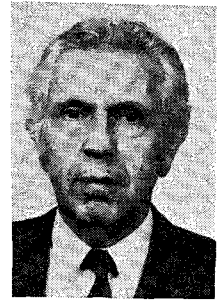


# Minőség, megbízhatóság, gazdaságosság

DR. LAJTHA GYÖRGY

Posta Kísérleti Intézet



## ÖSSZEFOGLALÁS

Gyártmányok és szolgáltatások gazdasági értékelésénél figyelembe kell venni a beruházási, üzemeltetési költségeket és az alkalmazásával elérhető hasznot. Ezt együtt „élettartam nyereség”-nek nevezzük, melynek meghatározása a jelenérték számításon alapszik.

Az élettartam nyereség értékét a megbízhatóság és a használhatóság befolyásolja. Megvizsgáltuk, hogy a használhatóság és megbízhatóság milyen értékéhez tartozik a maximális élettartam nyereség.

## Bevezetés

Alkatrészek, berendezések gyártásakor vagy szolgáltatások tervezésekor felmerül ezek minőségének és megbízhatóságának növelése. Azonban azonnal jelentkezik ellenérvként az ehhez kapcsolódó költség-növekedés kérdése, és ezért takarékosági megfontolásokkal szokták indokolni valamely gyártmány vagy szolgáltatás nem kielégítő megbízhatóságát. Ez utóbbi megfontolás azonban nem teljesen megalapozott. A gyártók, üzemeltetők és felhasználók költségei ugyanis egyaránt függenek a megbízhatóságtól, és ha ez nem kielégítő, akkor az üzemeltetési és garanciális költségek, valamint az elmaradó bevételek csökkentik a gyártók, az üzemeltetők hasznát. Megvizsgálva a minőség és megbízhatóság kapcsolatát az összköltséggel, meghatározható az a számszerű érték, melyhez minimális összköltség vagy maximális haszon tartozik.

Ezt az összefüggést vázoljuk az 1. ábrán. Itt látható, hogy ha a megbízhatóság kisebb mint az optimális érték, akkor a költségek meredeken növekszenek. Ha a megbízhatóság nagyobb (a hibagyakoriság: hibaráta kisebb), mint a költségminimumhoz tartozó érték, a görbe csak lankásan emelkedik. A következőkben matematikai összefüggésekkel is szeretnénk igazolni, hogy a takarékoság a helyes megbízhatósági szempontokat figyelembe vevő méretezéssel, és nem a rossz minőséggel rendelhető össze.

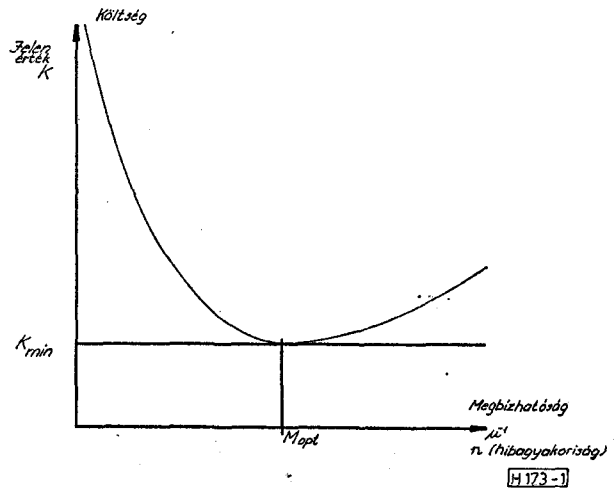
A fenti cél érdekében először áttekintjük az élettartam-költség analízist és az ezt kifejező jelen-érték számítást. Ezt követően összefoglaljuk a megbízhatóságot és a használhatóságot befolyásoló tényezőket. Az összefoglalást igyekeztünk olyan általánosan tárgyalni, hogy az különböző gyártmányokra és szolgáltatásokra egyaránt alkalmazható legyen. Az első két pont alapján már elvégezhető az optimalizálás, amelynek eredménye segít levonni a 4. fejezetben néhány következtetést.

Elhangzott a HTE Megbízhatóság és Minőségügyi Bizottsága által 1986. ápr. 23-án rendezett „Megbízhatóság, minőségszabályozás és gazdaságosság” szemináriumán Kecskeméten.

## DR. LAJTHA GYÖRGY

1952-ben került a Posta Kísérleti Intézetbe, ahol átviteltechnikai és hálózattervezési témákkal foglalkozott. 1974 óta az Intézet igazgató-

helyettese. Címzetes egyetemi tanár, a műszaki tudományok doktora. A C.C.I.T.T.-ben 1976 óta Tanulmányi Bizottság-i alelnök. A Jáky, Puskás, Eötvös és Békésy díjak birtokosa.



1. ábra

Mindezek során elsődleges célunk, hogy érzékeltesük a megbízhatóság és használhatóság ésszerű mértékű javítása mind a gyártónak, mind az üzemeltetőnek, mind a felhasználónak megtakarítást eredményez. A következőkben a gyártmány vagy szolgáltatás teljes élettartamát figyelemmel kísérve, igyekszünk mind a gyártó, mind az üzemeltető, mind a felhasználó szempontjából megvizsgálni a gazdasági optimum helyét. Ez rövidtávú és távlati gazdálkodás szempontjából egyaránt fontos kiinduló érték.

## 1. Élettartam-költség analízis és jelenérték

Az élettartam-költség analízis az alkatrész, a gyártmány vagy a szolgáltatás egy adott időperiódusra, pl. 15–20 évre vonatkozó összes költségvonatkozását elemzi. Tartalmazza a fejlesztéssel, a tervezéssel, a gyártással, a vizsgálattal, a minősítéssel, javítással, a karbantartással és tartalékolással kapcsolatos kiadásokat. Ezt összevetve a működésképes időszak alatt megjelenő bevételekkel kapjuk az „élettartam nyereséget”. Figyelembe kell venni, hogy az időszak alatt szükséges-e a berendezést kicserélni vagy az időszak végén még értékesíthető-e a berendezés. A költségeknek az időt is figyelembe vevő számszerű értékelésére szolgál a jelenérték, amely valamennyi költségösszevetőt az adott kamatláb mellett a vizsgálat napjára

vonatkoztatja, tekintetbe véve a jelen- és a költséghatás megjelenésének időpontja közötti különbséget. Az így diszkontált érték a jelenérték és ez alkalmas arra, hogy különböző megoldásokat összehasonlíthassunk.

### 1.1. Javítható készülékek, eszközök ÉKA-ja

A legismertebb, szakma függetlenül használt példaként vizsgáljunk egy gépkocsit. Az előállítási ár, többek között függ a sorozat nagyságától, a gyártás gépesítettségétől. Az előállítási árban megjelenik a minőségellenőrzés költsége és a különböző vizsgálatok költsége is. Ezek mértéke tükrözi, hogy a gépkocsi megbízhatóságát milyen mértékben ellenőriztük. Az ellenőrzés eredményének a gyártásba való visszacsatolásával a megbízhatóság mértékét befolyásolhatjuk. A gyártás után megjelennek a garanciális szervizek kiadásai, amelyek általában a gyártót terhelik. Ezen költségek értéke függ a gyártmány megbízhatóságától, a hibarátától (hiba gyakoriságától), mert pl. mennél többször jelentkeznek a gépkocsik garanciális szervizre, annál nagyobb alapterületű szerviz kell és annál több embert kell foglalkoztatni.

Megjelennek még a tartalék-alkatrészek költségei, valamint a garanciális idő lejártával a szavatossági költségek.

Mennél megbízhatóbb egy gyártmány, annál kevesebb költségért vállalják a szervizek a garanciális munkák elvégzését és annál kevesebb tartalék-alkatrész kell a szervizek rendelkezésére bocsátani.

Az üzemeltetőnél a vételár ( $K_{21}$ ) kifizetése után felmerülő költségek az üzemanyag, a karbantartás, a javítás és az esetleges biztosítási költségek. Az üzemeltető költségei között megjelenik az autó javítási ideje alatt szükséges bérleti kölcsönautó díja vagy az autó használhatatlansága miatti veszteségek, például egy késedelem miatti üzletkötés elmaradása. Számolni kell az esetleges garazsirozási költségekkel is. Végül külön vizsgáljuk, hogy  $T$  idő múlva mennyiért lehet eladni az autót.

A gépkocsi haszna is megbecsülhető az üzemeltetőnél, aki figyelembe veszi, hogy milyen biztonsággal számíthat a kocsijára, és ezeket a hasznokat és kiadásokat mind összevetve meghatározza, hogy melyik gépkocsit érdemes megvenni. A gyártónál viszont úgy kell megszabni az eladási árat, hogy a fenti tényezőket figyelembe véve legyen akinek számára annak a típusnak a vásárlása gazdaságos. Az eladási ár és az előállítási költségek különbségéből számítható a gyártó haszna. Természetesen már ebből a gondolatmenetből is adódik, hogy a minőségnek és a megbízhatóságnak mind a gyártó, mind a felhasználó szempontjából van optimuma. Az optimum a gyártó szempontjából objektív érték, a felhasználónál azonban egyéni szubjektív tényezők is befolyásolják.

### 1.2. Szolgáltatások ÉKA-ja

Szolgáltatások közé soroljuk például a szállítást, a közlekedést, a távközlést, a kereskedelmet, a vendéglátást, egészségügyet; vagyis mind azokat a feladatokat, melyeknél a felhasználó nem egy berendezést vesz igénybe, hanem valamilyen feladat megoldását nyújtja számára a szolgáltató. Ebben az esetben a szolgáltató

az alkalmazott berendezések megbízhatósága mellett a saját szolgáltatásának használhatóságát, tartalékolással, kiegészítő szolgáltatások biztosításával tudja növelni. Ilyen esetben tehát a szolgáltató figyelembe veszi az eszköz beszerzési árát, és az ehhez tartozó megbízhatóságot. Kialakítja a saját javító szolgálatát, és meghatározza ennek költségeit, figyelembe véve, hogy milyen biztonsággal tudjon a felhasználó rendelkezésére állni. Végül tartalékeszközöket, pl. járműveket, távközlési vonalakat, mosógépeket szerez be, és ezen tartalékok összege szintén növeli a kiadásait, de kedvezőbb ajánlatot tud nyújtani és várhatóan ezzel növeli a szolgáltatásokat igénybe vevők számát, és esetleg növelheti a szolgáltatás bevételeit is. Erre legjellemzőbb példa a vendéglői szolgáltatás, ahol jobb minőség, jobb kiszolgálás esetén aránytalanul magasabb árat lehet kérni és a vendég még esetleg elégedettebb, mint az alacsony színvonalúbb szolgáltatás esetén.

A szolgáltató vállalatok beszerzési költségei, üzemeltetési költségei, az eszközcserek és tartalékok mennyiségének függvényében vizsgálják, hogy milyen megbízhatóságú eszközöket érdemes vásárolnia, és mit érdemes célul kitűzni, mint a szolgáltatás megbízhatóságát és használhatóságát.

### 1.3. A jelenérték számítás alapjai

Az élettartam költség valamennyi tényezőjét oly módon kell összegezni, hogy bármely időpontban megjelenő költségtényező a jelen pillanatra legyen vonatkoztatva. Így megkapjuk azt az összeget, amely a folyamatos gyártáshoz vagy a  $T$  ideig tartó szolgáltatáshoz a jelen időpontban szükséges lenne.

A beruházási költségek egyszer jelentkeznek, de a létesítmények nem azonos élettartamúak, pl. az épület és a gépi eszközök élettartama különböző. Ezen kívül általában a beruházások nem együttemben valósulnak meg, így a költségek „sima” összeadása eltorzítja a valódi költségigényt.

Az összes kiadás három összetevője:

$C$  a beruházások költsége

$S$  az üzemeltetés évenkénti költsége

$M$  a  $T$  tervezési periódus végén még felhasználható eszközök maradvékértéke

Mindhárom összetevőt a jelen időpontra vonatkoztatva vesszük figyelembe, mintha ezt az összeget  $r$  kamatlábbal letétbe helyeznénk és ebből tudnánk valamennyi  $T$  időszakban fellépő kiadást fedezni.

Vizsgáljuk meg először a  $C_t$  beruházási költség  $C_0$  jelenértékét. A  $t$  időpontban megjelenő  $C_t$  költség a jelen időpontban kisebb  $C_0$  költséggel egyenértékű, ugyanis a  $C_0$  összeg, ha arra jelenleg még nincs szükség, vagyis még nem fektetjük be, akkor más területen tud hasznot hozni. A  $t$  időpontig  $C_0$  összeg évenként  $C_0 r$  hasznot hoz, vagyis az év végén újabb beruházás céljára  $C_0 + C_0 r$  összeg áll rendelkezésre, ahol  $r$  az az arányszám, amelyik megmutatja, hogy adott területen átlagosan mekkora hasznot hoz egy létesítmény ( $r = 0,08 \div 0,25$  az inflációtól eltekintünk, az másképp veendő figyelembe).

$$C_0(1+r)^t = C_t, \quad (1)$$

összefüggéssel számítható  $C_0$  jelenérték a  $C_t$  tényleges

költségből vagy explicit alakra hozva:

$$C_0 = \frac{C_t}{(1+r)^t} \quad (2)$$

$r$  értékeként a kamatlábat 8...25%-ra szokták becsülni. A szokásos kamatlábhhoz képest magas értékkel számolunk, mert a tervezés során figyelembe kell venni a rizikót is. Minden létesítménynél gondolni kell arra, hogy a fejlődési prognózis valamely előre nem látott esemény miatt módosul, és így a létesítmény nem illeszkedik optimálisan az igényekhez. A gyors fejlődés miatt nagyobb is lehet a beruházások haszna, mint a gazdaság más területén. De lehet, hogy rövid idő alatt elavul némely berendezés, és így azoknak rövid idő alatt kell amortizálódniuk. Az évenként ismétlődő üzemeltetési költségek ( $S$ ) jelenértékei egy mértani sorozatot alkotnak, amelyek összege

$$S_0 = S \frac{(1+r)^{T-t} i - 1}{(1+r)^T \cdot r} \quad (3)$$

ahol  $t_i$  a beruházás időpontja (kiindulási időnek a jelen pillanatot vesszük).  $T$  az az idő, amire a létesítményt tervezzük. Általában egyenlő az alkalmazott berendezések kicserélésének idejével (avulási idő). Ez azt jelenti, hogy ha  $S$  évi költséget igényel a létesítmény akkor az  $S_0$  beruházási összeggel egyenértékű.

*Példa.* Ha a fenntartás és üzemeltetés évenként 50 000,— Ft-ba kerül, akkor a berendezések 20 éves élettartama alatt  $t_i=1$  esetén,  $r=6\%$  kamatláb mellett az évi költség jelenértéke:

$$S_0 = 50\,000 \frac{1,06^{20} - 1}{1,06^{20} \cdot 0,01} = 50\,000 \cdot 11,470 = 572\,000 \text{ Ft.}$$

Vagyis kaptunk egy olyan összeget, ami a beruházás elenértékével összevethető. Az élettartam végén a létesítmény megmaradó értéke szintén átszámítandó jelenértékre. Az  $M$  valóságos maradvékérték jelenértéke kisebb lesz, mert ezt csak a  $T$  időszak végén, kamatvesztéssel kapjuk vissza.

A megmaradó érték jelenértéke:

$$M_0 = M \frac{1}{(1+r)^T}$$

A létesítmény teljes jelenértékét az alábbi képlettel fejezhetjük ki:

$$K_0 = \frac{C_t}{(1+r)^t} + S \frac{(1+r)^{T-t} i - 1}{\gamma} - M \frac{1}{(1+r)^T}$$

Ha egy beruházást több lépcsőben valósítunk meg, és  $t_1, t_2, \dots, t_1 \dots t_n$  időpontokban bővítjük a szolgáltatást vagy a gyártmányt, akkor annak jelenértéke összeg formában adható meg:

$$K_0 = \sum_{i=1}^n \frac{C_{it}}{(1+r)^{it}} + S_i \frac{(1+r)^{T-t_i} - 1}{\gamma} - M_i \frac{1}{(1+r)^T}$$

A szumma egyes tagjainak nagyságát az szabja meg, hogy a beruházásoknak a felmerülő igényeket kell kielégíteni. Ezért az új berendezéseket az igények növekedésével arányosan lenne célszerű üzembe helyezni.

ni. A folyamatosan növekvő igényeket azonban csak fokozatosan, lépcsőkben gazdaságos követni. Minden létesítéssel együtt járnak olyan költségek, melyek a létesítmény nagyságától, az alkalmazott berendezéstől függetlenek.

Ennek megfelelően a költségek felbonthatók:

$$C_t = C_t^{(0)} + C_t^{(n)} n$$

és

$$S_t = S_t^{(0)} + S_t^{(n)} n$$

alakba, ahol (0)-index a beruházás nagyságától független költség jele, (n)-index pedig a berendezések nagyságával arányos összetevőt jelzi.

Ha évenként  $b$  darab új berendezésre vagy eszközre van szükség, akkor

$$n = b(t_i - t_{i-1}),$$

ahol a zárójelben két beruházás közötti idő szerepel. Jelöljük ennek az időtartamnak a gazdaságilag optimális nagyságát  $t_{opt}$ -tal! A beruházások közötti optimális idő (létesítési periódus) a  $C^{(0)}, C^{(n)}, S^{(n)}$  ismeretében meghatározható.

A  $K_0$  minimális értékét kifejező optimális beruházási időközöt megadó  $t_{opt}$  érték meghatározásánál és általában a jelenérték számítás alapján végzett gazdasági összehasonlításnál az alábbi feltételeket kell figyelembe venni:

a) minden létesítményre, berendezésre egyenként kell meghatározni az optimális lépcsőzési időt (pl. új hivatal építésénél, az épületre, a számítógép perifériára központi nagy berendezésekre stb.);

b) a beruházási és fenntartási költségeket kapacitástól független és kapacitástól függő részekre bontjuk (pl. a lépésként bővíthető tömeggyártó gép kvantáltan függ a kapacitástól, de az épület költsége ettől közel független vagy az irodaautomatizálás perifériái kapacitás függők, de a feldolgozó számítógépprogram értéke kapacitásfüggetlen);

c) az igények időbeli változását különböző, az időben monoton növekvő függvényekkel jellemezzük;

d) olyan igénynövekedéssel foglalkozunk, amelyek között a tervezési periódus alatt az igények száma az években mért idő homogén lineáris függvénye;

e) a legelső beruházás időpontját tekintjük zérusnak, és erre a jelen időpontra vonatkoztatunk minden költség számítását;

f) az inflációs tendenciákat nem vesszük figyelembe. Ez megengedhető, ha a költségeket ingadozásnak csak jelentéktelen mértékben kitett értékmérőben, fizetési eszközben fejezzük ki.

## 2. A megbízhatóság és a használhatóság

Javítható eszközök és szolgáltatások alapvető jellemzője a használhatóság ( $A$ ). Ez függ a megbízhatóságtól ( $R$ ) és karbantarthatóságtól ( $M$ ). Bár ez utóbbi két jellemző határozza meg az elsőt, mégis mindháromnak külön-külön is van hatása szubjektív ítéletre. A következőkben először a jellemzők közötti számszerű összefüggéseket foglaljuk össze, majd azok hatását értékeljük. Végül az  $RMA$  jellemzőket megpróbáljuk a költségekkel kapcsolatba hozni.

## 2.1. RMA Alapösszefüggések

A használhatóság a gyártmány vagy szolgáltatás azon tulajdonsága, hogy egy véletlenszerűen kiválasztott időpontban, alkalmas adott funkciói ellátására a tervezett, vagy előírt felhasználási időszakaszban. Szolgáltatásoknál ezenkívül lényeges a minőségi jellemzők közül az idő vagyis, hogy a szolgáltatás a feladatát a megadott időkorlátan belül lássa el (10). Számszerűen a használhatóság az az időhányad, amelyet a gyártmány a teljes időből átlagosan működik.

$$A_k = \frac{M}{M+L} = \frac{\text{jó idő}}{\text{jó idő} + \text{kiesési idő}} = 1 - DTR.$$

A használhatóságot előnyös a kiesési időarány (Down Time Ratio) jellemezni

$$DTR = 1 - A = \varrho, \quad (11)$$

$$\text{ahol } \varrho = DTR = \frac{\text{kiesési idő}}{\text{működési idő} + \text{kiesési idő}}.$$

A kiesési idő ( $L$ ) az az időtartam, amely egy gyártmány meghibásodásának pillanata és azt követő ismételt üzembe helyezés között telik el.

Javítható rendszereknél a  $T$  élettartam alatt  $n$  alkalommal fordul elő kiesés, így az összes kiesési idő

$$L_0 = \sum_{i=1}^n L_i = n\bar{L}, \quad (12)$$

ahol  $\bar{L}$  az átlagos kiesési idő.

A megbízhatóság mint általános elméleti fogalom is definiálható. Eszerint a megbízhatóság egy elem azon tulajdonsága, hogy megadott funkcióit végrehajtja, előírt feltételek mellett adott időszakasz alatt. A megbízhatóság magába foglalja a hibamentességet, a javíthatóságot, a tartósságot, a tárolhatóságot. A megbízhatóság gyakorlati mérőszámai a meghibásodások közötti tényleges működés átlagos tartama (MTBF); javítható gyártmány két egymást követő meghibásodása közötti tényleges működés tartamának várható értéke vagy az időegység alatti meghibásodások átlagos száma ( $n$ ); javítható gyártmány időegység alatti meghibásodásainak átlagos száma, adott időpontra vonatkoztatva. (Pontosabban l. 8. irodalom)

Ha a  $T$  élettartam alatt várhatóan  $n$  hiba fordul elő ( $n$  kiesés várható), akkor az időegység alatt (egy év alatt)

$$n_0 = \frac{n}{T}$$

melynek folytonos függvénye a hibagyakoriság. Ennek reciproka a két hiba közötti várható időtartam:

$$\text{MTBF (év)} = \frac{1}{n_0}.$$

A kiesési idő  $L$  a következő időkből tevődik össze: — Az aktív javítási idő ( $L_0$ ) az az időszak, amelyik alatt a hiba behatárolás a hibajavítás és a megjavított egység bemérése történik. Ez gyártmány jellemző.

Értéke a hibafajta gyakoriságával súlyozott átlagos hibaelhárítási idő, ha a személyzet rendelkezésre áll, utazni nem kell, tartalék egységek vagy alkatrészek kéznél vannak.

— Az átlagos javítási várakozási idő ( $L_v$ ) annak az időtartamnak a várható értéke, amely meghibásodás előfordulásának időpontjából a helyreállítás megkezdéséig tart. Ez a fenntartásszervezési jellemzője. Ezeket felhasználva

$$A = 1 - DTR = 1 - \varrho \quad \text{és} \quad \varrho = n_0(L_0 + L_x) = n_0\bar{L} \quad (13)$$

ahol  $\bar{L}$  év dimenzióban adandó meg. Ha  $\bar{L}$  a gyakorlatnak megfelelően órában van megadva akkor

$$\varrho = \frac{n_0\bar{L}}{8640}. \quad (14)$$

Összefoglalva a megbízhatóságot ( $R$ ) a meghibásodási rátával ( $\lambda$ ) vagy az átlagos hibagyakorisággal ( $n_0$ ) vagy a MTBF-el, a karbantarthatóságot a kiesési idő átlagával, a használhatóságot ( $A$ ) pedig a kiesési idő aránnyal ( $\varrho$ ) célszerű jellemezni.

## 2.2. A megbízhatóság és a használhatóság felhasználói megítélése

A következőkben azt szeretnénk bemutatni, hogy bár a megbízhatóságot jellemző meghibásodási ráta (hibagyakoriság) értéke szerepel a használhatóság kifejezésében, mégis szükséges a megbízhatóságra külön is előírást adni. Ez a következő példákban látható: Ha valaki taxit kíván igénybe venni, és a szolgáltatás használhatósága nem kielégítő, akkor nem tudja megrendelni, vagy nem fogadják el adott időre a rendelését, vagy csak nagy távolságra előre lehet rendelni. Ezek olyan tényezők, amelyek a használhatóságot csökkentik, és a felhasználó véleményére kihatással vannak, azonban kevésbé súlyos mintha egy gépkocsi útközben meghibásodik, vagyis a felhasználó közvetlenül egy hibával kerül kapcsolatba. Ilyenkor nem tud más segédmegoldást keresni, hanem idejét veszíti és ezzel a szolgáltatásról a megítélése rendkívül rossz lesz. Ugyanez érvényes a távbeszélőszolgáltatásra, hogy súlyosabban ítélik meg egy felépült összeköttetés megbomlását, mint azt ha bizonyos ideig várni kell arra, hogy az összeköttetés létrejöjjön.

Ebből adódik, hogy a megbízhatóságra külön is szigorú előírást kell adni. Nem elégséges ha a használhatóságot rögzítjük, és ezen belül a hibagyakoriságot és az átlagos kiesési időt szabadon határozzuk meg. Mivel a szubjektív megítélés alapján két paramétert kell rögzíteni, melyből a kiesési idő átlagértéke számítással kiadódik.

## 2.3. Az RMA jellemzők beépítése a jelenérték kifejezésébe

Jellemezzünk általánosan egy szolgáltatást, egy termelőeszközt vagy egy gyártmányt gazdasági szempontból az általa előállított haszonnal ( $H$ ) vagyis a bevétel és az előállításához és üzemeltetéséhez szükséges kiadások különbségével.

$$H = B - K$$

ahol valamennyi tényezőt a teljes  $T$  élettartamra számítjuk és a jelen időpontra vonatkoztatjuk (1: 1.3. pont). Jelöljük ezt a vonatkoztatást 0 indexszel.

$$H = B_0 - K_0, \quad (15)$$

ahol

$$B_0 = \sum_{i=1}^T B_1 \frac{1}{(1+r)^i}$$

és itt  $\sum$  jel alatt egy mértani sor van, melyet összeg képletével helyettesíthetünk

$$B_0 = B_1 \frac{1-(1+r)^{-T}}{r} \quad (16)$$

Ugyanakkor  $B_1$  évenkénti bevétel függ attól, hogy mennyi ideig működik a vizsgált rendszer,

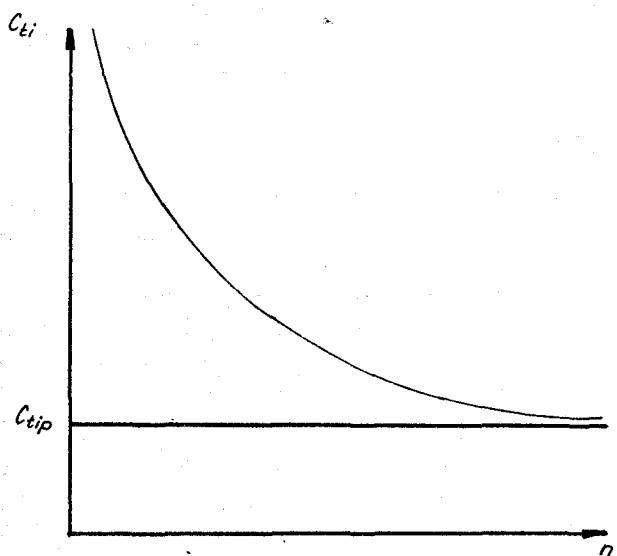
$$B_1 = B_{1A} A = B_{1A} (1-n\bar{L}). \quad (17)$$

Vagyis amíg nem működik az eszköz, nem hoz bevételt.  $B_1$  maximuma  $n=0$  (tökéletesen megbízható eszköz) vagy  $\bar{L}=0$  azonnal javítható eszköz) esetén  $B_1 = B_{1A}$ .

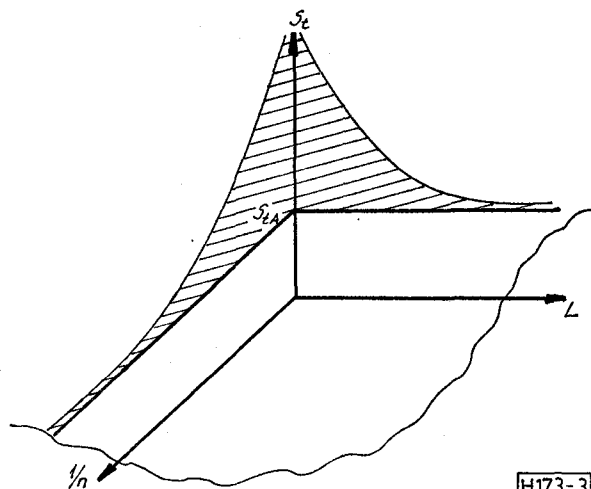
A kiadásokat a 6. összefüggés alapján írjuk fel, de vizsgáljuk minden tényező RMA kapcsolatait. A beruházási, előállítási költség nyilvánvalóan növekszik, ha nagyobb megbízhatóságot biztosítunk.

$$C_{ii} = C_{iiR} \left[ 1 + \frac{a_c}{n} + \frac{b_c}{n^2} \right] \quad (18)$$

ahol  $a_c$  és  $b_c$  sorfejtés állandói. A kifejezést a 2. ábrán vázolva látható, hogy tökéletes megbízhatóság ( $n=0$ ) csak végtelen költséggel valósítható meg, viszont igen nagy megengedett  $n$  esetén sem csökken a költség  $C_{iiR}$  alá. A görbe jellege könnyen értelmezhető, hiszen bizonyos eszközök ára független a megkövetelt megbízhatóságtól.



2. ábra



3. ábra

A 6. összefüggés következő tényezője  $S_i$ , vagyis az évenkénti fenntartási költség, amely növekszik a hibagyakorisággal. Több hibához, több tartalék egység, több javítási munka, több ellenőrzés szükséges. Ugyanakkor a megengedett hiba-elhárítási idő növelésével csökken a szükséges személyzet létszáma, jobban lehet centralizálni a fenntartást és esetleg kevesebb tartalék kell. Eszerint

$$S_i = S_{iA} (1 + a_s n + b_s n^2) \cdot \left( 1 + \frac{a_L}{L} + \frac{b_L}{L^2} \right) \quad (19)$$

Itt látható, hogy  $L=0$  csak végtelen nagy költséggel érhető el. Ugyanakkor  $n=0$  vagy  $L=\infty$  esetén a fenntartás a minimális karbantartási funkciókra korlátozódik. (3. ábra) Végül  $M$  a  $T$  idő múlva megjelenő maradékérték az avulással csökken

$$M = C_i e^{-\alpha(T-t)}, \quad (20)$$

ahol

$$\alpha = \alpha_0 (1 + a_m n + b_m n^2) \quad (21)$$

Az eddigiekben a költségfüggvényeket mindig Taylor soruk első három tagjával közelítettük. Az alapadatok közelítő volta miatt ennél nagyobb számítási pontosság nem látszik indokoltnak.

### 3. Optimálás

Célunk a 15. kifejezésben szereplő  $H$  maximumának meghatározása  $n$  és  $L$  függvényében. Ehhez felhasználjuk a 16–20. összefüggéseket. A fentiek alapján írjuk fel  $H$  általános képletét.

$$H = B_{1A} (1-n\bar{L}) \frac{1-(1+r)^T}{r} - C_{iR} \left[ 1 + \frac{a_c}{n} + \frac{b_c}{n^2} \right] \cdot \frac{1}{(1+r)^t} - S_i [1 + a_s n + b_s n^2] \cdot \left[ 1 + \frac{a_L}{L} + \frac{b_L}{L^2} \right] \cdot \frac{1-(1+r)^{-T}}{r} + C_i e^{\alpha_0} [1 + a_m n + b_m n^2] \cdot \frac{1}{(1+r)^T}$$

Itt most az időfüggő diszkontálást jelentő tagokat állandónak tekinthetjük, mert  $\tau$  és  $n$  függetlenek.

$$\frac{1-(1+r)^T}{r} = X$$

$$\frac{1}{(1+r)^T} = Y$$

jelölést vezetünk be és eltekintünk a beruházások lépcsőzéséből adódó időkülönbségektől. Továbbá egy egyszerűbb minőségi kép elérése érdekében  $n$  és  $L$  paramétereiktől való lineáris függésre korlátozzuk magunkat ( $b=0$ ). Ezzel

$$H = B_{1A} (1-n\bar{L}) \cdot X - C_{iR} \left[ 1 + \frac{a_c}{n} \right] Y - S_i [1+a_s n] \cdot \left[ 1 + \frac{a_L}{L} \right] X + C_i (1-\alpha n) Y, \quad (22)$$

ahol a maradékérték kifejezését szintén az  $e^{-\alpha}$  kifejezés során első tagjával helyettesítjük.

A fenti kiinduló feltételek alapján keressük most az optimumot.  $L$  és  $n$  függvényében.

### 3.1. Hibaszám szerinti költségminimum

A maximum helyének keresését az első differenciálhányados meghatározásával kezdjük.

$$\frac{\partial H}{\partial n} = B_{1A} L X - \frac{C_{TR} a_c Y}{n^2} - S_i a_s \left[ 1 + \frac{a_L}{L} \right] X + C_i \alpha Y.$$

Ezt nullával egyenlővé téve,  $a_m \approx 0$  értéket feltételezve és  $n^2$ -el megszorozva kapjuk

$$n^2 \left[ B_{1A} L X - S_i a_s \left( 1 + \frac{a_L}{L} \right) X + C_i \alpha Y \right] = C_{TR} a_c Y$$

amiből

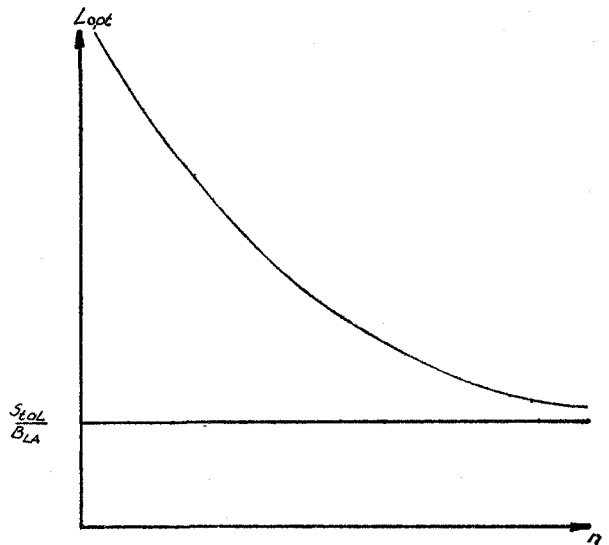
$$n_{opt} = \sqrt{\frac{C_{TR} a_c Y}{B_{1A} L - S_i a_s \left[ 1 + \frac{a_L}{L} \right] X + C_i \alpha Y}}$$

Az eredmény könnyen értelmezhető, mennél erősebb a megbízhatóság növelés hatása a költségekre ( $a_c$  relatíve nagy a többi tényezőkhöz képest), annál nagyobb hibagyakoriságnál van az optimum. Ugyanakkor az évenkénti bevételek és kiadások különbségének  $\left( B_{1A} L - S_i a_s - S_i \frac{a_s a_L}{L} \right)$  nagy értéke esetén kisebb  $n$  értékhez tartozik az optimum, melyet  $\bar{L}$  átlag is befolyásol. Végül  $X$  és  $Y$  értékén keresztül a vizsgált terület átlag profitjára jellemző  $r$  is befolyásolja  $n$  optimumát.

Ezt minden eszközre, gyártmányra, gyártó gépre, szolgáltatásra ki lehet számolni és mindig létezik  $n_{opt}$ , melyhez  $H_{max}$  tartozik. Pontosabb számításhoz célszerű a másodfokú tagokat is egy-egy konkrét esetben figyelembe venni, és a többlépcsős beruházások hatása sem mindig elhanyagolható.

### 3.2. Kiesési idő szerinti optimum

Ismét a 22. egyenlet differenciálásával kezdjük, de ezt most  $\bar{L}$  átlag szerint végezzük el.



4. ábra

$$\frac{\partial H}{\partial L} = -B_{1A} n X + S_i [1+a_s n] \frac{a_L}{L^2} X$$

Ezt nullával egyenlővé téve és  $L^2$  értékkel beszorozva kapjuk

$$L^2 B_{1A} n X = S_i a_L X (1+a_s n).$$

Ebből

$$L_{opt} = \sqrt{\frac{S_i a_L (1+a_s n)}{B_{1A} n}}$$

Ami azt mutatja, hogy ha az időegységre vonatkoztatott bevétel nagy a fenntartási költségekhez képest, akkor  $L$  érték kisebb lesz. Kiadódik az a természetes eredmény is, hogy a gyártmány beruházási költsége nincs hatással  $L$  értékére. Viszont a hibagyakoriság jellegzetesen a 4. ábra minőségi görbéje szerint hat maximális  $H$  értékhez tartozó  $L_{opt}$ -ra, vagyis ritkán előforduló hibák elhárítása kevésbé sürgős, mint a sűrű meghibásodás esetén a javítás.

### 4. Következtetések

A közelítő számítás bizonyította, hogy mind a megbízhatóságra, mind a használhatóságra található gazdaságilag optimális érték.

Jól körülhatárolt esetekre az adatok pontosabban meghatározhatók és a költségfüggvények esetleg eltérnek a lineáristól, azonban ez sem teszi lehetetlenné az optimum meghatározását. Amint látszik az optimum gyökös kifejezéssel írható le, ami azt mutatja, hogy az eredmény nem túlságosan érzékeny az optimumtól való eltérésre. Mód nyílik tehát a végeredmény korrekciójára, és olyan tényezők figyelembevételére, melyek számszerűleg nem könnyen adhatók meg. A megbízhatóság-gazdaságosság közötti összefüggéssel indokolható az ésszerű megbízhatóság-ellenőrzés és biztosítás elvégzéséhez szükséges beruházási igény a gyártó (szolgáltató) vállalat részére.

Reméljük, hogy a gyakorlati alkalmazás tapasztalatai mindenkit meggyőznek arról, hogy nem a legmegbízhatatlanabb gyártmány lesz a leggazdaságosabb.

#### IRODALOM

- [1] *A. Davies—K. J. Skinner*: The application of a life cycle cost model to modular electronic systems. *The Radio and Electronic Engineer* Vol 53 N°5 pp 209—215. Maj. 1983.
- [2] *D. T. Kiang*: Life cycle costing—a new dimension for reliability engineering challenge. *ASOC Technical Conf. Rans.* pp 307—314 — 1976.
- [3] C.C.I.T.T. GAS—3. WP 4: General Network Planning Handbook. UIT Geneve 1983.
- [4] C.C.I.T.T.: Technical and Economic Aspects of the Choice of Transmission systems UIT Geneve 1975.
- [5] *T. J. Morgan*: *Telecommunication Economics* Mac Donald London 1958.
- [6] *B. Tigerman*: Availability and Economic aspects in Telecommunication network Int. Report L. M. Ericsson 1984.
- [7] *G. Lajtha*: Problems concerning the determination of availability in the telecommunication network *Telecommunication Journal* Vol 42. Szept. 1975. pp 531—541.
- [8] C.C.I.T.T. Vol III. Red. Book Rec. G 106
- [9] *Dr. Molnár Csabáné*: Postaforgalmi hálózatok tervezése, KÖZDOK BP. 1984.
- [10] *Dr. Molnár Csabáné*: Vizsgálati módszerek az országos automatizált levélfeldolgozó hálózat kialakításához PKI Közlemények Vol 28.
- [11] Távközlő rendszerek megbízhatósága. Szótár és Értelmező Szótár, Közlekedéstudományi Egyesület. Híradástechnikai Tudományos Egyesület. BP. 1974.

#### Köszönetnyilvánítás

Köszönetet mondok dr. Balogh Albertnek és Nándorfy Gyuláné dr-nak a szöveg gondos, segítő, átnézéséért!