valamint szerszámváltás mechanizmusát.

A mai tervezőrendszerek egyszerűsített heurisztikus módszert alkalmaznak az optimumesélyes szerszámelrendezési kidolgozáshoz.

A műveletterv szerkesztése

A tervezés e szintjén feladat az eddigi tervezési eredmények szerkesztése és kiadása a műveletelem tervezés számára kényelmes formában. Ennek során:

- beiktatjuk a szerszámváltással, -cserével, gépen történő méréssel kapcsolatos segédműveleteket a megmunkálási folyamatba,
- pontosbítjuk a műveletelemek geometriai és egyéb jellemzőit figyelembe véve az alkatrész készültségi szintjét a műveletelem végrehajtásának pillanatában.

Az itt elkészült műveletterv használható gyártási dokumentációként (MŰVELETTERV I.), bár még nem tartalmazza a műveletelem-tervezés eredményadatait (forgácsolási paraméterek, normaidők).