

15. PERIFÉRIÁLIS TECHNOLÓGIÁK

Dr. Mikó Balázs – Horváth Richárd

A számítógéppel segített tervezés nem fejeződik be a termék modellezésével és a rajzkészítéssel, további felhasználásra szánjuk azokat. Ezen technikák rövid bemutatása jelenik meg ebben a tananyag részben.

A felhasználás első csoportját a digitális szimulációk jelentik, ebből kerülnek bemutatásra a leggyakrabban alkalmazott technikák.

Az elkészült modellekből valós prototípus is készíthető különféle gyors prototípus eljárások segítségével (SLS, DMLS, SLA, LOM, FDM, 3DP, PolyJet, SGC), mely felhasználása széleskörű a demonstrációtól, az öntőminta készítésen keresztül a valós gyártásig.

Termékfejlesztés során gyakori, hogy a formaterv nem digitálisan születik, hanem valamilyen anyagi modell, makett formájában. Ennek digitalizálására kifejlesztett 3D szkennelési eljárások kerülnek ismertetésre. Ezen módszerek jól alkalmazható alkatrészek digitális reprodukciója során is.

15.1 3D szkennelés

A bonyolult alkatrészek eredetiről történő modellezése és újragyártása mai napig igen korlátozott módon oldható meg. Legtöbb problémát az okozza, hogy nem ismerjük az eredeti felületet előállító függvényt vagy burkoló görbét. Sok esetben az eredeti alkatrésznek sem ismert az egzakt előállítása, mert a gyártás során egyedi, kézi módszerekkel alakítják ki a felületet. A folyamatot, mely segítségével előállíthatjuk egy már megépített fizikai modell CAD-es modelljét, Reverse Engineering-nek hívjuk. A Reverse Engineering két folyamatból áll, az egyik a 3D-s szkennelés - az adott modell térbeli kiterjedését rögzíti számítógépes fájl formátumba - a másik a szkennelési eredmény feldolgozása egy (speciális) szoftver segítségével.

A digitalizálás műveleti sorrendje

A következőekben bemutatásra kerülnek az eljáráshoz szükséges műveletek, és rövid ismertetésük. Minden pont egyelőre platform független, bármelyik szkennelési eljáráshoz ezt a sorrendet kell követni.

Szkennelés:

Minden esetben rendelkezünk kell magával a munkadarabbal, amit rekonstruálni szeretnénk illetve a szkennerek mérőgéppel, ami a 3D szkennelés végrehajtásához szükséges eszköz (15.1. ábra).



15.1. ábra Szkennelni kívánt munkadarab (sportpisztoly markolat)



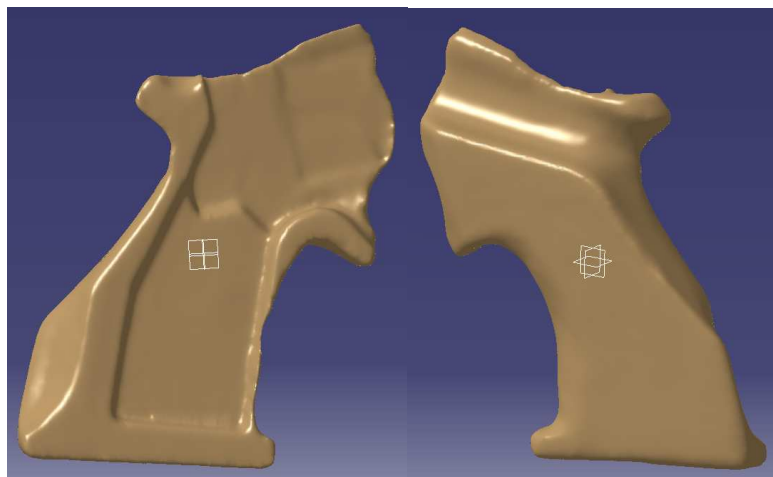
15.2. ábra Munkadarabról készített pontfelhő PIXFORM programban

Pontfelhő létrehozás:

A szkenneléssel a munkadarab geometriai jellegzetességeit rögzítjük a továbbiakban részletezett eszközök felhasználásával. Az adatgyűjtés eredménye tehát egy digitális pontthalmaz, pontfelhő. A megkövetelt pontosság, ill. geometriai „hűség” elérésének érdekében már a folyamat megkezdése előtt pontosan tudni kell a későbbiekben felmerülő igényeket (szkennelési pontosság, pontfelhő „sűrűsége”, szkennelési eljárás kiválasztása stb.) A 15.1 ábrán látható pisztolymarkolat pontfelhő képét mutatja a 15.2. ábra.

Modellépítés, rekonstrukció:

Az „alapanyag” pontfelhő további értelmezéséhez mindenképpen szükség van valamilyen további finomításra, feldolgozásra. Feldolgozás szempontjából egy- illetve többlépcsős eljárást is alkalmazhatunk. Egylépcsős megoldás, ha a pontfelhőt egyből CAD rendszerbe importáljuk. És létrehozzuk az alkatrész CAD modelljét (15.3. ábra). A legtöbb CAD rendszer képes pontfelhőre burkoló görbét, felületet generálni. Többlépcsős eljárás, ha a szkennер saját pontfelhő szerkesztő szoftverével hajtjuk végre az első „simításokat”. Több lépcsőben történő feldolgozás során, a célprogramok sok esetben megkönnyítik a munkát eszköztáruk felhasználásával. Többek között alkalmasak a pontanomáliák kiszűrésére (kiugró pontok, lyukak, nem oda illő pontok, szkennelési hibák, nem szükséges adatok törlése stb.) több szempont alapján, továbbá alkalmasak a több irányból, felfogásból készült felvételek összefűzésére egymás kiegészítésére.



15.3. ábra Pontfelhőből készített modell CATIA rendszerben

Ellenőrzés, korrekciók:

Érdemes és szükséges összevetni a kapott modellünket és annak geometriai méreteit a valódi szkennelni, modellezni kívánt darabbal.

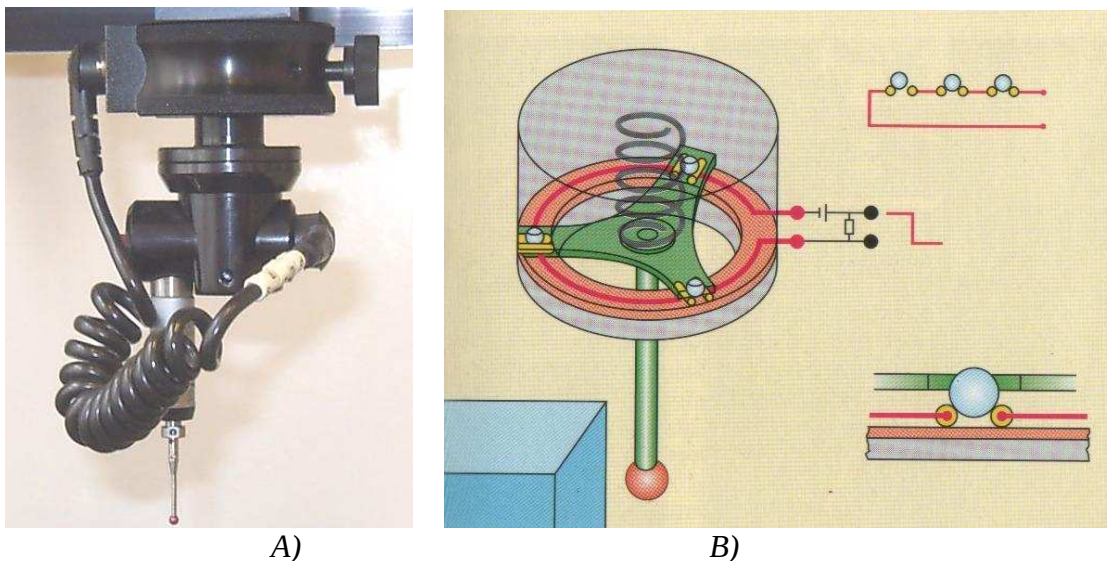
3D szkennelés típusai

3D szkennelési eljárások alapvetően két fő típusba sorolhatók: léteznek kontakt vagy érintkező eljárások, ahol a darab és a szkennelő berendezés mérőfeje érintkezik, illetve léteznek nem-kontakt eljárások, ahol a mérő elem nem érintkezik a felülettel. A két módszer rövid jellemzését a 15.1. táblázat és a 15.2. táblázat tartalmazza.

15.1. táblázat Kontakt szkennelés tulajdonságai

Kontakt: „Tapintós” szkennelés	
touch-trigger (érintő-kapcsolós) fejek	analóg (merev tapintós) fejek
Előnyei: - pontos; - olcsó; - kis tapintási erő.	Előnyei: - pontos; - gyors (sok pont/perc); - nagy sűrűségű letapogatás.
Hátrányai: - lassú (kevés pont/perc)	Hátrányai: - nagyobb tapintási erő.

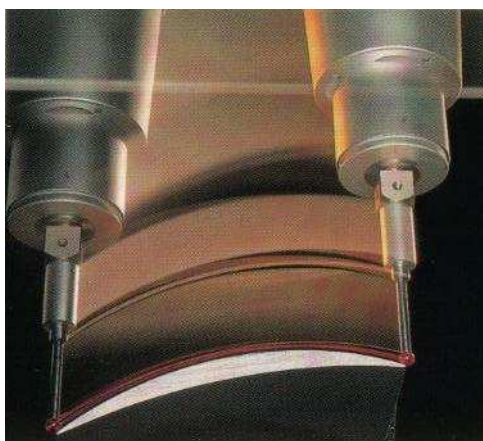
Viszonylag egyszerű szenzor az úgynevezett kapcsoló tapintófej. A kapcsoló fej egy előfe-szített tányérból és az azzal egybeépített elmozdulni képes mérőrészből áll. Lehetővé teszi több koordinátairány figyelembe vételét. A mérőrész hordozza magán a tapintót, általában a közvetlenül érintkező elem jó kopásállósággal rendelkező anyagból készül pl. szabályos rubin gömb. Érintésnél a tapintó kimozdul az eredeti helyzetéből, majd visszatér nyugalmi pozíciójába. Egy gyakran alkalmazott megoldás a hengerek és golyók kombinációja. A 15.4. ábra alapján jól látható, hogy egy áramkört alakítottak ki a kapcsolódási pontokon. Érintés esetén az elmozdulás hatására megszakad az áramkör. A szakadás következtében rögzítésre kerül a pillanatnyi hosszkoordináta a 3 fő irányban.



15.4. ábra Kapcsoló típusú tapintófej (A) TP20 típusú mérőfej, B) Kapcsoló tapintófej elve)

Szkenning típusú, azaz folyamatos tapintással végrehajtott mérés (15.5. ábra) során pontról pontra történő tapintás kibővítésre került a felület folyamatos letapogatásával. Az előzőekben említett mérő tapintó fej elektromos vezérléssel kerül beépítésre, így minden a feladathoz szükséges képesség rendelkezésre áll. A folyamatos érintés alatt, a munkadarabon keresztül meghatározott pálya mentén történik az elmozdulás. Ez alatt a hajtás figyelembe véve a geometria változását, folyamatosan szabályoz. Így biztosítható a mérési tartományon belül és érintésben maradás. 0,1 mm felbontás esetén a nagy mérőerő miatt előfordulhat $\pm 200\mu\text{m}$ ingadozás is, ezt a vezérlés észleli és csökkenti az erő értékét. Általában konstans értéken tartja.

A szkennelő letapogatás felhasználása a koordináta mérőgépek számára különösen előnyös. Az alakmérés megvalósítása által képes kiváltani a célgépeket, illetve a már meglévő berendezések által nyújtott lehetőségeket kibővíteni.



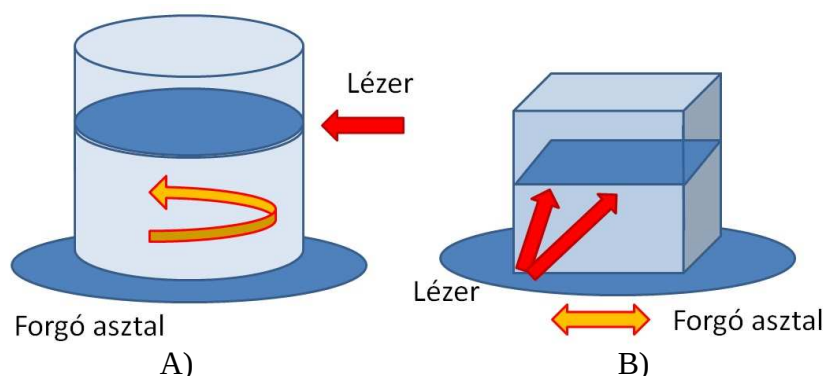
15.5. ábra Scanning típusú letapogatás

15.2. táblázat Nem-kontakt szkennelési eljárások tulajdonságai

Nem-kontakt szkennelés	
Lézer fénnel működő letapogató fejek	CCD kamera (plusz lézer)
Előnyei: - érintés nélküli szkennelés (letapogató); - nagyon gyors; - puha anyagokhoz is használható;	Előnyei: - hordozható - nem kell a munkadarb felfogásával foglalkozni (térszkennerek); - gyors; - akár 25000 pont/s.
Hátrányai (6. ábra): - korlátozott mélységek; - reflexiós problémák; - kötött lépéstávolság; - függőleges és alámetszett felületekhez nem/korlátozottan használható; - fényes felületekhez nem használható.	Hátrányai: - drágább eljárás;

Lézer fénnel működő szkennelés

A lézer fénnel működő szkennelő berendezések működési elve, hogy a kibocsátott lézer fény visszaverődési idejéből határozzák meg a távolságot, amely meghatározza az adott pont térbeli helyzetét.



15.6. ábra Szkennelési módok

A) kör szkennelés; B) sík szkennelés

Zárt 3D szkennelésnél alapvetően két szkennelési módot különböztetünk meg:

- Körszkennelési mód, amely ideális a forgásszimmetrikus vagy sima felületű tárgyak gyors szkenneléséhez. Miután a tárgyat az a szkennelő forgó asztalához rögzítik, a lézersugár függőleges pásztázza a felületet a digitális adatok létrehozására. Az eljárás elvi vázlatát az 15.6/A ábra szemlélteti.
- Síkszkennelési mód, amely a lapos vagy furatos, üreges tárgyak, aszimmetrikus formák szkenneléséhez ideális, illetve az aprólékosabb munkákhoz. Minden egyes oldal esetén külön megtörténik a függőleges azaz Z tengely irányú pásztázás. Az oldalakról készült pontfelületet célszoftver külön kezeli. Lehetőség van kézi és automatikus összeillesztésre. Az eljárás elvi vázlatát az 15.6/B ábra szemlélteti.

CCD kamera:

A CCD kamerával végzett szkennelési eljárást 2 vagy több CCD kamera plusz egy lézer végzi szoros szinkronban. A ZScanner térszkennerek (15.7. ábra CCD kamera plusz lézeres szkennelő eszközök (ZCorp ZScanner 700)) a teljes beolvasást egy menetben el tudják végezni, ami a folyamat teljes időszükségletét lerövidíti. Szemben más eszközökkel, ebben az esetben nem kell a munkadarab felfogásával foglalkozni, a nehezen elérhető darabok is digitalizálhatóak. Elérhető színes 3D szkennerek, amely egy időben olvassa be a test geometriai- és szín-adatait nagy felbontással. Textúra felbontása 50 – 250 DPI-ig terjed, amit 24 bit-es színmélységben tud biztosítani. Léteznek kifejezetten nagyméretű tárgyakhoz fejlesztett típusok is.



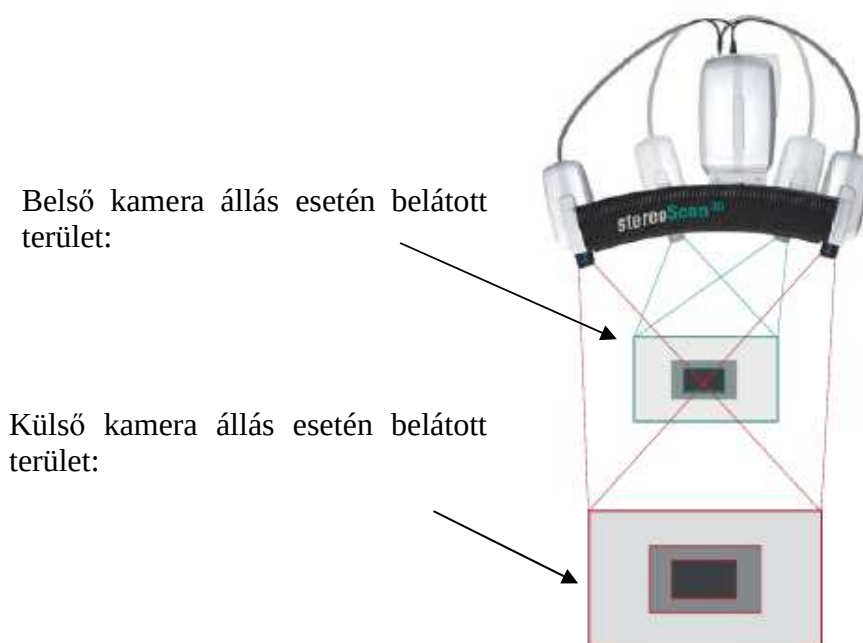
15.7. ábra CCD kamera plusz lézeres szkennelő eszközök (ZCorp ZScanner 700)

A következő berendezés két nagyfelbontású digitális kamerája a 15.8 ábrán jól láthatóan a befogókeret két szélén helyezkedik el. Középen a projektor (100 W-os halogén fényforrás) található, ami a kellő megvilágításért felel.



A) B)
15.8. ábra Breuckmann stereoSCAN3D 2 mérési pozíciója

A fizikai elhelyezkedést 2 fix pont között lehet állítani, a kamerák dőlésszögét pedig 3 tagból álló tartományból (10° , 20° , 30°) választhatjuk meg. Ennek következtében egy aszimmetrikus elhelyezkedést kapunk, ami a mérési tartomány többszintes változtatását teszi lehetővé. A 15.9 ábra szemlélteti a kamerák által belátható területet a különböző paraméterpárosítások mellett. Maga a mérés 380/880 mm távolságból végezhető el. „Z” irányba 2 μm felbontás érhető el, azonban ez függ a mérési tartomány méretétől. Az adatgyűjtési idő kevesebb, mint 1 másodperc.



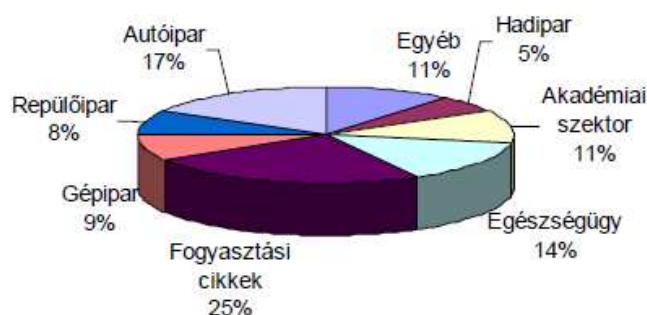
15.9. ábra Mérési tartományok alakulása stereoSCAN 3D berendezés esetén

15.2 Gyors prototípus gyártás

A mai modern szimulációs programok segítségével számtalan fontos vizsgálat végezhető el a virtuális modellterben. Azonban, ezeken a vizsgálatokon kívül egyre inkább megjelent annak az igénye, hogy ne csak „monitoron” keresztül, hanem fizikai formájukban is vizsgálhatóak legyenek a 3D-s modellek, a tervezés viszonylag korai stádiumában is. Az 1980-as évek végén kezdtek megjelenni az első 3D-s nyomtatási eljárások, melyeket Rapid

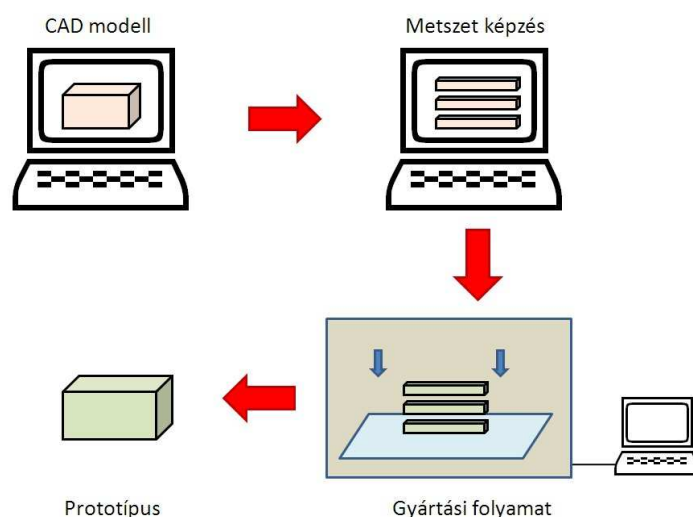
Prototyping (RP), azaz gyors prototípusgyártási eljárásnak neveztek el. A gyors prototípusgyártás olyan eljárások halmaza, amelyekkel fizikai értelemben vett tárgy hozható létre közvetlenül egy háromdimenziós CAD modellből.

Az RP technológiák fejlesztése, és térhódítása napjainkban jelentős mértékű. Nemcsak a prezentációs célokat szolgáló 3D-s modellek készítése vált elérhetővé, hanem funkcionális prototípusok gyártására is kivitelezhető bizonyos eljárásokkal. A teljesség igénye nélkül a modellek alkalmasak szemrevételezésre, szilárdsági ellenőrzésre, próbákra, az orvosi gyakorlatban vagy a régészetben csontprotézisekként, a szerszámgyártásban műanyag-alakító szerszámként (Rapid Tooling) is. Az RP eljárások széleskörű alkalmazási területeit az 15.10szemlélteti.



15.10. ábra RP technológiák alkalmazási területei

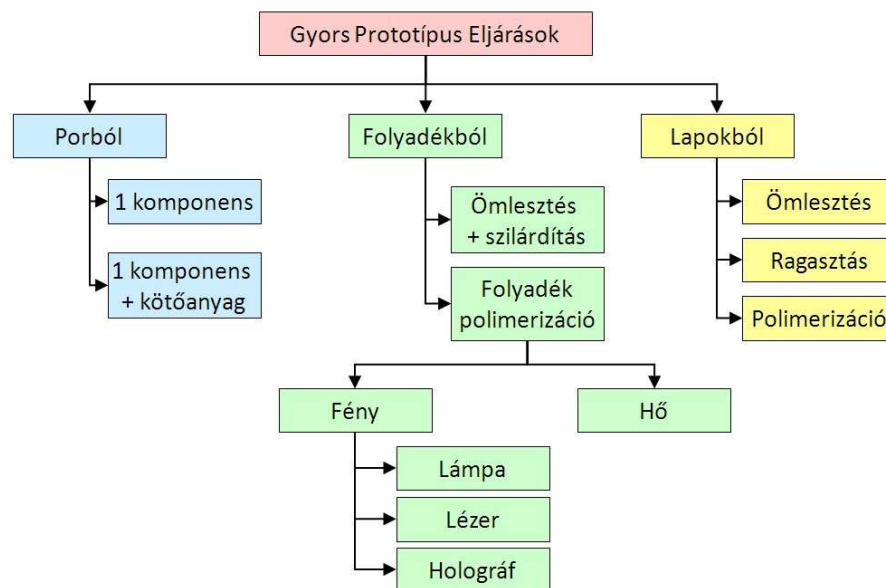
A gyors prototípusgyártási technológia általános modellgenerálási lépéseit mutatja a 15.11. ábra. Kiindulási pontként, valamely CAD rendszerrel történő virtuális modell szerkesztése, és egy megfelelő (STL fájlformátum), RP vezérlés számára feldolgozható fájlba történő konvertálása történik.



15.11. ábra Az RP technológia általános modellgenerálási lépései

A létrehozott .stl kiterjesztésű modell szeletelésével folytatódik a feldolgozás. Ezt követően a rétegek kialakítása és valamilyen RP eljárással, a létrehozott keresztmetszetek, szeletek összekötésére kerül sor. Az elkészült prototípus az RP technológia függvényében további eljárásokra (felületkezelés, utólagos kikeményítés, támaszanyag eltávolítás) szorulhat.

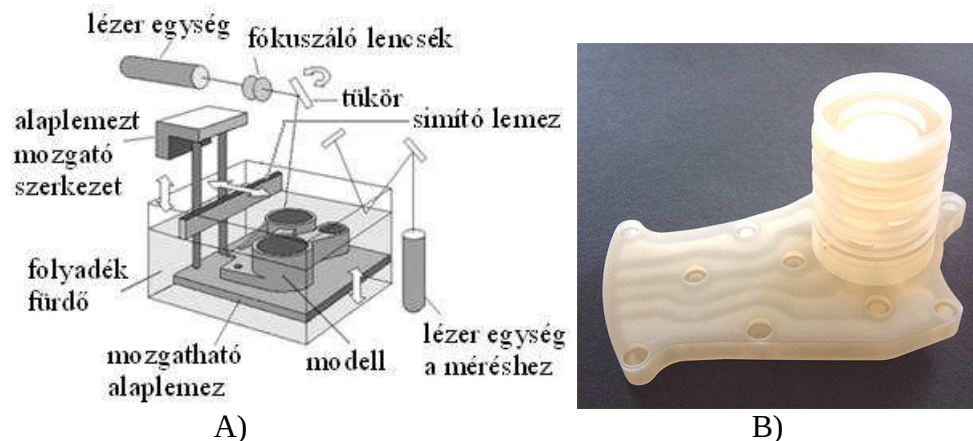
A továbbiakban bemutatjuk a gyakorlatban használt RP technológiákat. A 15.12 ábra a gyors prototípus gyártási eljárások működési elveit foglalja össze.



15.12. ábra Gyors prototípus gyártási eljárások osztályozása

SLA (Stereolithography) - Sztereolitográfia

A működési elve azon alapszik, hogy a számítógéppel vezérelt lézersugár energiájának segítségével lehetőség van bizonyos folyadék halmazállapotú monomerekből (pl.: epoxi-akrilát, uretán-akrilát) rétegenként szilárd, polimerizált anyagú, térbeli modellt létrehozni. Hőkezeléssel a modell szilárdsága tovább növelhető. A folyamat során az asztal a rétegvastagságnak megfelelően, automatizált vezérléssel, fokozatosan süllyed. Működési elvét 15.13. ábra szemlélteti.



15.13. ábra Sztereolitográfia
A) Működési elv, B) Mintadarab

Az eljárás előnyei:

- pontos eljárás,
- részmodellekből is felépíthető a modell,
- az elkészült modellek tovább munkálhatóak, forgácsolhatóak.

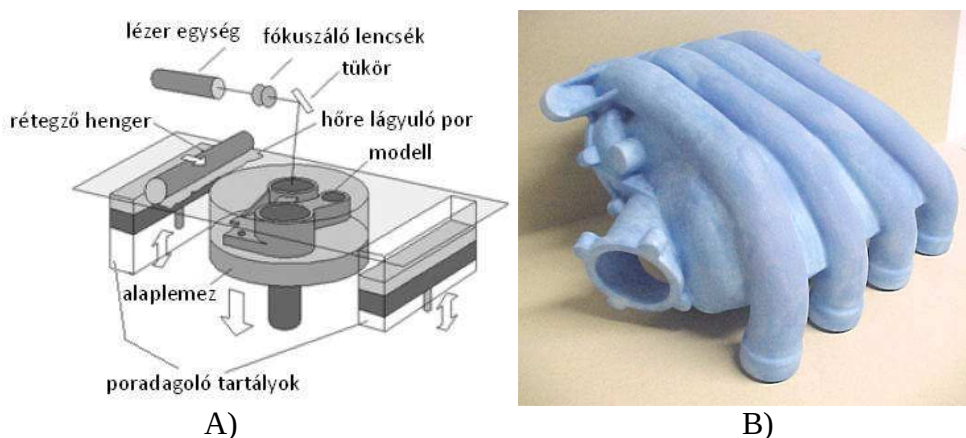
Hátrányai:

- csak fotopolimer anyagok használhatóak,

- 95%-os az elkészült darab szilárdsági foka, további kikeményítést igényel,
- támasztékot kell készíteni,
- tisztításra szorul az elkészült modell,
- 0,5 mm falvastagságnál vékonyabb fal nem készíthető.

SLS (Selective Laser Sintering) - Szelektív Lézer Szinterezés

Ez a gyártási eljárás nagyon hasonlít a lézer sztereolitográfiához. Itt is egy mozgó asztalon, rétegenként, lézersugár segítségével épül fel a modell. Azonban ennél az eljárásnál térhálósítás nem történik, hanem az egyes rétegeket egy nagy teljesítményű lézersugár olvasztja össze. A felhasznált alapanyag sem folyadék, hanem hőre lágyuló polimer por szemcsék (használható fémpor is, polimer szemcse kötőanyaggal). Működési elvét mutatja a 15.14. ábra.



15.14. ábra Szelektív lézer szinterezés

A) Működési elv, B) Mintadarab

A lefelé elmozduló asztalon rétegről rétegre épül fel a modell. Az egymást követő rétegeket egy henger viszi fel a félkész termékre. A felvitt réteget lézersugár olvasztja rá az előző rétegre. A folyamat addig ismétlődik, míg el nem készül a modell. Gyártás során nincs szükség a prototípus alaplemezhez történő kötésére, mivel az össze nem olvasztott, tömörített por alapanyag így megfelelő rögzítést biztosít. Az SLA eljárással szemben, utókezelésre nincs szükség, mivel térhálósítás nem történik.

Az eljárás előnyei:

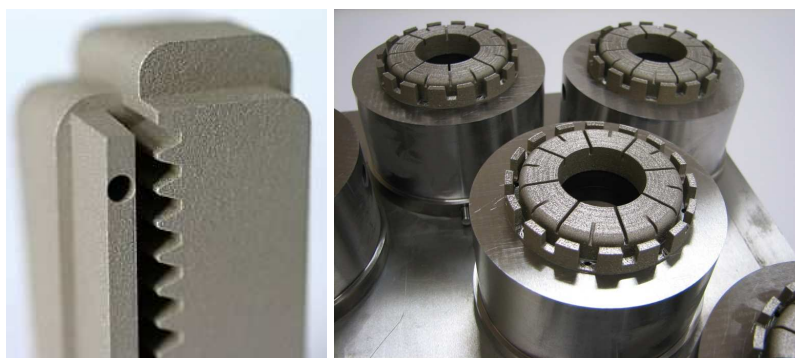
- működő modellek is készíthetők;
- a fel nem használt alapanyag újra felhasználható;
- homokfúvással tisztítható, azonnal felhasználható.

Hátrányai:

- a porszemek nagyságától függő pontosság;
- a belső üregek tisztítása nehézkes;
- a szélső porszemek könnyen leválhatnak;
- olvadási hőmérséklet közelében kell tartani a porágyat;
- nitrogén atmoszféra szükséges az oxidáció elkerülésére;
- hosszú felfűtési és lehűtési idő.

DMLS (Direct Metal Laser Sintering) – Közvetlen Fém Lézer Szinterezés

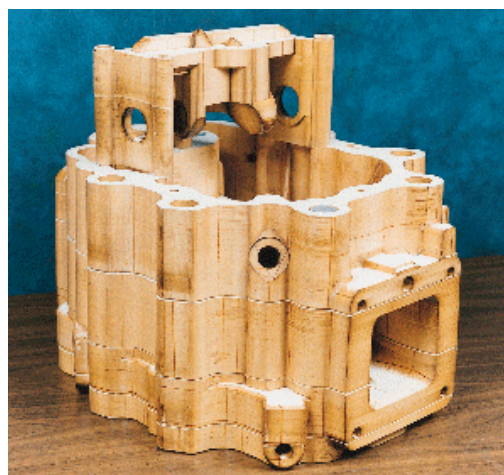
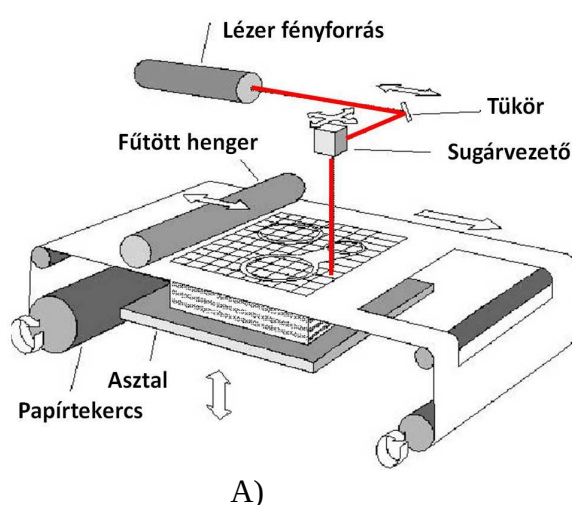
Az SLS eljárás továbbfejlesztésével hozta létre az EOS cég a közvetlen fém lézer szinterelési (DMLS - Direct Metal Laser Sintering) eljárást, mely során 0,4 – 0,6 mm szemcsenagyságú fém (bronz, acél) szemcsékből épül fel a prototípus, melyet hőkezelní kell a végleges keménység eléréséhez. Acél prototípus esetén akár 50 HRC feletti keménység is elérhető, így az elkészült darabok közvetlenül felhasználhatók végleges alkatrész-ként is. A 15.15. ábra ilyen szerszám elemeket mutat.



15.15. ábra DMLS eljárással gyártott alkatrészek

LOM (Laminated Object Manufacturing) - Rétegelt darabgyártás

A technológia elvi vázlatát a 15.16. ábra szemlélteti. Ennél az eljárásnál általában speciális papírból készül a modell.



15.16. ábra Rétegelt darab gyártás
A) Működési elv, B) Mintadarab

A LOM eljárás során használt speciális papír egyik oldala hőre érzékeny ragasztóval van bevonva, melyet egy fűtött, simító henger aktivizál. A modell elkészítésének kezdetén az első réteget (a legalsó réteget) a függőlegesen mozgatható asztalhoz ragasztják, valamint néhány réteget felvisznek a tényleges modell gyártásának megkezdése előtt. Egy új réteg felvitelét követően a lézersugár belevágja a számítógépes rendszer által létrehozott külső (és belső kontúrt), illetve a fennmaradó anyagrész eltávolításának megkönnyítése érdekében a berácsozza azt. Egy réteg elkészülte után a munkaasztal egy rétegvastagságnyi le-süllyed, és újabb papírréteg kerül felhelyezésre a félkész modellre. A folyamat addig is-

métlődik, amíg a prototípus maximális „Z” irányú méretét el nem éri. A modellt elkészülte után a papírtömbből kibontják, és utókezelik. Az utókezelés lehet csiszolás, festés, védőanyaggal történő felületbevonás.

A LOM eljárás előnyei:

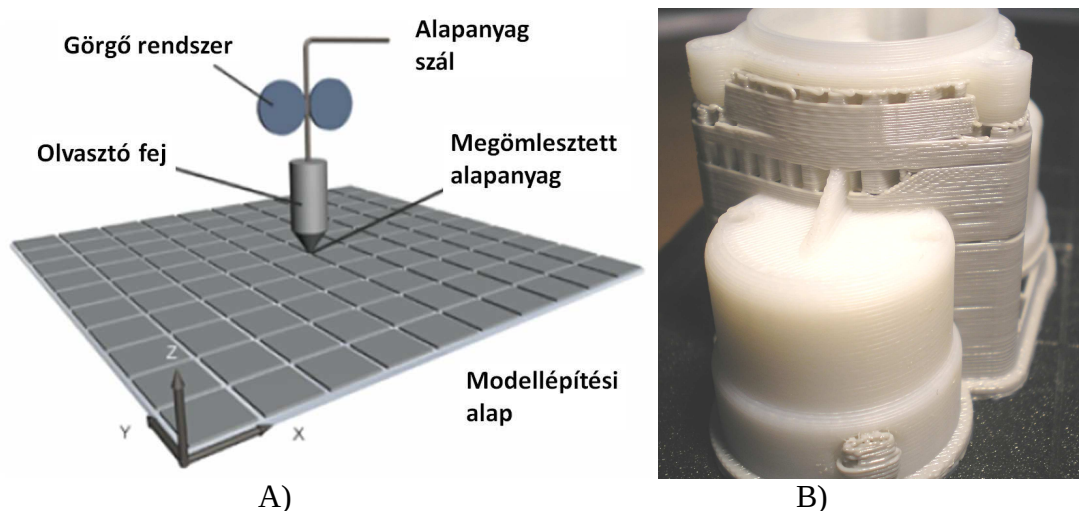
- olcsó alapanyag;
- nagy modellek készíthetőek;
- támaszra nincs szükség, mert a fennmaradó papír rögzíti a modellt,
- a kész darab után munkálható.

Hátrányai:

- a merőleges és a rétegirányú mechanikai tulajdonságok eltérőek;
- a nem szükséges, belső modell részek, nehezen távolíthatóak el.

FDM (Fused Deposition Modelling) - Huzalleolvastásos modellépítés

A technológia lényege: egy hőre lágyuló polimer szál megolvastása, majd újra megszilárdítása a kívánt modell geometriájának megfelelően. A technológia elvi vázlatát a 15.17. ábra szemlélteti.



15.17. ábra Huzalleolvastásos gyorsprototípus gyártás
A) Működési elv, B) Mintadarab (BASS)

Egy x - y síkban mozgatható, elektromosan fűtött olvasztófej a bele táplált szálformájú anyagot kevéssel az olvadáspontja fölé hevíti („Z” - magassági helyzetet pedig a többi gyors prototípus gyártó eljáráshoz hasonlóan az asztal süllyesztése adja). Ezáltal az anyag könnyen alakíthatóvá válik, illetve hozzátapad az előzőleg felvitt réteghez. Az alapanyag néhány tized másodperc alatt megszilárdul. Egy réteg felvitele után az alaplap rétegvastagságnyi egységgel lesüllyed, megkezdődik a következő réteg felvitele. Alapanyagként főként ABS (Akrilonitril-Butadién-Sztirol), ABSi (ütésállóbb ABS), PC (Polikarbonát) anyagokat használnak. Ennél az eljárásnál is szükséges a támaszanyag használata. A támaszanyag ridegebb, törekenyebb az alapanyagnál, ezért az elkészült modelltől kézzel letörhető, vagy leoldható. A támaszanyag kitöréssel történő eltávolítását BASS (Break Away Support System), oldással pedig SST (Soluble Support System) rendszernek nevezzük. A modell térkitöltését vizsgálva készülhet szoros, vagy ritkított térkitöltésű (a kész modell sűrűsége egyharmada a szoros térkitöltésűnek) modellnek.

Az eljárás előnyei:

- kis gépméret;
- káros gázok nem keletkeznek;
- egyszerű technológia.

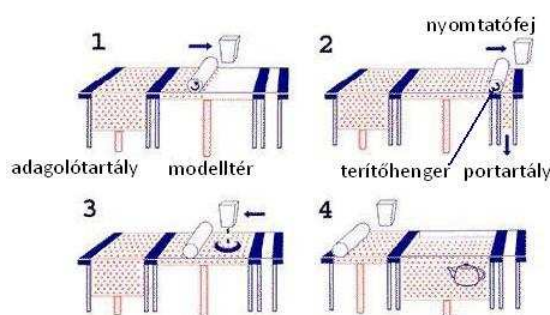
Hátrányai:

- keskeny rések és bordák nem állíthatók elő;
- pontatlanság, főként z irányban;
- durva felületminőség.

3DP (3 Dimensional Printing) – 3D nyomtatás

A szelektív lézer szinterezéshez hasonlóan itt is por alapanyagot kötünk meg, csak nem lézersugár segítségével, hanem ragasztóanyag felhordásával. Az eljárás elve hasonló a tintasugaras nyomtató technológiájához, csak ebben nem tintát lövell ki a nyomtató fej, hanem ragasztó anyagot. A modell elkészítése itt is rétegről rétegre történik. Az egymásra épülő rétegek megszilárdítása a fúvókák által kilövellt ragasztóanyaggal van biztosítva. Egy réteg elkészülte után a porfürdő egy rétegvastagságnival lesüllyed. Ezt követően a terítő henger a portartályból szétteríti a következő réteg elkészítéséhez szükséges por alapanyagot. Ezek a lépések ismétlődnek a végleges geometria eléréséig. Ennél az eljárásnál sincs szükség külön támaszték készítésére, mivel a porágy megfelelő stabilitást biztosít. A modell elkészülte után a felesleges por eltávolításra kerül. Lehetőség van színes nyomtatásra is, mivel a ragasztó mellett színes festék is felvihető a rétegekre.

Nyomtatást követően az elkészített modell részben porózus szerkezetű, törékeny, ezért telíteni kell. A telítő anyag lehet például: műgyanta, viasz. A 3DP nyomtatás elvét a 15.18. ábra mutatja.



A)



B)

15.18. ábra 3D nyomtatás
A) Működési elv, B) Mintadarab

Felhasznált anyagok tekintetében egyre szélesebb skála jelenik meg. Alkalmazott alapanyagok tekintetében a következők különböztethetők meg: keményített cellulóz por, gipszpor, kerámia por, nagy teljesítményű kompozit alapanyagok (kompozit műanyag). Különböző fantázianevű anyagokat más-más alkalmazásokhoz lett kifejlesztve, például [1]:

- Elastomeric (gumi-szerű tulajdonsággal rendelkező anyag),
- Direct casting (nem vas fémöntvények formakészítéséhez),
- Investment casting (viaszkiolvasztásos precíziós öntéshez, mintakészítéshez).

Az eljárás előnyei:

- előállítási sebesség;

PolyJet - Polimer nyomtatás

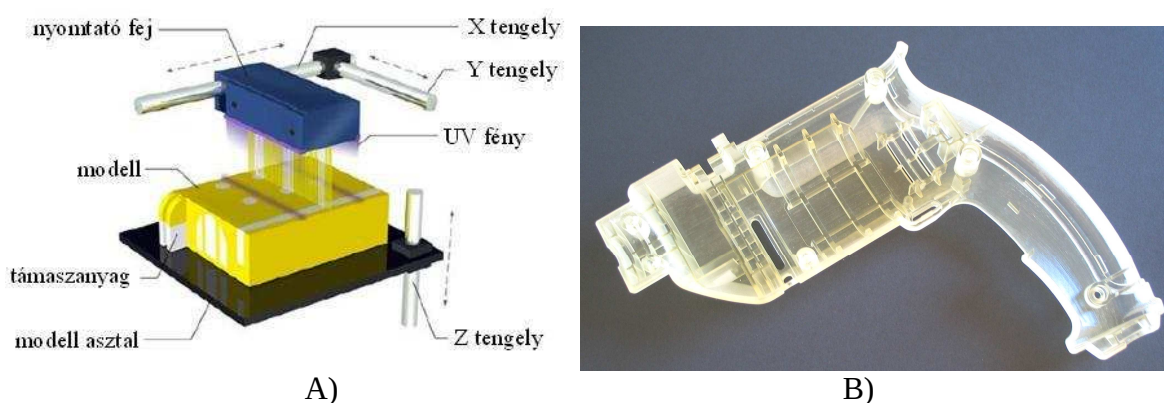
Több RP technológia előnyét egyesítették a PolyJet módszerrel. Az eljárás elve itt is a tintasugaras nyomtatás technológiájához hasonló, úgymint a 3DP nyomtatásnál. Azonban ez esetben nem ragasztóanyagot lövell ki a nyomtatófej, hanem közvetlenül a végleges modell anyagát (15.20. ábra). A prototípus felépítése ennél az eljárásnál is rétegről rétegre történik. Az alapanyag fényérzékeny polimer, melynek kikeményítése, megszilárdítása UV fény segítségével történik. Nyomtatás során támaszanyag létrehozásra is szükség van, ami a nyomtatás befejeztével vízzel oldható, eltávolítható. Az eddig ismertetett eljárások közül ezzel az eljárással lehet a legkisebb rétegvastagságot nyomtatni ($16\mu\text{m}$).

Az eljárás előnyei:

- a rétegvastagság ultravékony ($16\mu\text{m}$);
- erős és rugalmas alapanyag;
- vékony falvastagságú modell gyártható ($0,6\text{ mm}$);
- sima felület.

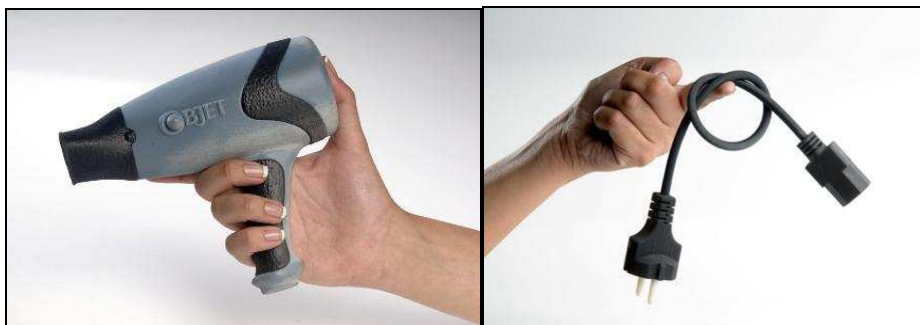
Hátrányai:

- viszonylag drága berendezés;
- támaszanyag szükséges;
- csak fotopolimerek használhatóak, (tartós 40°C (napsütés) hatására kilágyulnak).



15.20. ábra Polimer nyomtatás
A) Működési elv, B) Mintadarab

Az eljárás lehetővé teszi a több komponensű modellek készítését is. A második (vagy harmadik) komponens lehet eltérő színű, de eltérő anyagú is. Az anyagválaszték rugalmas, gumi jellegű anyagot is tartalmaz (15.21. ábra).



15.21. ábra PolyJet eljárással készített több komponensű és rugalmas prototípus

15.3 CAM rendszerek

A CAM (computer aided manufacturing) rendszerek feladata, hogy kapcsolatot teremtsenek a CAD rendszerek virtuális világa és a valós alkatrészek gyártása között. Egy alkatrész gyártási folyamatának megtervezése számos lépésből áll, melynek ismertetése túlmutat jelen tananyag keretein. A CAM rendszerek ezen tervezési feladatok közül két részfeladatot oldanak meg, a szerszámpálya tervezést, valamint az NC program elkészítését.

A CAM rendszerek tehát NC, vagyis számjegy vezérlésű szerszámgépek vezérlő programjainak előállítására képesek. Az NC vezérlésű gép technológiai szempontból sokféle lehet: esztergagép, marógép, huzal elektródás szikraforgácsoló gép, tömbelektródás szikraforgácsoló gép, lézer / plazma / vízsugaras vágó gép, köszörű gép, lemezmegmunkáló gép stb. A CAM rendszerek legjelentősebb alkalmazási területe a marógépek, megmunkálóközpontok NC programjainak előállítása.

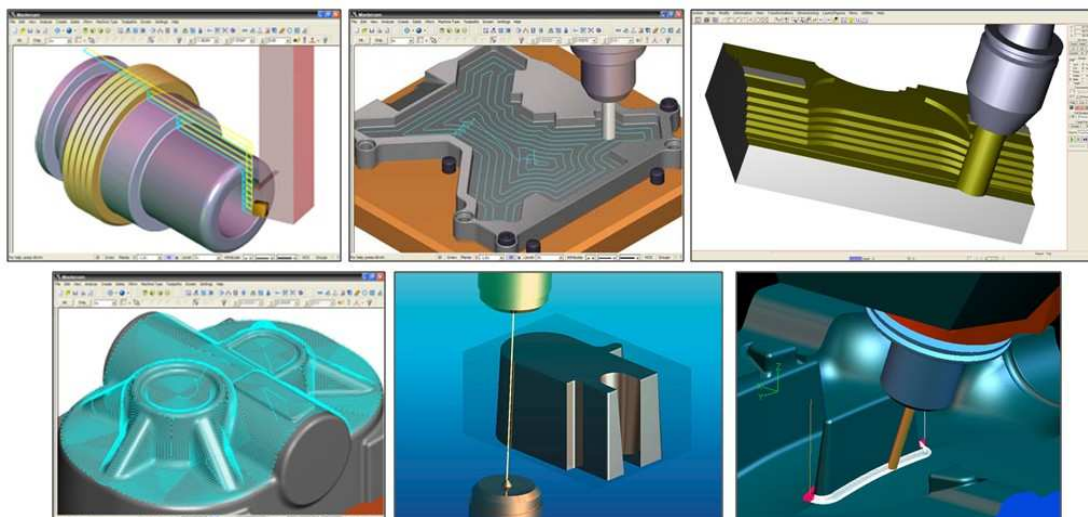
CAM rendszerek képességének jellemzésére a megmunkálás típusa mellett a megmunkálás dimenzióját használjuk. A megmunkálás – vezérlés – dimenzió száma az egyidejűleg mozgatható tengelyek, lineáris vagy forgó elmozdulási lehetőségek számát adja meg.

E felosztás szerint léteznek 2D-s CAM mozgáspálya típusok, melyek két koordináta tengely mentén történő egyidejű forgácsoló megmunkálást tesznek lehetővé. 2D-s mozgáspályákat tipikusan esztergálás esetén alkalmazunk vagy vágó gépek esetén (lézer, plazma, vízsugár, huzal elektródás szikraforgácsolás).

2.5D-s mozgáspályák esetén két tengely mentén történik megmunkáló mozgás, a harmadik tengely mentén pedig fogásvételt végzünk, majd egyszerűbb esetben ugyan azt a szerszámpályát ismétljük meg, vagy egy eltérő kontúr mentén végzünk mozgást. 2.5D-s mozgásciklusok közé tartoznak a síkmarási ciklusok, a teraszoló nagyoló marási ciklusok, vagy a teraszoló simító marási ciklusok.

3D-s mozgáspályák esetén három tengely mentén történik forgácsoló megmunkálás. Szoborszerű felületek simító marásának mozgásciklusai tartoznak ebbe a körbe.

Huzalelektródás szikraforgácsolás esetén beszélhetünk 4D-s megmunkálásról, amikor az alsó és a felső huzalvezető különböző síkgörbe mentén mozoghat, így tetszőleges vonalfelületet lehet elkészíteni.



15.22. ábra CAM alkalmazások (nagyoló hosszesztergálás, zsebmarás, teraszoló nagyoló marás, simító felület marás, huzalelektrodás szikraforgácsolás, 5D-s felület marás)

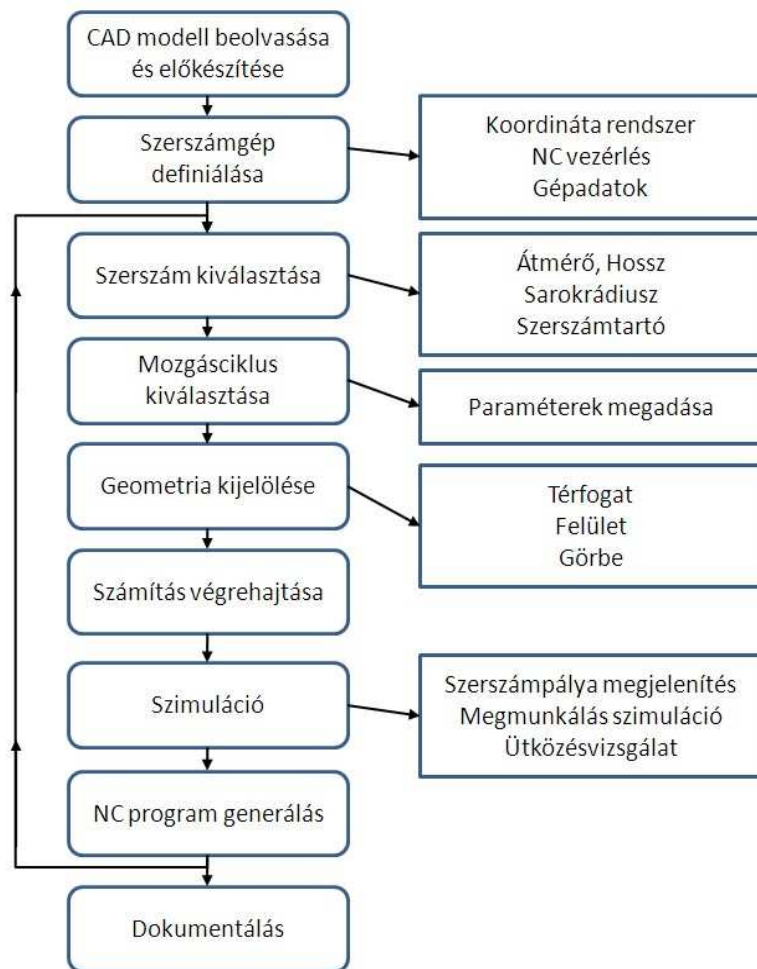
5D-s mozgásciklusokat elsősorban 5D-s marás során alkalmaznak, ahol az XYZ lineáris tengelyek menti elmozdulás mellett további két tengely menti elfordulást (billentést) lehet megvalósítani.

További sok dimenziós, sok tengely menti egyidejű elmozdulási lehetőség megvalósítására alkalmas mozgáspályákat, vezérléseket elsősorban bonyolult megmunkáló gépeken (pl. többsörös eszterga központok, szerszámköszörű) illetve ipari robotok esetén alkalmazhatunk.

A 15.23. ábra az általános CAM folyamatot mutatja. Egyes rendszerekben a különböző információ elemeket eltérő sorrendben adhatjuk meg, azonban ez a lényegi lépéseket nem érinti.

Az első lépés a CAD modell beolvasása a CAM rendszerbe, melynek problémáiról a 13. fejezetben szoltunk. Gyakori feladat a CAD modell módosítása, mely során elfedjük vagy eltüntetjük azon geometriai elemeket, melyeket nem kívánunk megmunkálni az adott szerzámgépen, felfogásban és zavaróak lehetnek a megmunkálás tervezése során (pl. felületen lévő furatok). Ezt a geometriai előkészítés vagy a beolvasás előtt a CAD rendszerben kell megtenni, vagy a CAM rendszer biztosít rá lehetőséget. A modell előkészítésének utolsó lépése az előgyártmány definiálása, vagyis a művelet¹ végrehajtása előtti alkatrész állapot definiálása.

¹ Művelet a gyártási folyamat önmagában befejezettnek tekinthető, megszakítás nélkül végzett szakasza. A művelet a gyártási folyamat tervezési és szervezési egysége, amely több *műveletelemből* áll. Forgácsolástechnológiában műveletnek nevezzük az egy gépen, egy felfogásban végrehajtott megmunkálások összességét. [4.]



15.23. ábra CAM folyamat

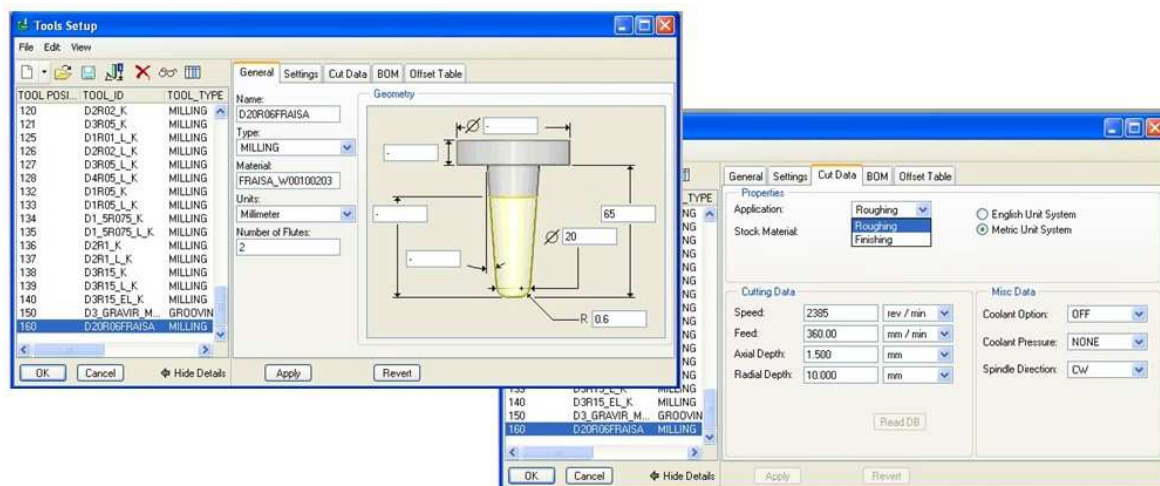
A következő lépés a szerszámgép és a gyártási környezet definiálása, ami több részből áll. Egyrészt definiálni kell a megmunkálás munkadarab koordináta rendszerét, melyben az NC program értelmezhető illetve ehhez kapcsolódó biztonsági síkokat. Általában kétféle biztonsági sík adható meg. Az egyik azt a szintet határozza meg, ameddig a szerszámpálya tervezés során az összekötő mozgások során a szerszám kiemelése történik. A másik típusú biztonsági sík a 3D-s gyorsjáratú mozgásokat határolja, e sík alatt ilyen mozgások tiltottak. Sok CAM rendszerben a két típus nem válik el, csak egy biztonsági sík definiálható. A gyártási környezet definiálása során másrészt ki kell választani az NC vezérlés típusát, mivel a különféle típusú vezérlők NC programnyelve eltérő lehet. Harmadrészt megadhatók azon szerszámgép adatok, melyek hatással lehetnek a generált mozgáspályára, mint például a gép mozgástartomány vagy a fordulatszám és előtolás tartománya.

Ezen előkészítő tevékenységek után kezdődik az egyes műveletelemek² definiálása.

Első lépésként meg kell adni a kiválasztott szerszám adatait. A szerszámpálya tervezés szempontjából releváns szerszámadatok marás – mint legelterjedtebb alkalmazás - esetén a következők: szerszám átmérő, sarokrádiusz, szerszám hossz. A többi adat (pl. élgeometria, fogszám, felépítés, anyag, bevonat) nem játszik szerepet a szerszámpálya számítás során.

² Műveletelem a művelet különválasztható és külön elemezhető, tervezhető eleme. Forgácsolástechnológiában az egy szerszámmal geometriailag és technológiailag összefüggő ráhagyási alakzat eltávolítását nevezük műveletelemnek. [4.]

A CAM rendszerekben lehetőség van a szerszámgépen alkalmazott szerszámokból szer-
szám adatbázist szervezni, amely a geometriai paraméterek mellett a forgácsolási paramé-
tereket is tartalmazza akár többféle anyagra és megmunkálási fokozatra (nagyolás, simí-
tás).



15.24. ábra Szerszám adatainak megadása a Pro/Engineer rendszerben

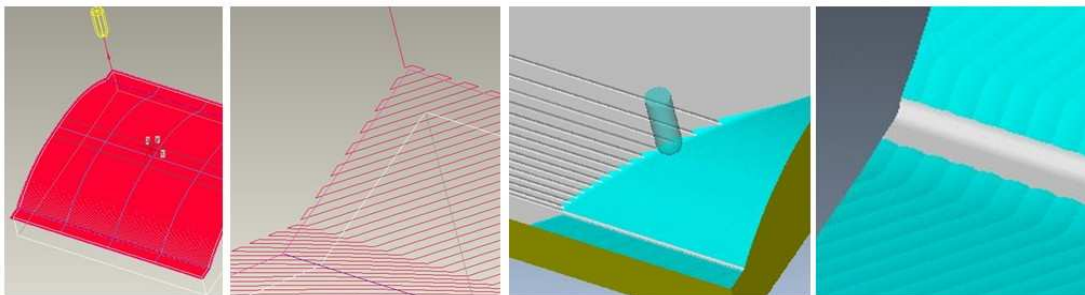
A következő lépés a mozgáspálya stratégia kiválasztása, mely meghatározza a mozgáscik-
lus alapvető tulajdonságait. A kiválasztás után meg kell adni a stratégia paramétereit, me-
lyek meghatározzák a szerszám mozgáspályájának geometriai és technológiai részleteit.
Egy marási feladatokra kifejlesztett CAM rendszer általában a következő mozgáspálya
típusokat tartalmazza:

- Nagyoló térfogat marás
- Teraszoló simítás (meredek felületek simítása)
- 3D felület simítás
- Maradékanyag eltávolítás
- Síkmarás
- Zsebmarás
- Gravírozás
- Trajektória marás
- Fúrás

A stratégia kiválasztása után meg kell adni azon geometriai elemeket, melyeken a stratégi-
át értelmezni szeretnénk. A geometriai elem típusa függ a kiválasztott stratégiától:

- Görze: trajektória marás, gravírozás;
- Tengely: fúrás;
- Felület: 3D felület simítás, teraszoló simítás, síkmarás, zsebmarás, nagyoló térfogat
marás;
- Térfogat: nagyoló térfogat marás, zsebmarás.

CAM rendszertől függően a geometriai elemeket kijelölhetjük a CAD modellen, vagy kü-
lön megmunkálási geometriai elemeket hozhatunk létre.



15.25. ábra Mozgáspálya szimuláció szerszámpálya megjelenítésével és geometriai szimulációval

Az adatok megadása után végrehajtjuk a számítást, majd szimulációval ellenőrizzük az eredményt (15.25. ábra). A szimuláció legegyszerűbb módja a szerszámpálya megjelenítése, ahol a szerszám vezérelt pontjának útvonalát láthatjuk. Ennél több információt nyújt a geometriai szimuláció, ahol láthatóvá válik a létrejövő munkadarab geometria, ellenőrizhető a megmunkált felület és az adott szerszámmal nem hozzáférhető régiók. A szimuláció során a munkadarab és a szerszám mellett lehetőség van a teljes szerszámgép megjelenítésére is, amely különösen 5D-s marási feladatok esetén nélkülözhetetlen. A szimuláció további aspektusát jelenti az ütközés vizsgálat, amely során azt ellenőrizzük, hogy a szerszám és szerszámbefogó rendszer ütközik-e a munkadarab nem megmunkált felületeivel, a munkadarab befogó készülékkel illetve a szerszámgéppel.

A számítás eredményeként a mozgáspálya NC vezérlés független leírása jön létre, melyet át kell fordítani, konvertálni az NC vezérlésnek megfelelő NC programmá. Ez a folyamat a posztprocesszálas, vagyis utófeldolgozás. Az így előállított program már alkalmas a szerszámgép vezérlésébe való betöltésre és futtatásra. A posztprocesszálas után egy újabb műveletelem megadásával folytathatjuk a művelet programozását. A 15.3. táblázat ugyan annak a mozgáspályának a vezérlés független és a vezérlés függő változatának egy részletét mutatja.

15.3. táblázat Vezérlés független és vezérlés függő program részlet

<pre> \$\$\$* Pro/CLfile Version Wildfire 4.0 - C000 \$\$\$-> MFGNO / TET_SURF_MILLINGPARTNO / TET_SURF_MILLING \$\$\$-> FEATNO / 13MACHIN / MILL, 1 \$\$\$-> CUTCOM_GEOMETRY_TYPE / OUT- PUT_ON_CENTERUNITS / MMLOADTL / 160 \$\$\$-> D20 R0.6 Fraisa \$\$\$-> CUTTER / 20.000000 \$\$\$-> CSYS / 1.000, 0.000, 0.000, 0.000, \$ 0.000, 1.000, 0.000, 0.000, \$ 0.000, 0.000, 1.000, 0.000 SPINDL / RPM, 2385.000000, CLW RAPID FROM / 110.300, 0.000, 10.000 \$\$\$-> SETSTART / 110.300, 0.000, 10.000 RAPID GOTO / 110.300, 0.000, -6.000 FEDRAT / 180.000000, MMPM GOTO / 110.300, 0.000, -9.500 FEDRAT / 360.000000, MMPM GOTO / 5.000, 0.000, -9.500 GOTO / 5.000, 7.200, -9.500 GOTO / -4.700, 7.200, -9.500 GOTO / -4.700, -7.200, -9.500 GOTO / 5.000, -7.200, -9.500 </pre>	<pre> N10 (=====) N20 (= cPost Standard PP for FANUC 11M =) N30 (=====) N40 G90 G17 G40 N50 (===== TOOL CHANGE =====) N60 (DESC :D20 R0.6 Fraisa) N70 (=====) N80 T030T0M6 N90 G91 G28 Z0. M6 N100 G0 G90 S2385 M3 N110 G0 X110.3 Y0.0 Z10.0 N120 G0 Z-6.0 N130 G1 Z-9.5 F180 N140 G1 X5.0 F360 N150 Y7.2 N160 X-4.7 N170 Y-7.2 N180 X5.0 </pre>
---	---

Valamennyi műveletelem definiálása után az utolsó lépés a technológiai dokumentáció elkészítése, melyben a szerszámgép kezelője számára meg kell adnunk a nullpont helyzetét, a koordináta tengelyek irányát, az egyes NC programok sorszámát, nevét, a szerszám azonosítóját, esetleg a forgácsolási paramétereket és a műveletelem idejét. A különböző CAM rendszerek a dokumentálás folyamatát eltérő módon támogatják, a teljesen automatikus dokumentum készítéstől az egyszerű adatlekérésig és manuális dokumentum készítésig terjed a kínálat.

15.4 Irodalom

- [1.] 3D printer - alapanyagok a 3D nyomtatáshoz. Digit Számítástechnikai Kereskedelmi Bt; <http://digit.hu/3d/3d-anyagok.html>
- [2.] Andres Gebhardt: Rapid prototyping: Werkzeug für die schnelle Produktentwicklung; Carl Hauser Verlag München 1996.
- [3.] Czvikovszky Tibor, Nagy Péter, Gaál János: A polimertechnika alapjai; Műegyetemi kiadó, Budapest, 2003.
- [4.] Szegh Imre: Gyártástervezés; Műegyetemi kiadó, Budapest 1996.