

# DFX TECHNIKÁK ALKALMAZÁSA A GÉPTERVEZÉS SORÁN

## APPLICATION OF DFX TECHNIQUES DURING MACHINE DESIGN

Dr. Gotthard Viktor, PhD\*

### ABSTRACT

*The theory and methodology of DFX techniques are not fully known and widespread among machine designers. However, I believe that they do have a place in the toolbox of design engineers.*

*That is why I set myself the goal of better presenting DFX techniques and their main directions to machine designers, highlighting which direction can be applied during which machine design step or phase. The article is informative, the length is not suitable for a detailed description of DFX techniques, but it is enough for a basic introduction and an overview of application possibilities.*

### 1. BEVEZETÉS

A géptervezés folyamata egy összetett, több lépésből álló mérnöki tevékenység, amelynek célja egy új gép vagy berendezés megalkotása, illetve egy meglévő továbbfejlesztése. A tervezés folyamatát és fázisait mutatja be a cikk első része.

A cikk második része a DfX-technikákat mutatja be, irányait, elméletét és a főbb jellemzőit foglalja össze.

A harmadik rész pedig kettő metszéspontjaira mutatja be, azaz a DfX technikák egyes ágainak alkalmazását a géptervezés fázisai során.

### 2. A GÉPTERVEZÉS FOLYAMATA ÉS FŐBB FÁZISAI

A géptervezésnek elméletben alapvetően négy szakasza van, az első az *igény- és problémadefiníció*, ez az induló fázis, ahol meghatározzuk, milyen igényeket kell kielégíteni és milyen problémát kell megoldani. A második fő rész a *funkció- és hatáselkeresés*, ennek során keresünk megoldási elveket és definiáljuk a funkcionális követelményeket. A harmadik szakasz az *alternatív megoldások kidolgozása* és értékelése, ennek során több lehetséges megoldást dolgozunk ki és értékelünk műszaki és gazdasági szempontok alapján. Végül pedig következik a *részletes kidolgozás és megtervezés*, amelynek során részletesen kidolgozzuk a kiválasztott megoldás tervét és létrehozunk a tervdokumentációt.

A DfX technikákat igen elterjedten alkalmazzák napjainkban a terméktervezés és a géptervezés során

A gyakorlatban az ipari alkalmazás során több lényeges fázist különböztetünk meg, ezeket mutatja be a következő táblázat: a fázisok megnevezését, a leírásukat a lényeges jellemzőkkel és a fázis lezárásakor elérendő célt [1].

1. táblázat. A tervezés főbb fázisai.

TERVEZÉSI FÁZIS	LEÍRÁS	CÉL
Feladat pontosítás	Probléma megfogalmazás, célkitűtés	Egyértelmű kiindulási igény és keretek meghatározása
Tervező csapat	Teamtagok, vezető, szerepek kiosztása, célcsoport meghatározása	Szakmailag és szervezetenként megfelelő csapat összeállítása
Specifikáció	Probléma, igények, keretek, követelmények meghatározása	A feladat tisztázása, célok kijelölése, követelmények meghatározása
Koncepció alkotás	Funkciók feltérképezése, elvi megoldások keresése, morfológiai mátrix	Többféle működési elv vagy rendszer- struktúra létrehozása
Főterv	Lehetséges változatok kidolgozása, értékelése	Optimális megoldás kiválasztása
Megtervezés	Részletek, anyagok, kapcsolatok meghatározása	Műszaki megvalósítás részletei
Finomítás és ellenőrzés	Szimulációk, értékelések, költség- és biztonsági vizsgálatok	A terv validálása és véglegesítése
Dokumentálás	Műszaki rajzok elkészítése	Terv-dokumentáció

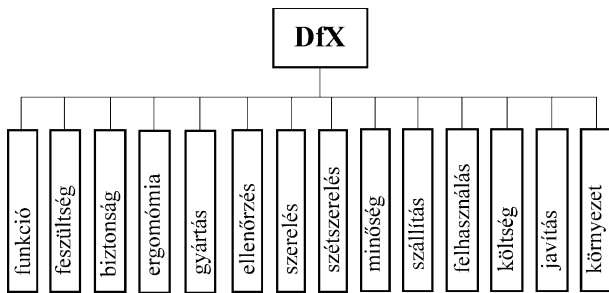
A táblázatban vastaggal emeltem ki azokat a fázisokat, amelyek során alkalmazhatóak a DfX technikák egyes ágai és módszerei.

### 3. A DFX-TECHNIKÁK BEMUTATÁSA

A DfX technikák elnevezés eredete az angol „Design for X” kifejezés és valamilyen szempontból helyes vagy optimális tervezést jelent, fogalmazhatunk úgy is, hogy *fókuszált tervezés* [2].

A DfX technikák ismertebb és elterjedtebb ágai az 1. ábrán [3] láthatóak.

\*egyetemi adjunktus BME Gépészmérnöki Kar, Gép- és Terméktervezés Tanszék



1. ábra. A DfX technikák irányai

Fontos megjegyezni, hogy a fókuszált tervezés kétféle folyamatot takar. Az egyik egy teljesen új berendezés kifejlesztése, a másik pedig egy meglévő irányított optimalizálása, azaz továbbfejlesztése.

Az 1. táblázatban vastaggal kiemelt fázisok a géptervezés lényeges, főbb szakaszai, ezek során dől el a követelményekre és igényekre választ adó megoldás, azaz a megtervezett berendezés szerkezeti felépítése és működési elve.

#### 4. A DfX-TECHNIKÁK ALKALMAZÁSA A GÉPTERVEZÉS KÜLÖNBÖZŐ FÁZISAIBAN

Ebben a fejezetben a DfX-technikák egyes ágait mutatom és azok alkalmazási lehetőségeit az egyes géptervezési lépések és fázisok során.

2. táblázat. DfX irányok és alkalmazási fázisuk.

DFX irány	Koncepció	Főterv	Megtervezés	Finomítás
DFM – gyártáshelyes			X	X
DFA – szerelshelyes	X	X	X	
DFFM – rugalmas és moduláris	X	X		
DFO – használati fókusz		X	X	X
DFE – környezet	X	X	X	X

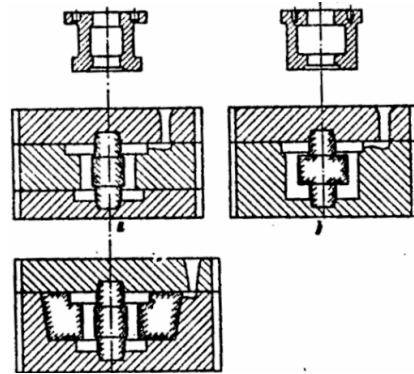
Természetesen több DfX irány között vannak átfedések (pl. gyártáshelyes és szerelshelyes tervezés) és az egyes DfX irányok elveit egyszerre akár több géptervezési fázis során is lehet alkalmazni.

##### 4.1. Gyártás- és szerelshelyes tervezés

A gyártás- és szerelshelyes tervezés, röviden DFMA (Design for Manufacturing and Assembly) két irányt foglal magába. Az egyik a gyártáshelyes tervezés (DFM) a másik pedig a szerelshelyes tervezés (DFA).

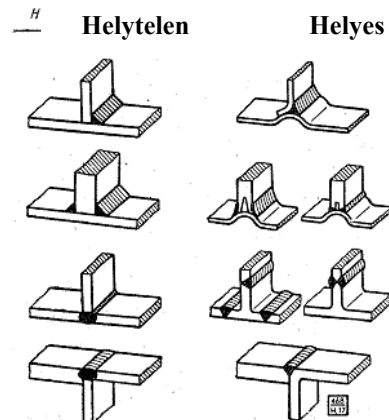
A DFM az egyes gyártástechnológiai folyamatok és sajátosságok szempontjából közelíti meg a tervezést. Ennek első lépése a gyártástechnológia megismerése és ezáltal az alkatrészek optimális geometriájú és kialakítású megtervezése. Mivel ez az ág elsősorban alkatrészek kialakítására nyújt támogatást, a felsorolt géptervezési főbb szakaszok közül a megtervezés és a finomítás során alkalmazhatjuk hatékonyan. A gyártáshelyes tervezés elmélete végigveszi valamennyi

alkatrészgyártási technológiát: öntészet, kovácsolás, porkohászat, hidegfolytatás, lemezalakítás, forgácsolás, hegesztés. A következő ábrán [1, 3] például öntés szempontból optimalizált konstrukciót láthatunk.



2. ábra. Többrezes forma és mag elkerülése konstrukciós módosítással.

A következő ábrán [1, 3] pedig hegesztés szempontjából helyes és helytelen kialakításokat figyelhetünk meg.



3. ábra. Hegesztés szempontjából helyes és helytelen kialakításokra példák.

Míndezek csak kiragadott példák, a DFM alaposan és részletesen taglalja a különféle gyártástechnológiák folyamatát, jellegét és ebből adódóan tesz javaslatot az optimális kialakításokra.

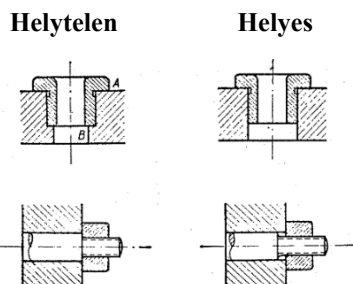
A DFA pedig a szerelshelyes kialakítás szerinti megtervezést támogatja. Ezzel egyrészt az összeszerelés optimális körülményeire, de akár az újbóli szétszerelhetőségre és ezáltal a karbantartásra, javításra vagy a végső kivonás során az eltérő anyagú komponensek könnyű szétválasztására és reciklálására is javaslatot tesz. Ezzel érintve további DfX irányokat, amelyek a további alfejezetekben lesznek olvashatóak.

A szerelési hatékonyság ( $E_{ma}$ ) (más néven DFA-index) a szerelt egység bonyolultságára és szerelésére ad egy jellemző értéket:

$$E_{ma} = N_{min} \cdot \frac{t_a}{t_{ma}} \quad (1)$$

ahol  $N_{min}$  a minimális alkatrész-szám,  $t_a$  az alkatrészenkénti szerelési alapidő ( $=2,93$  sec) és  $t_{ma}$  teljes konstrukció tényleges szerelési ideje.

A DFA-index minden konstrukció esetén kiszámítható és bizonyos elvek mentén optimalizálható, ezt támogatja a DFA irány módszertana. A DFA módszer jól alkalmazható a főbb géptervezési szakaszok közül a koncepció, főterv és megtervezés során. A következő ábrán [1, 3] szerelés szempontból helyes és helytelen kialakításokra láthatunk példákat.



4. ábra. Szerelés szempontjából helyes és nem helyes kialakítások.

A DFA során az alkatrészek száma is optimalizálásra kerül: bizonyos alkatrészek leghagyhatók vagy összevonhatók (ezzel is csökkentve komponensek számát és ezzel a szerelési műveleteket), ha az ún. hármas szabályból egyik sem áll fenn a két érintett alkatrész esetén: el kell mozduljanak egymáshoz képest, eltérő anyagból kell legyenek (pl. elektromos vezetősígtelés) vagy lehetetlen lenne szerelni, ha nem lenne két különálló alkatrész.

#### 4.2. Rugalmas és moduláris elvű tervezés

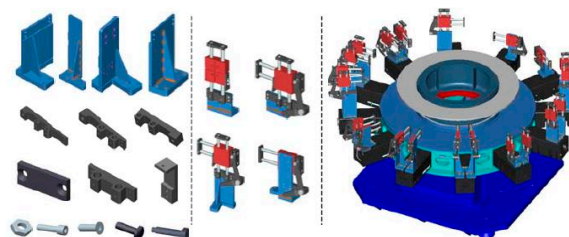
A DFFM (Design for Flexibility and Modularity) szintén két tervezési elvet ötvöz. A rugalmas elvű tervezés a DFF (Design for Flexibility) alkalmazása napjainkban igen fontossá vált, hiszen gyakran szükséges hogy egy megoldás a kezdeti igények szerint konfigurálható legyen illetve, hogy később a használat során akár átalakítható, azaz újrakonfigurálható legyen. Ezt úgy lehet elérni, hogy standard elemekből vagy ún. moduláris egységekből tervezzük meg, amelyet a DFM (Design for Modularity) azaz a moduláris elvű tervezés támogat.

A moduláris rendszer elemeinek, azaz potenciális moduljainak meghatározásához meg kell válaszoljuk a következő kérdéseket. Milyen változatai vannak most? Milyen változatok szükségesek? Milyen változatok lehetségesek?

3. táblázat. Modul típusok és jellemzőik.

MODUL TÍPUS	JEL	FUNKCIÓ, JELLEMZŐ
Alapmodul	A	Nem változik, mindig szükséges
Segédmodul	S	Csatoló, illesztő és határoló egységek
Speciális modul	SP	Feladatfüggő, speciális kiegészítők
Illesztő modul	I	Más rendszerhez integráláshoz szükséges
Egyedi elem	E	Egyedi igények esetén

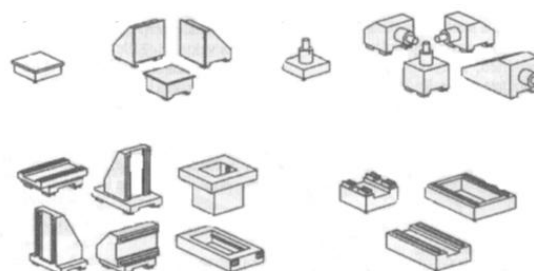
Az ezekre a kérdésekre adott válaszok alapján lehet felállítani a modulok előzetes rendszerét, amelyekből majd fel tudjuk építeni a teljes moduláris rendszert. Ezzel a módszerrel a 3. táblázatban látható modul típusokra kell felosztani a tervezendő moduláris rendszer elemeit, amelyekből majd utána építkezni tudunk.



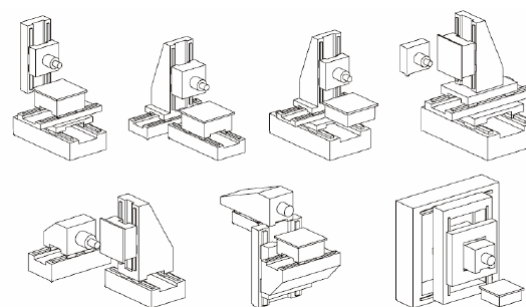
5. ábra. Moduláris elvű gépcs család komponensei, egységei és egy konfigurációjuk [4].

A moduláris elemekből álló elemkészlet moduljai adott határokon belül tetszőlegesen változtathatóak, azaz variálható az elemek lehetséges kombinációja. Az ilyen elemekből felépített berendezés összeszerelése vagy beüzemelése során flexibilisen változtathatóak a moduloktól függő egyes paraméter-értékek (pl. pozíciószám, lökethossz), akár az állítható egységek segítségével, akár a modulok gyors és egyszerű cseréje révén.

A következő két ábra [3, 5] nagyon jó szemléltető példa az egyes standard alapmodulokból kialakítható eltérő konfigurációk sokaságára.



6. ábra. Szerszámgépek moduláris egységei.



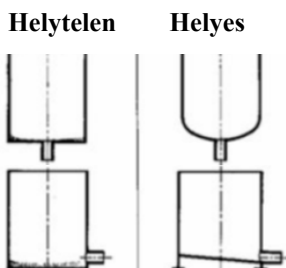
7. ábra. Eltérő szerszám gép kialakítások építhetők standard moduláris egységekből.

A DFFM elveit már a tervezés korai szakaszában le kell fektetni, azaz a főbb tervezési szakaszok közül a koncepció és a főterv kialakítása során. Meg kell határozni és a DFFM elvei szerint kell kialakítani az egyes szükséges modulok csoportját, mennyiségét és jellemzőit, mindezekkel elérni a kívánt rugalmasságot.

### 4.3. Használat szempontú tervezés

A DFO (Design for Operation) a használat, alkalmazás szempontból helyes tervezés. Ennek aláírói a kopás, korrózió és karbantartás szempontjából helyes tervezés.

Az első kettő esetében, ahogy már a gyártáshelyes tervezésnél láthattuk, az alapelv itt is azonos. A DFO először a kopások és korróziók fajtáit, okait és ezután az elkerülési vagy mérséklési módjaikat mutatja be és tesz javaslatot az optimális kialakításra.



8. ábra. Felületi korrózió szempontjából helyes és helytelen kialakítások [1, 3].

A karbantartás szempontból helyes tervezés esetén pedig szétszerelhetőség, az irányított tönkremenetel és a szükséges karbantartandó részekhez megfelelő hozzáférés kialakítására tesz javaslatokat. Valamennyi DFO elv több betervezett és összeszerelt alkatrész egymáshoz képest optimális kiválasztását és kialakítását célozza meg, így inkább a részletek megtervezésekor, azaz a főterv, a megtervezés és a finomítás során alkalmazhatóak hatékonyan.

### 4.4. Környezethelyes tervezés

A DFE (Design for Environment) a környezethelyes tervezés több alapelve foglal magában. Az egyik a LCA (Life Cycle Assessment) az életciklus elemzés, amely végig kíséri a terméket az életútján, és hozzárendeli az egyes szakaszokban a környezeti hatásokat, az előállításától a recycling-ig (pl.: alumínium esetén a bauxit bányászattól a nyomásos öntésen keresztül az újrahasznosításig).

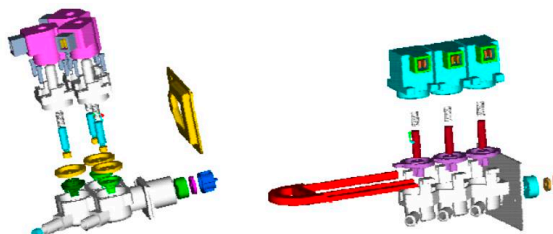
A másik ilyen elv a MET-pontok, amely egy termék vagy anyag életciklus elemzése (LCA) alapulnak. A módszer a környezeti információkat kompakt formában foglalja össze. A MET-pontok egyik előnye, hogy tovább osztja a pontokat M (Material, ritka anyagok használata), E (Energy, energia fogyasztás) és T (Toxic, mérgező kibocsátás) részekre, így módon több információt ad a kihatás természetéről. A DFE elvek alkalmazása valamennyi tervezési szakaszban indokolt és elvárt.

## 5. A DFX TECHNIKÁK GYAKORLATI ALKALMAZÁSA

A DFX technikák alkalmazására manapság célszoftverek és online felületek is rendelkezésre állnak.

A szoftver alkalmas arra, hogy egy tervezendő vagy egy optimalizálandó berendezés komponenseit szerelési családfa-szerűen betápláljuk. Ennek során számos

szerelési jellemzőre információt kell adjunk (pl. a már említett hármasszabályra vonatkozóan, komponensek száma, szerelési sorrend, szerelési nehézség, segédanyagok ...), amelyek segítségével a szoftver kiszámolja az egység DFA-indexét, valamint javaslatot tesz konstrukciós módosításokra, mint például komponensek összevonása vagy elhagyása.



9. ábra. DFA-szoftver segítségével áttervezett mosógépszelep [3].

A 9. ábrán a DFA-szoftver alkalmazására látható egy példa, amely magért beszél: alkatrészek száma 38-ról 16-ra, a kötések száma 112-ről 42-re, míg az eltérő típusú kötések száma 4-ről 1-re csökkent.

A DFE-szoftver alkalmazásával hasonló eredményeket lehet elérni a például a berendezés MET-pontok számértékének (károsanyag-kibocsátás a teljes életútja során vagy reciklálhatóság a kivonáskor) a tekintetében.

## 6. ÖSSZEFOGLALÁS

A cikkben áttekintésre került a géptervezés folyamata, fázisai és kiemelt szakaszai. Majd bemutatásra került a DfX technikák alapelve és a módszer főbb irányai.

Ezután egyesével bemutattam az egyes DFX irányokat, azok jellemzőit és az egyes géptervezési szakaszok során az alkalmazhatóságukat. Igyekeztem mindenhol egy-egy vizuális példával szemléltetni a módszereket. Végül kitértem a DFX technikák alkalmazását támogató szoftverek elérhetőégére és az így elérhető eredményekre is mutattam példákat.

Szerencsére napjainkban újra előtérbe kerül a DFX technikák megismerése és a módszerek alkalmazása a tapasztalt tervezők körében is, amelyre az ipar szereplői lehetőséget is kaphatnak a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen a Gép- és Terméktervezés Tanszék felnőttképzési programjában.

## 7. IRODALOM

- [1] Pahl G., Beitz W.: A géptervezés elmélete és gyakorlata, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1981
- [2] Bischof A., Blessing L.: 18. Symposium „Design for X”, Neukirchen, 2007
- [3] Dr. Horák P., Dr. Gotthard V.: DFX technikák oktatási anyagok, BME, GT3, 2025
- [4] Dr. Gotthard V.: Moduláris felépítésű gyártósorok tervezésének elmélete és gyakorlata, PhD értekezés, BME, 2008.
- [5] Németh I.: 3-tengelyes szerszámgépek felépítési változatainak tervezése, BME, GTT 2004