

Statisztikai vetőnyomozás egy szénhidrogén kutatási területen

*Statistical investigation for structural elements –
a case study on a hydrocarbon acreage*

UNGER Zoltán¹

(21 ábra, 11 táblázat)

Tárgyszavak: vetőstatisztika, hatványfüggvény eloszlás, vetők számának becslése
Keywords: fault-statistics, power law distribution, fault number prediction

Abstract

The use of statistical tools in order to determine fault-free perimeters while planning the exploitation blocks is a frequent practice in ore and coal mining. This can be seen in the reference literature. For reasons of safety and for economic considerations such information is important mining activities.

The question arises: why is so little attention paid to this in the hydrocarbon industry.

One of the successful exploration and production keys in hydrocarbon industry is to know the pattern of the faults, i.e. where and which are the fault-free or faulted blocks. This is strongly highlighted in the case of fractured reservoirs which have diagenetic sandstone with quartzite overgrowths; these reduce the effective porosities. If this kind of reservoir is fractured, the permeability increases, and this facilitates hydrocarbon production but at the same time creates the danger of reservoir leakage.

This is why a statistical fault investigation method is presented in this paper, such a method starts from a structural map from the top-reservoir, showing isolines and tectonic elements. Through a case history it is possible to develop the method through trial and error. Earlier, this kind of method was used exclusively in ore and coal mining. It is possible to predict a range for the number of faults and fractures, but not their location. The method is a statistical one suitable for the prediction the number of faults. Other methods represent fault-location prediction.

Összefoglalás

A bányaművelés tervezéséhez meghatározzák az ún. vetőmentes terület nagyságát, amely többnyire statisztikai eljárásokkal történik.

Tanulmányunk kísérletet tesz a korábban csak szilárdásvány bányászatban alkalmazott vetőstatisztikai módszerek alkalmazására a szénhidrogén iparban. Itt ugyanilyen fontos lehet a vetőmentes területek körvonalazása, sőt térképezése is.

Bemutatjuk, hogy ebben az esetben is létezik a korábban kimutatott hatvány függvény összefüggés a törésvonalak gyakorisága és a hosszúsága, illetve elvetési magassága között. A becslött hatvány függvényekkel előrejelezhető az egyes szerkezeti zónákban megjelenő vetők száma, a tároló jellege (repedezett/nem repedezett). Bár ez a módszer nem valószínűsíti a vetők térbeli helyzetét, jelentősége abban áll, hogy eldönthetővé válik egy szénhidrogén tároló esetében, hogy mennyire repedezett vagy nem repedezett, ami a szénhidrogén kutatás és termelés egyik fontos információja.

¹Magyar Állami Földtani Intézet, H-1143 Budapest, Stefánia út. 14

Bevezetés

A szilárd ásványbányászati szakirodalomból ismeretes, hogy a fejtési mezők kijelöléséhez, vagyis a bányaművelés tervezéséhez meghatározzák az ún. vetőmentes terület nagyságát (FÜST 1982). Ez a szén-, illetve bauxittelepek vágatokban történő fejtése miatt fontos. Minél nagyobb a vetőmentes terület, annál biztonságosabban és gazdaságosabban végezhető a művelés.

Ugyanilyen fontos lehet a vetőmentes területek körvonalazása, sőt térképezése a szénhidrogén kutatásban is. Jelen esettanulmányban a vetőmentes területek körvonalazására statisztikai módszerrel próbálkoztam. Abból indultam ki, hogy adott kőzettest – szénhidrogén rezervoár – feldaraboltsága statisztikai összefüggésben van a terület többszöri tektonikai igénybevételével. Például, egy mereven viselkedő paleozoos diagenizált kvarchomokkőben, egész törés- és repedéshálózat-rendszer alakulhat ki az időben többször is ismétlődő, jellegükben és irányukban azonos, vagy egymástól eltérő feszültségterek hatására. Ennek egy része térképezhető a hagyományos szeizmikus módszerekkel, de nagyon sok vető és törés marad rejtve a szeizmikus hullámok előtt, főként, ha több ezer méternyi mélységekről van szó, és ha a vetők- és a repedéshálózat mérete a szeizmikus felbontóképesség alatti. A rezervoár feldaraboltsága, amely a repedezettséggel is közvetlen kapcsolatban áll, egyszerre előnyös és hátrányos is a szénhidrogén-bányászat szempontjából. Előnyös lehet a termelésnél, mert az összekapcsolódó repedések által megnö a permeabilitás és könnyebbé válik a termelő kutakba az olajbeáramlás, ugyanakkor veszélyt is jelenthet a mező természetes lecsapolódása miatt.

Vizsgálatom tárgya egy rezervoártető időmélység térképe (1. ábra) volt (MOL belső tanulmány). A területen számos, vetőkből álló törésszóna került azonosításra; a nyomon követés miatt ezeket V1–V27-ig terjedő névvel jelöltem. A V28 és V29 jelű törésszónák a szintvonalas térkép peremére estek és így ezek korlátozott mértékben kerültek felhasználásra. A szintvonalak értékei időmélységek, ms-ban vannak feltüntetve. A világosabb tónus a mélyebb-, a sötétebb a magasabb szerkezeti helyzetet szemlélteti.

A vetőstatisztikai elemzésnél felhasznált bemenő adatokat a törésvonalak tulajdonságairól kialakított adathalmaz jelentette, így a törések hosszát, a hosszúság mentén az elvetési magasságokat, valamint a vetőszakaszok csapásirányát tartalmazzák. A vetők hosszát lemértem az eredeti M = 1:50 000-es térképről. A vetők elvetési magasságát a vetőknek szaladó szintvonalértékek különbsége jelenti.

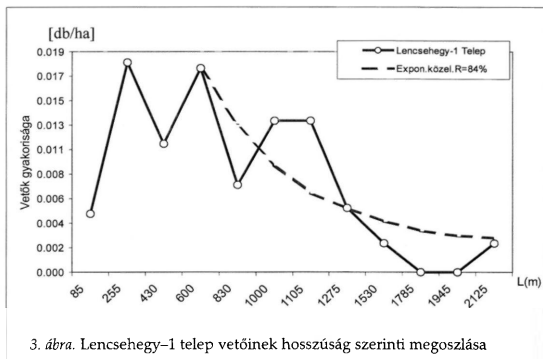
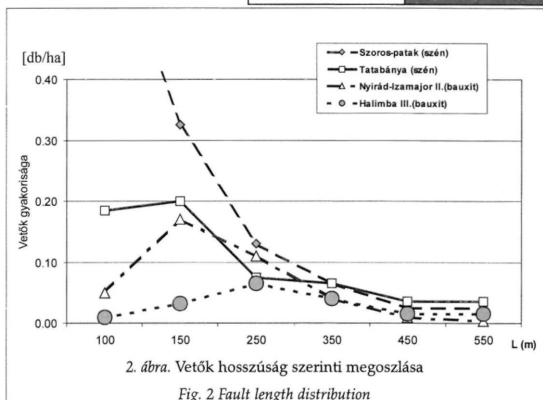
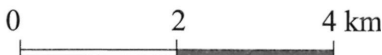
A hazai szén-, és bauxit-előfordulásokra végzett vetőstatisztikai vizsgálatok szerint a vetők hossza és az adott területre eső vetők száma közötti kapcsolat hatványfüggvény szerint változik (2, 3. ábra – FÜST 1997).

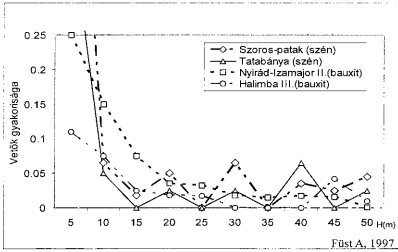
A hazai szakirodalom a 2. ábrán, a szorospataki, tatabányai, nyirádi és Halimba III. bányászterek területén található vetők számát szemlélteti a hosszúság-függvényében.

A 3. ábra a Lencsehegy-1 telep fekéjére vonatkoztatott vetők számát mutatja, hatványfüggvény közelítésével. Mindkét ábrán észlelhető, hogy a rövid vetők gyakorisága alul marad az illeszthető görbe alapján várt értéknél, vagyis sokkal könnyebb megtalálni és térképezni a nagyobb szerkezeti elemeket, míg a rövidebb vetők – éppen a repedezett térrészek – rejtve maradnak az adott kuta-

1. ábra. Egy rezervoártető időmélység térképe az azonosított tektonikai elemekkel

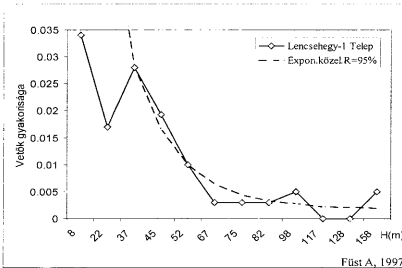
Fig. 1 A top reservoir time-depth map with the identified tectonic elements





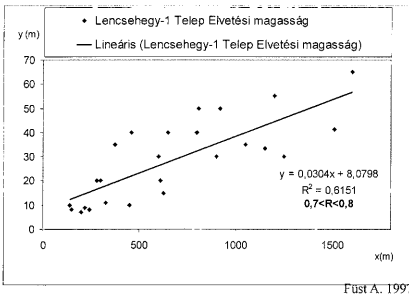
4. ábra. Vetők elvetési magasság szerinti megoszlása

Fig. 4 Fault offset distribution



5. ábra. Lencsehegy 1 telep vetőinek elvetési magasság szerinti megoszlása

Fig. 5 Fault offset distribution from Lencsehegy-1 coal mine



6. ábra. Lineáris kapcsolat a vetőhossz és elvetési magasság között

Fig. 6 Linear regression between fault length and fault offset

tási módszer felbontása előtt, legyen az hálóban felfúrt terület, vagy szeizmikus mérésekkel lefedett kutatási terület.

Figyelembe kell venni, hogy a fenti példák diagramjai hálóban megfúrt terület értelmezéseit tartalmazzák, vagyis a választott fúrási háló mérete és az értelmező szubjektivitása előtt rejtve maradnak a görbe alatti – többnyire rövidebb – vetők, ezek így nem kerülhettek be a statisztikai vizsgálatba, ezek számát becsüljük meg ezzel a módszerrel.

Az előbbiekhöz hasonlóan a vetők elvetési magassága és a vetők száma között szintén hatványfüggvény kapcsolat mutatható ki (4, 5. ábra – FÜST 1997). A fenti szakirodalmi szén- és bauxittelépek példái-nál maradvá, a végkövetkeztetés azonos. Az elvetési magassáértéknek a görbéhez viszonyított helyzete mutatja meg az esetleges további kutatás szükségességét, illetve a várható és azonosított vetők viszonyát.

Végül a vetők hossza és elvetési magassága közötti korreláció a rövidebb szakaszokon a többnyire egyenessel közelíthető, míg nagyobb kiterjedésű területek esetében az illeszkedő másod-, sőt harmadfokú polinom is lehet (FÜST 1997). A fent említett Lencsehegy-1 telepnél maradvá a 6. ábra egy ilyen lineáris regressziót mutat.

A fentiek alapján jogosan merül fel a kérdés:

Vajon a szénhidrogén kutatás tudja-e hasznosítani a vetőstatisztikai ismereteiket; milyen összefüggést mutat az 1. ábra szeizmikus mérések alapján kiterképezett vetők száma a hosszúság és elvetési magasság függvényében.

Esetleg előrejelezhető a vetők száma, amelyek ismerete a szénhidrogén kutatás kulcsa lehet egy repedezett tároló esetében?

Elképzeléseinkhez mérten a mélyben elhelyezkedő szeizmikusan megkutatott olajtárolóra hasonlóan alkalmazhatók az említett vetőstatisztikai eljárások, amint ezt láttuk a szilárd ásványbányászatban a felszín közeli képződményekre.

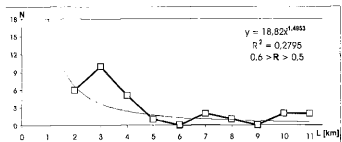
A szerkezeti vonalak száma és hosszúságuk viszonya

Megmérve és adatbázisba rögzítve az 1. ábra törészónáinak hosszúságát, a 7., 8., és a 9. ábrákon szemléltetem a V1–V29-ig terjedő vetők hosszúságát. A bemenő adatokat az 1. táblázatban tüntettem fel:

A 7. ábra 2000-es intervallum-felbontással szemlélteti az 1. táblázatban feltüntetett vetők hosszúságát, amelyet hatványfüggvénnyel ($y = ax^{-b}$), $0,7 > R > 0,6$ -os korrelációs együtthatóval sikerült közelíteni (a függvényt a diagramon feltüntetjük), ez gyenge kapcsolatot mutat a vetők hosszúsága és száma között.

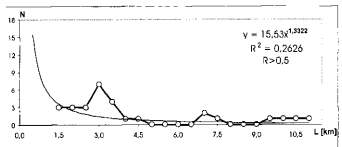
7. ábra. A vetők hosszúság szerinti megoszlása 2000 m-es felbontással

Fig. 7 Fault length distribution at 2000 m resolution



8. ábra. A vetők hosszúság szerinti megoszlása 1000 m-es felbontással

Fig. 8 Fault length distribution at 1000 m resolution



9. ábra. A vetők hosszúság szerinti megoszlása 500 m-es felbontással

Fig. 9 Fault length distribution at 500 m resolution

A korrelációs kapcsolat növelése érdekében finomítva a felbontást, a 8. ábra az 1000 m-es felosztási intervallumokba eső vetők számát tünteti fel. A közelítő hatványfüggvény majdnem azonos együtthatója és kitevője (~ -1,4) ellenére, az előbbihez képest romló korrelációt mutat: $0,6 > R > 0,5$.

I. táblázat. Vetők hossza, mint bemenő adatok
Table I Fault length, as input data

Hosszúság [m]	Hosszúság [m]	Hosszúság [m]
V01 6700	V11 3500	V21 15000
V02 2900	V12 2600	V22 2600
V03 2100	V13 3300	V23 1400
V04 9400	V14 7300	V24 1800
V05 1500	V15 1800	V25 3200
V06 1400	V16 11000	V26 3500
V07 4500	V17 3000	V27 2500
V08 2000	V18 3000	V28 4000
V09 10000	V19 2100	V29 2900
V10 3000	V20 6800	

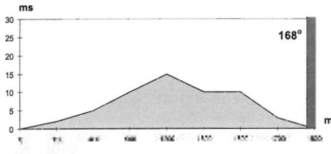
Várakozásunkkal ellentétben tovább romlott a korreláció ($R \sim 0,5$) az 500 m-es felbontás esetében is, amelyet a 9. ábra szemléltet.

Tehát, az a együttható 19 és 15 között található, a b kitevő pedig $-1,4$ körül mozog.

Tekintettel arra, hogy az 1. ábrán szemléltetett szeizmikus értelmezés alapján néhány térképezett szerkezeti zóna több tektonikus elemből áll, így azokat egyedi vetőkre szedtük szét, melyek hosszúságát a 2. táblázatban gyűjtöttük össze

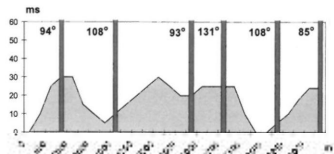
2. táblázat. A szétszedett vetők hossza
Table 2 Individual fault length

	Hosszúság [m]		Hosszúság [m]		Hosszúság [m]
V01_1	2250	V10_3	750	V21_1	950
V01_2	1350	V10_4	500	V21_10	600
V01_3	900	V11_1	2300	V21_11	300
V01_4	600	V11_2	1200	V21_12	400
V01_5	200	V12_1	1600	V21_13	400
V01_6	200	V12_2	1000	V21_14	800
V01_7	1200	V13	3400	V21_15	400
V02_1	1500	V14_1	750	V21_16	2800
V02_2	1400	V14_2	1050	V21_2	1700
V03	1900	V14_3	1700	V21_3	1400
V04_1	3200	V14_4	1700	V21_4	600
V04_2	500	V14_5	700	V21_5	1500
V04_3	800	V14_6	1400	V21_6	550
V04_4	1350	V15	1800	V21_7	900
V04_5	3050	V16_1	1100	V21_8	700
V04_6	500	V16_2	2900	V21_9	1000
V05	1500	V16_3	1600	V22	2600
V06	1400	V16_4	1100	V23	1400
V07_1	2500	V16_5	2200	V24	1800
V07_2	800	V16_6	2100	V25	3200
V07_3	1200	V17	3000	V26_1	1200
V08	2000	V18	3000	V26_2	800
V09_1	1000	V19_1	1000	V26_3	300
V09_2	1800	V19_2	1100	V26_4	1200
V09_3	500	V20_1	1400	V27_1	1400
V09_4	1200	V20_2	1100	V27_2	1100
V09_5	3500	V20_3	250	V28_1	2000
V09_6	2000	V20_4	750	V28_2	4100
V10_1	850	V20_5	300	V29_1	1300
V10_2	900	V20_6	1300	V29_2	2900
		V20_7	1700		



10. ábra. A V15-es vető elvetési magassága és csapása

Fig. 10 The offset and the direction of the V15 fault

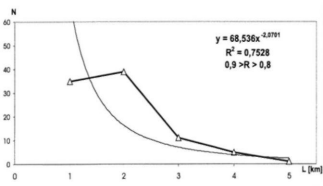


11. ábra. A V16-os vető elvetési magasságai és csapásirányai

Fig. 11 The offset and the fault directions of V16 fault

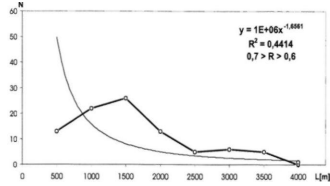
(10, és 11. ábrák). Így, az ugyanerre a területre eső, a számításban felhasználható vetők száma megháromszorozódott.

Az ily módon szétszedett vetők számát a 12, 13, 14. és 15. ábrák szemléltetik a hosszúságuk függvényében. Ebben az esetben is a kisebb felbontás felől a nagyobb felé haladtunk. A 12. ábra 1000 m-es felbontásban mutatja a vetők eloszlását, hatványfüggvénnyel történt közelítése ezúttal már elfogadható korrelációt mutat ($R \sim 0,87$). A 13–15. ábrák nagyobb felbontás esetén, az 500 m-es intervallum felosztás mellett mutatja a 2. táblázat vetőit. Itt valamivel kisebb



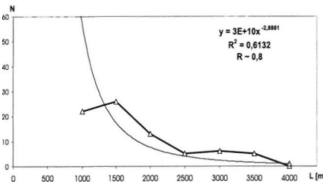
12. ábra. Az egyes vetők hosszúság szerinti megoszlása 1000 m-es felbontással

Fig. 12 Individual fault length distribution at 1000 m resolution



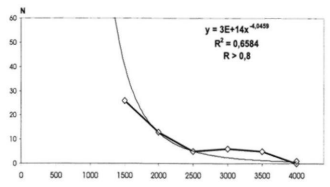
13. ábra. Az egyes vetők hosszúság szerinti eloszlása 500 m-es felbontással

Fig. 13 Individual fault length distribution at 500 m resolution



14. ábra. Az egyes vetők hosszúság szerinti eloszlása 500 m-es felbontással

Fig. 14 Individual fault length distribution at 500 m resolution



15. ábra. Az egyes vetők hosszúság szerinti eloszlása 500 m-es felbontással

Fig. 15 Individual fault length distribution at 500 m resolution

korrelációs együttható értékek mellett ($0,81 > R > 0,67$) szintén hatványfüggvénnyel közelítettük a vetők számának gyakoriságát a hosszúságuk függvényében.

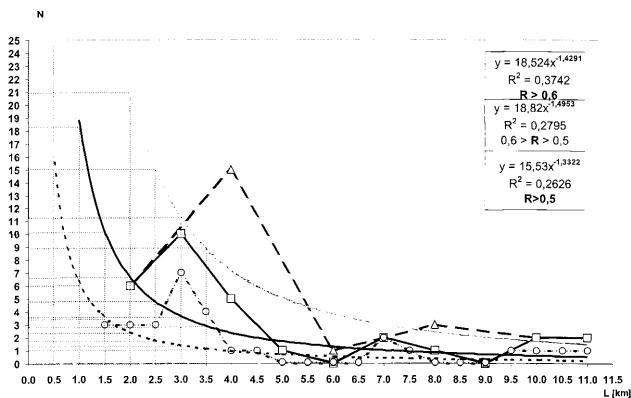
A grafikonok a 0 közeli értékek közelében leszálló jelleget mutatnak, annak ellenére, hogy a kisebb vetők, töredezett felületek száma lényegesen nagyobb a

3. táblázat. A becsült vetők száma (I.)

Table 3 Predicted number of faults (I.)

7. ábra	alapján		Vetők hosszúsága	Vetők száma	Becs.v. száma	Eltérés
	Felbontás	Korrel. egyh.				
	2000 m	$R \sim 0,6$	0-2000	6	7	1
			2000-4000	15	3	-12
			4000-6000	1	1	0
			6000-8000	3	1	-2
			8000-10000	2	1	-1
			>10000	2	1	-1
8. ábra	alapján		Vetők hosszúsága	Vetők száma	Becs.v. száma	Eltérés
	Felbontás	Korrel. egyh.				
	1000 m	$0,6 > R > 0,5$	0-10000	6	19	13
			1000-2000	10	7	-3
			2000-3000	5	4	-1
			3000-4000	1	2	1
			4000-5000	0	2	2
			5000-6000	2	1	-1
			6000-7000	1	1	0
			7000-8000	0	1	1
			8000-9000	2	1	-1
			9000-10000	2	1	-1
			>11000		1	1
9. ábra	alapján		Vetők hosszúsága	Vetők száma	Becs.v. száma	Eltérés
	Felbontás	Korrel. egyh.				
	500 m	$R > 0,5$	0-500		39	39
			500-1000		16	16
			1000-1500	3	9	6
			1500-2000	3	6	3
			2000-2500	3	5	2
			2500-3000	7	4	-3
			3000-3500	4	3	-1
			3500-4000	1	2	1
			4000-4500	1	2	1
			4500-5000	0	2	2
			5000-5500	0	2	2
			5500-6000	0	1	1
			6000-6500	0	1	1
			6500-7000	2	1	-1
			7000-7500	1	1	0
			7500-8000	0	1	1
			8000-8500	0	1	1
			8500-9000	0	1	1
			9000-9500	1	1	0
			9500-10000	1	1	0
			10500-11000	1	1	0
			>11000	1	1	0

jelentősebb szerkezeti elemekénél. Ez a jelenség annak tulajdonítható, hogy a kisebb méretű vetők az adott kutatási módszerrel rejtve maradtak.



16. ábra. A vetők hosszúság szerinti megoszlásai a számított vetők számának feltüntetésével

Fig. 16 Fault length distribution highlighting the calculated number of faults

A vetők számának előrejelzése hosszúságuk alapján

Behelyettesítve a vetők méretét az illesztett hiperbola görbék egyenleteibe, megkapjuk a várható vetők számát. Tekintettel a többféle illesztett görbére, természetesen nem egyetlen érték lesz a megoldás, hanem a görbék által meghatározott tartomány. A 3. táblázat összesíti az első illesztések eredményeit, feltüntetve a becsült vetők számát. Ezt hivatott szemléltetni a 16. ábra, ahol a szaggatott/pontozott vonalak görbékkel való metszéspontjai adják az y tengely mentén a vetők számát. Az említett, fenti táblázat Eltérés oszlopa mutatja a térképezett és a becsült vetők száma közötti különbséget. A pozitív értékek a továbbiakban várható, keresendő vetők számát jelölik, míg a negatív számok nagy valószínűséggel olyan vetők számát mutatják, amelyek a részletesebb kutatási fázisban „szétesnek” kisebb, más intervallumokba sorolandó vetőkre.

A 4. táblázatban összesítettük a 3. táblázatból az adott intervallumokra vonatkozó előrejelzett vetők számát. Azaz, a 2000 m-es felbontásból meghatározott becsült vetők számát (4. táblázat „7. ábra” oszlopa), a további görbék (4. táblázat „8. ábra” és „9. ábra” oszlop) által meghatározott vetők száma követi a 2000 m-es intervallumra összegezve. Hasonlóan jártunk el az 1000 m-es felbontás esetében. Ennek alapján 4. táblázatból kiolvasható információk a következők:

4. táblázat. A becült vetők száma (II.)
Table 4 Predicted number of faults (II.)

	Vetők		8. ábra	9. ábra	Átlag
	száma	2000m			
0-2000	6	7	25	70	34
2000-4000	15	3	6	14	8
4000-6000	1	1	3	7	4
6000-8000	3	1	2	4	2
8000-10000	2	1	2	4	2
>10000	2	1	1	2	1

	Vetők		8. ábra	9. ábra	Átlag
	száma	1000m			
0-10000	6		19	55	37
1000-2000	10		7	15	11
2000-3000	5		4	9	6
3000-4000	1		2	5	4
4000-5000	0		2	4	3
5000-6000	2		1	3	2
6000-7000	1		1	2	2
7000-8000	0		1	2	1
8000-9000	2		1	2	1
9000-10000	2		1	2	1
>11000			1	2	2

5. táblázat. A becült vetők száma (III.)
Table 5 Predicted number of faults (III.)

12. ábra	Vetők	Becs. vetők	Eltérés
0,9>R>0,8	száma	száma	
0-10000	35	69	34
1000-2000	39	16	-23
2000-3000	11	7	-4
3000-4000	5	4	-1
4000-5000	1	3	2

- 0-2000 m-es hosszúságú vetők minimális száma 7 és 70 között várható 34-es átlagértékkel, amelyből a 0-1000 közé eső vetők/törések minimális száma: több mint 19 és 55 között lesz (legalább 37-es átlagértékkel), valamint az 1000-2000 közötti vetők száma 7 és 15 közé esik, 11-es átlagértékkel.

Ugyanezt a gondolatmentet, ha végigvisszük a 12-15. ábrán feltüntetett esetekben is előállíthatók a 3. és 4. táblázathoz hasonló adatok (1. 5, 6 és 7. táblázatok).

Ha teszünk egy olyan kísérleti számítást, amelyben a hatványfüggvény illesztést csak az 1000 m-t meghaladó vetőkre (14. ábra) és ezt követően az 1500 m-nél nagyobb vetőkre (15. ábra) végezzük, akkor az így kapott két görbe alapján egyre több, kisebb méretű vetőt jelezhetünk előre (6-7. táblázatok).

A fenti táblázatokból kiolvasható például:

- A 0-1000 m hosszúságú várható vetők minimális előfordulási gyakorisága 34 és 4254 közé esik 2709-es átlagértékkel, amelyből 0-500 m-ig terjedő vetők minimálisan 34-3747 közöttiek (legalább 2463-as átlaggal), és az 500-1000 m-ig terjedők száma 11 és 507 közé esnek 245-ös átlaggal.

6. táblázat. A becült vetők száma (IV.)
Table 6 Predicted number of faults (IV.)

	Vetők sz	Becs. v.sz.	Eltérés	Becs. v.sz.	Eltérés	Becs. v.sz.	Eltérés
		13. ábra	R=0,67	14. ábra	R=0,78	15. ábra	R=0,81
0-500	13	34	21	3747		3609	
500-1000	22	11	-11	507	485	218	
1000-1500	26	5	-21	16	-10	42	16
1500-2000	13	3	-10	7	-6	13	0
2000-2500	5	2	-3	4	-1	5	0
2500-3000	6	2	-4	2	-4	3	-3
3000-3500	5	1	-4	1	-4	1	-4
3500-4000	0	1	1	1	1	1	1
>4000	1	1	0	1	0	0	-1

A kísérleti számításunkban, szembevető a rövidebb vetők számának nagyságrendi megugrása, ami alapján, akár előzetes ismeretek nélkül is (csak a vetők hosszúságát ismerve), levonhatnánk a következtetést, hogy esttanulmányunkban csakis repedezett tárolóról lehet szó. (A kutatás során megismerve a területen lemélyült fúrások magkihozatalának mértékét és a több kútból felszínre került magok töredezettségét, előzetes elméleti következtetésünk igaznak bizonyult.)

A fentiek alapján elmondható, hogy a vetők hosszúságának statisztikai elemzése alkalmazható a szénhidrogén iparban, segítségével megbecsülhető a vetők száma, a tároló jellege, jelen esetben az, hogy töredezett.

7. táblázat. A becsült vetők száma (V)
Table 7 Predicted number of faults (V.)

	Becs.v. sz.	Becs.v. sz.	Becs.v. sz.	Átlag
	13. á	14.á	15.á	
0-500	34	3747	3609	2463
500-1000	11	507	218	245
1000-1500	5	16	42	21
1500-2000	3	7	13	8
2000-2500	2	4	5	4
2500-3000	2	2	3	2
3000-3500	1	1	1	1
3500-4000	1	1	1	1
>4000	1	1	0	1
	13.á	14.á	15.á	
0-10000	45	4254	3827	2709
1000-2000	8	23	56	29
2000-3000	4	6	8	6
3000-4000	2	2	2	2
4000-5000	1	1	1	1

A törésvonalak elvetési magasság szerinti megoszlása

Az 1. ábra térképéről leolvassa a törésvonalak elvetési magasságát, azaz a vetőknek támaszkodó szintvonalak értékkülönbségét, az adatokat a 8. táblázatban gyűjtöttük össze. Az első adatoszlop (átlag1) a vetők teljes hosszúságában leolvasott elvetési értékek átlagát mutatja. A második „Átlag” oszlop a tényleges, azaz számított elvetések átlagát foglalja magába. Ismeretes, hogy nem mindegy milyen vetőhosszon oszlik el az elvetési magasság, ezért számítottuk ki a II-es adatoszlopot, a „Távolsággal súlyozott átlag” értékeket.

A 9. táblázatban sűrítettük a szétszedett vetők szakaszonkénti adatait: az átlagos- és a távolsággal súlyozott átlagos elvetéseket. Az egyes vetők szakaszlagát és az ahhoz tartozó távolságokkal súlyozott átlagokból képzett átlagokat szintén a 8. táblázat III. és IV. adatoszlopa tartalmazza.

Ezek jelentették a kiinduló adathalmazt, amelyre a 4. 5. ábrákon bemutattakhoz hasonlóan, hatványfüggvény kapcsolatot kerestünk.

Legelőször 20 ms-os felbontásban rajzoltuk ki (17. ábra) 8. táblázat adatait (0.-IV.), és hatványfüggvény ($y = ax-b$) közelítéssel feltüntettük a becsült egyenletet és a korrelációs együtthatókat. Megállapítható, hogy a közelítő függvények mindegyike nagyon hasonló lefutású és az a együtthatók 13 és 23 közöttiek, a kitevők pedig -2,07-től -2,67-ig terjednek, a korreláció többnyire szorosnak mondható, kivéve a II. esetet, amikor is „csak” jó a korreláció: $0,8 > R > 0,7$, az együttható alapján.

8. táblázat. A törésvonalak elvetési magassága, mint bemenő adatok
 Table 8 The offset of the faults, as input data

Vetők	Elvetési magasság [ms]				
	átlag1	átlag	távolsággal súlyozott átlag	szakaszok átlaga	távolsággal súlyozott átlagok átlaga
17-ábrán:	0.	I.	II.	III.	IV.
V1	15,1	15,9	17,3	16,3	16,9
V2	4,46	2,3	2,8	3,7	3,6
V3	5	5,8	6,5	5,8	6,5
V4	47,6	26,5	24,4	28,1	25,6
V5	3	2,5	2,6	2,5	2,6
V6	2,3	2,8	2,7	2,8	2,7
V7	2	2,2	2,4	1,5	1,6
V8	4,2	3,1	2,4	1,5	1,6
V9	18,2	19,2	16,6	14,4	14
V10	46,5	43,3	48,1	46,3	45,3
V11	4,67	4,6	5,1	4,3	4,5
V12	14,9	17	17,9	15,7	22
V13	20,4	21,9	23,1	21,9	23,1
V14	8,8	9,3	9,3	9,6	9,2
V15	5,6	6,4	8	6,4	8
V16	17,8	18	18,4	17,8	18,6
V17	23,2	18	18,4	17,8	18,6
V18	2,5	18	18,4	17,8	18,6
V19	61,1	64,4	64,8	64,4	64,3
V20	45	45	39,1	39,7	41
V21	105	107	105,9	120,6	120,7
V22	8	9,1	9,9	9,1	9,9
V23	13,7	16	16,3	16,0	16,3
V24	3	3,8	3,7	3,8	3,6
V25	23,1	26,4	24,3	26,4	24,3
V26	6,6	7,2	7,1	6,7	6,6
V27	35,9	23,8	23,9	26,1	24
V28	15	8,9	8,8	8,9	8,9
V29	92,5	71,3	73,4	71,3	71,3

A vetők számának előrejelzése elvetési magasság alapján

Ezekből a becslt függvényekből a korábbi behelyettesítéssel szintén előrejelezhető a kis méretű vetők száma is. A 10. táblázat szemlélteti az előrejelzett vetők számát a becslési függvények segítségével:

A táblázatból kiolvasható, hogy az apró, kisméretű szeizmikus felbontó képesség határa alatti vetők száma: pl. a 0–5 ms intervallumban legalább 400–1400 közötti. Az alacsonyabb értékek a távolsággal súlyozott átlagos elvetések becslési függvényekkel előrejelzett értékek.

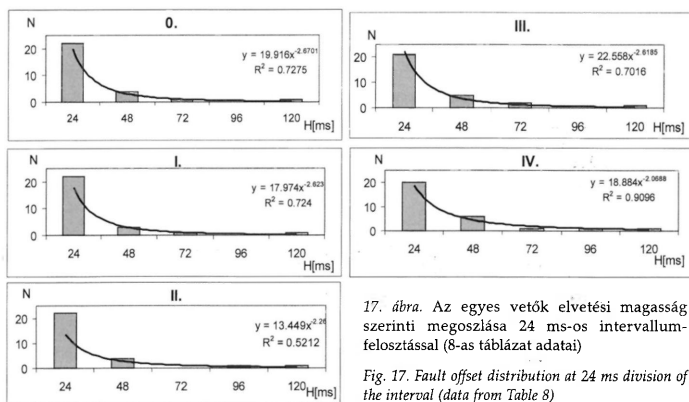
A fentebb említett, hosszúságeloszlás vizsgálatához hasonlóan, a szétszedett vetőket az elvetés statisztikai vizsgálatában is külön-külön elemeztük. Ebben az esetben is, a 20 ms-os felbontásból kiindulva folytattuk a statisztikai vizsgálatot

9. táblázat. A szétszedett vetők elvetési magassága
Table 9 The offset of the individual faults

Vetők	Átlag	Távols. súlyozott átlag	Vetők	Átlag	Távols. súlyozott átlag	Vetők	Átlag	Távols. súlyozott átlag
V1 1	14,3	16,2	V11 1	6,0	6,5	V21 1	10,7	10,7
V1 2	13,2	12,9	V11 2	2,5	2,5	V21 2	59,6	59,1
V1 3	21,5	21,6	V12 1	17,5	27,1	V21 3	142,4	139,3
V1 4	22,0	22,0	V12 2	13,8	16,8	V21 4	159,3	159,4
V1 5	15,0	15,0	V13	21,9	23,1	V21 5	169,0	173,1
V1 6	10,5	10,5	V14 1	8,8	8,5	V21 6	144,5	143,0
V1 7	17,4	20,4	V14 2	12,5	12,0	V21 7	133,8	134,1
V2 1	3,1	6,2	V14 3	10,0	10,0	V21 8	144,0	143,6
V2 2	1,2	1,4	V14 4	10,0	10,0	V21 9	164,1	165,7
V3	5,8	6,5	V14 5	10,0	7,5	V21 10	175,5	175,5
V4 1	32,8	29,1	V14 6	6,7	7,0	V21 11	157,5	157,5
V4 2	61,5	61,5	V15	6,4	8,0	V21 12	136,3	136,3
V4 3	32,5	16,7	V16 1	16,7	14,8	V21 13	122,5	122,5
V4 4	16,7	18,2	V16 2	16,0	21,0	V21 14	103,5	105,4
V4 5	15,1	18,5	V16 3	21,4	22,7	V21 15	73,8	73,8
V4 6	10,0	10,0	V16 4	24,2	24,1	V21 16	33,6	32,9
V5	2,5	2,6	V16 5	10,0	9,3	V22	9,1	9,9
V6	2,8	2,7	V16 6	18,7	19,7	V23	16,0	16,3
V7 1	2,1	2,4	V17	17,5	17,5	V24 1	3,3	2,9
V7 2	0,0	0,0	V18 1	4,2	4,8	V24 2	4,3	4,3
V7 3	2,5	2,5	V18 2	1,7	1,4	V25	26,4	24,3
V8	3,8	3,1	V19 1	46,6	52,9	V26 1	9,5	9,2
V9 1	5,3	4,7	V19 2	82,1	75,6	V26 2	5,5	5,5
V9 2	6,7	7,0	V20 1	24,0	28,6	V26 3	5,0	5,0
V9 3	6,0	6,0	V20 2	86,6	85,5	V26 4	6,7	6,5
V9 4	32,6	30,6	V20 3	83,3	79,8	V27 1	19,4	23,4
V9 5	25,2	25,4	V20 4	33,8	32,2	V27 2	32,8	24,5
V9 6	10,8	10,2	V20 5	8,5	8,3	V28 1	2,5	2,5
V10 1	46,5	40,1	V20 6	8,3	9,9	V28 2	15,0	15,0
V10 2	65,0	65,0	V20 7	33,3	42,6	V29 1	50,0	50,0
V10 3	55,0	55,0				V29 2	92,5	92,5
V10 4	18,8	21,0						

10. táblázat. A becsült vetők száma (VI.)
Table 10 Predicted number of faults (VI.)

H[ms]	0	I	II	III	IV
0-5	1313	1100	466	1371	444
5-10	206	179	97	223	106
10-15	70	62	39	77	46
15-20	32	29	20	36	25
20-25	18	16	12	20	16
25-30	11	10	8	13	11



17. ábra. Az egyes vetők elvetési magasság szerinti megoszlása 24 ms-os intervallum-felosztással (8-as táblázat adatai)

Fig. 17. Fault offset distribution at 24 ms division of the interval (data from Table 8)

nagyobb felbontás felé haladva a 15 ms-os és 10 ms-os (18. és 19. ábra) felbontás esetében is.

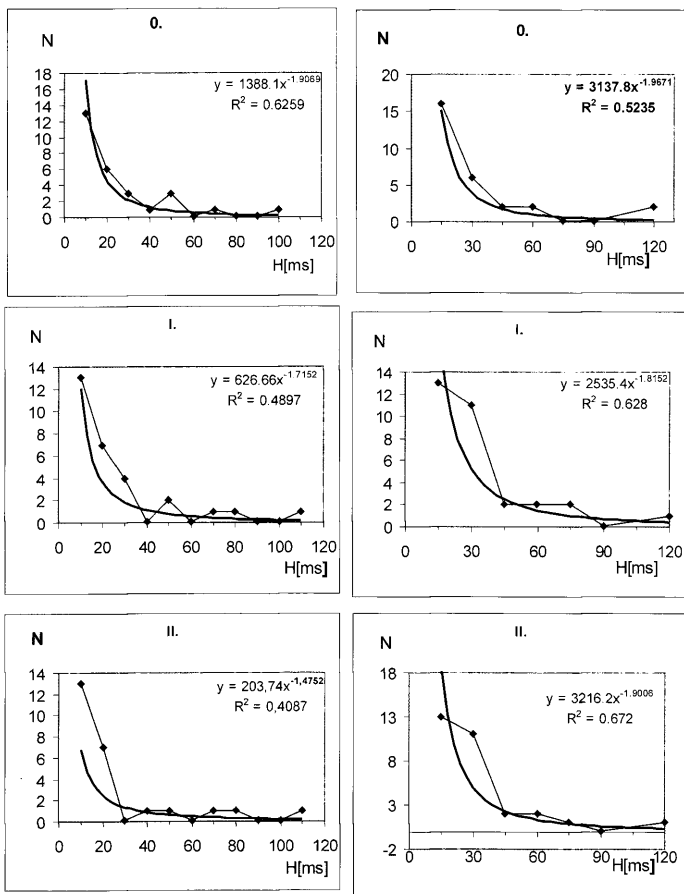
Ezek alapján megállapítható, hogy a fenti intervallumokra a becsült vetők átlagos gyakorisága előrejelezhető. Az elvetések értékpontjait hatványfüggvénnyel közelítettük. Az Excel beépített hisztogram készítő algoritmus először adott elfogadható ($R > 0,8$) közelítésű görbét (20. ábra), ami korábbi esetekben (vetők hosszúsága) nem fordult elő. Ennek és a többi ($R > 0,7$) a függvénynek a felhasználásával becsültük meg az adott intervallumba eső vetők számát. Abban az esetben, ha a $R < 0,7$ akkor eltekintettünk az előrejelzéstől (20. ábra).

A két módszerrel előrejelzett vetők számát, végül is a 11. táblázat foglalja össze.

Ebből a táblázatból is kiolvasható, hogy a 0–5 ms tartományba eső vetők száma legalább 30 és 286 közé esik. Szembetűnő, hogy a szétszedett vetők 20ms felbontásban egy nagyságrenddel nagyobb értéket mutatnak. A becsült függvények nagyon hasonló lefutásúak, az a egyúthatóké százaz/ezres nagyságrendűek és szembetűnő a kitevők tizedesre pontos azonosságá ($b \sim -1,4$; századnyi eltéréseket mutatnak csupán), a korrelációs egyúthatóké mértékétől függetlenül (20. ábra).

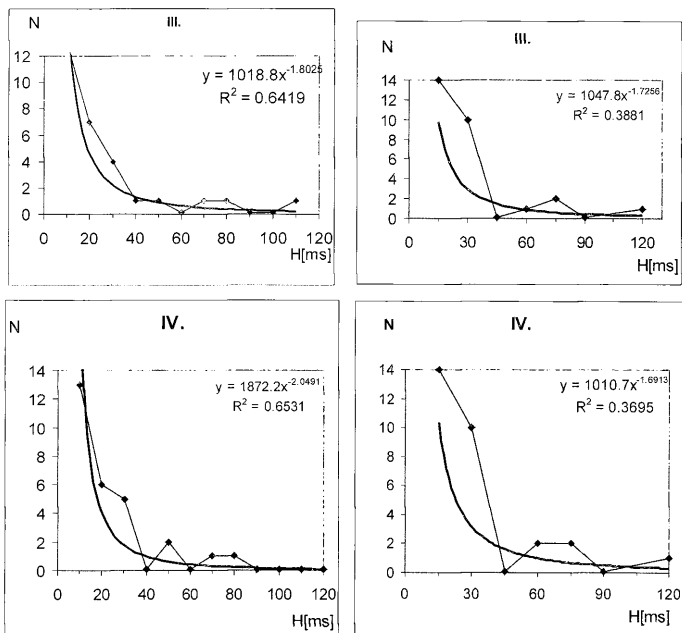
A törésvonalak hossza és elvetési magassága közti összefüggés:

Az azonosított törésvonalak hosszát és az átlagos elvetési magasságokat a 21. ábrán jelöltem. Az első diagramon a regressziós egyútható is alátámasztotta a pontfelhő sejtette korreláció hiányát. Ezért a nagy töréseket kivéve az adathalmazból újra rajzoltuk a cross-plotot (második diagram) és így $R \sim 0,7$ -es gyenge korrelációt találtunk. A 21. ábra harmadik diagramja alapján, a korábbiakhoz hasonlóan, ebben az esetben is szétszedve a nagyméretű törésvonalakat, az azokat alkotó vetőkre, egyértelműen tagadható a korreláció.



18. ábra. Az elvetési magasságok eloszlása 10 ms és 15 ms-os felbontásban

Fig. 18 Offset of the faults at 10 ms and 15 ms resolution



19. ábra. Az elvetési magasságok eloszlása 10 ms és 15 ms-os felbontásban

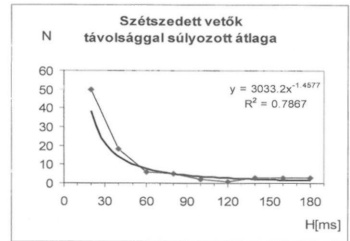
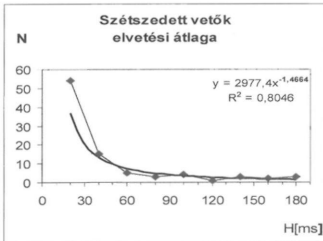
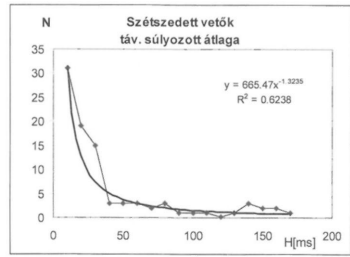
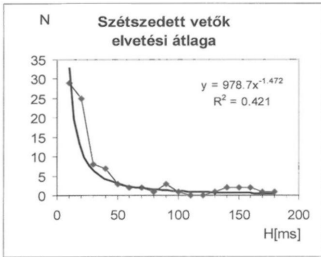
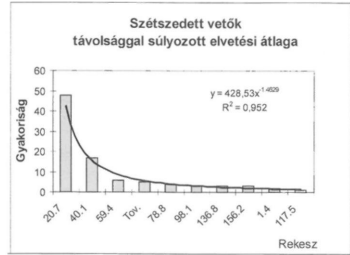
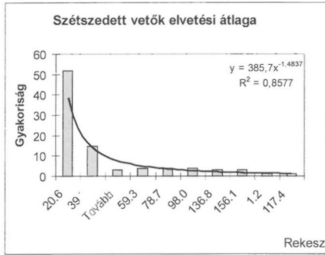
Fig. 19 Offset of the faults at 10 ms and 15 ms resolution

Eredmények és következtetések

Elemeztük a törésvonalak és az őket alkotó vetők hosszának és elvetési magasságának gyakoriságát, amely a szakirodalomban hatványfüggvény kapcsolatokat mutat és vizsgálataink során ez számunkra is beigazolódott. A közelítő görbék egyenletei előrejelzik a nem azonosított vetők számát, többnyire a kisebbeket, amelyek az adott (szeizmikus) kutatási módszer elől rejtve maradnak.

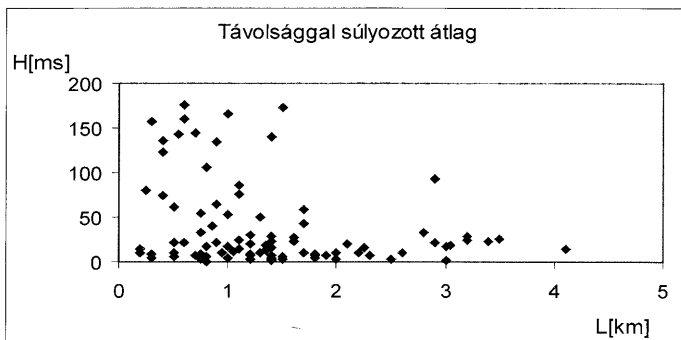
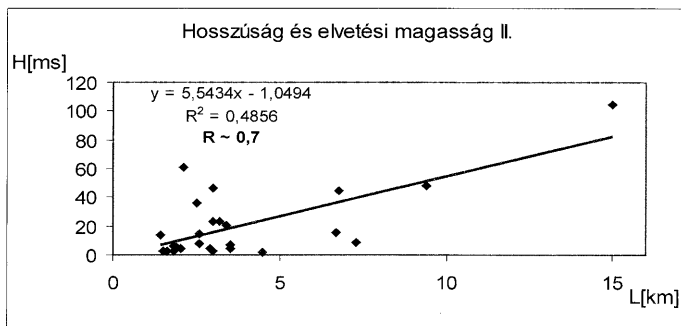
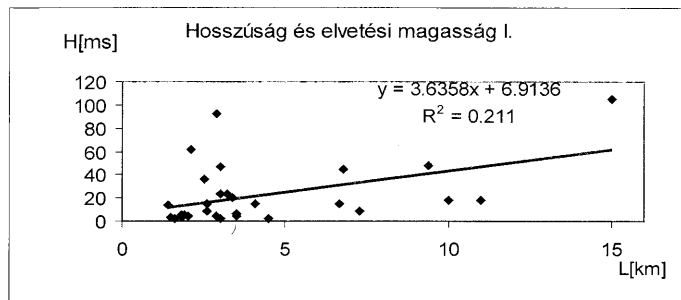
Az azonos jellegű görbék egyenletei kísérletieszen hasonlóan egymásra, úgy az együttthatók, mind a kitevők (pl.: ~ 1,4) értékeit tekintve.

Nem találtunk összefüggést a törésvonalak, illetve a vetők és azok elvetési magassága között, csak akkor, ha az adathalmazból kivettük a szélsőértékeket. Csak ebben az esetben közelítettük meg a gyenge kapcsolat követelményét az $R \sim 0,7$ -el. A többféle átlagok értékeire kinyomtatott keresztábrák pontfelhői mind-mind hasonló szórt jelleget mutattak, az átlag típusától függetlenül.



20. ábra. A távolsággal súlyozott elvetési magasságok eloszlása a beépített (Excel) algoritmus, a 10 ms és 20 ms-os felbontásban

Fig. 20 The weighted average offset of the faults at the automatic (Excel) 10 ms and 20 ms resolution



21. ábra. A törésvonalak hosszúság- és elvetési magasság keresztábrái szemléltetik, hogy a két paraméter között nincs, vagy csak gyenge a korreláció

Fig. 21 The cross-plots of the fault length and their offset shows the lack, or the existence of a slight correlation

11. táblázat. A becstelt vetők számának összesítése

Table 11 The predicted number of faults - summary

ms	Á_10 ms	Á_15 ms	Á_Sz_20 ms	Á_Alg_Ex
0-5	73	122	286	38
5-10	22	33	104	14
10-15	11	16	57	8
15-20	7	9	38	5
20-25	5	6	27	4
25-30	4	4	21	3
30-35	3	3	17	2
35-40	2	3	14	2
40-45	2	2	12	1
45-50	2	2	10	1

Ez a vizsgálat, mint statisztikai számítás, tisztán a vetők számának becslésével foglalkozik. Bár ezzel a számítással a vetők helye nem jelezhető előre, ugyanakkor, előzetes ismeretek nélkül is meggyőződhetünk arról, hogy a kutatási terület rezervoárja mennyire töredezett.

Köszönetnyilvánítás

Ez úton is szeretnék köszönetet mondani dr. VÉGH Sándorné tanárnőnek, aki a Geomatematikai továbbképzőt kibővítette, dr. KOVÁCS Józsefnek, aki megszervezte. Hála tanárainknak, akik felnyitották szemünket egy csodálatos interdiszciplináris világra. Köszönet illeti GERECS László igazgatót urat a MOL Rt. egykori Külföldi Kutatás-Termelési üzletág igazgatóját, aki nemcsak engedélyezte, de bátorított és támogatott a kutatásaim publikálásában.

Irodalom – References

- CSONTOS L. 1998: Szerkezetföldtan. – Egyetemi jegyzet, ELTE Eötvös Kiadó, 27–104.
- FÜST A. 1997: Geostatistika. – Egyetemi jegyzet, Eötvös Kiadó, 298–315.
- FÜST A. 1982: Geostatistika (Nógrádi Szénbányánál tartott mérnöktovábbképző tanfolyam segédlete). Kézirat – sokszorosított.
- FÜST A., FÉLEGYHÁZI Zs. & SZÓLLÓSY J. 1983: Halimba III. bányászati fejtési rendszerének fejlesztése. – Tanulmány, Aluterv-FKI, Budapest.
- FÜST A., FODOR B. & SOMOS L. 1986: Geostatistikai értelmező szótár. – MÁFI, Budapest
- GUTTMAN Gy., JANOSITS F., TAKÁCS T., FÜST A., MOLNÁR S., KOCKA Gy. 1990: Geostatistikai vizsgálatok a dorogi medence lencsehegyi területén. – BKL-Bányászat, 123/2 110–114.
- MOL Rt. KKTÜ. 1997: Belső tanulmány – bizalmas. Budapest
- Kézirat beérkezett: 2003. 12. 05.