BUKOVICS ISTVÁN:

LOGIKAI „NEMVALÓSZÍNŰSÉGI” KOCKÁZATELEMZÉS

2001. szeptember 11-e, a new yorki merénylet napja nem csak a biztonság és szabadság alapkérdéseinek, hanem a kockázatelmélet és a katasztrófavédelem elméleti alapjainak újragondolását is szükségessé tette.
Azzal, hogy a Világkereskedelmi Központ két tornya egyszerre történő pusztulásának kockázatát annak rendkívül kis valószínűsége miatt elhanyagolták, új fejezetet nyílt a kockázatkezelésben. Azon a napon olyan esemény történt, amelynek egyszerűen nem volt valószínűsége.

Jelen munkában ismertetjük a nemvalószínűségi kockázatelemzés úgynevezett hibafa-módszerét és bemutatunk néhány tipikus alkalmazási módot. A hibafa módszer alapfogalmait példákon keresztül ismertetjük.

11 September 2001, the day of the attempt in New York, made it necessary to reconsider not only the fundamental questions of safety and liberty but also the theoretical basics of the risk theory and disaster management.
As a result the risk that both towers of the World Trade Center could be simultaneously destroyed had been ignored with regard to its extremely low probability a new chapter opened in the risk management. That day such an event happened which had simply no probability.

In the present work we outline the so called fault tree methodology of the nonprobabilistic risk assessment and display some of its tipical adoptations. The principal abstractions of the fault tree methodology will be overviewed through examples.

1. Bevezetés

2001. szeptember 11. (a new yorki merénylet napja) nemcsak a biztonság és szabadság alapkérdéseinek, hanem a kockázatelmélet (kockázatkezelés elmélete), illetve a katasztrófavédelem elméleti alapjainak újragondolását is szükségessé tette.
Azzal, hogy a Világkereskedelmi Központ két tornyának egyszerre történő pusztulását rendkívül kicsiny valószínűségére tekintettel elhanyagolták és nem is kötöttek rá (együttes) biztosítást, a kockázatelemzésben új fejezet nyílt. Addig a közkeletű „valószínűségi kockázatelemzés” kifejezésben a „valószínűségi” jelző a vájtfülűbbek számára feleslegesnek, vagyis pleonazmusnak hangzott, hiszen a „nemvalószínűségi kockázat” fogalma eladdig nem létezett. Azon a napon azonban olyan esemény következett be, amelynek egyszerűen nem volt valószínűsége. Nem valószínűtlen volt, nem is zéróvalószínűségű, hanem valószínűség nélküli.

A dolgozatban ismertetjük a nemvalószínűségi kockázatelemzés úgynevezett hibafa-módszerét és bemutatunk néhány tipikus alkalmazást. Az alapokat illetően [16] könyvére támaszkodunk. Általában [10] könyve fogalmait használjuk, az ettől való eltérést – ha szükséges –, külön jelezzük. A hibafa módszer központi jelentőségű fogalmait példákon keresztül vezetjük be.

1.1 A kockázat fogalma

A „kockázat” szó köznyelvi használata igen elterjedt, ám fogalmának tudományos igényeket kielégítő leírására a köznyelv nem alkalmas. Nem alkalmas arra, hogy a kockázat valamiféle leírása alapján, ha szükséges, annak létrehozására, ha kell elkerülésére módszereket, eszközöket szolgáltasson. Nem alkalmas arra, hogy úgy írja le a kockázatot, ahogyan a növényrendszertan leírja a szamártövist vagy a gránátalmát, ahogyan a vegyész leírja a mérget, az orvos a tífuszt és a kolerát, a jogász a bűnt és a büntetést, a fizikus az elektromos ellenállást és a turbulenciát, a matematikus a valószínűséget és a káoszt.
Az Interneten a „risk assessment” kifejezésre a keresőgépek ezrével szolgáltatják a honlapokat.
Egy kiindulási link: http://www.win.org/county/depts/ema/links.htm (Ez további 29 linket tartalmaz)
A "risk definition" kifejezésre a google keresőgép több mint 24 ezer honlap-címet szolgáltat.
A bőség ezen zavara megnehezíti, hogy a gyakorlatban alkalmazott matematikai modellek szülessenek kockázat vonatkozásában.

1.2 Nemvalószínűségi kockázat

A logikai „nemvalószínűségi kockázat” („nonprobabilistic risk”) kifejezéssel a hazai szakirodalomban eddig aligha lehetett találkozni (legalábbis az Internet tanúsága szerint). Szinonimája lehetne talán a „determinisztikus kockázat”, „logikai kockázat (?)”. Nemvalószínűségi kockázatról akkor van szó, ha egy olyan esemény, jelenség, történés tekintetében áll fenn bizonytalanság, amelynek nem értelmezhető a valószínűsége. A bizonytalanság fogalmát alapfogalomnak tekintjük. A „nem értelmezhető” nem azt jelenti, hogy számunkra (tudásunk vagy értesültségünk hiányossága okán) nem ismeretes a kérdéses valószínűség, hanem azt, hogy annak feltételezése, hogy az eseménynek van valószínűsége, önellentmondásra vezet.
A nemvalószínűségi kockázatelemzés abból indul ki, hogy egy esemény akkor is lehet kockázatos, ha nincsen valószínűsége.
A nemvalószínűségi kockázatot felmutató jelenségekre gyakorlatilag áttekinthetetlenül sok példa létezik. Az Interneten a „nonprobabilistic risk”, a „qualitative decision theory” illetve a „deterministic risk” kulcsszavakra több száz hivatkozás található.
A nemvalószínűségi kockázatelemzés fogalmához legegyszerűbben úgy lehet eljutni, hogy a hibafa módszertanon alapuló kockázatbecslés standard eljárásából [16], [33] elhagyunk minden valószínűséggel kapcsolatos részletet és mellőzzük a grafikus technikát. Henley –Kumamoto, 1981 alapművében a következő –számunkra iránymutató – mondat szerepel:
„… Fault trees … are complex logic structures and their construction and quantitative analysis involves, minimally, a sound knowledge of Boolean algebra, set theory and other advanced mathematical topics…”

Magyarországon az első hibafa-elemzés (vagyis a hibafa-módszerrel történő nemvalószínűségi kockázatelemzés) [Fáy et al., 1978] nevéhez fűződik. A dolgozat égésfolyamatokat vizsgál. A 90-es évektől egyre több egyetemen és főiskolán tanítják. A hazai vonatkozásokat illetően feltétlenül említésre méltó még: [8], [14], [15], [19] és [23].

A valószínűségi szemlélet korlátaival kapcsolatos megnyilatkozások már a múlt század közepétől kezdve fellelhetők. Ide sorolható [13] kritikája az életbiztosítást illetően, vagy [34] gondolatmenete. De – tágabb értelemben – azok a kutatások is ide tartoznak, amelyek közelítő modellekkel számszerűen írnak le lényegileg bizonytalan, határozatlan (tehát nem egyértelműen definiált) jelenségeket. Ott fordulnak elő tipikusabban ilyen esetek, ahol egyidejűleg több, igen eltérő szemléletű tudományág eszközeit kell alkalmazni. Ahol az elmélet szerint elhanyagolható (tehát lényegtelen) körülmények a gyakorlatban létfontosságúak. Ilyen esetekre a katasztrófavédelem szolgáltatja a legjobb példákat. Az egzakt elméletek mindig annak

köszönhetik hatékonyságukat, hogy bizonyos tényezőket elhallgatnak, elhanyagolnak. Csakhogy a kudarcok és a katasztrófák nyomán, ha egyáltalán felderíthetők, mindig megtalálhatók az elhanyagolt, a figyelembe nem vett tényezők és körülmények, a mellékhatásokkal járó kockázatok. Ezek nem mindig emberi hanyagságok: sokszor az egzakt tudomány lényegéből fakadnak, annak „eredendő bűnei".
A hanyagolás oka nem az ignorancia, hanem a hatékonyságra való törekvés. Ha a gimnazistának azt mondja a fizikatanár, hogy a csigán átvetett kötél súlyát hanyagolja el, akkor ezt nem azért teszi, mert nem tudja, hogy van a kötélnek súlya, hanem azért, mert nem tud mit kezdeni vele, nem tud következtetéseket levonni belőle, és ezért lényegtelennek tartja. Természetesen abban sem kételkedik, hogy a kötél súlya adott (gyakorlati) esetben létfontosságú lehet, csak (jó fizikus módjára) gondosan megkülönbözteti a lényegest a létfontosságútól.
Márpedig a katasztrófák jó része hanyagolásból ered és a nagy katasztrófák mindig olyannyira valószínűtlenek, hogy a valószínűségük (ha egyáltalán hozzájuk rendelhető) elhanyagolható. A kisvalószínűségű események elhanyagolása nagy valószínűséggel jelentős hibára vezet, jelentős kárt okoz.

1.3. Kockázat és biztonság

Ha mindennapi szavainkkal nem érhető el a kockázat fogalmának kielégítő leírás (és itt természetesen nem valamiféle formális definíciót hiányolunk), próbálkozhatunk talán az értelmező szótárral. Úgy véljük azonban, ez nem vinne közelebb a célunkhoz. Mert van a kockázat és biztonság kapcsolatában egyfajta immanens problematikusság, többértelműség, ami némelyest kitüntetetté teszi az egyéb problematikus jelenségekkel szemben. Aligha utasítható el például Berlin megállapítása, mely szerint

„...Hobbes ... oldalán állt az igazság: az emberek nem a boldogságra, a szabadságra vagy az igazságosságra törekednek, hanem – mindek előtt és -felett – a biztonságra." [2]

Itt említendő meg [32] kitűnő könyve, amely a kockázat és biztonság társadalmi kérdéseivel foglalkozik
Talán közelebb jutunk a megértéshez, ha megkockáztatjuk: a birtokolt biztonság mértéke a legyőzött kudarc mértéke. Kellő diszciplináris háttér nélkül persze ez a megállapítás semmitmondó.

1.4. A kockázatfogalom rendszertani helye és intuitív tartalma

Az angol Roget-féle rendszerben [30] a „risk" (= „kockázat") szónak két jól elkülönülő jelentése van. Az egyik a határozatlan okú a másik a határozatlan célú esély (chance) fogalomkörébe esik. Az első kockázatfogalom az első fogalomosztály (absztrakt relációk) nyolcadik alosztályának („oksági relációk", „causation") első csoportjába („egyenletes eseménysorozatok") tartozik. A második jelentés helye a rendszerben az V. fogalomosztály („szándékfogalmak") első divíziója („egyedi szándékfogalmak") második szekciója („prospektív szándékfogalmak") első csoportjába („konceptuális szándékfogalmak") tartozik.
E felsorolás csupán egy elenyésző része annak a fogalomkincsnek (nem véletlen a Roget-*tezaurusz* név) amit a Roget rendszer tartalmaz (legalább tízszeres terjedelemben). Meglehetősen nehéz vállalkozásnak tűnik tehát olyan elmélet kialakítása, amely ezen jelentésárnyalatok szimultán megalapozására szolgál(hat)na.
A nemvalószínűségi kockázatelemzésre jellemző, hogy egyszeri, (egyedi, azonos körülmények között meg nem ismételhető) véletlen jelenségekkel foglalkozik és nem törekszik számszerűsítésre. Arra törekszik, hogy valamely nemkívánt esemény bekövetkezésére olyan szükséges és elegendő feltételeket találjon, amelyek közvetlen emberi hatáskörben vannak.

Módszerére jellemző a közvetlen logikai eseményleírás. Ez sok rokon vonást mutat a mesterséges intelligenciakutatás módszereivel, az ismeretábrázolással [4], az akciólogikával [21], a kvalitatív fizikával [9]
A nemvalószínűségi szemlélet alapelve homlokegyenest ellentétes azzal, amit
R. Crombie cikkének címe így fejez ki:
„when certainty does not exist, frequency and probability is the best we can do"
[7]
A kockázatkezelés (és ezen belül a katasztrófakezelés) olyan döntések sorozata, amelynek célja valamely nemkívánatos esemény megelőzése vagy elhárítása. A köznyelv (és bizonyos mértékig a jogi szöveg is) – inherens sajátosságainál fogva – nem képes és nem is szándékozik különbséget tenni **esemény** és **eseménykategória** között. Ugyanakkor jelenleg a jogi szöveg az egyetlen fogalmi apparátus, amely legalább megkísérli a kockázattal általában és a katasztrófával különösen kapcsolatos fogalmak egzakt értelmezését. Ennek sikere szakmai háttér (diszciplína és professzió valamint paradigma) nélkül erősen vitatható.
Minden katasztrófa egyedi, egyszeri, tehát azonos körülmények között **meg nem ismételhető** véletlen esemény. Múlt századi közkeletű felfogás szerint [29]
„Azonos körülmények között megismételhetetlen, egyszeri [Rényi Alfréd kiemelése] véletlen eseményekkel a valószínűségszámítás és általában a tudomány [az én kiemelésem: B. I] nem foglalkozik "

Ez a felfogás ma már némiképpen túlhaladott és a terrorizmus, a természeti katasztrófák problémái aktualizálódása folytán kihívásként jelenik meg.
Rényi írja: (i.h.)
„Egy egyszeri véletlen eseménnyel kapcsolatban a tudomány nem tehet többet, mint hogy megállapítja annak véletlen jellegét."

Álláspontom szerint a tudomány igenis többet tehet ennél. A tudomány nem tagadhatja, és nem ignorálhatja, hogy az egyszeri eseménynek is lehet kockázata, és hogy különböző eseményeknek különböző lehet a kockázata. Erre utal már az a körülmény is, hogy az Interneten bőségesen találhatók olyan helyek, ahol a „nemvalószínűségi" illetve a „determinisztikus" kockázattal foglalkoznak[1]. („non-probabilistic risk assessment" illetve: „deterministic risk assessment"). A tudomány megállapíthatja, hogy mi a szükséges és elegendő feltétele egy egyszeri, megismételhetetlen esemény bekövetkezésének. Megállapíthatja ennek alapján, hogy egy ilyen esemény hányféleképpen következhet be annak ellenére, hogy az esemény nem ismételhető meg és így gyakoriságáról nem (és ezért valószínűségéről sem) lehet beszélni. Az is megállapítható a tudomány módszereivel, hogy melyek azok a legkisebb elemszámú eseményhalmazok,- eseménykombinációk - amelyek elemeinek bekövetkezése vagy be nem következése saját hatáskörünkbe esik és egyben a vizsgált kockázati rendszer nem kívánt eseménye bekövetkezésének szükséges és elegendő feltételét alkotják. Ily módon azután módszereket adhat valamely egyszeri esemény megelőzésére, elhárítására vagy előidézésére.
Egy ilyen tudomány éppen a kockázatbecslés azon ága, amely elvileg bármely esemény (akár egyszeri, akár nem) bekövetkezésének (vagy be nem következésének) szükséges és elegendő feltételeiből (pontosabban az ezekre vonatkozó – a logika szabályai szerint kifejezett - információkból, állításokból) messzemenő következtetéseket képes levonni.
Az idézett valószínűségszámitási (egyébként rendkívül értékes) tankönyv [29] megjelenését követő alig egy évtized után vették kezdetét azok a kutatások, amelyektől ma – a munkánk főtárgyát képező – logikai kockázatelmélet ill. kockázatelemzés megszületését számíthatjuk.

[1] Elegendő itt utalni arra az USA-monográfiára, amely 1999-ben Determinisztikus Kockázatbecslés címmel került hivatalos kiadásra. (http://www.azdhs.gov/phs/oeh/pdf/guidance.pdf) Hasonló a Magyarországon is kötelezően előírt élelmiszerbiztonsági kockázatelemzés (HACCP = „Hazard Analysis Critical Control Points")

[16]. Az egyedi események valószínűségével kapcsolatos problémákra nézve lásd még: [3], [34], [13].
A kockázat intuitív tartalmához (különösen a környezet-kockázatához) tartoznak még a következők:
Minden környezeti beavatkozás kockázatos, még akkor is, ha az a leggondosabban került előkészítésre, kivitelezésre. A feladat tehát nem az, hogy a kockázatot csökkentsük, hiszen az egyedi esemény (nemvalószínűségi kockázata) esetében a „kockázat csökkentése" kifejezés nincsen értelmezve. Ehelyett a feladat a nemkívánatos környezeti esemény megelőzése illetve hárítása.
A kockázat tudata két szélső eset között helyezkedik el. Az egyiket a „mindenki a maga szerencséjének kovácsa", a másikat az „ember tervez, isten végez" mondás jelzi. Hasonlóképpen: egyfelől „csak magadban bízhatsz" másfelől „isten útjai kifürkészhetetlenek".
A kockázat részben tőlünk, részben körülményeinktől függ.
Körülményeink egy része is tőlünk függ. Képesek vagyunk saját szerveinket és képességeinket bizonyos mértékig kiterjeszteni. Körülményeink másik része ugyan nem függ tőlünk, de hatásait befolyásolhatjuk. Az esőt nem tudjuk elállítani, de mehetünk eresz alá, vagy használhatunk esernyőt, elhalaszthatjuk utunkat, stb..
Környezeti beavatkozási tervünk sikereit részben a szerencsének részben annak köszönhetjük, hogy mennyire ismerjük annak kockázatait, valamint azokat a tényezőket, amelyek alakítása saját hatáskörünkben van.
Környezeti beavatkozási tervünk sikere azon múlik, hogy mennyire tudjuk annak nemkívánatos mellékhatásait elkerülni. Valamely környezeti beavatkozási terv kockázatelemzésének lényege a számunkra nemkívánatos események felbontása, visszavezetése olyan eseményekre, amelyek hatáskörünkben vannak.
Szellemi teljesítőképességünket általában meghaladja, hogy egyetlen aktusban meg tudjuk állapítani valamely elgondolás, terv kockázati tényezőit. A kockázatok és mellékhatások tekintetében nemcsak a gyógyszereknél, hanem itt is szükség van valamilyen segítségre. Ez a segítség jelentheti a szakemberrel való megbeszélést, de ha valakinek van számítógépe és valamennyire ért is a használatához, akkor magán is tud segíteni, feltéve persze, hogy rendelkezik bizonyos környezetismereti képességgel (és megfelelő számítógépes programmal).
Szándékosan nem környezetismeretről, hanem csupán környezetismereti képességről beszélünk.
A következmény-felismerés tekintetében már nem ilyen előnyös a helyzet. Néhány napra előre tudjuk jelezni az időjárást és bizonyos következményeit. Általában ezek elejét is tudjuk venni, el tudjuk kerülni, meg tudjuk előzni. Nem így áll a dolog a villámcsapással, a rablótámadással, a balesettel, a földrengéssel, a hurrikánnal, és mindenek előtt a környezeti károsodással. Ezekre előjelekből kell – kellene – következtetni.
A környezetismereti képességek tekintetében természetesen nem vagyunk egyenlők. A politika, a média, a közoktatás és a családi nevelés mindmáig túl keveset tett ahhoz, hogy kielégítő környezetismereti képességekről beszélhessünk.

1.5 Explikáció: a kockázatelemzés legalapvetőbb lépése

A kockázatelemzés legalapvetőbb lépése – mint már érintettük – annak eldöntése, hogy valamely eseményt hárító vagy kiváltó események összességére tudjuk-e visszavezetni. Ennek megfelelően beszélhetünk kiváltó vagy hárító (esemény)felbontásról. A hárító felbontásra szinte közismert példa a tűz(eset). Oxigén hiányában nincs tűz. Kissé pontosabban és (ezért) körülményesebben azt mondhatjuk, hogy „ha nincs oxigén, akkor nincs tűz"
Persze a pontos logikai következtetések levonására ez a megfogalmazás még alkalmatlan. Ha még precízebben akarunk fogalmazni, és a számítógéppel segített katasztrófavédelem

megkövetelte egyértelműséget akarjuk illusztrálni, akkor valahogyan így kellene fogalmazni.: „A tűzkeletkezés szükséges és elegendő feltétele, hogy az alábbi feltételek mindegyike teljesüljön:
Oxigén jelenléte
Éghető anyag jelenléte
Megfelelő hőmérséklet megléte
Stb.”
Miután nem célunk a tűzkockázat elemzése, megelégszünk a „stb.” szerepeltetésével. A lényeg, amely a továbbiak szempontjából is nélkülözhetetlen, az, hogy a hárító felbontásban egy ún. konjunkciót alkalmazunk, ami azt jelenti, hogy bizonyos kijelentéseket az „és” kötőszóval füzünk egybe. A példát céljainknak megfelelően így fogalmazhatjuk át szimbolikus írásmóddal:

T = F1 & F2 & F3 & F4 & ...

Ez a képlet a tűzkeletkezés, mint állítást jelző szó (egy lehetséges) konjunktív felbontása.
Itt T annak a kijelentésnek (állításnak, megállapításnak) a jele, hogy „adott helyen és időben a tűzkeletkezés ténye fennforog”, az egyenlőségjel a helyett áll, hogy ”akkor és csak akkor, ha”, az „&” jel pedig az „és” szó helyett áll. F1 jelentése (közelítőleg) az, hogy „oxigén jelenléte”, F2-é: „éghető anyag jelenléte” és így tovább.
Egy eseményt nemcsak hárító események konjunkciójára lehet felbontani, hanem kiváltó események diszjunkciójára is. Ez azt jelenti, hogy bizonyos kijelentéseket a „vagy” kötőszóval füzünk egybe, de nem a kizáró, hanem a megengedő értelemben. Például a tűzkeletkezés egy diszjunktív felbontása így festhet:
T = F1vF2vF3vF4v...
Itt a T betű, miként az előbb is, annak a kijelentésnek (állításnak, megállapításnak) a jele, hogy „adott helyen és időben a tűzkeletkezés ténye fennforog”, az egyenlőségjel itt is a helyett áll, hogy ”akkor és csak akkor, ha”, a „v” jel pedig a (megengedő értelmű) „vagy” szó helyett áll. F1 jelentheti azt, hogy „a tüzet az első számú gyanúsított okozta”, F2 azt, hogy „a tüzet a második számú gyanúsított okozta”, és így tovább. A felbontás szó helyett találóbb lehet a részletezés, de még inkább a pontosan körülírható és a nemzetközi irodalomban is használatos „explikáció” (= „értelmezés”, „explicitté tevés”)

2. Boole-függvények

A Boole-függvények alkalmazott matematikában játszott szerepe C. Shannon klasszikus munkájával kezdődött [31] aki felfedezte, hogy a kapcsolóáramkörök viselkedése tökéletesen leírható a Boole-függvényekkel, pontosabban Boole-féle kifejezésekkel. Ennek a felfedezésnek a jelentőségét aligha lehet túlbecsülni. A vonatkozó szakirodalom pedig gyakorlatilag áttekinthetetlen.
Az alkalmazásoknak a kapuáramkörök adtak újabb lendületet. Kiderült, hogy a Boole-algebrai alapműveletek (ÉS, konjunkció; VAGY, diszjunkció; NEM, negáció) modelljei fizikailag tökéletesen megvalósíthatóak.
Neumann János korszakos munkájával [27] veszi kezdetét a megbízhatóság új szemlélete. Ennek intuitív lényege, hogy tetszőleges mértékben megbízhatatlan alkatrészekből tetszőleges mértékben megbízható szerkezeti rendszerek állíthatók elő. A megbízhatóság mértékének itt használt precíz értelmezésére jelen dolgozatban nincsen szükség. E dolgozat máig ható jelentősége az, hogy a Boole-algebrai konjunkciónak és diszjunkciónak olyan értelmezése adható meg, amely egyaránt használható a Boole-algebra és a valós számok körében. Eszerint, ha p és q valós számok és p, q **[**0, 1] akkor definíció szerint
p és q konjunkciója, jele $p \wedge q = \min(p, q)$
p és q diszjunkciója, jele $p \vee q = \max(p, q)$
p negációja, jele $\neg p = 1 - p$.

Ha mármost p és q akár tetszőleges események valószínűségeit, akár tetszőleges kijelentések igazságértékeit jelentik, és 0 a „hamis”, 1 az „igaz” logikai értéknek felel meg, akkor ezen ∧, ∨ és ¬ műveletekkel egy Boole-algebra nyerhető.
Az első esetben valószínűségi logikáról beszélünk.
A valószínűségi logika Neumann-féle megközelítése indította később Shannonnt és Moore-t arra, hogy a kapuáramkörökre vonatkozó magbízhatóság-növelési módszereket a kapcsolóáramkörök esetére általánosítsa. [25]
Feltehetőleg a Boole algebrának a kapuáramkörökre való igen gyümölcsöző alkalmazhatósága indított bizonyos kutatómérnököket arra, hogy a bonyolult műszaki rendszerek diszfunkcióit (nem rendeltetésszerű viselkedését) logikai (és nem számszerű) eszközökkel írják le. Erre a sajátságos és a műszaki rendszerek leírásában eladdig szokatlan megközelítésmódra több - külön-külön is – nyomós indok szolgált. Ezek közül a három leglényegesebb a következő:

(1) A műszaki rendszerek csakúgy, mint a környezeti rendszerek leírásában multidiszciplináris eszközökre van szükség, azaz egyidejűleg kell figyelembevenni különféle szemléletű és előfeltevéseket alkalmazó diszciplínákat. Rendszerint fizikai (ezen belül például mechanikai, hidrodinamikai, termodinamikai, elektrodinamikai stb.), kémiai (szerves és szervetlen kémiai, műszaki kémiai, reakciókinetikai stb.), biológiai, geofizikai stb., stb. módszereket kell alkalmazni. Ezek sokszor egymásnak ellentmondanak, nem rendelkeznek sem egységes terminológiával sem formalizmussal.

(2) A gyakorlatban előforduló rendszerek diszciplináris leírása igen gyakran nem korrekt kitűzésű, másszóval inkorrektül felállított feladatokat tartalmaz. Erről kitűnő eszmefuttatás található [22] könyvében.
Gyakori a kaotikus viselkedés, a pillangóhatás is. V. ö. [12]

(3) A gyakorlatban a műszaki kérdések gazdasági, jogi, egészségügyi kommunikációs és egyéb társadalmi kérdésekkel összefonódnak. Ezek egységes prezentálására azután végképpen nincsen mód egy közös nyelv alkalmazása nélkül.

A közös nyelv, amely e nehézséget feloldja reményt keltően a logika.
A múlt század 30-as éveiben az elektromos áramkörök tervezése csak grafikus módszerrel, lényegileg sorozatos próbálgatással, kapcsolási rajzok készítésével volt lehetséges. Akkoriban alakultak ki a logikai áramkörök grafikus szimbólumai (a logikai kapuk) is, amelyet a hibafa-technikában mind a mai napig alkalmaznak.
Vessük ezt össze [13] következő soraival, amelyek arra vonatkoznak, hogy
„a Boole-algebrák elméletének … apparátusa felhasználható az elektromos áramkörök tervezésére.”
Jaglom így ír:
„…örök időkre megelégedjünk az ilyen feladatok megoldásánál a maradi grafikus próbálkozással? Igaz-e, hogy tekintet nélkül a logika már kidolgozott `algebrájának` létére, az elosztórendszerek ugyanolyan jellegű algebráját utópiának kell tekinteni? ” (uo.)
A hibafa-módszer ugyancsak nem mentes a maradi grafikus ábrázolásnál. A Windows® Intéző-típusú ábrázolásmódja sokkal korszerűbb, hiszen ez az ábrázolási mód alkalmas un. nyitás – csukás megoldásra, míg a grafikus ábrázolás meglehetősen statikus.

2.1 A közvetlen logikai eseményleírás

Ez a körülmény egyedülálló előnyt biztosít a hagyományos (diszciplináris) leírásmódokkal szemben. A természettudományos jelenség-leírás mindig absztrakt, absztrakcióra törekszik, absztrakciókkal dolgozik. Ezért mindig tudatosan elhanyagol bizonyos tényeket. Hiába **tudjuk** például**,** hogy az emelő csigakerekén átvetett kötél súlya életfontosságú (lezuhanása halálos balesetet okozhat), hiába ismerjük is adott esetben a súlyát, sőt a súrlódási tényezőjét, ezek a fizikai (mechanikai) számításokban nem vehetők figyelembe, elhanyagolásra kerülnek, **lényegtelen**ek. Nem azért, mintha a mechanika matematikai apparátusa erre alkalmatlan lenne, hanem azért, mert a kötél súlyából következő eseményeknek mind a szükséges, mind pedig elégséges feltételei kívül esnek a mechanika fogalmi körén, jelrendszerén, szaknyelvi korlátain,

relevanciáján és illetékességén, egyszóval: paradigmáján. A mechanika terminológiájában nem lehet megfogalmazni például azt, hogy „munkavédelmi ellenőrzés-mulasztás történt a csigás emelő kötélzetének biztosítására vonatkozóan”, márpedig ilyen és ehhez hasonló –logikailag egzakt de a mechanikában meg nem fogalmazható - eseményeken (állításokon, kijelentéseken, ítéleteken) múlik minden, amitől egy létfontosságú esemény függ. A mechanika nem ismeri sem az eseményalgebrát sem az ítéletkalkulust ezek (szimbolikus) jeleit nem tudja formálisan (tehát jelentésüktől függetlenül) kezelni.
A szaktudomány különválasztja, a kockázatelmélet összekapcsolja a lényegest és a létfontosságút. Természetesen a különböző tudományok, így a társadalomtudomány, és ezen belül a hadtudomány, különböző módon használja a formalizálást.
Formalizálni lényegében véve vagy elméleteket, amelyek fogalomhalmazoknak valamilyen magyarázó rendszerbe történő szerveződései, vagy pedig többé-kevésbé szervezetlen fogalomhalmazokat lehet, amelyeket előelméleteknek, vagy verbális elméletnek nevezhetünk. Teljes formalizálás, ami egy bizonyos feltételrendszer teljesülését jelenti, csak elmélet esetén lehetséges, míg az elméletté össze nem állt fogalomhalmazok esetében e feltételek közül csak néhány teljesülhet [35].

2.2 A Boole-függvények hatékony kezelése

A matematikai szakirodalomban a „többváltozós függvény” terminust teljes általánosságban szokás bevezetni, azaz nem különböztetnek meg „kevés-” és „sok-” változós függvényeket.
Az alkalmazásokban pedig (elsősorban a matematikai fizika parciális differenciálegyenleteire gondolunk) már a 6,7,8 változós függvények használata is meglehetősen ritka. A 100-nál több változós függvények jelentette problémák kívül esnek a matematika érdeklődési körén. Más a helyzet a Boole-függvényekkel, amelyeknél a változók száma a kockázatkezelés gyakorlatában igen nagy (100 körüli) és az ilyen esetek minőségileg új problémákat jelentenek. Számítástechnikai eljárások nélkül egy több tízezer (esetleg millión felüli) mikroelektronikai alkatrészt tartalmazó logikai áramkör megtervezésénél persze ezek a valóban sokváltozós Boole-függvények nélkülözhetetlenek, de a gyakorlatban szó nincs arról, hogy ezeket a tankönyvekben megismert képletekkel netán táblázatos formában vagy grafikusan adjuk meg.
Egy n-változós Boole-függvény táblázatos megadásához általában 2^{n-1} adatra van szükség és minden adat n bitet jelent. Ez például egy 100 változós Boole-függvény esetében több kvintillió! (10^{30}) bájtot jelent, amit még a mai számítógépek tárolókapacitására kialakított szakkifejezésekkel is nehéz kifejezni. Több kvadrillió Quattrobájtról van szó. (Egy Quattrobájt = 2^{50} bájt, azaz 1024 Terabájt = 2^{20} Gigabájt.) Gondoljuk meg, hogy ehhez képest egy 145-változós gyakorlati kockázatelemzési probléma hibafájának eltárolásához például mindössze 40 Kbájtra van szükség. Ha a hibafa, mint közvetett Boole-függvény tárolóképességét ezzel a memóriaigénnyel mérjük, akkor nagyságrendben 30 körüli értéket kapunk.

3. Gyenge és erős pontok

3.1 Intuitív megközelítés

A gyenge és erős pont fogalmát a mindennapi gondolkodás széleskörűen használja, bár ez a használat logikailag némiképpen következetlen.
Az Achilles-mítosz szerint mindaddig, amíg Achilles sarka meg nem sérül, a hős is sértetlen marad. Ebből az az intuitív következtetés vonható le, hogy Achilles sarka (megsérülése) Achilles „gyenge pontja” Ennek egy kézenfekvő pontosítása a következő:
(1) Ha Achilles sarka megsérül, Achilles elbukik.
Ez pedig úgy interpretálható, hogy „Achilles sarka (sérülése) Achilles gyenge pontja”
(2) Intuitíve adódik azonban az az interpretáció is, miszerint
Ha Achilles sarka sértetlen, Achilles nem bukik el.

Ez pedig úgy interpretálható, hogy „Achilles sarka (sértetlensége) Achilles erős pontja”
A logikai kockázatelmélet terminológiájában átfogalmazva ezt úgy foghatjuk fel, hogy itt a főesemény „Achilles bukása”, az egyik prímesemény pedig „Achilles sarkának sérülése”. Amíg ez a prímesemény nem áll fenn, azaz passzív, Achilles sem bukik el, azaz nem következik be a főesemény, vagyis a főesemény is passzív. Így tehát e prímesemény passzivitása (be nem következése) maga után vonja a főesemény passzivitását (be nem következését).
A második interpretáció szerint e prímesemény aktivitása (bekövetkezése) maga után vonja a főesemény aktivitását (bekövetkezését).
Ennek megfelelően a logikai kockázatelméletben
(1) a prímesemények valamely minimális halmazát akkor mondjuk **erős pont**nak, ha elemei egyidejű passzivitása maga után vonja a főesemény passzivitását. (Régi gráfelméleti reminiszcenciák okán szokásos a „Path Set” „Járathalmaz” elnevezés.)
(2) a prímesemények valamely minimális halmazát akkor mondjuk **gyenge pont**nak, ha elemei egyidejű aktivitása maga után vonja a főesemény aktivitását. (Régi gráfelméleti reminiszcenciák okán szokásos a „Cut Set” „Vágathalmaz” elnevezés.)

A népi tudat azonban nem tesz éles fogalmi különbséget az erős és a gyenge pont között, hanem összemossa azokat. Minthogy a mitológiai vonatkozások úgy is értelmezhetők, hogy Achilles akkor és csak akkor bukik el, ha sarka megsérül, azt kell mondanunk, hogy itt egyidejűleg van szó gyenge és erős pontról.
Legyen szabad az Olvasónak ajánlani, hogy az erős és gyenge pont fogalmának intuitív tartalmát próbálja meg azáltal erősíteni, hogy elvégzi a következő események „kockázatelemzését”:

- Sámson hajának elvesztése (feltételezve, hogy Sámson akkor és csak akkor bukik el, ha elveszti a haját)
- Anteusz pusztulása (feltételezve, hogy Anteusz akkor és csak akkor veszít, ha Herkules elragadja a föld felszínéről)
- A hétfejű sárkány pusztulása (feltételezve, hogy a sárkány akkor és csak akkor pusztul el, ha mindegyik és nem bármelyik fejét vágjuk le)

3.2 A kritikus pontok meghatározása

Ebben a pontban bemutatunk egy algoritmust, amely a kritikus pontok (azaz a gyenge és az erős pontok) meghatározására szolgál.
A Boole-algebra terminológiájában az algoritmus egy közvetett pozitív (azaz negációt nem tartalmazó) Boole-függvény diszjunktív normálformájának (röviden **DNF)** meghatározására szolgál. Az algoritmus, némi mechanikus módosítással a konjunktív normálforma (röviden **KNF),** meghatározására is alkalmas. E fogalmak pontos és didaktikus leírása megtalálható [10] könyvében.

3.3 Egy példa

Az alábbi példa a [26] könyvből való.
Itt egy nyolcváltozós közvetett Boole-függvényről van szó, jele G1, a változók jele pedig E1,…,E8. A változók jelentése itt számunkra érdektelen, egyébként a fenti Internet-címen megtalálható.

A főesemény, (G1), a következő egyenletekkel (közvetítő függvényekkel) van megadva:

$G1 = G2 \cdot G3$
$G2 = G4 + E2$

G3 = G5 + E1
G4 = G6 + E3
G5 = G8 · G9
G6 = G7 + E4
G7 = G8 · G9
G8 = E7 + E8
G9 = E5 + E6
Fejezzük ki G1 –t, mint az E1,…,E8 függvényét

Az idézett helyen kimutatják, hogy

G1 = E6·E7 + E6·E8 + E5·E7 + E5·E8 + E1·E3 + E1·E4 + E1·E2

G1 = E1·E2 + E1·E3 + E1·E4 + E5·E7 + E5·E8 + E6·E7 + E6·E8

Másszóval:

DNF(G1) = E1.E2 + E1.E3 + E1.E4 + E5.E7 + E5.E8 + E6.E7 + E6.E8

KNF(G1) = (E1+E5+E6).(E1+E7+E8)).(E2+E3+E4+E5+E6).(E2+E3+E4+E7+E8)

3.4 Egy algoritmus

A bemutatandó algoritmus egy hibafával leírt kockázati rendszer gyenge pontjainak maghatározására való. Hasonló módon építhető fel az erős pontok meghatározására szolgáló algoritmus is

Az algoritmus előkészítésére a következőképpen járunk el

Készítsünk egy Eseményjegyzéket, amely az összes összetett eseményt tartalmazza

Az eredmény:

Eseményjegyzék = {G1}

Készítsünk egy **Gyengepontjegyzéket**

Az eredmény: **Gyengepontjegyzék =** {} (Az üres halmaz)

1. Lépés: Kiindulunk a főeseményt definiáló G1 egyenletből:
   (A példa esetében. G1 = G2 ·G3)
2. Lépés:

Vegyük sorra az előző lépésben szereplő esemény explikánsait (azaz tényezőit vagy tagjait aszerint, hogy az esemény (felbontása) konjunktív vagy diszjunktív)

Ha az esemény konjunktív, akkor helyettesítsük az **Eseményjegyzék** megfelelő elemét a tényezők halmazával.

Ha az esemény diszjunktív, akkor bővítsük az **Eseményjegyzék** megfelelő elemét az esemény tagjaival.

Az eredmény: A G1 elem helyettesítése a {G2,G3} halmazzal.

Eseményjegyzék = {G2,G3}

Végezzük el a Boole-algebra szabályai szerinti egyszerűsítéseket az eseményjegyzéken

3. Lépés:
   Ha az eseményjegyzék valamelyik eleme csupa prímesemény halmaza, akkor jegyezzük fel ezt a halmazt a **Gyengepontjegyzékbe.**
4. Lépés:
   Ha elértük az utolsó eseményegyenletet, akkor az algoritmus véget ért.
5. Lépés:
   Térjünk át a következő eseményegyenletre és folytassuk a 2. Lépéssel

3.5 Az algoritmus futása

Az algoritmus futását a következő táblázat mutatja:

Menet	Esemény egyenlet	Eseményjegyzék	Gyengepont jegyzék
1	G1 = G2 · G3	{G2,G3}	
2	G2 = G4 + E2	{G4,G3},{E2,G3}	
3	G3 = G5 + E1	{G4,G5},{G4,E1},{E2,G5},{E2,E1}	{E1,E2}
4	G4 = G6 + E3	{G6,G5},{E3,G5}, {G6,E1},{E3,E1}, {E2,G5}	{E1,E2}, {E1,E3}
5	G5 = G8 · G9	{G6,G8,G9}, {E3,G8,G9}, {G6,E1},{E3,E1}, {E2,G8,G9}	{E1,E2}, {E1,E3}
6	G6 = G7 + E4	{G7,G8,G9}, {E4,G8,G9}, {E3,G8,G9}, {G7,E1}, {E4,E1}, {E3,E1}, {E2,G8,G9}	{E1,E2}, {E1,E3}, {E1,E4}
7	G7 = G8 · G9	{G8,G9}, {E4,G8,G9}, {E3,G8,G9}, {G8,G9,E1}, {E4,E1}, {E3,E1}, {E2,G8,G9}	{E1,E2}, {E1,E3}, {E1,E4}
8	G8 = E7 + E8	{E7,G9}, {E8,G9}, {E4,E7,G9}, {E4,E8,G9}, {E3,E7,G9}, {E3,E8,G9}, {E7,G9,E1}, {E8,G9,E1}, {E4,E1}, {E3,E1}. {E2,E7,G9}, {E2,E8,G9}	{E1,E2}, {E1,E3}, {E1,E4}

9	G9 = E5 + E6	{E7,E5}, {E7,E6}, {E8,E5}, {E8,E6}, {E4,E7,E5}, {E4,E7,E6}, {E4,E8,E5}, {E4,E8,E6}, {E3,E7,E5}, {E3,E7,E6}, {E3,E8,E5}, {E3,E8,E6}, {E7,E5,E1}, {E7,E6,E1}, {E8,E5,E1}, {E8,E6,E1}, {E4,E1}, {E3,E1}, {E2,E7,E5}, {E2,E7,E6}, {E2,E8,E5}, {E2,E8,E6}	{E1,E2}, {E1,E3}, {E1,E4}, {E5,E7}, {E5,E8}, {E6,E7}, {E6,E8}

3.6 A kritikus pontok szemléleti háttere és alkalmazásának korlátai

A kritikus pontok a kockázati rendszer legtökéletesebb jellemzői.
Egy aktív rendszerállapot (amelyben tehát a főesemény esete fennáll) erős pontjai alapján megállapítható a veszély háríthatósága illetve a hárítási stratégia, vagyis az, hogy mely prímesemények passziválásával érhető el „legelőnyösebben” a főesemény passzív állapota. Itt a „legelőnyösebben” kétféle jelentéssel bír. Jelentheti a leggyorsabb (azaz a legkisebb időigényű) és a legolcsóbb (vagyis a legkisebb költségigényű) hárítást.
Hasonlóképpen:
Egy passzív rendszerállapot (amelyben tehát a főesemény esete nem áll fenn) gyenge pontjai alapján megállapítható a rendszer sebezhetősége illetve a megelőzési stratégia, vagyis az, hogy mely prímesemények passzívan tartásával kerülhető el „legelőnyösebben” a főesemény aktív állapota. Itt a „legelőnyösebben” szintén kétféle jelentéssel bír. Jelentheti a leggyorsabb (azaz a legkisebb időigényű) és a legolcsóbb (vagyis a legkisebb költségigényű) megelőzést.
Természetesen aktív állapotban nincs értelme gyenge pontról beszélni, csakúgy, mint passzív állapotban erős pontról.
Feltehető, hogy a kritikus pontok ezen előnyös tulajdonságai okán törekednek a kockázatelemző rendszerek a gyenge és az erős pontok meghatározására. Ugyanekkor azonban van egy alapvető elvi nehézség, amely ezt a törekvést megnehezíti illetve kudarcra ítéli.
A nehézség abból ered, hogy a kritikus pontok meghatározása matematikailag egy Boole függvény konjunktív és diszjunktív normálformájának meghatározását jelenti. Ez pedig igen időigényes számítástechnikai feladat, mivel egy tipikus hibafa esetén (amelyben kb. 100 prímesemény fordul elő) a független diszjunkciók illetve konjunkciók száma több millióra rúghat. Ezek kiszámítása napokat vehet igénybe a mai személyi számítógépeken. Ha adott esetben mégis sikerül e normálformák kiszámítása és eltárolása, akkor még mindég megmarad az a feladat, hogy minden konkrét esetben – más szóval: minden konkrét állapotban – a normálforma valamelyikét (alkalmasint a számítástechnikailag előnyösebbet) ki kell értékelni, hogy

megtudjuk, fennáll-e a főesemény esete. Ezekután (az esettől függően) ki kell választani a legelőnyösebben kiküszöbölhető kritikus pontot. Ez újabb számítógépi erőforrást köt le. Ilyen körülmények között valós idejű kockázatkezelésről a számítástechnika jelenlegi fejlettségi szintjén (és a racionálisan belátható jövőben) szó sem lehet.
Ezen a nehézségen a valószínűségi kockázatelemzésben úgy „segítenek", hogy a kis valószínűségű konjunkciókat egyszerűen elhanyagolják. Így azután kizárják a nagy katasztrófák (amelyek valószínűsége – ha létezik – igen kicsi) e lőrejelezhetőségét.
E nehézség kiküszöbölésére szolgál a kockázatkelés játékelméleti modellje, s annak ún. FLORIAN stratégiája. Ezzel az 5. pontban foglalkozunk.

3.7 A Franklin-tér

Franklin Benjamin (1706 - 1790) szerint "Az idő pénz".
Hogy minden eseménynek költség-vonzatot lehet és kell is tulajdonítani az mind a számvitelnek, mind a biztosításelméletnek kiinduló pontja, előfeltevése, axiómája**.**
Ha elfogadjuk a fenti "Franklin elvet" akkor ebből következik, hogy nemcsak költségigénye, hanem időigénye is van minden eseménynek és így minden olyan cselekvésnek, amelynek eredménye valamilyen esemény. Hacsak a fogalmilag meglehetősen problematikus "semmittevés"-t nem tekintjük cselekvésnek, aligha utasítható el, hogy minden cselekvés eredménye valamilyen esemény.
Természetesen a megfordítást nem kötjük ki: Nem minden eseményt gondolunk valamilyen cselekvés eredményének.
Legalábbis tárgyalásunkban (ha mást nem mondunk) a "cselekvés"-t mint a primitív események (amelyek befolyásolása hatáskörünkben van) állapotának (fennállásának vagy fenn nem állásának) megváltoztatását fogjuk érteni.
A kockázatkezelésben a cselekvéseket kézenfekvő módon három alapvető osztályra bonthatjuk: ezek:

- a megelőzés,
- az elhárítás,
- és a felújítás.

Minthogy mindezekhez tartozik valamilyen idő- és költségtényező, a Franklin-pataméterek két-két alosztályát különböztethetjük meg. Így foglalkozni kell a megelőzési idővel, az elhárítási idővel és a felújítási idővel valamint a megelőzési költséggel, az elhárítási költséggel és a felújítási költséggel.

Vegyük sorra és értelmezzük ezt a hatféle Franklin-paramétert

3.8 Megelőzés, hárítás, felújítás

A magyarban a "megelőzni" igének három jól elkülönülő jelentése van. Az első, amit az angolban a "prevent" fejez ki, a betegség, a veszély megelőzésére vonatkozik. A "kézmosással megelőzhető a fertőzés" nem azt jelenti, hogy "fertőzést kézmosás után lehet kapni". A "Széchenyi megelőzte korát " nem azt jelenti, hogy "akadályt gördített a jelene elé". "A villamos megelőzte a kerékpárost" nem azt jelenti, hogy a "villamos megakadályozta a kerékpáro(zá)st", (jóllehet abban valóban megakadályozta, hogy egyszerre érjenek egy helyre)
Már ezek a példák is mutatják, hogy a szavak köznyelvi és szaknyelvi jelentését gondosan meg kell különböztetni egymástól. Különösen akkor, ha nagyon gyakorlati problémákat nagyon elméleti módon kezelünk. A talajszennyezés éppen ilyen.
Mi megelőzésen azt a cselekvést értjük, amely valamely primitív esemény bekövetkezésének megakadályozását idézi elő, meghiúsulását vonja maga után.

Hárításon azon bekövetkezett primitív események be nem következésének előidézését értjük, amely elegendő a bekövetkezett főesemény be nem következéséhez.
A katasztrófakezelés gyakorlata nem elméleti ismeretekre, hanem tapasztalati alapokra épül. Ennek megfelelően ott ezen a fogalmak értelmezése kissé más.

- **Katasztrófamegelőzés:**

a.) minden szervezeti, jogi, műszaki intézkedés, annak érdekében, hogy a nem kívánt esemény ne következzen be.
b.) ha az a. pont ellenére bekövetkezik a nem kívánt esemény, vagy állapot, akkor minden szervezeti, jogi, műszaki intézkedés annak károsító hatásának csökkentése érdekében (pl. gát, tűzfal, stb.)
c.) az eredményes védekezés feltételeinek biztosítása (pl. felkészülés, tervezés, gyakorlat, lakosságtájékoztatás, stb.)

- **Védekezés:** az emberi élet, anyagi javak, állatok, környezet mentése, a katasztrófa keletkezési okának felszámolásával és/vagy annak hatásának felszámolásával. Rendszerint ezen időszak feladata a keletkezés objektív és szubjektív okainak vizsgálatainak megkezdése.
- **Rehabilitáció:** Az eredeti, vagy azt megközelítő élet-és munkakörülmények visszaállítása, illetve biztosítása. Szakmai körökben még nem teljesen tisztázott, hogy meddig katasztrófavédelmi feladat,més mikor gazdasági, esetleg politikai kérdés. Ezen időszak feladata a pontos keletkezési okok vizsgálata, a vizsgálati tapasztalatok visszacsatolása a megelőzési feladatkörbe.

Ha azt akarjuk, hogy a katasztrófavédelem gyakorlata profitáljon a kockázat elméletéből, akkor törekednünk kell a két szemlélet közelítésére.
Nyilvánvaló, hogy a kockázatelmélet nem tud mit kezdeni a „szervezeti, jogi, műszaki intézkedés” kifejezésekkel különösen akkor nem, ha az valaminek az „érdekében” történik.
Mint minden egzakt tudomány, a kockázatelmélet is érdekmentes. (Ellenkező esetben politikai erők játékszerévé válhatna.) Tudjuk persze, hogy ebben a szóhasználatban az „érdek” szó nem politikai értelemben szerepel, de ha nem vigyázunk a köznyelvi és a szaknyelvi kifejezések elkülönítésére, könnyen félreértésekre adhatunk okot.
Nyilvánvaló továbbá, hogy a kockázatelmélet felfogásában a szervezeti, jogi, műszaki intézkedéskefések csakis primitív eseményekre irányulhatnak, hiszen - definíció szerint – csak ezek kimenetelére lehet közvetlen befolyásunk. Mármost bizonyos ilyen intézkedések együttese vagy elegendő egy nem kívánt esemény megszűnéséhez vagy nem.
A probléma - ismét az elmélet terminológiájában - az, hogy melyek azok a primitív események, amelyekre irányuló intézkedések a legeredményesebben (leggyorsabban illetve legolcsóbban) vezetnek célhoz.
Sokkal nagyobb elméleti problémát jelent a főesemény **károsító hatás**ának fogalma a kockázatkezelés szempontjából.

3.9 A kockázatelméleti kárfogalom kezelése

A hibafa-módszeren alapuló kockázatelmélet nem ismeri a konzekvencia-analízist („következmény-elemzést”). Elvileg nem alkalmas arra, hogy a „mi van akkor, ha” típusú kérdésekre az adott (hibafával elemzett) szituációban elvárható választ adjon.
Ennek intuitív belátására vegyük a Gátszakadás (nevű főesemény hibafájának) példáját. A következő pontban foglalkozunk bizonyos további részletekkel.
Ha az a kérdés merül fel, hogy milyen következményekkel jár a „gátfal átcsövesedés” („piping”) akkor a legkülönfélébb válaszok képzelhetők el. Köznyelvi kríziskommunikációs helyzetben az

abszolút semmitmondástól és az üvöltő demagógiától a felelősségteljes ám ismerethiányos nyilatkozatig. Például:

- a gátfal átcsövesedés meglehetősen súlyos következményekkel járhat, de nincsen komolyabb félelemre ok
- a gátfal átcsövesedés tekintetében nincsen felhatalmazásom további információk közlésére
- csak remélni lehet, hogy jelen esetben, csakúgy, mint a múltban, most is átvészeljük a bajt

Amit az esemény következményéről elméletileg megalapozottan valamely adott hibafa alapján mondani lehet az nem több mint „az attól függ". A következő pontban ismertetettek szerint (illetve a Profes + 4 program futása alapján) látható, hogy ha a többi prímesemény mindegyike passzív, akkor a gátfal átcsövesedésnek semmiféle következménye nincsen a hibafa, illetve az azt megalapozó (szakértői grémium által elkészített) szaknyilatkozat alapján!
Az intuitív „magyarázat": a Főesemény (gátszakadás) bekövetkezéséhez a „GÁTFEDŐRÉTEG SÉRÜLÉS" is szükséges. Más kérdés, hogy ezt a laikus kérdésfeltevő beleérti-e az átcsövesedésbe, vagy sem.
A valóságban azonban természetesen felmerül az a kérdés, hogy „elönti-e az árvíz a vetést?"
Nos erre a kérdésre elvileg nem adható válasz az adott hibafa alapján**.** Ugyanis –nyilvánvaló módon – egy hibafa (azaz szaknyilatkozat) alapján csak azokra a kérdésekre adható válasz, amelyek (megfogalmazásában szereplő fogalmak) szerepelnek a hibafában.
Az hogy „az árvíz elönti a vetést?" (illetve az ezzel tartalmilag azonos megfogalmazású esemény) nem szerepel a Gátszakadás hibafájában, ezért – intuitíve bármennyire is kézenfekvőnek tűnik – nem tartozik a hibafa kompetenciájába. Ez azonban nem jelenti azt, hogy a hibafamódszer alkalmatlan lenne a gyakorlatban felmerülő természetes kérdések megválaszolására. Adott esetben a Gátszakadás hibafája mellett el kell készíteni a „vetés elöntése" (vagy ezzel logikailag ekvivalens) szaknyilatkozatot (hibafa formájában) és akkor a kérdésre egzakt választ kaphatunk.

4. A talajszennyezés hibafa-modellje. Néhány alapfogalom

Tegyük fel, hogy egy adott helyen (egy település határában, egy védett övezet belsejében stb.) veszélyes hulladékot helyeznek el. A kérdés: hogyan lehet ennek az eseménynek a káros következményeit megelőzni illetve elhárítani. A válasz lényege az, hogy lépésről lépésre haladva – egyfajta „oszd meg és uralkodj" elv alkalmazásával – a közvetlenül nem kezelhető eseményeket visszavezetjük a hatáskörünkben levőkre. Erre a visszavezetésre – erre a szisztematikus végiggondolási folyamatra - az emberi elme egymagában általában nem képes. Manuálisan hosszú hónapokig tartó szellemi favágásra lenne szükség.
Az elemzést azokra a kutatásokra alapozzuk, amelyeket a múlt század nyolcvanas évei elején egy az EU által támogatott Belga-Olasz közös kutatatási projekt keretében az olaszországi ISPRA (Joint Research Centre, Italy) és a Belga CEN (Centre d'Etude de l'Energie Nucleaire, Belgium) intézetben végeztek. Felmerült, hogy egy belgiumi helységben veszélyes hulladéktároló telep létesítésére lesz szükség. A környezeti kockázatelemzésről szóló beszámoló 1982-ben jelent meg. [1]
A környezeti kockázatelemzés módszerét követve két lehetőség áll előttünk. Az egyik lehetőség szerint azt a kérdést kell feltenni magunknak, hogy szerintünk milyen **kiváltó eseményeket** – tényezőket – tudunk megnevezni, amelyekről bizonyossággal állíthatjuk, hogy a nemkívánatos eseményt **együttesen** (de csakis együtt, külön-külön nem!) kiváltják, előidézik. A másik lehetőség a **hárító események** megnevezésében áll. Ez azt jelenti, hogy meg kell neveznünk mindazokat az eseményeket – tényezőket – amelyekről bizonyossággal állíthatjuk, hogy a

nemkívánatos eseményt egymagukban (s így együttesen annál inkább) kizárják, megakadályozzák.
Az elemzés több lépésből áll. Mielőtt azonban ezzel részletesebben foglalkoznánk, némi technikai előkészületeket kell tennünk. Ennek híján a számítógépi segítség nem lenne lehetséges.
Először is általánosítsuk a kiváltó és a hárító esemény fogalmát és ejtsük el azt a megszorítást, hogy csupán valamilyen nemkívánatos eseményre vonatkozzék. A „nemkívánatosság" egyébként sem kockázatelméleti fogalom (ahogyan például a mechanikai mozgás oka sem mechanikai fogalom, habár interpretációképpen szokás az erőt a mozgás okaként említeni). Azt, hogy egy esemény kívánatos-e vagy sem, a kockázatelméleten belül nem lehet de nincs is értelme eldönteni. Mostantól kezdve tehát azt tekintjük alapfogalomnak, hogy valamely esemény egy (másik) esemény kiváltó illetve hárító tényezője. Ha tetszik, használhatjuk a „kockázati tényező" gyűjtőnevet is.
Másodszor tegyük pontosabbá a kockázati tényező fogalmát. Hogy megfelelő diszciplináris megalapozáshoz jussunk, az esemény fogalmát mostantól kezdve a matematikai logikában használt „ítélet" vagy „kijelentés" fogalmával vesszük azonosnak. Az esemény és az ítélet között két okból nem teszünk különbséget. (1) Az események és az ítéletek egy-egyértelműen megfeleltethetők egymásnak: Bármely E eseménynek megfeleltethető az az ítélet, amely akkor és csak akkor igaz, ha E bekövetkezik és megfordítva, bármely I ítéletnek megfeleltethető az az esemény, amely akkor és csak akkor következik be, ha I igaz. (2) A köznyelvben a „bekövetkezett" szóalak folyamatos alakja a „be van következve" magyartalan, márpedig erre az alakra van szükség a kockázatelméletben. A matematikai logikában szerencsére az „igazzá lett" alakra nincsen szükség és az „igaz" azaz az „igaznak lenni" kifejezés korrektebb. Ha mégis esemény-terminológiában akarjuk kifejezni magunkat, de kerülni akarjuk a magyartalanságot, akkor az aktív esemény illetve passzív esemény kifejezést használjuk.
Ezen előkészítés után próbáljuk meg ezeket a fogalmakat a „talajfelszín-szennyezés" rövid megnevezésű környezeti káresemény kockázatelemzésében alkalmazni.

4.1 Első lépés: A főesemény explikációja

Ha E1-el jelöljük a „főeseményt" (vagyis „talajfelszín-szennyezés tényének fennforgását") és rendre E2, E3, és E4-tel jelöljük az egyes kiváltó tényezőket, akkor logikai képlet formájában ezt írhatjuk:
E1 = E2vE3vE4,
Ahol:
E1 jelentése „TALAJFELSZÍN-SZENNYEZÉS"
E2 jelentése „SZENNYEZŐ HULLADÉK KERÜL A TALAJRA"
E3 jelentése „TALAJFEDŐRÉTEG ELTÁVOLÍTÁS"
E4 jelentése: „SZENNYMIGRÁCIÓ"
A nagybetűs szedés arra utal, hogy a szóban forgó esemény „összetett" azaz további felbontásra, explikációra kerül.
Az explikáció részletesebb ismertetése [Molnár – Bukovics, 2000] tanulmányában található.

4.2 Második lépés

Ebben a lépésben a már előzetesen feljegyzett tényezőket elemezzük tovább. Ismét kiváltó tényezőket állapítunk meg. A kutatások szerint:
Képletben:
E2 = E21vE22vE23vE24,
Ahol (röviden):
E21 jelentése „SZENNYEZŐ HULLADÉK KERÜL A TALAJRA"
E22 jelentése „jelentős talajelmozdulás"

E23 jelentése „extruzív magmatikus aktivitás”
E24 jelentése „szennyezett talajvíz szintemelkedés”

4.3 További lépések

A harmadik lépésben a háromindexes tényezők jelennek meg. Minthogy ezek száma jelen elemzésben meghaladja a negyvenet, az egyszerűség kedvéért ezek közül csupán néhány jellegzeteset mutatunk be. Később – az írásmód célszerű megváltoztatása után – bemutatjuk a főesemény teljes felbontását. A kisbetűk az utolsó fázist jelzik, vagyis azt, hogy a szóban forgó eseményt valamilyen okból nem bontjuk tovább. Az eljárás annyi lépésben folytatódik, ahány lépés szükséges ahhoz, hogy csupa kisbetűs eseményhez érkezzünk. Ezeket prímeseményeknek fogjuk nevezni.

4.4 Igazság és jelentés

Nem az E21 állítás igazságát, hanem a jelentését állítottuk. Ezt a két fogalmat a leggondosabban meg kell különböztetni egymástól. Ne felejtsük el azt sem, hogy a vizsgálatokat nem szabad összetéveszteni a közvélemény-kutatással. A kockázatelemzés nem arra keresi a választ, hogy, mi okozza a káreseményt és nem is arra, hogy mi az általános vagy különleges (szak)vélekedés a talajfelszín-szennyezésről, hanem arra, hogy miként lehet egzakt, ellenőrizhető és kezelhető módon megtalálni a főesemény kiváltó és hárító tényezőit. Ebben a vonatkozásban teljesen közömbös, hogy ki mint bontja fel (kiváltó vagy hárító) tényezőkre a káreseményt.

4.5 Definíció és kritérium. Explikáció, explikáns, explikandum, explikátum

Az logikai képletek nem definíciói, hanem kritériumai a szóban forgó eseményeknek. Az esemény definíciója, meghatározása nem a kockázatelemzés, hanem valamely szaktudomány, szakma feladata. A logikai képletekkel nem valamely esemény jelentését határozzuk meg, hanem annak részleteit tárjuk fel. A meghatározás szerepét a feltárás, a részletezés, az explicitté tevés veszi át.
Ezért explikációról beszélünk. A kockázatelemzés nem más, mint az események szukcesszív iteratív explikációja a főeseményből kiindulva. Az explikáció tárgya az explikandum, eszköze(i) az explikáns(ok), eredménye az explikátum.

4.6 A prímesemény

A kisbetűvel írt esemény azt jelzi, hogy az eseményt valamilyen okból nem bontjuk tovább, nem kerül explikálásra, nincsen explikánsa.
Ilyen ok például az lehet, hogy a tényező fennállását saját hatáskörünkben lévőnek ítéljük meg. Ilyenkor azt mondjuk, hogy egy primitív tényezőhöz gyakrabban használt terminus technicussal: „prímeseményhez” érkeztünk. Az explikáció a főeseménnyel kezdődik és a prímeseményekkel ér véget.

4.7 A hibafa

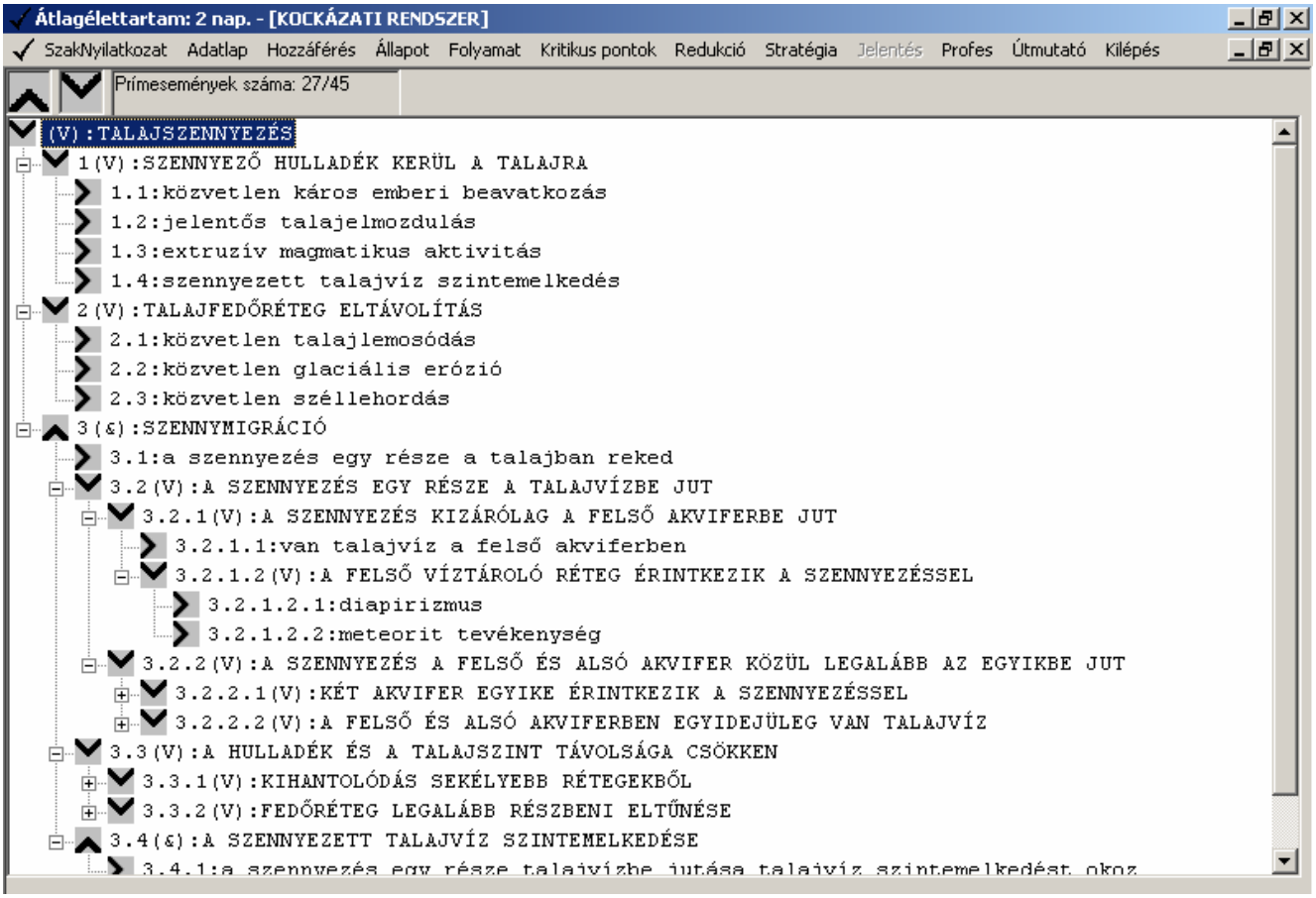
A kockázatelemzés módszere a fenti manuális formában meglehetősen nehézkes. A kutatások során a talajfelszín-szennyezés esetében 27 prímesemény került feltárásra; ennek részleteiben való bemutatása hagyományosan papíralapú adathordozón terjedelmes dokumentum leírását jelentené. Ez a körülmény mutatja, hogy a számítógép igénybevétele nélkülözhetetlen. A számítógépek, pontosabban a szövegfeldolgozási programok révén egy újfajta írásbeliség jött létre és ennek köszönhető, hogy a logikai eseményelemzés, tehát az explikáció, gyakorlatilag keresztülvihető. Az új írásmódnak még nincsen általánosan elfogadott neve. A megfelelő

olvasásmód illetve szövegmegjelenítési mód a Microsoft® Word jelenlegi verziójában már használatos és „dokumentumtérképnek” nevezik.
Ezzel a szöveg terjedelme gyakorlatilag a tizedrészére csökkenthető.
A megfelelő írásmódra illetőleg megjelenítési módra talán a „faírásmód” illetőleg a „fanézet” vagy „fadiagram” elnevezés volna a legpontosabb. Esetleg elfogadható a „tartalomjegyzék-írásmód” illetve a „jegyzék- vagy strukturált jegyzék írásmód” is. Esetünkben (a családfa mintájára) a hibafa elnevezést alkalmazzuk.

4.8 Állapot

A kockázati rendszer eseményeit – pontosabban: eseményrendszerét – a hibafa Boole-függvénye definiálja, ábrázolja. Azt is mondhatjuk, hogy az eseményrendszer a kockázati rendszer alrendszere. Van azonban a kockázati rendszernek ezen kívül egy másik alapvető alrendszere is, és ez az állapotrendszer.
Minden esemény vagy bekövetkezett (rossz magyarsággal, de pontosabb kifejezéssel: „be van következve” illetve „esete fennáll”, „fennforog”) vagy nem. Ha igen, azt mondjuk, hogy az esemény aktív (vagy aktív állapotú, vagy aktív állapotban van), ha nem, azt mondjuk, hogy az esemény passzív (vagy passzív állapotú, vagy passzív állapotban van). A kockázati rendszer elemi komponenseinek (vagyis a prímeseményeknek) az állapota időről időre megváltozhat. Ennek megfelelően a (kockázati) rendszer állapotáról fogunk beszélni aszerint, hogy a primitív események adott állapota esetén a főesemény aktív-e vagy sem. Ha aktív, akkor azt mondjuk, hogy a rendszer aktív állapotban van, ha passzív, akkor azt mondjuk, hogy a rendszer passzív állapotban van. Ez annyit jelent, hogy a kockázati rendszer állapotát az elemi kockázati tényezők (más szóval a prímesemények) állapota egyértelműen meghatározza
A kockázati rendszer állapotán az elemi kockázati tényezők (prímesemények) állapotainak rendszerét (összességét) értjük.
A „kockázati rendszer állapota” kifejezésből, ha nem okoz félreértést, a rövidség kedvéért elhagyjuk a jelzőt és egyszerűen csak állapotról, vagy rendszerállapotról beszélünk. Megengedjük magunknak azt a pongyolaságot is, hogy – amennyiben nem okoz félreértést – egyszerűen a főesemény nevével hivatkozzunk az állapotra.
A gyakorlatban előforduló kockázati rendszerek (amelyekben a prímesemények száma 100-körül van) elképzelhetetlenül sok lehetséges állapottal rendelkeznek. Mint könnyen belátható, ezek száma a kvintillió (trilliószor billió, 10^{30}) és a decillió (kvintilliószor kvintillió, 10^{60}) közé esik. Ezen állapotok bármilyen formában való tárolása vagy végigvizsgálása természetesen szóba sem jöhet. (Ha egy másodpercenkénti egybillió számlálási sebességű szuperszámítógépet veszünk is alapul, akkor a 10^{30} számú állapot pusztán leszámlálására egytrillió másodpercre, azaz több mint 30 milliárd évre van szükség!) Úgy tűnik tehát, hogy a kockázatelemzés reménytelen számítástechnikai nehézséggel jár. Ezen a nehézségen azonban könnyíteni lehet.

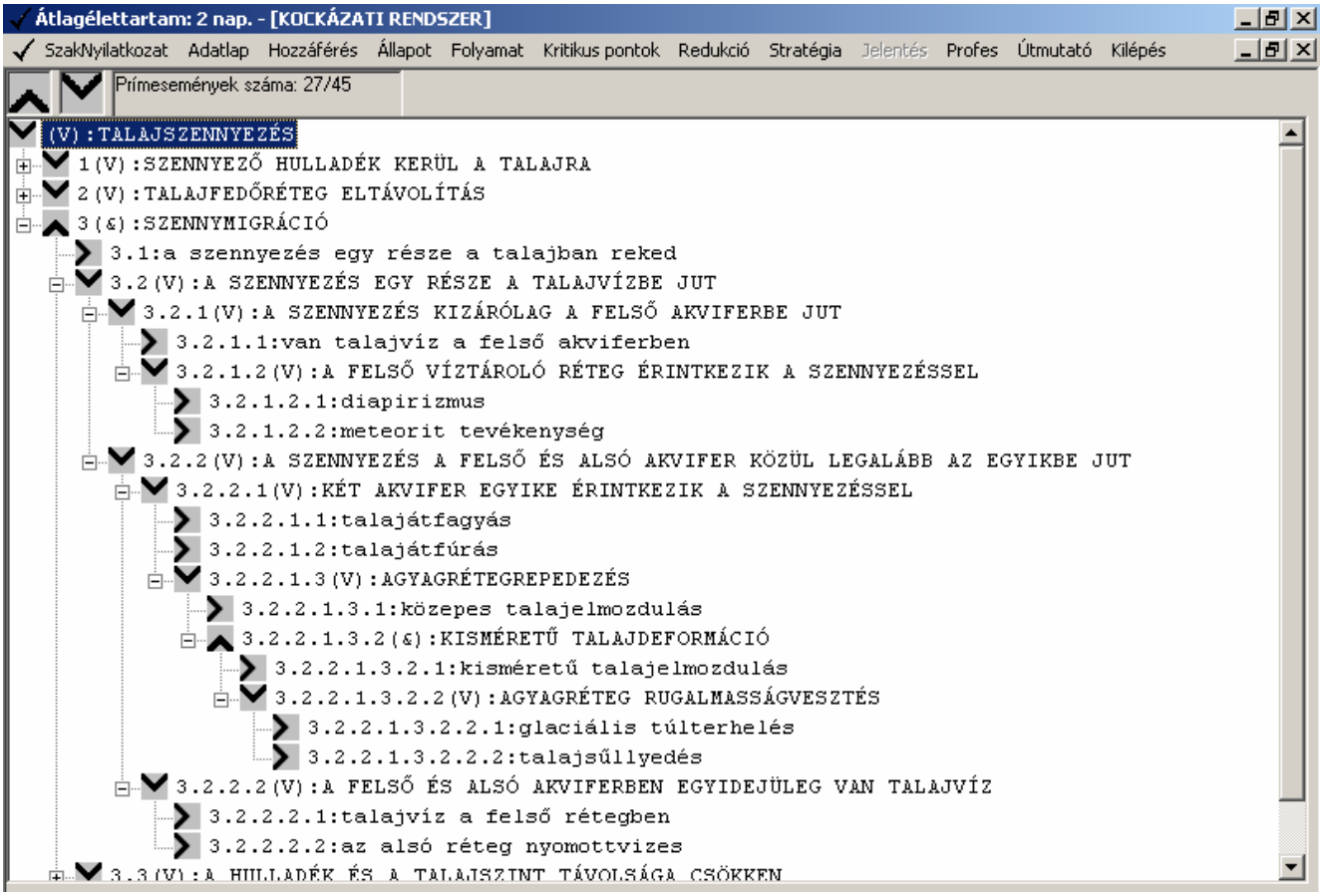
Az alább következő hibafa a Profes + 4 nevű programmal készült. A programot a Profes Környezetbiztonsági Programiroda (www.profes.hu) készítette.



1.ábra A Talajszennyezés hibafája. (1/3 részlet)

Az **Λ**, **V** szimbólumok rendre az „És” és a „Vagy” logikai műveleteknek felelnek meg.

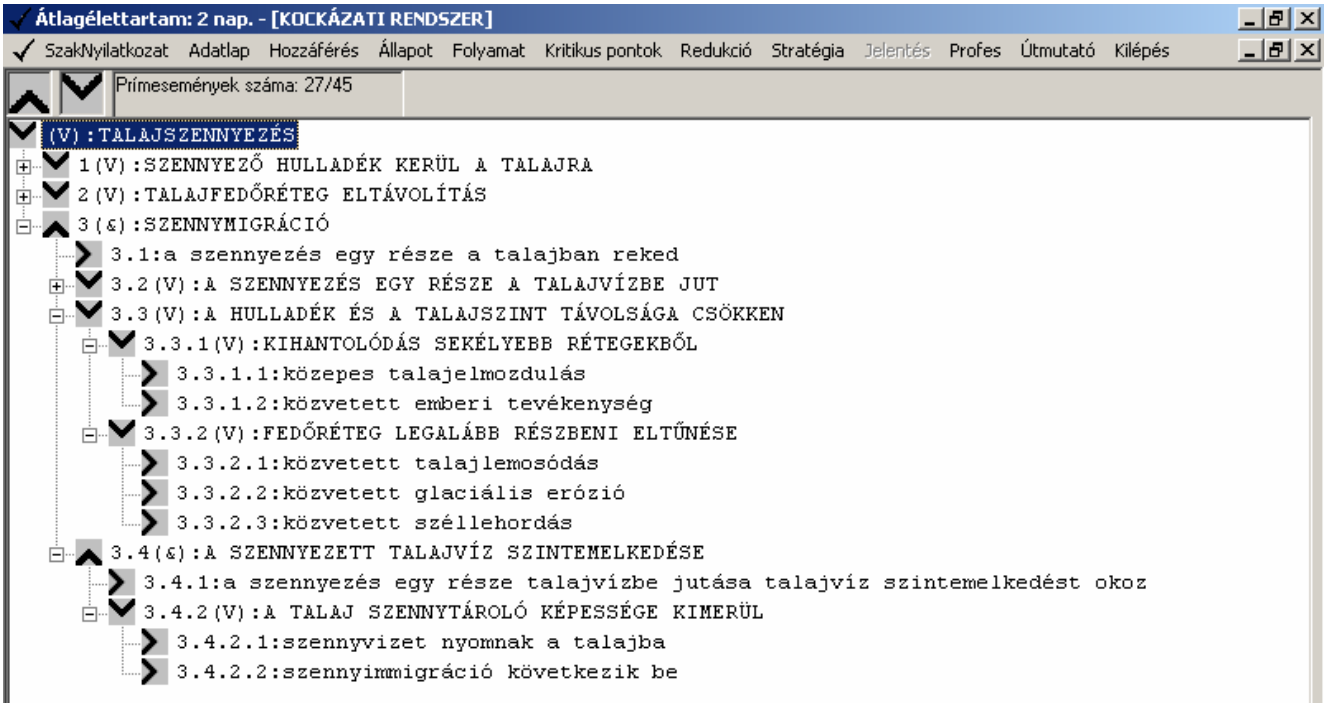
(A Profes Környezetbiztonsági Programiroda (www.profes.hu) engedélyével)



2.ábra A Talajszennyezés hibafája. (2/3 részlet)

Az **Λ**, **V** szimbólumok rendre az „És” és a „Vagy” logikai műveleteknek felelnek meg.

(A Profes Környezetbiztonsági Programiroda (www.profes.hu) engedélyével)



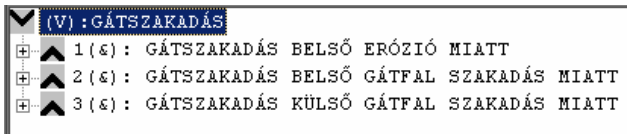
3.ábra A Talajszennyezés hibafája. (3/3 részlet)
Az **Λ**, **V** szimbólumok rendre az „És” és a „Vagy” logikai műveleteknek felelnek meg.
(A Profes Környezetbiztonsági Programiroda (www.profes.hu) engedélyével)

5. *A FLORIAN algoritmus*

A katasztrófahelyzetek megelőzésére és elhárítására kidolgozott stratégiai eljárásokra összefoglalóan - a tűzoltók védőszentjére utalva - a Flórián-stratégia elnevezést vezettük be, amely egyben egy angol mozaikszó is: „Failure Logic Oriented Risk Imminence Assessment Normatives (Meghibásodás-logikai orientációjú kockázat-fenyegetés becslési normatívák)” Az algoritmus eredményét a gátszakadás példáján mutatjuk be. Az algoritmus leírása [6] cikkében található.

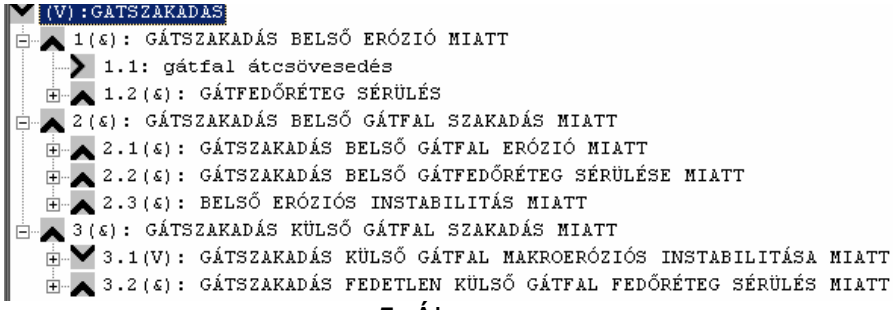
5.1. A gátszakadás példája

A Gátszakadás megnevezésű esemény definíciója és részletes leírása a következő Internet helyen található:
http://www.lwi.tu-bs.de/hyku/deutsch/conferences/icce_2002/kor_icce2002.pdf
Itt megtalálható a Technische Universität Braunschweig és közreműködő munkatársai által a hibafamódszerrel készített kockázatelemzés részletes leírása.
A (magyar változatú hibafa alapján történt) elemzés számítástechnikai feldolgozását a Profes Környezetbiztonsági Programiroda által kifejlesztett Profes + 4 programmal végeztük. (Ennek eredményeként 13 gyengepont és 126 erőspont adódott.)
Magát a hibafát – magyar változatban a 4.–6. Ábra mutatja.



4. Ábra

A „Gátszakadás” kockázatelemzésének megfelelő hibafa Windows® intéző típusú megjelenítésben első logikai szinten nyitott állapotban.
Az elemzés a Technische Universität Braunschweig és az
Universität Essen egyetemek együttműködésével készült.
A számítástechnikai feldolgozás a Profes + 4 programmal készült (www.Profes.hu)
(Az **Λ**, **V** szimbólumok rendre az „És” és a „Vagy” logikai műveleteknek felelnek meg.)



5. Ábra

A „Gátszakadás” kockázatelemzésének megfelelő hibafa Windows® intéző típusú megjelenítésben második logikai szinten nyitott állapotban.
Az elemzés a Technische Universität Braunschweig és az
Universität Essen egyetemek együttműködésével készült.
A számítástechnikai feldolgozás a Profes + 4 programmal készült (www.Profes.hu)
(Az **Λ**, **V** szimbólumok rendre az „És” és a „Vagy” logikai műveleteknek felelnek meg.)

6. Ábra

A „Gátszakadás” kockázatelemzésének megfelelő hibafa Windows® intéző típusú megjelenítésben harmadik logikai szinten nyitott állapotban (Részlet).
Az elemzés a Technische Universität Braunschweig és az

Universität Essen egyetemek együttműködésével készült.
A számítástechnikai feldolgozás a Profes + 4 programmal készült (www.Profes.hu)
(Az **Λ**, **V** szimbólumok rendre az „És” és a „Vagy” logikai műveleteknek felelnek meg.)

5.2 Az algoritmus eredménye

Az algoritmus hatékonysága – mint általában – annak a programnyelvnek illetve annak a programnak a függvénye, amelyen az algoritmus implementálásra került.
Az algoritmusnak megfelelő program a Profes Környezetbiztonsági Programiroda (www.profes.hu) munkája. A program jelenlegi verziója Profes + 4 néven Windows® XP operációs rendszer alatt fut (Pentium 3 processzorral). Teljesítményének demonstrálására a Gátszakadás nevű esemény hibafája (4-6 Ábrák) alapján készült 1. Táblázat ad tájékoztatást.

CASE #	THE NUMBER OF THE ACTIVE PRIME EVENTS	THE ACTIVE (AND THE PASSIVATED) PRIME EVENTS	RENOVATION COST	RENOVATION TIME
1	13 (1) [1]	[(1)], 3, 4, 5, 10, 11, 13, 15, 17, 18, 19, 21, 22.	63 (max = 63) 0,02 (sec)	19 (max = 19) 0,01 (sec)
2	14 (2) [2]	1, (2), [3], 6, 11, 12, 13, 14, [(17)], 18, 19, 20, 21, 22.	53 (max = 106) 0,02 (sec)	69 (max = 138) 0,01 (sec)
3	18 (2) [2]	1, (2), [3], 4, 6, [(7)], 8, 10, 11, 12, 14, 15, 16, 17, 18, 20, 21, 22.	25 (max = 50) 0,02 (sec)	95 (max = 190) 0,01 (sec)
4	19 (5) [5]	1, (2), [3], 6, [(7)], [(8)], 9, 10, 12, 13, 14, 15, [(16)], [(17)], 18, 19, 20, 21, 22.	160 (max = 800) 0,03 (sec)	240 (max = 1200) 0,02 (sec)
5	20 (4) [4]	1, 3, 4, 6, [(7)], [(8)], 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, [(16)], [(17)], 18, 19, 20, 21, 22.	139 (max = 556) 0,03 (sec)	232 (max = 928) 0,02 (sec)

1. Táblázat.
Hárítási táblázat (részlet)
A „Gátszakadás” néhány hárítási lehetősége adott hibafa esetén
(A Profes Környezetbiztonsági Programiroda engedélyével)

A Hárítási táblázat (1. Táblázat) jelmagyarázata:
Első oszlop: („#Case”) A vizsgált esetek sorszáma.
Második oszlop: („The number of the active prime events”)
Első sor: Az aktív prímesemények száma, vagyis azon prímeseményeké, amelyek esete a szóban forgó állapotban fennáll.
Második sor: A kerek zárójelben álló szám azon passzivált (hárított) prímesemények száma, amelyek a főesemény minimális megújítási költség melletti hárulásához vezettek
Harmadik sor: A szögletes zárójelben álló szám azon passzivált (hárított) prímesemények száma, amelyek a főesemény minimális megújítási idő alatti hárulásához vezettek.
Harmadik oszlop: („The active (and the passivated) prime events”) az adott esethez tartozó rendszerállapotot (definíció szerint) meghatározó aktív prímesemények sorozata.
A sorozat kerek illetve szögletes zárójelben álló tagjai azon prímesemények sorszámai, amelyek egyidejű passziválása (azaz hárítása) a főesemény legkisebb költség melletti illetve legrövidebb idő alatti hárulásához

(azaz passzívvá válásához) vezetnek. Az erre vonatkozó számítások az egyes prímeseményekhez véletlenszerűen hozzárendelt 1 és 99 közötti értékeken alapulnak.

Negyedik oszlop:

Első sor: Az adott esethez tartozó minimális felújítási költség (a vonatkozó passzivált egyes prímesemények adatainak összege)

Második sor: Az adott esethez tartozó pesszimális felújítási költség

Harmadik sor: Az adott esethez tartozó számítógépi futási idő

Következtetések:

A fentiek összefoglalása és kiegészítéseképpen az alábbi általános következtetések vonhatóak le: A műszaki gyakorlati problémák alkalmazott matematikai kezelése mindig bizonytalansággal jár együtt, és egy sor kérdésre egyszerűen nem ad semmiféle választ. A bizonytalanságnak számos oka van, de a legfőbb elvi jelentőségű ok az, hogy a matematikai modell mindig bizonyos tényezők figyelmen kívül hagyása, elhanyagolások eredményeképpen jön létre. A gyakorlati problémák döntő többségénél az elméletben lényegtelennek tartott vonatkozások létfontosságúaknak bizonyulnak. Különös élességgel vetődik fel ez a katasztrófák esetében. Itt a szokásos gyakorlati kérdéseken túl, tehát bizonyos paraméterek és függvények számszerű meghatározásán túl, néhány alapvetően fontos további kérdés is felmerül. A kockázatkezelő a hazai és nemzetközi elvárások, követelmények, a globalizáció diktálta gyors és folyamatos alkalmazkodási és reagálási kényszer, adott, rendszerint alulméretezett költség- és időkorlátok mellett testületi (szakmai, szakmapolitikai, politikai) döntést kell, hogy kérjen. Érvek, méghozzá objektív és megalapozott érvek szükségesek a döntésre alkalmas helyzet kialakítására, megteremtésére.

A bizonytalanság csökkentésének egyik, általában hatékony módja a valószínűség-számítás alkalmazása. Ugyanakkor ennek létjogosultsága az egyszeri, megismételhetetlen események megjelenésekor megszűnik. Ilyenkor a közetlen logikai leírásmód jelenthet segítséget. Ennek mintegy fél évszázados fejlődés birtokában a hibafa-módszer az adekvát formája. Ma már kellő számítástechnikai támogatás mellett e módszer alkalmazása eredményesen járható útnak bizonyul.

Irodalom

[1] Alessandro, M. D. – A. Bonne:
Fault-tree analysis for probabilistic assessment of hazardous waste segregation.
Computational Geology **4**., 45-63, 1982.
(Számunkra a valószínűségi kockázatelemzés kritikája szempontjából érdekes.)

[2] Berlin, Isaiah:
Négy esszé a szabadságról. Európa Kiadó, Budapest, 1990.

[3] Besenyei Lajos – Gidai Erzsébet – Nováky Erzsébet:
Előrejelzés, megbízhatóság, valóság. Közgazdasági és Jogi Kiadó, Budapest, 1982.
(Számunkra az 1.4.2 fejezet „A számszerűsítő szemlélet” bír alapvető jelentőséggel a Grose-féle dolgozat ismertetése révén az egyedi esemény valószínűségének képtelenségével összefüggésben.)

[4] Bognár Katalin:

Leíró logikák az ismeretábrázolásban
Alkalmazott Matematikai Lapok, **20**, (2000) 183-193.
[5] Buck, Sharon P.:
Applying Probabilistic Risk Assessment to Agricultural Nonpoint Source Pollution.
MSc Thesis, State University, Virginia, 1997.
(http://scholar.lib.vt.edu/theses/available/etd-17391653976940/unrestricted/etd.pdf)
[6] Bukovics István:
Apollo 13 Risk Assessment Revisited 2005 to be published
[7]Crombie, R.: Risk & Insurance, April 14, 2003
(http://www.findarticles.com/p/articles/mi_m0BJK/is_6_14/ai_100390108/pg_2)
[8] Cseh Gábor:
Az ipari kockázatok értékelésének és hatósági szabályozásának elvei és terminológiája. 2004
Internet: www.mbf.hu/fuzet5.pdf

[9] De Kleer, J. – J. S. Brown:
A Qualitatve Physics Based on Confluences.
Artificial Intelligence, **24**, 7-83, 1984
[10] Demetrovics János – Jordan Denev – Radiszlav Pavlov:
A számítástudomány matematikai alapjai. Tankönyvkiadó Budapest, 1985.
[11] Fáy, G. és szerzőtársai :
A Logic Theory of Hazards and Its Application to Combustion Processes.
Acta Techn. Hung. 86, 237- 269, (1978).
(Az első hazai publikáció, mely a hibafatechnikát alkalmazza.)
[12] Gleick, J.:
Káosz. Egy új tudomány születése. Göncöl Kiadó, Budapest, 1999.
(A pillangóhatás leírása a 34. oldalon)
[13] Grose, V. L. :
Reliability Can Be Predicted? (A Negative Position)
Annals of Reliability and Maintainabiliy 1965, 119-129 oldal.
(Az egyedi esemény valószínűségének megkérdőjelezése.)
[14] Hadas János:
A kockázat műszaki-jogi határterületének időszerű kérdései.
Biztosítási Szemle, 1980, Március-Április. 53-60 oldal.
[15] Havas Ádám
Kockázatelemzés: mágia vagy tudomány?
Iskolakultúra: 1993/23. 21. old.
[16] Henley, E. J., - Kukamoto, H.:
Reliability Engineering and Risk Assessment
Prentice Hall, 1981.
[17] Jaglom, I. M.:
Boole-struktúrák és modelljeik. Műszaki Könyvkiadó 1983.
[18] Kéri Gerzson – Rapcsák Tamás:
A talajvíz-szennyeződés modellezése és számítása Nagykáta térségében.
Alkalmazott Matematikai Lapok, **20**, (2000) 61-73
[19] Kiss, Lidia:
From Fault-Tree to Fault Identification.
IEEE Transactions on Reliability, **R-32**, 422-425. 1983
[20] Kovács B. – Szabó I.:
Hulladékelhelyezés IV. Ipar a Környezetért alapítvány, 1995
[21] Lobo, J. – G. Mendez – S.R. Taylor:

Knowledge and the action description Language A
Theory and Practice of Logic Programming **1** (2): 129-184, 2001
[22] Lovász László – Gács Péter:
Algoritmusok. Műszaki Könyvkiadó, 1978.
[23] Magyar Szabványügyi Hivatal:
Hibafa-elemzés.
MSZ-09-96. 0615-87 sz. szabványok. 1987 (Az első hazai szabvány, mely a hibafaelemzéssel foglalkozik. 1995-ben visszavonták. Azóta nem létezik a tárgyban újabb magyar szabvány.
[24] Molnár Gábor – Bukovics István (szerk.)
Munkahelyi tűzvédelem. Aktuális kézikönyv tűz- és munkavédelmi szakemberek számára. Verlag Dashöfer Szakkiadó Kft. Budapest, 2000.
(A kockázatelmélet néhány alapfogalmának (explikáció, főesemény, prímesemény, gyenge pontok stb.) ismertetése a 9. Rész (Katasztrófavédelem) 10. 6 fejezetében (Rendszerek együttműködésének, kölcsönös egymásrahatásának elemzése))
[25] Moore, E. – C. E. Shannon:
Reliable circuits using less reliable relays.
J. Franklin Inst. 262, 191 –208, (1956)
(Klasszikus dolgozat, mely a ma már Shannon-modell néven ismert kockázatelemzési technikát ismerteti. A dolgozat a megbízhatóság-elméletet megalapozó korszakos jelentőségű Neumann-dolgozat továbbfejlesztése.)
[26] NASA:
Fault Tree Handbook" 2002 (www.hq.nasa.gov/office/codeq/doctree/fthb.pdf)
[27] Neumann, J. Von:
Probabilistic Logics and the Synthesis of Reliable Organisms from Unreliable Components. California Institute of Technology, 1952. (Az eredetileg az USA Tengerészeti Hivatal megbízására készült kutatási jelentés négy évvel később a világhírű Shannon-gyüjteménybe is bekerült. Azóta e dolgozatot tekintik a kockázatkezelés alapművének.)
[28] Profes Környezetbiztonsági Programiroda:
www.Profes.hu, 2000
[29] Rényi Alfréd:
Valószínűségszámítás. Tankönyvkiadó, Budapest, 1954.
[30] Roget, P. M.:
Roget's Thesaurus. New York T. Y. Crowell Publishers, 1911.
[31] Shannon, C. E.:
A Symbolic Analysis of Relay and Switching Circuits.
AIEE Transactions 57, 713-723, (1938)
(Klasszikus dolgozat, amelyben Shannon kimutatja, hogy a kapcsolóáramkörök a Boole-algebra eszközeivel írhatók le.)
[32] Vajda György:
Kockázat és biztonság. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1998.
[33] Vesely, W. E. et al.:
Fault Tree Handbook. NUREG-0492.
Systems and Reliability Research Office of Nuclear Regulatory Research, 1981.
(A hibafatechnikán alapuló kockázatelemzés első alkalmazásai a nukleáris energetika valamint a vegyipari rendszerek területén jelentek meg. Ez a munka az első átfogó tankönyvi feldolgozás, mely az Egyesült Államok egyik Szövetségi hivatalának megbízására készült. Az előzményeket ismertető szak- és szabványirodalom is itt található.)
[34] Wartofsky, M. W.:
A tudományos gondolkodás fogalmi alapjai. Gondolat Kiadó, Budapest, 1977.
(A statisztikailag ellentmondó következtetések problematikájával foglalkozik a 230 oldalon.)

[35**] Zdzislaw Pawlak:**
A gyártási folyamat a matematika tükrében. Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó, Budapest, 1971.
(Alapvető meghatározásokat tesz a formalizálás kérdéséről a 11-20 oldalon.)