

HUMÁN ERŐFORRÁS STRUKTÚRA VIZSGÁLATA MARKOV-LÁNC SZIMULÁCIÓVAL

Kovács Kincső

hallgató, Miskolci Egyetem, Logisztikai Intézet
3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros, e-mail: kovacs.kincs97@gmail.com

Absztrakt

A negyedik ipari forradalom keretében mind a termelő vállalatok, mind a szolgáltató vállalatok átalakíthatják hagyományos folyamataikat kiberfizikai rendszerekké, melyekben a dolgok Internetje által lefedett technológiák révén felgyorsíthatják automatizálási és robotizálási folyamataikat. Ezen automatizálási és robotizálási folyamatok szükségessé teszik a humán erőforrás gazdálkodási stratégiák felülvizsgálatát. Jelen cikk keretében a szerző a humán erőforrások struktúrájának vizsgálatára mutat be példát Markov lánc modellezés alkalmazásával.

Kulcsszavak: human erőforrás gazdálkodás, Markov lánc, optimalizálás, logisztika

Abstract

Within the frame of the fourth industrial revolution manufacturing and service companies can transform their conventional processes into cyber-physical systems, where the applied Internet of Things technologies can accelerate the automation processes. This automation makes it necessary to change human resource management strategies. Within the frame of this article the author focuses on the analysis of the structure of human resources using Markov-chain model.

Keywords: human resource management, Markov chain, optimization, logistics

1. Bevezetés

A logisztika, mint tudomány fogalma ma már egyre ismeretesebb. Rendszereken belüli-és kívüli személyek, anyagok, információk áramlásának tervezését, felügyeletét és irányítását foglalja magába. A sikeres és sikertelen vállalatok közötti különbségek és lemaradások nem csak tőkében, szoftver, illetve hardver eszközökben rejlenek, hanem a dolgozók minőségében és megbecsültségében is. A vásárlói igények diverzifikálódása és a piac bővülése a multinacionális cégek esetében a nagyvállalati struktúra folyamatos változását eredményezi. Mindez humán erőforrás tervezés szempontjából nagy kihívás, hiszen rövid időn belül kell a dinamikusán változó technológiai és logisztikai erőforrások működtetéséhez szükséges személyzetet biztosítani [1]. A negyedik ipari forradalom paradigmája és a hálózatosodás új szintjének megjelenése az Internet of Things (IoT) révén a humán erőforrások stratégiai és taktikai szintű tervezésének új megközelítését igényli.

2. Az emberi munkaerő helyzete az ipari forradalmak mentén

Az első ipari hullámnál nagy volt az esélye annak, hogy egyik napról a másikra munkanélkülivé válik a munkás, és majd csak hosszú idő elteltével talál magának másik pénzkereseti forrást, hisz ekkor még kevésbé volt dinamikus a munkaerőpiac. A második ipari forradalom során Nyugat-Európában csökkent a születésszám, ennek okai között szerepel a nők munkába állása, a kivándorlás és a városiasodás is.

Az urbanizáció következtében egyre kevesebb családnak nyújtott megélhetési formát a mezőgazdaság. Rohamosan megnőtt a nagyvárosok száma, ahol szolgáltatásokkal kellett ellátni a városlakókat (víz, csatorna, gáz, villany, szemétszállítás), itt már szükség volt minimális szaktudásra is. A munkásrétegnek is biztosítják a polgári szabadságjogokat, választójogot, egészségügyi ellátást. Angliában gyári törvények jelennek meg, Németországban vezetik be először a beteg-és balesetbiztosítást, illetve öregségi és rokkantsági nyugdíj illeti meg a munkásokat. A munkavállalók helyzete mindenképpen javult. A XX. század végén, és a XXI. század elején az ember és a gép interfészeken kapcsolódik össze, ezáltal a fizikai és a virtuális világ is. Egyre nagyobb jelentőségre tesznek szert az ember-robot rendszerek, kapcsolatok. Az ember szabja meg a szabályokat, és aztán a folyamatok autonóm módon, automatikusan mennek végbe. A Life Long Learning (élethosszig tartó tanulás) egy ismert fogalom, melynek jelentőségét az adja, hogy a termelési és szolgáltatási folyamatokban résztvevőknek alkalmazkodni kell a folyton fejlődő iparhoz. Az Ipar 4.0 paradigma több oldalról is megközelíthető [2]. Negatívumnak tűnhet az, hogy az automatizált gyártórendszerek felszámolják az alacsony-és középszintű munkaköröket, illetve átalakítja azokat, és aki nem elég rugalmas képességei, tanulás és továbbképzés vonatkozásában, az kiesik a rendszerből. A másik és szerintem helyes hozzáállás az, hogy a robotok a betanított munkások helyett végzik el a feladatokat. Felettük a hierarchiában állnak majd az emberi irányítók, akik ezeket programozzák, karbantartják. Aztán lesznek még specialistaállások, szakértői alkalmazottak, akik elemeznek egy-egy folyamatot, algoritmusokat keresnek, optimalizálnak. És legfelül még mindig a stratégiai szint áll. A felszabaduló munkaerő számára más opciókat kell találni. A jövőben nőni fog a kvalifikált, szakképzett munkaerő iránti igény, akik képesek lesznek bonyolult rendszereket irányítani, összehangolni. Sajnos Magyarországon a humán erőforrást még mindig sokan költségtényezőként értékelik, nem pedig a hosszú távú sikerhez vezető befektetésnek. Az Ipar 4.0 kapcsán intenzifikálódó automatizáció sem fog működni azt létrehozó, működtető, karbantartó személyek nélkül. Egy ma is használatos filozófiát emelnék ki, melynek középpontjában az ember áll, ez pedig a Lean. A Lean felfogás a Toyota Planning System utódja, amelyben úgy tartják, ahhoz hogy jó minőségű autót gyártsanak magasan képzett vezetőket kell kiképezni. A TPS egyik pillére a Jidoka, mely kimondja, hogy automatizálás nincs emberi munkavégzés nélkül, ezek egymás kiegészítői. Az automatizálással nem megszűnik, hanem inkább felértékelődik a gépeket kezelő munkatársak szerepe és olyan kihívásokra jut energiájuk, amik inkább a vállalat jövőjének fejlődését szolgálják [3].

3. Markov láncok

A humán erőforrások Markov láncokkal történő leírásának megértésének segítése érdekében ezen fejezetben röviden ismertetem a Markov láncok fontosabb ismérveit [4]. A matematikában a Markov-lánc olyan diszkrét sztochasztikus folyamatot ír le, mely Markov-tulajdonságú. A Markov-tulajdonság azt jelenti, hogy adott jelenbeli állapot mellett, a rendszer jövőbeli állapota nem függ a múltbeliektől. Tehát adott jelen mellett a jövő feltételesen független a múlttól. Semmi, ami a múltban történt, nem hat, nem ad előrejelzést a jövőre nézve. A Markov-lánc tehát véges vagy megszámlálhatóan végtelen állapotterű Markov-folyamat. Jellemző paraméterei az állapotok. Az n -edik időpillanatban az i -edik állapotból az $n+1$ -edik időpillanatban j -edik állapotba történő átmenet valószínűsége az alábbi összefüggéssel írható le:

$$P_{ij}^{(n,n+1)} = P(X_{n+1} = j | X_n = i) \quad (1)$$

Az ebből képzett mátrix az egy lépéses átmeneti valószínűség mátrix. Az m lépéses átmeneti valószínűség mátrix az alábbi módon képezhető:

$$P^{(n,n+m)} = [P(X_{n+m} = j | X_n = i)] \quad (2)$$

Chapman-Kolmogorov tétele szerint az m -lépéses valószínűség mátrix előállítható egy tetszőleges r , mely $1 \leq r < m$, illetve egy $(m-r)$ mátrix szorzatából az alábbi módon:

$$P_{ij}^{(n,n+m)} = \sum_{k=0}^{\infty} P_{ik}^{(n,n+r)} P_{kj}^{(n,n+m-r)} \quad (3)$$

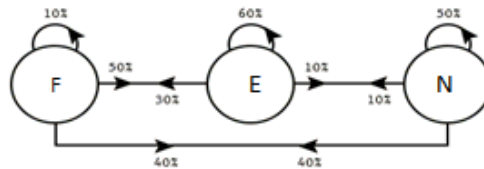
Másik típusa a Markov-láncoknak az időtől független, azaz stacionárius, homogénnek nevezett lánc:

$$P_{ij} = P(X_{n+1} = j | X_n = i) \quad (4)$$

Chapman-Kolmogorov feltételezése alapján a homogén Markov-láncok esetében m -lépéses átmeneti valószínűségmátrix előállítható az egy lépéses mátrix m -edik hatványával.

$$[P_{ij}^{(n,n+m)}] = P^m \quad (5)$$

Egyéb jellemző tulajdonságai a Markov láncoknak a reducibilitás, periodicitás és rekurrencia, melyeket az alábbi példán szemléltetünk:



1. ábra. Az időjárás sztochasztikája.

Az 1. ábrán három lehetséges kimenet van felsorolva, felhős/esős/napos lehet az aktuális időjárás. Itt nincs elnyelődés, nem tudunk kilépni az időjárás rendszeréből, hisz ez állandósult, valamelyik mindig adott, illetve keveredve is előfordulhatnak. Ezen kívül az időjárás változatlan is maradhat, továbbléphet egy állapottal, esetleg többel is. Például a felhős állapottól „szomszédja” az esős, de 40 % arra az esély, hogy egyből napos időnk lesz. Tehát egy diszkrét Markov-lánccról beszélhetünk, hisz egy jövőbeli időpillanat időjárása független lesz a múlttól, teljesen kiszámíthatatlan alakulása miatt sztochasztikus. Megőrizheti állapotát, de változhat is. Átmeneti valószínűségmátrix segíthet valamennyire az átláthatóságban (itt százalékos eloszlást mutat). Megfigyelhetők az irreducibilis jellemzők, vagyis bármely állapotból bármely másik elérhető, ezen kívül az elemek kapcsolódnak egymással. A periodicitást akár évszakonként is tudjuk értelmezni, illetve a rekurrencia, mint visszatérő jelenségek is ismeretesek a meteorológia területén [5].

4. Humán erőforrás stratégia Markov lánc modellje

Az elnyelő Markov-láncok felírhatóak szuperdiagonális, szubdiagonális, illetve előrelépési mátrixokkal [4,6]. Három különböző stratégiát követhetünk a hierarchikus HR előrelépési rendszerben. Először is az alkalmazott egy következő szintre tud lépni, ezért ez szuperdiagonális mátrix:

$$P = [p_{i,j}], ahol \begin{cases} p_{i,j} \geq 0 & j = i \vee j = i + 1 \\ p_{i,j} = 0 & j \neq i \wedge j \neq i + 1 \end{cases} \wedge i, j = 1 \dots m. \quad (6)$$

Második esetben az alkalmazottak előreléphetnek a következő szintre, de meg van a veszélye az előző szintre visszaesésnek is. Ebben az esetben az előléptetési mátrix diagonális, szuperdiagonális és szubdiagonális elemekből áll. Az átlós elemek azt mutatják, hogy a munkavállalók ugyanabban a helyzetben maradnak; A szuperdiagonális elemek leírják a következő foglalkoztatási szintre történő

előrelépés lehetőségeit, míg a szubdiagonális elemek azt mutatják, hogy visszavezethetők az előző szintre:

$$P = [p_{i,j}], \text{ ahol } \begin{cases} p_{i,j} \geq 0 & j = i \vee j = i \pm 1 \\ p_{i,j} = 0 & j \neq i \wedge j \neq i \pm 1 \end{cases} \wedge i, j = 1 \dots m. \quad (7)$$

A harmadik példa azt mutatja be, hogy a munkavállaló akár több szintet is előre- vagy hátraléphet. Az egyenlet a szuperdiagonális és a szubdiagonális előrelépési mátrixokat három lehetséges szinten mutatja be.

$$P_{supdiag} = \begin{bmatrix} p_{1,1} \geq 0 & p_{1,2} \geq 0 & 0 \\ 0 & p_{2,2} \geq 0 & p_{2,3} \geq 0 \\ 0 & 0 & p_{3,3} \geq 0 \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$P_{subdiag} = \begin{bmatrix} p_{1,1} \geq 0 & 0 & 0 \\ p_{2,1} \geq 0 & p_{2,2} \geq 0 & 0 \\ 0 & p_{3,2} \geq 0 & p_{3,3} \geq 0 \end{bmatrix} \quad (9)$$

Ebben a megközelítésben elnyelő és nem elnyelő előrelépési mátrixokat különböztetünk meg, melyek az előléptetési stratégiától függenek. Ha az alkalmazott el tudja hagyni a rendszert elnyelődésről beszélünk. Ezeket a láncokat nevezzük elnyelőknek, definiálni tudjuk a mátrix elnyelési szakaszait a láncban:

$$A = \begin{bmatrix} a_{1,1} a_{1,2} a_{1,3} \\ a_{2,1} a_{2,2} a_{2,3} \\ a_{3,1} a_{3,2} a_{3,3} \end{bmatrix} \quad (10)$$

ahol

$$\sum_{j=1}^m a_{i,j} = 1 - \sum_{j=1}^m p_{i,j} \quad \forall j. \quad (11)$$

Legyen $E = (e_{k,i})$ a munkavállalók számának k -adik ismétlődése a Markov-lánc szimulációban. A toborzási arány $(\bar{r} = (r_i))$ meghatározza a munkaadók toborzási lehetőségeit, ahol $\sum_{i=1}^m r_i = 1$. A felvételi arány figyelembe vehető vektorként vagy mátrixként. Ha a felvételi arány vektorként van megadva, akkor a szimuláció időablakában állandó. Ha a felvételi arányt mátrixként definiáljuk, akkor figyelembe lehet venni a dinamikus változásokat a Markov-lánc-szimuláción keresztül, ahol a toborzási ráta a következőképpen számítható ki:

$$R = [r_{k,i}], \text{ ahol } \begin{cases} r_{k,i} = r_i & i = 1 \\ r_{k,i} = \frac{e_{k-1,i}}{\sum_{i=1}^m e_{k-1,i}} & 1 < i \leq m \end{cases} \wedge k = 1 \dots n \quad (12)$$

és

$$\sum_{i=1}^m r_{k,i} = 1 \quad \forall k. \quad (13)$$

A munkáltatók tervezett HR-szerkezete $\bar{p} = (p_i)$ a vállalat HR stratégiáján alapul, és az egyes szintek tervezett létszámából áll. A teljes foglalkoztatottak száma lineáris függvényként számítható ki az alábbiak szerint:

$$p_k^{dep} = \sum_{i=1}^m e_{1,i} + (k-1) \frac{\sum_{i=1}^m p_i - \sum_{i=1}^m e_{1,i}}{n-1}, \quad 1 \leq k \leq n. \quad (14)$$

A k -adik lépésben a tervezett és szimulált alkalmazotti létszám különbsége az alábbi módon határozható meg:

$$e_k^{dif} = \sum_{i=1}^m e_{k,i} - p_k^{dep}. \quad (15)$$

Végül a tervezett és szimulált létszámok között a különbség az alábbi számítással adódik:

$$e_k^{dif} = p_n^{dep} - \sum_{i=1}^m e_{1,i}. \quad (16)$$

A felvett alkalmazottak száma két különböző paramétertől függ. Az első az a szükséges telepítési arány, amely az időablak végéig elérte a tervezett létszámot és strukturát az alábbiak szerint:

$$\Delta p_k^{dep} = p_k^{dep} - p_{k-1}^{dep}, \quad 1 \leq k \leq n. \quad (17)$$

A második pedig a kilépett alkalmazotti létszám:

$$L = [l_{k,i}], \text{ ahol } \begin{cases} l_{k,i} = e_{k-1,i} \sum_{j=1}^m a_{i,j} & 2 \leq k \leq n \\ l_{k,i} = 0 & k = 1 \end{cases} \wedge i = 1 \dots m. \quad (18)$$

Az előírt munkavállalók számát a k-adik időablakban a következőképpen tudjuk számolni:

$$e_k = \sum_{i=1}^m l_{k,i} + \Delta p_k^{dep}, \text{ ahol } 1 \leq k \leq n. \quad (19)$$

Az alkalmazottak létszáma a toborzási ráta alapján kiszámítva a k-adik időablakban:

$$e_{k,i}^* = e_k r_{k,i}, \text{ ahol } 1 \leq k \leq n. \quad (20)$$

5. Esettanulmány

Egy multinacionális vállalatnál a szerelősorokban és szerelőcellákban dolgozó humán erőforrásokat hat különböző képzési szinten vesszük figyelembe: gépkezelő, üzemeltető, szerelő technikus, helyszíni szerviztechnikus, összeszerelő felügyelő, üzemeltetési vezető. Az alkalmazottak csak a következő foglalkoztatási szintre tudnak előrelépni. A munkatársak sok okból kifolyólag elhagyják a céget, jelen mátrixunkban négyet tüntettünk fel, mint a munka, a folyamatos növekedés, a pénzügyi okok és a teljesítmény elismerésének hiánya.

	1	2	3	4	5	6
1	0,7	0,2	0	0	0	0
2	0	0,8	0,1	0	0	0
3	0	0	0,7	0,1	0	0
4	0	0	0	0,65	0,15	0
5	0	0	0	0	0,75	0,15
6	0	0	0	0	0	0,4

2. ábra. Átmeneti valószínűségi mátrix.

	1	2	3	4
1	0,000	0,030	0,050	0,020
2	0,050	0,050	0,030	0,070
3	0,025	0,025	0,050	0,100
4	0,050	0,100	0,050	0,000
5	0,000	0,060	0,000	0,040
6	0,020	0,080	0,200	0,300

3. ábra. Kilépési mátrix.

	1	2	3	4	5	6
1	30	25	20	10	10	5

4. ábra. Kiinduló alkalmazotti létszám kategóriánként.

	1	2	3	4	5	6
1	0,35	0,25	0,2	0,1	0,05	0,05

5. ábra. Toborzási ráta.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150	155	160	165	170	175	180	185	194	200
dif		5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	9	6

6. ábra. Tervezett munkaerő növekedés (20 időegység alatt).

Az elnyelő Markov-lánc szimuláció kiszámítja az emberi erőforrások jövőbeni eloszlását, és a foglalkoztatási mátrix utolsó sora leírja a kialakult HR struktúrát.

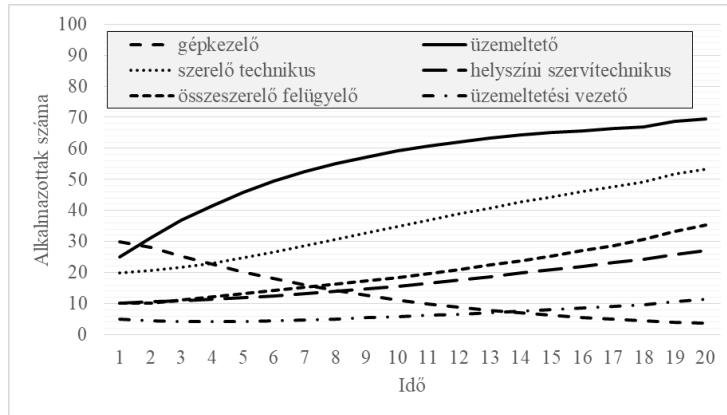
E	1	2	3	4	5	6	R	1	2	3	4	5	6
1	30	25	20	10	10	5	1	0,35	0,25	0,2	0,1	0,05	0,05
2	28,2	31,1	20,6	10,6	10	4,53	2	0,27	0,3	0,2	0,1	0,1	0,04
3	25,3	36,7	21,6	11	11,1	4,21	3	0,23	0,33	0,2	0,1	0,1	0,04
4	22,6	41,6	23	11,5	12,1	4,17	4	0,2	0,36	0,2	0,1	0,11	0,04
5	20,2	45,8	24,7	11,9	13,1	4,29	5	0,17	0,38	0,21	0,1	0,11	0,04
6	18	49,3	26,5	12,5	14,1	4,5	6	0,14	0,39	0,21	0,1	0,11	0,04
7	16	52,4	28,5	13,1	15,2	4,77	7	0,12	0,4	0,22	0,1	0,12	0,04
8	14,2	55	30,6	13,9	16,2	5,08	8	0,11	0,41	0,23	0,1	0,12	0,04
9	12,6	57,2	32,7	14,7	17,3	5,42	9	0,09	0,41	0,23	0,11	0,12	0,04
10	11,2	59,1	34,8	15,6	18,4	5,79	10	0,08	0,41	0,24	0,11	0,13	0,04
11	9,98	60,7	36,9	16,6	19,7	6,18	11	0,07	0,4	0,25	0,11	0,13	0,04
12	8,88	62,1	38,9	17,6	21	6,59	12	0,06	0,4	0,25	0,11	0,14	0,04
13	7,9	63,3	40,8	18,7	22,3	7,03	13	0,05	0,4	0,25	0,12	0,14	0,04
14	7,03	64,2	42,6	19,8	23,8	7,5	14	0,04	0,39	0,26	0,12	0,14	0,05
15	6,27	65	44,4	20,9	25,4	8,01	15	0,04	0,38	0,26	0,12	0,15	0,05
16	5,59	65,7	46,1	22	27	8,54	16	0,03	0,38	0,26	0,13	0,15	0,05
17	4,98	66,3	47,7	23,1	28,8	9,11	17	0,03	0,37	0,26	0,13	0,16	0,05
18	4,45	66,8	49,2	24,3	30,6	9,71	18	0,02	0,36	0,27	0,13	0,17	0,05
19	4,07	68,7	51,7	25,9	33,1	10,6	19	0,02	0,35	0,27	0,13	0,17	0,05
20	3,65	69,4	53,3	27,1	35,3	11,3	20	0,02	0,35	0,27	0,14	0,18	0,06

7. ábra. Létszám alakulása az egyes alkalmazotti kategóriákban és toborzási arány változása.

	1	2	3	4	5	6
Tervezett érték	55	50	35	15	25	20
Szimulált érték	3,65	69,4	53,3	27,1	35,29	11,28

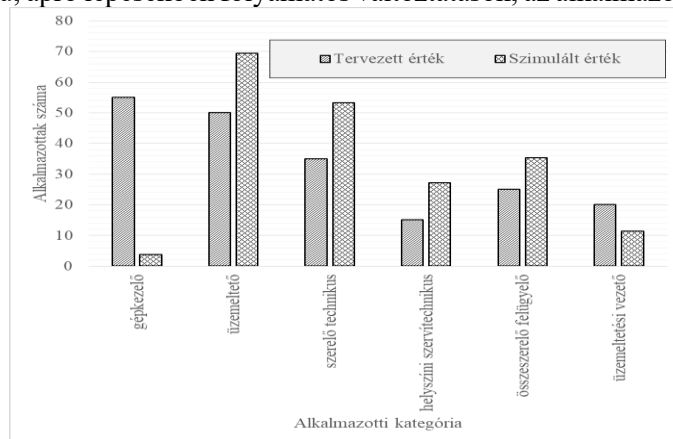
8. ábra. Alkalmazotti kategóriánkénti tervezett és szimulált létszám.

Egy megfelelőbb összetétel meghatározható a humán erőforrás fejlesztési stratégia átalakítása révén. Jelen esetben a legnagyobb eltéréseket mutató pozícióknál kell változtatásokat tennünk, pl.: a gépkezelőknél csökkentjük a kilépések okait vagy növeljük az átmeneti mátrix értékeit, illetve az üzemeltetési vezetőknél túl nagy volt az elnyelődés, tehát növeltük az egy helyben maradás valószínűségét. Mint ahogy azt a 14. ábra mutatja, a humán erőforrás fejlesztési stratégia átdolgozása révén a tervezett és a tényleges létszám különbsége sokkal kisebb, mint a 10. ábrán bemutatott megoldás esetében.



9. ábra. Létszám alakulása az egyes alkalmazotti kategóriákban.

Lineárisan növekvő függvényeket kaptunk, viszont semmiképpen nem mindható meredeknek, tehát a fejlődés Kaizen-jellegű, apró lépésekben folyamatos változtatások, az alkalmazotti szám növekedésével.



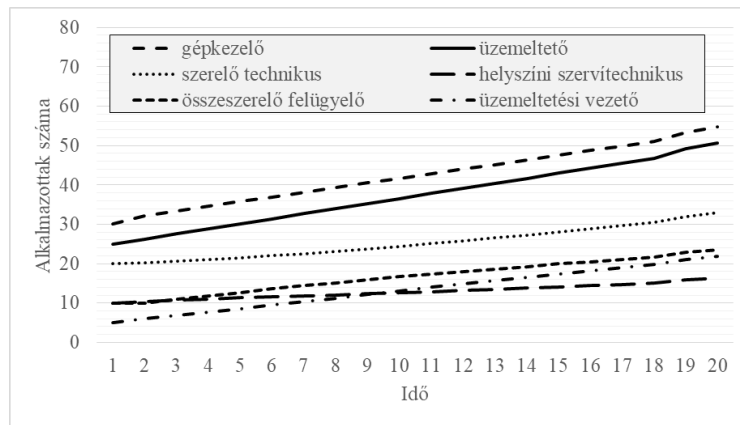
10. ábra. Alkalmazotti kategóriánkénti tervezett és szimulált létszáma.

	1	2	3	4	5	6
1	0,85	0,05	0	0	0	0
2	0	0,8	0,1	0	0	0
3	0	0	0,7	0,1	0	0
4	0	0	0	0,65	0,15	0
5	0	0	0	0	0,75	0,15
6	0	0	0	0	0	0,7

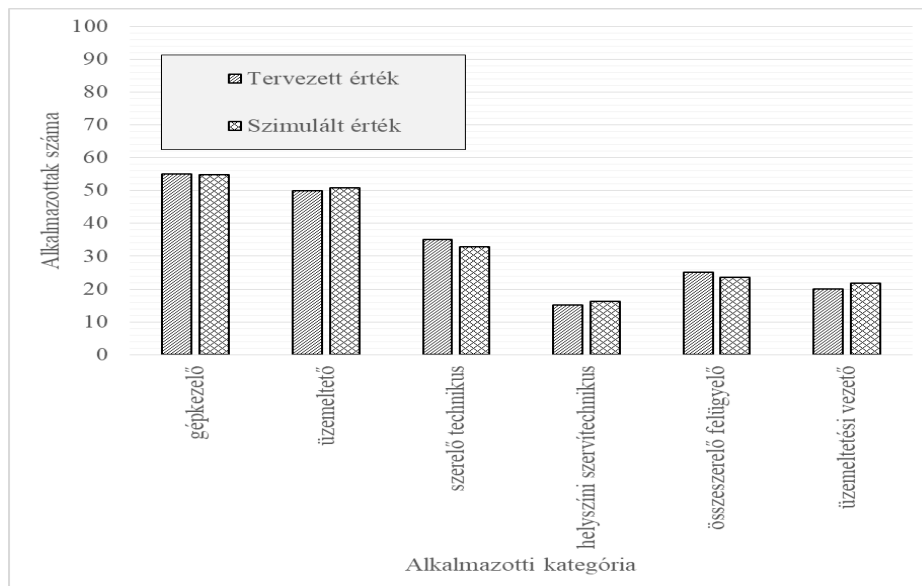
11. ábra. Átmeneti valószínűség mátrix.

	1	2	3	4
1	0,000	0,030	0,050	0,020
2	0,050	0,050	0,030	0,070
3	0,025	0,025	0,050	0,100
4	0,050	0,100	0,050	0,000
5	0,000	0,060	0,000	0,040
6	0,020	0,080	0,200	0,000

12. ábra. Kilépési mátrix.



13. ábra. Létszám alakulása az egyes alkalmazotti kategóriákban.



14. ábra. Alkalmazotti kategóriánkénti tervezett és szimulált létszám.

6. Összegzés

Kutatómunkám célja elsősorban az volt, hogy ismertessem a negyedik ipari forradalomra jellemző technikákat, a logisztika jelenlétét, illetve a humán erőforrás mindenkori értékét. A közeljövőben még nagyobb teret hódít az automatizálás és a robotok világa, de ezek megbízható programozásához, irányításához, felügyeletéhez és ellenőrzéséhez is szellemi teljesítmény szükséges. Egy kisebb családi vállalatnál, egy több 1000 főt foglalkoztató multinál, de akár állami intézményeknél is elsődleges szempont a munkaerő optimalizálása. A megfelelés mértéke erőteljesen függ a humán erőforrás tervezési feladataitól, mint pl. munkaerőigény tervezése, munkakörök kialakítása, elemzése, munkaerő toborzása és kiválasztása, betanítás, továbbképzés, munkakör áttervezése, teljesítményértékelés, panaszkezelés, stb. A felsorolásból is érzékelhetjük ezek összetettségét, ezen túl rendkívül sok külső és belső tényező is befolyásolhatja. Az időtérnek is fontos funkciói vannak a fejlesztés során. Ez mind

sztochasztikus, azaz előre nem látható, véletlenszerű és változatos megoldásra szoruló problémát vet fel. A bemutatott szimulációs módszer segítségével vizsgálható a humán erőforrás fejlesztési stratégiák hatása, ezzel is segítve egy még hatékonyabb, a jövőbeli vállalati céloknak jobban megfelelő HR struktúra kialakítását.

7. Felhasznált irodalom

- [1] Bányai T. (2017): Supply chain agility in humanitarian logistics. *Advanced Logistic Systems: Theory and Practice* 10:(1) pp. 75-80.
- [2] Nagy J. (2017): *Az ipar 4.0 fogalma, összetevői és hatása az értékláncre.* Budapesti Corvinus Egyetem, Vállalatgazdaságtan Intézet, 167. sz. műhelytanulmány.
- [3] Mácsay V., Bányai T. (2017): Toyota production system in milkrun based in-plant supply. *Journal of Production Engineering* 9:(1) pp. 141-146.
- [4] Bányai, T., Landschützer, C., Bányai, Á. (2018) *Markov-Chain Simulation-Based Analysis of Human Resource Structure: How Staff Deployment and Staffing Affect Sustainable Human Resource Strategy.* *Sustainability* 10, 3692.
- [5] Bőjthy, B. A.(2013): *Sztochasztikus mátrixok és Markov-láncok.* ELTE, Algebra és Számelmélet tanszék, Témavezető: Fialowski Alice.
- [6] Winston, W. L. (2003): *Operációkutatás.* Aula Kiadó KFT.

Jelen cikk a szerző engedélyével jelent meg másodközlésben. Az első megjelenés bibliográfiai adatai: Kovács Kincső: *Humán erőforrás struktúra vizsgálata Markov-lánc szimulációval.* Diáktudomány: A Miskolci Egyetem Tudományos Diákköri Munkáiból 11. pp. 86-94. (2018)