

KARBANTARTÁSI STRATÉGIÁK MONTE CARLO OPTIMALIZÁLÁSA¹

KOVÁCS ZOLTÁN
Pannon Egyetem GTK

A karbantartási tevékenységet alapvetően sztochasztikus események váltják ki. A cikkben bemutatandó stratégia kiválasztás célfüggvénye az összes költség minimuma. A költségeknél a megelőzés költségeit és a meghibásodások bekövetkezéséből adódó költségeket tekintjük. Ugyancsak figyelembe vehetők a leállásokból adódó használdozati költségek. A Monte Carlo optimalizálást az teszi szükségessé, hogy a hibamentes működési idők (és az állásidők) egy rendszeren belül többféle eloszlást követhetnek, ezért analitikus modell általános esetre nem hozható létre. A szimulációs modell fontosabb elemei: a hibamentes működési idők eloszlása, a meghibásodások következtében adódó állásidők eloszlása, a leállások alkalmfüggő költsége, a leállások időfüggő költsége. Az egyes rendszerelemek közötti sajátos logikai kapcsolatok és függőségek figyelembe vehetők. A cikkben bemutatunk néhány szimulációs eszközt is.

1 A karbantartási tevékenység optimalizálásának elvi alapja

A karbantartási stratégiát egyrésztől a vállalati stratégia, másrésztől pedig a karbantartandó berendezések, eszközök állapota határozza meg. A gyakorlatban a következő négy stratégiát szokás megkülönböztetni:

- eseti,
- ciklikus,
- állapotfüggő,
- karbantartás-megelőzés.

A sorrend egyúttal fejlettségi szintet is mutat. Az adott helyzettől függ, hogy melyik stratégia optimális. Az eseti stratégia alkalmazásánál megvárják a meghibásodást, csak utána történik javítás. A ciklikus stratégiánál valamilyen jellemzőtől (például naptári idő, üzemóra, elvégzett munka, termelt mennyiség) tekintik függőnek az elhasználódást. A jellemző adott értékénél megelőző javítást végeznek. Ennek előnye a nagyobb biztonság, de bizonyos mértékű termelési potenciál elveszik. Itt egyensúlyozni kell a meghibásodás

¹Beérkezett: 2007. május 21. E-mail: kovacs@gtk.uni-pannon.hu.

kockázata és a visszamaradó (elvesző) teljesítőképesség-tartalék között. Mindkettő csökkentésére szolgál az állapotfüggő stratégia, amely nem egy változón keresztül feltételezi az elhasználságot, hanem közvetlenül méri. A karbantartás-megelőzés azt jelenti, hogy olyan a konstrukció és az üzemeltetés, hogy nincs szükség karbantartásra.

Az egyes stratégiák a gyakorlatban keverten is megjelennek. Például az állapotvizsgálat is lehet ciklikus.

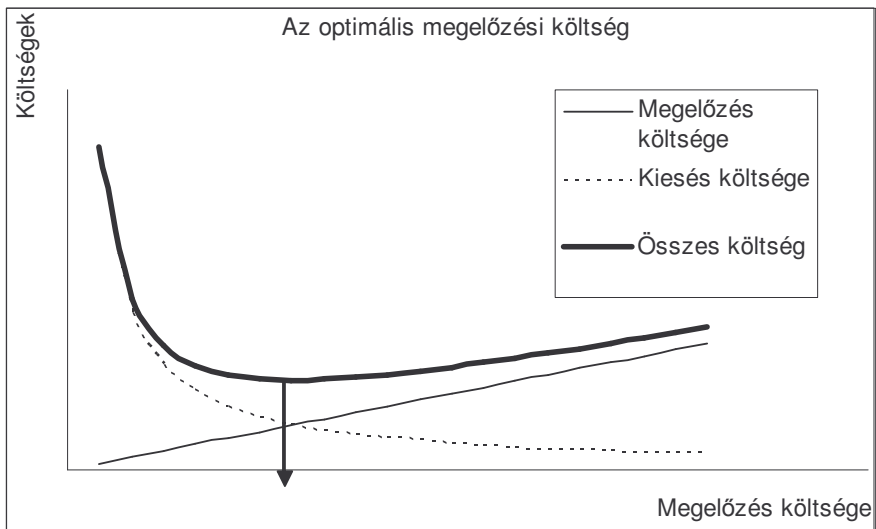
Jelen dolgozatban az eseti és a ciklikus stratégiákkal kapcsolatban végzett vizsgálatok egy lehetséges módszertanát és eredményeit mutatjuk be.

A megelőző karbantartás elvi alapját mutatja az 1. ábra. Az optimálisnál kisebb ciklusidőnél a megelőzési, az optimálisnál nagyobb ciklusidőnél pedig a meghibásodások okozta költségek miatt lesz nagyobb az összköltség. Az ilyen egyensúlyozás különböző tényezők között (trade off) különösen jellemző a termelő rendszerekre. (Vörös, 1999)

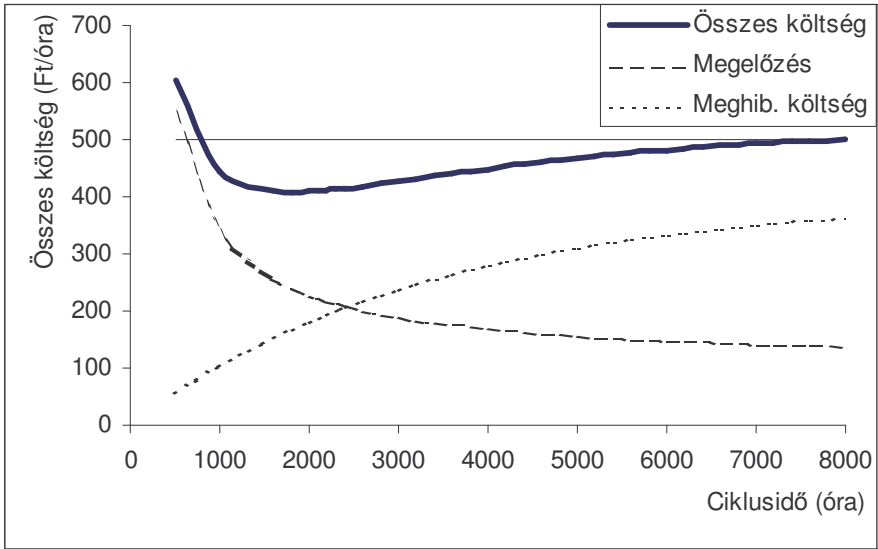
Az összköltségfüggvény alakja —és ennek következtében a javasolható stratégia— két tényezőtől függ:

- a hibamentes működési idők eloszlásától,
- a váratlan hiba elhárítása és a tervszerű leállás során végzett javítás költségének arányától.

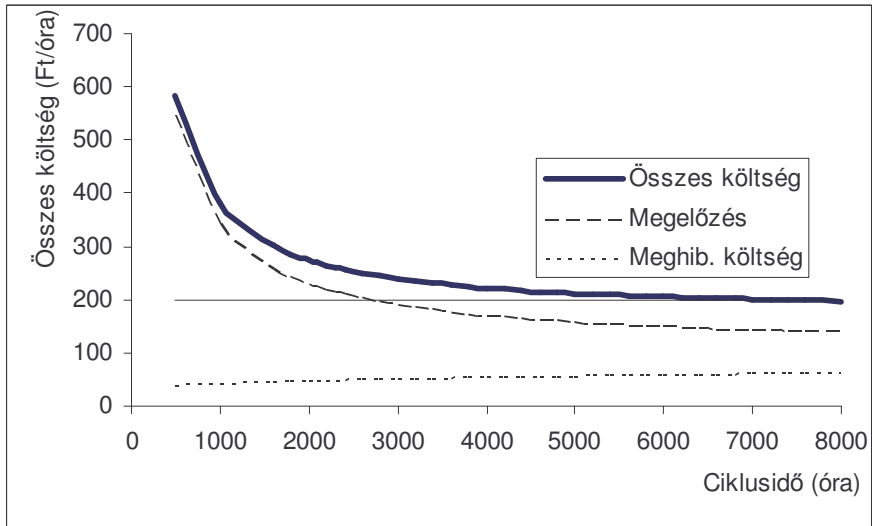
Ha a változó a ciklusidő, akkor az ábra megváltozik. (2a-b. ábrák). Eseti stratégia javasolható, ha a költségminimum a végtelenben van. (Végtelen ciklusidő, 2b. ábra.)



1. ábra. A ciklikus stratégia elvi alapja



2a. ábra. Eseti stratégiánál a ciklusidő optimuma a végtelenben van



2b. ábra. Eseti stratégiánál a ciklusidő végtelen hosszú

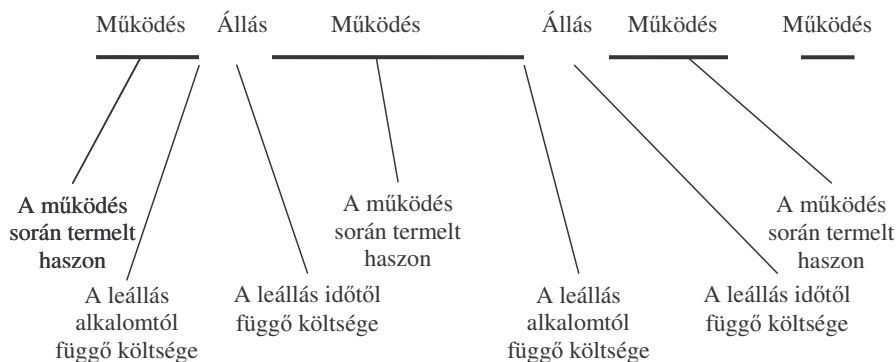
2 A szimulációs modell

A különböző szintű vezetői döntések támogatásának fontos eszköze lehet a szimuláció (Koltai – Jelinek, 1994). A karbantartási döntésekhez tartozó szimuláció a véletlen eseményeken alapul. Szimulációval olyan modellek is vizsgálhatók, amelyek analitikus megoldására nincs lehetőség. Szimulációval

nemcsak a valós, fizikai folyamatok elemezhető, hanem azok költség-következményei is (Koltai, 1995).

A sztochasztikus (Monte Carlo) szimuláció régóta és széles körben alkalmazott eszköz a véletlennel terhelt folyamatokkal kapcsolatban. A karbantartás és megbízhatóság területén jelentős irodalmi előzménye van. Bruzzone és munkatársai (Bruzzone et al., 2004.) turbinák karbantartása területén végeznek több éve vizsgálatokat. Kövesi János és Andor György a Minitab program felhasználásával optimalizáltak karbantartási ciklusidőt (Kövesi – Andor, 1999). Korábban a papíriparban került sor stratégiák szimulációs vizsgálatára (Ködmön – Kovács, 2000).

A szimulációs modell elve, hogy a működési és nem működési eseményekhez gyűjtjük a gazdasági vonatkozásokat. Többféle karbantartási ciklusidőre kiszámítva a célfüggvényt jellemző mutatószámokat, lehet dönteni a stratégiáról illetve a ciklusidő értékéről. A szimulációs modell vázlata a 3. ábrán látható.



3. ábra. Az alkalmazott szimulációs modell a gazdasági jellemzőket figyeli

3 Egy fejlettebb modellezési eljárás

A szimuláció folyamatának kiválasztása mellett lényeges kérdés a konkrét rendszermodell is. A két modell különválasztása azt eredményezi, hogy a szimulációs programot csak egyszer kell elkészíteni, a különböző rendszerek modelljei adatként jelennek meg. Ehhez rugalmas, több esetben használható modellezési technikára van szükség.

Egy rendszer megbízhatóságát alapvetően a struktúrája határozza meg. (Azért „alapvetően”, mert más, például környezeti hatások is lehetségesek, de az ezekre adott válasz ugyancsak függ a rendszer struktúrájától.) A megbízhatóságot ebből adódóan a rendszerelemek megbízhatósága és kapcsolatuk határozza meg.

A megbízhatóságelméletben hagyományosan a blokkdiagram technikát alkalmazzák a modellezésre. Ebben a párhuzamos kapcsolás jelképezi a „vagy” kapcsolatot, a soros pedig az „és” kapcsolatot. Bár szemléletes, ezzel a modellezéssel több probléma is van:

- elvi probléma, hogy a logikai kapcsolat eltűnik, fizikai analógiát alkalmaz, ami nem mindig igaz, hiszen fizikailag párhuzamosan kötött elemek is lehetnek olyan kapcsolatban, hogy több, vagy mindegyik működése szükséges a rendszer működéséhez;
- csak tisztán „és” és „vagy” kapcsolatok megjelenítésére alkalmas, más logikai kapcsolatok, például „ k az n -ből”, feltételes kapcsolat, függőség nem jeleníthető meg;
- a rendszer megbízhatóságára ható tényezők (például karbantartás) nem jeleníthető meg;
- a fentiekből adódóan valós rendszerek szimulációjára nem alkalmas.

A problémákra a megoldást a modellezési koncepció újragondolása adja. Ehhez újra definiáljuk az elem és a kapcsolatok fogalmát. Eszerint a rendszerelem fogalmát tágan értelmezzük:

Elem mindaz, ami a rendszer megbízhatóságát a benne lezajló (állapot)változások következményeként befolyásolja.

Néhány példa elemre:

- alkotórészek
- környezeti hatások (pl. energiahiány)
- az irányítás (ember) tervezte/okozta beavatkozások
- a rendszer okozta visszahatások

Általánosságban úgy is fogalmazhatunk, hogy a rendszerekben fellépő hatások jelennek meg a modellben elemként. Ezeknek csak egy lehetséges esete egy fizikai összetevő meghibásodása. Egy termelő rendszer esetén elemnek kell tekintenünk pl. azt a ciklikus megelőzési stratégiát is, ami a gépek bizonyos időközönkénti leállítását, majd indítás után a hibamentes működési idő mérésének újratekadését idézi elő. Ez a tevékenység ugyanis éppen azért van, hogy a rendszer megbízhatóságát —pozitívan— befolyásolja.

Az elemeket idő és költségadatok jellemzik:

- a hibamentes működési idők eloszlása,
- az állásidők eloszlása,
- a leállások alkalomfüggő költségei,
- a leállások időfüggő költségei.

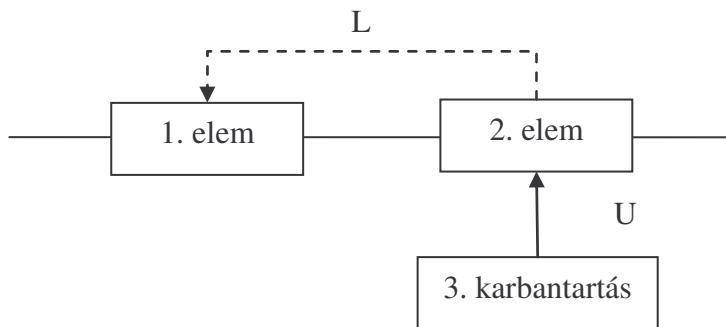
Ezeket ugyancsak nem tudja megjeleníteni a hagyományos blokkdiagram technika. A hagyományos kapcsolat fogalom a rendszer megbízhatóságára gyakorolt hatásra utal. Az elemeket egymástól függetlennek tekintti. A függőségi és egyéb viszonyok leírására ugyancsak egy, a korábbiaknál tágabban értelmezett kapcsolat fogalom szolgál:

Kapcsolatnak nevezzük a hatások érvényesülési módját.

Mivel ez sokféle lehet, ezért a modellben is többféle módon jelenhetnek meg. A hagyományos blokkvázlatban a kapcsolatot az elemek közötti vonalak jelentik. Ezek csak a kapcsolat tényére utalnak, de a hatásokról nem mondanak semmit, és számítógéppel sem kezelhetők. Hátrányuk továbbá, hogy csak a rendszer megbízhatóságra gyakorolt közvetlen hatást mutatják. (Például soros kapcsolás esetén). Amellett, hogy a grafikus ábrázolás során ezt a technikát megtartjuk, a modell egy más, a szakirodalomból már ismert elemmel, a működési út megadásával bővül. Ez gyakorlatilag azon elemek felsorolását jelenti, amelyek egyidejű működése szükséges ahhoz, hogy a rendszer működjön. Egy úton belül tehát az elemek **ÉS** kapcsolatban vannak. Egy rendszerben több ilyen (lásd párhuzamos kapcsolás), működési út is lehetséges, melyek közül az egyik működőképessége (minden hozzá tartozó elem működik) már biztosítja a rendszer működését. A működési utak tehát **VAGY** kapcsolatban vannak.

Előnye a működési utak megadásának, hogy belőle a rendszer működő vagy leállt állapota az elemek állapotának ismeretében a rendszerelemek tényleges kapcsolatától független algoritmussal, számítógépi programmal meghatározható. Ugyancsak előny, hogy az **ÉS** és **VAGY** kapcsolatokon kívül más logikai kapcsolatok —beleértve a függőségeket is— széles köre alkalmazható.

A modellezési módszerre látható egy illusztrációs példa a 4. ábrán. Az ábrán látható modell értelmezése: A rendszer 1. és 2. elemei „és” kapcsolatban vannak egymással, tehát bármelyik leállása a rendszer leállítását eredményezi. A rendszerműködés rajtuk keresztül valósul meg, elemeik a működési útnak. A két elem között olyan függőségi kapcsolat van, amely szerint a második elem leállása esetén leáll az első is. Ez azt jelenti, hogy az első elem felfüggeszti a működését. A rendszernek azonban van egy olyan eleme is, amelyen keresztül működés nem valósul meg, de a többi elemen keresztül befolyásolja a működést. Nevezzük ezt most karbantartásnak. Erre az a jellemző, hogy bizonyos időszakonként leállítja a 2. elem működését, majd bizonyos állásidő (megelőző javítási idő) után újraindítja.



4. ábra. A fejlettebb modellezési eljárás

Az elemeket jellemző idő és költségadatok:

- A hibamentes működési idők eloszlása az 1. elemnél Weibull-eloszlású, $\alpha = 0,0005$, $\beta = 2,1$, a 2. elemnél normális eloszlású, $m = 800$, $\sigma = 120$. A karbantartást a 2. elemre 700 óránként végzik (determinisztikusan).
- Az állásidők eloszlása az 1. elemnél normális eloszlású, $m = 10$, $\sigma = 1,5$, a második elemnél normális eloszlású, $m = 25$, $\sigma = 3$. A tervszerű karbantartás ideje a 2. elemnél normális eloszlású, $m = 20$, $\sigma = 2$.
- A leállások alkalomfüggő költségei az 1. elemnél 30 EUR, a 2. elemnél 50 EUR.
- A leállások időfüggő költségei az 1. elemnél 15 EUR/h, a 2. elemnél 20 EUR/h.
- A rendszer egyórai működése 200 EUR hasznot termel. (Általánosan a „haszon” fogalmát használjuk a nyereség, és más, az idő szerinti fajlagos képzésénél problémás mutató helyett. A rendszer egyórai működésének a hasznosságát jelenti értékben kifejezve.)

A —már számítógépes inputra is alkalmas— leíró modell az alábbi módon néz ki:

$$M : \rightarrow 1 \rightarrow 2 \rightarrow \quad (\text{A működési út.})$$

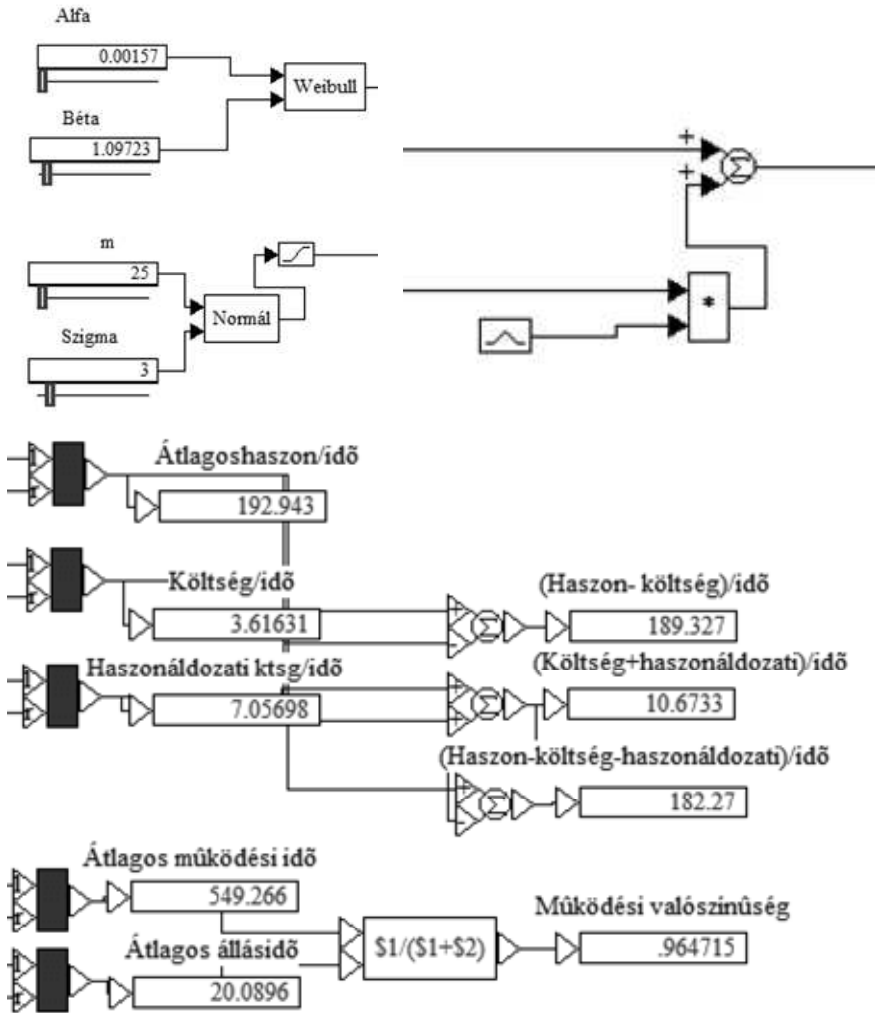
- | | | |
|------|--|---|
| 1 : | $W(t_m, \alpha = 0,0005, \beta = 2,1)$ | (A hibamentes működési idők eloszlása az 1. elemre) |
| | $N(t_a, m = 10, \sigma = 1,5)$ | (Az állásidők eloszlása az 1. elemre) |
| 2 : | $N(t_m, m = 800, \sigma = 120)$ | (A hibamentes működési idők eloszlása a 2. elemre) |
| | $N(t_a, m = 25, \sigma = 3)$ | (Az állásidők eloszlása a 2. elemre) |
| 3K : | $D(t_m, \text{érték} = 700)$ | (A karbantartási időközök) |
| | $N(t_a, m = 20, \sigma = 2)$ | (A karbantartás ideje) |

- Az egy óra alatt termelt haszon: 200 EUR/h;
- 1. elem leállításából származó költség: alkalomfüggő: 30 EUR; időfüggő: 15 EUR/h;
- 2. elem leállításából származó költség: alkalomfüggő: 50 EUR; időfüggő: 20 EUR/h.

4 Szimulációs kísérletek

4.1 Kísérletek a szimulációs szoftver verifikálására

A szimulációs vizsgálatokra a VisSim vizuális szimulációs programot használtuk. (A Visual Solutions terméke.) Ebben a különböző matematikai műveleteknek blokkok (téglalapok) felelnek meg, amelyek között az adatok vezetékeken mennek. Az 5. ábrán látható példa az adatok megadására. Az ábra bal felső részén látható csúszkákkal kényelmesen lehet változtatni a modell (ebben az esetben a véletlenszám generátor) paramétereit. A jobboldali rész a normál eloszlású véletlenszám generátor „belseje”, az $m + u\sigma$ képlet leképezése, ahol u standard normális eloszlású eloszlású. Alul az eredmények megjelenítése látható. A blokkokba C szintaxissal képletek is beírhatók.



5. ábra. A VisSim modell építőelemei

A különböző jellemzőjű elemek viselkedésének szimulálására készült program verifikálására az előző fejezet 2. elemét választottuk. Ennek jellemzői:

- A hibamentes működési idők normális eloszlásúak, $m = 800$, $\sigma = 120$.
- Az állásidők normális eloszlásúak, $m = 25$, $\sigma = 3$.
- A tervszerű karbantartás ideje a 2. elemnél normális eloszlású, $m = 20$, $\sigma = 2$. (Ennél a futtatásnál nem vettük figyelembe a karbantartást.) A kísérletek száma 1 000 000 volt.

	Átlagos működés	Átlagos állás	Időegységre jutó jellemzők			
			Haszon (A)	Költség (B)	Elmaradt haszon (C)	$A - B - C$
Analitikus	800	25	193,9394	0,666667	6,060606	187,2121
Szimuláció	800,024	24,9985	193,9399	0,666613	6,06008	187,2132

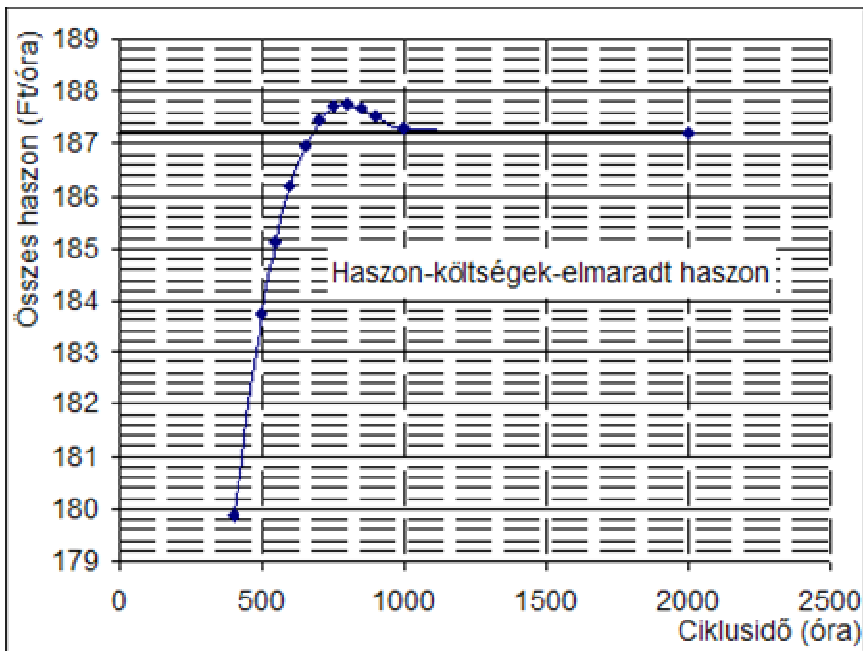
1. táblázat. A szimulációs futtatások és az analitikus számolások eredményei

Megállapítható, hogy az analitikus számolás és a szimuláció azonos eredményre vezetett. Az elvégzett számítások az eseti karbantartási stratégiára vonatkoznak. Kérdés, hogy jobb értéket lehet-e ennél kapni a működés megszakításával bizonyos idő után és egy gyorsabb tervszerű javítás alkalmazásával.

4.2 Karbantartás szimulációja

Különböző karbantartási ciklusidőket feltételezve a futásokra a 2. táblázat szerinti eredmények adódtak (az első két sor az eseti stratégiát mutatja, az első sorban az analitikus számolás eredménye látható).

Az eredményeket ábrázolva (6. ábra) látható, hogy a maximum helye 650 óra környékén van.



6. ábra. Normális eloszlású hibamentes működési idők esetén van optimális ciklusidő

Ciklusidő	Átlagos működés	Átlagos állás	Időegységre jutó jellemzők			
			Haszon (A)	Költség (B)	Elmaradt haszon (C)	$A - B - C$
Végtelen	800	25	193,9394	0,666667	6,060606	187,2121
1000000	800,024	24,9985	193,9399	0,666613	6,06008	187,2132
400	399,994	20,0002	190,476	1,07145	9,52405	179,8805
500	499,808	20,0265	192,295	0,866681	7,70494	183,723379
550	549,266	20,0896	192,943	0,793517	7,05698	185,092503
600	597,708	20,2394	193,4495	0,735967	6,55054	186,162993
650	643,977	20,5324	193,8203	0,693215	6,17972	186,947365
700	686,366	21,0197	194,0571	0,667976	5,9493	187,439824
750	722,895	21,6994	194,1715	0,650002	5,82851	187,692988
800	751,953	22,4975	194,1901	0,645554	5,80992	187,734626
850	772,912	23,2937	194,1488	0,647915	5,85117	187,649715
900	786,402	23,974	194,0832	0,653376	5,91676	187,513064
1000	797,749	24,7605	193,9793	0,662861	6,02072	187,295719
2000	800,024	24,9985	193,9399	0,666613	6,06008	187,213207

2. táblázat. Eredmények normális eloszlású hibamentes működési idők esetén

Bizonyos mértékű ellenőrzésre itt is lehetőség van, ugyanis a ciklusidő függvényében könnyen számítható a várható állásidő. A számítások mellőzésével közöljük a táblázatot (3. táblázat).

Ciklusidő	Állásidő	
	Szimulációval	Analitikusan
400	20,0002	20,0021453
500	20,0265	20,03104833
550	20,0896	20,09305213
600	20,2394	20,23895176
650	20,5324	20,52824887
700	21,0197	21,0116419
750	21,6994	21,6923056
800	22,4975	22,5
850	23,2937	23,3076944
900	23,974	23,9883581
1000	24,7605	24,76104824
2000	24,9985	25

3. táblázat. A szimulált és számított állásidők

4.3 Számolás tetszőleges eloszlással

A módszer igazi erejét az adja, hogy a hibamentes működési idők és az állásidők széles körére lehet azonos módon az elemzéseket elvégezni. Legyen a következő elemzés tárgya a korábbi rendszer 1. eleme!

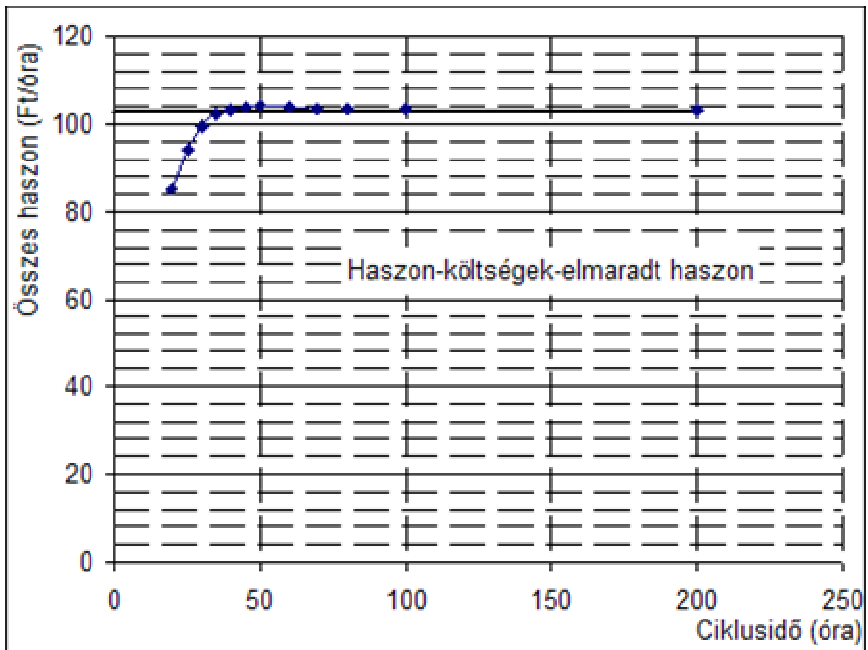
- A hibamentes működési idők Weibull-eloszlásúak, $\alpha = 0,0005$, $\beta = 2,1$.
- Az állásidők normális eloszlásúak, $m = 10$, $\sigma = 1,5$.
- A tervszerű karbantartás ideje az 1. elemnél legyen determinisztikusan 6 h.
- Az 1. elem leállításából származó költség: alkalomfüggő: 30 EUR, időfüggő: 15 EUR/h

Ciklusidő	Átlagos működés	Átlagos állás	Időegységre jutó jellemzők			
			Haszon (A)	Költség (B)	Elmaradt haszon (C)	$A - B - C$
Végtelen	33,052	10	153,54495	4,180955	46,455054	102,9089375
1000000	33,1218	9,99814	153,6263	4,17367	46,3737	103,07893
20	18,393	6,94623	145,1742	5,29481	54,8258	85,05359
25	21,9311	7,39823	149,5525	4,80644	50,4475	94,29856
30	24,8879	7,86968	151,952	4,51942	48,048	99,38458
35	27,2608	8,32671	153,2043	4,35267	46,7957	102,05593
40	29,0871	8,74031	153,7889	4,25891	46,2111	103,31889
45	30,4342	9,09096	153,9992	4,20907	46,0008	103,78933
50	31,3877	9,36913	154,0261	4,18413	45,9739	103,86807
60	32,4595	9,73208	153,8673	4,171	46,1327	103,5636
70	32,8804	9,9036	153,7043	4,17337	46,2957	103,23523
80	33,0196	9,97096	153,6163	4,17662	46,3838	103,05588
100	33,067	9,99683	153,572	4,17874	46,428	102,96526
200	33,0714	9,99803	153,5725	4,17862	46,4275	102,96638

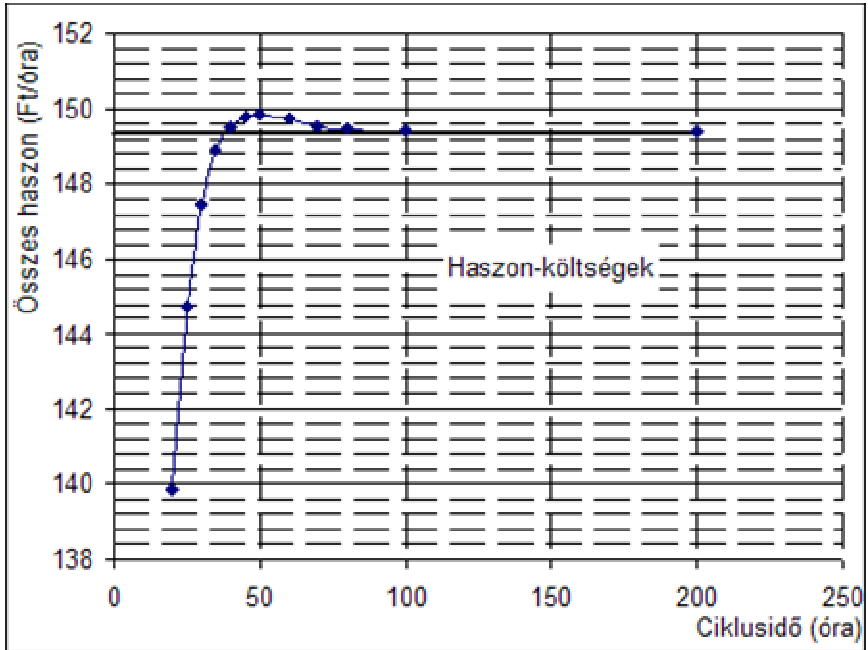
4. táblázat. Az 1. elem futtatási eredményei

A futtatások eredményei az első elemre a 4. táblázatban láthatók, az első sor itt is analitikus számolással adódott. A 4. táblázatból és a 7. ábrából is látható, hogy bár számszerűen van maximumhely, ez (103,87) azonban alig nagyobb a végtelen ciklusidőhöz (eseti stratégia) tartozó értéknél (103,08), a különbség adódhat a szimulált adatok szórásából.

Az optimum megléte, értéke természetesen függ a választott célfüggvénytől. Ha az elmaradt hasznot nem vesszük figyelembe, a 8. ábrán látható diagramot kapjuk. Ennek már jól kivehető maximuma van 50 óra környékén.

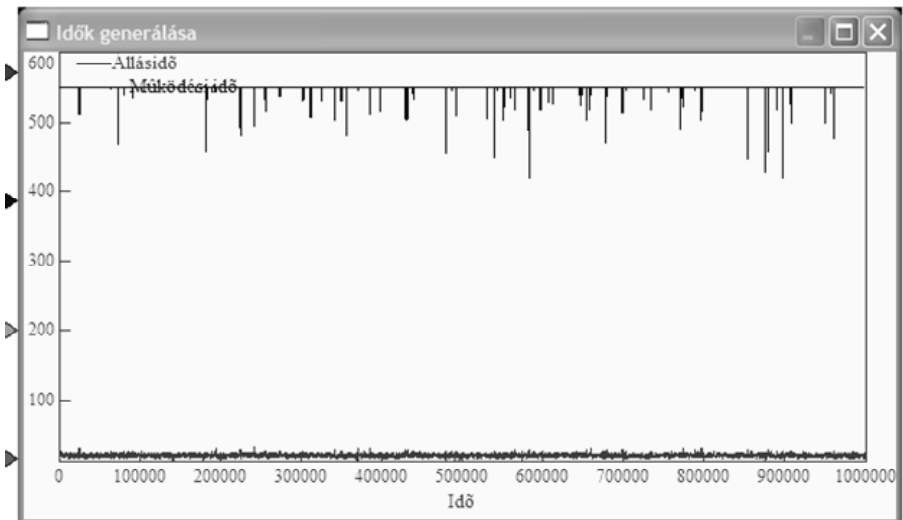


7. ábra. Az eseti stratégia optimális

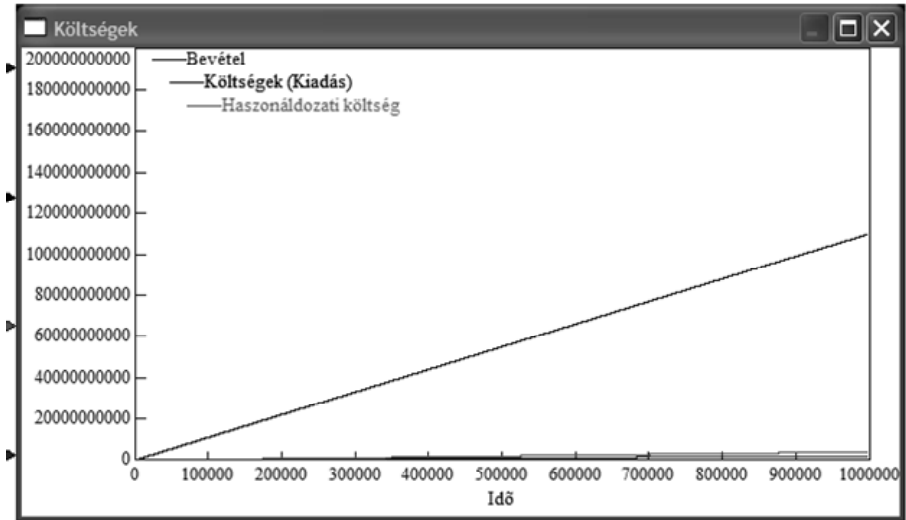


8. ábra. Ha csak a kiadás jellegű költségeket vesszük figyelembe, van optimális ciklusidő

A generált idő- és költségadatokat a szimuláció során megjeleníthetők. (9, 10. ábra.) A 9. ábrán a működési időket az 550 óránkénti karbantartás csonkolja. Alul az állásidők láthatók. A kísérletek száma 1 000 000 volt.



9. ábra. A generált működési és állásidők



10. ábra. A költségadatok gyűjtése a szimuláció során

5 Következtetések

A kapott eredmények azt igazolják, hogy szimuláció alkalmazásával valóban hatékonyan lehet megoldani analitikusan problémás feladatokat is. Bizonyos problémátípusoknál célszerű általános modell kezelésére alkalmas szoftvert készíteni, ami különböző konkrét rendszerekre alkalmazható. Tanulságos az is, hogy a célfüggvény megválasztása kritikus lehet a stratégiával kapcsolatos döntések meghozatalánál.

A bemutatott optimalizáláshoz hasonló alkalmazunk az oktatásban is. Szemléletesség folytán segíti a hallgatókat a Monte Carlo szimuláció lényegének megértésében.

Irodalom

1. Bruzzone, A. G. – Briano, C. – Simeoni, S. (2004): Industrial Maintenance Metrics based on Simulation and Fuzzy Logic, *Proceedings 16th European Simulation Symposium*
2. Gaál Z. – Szabó L. (1997): Stratégiai menedzsment és vállalati siker, *Gazdaság Vállalkozás Vezetés* 1997/4, 34-44. o.
3. Gaál Z. – Kovács Z. (1994): *Megbízhatóság, karbantartás*, Veszprémi Egyetem Kiadói Iroda.
4. Koltai T. – Jelinek T. (1994): A szimuláció az iparfejlesztés és termelés-szervezés szolgálatában. *Ipari Szemle*, 6 sz., 51–52 o.
5. Koltai T. (1995): Simulation based product costing: the application of discrete event simulation for activity-based costing. *Proceedings of The International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, Marakesh, Marocco, pp. 344–353.

6. Koltai T. – Maczó K. (1987): Az elmaradó hozamok értékelése felügyeletnélküli gyártó-rendszerek esetén. *Felügyeletnélküli Gyártás - Automatizálás* 87, GAMF Sokszorosító, Kecskemét, 161–173 o.
7. Kovács Z. (1990): *A megbízhatóság és a karbantartás kapcsolata technológiai rendszerekben*, Kandidátusi értekezés.
8. Kovács Z. (1994): Nem független elemekből álló rendszerek megbízhatósága, *Minőség és Megbízhatóság* 94/3, 40–45.
9. Kovács Z. (1994a): Nem független elemekből álló rendszerek megbízhatóságának modellezése I. *Minőség és Megbízhatóság* 94/4, 41–41.
10. Kovács Z. (1994b): Nem független elemekből álló rendszerek megbízhatóságának modellezése II. *Minőség és Megbízhatóság* 94/5-6, 63–69.
11. Kovács Z. – Ködmön I. (1994).: Szimulációs módszerek alkalmazása a berendezésmegbízhatóság vizsgálatában – Karbantartás az ezredfordulón – kihívások és válaszok, *Nemzetközi karbantartási konferencia*, Veszprém, 1994. június 13-15. 148–158 o.
12. Kovács Z. (2001): A karbantartás új definíciója – Karbantartás új szerepei – értéképzés, kiválóság, képességfejlesztés, *Nemzetközi karbantartási konferencia*, Veszprém, 2001. június 11–13. 1–6. o.
13. Kovács Z. (2001): *Termelésmenedzsment*, Veszprémi Egyetemi Kiadó, Veszprém, 2001.
14. Ködmön I. – Kovács Z. – Koscsó L. (2000): Reliability-Centered Maintenance at the Fűzfő Paper Company. *Hungarian Journal of Industrial Chemistry*, Veszprém, Vol. 28. pp. 59–66.
15. Ködmön I. – Kovács Z. – Koscsó L. (2000): Kísérlet a megbízhatóság alapú karbantartás szervezésre a Fűzfői Papír Részvénytársaságnál. I. A technológiai rendszer dekomponálása, *Papíripar* XLII. évf. 3. szám 101–105.
16. Ködmön I. – Kovács Z. – Koscsó L. (2000): Kísérlet a megbízhatóság alapú karbantartás szervezésre a Fűzfői Papír Részvénytársaságnál. II. Optimálási kísérletek, *Papíripar* XLII. évf. 4. szám 137–142.
17. Kövesi J. – Andor Gy. (1999): Economic and reliability analysis in the frame of total productive maintenance. Új utakon a karbantartás - *Nemzetközi konferencia*, Veszprém, 1999. június 14–16, 5–25.
18. VisSim: A VisSim a Visual Solutions terméke.
19. Vörös J. (1999): *Termelési és szolgáltatási rendszerek vezetése*, Janus Pannonius Egyetemi Kiadó, Pécs, 1999.

MONTE CARLO OPTIMIZATION OF MAINTENANCE STRATEGIES

Maintenance activities are triggered basically by stochastic events. In this article the objective function of choosing strategy is the minimum of total costs. Preventive and failure related costs are taken into consideration as well as opportunity costs. The necessity of Monte Carlo simulation is the fact that that failure free (and standstill) times might have different distribution hence there is no way to create a general analytical model. Basic elements of the simulation model: distribution of failure free time, distribution of standstill time, frequency dependent standstill time costs, time dependent standstill costs. Interdependency among elements can be taken into consideration. Author presents simulation tools also.