Földtani Közlöny 135/2, 233–252. (2005) Budapest

A kockázatszámítás elmélete és gyakorlata, szilárd ásványi nyersanyagok kutatási kockázata

The theory and practice of risk calculation, and the exploration risk of mineral deposits

FÜST Antal[1] – KOVÁCS József[1] – ZERGI István[2]

(9 ábra, 4 táblázat)

Tárgyszavak: kockázat, bekövetkezési valószínűség, fuzzy halmazok, kockázati tényező
Keywords: risk, probability, fuzzy sets, risk factor

Abstract

The study summarises the general knowledge of risk analysis and its mathematical statistical and probability calculation background. It also deals with the risk calculation methods concerning exploration and parameter evaluation of solid mineral deposits. An outline is given of how to carry out a risk evaluation on the basis of test questions.

Összefoglalás

A tanulmány összefoglalja a kockázatszámításra vonatkozó általános ismereteket és azok matematikai statisztikai és valószínűségszámítási hátterét. Külön tárgyalja a szilárdásvány lelőhelyek kutatására és az ásványlelőhely paraméterek értékelésére vonatkozó kockázatszámítási megoldásokat. Szót ejt a kockázatbecslés tesztkérdések alapján történő megvalósítási lehetőségéről.

A kockázatszámítás elméleti alapjai

A kockázat fogalma a gazdasági életben alakult ki. A vállalkozónak dönteni kellett abban, hogy
- tőkéjét valamely vállalkozásba fekteti, vagy
- bankban helyezi el.

A vállalkozó akkor döntött a bank mellett, ha a banki kamat nagyobbnak bizonyult, mint a vállalkozásból, adott valószínűségi szinten, várható profit.

A kockázatszámítási módszerek kidolgozásának szükségességét világszerte a modern piacgazdaság kialakulása teremtette meg. A multinacionális cégek esetében az újabb külföldi befektetéseket „politikai vagy ország kockázati vizsgálatok" előzték meg, melyekben külön-külön és összefüggéseikben is megvizsgálták a vállalkozás egyes ható tényezőit (GRUY & HARTSTOCK 1996).

A kezdeti egyedi kockázati vizsgálatokat idővel felváltották a komplex kockázati elemzések, amelyek például egy ipari vertikum végtermékeire vonatkozóan vizsgálták a várható kockázat mértékét (O'HARA 1982.).

Kifejezetten nagy szerepet játszik a kockázatelemzés a biztosító társaságok esetében. Az elemzés végeredménye a biztosítási feltételek és biztosítási díjak rendszerében ölt testet.

[1]ELTE Alkalmazott és Környezetföldtani Tanszék, H–1117 Budapest Pázmány P. sétány 1/c
[2]Miskolci Egyetem Geodéziai és Bányaméréstani Tanszék, Miskolc.

A kockázat mértékének ismeretére Magyarországon több évtizeddel ezelőtt először a bányászatban jelentkezett igény. Az első próbálkozások Dr. FALLER Gusztáv és Dr. BENKŐ Ferenc nevéhez fűződtek (FALLER 1966; BENKŐ 1970, 1971a, b, c). Piacgazdaság hiányában ezek a korai módszerek sajnos nem tudtak teret nyerni. A 80-as évek végétől ismételten a földtani kutatás és a bányászat igényeiből adódóan a gazdasági kockázat számítására újabb kutatások kezdődtek, a Központi Földtani Hivatal megbízásából. A kidolgozott megoldásokat (FÜST 1990; FÜST & MOLNÁR 1990) Magyarországon először a Dorogi-medence lencsehegyi területén próbálták ki (GUTMANN et al. 1989).

A kockázatszámítási eljárások általában feltételezik, hogy a kockázat időben gyakorlatilag változatlan. Bonyolultabb számítást igényel, ha a kockázat bekövetkezési valószínűsége időben változik.

Mi a kockázat?

A kockázat a többjelentésű angol „risk" szónak felel meg. Jelent egyrészt veszélyt, veszélyforrást, másrészt matematikai valószínűséget. Ennek megfelelően lehet értelmezni a kockázatot úgy, mint az értékelés, megelőzés és kezelés egységét, de lehet úgy is, mint a valószínűség, veszélyforrás és elfogadottság egymással összefüggő rendszerét.

A kockázatra számos definíció ismeretes, de valójában egyik sem tekinthető általános érvényűnek. Lássunk néhány példát!

– A kockázat a meghatározott veszélyes esemény valószínűségének és következményeinek kombinációja.

– A kockázat a veszély megvalósulásának valószínűsége.

– A kockázat a kár valószínűsége.

– Kockázat alatt annak a valószínűségét értjük, hogy az általunk hozott döntés feltehetően rossz.

Az előbbiek alapján úgy fogalmazhatunk, hogy a kockázat gyakorlatilag valamely nem kívánatos eredmény (például: még elviselhető pénzbeli veszteség) bekövetkezési valószínűségeként definiálható. A bekövetkezési valószínűség valamely esemény jövőbeli bekövetkezésének matematikailag megadható számszerű értéke (DAVIS 1995).

A kockázat vállalása gyakorlatilag nem más, mint annak tudomásul vétele, hogy valamely folyamat a kockázatvállaló szempontjából adott valószínűséggel kedvező, és adott valószínűséggel kedvezőtlen eredménnyel zárulhat, miközben mindent meg kell tenni annak érdekében, hogy ne a kedvezőtlen eredmény következzen be, illetőleg a kedvező eredmény közelítse a lehetséges maximumot. Az adott kockázat szempontjából érdektelen személy számára a kockázati függvény egyenes, míg a kockázattal érintett számára homorú, azaz a kockázat mértéke nem lineárisan növekszik, vagy csökken (DAVIS 1995).

A kockázat, bárhonnan is közelítjük, mindenképpen pénzben fejezhető ki. Ebből következően, bár megkülönböztethetők különböző kockázat fajták (pl.: ipari-, biztosítási-, környezetvédelmi- stb. kockázat) ezek számításakor nem teszünk mást, mint valamely nyereség vagy veszteség bekövetkezési valószínűségét elemezzük.

A kockázati számítások legfontosabb befolyásoló tényezői azok a folyamatok és események, amelyek a vizsgált jelenségre hatnak. Például valamely rendszer működtetésével kapcsolatos kockázat meghatározása esetében nem csupán a rendszerre ható tényezőket kell számba venni, hanem meg kell határozni ezek fontossági sorrendjét, és a tényezők egymásra hatását is.

A kockázat matematikai értelemben a következő összefüggéssel írható le (MARX 1990):

$$R = W \times K$$

Ahol W a bekövetkezés valószínűsége (lehetetlen eseménynél: $W = 0$; biztos eseménynél $W = 1$), K pedig a következmény súlyossága, melyet általában 0 és 1 közötti számként értelmeznek, ha az R kockázatot dimenzió nélküli számként kívánják megadni. (Halálesetben $K = 1$, elhanyagolható következménynél $K = 0$) Olyan eset, amikor a kockázat zérus, valójában nem létezik. A fizikusok szerint zérus kockázatról akkor beszélünk, ha azt nem tudjuk kimutatni. A kaliforniai jogászok szerint, ha $R < 10^{-5}$, akkor figyelmeztetés nélkül okozható kockázatról beszélünk (MARX 1990.).

A BS 8800:1996 angol szabvány szerint a „kockázat, a meghatározott veszélyes esemény (baleset vagy nem kívánatos esemény) valószínűségének és következményeinek kombinációja. A kockázat tehát mindig két elemet tartalmaz:

– annak valószínűségét, hogy a veszély bekövetkezhet;
– a veszélyes esemény következményeit.

Ha a kockázatot a kockáztatott összeg felől közelítjük, akkor R értékét óhatatlanul valamely pénznemben kell kifejezni. Ez úgy valósítható meg, ha a K tényező értékét, a kár adott pénznemben kifejezhető, értékével azonosítjuk.

A kockázat időbelisége

A gyakorlatban a kockázatot általában időben állandónak tekintik, valójában azonban a kockázat időben folyamatosan változik. Gondoljunk például arra, hogy az általunk használt gépek és berendezések egyszerűen a használatukból adódóan, még rendszeres karbantartás esetén is, egyre nagyobb valószínűséggel hibásodnak meg, és idővel cserére szorulnak. A csere elodázása növekvő összeg kockáztatásával jár, hiszen az időben sűrűsödő javítási költségek hozzáadódnak az új berendezés beszerzési költségéhez. Bizonyos esetekben, például vízellátó csőhálózatoknál a kockázat nem csak magára a hálózatra, hanem a környezetben okozott kárra is vonatkozik. Megfigyelhető, hogy valamely berendezés esetében a gyártók általában annyi időre vállalnak garanciát, amennyi alatt a tapasztalatok szerint, nem következhet be meghibásodás, tehát arra az időszakra, amelyre a gyártói kockázat gyakorlatilag elhanyagolhatóan kicsi. Ezt követően a kockázat már a felhasználót terheli.

A kockázatok rendszerezése

A szakirodalomban számos megoldást találunk a kockázatok, főként a banki kockázatok csoportosítására. Leggyakrabban a következő fogalmakkal találkozhatunk.

- Tiszta kockázatról (pure risk) beszélünk akkor, amikor vagy bekövetkezik a kár, vagy nem lesz negatív esemény. Ezen belül beszélünk:
  - relatív kockázatról (amikor a biztosítási esemény nem biztos, hogy bekövetkezik) és
  - abszolút kockázatról (amikor például életbiztosítások esetében a biztosítási esemény biztosan be fog következni).
- Spekulációs kockázatról akkor beszélünk, ha pozitív és negatív esemény egyaránt bekövetkezhet.

Megjegyezzük, hogy a biztosítók csak tiszta kockázattal foglalkoznak.

A tiszta kockázatok legfontosabb csoportjai:

- a személyes kockázatok (amelyek az egyén vagy a család jövedelmi vagy vagyoni helyzetét érintik); ilyenek például:
  - idő előtti halál miatti anyagi és jövedelmi problémák;
  - az idős kor elérése jövedelem csökkenéssel és növekvő egészségügyi kiadásokkal jár;
  - a betegség jövedelem kiesést, és növekvő egészségügyi kiadásokat jelent;
  - munka-, illetőleg jövedelem nélküliség;
  - gyermekek nevelési-, képzési költségei, családalapítási ráfordítások.
- a vagyoni kockázatok (melyek a tulajdonos ingó és ingatlan vagyonára, illetőleg az ezekhez kapcsolódó személyiségi jogokra terjednek ki), melyek lehetnek
  - közvetlen kockázatok (a vagyontárgy részleges vagy teljes megsemmisülése) vagy,
  - közvetett, illetőleg következményi kockázatok (például vagyontárgy megsemmisüléséből eredő jövedelemkiesés).
- a felelősségi kockázatok (a másoknak okozott kárért vállalt felelősség).

A döntéshozatallal való összefüggésben beszélünk aktív (tudatosan vállalt) kockázatról és passzív (a döntések közvetett lehetséges egészségügyi, környezetvédelmi stb. kapcsolódásai) kockázatról.

A kiváltó okok szerint beszélhetünk természeti-, technikai-, társadalmi és gazdasági kockázatról.

Attól függően, hogy a kockázat milyen gazdasági egységekhez kapcsolódik, illetőleg melyeket érint, beszélünk a magánszemélyek (családok)-, a vállalkozások és az állam által vállalt kockázatról, vagy más csoportosításban a termelői szféra, illetőleg a fogyasztói szféra kockázatáról.

A kockázattal közvetlenül érintett személyt tekintve beszélünk saját érdekű és harmadik személy hasonló érdekére vonatkozó kockázatról.

Időben a kockázat lehet rövid-, közepes- vagy hosszú távú.

A kockázat nagyságrendje alapján a kockázat, illetve a bekövetkező kár lehet kicsi (bagatell), közepes, vagy nagy.

A kockázatszámítás két fő megoldási lehetősége

A kockázatszámítási eljárások a megoldások módja szerint alapvetően két csoportba sorolhatók. Az első csoportba azokat az eljárásokat soroljuk, amelyek megtörtént káresemények statisztikai vizsgálatából indulnak ki, és a tapasztalt bekövetkezési valószínűségeket kivetítik a jövőbeli káreseményekre. (Például vízellátó hálózatok esetében vizsgálják, hogy valamely csőszakasz élettartama és a csőszakaszra ható tényezők között milyen összefüggés állapítható meg.) A másik eljáráscsoport a káresemények ártalmasságának és bekövetkezési valószínűségének becslésére épül, és ebből a becslésből von le következtetéseket a kockázat nagyságára. A tesztkérdések alapján történő kockázatbecslés ugyancsak ebbe a csoportba sorolható.

A kockázat meghatározása ásványi nyersanyagok kutatásánál

Mielőtt az ásványi nyersanyagok kutatásának kockázatát elemeznénk szót kell ejteni a bányászati tevékenység és a piac kockázati kapcsolatáról, Magyarországon. Valamely ásványi nyersanyag iránti piaci igény megjelenése és a hazai jogszabályok betartása melletti termeléskezdés között – még azonnali vállalkozói reakció és pozitív hatósági döntések esetén is – több mint egy év telik el. Ez az időszükséglet csak az ügyintézésre vonatkozik, és nem tartalmazza a tényleges kutatásra fordítandó időt. Ennek oka, hogy az engedélyezési folyamatban részt vevő hatóságok parciális hatósági érdekeket képviselnek, miközben gyakorlatilag, senki sem törődik az állam érdekével, amely pedig az in situ állapotú ásványi nyersanyag tulajdonosa. A hazai ásványi nyersanyagtermelés így, önhibáján kívül képtelen rugalmasan alkalmazkodni a piaci igényekhez, ezáltal a legnagyobb kockázat egy bányászati célú ásványi nyersanyagkutatásra vonatkozó döntés meghozatalában van.

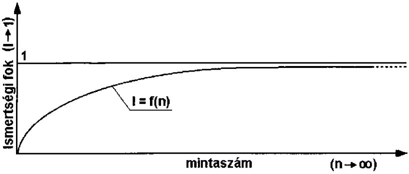
A földtani kutatás kockázatát gyakorlatilag két összetevő eredményezi. Ezek

– a földtani megismerés kockázata és
– a gazdasági kockázat.

Ez utóbbi kapcsán meg kell említeni, hogy az ásványi nyersanyagok kutatásába befektetett összeg csak akkor térülhet meg, ha a kutatást tényleges bányászati tevékenység követi. Erről a későbbiekben „A bányászati tevékenység kockázata" címszó alatt szólunk.

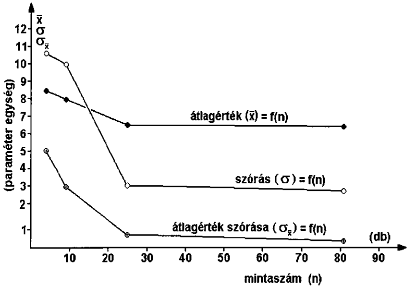
A földtani kutatás folyamatában növekszik a mintaszám, a minták által hordozott információ mennyisége, a kutatott paraméterek ismertsége és egyre pontosabban határozható meg a kutatott ásványi nyersanyag mennyisége és minősége, következésképpen a kutatott ásványi nyersanyag potenciális értéke. Valamely kutatott paraméter ismertségi foka (I) azaz a tényleges és maximálisan lehetséges entrópia (vagy információtartalom) hányadosa a mintaszám függvényében az *1. ábra* szerint változik, tehát elméletileg végtelen számú mintánál tekinthető az adott paraméter 100%-ig ismertnek. Megfigyelhető, hogy minél inkább eltér a kutatott paraméter eloszlása a normálistól, annál több mintával biztosítható a normális eloszlású paraméterrel azonos ismertségi fok. Ez a jelenség a paraméter – áttételesen az ásványlelőhely – bonyolultságával, a véletlen- és a szabályos (trend jellegű) változékonyság együttes jelenlétével hozható összefüggésbe.

A *2. ábrán* egy ásványlelőhely paraméter átlagértékének, szórásának és átlagérték szórásának változását láthatjuk a mintaszám függvényében. Az ábra jól szemlélteti, hogy az átlagérték és a szórás (más egyéb feltételek teljesülése esetén) egy bizonyos mintaszámon túl gyakorlatilag állandósul, míg az átlagérték



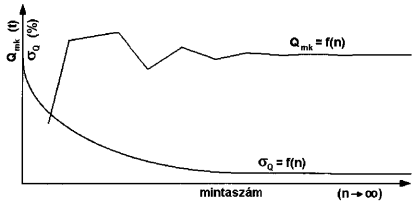
1. ábra. Az információtartalom változása a mintaszám függvényében

Fig. 1 The change of information, depends on number of samples (Ismertségi fok – measure of knowledge; mintaszám – number of samples)



2. ábra. Egy ásványlelőhely- paraméter fontosabb statisztikai jellemzőinek változása a mintaszám függvényében

Fig. 2 Change of important statistical characteristics concerning mineral deposits on number of samples (paraméter egység – unit of parameter; átlagérték – mean value; szórás – dispersion; átlagérték szórása – dispersion of mean; mintaszám – number of samples)



3. ábra. A műrevaló kitermelhető ásványvagyon mennyiségének és szórásának változása a mintaszám függvényében, egy ásványlelőhelyen

Fig. 3 The change of quantity and quantity dispersion concerning economically mineable reserve in one of mineral deposits (mintaszám – number of samples)

szórása (amely a szórás és a mintaszám négyzetgyökének hányadosa) folyamatosan érzékenyen reagál a mintaszám változására. Az ásványvagyon a mintaszám függvényében átlagértékként viselkedik, míg az ásványvagyon szórása átlagértékszórásként. Ezt a helyzetet szemlélteti a 3. *ábra* a műrevaló kitermelhető ásványvagyon vonatkozásában.

Első megközelítésben tehát az ásványi nyersanyagkutatás folyamatában a földtani kockázat csökken, és a kutatás befejeztével megmarad azon a szinten, amelyen a kutatás befejezésekor volt. Ez természetesen csak akkor igaz, ha a megkutatott ásványi nyersanyag világpiaci ára a vizsgált időszakban nem változik. A műrevaló kitermelhető ásványvagyon (*Qmk*) számítható mennyisége, *σmk* hibával rendelkezik. A rendelkezésünkre álló ásványvagyon mennyisége tehát, adott (t) valószínűségi szinten:

$$Qmk \pm t \times \sigma mk.$$

Ehhez a mennyiséghez $C_i \pm t \times \sigma_{Ci}$ minőség tartozik, ahol az *i* index a különböző minőségi paraméterekre, például bauxit esetében a timföld-, a kovaföld-, a kén- stb. tartalomra, illetőleg a modulra utal.

A mennyiség és a minőség ismeretében a kereslet-kínálat, illetőleg a világpiaci ár függvényében számítható az ásványi nyersanyag potenciális értéke valamely pénznemben, például forintban vagy euróban.

Az ásványi nyersanyagok kutatása és az azt követő bányászati tevékenység során tehát a kockázatnak két szakaszát lehet elkülöníteni. A kutatás kezdetétől annak befejezéséig tartó első szakaszban a kockázat mértéke két tényezőtől, az ismertségi fok növekedésétől valamint a világpiaci ármozgástól függ, és nagy valószínűséggel csökkenő tendenciájú, míg az ezt követő bányászati szakaszban a kockázat kizárólag a világpiaci ármozgás függvénye. Mindkét szakaszra igaz, hogy a nyereség és a veszteség bekövetkezési valószínűsége azonos. Tudomásul kell venni azonban, hogy a világpiaci ármozgások esetenként olyan jelentős mértékben megnövelhetik a kockázatot, hogy az ásványlelőhely kutatását időlegesen vagy véglegesen abba kell hagyni, illetőleg már megépített bányákat sem érdemes termelésbe vonni. Ilyen eset következett be a recski mélyszinti rézércbánya esetében, amelyet a tartósan alacsony világpiaci rézár miatt a termelés megkezdése helyett víz alá kellett engedni.

Több esetben a bányászati tevékenységet váratlanul akadályozó, így a kockázatot növelő tényezők, kisebb csoportok vagy egyének anyagi érdekeltségével hozhatók összefüggésbe. Itt kell említést tenni egy további, nehezen megbecsülhető, de egyre jelentősebb kockázatnövelő hatású tényezőről is, ez pedig a zöld mozgalmak tevékenysége. De nem ritka a különböző szakhatóságok – főként a környezet- és természetvédelem – esetenként irreális feltételrendszerének a bányászatot ellehetetlenítő megjelenése sem. A kérdésben érintetteknek tudomásul kellene venniük, hogy a bányászat alapvetően a társadalom jogos igényeit kielégítő tevékenység.

Végezetül megemlítjük, hogy az ásványi nyersanyagkutatás egyes paramétereinek (pl. telepvastagság, minőségi jellemzők, tektonizáltság stb.) kockázata pénzben nehezen kifejezhető. Ez esetben a kockázat mértékének érzékeltetésére a későbbiekben ismertetett döntési kockázati mérőszámot (Kt) célszerű számítani.

A kockázatszámítás matematikai kapcsolódásai

A kockázatszámítás matematikája a valószínűség-számításra és a matematikai statisztikára vezethető vissza. A következőkben, a földtani kapcsolódásokkal együtt ezekről adunk áttekintést.

Néhány szó a bekövetkezési valószínűségről

A természeti és társadalmi jelenségek egy lehetséges kimenetele az elemi esemény. Az elemi események összessége, tehát minden lehetséges kimenetel, az eseménytér. Az eseménytér elemeinek részhalmaza az esemény.

Jelöljön A_1 egy elemi eseményt! Az n számú sorozatból az A_1 esemény bekövetkezéseinek számát, az A_1 esemény gyakoriságát k_{A1}-el jelöljük. A k_{A1}/n hányados az A_1 esemény relatív gyakorisága. A kísérletek során az A_1 esemény gyakorisága véletlen ingadozást mutat. Minél nagyobb azonban n, az ingadozás annál kisebb mértékű. Azt a számot, amely körül az A_1 esemény relatív gyakorisága ingadozik, az A_1 esemény bekövetkezési valószínűségének nevezzük és $P(A_1)$-gyel jelöljük. Az A_1 esemény bekövetkezési valószínűségére a következő összefüggés áll fenn:

$$0 \leq P(A_1) \leq 1.$$

Egy kísérlettel kapcsolatban tehát az elemi eseményeket egy számértékkel jellemezhetjük. Ez a számérték függ attól, hogy milyen esemény következett be, tehát egy olyan függvényről van szó, melynek értelmezési tartománya az eseménytér. Ez a függvény a valószínűségi változó vagy véletlen változó.

A valószínűségi változó az értékkészlet minőségétől függően lehet diszkrét vagy folytonos. A valószínűségi változó különböző értékeket különböző valószínűséggel vehet fel. Annak valószínűségét, hogy a ξ valószínűségi változó, egy adott x értéknél kisebb vagy azzal egyenlő értéket vesz fel, a $P(\xi \leq x)$ szimbólummal jelöljük. Így az $F(x) = P(\xi \leq x)$ függvény a ξ valószínűségi változó eloszlásfüggvénye. Az eloszlásfüggvényben az x változó a $-\infty$-től a $+\infty$-ig vehet fel értékeket. Ezeknél a határoknál a függvény értéke:

$$F(-\infty) = 0 \qquad F(+\infty) = 1.$$

A folytonos eloszlásfüggvényeknek van sűrűségfüggvényük, vagyis létezik egy olyan $f(x) \geq 0$ függvény, amellyel megadható a változó (a;b] intervallumba esésének valószínűsége:

$$P(a \langle \xi \leq b) = F(b) - F(a) = \int_a^b f(x)dx$$

Ennek alapján: $f(x)=dF(x)/dx$, vagyis a sűrűségfüggvény az eloszlásfüggvény deriváltja.

A valószínűségi szint értelmezése

A normális eloszlás a természeti és társadalmi folyamatok vizsgálata során előforduló egyik leggyakrabban használt eloszlástípus. Sűrűségfüggvénye az m_v várható értékre szimmetrikus. A sűrűségfüggvény inflexiós pontjainak távolsága a várható értéktől a szórással (σ) egyezik meg.

Ha a sűrűségfüggvényt úgy transzformáljuk, hogy $m_v = 0$ és $\sigma = 1$, akkor a standard normális eloszlás sűrűségfüggvényéhez jutunk.

Normális eloszlás esetében bizonyítható, hogy a ξ valószínűségi változó az ($m_v + 3\sigma$; $m_v - 3\sigma$) intervallumon kívül igen kis valószínűséggel vesz fel értékeket. Annak valószínűsége, hogy az $(x - m_v)$ véletlen érték a

$$((-t\sigma \langle (x - m_v) \langle t\sigma])$$

intervallumba esik, a $P[-t\sigma<(x-m_v)\leq t\sigma] = 1-2\Phi(t)$ összefüggéssel határozhatjuk meg, ahol $\Phi(t)$ a standard normális eloszlás eloszlásfüggvénye:

$$\Phi(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{t} exp\left(-\frac{t^2}{2}\right)dt$$

és $t=(x-m_v)/\sigma$. Az eloszlásfüggvény szélsőértékei: $\Phi(\infty) = 1$. $\Phi(-\infty) = 0$.

A különböző t érékekhez tartozó $1-2\Phi(t)$ értékeket az *1. táblázat* tartalmazza.

A táblázat alapján annak valószínűsége, hogy a véletlen változó mért értéke az ($m_v+t\sigma$, $m_v-t\sigma$) intervallumba esik, a különböző t értékeknél a következő:

t = 1 ... 68,3%
t = 2 ... 95,5%
t = 3 ... 99,7%
t = 4 ... 99,9%

Az előbbi százalékos értéket, valamint a t = 1, t = 2 stb értékeket szokás „egyszeres", „kétszeres" stb. valószínűségi szintnek is nevezni.

1. táblázat. 1–2Φ(t) értékek
Table 1 Values of 1–2Φ(t) function

t	1–2 ϕ(*t*)	*t*	1–2 ϕ(*t*)
0,0	0,000	1,4	0,838
0,2	0,159	1,5	0,890
0,4	0,311	1,8	0,928
0,6	0,451	2,0	0,955
0,8	0,576	2,5	0,988
1,0	0,683	3,0	0,997
1,2	0,770	4,0	0,999

A döntési kockázat mérőszáma

Valamely döntés (vagy becslés) során, a vártnál kisebb és a vártnál nagyobb eredmény bekövetkezési valószínűségének hányadosát (K_t) a kockázat mérőszámának nevezzük. Leszármaztatását folytonos valószínűségi változó esetén az *4. ábrán* láthatjuk (FÜST 1997; MOLNÁR & FÜST 2002.)

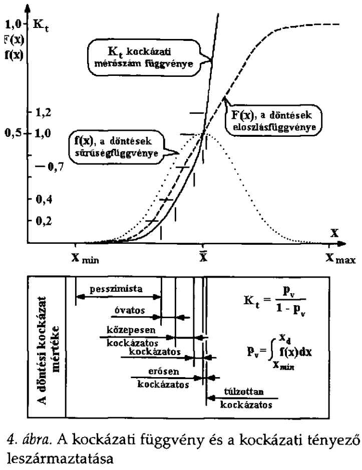
Amennyiben a lehetséges döntések sűrűségfüggvénye $f(x)$, a döntés lehetséges minimuma és maximuma x_{min} és x_{max}, döntésünk pedig x_d, akkor tudva, hogy:

$$\int_{x_{min}}^{x_{max}} f(x)dx = 1$$

az x_d döntés bekövetkezési valószínűsége:

$$p_d = \int_{x_{min}}^{x_d} f(x)dx$$

Amennyiben a tényleges eredmény az x_d; x_{max} tartományba esik, nyereségről, ha az x_{min}; x_d tartományba, veszteségről beszélünk. Tehát p_d egyben a veszteség valószínűsége is, $p_d=p_v$. A vártnál nagyobb eredmény valószínűsége ugyanakkor: $p_{ny}=1-p_v$. A döntési kockázat mérőszáma ilyen megfontolással:



4. ábra. A kockázati függvény és a kockázati tényező leszármaztatása

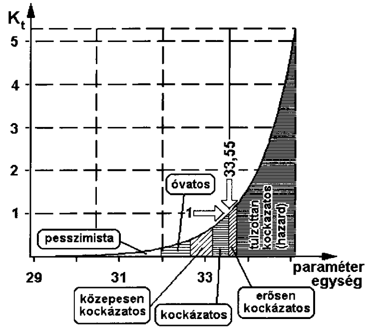
Fig. 4 The risk function and the risk factor (kockázati mérőszám függvénye – function of risk factor; a döntések eloszlásfüggvénye – distribution function of decisions; a döntések sűrűségfüggvénye –frequency function of deciosions; a döntési kockázat mértéke – measurement of decision risk; pesszimista – pessimistic; óvatos – cautious, közepesen kockázatos – medium risky; kockázatos – risky; erősen kockázatos – very risky, túlzottan kockázatos – hazard)

$$K_t = \frac{p_v}{p_{ny}} = \frac{p_v}{1 - p_v}$$

A nyereséges és veszteséges döntési lehetőségek együttes bekövetkezési valószínűsége: 1.

A kockázati mérőszám nagysága és a becslés jellege között a szakirodalom a (BÁCSKAI et al. 1976) következő kapcsolatot javasolja:

ha K_t = 0,0–0,2 pesszimista,
0,2–0,4 óvatos,
0,4–0,7 közepesen kockázatos,
0,7–1,0 kockázatos,
1,0–1,2 erősen kockázatos,
1,2 < túlzottan kockázatos (hazárd) becslésről beszélünk.



5. *ábra.* A gazdasági kockázat kategóriái egy konkrét példában

Fig. 5 A sample for categories of economical risk (pesszimista – pessimistic; óvatos – cautious, közepesen kockázatos – medium risky; kockázatos – risky; erősen kockázatos – very risky, túlzottan kockázatos – hazard; paraméter egység – unit of parameter)

A 5. *ábrán* az előbbi kategóriákat egy konkrét példán keresztül szemlélhetjük. Egy hasznos földtani paraméter átlagértéke 33,55-, átlagérték szórása 1,54 paraméter egység. Látható, hogy a kockázati tényező értéke 1-el egyenlő, ha feltételezzük, hogy a várható érték megegyezik az átlagértékkel.

A kockázati tényező az előbbitől kissé eltérő értelmezésével találkozhatunk a környezetvédelemben (GRUIZ et al. 1997). Itt a kockázati tényezőt a becsült környezeti szennyezőanyag-koncentráció és az ökoszisztémára még nem ható becsült koncentráció hányadosaként értelmezik. Minél nagyobb a hányados értéke annál nagyobb a veszély, amit a környezetbe került szennyező anyag jelent. Ha ez az érték kisebb mint 1, akkor nincs szükség beavatkozásra, ha nagyobb mint 1, akkor további vizsgálatok szükségesek. Ha a részletesebb vizsgálatok eredményeinek figyelembevételével is nagyobb mint 1, akkor a kockázatmentesítés módozatait kell megtervezni. A kockázati tényező és a környezeti veszély szintje között a környezetvédelemben a következő kapcsolatot szokás megnevezni.

Ha Kt	< 0,001	elhanyagolható
	0,001–0,1	kicsi
	0,1–1,0	enyhe
	1–10	nagy
	> 10	igen nagy környezeti veszélyről beszélünk.

Kockázati vizsgálat a kutatott paraméter átlagértékére és a szórásnégyzetére

Vizsgáljuk előbb az átlagértéket! A vizsgálatok során tekintsünk el attól, hogy ez az átlag milyen eloszlású paraméterre vonatkozik, és tételezzük fel, hogy az átlagérték bekövetkezési valószínűsége egy szimmetrikus sűrűségfüggvénnyel jól közelíthető. A paraméter számított átlagával $Z(x)$ és az átlagérték szórásával $\sigma[Z(x)]$ a következő módon jelölhető ki az a tartomány, amelybe az m_v várható érték adott valószínűségi szinten (t) bele esik:

$$\left(\overline{Z(x)} - t\sigma\left[\overline{Z(x)}\right]\right) \le m_v \le \left(\overline{Z(x)} + t\sigma\left[\overline{Z(x)}\right]\right)$$

Általánosságban igaz, hogy minél kisebb t, annál nagyobb kockázatot vállalunk. Ha hasznos paraméterről van szó, nyilvánvalóan az a kedvező, ha a várható érték nagyobb az átlagnál. Ellenkező esetben az átlagnál kisebb várható érték a kedvezőbb. Ha a $Z(x)\pm3\sigma[Z(x)]$ a várható érték fizikailag lehetséges szélsőértékeinek tekintjük, a kockázati tényezőt pedig a kedvező és a kedvezőtlen esetek bekövetkezési valószínűségeinek hányadosaként értelmezzük, akkor az $U=[Z(x)-Z(x)]/\sigma[Z(x)]$ standardizálással a következő eredményeket kapjuk (*2. táblázat*).

2. táblázat. A kockázati tényető értékének változása

Table 2 Change of the risk factor (where: „Kockázati tényező (K) ha a kedvező reláció": "The value of risk factor (K) if the favourable relation")

U	*F*(*U*)	1 - *F*(*U*)	Kockázati tényező (*K*) ha a kedvező reláció	
			$m\rangle\overline{Z(x)}$	$m\langle\overline{Z(x)}$
-3	0,0013	0,9987	0,0013	768,2308
-2	0,0228	0,9772	0,0223	42,8596
-1	0,1587	0,8419	0,1886	5,3012
0	0,5000	0,5000	1,0000	1,0000
1	0,8413	0,1587	5,3012	0,1886
1	0,9772	0,0228	42,8596	0,0233
3	0,9987	0,0013	768,2308	0,0013

A szórásnégyzet vonatkozásában eljárásunk a következő. Abból kiindulva, hogy a szórásnégyzet valójában egy átlagérték, meg kell határoznunk a szórásnégyzet szórását az átlagérték szórásának mintájára. Példa képen csak a normális eloszlásra vonatkozó összefüggést ismertetjük:

$$\sigma_{\sigma^2} = \frac{1}{n}\sqrt{\sum_{i=1}^{n}\left\{\left[Z(x_i) - \overline{Z(x)}\right]^2 - \sigma^2\right\}^2}$$

Regresszió számításból kapott értékek felhasználásának kockázata

Ha valamely paraméter várható értékét más paraméterekből regresszióval határozzuk meg, akkor a függő változó mért (Y) és a regressziós függvényből számolt (Y') értékének ismeretében számíthatjuk a standard hibát (S_t):

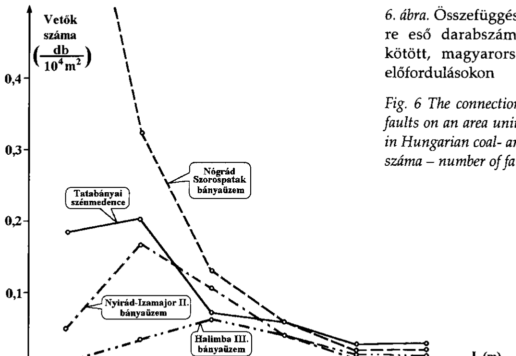
$$S_t = t\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(Y_i - Y_i'\right)^2}{n}}$$

Nyilvánvaló az analógia a standard hiba és a korábban tárgyalt átlagérték szórása között. Az egyenletből számolt érték tehát $(Y'-tS_t) \leq Y' \leq (Y'+tS_t)$ határok között mozoghat.

A tektonika ismeretéből adódó kockázat

Egy ásványtelep kutatása során a legtöbb meglepetést és így a legnagyobb kockázatot a tektonika hiányos ismerete okozhatja (JUHÁSZ 1983; KOVÁCS 1989a, b, 1990). Különösen igaz ez vízveszélyes előfordulások esetén. Tapasztalataink szerint a kutatás során a tektonikai vonalaknak csak mintegy 15–20%-a nyomozható. Ebből kiindulva, a tektonika ismeretéből adódó kockázat számítására a következő megoldást javasolható.

Jelölje K_3 – a területegységre eső vetők számát, L – a vetők hosszát, H – pedig a geometriai elvetési magasságát, továbbá H_{min} – azt az elvetési magasságot amelynél nagyobb vetők már befolyásolják a bányaművelést. Tapasztalatok igazolják, hogy a $K_3 = f(H)$ és a $K_3 = f(L)$ üggvény hiperbolikus jellegű, első-, esetenként másodfokú polinommal írható le. Jól szemléltetik ezt a tényadatokból szerkesztett *6.* és *7. ábrák*. Az ábrákon a rövid vetőhosszaknál és a kis elvetési magasságoknál tapasztalható alacsony K_3 érték adathiány és nem a földtani sajátosság következménye.



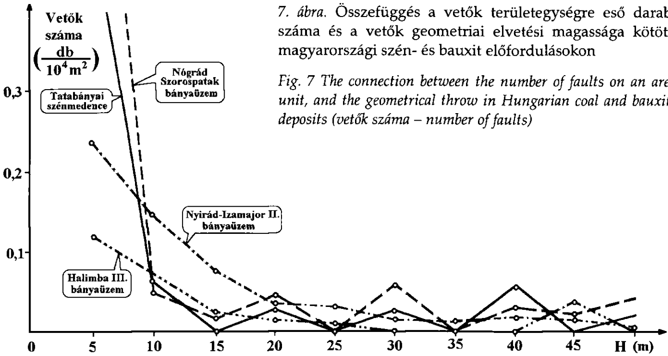
6. ábra. Összefüggés a vetők területegységre eső darabszáma és a vetők hossza kötött, magyarországi szén- és bauxit előfordulásokon

Fig. 6 The connection between the number of faults on an area unit, and the lenght of faults in Hungarian coal- and bauxite deposits (vetők száma – number of faults)

Az ásványlelőhely kutatásából származó adatok alapján valószínűsített tektonikára számítsuk ki a $K_3 = f(H)$, $K_3 = f(L)$ és az $L = f(H)$ regressziós függvényeket. Határozzuk meg az $L = f(H)$ függvény H_{min}-hoz tartozó L_{min} értékét, továbbá a következő integrálokat:

$$K_3' = \int_{H_{min}}^{H_{max}} f(H)dH \qquad K_3'' = \int_{L_{min}}^{L_{max}} f(L)dL$$

ahol H_{max} és L_{max} a területen észlelt maximális elvetési magasság és vetőhossz. Ha a hiperbolák eléggé megbízhatóak, akkor$K_3' \approx K_3''$.



7. *ábra*. Összefüggés a vetők területegységre eső darabszáma és a vetők geometriai elvetési magassága kötött, magyarországi szén- és bauxit előfordulásokon

Fig. 7 The connection between the number of faults on an area unit, and the geometrical throw in Hungarian coal and bauxite deposits (vetők száma – number of faults)

Feltételezve, hogy a két hiperbola hibahatása ellentétes, a

$$\overline{K_3} = \frac{1}{2}\left(K_3' + K_3''\right)$$

átlaggal számolunk tovább. A $\overline{K_3}$ értéket tekintjük a területre jellemző tényleges területegységre eső vetőszámnak, míg a tektonikai térképről K_3 értéke számítható. A $K_3 = f(L)$ függvény ugyanakkor S_{tL}, míg a $K_3 = f(H)$, S_{tH} standard hibával rendelkezik. Bevezetve az

$$\overline{S_t} = \sqrt{S_{tL}^2 + S_{tH}^2}$$

eredő standard hibát, egy $\overline{K_3}$ átlagértékkel és a hozzá kapcsolódó $\overline{S_t}$ standard hibával rendelkezünk. A tektonikai mutató lehetséges maximuma és minimuma ($\overline{K_3}$–3$\overline{S_t}$), illetve ($\overline{K_3}$+3$\overline{S_t}$). Az $U=(x-\overline{K_3})/S_t$ standardizálással számítani tudjuk az egyes bekövetkezési valószínűségeket. Számítva az $U_{K_3}=(K_3-\overline{K_3})/S_t$ értékeket, az érték megadja a K_3-nál kisebb tektonikai mutató bekövetkezési valószínűségét. A kockázati tényező: Kt = [!–$F(U_{K_3})$]/$F(U_{K_3})$ kifejezi, hogy mekkora kockázatot vállalunk, ha a tényleges $\overline{K_3}$ érték helyett K_3-al számolunk. Az elmondottakat szemléltesse a következő példa!

Lencsehegy esetében K_3 = 0,4812/H (15 m széles intervallum tartományokból); S_{tH} =0,0005 db/10⁴ m²; H_{max} = 175 m. K_3 = 9,658/L (150 m széles intervallum tartományokra); S_{tL} = 0,004 db/10⁴ m²; L_{max} = 2100 m. Legyen H_{min} = 1,0 m, így L_{min} = 22,02 m.

$$K_3' = \int_{H_{min}}^{H_{max}} f(H)dH = 0{,}1319 \text{ db}/10^4 \text{ m}^2 \qquad K_3'' = \int_{L_{min}}^{L_{max}} f(L)dL = 0{,}2635 \text{ db}/104 \text{ m}^2.$$

$$\overline{K_3} = \frac{0{,}1319 + 0{,}2635}{2} = 0{,}1977 \quad \text{db}/10^4 \text{ m}^2.$$

Figyelembe véve, hogy H_{min} = 1,0 m, így az első intervallum nem 15, hanem 14 m széles, $\sigma_{K_{3H}}$ = 0,0047 + 10×0,005 = 0,0547 db/10⁴ m².

Hasonló módon, mivel az első vetőhossz intervallum nem 150 m, hanem 22,02 m-rel rövidebb, $\sigma_{K_{3L}} = 0{,}0034 + 13\times0{,}004 = 0{,}0554$ db/10^4 m^2.

$$\sigma_{K_3} = \sqrt{\left(\sigma_{K_{3H}}\right)^2 + \left(\sigma_{K_{3L}}\right)^2} = 0{,}0779 \text{ db}/10^4 \text{ m}^2.$$

A tektonikai térkép alapján számítható K_3 mutató: 0,1067 db/10^4 m^2.

$U_{K_3} = (0{,}1067 - 0{,}1977)/0{,}0779 = -1{,}168;$ $F(U_{K_3}) = 0{,}1214;$

$1 - F(U_{K_3}) = 0{,}8786;$ $K_t = 7{,}24.$

Ha tehát azt tételezzük fel, hogy a kutatási adatokból megszerkesztett vetőkön túl, további törések nem lesznek, ez a feltételezés túlzottan kockázatos.

Az uralkodó vetőirányok kijelölésének kockázata az átlagérték kockázatára leírt módon számítható. Itt azonban általában négy átlaggal (négy uralkodó vetőiránnyal) és a hozzájuk számítható átlagérték szórásával kell operálnunk. Ennél a vizsgálatnál a kutatás adataiból szerkesztett vetőirányok, tapasztalatok szerint elfogadhatók. A kockázatot azonban itt nem csupán a várható érték tartományának alsó határára, hanem a felsőre is célszerű elvégezni.

A kockázat és az ismertségi fok kapcsolata

A telepparaméterek adott kutatási stádiumhoz tartozó tényleges és maximális információtartalom hányadosaként számítható az ismertségi fok. Tekintettel azonban arra, hogy a maximális információtartalmat hordozó függvényt a szórás (σ) ismeretében számítjuk, az entrópia maximum szórása a szórásnégyzet szórásával (σ_{σ^2}) fejezhető ki. A maximális információt hordozó sűrűségfüggvény:

$$f^*(x) = e^{\mu-1} \cdot e^{\lambda(x-\bar{x})^2}$$

Vegyük figyelembe, hogy:

$$e^{\mu-1} = \frac{1}{\sigma}\sqrt{\frac{1}{2\pi}} \quad \text{és} \quad \lambda = \frac{1}{2\sigma^2} \quad \text{tehát} \quad f^*(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}}$$

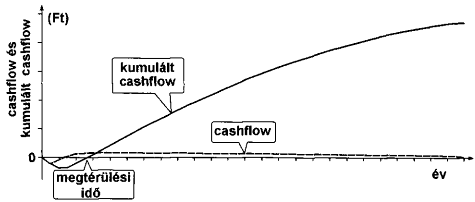
Tekintve, hogy a szórásnégyzet szórását már korábban számítottuk, így a maximális információ szórásának számítása az

$$f^*_\sigma(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\left(\sigma^2 \pm \sigma_{\sigma^2}\right)}} \cdot e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\left(\sigma^2 \pm \sigma_{\sigma^2}\right)}}$$

$f^*_{\sigma+}(x) - f^*(x) = \sigma_{lm+}$; $f^*(x) - f^*_{\sigma-}(x) = \sigma_{lm-}$; $\sigma_{lm} = 1/2(\sigma_{lm+} + \sigma_{lm-})$ összefüggésekkel megoldható. A maximális entrópia az $I_m \pm 3\sigma_{I_m}$ tartományban mozoghat. A bekövetkezési valószínűségeket leíró függvény az $U = (I - I_{max})/\sigma_{I_m}$ standardizálással állítható elő.

A tényleges információtartalom (I_t) felhasználásával vállalt kockázat:

$$K_t = \int_{I_t}^{I_m+3\sigma_{I_m}} f(I)dI \Bigg/ \int_{I_m-3\sigma_{I_m}}^{I_t} f(I)dI$$



8. ábra. A cashflow és a kumulált cashflow változása az ásványi nyersanyag-kutatás és a kitermelés során

Fig. 8 The change of cashflow and cumulated cashflow in the process of exploration and production of mineral deposits (megtérülési idő – payback period)

A *8. ábrán* egy példát láthatunk a kockázati függvény ábrázolására. Az ábra jobb oldalán a tény-entrópiát és alatta azt a kockázati értéket láthatjuk, amely annak a feltételnek a kockázatát jelenti, hogy a maximális entrópia nem lesz nagyobb mint a tény-entrópia. Az adott példában ez „óvatos" becslésnek minősül.

A számított ásványvagyon kockázata

Az ásványvagyont F terület, valamint az egymástól függetlennek tekintett $\overline{m}$ átlagos vastagság és $\overline{\gamma}$ átlagos sűrűség mellett a következő összefüggéssel számítjuk: $Q = F \cdot \overline{m} \cdot \overline{\gamma}$. Elhanyagolva a paraméterek közötti kovarianciákat, a hibaterjedés törvénye alapján felírható, hogy:

$$\sigma_{\overline{Q}}^2 = t \cdot \left[\left(\overline{m}\overline{\gamma}\right)^2 \sigma_F^2 + \left(F\overline{\gamma}\right)^2 \sigma_{\overline{m}}^2 + \left(F\overline{m}\right)^2 \sigma_{\overline{\gamma}}^2 \right]$$

A számított ásványvagyon konfidencia sávja tehát: $(Q - t\sigma_Q) \leq Q \leq (Q + t\sigma_Q)$. A lehetséges szélsőértékek $t = 3$ esetén adódnak. A kockázati függvény a következő összefüggéssel számítható:

$$K_t = \int_{Q_{K_t}}^{Q+3\sigma_{\overline{Q}}} f(Q)dQ \Big/ \int_{Q-3\sigma_{\overline{Q}}}^{Q_{K_t}} f(Q)dQ$$

ha az $f(Q)$ függvényt az $U = (QKt - Q)/\sigma Q$ standardizálással állítjuk elő és QKt az ásványvagyon éppen vizsgált értéke.

Kockázat számítás fuzzy számokkal

Ha a kockázatot valamely paraméter várható értékére vezetjük vissza, akkor az ezt közelítő átlagérték (vagy többváltozós regressziós vizsgálat eredményeként kapott függvényből számított érték) és annak szórása révén a számítást fuzzy halmazokkal, fuzzy számokkal is végrehajthatjuk. Ha ugyanis az említett függvényben szereplő ható tényezőket fuzzy számként kezeljük, akkor az eredményt is fuzzy számként kapjuk (BÁRDOSSY 1995; BÁRDOSSY & FODOR 2000; BÁRDOSSY et al. 2001; FULLÉR 2000). Ez a szám egyben a bizonytalanságot is szemlélteti, és ezzel együtt számszerűsíti a számított eredmény szórását is.

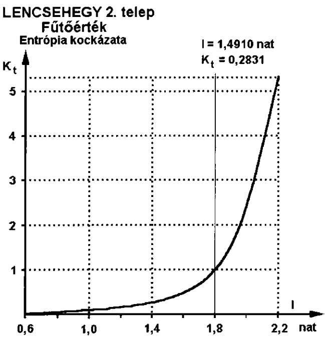
A fuzzy elmélet lehetővé teszi, a bizonytalan határú halmazok értelmezését. Az így előállítható fuzzy halmazokat tagságfüggvények segítségével szemléltethetjük. A tagságfüggvények különböző alakúak lehetnek. A gyakorlatban leginkább trapézként vagy háromszögként definiált fuzzy halmazok terjedtek el.

A fuzzy halmazokkal számtani műveletek végezhetők olymódon, hogy ezeket a műveleteket a trapézok megfelelő csúcspontjaihoz tartozó számértékek között végezzük el. Tekintettel arra, hogy a mai műszaki gondolkodás nehezen tud értelmezni egy ilyen „nem konkrét" számértékkel, az eredmény fuzzy halmaz defuzzyfikálható, visszaállítható egyetlen (crips) számmá.

Ha tehát valamely függvényből számolt eredmény, (például: ásványvagyon) fuzzy számként ismert, akkor a defuzzyfikálás révén, mind a várható értéket közelítő átlagérték, mind annak szórása ismert lesz. Ezekből a kockázati függvény, az átlag és a szórásnégyzet kockázatának mintájára előállítható.

A bányászati tevékenység kockázata

A hatályos bányatörvény szerint a hasznos ásványi nyersanyagok kutatása is bányászati tevékenységnek minősül. Ebből következően egy adott bánya estében a bányászati tevékenység a kutatás megkezdésétől a bányabezárás és tájrendezés befejezéséig tart. Tekintsük meg a *9. ábrát*!



9. ábra. Lencsehegy 2. telep fűtőértékének entrópiájára vonatkozó kockázati függvény

Fig. 9 Risk function concerning the entropy of heating value on Lencsehegy layer no. 2 (telep – layer; fűtőérték – hating value; entrópia kockázata – risk of entropy)

Az ábra szemléletesen mutatja, hogy a bányavállalkozó a termelés, illetőleg az abból származó haszon (kumulált cashflow) megszerzése érdekében dönt a kutatás megkezdése mellett. A bányavállalkozó tehát akkor, amikor a kutatás megkezdésről meghozza döntését, a kumulált cashfow élettartam végén jelentkező értékét kockáztatja. A bányászati tevékenység folyamatában a kockáztatott összeg nagysága csökken. Abban az időpillanatban, amikor a kumulált cashflow görbéje metszi az időtengelyt, a bányavállalkozó ugyanolyan helyzetben van, mintha a pénzét nem bányászati tevékenységbe fektette volna, hanem a bankban helyezte volna el. A különbség csupán annyi, hogy ez a pillanat a banki betét esetében később következik be. Úgy is mondhatnánk, hogy minél nagyobb a különbség a banki és a vállalkozásbeli megtérülési idő között, (feltéve, hogy ez utóbbi a kisebb) annál inkább vállalkozásbarát a gazdasági környezet. A kumulált cashflow görbéje alkalmas annak meghatározására is, hogy mekkora kártérítésre tarthat igényt a vállalkozó, ha a tevékenységét menet közben (például megváltozott környezetvédelmi vagy természetvédelmi érdekek miatt) abba kell hagynia. A kumulált cashflow élettartam végén, és a tevékenység megszüntetésekor jelentkező, az inflációval és a banki kamattal korrigált értékének különbsége az elvárható kártérítés összegével egyezik meg.

Kockázatértékelés a bekövetkezési valószínűségek becslésével

A kockázatszámítás eddig ismertetett megoldásai a kár- vagy kockázati esemény bekövetkezési valószínűségének számíthatóságából indulnak ki. A következőkben a kockázat számítási eljárások egy másik, közvetlen becslésen alapuló csoportjával foglalkozunk.

Ez utóbbi esetben a kockázatbecslés történhet:

– a veszélyforrások felderítését követően, az adott veszélyforrás ártalmasságának becslésével és

– a tesztkérdésekre adott válaszok szöveges vagy statisztikai értékelésével.

Az így készült kockázatértékelés csak adott időponthoz tartozó kockázat becslésére ad lehetőséget. A becslés úgy válhat időfüggővé, ha azt megadott időszakonként megismételjük, és mindig a leginkább kockázatos veszélyforrás megszüntetésére koncentrálunk.

A veszélyforrások egyedi értékelése

Az első esetben a veszély ártalmasságát (mértékét, súlyosságát) és bekövetkezési valószínűségét együttesen a kockázatértékelési mátrix mutatja (3. *táblázat*).

A mátrix elemeit a vastag vonalakon kívüli aktuális értékek összeszorzásával kapjuk. Például egy súlyos veszély (pontértéke: 2) valószínű bekövetkezése (pontértéke: 3) lényeges kockázatot eredményez (pontértéke: 2x3 = 6) Megjegyezzük, hogy a mátrix elemeinek pontértéke nem lehet : 5, 7, 11, 13, és ennél nagyobb páratlan, valamint 10, 12 továbbá 16-nál nagyobb páros szám.

3. *táblázat.* Kockázati mátrix

Table 3 Risk matrix (where: „a veszély ártalmassága": „detriment of emergency"; „A veszély bekövetkezési valószínűsége": „probability of emergency"; „valószínűtlen": „unnprobable"; „kevésbé valószínű": „less probable"; „valószínű": „probable"; „elkerülhetetlen": „unavoidable": „kevésbé súlyos": „less grave"; „súlyos": „grave"; „nagyon súlyos": „ bigger grave"; „katasztrofális": „catastrophic"; „kicsi kockázat": „small risk"; „elviselhető kockázat": „bearable risk"; „mérsékelt kockázat": „moderate risk"; „lényeges kockázat": „determined risk"; „elfogadhatatlan kockázat": „unacceptable risk")

A veszély ártalmassága → A veszély bekövetkezési valószínűsége ↓	kevésbé súlyos (1)	súlyos (2)	nagyon súlyos (3)	katasztrofális (4)
valószínűtlen (1)	kicsi kockázat (1)	elviselhető Kockázat (2)	mérsékelt kockázat (3)	mérsékelt kockázat (4)
kevésbé valószínű (2)	elviselhető Kockázat (2)	mérsékelt kockázat (4)	lényeges kockázat (6)	lényeges kockázat (8)
valószínű (3)	mérsékelt kockázat (3)	lényeges kockázat (6)	elfogadhatatlan kockázat (9)	elfogadhatatlan kockázat (12)
elkerülhetetlen (4)	mérsékelt kockázat (4)	lényeges kockázat (8)	elfogadhatatlan kockázat (12)	elfogadhatatlan kockázat (16)

Az adott vizsgált objektumra vonatkozó összes kockázat és a szükséges intézkedések a 4. *táblázat*ban láthatók.

4. táblázat. Szükséges intézkedések a kockázat mérséklésére

Table 4 Necessery measures for moderation of risk (where: „A kockázat": „Risk"; „értéke": „score"; „szintje": „degree"; „intézkedések": „measures"; „Nincs szükség intézkedésre": „Measure not necesarry"; „ Nincs szükség újabb intézkedésre. Az ellenőrzést folytatni kell.": Not necesarry for a new measure. Must continue the control."; „Adott időn belül kockázat csökkentő intézkedések szükségesek": „In short time measures are necesarry for moderation of risk."; „Sürgős intézkedés kell a kockázat csökkentésére": „Urgent measures are necessary for moderation of risk."; „A kockázatot azonnal meg kell szüntetni.": „The risk must stop immediately.")

A kockázat		Intézkedések
értéke	szintje	
1	kicsi (triviális)	Nincs szükség intézkedésre
2	elviselhető	Nincs szükség újabb intézkedésekre. Az ellenőrzéseket folytatni kell.
3-4	mérsékelt	Adott időn belül kockázat csökkentő intézkedések szükségesek.
6-8	lényeges	Sürgős intézkedés kell a kockázat csökkentésére.
9-16	elfogadhatatlan	A kockázatot azonnal meg kell szüntetni.

Kockázatbecslés tesztkérdések alapján

A tesztkérdések listáinak különböző változatainál külön kérdéscsoport foglalkozik az egyes környezeti elemekkel, így a vízzel, a levegővel stb. Ilyen lista alapján vizsgálható például a földtani kutatás környezetre gyakorolt hatása. A kérdésekre igen, talán és nem választ lehet adni. A kérdésekre adott válaszok értékelése többnyire szövegesen történik. Az értékelés azonban a valószínűségszámítás axiómarendszeréből kiindulva számszerűen is megvalósítható.

Ismeretes, hogy az egymást páronként kizáró események összegének valószínűsége az események valószínűségének összegével egyenlő (REIMANN & TÓTH 1985). Más szavakkal, egymástól független események összegének bekövetkezési valószínűsége nagyobb, mint az egymástól függő eseményeké. Számításainkat erre az axiómára alapozzuk.

Legyen például a tesztben 69 kérdés, (melyek egy külfejtés kutatást követő létesítésével és üzemeltetésével kapcsolatosak) és tételezzük fel, hogy az egyik megkérdezett ezekre 8 db igen, 23 db talán és 38 db nem választ adott. Tekintettel azonban arra, hogy az igen (*I*) válaszok egy része pozitív hatást mutat, ezeket *N*-ként értelmezzük (mivel kedvezőtlen hatás nem következik be) 0% bekövetkezési valószínűséggel. Számos talán (*T*) válasz bekövetkezése is kedvező hatású, mivel olyan létesítmények építését irányozzák elő, melyek a település fejlesztéséhez is szükségesek, csökkentve annak költségét. Az ilyen válaszokat páronként egy nem (*N*) válasznak tekintjük – a kedvezőtlen esetekre vonatkoztatva – 0% bekövetkezési valószínűséggel. A korrekciók révén így 3 db igen (*I*), 17 db talán (*T*) és 46 db nem (*N*) válasszal számolhatunk:

$$\boldsymbol{P}(\boldsymbol{A}_1 + \boldsymbol{A}_2 + \cdots + \boldsymbol{A}_n) = 3\frac{1}{66} + 17\frac{0,5}{66} + 46\frac{0}{66} = 0,17$$

Tekintettel azonban arra, hogy az A_i események nem függetlenek egymástól, $P(A_1+A_2+ \cdots +A_n)$ azaz az eseteknek csupán kevesebb, mint 17%-ában várható valamely kedvezőtlen esemény bekövetkezése, más szavakkal 83%-nál nagyobb a valószínűsége annak, hogy a létesítmény megépítése és működése a környezetre kedvezőtlen hatásokkal nem jár.

Belátható azonban, hogy egy másik személy nem pontosan ugyanazokat a válaszokat adja ugyanarra a kérdéssorozatra. Ha k számú megkérdezett válaszait (azok bekövetkezési valószínűségét tekintve) minden kérdés vonatkozásában átlagoljuk, és számítjuk az átlagok szórását is, akkor belátható, hogy $P(I) \leq 1$; $P(T) \cong 0{,}5$; $P(N) \geq 0{,}0$. Ugyanakkor az egyes típusú válaszok átlagai, $\sigma_{P(I)}$, $\sigma_{P(T)}$, $\sigma_{P(N)}$ szórással rendelkeznek. Ha az egyes események függetlenek lennének egymástól, úgy összes bekövetkezési valószínűségük maximuma és minimuma számítható.

Legyen például $P(I) = 0{,}86$; $\sigma_{P(I)} = 0{,}04$; $P(T) = 0{,}51$; $\sigma_{P(T)} = 0{,}05$; $P(N) = 0{,}08$; $\sigma_{P(N)} = 0{,}02$; $n = 66$; $m_I = 3$; $m_T = 17$ és $m_N = 46$. Adatainkkal, t = 2, azaz 96%-os valószínűségi szinten:

$$P_{min}(A_1 + A_2 + \cdots + A_n) = 0{,}147; \qquad P_{max}(A_1 + A_2 + \cdots + A_n) = 0{,}283$$

Azaz 96%-os valószínűségi szinten a legkedvezőtlenebb szituációban is, az eseteknek kevesebb, mint 28,3%-ában várható kellemetlen összhatás bekövetkezése. De ekkor is az eseteknek több mint 71,7%-ában a példabeli létesítmény megépítése és üzemeltetése kedvező hatásokat eredményez. Létezik tehát egy átlagérték, jelen esetben (0,283 + 0,169)/2 = 0,226 és ennek szórása (283 – 0,169)/4) = 0,029. Az eredő valószínűség elfogadásának kockázata az előzőekbe már ismertetett módon számítható.

Következtetések

A bemutatott és alkalmazásra javasolt kockázatértékelési eljárások ismeretében a következő megállapításokat tehetjük.

– A kockázatértékelési eljárások végeredménye, és a végeredmény megbízhatósága, az alapadatok megbízhatóságától függ.

– A kockázat növekszik egyrészt az alapadatok bizonytalansága révén, másrészt a különböző bizonytalanságok egymásra hatásaként.

- Ezért tehát törekedni kell arra, hogy:
  - az adott feladathoz leginkább alkalmazható kockázatszámítási eljárást használjuk;
  - a számításhoz lehetőség szerint tény adatokat használjunk fel és
  - a kapott eredményeket megfelelő módon értékeljük.

Irodalom – References

BÁCSKAI T., HUSZTI E., MESZÉNA Gy., MIKÓ Gy., SZÉP J. 1976: A gazdasági kockázat mérésének módszerei. – Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó, Budapest.

BÁRDOSSY, Gy. 1995: The use of geomathematics and computerisation in scientific bauxite research and bauxite exploration 1995. – *Traveux de l' ICSOBA.* Zagreb, 22, 15–26.

BÁRDOSSY, Gy. & FODOR, J. 2000: Handling uncertainty in geology by new mathematical methods. Budapest Polytechnic Hungarian Fuzzy Association. – *Proceedings of the International Symposium of Hungarian Researchers Computational Intelligence* 2000, 93–109.

BÁRDOSSY Gy., R. SZABÓ I. & VARGA G. 2001: Az ásványvagyon értékelés új módszerei. – *Földtani Közlöny* **131/3**, 35–44.

BENKŐ F. 1970: A bányászati kockázat földtani alapjai. – *BKL-Bányászat* **103/10**, 744–749.

BENKŐ F. 1971a: Az ásványvagyon mennyiségének meghatározásával kapcsolatos bányászati kockázat. – *BKL-Bányászat* **104/4**, 217–222.

BENKŐ F. 1971b: Az ásványvagyon minőségének meghatározásával kapcsolatos bányászati kockázat. – *BKL-Bányászat* **104/7**, 457–465.

BENKŐ F. 1971c: A bányaföldtani viszonyok meghatározásával kapcsolatos bányászati kockázat. – *BKL-Bányászat* **104/10**, 654–662.

DAVIS, J. C. 1995: Both Sides of Coin – The Role of Probabilistic Modeling in the Minerals Industry. – *BHM* **140/ 4**, 190–193.

FALLER G. 1966: A bányászati kockázat számbavételéről. – *Bányászati Lapok* **12**, 806–814.

FULLÉR, R. 2000: Introduction to Neuro-Fuzzy Systems. – Physica-Verlag, Heidelberg, New York, 2000.

FÜST A. 1990: A geostatisztikai feldolgozás eredményeinek kockázati vizsgálata.– *Földtani Kutatás* **38/4**, 69–73.

FÜST A. 1997: Geostatisztika. – Eötvös Kiadó, Budapest, 427 p.

FÜST, A. & MOLNÁR, S. 1990: Risk Analysis of Results Yielded by Geostatistical Data Processing. –XXII. International Symposium APCOM. TUB-DOKUMENTATION Helf 51. B.

GRUIZ K., SZVETNIK N. & DURA Gy. 1997: Környezeti kockázat felmérésének és elemzésének módszertani fejlesztése a Kármentesítési Program céljainak figyelembevételével, Budapest, 144 p. – Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium. Anniotációk.

GRUY, H. J. & HARTSOCK, J. H. 1996: Political Risk In Fair Market Value Estimates. – Hart's Petroleum Engineer International. 1996 sept., 57–58.

GUTMANN Gy., FÜST A., JANOSITZ F., KOCZKA Gy., MOLNÁR S. & TAKÁCS T. 1989: Bányászati kockázati vizsgálatok a dorogi medence lencsehegyi területén. – Tanulmány. Budapest – Dorog, 1989.

JUHÁSZ A. 1983: A kőszénkutatással kapcsolatos tektonikai értékelés. – Gyakorlati szerkezetföldtani módszertani továbbképző tanfolyam Miskolc, 1983, 89–101.

KOVÁCS F. 1989a: A földtani kutatás során meghatározott tektonika megbízhatósága szénelőfordulásokon. – *BKL-Bányászat* **122/5**, 287–293.

KOVÁCS F. 1989b: A szénelőfordulások várható tektonikai paramétereiről. – *BKL-Bányászat* **122/7**, 425–431.

KOVÁCS, F. 1990: Autenticity of Determination of Tectonic Characteristic in Coal Deposits. – *Acta Geodaetica Geophysica et Montanistica Hungarica* **25/1–2**, 9–23.

MARX Gy. 1990: Kockázat. – *Fizikai Szemle* 1990/5, p. 129.

MOLNÁR S. & FÜST A. 2002: Környezet-informatikai modellek – I. Szent István Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Informatika Tanszék, Gödöllő, 2002.

O'HARA, T. A. 1982: Analysis of risk in Mining Projects. – *CIM Bulletin* July 1982, 84–90.

REIMANN J. & TÓTH I. 1985: Valószínűségszámítás és matematikai statisztika. Tankönyvkiadó, Budapest.

Kézirat beérkezett: 2003. 12. 10.