

A minőségügyi technikák anyagvizsgálati vonzatai

2. rész: A vizsgálatok kockázatát csökkentő minőségügyi módszerek

Dr. Koczor Zoltán – Gregász Tibor – Marschall Marcell

A vizsgálatok elvégzésével kapcsolatos kockázatok

A cikksorozat első részében¹ egy jellegzetes minőségügyi technikának, a lehetségek hibákat és összefüggéseiket elemző módszernek, az FMEA-nak a vizsgálati gyakorlatra vonatkozó analógiáit mutattuk be. Hangsúlyoztuk, hogy a módszer általános felhasználása esetén is fontos értékelési szempont a vizsgálhatóság, illetve a rendszeresített vizsgálati gyakorlat megfelelése. A vizsgálatban rejlő kockázatnövelő hatást önmagában is érdemes értékelni, ezért cikksorozatunk 2. és 3. részében ennek a kérdéskörnek a minőségügy által kezelhető sajátos területével foglalkozunk.

A kockázatok csökkentését szolgáló módszerek jelentősége akkor érzékelhető, ha olyan területeken alkalmazzuk azokat, ahol a probléma vagy a hibák elkövetése miatt bekövetkező károk, vagy az előfordulás magas valószínűsége miatt nagy a kockázat. A gyakorlatban ilyenek azok a területek, ahol a biztonsági lehetőségek (redundáns elemek) korlátosak.

Ilyen lehet az az eset, ahol rövid idő áll rendelkezésre a mérési információ megszerzésére. Egy baleset helyszínén a sérülttel kapcsolatban eldönteni, hogy milyen a vércsoportja, vagy milyen gyógyszerekre érzékeny, és a vizsgálat meghatározott időintervallumon belül végezhető el. Ha egy nagytömegű fémfeldolgozás folyamatában (pl. öntésnél) anyagvizsgálatra van szükség, vagy egy magas költségű reakció valamelyik paraméteréről akarunk vizsgálati úton információt kapni, szintén fontos szempont, hogy a vizsgálatot hibamentesen végezzük el.

Hasonló jelenséggel állunk szemben roncsolásos vizsgálatok esetében, ha a vizsgálati minta megismételhetetlen, vagy jelentős értéke van. Ilyen lehet egy régészeti vizsgálat esetén rendelkezésre álló vizsgálati minta (pl. koronázási palást, turini lepel, csonttörések stb.) vagy egy egészségügyi vizsgálat anyaga (pl. élő szervezetből vett minta, dopping vagy alkoholvizsgálat adott időpontra jellemző mintája).

Ugyancsak fokozza a vizsgálatok sikertelenségével járó kockázatot, ha a vizsgálati folyamat bonyolult, a minta preparálása vagy előállítás a hosszadalmas, a tevékenység többlépcsős, több személyt vagy eszközt érint. Ebben az esetben a hibák elkövetésének valószínűsége fokozódik.

Jellemző probléma lehet ez azoknál a kísérleteknél, ahol a minta előkészítése évekig tart (élettartam- és korróziós vizsgálatok, vagy az élő egyedek populációira vonatkozó kísérletek), ahol a vizsgálat maga is hosszadalmas folyamat (koptató, fárasztásos kísérletek).

A kockázatok csökkentésére többféle hatékony lehetőség áll rendelkezésre. Ezek között a lehetőségek között szerepel, hogy a korlátot jelentő faktort javítsuk. Ilyen lehet, például:

- a rendelkezésre álló rövid idő adta korlát esetén a párhuzamosan végzett nagyobb számú, lehetőleg páratlan számú, azonos kísérlet;
- az egyetlen vagy korlátozott mennyiségben rendelkezésre álló vizsgálati minta esetén a megfelelő biztonságot adó kontrollminták, a roncsolásmentes elővizsgálatok alkalmazása;
- a bonyolult és hosszadalmas vizsgálati előkészületek és folyamatok kapcsán a kísérlet tudatos tervezése (amely nem azonos a hasonló néven ismert és széles körben elterjedt kísérletes optimalizálással).

Jelen cikkünkben azonban ezekkel a lehetőségekkel nem foglalkozunk. E helyett a mérési folyamat magasabb szinten történő szabályozásával és a hibamentes kivitelezéssel kapcsolatos kockázatok csökkentésére és ezek minőségügyi eszközökkel való támogatására keresünk megoldásokat.

A vizsgálati kockázatot csökkentő eljárás

Az alapelv

Célunk, hogy az elemzés a folyamat egészére átfogóan terjedjen ki, miközben az alábbi főbb szempontokra legyen tekintettel:

– próbáljuk meg azonosítani, és figyelembe venni azokat az eseményeket és részeseményeket, amelyek akadályozzák vagy terhelik a folyamatot és így befolyásolják a kockázatot;

– végezzünk becslést a legnagyobb veszélyt rejtő csúcsesemények bekövetkezési valószínűségére és a kockázati elemek kölcsönhatására vonatkozóan;

– ok-okozati elemzéssel vonjunk le következtetéseket a hibaeseményekkel kapcsolatban a feltételezhető kiváltó okokra, és

– vezessünk be minőségügyi módszereket a kockázatok csökkentését célzó intézkedésekre.

Ezen elemek szisztematikus alkalmazásával végigkövethetők a feltárt veszélyelemek valamint az elhárításukra előírt intézkedések hatása is.

Az elemzés szintjei és matematikai háttere

Adatgyűjtés, megfigyelés

Az eljárás alkalmazásának első szintje azt ellenőrzi, hogy a (mérési és előkészítési) tevékenységek közben milyen gyakorisággal fordul elő olyan esemény, amely meghiúsítja a vizsgálatot úgy, hogy a vizsgálandó minta nem áll többé rendelkezésre, vagy a vizsgálat egyéb okból nem ismételtető meg.

Ennek a módszernek minőségügyi szempontból lényeges eleme a pontos dokumentálás és a tények megfelelő csoportosítása keretében történő értékelése. Különleges esélyt adnak a széles körű adatgyűjtésre az utóbbi időszakban általánossá vált körmérések. Ennek kapcsán a párhuzamos bemérések összehasonlításán kívül lehetőség nyílik a vizsgálatok sikerét meghiúsító hibaokok megoszlásának elemzésére is. Hasonló gyakorlat alakult ki az atomenergetikai területeken a folyamathibák nagyobb hatékonyságú megelőzése érdekében.

Ok-okozati kapcsolatok feltárása

A bekövetkezett vagy reális bekövetkezéssel fenyegető hibaokok eredetét egy megfelelően dokumentált folyamat esetén a minőségügyben elterjedt csoporttechnikával és a hagyományosnak számító halszálka elemzéssel vizsgálhatjuk. A cél az, hogy a folyamatot olyan kezdeti eseményekig bontsuk le, melyek mind következményeik, mind kezelhetőségük szempontjából zárt egységekként kezelhetők.

Mélyebb elemzéssel arra is választ kaphatunk, hogy a korábban megállapított, meg-nem-ismételtetőség kockázata hogyan változik meg, ha a mérési folyamat lehetséges hibáihoz vezető ok-okozati lánc bármely elemét megváltoztatjuk, vagy befolyásoljuk. Az ilyen logikájú elemzés mindig a teljes vizsgálati eljárásra vonatkozik, a hozzá tartozó biztonsági és megelőző berendezésekkel, szerkezetekkel és intézkedésekkel együtt.

Kapcsolati rendszer a hibaokok között

Az egyes hibaokok egymással „vagy”-lagos vagy „és” kapcsolatban, esetleg más logikailag, matematikailag leírható relációban (feltételes valószínűségek, negációk...) lehetnek. Ezeket az összefüggéseket egy hibafa struktúra segítségével grafikusán is meg lehet jeleníteni.

A kockázati valószínűségek becslése

A kockázatelemzési módszer egyik leglényegesebb eleme, hogy számszerű valószínűségi értékekkel, vagy a relatív gyakoriságok ismeretével

retében számítható a vizsgált eredmény (eredő) valószínűsége. Mivel ezt az értéket a gyakran bekövetkezett hibák esetén a rögzített tapasztalatok alapján statisztikailag lehet becsülni, viszont épp a nagy kockázattal járó hibáknál ritkán fogadhatjuk el a hibák gyakori előfordulását, ezért az FMEA módszertanához hasonló hibaelemzéseknek is komoly szerep jut. Ennek speciális módszerét mutatjuk be cikksorozatunk következő részében az emberi hibák értékelésére vonatkozóan.

A beavatkozások hatásainak értékelése

Az elemzés eredményei alapján meghatározott beavatkozásokat és eljárás-módosításokat még a végrehajtás előtt értékeljük. Az ellenőrzés kiterjed mind a befektetett erőforrások, mind a várható eredmények számszerűsítésére és mérlegére. Ezzel hatékonyan lehet válogatni a beavatkozási alternatívák közül.

A hibafa elemzés alkalmazása és menete

A módszer alapja, hogy a lehetséges eseményeket és azok láncolatait egy hierarchikus struktúra segítségével, a hibafával ábrázoljuk. Jelen bemutatónkban csak azokat az eseményeket és hibaágakat ábrázoljuk, amelyek az emberi tévedéssel hozhatók kapcsolatba, és hibák következhetnek belőle.

Mivel ismertek az elemi hibák bekövetkezésének valószínűségei, így minden lehetséges csúcsesemény – pl. a vizsgált eredménytelenségének – valószínűsége meghatározható. A hibafa felépítésére mutat példát az 1. ábra.

Kezdeti, köztes és csúcsesemények

Azokat az eseményeket nevezzük **kezdeti eseményeknek**, amelyek potenciálisan magukban hordozzák a vizsgált meghibásulásának, vagy a minta megsemmisülésének a valószínűségét, miközben olyan elemi események, melyek oksági láncban – a kedvezőtlen együttállások sorozatán – keresztül fejtik ki hatásukat. Ezek olyan emberi hibák lehetnek, amelyek a minta vizsgálata során kritikus hatásúvá nőhetnek. A potenciális kiinduló eseményeket az adott vizsgálati eljárás, a technikai lehetőségek és egyéb adottságok határozzák meg, így laboronként eltérő jellegűek lehetnek.

A végkimenetelüket tekintve a „kritikusnak” számító kezdeti események több nagy csoportra oszthatók. Ilyenek lehetnek, például:

- a minta „ elvesztését”, eredmény nélküli megsemmisülését okozó hibák,
- a téves („kiugró”) vizsgálati eredményt okozó, mérés-technikai hibák (melyeket a mérés-technika általában, mint durva mérési hibákat kezel),
- a vizsgálati részeredmények vagy eredmények megsemmisülése vagy hibát okozó módosulása (pl. az eltérő mértékegységek használatából származó átszámítási hibák a Mars-szondánál).

Mindezekre példaként az alábbi esetek hozhatók:

- a vizsgálati berendezések hibás kezelése,
- a minták hibás kezelése, tárolása, nem megfelelő környezeti feltételek,
- a rosszul tervezett vizsgálati eljárások,
- a segédanyagok rossz kiválasztása vagy összezerése,
- az adminisztratív intézkedéseken végrehajtott változtatások.

A szándékos rongálást általában nem tekintik kezdeti eseményeknek, mert ez maga egyenesen a megsemmisülést kiváltó esemény, ugyanakkor rendkívül ritka is. A minta, a kulcsműszer vagy az eredmények dokumentumainak megsemmisülését okozó bűncselekmény bekövetkezésének a valószínűsége azonban nem elhanyagolható egy titkos hadi, nagy jelentőségű ipari, vagy igazságügyi vizsgálatnál.

A kezdeti események oksági kapcsolati láncban keresztül adnak esélyt a hiba bekövetkezésére. Ilyen **köztes esemény** lehet egy adott laborra, vagy mérési eljárásra vonatkozóan:

- a beállított és folyamatosan biztosított környezeti feltételek bizonytalansága vagy meg nem

felelő volta (pl. klíma, tároló és kezelőelemek anyagának megválasztása, az ember és a vizsgálat kölcsönhatásának a figyelembe nem vétele...);

- a tévedést okozó adminisztratív intézkedések (pl. a vizsgálati utasításhoz való hűség, az adott anyag sajátosságait figyelembe vevő előírások, azonosítás és a keveredések ellen előírtak be nem tartása, esetleg a megrendelő speciálisan előírt kívánásainak figyelmen kívül hagyása...);

- a minták kezelésének, védelmének bizonytalansága (pl. leesésre, szivárgásra, külső szennyeződésre nézve biztonságos tároló eszközök, kíméletes szállítás...);

- a mérési módszer, eszközök, segédanyagok, vizsgálati paraméterek, a mintavételezés emberi tévedésen alapuló meg nem felelő volta (rosszul mosogatott labor eszközök miatt a minta fertőződése, a vizsgált tulajdonságokat torzító oldószer választása, a nem eléggé homogenizált, vagy rossz helyről vett minta ...).

Csúcseseménynek nevezhetjük a hiba kimenetét meghatározó jelenségeket. Ilyenek lehetnek

- az az esemény, amely – a már említett módon – meghiúsítja a vizsgálatot, vagy vizsgálatra alkalmatlanná teszi az egyébként reprodukálhatatlan mintát;

- az a gyakran előforduló probléma, hogy a mérési eredményt utólagosan már nem azonosítható nagyságú mérési hiba terheli;

- az a külön elemzést igénylő zavar, amikor a hiba tényére semmilyen jel sem utal, így a hibás eredményre támaszkodó döntés szerint halad tovább az eredeti folyamat.

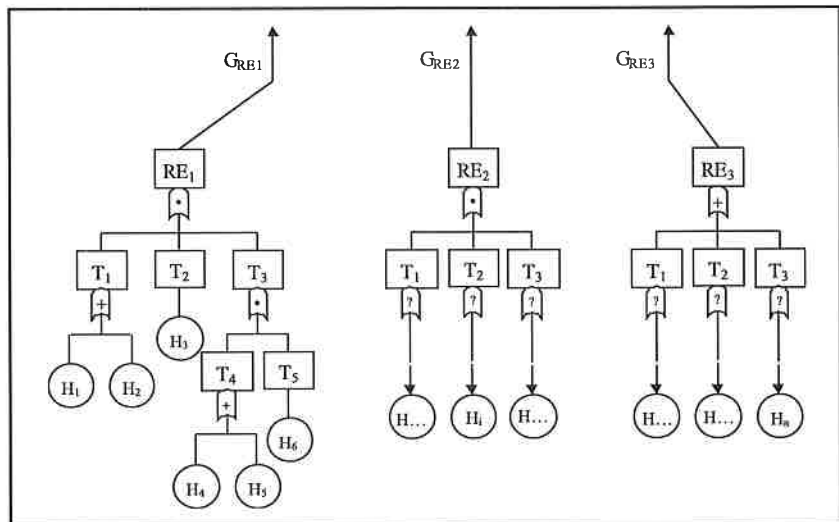
Az egyes csoportoknál mindegyik csúcseseményre hibafát felépítve, rendre kifejtjük a hibás cselekvési láncolatot, majd Boole-algebra alkalmazásával leírjuk az események közötti összefüggéseket és megállapítjuk a bekövetkezési valószínűségeket.

A létrehozott matematikai modellen az úgynevezett „érzékenység vizsgálat” segítségével egy-egy tényező az egész rendszerre gyakorolt hatását vizsgálhatjuk meg. A vizsgálat során a modellben egyetlen tényező valószínűség értékét először tízszeresére növelve, majd az eredeti értéket a tízedére csökkentve megvizsgáljuk a hibafához tartozó csúcsesemény bekövetkezésének a valószínűségét. A kapott végeredmények így az adott tényező két nagyságrendnyi változásából eredő hatását tartalmazzák. Amennyiben jelentősen változott az eredő valószínűség, a két végeredményt egymással elosztva egy egytől nagyon eltérő számot kapunk eredményül, azaz a modell érzékeny az adott tényező változására. Semleges tényező esetén ez a hányados az egyet közelíti.

A 1. ábrán az $RE_1, RE_2, RE_3, \dots, RE_i$ -vel jelzett elemek a vizsgálat meghibásulásának fajtáit mutatják, grafikus ábrázolással, hibafa felépítésével.

A kölcsönhatások értékelése

A jelkulcsban alkalmazott jelölések szerint az egyes alrendszerek „ T_i ”



1. ábra. A hibázás valószínűségének a számítása hibafával

Jelmagyarázat: T közbenső esemény; H elemi hiba esemény; * a két esemény együttes bekövetkezése esetén fog a ráépülő esemény bekövetkezni; + a két esemény közül már az egyik bekövetkezése esetén is a ráépülő esemény bekövetkezik

meghibásodásai önmagukban is okozhatják a hiba bekövetkezését. Ilyenkor az alrendszer közötti logikai „VAGY (+)” kapcsolat van, a bekövetkezés valószínűsége tehát az alrendszerek meghibásodási valószínűségeinek összegével lesz egyenlő. Független eseményeknél ebből az értékből le kell vonni az együttes bekövetkezés valószínűségét. Megbízhatósági számításoknál gyakran használják a kiesés, a tönkremenetel, a meghibásodás, a sikertelenség vagy a hibázás valószínűségére a „G” jelölést.

$$G_{RE1} = G_{T1} + G_{T2} - (G_{T1} \cdot G_{T2})$$

Amennyiben a „T”-vel jelölt elkövetett hiba és egy másik elem azonos állapota együttesen okozza a csúcseseményt, akkor közöttük logikai „ÉS (·)” kapcsolat van, tehát a csúcsesemény bekövetkezési valószínűségének az értéke az elemi hibák valószínűségeinek a szorzatával, mint független események együttes bekövetkezési valószínűségével lesz egyenlő.

$$G_{RE1} = G_{T1} \cdot G_{T2}$$

Egymást befolyásoló hibázási formáknál ennél bonyolultabb eljárással, feltételes valószínűségek számításával kell meghatározni a bekövetkezési valószínűséget.

Az 1. ábrán látható elvi példán az RE1-es csúcsesemény valószínűségét a következő képlettel határozhatjuk meg, ha a hozzá tartozó elemi hibaesemények (H1 – H6) szintjéig bontott eseményláncot végig fejtjük:

$$G_{RE1} = \underbrace{(P_{H1} + P_{H2})}_{G_{T1}} \cdot \underbrace{P_{H3}}_{G_{T2}} \cdot \underbrace{[(P_{H4} + P_{H5}) \cdot P_{H6}]}_{G_{T3}}$$

Egymást páronként kizáró H1 - H2, H4 - H5 elemi eseményeknél, illetve:

$$G_{RE1} = \underbrace{(P_{H1} + P_{H2} - P_{H1} \cdot P_{H2})}_{G_{T1}} \cdot \underbrace{P_{H3}}_{G_{T2}} \cdot \underbrace{[(P_{H4} + P_{H5} - P_{H4} \cdot P_{H5}) \cdot P_{H6}]}_{G_{T3}}$$

Független események vizsgálatakor P1, P2, P3, ... Pi megbízhatóságok ismeretében a hibafa eseményláncán végighaladva, a logikai kapcsolatokat figyelembe véve adhatók meg az egyes kimenetek valószínűségei.

A hibafa eseményláncait végigkövetve lesznek olyan ágak, amelyek például egy rossz minőségű oldószer hozzáadásából, rossz mintavételből, nem megfelelő érzékenyséű műszer választásából, helytelen mérési módszerből, elégtelen nyomkövetésből stb. adódnak, vagyis egyértelműen emberi tévesztésre, vagy mulasztásra vezethetők vissza. Ennek megfelelően a H_i értékek vagy saját gyakorlati tapasztalatokból², vagy irodalmi adatokból³, vagy egy – a cikksorozat következő részében ismertetésre kerülő – algoritmus segítségével adhatók meg.

Módszer az emberi hibák valószínűségének lehetséges számítására

Az eljárás konkrét valószínűségi becsléseket ad azokra az elkövetett emberi tévedésekre, amelyek a szerkezetekben, vagy a mérések során rendelkezésszerűek, nagy jelentőségű események kialakulásához vezethetnek.

Az emberi tényező jelentőségét és természetét A. D. Swain az Egyesült Államok Hadseregében több éven keresztül tanulmányozta. A hibás cselekvések elemzése során a tanulmányt egészen a mozdulat-sorok és azok körülményeinek vizsgálatáig terjesztette ki. Megfigyeléseihez – melyek persze nem a vizsgálattechnikára, hanem a hadsereg előírásos folyamataira vonatkoztak – a hadsereg létszámát tekintve olyan nagy mennyiségű minta állt rendelkezésére, amely megbízható alapot szolgáltatott a számszerű becslésekhez.

Swain vizsgálatainak értékei természetesen nem lehetnek elég pontosak az olyan tevékenységek elemzése esetén, ahol a cselekvéseket speciális hatások befolyásolják, mint:

- időkényszer (pl. jelentős határidőcsúszás, sürgetés, kapkodás)
- pszichikai kényszer (pl.: katasztrófa helyzet, szankciótól való félelem)
- extrém környezeti és egyéb feltételek (pl.: éhség, hideg, zaj, rossz látási viszonyok stb.).

Munkájában rávilágít a kezelési, mérési, végrehajtási utasítások fontosságára, hiszen ezek feloldják a kezelőben a tudattól való függést, és – bár gépiesítve –, de pontosítják a cselekvési sorozatot. Ez azért is fontos, mert az emberi agy maga is rendelkezik ilyen képességgel és

törekszik a tudat tehermentesítésére. Ugyanakkor ez gyakran hibás döntéseket és beavatkozásokat is képes okozni.

A hibák egy részét tévesztésből követik el, amelyek a gondolati elemek rossz sorrendjéből, elhagyásából, kiegészítéséből és az ellenőrzés hiányából eredhetnek. A többit legtöbbször mulasztás miatt követik el, amikor annak ellenére is képesek elfelejteni dolgokat, hogy egyaránt ismerik az előírásokat és a műveletsort.

A nagy kockázatot jelentő téves cselekvések megakadályozására számos megoldást találtak ki. Ezek a szellemes eljárások a minőségügyben „Poka-Yoke” elvként váltak ismertté. Közös jellemzőjük, hogy a működtetéshez sajátos biztosítókat építenek a folyamatba. Ez legtöbbször egy logikai ÉS kapcsolaton keresztül alkalmazott „biztonságredundancia”, tehát a funkciót indító cselekvés mellé rendelt kiegészítő mozdulat, vagy gondolati elem együttes jelenléte. Evvel a bonyolítással kénytelenek vagyunk „végiggondolni” a folyamatot:

- kézszerűllet okozó gépeken alkalmazott úgynevezett „kétkezes indítás”, ahol két, egymástól távol elhelyezett kapcsoló működéséhez a két kéz együttes mozdulata szükséges.
- vasúti átjáróknál a gyalogosok részére kiképzett korlát-labirintus, amelyen végighaladva kényszerűek vagyunk a pályát jobbról és balról is megnézni.
- élénk színű, nyitható fedéllel ellátott kapcsolók, amelyeket nem lehet „véletlenül” megnyomni.
- aszimmetrikus alkatrészek készítése, amelyeket nem lehet „fordítva” felszerelni.
- a nyilvánvaló hibaforrások nehezen hozzáférhetővé tétele (csak körömmel és kényelmetlen tartásban elhelyezett visszacsévéző gomb motoros fényképezőgépeken)
- számítógépen alkalmazott megerősítő kérdések például egy „TÖRLÉS” parancs előtt.
- különböző kialakítású csatlakozások, a más gázokat tartalmazó gázpalackokon.

Az emberi hibák kialakulását két állapot mellett érdemes vizsgálni:

1. A kritikus szituációt megelőző folyamatoknál elkövetett hibák, ahol a normál üzemvitel során előforduló emberi hibákat próbálják becsülni.
2. A kritikussá vált szituációban elkövethető hibák.

Ez utóbbiak esetében a számszerűsítés a fokozott stresszhelyzet bizonytalanságai miatt rendkívül nehéz, mert egyenként változó a „józan gondolkodás” felső határa. Mindehhez járul, hogy a rossz felismerést követheti logikus cselekvések sora, ami mégis hibához vezet.

Különös veszélyforrásokként tartják számon a monotonitást, amely akár már két hasonló feladat megoldásakor, pl. egy szerkezet javításakor is hibát okozhat, illetve az önellenőrzés hatékonyságát rontja. A hibázás veszélye fokozódik, ha a párhuzamosan végzett műveletek száma tovább növekszik.

Az előre elkészített ellenőrző lista nélküli önellenőrzés lényegében a tevékenység újbóli lefolytatását jelenti gondolatban, amikor a korábban is elkövetett hiba jóváhagyása, sokszor megismétlése történik meg. Ebből kiindulva sokkal eredményesebb tehát az ellenőrzés, ha legalább ellenőrző listával követjük az önellenőrzést, de a legjobb, ha ezt az ellenőrzést nem a végrehajtó végzi el, mivel a kívülálló nem siklik el azon dolgok felett, ahol a hiba elkövetődött.

A szimmetria megjelenése is hibás cselekvési változatokat eredményezhet például egy összeszerelési munkánál, mivel az azonos műveletek végzésének sztereotip mozdulatsorát egy figyelmet igénylő geometriai transzformáció zavarja. (Napjainkban például ez utóbbi hibafajta ellen tudatosan küzdenek aszimmetrikus konstrukciók tervezésével a kritikus műveleteknél.). Valamelyest a szimmetriával kapcsolatos tévesztésekre hasonlít az a probléma, amikor egy cselekvési sort fordítva kell elvégezni, hiszen azt egy képzeletbeli, vagy valós listára fentről lefele leírva tükrözve kell visszaidézni.

Irodalom

- [1] Koczor Zoltán, Marshall Marcell: A minőségügyi technikák anyagvizsgálói vonzatai, I. rész, Anyagvizsgálók Lapja 1999. 1. p.27.
- [2] Gregász Tibor (Konzulens: dr. Kovács Zoltán, Bacs Judit): Megbízhatóság és kockázatelemzés a Paksi Atomerőműben, Államvizsga szakdolgozat VE 1999.
- [3] A.D. Swain: Handbook of Human Reliability Analysis with Emphasis on Nuclear Power Plant Applications, Ralph R. Fullwood – R. E. Hall: Probabilistic Risk Assessment in the Nuclear Power Industry (Pergamon Press)