

# STATISZTIKAI FOLYAMATSZABÁLYOZÓ-KÁRTYÁK ALKALMAZÁSA AZ ÜZLETI FOLYAMATOK KONTROLLÁLÁSÁBAN

## APPLICATION OF STATISTICAL PROCESS CONTROL CHARTS IN BUSINESS PROCESS MANAGEMENT

A statisztikai folyamatszabályozás (Statistical Process Control, SPC) és az ellenőrző kártyák hatékony eszközök a gyártási folyamatok nyomon követésére és ellenőrzésére. Az SPC-t nemcsak a gyártási folyamatokban, hanem más területeken is alkalmazzák egy-egy művelet eredményének ellenőrzésére, például az egészségügyben, a pénzügyekben, a szoftverfejlesztésben vagy az oktatásban. Bár az üzleti folyamatok a gazdaság minden területén megjelennek, a szerzők tudomása szerint e folyamatok nyomon követésére és ellenőrzésére még nem alkalmaztak statisztikai folyamatszabályozási kártyákat. Ez a tanulmány megmutatja, hogy a termelésmenedzsmentben a műveletekre használt szabályozási logikát hogyan lehet átültetni a teljes üzleti folyamatok szabályozásának területére. A javasolt módszert egy valós vállalati példán mutatják be. A szabályozókártyák teljesítményét normalitás nemteljesülése esetén is vizsgálják, valamint különböző eloszlásfüggetlen szabályozókártya-statisztikákat hasonlítanak össze, hogy kiválasszák a legjobb szabályozó kártyákat. A gyakorlati vonatkozások tekintetében ajánlásokat fogalmaznak meg a döntéshozók számára a lehetséges szabályozókártyák kiválasztására vonatkozóan.

**Kulcsszavak: üzleti folyamatok, szabályozókártyák, eloszlásfüggetlenség**

Statistical process control (SPC) and control charts are effective tools to monitor and control production processes. SPC is applied not only in manufacturing processes but also in other fields such as healthcare, finance, software development, or education to control the outcome of the tasks. Although business processes (BPs) appear in all fields of the business, no control chart has been developed to monitor and control the whole set of BPs. This paper proposes a new BP control chart (BP chart) and provides a control chart fitting procedure. The proposed method is demonstrated on a real-life BP. Control chart performance is also investigated under nonnormality, and different distribution-free chart statistics are compared to select the best performance for the basis of the BP chart. In terms of practical implications, recommendations are provided for decision-makers regarding the control chart selection for BPs.

**Keywords: business process, statistical control charts, distribution-free charts**

### Finanszírozás/Funding:

A szerzők a tanulmány elkészítésével összefüggésben nem részesültek pályázati vagy intézményi támogatásban. The authors did not receive any grant or institutional support in relation with the preparation of the study.

### Szerzők/Authors:

Dr. Kosztyán Zsolt Tibor<sup>ab</sup> (kosztyan.zsolt@gtk.uni-pannon.hu) egyetemi tanár; Barabás Bianka<sup>a</sup> (barabas.bianka@sko-neu.com) egyetemi hallgató; Dr. Hegedűs Csaba<sup>a</sup> (hegedus.csaba@gtk.uni-pannon.hu) egyetemi docens; Dr. Katona Attila Imre<sup>a</sup> (katona.attila@gtk.uni-pannon.hu) tudományos főmunkatárs

<sup>a</sup>Pannon Egyetem (University of Pannonia) Magyarország (Hungary); <sup>b</sup>Felsőbbfokú Tanulmányok Intézete (Institute of Advanced Studies) Magyarország (Hungary)

A cikk beérkezett: 2024. 03. 07-én, javítva: 2024. 07. 08-án, 2024. 12. 15-én, 2025. 05. 16-án és 2025. 07. 25-én, elfogadva: 2025. 08. 01-én.

The article was received: 07. 03. 2024, revised: 08. 07. 2024, 15. 12. 2024, 16. 05. 2025 and 25. 07. 2025, accepted: 01. 08. 2025.

Copyright (c) 2025 Corvinus University of Budapest, publisher of Vezetéstudomány / Budapest Management Review. This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Az üzleti folyamatok kontrollálása és optimalizálása ma már elengedhetetlen a vállalatok versenyképességének megőrzéséhez. Tanulmányunk célja, hogy új megközelítéseket és eszközöket kínáljunk a folyamatok hatékonyabb kezelésére, ami nem csupán a működési költségek csökkentését, hanem a szolgáltatási színvonal emelkedését is eredményezi. A szabályozókártyák integrálása az üzleti folyamatokba lehetőséget ad arra, hogy a döntéshozók valós időben reagáljanak a folyamatokban bekövetkező eltérésekre, ezáltal támogathatják a folyamatok kontrollingját és javíthatják a vállalatok teljesítményét.

Kutatásunk nem csupán elméleti kereteket kíván nyújtani, hanem gyakorlati, megvalósítási javaslatokat is megfogalmaz az üzleti automatizálás és a szabályozó kártyák illesztési eljárásainak áttekintése által. A hagyományos módszerek mellett a modern technológiák alkalmazásának fontosságát is hangsúlyozni kell, hiszen az adatgyűjtés és -elemzés használatával a vállalatok képesek lesznek jobban megérteni folyamataikat, és reagálni a változásokra. A folyamatos adatgyűjtés és a választott szabályozókártyák alkalmazása révén a döntéshozók nincsenek kiszolgáltatva a múltbéli tapasztalatoknak, hanem fent tudják tartani a proaktív megközelítést a problémák kezelésében, így biztosítva a fenntartható növekedést és fejlődést a versenyképes piacon.

Ezen kívül a tanulmányban bemutatott új módszerek és javaslatok tükrözik a menedzsmenttudomány legfrissebb trendjeit is, amelyek a komplexitás kezelésére és a vállalatok dinamikus környezethez való alkalmazkodási képességének növelésére helyezik a hangsúlyt. Az üzleti folyamatok szabályozásának fejlődése azt mutatja, hogy versenytényezővé válik az, hogy a menedzsment milyen mértékben képes új megoldások keresésére és implementálására. Tanulmányunk a gyakorlatban is használandó tudományos és elméleti keretek létrehozásával hozzájárul a vezetői döntéshozatalhoz.

A folyamatok – legyenek azok terméket vagy szolgáltatást létrehozó technológiai folyamatok, vagy üzleti folyamatok – stabil működése és ezáltal kiszámíthatósága, kimeneteinek előrejelezhetősége régóta elvárás mind a vevő, mind a folyamatokat működtető részéről. A minőséggel és a hatékonysággal kapcsolatos növekvő elvárások, valamint az erre épülő verseny ezt az igényt tovább erősítették. A technológiai folyamatokra, azok műveleteire, Walter A. Shewhart által kidolgozott, 100 éves (Montgomery, 2024) „statistical control chart”, a magyar használatban ellenőrző vagy szabályozó kártya néven honosodott meg és van most is használatban (Kemény et al., 2021). Habár ez az elnevezés nem pontos, mert a folyamat-paraméterek vagy termékjellemzők változását követő diagram fizikai formájában sem kártya méretű, és szabályozó vagy ellenőrző diagram megnevezéssel is találkozhatunk, a szerzők a kártya elnevezés mellett maradnak az SPC-módszertan jobb azonosíthatósága érdekében. A szabályozókártyákat a gyártó és a feldolgozóiparban a gyártási folyamat egyes műveleteinek paraméterei, vagy a létrehozott termék minőségének nyomon követésére és ellenőrzésére használják. Ezekben a folyamatadatok időbeli grafikus ábrázolását végzik, melyek arra szolgálnak, hogy

felismerjék, ha egy folyamat nem szabályozott vagy eltér a várt teljesítménytől.

Többféle szabályozókártya létezik, közülük talán a legismertebb az átlag-terjedelem ( $\bar{X}$ -bar, R) kártya, illetve az átlag-szórás kártya ( $\bar{X}$ -bar, S), valamint a p (nem megfelelő termékek aránya) és c kártyák (hibák száma) (Oakland & Oakland, 2018). Mindegyik diagramtípus a folyamatadatok egy adott típusának, például egy folyamatjellemző átlagának és változékonyságának, vagy a hibás tételek arányának a mintában való megfigyelésére szolgál.

A szabályozókártyák használata számos előnnyel járhat a szervezetek számára, például jobb minőség, kevesebb hulladék, nagyobb hatékonyság és költségmegtakarítás (Mason & Antony, 2000). A szabályozókártyák segítenek a szervezeteknek abban is, hogy a gyártási folyamat során felmerülő problémákat még azelőtt azonosítsák és kijavítsák, mielőtt azok hibás termékeket vagy szolgáltatásokat eredményeznének.

A szabályozókártyák alkalmazásának bevezetése azonban kihívást is jelent a szervezet számára, ugyanis nem triviális, hogy egy adott folyamat szabályozására milyen szabályozókártyát alkalmazzunk (Benneyan, 2008). Ugyanígy nem triviális feladat a beavatkozási határok megválasztása, főleg akkor, ha a helytelen beavatkozás költségvonzatát minimálni szeretnénk (Kosztyán & Katona, 2016). Nem triviális továbbá a megfelelő minta méretének és a mintavétel gyakoriságának meghatározása (Kosztyán & Katona, 2018), valamint az adatok helyes értelmezése. A szervezeteknek azt is biztosítaniuk kell, hogy az alkalmazottak képzést kapjanak a szabályozókártyák megfelelő használatára, és hogy megértsék a folyamatszabályozottság fenntartásának fontosságát. Az ABPMP International, az üzleti folyamatmenedzsment szakemberek nemzetközi szövetsége által kiadott kézikönyv (BPM CBOK) negyedik kiadása (Benedict et al., 2019) ugyan listáz pár klasszikus szabályozó kártyát, amelyeket lehet alkalmazni és egy illusztratív példát is összeállít a Shewhart-féle alaplogika bemutatására, annak valódi üzleti folyamatra való illesztése elmarad, a fent említett kihívásokat nem tárgyalja, rájuk megoldást nem kínál.

Bár az átlag-terjedelem és -szórás kártyák értékes eszközök a folyamatminőség nyomon követésére, alkalmazásának vannak korlátai is. *Kis mintaméret* (Hillier, 1967): Az átlag-terjedelem és -szórás kártyák pontossága az adatok előállításához használt minta méretétől függ. Ha a minta mérete túl kicsi, a kártya nem tükrözi pontosan a folyamat változékonyságát, ami helytelen döntésekhez vezethet. *Normalitás feltételezése* (Schilling & Nelson, 1976): Az átlag-terjedelem és -szórás kártyák feltételezik, hogy az adatok normális eloszlást követnek. Ha az adatok nem normális eloszlásúak, a kártya nem tükrözi pontosan a folyamat változékonyságát, ami ugyanúgy helytelen döntésekhez vezethet. *Szabályozottsági kritérium* (Klein, 2000): Az átlag-terjedelem és -szórás kártyák a folyamat átlagában és változékonyságában bekövetkező elmozdulások kimutatására szolgálnak. Nem biztos azonban, hogy felismerik a nem szabályozott állapotokat, például

a ciklusokat, tendenciákat vagy ezek együttes hatását. *A problémák okainak meghatározása* (Koutras, Bersimis & Maravelakis, 2007): Az átlag-terjedelem és -szórás kártyák nem nyújtanak információt a folyamatváltozások konkrét okairól. További eszközökre, például Pareto-grafikonokra vagy ok-okozati diagramokra lehet szükség a probléma kiváltó okának azonosításához. *Beavatkozási határok beállítása* (Chakraborti, Van der Laan & Bakir, 2001): A megfelelő ellenőrzési határértékek meghatározása kihívást jelenthet, különösen a nagy változékonyságú vagy kis mintaméretű folyamatok esetében, például kis sorozatú, gyakori termékváltásokkal operáló műveletek esetében. Ha az ellenőrzési határokat túl szélesre vagy túl szűkre állítják be, a szabályozókártya nem tükrözi pontosan a folyamat változékonyságát, ami szintén helytelen döntésekhez, túl- vagy alulszabályozottsághoz, vezethet. *A kis elmozdulások észlelési nehézségei* (Davis & Woodall, 1988): Az átlag-terjedelem és -szórás-kártyák nem feltétlenül elég érzékenyek a folyamat átlagában vagy változékonyságában bekövetkező kis elmozdulások észleléséhez. Ezekben az esetekben érzékenyebb kártyákra, például exponenciálisan súlyozott mozgóátlag átlag (Exponential Weighted Moving Average, EWMA) vagy összegzett összeg (Cumulative Sum) kártyákra lehet szükség. Fontos szem előtt tartani ezeket a korlátozásokat a kártyák használatakor, és szükség szerint más eszközöket és technikákat igénybe venni.

Az eloszlásfüggetlen szabályozókártyák (Bakir, 2004), más néven *nemparametrikus szabályozókártyák* a hagyományos szabályozókártyák, például az átlag-terjedelem és a -szórás-kártyák néhány megkötését oldják fel. A következőkben bemutatunk néhány olyan módszert, amellyel az eloszlásfüggetlen szabályozókártyák javíthatnak a hagyományos szabályozókártyák megkötésein: (1) A nemparametrikus szabályozókártyákat nem befolyásolja az adatok megoszlása, ezért nem igénylik a normalitás előfeltételét. (2) Ezeket a szabályozókártyákat eleve úgy tervezték, hogy a kis mintanagyság esetén is alkalmazhatóak legyenek. (3) Ezek a szabályozási kártyák a szabályozatlan állapotok széles körét is képesek felismerni, beleértve az eltolódásokat (parameter shift), trendeket, ciklusokat, ezek keverékeit és a kiugró értékeket is. (4) Ezek a szabályozókártyák megkönnyítik a folyamatproblémák okainak azonosítását is. (5) Az eloszlásfüggetlen szabályozókártyák könnyen használhatók és értelmezhetők, így akár a termelési, de mint azt a tanulmányban láthatjuk, akár az üzleti folyamatfejlesztés gyakorlati eszközévé válhatnak.

Az eloszlásfüggetlen szabályozókártyákra számos szakirodalmi példa található. Ilyen például a mediánkártya (Castagliola & Figueiredo, 2013), a medián abszolút eltérés (MAD) kártya, az előjelkártyák (Wu, Zhao & Wang, 2002) és a Shewhart-kártyák eloszlásfüggetlen változatai (Bakir, 2004). Ezeket a diagramokat gyakran használják olyan iparágakban, mint az egészségügy, a pénzügy és a gyártás. Összességében az eloszlásfüggetlen szabályozókártyák hasznos alternatívái lehetnek a hagyományos szabályozókártyáknak, különösen akkor, ha nem normális adatok vagy kis mintaméret esetén kell azokat alkalmazni.

Az SPC a gyártási folyamatokon túl már eddig is számos területen felhasználhatónak bizonyult. A teljesség igénye nélkül: *egészségügy* (Thor et al., 2007), ahol az SPC az egészségügyi tevékenységek, például a betegek várakozási idejének, a gyógyszerelési adagolás vagy a fertőzési arányok nyomon követésére és javítására szolgáltak; *pénzügy területén* (Severin & Schmid, 1998), ahol az SPC a pénzügyi műveleteket, például a tranzakciók feldolgozási idejét, a számlaegyeztetést vagy a csalások felderítését figyeli. További alkalmazás még a *szoftverfejlesztés* (Caivano, 2005), ahol az SPC-vel nyomon követték a szoftverfejlesztési tevékenységeket, például a kód felülvizsgálati idejét, a hibajavítások arányát, valamint a tesztelés hatékonyságát. Érdekes alkalmazási területe volt az SPC-logika alkalmazásának az *ügyfélszolgálat* (Kim & Lim, 2021), ahol az SPC alkalmazásával javíthatóvá váltak az ügyfélszolgálati tevékenységek, úgymint a call center várakozási idő, az ügyfélkérdésekre adott válaszidők vagy az ügyfél-elégedettségi arány. A módszert alkalmazták még az *ellátásilánc-menedzsment* területén is (Hajej et al., 2021), ahol az SPC az ellátásilánc-tevékenységek teljesítményjellemzőit, például a rendelések feldolgozási idejét, a készletszinteket vagy a szállítási pontosságot ellenőrzi. Egy friss alkalmazás a *felsőoktatás* területe (Bi, 2022), ahol az SPC-t oktatási környezetben használták a hallgatók teljesítményének, az oktatói munka hallgatók általi minősítésének vagy az osztálytermi folyamatok nyomon követésére és javítására. És végül, amely talán a jelen tanulmányunkhoz legközelebb áll, a *projektmenedzsment* területe, ahol (Colin & Vanhoucke, 2015) az SPC-logika alkalmazását az átfutási idők és a projektköltségek betartása érdekében javasolta. Mindazonáltal legjobb tudomásunk szerint nem létezik olyan tanulmány, ahol az SPC-t közvetlenül az üzleti folyamatok szabályozására alkalmazták volna. Pedig ez az alkalmazás sokkal kézenfekvőbb, mint a projektek átfutási idejének szabályozása. Ugyanis, ebben az esetben a korábbi lefutások költségadatait fel tudjuk használni, a jelenlegi adatokkal össze tudjuk hasonlítani, nem kötnék a projektek egyediségéből adódó összehasonlítási nehézségek. Ugyanakkor nem triviális a szabályozókártya-logika üzleti folyamatokban történő alkalmazása. Üzleti folyamatok alatt August-Wilhelm Scheer (Scheer et al., 2006) megfogalmazása szerint azon egymáshoz kapcsolódó tevékenységek sorozatát értjük, amely a szervezet valamely belső vagy külső vevője által rendelt és elfogadott értéket teremt. Az üzleti folyamatokon belül általában három kategóriát különböztetünk meg: (1) irányítási és menedzsment-folyamatok, (2) fő- vagy magfolyamatok és (3) támogató folyamatok. A termelésben (mint fő folyamatban) használt hagyományos folyamatszabályozó kártyák, valójában nem a termelési folyamatot, hanem annak egy-egy műveletét vagy e műveletek eredményének megfelelőségét szabályozzák. A technológiai vagy termelési és az üzleti folyamatok közötti számos különbség ellenére a szerzők úgy vélik, hogy az SPC-logika a minőség javítása érdekében az üzleti folyamatok szabályozása területén is alkalmazható. Az 1. táblázat bemutatja, hogy a termelési műveletek és az üzleti folyamatok között melyek a legfontosabb különbségek, illetve melyek a legfontosabb hasonlóságok.

## A technológiai/termelési és az üzleti folyamatok összehasonlítása

Hasonlóságok	Különbségek
A statisztikai szabályozási diagramok alapelvei ugyanazok, függetlenül attól, hogy termelési tevékenységre vagy üzleti folyamatokra alkalmazzzák őket. Ezek az elvek magukban foglalják a megfelelő szabályozókártya-típus kiválasztását, a beavatkozási határok beállítását, az adatok gyűjtését és elemzését, valamint szükség esetén korrekciós intézkedések megtételét.	A termelési/technológiai és az üzleti folyamatokban gyűjtött adatok típusai eltérhetnek. A termelési folyamatoknál általában egy-egy tevékenység folyamatparamétereiről (hőmérséklet, rezgés frekvencia), vagy a (félkész) termék fizikai jellemzőiről, például súlyról, méretekről vagy színről gyűjtenek adatokat, míg az üzleti folyamatok esetén a ciklusidőről, átfutási időről a vevői elégedettségről, vagy a munkatársak teljesítményéről gyűjtünk adatokat. Egy üzleti folyamat több funkcionális területet is érinthet, magában foglalhat több technológiai folyamatot, műveletet.
Mind a termelési, mind az üzleti területen az SPC-t a folyamat hibáinak, jelentős, nem szokványos eltéréseinek felderítésére és megelőzésére használjuk.	Az eltérő adatjelleg miatt más típusú szabályozókártyákra lehet szükség az alkalmazási területtől függően. Az üzleti folyamatok szabályozandó jellemzői gyakrabban követnek nem-normális vagy ferde eloszlást, nagyobb a változékonyságuk. A megfigyelhető minták mérete kisebb vagy változókéonyabb.
Mindkét alkalmazási terület folyamatos ellenőrzést és folyamatos fejlesztést igényel a minőség fenntartása és a hibák megelőzése érdekében.	A termelési tevékenységek esetében a hangsúly a termékek előállításán van, míg az üzleti folyamatok esetében a szolgáltatásnyújtáson, vagy az információszolgáltatáson. Ez befolyásolhatja az előforduló hibák típusait és a megelőzésükre alkalmazott módszereket.
	A változékonyság forrásai az egyes folyamat típusoknál eltérőek lehetnek. A gyártási műveletek esetében a változékonyság forrásai közé tartozhatnak a nyersanyagok, a gépbeállítások vagy a kezelői teljesítmény változásai, míg az üzleti folyamatok esetében a változékonyság forrásai közé tartozhatnak a vevői kereslet, a dolgozói készségek vagy a szoftver működésének változásai.

Forrás: saját szerkesztés

Összességében, bár vannak különbségek a statisztikai szabályozás módjában a termelési tevékenységek és üzleti folyamatok esetében, a módszer mögött meghúzódó elvek és célok hasonlóak. Az SPC az üzleti folyamat különböző paramétereinek ellenőrzésére használható, többek között: (1) *átfutási idő* (Total Process Time, TPT), amely az az idő, ami az üzleti folyamat elvégzéséhez szükséges; *hibarány*, pl. a folyamat során a hibát tartalmazó termékek vagy nem megfelelő szolgáltatások aránya; (3) *vásárlói elégedettség*, az üzleti folyamat eredményeképpen létrehozott termékekkel vagy szolgáltatásokkal kapcsolatos elégedettségi szint; valamint (4) az üzleti folyamat költsége (Total Process Cost, TPC).

Az SPC és az üzleti folyamatok modellezése (Business Process Modelling, BPM) együttes használata számos további előnnyel kecsegtet. *Szolgáltatások minőségjavítása*: Az SPC-logika és az üzleti folyamatok modellezése segíthet a vállalkozásoknak azonosítani és kezelni a szabályozandó tevékenységeket, ami a hibák csökkenéséhez és a minőség javulásához vezethet. *Hatékonyság növelése*: A folyamatok modellezése, átfutási idők vizsgálata, szabályozása lehetőséget teremt a szűk keresztmetszetek, kritikus utak, valamint a kockázatos tevékenységek azonosítására. Ezek alapján a döntéshozók intézkedéseket hozhatnak a problémák kiküszöbölésére és az átfutási idő rövidítésére. *Költségek csökkentése*: Az SPC segíthet azonosítani és megszüntetni a pazarlást, ami költségcsökkenéshez. *Ügyfél-elégedettség javítása*: Ha a szabályozandó terület az ügyfelek elégedettsége, akkor az SPC közvetlenül is használható. Ugyanakkor az időben elkészült termékek és szolgáltatások is növelhetik az ügyfelek elégedettségét. *Adatvezérelt döntéshozatal*: Egy vállalati információs rendszer alkalmazása esetén minden folyamat időtartamát és költségigényét automatikusan számíthatjuk. Az

SPC objektív adatokat szolgáltat a vállalkozásoknak a folyamataikról, lehetővé téve számukra, hogy adatvezérelt döntéseket hozzanak a működésük javításáról. Abban az esetben, ha a vállalkozások SPC segítségével ellenőrzik működési (üzleti) folyamataik paramétereit, jelentős javulást érhetnek el a minőség, a hatékonyság, a költségek, az ügyfél-elégedettség és a döntéshozatal terén. Mivel a szabályozókártyák azokra az esetekre hívják fel a figyelmet, amik a folyamatjellemzők természetes ingadozásához nagy valószínűséggel már nem tartoznak hozzá, nagyobb (vagy kisebb) költséget, több (kevesebb) időt, bizonyos erőforrásokból többet (vagy éppen kevesebbet) használnak fel a korábban megszokotthoz képest, segít azokat a folyamatokat vagy közreműködőket azonosítani, ahol beavatkozásra van szükség és javítani szükséges a szokásostól elmaradó esetekben, vagy lehetőséget nyújt felismerni, példaként kiemelni, mélyebben kielemezni a szokásosnál kedvezőbb eseteket.

Az üzleti folyamatok modellezéséhez valamilyen BPM-módszertant kell választani. A leggyakrabban használt módszerek a következők: BPMN 2.0: Business Process Model and Notation (Object Management Group, 2011; Aagesen & Krogstie, 2015), amely egy grafikus jelölésrendszer az üzleti folyamatok szabványosított módon történő ábrázolására; az eseményvezérelt folyamatlánc diagram (Event-driven Process Chain, EPC) (Amjad et al., 2018), amely egyfajta folyamatábrára, amelyet az üzleti folyamatok vizualizálására használnak, különösen azoknál, amelyek összetett döntéshozatalt és több lehetséges útvonalat tartalmaznak; Data Flow Diagram (DFD) (Li & Chen, 2009), amely az adatáramlás vizuális ábrázolására szolgál; értékáram (Value Stream Mapping, VSM) (Lasa, Laburu & de Castro Vila, 2008), amely a lean megközelítés egyik eszköze, melyet az anyagok és információk

termelési folyamaton keresztül történő áramlásának vizualizálására és javítására használnak. A módszerek közül az egyik legrégebbi a Unified Modelling Language (UML) (Siau & Cao, 2001), amely egy szabványosított modellezési nyelv, melyet elsősorban a szoftverfejlesztésben használnak objektumorientált rendszerek és folyamatok leírására, bár az utóbbi években a használata visszaszorult az agilis szoftverfejlesztési megközelítések miatt, hasznos eleme a szoftverek működtetéséhez adott támogatásoknak, a standardizált architektúrák kialakításának és a szoftverek újrafelhasználásának (Song et al., 2024). Mi ezek közül az EPC-t alkalmaztuk, amelynek előnye, hogy támogatja a komplex döntéshozatalt; képes több lehetséges folyamatváltozatot is egyidejűleg ábrázolni. Az EPC-diagramok könnyen érthető módon képesek párhuzamos feldolgozási utakat és összetett feltételes logikát ábrázolni. Az EPC-diagramok másik előnye a rugalmasságuk és skálázhatóságuk. Mind a magas szintű üzleti folyamatok, mind a részletes műszaki folyamatok modellezésére használhatók, így sokoldalú eszközzé válnak a folyamatfejlesztés és -optimalizálás számára. A tevékenységekhez költségek és idő is hozzárendelhető, így számíthatók a folyamatátfutási és -költségadatok is. Összességében az EPC hatékony eszköz az üzleti folyamatok vizualizálásához és javításához, különösen azokhoz, amelyek összetettek és több döntési pontot tartalmaznak.

Tanulmányunk az eddigi szakirodalomhoz képest a következő hozzájárulásokat teszi.

- J<sub>1</sub>: Szabályozókártyákat javasolunk az üzleti folyamatok kontrollálására, melyek képesek figyelembe venni a komplex üzleti folyamatok sajátosságait.
- J<sub>2</sub>: Az üzleti folyamatok szabályozásához kártyaillesztési eljárásokat javasolunk.
- J<sub>3</sub>: Megmutatjuk, hogy mely esetekben érdemes eloszlásfüggetlen szabályozókártyákat illeszteni az üzleti folyamatokra.
- J<sub>4</sub>: Ajánlásokat fogalmazunk meg a szabályozatlan folyamatok kezelésére.
- J<sub>5</sub>: Ajánlásokat fogalmazunk meg a kártyakiválasztási mechanizmusra.

A modern technológiai trendek, mint például a mesterséges intelligencia, a gépi tanulás és az adatanalítika, forradalmasítják a hagyományos menedzsmenttechnikákat (Bencsik, 2021), lehetővé téve a gyorsabb és pontosabb döntéshozatalt. Ezek a digitális eszközök nemcsak automatizálják a folyamatokat, hanem új módokat is kínálnak a komplex adatok értelmezésére, elősegítve ezzel a prediktív analitikai módszerek használatát. A tanulmány keretein belül vizsgálni fogjuk, hogyan járulnak hozzá ezek a digitális megoldások az üzleti folyamatok transzparenciájának növeléséhez, és miként segítik a szabályozókártyák integrálását a különböző folyamatokba, javítva ezzel a hatékonyságot.

A digitalizált környezetben a folyamatos adatgyűjtés és -elemzés szerepe kulcsfontosságú. A vállalatoknak képesnek kell lenniük az adatok valós idejű feldolgozására, hogy gyorsan reagálhassanak a piaci és folyamatbeli változásokra. Ennek a megközelítésnek a támogatására

javasoltuk az ERP-rendszerek és más informatikai megoldások integrálását, melyek nemcsak az információáramlást fokozzák, hanem lehetővé teszik a komplex rendszerek gördülékeny működését (Reisinger, 2022). A digitalizáció így nem csupán új kihívásokat, hanem egyedi lehetőségeket is teremt a menedzsment számára, amelyeket tanulmányunk keretein belül részletesen elemzünk.

Ugyanakkor a fekete doboz jellegű gépi tanulási és mesterséges intelligencia (MI) alkalmazásoknál jobb interpretálhatóságot, az eltérésekhez vezető okok feltárásához több tényadatot szolgáltatnak a statisztikai módszerek. Ezek automatizálása után az alkalmazás ugyanolyan egyszerűvé és kényelmessé válik, mint a felfutóban lévő MI-megoldások. A kettő akár ötvözhető is, és a generatív MI-megoldások segíthetnek a statisztikai eredmények értelmezésében a vezetőknek, így az alkalmazó ismereteihez skálázható szakértői rendszer alakítható ki.

## Alkalmazott módszerek, eljárások

Ebben a fejezetben bemutatjuk az üzleti folyamatok modellezésére használt EPC-módszert, az alkalmazott statisztikai folyamatszabályozási eljárásokat, valamint ezek együttes alkalmazási lehetőségeit.

### Az üzleti folyamatok modellezése

Az üzleti (vagy működési) folyamatok leírására az EPC-modellezési technikát alkalmaztuk. Az EPC-ben a fő objektumok a következők:

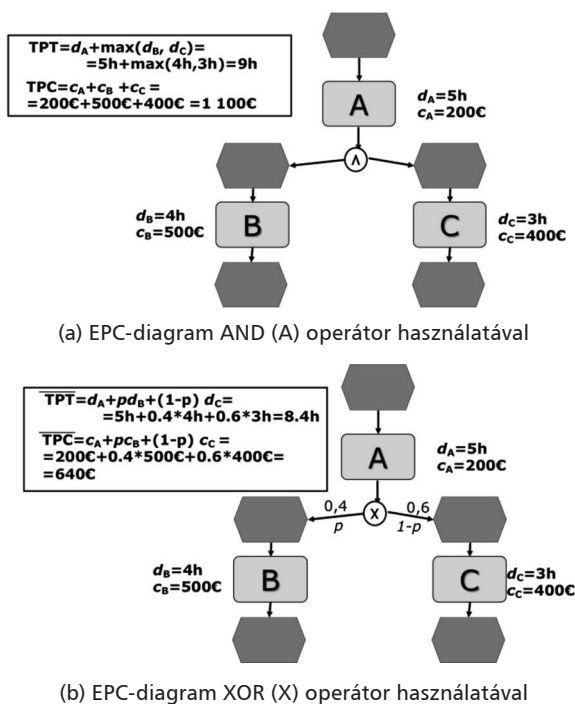
1. *Esemény*: valamely folyamat vagy tevékenység kezdetét, vagy végét jelölő időpont. Idő-, költség- és erőforrásszükséglete nincs. Jellemzően egy tevékenység kiváltó oka vagy eredménye lehet. Jelölése az EPC-diagramban általában egy hatszög.
2. *Tevékenység*: olyan, egyetlen célhoz rendelt munkaegység, mely adott időben, időtartam alatt játszódik le, és erőforrást, költséget igényel. Jelölése általában egy lekerekített téglalap.
3. *Logikai műveletek (operátorok)*: az események és/vagy tevékenységek logikai kapcsolatát jelölik. Általában kétféle operátort használunk: (a) **ÉS (AND)**, amikor a végrehajtás az (ágakban) párhuzamosan zajlik, valamint (b) a **KIZÁRÓ VAGY (XOR)**, azaz döntési operátor, amikor a lehetséges folyamatágak közül kell választanunk pontosan egyet.

Az **ÉS** operátor lehetővé teszi a feladatok egyidejű futtatását párhuzamos ágakban, míg az **XOR** operátort döntési operátornak nevezzük, mert el kell döntenünk, hogy melyik ágat hajtjuk végre. A **VAGY** operátorok azt jelzik, hogy legalább egy feltételnek teljesülnie kell, mielőtt egy esemény vagy tevékenység végrehajtásra kerülhet, és ritkán használatosak, valamint ezek az **XOR** és **AND** operátorok kombinációjaként is kifejezhetők. Az EPC-ben időtartam, valamint költség csak tevékenységekhez rendelhető. Az események csak a tevékenységek kiváltói/indítói vagy a befejezését/eredményét jelzik, ezek jól naplózhatók egy folyamatirányítási vagy vállalatirányítási rendszerben.

Az XOR-operátorok ágaihoz a valószínűségi vagy relatív gyakorisági értékek rendelkezhetők, ahol a valószínűség/relatív gyakoriság teljes összegének egynek kell lennie, ha az összes ágat figyelembe vesszük. Megjegyzendő, hogy a feltételes valószínűségi értéktől függően, a különböző ágakban, különböző részfolyamatok fognak lejátszódni egy-egy konkrét végrehajtás, lefutás során.

Az 1. ábra egy egyszerű példát mutat a két logikai operátor eltérő használatára. Az 5. ábra pedig egy valós folyamatot mutat be, amely vegyesen tartalmazza mindkét logikai operátort.

1. ábra  
Három tevékenység ütemezése (TPT) és költségeinek számítása (TPC), ahol az időtartamok (d) órában (h) és a költségek (c) euróban értendők



Forrás: saját szerkesztés

Az 1. ábra ugyanannak az üzleti folyamatnak két változatát mutatja, ahol három-három feladat (A: vevői reklamáció fogadása és feldolgozása, B: az érintett tétel elkülönítése, zárolása és átvizsgálása, C: egyeztetés a vevővel a hiba pontosabb megismerése, a reklamáció jogosságának eldöntése érdekében) közül a B és C tevékenység AND (1. ábra (a)), illetve XOR (1. ábra (b)) operátorokkal vannak összekapcsolva. Az AND operátorok azt jelzik, hogy a B és C tevékenységek párhuzamosan kerülnek végrehajtásra az A folyamat végrehajtása után. A teljes folyamat akkor lesz kész, ha minden folyamat befejeződik ( $TPT=d_A+\max(d_B,d_C)$ ), továbbá a költségek a soros vagy párhuzamos művelettől függetlenül ugyanúgy keletkeznek ( $TPC=c_A+c_B+c_C$ ). Az AND operátorral ellentétben az XOR operátor esetében ebben a folyamatszakaszban csak a B: zárolás, átvizsgálás, vagy csak a C: reklamáció pontosításnak kérése, jogosságának mérlegelése történik meg, mielőtt további tevékenységeket hajtának végre. Ilyenkor

csak a TPT- és TPC-értékek várható értékeit, vagy több lefutás esetén azok átlagait tudjuk számítani, mert vagy a B vagy a C ág fog csak végrehajtódni  $p=0,4$ ,  $1-p=0,6$  (feltételes) valószínűségi értékekkel. Feltételes valószínűségek akkor jelennek meg a modellben, ha egy döntés – például a (b) ábra folyamatrészletében A-val jelölve – már eleve egy korábbi döntéstől függően fog végrehajtódni vagy nem végrehajtódni. Az átfutási idő, illetve költségigény várható értékének számítása ekkor:  $TPT=d_A+pd_B+(1-p)d_C$  és  $TPC=c_A+pc_B+(1-p)c_C$ . A várható értékek kiszámításakor ezeket a feltételes valószínűségi értékeket vagy relatív gyakoriságokat, mint szorzótényezőket vesszük figyelembe. A valószínűségek vagy relatív gyakoriságok az előző futtatásokból, végrehajtásokból származnak.

### Folyamatszabályozás

Mind az eloszlásfüggetlen, mind a hagyományos szabályozási kártyák egyaránt egy folyamat időbeli nyomon követésére és ellenőrzésére használható módszerek, de az adatok kezelésében különböznek ezek a módszerek egymástól. A hagyományos egyváltozós szabályozási kártyák azon a feltételezésen alapulnak, hogy a megfigyelt adatok normális eloszlást követnek, és a folyamat átlagában vagy varianciájában bekövetkező változások kimutatására szolgálnak. Általában statisztikai mérőszámokat, például az átlagot és a szórást használják a beavatkozási határértékek kiszámításához és az ellenőrzési pontok azonosításához. Ha azonban az adatok nem követnek normális eloszlást, akkor a hagyományos szabályozókártyák nem feltétlenül hatékonyak a folyamat változásainak kimutatására (Albers, Kallenberg & Nurdiani, 2004). Ezzel szemben az eloszlásfüggetlen szabályozókártyák nem támasztanak feltételeket az adatok megoszlását illetően. A beavatkozási határok meghatározására nemparametrikus statisztikai módszereket használnak, például medián-, terjedelem- vagy előjelteszteket. Az eloszlásfüggetlen szabályozókártyák robusztusabbak és alkalmasak a nem-normális adatokkal rendelkező folyamatok nyomon követésére (Chakraborti & Graham, 2019). Az eloszlásfüggetlen szabályozókártyák különösen hasznosak lehetnek kis mintanagyság vagy rövid gyártási sorozatok (nagy rugalmasságú, job-shop rendszerű gyártás) esetén (Perdikis, Celano & Chakraborti, 2024), amikor a vizsgálatok időtartama a gyártási folyamathoz képest hosszú, így kevés megfigyelési pontunk lehet (Li, Pei & Wu, 2020), vagy amikor a normalitási feltételezések nem tesztelhetők vagy nem teljesülnek. A tevékenységelfutási idők általában exponenciális eloszlást követnek, ha a tevékenység tárgya változékony, például banki ügyintézés, orvosi vagy karbantartási vizsgálatok, tanácsadás esetén. Ugyanakkor az eloszlásfüggetlen szabályozókártyák a hagyományos egyváltozós szabályozókártyáknál kevésbé érzékenyek lehetnek a kis folyamatváltozások észlelésében, különösen, ha a folyamat normális eloszlást követ, így a helyes szabályozókártya megválasztása elengedhetetlen a folyamatok hatékony szabályozása érdekében.

Összességében az eloszlásfüggetlen és a hagyományos egyváltozós szabályozókártyák közötti választás az ellenőrzött folyamat jellegétől, a gyűjtött adatoktól és a

minőségellenőrzési program konkrét céljaitól függenek. Bár az eloszlásfüggetlen szabályozókártyák rugalmasabbak és robusztusabbak, mint a hagyományos egyváltozós szabályozókártyák, használatuk során mégis vannak olyan feltételezések és korlátozások, amelyeket figyelembe kell venni. A hagyományos egyváltozós szabályozási kártyákhoz hasonlóan a nemparaméteres szabályozókártyák is feltételezik, hogy az adatok függetlenek és azonos eloszlásúak. E feltételezés megsértése, mint például az autokorreláció (pl. technológiai folyamatokból nagy frekvenciájú automatikus adatgyűjtés, vagy szerszámkopás esetén – bővebben lásd (Kim, 2015; Harris et al., 2016)) vagy a heteroszkedaszticitás, befolyásolhatja az ellenőrzőkártyák alkalmazhatóságát.

Meg kell jegyezni, hogy az eloszlásfüggetlen szabályozókártyákat úgy tervezték, hogy inkább a középpont változását érzékeli jól, mintsem a változékonyság (pl. szórás) változását. Ha a változékonyság a megfigyelt folyamat kritikus szempontja, akkor más típusú szabályozási diagram, például a szórás egyváltozós diagramja vagy egy többváltozós diagram megfelelőbb választás lehet. A mediánkártyák a folyamatadatok mediánját használják a folyamat időbeli nyomon követésére. A medián kevésbé érzékeny a szélsőértékekre és kiugró értékekre, mint az átlag, így hasznos statisztika a nem normális eloszlást követő adatok esetében is (Castagliola & Figueiredo, 2013). Másik megoldásként a terjedelmkártyák alkalmazhatók, amelyek a folyamatadatok terjedelmét (azaz a maximális és minimális értékek közötti különbséget) használják a folyamatadatok időbeli változékonyságának nyomon követésére. A terjedelmkártyák hasznosak a folyamat szórásában bekövetkező elmozdulások kimutatására is, függetlenül az alapul szolgáló eloszlástól (Mukherjee & Chakraborti, 2012). Az előjelkártyák az egymást követő folyamatmérések közötti különbségek előjeleit használják a folyamat időbeli nyomon követésére. Az előjelkártyákat gyakran használják dichotóm adatokra vagy dichotóm (bináris) formába konvertálható adatokra is, mint például az orvosi diagnosztikai eredmények esetében adott betegségre, kórokozóra nézve pozitív vagy negatív eredményt ad-e a vizsgálat (Bakir, 2004; Weiß & Atzmüller, 2010). A Wilcoxon-Mann-Whitney kártyák a Wilcoxon rangsorösszeg-tesztet vagy a Mann-Whitney U-tesztet használják a folyamatadatoknak egy referenciaértékkel való összehasonlítására (például palackozó üzemben a töltöttségi szint követésére – lásd bővebben (Abid et al., 2017)). A tesztek nem parametrikusak, és képesek a középértékek kimutatására, függetlenül az alapul szolgáló eloszlástól (Jayathavaj & Pongpullponsak, 2014; Mukherjee & Sen, 2015). A futáskártyák a futások (azaz az azonos előjelű vagy értékű egymást követő adatpontok) gyakoriságát használják a folyamat időbeli nyomon követésére. A futási diagramok dichotóm és nem dichotóm adatokra egyaránt használhatók (Castagliola & Figueiredo, 2013).

Ebben a tanulmányban különböző szabályozókártyákat hasonlítunk össze üzleti folyamatokon. Az elemzett szabályozókártyák a következők: (1) hagyományos Shewhart átlagkártya ( $\bar{X}$ -bar), (2) eloszlásfüggetlen átlagkártya, (3) mediánkártya és (4) standardizált rangátlagkártya.

### 1. Átlagkártya

A hagyományos Shewhart-féle átlagkártya a minta átlagát használja a diagram statisztikájaként. Ha a minták száma  $m$ , amelyek mindegyike  $n$  mintamérettel rendelkezik, akkor  $X_{ij}$  az  $i$ -edik mintához tartozó  $j$ -edik megfigyelést jelöli (ahol  $i=1, \dots, m$  és  $j=1, \dots, n$ ). A hagyományos átlagkártya feltételezi, hogy az  $X_{ij}$  normális eloszlást követ  $\mu$  várható értékkel és  $\sigma$  szórással ( $X_{ij} \sim N(\mu, \sigma)$ ). Ekkor a felső és alsó beavatkozási határértékeket (Upper Control Limit, UCL és Lower Control Limit, LCL) a következőképpen számítjuk ki (Goedhart, Schoonhoven & Does, 2017):

$$UCL = \mu + k_{\alpha} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (1)$$

$$LCL = \mu - k_{\alpha} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (2)$$

ahol  $\alpha$  a téves riasztási valószínűség (False Alarm Probability, FAP) és  $k$  a megfelelő kiválasztott  $\alpha$  értékhez tartozó ellenőrzési együttható,  $k_{\alpha} = \Phi^{-1}(1 - \alpha/2)$  és  $\Phi^{-1}(x)$  a kumulatív standard normális eloszlásfüggvény inverze.

### 2. Eloszlásfüggetlen átlagkártya

Az átlagkártya eloszlásfüggetlen változata (a továbbiakban DF  $\bar{X}$ -bar) ugyanazt a logikát követi az ellenőrző diagram ábrázolásánál. Az egyetlen különbség a beavatkozási határok kiszámításában van. Míg a hagyományos átlagkártya a beavatkozási határokat egy  $\alpha$  érték meghatározásával állítja be, és utána analitikusan kiszámítja az  $k$  értéket, addig az eloszlásfüggetlen átlagkártya a permutációt használja a beavatkozási határok kiszámításához. A permutáció során Monte Carlo-szimulációt végeznek, amelynek célja, hogy megtalálják az optimális  $k$  értéket a kívánt FAP-érték eléréséhez (Capizzi & Masarotto, 2018).

### 3. Mediánkártya

A mediánkártya esetében a minta mediánja a következőképpen számítható (Castagliola & Figueiredo, 2013):

$$\tilde{X}_i = \begin{cases} X_{i,(n+1)/2}, & \text{ha } n \text{ páros} \\ \frac{X_{i,(n/2)} + X_{i,(n/2+1)}}{2}, & \text{ha } n \text{ páratlan} \end{cases} \quad (3)$$

ahol  $\tilde{X}_i$  a minta mediánja az  $i$ -edik mintára. A beavatkozási határok kiszámítása a következőképpen történik:  $UCL = \tilde{X} + k\sigma$ ,  $LCL = \tilde{X} - k\sigma$ .

### 4. Standardizált rangátlag kártya

A standardizált rangátlag kártya (Standardized Mean Rank, a továbbiakban SMR-kártya)  $R_{ij}=1,2,\dots,N$  egész értékeket rendel a  $X_{ij}$  megfigyelésekhez a mintában lévő sorrendjük alapján, ahol az összevont minta mérete  $N$  és  $N = m \times n$ . A rangértékek átlaga és szórása a következőképpen írható le (Jones-Farmer, Jordan & Champ, 2009):

$$\overline{R_{ij}} = \frac{N+1}{2} \quad (4)$$

$$var(R_{ij}) = \frac{(N-1)(N+1)}{12} \quad (5)$$

Ha mintákra számoljuk ki, az átlag és a szórás a következőképpen fejezhető ki:

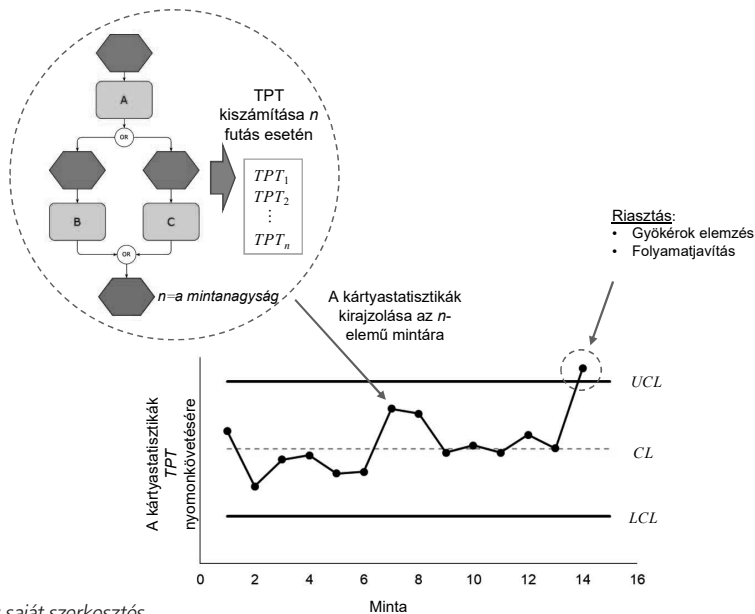
$$E(\bar{R}_i) = \frac{N+1}{2} \quad (6)$$

$$\text{var}(\bar{R}_i) = \frac{(N-n)(N+1)}{12n} \quad (7)$$

A standardizálás után a véletlen változó:

$$Z_i = \frac{\bar{R}_i - E(\bar{R}_i)}{\sqrt{\text{var}(\bar{R}_i)}} \quad (8)$$

**Az üzleti folyamat átfutási idejére illesztett szabályozókártya (BP-kártya) alkalmazásának sematikus ábrája**



Forrás: saját szerkesztés

a központi határeloszlás tétele alapján standard normális eloszlást követ, ha *n* elég nagy. Az SMR-kártya esetében a közép vonal nulla (*CL*=0), a beavatkozási határok *UCL* és *LCL* pedig szimuláció alapján kerülnek becslésre, ahol az optimalizálás célja a kívánt FAP-érték elérése.

**Szabályozókártyák alkalmazása az üzleti folyamatok területén**

A 2. ábra megmutatja, hogy a szabályozókártyák és az üzleti folyamatok modellezésének módszerei hogyan kombinálhatók.

A javasolt BP-kártya célja az üzleti folyamat nyomon követése. Amint a 2. ábra mutatja, a javasolt BP-kártya minden egyes adatpontja ugyanazon üzleti folyamat iteratív megfigyelésével és mérésével jön létre. Magát az üzleti folyamatot EPC-vel modellezzük. Az olyan jellemzőket, mint az

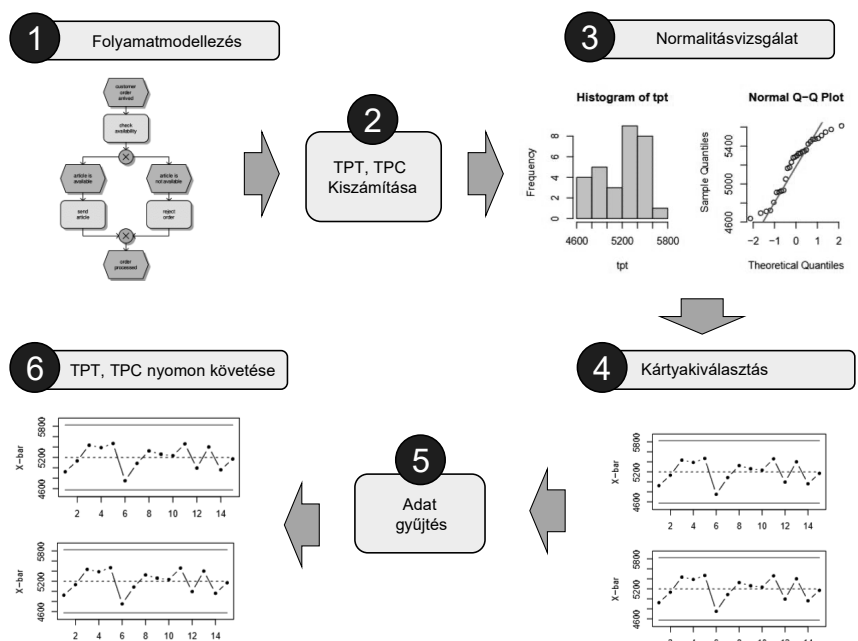
átfutási időt (TPT) vagy a folyamatköltségeket (TPC) minden egyes alkalommal, amikor a teljes üzleti folyamat befejeződik, kiszámítjuk, vagy egy információs rendszerből, mely e tevékenységek idő- és költség-szükségeit figyeli, kinyerjük. Az egyes futások TPT- vagy TPC-értékei mintákba rendezhetők, és az *n* megfigyelésekből álló mintából kiszámítható a szabályozókártya-statisztika (lásd 2. ábra). Ha a beavatkozási határokon kívüli jelet észlelünk, a kártya jelzi, hogy az üzleti folyamat várható időtartama vagy várható összköltsége megváltozik. Ebben az esetben gyökérok keresést kell végezni

2. ábra

a problémák gyökérének megtalálása érdekében. Megjegyzendő, hogy nem csak az átfutási idő (TPT), hanem a folyamatköltség (TPC), vagy akár más számított jellemző is nyomon követhető, ugyanakkor a 2. ábra, az egyszerűség kedvéért csak a TPT nyomon követését mutatja. Az üzleti folyamat nyomon követéséhez ki kell választani az BP-kártya típusát és meg kell tervezni a szabályozó kártya paramétereit. A szabályozó kártyák elemzésekor fontos figyelembe venni, hogy lehetnek olyan esetek, amikor csak egy beavatkozási határérték alkalmazható vagy alkalmazandó. Ez különösen akkor igaz, ha az alsó ellenőrzési határérték nulla alá esik, vagy olyan helyzetekben, amikor logikailag lehetetlen feltételek állnak fenn. A 3. ábra a javasolt kártyaillesztési eljárást mutatja be.

3. ábra

**Szabályozókártya-illesztési folyamat üzleti folyamatok jellemzőinek vizsgálatára esetén**



Forrás: saját szerkesztés

Amint a 3. ábra mutatja, a javasolt BP-kártya tervezése és alkalmazása hat lépésből áll: (1) folyamatmodellezés, (2) a folyamatjellemzők, pl. TPT és TPC kiszámítása, (3) normalitásvizsgálat, (4) szabályozókártya kiválasztása és paramétereinek beállítása, (5) folyamatos adatgyűjtés, és végül (6) a BP-kártya alkalmazása, a folyamatok nyomon követése. A következőkben részletesen is ismertetjük a fent említett lépéseket.

### 1. Folyamatmodellezés

Először a szabályozandó üzleti folyamatokat modellezni kell. Meg kell határozni a folyamatban szereplő tevékenységeket, eseményeket és az azokat összekötő logikai operátorokat. A modellezés során fel kell tární minden lehetséges párhuzamos végrehajtást, valamint minden döntési pontot. Ebben a lépésben az EPC-diagram használata javasolt az üzleti folyamatok modellezéséhez.

### 2. Folyamatjellemzők kiszámítása

Az (1) lépésben meghatározott üzleti folyamat logikai struktúrája alapján meghatározzuk a folyamat szabályozandó jellemzőit, pl. átfutási idejét (TPT), vagy költségigényét (TPC). Ennél a lépésnél az adatokat többször kell megfigyelni, és minden egyes lefutás esetén meg kell határozni a folyamatjellemzőket. Erre azért van szükség, mert a következő lépésekben e folyamatjellemzők adatainak sorozata lesz az alapja a későbbi lépéseknek, mint pl. a normalitásvizsgálat és a szabályozókártya kiválasztása. Ennél a lépésnél javasoljuk, hogy a kiválasztott üzleti folyamat futtatásához legalább 30-40 megfigyelést végezzünk. Ugyanis ekkor legtöbbször a normalitásvizsgálat is elvégezhető (Ahad et al., 2011).

### 3. Normalitásvizsgálat

Egy üzleti folyamat általában több feladatból (tevékenységből) áll, és ezek időtartamai és költségigényei nem feltétlenül követnek azonos eloszlást. Mivel ekkor nem teljesül a centrális határeloszlás tétele, nem garantálható, hogy a teljes üzleti folyamat átfutási ideje vagy teljes költsége normális eloszlást kövessen. Ugyanakkor a normalitás vizsgálata azért fontos, mert ennek eredménye határozza meg, hogy használhatók-e a hagyományos Shewhart-kártyák, mint például az átlagkártya, vagy inkább eloszlásfüggetlen szabályozókártyákat kell alkalmazni és paramétereiket. A normalitásvizsgálat elvégzéséhez mi, főleg kevés megfigyelés esetén, a Shapiro-Wilk tesztet javasoljuk, mivel jó konvergenciatulajdonságokkal rendelkezik, és széles körben használt módszer a normalitás vizsgálatára (Das & Imon, 2016). Ugyanakkor alkalmazható még a Kolmogorov-Smirnov és nagy minta esetén az Anderson Darling teszt is. A Shapiro-Wilk teszt a megfigyelt adatértékek és a megfelelő normálértékek közötti korreláción alapul. A tesztstatisztika a következőképpen írható fel:

$$W = \frac{(\sum a_i y_i)^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2} \quad (9)$$

ahol  $y_i$  egy rendezett mintában az  $i$ -edik megfigyelt érték, és  $a_i$  az  $i$ -edik súlytényező, amelyet a normális eloszlásból

származó standardizált minta ( $m$ ) átlagából és  $V$  kovarianciamátrixából számítunk ki a következő módon:

$$(a_1 \dots a_i \dots a_n) = \frac{m' V^{-1}}{\sqrt{m' V^{-1} V^{-1} m}} \quad (10)$$

A normalitás esetén  $W$  értéke közel 1, és a hipotézisvizsgálat során a normalitás meglétét elvetjük, ha  $W$  értéke szignifikánsan kisebb, mint 1.

### 4. Szabályozókártya kiválasztása

Ebben a lépésben kiválasztják a megfelelő szabályozó kártyát. Ha a 3. lépés megerősíti a normális eloszlás felfételezését, akkor pl. a legegyszerűbb, a Shewhart-féle átlagkártya is használható. Ellenkező esetben érdemes lehet egy eloszlásfüggetlen szabályozókártyát választani. A legjobban teljesítő eloszlásfüggetlen szabályozókártyák kiválasztásához figyelembe vehetjük, hogy a kártya átlagosan hány mintavételig használható, mielőtt elsőfajú hibát vétünk, téves riasztást kapunk szabályozott folyamat mellett (Average Run Length 0,  $ARL_0$ ), illetve átlagosan milyen hamar (hány mintavétel után) jelez a szabályozatlanná válást követően ( $ARL_1$ ), azaz hányszor vétünk másodfajú hibát. Fontos elvárás, hogy a kártyák az eltolódásokat minél hamarabb jelezzék, viszont a stabil folyamatnál minél kevesebb legyen a hamis riasztás, a túlszabályozás. A szabályozókártyák teljesítményét különböző tényezők befolyásolhatják, mint például a várható folyamateltolódás nagysága vagy a minta mérete. Az  $ARL$ -értékek szimulációkkal becsülhetők. Ebben a tanulmányban ajánlásokat adunk a legjobb teljesítményű szabályozókártya kiválasztására a mintaméret és a várható eltolódás mértéke figyelembevételének függvényében.

### 5. Adatgyűjtés

A megfelelő szabályozókártya kiválasztása és megtervezése, azaz pl. (a) a minta méretének meghatározása, (b) a beavatkozási határok kiszámítása után a szabályozókártyák kiválasztásának első köre befejeződik. Ugyanakkor ahhoz, hogy az üzleti folyamatok szabályozottságát figyelemmel lehessen kísérni és szükség esetén a folyamatba is be lehessen avatkozni, vagy akár a kártyaillesztés felülvizsgálatára is sor kerüljön, folyamatos adatgyűjtésre van szükség. Ebben a lépésben egy vállalati információs (ERP) rendszer integrálása nagymértékben automatizálhatja a teljes üzleti folyamat tevékenységadatainak begyűjtését és az üzleti folyamat időtartamának és költségének kiszámítását.

### 6. Folyamatok nyomon követése

Ha az adatokat folyamatosan gyűjtik, minden egyes új folyamatjellemzőt a megfelelő (kiválasztott) szabályozókártyákkal kell kiértékelni. Szabályozatlan folyamatjelzés esetén meg kell vizsgálni az eltolódás okát, és korrekciós beavatkozást kell végrehajtani. Szükség esetén felül kell vizsgálni a szabályozókártyák illesztésének feltételeit.

## Átlagos futáshosszak meghatározása szimulációk segítségével

A szabályozókártyák egyik értékelési lehetősége, hogy meddig tekint egy szabályozott folyamatot szabályozottnak ( $ARL_0$ ) és mikor veszi észre, hogy a folyamat már eltolódik és nem lesz többé szabályozott ( $ARL_1$ ). Az összehasonlítás érdekében általában szimulációkat végzünk. A szimuláció célja, hogy az  $ARL_0$  értékét minél nagyobbra, az  $ARL_1$  értékét minél kisebbre állítsuk be, hogy a kártya minél kevesebb téves riasztást adjon, és minél gyorsabban jelezze a valódi folyamatváltozást.

Szabályozott esetre ( $ARL_0$ ) végzett szimulációk lépései:

1. minden tevékenység esetén az eloszlások meghatározása,
2. Monte-Carlo-szimuláció a tevékenységértékek generálására,
3. folyamatjellemzők (pl. TPT) meghatározása,
4. kártyák paramétereinek meghatározása, a kártya illesztése,
5. minden kártya esetén meghatározzuk az első szabályozatlanságot jelző érték helyét,
6. 2-5 lépések ismétlése, ahol a szabályozottnak tekintett mintahosszakat minden esetben elmentjük,
7. az eredmények alapján határozzuk meg az átlagos futáshosszakat, vagyis az  $ARL_0$ -át.

Mi az eloszlás meghatározására a *PearsonDS* R csomagot használtuk az eloszlás négy momentumának (átlag, szórás, ferdeség és csúcosság) becslésére. Ez a programcsomag többféle: exponenciális, Weibull, normális,  $\beta$ -,  $\gamma$ - (a Pearson eloszláscsaládba tartozó) eloszlásokat képes detektálni. Miután minden tevékenységre megkaptuk a feltételezhetően követett eloszlás négy momentumát, a becsült eloszlással (a négy becsült momentum felhasználásával) véletlenszerű időtartamértékeket generálunk. A szimulált átfutási időt minden egyes iterációban a generált tevékenység-időtartamok alapján számoljuk ki. Az  $ARL_0$  értékeket minden egyes vizsgált szabályozókártya alkalmazása esetén a 4-5. lépésben leírtak szerint számoltuk ki. Ezt a szimulációt minden egyes szabályozókártya esetén különböző mintamérettel is elvégezzük.

A szabályozatlan folyamat ( $ARL_1$ ) szimulációs értékelése nagyon hasonló módon történik:

1. minden tevékenység esetén az eloszlások meghatározása,
2. folyamatjellemzők (pl. TPT) meghatározása,
3. minden sorozatban egy eltolódás generálása,
4. a beavatkozási határértékek kiszámítása minden egyes szabályozókártya esetén, figyelembe véve az eltolódás bekövetkezése előtti első  $m$  értékre vonatkozó kártyastatisztikákat,
5. az eltolódás kezdőpontjától az első szabályozatlanságot jelző értékig terjedő időtartam kiszámítása (futás hossza),
6. ismétljük a 2-5 lépést és mentsük el a futáshosszakat,
7. az eredmények alapján határozzuk meg az átlagos futáshosszakat, vagyis az  $ARL_1$ -et.

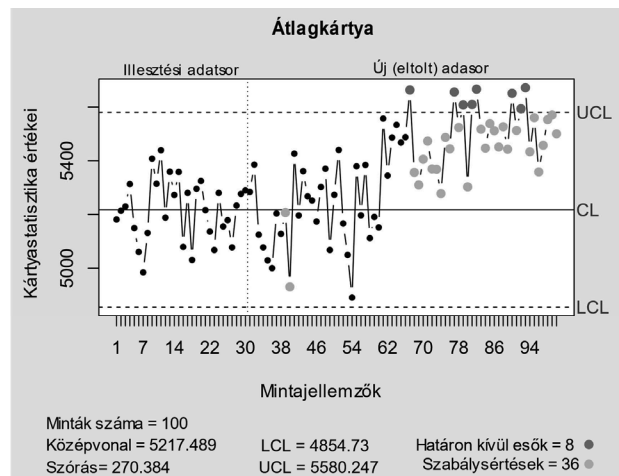
Láthatjuk, hogy a szimuláció felépítése hasonló, mint ahogy az  $ARL_0$  értéket becsüljük. A legfontosabb különbség az eltolás generálása. Az eltoló  $TPT$ -sorozatot a következőképpen adhatjuk meg:

$$TPT_s(i) = \begin{cases} TPT_g(i), & \text{ha } i < l \\ TPT_g(i) + z\sigma, & \text{ha } i \geq l \end{cases} \quad (11)$$

ahol  $TPT_g(i)$  a generált  $TPT$ -sorozat  $i$ -edik értéke,  $TPT_s(i)$  az eltoló  $TPT$ -sorozat  $i$ -edik értéke,  $\sigma$  a szabályozott folyamat szórása,  $l$  az eltolás helyét jelképező egész szám,  $z$  az eltolási együttható, mellyel így a  $TPT_g(i)$  értéket a szórás  $z$  szeresével növeljük. A  $z$  értéke lehetne negatív is de ez a gyakorlatban ritkán fordul elő, szabályozási szempontból pedig ugyanúgy kezelhető. A 4. ábra egy példát mutat egy generált folyamateltolódásra.

4. ábra

### Példa egy átfutási idő adatsorozat eltolódására



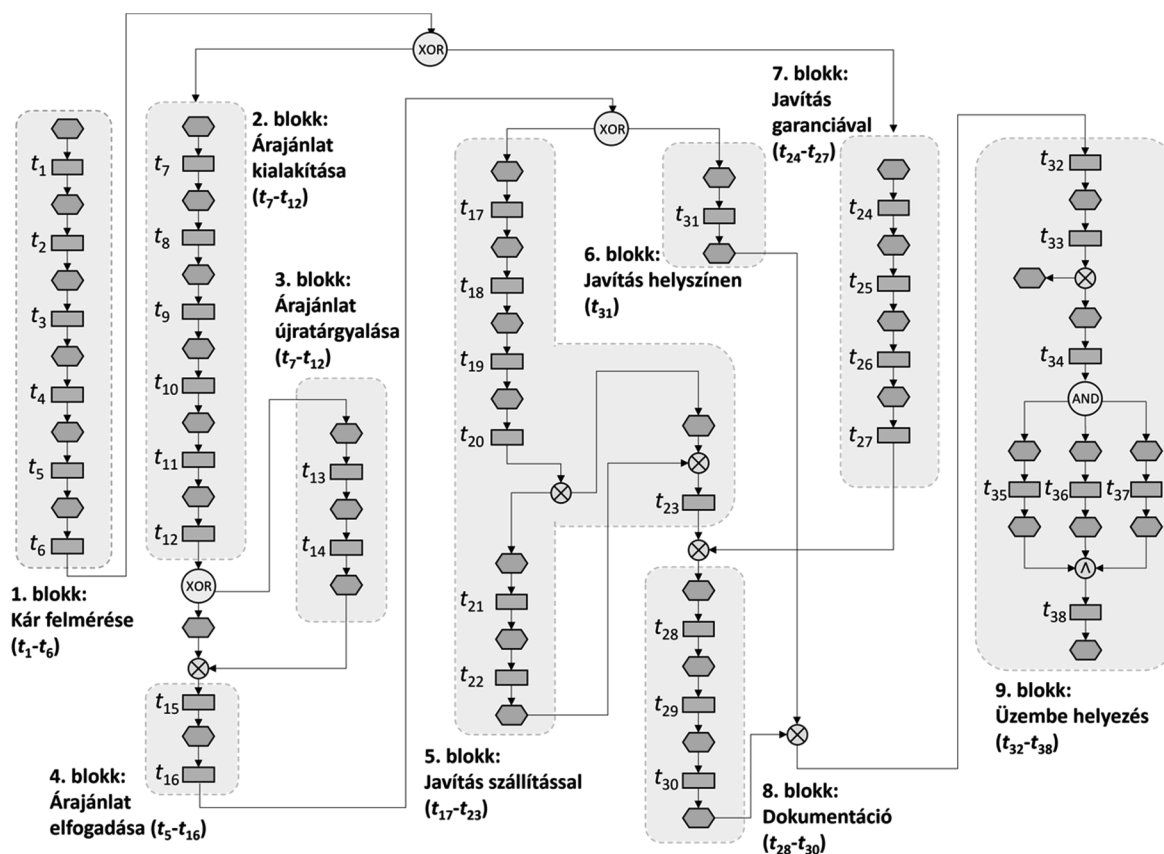
Forrás: saját szerkesztés

A 4. ábra egy átlagkártya diagramját mutatja, ahol az első harminc mintát a kártya kalibrálására, azaz a középvonal és a beavatkozási határok kiszámítására használják. Egy  $z=1,5$  elmozdulás a hatvanadik minta után következik be, és a diagram a hatvanhetedik mintánál érzékeli az elmozdulást; ezért az  $ARL_1$  futási hossz ebben az esetben hétnek felel meg. Ha ezt a generálást és illesztést tartalmazó iterációt többször megismételjük, akkor kiszámíthatjuk az átlagos futáshosszt, vagyis az  $ARL_1$  értéket. A szimulációt különböző mintamérettel ( $n$ ) és különböző eltolódási együtthatókkal ( $z$ ) végezzük.

A javasolt módszer alkalmazása egy vállalati esettanulmányon keresztül

Ebben a fejezetben bemutatjuk a javasolt kártya-illesztési folyamatot egy gyakorlati példán keresztül, majd összehasonlítjuk a különböző szabályozókártyák teljesítményét. A gyakorlati példa egy veszprémi autógyártó vállalat 38 tevékenységből álló üzleti (eseti karbantartási) folyamata, melynek struktúráját az 5. ábra mutatja be.

A vállalati példa folyamatábrája

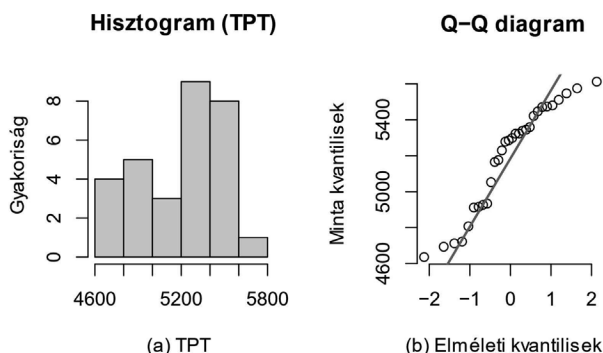


Forrás: saját szerkesztés

A termelő berendezésekre vonatkozó gépjavítási folyamat 9 nagyobb blokkból áll. Ugyanaz az üzleti folyamatmodell képes lefedni az azonos elven működtetett, azonos karbantartási logika alá tartozó, hasonló termelési beágyazottsággal, kritikussággal rendelkező berendezések eseti karbantartási folyamatát. A KKV alapvetően rendelésre gyárt, így nagy készletek híján a termelő berendezések meghibásodása a vevőkiszolgálást veszélyezteti. A helyreállításig a megkezdett tételek befejezését, új rendelések befogadását hátráltatja a meghibásodás. A berendezések nincsenek állapotfüggő karbantartást segítő szenzorokkal ellátva, a ciklikus karbantartás megfelelő ütemezése még nem alakult ki a gépek változó igénybevétele és a szükséges karbantartási kompetencia hiánya miatt. A jelen vizsgálat célja a karbantartás mint igénybevett szolgáltatás átfutási idejének és költségének szabályozott szinten tartása, e szint meghatározása, hogy azt később folyamatfejlesztéssel javítani tudják. Az első blokkban (5. ábra) a kár – a meghibásodott összetevők, alkatrészek és a hibamódok – felmérése történik meg, majd attól függően válik szét a folyamat, hogy van-e garancia az adott gépre vonatkozóan. Garancia esetén a javítás kezdetét veszi (7. blokk), ami történhet a helyszínen is (6. blokk), vagy a karbantartást végző partner telephelyén (5. blokk). Ha nincs garancia az adott gépre, akkor árajánlatot alakítanak ki (2., 3., 4. blokk), majd ez után szintén történhet a javítás a vállalat, vagy a karbantartási szolgáltatást nyújtó partner

telephelyén. Sikeres javítást követően dokumentációra (8. blokk), majd pedig újbóli üzembe helyezésre kerül sor (9. blokk). Minden tevékenység időtartama független az előző tevékenység időtartamától, ugyanakkor minden tevékenység-időtartamnak egyedi eloszlása van, ahol a normalitás általában nem teljesül. A folyamat átfutási idejét (TPT-t) a tevékenységek időtartamai alapján számoljuk a logikai struktúrát figyelembe véve. Először is megvizsgáljuk az átfutási idő, mint szabályozandó folyamatjellemző eloszlását, melyet grafikusán az 6. ábra mutat be.

6. ábra Az átfutási időre (TPT) vonatkozó normalitásvizsgálat diagramjai



Forrás: saját szerkesztés

Ahogy a 6. ábra baloldala mutatja, hogy a megoszlás hisztogramja ferde, ami arra utal, hogy a folyamatjellemző nem követ normális eloszlást. A 6. ábra jobb oldala szintén megerősíti ezt a feltételezést, mivel a pontok rosszul illeszkednek a normalitást feltételező Q-Q egyenesre. E megfigyelések statisztikai megerősítésére normalitásvizsgálatokat is végeztünk, például Anderson-Darling és Kolmogorov-Smirnov és természetesen a javasolt Shapiro-Wilk teszteket. A 2. táblázat a normalitásvizsgálatok eredményeit mutatja.

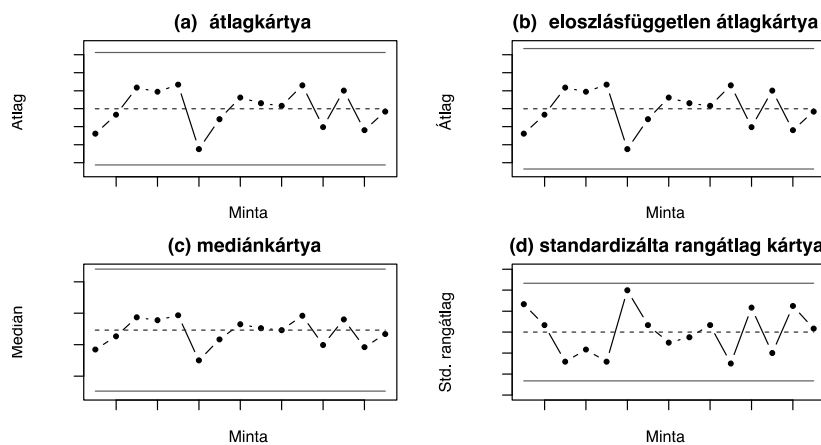
2. táblázat

A normalitásvizsgálat eredményei

Normalitás vizsgálat	Teszt statisztika	p-érték
Anderson-Darling	A=0,992	0,017
Kolmogorov-Smirnov	D=1,000	<0,001
Shapiro-Wilk	W=0,913	<0,001

Forrás: saját szerkesztés

A szabályozókártyák illesztése



Forrás: saját szerkesztés

Ahogy azt a 2. táblázat mutatja, a *p*-értékek valamennyi normalitásteszt esetén 0,05-nél kisebbek, ezért a nullhipotézis (normális eloszlás létezése) elvethető, és megerősítik, hogy a *TPT* nem normális eloszlást követ. Mivel a hagyományos átlagkártya normalitásra vonatkozó feltételezése nem teljesül, eloszlásfüggetlen szabályozókártyák alkalmazását érdemes megfontolni. Ebben a tanulmányban a hagyományos átlagkártya mellett három eloszlásfüggetlen szabályozókártyát is tesztelünk: (1) az eloszlásfüggetlen átlagkártyát, (2) a mediánkártyát és (3) a standardizált rangátlag kártyát. A 7. ábra az üzleti folyamatra illesztett szabályozókártyák összehasonlítását mutatja. Ahogy a 7. ábra mutatja, a szabályozókártyákon a minták nagyon hasonlóak a hagyományos és eloszlásfüggetlen átlag, valamint a mediánkártyák esetén (lásd: 7.

ábra (a-c)), ugyanakkor a mintázat különbözik a standardizált rangátlagkártyák esetén (lásd: 7. ábra (d)). A négy szabályozókártya egyike sem jelez határértéken kívüli jelet; az elfogadási intervallum szélességét illetően azonban különböznek egymástól. A hagyományos és az eloszlásfüggetlen átlagkártya beavatkozási határai csak nagyon kis mértékben térnek el, ugyanakkor a mediánkártya megengedőbb szabályozási stratégiát követ, ugyanis itt a minta szórásához képest szélesebbek a beavatkozási határok. A standardizált rangátlagkártya adja a legszigorúbb beavatkozási határokat. Ez a megfigyelés azt sugallja, hogy a mediánkártya jó választás lehet, ha a cél a maximális  $ARL_0$  érték elérése (hosszú beavatkozásmentes futások) és a standardizált rangátlagkártyák lesznek hatékonyabbak, ha az eltolódást minél hamarabb szeretnénk detektálni, vagyis az  $ARL_1$ -et szeretnénk minimalizálni.

A javasolt szabályozókártyák teljesítményének elemzésére az üzleti folyamat tevékenységeinek időtartamadatait felhasználva szimulációt végeztünk. Az elemzés első

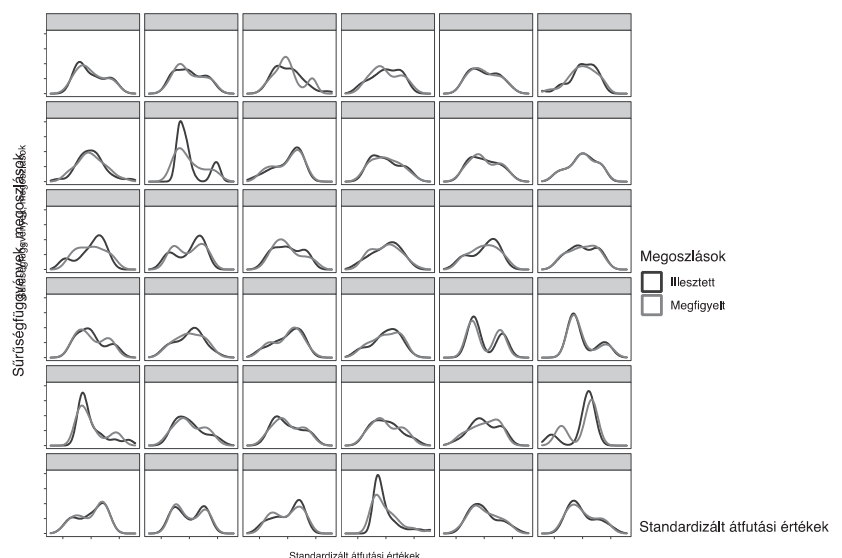
7. ábra

lépéseként azonosítottuk a 38 tevékenység megoszlását. Ehhez minden egyes megoszlás négy momentumát megbecsültük. A *PearsonDS* R csomagot alkalmaztuk az eloszlások illesztésénél az empirikus megoszlásokra. A szimulált és a valós adat-sorokra vonatkozó illeszkedés jószágának teszteléséhez Kolmogorov-Smirnov próbákat végeztünk. Az illesztett eloszlásokat a 8. ábra mutatja.

Ahogy azt a 8. ábra mutatja, a megoszlás momentumainak becslésével a Pearson eloszláscsaládból megfelelően becsteltük a valós adatok eloszlását és a generált adatok jó illeszkedést mutatnak az eredetiekre. A 8. ábrán látható, hogy az egyes tevékenységek időadatai különböző eloszlásokat

8. ábra

A tevékenységidőtartamok megoszlásaira illesztett szimulált eloszlásokból származó időtartam adatok megoszlásai



Forrás: saját szerkesztés

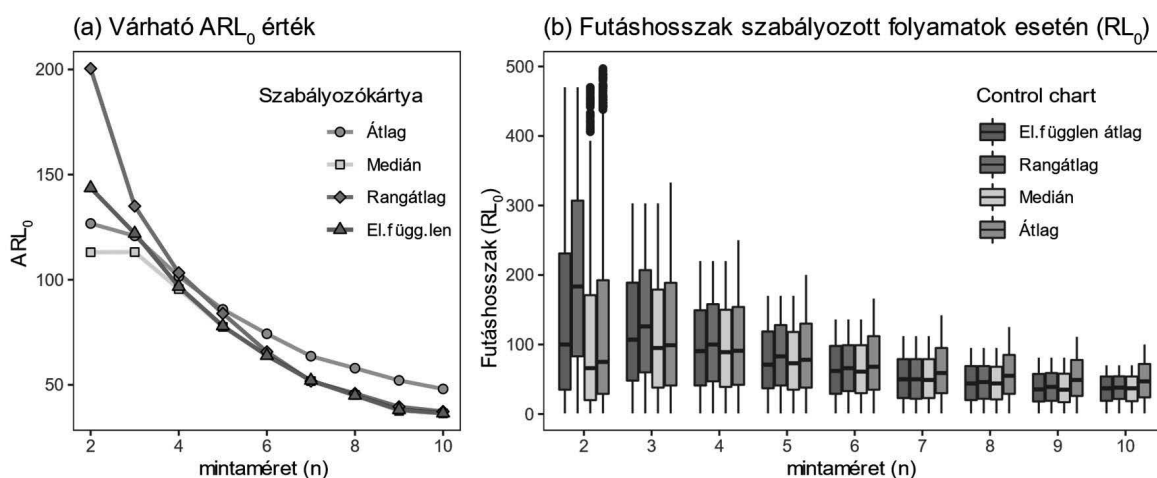
követnek. Ezek közül vannak ferde, akár kétszcúsbú (bimodális) eloszlások is. Így tehát látható, hogy a független azonos eloszlásból származó adatok feltételezése nem tartható, ami magyarázata annak, hogy az átfutási időre vonatkozó normalitás miért nem teljesül. Ezen túlmenően a szimuláció lehetőséget ad arra, hogy először feltételezve a megoszlás változatlanágát, számítani lehessen az átlagos futáshosszakat (ARL<sub>0</sub>-értékét) minden egyes szabályozókártyára. A 9. ábra a szimulációs eredményeket mutatja be. A 9. ábra baloldala a várható ARL<sub>0</sub> értéket mutatja az egyes szabályozókártyákra vonatkozóan, különböző mintaméretetek figyelembevételével, a 9. ábra jobb oldali része, pedig a ARL<sub>0</sub> értékek szórását szemlélteti egy dobozdiagramon.

átfednek a hagyományos átlagkártyákhoz tartozó intervallummal. Ennek oka a központi határértéktétel hatásával magyarázható. Nevezetesen, a minták eloszlásai nagyobb mintaméret esetén ( $n > 5$  esetén) már közel normális eloszlásúnak tekinthetők, ami sokkal inkább kiegyensúlyozza a hagyományos és az eloszlásfüggetlen szabályozókártyák teljesítményét. E megfigyelés megerősítése érdekében a különböző mintanagyságokat használó szabályozókártya-statisztikák eloszlásait a Shapiro-Wilk-féle normalitáspróbalával elemeztük. Az elemzés eredményeit a 3. táblázat mutatja.

Ahogy a 3. táblázat mutatja, a normalitásteszt azt jelzi, hogy a minták a normál eloszlást követik, ha  $n > 4$ . A szabályozatlanság észlelésének mérésére az eltolás után

9. ábra

Szimulációkon alapuló futáshosszak kiszámítása



Forrás: saját szerkesztés

Amint azt a 9. ábra mutatja, az eloszlásfüggetlen szabályozókártyák felülmúlják a hagyományos átlagkártyákat, ha a minta nagysága ötnél kisebb. A legjobb ARL<sub>0</sub> értékeket a standardizált rangátlagkártya adja kis ( $n=2$ ) mintaméret esetén. Ekkor a szabályozókártya használatával akár kétszer akkora átlagos futáshosszak érhetők el. A 9. ábra jobb oldala azt is megmutatja, hogy az  $n=5$  eset után az eloszlásfüggetlen szabályozókártyák dobozdiagramjai

a beavatkozási határon kívülre kerülő első elemek detektálását figyeljük. Ennek átlaga lesz az ARL<sub>1</sub> érték. A szimuláció során 30 mintát használtunk a szabályozókártya kalibrálásához (a középvonal és a beavatkozási határértékek meghatározása), és minden egyes futtatást, a korábban meghatározott tevékenységidőtartam-eloszlásokat felhasználva 1000-szer generáltuk, hogy megbecsüljük az ARL<sub>1</sub> értékeket a különböző eltolási és mintanagysághoz. A 10. ábra az ARL<sub>1</sub> értékeket mutatja különböző eltolások és mintanagyságok esetén. A vonalak színei a szabályozókártya típusát jelzik.

Ahogy azt a 10. ábra mutatja, a standardizált rangátlagkártya adja a legjobb teljesítményt. Ekkor a legalacsonyabb az ARL<sub>1</sub> értéke egészen  $n \leq 7$  mintanagyságig. Ha  $n > 8$ , akkor nincs számottevő különbség a szabályozókártyák teljesítménye között. Az eredményeink azt mutatják, hogy az eltolásnak is fontos szerepe van. Ha az eltolás egy szórásnál nagyobb, akkor az eloszlásfüggetlen szabályozókártyák alkalmazása nem jelent előnyt a hagyományos átlagkártyákhoz képest.

Az eredmények alapján a következő ajánlások fogalmazhatók meg: Olyan üzleti folyamatok szabályozására, ahol a normalitás nem teljesül, ha a minta mérete alacsony, azaz  $n < 5$ , akkor eloszlás független szabályozókártyákat

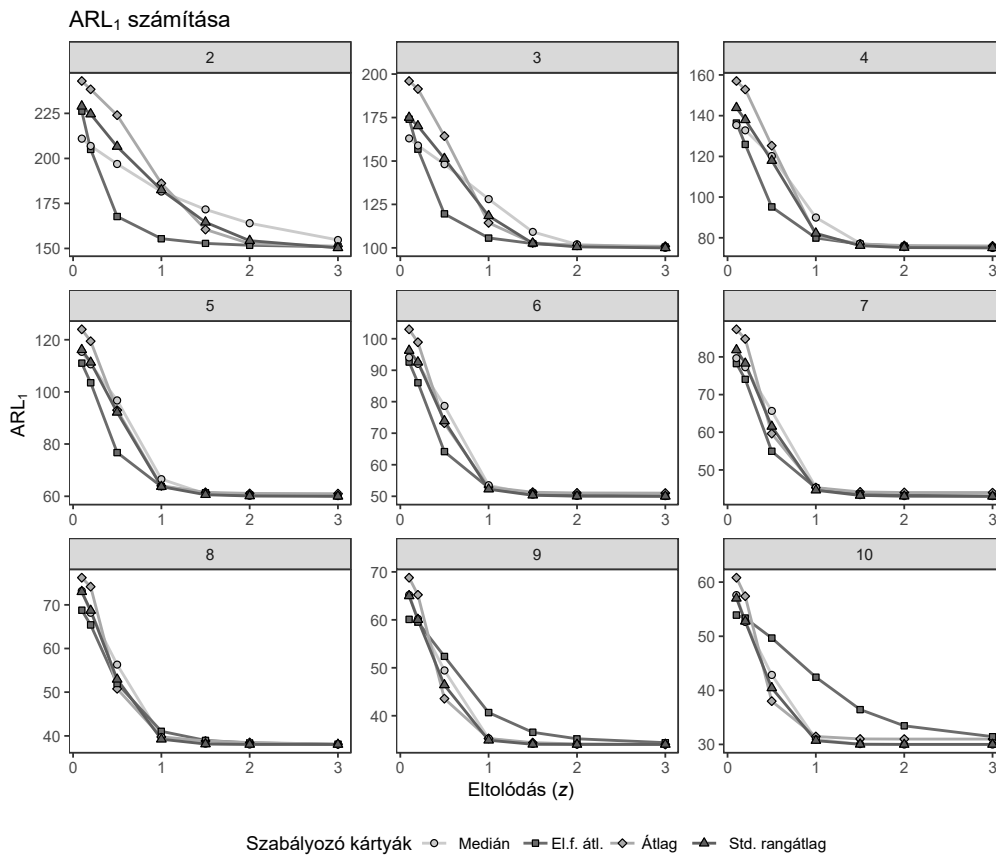
3. táblázat

A normalitásvizsgálat eredményei különböző mintanagyságok esetén

n	W	p	p > 0,05
2	0,974	0,000	
3	0,986	0,005	
4	0,982	0,007	
5	0,986	0,080	*
6	0,981	0,059	*
7	0,988	0,452	*
8	0,989	0,585	*
9	0,978	0,182	*
10	0,980	0,331	*

Forrás: saját szerkesztés

Az  $ARL_1$  értékek összehasonlítása az eltolás és a mintanagyság függvényében



Forrás: saját szerkesztés

érdemes használni, mint például a standardizált rangátlag-, medián- vagy az eloszlásfüggetlen átlagkártyát. Kicsivel nagyobb mintaelemszám esetén ( $5 \leq n < 8$ ), csak a standardizált rangátlagkártyát ajánljuk, mivel csak ez a nemparaméteres kártya nyújt lényegesen jobb teljesítményt, mint a hagyományos átlagkártya. Végül, nagyobb mintaméretknél ( $8 \leq n$ ) az eloszlásfüggetlen szabályozókártya használata nem biztosít jobb teljesítményt, mint a hagyományos átlagkártya, függetlenül az eltolás méretétől. A 4. táblázat összefoglalja a fent említett megfigyeléseket.

4. táblázat

A szabályozókártyákkal kapcsolatos ajánlások összefoglalása

	Mintaméret								
	$n < 5$			$5 \leq n < 8$			$8 \leq n$		
	Eltolás mértéke								
	$z \leq 1$	$1 < z \leq 2$	$2 < z$	$z \leq 1$	$1 < z \leq 2$	$2 < z$	$z \leq 1$	$1 < z \leq 2$	$2 < z$
Átlagkártya			x		x	x	x	x	x
Eloszlásfüggetlen átlagkártya	x		x		x	x	x	x	x
Mediánkártya	x				x	x	x	x	x
Standardizált rangátlagkártya	x	x	x	x	x	x			

Forrás: saját szerkesztés

A 4. táblázat segítheti a döntéshozókat a megfelelő szabályozókártya kiválasztásában. A táblázatban az „x” jelzés mutatja, mely eltolódás detektálása esetén, mely mintavételi nagyság alkalmazásakor, mely kártyákat érdemes használni. Ha több kártya is kiválasztható, akkor a döntéshozóknak egyéb szempontok, pl. a kártya alkalmazhatóságának egyszerűsége alapján kell a végső döntést meghoznia. Az eredmények azt mutatják, hogy ha csak alacsony mintaméret biztosítható, mivel a folyamat hosszú, és sok időt venne igénybe a minták gyűjtése, valamint a várható eltolódási méret is kicsi, mindhárom elemzett eloszlásfüggetlen kártya használható és jobb eredményt ad, mint a hagyományos átlagkártya. Ha azonban az eltolódás várható mértéke mérsékelt, akkor ezek közül standardizált rangátlagkártyát javasoljuk, mert a többi kártyához képest ez adja a legjobb eredményt.

A gyakorlati példát adó vállalat esetében mind az alul-, mind a túlszabályozás költségekkal jár. Mivel a karbantartási folyamatok hosszúak, a vállalat nem akarja sok ilyen folyamat lefutását megvárni, mire megbizonyosodik, hogy a szokásos ingadozásnál nagyobb eltérés van a végrehajtás során, így a standardizált rangátlagkártya javasolt a számára. A kártya alkalmazásával felmérheti, hogy mely karbantartási folyamatok voltak számottevően eltérőek a szokásostól. Ezek mélyebb, tevékenység szintű, átvizsgálása pedig rámutat, a fejlesztési lehetőségekre, irányokra.

## Összefoglalás

Ebben a tanulmányban megvizsgáltuk a szabályozókártyák üzleti folyamatokban történő alkalmazásának lehetőségeit. Megmutattuk, hogy hogyan és mely paraméterekre lehet szabályozókártyákat illeszteni. Ezeket hogyan lehet tesztelni és összehasonlítani, majd végül egy gyakorlati példán keresztül megmutattuk hogyan lehet a szabályozókártyák közül a legjobb futási teljesítménnyel rendelkezőt kiválasztani. Az eredményeink azt mutatják, hogy a minta mérete és az eltolódás mértéke jelentősen befolyásolja a szabályozókártyák teljesítményét és a kiválasztás mechanizmusát. Az elemzett eloszlásfüggetlen szabályozókártyák általában jobb megoldást adtak az üzleti folyamatok szabályozására, mint a hagyományos átlagkártyák, hiszen az üzleti folyamatok esetén a normalitás gyakran nem biztosítható. A tanulmányunk ajánlásokat fogalmazott meg a mintanagyság és az eltolódás függvényében a megfelelő szabályozókártya kiválasztására, mely segítheti a további gyakorlati alkalmazásokat és a döntéshozók munkáját.

Az általunk javasolt szabályozókártyák nem csupán a termelési szektorban, hanem a különböző üzleti gyakorlatokban is releváns szerepet játszanak, hiszen képesek a komplex üzleti folyamatok sajátosságainak figyelembevételére. Ez a megközelítés hozzájárul a döntéshozók hatékonyabb munkájához, mivel lehetőséget biztosít a potenciális problémák korai azonosítására és hogy a szükséges intézkedéseket még a problémák kialakulása előtt megtehessek. Az általunk javasolt statisztikai alapú üzleti folyamat szabályozás kiválóan ötvözhető a Kaplan és Norton (1996) által kifejlesztett Balanced Scorecard (BSC), kiegyensúlyozott mutatószámrendszer megközelítéssel, amely képes a stratégiai célokat 4 egymással összefüggő területen kulcsteljesítménymutatókká transzformálni (a legújabb BSC megoldásokról lásd Kumar és szerzőtársai (2024) áttekintését). Azaz a BSC kijelöli, hogy mit érdemes mérni, a statisztikai folyamatszabályozás pedig eszközt ad ennek időbeli követésére és értékelésére. Ehhez azonban szükséges, hogy e mutatószámok értéke egy-egy üzleti folyamat lefutását közvetlenül és kis holtidővel mérje, jellemezze.

A digitalizációs kihívásokra való reflektálás érdekében kiemeltük, hogy a modern technológiák, mint például az adatelemzés és a valós idejű adatgyűjtés, drámai módon képesek fokozni a folyamatok kontrollálásának hatékonyságát. A javasolt kártyaillesztési eljárások nem csupán a hagyományos folyamatellenőrzési metodológiákat képviselik, hanem a digitalizált környezet által nyújtott előnyöket is kihasználják, ezáltal lehetővé téve a folyamatok dinamikus nyomon követését és optimalizálását. A digitális transzformáció lehetőséget teremt arra, hogy a vállalatok a megszerzett adatokat a gyakorlatban hasznosíthassák, ezzel növelve a versenyképességüket és a piaci alkalmazkodásukat.

Habár a kártya kiválasztásának és illesztésének folyamata szakértelmet igényel, az illesztés után az alkalmazása már egyszerű, az adatok rendszeres és pontos gyűjtésén múlik, amit az automatizálási törekvések és az üzleti információs rendszerek is támogatnak. A kiválasztási és

illesztési folyamat szabályai jól formalizálhatók, így egy szakértői rendszer kialakításával az üzleti folyamatokra alkalmazott szabályozó kártyák szélesebb alkalmazói körben is elérhetővé válnak.

E pontok szilárd alapot képeznek a vezetéstudomány fejlődésében és a jövőbeni kutatások irányainak meghatározásában is. Az üzleti folyamatok elemzésének jövője egyre inkább a digitális transzformáció irányába mutat, és a rugalmas, adatvezérelt döntéshozatal kulcsszerepet játszik az új kihívások kezelésében.

## Felhasznált irodalom

- Aagesen, G., & Krogstie, J. (2015). BPMN 2.0 for Modeling Business Processes. In J. vom Brocke & M. Rosemann (Eds.), *Handbook on Business Process Management I: Introduction, Methods, and Information Systems* (pp. 219-250). Springer.  
[https://doi.org/10.1007/978-3-642-45100-3\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-642-45100-3_10)
- Abid, M., Nazir, H.Z., Riaz, M., & Lin, Z.Y. (2017). An efficient nonparametric EWMA Wilcoxon Signed-Rank chart for monitoring location. *Quality and Reliability Engineering International*, 33(3), 669-685.  
<https://doi.org/10.1002/qre.2048>
- Ahad, N.A., Yin, T.S., Othman, A.R., & Yaacob, C.R. (2011). Sensitivity of normality tests to non-normal data. *Sains Malaysiana*, 40(6), 637-641. [http://journal-article.ukm.my/2511/1/15\\_NorAishah.pdf](http://journal-article.ukm.my/2511/1/15_NorAishah.pdf)
- Albers, W., Kallenberg, W.C., & Nurdiani, S. (2004). Parametric control charts. *Journal of Statistical Planning and Inference*, 124(1), 159-184.  
[https://doi.org/10.1016/S0378-3758\(03\)00200-3](https://doi.org/10.1016/S0378-3758(03)00200-3)
- Amjad, A., Azam, F., Anwar, M.W., Butt, W.H., & Rashid, M. (2018). Event-driven process chain for modeling and verification of business requirements – a systematic literature review. *Ieee Access*, 6, 9027-9048.  
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2791666>
- Bakir, S.T. (2004). A distribution-free Shewhart quality control chart based on signed-ranks. *Quality Engineering*, 16(4), 613-623.  
<https://doi.org/10.1081/QEN-120038022>
- Bencsik, A. (2021). Vezetői felkészültség felmérése a digitális kor kihívásaira – Nemzetközi összehasonlítás. *Vezetéstudomány*, 52(4), 93-108.  
<https://doi.org/10.14267/VEZTUD.2021.04.08>
- Benedict, T., Lederer Antonucci, Y., Bariff, M., Champlin, B., Downing, B.D., Franzen, J., Madison, D.J., Lusk, S., Spanyi, A., & Treat, M. (2019). *Guide to the Business Process Management Common Body Of Knowledge* (BPM CBOK Version 4.0). ABPMP International.
- Benneyan, J.C. (2008). The design, selection, and performance of statistical control charts for healthcare process improvement. *International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage*, 4(3), 209-239.  
<https://doi.org/10.1504/IJSSCA.2008.021837>
- Bi, H.H. (2022). Applying statistical process control to teaching quality assurance at higher education institutions. *Quality Management Journal*, 29(2), 145-157.  
<https://doi.org/10.1080/10686967.2022.2035288>

- Caivano, D. (2005). Continuous software process improvement through statistical process control. In *Ninth European Conference on Software Maintenance and Reengineering* (pp. 288-293). IEEE.  
<https://doi.org/10.1109/CSMR.2005.20>
- Capizzi, G., & Masarotto, G. (2018). Phase I distribution-free analysis with the R package dfphase1. In *Frontiers in Statistical Quality Control 12* (pp. 3-19). Springer.  
[https://doi.org/10.1007/978-3-319-75295-2\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-75295-2_1)
- Castagliola, P., & Figueiredo, F.O. (2013). The median chart with estimated parameters. *European Journal of Industrial Engineering*, 7(5), 594–614.  
<https://doi.org/10.1504/EJIE.2013.057382>
- Chakraborti, S., & Graham, M.A. (2019). Nonparametric (distribution-free) control charts: An updated overview and some results. *Quality Engineering*, 31(4), 523–544.  
<https://doi.org/10.1080/08982112.2018.1549330>
- Chakraborti, S., Van der Laan, P., & Bakir, S. (2001). Non-parametric control charts: an overview and some results. *Journal of Quality Technology*, 33(3), 304–315.  
<https://doi.org/10.1080/00224065.2001.11980081>
- Colin, J., & Vanhoucke, M. (2015). Developing a framework for statistical process control approaches in project management. *International Journal of Project Management*, 33(6), 1289–1300.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2015.03.014>
- Das, K.R., & Imon, A. (2016). A brief review of tests for normality. *American Journal of Theoretical and Applied Statistics*, 5(1), 5–12.  
<https://doi.org/10.11648/j.ajtas.20160501.12>
- Davis, R.B., & Woodall, W.H. (1988). Performance of the control chart trend rule under linear shift. *Journal of Quality Technology*, 20(4), 260–262.  
<https://doi.org/10.1080/00224065.1988.11979118>
- Goedhart, R., Schoonhoven, M., & Does, R.J. (2017). Guaranteed in-control performance for the Shewhart X and X control charts. *Journal of Quality Technology*, 49(2), 155–171.  
<https://doi.org/10.1080/00224065.2018.1404876>
- Hajej, Z., Nyoungue, A.C., Abubakar, A.S., & Kammoun, M.A. (2021). An integrated model of production, maintenance, and quality control with statistical process control chart of a supply chain. *Applied Sciences*, 11(9), 4192. Available at:  
<https://doi.org/10.3390/app11094192>
- Harris, K., Triantafyllopoulos, K., Stillman, E., & McLeay, T. (2016). A Multivariate Control Chart for Autocorrelated Tool Wear Processes. *Quality and Reliability Engineering International*, 32(6), 2093-2106.  
<https://doi.org/10.1002/qre.2032>
- Hillier, F.S. (1967). Small sample probability limits for the range chart. *Journal of the American Statistical Association*, 62(320), 1488–1493.  
<https://doi.org/10.2307/2283792>
- Jayathavaj, V., & Pongpullponsak, A. (2014). A simulation study on the performance of the sign test, Mann-Whitney test, Hodges-Lehmann estimator and control charts for Normal and Weibull data. *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 5(4), 561–574.  
<https://doi.org/10.5267/j.ijiec.2014.7.004>
- Jones-Farmer, L.A., Jordan, V., & Champ, C.W. (2009). Distribution-free phase I control charts for subgroup location. *Journal of Quality Technology*, 41(3), 304–316.  
<https://doi.org/10.1080/00224065.2009.11917784>
- Kaplan, R.S., & Norton, D.P. (1996). Using the Balanced Scorecard as a Strategic Management System. *Harvard Business Review*, January – February, 75-85.  
[http://jackson.com.np/home/documents/MBA4/Management\\_accounting/BSCHarvardBusinessReview.pdf](http://jackson.com.np/home/documents/MBA4/Management_accounting/BSCHarvardBusinessReview.pdf)
- Kemény, S., Pusztai, É., Lanké Komka, K., Deák, A., Mihalovits, M., & Bodnár-Kemény, K. (2021). *A 6 szigma statisztikai eszközei*. Typotex. <https://interkonyv.hu/konyvek/kemeny-sandor-a-6-sigma-statisztikai-eszkozoi/>
- Kim, J., & Lim, C. (2021). Customer complaints monitoring with customer review data analytics: An integrated method of sentiment and statistical process control analyses. *Advanced Engineering Informatics*, 49, 101304.  
<https://doi.org/10.1016/j.aei.2021.101304>
- Kim, S.H. (2015). A distribution-free CUSUM chart for monitoring variability of autocorrelated processes. *Quality and Reliability Engineering International*, 31(6), 923-934. Available at:  
<https://doi.org/10.1002/qre.1649>
- Klein, M. (2000). Two alternatives to the Shewhart X control chart. *Journal of Quality Technology*, 32(4), 427–431.  
<https://doi.org/10.1080/00224065.2000.11980028>
- Koszttyán, Z.T., & Katona, A.I. (2016). Risk-based multivariate control chart. *Expert Systems with Applications*, 62, 250–262.  
<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2016.06.019>
- Koszttyán, Z.T., & Katona, A.I. (2018). Risk-Based X-bar chart with variable sample size and sampling interval. *Computers & Industrial Engineering*, 120, 308–319.  
<https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.04.052>
- Koutras, M., Bersimis, S., & Maravelakis, P. (2007). Statistical process control using Shewhart control charts with supplementary runs rules. *Methodology and Computing in Applied Probability*, 9, 207–224.  
<https://doi.org/10.1007/s11009-007-9016-8>
- Kumar, S., Lim, W.M., Sureka, R., Jabbour, C.J.C., & Bamel, U. (2024). Balanced scorecard: trends, developments, and future directions. *Review of Managerial Science*, 18, 2397–2439.  
<https://doi.org/10.1007/s11846-023-00700-6>
- Lasa, I.S., Laburu, C.O., & de Castro Vila, R. (2008). An evaluation of the value stream mapping tool. *Business Process Management Journal*, 14(1), 39–52.  
<https://doi.org/10.1108/14637150810849391>
- Li, Q., & Chen, Y.L. (2009). Data flow diagram. In *Modeling and Analysis of Enterprise and Information Systems* (pp. 85-97). Springer.  
[https://doi.org/10.1007/978-3-540-89556-5\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-540-89556-5_4)

- Li, Y., Pei, D., & Wu, Z. (2020). A multivariate non-parametric control chart based on run test. *Computers & Industrial Engineering*, 149, 106839. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106839>
- Mason, B., & Antony, J. (2000). Statistical process control: an essential ingredient for improving service and manufacturing quality. *Managing Service Quality: An International Journal*, 10(4), 233–238. <https://doi.org/10.1108/09604520010341618>
- Montgomery, D.C. (2024). The 100th anniversary of the control chart. *Journal of Quality Technology*, 56(1), 2–4. <https://doi.org/10.1080/00224065.2023.2282926>
- Mukherjee, A., & Chakraborti, S. (2012). A distribution-free control chart for the joint monitoring of location and scale. *Quality and Reliability Engineering International*, 28(3), 335–352. <https://doi.org/10.1002/qre.1249>
- Mukherjee, A., & Sen, R. (2015). Comparisons of Shewhart-type rank based control charts for monitoring location parameters of univariate processes. *International Journal of Production Research*, 53(14), 4414–4445. <https://doi.org/10.1080/00207543.2015.1012605>
- Oakland, J., & Oakland, R.J. (2018). *Statistical process control*. Routledge.
- Object Management Group. (2011) *Business Process Model and Notation (BPMN)*. Version 2.0. <http://www.omg.org/spec/BPMN/2.0>
- Perdikis, T., Celano, G., & Chakraborti, S. (2024). Distribution-free control charts for monitoring scale in finite horizon productions. *European Journal of Operational Research*, 314(3), 1040–1051. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2023.11.048>
- Reisinger, D., Reisinger, V., & Nagy, J. (2022). A mesterséges intelligencia és a digitalizáció hatása a logisztikai munkakörökre – Veszélyben vannak-e a munkahelyek? *Vezetéstudomány*, 53(8-9), 103-114. <https://doi.org/10.14267/VEZTUD.2022.08-09.08>
- Scheer, A.W., Jost, W., Kindermann, H., & Kruppke, H. (Eds.) (2006). *AGILITY by ARIS Business Process Management*. Springer Verlag.
- Schilling, E.G., & Nelson, P.R. (1976). The effect of non-normality on the control limits of X charts. *Journal of Quality Technology*, 8(4), 183–188. <https://doi.org/10.1080/00224065.1976.11980743>
- Severin, T., & Schmid, W. (1998). Statistical process control and its application in finance. In *Risk Measurement, Econometrics and Neural Networks: Selected Articles of the 6th Econometric-Workshop in Karlsruhe, Germany* (pp. 83-104). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-58272-1\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-642-58272-1_7)
- Siau, K., & Cao, Q. (2001). Unified modeling language: A complexity analysis. *Journal of Database Management (JDM)*, 12(1), 26–34. <https://doi.org/10.4018/jdm.2001010103>
- Song, S., Wang, Y., Wang, X., Lin, C., & Hu, K. (2024). A deep learning-based approach to similarity calculation for UML use case models. *Expert Systems with Applications*, 251, 123927. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2024.123927>
- Thor, J., Lundberg, J., Ask, J., Olsson, J., Carli, C., Härenstam, K.P., & Brommels, M. (2007). Application of statistical process control in healthcare improvement: systematic review. *BMJ Quality & Safety*, 16(5), 387–399. <http://dx.doi.org/10.1136/qshc.2006.022194>
- Weiß, C.H., & Atzmüller, M. (2010). EWMA control charts for monitoring binary processes with applications to medical diagnosis data. *Quality and Reliability Engineering International*, 26(8), 795-805. <https://doi.org/10.1002/qre.1098>
- Wu, C., Zhao, Y., & Wang, Z. (2002). The median absolute deviations and their applications to Shewhart control charts. *Communications in Statistics-Simulation and Computation*, 31(3), 425–442. <https://doi.org/10.1081/SAC-120003850>