MATEMATIKAI MODELLEZÉSI LEHETŐSÉGEK AZ ÜZEMELTETÉS-MENEDZMENTBEN IRODALOM ÁTTEKINTŐ TANULMÁNY[⊗]

POSSIBILITIES OF USE OF MATHEMATICAL MODELLING IN THE MAINTENANCE-MANAGEMENT REVIEWING OF PAPERS

PORTIK Tamás

okleveles matematikus, műszaki menedzser
5720, Sarkad, Madár utca 11.
portik@citromail.hu

Kivonat: *Az üzemeltetési menedzsment számára nélkülözhetetlen a matematikai modellre épülő döntés-előkészítő eljárások — mint kvantitatív modellek — alkalmazása. Napjainkra a bizonytalanság vizsgálata a műszaki tudományokban igen kiterjedt kutatási területté vált, különösen minden olyan területen, ahol valamilyen mért adatra van szükségünk. Ennek egyik oka, hogy a mérés pontossága, megbízhatósága jelentősen befolyásolja, vagy befolyásolhatja a döntés-előkészítést és végül a végrehajtandó döntés következményeit is. A műszaki menedzsment döntései során gyakran alkalmaz úgynevezett nyelvi változókat, melyek újabb jelentős bizonytalansági forrásokat képviselnek. Ezért a Szerző jövőbeli kutatási célja olyan eljárások elemzése, adaptálása és kidolgozása, melyekben a bizonytalanság figyelembe veendő, és vizsgálandó. Ezáltal olyan általánosítható eredmények várhatóak, melyek segítségével a modellek megbízhatósága elfogadhatóvá, valamint költségoptimalizálóvá is válik egyben. A tanulmány az aktuális tudományos eredményeket foglalja össze, a Szerző szubjektív válogatása alapján, a matematikai modellezés területéről. A későbbiekben pedig ezeknek az üzemeltetés-menedzsment számára gyakorlatba való átültetése, alkalmazása, valamint új módszerek kifejlesztése.*

Kulcsszavak: *matematikai modell, bizonytalanság, nyelvi változók, döntés-előkészítés*

Abstract: *For the maintenance-management it is indispensable to apply the mathematical modelling, as quantity models in decision-making. Nowadays, the investigation of the uncertainty has become researchers' area of interest in technology, especially in that area, where some measured data are needed to use. One of reasons, the precision or the reliability of the measurement can have or has an effect on decision-making and — finally — on results of the enforcement of the decision too. Decisions of the engineering management are often to use so-called linguistic variables, which have sources of newer significant uncertainties. Therefore the aim of the future domain of the author is methods of analysis, applying and improving, which have possibility to take notice of uncertainties and to investigate them. Hereby these expected results can be generalized, which make the acceptance of models, furthermore will be able to optimize cost. The study sums present scientific results from the area of mathematical modeling according to the subjectively selection of the author. In latter paper these results will be applied and put into practice for maintenance-management, as well as new methods will be developed.*

Keywords*: mathematical modelling, uncertainty, linguistic variables, decision-making*

1. BEVEZETÉS

Az üzemeltetési menedzsment számára nélkülözhetetlen a matematikai modellre épülő döntés-előkészítő eljárások — mint kvantitatív modellek — alkalmazása. Napjainkra a bizonytalanság vizsgálata a műszaki tudományokban igen kiterjedt kutatási területté vált, különösen minden olyan területen, ahol valamilyen mért adatra van szükségünk. Ennek fő oka, hogy a mérés pontossága,

[⊗] Szaklektorált cikk. Leadva: 2010. január 28., Elfogadva: 2010. május 05.
Reviewed paper. Submitted: 28. 01., 2010. Accepted: 05. 05., 2010.
Lektorálta: Prof. dr. POKORÁDI László / Reviewed by Prof. Dr. László POKORÁDI

megbízhatósága jelentősen befolyásolhatja a döntés-előkészítést és végül a végrehajtandó döntés következményeit is. Ezért nélkülözhetetlen az üzemeltetési menedzsment számára a matematikai modellre épülő döntés-előkészítő eljárások — mint kvantitatív modellek — alkalmazása.

Az üzemeltetés-menedzsmentet különféle elemeire bontják szét, például eszközgazdálkodás, logisztika, megbízhatóság-elmélet, karbantartás elmélet, bár ez utóbbiba néha beleértik az előzőeket, mivel a karbantartás-elmélet határai még ma sem tisztázottak és egységesítettek megfelelően. Horváth munkájában összefoglalta karbantartás-szervezés iskoláit annak megfelelően, hogy az iskolák mire fókuszálnak vizsgálódásuk során, melyek a következők: szervezési-, állapotfüggő-, minőségi-, megbízhatósági-, folyamat- és matematikai iskolák [4].

A ***szervezési iskola*** a tervezést, a szervezés és az ellenőrzés folyamatának tekinti a karbantartási munkák tekintetében a karbantartás-szervezést.

Az ***állapotfüggő iskola*** arra törekszik, hogy a berendezés még azelőtt javítható legyen, mielőtt a meghibásodás bekövetkezik.

A ***minőségi iskolá***hoz tartozik a „teljes körű hatékony karbantartás” (TPM), melynek filozófiája — mára szintetizálódott a minőségi iskola alapelveivé — a problémamegoldás csoport alapú megközelítését, a nagyobb veszteségek kiküszöbölését, a folyamat során létrejövő hulladékok újrahasznosítását, valamint a különféle más veszteségek megszüntetését foglalja magába. A termelő és szolgáltató rendszerek minőségmenedzsmenttel kapcsolatos kérdéseit tankönyvszerűen foglalja össze Varga Emilné [13] munkájában.

A ***megbízhatósági iskola*** az esemény előtti elemzésekre, illetve az észlelt meghibásodási következményektől függően a kötelező vagy gazdasági szempontú meghibásodás-megelőzésre koncentrál.

A ***folyamat iskola*** folyamatként vagy folyamatok sorozataként tanulmányozza a karbantartást, melynek lényege, hogy megértsük a karbantartás-szervezés különféle aspektusainak a célját, funkcióját és filozófiáját.

A ***matematikai iskola*** az, mely kvantitatív leírásokkal segíti a döntés-előkészítést. Ezen iskola legjelentősebb külföldi képviselőjének tekinthetjük Jaradine-t [7] művével, valamint jelentősebb hazai kutatók közül Pokorádi [9, 10] ezen irányú kutatásai, eredményei sorolhatók ide. Természetesen sok kutató érdeklődésére számot tart ez a tudomány terület.

A Szerző célja jelen cikkel az aktuális tudományos eredmények rövid összefoglalása, a Szerző szubjektív válogatása alapján, a matematikai modellezés területéről.

A publikáció az alábbi fejezetekből áll: A második fejezetben ismertetésre kerülnek a valószínűség számítás és sztochasztikus folyamatok. A harmadik fejezet sorbanállás elmélet irodalmát tekinti át. A negyedik fejezetben a fuzzy logika és szakértői rendszerek alkalmazása kerül bemutatásra. Az ötödik fejezetben pedig az összefoglalás, a tervezett jövőbeli kutatási irány leírása található meg.

2. VALÓSZÍNŰSÉG SZÁMÍTÁS ÉS SZTOCHASZTIKUS FOLYAMATOK

A kétdimenziós normális eloszlás (független egydimenziós normális eloszlásokból származtatva) alkalmazására egy példa Pokorádi esettanulmánya, melyben a javítási munkaigény becslésének egy elméleti kidolgozása illetve egy esettanulmány kerül bemutatásra [9]. Vajon, ha az egydimenziós normális eloszlások nem függetlenek, akkor hogyan fog módosulni az elmélet és az eredmény? Továbbá nem normális eloszlást — általában a karbantartás elméletben több dimenziós Weibull eloszlást szokás alkalmazni — feltételezve, akkor hogyan fog változni az elméleti és a gyakorlati eredmény? Pokorádi [9] publikációjával kapcsolatban még megemlítendő, hogy ezzel egy kutatássorozat elindítását tűzte ki célul. Egy kétváltozós általános sztochasztikus folyamat alkalmazása a karbantartás-elméletben illetve a megelőző ellenőrzési tervben található meg M.J. Newby, C.T. Barker munkáiban [8]. Az (X_t, Y_t) kétváltozós sztochasztikus folyamatra, mely az $\Omega \times \mathbb{R}$ téren értelmezett — ahol Ω az állapottér és $\mathbb{R}$ a valós számok testét jelöli; néhány természetes példa:

a) a maximum folyamat

$$Y_t = sup_{0 \le s \le t} X_s \quad ; \tag{1}$$

b) a több változós folyamatban az

$$Y_t = \|X_t\| \ ; \tag{2}$$

c) az akkumuláló folyamat

$$Y_t = \int_0^t X_s ds \ ; \tag{3}$$

d) a szokásos mérték

$$Y_t = \int_0^t |X_s| ds \ ; \tag{4}$$

e) hibák a mérésben

$$Y_t = u(X_t, \varepsilon) \ , \tag{5}$$

ahol: ε zavaró tényező;

f) magyarázó folyamatok (covariate processes), ahol az $F(X_t|Y_t)$ eloszlás leírja az X_t változó függését az Y_t magyarázó változótól.

Ha az X_t alapfolyamat Wiener folyamat, akkor például a b)-t Bessel folyamatnak nevezzük vagy a c) esetet pedig Kolmogorov-diffúziónak. Ezek közül a maximum folyamatra; a *teljes folyamat*ra (integrated process) — melyben az alapfolyamat Wiener-folyamat, amiből a két-dimenziós Kolmogorov-diffúzióra vezetődik vissza; a hibás ellenőrzés modelljére (imperfect inspection) — az alapfolyamatnak gamma-folyamatot választva; adnak példát a cikkben. Továbbá a Bessel-folyamatra a kopás leírásaként, melyben az alapfolyamat k-dimenziós Brown folyamat, amit a környezet leírására is használnak a cikk szerzői — annyi megjegyzést téve, ha Brown folyamat helyett Wiener folyamatot használunk, akkor jobban visszaadja a valós világ eseményeit a környezet leírása esetén. Ezek a példák, amiket kidolgoztak elég általánosak viszont elég jól algoritmizálhatók számítógépes modellezésre, de konkrét példát nem közöltek a szerzők.

A gamma sztochasztikus folyamatok alkalmazására kiváló áttekintést ad J. M. van Noortwijk áttekintő cikke [6], melyben ismerteti matematikailag teljesen korrekt módon a nem-stacionárius gamma folyamat definícióját, várható értékét és szórását, a gamma folyamat paramétereinek becslését. A stacionárius gamma folyamat definícióját és ennek a diszkrét idejű aproximálását; a gamma folyamatnak az összetett Poisson folyamat határátmeneteként való leírása, az összetett Poisson-, és gamma folyamatok Laplace transzformáltjait, továbbá a gamma folyamatok szimulációját, valamint a gamma folyamatok kiterjesztését igen részletesen dolgozták ki. A szerzők a formula manipulációk egy részét Maple-lel végezték, illetve javasolt elvégezni. A gamma folyamatokat általában karbantartás elmélet egy-egy részegységében használják és ritkábban az egész rendszerre vonatkozóan. Különben a gamma folyamatok alkalmazására a karbantartás elméletében [6] pedig inkább áttekintő jellegű tanulmány. A megelőző-karbantartás elméletére igen jól használható általános modellt találhatunk meg J. A. M. van der Weide, M. D. Pandey, és J. M. van Noortwijk [5] munkájában, melyben a felújítás elmélet és a sztochasztikus pont folyamatok játszottak szerepet a kockázat alapú karbantartási modellek kifejlesztésekor. Konkrét példákat adtak a homogén és nem-homogén Poisson folyamatok alkalmazásával az elhasználódási (damaged)-, és hirtelen meghibásodási (shock) folyamatokra — költségoptimalizálással összhangban. A tervezett diszkontálási költség modell egy realisztikusabb (kiindulási) alapot ad a karbantartás ellenőrzések optimalizálására, mint az aszimtotikus, nem-diszkontált költség ráta kritériumain alapulók, melyről igen szemléletes grafikonokkal is igyekeztek a szerzők meggyőzni az olvasót. Tekintetbe véve, hogy a menedzserek, döntéshozók szeretik alkalmazni ezeket a grafikus eszközöket, így ezekkel igen hasznos meggyőző prezentációk készíthetők. Végezetül ebben a fejezetben megemlítésre kerül még a Weibull eloszlás és folyamat. Ennek széleskörű alkalmazása található meg Horst Rinne kézikönyv jellegű összefoglaló munkájában, melynek eredményei könnyen algoritmizálhatók [3]. A teljesség igénye nélkül csak néhány példa a Weibull eloszlás alkalmazására: alkatrészcsere tervekben, a megelőző karbantartásban, ellenőrzési tervekben és a felújítás elméletben. A mű kétség kívüli előnye, hogy tartalmazza az eloszlás elméleti leírásait, a hozzájuk tartozó tételekkel és többnyire azok bizonyításait is, valamint azok alkalmazásait.

3. SORBANÁLLÁS ELMÉLET

Ma már a sorbanállás elmélet önálló alkalmazott tudománynak is tekinthető, melynek a hétköznapi életben számtalan alkalmazása van, nemcsak a karbantartás-elméletben, hanem más területeken is. Az olyan sztochasztikus folyamatot, melynek jövőben alakulását a múltbeli alakulása csak a jelenlegi állapoton keresztül befolyásolja — azaz amely utóhatásmentes — Markov folyamatnak nevezzük. Az üzemeltetési folyamat üzemletetési állapotok időben és gyakoriságban véletlen egymásutánisága. Az üzemeltetési állapotok eme sorozatát úgynevezett üzemletetési lánccal tudjuk szemléltetni, mely matematikai szempontból Markov-folyamatnak — szűkebb megkötésekkel láncnak tekinthető. Sorbanállási, kiszolgálási rendszeren olyan rendszert értünk, amelybe a fogyasztók véletlenszerűen érkeznek be, az eltérő igényeik kielégítésére várnak, majd a kiszolgálásuk után a rendszerből távoznak. Ilyen sorbanállási rendszernek tekinthető az olyan üzemeltetési folyamatok, melyekben nagyobb tömegű technikai eszközhasonló típusú műszaki kiszolgálása történik.

A sorbanállás elméletbe és alkalmazásiba kitűnő bevezetőt nyújt Sztrik egyetemi jegyzete, amely (nem matematikus) kutatók számára is érthető és könnyen alkalmazható mélyebb matematikai háttér nélkül [12]. A jegyzetben megtalálható a Sztrik által vizsgált

$$< n/\vec{G}/m/r/FIFO > \qquad (6)$$

modellje is. Abhijit Gosavi [1] cikke a kockázat-érzékeny preventív karbantartásra kidolgozott két matematikai modellt, az egyik felújítás elméletén a másik a markovi döntési problémákon (MDP) alapszik. Az MDP modellre — a programozás technikai megvalósíthatóság figyelembe vételével — kifejlesztetett egy helyettesítő cél-függvényt, mely jól közelíti az egzakt (eredeti) cél-függvényt. Ami érdekes ebben, hogy a pót-függvényre dinamikus programozási megközelítést adott, aminek a konvergenciáját meg is mutatta, továbbá Matlab-beli szimulációs eredményeket is közöl. A fenti két modell eléggé általános ahhoz, hogy más problémák megoldására is lehessen alkalmazni az üzemeltetés-menedzsmentben.

4. FUZZY LOGIKA ÉS SZAKÉRTŐI RENDSZEREK

A műszaki menedzsment döntései során gyakran alkalmaz úgynevezett lingvisztikai változókat, melyek újabb jelentős bizonytalansági forrásokkal rendelkeznek. Ezért a fuzzy logika és halmazelmélet alkalmazása ezeknek a nyelvi fogalmaknak a leírására az üzemeltetés-menedzsment probléma megoldásai és döntései során — szakszerű és matematikailag korrekt módon kezelhető formában lehetővé válik — mellyel akár számítógépes alkalmazások készítésé is lehetséges a vezetők és menedzserek döntéseinek előkészítése és segítése végett. A fuzzy logika a lágyszámítási módszerek közzé tartozik. Bevezetőként a fuzzy számítási módszerekbe Retter munkája jó kiinduló pontot ad [11]. A könyv ismerteti a fuzzy halmazok fogalmát a velük kapcsolatos műveleteket, a fuzzy relációkat, a kiterjesztési elvet, a fuzzy számokat és azok aritmetikáját, a nyelvi-lingvisztikai változókat és fuzzy szabályokat (HA-AKKOR szabályok), a fuzzy logika és a közelítő következtetéseket, valamint a fuzzy rendszereket — fuzzyfikáló és defuzzyfikáló eljárásokra, továbbá a fuzzy rendszerek tervezését is. Végül pedig egy áttekintést ad az alkalmazások területéről. A mű kitűnő bevezetőt nyújt minden kezdő kutató számára, aki e témát kutatásaiban fel akarja használni. A fuzzy modellezésről —valamint alkalmazására a fuzzy FMEA-ban — található példa Pokorádi [10] könyvében. A példa igen szemléletes és se nem egyszerű se nem túl bonyolult, ezért alkalmas a fuzzy modellezés végigkövetésére, valamint ezután akár a saját modellezések is viszonylag könnyen elkészíthetők. Gilles Mauris, Virginie Lasserre, Laurent Foulloy a méréstudományban végeztek fuzzy közelítést bizonytalan kifejezések mérésére, melyet a valószínűségszámítás eszközök egy alternatívájaként mutattak be a szerzők [2], az ISO szabványokkal összhangban. A szerzők készítettek egy Π „lehetőségi mértéket” (possibility measure) felhasználva a valószínűségi mérték axiómarendszerét, melyben az additivitási axiómát egy rendezési axiómára cserélik:

1.) $\Pi\colon \mathcal{P}(\mathbb{R}) \to [0,1]$, ahol $\mathcal{P}(\mathbb{R})$ az $\mathbb{R}$ valós számok Borel halmazai, 2.) $\Pi(\mathbb{R}) = 1$ és $\Pi(\emptyset) = 0$,

3.) Ha $\forall I \subset \mathbb{N}, \forall i \in I$ és $\forall A_i \in \mathcal{P}(\mathbb{R})$ —re, akkor $\Pi(\cup A_i) = sup_{i \in I}(\Pi(A_i))$ teljesül (rendezési axióma), ahol $\mathbb{N}$ a természetes számok halmaza.

Legyen π lehetőségi eloszlás és egy hozzá tartozó Π mérték olyan, hogy $\pi_F(x = \Pi_F(\{x\}))$, mely nyilvánvalóan függ egy p valószínűségi eloszlástól. Ennek karakterizálása a $max_{x \in \mathbb{R}} \pi(x) = 1$ feltétellel történik, a valószínűségszámítás esetén szokásos $\sum_{x \in \mathbb{R}} p(x) = 1$ feltétel helyett. Így a „lehetőségi-eloszlás" egy normalizált fuzzy részhalmaz lesz és a $\mu_F(x) = \pi_F(x)$ a lehetőség mértékét (fokát) fogja megadni, ahol $\mu_F : \mathbb{R} \to [0,1]$ tagsági függvény, $F \subset \mathbb{R}$ fuzzy részhalmaz, mely tagsági függvényével adott. Így a fuzzy részhalmaz jellemezhető vertikálisan a valószínűségi eloszlások családjának egy felső határával — ezért lett bevezetve a lehetőségi-mérték és a lehetőségi-eloszlás, valamint a horizontális interpretációban pedig egymásba skatulyázott intervallumokkal (α-vágatokkal). Ezen módszer előnye, hogy a gyakorlatban viszonylag könnyen kivitelezhető, továbbá e módszer a mérési bizonytalanságok kezelésére a valószínűségszámítási-, és az intervallumközelítési eljárások között helyezkedik el, valamint a szenzoros mérések esetén figyelembe veszi a specifikus és bizonytalan információkat is, s ekként juttatja vissza a felhasználóhoz a feldolgozott adatokat.

Yang Tang, Jian-an Fang, Min Xia, Xiaojing Gu által végzett tanulmányban fuzzy sztochasztikus diszkrét idejű hálózatok leírásával foglalkoznak Takagi—Sugeno (T-S) fuzzy modellt alkalmazva, illetve a hálózat szinkronizálásával [14], melyre Matlab-ban mutattak szimulációs példát eredményük előnyéről és annak használhatóságáról. A modelljük velejárója mind a kevert idejű-változók késései mind a sztochasztikus perturbációk, melyben Kronecker szorzatot és a sztochasztikus analízis eszközeit használva megalkottak egy új Lyapunov funkcionált, amiből különböző elégséges feltételeket kaptak a hálózat szinkronizálására. A publikációban a szerzők nemlineáris rendszerek modellezésére használnak fuzzy rendszert. A rendszer dinamikái felfoghatók fuzzy szabályok halmazaként, melyek karakterizálhatók az állapot térben a helyi korrelációkkal. Megjegyzendő, hogy a hálózatok minden egyes dinamikája leírható Ha- Akkor fuzzy szabályokkal, melyek rendelkeznek lineáris input-output relációkkal. A Matlab-beli szimuláció igen meggyőző, s igen hasznos a konkrét számítási példa, amiből a szimuláció is készült.

5. ÖSSZEFOGLALÁS, JÖVŐKÉP

Látható, hogy a matematikai eredmények és eszközök igen sokrétűek — mint általában a matematika megelőzi korát (a legtöbb esetben). Az üzemeltetés-menedzsmentben igen sokrétűen alkalmazható a sztochasztikus alapú modellek, sorbanállás elméletek. Új modell a fuzzy logika és halmazelmélet, melynek alkalmazására a kockázat becslésében, valamint a bizonytalanságok vizsgálatában igen erőteljesen kutatott területté vált. A Szerző úgy gondolja, hogy az irodalom áttekintése egészen új megvilágításba helyezi — talán a nem matematikusok és matematikusok számára is — az alkalmazott matematika fontosságát. Sajnos a Szerző maga sem találkozott ilyen mélyebb alkalmazásokkal az egyetemi kurzusokon. A Szerző célja olyan matematikai modell megalkotása, vizsgálata, mely fuzzy halmaz elméletet, logikát és rendszereket, valamint intervallum egyenleteket alkalmaz a karbantartás-elméletben.

A Szerző köszönetét fejezik ki Dr. Pokorádi László hasznos észrevételeiért.

FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] Abhijit Gosavi, A Risk-sensitive Approach to Total Productive Maintenance, Automatica 42 (2006) p. 1321 — 1330.

[2] Gilles Mauris, Virginie Lasserre, Laurent Foulloy, A fuzzy approach for the expression of uncertainty in measurement, Measurement 29 (2001) p. 165—177.

[3] Horst Rinne, The Weibull distribution: a handbook, CRC Press, 2009. (ISBN: 978-1-4200-8743-7)

[4] Horváth, Csaba, Gondolatok a karbantartás-szervezés tudományos vetületeiről, A karbantartás fókuszában: érték — költség — versenyképesség, Nemzetközi konferencia kiadványa, Veszprém, 2008. június 16—18., p. 51—58.

[5] J.A.M. van der Weide, M.D.Pandey, J.M. van Noortwijk, Discounted cost model for condition-based maintenance optimization, Reliability Engineering and System Safety 95 (2010) p. 236—246.

[6] J.M. van Noortwijk, A survey of the application of gamma processes in maintenance, Reliability Engineering and System Safety 94 (2009) p. 2—21.

[7] Jaradine, A.K.S. — Tsang, A.H.C., Maintenance, Replacement, and Reliability: Theory and Applications, Taylor & Francis, New York, 2006., pp. 322.

[8] M.J. Newby, C.T. Barker, A Bivariate Process Model for Maintenance and Inspection Planning, International Journal of Pressure Vessels and Piping 83 (2006) p. 270—275.

[9] Pokorádi László, Javítási munkaigény kétdimenziós valószínűségi becslése, Debreceni Műszaki Közlemények, 5. évf. 4. szám (2006), p. 119-129.

[10] Pokorádi László, Rendszerek és folyamatok modellezése, Campus Kiadó Debrecen, 2008. 242 p. (ISBN: 978-963-9822-06-1)

[11] Retter Gyula, Fuzzy, neurális genetikus, kaotikus rendszerek, Akadémiai Kiadó 2006. (ISBN: 963-05-8353-4)

[12] Sztrik János, Bevezetés a sorbanállás elméletébe és alkalmazásaiba, Kossuth Egyetemi Kiadó, 2000 (egyetemi jegyzet)

[13] Varga Emilné Dr. Szűcs Edit, Minőségmenedzsment, Campus Kiadó, Debrecen, 2005.

[14] Yang Tang, Jian-an Fang, Min Xia, Xiaojing Gu, Synchronization of Takagi—Sugeno fuzzy stochastic discrete-time complex networks with mixed time-varying delays, Applied Mathematical Modelling 34 (2010) p. 843—855.