

Réthy Zsolt

GYÁRTÁSI FOLYAMATOK OPTIMALIZÁLÁSA
A MINŐSÉGÜGYBEN ALKALMAZOTT
KOMPROMISSZUMMODELLEK
FELHASZNÁLÁSÁVAL

Doktori (PhD) értekezés

Témavezető:
Dr. Erdélyi József DSc.
egyetemi tanár

Nyugat-Magyarországi Egyetem
Faipari Mérnöki Kar
Cziráki József Faanyagtudomány és Technológiák Doktori
Iskola

2003

**GYÁRTÁSI FOLYAMATOK OPTIMALIZÁLÁSA
A MINŐSÉGÜGYBEN ALKALMAZOTT KOMPROMISSZUMMODELLEK
FELHASZNÁLÁSÁVAL**

Értekezés doktori (PhD) fokozat elnyerése érdekében

Írta:

Réthy Zsolt

Készült a Nyugat-Magyarországi Egyetem Cziráki József Faanyagtudomány és
Technológiák Doktori Iskola
(F4 jelű) Rosttechnikai tudományok programja keretében.

Témavezető: **Prof. Dr. Erdélyi József DSc.**

Elfogadásra javaslom (igen / nem)

(aláírás)

A jelölt a doktori szigorlaton % -ot ért el,

Sopron,

.....
a Szigorlati Bizottság elnöke

Az értekezést bírálóként elfogadásra javaslom (igen /nem)

Első bíráló (Dr.) igen /nem

(aláírás)

Második bíráló (Dr.) igen /nem

(aláírás)

(Esetleg harmadik bíráló (Dr.) igen /nem

(aláírás)

A jelölt az értekezés nyilvános vitáján.....% - ot ért el

Sopron,

.....
a Bírálóbizottság elnöke

A doktori (PhD) oklevél minősítése.....

.....
Az EDT elnöke

Tartalom

1	Bevezetés.....	6
1.1	Kutatási célok meghatározása.....	8
2	Irodalmi áttekintés.....	9
2.1	Minőségjavító technikák. Kísérlettervezés.....	9
2.1.1	Modellezés.....	10
2.1.2	Kísérletek csoportosítása.....	11
2.1.3	2 ^P típusú teljes faktoros kísérleti tervek.....	13
2.1.4	Taguchi-féle kísérlettervezés.....	16
2.2	A kompromisszummodell.....	18
2.2.1	A Derringer-Suich kompromisszummodell.....	21
2.2.2	A nemdifferenciálható pontok kiváltására irányuló módosítás ...	25
2.2.3	Realisztikus <i>d</i> -függvények.....	27
2.2.4	Genetikus algoritmus alapú kompromisszumfüggvények.....	28
3	Kockázattal számított módosított kompromisszumfüggvények.....	32
3.1	Képességi mutatók.....	32
3.2	A kockázat értelmezése elfogadási határok függvényében.....	34
3.3	Példák veszteségfüggvényekre.....	37
3.3.1	A gyártási idő kockázatának meghatározása adott költségfüggvényekkel az alsó/felső elfogadási határra.....	37
3.3.2	Kockázat számítása alsó/felső elfogadási határookra eltérő veszteség-függvényekkel.....	40
3.4	Six Sigma módszertanon alapuló kompromisszummodell.....	41
3.4.1	A Six Sigma módszertan.....	41
3.4.2	A Six Sigma alapú kompromisszummodell.....	43
3.5	A célértéktől való eltérés valószínűségével számított kompromisszumfüggvények.....	46
3.5.1	A teljes kompromisszumfüggvény számítása.....	50
3.6	Kompromisszumfüggvények értékeinek ábrázolása minőségpoligonban.....	51
3.7	A kompromisszummodellre épülő szakértői rendszer.....	54
3.7.1	Szakértői rendszer Microsoft Excel alatt.....	58
3.8	Felejtő értékelés.....	59
3.8.1	Az egy évre visszamenő adatok csoportjainak elkülönítése időszaki súlyozással.....	59
3.8.2	Paraméterek és időszakok szerinti súlyozás.....	61
3.8.3	Periodikus jelenségek kiemelése súlyozással.....	63
4	Esettanulmány.....	65
4.1	Az egyes paraméterek mérési módjai (Réthy (1999)).....	66
4.1.1	Nyersanyagjellemzők.....	66
4.1.2	Gépállapot-jellemzők.....	67
4.1.3	Klíma jellemzők és technológiai beállítások.....	68
4.2	Vevői igények meghatározása és optimalizálás.....	69
4.2.1	A Derringer-Suich modell szerinti számítás.....	69

4.2.2	A célértéktől való eltérés valószínűségével számított kompromisszumfüggvény	74
4.3	Az eredmények összehasonlítása	77
5	A következtetések összefoglalása (tézisek).....	80
5.1	A tézisekben használt fogalmak értelmezése.....	80
5.2	1. Tézis: A célértéktől való eltérés valószínűségével számított kompromisszumfüggvények.....	81
5.3	2. Tézis: A mérnöki és a menedzsment rendszer együttműködésének megvalósítása a kompromisszumfüggvény alkalmazásánál.....	83
5.4	3. Tézis: A kompromisszummodell eszköztárának kiterjesztése.....	88
6	Összefoglalás.....	90

1 Bevezetés

Egy konstrukció ipari jellegű létrehozása, a rendszeres szolgáltatásnyújtás legtöbbször a termékterv alapján még nem egyértelmű. Szakmaterülettől függően jelentős szabadsága marad a kivitelezésnek. Gyakran a technológiai lépcsők száma vagy jellege is megválasztható, de a gyártási paraméterek, a technológiai beállítások, a szolgáltatások belső mutatói szinte minden esetben önálló megfontolás tárgyát képezik (Koczor(1999)).

A minőségirányítás megpróbálja a folyamatparaméterek kölcsönhatását kezelni. Nem egyszerűen káros hatások elkerülése vagy elérendő célok megvalósítása a tevékenység lényege, hanem a köztes állapotok közül kell kiválasztani a konkrét helyzethez igazodó optimumot; nagy rugalmassággal, szubjektív igények értelmezésével, múltbeli tapasztalatok felhasználásával és a döntéshozatalhoz illeszkedő gyorsasággal.

Az eltérő minőségi elvárások más és más folyamat-kivitelezést igényelnek. Ennek következtében sajátos technikát kell alkalmazni a több, egy időben megjelenő elvárás kielégítésére. Ennek a technikának van olyan eleme, mely analitikus függvények segítségével *tervezhető*.

A dolgozat az ily módon előálló döntési helyzetek megkönnyítésére létrehozott minőségjavító technikákkal, ezen belül az úgynevezett *kompromisszummodellekkel* (Harrington (1965)), azok lehetséges felhasználásával illetve kiegészítési lehetőségeivel foglalkozik. A kompromisszummodellek egymásnak ellentmondó feltételrendszernek eleget tenni tudó, az egyes paraméterek fontosságát indikáló egyedi súlyozást is megvalósító többváltozós függvényekkel írják le az optimalizálni kívánt folyamatot.

A kompromisszummodell eredeti formájában – és a legtöbb módosított formájában – nem kezeli a folyamat statisztikai paramétereit. Egy olyan új modell kifejlesztésére tettünk kísérletet, amely egy – adott paraméter célértéktől való eltérésének hatását veszteségfüggvénnyel leíró és a veszteség valószínűségének figyelembe vételével a célértéktől való eltérés kockázatát reprezentáló – kockázati modellen alapul. Az általánosság megtartása érdekében lehetőség van arra, hogy egyes folyamat-paramétereket változatlan formában, az eredeti modell szerint kezeljünk.

Elismerve a meglévő kompromisszummodellek előnyeit, amelyeket elterjedtségük és gyakori alkalmazásuk is bizonyít, az alapmodell rugalmasságából adódik, hogy kisebb-nagyobb kiegészítésekkel adott problémák kezelésére még inkább alkalmassá válnak.

A kompromisszummodell használhatóságának növelésére – hasonlóan Derringer (1994) módszertanához, megpróbálván nem egy egyszerű modellben, hanem komplex módszertanban gondolkodni –

- az igényfüggvények egymáshoz és a minőségi szintekhez, illetve az optimumhoz való viszonyát megjelenítő ábrázolástechnikát, és
- az optimumkereséshez felhasznált adatsorok súlyozott figyelembevételére felejtő mechanizmust dolgoztunk ki.

Az általunk javasolt módosított függvények gyakorlati alkalmazását egy textilipari alkalmazás adatsorain, egy fonodai szakértői rendszer keretében mutatjuk be, összehasonlítva a Derringer – Suich (1980) modellel kapott eredményekkel.

A jól megalapozott döntés-előkészítés lehetőséget ad a felelős személynek, hogy a megfelelő információk birtokában dönthessen. A kompromisszummodell körültekintő alkalmazása hatékony eszközt ad a döntéshozók kezébe a folyamat optimalizálására.

1.1 Kutatási célok meghatározása

A dolgozatban a kompromisszummodellre vonatkozó irodalom kritikus áttekintésén túl – a bevezetésben említett célokat rendszerezve – az alábbiak vizsgálatára tettünk kísérletet:

- A célértéktől való eltérés valószínűségével számított igényfüggvények illeszkedése a kompromisszummodell filozófiájához, illetve számítási módjához.
- Az így kapott eredményekből levonható következtetések az alkalmazhatóság tekintetében.
- A feldolgozott adatok kiértékelésének különböző módjai:
 - felejtő értékelés, amely az adatok súlyozott figyelembevételét, ezáltal a folyamatparaméterek időbeli változásának leírását célozza;
 - szemléltető megjelenítés, amely menedzsment-eszközként a kompromisszummodell alkalmazása során kapott értékek összevetését teszi lehetővé.
- A kompromisszummodellre épülő szakértői rendszer fonóipari alkalmazásának gyakorlati bemutatása.
- A kompromisszummodell kiterjesztése más, meghatározott kritériumokkal rendelkező tömeggyártási folyamatokra.

2 Irodalmi áttekintés

2.1 Minőségjavító technikák. Kísérlettervezés.

A technológia kialakításában szerepet játszó jelentősebb tényezők a következők (Koczor(1999)):

- a konstrukció által kijelölt elvárások,
- a névleges értékek környezetében meghatározott tűrésértékek,
- a termék-előállítás jellemző darabszáma (tétel nagyság, a szolgáltatás ismétlődési periódusa),
- a gyártási folyamat időbeli jellege, az alváltozatok száma,
- a rendelkezésre álló termelőeszközök és más erőforrások,
- a folyamathoz illeszkedő kiszolgálás és karbantartás időbeli jellege.

A gyártási folyamattal kapcsolatos előírásoknak egyértelműen tisztázni kell a folyamat lépéseit, a lényeges beállítási értékeket, az ellenőrzési pontokat és a folyamattal kapcsolatos felelősségeket. Ennek során válnak külön a gyártástervező technológus és a folyamat közvetlen irányítását végző diszpécser feladatai.

A minőségügyi tevékenységek központi eleme a folyamatok szabályozása. A szabályozás fogalma alatt érthetünk

- műszaki, gazdasági vagy szervezési tevékenységet,
- szakaszos vagy folytonos visszacsatolásokat,
- változó vagy állandó szintű szabályozásokat (amikor a beavatkozásnak nincs az eltérés mértékétől függő nagysága, hanem minden esetben azonos szintű).

Ugyanakkor valamennyi tudatos minőségügyi beavatkozásra jellemző, hogy csakis akkor van esély a szabályozás sikerességére, ha a beavatkozási pontok és az eredmények közötti összefüggéseket

ismerjük. Ezt az ismeretet azonban meg kell szereznünk. Az ismeretszerzés két úton történhet (Schnell (1990)):

- már megismert természeti, közgazdasági vagy humán törvényszerűségek (elméletek) adott helyen történő alkalmazásával (deduktív modell), illetve
- tisztán kísérleti úton, amikor a folyamatok ok szerinti kapcsolódása helyett a mennyiségi összefüggések elemzésére tesszük a hangsúlyt (induktív modell).

A gyakorlatban általában a kétféle megközelítés optimális keverékét érdemes alkalmazni. Legtöbbször a kísérletezéshez használt hipotézisek megfogalmazásánál lehet felhasználni a problémával kapcsolatos elméleti ismereteket (deduktív megközelítés), eközben kijelölve a problémának azt a részét, melyben a tapasztalat adatok alapján tájékozódunk (induktív modell).

2.1.1 Modellezés

A hipotézisek megfogalmazása során lehetőség van az összefüggések pontos felírására, mely felírásban csak korlátos helyet hagyunk a kísérletnek. Ekkor a modell felállítása során meghatározzuk az összefüggés pontos struktúráját, és csak a matematikai kifejezés egyes paramétereinek, az adott probléma esetében érvényes értékeinek meghatározására végzünk kísérleteket.

Vannak esetek, amelyekben a modell struktúráját sem lehet előzetesen meghatározni, mert túlságosan összetett a probléma. Ilyenkor lépésenként finomítható a modell is, az egyes struktúrákhoz meghatározott paraméterek alapján.

A kísérlettervezés lényege, hogy tapasztalati értékeket rögzítünk, melyeknél logikailag különválasztunk bemeneteket, független változókat és optimalizálandó jellemzőket.

Már a jellemzők meghatározása, azok beállítása és mérése is egy modellezési (elvonatkoztatási) folyamat, melynél azt feltételezzük, hogy:

- amennyiben a bemeneti szintet változtatni akarjuk, azok szintjei tetszés szerinti pontossággal beállíthatók, valamint
- ha a kísérleti tér minden jellemzője állandó marad, akkor azonos bemenetre azonos kimenet keletkezik (Koczor(1999)).

2.1.2 Kísérletek csoportosítása

A kísérletek egyik csoportosítási lehetősége a bemenetek változtatásán alapul (Koczor (1999)). Eszerint beszélhetünk

- aktív és
- passzív kísérletekről.

Passzív kísérletezésről akkor beszélünk, ha tudatosan nem befolyásoljuk a bemeneteket, csak (tudatosan) társítjuk a hozzájuk tartozó kimeneti jellemzőkkel. Az így kapott összetartozó adatokból határozzuk meg a jellemzők közötti kölcsönhatásokat.

Passzív kísérleteket akkor érdemes alkalmazni, ha:

- a bemenetek kellő mértékben változnak magukban is;
- ha a bemenetek módosítására nincs lehetőségünk, vagy nagy kockázattal jár;
- ha az értékelhető bemeneti és kimeneti értékek kellő számban, stabil kapcsolatban állnak rendelkezésre.

Aktív kísérletnek nevezünk minden olyan esetet, amikor a bemeneteket tudatosan állítjuk be. Ilyenkor a probléma kapcsán megfogalmazott kérdések megválaszolásához kell megtervezni a kísérleti pontokat.

A kísérletek célja szerint megkülönböztethetünk:

- optimális kísérleteket és

- kísérletes optimalizálást.

Az optimális kísérlet a megszerzett információk elmélyültségét, az időzítést vagy egyéb szempontokat figyelembe véve határozza meg a kísérleti pontok számát, ismétlését és a kísérlet térbeli és időbeli lefolytatását.

A kísérletes optimalizálással legtöbbször egy matematikai modell szélsőértékeit keressük a lehető leghatékonyabb eljárással.

2.1.2.1 Kísérleti pontokból meghatározott összefüggések

A kimeneti jellemző és a bemeneti paraméterek kapcsolatát matematikai eszközökkel írjuk le (Koczor (1999)). A kapcsolat meghatározásánál lényeges a következőkre figyelni:

- a kapcsolat jellege,
- a kapcsolat szorossága és
- a kapcsolat iránya.

A kapcsolat szorosságát a matematikai kifejezés következetességének értékelésére használjuk. Meghatározható belőle, hogy a függvénykapcsolat alapján előre jelzett értékek mekkora biztonsággal következnek be. Minél jobban fedí az összefüggést leíró modell a tapasztalati értékeket, annál inkább beszélhetünk determinisztikus kapcsolatáról. Minél kevésbé, annál inkább következtethetünk arra, hogy a rendszer sztochasztikus változásokat tartalmaz. A kapcsolat – korrelációval jellemezhető – szorosságát legtöbbször a modell finomításával kísérreljük meg javítani.

Két változó korrelációja passzív kísérletek esetén pontpárokból álló véletlen pontfelhőként ábrázolható. A megtervezett aktív kísérletek esetében

- a bemeneti szintváltozások száma és

- a vizsgálatok ismétlésének száma

határozza meg a kísérleti pontok teljes számát.

Az egyváltozós kísérletek többváltozósra való kiterjesztését gyakran nevezik klasszikus kísérletnek.

Ezzel kapcsolatosan két probléma is adódik:

- az egyes bemenetek szintváltozásainak módszertana és
- a kísérleti pontok hirtelen emelkedő magas száma.

A klasszikus aktív kísérletek bemeneteinek változtatásánál a változókat egyenként módosítják, miközben a többi faktorszintet állandó szinten tartják. Ekkor az egyes bemenetek hatása egymástól függetlenül jelenik meg és értékelhető ki.

A kísérletek száma, amennyiben p faktorunk van és egy-egy faktor esetében n szintváltoztatást hajtunk végre:

$$N = n^p .$$

A kísérletek száma emiatt már néhány faktor esetén is több ezres, esetenként milliós mérési számot jelent. Ennek alapján vagy a többváltozós problémák kísérletes vizsgálatáról kell lemondani, vagy a kísérlettervezési módszert kell gyökeresen megváltoztatni annak érdekében, hogy az elvégzendő kísérletek számát jelentősen csökkenthessük. E problémák megoldására alakultak ki a faktoriális kísérlettervezési módszertanok illetve a Taguchi-féle kísérlettervezés.

2.1.3 2^p típusú teljes faktoros kísérleti tervek

A teljes faktoros kísérleti tervek esetében a minőségre ható tényezők – faktorok – különböző szintjei mellett vizsgáljuk a minősítő jellemző értékét (Kemény – Deák (1990)). A 2^p típusú kísérleti tervek esetében

p faktort tartalmaz a terv, minden faktort két szinten vizsgálunk, a pontok (beállítások) száma pedig $N=2^p$.

Három faktor esetében például egy kocka sarkai jelentik a beállítások összes kombinációját.

Amennyiben z_j -vel jelöljük a j -edik faktort, a faktor z_j^0 alapszintjét a következőképpen számíthatjuk:

$$z_j^0 = \frac{z_j^{\max} + z_j^{\min}}{2}.$$

A $z_j^0 (j=1, \dots, p)$ értékekkel jellemzett pontot a terv centrumának nevezik.

A Δz_j variációs intervallum definíciója

$$\Delta z_j = \frac{z_j^{\max} - z_j^{\min}}{2}.$$

A faktorok transzformációja:

$$x_j = \frac{z_j - z_j^0}{\Delta z_j}, j = 1, \dots, p.$$

Ilyen módon a faktorokat +1 illetve -1 értékekre transzformáljuk.

Két faktor esetén a kísérleti terv táblázatos megadása:

i	x ₁	x ₂
1	+	+
2	-	+
3	+	-
4	-	-

1. táblázat: Kétfaktoros kísérleti terv

A 2^p típusú teljes faktoros kísérleti tervek ortogonális tulajdonságúak, vagyis a faktorokra teljesül, hogy

$$\sum_i x_{ji}x_{ki} = 0, \text{ ha } j \neq k; j, k = 1, \dots, p.$$

A feltételezett modell (elméleti regressziós függvény):

$$Y = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \dots + \beta_px_p.$$

A regresszióban és a konfidencia-vizsgálatokban célszerű egy szimbolikus x_0 változót bevezetni, amelynek értéke mindig +1, így a β_0 paraméter a többivel azonosan kezelhető, helyette β_0x_0 írható.

$$Y = \beta_0x_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \dots + \beta_px_p.$$

Az így kibővített kísérleti terv:

i	x_0	x_1	x_2
1	+	+	+
2	+	-	+
3	+	+	-
4	+	-	-

2. táblázat: Kétfaktoros kísérleti terv a szimbolikus x_0 változó bevezetésével

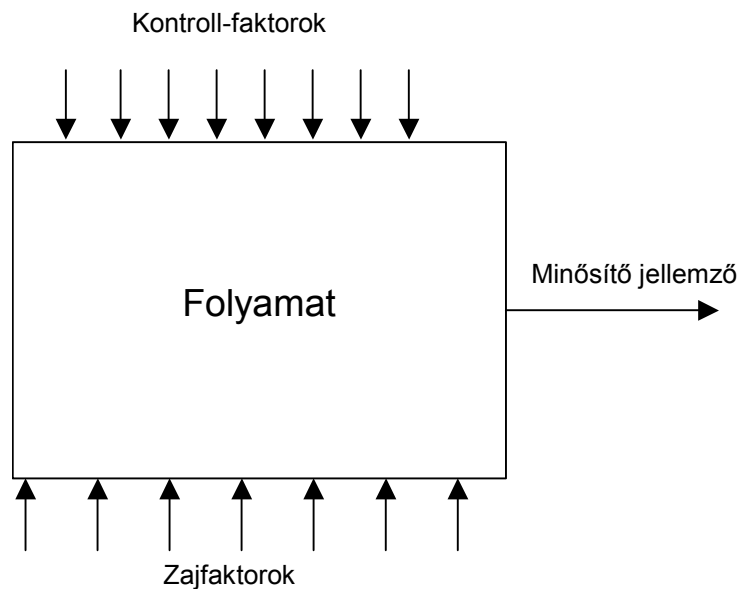
A paraméterek becslésére, minthogy ortogonális változókról van szó, a következő formulák használhatóak:

$$b_j = \frac{\sum_i y_i x_{ji}}{\sum_i x_{ji}^2} = \frac{\sum_i y_i x_{ji}}{N}$$

ahol N a kísérleti terv pontjainak (beállításainak) száma. Az ortogonalitás következtében a b_j együtthatók egymástól független becslések, vagyis az egyes faktorok hatása más faktorokétól függetlenül vizsgálható annak ellenére, hogy a kísérleti tervben több faktor szintjét változtatjuk egyszerre.

2.1.4 Taguchi-féle kísérlettervezés

Taguchi (Kemény – Deák (1999)) szerint a minőségre ható tényezők két fő csoportba oszthatók: kézben tartható (*kontroll-*) faktorok és *zajfaktorok*, amelyeket nem tudunk módosítani, vagy nem éri meg módosítani az adott folyamat esetén.



1. ábra: A folyamat minőségére ható tényezők

A Taguchi-féle kísérlettervezésben kisszámú kísérlettel megmutathatjuk, hogy a kontroll-faktorok közül melyek és hogyan hatnak a várható értékre és/vagy az ingadozásra.

A faktoriális kísérleti tervekhez hasonlóan a faktorokhoz szinteket rendelünk, két faktor esetén ezek +1 és -1.

A zajfaktorokat a következő csoportokba oszthatjuk:

- külső zaj: használati körülmények, környezeti feltételek változása;
- belső zaj: időbeli vagy a használat során bekövetkező változások, gyártás esetén a berendezés kopása, elállítódása;

- egyedenkénti különbség: az egy időben, azonos körülmények között gyártott termékpéldányok minőségi jellemzőjének ingadozása.

A cél e zajoknak ellenálló, *robustus* termék illetve gyártás kialakítása. A szórásra ható kontrollfaktorok értékét úgy állítjuk be, hogy a szórás a lehető legkisebb legyen, a várható értékre hatókét pedig úgy, hogy az átlagérték megegyezzen a célértékkel (illetve minél közelebb essen hozzá).

A beállításokat a teljes faktoros (pl. 2^p típusú) illetve részfaktoros (pl. 2^{p-k} típusú) kísérleti terveknek megfelelően végezzük el. Az előbbi előnye, hogy a faktorok közötti kölcsönhatásokat kiértékelhetjük, az utóbbi pedig kisebb kísérleti volument igényel. A Taguchi módszer az utóbbi fajta terveket írja elő, pl. az L_4 jelű terv három faktor hatásainak kiértékelésére alkalmas 2^{3-1} beállítást, míg az L_8 jelű terv 7 faktor hatásainak értékelésére 2^{7-4} beállítással. A kétszintes tervek eredményeire csak lineáris függvényt illeszthetünk, míg háromszintes tervek esetén lehetséges másodfokú függvény illesztése. Ilyen pl. az L_9 terv, amely 3^{4-2} beállítást ír elő. Minden beállításnál több ismételt kísérletet kell elvégezni, hogy az egyes faktoroknak ne csak az átlagra, hanem a szórásra gyakorolt hatását is vizsgálhassuk. Ahhoz, hogy a zajfaktorok okozta ingadozásról minél több információhoz jussunk, e kísérleteket a zajfaktorok legkülönbözőbb értékeinél kell elvégezni. Ennek eléréséhez Taguchi külső és belső részből álló terveket ajánl. A belső terv egy rész-faktorterv, míg a külső terv – amelynek minden egyes beállítására végre kell hajtani a teljes belső tervet – csak a zajfaktorokat tartalmazza.

A *jel/zaj függvényt* a következőképpen definiálja a modell:

$$SN = 10 \lg \frac{\mu^2}{\sigma^2}$$

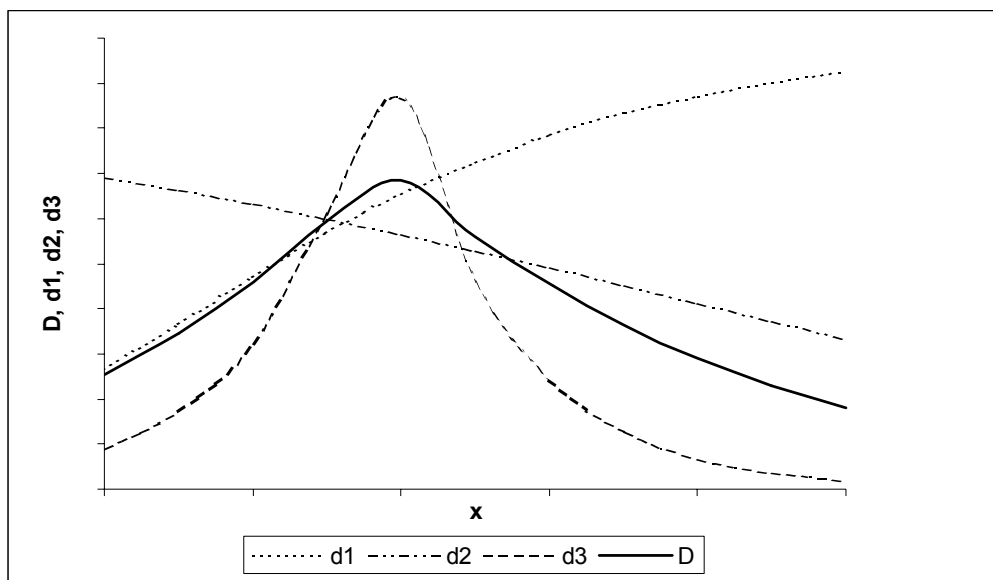
Azon faktorok beállításával, amelyek a jel/zaj viszonyra hatnak, a jel/zaj viszonyt maximalizáljuk, az átlagra ható faktorok megfelelő

beállításával pedig a minősítő jellemző átlagos értékét állítjuk be az előírt értékre.

A kísérletezés illetve a kiértékelés során több feltételezéssel élünk (pl. linearitás), amelyek miatt utólagos ellenőrző kísérletekre van szükség.

2.2 A kompromisszummodell

A kompromisszumfüggvény alapötlete *E.C. Harrington*-tól származik (Harrington (1965)). Harrington cikkében felvázolja azt az – ipar illetve a minőségügy számára a gyakorlatban előforduló – esetet, amikor egy folyamat kimeneteit a bemenetek függvényeként írhatjuk le és e kimeneteket a lehető legjobb értékre szeretnénk beállítani. Módszerével a dimenzió és nagyságrend szempontjából akár nagyon különböző kimeneti függvényeket a $[0, 1]$ tartományra transzformálja.



2. ábra: d_i függvények és D -függvény egyváltozós függvények esetén

Mivel ritkán áll rendelkezésünkre egzakt függvénykapcsolat a bemeneti és kimeneti paraméterek között, méréseink alapján e függvénykapcsolatot egy általunk ismert függvénnyel közelítjük.

A bemeneti változókat jelöljük x_j -vel ($j=1..n$), a kimeneti változókat y_i -vel ($i=1..q$). Ha meghatározzuk az egyes y_i -knek az x_j -ktől való függését, az így kapott regressziós függvényeket ez után olyan alakra hozzuk, hogy összemérhetőek legyenek, így kapjuk az y_i^* függvényt, amely 0 és 1 közé esik, majd ennek felhasználásával a d -függvényt vagy *igényfüggvényt*. Az igényfüggvények tartalmazzák az egyes kimenetekkel kapcsolatos vevői elvárásokat.

Az y_i^* és d -függvény számítása attól függ, hogy az adott kimeneti változóra milyen elfogadási korlátot határoztunk meg. Az elfogadási korlát a számítás szempontjából kétféle lehet,

- egyoldali (maximum vagy minimum), illetve
- kétoldali.

Egyoldali elfogadási határ esetén a d -függvény számítása:

$$y^* = b_0 + b_1 y \text{ és } d = e^{-\left(e^{-y_i^*}\right)},$$

ahol b_0 és b_1 becsült regressziós állandók,

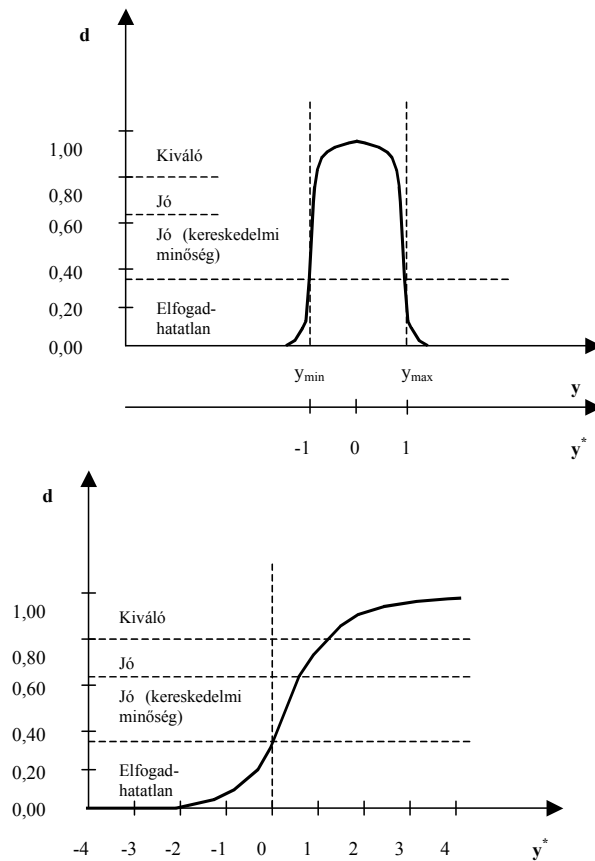
kétoldali elfogadási határ esetén pedig

$$y_i^* = \frac{2y_i - (y_{\max} + y_{\min})}{y_{\max} - y_{\min}}$$

és

$$d_i = e^{-\left(|y_i^*|\right)^{n_i}},$$

ahol $n_i = \frac{\ln\left(\ln\frac{1}{d_i}\right)}{\ln|y_i^*|}$.



3. ábra: A Harrington-féle igényfüggvény – kétoldali illetve egyoldali elfogadási határral

d	Jelentés
1.00	Elvi felső határérték
1.00-0.80	Kiváló minőség
0.80-0.63	Kereskedelmi minőségnél jobb
0.63	Kereskedelmi minőség (=1-1/e)
0.63-0.37	Elfogadható (de nem jó)
0.37	Alsó elfogadási határ (=1/e)
0.00	Elvi alsó határérték

5. táblázat: A d-függvény által meghatározott minőségi szintek

Az optimum a *d*-függvényekből képzett együttes függvény – jelen esetben a geometriai átlaguk – maximuma. A geometriai átlagolással

elérjük, hogy több célfüggvényünk helyett könnyebben kezelhető, egyetlen célfüggvényünk legyen (lásd fentebb):

$$D = \sqrt[q]{\prod_{i=1}^q d_i(y_i)} = \sqrt[q]{\prod_{i=1}^q d_i(f_i(x_1, x_2, \dots, x_n))}$$

Célunk, hogy ezen érték 1-hez minél közelebb essen, tehát a D-függvényt maximalizáljuk. A D-függvényt teljes kompromisszumfüggvénynek, vagy kívánatossági indexnek (Desirability Index, DI) nevezzük.

A [0,1] tartományon belül a dimenzió nélküli d függvény jelentését különböző közbenső értékhatárokhoz kötötték (5. Táblázat).

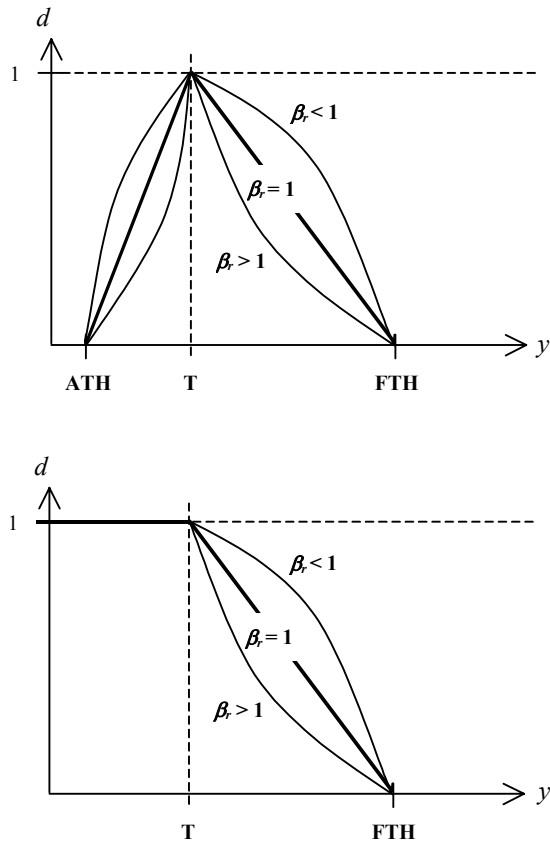
2.2.1 A Derringer-Suich kompromisszummodell

A gyakorlati életben sokkal inkább használják a továbbfejlesztett, *Derringer-Suich* féle kompromisszumfüggvényt (Derringer - Suich (1980)). E függvény az eredeti modellt rugalmasabbá teszi, amennyiben lehetővé teszi a célértékre történő optimalizálást és a célértéktől jobbra és balra különböző súlyozást enged, amivel a függvényt sokkal inkább a szükségletekhez igazíthatjuk.

A módosított kompromisszumfüggvény a következőképpen számítható:

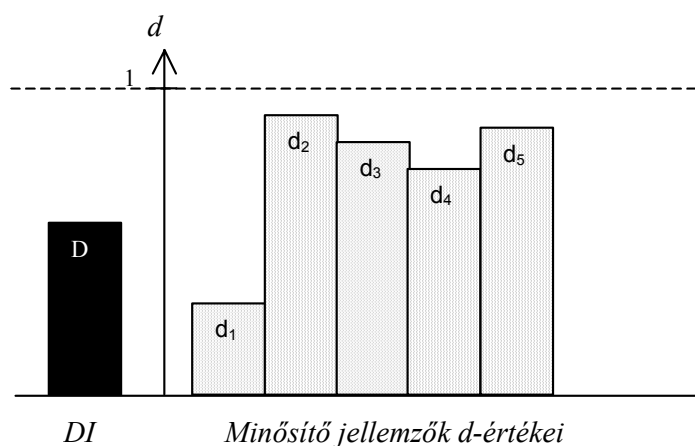
$$d_{DS}(y) := \begin{cases} 0, & \text{ha } y < ATH \\ \left(\frac{y - ATH}{T - ATH}\right)^{\beta_l}, & \text{ha } ATH \leq y \leq T \\ \left(\frac{FTH - y}{FTH - T}\right)^{\beta_r}, & \text{ha } T < y \leq FTH \\ 0, & \text{ha } FTH < y \end{cases}$$

ahol T a célérték (Target), ATH és FTH az alsó illetve felső elfogadási határ (a Harrington-függvényhez hasonlóan kezelhetőek az egyoldali határok is), β pedig a súlyozás az egyes oldalakra.



4. ábra: A Derringer-Suich-féle kompromisszumfüggvény (a.) kétoldali illetve (b.) egyoldali határ esetén

A modell rugalmassága révén helyettesíti a Harrington-függvényt és használhatóság szempontjából ki is egészíti. Ugyanakkor az eredeti ötlet, hogy analitikusan jól kezelhető, egyszerű függvényünk legyen, sérül, mivel a tartományonként definiált d_{DS} függvény tartalmaz nemdifferenciálható pontokat. E hátrány ellenére (amelyet más modellekben kiküszöböltek) széles körben alkalmazzák. Ennek oka az is, hogy azonos függvénycsalád segítségével tudja kezelni a szimmetrikus, aszimmetrikus illetve a célértékre vagy maximumra történő optimalizálási problémákat. Többek között a STAVEX (Aicos (1999)) szoftver is ezeket a függvényeket használja.

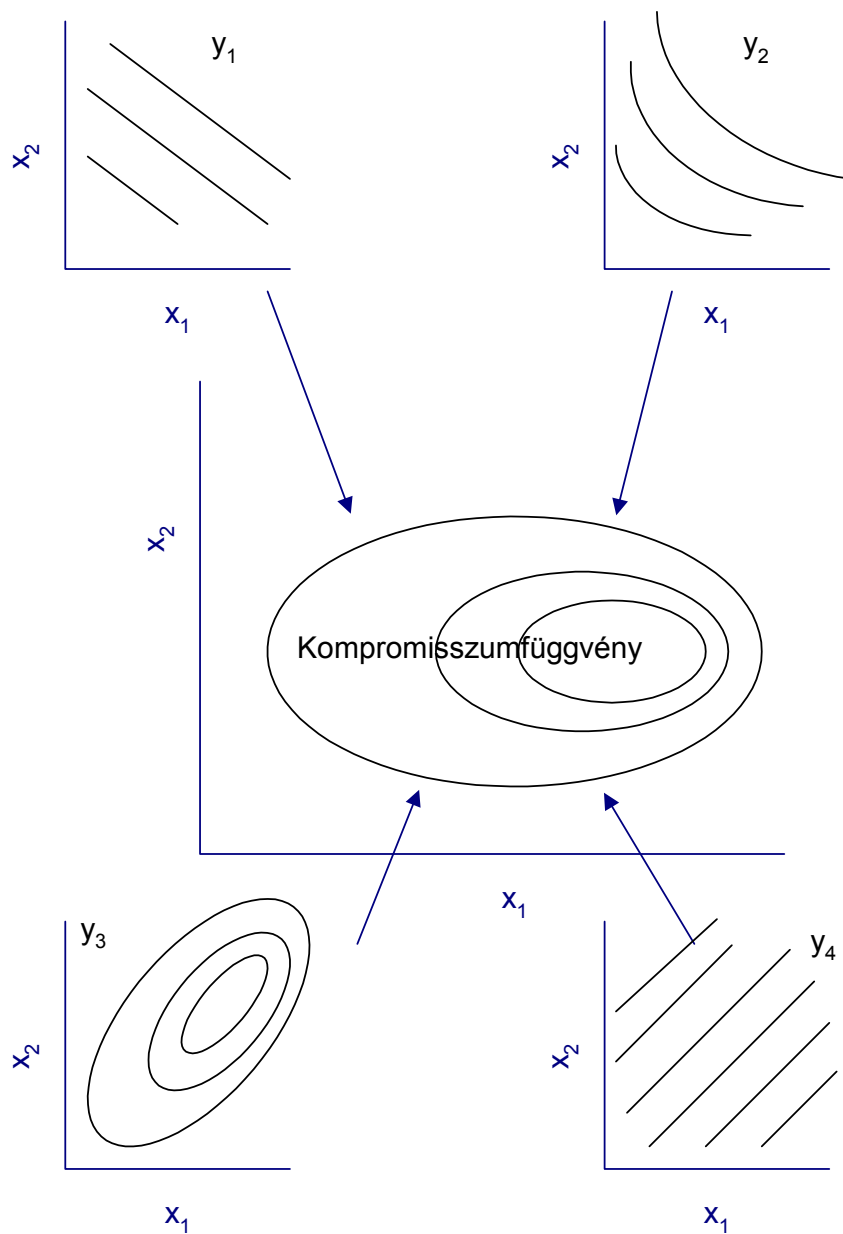


5. ábra: Az optimális beállítás igényfüggvény-értékeinek hisztogramja

2.2.1.1 A minősítő jellemzők egyensúlya

Derringer cikkében (Derringer (1994)) kifogásolja, hogy a minőségügyi szakemberek nem veszik kellőképpen figyelembe a minősítő jellemzők egyensúlyát, amely jellemzők – már általunk is említett módon – egymást hatását ronthatják (lásd 5. ábra). Bizonyos vegyipari termékek esetében, amelyek adott formula alapján készülnek, nem ritka, hogy akár húsz jellemző kompromisszumát kell megtalálni. E kompromisszumkereséshez egy összetett módszertant javasol, amely a Harrington-modell általa javasolt (Derringer – Suich (1980)) módosított változatából, és a Response Surface Methodology-ból (eredményfelület-módszertan) tevődik össze. Ezen összetett módszertan a *Desirability Optimization Methodology* (DOM, Kívánatossági Optimalizálási Módszertan).

A súlyozásra az eredeti Harrington-modellben alkalmazott súlyozással szemben – amely kizárólag „belső” súlyozást alkalmaz, amikor az y - d adatpárok alapján dől el a minősítő jellemzők fontossága – azt javasolja, hogy az egyes d -függvények kitevője legyen a súlyozás alapja.

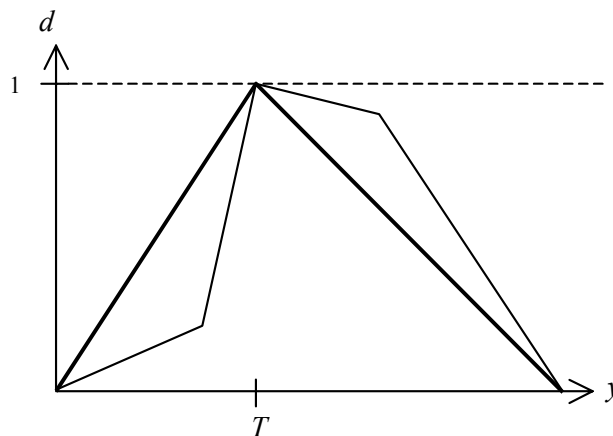


6. ábra: A teljes kompromisszumfüggvény és az egyes igényfüggvények összefüggése

A többváltozós modellt, a kimenetek és a bemenetek egymástól való függését szemlélteti a 6. ábra (Derringer (1994)).

2.2.2 A nemdifferenciálható pontok kiváltására irányuló módosítás

A kompromisszumfüggvények szélsőértékkeresése esetében probléma, hogy a Derringer-Suich-féle d -függvények tartalmaznak nemdifferenciálható pontokat. Ennek érdekében Castillo – Montgomery – McCarville (1996) egy változtatás javasolnak, amely e pontok környezetét polinomokkal helyettesíti, így módon az egész függvényt differenciálhatóvá teszi, és lehetővé teszi a gradiens alapú szélsőértékkeresést. Ezen kívül az eredeti súlyozással szemben is alternatívát kínálnak.



7. ábra: Szakaszonként folytonos kompromisszumfüggvények

A 7. ábrán, a vastag vonallal jelölt függvénynél látható, hogy az optimum a célérték (T) közelében van, ahol $d=1$, és a függvény ebben az egy pontban nem differenciálható. A vékony vonallal jelölt d -függvénynél három nemdifferenciálható pont van. Annak érdekében, hogy e pontok környezetében az eredeti d -függvényeket differenciálható függvényekkel helyettesítsük, negyedfokú polinomokat használunk közelítésre. Minimum negyedfokú polinomra van szükség, mivel köbös szplájnok nem nyújtják a kellő rugalmasságot a jó közelítéshez (lásd alább):

$$f(y) = A + By + Cy^2 + Dy^3 + Ey^4,$$

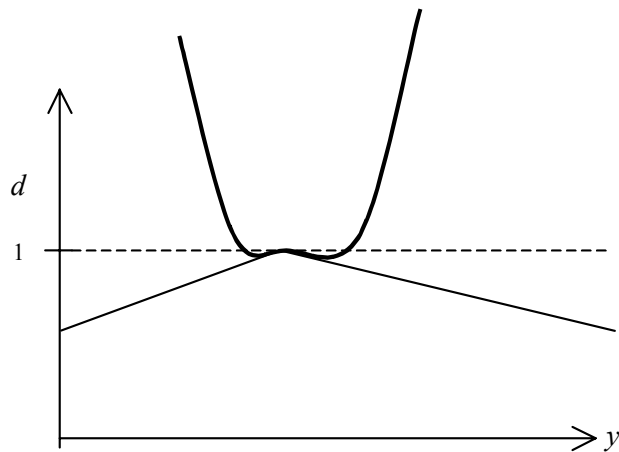
ahol A,...,E a közelítő polinom együtthatói. Minimum öt együtthatóra van szükség, mivel a polinomnak a következő feltételeket kell kielégítenie:

1. A közelítő függvény (AF) értéke egyenlő kell, hogy legyen a töréspontban (T) a nemdifferenciálható d-függvény (NDF) értékével;
2. AF értéke egyenlő kell, hogy legyen a $T-\gamma$ pontban NDF $T-\gamma$ pontban felvett értékével, ahol γ a T pont egy környezetének fele;
3. AF értéke egyenlő kell, hogy legyen a $T+\gamma$ pontban NDF $T+\gamma$ pontban felvett értékével;
4. AF első deriváltja egyenlő kell, hogy legyen a $T-\gamma$ pontban NDF első deriváltjával a $T-\gamma$ pontban;
5. AF első deriváltja egyenlő kell, hogy legyen a $T+\gamma$ pontban NDF első deriváltjával a $T+\gamma$ pontban;

A módosított d-függvényt a következőképpen kapjuk:

$$d_i(y_i(x)) = \begin{cases} a_1 + b_1 y, & y_{\min} < y \leq T - \gamma \\ f(y), & T - \gamma \leq y \leq T + \gamma \\ a_2 + b_2 y, & T + \gamma \leq y \leq y_{\max} \\ 0, & \text{egyébként} \end{cases}$$

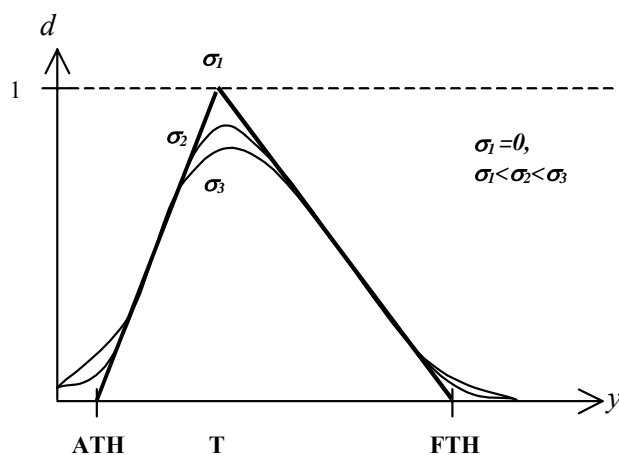
ahol γ a nemdifferenciálható pont egy környezetét jelenti. γ értéke a minősítő jellemző elvárt értékéhez képest kicsi kell, hogy legyen; a és b pedig a nemdifferenciálható szakaszok együtthatói.



8. ábra: Közelítés polinommal egy nemdifferenciálható pont környezetében

2.2.3 Realisztikus d -függvények

Minden d -függvénynek a definícióból adódóan egy maximuma van (unimodálisak), ebből azt lehetne következtetni, hogy a szorzatukként adódó kompromisszumfüggvény is unimodális, de ez nincs szükségképpen így, tehát létezhetnek lokális optimumok (Steuer (2000)). Ennek megfelelően a klasszikus – grádiens alapú – keresőmódszerek csődöt mondhatnak, ha nem a megfelelő pontból indítjuk őket. Így mielőtt egy kompromisszumfüggvényt optimalizálunk, meg kell győződnünk az unimodalitásról.



9. ábra: Az ideális illetve a realisztikus kompromisszumfüggvény

A kompromisszum-modell gyengesége, hogy eredeti számítási módja ideális állapotot feltételez, tehát nem veszi figyelembe a kimeneti függvények becslésekor adódó hibát, így tehát:

$$y_i^* = f_i(\mathbf{x}) + \varepsilon_i,$$

ahol *ideális* esetben

$$\varepsilon_i = 0,$$

tehát

$$y_i^* = f_i(\mathbf{x}),$$

realisztikus esetben viszont, a hibákra függetlenséget és normalitást feltételezve:

$$\varepsilon_i \in N(0, \sigma_{\varepsilon_i}), i = 1, 2, \dots, q;$$

Az ε_i hiba számításba vétele sok esetben előnyös (bár elhagyható pl. ha meggyőződünk az unimodalitásról), mivel a σ_{ε_i} szórás növekedésével a *DI* maximuma csökken és ugyanekkor a *DI* függvény jobban „széttérül”, tehát *hasznos információval szolgál a folyamat minőségéről*.

2.2.4 Genetikus algoritmus alapú

kompromisszumfüggvények

Ortiz és Simpson (2002) a kompromisszumfüggvényeket *genetikus algoritmusokkal* (GA) alkalmazza. Ez a megközelítés – hasonlóan a többihez – egy regressziós modellt állít fel a bemenetek és a kimenetek (minősítő jellemzők) között, a különböző dimenziójú ξ_1, \dots, ξ_k bemenetek kódolásával (standardizálásával). E kódolt értékeket úgy határozzák meg, hogy -1 és $+1$ közötti értékeket vehessenek fel. A kódolt bemenetek ebben az esetben egy *kromoszómát* jelentenek, amely vektoralakban

$$\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T.$$

Ebből kifolyólag a kromoszómák úgy épülnek fel, hogy minden egyes *gén* egy döntési változó értékét reprezentálja, amely -1 és $+1$ között lehet.

Például 8 döntési változó esetén egy kromoszóma a következőképpen nézne ki:

x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8
-0.237	0.587	-0.189	0.485	0.689	0.221	-0.376	0.710

Minden egyes kromoszómából egy

$$\hat{y} = (\hat{y}_1, \hat{y}_2, \dots, \hat{y}_n)^T$$

eredményvektort kapunk a kimenetekre.

Ahhoz, hogy a kompromisszumfüggvényt integrálni lehessen a GA modellbe és hatékonyan alkalmazható legyen, bizonyos változtatások szükségesek. Az új kompromisszumfüggvénynek az alábbi feltételeknek kell eleget tennie:

- Tegye lehetővé a GA számára, hogy a nem megengedett (infeasible) megoldásokat kiértékelje és lokalizálja a megengedett területeket;
- tegye lehetővé a különbségtételt megengedett és nem megengedett megoldások között.

Az elfogadási határokon kívül esést *büntetőfüggvények* segítségével kezelhetjük, ez esetben olyan módon, hogy e függvényeket közvetlenül a célfüggvényhez adjuk illetve maximalizálás esetén levonjuk abból:

$$D_{GA} = D - \alpha(\hat{y})$$

ahol $\alpha(\hat{y})$ a büntetőfüggvény, amely az elfogadási határtól való eltérés négyzetével arányos.

A büntetőfüggvényt Bazaraa – Sherali – Shetty (1993) a következőképpen definiálja: a büntetőfüggvény célja, hogy egy feltételes optimalizálási problémát feltétel nélkülire írjunk át, úgy, hogy

a büntetőfüggvény a megengedett tartományon (esetünkben az elfogadási határokon) belül $\alpha > 0$, azon kívül pedig $\alpha = 0$ értéket vesz fel.

Minden egyes minősítő jellemzőhöz egy d_i igényfüggvény és egy p_i büntetőfüggvény tartozik. A d -függvények a Derringer-Suich (1980) megközelítésnek megfelelően számíthatóak. A büntetőfüggvény számítása:

$$p_i(\hat{y}_i) = \begin{cases} k + \frac{|\hat{y}_i - ATH_i|}{T_i - ATH_i}, & -\infty \leq \hat{y}_i \leq ATH_i \\ k, & ATH_i \leq \hat{y}_i \leq FTH_i \\ k + \frac{|\hat{y}_i - FTH_i|}{T_i - FTH_i}, & FTH_i \leq \hat{y}_i \leq \infty \end{cases}$$

A k konstans tetszőleges, viszonylag kis érték, amelynek az a funkciója, hogy a p_i függvény értéke ne legyen zérus.

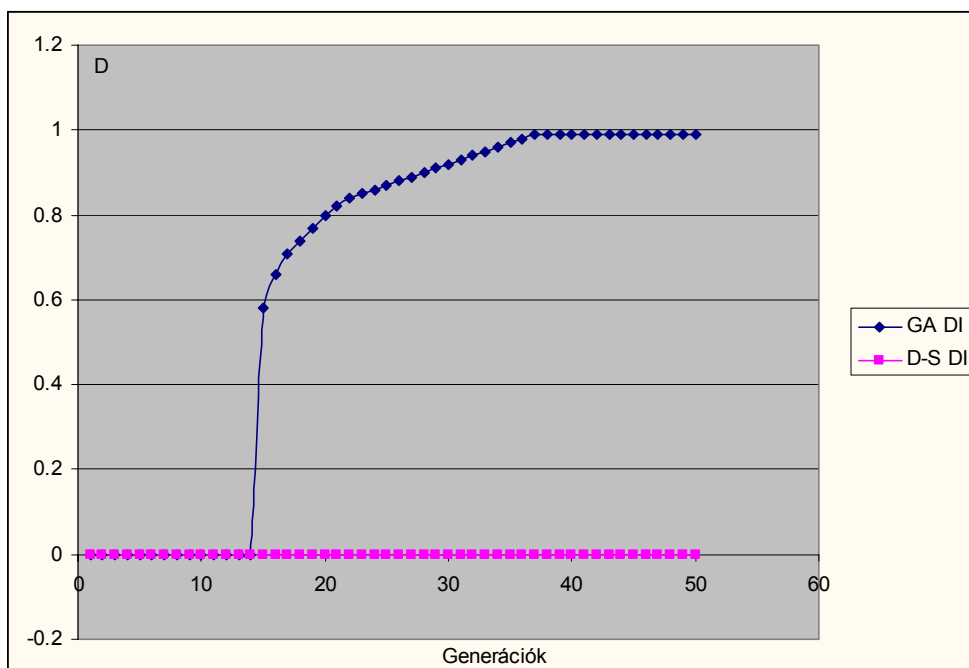
A négyzetes eltérés az elfogadási határoktól:

$$\alpha(\mathbf{p}) = \left(\sqrt[q]{p_1 \cdots p_q} - k \right)^2$$

Innen a teljes kompromisszumfüggvény:

$$D(\mathbf{d}, \mathbf{p}) = \sqrt[q]{d_1 \cdots d_q} - \left(\sqrt[q]{p_1 \cdots p_q} - k \right)^2$$

Az $\alpha(\hat{\mathbf{y}})$ függvény szerepe, hogy amennyiben a kromoszómára egy megoldás nem megengedett, egy büntető értéket von le a D -függvényből. Ennek folytán a GA a megengedett megoldásokhoz fog konvergálni. Miután megengedett megoldásokat találtunk, a D -függvény büntető része zérus lesz, ezért a továbbiakban nem befolyásolja a teljes kompromisszumfüggvényt, amely így az eredeti modell szerint viselkedik.



10. ábra: A Derringer-Suich kompromisszummodell és a GA-alapú kompromisszummodell eredményeinek összehasonlítása

A szerzők kiemelik a GA-alapú kompromisszumfüggvények hatékonyságnövekedését a hagyományos Derringer-Suich függvények használatához képest (lásd 10. ábra).

3 Kockázattal számított módosított kompromisszumfüggvények

3.1 Képességi mutatók

A folyamatokkal kapcsolatos, statisztikai módszerekkel megválaszolható kérdéseket a következőképpen fogalmazhatjuk meg (Koczor (2001)):

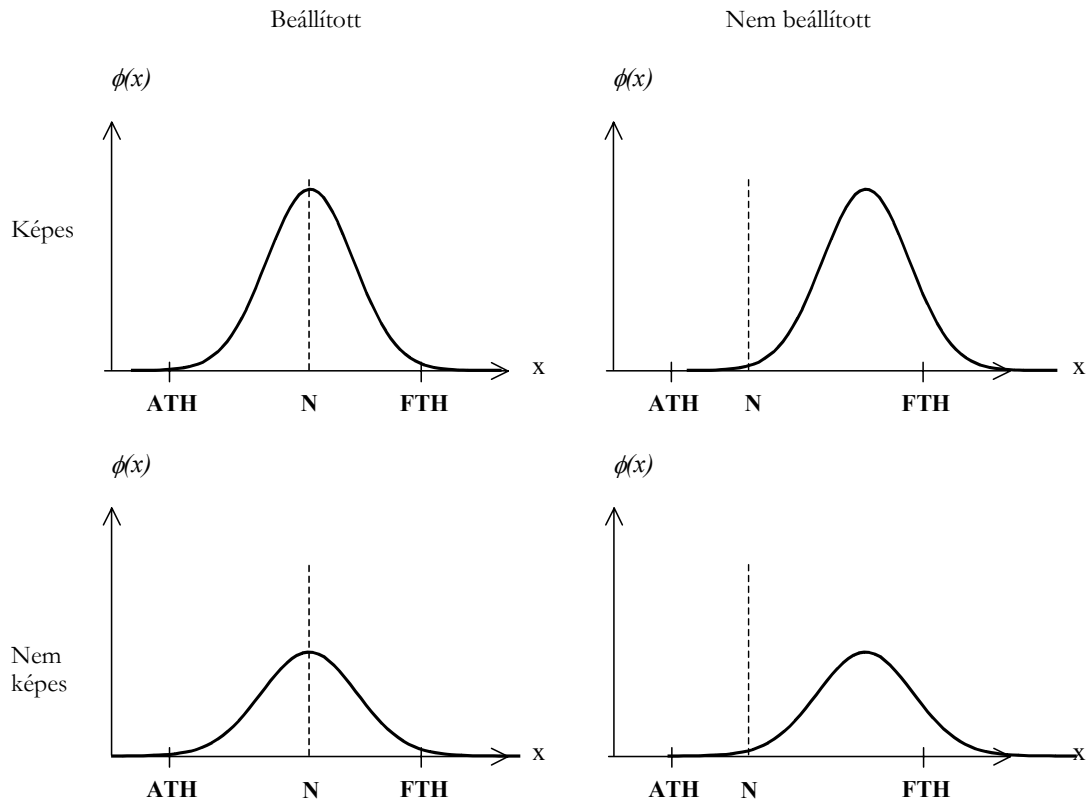
1. Mekkora biztonsággal tartja a vizsgált minőségi paraméter az előírt tűrésmezőt?
2. A folyamat mennyire tekinthető azonosnak korábbi önmagával, vagyis nem következett-e be olyan változás, ami miatt a folyamat előzetesen tervezhető tulajdonságai kiszámíthatatlanná válnak?

Az első kérdés megválaszolásához a folyamatok megfelelőségre értelmezett *mutatószámokat* (C_M , C_{MK} , C_P , C_{PK}) alkalmazzák, a második kérdésre pedig a különböző *szabályozókártyák* technikáján keresztül szokták a választ keresni (Koczor (2001), Kemény – Deák (1999)).

Előbbivel kapcsolatban két új fogalmat kell bevezetnünk, ezek a *képesség* illetve a *beállítottság*.

A képesség a termelő-berendezések vagy a folyamat adottságairól (lehetőségeiről) ad tájékoztatást. Számszerűsített értéként az előírt tűrésmező nagyságának és a vizsgált objektumra jellemző valószínűségi változó szórásának viszonyítását szokták használni.

A berendezések vagy a folyamat beállítottsága (szabályozottsága) a pontos „célzás” jellemzője. Meghatározására a vizsgálati értékek centrális jellemzőinek (pl. számtani közép, medián) és az névleges határérték különbségének a szóráshoz való viszonyát szokták megadni.



11. ábra: A képesség és a szabályozottság értelmezése

A képességet és a beállítottságot értelmezhetjük

- gépekre (C_M , C_{MK}) illetve
- folyamatokra (C_P , C_{PK}).

Utóbbiba a gyártási vagy szolgáltatási körülmények legtöbbjét beleérthetjük. A folyamatokat gépek, anyagok, gépkezelők, módszereik és a munkakörnyezetük összhatásaként foghatjuk fel. Magukban foglalják a hosszabb idő alatt bekövetkező változásokat. A folyamatok paraméterállandósága az időben hosszú távon lezajló hatások mértékét tükrözi.

A folyamat képességének jellemzésére a kijelölt tűréstartomány és a minta kiértékelésekor meghatározott tapasztalati szórás aránya megfelelő mérőszám. A folyamatképesség mutatószáma:

$$C_P = \frac{FTH - ATH}{6s}$$

A gépképesség határértéke általában $C_M^*=1.33$ körüli érték, míg a folyamatképesség határértéke ennél nyilván kisebb, mivel magában foglalja többek között a gépképességet is, általában $C_P^*=1.00$.

A folyamat beállítottságának mutatószáma:

$$C_{PK_1} = \frac{\bar{\bar{x}} - ATH}{3s};$$

illetve

$$C_{PK_2} = \frac{FTH - \bar{\bar{x}}}{3s};,$$

ahol $\bar{\bar{x}}$ a szűrőpróbák átlagértékeinek átlaga. Kis mintanagyság esetén

$s = \frac{\bar{s}}{c_4}$ korrekcióval számolunk.

A beállítottságot a fenti két érték minimuma jellemzi, tehát

$$C_{PK_1} = \min(C_{PK_1}, C_{PK_2}).$$

3.2 A kockázat értelmezése elfogadási határok függvényében

A kockázat minden tevékenységgel kapcsolatban értelmezhető, bármilyen folyamatra vagy döntésre, amelyért felelősek vagyunk. Általánosságban a kockázat egy esemény valószínűségének és következményeinek függvénye (Koczor – Marschall – Némethné – Réthy (1996)):

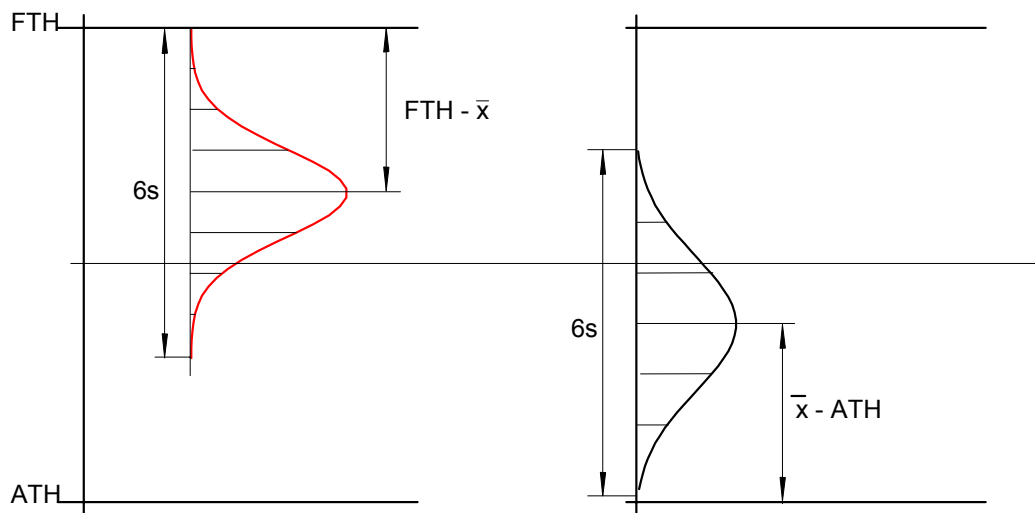
$$K=P(A) V(A);$$

ahol K a számított kockázat, P az A esemény valószínűsége és V a számított veszteség.

Ha definiálunk egy adott költséget (veszteség-függvényt) a határok átlépésére az egyes változókra és ezek eloszlását ismerjük (kiszámítjuk), akkor megkapjuk a határátlépés valószínűségéhez tartozó kockázatot. A veszteség-függvény és a valószínűség adja a kockázat-függvényt az adott kimeneti változóra.

Egyes folyamatok, mint az ömlesztett, vagy feldolgozott termékgyártás egy része, illetve a nagytömegű azonos elemre bontható gyártási és szolgáltatási folyamatok különösen alkalmasak a statisztikai alapú folyamatszabályozás alkalmazására. Ennek oka, hogy a tevékenység célja állandó paraméterekkel előállított termék. Ezek az események jól leírhatók ingadozásokat tartalmazó stacioner folyamatként. A minősítés a folyamat- vagy termékparaméterek mérése alapján történhet. A kiértékelte adathalmaz alapján eloszlást és annak paramétereit meghatározva végezhetők el az előfordulási gyakoriságokra vonatkozó becslések. Ennek alapján megvan annak lehetősége, hogy a statisztikai kiértékelés alapján visszacsatoljunk a beállításokra, vagy a stratégiákra.

A folyamatok jelentős részére jellemző, hogy előírt határok (tűrések, határértékek) tartása, vagy átlépése alapján minősíthetők jónak, vagy nem megfelelőnek. Egy folyamat egzakt módon például a fentebb definiált képességi mutatókkal jellemezhető.



12. ábra: A képességi mutatók értelmezése

A határok átlépése miatti veszteségek jelentőségük szerint csoportosíthatók, illetve költségként elemezhetők. Célszerű az

adatgyűjtésnél a bevezetett minőségköltség-figyelő rendszert alapul venni.

Célok	A középérték elhelyezkedése	
	Költségvonzatú	Költségérzéketlen
Egyoldali tűréshatár	<i>Kompromisszum a határ biztonságos megközelítésére</i>	<i>Minél távolabb a tűréshatártól</i>
Kétoldali tűréshatár	<i>Költség szerinti kompromisszum az erre alkalmasabb határ közelében</i>	<i>Mindkét határtól való távolságoptimum a veszteség minimuma szerint</i>

6. táblázat

Az optimalizálás során a folyamat ingadozását adottságnak tekintjük, feltételezve, hogy annak módosítása jelentős erőforrás-befektetést igényel. A módszer alkalmazása során azonban megkaphatjuk az ingadozások mértékének csökkentésével járó költségcsökkenést. Ez az információ fontos döntés-előkészítő információ, hiszen az erőforrás-befektetés megtérülési ideje ennek alapján számítható.

Különböző gyakorlati feltételek között más-más módszerrel keresendő a minimális veszteségérték. Ehhez a fontosabb alkalmazási körülmények a 6. táblázat szerint csoportosíthatók.

- *Az egyoldali tűréshatárok* esetén a optimumot a tűrésmező szükséges és elégséges megközelítésére határozhatjuk meg. A tűréshatár átlépése is veszteség, de a tűréshatártól való túlságosan nagy távolság, a fölöslegesen túlméretezett biztonság költségei jelentősek lehetnek.
- *A kétoldali tűréshatárok* esetén általában a legkisebb veszteség akkor adódik, ha a két veszélyzónától minél messzebb tartjuk az értékeinket, vagyis a tűrésmező közepére célozzuk azokat. Aszimmetrikus eloszlások, vagy eltérő veszteséggel járó tűréshatárok esetében az optimalizálandó jellemző a célérték beállítása a tűrésmezőn

belül, hisz ilyenkor nem a tőrésmező közepe a legjobb célérték a legkisebb veszteség szerint.

Az alábbiakban a kétféle problémát egy-egy gyakorlati példán mutatjuk be.

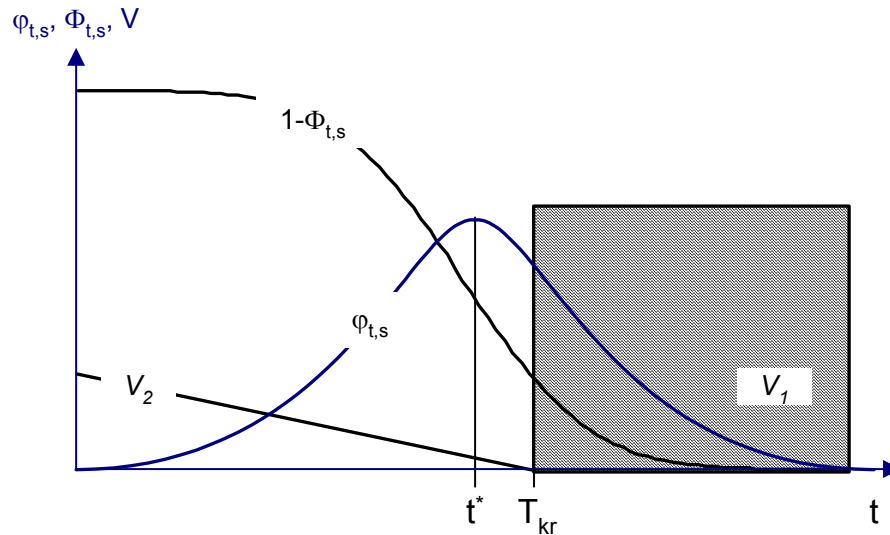
3.3 Példák veszteségfüggvényekre

3.3.1 A gyártási idő kockázatának meghatározása adott költségfüggvényekkel az alsó/felső elfogadási határra

Ebben az esetben két költségfüggvényt kell meghatároznunk,

- egyet arra az esetre, ha elkésünk a gyártás befejezésével, ami azt jelenti például, hogy nem tudjuk eladni a terméket, ez a függvény egy konstans érték (az elmaradt haszon), vagy egy lineáris függvény (például kötbér);
- és egy másikat (amely ideális esetben az előzőnél jóval kisebb) a túl korai befejezésre, amely többletköltséget jelent, például a tárolás vagy további erőforrások bevonásának szükségessége miatt.

Feltehetjük, hogy ezek a költségek egyszerűen számíthatók. A teljes idő és így a teljesítés határideje is hálótervezéssel meghatározható, a folyamat- illetve logisztikai időkből, de van egy bizonyos ingadozás ezen időpont körül, amelyre valamilyen – egyszerűsítésként normális – eloszlást feltételezünk.



13. ábra: A veszteség mértéke az idő függvényében

A teljes veszteség-függvény a következőképpen számítható (13. ábra):

$$V(t^*) = V_1(t)(1 - \Phi_{t,s}(T_{kr})) + V_2(t) \int_{-\infty}^{T_{kr}} \varphi_{t,s}(t) dt =$$

$$V_1(t)(1 - \Phi_{t,s}(T_{kr})) + V_2(t)\Phi_{t,s}(T_{kr})$$

ahol

$\Phi_{t,s}$ – a befejezés időpontjára vonatkozó t^* várható értékű, s szórású normális eloszlásfüggvény;

$\varphi_{t,s}$ – a befejezés időpontjára vonatkozó t^* várható értékű, s szórású normális eloszlás sűrűségfüggvénye;

T_{kr} – a megadott határidő (célérték);

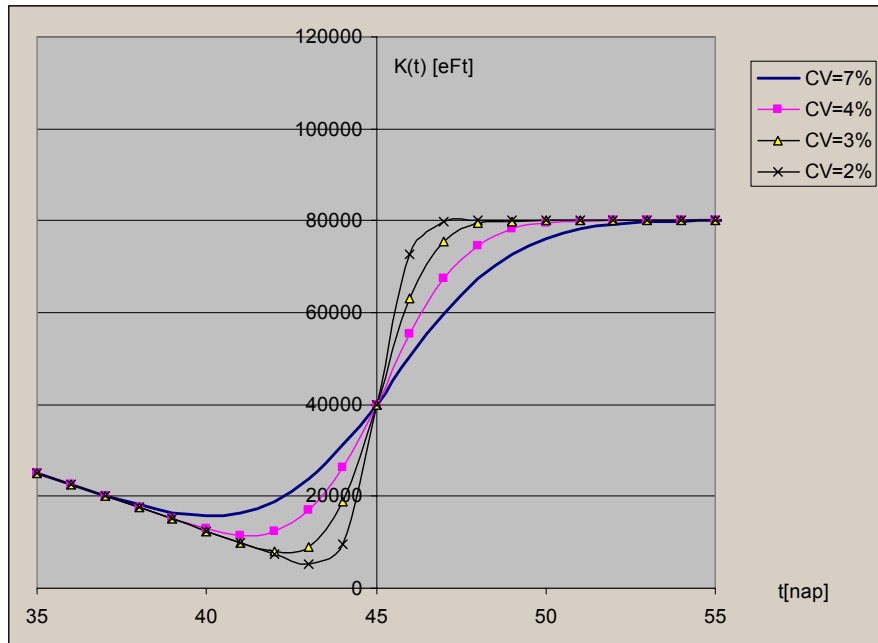
V_1 – a határidő-túllépés költsége;

V_2 – a korábbi kezdés költségfüggvénye.

A t^* befejezési várható érték (amely a kezdési időponttól függ) változtatásával a minimális kockázat értéke meghatározható.

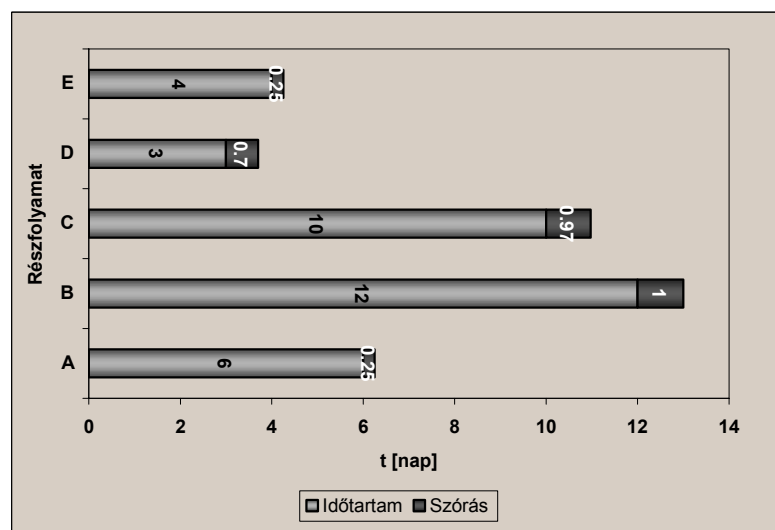
Ha a folyamatot állandónak tekintjük, a t^* átlagérték változtatható a kezdési idő változtatásával. Az optimális kezdési idő az lesz, ahol a kockázat minimális, tehát a kockázatfüggvény minimumát keressük.

Az alábbi ábrán a különböző szórásértékekhez tartozó veszteségfüggvények láthatók, az egyes minimumértékek ennek alapján meghatározhatók.

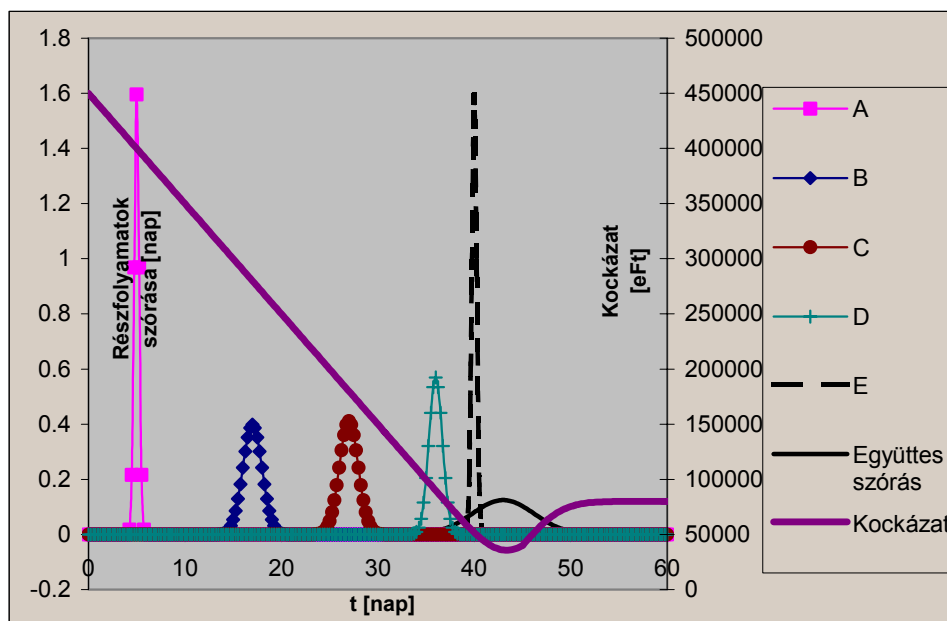


14. ábra: A veszteségek alakulása a szórás függvényében

Amennyiben a folyamat több részfolyamatból tevődik össze, együttes szórásuk veendő figyelembe. Példaként egy ilyen folyamat adatai és kockázatfüggvénye láthatók a 15. és 16. ábrán.



15. ábra: Az egyes technológiai lépcsők határidő-ingadozása



16. ábra: Az egyes technológiai lépcsők határidő-ingadozásának és a végső határidő ingadozásának viszonya

3.3.2 Kockázat számítása alsó/felső elfogadási határookra eltérő veszteség-függvényekkel

Értelmezhetünk két különböző, de állandó értéket az alsó ill. felső határ átlépésére. Ebben az esetben a veszteség a következőképpen írható:

$$V(x) = V_1 \Phi_{\mu, \sigma} \left(\frac{FTH + ATH}{2} - \bar{x} \right) + V_2 \left(1 - \Phi_{\mu, \sigma} \left(\frac{FTH + ATH}{2} - \bar{x} \right) \right)$$

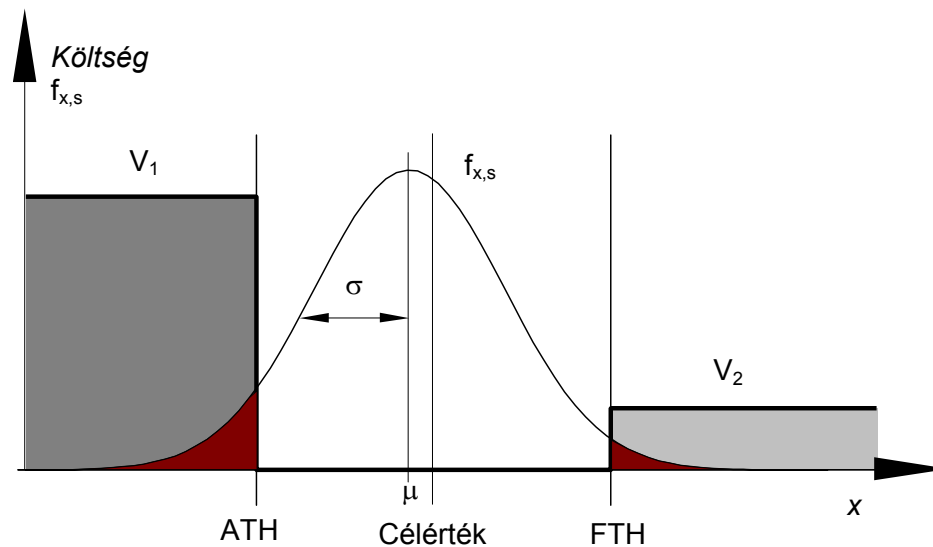
ahol

V_1 az alsó tűréshatár alatti értékekhez rendelhető költség,

V_2 a felső tűréshatár feletti értékekhez rendelhető költség,

ATH és FTH az alsó illetve felső tűréshatár,

\bar{x} pedig a tűrésmező centrumától való eltérés értéke a minőségjellemzőben kifejezve.



17. ábra: A tűréshatárok szerint eltérő értékű, de a termékparaméter mentén állandó veszteségek

3.4 Six Sigma módszertanon alapuló kompromisszummodell

3.4.1 A Six Sigma módszertan

A Six Sigma módszertan filozófiáját (Forrest W. Breyfogle III. (1999)) több multinacionális nagyvállalat magáévá tette a kilencvenes években.

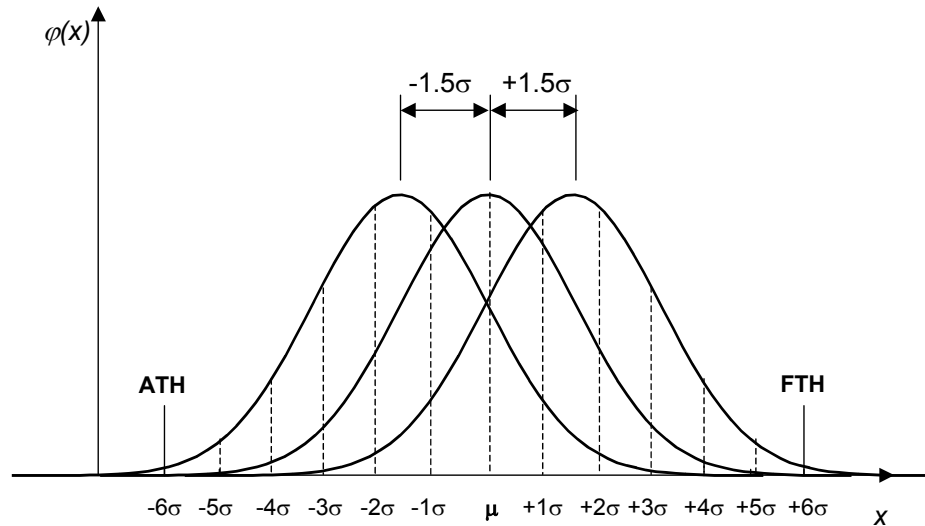
Tágabb értelemben egy egységes minőségfilozófiát jelent, amely magában foglalja a legkülönbözőbb statisztikai, kísérlettervezési és szubjektív minőségjavító technikákat. Az ún. Six Sigma minőség 3.4 hibát jelent egymillió hibalehetőségből (*DPMO*), lásd 18. ábra. Ez azt jelenti, hogy az alsó illetve felső elfogadási határokat (ATH/FTH) $\pm 6\sigma$ -nál határozzuk meg, ebben az esetben a határok közé esés valószínűsége

$$P(x > ATH \text{ és } x < FTH) = 99.999660\%$$

Bevezetjük a *Yield* fogalmát, amely az elfogadási határok közé esés valószínűségével egyenlő, Poisson-eloszlás esetén pedig (19. ábra) pontosan a megfelelő darabok részarányát adja.

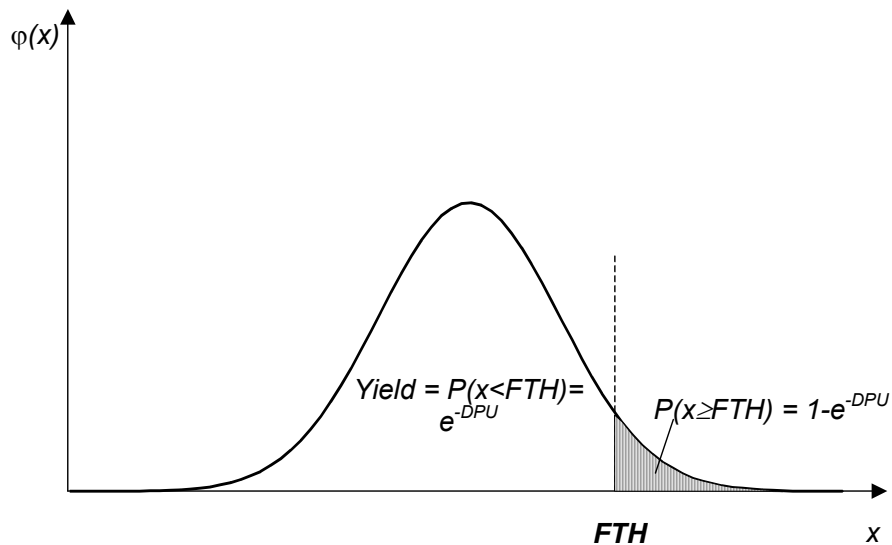
$$Y = P(X = 0) = \frac{e^{-\lambda} \lambda^x}{x!} = e^{-\lambda} = e^{-DPU},$$

ahol az eloszlás λ paramétere az egységre eső hibás darabok száma (DPU).



ATH/FTH	Eltolódás nélkül		±1.5σ eltolódással	
	Yield (%)	Hibás darabok aránya (ppm)	Yield(%)	Hibás darabok aránya (ppm)
±1σ	68.27	317300	30.23	697700
±2σ	95.45	45500	69.13	308700
±3σ	99.73	2700	93.32	66810
±4σ	99.9937	63	99.3790	6210
±5σ	99.999943	0.57	99.97670	0233
±6σ	99.9999998	0.002	99.999660	3.4

18. ábra: Az elfogadási határok közé esés valószínűsége és az egymillió darabra eső hibás darabok száma a tűréshatárok függvényében



19. ábra: A Yield értelmezése

A képességi mutatók vonatkozásában megjegyzendő, hogy mivel a tűrészélessége 12σ ,

$$C_{P6\sigma} = \frac{FTH - ATH}{6\sigma} = 2,$$

szemben az általános $C^*_p=1.00$ (illetve gyakori $1^{1/3}$, $1^{2/3}$) határértékekkel.

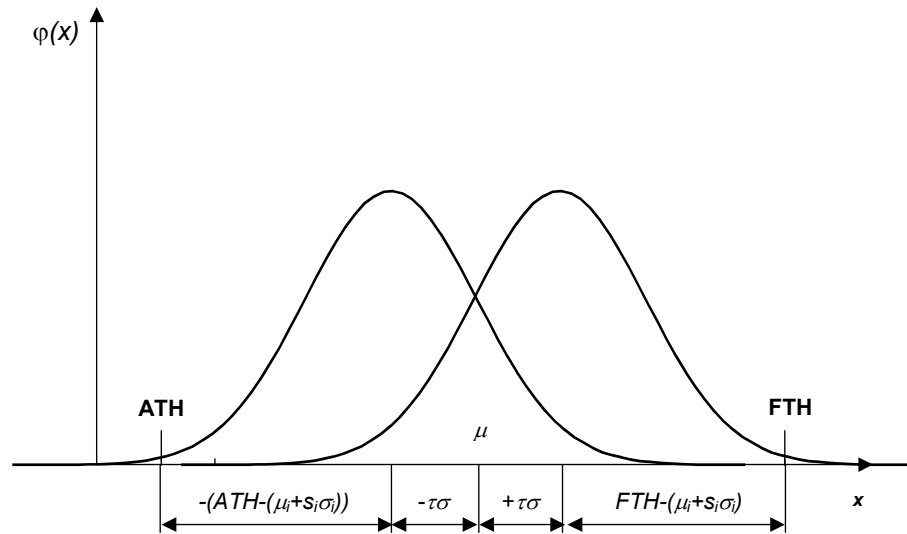
3.4.2 A Six Sigma alapú kompromisszummodell

A kompromisszumfüggvény a Six Sigma-ban megjelenő, az elfogadási határok közé esés valószínűsége (yield) alapján is meghatározható (Ribardo (2000)).

A minősítő jellemzők várható értéke μ_i , négyzetes szórása σ_i . Ezen kívül feltételezzük, hogy a folyamat középvértéke (hosszú távon) eltolódik $\tau_i\sigma_i$ -vel a megfelelő minősítő jellemző irányában; általában $\tau_i=1.5$, azaz az eltolás $1.5\sigma_i$ a feltételezés. Feltételezzük továbbá, hogy a minősítő jellemző normális eloszlást követ és az eltolódás a várható értékhez közelebb eső elfogadási határ irányában történik.

A várható érték a bemenetek és a minősítő jellemzők közötti függvénykapcsolat becslésével adódik (Forrest W. Breyfogle III.

(1999)) – eredményfelület-módszertan segítségével, hasonlóan az ingadozás – varianciaanalízis (ANOVA) alapján.



20. ábra: A kompromisszumfüggvény számításához felhasznált értékek

A d -függvény:

$$d_i(\mu_i, \sigma_i, \tau_i) = \min(\text{Yield}(\mu_i, \sigma_i, +\tau_i), \text{Yield}(\mu_i, \sigma_i, -\tau_i)),$$

ahol

$$\text{Yield}(\mu_i, \sigma_i, s_i) = \Phi\left(\frac{FTH_i - (\mu_i + s_i \sigma_i)}{\sigma_i}\right) - \Phi\left(\frac{ATH_i - (\mu_i + s_i \sigma_i)}{\sigma_i}\right);$$

és

$$s_i = \pm \tau_i.$$

A Yield definícióját lásd 3.4.1–ben.

Szint	Értékelés
1.00 - 0.9999966	Six Sigma minőség, további növelése nem hozna lényeges eredményt
0.9999966 – 0.9938	Jó, de nem kiemelkedő minőség ($4\sigma_i$ standard)
0.9938 – 0.9932	Elfogadható, de rossz minőség ($3\sigma_i$)
0.9932 – 0.69	Elfogadhatatlan ($2\sigma_i$)
0.69-0.00	Teljesen elfogadhatatlan

7. táblázat: A D-függvény értékeinek szintjei, $\pm 1.5\sigma_i$ eltolást feltételezve

A kompromisszumfüggvény:

$$D(\mathbf{x}) = \sqrt[q]{(\mathbf{d}_1(y_1(\mathbf{x}))\mathbf{d}_2(y_2(\mathbf{x}))\cdots\mathbf{d}_r(y_r(\mathbf{x})))^{w_r}(\mathbf{d}_{r+1}(y_{r+1}(\mathbf{x}))^{w_{r+1}}\mathbf{d}_{r+2}(y_{r+2}(\mathbf{x}))^{w_{r+2}}\cdots\mathbf{d}_q(y_q(\mathbf{x}))^{w_q})}$$
,
ahol w_i súlyozó paraméter, és

$$S = \sum_{i=r}^q w_i .$$

Ehhez felhasználjuk a (Derringer (1994)) által kibővített súlyozott kompromisszumfüggvényt (Harrington (1965) eredetileg $w_i=1$ súlyozást használt):

$$D(\mathbf{x}) = \sqrt[q]{\mathbf{d}_1(y_1(\mathbf{x}))^{w_1}\mathbf{d}_2(y_2(\mathbf{x}))^{w_2}\cdots\mathbf{d}_q(y_q(\mathbf{x}))^{w_q}}$$

Az általánosság megőrzése érdekében a kompromisszumfüggvény két tényezőből tevődik össze, az $i=1\dots r$ kimenetek azok, amelyeket az elfogadási határok közé esés valószínűségével és az elfogadási határokkal értelmezünk a Six Sigma módszertannak megfelelően, az $i=r+1\dots q$ kimenetek pedig azok, amelyekhez – az eredeti modell szerint – szubjektív minőségi szinteket rendelünk.

Ilyen formán meghatározva $d_i(\mu_i, \sigma_i, \tau_i)$ egy becslés a – hosszú távon mért – megfelelő egységek részarányára (conforming units), a Six Sigma módszertanban szokásos (már említett) feltételezések mellett:

a minősítő jellemzők normális eloszlásúak,

a folyamat várható értéke eltolódik az egyik elfogadási határ irányában, még hozzá a várható értékhez közelebb eső irányban.

$Yield(\mu_i, \sigma_i, +\tau_i)$ a pozitív irányú eltolódásra, míg $Yield(\mu_i, \sigma_i, -\tau_i)$ a negatív irányú eltolódásra vonatkozik, tehát ezek minimuma esik közelebb a várható értékhez.

Amennyiben egyoldali alsó elfogadási határt definiáltunk,

$\Phi\left(\frac{FTH_i - (\mu_i + s_i \sigma_i)}{\sigma_i}\right)$ helyett 1.00-t használunk, egyoldali felső

elfogadási határ esetén pedig $\Phi\left(\frac{ATH_i - (\mu_i + s_i \sigma_i)}{\sigma_i}\right)$ helyett 0.00-t.

E módszer fő újdonsága abban áll, hogy egy jellemző helyett több minősítő jellemzőre alkalmazza a Six Sigma paramétereket.

3.5 A célértéktől való eltérés valószínűségével számított

kompromisszumfüggvények

Tegyük fel, hogy van bizonyos számú bemeneti paraméterünk és bizonyos számú kimeneti jellemzőnk. A kimeneti jellemzők eloszlását ismerjük. Egy részük esetében értelmezhetünk alsó/felső elfogadási határt, míg a többi csak célértékkel rendelkezik.

Hasonlóan a 3.3.1-ben bemutatott *kockázati modell*hez, létrehozhatunk olyan függvényeket, amelyek a célértéktől való távolodásból eredő veszteséget reprezentálják. Az ilyen függvények előnye, hogy nem csak a várható értéket, hanem a szórást is figyelembe veszik. Néhány szerző foglalkozik az ilyen esetek kezelésével más megközelítésben (például Ribardo (2000) az igényfüggvényeket a várható érték és a szórás segítségével határozza meg úgy, hogy a

kompromisszumfüggvény minőségi szintjeit Six Sigma minőségi szintekhez köti, lásd 3.4.2).

A létrehozott függvényeket igényfüggvényekként szeretnék kezelni, azzal a kitételrel, hogy a kimeneti jellemzők függetlenek egymástól és normális eloszlásúak.

Ennek érdekében különböző információkat kell gyűjtenünk a folyamatról:

- meg kell határoznunk a kimenetek és a bemenetek közötti függvénykapcsolatokat és
- becslést kell végeznünk a szórásra.

Ezen kívül minden egyes kimenetre meg kell adnunk

- a T célértéket,
- egy ún. kiegészítő igényfüggvényt (δ -függvény), amely az igényfüggvények számításában játszik szerepet,
- az igényfüggvényt (d -függvényt) a kiegészítő igényfüggvény és annak valószínűsége alapján, hogy eltérünk a célértéktől.

Mind a kiegészítő igényfüggvények, mind az igényfüggvények értékészlete $W_f = [0, 1]$.

Hasonlóan a kockázat definíciójához, az igényfüggvényt, mint a kiegészítő igényfüggvény (amely veszteségfüggvényeken alapul, de azokkal ellentétes értelmezéssel) és egy valószínűség szorzatát adjuk meg.

A kiegészítő igényfüggvény olyan függvény, amely maximumát ($\delta_{max}=1$) a célértéknél veszi fel, a célértéktől jobbra illetve balra pedig szigorúan monoton csökkenő. Értelmezése: minél távolabb kerülünk a célértéktől, annál kevésbé teljesítjük az igényeket, így rontva a kompromisszumot.

Mindkét oldalra (a célértéktől jobbra illetve balra) definiálhatunk lineáris δ -függvényeket (lásd 21. ábra). Ez a megközelítés hasonló a Derringer – Suich (1980) által megadott kompromisszumfüggvényhez.

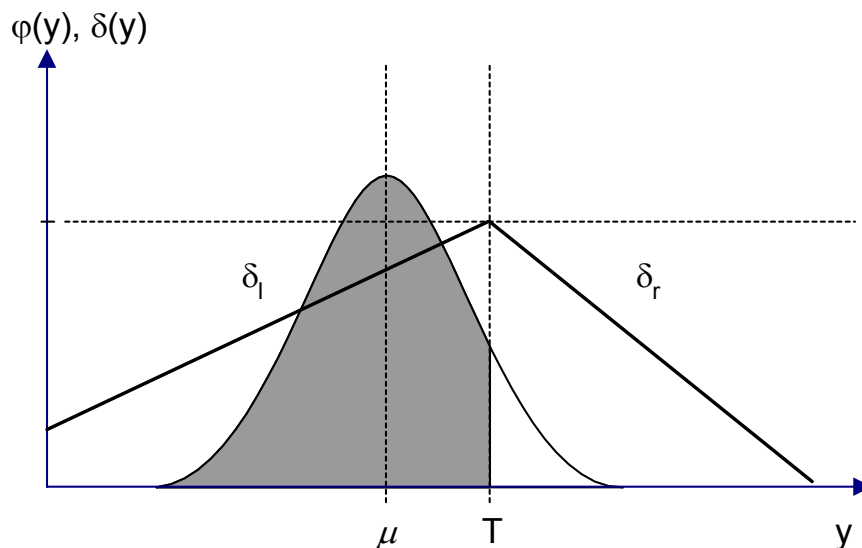
A δ -függvény

$$\delta_{il}(\mathbf{x}) = \begin{cases} 1 + k_{il}(\hat{y}_i(\mathbf{x}) - T_i), & T_i - \frac{1}{k_{il}} \leq y_i \leq T_i \\ 0, & \text{egyébként} \end{cases}$$

a bal oldalra és

$$\delta_{ir}(\mathbf{x}) = \begin{cases} 1 - k_{ir}(\hat{y}_i(\mathbf{x}) - T_i), & T_i \leq y_i \leq T_i + \frac{1}{k_{ir}} \\ 0, & \text{egyébként} \end{cases}$$

a jobb oldalra, ahol k_{il} és k_{ir} konstans. A konstansokhoz mi rendelhetünk értéket, például a szórás többszörösét.



21. ábra: Lineáris kiegészítő igényfüggvény és a kimeneti jellemző sűrűségfüggvénye.

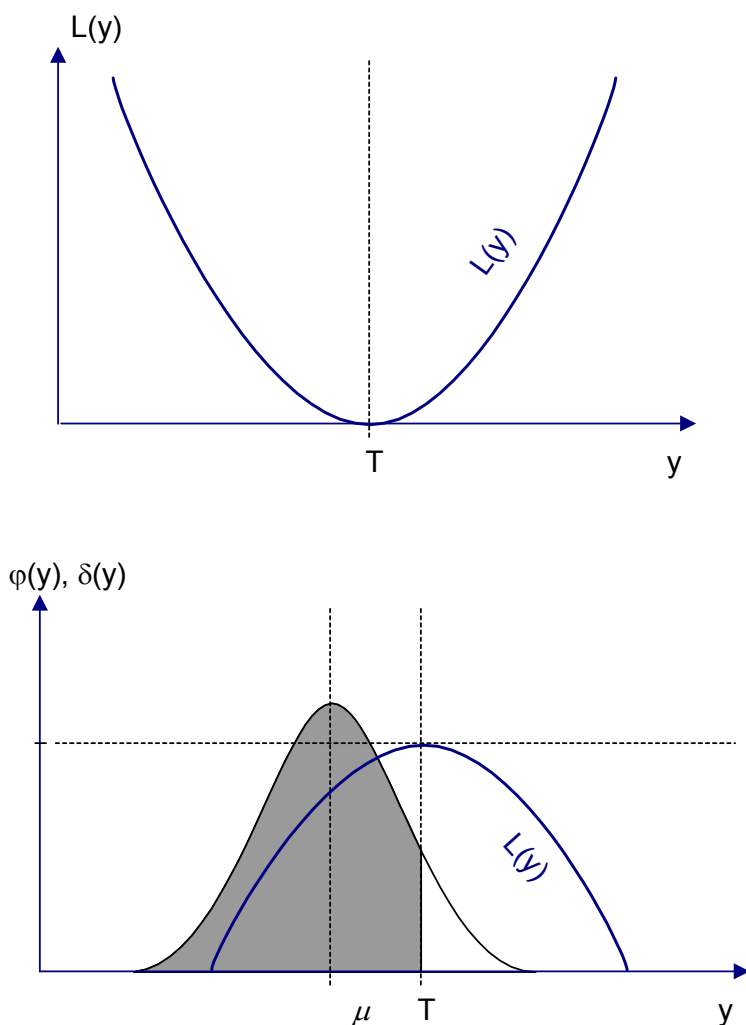
Használhatunk a Taguchi négyzetes veszteségfüggvényen alapuló kiegészítő igényfüggvényeket is. Taguchi (1986) négyzetes függvényt definiál a célértéktől való bármely eltérés esetén jelentkező veszteség számítására. A négyzetes veszteségfüggvény a következőképpen írható fel:

$$L(x) = k(x - T)^2,$$

ahol k konstans, T pedig a célérték.

Így az ezen alapuló kiegészítő igényfüggvényeket (lásd 22. ábra):

$$\delta_{T_i}(\mathbf{x}) = 1 - k_i(\hat{y}_i(\mathbf{x}) - T_i)^2;$$



22. ábra: Felül: A Taguchi-féle négyzetes veszteségfüggvény. Alul: A kimeneti jellemzőre megadott négyzetes δ -függvény

Az igényfüggvény a két oldalra vonatkozó kiegészítő igényfüggvény összege lesz:

$$d_i(\mathbf{x}) = \delta_{il}(\mathbf{x})\Phi_{\mu_i, \sigma_i}(T_i) + \delta_{ir}(\mathbf{x})(1 - \Phi_{\mu_i, \sigma_i}(T_i))$$

ahol μ a várható érték és σ a szórás. Az általánosság megtartásának érdekében a Derringer – Suich (1980) által meghatározott igényfüggvények is használhatók, ahol ez megfelelőbb – például ahol mindenképpen alsó és/vagy felső elfogadási határt kell értelmeznünk.

3.5.1 A teljes kompromisszumfüggvény számítása

Az y - d adatpárokkal történő súlyozás helyett Derringer(1994) egyszerűbb módszert ajánlott, amelyben minden egyes igényfüggvényre súlyozó kitevőt határozzunk meg:

$$D_{Derr} = \sqrt[S]{\prod_{i=1}^q d_i^{w_i}},$$

ahol

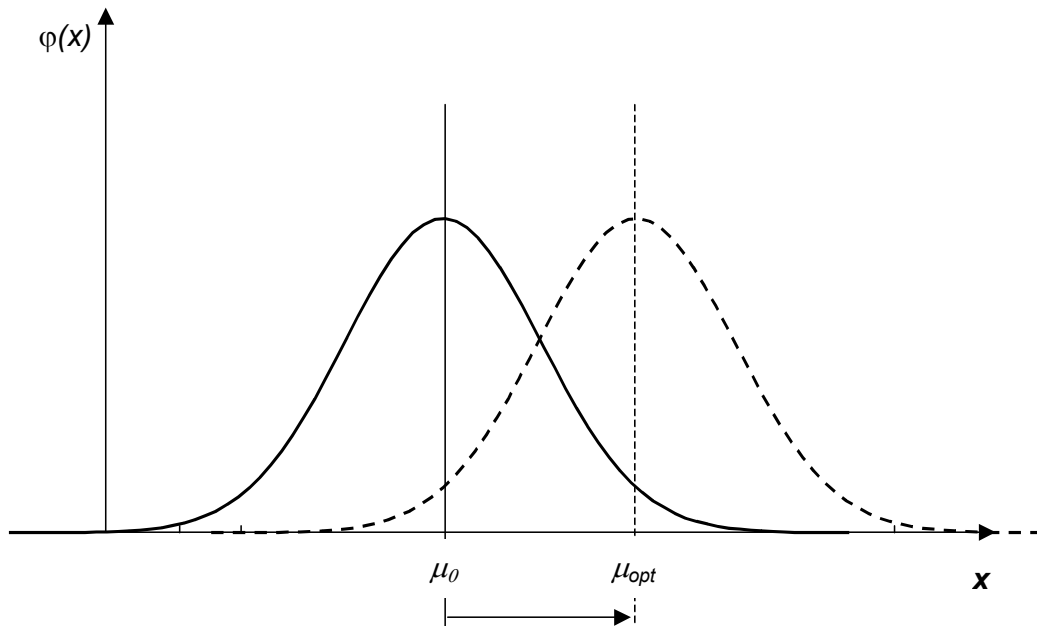
$$S = \sum_{i=1}^q w_i$$

E számítási módot használjuk a módosított d -függvényekből képzett kompromisszumfüggvény maximalizálására:

$$D_\delta = \sqrt[S]{\prod_{i=1}^q d_i^{w_i}} \rightarrow \max$$

A modellben feltételezzük, hogy a szórást nem tudjuk változtatni, a várható értéket viszont igen. Ilyen módon – Ribardo (2000) modelljének a statisztikai paraméterekre vonatkozó részét alapul véve – a várható érték a bemenetektől függ, illetve az optimális bemenetek optimális várható érték beállításával érhetőek el.

Ez a gyakorlatban azt jelenti, hogy a folyamatot „áthelyezzük” a várható érték megváltoztatásával (lásd 23. ábra).



23. ábra: A várható érték optimumhoz tartozó értéke

3.6 Kompromisszumfüggvények értékeinek ábrázolása minőségpoligonban

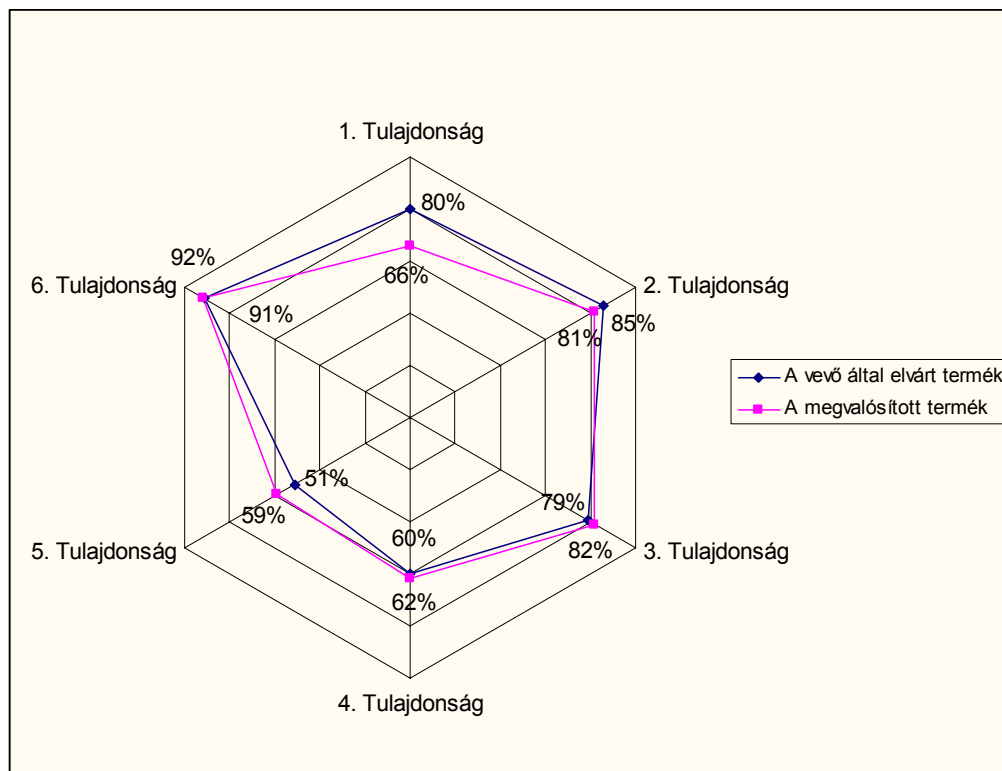
Annak érdekében, hogy a kompromisszumfüggvények aktuális illetve optimális értékei valódi információkkal szolgáljanak, érdemes olyan módon megjeleníteni őket, hogy

- egységes szerkezetben lássuk az értékeket,
- a kiugró értékek kiemelkedjenek a többi közül,
- könnyen ábrázolható legyen, hogy az értékek hogyan viszonyulnak egymáshoz illetve adott elvárt értékekhez.

Ezen elvárásoknak megfelelő leképezési mód a *minőségpoligon* (Koczor (2001)), amely egy termék vagy szolgáltatás esetében az egyes jellemzőkre vonatkozó vevői elvárásokat illetve azok ténylegesen megvalósult értékeit mutatja (24. ábra). Ahhoz, hogy e –

dimenziójukban is eltérő – jellemzőket közös diagramban tudjuk ábrázolni, százalékos értékévé transzformáljuk őket. A százalékos értékekhez úgy jutunk, hogy az alsó és felső határhoz viszonyítjuk a tényleges értékeket:

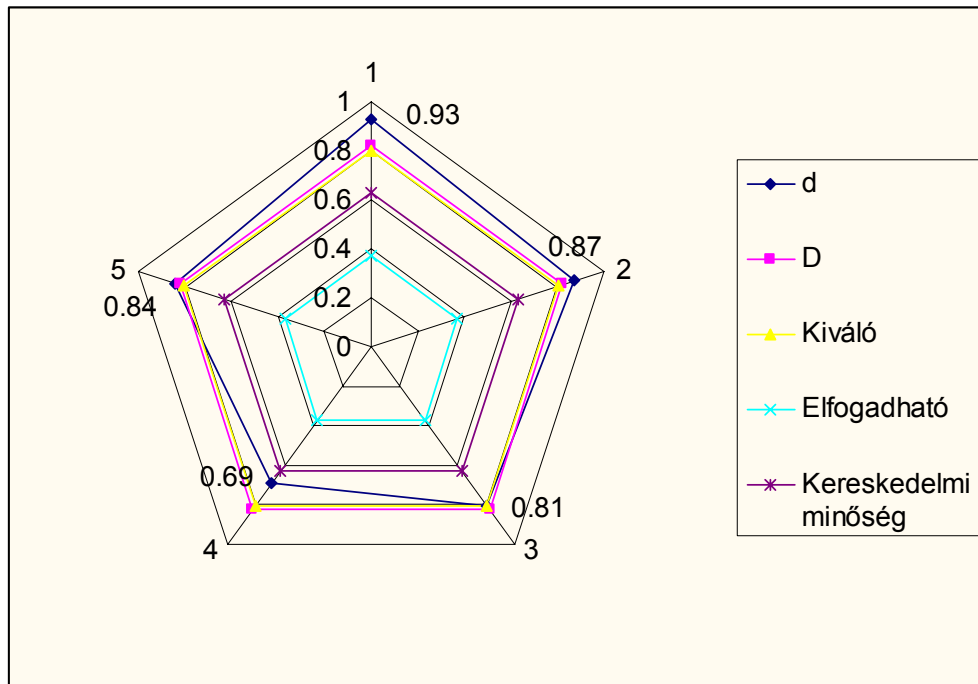
$$n_{rel} = \frac{n - n_{min}}{n_{max} - n_{min}} \cdot 100.$$



24. ábra: Egy termék jellemzőinek minőségpoligonja az elvárt illetve megvalósult értékek ábrázolására

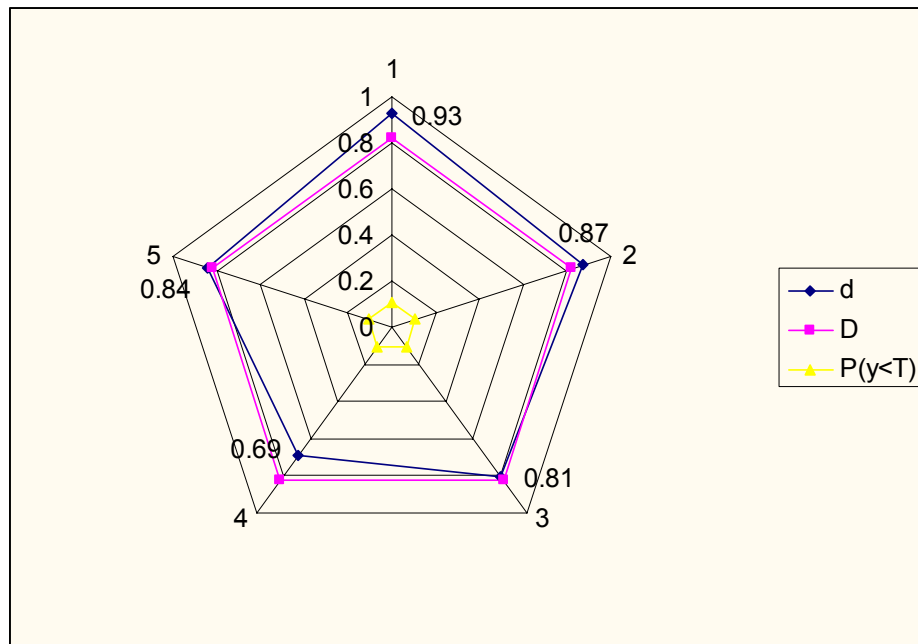
A minőségpoligon segítségével történő ábrázolásmódon alapulva lehetővé válik a kompromisszumfüggvények egyes értékeinek, az esetleges elfogadási határoknak illetve a minőségi szinteknek és a kompromisszumfüggvényekhez kapcsolódó valószínűségértékeknek az ábrázolása is, hiszen mindegyik esetben 0 és 1 közé eső számokról van szó (25. ábra).

Ily módon ábrázolva az optimális értékeket, jól látható, hogy önállóan melyik d -függvény értéke melyik minőségi szintre esik és melyik d -függvény „húzza le” a többit.



25. ábra: Minőségpoligon a kompromisszulfüggvény optimális értékeire minőségi szintek megadásával

A célértéktől való bármely irányú eltérés valószínűségeinek ábrázolásával láthatóvá válik továbbá, hogy milyen viszonyban állnak e valószínűségértékek a d -függvényekkel (azaz szükséges-e valamilyen módon változtatni az adott jellemző eloszlásának paramétereit az eltérés valószínűségének csökkentésére), lásd 26. ábra.

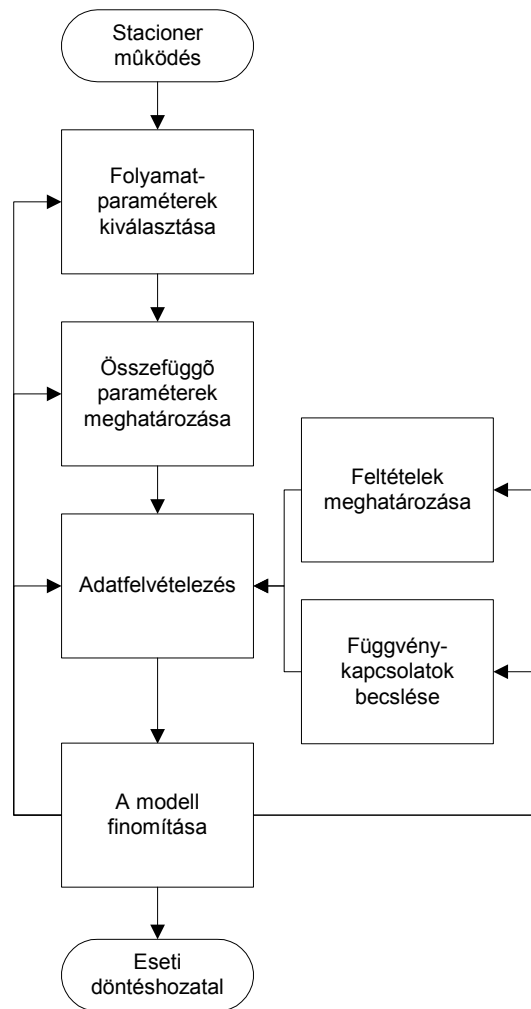


26. ábra: Minőségpoligon az igényfüggvények optimális értékeivel, a közös D-függvénnyel és a célértéktől való eltérés valószínűségével

3.7 A kompromisszummodellre épülő szakértői rendszer

Az kompromisszummodellre épülő szakértői rendszer magában foglalja az adat-felvételezést, a nyersanyagok, nyersanyag-jellemzők, egyéb mérendő jellemzők kiválasztását a modell számára. Segítséget nyújt a probléma megfogalmazásához, a feltételek felírásához és az olyan alapkérdések felvetéséhez, hogy létezik-e egy adott esetben optimális megoldás. A rendszer modelljének felépítését mutatja egyszerűsített formában a 27. ábra.

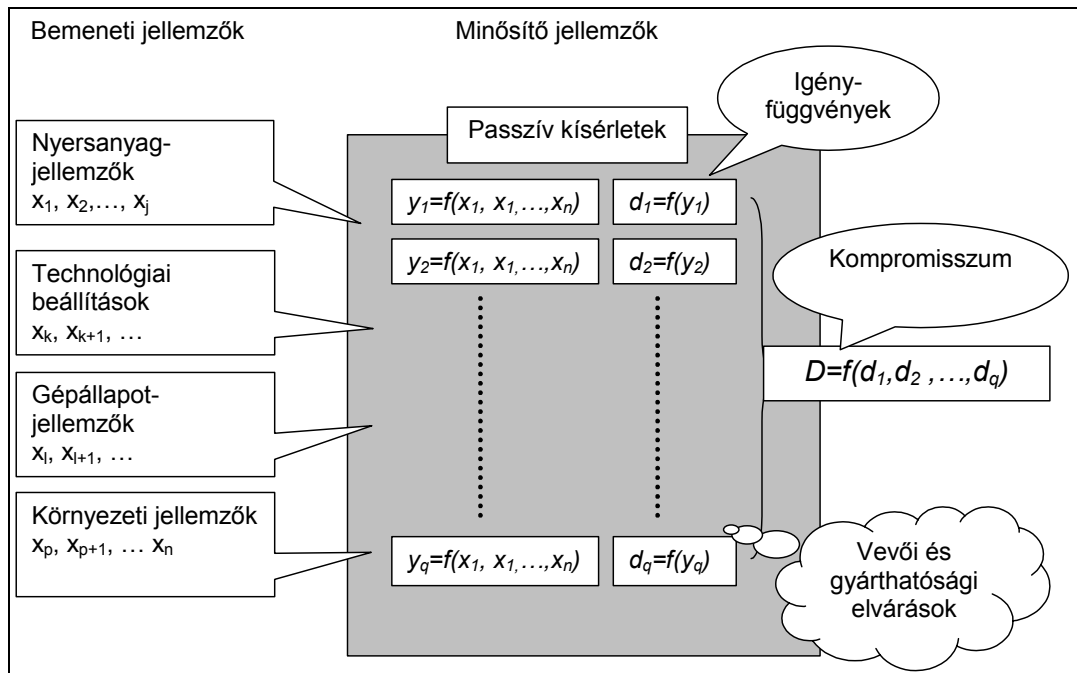
Az általános szakértői rendszer végeredménye a felvett modell, feltételekkel, adatsorokkal együtt.



27. ábra: A kompromisszummodellre épülő szakértői rendszer

E szakértői rendszert egy állandó jellegű nyersanyagbázissal dolgozó fonoda példáján bemutatva új módszerként bevezettük és alkalmazhatóvá tettük egy konkrét megvalósításban.

Míg a kompromisszummodellre épülő általános szakértői rendszer eredménye a problémafelvetés az adatsorokkal illetve feltételekkel, addig az alkalmazott szakértői rendszer végeredménye egy optimális megoldás, amely így a gyártásra vonatkozó döntések, beavatkozások alapjául szolgálhat.

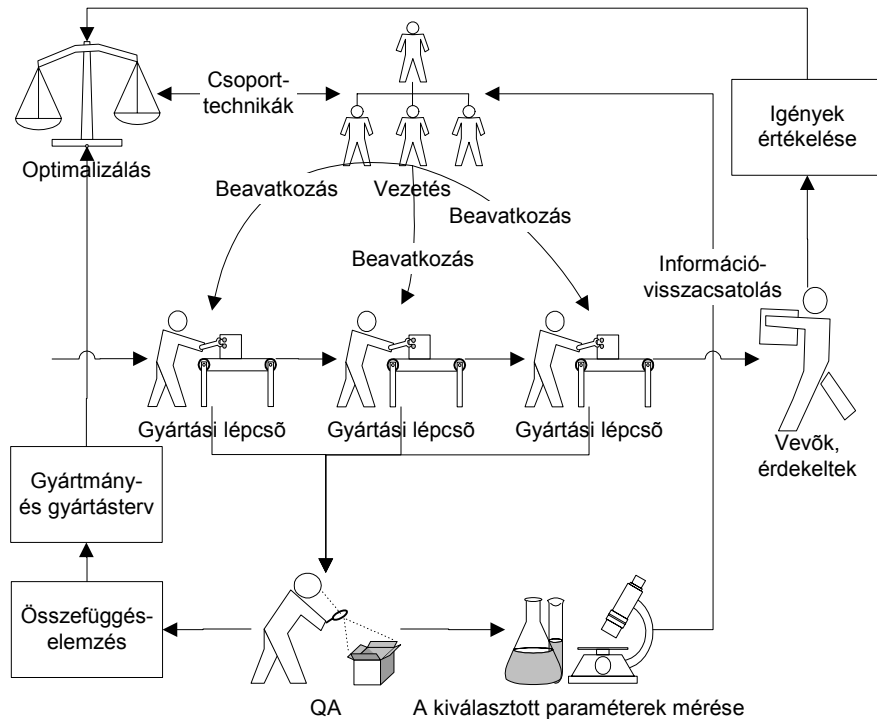


28. ábra: A fonodai szakértői rendszer felépítése

A fonodai szakértői rendszer a

- bemeneti jellemzők csoportosításából, esetünkben:
 - nyersanyagjellemzők,
 - gépállapot-jellemzők,
 - technológiai beállítások,
 - környezeti jellemzők,
- a kimenetek (minősítő jellemzők) meghatározásából,
- a kimenetek és a bemenetek egymástól való függésének becsléséből *passzív kísérletek* (gyártási adatok) alapján,
- a kapott regressziós függvények és a vevői illetve gyárthatósági elvárások figyelembevételével igényfüggvények számításából,
- és az igényfüggvények egyesítéséből a kompromisszum-függvényben, majd utóbbi optimalizálásából

tevéődik össze.



29. ábra: A szakértői rendszer a vevői igények, az optimumkeresés és a vezetői döntések irányából megközelítve

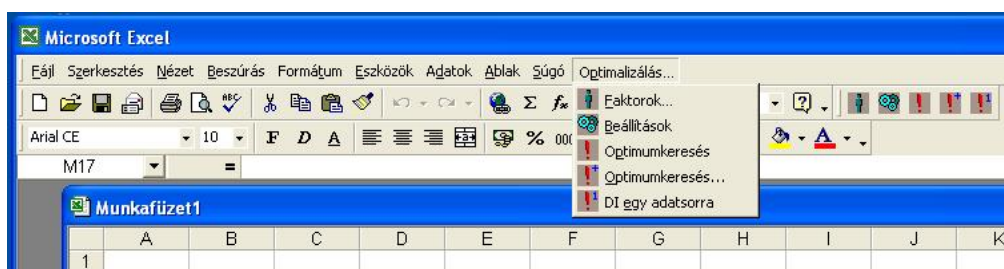
A vevői igények szempontjából megvizsgálva a fonodai szakértői rendszert (Koczor – Réthy (2002)), a bemutatott eszköztár képes az igények *parametrizált értékeit* és *fontosságát* egyaránt kezelni. Előbbihez a vevői igényeket közvetlenül vagy megfelelő szakember általi leképezéssel számszerűsíteni kell. A számszerűsítés az elfogadási határok típusának meghatározását illetve a határok értékét jelenti. A fontosság mérésére és figyelembe vételére egy súlyozó mechanizmus szolgál, amely a vevői elvárásokban szereplő számszerűsíthető minőségi szintek meghatározásából és a mért jellemző értékeinek a megfelelő szintekhez rendeléséből áll. Előnye, hogy igen rugalmasan alkalmazható, ugyanakkor igen fontosak a folyamatról szerzett *a priori* ismeretek annak érdekében, hogy a kapott eredmények értelmesek illetve értelmezhetők legyenek. A vevői elvárások fontossággal súlyozott rendszerének minél jobb kielégítését iteratív módon addig végezhetjük, amíg egy kívánt minőségi szintet el nem érünk.

A kompromisszummodellre alapozott problémakezelés alkalmas vevői csoportok számára visszacsatolva az elégedettséget növelő eredményeket szolgáltatni. Lényege: törvényszerű összefüggések megállapítása olyan folyamat-paraméterek között, ahol a bemeneteket (gyártási paramétereket) módosítani tudjuk. Ugyanakkor nem tudunk egyszerre minden jellemzőt a lehető legjobb értéken tartani, hiszen az elvárásoknak egyszerre kell teljesülniük, így ronthatják egymást. A cél olyan értékek elérése lehet, amelyek az adott körülmények közötti lehető legmagasabb vevői elégedettséghez vezetnek.

Az, hogy mire tesszük a hangsúlyt, hogyan súlyozunk, a mi döntésünk, a vevői elégedettségi információk felhasználásával, objektív illetve szubjektív elemekre támaszkodva.

3.7.1 Szakértői rendszer Microsoft Excel alatt

A kompromisszummodell alkalmazásának támogatására, a modellalkotás és az optimumkeresés megkönnyítésére készítettünk egy „OPTIMA” nevű bővítményt a Microsoft Excel táblázatkezelőhöz. A bővítmény egy menü illetve egy eszköztár formájában integrálódik az táblázatkezelő felületébe (30. ábra)



30. ábra: Az „OPTIMA” bővítmény menürendszere és eszköztára

A bővítmény alapvetően a Harrington-modell alkalmazására készült, azonban kis módosítással alkalmas bármely, a dolgozatban szereplő kompromisszummodell adaptálására. A be- és kimeneti faktorok között többváltozós regressziós modellt határozunk meg, ez szolgál az optimalizálás alapjául. Az optimalizálás a bemeneti és kimeneti faktorok kijelölése és ezek korlátainak, statisztikai paramétereinek

beállítása után egyszerűen elvégezhető – felhasználva a táblázatkezelő *SOLVER* optimumkereső bővítményét.

A dolgozatban szereplő valamennyi számítást az általunk készített bővítmény felhasználásával illetve megfelelő kiegészítésével végeztük.

3.8 Felejtő értékelés

Annak érdekében, hogy a későbbi termelési adatokra vonatkozóan megbízható következtetéseket tudjunk levonni, szükséges bizonyos kritériumok alapján az adataink „felejtő” súlyozása. Ez lehetővé teszi azt is, hogy az adott időszaknál régebbi adatok valamilyen súlyozott formában beépüljenek az aktuális adatok közé, ilyen módon állandó adatmennyiséget eredményezve (Réthy(1999)).

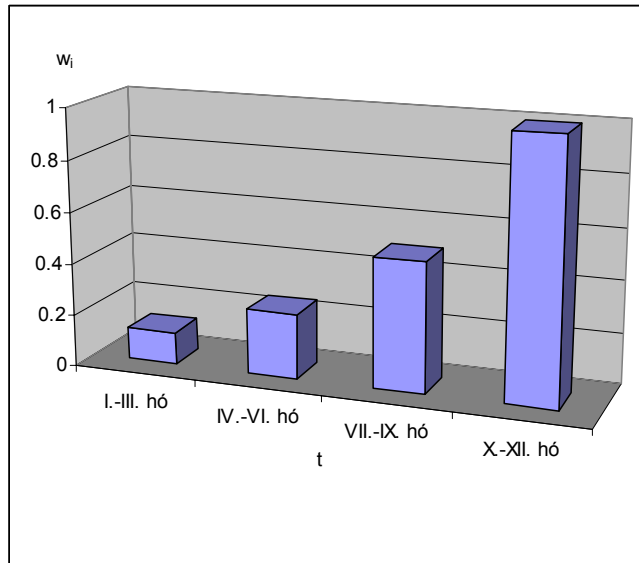
Törzsidőszakként adódik, hogy az évet válasszuk, mint egységet. A törzsidőszakon belül lehetőségünk nyílik különböző súlyozási rendszerek használatára.

A megfelelő súlyozás ugyanakkor lehetővé teszi, hogy nagyobb biztonsággal tudjuk a folyamatparaméterek alakulását leírni az idő függvényében.

3.8.1 Az egy évre visszamenő adatok csoportjainak elkülönítése időszaki súlyozással

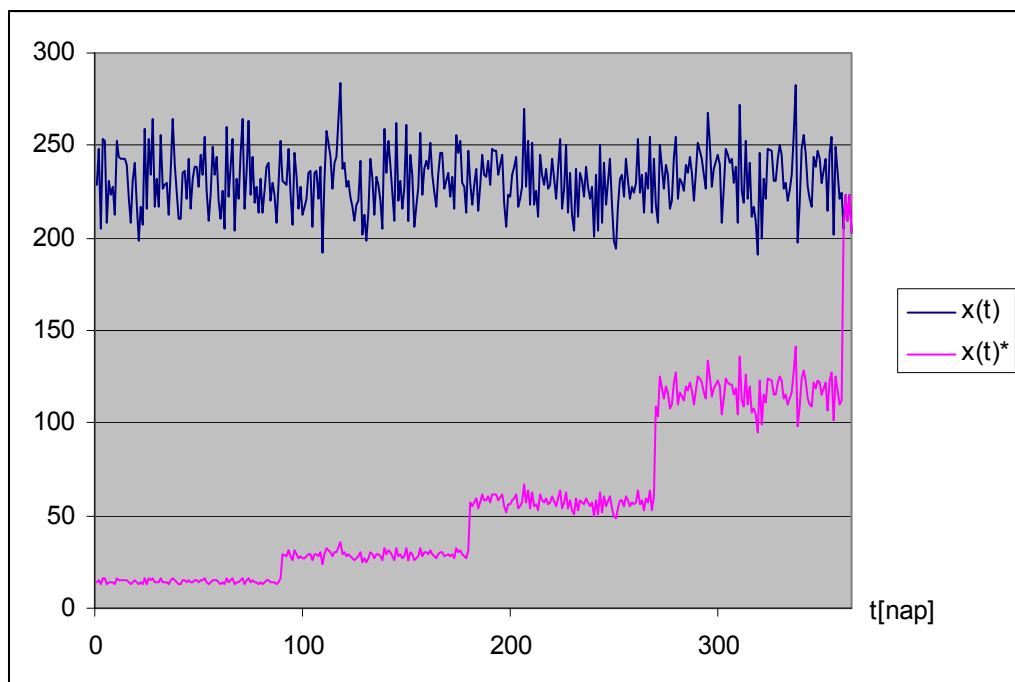
Az év különböző szakaszait ekkor különböző súllyal vesszük figyelembe, úgy, hogy minél inkább visszafelé haladunk az időben, annál kisebb a súlya egy adatsornak.

A súlyozáshoz használt együtthatót jelöljük w_i -vel. A 0. időponttól az 1. időpontig tartó intervallumban („most”) $w_0=1$, azaz 100%-kal figyelembe vesszük az adatokat.



31. ábra: Az adatok súlyozása negyedévenként

A 31. ábra adataiból látható, hogy az adatok súlyozását visszamenőlegesen nem lineárisan csökkentjük. Ugyanakkor az adathalmazra állandóan egy éves *ablakot* nyitunk, a régi adatok jelen lesznek a statisztikáinkban és az analízis alapjául szolgálhatnak, de egyre csökkenő súllyal.



32. ábra: Az adatok és a súlyozott adatok megjelenítése

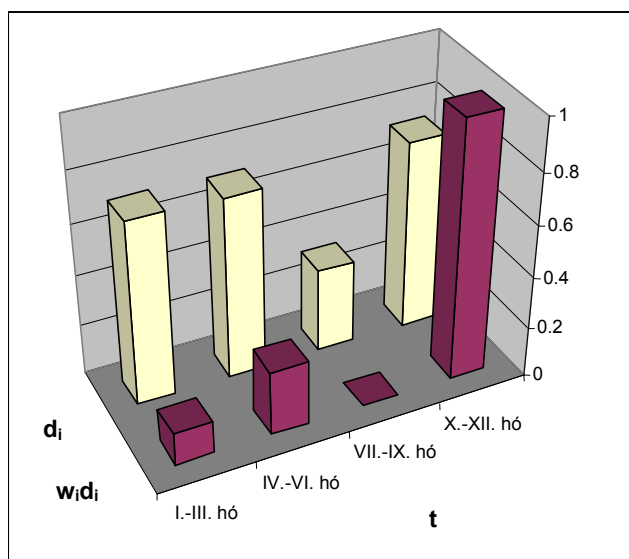
A súlyozás üteme a 8. táblázatban látható.

Időszak	Súlyozási együttható (w_i)
0. (IX.-XII.hó)	1.0
1.	0.5
2.	0.25
3.	0.125

8. táblázat: Időszaki súlyozási együtthatók

3.8.2 Paraméterek és időszakok szerinti súlyozás

Amennyiben tudjuk, hogy valamely paraméter egy adott időszakban kiemelkedően rossz (esetleg jó) irányban befolyásolja a többi paraméterrel együttesen kialakított optimumot, jó szolgálatot tehet, ha ki tudjuk hagyni az elemzésből az adott paramétert erre az időszakra. Ebben az esetben gyakorlatilag $w_i=0$ súllyal vesszük figyelembe, függetlenül attól, hogy amúgy milyen súlyozást alkalmazunk.



33. ábra: Valamely paraméter kiküszöbölése bizonyos időszakra, különleges körülmények előfordulása esetén

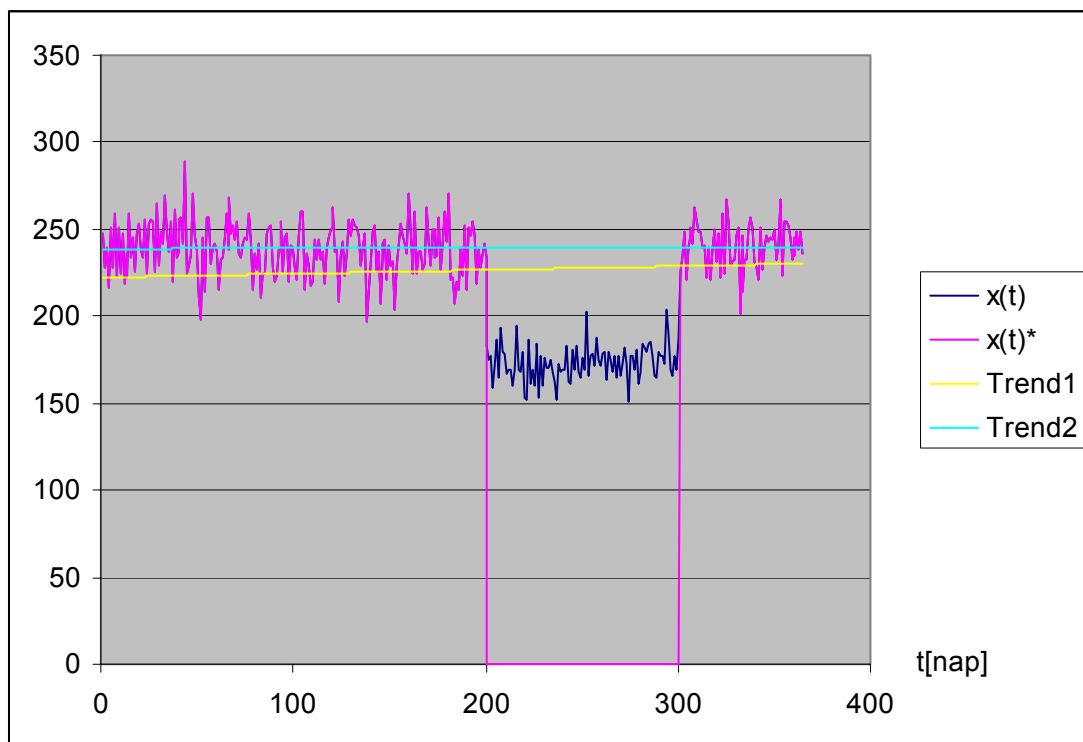
Ilyen, valamely paramétert befolyásoló probléma lehet például egy új gép üzembe helyezése, vagy egy gép tudottan hibás működése, amelyet pillanatnyilag nem tudunk befolyásolni, így hatással van a kimenetekre és így a termékre.

Az extrém, várhatóan a gyakorlatban többé nem ismétlődő (például időjárási) körülményekből adódó értékeket kiküszöbölő súlyozás látható – párhuzamosan az eredeti súlyozással – a 33. ábra diagramján.

Ezen értékek kiküszöbölése úgy történhet, hogy a kompromisszumfüggvény számításakor az adott igényfüggvényt $w=0$ súllyal vesszük figyelembe a

$$D_{Derr} = \sqrt[q]{\prod_{i=1}^q d_i^{w_i}},$$

képletben, ami azt jelenti, hogy a szorzatban 1 értéket vesz fel az igényfüggvény, tehát kiküszöböltük az optimumra vonatkozó hatását.



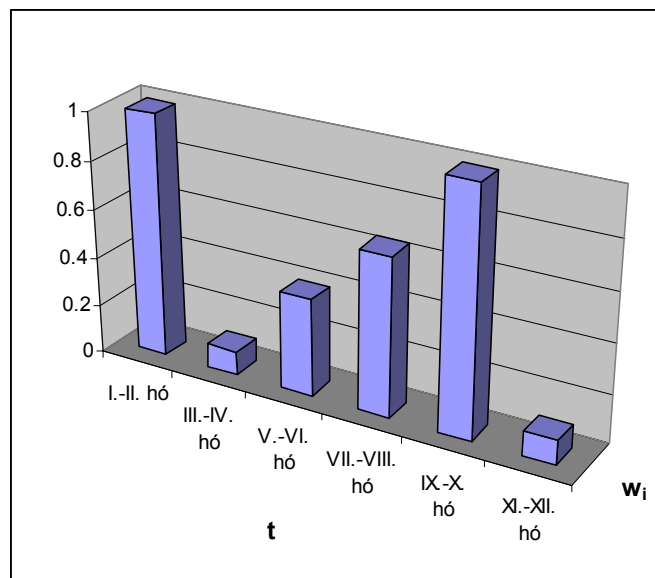
34. ábra: Az eredeti és a súlyozott paraméterértékek trendvonalakkal

Ehhez meg kell szabnunk az extrémítás feltételeit.

A 34. ábrán egy extrém értékeket tartalmazó adatsor ($x(t)$), egy súlyozott adatsor ($x(t)^*$), és ezekre illesztett trendvonalak láthatók. Az első trendvonal (*Trend1*) a súlyozás nélküli adatsorra illesztett regressziós egyenest, míg a második (*Trend2*) a súlyozott adatokra illesztett egyenest mutatja. Utóbbi az extrém körülmények között felvett adatok nem befolyásolják, így realisabb képet ad a folyamatról.

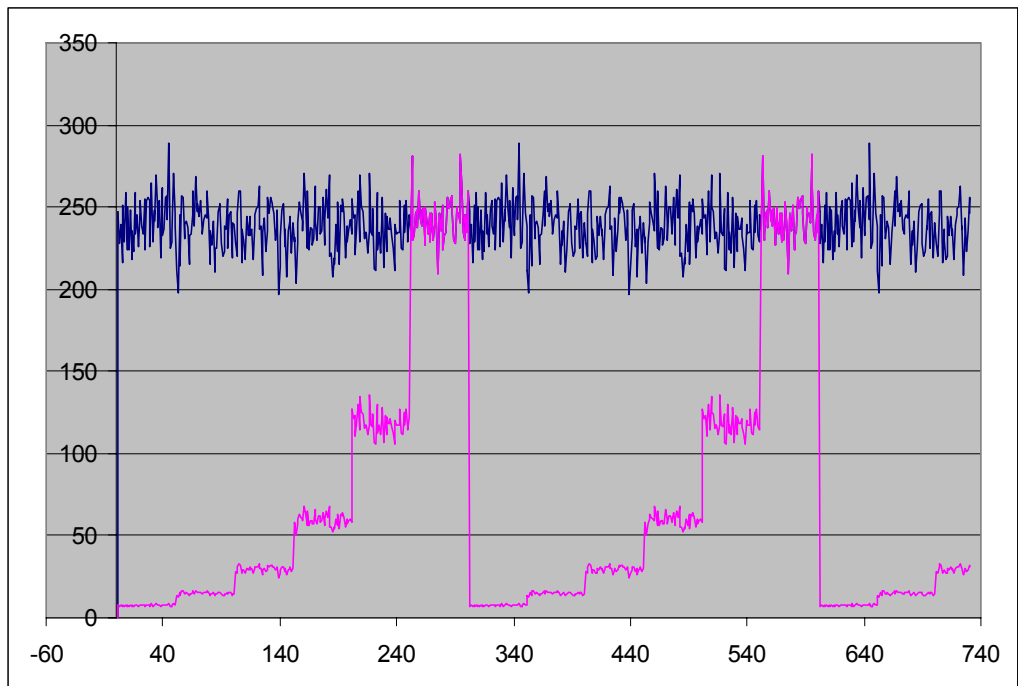
3.8.3 Periodikus jelenségek kiemelése súlyozással

Amennyiben egy paraméter változásában periodicitást vélünk felfedezni, a súlyozási együtthatót úgy alkalmazhatjuk, hogy megállapítunk egy periódushosszt, és a periódus végétől számítva visszafelé egyre kisebb súllyal vesszük figyelembe az értékeket.



35. ábra: Periódus kiemelése súlyozással, 10 hónapos megállapított periódus esetén

Az előző periódus határának közvetlen közelében viszont újra a periódus végénél használt súlyozást használjuk (35. ábra).



36. ábra: Periódus kiemelése súlyozással

4 Esettanulmány

A Réthy (1999)-ben és a Koczor – Réthy (2000) jelentésben felhasznált adatsorok kiértékeléséhez akkor a Harrington (1965) által javasolt számítási módot használtuk fel.

Az alábbi esettanulmányban két kompromisszumfüggvény-típust hasonlítottunk össze:

- A klasszikusnak tekinthető Derringer-Suich (1980) függvényeket és
- az általunk javasolt, a célértéktől való eltérés valószínűségével számított *módosított* kompromisszumfüggvényeket.

Besorolás	Megnevezés
Nyersanyagjellemzők	Microner
	Elemiszál Rkm
	Elemiszál nyúlás
Gépállapot-jellemzők	Kártolt szalag noppszám
	Végnyújtó Nm CV%
	Végnyújtó U CV%
	Keresztcsévélő elszívóhulladék
	Nm CV%
Klíma jellemzők	Hőmérséklet
	Légnedvesség (%)
Technológiai beállítások	Sodrat

9. táblázat: A modellben felhasznált bemeneti jellemzők

A modellalkotáskor az eredeti feltételezéseket – ki- és bemenetek lineáris összefüggése, normalitás – változatlan formában megtartottuk, úgy, hogy a már meglévő – *passzív kísérletekből származó* – adatsorokból dolgoztunk.

Hat különböző minősítő jellemzőnk van, az egyes jellemzők egyenként 11-11 bemenettől függenek, így többváltozós lineáris regressziós modellt kaptunk. A kiválasztott bemeneti és kimeneti változókat mutatja a 9. táblázat és a 10. táblázat.

A számításokat *Microsoft Excel*-ben végeztük, felhasználva és módosítva a 3.7.1-ben leírt, kompromisszummodellek felírására és optimumkeresésre általunk készített környezetet.

A regressziós egyenleteket használjuk fel mindkét modell alapösszefüggéseiként, a megfelelő, modelltől, célértéktől és az egyéb paramétereiktől függő transzformációk után.

4.1 Az egyes paraméterek mérési módjai (Réthy (1999))

4.1.1 Nyersanyagjellemzők

A nyersanyagjellemzők meghatározása szabvány szerint térfogati mintából történik. A meghatározási módszereknek két nagy csoportja létezik:

- objektív mérések – műszeres vizsgálatokból;
- szubjektív módszerek, ezen belül:
 - nopposság meghatározása,
 - szín, szennyeződéstartalom, Stapel-hossz alapján való osztályozás, illetve

- a két módszer kombinációja, amikor műszeres vizsgálatokat végzünk, de a szubjektív értékelésre alapozva. Ilyen a *HVI*-rendszer.

Megnevezés
F CV%
Rkm
Uster CV%
Vékonyhely
Vastaghely
Nopp

10. táblázat: A modellben felhasznált minősítő jellemzők

A mérhető jellemzők közül a szakértői rendszerbe a *Microner* érték, a *szakítókilométer (Rkm)*, és a *nyúlás (%)* kerültek. Az elemiszál hossz is természetesen ide tartozik, azonban az adott fonodánál tudatosan nem változtatják a szálhosszt, konstans 30-32mm-essel dolgoznak. Emiatt nem szerepelhet, mint befolyásoló tényező az optimalizálásnál. A lineáris sűrűség szintén hozzájárul a kimenethez, azonban a *Microner* érték – mint összetett relatív mérőszám a fonál finomságára – tartalmazza.

4.1.2 Gépállapot-jellemzők

- közvetlen jellemzők mérése: például a kártológép egyes jellemzőinek megfigyelése, videomikroszkóppal a kártbevonat vizsgálata; a nyújtóművön a nyomóhengerek keménységének vizsgálata, gyűrűsfonásnál az orsó excentricitása illetve a futó kopása,
- kimeneti termék minőségi paraméterével minősítjük a gépet – például *kártoló noppszám*, *nyújtók CV%-je*,

- nem a vizsgált berendezésen, hanem a következő technológiai lépcsőn megjelenő hibákat értékeljük. Esetünkben a *keresztcsévélő elszívóhulladék* a jellemző, amely a keresztcsévélésnél kivágott vékony- és vastaghelyek mennyisége, és a megelőző gyűrűsfonást minősíti.

Esetünkben az utóbbi két kategóriába eső jellemzőket használtuk fel, vagyis közvetetten, termékparaméterek útján minősítettük a gépállapot-jellemzőket. A paraméterek kiválasztásában fontosságuk játszott szerepet, és lényeges volt, hogy az adatgyűjtés időbeli ritmusához alkalmazkodó jellemzők legyenek.

4.1.3 Klíma jellemzők és technológiai beállítások

A klíma hatását az aznapi középhőmérséklettel, illetve a légnedvesség átlagos értékével jellemezhetjük. Ennek oka szintén az adatgyűjtés ritmusában keresendő, azaz olyan rendszerességgel kell felvennünk az adatokat, hogy lehetőség szerint kiütközzenek a vizsgálni kívánt trendek. Ugyanakkor nem jelentős tényező – e vizsgálat keretében – a napközbeni ingadozás, sőt, nagy ingadozással zavaróan befolyásolhatná az eredményt.

A technológiai beállításokról azt feltételezzük, hogy pontosan beállíthatóak – mint a kísérleti beállításoknál. A beállítások forrásaként a megfelelő technológiai leírás szolgál.

A modellről megállapítottuk, hogy a független és függő változók közötti kapcsolat szoros volta nem a véletlen műve, F-próbával megbizonyosodtunk arról, hogy a modell adekvát. Megállapíthatjuk tehát, hogy a lineáris regressziós modell elfogadható a függvénykapcsolatok milyenségének becslésére vonatkozóan.

Szignifikancia-vizsgálat alapján az *Noppszám* minősítő jellemző kimaradt a modellből. A végleges modellben ugyanígy nem szerepel a *Microner*, a *Végnyújtó NmCV%*, a *Végnyújtó UCV%* és az *NmCV%*,

mivel ezek a modell alapján szignifikánsan nem befolyásolják a minősítő jellemzőket.

4.2 Vevői igények meghatározása és optimalizálás

A kapott regressziós modellből már lehetővé válik a további adatelemzés. Ehhez meg kell határoznunk, hogy melyik kimeneti jellemzőre milyen határt értelmezünk, ezután pedig a vevői szempontok által befolyásolt értékelést és súlyozást.

A bemenetek intervalluma szabadon változtatható, egyenlőtlenségekkel adható meg. Ezek a technikai korlátok biztosítják azt, hogy egy-egy paraméter ne nőhessen, illetve csökkenhessen minden határon túl. Az intervallumokat úgy érdemes meghatározni, hogy egy valós tartományban szolgáltatassanak értékeket. A kapott optimumból visszahelyettesített optimális bemenetek és kimenetek „jósa” részben statisztikai alapon vizsgálható, részben szubjektív elbírálás tárgya lehet.

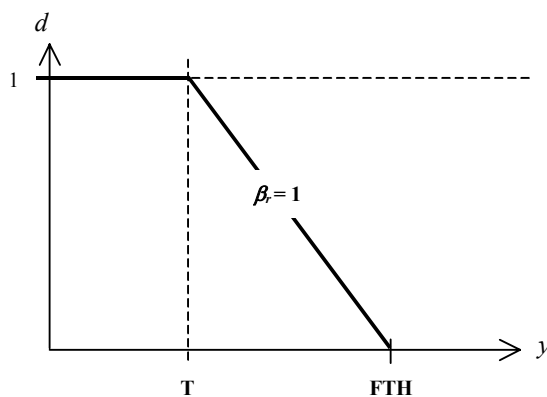
4.2.1 A Derringer-Suich modell szerinti számítás

A modellben kétféle tűréshatárral rendelkező minősítő jellemzőnk van, egyoldali, felső tűréshatárt értelmezünk a következőkre:

- F CV%,
- Uster CV%,
- Vékonyhelyek száma,
- Vastaghelyek száma.

Egyoldali alsó tűréshatárt értelmezünk:

- A szakítókilométerre (Rkm).



38. ábra: D-S Igényfüggvény egyoldali tűréshatár esetén

Az igényfüggvények számítása felső tűréshatár esetén:

$$d_{DS}(y) = \begin{cases} 1, & y \leq T \\ \left(\frac{FTH - y}{FTH - T} \right)^{\beta_r}, & T < y < FTH \\ 0, & y \geq FTH \end{cases}$$

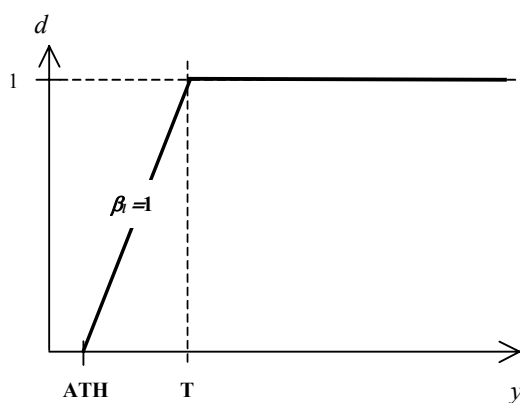
Ekkor $\beta=1$ súlyozással az igényfüggvény a 38.ábra szerint alakul.

Alsó tűréshatár esetén

$$d_{DS}(Y) = \begin{cases} 0, & y \leq ATH \\ \left(\frac{y - ATH}{T - ATH} \right)^{\beta_l}, & ATH < y < T \\ 1, & y \geq T \end{cases}$$

ahol T a célérték (Target), ATH és FTH az alsó illetve felső elfogadási határ, β pedig a súlyozás.

Ekkor az igényfüggvény a 39.ábra szerint alakul.



39. ábra: D-S Igényfüggvény kétoldali tűréshatár esetén

Az alsó és felső tűréshatárok az egyes minősítő jellemzőkre a 11. táblázatban láthatók.

Megnevezés	ATH	FTH
F CV%		11%
Rkm	10	
Uster CV%		22%
Vékonyhely		170
Vastaghely		200

11. táblázat: Alsó és felső tűréshatárok

A bemeneti paraméterek és a minősítő jellemzők kiinduló megoldáshoz és az optimális megoldáshoz tartozó értékei az alábbiakban láthatóak.

Megnevezés	Érték
Elemiszál Rkm	19
Elemiszál nyúlás	5%
Sodrat (1/m)	553
Kártoló noppszám	127
Hőmérséklet (°C)	20
Légnedvesség	38%
Keresztcsévélő elszívóhulladék	2.6

12. táblázat: A bemenetek induló megoldáshoz tartozó értéke

Megnevezés	T	m	s	y	d	β_l	β_r	w	DI
F CV%	7%	8%	1.29%	11%	0.021	1.00	1.00	1.00	0.227
Rkm	14.00	14.50	1.72	16.68	0.11	1.00	1.00	1.00	
Uster CV%	16%	15%	1.67%	20%	0.369	1.00	1.00	1.00	
Vékonyhely	20.00	28.90	11.26	43.89	0.84	1.00	1.00	1.00	
Vastaghely	100.00	130.90	2.60	116.11	0.84	1.00	1.00	1.00	

13. táblázat: A minősítő jellemzők induló megoldáshoz tartozó értékei

Az optimális megoldáshoz tartozó értékek:

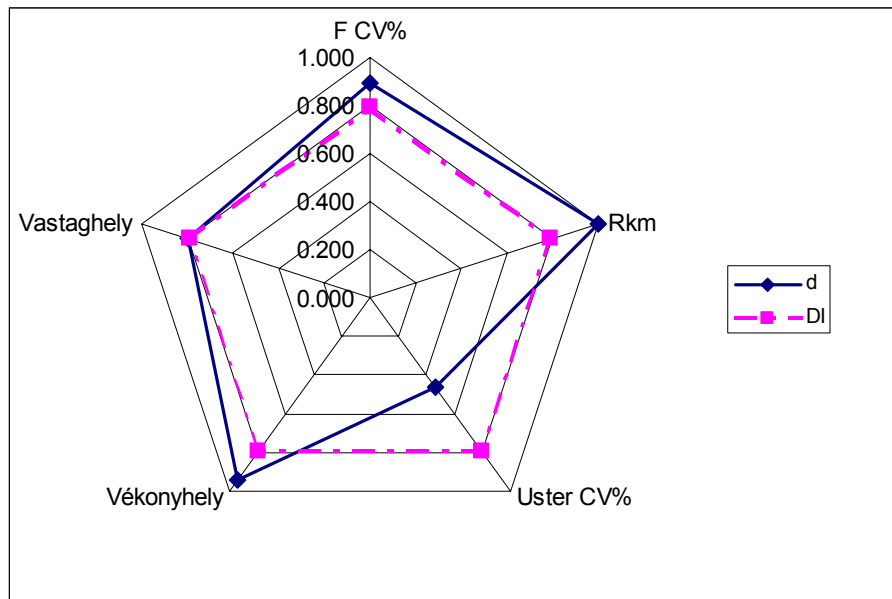
Jellemző	Érték
Elemiszál Rkm	20
Elemiszál nyúlás	6%
Sodrat (1/m)	553
Kártoló noppszám	127
Hőmérséklet	20
Légnedvesség	45%
Keresztcsévélő elszívóhulladék	2.60

14. táblázat: A bemeneti jellemzők optimális megoldáshoz tartozó értékei

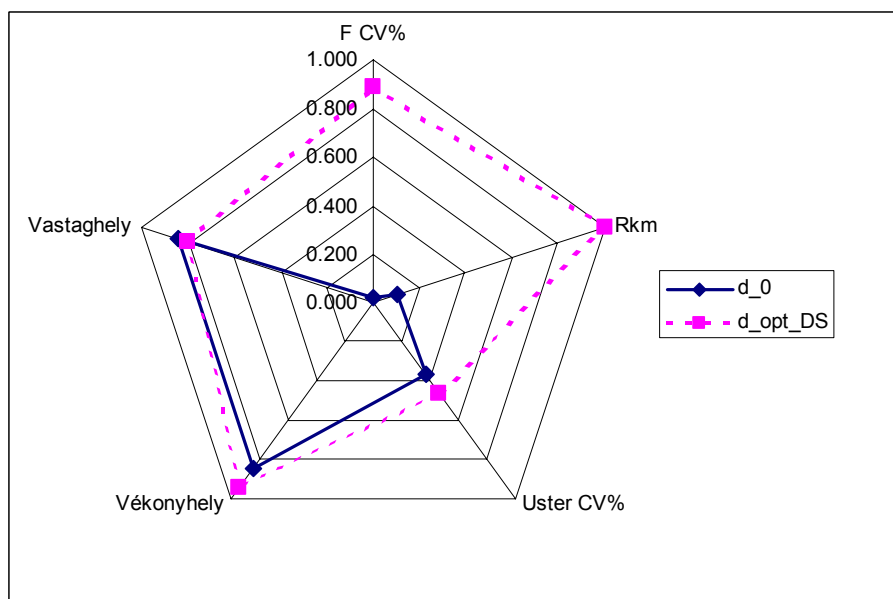
Megnevezés	T	m	s	y	d	β_l	β_r	w	DI
F CV%	7%	8%	1.29%	7%	0.891	1.00	1.00	1.00	0.790
Rkm	14.00	14.50	1.72	14.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
Uster CV%	16%	15%	1.67%	19%	0.461	1.00	1.00	1.00	
Vékonyhely	20.00	28.90	11.26	29.34	0.94	1.00	1.00	1.00	
Vastaghely	100.00	130.90	2.60	119.95	0.80	1.00	1.00	1.00	

15. táblázat: A kimeneti jellemzők paramétereinek értéke az optimális megoldásnál

Az optimális értékeket, majd a kiindulási illetve az optimális értékek összehasonlítását a **40.** illetve az **41. ábra** szemlélteti.



40. ábra: Az egyes minősítő jellemzők optimális értékei



41. ábra: Az egyes minősítő jellemzők kiindulási és optimális értékeinek összehasonlítása

4.2.2 A célértéktől való eltérés valószínűségével számított kompromisszumfüggvény

A 3.5 fejezetben leírtak szerint a módosított kompromisszumfüggvényt az általánosság megtartásával érdemes alkalmazni. Esetünkben ez azt jelenti, hogy a kimeneti jellemzők közül a szakítókilométer (Rkm) felel meg annak a feltételnek, hogy értelmezhető a célértéktől való eltérés valószínűségével számított kompromisszumfüggvény. A többi négy kimeneti jellemző esetében változatlanul a Derringer-Suich igényfüggvényeket használjuk.

Megnevezés	T	m	s	y	k ₁	k ₂	δ _l	δ _r	d	β _l	β _r	w	DI
F CV%	7%	8%	1.29%	11%					0.021	1.00	1.00	1.00	0.189
Rkm	14.00	14.50	1.72	16.68	0.1	0.1	0	0.732	0.044			1.00	
Uster CV%	16%	15%	1.67%	20%					0.369	1.00	1.00	1.00	
Vékonyhely	20.00	28.90	11.26	43.89					0.841	1.00	1.00	1.00	
Vastaghely	100.00	130.90	2.60	116.11					0.839	1.00	1.00	1.00	

16. táblázat: A minősítő jellemzők induló megoldáshoz tartozó értékei a módosított kompromisszumfüggvényre

A szakítókilométer (Rkm) igényfüggvénye az alábbiak szerint alakul a célértéktől való eltérés valószínűségének figyelembevételével:

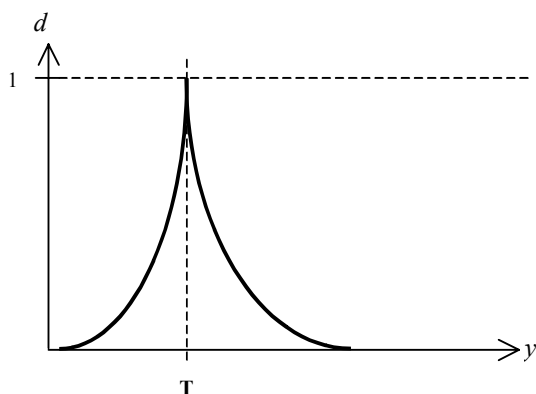
$$\delta_{il}(\mathbf{x}) = \begin{cases} 1 + k_{il}(\hat{y}_i(\mathbf{x}) - T_i), & T_i - \frac{1}{k_{il}} \leq y_i \leq T_i \\ 0, & \text{egyébként} \end{cases}$$

a bal oldalra, és

$$\delta_{ir}(\mathbf{x}) = \begin{cases} 1 - k_{ir}(\hat{y}_i(\mathbf{x}) - T_i), & T_i \leq y_i \leq T_i + \frac{1}{k_{ir}} \\ 0, & \text{egyébként} \end{cases}$$

a jobb oldalra.

Az igényfüggvény alakja az **42. ábrán** látható.



42. ábra: Célértéktől való eltérés valószínűségével számított igényfüggvény

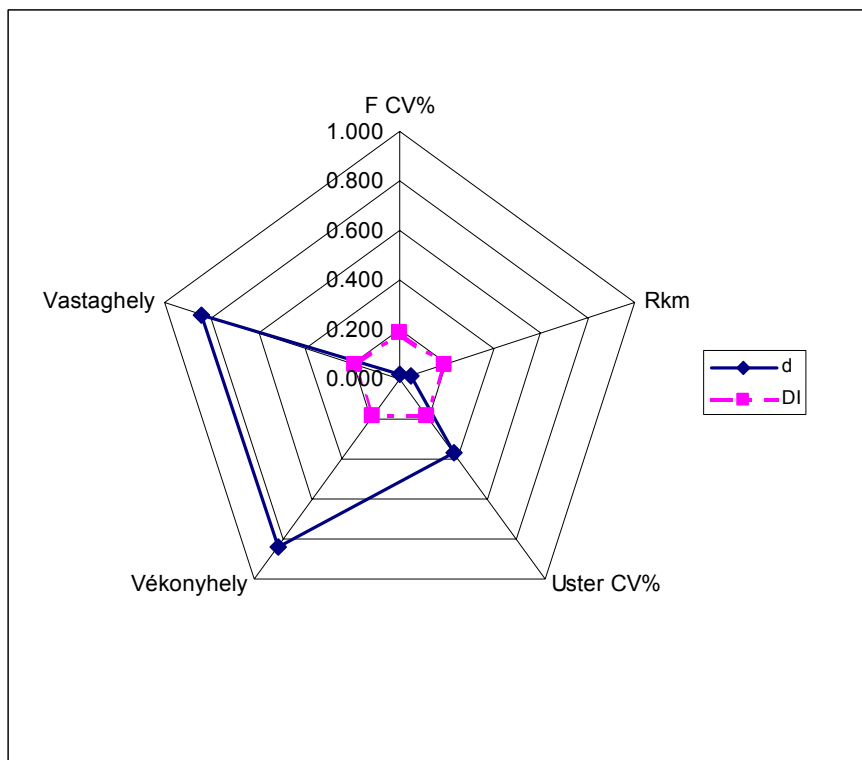
A kiegészítő igényfüggvények együtthatóit $k_1=k_2=0.1$ -nek választottuk. Az induló megoldáshoz tartozó értékek illetve az optimumhoz tartozó értékek az alábbiakban láthatók.

Megnevezés	Érték
Elemiszál Rkm	20
Elemiszál nyúlás	6%
Sodrat (1/m)	553
Kártoló nopszám	127
Hőmérséklet	20
Légnedvesség	46%
Keresztcsévélő elszívóhulladék	2.60

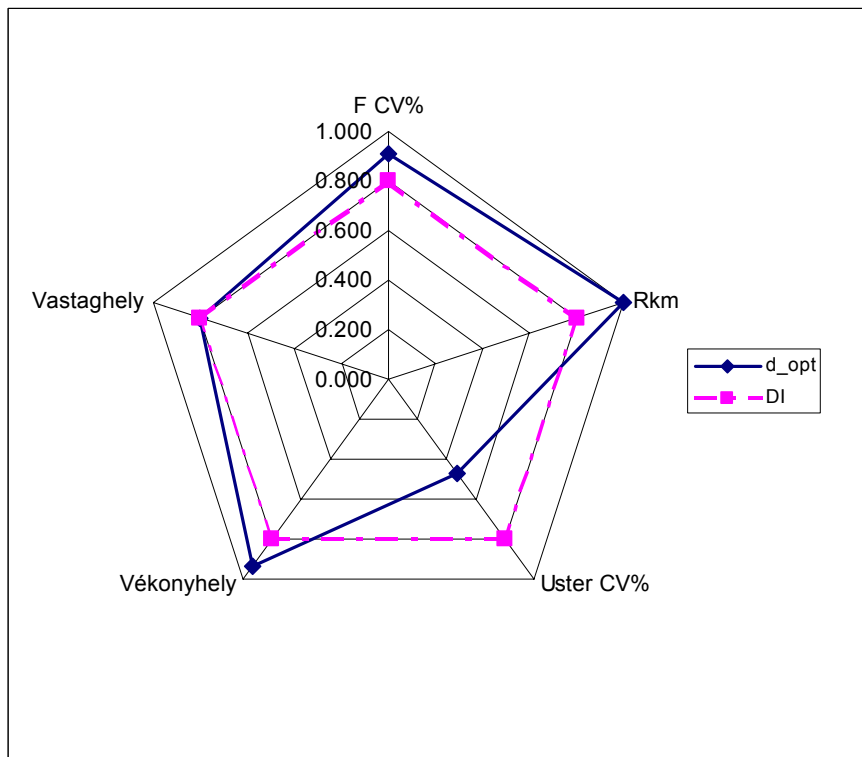
17. táblázat: A bemeneti jellemzők optimális megoldáshoz tartozó értékei a módosított kompromisszumfüggvényre

Megnevezés	T	m	s	y	k_1	k_2	δ_l	δ_r	d	β_l	β_r	w	DI
F CV%	7%	8%	1.29%	7%					0.912	1.00	1.00	1.00	0.797
Rkm	14.00	14.50	1.72	14.00	0.1	0.1	1.000	1.000	1.000			1.00	
Uster CV%	16%	15%	1.67%	19%					0.471	1.00	1.00	1.00	
Vékonyhely	20.00	28.90	11.26	29.29					0.938	1.00	1.00	1.00	
Vastaghely	100.00	130.90	2.60	120.18					0.798	1.00	1.00	1.00	

18. táblázat: A kimeneti jellemzők paramétereinek értéke az optimális megoldásnál



43. ábra: Az egyes minősítő jellemzők kiindulási értékei a módosított kompromisszumfüggvényre



44. ábra: Az egyes minősítő jellemzők optimális értékei a módosított kompromisszumfüggvényre

4.3 Az eredmények összehasonlítása

A két különböző modell szerinti optimumkeresés összevetésével megállapíthatjuk, hogy a teljes kompromisszumfüggvény (DI) optimuma igen közeli érték a két esetben (0.790 illetve 0.797) annak ellenére, hogy az egyik minősítő jellemzőt más módszer szerint számítottuk. *DI* értéke a módosított függvény alkalmazása esetében magasabb, annak ellenére, hogy a lineáris igényfüggvényeket valamilyen – egynél kisebb – valószínűséggel vesszük figyelembe, ilyen értelemben tehát szigorúbb feltételeket fogalmazunk meg az adott jellemzőre.

Megnevezés	Optimális érték (D-S)	Optimális érték (módosított)
Elemiszál Rkm	20	20
Elemiszál nyúlás	6%	6%
Sodrat (1/m)	553	553
Kártoló noppszám	127	127
Hőmérséklet	20	20
Légnedvesség	45%	46%
Keresztcsévélő elszívóhulladék	2.60	2.60

19. táblázat: *Bemeneti paraméterek optimumhoz tartozó szintje*

Magukra az optimális megoldáshoz tartozó bemeneti paraméter- illetve kimeneti jellemző-értékekre vonatkozóan nem lehet az eredményekből messzemenő következményeket levonni, láthatóan az öt kimeneti jellemző egy részének az értéke javult egy részének pedig romlott csekély mértékben (vagy távolabb esik a célértéktől). Nagyobb kísérletsorozatokkal lehet az eredmények használhatóságát egyértelműen bizonyítani. Azt azonban megállapíthatjuk, hogy a

célértéktől való eltérés valószínűségével számított igény- és kompromisszumfüggvényeknek van létjogosultsága, amennyiben

- együtt használhatók más kompromisszummodellből származó igényfüggvényekkel, és
- adott esetben indokolt lehet a sztochasztikus tényező figyelembe vétele egyes jellemzők optimalizálásakor.

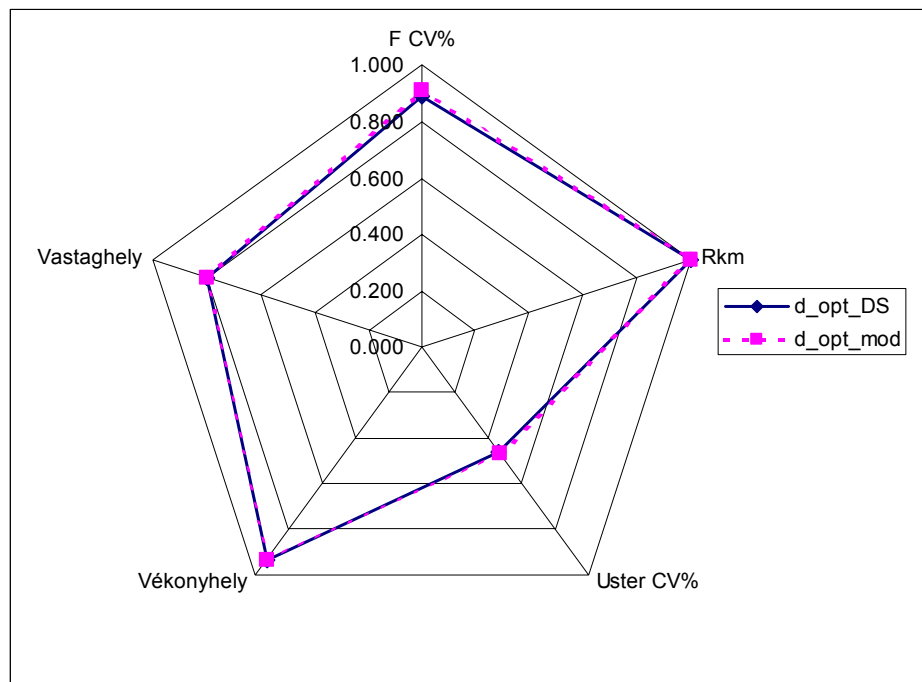
A bemeneti illetve kimeneti paraméterek optimumhoz tartozó értéke a 19. táblázatban és a 20. táblázatban látható.

Megnevezés	Optimális érték (D-S)	Optimális érték (módosított)
F CV%	7%	7%
Rkm	14.00	14.00
Uster CV%	19.23%	19.18%
Vékonyhely	29.34	29.29
Vastaghely	119.95	120.18

20. táblázat: Kimeneti paraméterek optimumhoz tartozó szintje

Megnevezés	d_{DS}	d_{mod}
F CV%	0.891	0.912
Rkm	1.000	1.000
Uster CV%	0.461	0.471
Vékonyhely	0.938	0.938
Vastaghely	0.801	0.798
DI_{opt}	0.790	0.797

21. táblázat: A d-függvények optimumhoz tartozó értékei



45. ábra: Az egyes igényfüggvények optimális értékei a Derringer-Suich és a módosított kompromisszumfüggvényre

5 A következtetések összefoglalása (tézisek)

5.1 A tézisekben használt fogalmak értelmezése

A *kompromisszumfüggvény* fogalmát az eredetnél tágabb értelemben használjuk. A Harrington-féle módszertan egy több vevői igényt egyszerre kielégíteni képes technika. Ezt a fogalmat kétféle irányban bővíthetjük:

1. A kompromisszumot, mint minőségmenedzsment fogalmat definiáljuk, objektív, mérnöki módon mérhető, de a menedzsment-szemlélet irányából is kezelhető termékparaméterekre kiterjesztve az általános definíciót. Ilyen termékparaméterek az esettanulmányban megjelenő gyártási tulajdonságok, továbbá időbeli paraméterek.
2. Olyan tulajdonságokat viszünk bele a modellbe, amelyek nem mérhetőek ("érzetek"), ilyenek például a motivációs szint vagy a vevői elégedettség konkrét szintje.

Utóbbi kiterjesztést a dolgozatban kizárjuk a kompromisszummodell szempontjából.

A *kockázatot* a következőképpen értelmezzük: a kockázat egy esemény valószínűségének és következményeinek függvénye.

$$K=P(A)V(A)$$

Ezt a kockázat-fogalmat használjuk a módosított kompromisszumfüggvényekben, amikor a kompromisszumfüggvényt egy valószínűség és egy veszteségfüggvény szorzataként állítjuk elő.

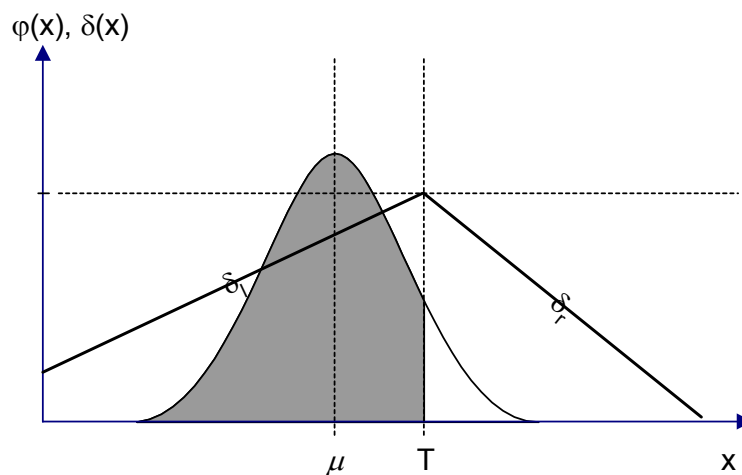
Az adatsorok *felejtő mechanizmusa* újszerű fogalomként jelenik meg a dolgozatban. A felejtő mechanizmus a régebbi adatok átlagban való megőrzésére, a valamilyen szempontból kiugró értékek (periodicitások vagy várhatóan többé nem előforduló hatásokból származó

extrémítások) kiküszöbölésére szolgáló módszert jelent. Alkalmazásával a folyamatot leíró paraméterek időbeni változásairól valóságosabb képet kapunk.

5.2 1. Tézis: A célértéktől való eltérés valószínűségével számított kompromisszumfüggvények

A kompromisszumfüggvények egy új családját dolgoztuk ki a célértéktől való eltérés valószínűségének segítségével.

E függvények alapját egyrészt az általunk kidolgozott kockázatelemzési módszertan számítási módja, másrészt a kockázatelemzési módszertanban megjelenő veszteségfüggvények illetve a Taguchi-féle négyzetes veszteségfüggvény analógiájára bevezetett úgynevezett kiegészítő igényfüggvények adják (46. ábra).



46. ábra: A célértéktől való eltérés valószínűsége lineáris kiegészítő igényfüggvényekkel

A kiegészítő igényfüggvény értelmezése: a $\delta(x)$ függvény maximumát a célértéknél veszi fel (maximumérték: $\delta_{max}=1$), a célértéktől távolodva pedig mindkét irányban szigorúan monoton csökkenő. Értékkészlete a

[0, 1] tartomány. A függvény a kockázati modellben szereplő veszteségfüggvényen alapul.

A kiegészítő igényfüggvények számítása, amennyiben lineáris veszteséget okoznak a célértéktől való bármely irányú eltérés esetén, az alábbiak szerint történik:

$$\delta_{il}(\mathbf{x}) = \begin{cases} 1 + k_{il}(\hat{y}_i(\mathbf{x}) - T_i), & T_i - \frac{1}{k_{il}} \leq y_i \leq T_i \\ 0, & \text{egyébként} \end{cases}$$

a bal oldalra, és

$$\delta_{ir}(\mathbf{x}) = \begin{cases} 1 - k_{ir}(\hat{y}_i(\mathbf{x}) - T_i), & T_i \leq y_i \leq T_i + \frac{1}{k_{ir}} \\ 0, & \text{egyébként} \end{cases}$$

a jobb oldalra.

A kompromisszumfüggvény:

$$d_i(\mathbf{x}) = \delta_{il}(\mathbf{x})\Phi_{\mu_i, \sigma_i}(T_i) + \delta_{ir}(\mathbf{x})(1 - \Phi_{\mu_i, \sigma_i}(T_i))$$

A teljes kompromisszumfüggvény számítása:

$$D_\delta = \sqrt[S]{\prod_{i=1}^q d_i^{w_i}},$$

ahol

$$S = \sum_{i=1}^q w_i, \text{ a súlyozó kitevők összege.}$$

5.3 2. Tézis: A mérnöki és a menedzsment rendszer együttműködésének megvalósítása a kompromisszumfüggvény alkalmazásánál

A mérnöki¹ és a menedzsment² rendszer harmonikus együttműködésére új módszert fejlesztettünk ki, amely a kompromisszumfüggvény alapfogalmainak rendszeren belüli alkalmazását támogatja.

Ezt a következőképpen tettük:

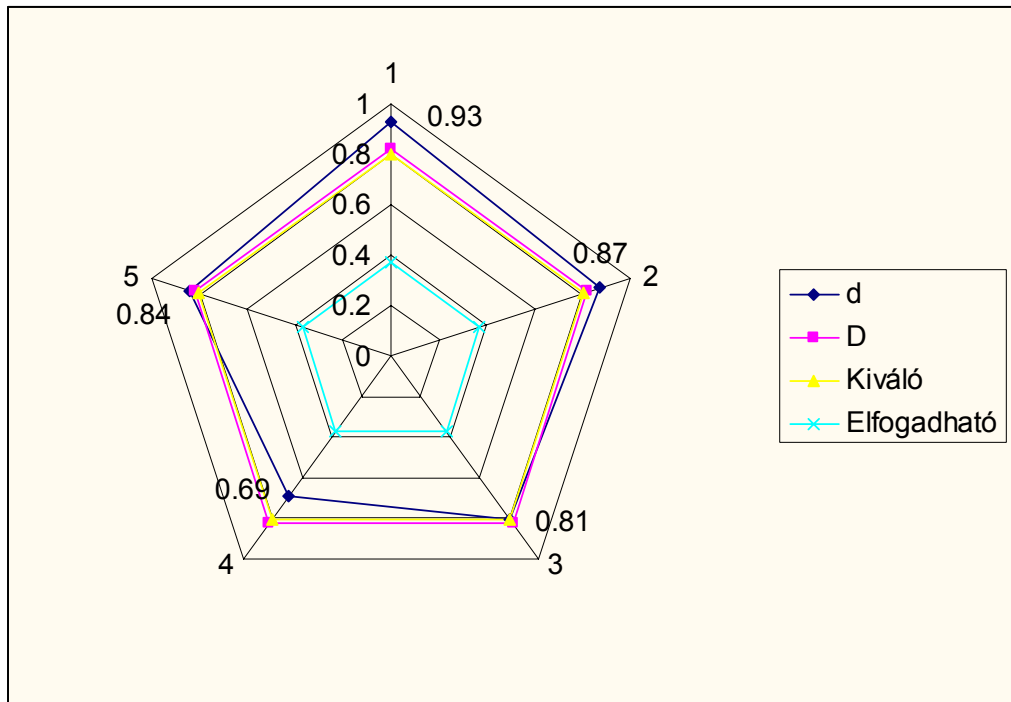
- 1. a döntéshozatalt segítő minőségpoligonos ábrázolásmóddal, és*
- 2. a kompromisszummodellre épülő szakértői rendszer definiálásával.*

A kompromisszumfüggvények optimális értékeinek megjelenítésére szemléltető módszert dolgoztunk ki, amely *minőségpoligon* formájában jeleníti meg az egyes értékeket. Az ábrázolásmód lehetővé teszi a célértéktől való eltérés valószínűségének, illetve a minőségi szinteknek a megjelenítését (47. ábra).

Az ábrázolásmód könnyen összevethető elrendezésben mutatja meg az optimális értékeket, vizuális eszközt nyújtva a vezetői döntéshozatalhoz.

¹ Mérnöki rendszeren olyan műszaki megvalósítást értünk, amely a fizikai és kémiai tulajdonságok megváltoztatását lehetővé teszi.

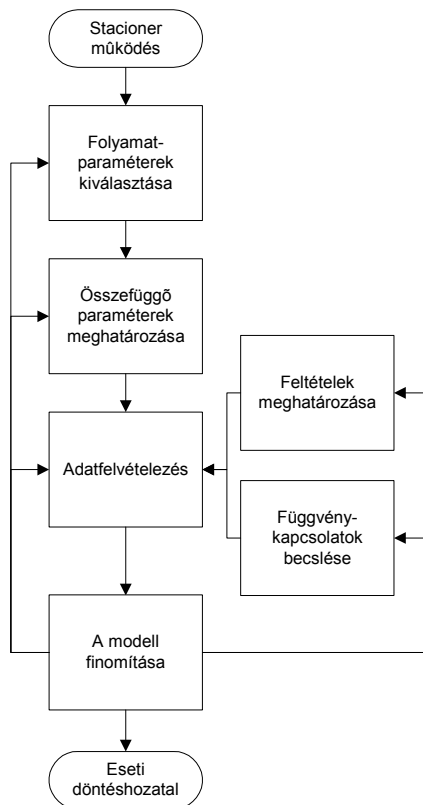
² Menedzsment alatt a sikeres vállalkozás működtetését és minden ehhez kapcsolódó egyéb feladatot értünk. A mérnöki rendszer ennek részhalmozát képezi.



47. ábra: Minőségpoligon a kompromisszumfüggvény optimális értékeire minőségi szintek megadásával

Az kompromisszummodellre épülő általános szakértői rendszer (48. ábra) magában foglalja az adat-felvételezést, annak kiválasztását, hogy milyen nyersanyagok, nyersanyag-jellemzők, egyéb mérendő jellemzők jelenjenek meg a modellben. Segítséget nyújt a probléma megfogalmazásához, a feltételek felírásához és az olyan alapkérdések felvetéséhez, hogy létezik-e egy adott esetben optimális megoldás.

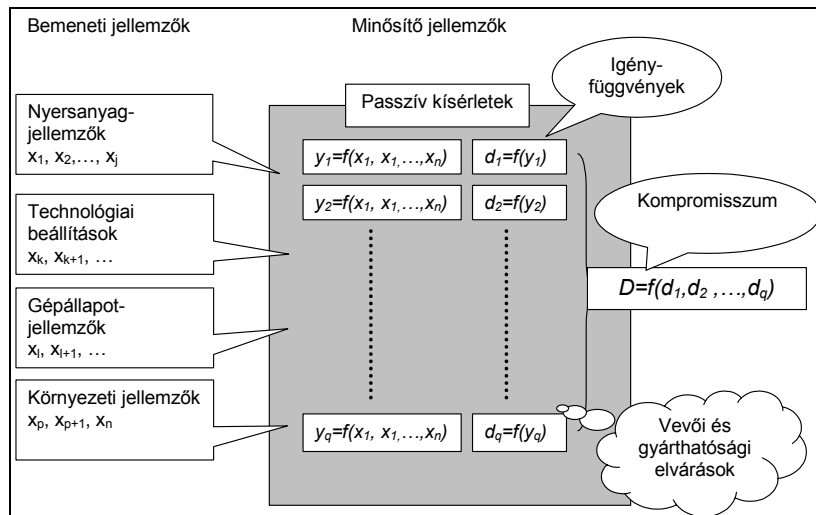
Az általános szakértői rendszer végeredménye a felvett modell, feltételekkel, adatsorokkal együtt.



48. ábra: A szakértői rendszer felépítése

E szakértői rendszert egy állandó jellegű nyersanyagbázissal dolgozó fonoda példáján bemutatva új módszerként bevezettük és alkalmazhatóvá tettük egy konkrét megvalósításban.

Míg a kompromisszummodellre épülő általános szakértői rendszer eredménye a problémafelvetés az adatsorokkal illetve feltételekkel, addig az alkalmazott szakértői rendszer végeredménye egy optimális megoldás, amely így a gyártásra vonatkozó döntések, beavatkozások alapjául szolgálhat.

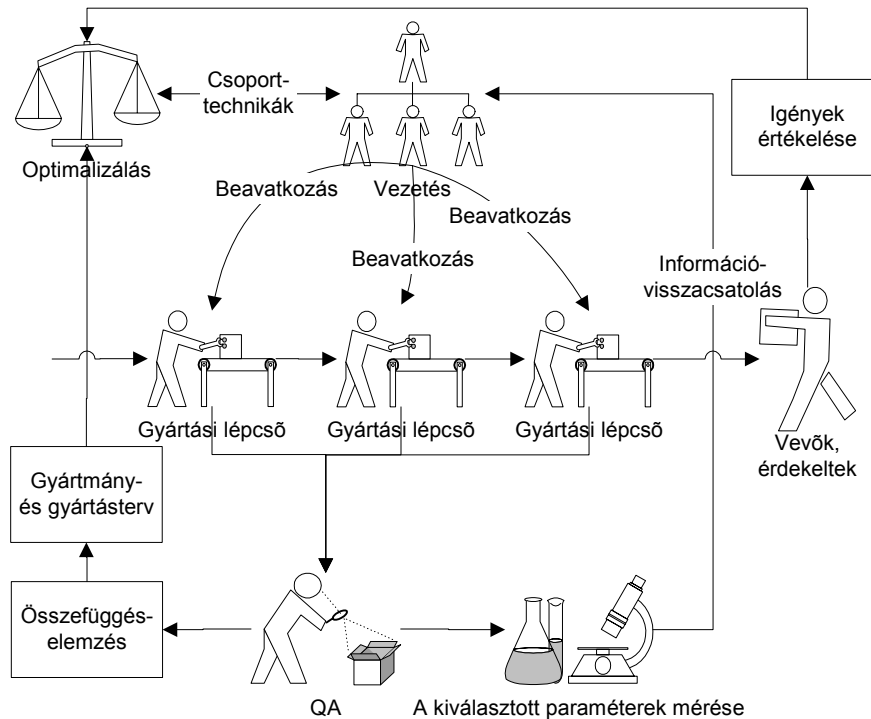


49. ábra: A fonodai szakértői rendszer felépítése

A fonodai szakértői rendszer a

- *bemeneti jellemzők csoportosításából, esetünkben:*
 - *nyersanyagjellemzők,*
 - *gépállapot-jellemzők,*
 - *technológiai beállítások,*
 - *környezeti jellemzők,*
- *a kimenetek (minősítő jellemzők) meghatározásából,*
- *a kimenetek és a bemenetek egymástól való függésének becsléséből passzív kísérletek (gyártási adatok) alapján,*
- *a kapott regressziós függvények és a vevői illetve gyárthatósági elvárások figyelembevételével igényfüggvények számításából, és*
- *az igényfüggvények egyesítéséből a kompromisszum-függvényben, majd utóbbi optimalizálásából*

tevédik össze (49. ábra).



50. ábra: A szakértői rendszer a vevői igények, az optimumkeresés és a vezetői döntések irányából megközelítve

A bemutatott eszköztár képes a vevői igények *parametrizált értékeit* és *fontosságát* egyaránt kezelni. Előbbihez a vevői igényeket közvetlenül vagy megfelelő szakember általi leképezéssel számszerűsíteni kell. A számszerűsítés az elfogadási határok típusának meghatározását illetve a határ értékét jelenti. A fontosság mérésére és figyelembe vételére egy súlyozó mechanizmus szolgál, amely a vevői elvárásokban szereplő számszerűsíthető minőségi szintek meghatározásából és a mért jellemző értékeinek a megfelelő szintekhez rendeléséből áll. Előnye, hogy igen rugalmasan alkalmazható, ugyanakkor igen fontosak a folyamatról szerzett *a priori* ismeretek annak érdekében, hogy a kapott eredmények értelmesek illetve értelmezhetők legyenek. A vevői elvárások fontossággal súlyozott rendszerének minél jobb kielégítését iteratív módon addig végezhetjük, amíg egy kívánt minőségi szintet el nem érünk.

A kompromisszummodellre alapozott problémakezelés alkalmas vevői csoportok számára visszacsatolva az elégedettséget növelő

eredményeket szolgáltatni (50. ábra). Lényege: törvényszerű összefüggések megállapítása olyan folyamat-paraméterek között, ahol a bemeneteket (gyártási paramétereket) módosítani tudjuk. Ugyanakkor nem tudunk egyszerre minden jellemzőt a lehető legjobb értéken tartani, hiszen az elvárásoknak egyszerre kell teljesülniük, így ronthatják egymást. A cél olyan értékek elérése, amelyek az adott körülmények közötti lehető legmagasabb vevői elégedettséghez vezetnek.

Az, hogy mire tesszük a hangsúlyt, hogyan súlyozunk, a mi döntésünk, a vevői elégedettségi információk felhasználásával, objektív illetve szubjektív elemekre támaszkodva.

5.4 3. Tézis: A kompromisszummodell eszköztárának kiterjesztése

A kompromisszummodell eszköztárának kiterjesztése a 2. Tézis általánosítása. Az általánosítás alapja, hogy a fent említett korlátokkal rendelkező tömegszerű termelési folyamatok a termékjellemzők feltételeinek és a minősítő jellemzők összhangjának a szempontjából azonosan kezelhetők.

A vizsgált terület lehatárolásához *módszertanilag* felhasználjuk a kísérlettervezési módszerek elfogadott alapjait:

- a folyamatot leíró paramétereket bemeneti paraméterekre és kimenetekre oszthatjuk,
- az egyes kimenetek bemenetektől való függését a kapcsolat milyenségének meghatározása után becsüljük;
- e becsült függvények felhasználásával kívánunk optimumhoz jutni.

Azokat a tömeggyártási folyamatokat vizsgáljuk a továbbiakban, amelyeknél az adatok megfelelő *rendszerességgel* és *mennyiségben* állnak rendelkezésre.

Amennyiben a kompromisszummodellt a kísérlettervezés eszköztára egy speciális esetének tekintjük, előbbit kiterjeszthetjük – bizonyos további feltételek teljesülése esetén – minden olyan termelési folyamatra, amelyre a kísérletek tervezése adekvát.

Az említett további megkötések a kompromisszummodell jellegéből adódnak. Ezek szerint az eddigi feltételeken túlmenően minden olyan termelési folyamatra alkalmazhatjuk a kompromisszummodellt, amelynél

- a minősítő jellemzők egymásnak ellentmondó volta, mint probléma megjelenik, így kompromisszumos megoldás keresendő,
- a minősítő jellemzőkre értelmezhetők elfogadási határok illetve célértékek.

Menedzsment szemszögből megvizsgálva a kompromisszummodellt, a koncepcionális, innovációs, stabilizálási és stabilan működő technológiai környezet szakaszok közül leginkább az utóbbiba sorolhatjuk.

6 Összefoglalás

A dolgozatban áttekintettük a kompromisszumfüggvények legjelentősebb irodalmi hivatkozásait. E függvények egyes változatait elterjedten alkalmazzák gyártási vagy egyéb folyamatok optimalizálására, gyakorlatilag változtatás nélkül. Ez azt bizonyítja, hogy az eredeti modell – eredetinek tekintve a Harrington (1965) és a Derringer – Suich (1980) modellt illetve utóbbi Derringer (1994) általi kiegészítését a súlyozásra nézve – jól megfelel a szakemberek elvárásainak. Ennek ellenére időről időre megjelennek különböző olyan kiegészítések, amelyek az általánosság megtartásával, tehát lehetővé téve, hogy különböző igényfüggvényeket használjunk egy modellben, valamilyen új elemet visznek az eredeti elgondolásba vagy az optimumkeresés szempontjából javítanak az alkalmazhatóságon (például Castillo – Montgomery – McCarville (1996)).

Mi előbbire tettünk kísérletet, amikor olyan eseteket vizsgálva, amikor a célértéktől való bármilyen eltérés döntően befolyásolja a teljes kompromisszumfüggvényt, a várható értéket olyan módon állítjuk be, hogy az eltérés valószínűsége minimális legyen. Ilyen esetekre felírtuk a célértéktől való eltérés valószínűségével számított igényfüggvényeket.

Javaslatot tettünk egy általános szakértői rendszerre, amely a problémafelvetés teljes terjedelmét átfogja, ehhez kapcsolódóan pedig egy szemléletes ábrázolásmódra, amely az igényfüggvények különböző szempontrendszer szerinti ábrázolását és összevetését teszi lehetővé, például a kiinduló megoldás és az optimum, vagy az optimumkeresés egyes lépéseinek összehasonlítását. Ennek előnye, hogy láthatóvá teszi, melyik jellemző „húzza el” valamilyen irányba a többi jellemző igényfüggvényét.

Javasoltunk továbbá egy felejtő értékelési módszert, amely különböző szempontok szerint a régebbi adatokat beépítve az aktuális adatsorok

közé illetve az extrém értékek kiküszöbölésével lehetővé teszi a folyamatparaméterek időbeni változásának leírását.

Az általános szakértői rendszer gyakorlati használhatóságának alátámasztására konkrét fonodai alkalmazásra tettük alkalmazhatóvá. Ennek érdekében esettanulmányban hasonlítottuk össze a Derringer-Suich és az általunk módosított kompromisszumfüggvény optimalizálásának eredményeit azonos adatsorokat és feltételeket alapul véve. Az összehasonlítás azt mutatta, hogy a módosított függvények részbeni alkalmazása megengedhető, e függvények beleillenek az eredeti modell feltételrendszerébe és gondolkodásmódjába. Az adatok felvételezését, karbantartását, a feltételek megadását és az optimumkeresést az Excel táblázatkezelő szoftverhez írt általunk készített bővítmény segítségével oldottuk meg.

Az általunk alkalmazott kompromisszummodellről és az ezt felhasználó fonodai szakértői rendszerről megállapítottuk, hogy ezen eszköztár kiterjeszhető, vagyis minden, hasonló korlátokkal rendelkező tömegszerű termelési folyamat a termékjellemzők feltételeinek és a minősítő jellemzők összhangjának a szempontjából azonosan kezelhető.

További kutatás tárgyát képezhetik a következők:

- A kompromisszumfüggvények optimalizálásának problémái (módszerek, megoldhatóság).
- Milyen mértékben befolyásolja a teljes kompromisszumfüggvény értékét, ha több Derringer-Suich igényfüggvényt a célértéktől való eltérés valószínűségével számított igényfüggvényre cserélünk.
- A vevői elégedettség és a kompromisszumfüggvények összefüggése.

Felhasznált irodalom

Aicos Technologies (1999) : *Experimental Design and Analysis with STAVEX Version 4.3*, Aicos Technologies

Bazaraa. Mokhtar S. – Sherali, Hanif D. – Shetty, C.M. (1993): *Nonlinear programming. Theory and algorithms*, John Wiley & Sons, p. 361-362.

Breyfogle III., Forrest W. (1999): *Implementing Six Sigma. Smarter solutions using statistical methods*, Wiley Interscience, New York

del Castillo, E. – Montgomery, D.C. – McCarville, D.R. (1996): *Modified desirability functions for multiple response optimization*, in: Journal of Quality Technology, Vol. 28(3), p. 337-344.

Derringer, George C. – Suich, Ronald (1980): *Simultaneous Optimization of Several Response Variables*, in: Journal of Quality Technology, Vol. 12. No. 4. p. 214-219

Derringer, George C. (1994): *A balancing act: optimising a product's properties*, Quality Progress, 1994 Június

Harrington Jr., E.C. (1965): *The desirability function*, in: Industrial Quality Control, 21 (10), p. 494-498

Dr. Kemény Sándor – Dr. Deák András (1990): *Mérések tervezése és eredményeik értékelése*, Műszaki Könyvkiadó, Budapest

Dr. Kemény Sándor – Dr. Papp László – Dr. Deák András (1999): *Statisztikai minőség- (megfelelőség-) szabályozás*, Műszaki Könyvkiadó – Magyar Minőség Társaság

Dr. Koczor Zoltán – Marschall Marcell – Némethné Dr. Erdődi Katalin – Réthy Zsolt (1996): *A kockázatokra optimáló minőségügyi technikák a termékjellemzők és a gyártási folyamatok információinak feldolgozása alapján*, Anyagvizsgálók lapja, 1996/4. szám p. 123-126.

Dr. Koczor Zoltán (1999): *Bevezetés a minőségügybe*, Műszaki Könyvkiadó, Budapest

Dr. Koczor Zoltán PhD – Réthy Zsolt (2000): *Technológiai optimalizálási folyamat a vevői igények figyelembe vételével*, OMFB Zárójelentés.

Dr. Koczor Zoltán (2001): *Minőségirányítási rendszerek fejlesztése*, TÜV Rheindland Akadémia, Budapest..

Dr. Koczor Zoltán – Réthy Zsolt (2002): *Az eseti vevői igények kielégítésének optimalizációs módszere*, Magyar Minőség, p. 20-23.

Lukács Ottó (1996): *Matematikai statisztika*, Műszaki könyvkiadó, Budapest

Réthy Zsolt (1999): *Gyártási folyamatok optimalizálási problémái és megoldási módszerek adaptálása a fonóiparban*, Diplomamunka, Soproni Egyetem Faipari Mérnöki Kar

Ribardo, Charles Louis (2000): *Desirability functions for comparing arc welding parameter optimization methods and for addressing process variability under Six sigma assumptions*, Dissertation, The Ohio State University

Schnell László és tsai. (1990): *Jelek és rendszerek mérés technikája*, BME kézirat, Tankönyvkiadó, Budapest

Steuer, Detlef (1999): *Multi-Criteria Optimisation and Desirability Indices*, Technical Report, Univesität Dortmund, LS Computergestützte Statistik,

Steuer, Detlef (2000): *An improved optimisation procedure for Desirability Indices*, Technical Report, Univesität Dortmund, LS Computergestützte Statistik