

MÁDAI FERENC,

ÁSVÁNYVAGYON GAZDÁLKODÁS

10



A Műszaki Földtudományi Alapszak tananyagainak kifejlesztése a
TÁMOP 4.1.2-08/1/A-2009-0033 pályázat keretében valósult meg.

X. HATÁRMINŐSÉG-SZÁMÍTÁS ÉS KÜLFEJTÉS-MÉRETEZÉS

1. HATÁRMINŐSÉG SZÁMÍTÁSA

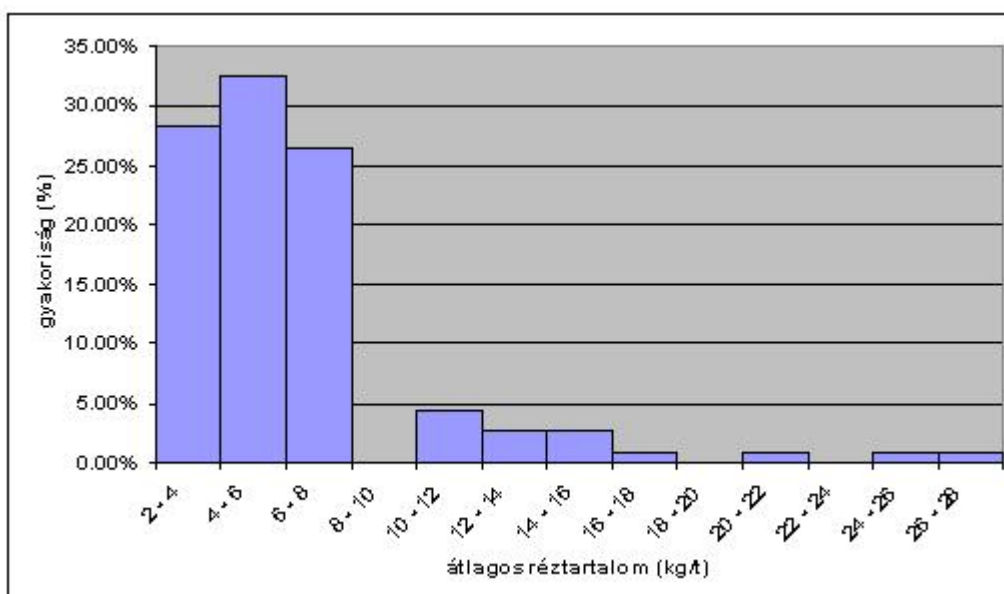
Ebben a leckében egy konkrét – fiktív – példát követve vizsgáljuk meg, hogy a kutatási adatokból hogyan juthatunk el a külféjtés méretezéséig. A feladat a valóságban ennél természetesen jóval összetettebb, itt a gazdasági megvalósíthatóságra fókuszálva követjük végig az egyes lépéseket.

Rendelkezésünkre áll egy fúrásos kutatás adataiból meghatározott réztartalom. A fúrások egy szelvényben, egymástól 10 m-re települtek, mélységük 36 méter. A réztartalom adatok mindegyik fúrásban 4 méteres szakaszonként vett átlagmintát jelentenek, így folytonos mintavételből származó adataink vannak. A 13 fúrás egyes szakaszainak réztartalmát kg/t mértékegységben (%-ban kifejezve ennek 1/10-e) az **10.1. táblázat** mutatja.

Szakasz (m)	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13
0 – 4	2.2	3.9	5.4	6.5	5.1	2.9	5.5	7.3	5.3	4.1	4.9	5.0	6.1
4 – 8	5.1	3.8	7.1	7	5.7	6.6	7.3	4.9	2.7	5	6.6	6.3	2.6
8 – 12	4	4.6	4	6.3	11.0	17.5	6.1	10.0	5.1	3.2	6.9	5.7	2.5
12 – 16	4.8	3.7	3.3	2.8	4.1	21.5	13.0	10.2	5	6.8	3	7.5	7.1
16 – 20	2.8	7.1	6.2	6.2	12.4	11.3	25.4	10.4	7.3	6	7.5	2.7	2.2
20 – 24	3.9	5.3	5.4	3.7	6.3	13.6	26.5	6.6	4.2	3.3	6.5	5.3	3.6
24 – 28	4.9	3.7	5.6	3.5	3.3	6.9	15.4	14.5	4.3	2.2	7.4	4.8	5.8
28 – 32	5	4.2	7.1	5.7	5.6	2.9	14.7	3.0	2.8	6.4	4.8	6.2	4.2
32 – 36	7.4	2.5	4.9	3.1	5.4	5.2	5.1	7.5	2.3	3.9	4.2	6.2	3.9

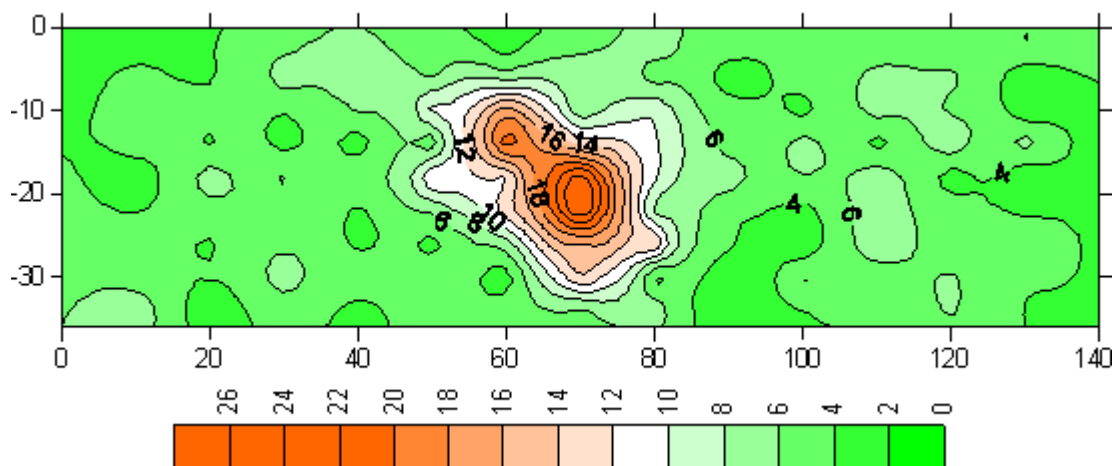
10.1 táblázat

A teljes adathalmaz alapvető statisztikai jellemzői: minimum érték: 2.2 kg/t Cu, maximális érték: 26.5 kg/t Cu, számtani átlagérték: 6.3 kg/t, medián: 5.3 kg/t, módusz: 3.9 kg/t, szórás: 4.15. Ebből is látszik, hogy az eloszlás erősen aszimmetrikus. Az eloszlás sűrűségét az **10.1. ábra** szemlélteti.



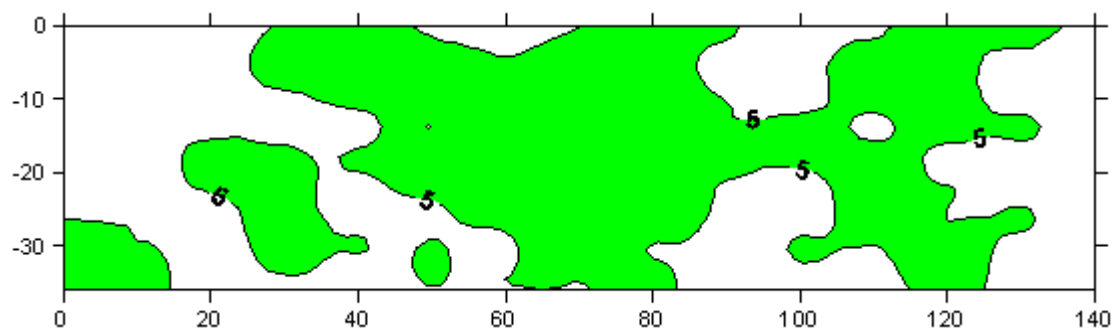
10.1 ábra

Az adathalmaz krígelt koncentráció ábráját a szelvényre a **10.2. ábra** mutatja.

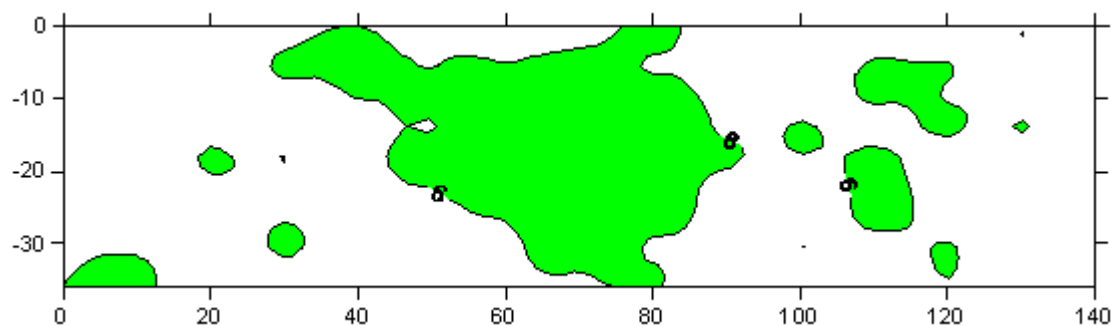


10.2 ábra

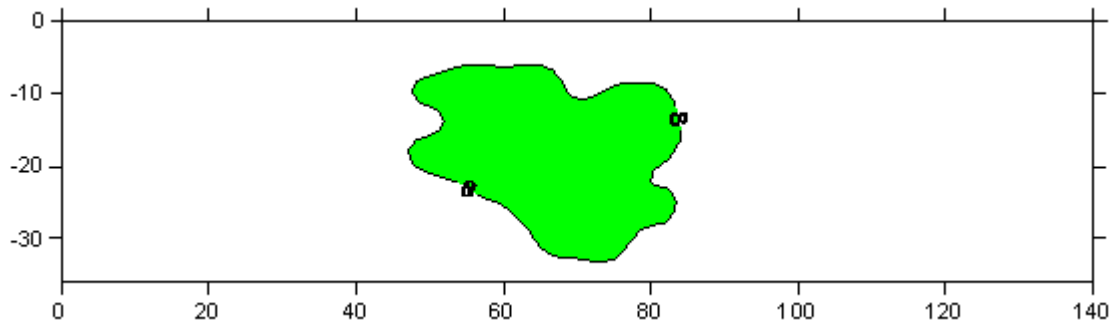
Ebből az ábrából már jól kitűnik, hogy a szelvény közepén jelentkezik egy ovális, kb. 50°-os dőlésű, 8 kg/t feletti koncentrációval rendelkező anomália, közepén egy nagyobb és egy kisebb kiugró anomáliával. A következő 5 ábra (**10.3-10.7. ábra**) az egyes határkoncentráció feletti dúsulás alakját mutatja (zöld foltok) 5, 6, 8, 10 és 12 kg/t határkoncentrációnál.



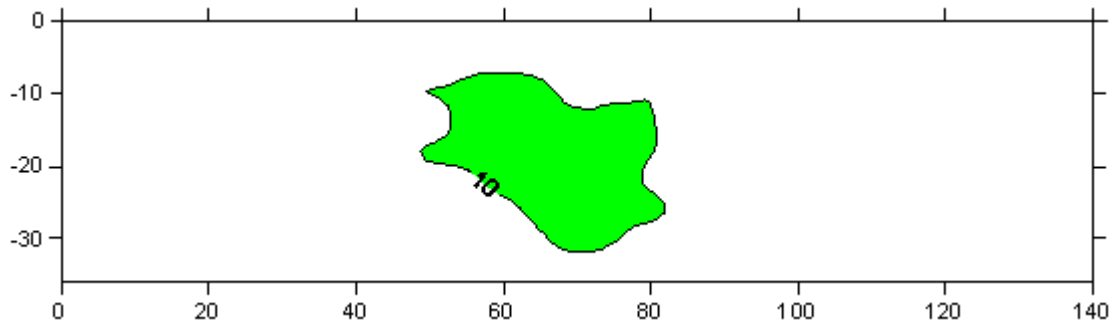
10.3 ábra: 5 kg/t (0,5%) feletti réz-koncentráció eloszlása a szelvényben



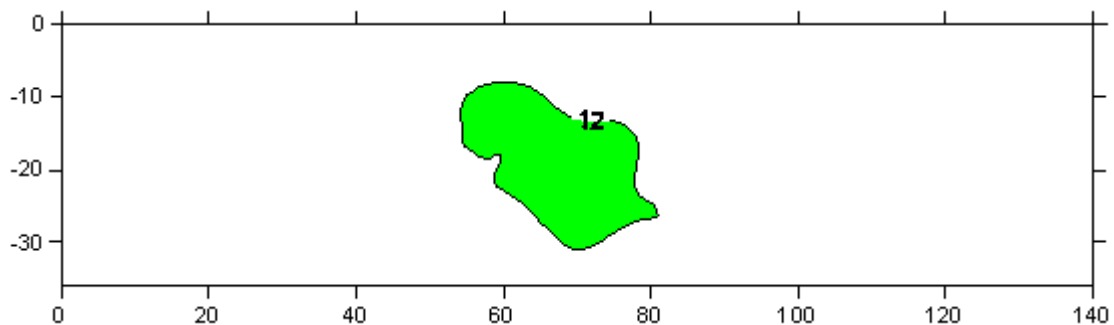
10.4 ábra: 6 kg/t (0,6%) feletti réz-koncentráció eloszlása a szelvényben



10.5 ábra: 8 kg/t (0,8%) feletti réz-koncentráció eloszlása a szelvényben



10.6 ábra: 10 kg/t (1,0%) feletti réz-koncentráció eloszlása a szelvényben.



10.7 ábra: 12 kg/t (1,2%) feletti réz-koncentráció eloszlása a szelvényben.

A továbbiakban tekintsük úgy, hogy az egyes szakaszok átlagos réztartalma felel meg egy 10x25x4 méteres kőzetblokk átlagos réztartalmának (a fúrások a szelvényben 10 méterenként követik egymást, az egyes szelvények közötti távolság 25 m). Ez ismét egy erős egyszerűsítés, bár a megvalósíthatósági előtanulmány elkészítésekor ez nem áll nagyon távol a gyakorlattól. A számbavételi minőség leckében alkalmazott modell segítségével állapítsuk meg a határminőség értékét és a számbavételi letakarítási arányt erre az adathalmazra. A réz árát rögzítsük 2 USD/kg-ban.

Az ábrák jól mutatják, hogy 5-6 kg/t határminőség esetén ki lehet alakítani olyan külfejtést erre a szelvényre, ahol meddőt gyakorlatilag nem kell kitermelni. Magasabb határminőségnél már csak olyan külfejtést lehet tervezni, ahol több-kevesebb meddő kitermelésével is számolni kell.

A **10.3-10.7. ábrák** alapján, ha 5, illetve 6 kg/t határminőség esetén a termelés nettó egyenlege nem negatív az alkalmazott pénzügyi paraméterek mellett, akkor egy ilyen külfejtést már érdemes vizsgálni. 5 kg/t határminőség esetén a nettó érték -2,09 USD/t érc, 6 kg/t esetén -1,025 USD/t érc, így ezt a lehetőséget elvetjük.

7 kg/t határminőség esetén a nettó érték gyakorlatilag nulla (0,037 USD/t érc). Ez azt jelenti, hogy a 7 kg/t határminőség feletti blokkokat érdemes ércként feldolgozni akkor, ha ezek egyébként – mint meddő-blokkok – belesznek abba a külfejtésbe, amit egy magasabb határminőséggel tervezünk.

8 kg/t határminőségnél 1,1 USD/t érc nettó érték keletkezik, ami 1,2-es számbavételi letakarítási arányt enged meg. Az itt figyelembe vehető 15 blokkot a következő ábra mutatja. 1,2-es letakarítási aránnyal 17 blokk meddőt lehetne még veszteség nélkül letakarítani. Könnyen belátható, hogy mind a 15 érces blokk kitermelése ezzel nem oldható meg.

Ugyanakkor ha megnézzük az ábrát, mindegyik érces blokk 10 kg/t határminőséggel bír. 10 kg/t viszont már 3,4-es számbavételi letakarítási arányt enged meg, ezzel 51 meddő-blokkot lehet veszteség nélkül kitermelni, ami elegendő ahhoz, hogy mindegyik érces blokkhoz hozzáférjünk. (Csak lépcsőzetesen haladhatunk lefelé mindkét oldalon.) Meg kell jegyezni, hogy ilyen lapos rézsű (21°) ilyen bányánál nem feltétlenül reális, de ezt itt engedjük meg és fogjuk a kőzetmechanikai tulajdonságokra.

Szakasz (m)	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13
0 – 4													
4 – 8													
8 – 12					11	18		10					
12 – 16						22	13	10					
16 – 20					12	11	25.4	10					
20 – 24						14	26.5						
24 – 28							15.4	15					
28 – 32							14.7						
32 – 36													

10.2 táblázat

A különböző határminőségekhez tartozó, a modellből számolt paramétereket a következő táblázat foglalja össze.

határ-minőség (kg/t)	Fajlagos nettó érték (USD/t érc)	Számba-vételi letakarítási arány	érc mennyisége a határ-minőség felett (t)	átlagos minőség a határ-minőség felett (kg/t)	érces blokkok száma	nettó érték (USD)
5	-2,09	-	561 000	8,10	69	-2 231 153
6	-1,03	-	443 700	9,40	47	-838 327
7	0,04	0,03	322 000	11,50	28	22 218
8	1,10	1,16	227 400	15,16	15	558 476
9	2,16	2,30	227 400	15,16	15	965 268
10	3,23	3,39	227 400	15,16	15	1 310 006
11	4,29	4,50	196 800	16,40	12	1 484 659
12	5,35	5,63	174 500	17,45	10	1 598 638
13	6,41	6,80	162 100	18,01	9	1 693 264
14	7,48	7,90	135 500	19,36	7	1 647 420
16	9,60	10,00	90 900	22,73	4	1 458 707
18	11,73	12,00	73 400	24,47	3	1 375 811
20	13,85	15,00	73 400	24,47	3	1 463 820
22	15,98	17,00	51 900	25,95	2	1 150 171
24	18,10	19,00	51 900	25,95	2	1 194 616
26	20,23	21,00	26 500	26,50	1	642 559

10.3 táblázat

Ahogy a határminőséget szigorítjuk, a határminőség feletti átlagminőség egyre jobban közelíti a határminőséget, mivel csökken a számba vehető érces blokkok mennyisége. Az utolsó oszlopban feltüntetett "nettó értéket" a modellből számolt fajlagos nettó érték (a bevétel és az érces blokkok teljes költségének különbsége), a határminőség feletti érc

mennyiségének és átlagos minőségének szorzataként kapjuk. Maximumát a 13 kg/t határminőségnél éri el, viszont ez az érték még nem számol a meddőkitermelés költségével. A továbblépést a szelvény optimális külfejtési profiljának megtervezéséhez el kell végezzük az erre alkalmas számításokat. Ennek egyik általánosan alkalmazott módszere a **Lerchs-Grossman algoritmus**, amit a továbbiakban itt ismertetünk.

2. KÜLFEJTÉSI PROFIL TERVEZÉSE A LERCHS-GROSSMAN ALGORITMUSSAL

Az eredeti algoritmust **H. Lerchs** és **I. R. Grossmann** 1965-ben dolgozta ki külfejtés szelvényének számítógépes optimalizálásához. A modell egyszerű, manapság akár egy táblázatkezelővel is megoldható. A módszer 3-dimenziós változatát némileg eltérő alapokon dolgozták ki, ezt a módszert manapság a legtöbb bányászati tervező szoftver tartalmazza.

A határminőség számítás során kielemeztük, hogy a 10 kg/t határminőség alkalmas lesz számunkra és a 7 kg/t feletti ércartalmú blokkokat is érdemes feldolgozni, ha azok beleesnek a külfejtésbe. A többi blokkot meddőként kezeljük. A következő pénzügyi paraméterek segítségével meg tudjuk határozni az egyes blokkok költségeit, illetve a belőlük származó bevételt.


érc kitermelési költség	1 USD/t + szintenként 0,2 USD/t
meddő kitermelési költség	0,95 USD/t + szintenként 0,4 USD/t
érc feldolgozási költség	3 USD/t
adminisztrációs költség	1USD/t érc
kohósítási költség	0.75USD/kg Cu
összesített fémkihozatal	85%
értékcsökkenés	1.4USD/t érc
piaci ár	2 USD/kg Cu

10.4 táblázat

A 10 kg/t feletti ércartalmú blokkokat mutatja a **10.5 táblázat**, melyen szürkével jelöltük azokat a blokkokat, melyek a maximális – de nem feltétlenül optimális – méretű külfejtést adják. A 7 és 10 kg/t közötti ércartalmú blokkokat is jelöltük a külfejtési kontúron belül, mivel ezek feldolgozása már nem lenne veszteséges, ha egyébként meddőként úgys ki kellene termelni őket.

Szakasz (m)	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13
0 – 4								7,3					
4 – 8			7,1	7,0			7,3						
8 – 12					11,0	17,5		10,0					
12 – 16						22,0	13,0	10,2					
16 – 20					12,4	11,3	25,4	10,4	7,3				
20 – 24						13,6	26,5						
24 – 28							15,4	14,5					
28 – 32							14,7						
32 – 36													

10.5 táblázat

Az egyes blokkok átlagos ércartalmának ismeretében, a táblázatban szereplő pénzügyi paraméterek alkalmazásával számítsuk ki az egyes blokkok tonnánkénti fajlagos költségét (meddő blokkok), illetve nettó bevételét (érces blokkok). Ehhez használjuk az itt elérhető Excel táblát . Az egyszerűség kedvéért mindent tonnánkénti fajlagos értékben számoljunk. A blokkonkénti értéket, illetve költséget ebből megkapjuk, ha a fajlagos értéket megszorozzuk a blokk tömegével.

A blokkonkénti költségeket egy tonna kőzetre a **10.6. táblázat** mutatja. A jobb átláthatóság kedvéért az érces blokkok nettó fajlagos eredményét eltérő színnel ábrázoljuk.

Szakasz (m)	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13
0 – 4	-1.35	-1.35	-1.35	-1.35	-1.35	-1.35	-1.35	1.16	-1.35	-1.35	-1.35	-1.35	-1.35
4 – 8	-1.75	-1.75	0.74	0.64	-1.75	-1.75	0.96	-1.75	-1.75	-1.75	-1.75	-1.75	-1.75
8 – 12	-2.15	-2.15	-2.15	-2.15	4.69	11.6	-2.15	3.63	-2.15	-2.15	-2.15	-2.15	-2.15
12 – 16	-2.55	-2.55	-2.55	-2.55	-2.55	15.6	6.61	3.64	-2.55	-2.55	-2.55	-2.55	-2.55
16 – 20	-2.95	-2.95	-2.95	-2.95	5.76	4.61	19.6	3.65	0.36	-2.95	-2.95	-2.95	-2.95
20 – 24	-3.35	-3.35	-3.35	-3.35	-3.35	6.85	20.6	-3.35	-3.35	-3.35	-3.35	-3.35	-3.35
24 – 28	-3.75	-3.75	-3.75	-3.75	-3.75	-3.75	8.56	7.61	-3.75	-3.75	-3.75	-3.75	-3.75
28 – 32	-4.15	-4.15	-4.15	-4.15	-4.15	-4.15	7.62	-4.15	-4.15	-4.15	-4.15	-4.15	-4.15
32 – 36	-4.55	-4.55	-4.55	-4.55	-4.55	-4.55	-4.55	-4.55	-4.55	-4.55	-4.55	-4.55	-4.55

10.6 táblázat: Blokkonkénti költségek egy tonna kőzetre vetítve

Az algoritmus szerint oszloponként lefelé haladva határozzuk meg az egyes blokkok kumulatív értékét a maximális külfejtési profilban. Ezt az egyes blokkok értékének fentről lefelé haladó összegzésével kapjuk:

Szakasz (m)	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13
0 – 4	-1.35	-1.35	-1.35	-1.35	-1.35	-1.35	-1.35	1.16	-1.35	-1.35	-1.35	-1.35	-1.35
4 – 8	-3.1	-3.1	-0.61	-0.71	-3.1	-3.1	-0.39	-0.59	-3.1	-3.1	-3.1	-3.1	-3.1
8 – 12		-5.25	-2.76	-2.86	1.59	8.49	-2.54	3.03	-5.25	-5.25	-5.25	-5.25	
12 – 16			-5.31	-5.41	-0.96	24.1	4.07	6.67	-7.8	-7.8	-7.8		
16 – 20				-8.36	4.79	28.7	23.7	10.3	-7.44	-10.8			
20 – 24					1.44	35.6	44.2	6.97	-10.8				
24 – 28						31.8	52.8	14.6					
28 – 32							60.4						
32 – 36													

10.7 táblázat: Az egyes blokkok kumulatív értéke a maximális külfejtési profilban

A következő, aránylag bonyolult lépésben határozzuk meg az egyes cellák felszínre hozott kumulált nettó értékét. Ez az érték az összesített nettó értéke az adott blokknak és az oszlopban felette lévő blokkoknak (ezt találjuk a felső táblázatban), valamint az optimális külfejtési profilban az adott blokktól balra elhelyezkedő blokkoknak. Ezt az értéket úgy kapjuk meg, hogy a felső táblázat cellaértékeihez bal felső cellájából kiindulva oszloponként felülről lefelé haladva adjuk hozzá a cellaértékhez a tőle

- egy blokkal balra és felette,
- egy blokkal balra,
- egy blokkal balra és alatta

található cellaértékek közül a legnagyobbat. Üres cellát, ami a maximális külfejtési profilon kívül eső blokkot jelentené, nem vehetjük figyelembe. A legfelső sorban található maximális kumulált érték adja az optimális külfejtés kumulált nettó értékét, ami esetünkben 64,8 USD/t. Ez azt mutatja, hogy az optimális külfejtés ebben a szelvényben (0-4) a maximálisnál kisebb, a legmélyebb kitermelt blokk

Szakasz (m)	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13
0 – 4	-1.35	-1.35	-1.35	-1.35	-1.35	-1.35	-1.35	8.78	19.2	26.3	48.4		63.5
4 – 8	-3.1	-4.45	-1.96	-2.06	-4.45	-3.58	7.63	20.5	27.7	49.7	66.2	63.9	61.7
8 – 12		-8.35	-7.21	-4.82	-0.48	8.02	21.1	30.8	52.8	69.3	67	61.8	

12 – 16			-13.7	-12.6	-5.78	23.7	27.7	58.1	74.5	72.3	65.8		
16 – 20				-22	-7.83	23	51.4	82.3	80.1	73.6			
20 – 24					-20.6	27.8	72	87.5	84.3				
24 – 28						11.3	80.5	95.1					
28 – 32							71.7						
32 – 36													

10.8 táblázat

3. A NYERSANYAG FOLYTONOSSÁGA

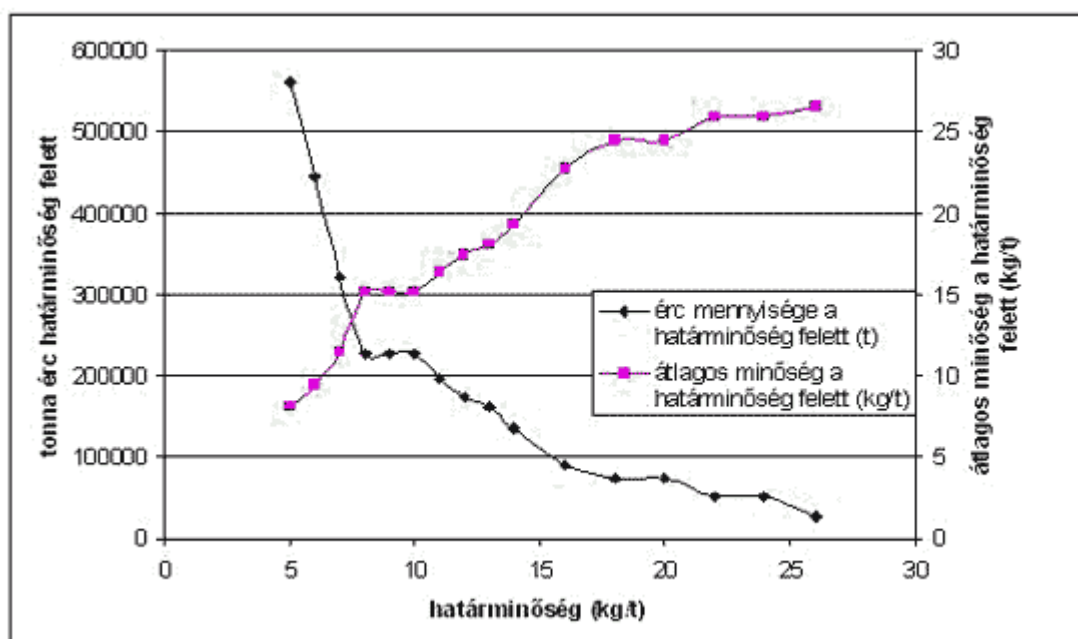
Az itt ismertetett példában alapvetően kitértünk az elől a nehéz kérdés elől, hogy hogyan, milyen alapon jellemezzük a számunkra hasznos nyersanyag geometriai, minőségi tulajdonságait, elfogadtuk az adott szakaszból nyert érc tartalmat az adott tömb minőségi jellemzőjének. A kitermelhetőség szempontjából az ásványi nyersanyag egyik legfontosabb tulajdonsága a hasznosanyag geometriai elrendeződése, melyet a szemcseméret és az egyes szemcsék térbeli eloszlása jellemez.

A nyersanyagtelepek értékeléséhez külön használják a földtani folytonosság és a számszerű folytonosság fogalmát. A földtani folytonosság a nyersanyag helyét és helyzetét meghatározó egyes földtani alakzatok fizikai és geometriai elrendeződése, míg a számszerű folytonosság az egyes kvantitatív jellemzők – érc tartalom, telep vastagság, szennyezőanyag-tartalom – térbeli eloszlásának jellemzése.

A földtani folytonosság kőzettani, szerkezeti okokra vezethető vissza. Egy nyersanyagtelepet általában több, egymást felülíró folyamat alakít ki, melyek hatással vannak a kialakult folytonosságra. A következő ábra az egyes nyersanyagtelep típusok helyét mutatja a földtani folytonosság és hasznosanyag-tartalom függvényében **King** et al. (1982) után.

A szemcseméret meghatározza a szükséges feltárási szemcseméretet, ami jelentősen befolyásolja az alkalmazható előkészítési technológiát, az előkészítés energiaigényét. A hasznosanyag folytonossága, a szemcsék térbeli eloszlása meghatározó az érc test lehatárolása, a bányászati, illetve dúsítási meddő mennyiségének szempontjából.

Egy kőszéntelep esetében a nyersanyag folytonossága a szénrétegen belül hosszán – több méteren, akár több 100 méteren – kitart, a rétegeként lehatárolt széntelep hasznosanyag-tartalma magas, kevés meddőt tartalmaz. Emiatt fajlagosan kevés dúsítási meddő fog keletkezni. Ezzel szemben egy hintett ércnél a nyersanyag szemcséi tized-, század milliméteresek és az egyes szemcsék között milliméteres – centiméteres távolság is lehet. Emiatt itt a hasznosanyag-tartalom a kőszéntelephez képest 2-3 nagyságrenddel és a folytonosság is jelentősen kisebb lesz. A bányászati technológia – nagy tömegű kitermelés – miatt ebben az esetben fajlagosan nagyságrendekkel több dúsítási meddő keletkezik, mint a kőszén esetében.



Fontos hangsúlyozni, hogy a földtani folytonosságot a földtani modellből és a teleptani viszonyokból kiindulva jellemzik a rendelkezésre álló adatok interpretálásával (interpolálással, extrapolálással). Ezt részletesen a Nyersanyagkutatás tananyag tárgyalja. Ebből a szempontból fontos a vizsgált tulajdonság – pl. ércesedés, szerkezet – **anizotrópiája**. A nyersanyagtelepek, földtani szerkezetek többnyire valamilyen anizotrópiával rendelkeznek, ami a tapasztalat szerint meghatározza a haszonanyag-tartalom folytonosságának irányát is.

A számszerű folytonosság jellemzéséhez hagyományosan használatosak a haszonanyag-tartalmat grafikusán megjelenítő szelvények, vagy térképek. A megfelelő értelmezéshez, vagy megjelenítéshez viszont szükségünk van az egyes mintavételi pontok közötti folytonosság változásának jellemzésére. Emiatt ma már a számszerű folytonosságot inkább autokorrelációs együtthatókkal jellemzik, mint a szemivariogramok. Ezek segítségével mérhető, hogy az adatok az egyes mintavételi pontok közötti távolság növekedésével milyen mértékben válnak különbözővé.

A számszerű folytonosság alapján a legjobb megbízhatósággal a mintavételezés fő iránya mentén – például egy fúróluk mentén – jellemezhető. A másik két dimenzióban a mintavételezés ennél ritkább, így ezen irányokban a folytonosság jelentősen függ a földtani szerkezet interpretálásától.

A haszonanyag folytonossága jellemezhető ún. **folytonossági doménnel**, ami a kitermelésre érdemes haszonanyag térbeli méreteit jelenti. A domén mérete és haszonanyag-tartalma hatással van a dúsítási meddő mennyiségére. Ha például 1 cm³-es doméneket jelölünk ki és ezek haszonanyag-tartalmát határozzuk meg, a haszonanyag-tartalom eloszlása szélesebb lesz, mint 1 m³-esblokkok esetében.