

Egy szénhidrogén mező mélyfúrási-, telepadatainak geostatistikai feldolgozása és földtani kockázatra vonatkozó elemzése¹

UNGER ZOLTÁN²

A geostatistika módszereinek a szénhidrogén-kutatásban történő egyik alkalmazási kísérletéről számolok be.

A szénhidrogén mező telepparamétereinek geostatistikai feldolgozása és az eredmények geológiai értékelése során előbb az alsópannon tárolókőzetek rezervoár-geológiai csoportosítását ellenőriztem, majd a paraméterek telepen belüli eloszlását vizsgáltam és végül elkészítettem a paraméterek térképeit.

Részletesebben kifejtve: eloszlás-, entrópiavizsgálatokkal kezdtem az elemzést, ezek eredményei alapján tisztáztam a kutatási terület homokkőtestjeinek összetartozását és számítottam a paraméterek ismertségi fokát.

Regressziós kapcsolatokat kerestem a telepes összlet paraméterei között és amennyiben azok felhasználhatók voltak, a matematikai összefüggéseket is közöltem.

A félvariogramok tanulmányozásával a telepparaméterek változékonyságát és hatástávolságát állapítottam meg. Az irányfüggetlen félvariogramok segítségével lineáris becslést — krigelést — végeztem és így szerkesztettem a térképeket is. E vizsgálatok eredményeként a hatásterületi ellipszis irányával megegyező tektonikai, valamint üledékesedési párhuzamokat véltem felfedezni. Sikertől kijelölni — prognosztizálni — a CH-földtanilag legperspektivikusabb területet, amely jó egyezést mutat a szeizmikus kiértékelés során kapott területtel.

Az elemzések a paraméterek földtani kockázat vizsgálata révén válnak teljessé. Ennek segítségével az adott paraméterre vonatkozó állítások, statisztikai számítási eredmények, illetve a becslések földtani kockázatát számszerűsítettem. A földtani kockázatszámítás lényegében a gazdasági kockázat becslésének egyik alapja.

Z. UNGER: Geostatistical Analysis and Geological Risk Calculation of a Hydrocarbon Accumulation on Drill Data and Resource Parameters

In my paper I would like to give an outline about the application of geostatistical methods in hydrocarbon research.

In the geostatistical analysis of the resource parameters of hydrocarbon accumulation and in the geological interpretation of the results I examined the division of the Lower Pannonian sandstones grouped on reservoir and geological criteria. After that I analysed distributions of the parameters and completed their maps.

In details: The analysis began with the study of distributions and entropies and after the classification of the reservoir and the numeric degree of knowledge on it. I investigated the regressive relationships between the resource parameters and if they were applicable I gave their mathematical formula. With the semivariogram analysis I determined the variability and the range of the parameters. Using the isotrop semivariograms, I made linear estimation — kriging — and constructed the distribution maps of the parameters.

I observed coincidence between the axes of the anisotrop semivariogram range ellipse and the tectonic directions and sedimentation (basin infilling). I marked the most perspective area for hydrocarbon accumulation, which corresponds to that given by seismic interpretation.

All these analyses were completed with the geological risk calculations. Using risk calculations I qualified the geological risk of the statements, statistical results and estimations of the parameters and based an economic risk determination on them.

Bevezetés

A geológia — mint tudomány — már több szempontból megérett arra, hogy túllépjen leíró jellegén. A különböző alaptudományok kutatási eredményei századunk végére óriási teret hódítottak a geológiai kutatásban; önálló geo-tudományokká nőttek ki magukat (geofizika, geokémia, geomatematika stb.). A szakágakban végzett kutatások végeredményei olyan

következtetések, amelyekre a további nyersanyagkutatást alapozzák. A felelős következtetések mércéjét az összehasonlítható számszerűsítések jelentik.

A geomatematika és ezen belül a geostatistika az a szakterület, amely az adatok, a földtani paraméterek számszerűségében rejlő törvényeket vizsgálja [AGTERBERG F. P. 1974, BAKSA Cs. et al. 1983]. Az említett szakág alapja a matematikai statisztika, amely bányászati alkalmazásai során a geofizikához hasonló speciális szakterületet teremtett. A geostatistika születése az 1950-es évekre tehető és a dél-afrikai KRIGE, valamint a franciaországi MATHERON professzorok tevékenységének köszönhető. E szakterület, amely ma már saját terminológiával és spe-

¹ A 21. Geofizikai Vándorgyűlésen 1992. 09. 03-án elhangzott előadás

² MOL Rt. Geofizikai Kutató Egysége, H-1068 Budapest, Városligeti fasor 42.

ciális módszerekkel rendelkezik, létjogosultságát a sajátos bányászati feladatok megoldása során igazolta [GUARASCIO M. et al. 1976, FÜST A. 1990, JOURNAL A. G., HUIJBREGTS Ch. J. 1978].

Általában a következő geostatistikai módszereket alkalmazzák a leggyakrabban a vizsgálatok során: eloszlás-, entrópia-, regressziós-, félvariogram-, földtani kockázat vizsgálatok, paraméter becslések, stb.

Eloszlásvizsgálatok során a paraméterekről, mint valószínűségi változókról akkor kapunk képet, ha a diszkrét adatokból tapasztalati (eloszlás, sűrűség) függvényeket szerkesztünk [MATHERON G. 1965]. Erre a legcélszerűbb megfelelő hisztogramokat készíteni, amely segítségével az empirikus sűrűségfüggvény jellegére következtethetünk. Valamely eloszlástípussal közelítéseket végezzünk és hipotézisvizsgálat alapján elfogadjuk vagy elutasítjuk az állítást. Elfogadás esetén lényeges az alapstatisztikai értékek rögzítése: az átlagérték, szórásnégyzet, szórás, átlagérték szórás, variációs tényező, első kezdő momentum, második, harmadik, negyedik centrális momentumok, valamint a ferdeségi és lapultsági együtthatók. Ezen statisztikai jellemzők együttes értelmezése fényt deríthet a paraméterértékek összetartozására, besorolására és egyéb tulajdonságokra.

Entrópia vizsgálatok: A nyersanyagkutatás során fontos meghatározni, adott megkutatottsági szinten, egy paraméter *ismertségi fokát*. Ezt a tényleges és a maximális információ hányadosával mérjük:

$$I = \frac{H(x)}{H(x)_{\max}} \cdot 100 (\%) .$$

Ehhez ismerni kell az x_i ($i=1...n$) elemi eseményhez tartozó egyedi információt, amelyet

$$I(x_i) = -\log p_i$$

képlettel lehet számítani, ahol a p_i az elemi esemény bekövetkezési valószínűsége.

Egy *diszkrét* sűrűségfüggvény információját vagy *entrópiáját* a következő összefüggés adja:

$$H(x) = -\sum p_i \cdot \log p_i, \text{ ahol } (i=1...n).$$

Egy *folytonos* $f(x)$ sűrűségfüggvény információját vagy *entrópiáját* a következő összefüggés adja:

$$H(x) = -\int_{-\infty}^{+\infty} f(x) \log f(x) dx,$$

amelynek mértékegysége a logaritmus alapjától függ.

A természetes alapú logaritmusban számolt információt „nat”-ban, a kettes alapút „bit”-ben és a tízes alapút „Hartley”-ben mérjük.

Az empirikus átlaggal és szórással szerkesztünk egy normális eloszlású függvényt, mivel azonos szó-

rású paraméterek esetében a normális eloszlásnak a legnagyobb az információtartalma. A függvény értelmezési tartományát a paraméter korlátaihoz igazítjuk és az így kapott függvény információtartalmát tekintjük maximálisnak [FÜST A. 1990]. Ezek alapján megállapítható a paraméterek *ismertségi foka*, azaz adott kutatási terület bizonyos szempontok alapján mennyire megkutatott, feltárt, vagyis a statisztikánk mennyire jellemző (mintavételezésünk mennyire szerencsés telepítésű).

A *regressziós vizsgálatok* során több paramétert együttesen elemzünk. A paraméterek sztochasztikus kapcsolatait, egymástól való függését, korrelálhatóságát illetve korrelálatlanságát tanulmányozva, analitikus összefüggések felírásával információ többet juthatunk. Az összefüggések szorosságát a korrelációs együtthatókkal mérjük. Szoros összefüggések esetén — ismerve a regresszió hibáját, kockázatát, adott esetben számíthatóvá válnak — vagy megbecsülhetők — a nem mért, vagy nem mérhető paraméterek értékei.

A *variogram* és a belőle származtatott *félvariogram* a *geostatistika* alapfüggvénye. Matematikailag: adott „ h ” távolságra levő paraméterértékek különbségeinek szórásnégyzeteként értelmezhető [MATHERON G. 1965, BAKSA Cs. et al. 1983, FÜST A. 1990]:

$$D^2 [Z(x) - Z(x+h)] = D^2 [Z(x)] + D^2 [Z(x+h)] - 2\text{cov} [Z(x) ; Z(x+h)] .$$

A minták azonos populációja esetén joggal feltételezhető:

$$D^2 [Z(x)] = D^2 [Z(x+h)] ; \text{ és így továbbá}$$

$$D^2 [Z(x) - Z(x+h)] = 2 D^2 [Z(x)] - 2\text{cov} [Z(x) ; Z(x+h)] = 2\gamma(h) .$$

$2\gamma(h)$ — a paraméter variogramja;
 $Z(x), Z(x+h)$ — valamely vizsgált paraméter egymástól h távolságban levő értékei.

A $\gamma(h)$ függvényt *félvariogramnak* nevezzük, amely alapján meghatározható a paraméterek hatástávolsága. Ezen belül a minta még hatást gyakorol környezetére, ezen kívül a minták gyakorlatilag függetleneknek tekinthetők. A félvariogram a minta, valamint a telep térfogatától is függ, ezt mindig figyelemmel kell kísérni és számítása a térfogati integrál segítségével történik. A gyakorlatban egy statisztikából — adott mintákból — számított empirikus félvariogramot elméleti félvariogrammal (szférikus, Gauss-féle, hatvány-, szinusz függvény típusú stb.) közelítjük. Ebben az esetben is fontos a félvariogram egyenletének, hatástávolságának, szórásnégyzetének, küszöbszintjének és az elméleti félvariogrammal való közelítésének szorossági mérőszámát feljegyezni, rögzíteni.

A paraméterek változékonysága és hatástávolsága között szoros összefüggés van. Az említett félvariogram számítás az izotróp közege vonatkozik, amikor

a hatásterület a hatástávolság sugarú kör. Anizotrop közeg esetén a hatásterület egy ellipszis lesz, amely bizonyos térbeli irányítottsággal rendelkezik és számítása iránymenti félvariogramok segítségével történik. Értelemszerűen az ellipszis kistengelyének irányában a legváltozékonyabb és a hossz tengelyének irányában a legkevésbé változékony a vizsgált paraméter. Fontos követelmény, hogy a két típusú hatásterület közel egyenlőek legyenek, de az eltérés ne haladja meg a maximum 20%-ot. Ha a megengedettnél mégis nagyobb az eltérés, vagy valamely irányú félvariogram nem esik az ellipsziszre — és számolási hibát sem követünk el —, akkor le kell mondanunk a hatásterületi ellipszis további használatáról.

A félvariogramok számításának további jelentőségére a becslési eljárások során derül fény, amikor fontos, hogy egymástól milyen távolságra eső pontokat vonunk be a számításba és a krigeles esetén, a krigeles szórás meghatározásánál is felhasználjuk [FÜST A. 1990].

A nyersanyagkutató, annak stratégiáját és tervezését a paraméter indikációk/prognózisok várható értékének nagyságrendi becslése helyezi tudományos alpra.

Becslési eljárás: Tetszőleges helyen, a várható ásványvagyon mennyiségének meghatározására számos becslési eljárás ismeretes. Egyik ilyen jellegzetesen geostatistikai módszer a *krigeles*. Matematikai statisztikailag tekintve egy bizonyos sajátos mozgó átlag folyamat [MARSAL D. 1987]. Ez lehet pont-, illetve blokkkrigeles, attól függően, hogy pontra vagy tömbre, hasábra végezzük. A módszer az említett D.G. KRIGE délafrikai kutatótól származik és lényege, hogy az ismert paraméterértékek felhasználásával adott helyre értéket becsüljük.

Vagyis $Z^*(x)$ értéke a környező minták $Z(x_i)$ adataiból a

$$Z^*(x) = \sum_{i=1}^n a_i Z(x_i)$$

egyenlettel számolható, ahol a_i súlytényezők összege 1 és a becslési szórásnégyzet minimális.

Kockázat számítás: A tudományos kutatások során állításaink, következtetéseink bizonyos *kockázatot* hordoznak.

A valószínűségszámítás alapján, ha adott elemi eseménynek (pl. paraméterértékek) teljes eseményteret alkotnak és ebből ismerjük a számunkra kedvező, illetve kedvezőtlen események bekövetkezési valószínűségét, akkor definiálható egy *objektív kockázati függvény*. A függvény egy értéke az a *kockázati tényező*, vagy mérőszám, amely az adott paraméterérték bekövetkezéséhez tartozik. Így bármely paraméter elemzése során, a vártnál kisebb vagy nagyobb eredmény bekövetkezési valószínűségének hányadosát *kockázati mérőszámnak* (K) nevezzük [FÜST A. 1990]. Levezetése, folytonos valószínűségi változó esetén, ha a döntések sűrűségfüggvénye $f(x)$, a döntések minimuma és maximuma x_{\min} valamint x_{\max} akkor:

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

Ha a döntésünk x_d , akkor a döntés bekövetkezési valószínűsége:

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

Ha a tényleges eredmény az $(x_{\max} - x_d)$ tartományba esik, akkor *nyereségről* beszélünk, ha pedig $(x_d - x_{\min})$ tartományba, akkor *veszteségről*. A P_d egyben a veszteség valószínűsége is:

$$P_d = P_v.$$

A vártnál nagyobb érték (nyereség) és a veszteség döntési lehetőségek valószínűsége: 1, azaz $p_{ny} = 1 - p_v$.

A *döntési kockázat mérőszáma* a veszteség és a nyereség bekövetkezési valószínűségének hányadosa:

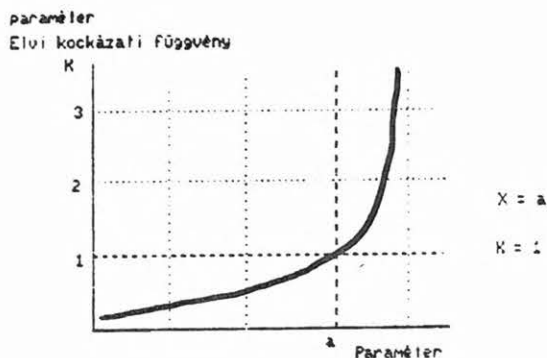
$$K = \frac{P_v}{p_{ny}} = \frac{P_v}{1 - P_v}.$$

Ha $k =$ 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)

döntésekről vagy becslésekről beszélünk, megjegyezve, hogy az előbb felsorolt határok önkényesen felvettek, nem a megnevezés, hanem a kockázati tényező mértéke a fontos [1. ábra. FÜST A. 1990].

A paraméterek tanulmányozása során általában a következő földtani kockázati vizsgálatot végzik el:

- átlagértékek kockázata,
- szórások kockázata,
- entrópiák kockázata,
- regressziók kockázata,
- krigeles kockázata,
- tektonikai kockázat,
- számított ásványvagyon kockázata, stb.



1. ábra. Egy paraméter elvi kockázati függvénye
Fig. 1. Theoretical risk function of a parameter

A kutatási terület földtani felépítése:

A kutatási terület a Békési-medence ÉK-i részén található. A mélyfúrások metamorf képződményekből álló medencealjzatot tártak fel. A metamorf sorozat DK-en a pannon képződmények, míg ÉNy-on a miocén képződmények fekszik. Délen mezozoos medencealjzattal is találkozunk.

A furadékminták és magfúrások alapján a metamorf sorozat három részre tagolódik. A legfelső zóna erősen repedezett, zúzott, milonitosodott, amely alatt repedezett kvarcit, amfibolit található. A legmélyebb települési helyzetben minden fúrás gneiszt tárt fel. A kőzetek kora prekambriumra, illetve ópaleozoikumra tehető.

A zúzott zóna kőzetei zöldes-, barnásszürke rétegzetlen metamorf breccsából állnak, kötőanyaga agyagos, illetve homokos. Finom repedések, valamint csúszási felületek azonosíthatók a mintákon.

Az amfibolit sötét szürkészöld, kemény, kaotikus repedéseit pirithintés karbonátos-kloritos anyag tölti ki. Az ásványi elegyrészek szabad szemmel nem különíthetők el. A kvarcit szürkésfehér, kemény, gyengén csillámos, repedezett, tömött jelleget mutat.

A legmélyebb településű, világosszürke, szálbanálló gneisz helyenként breccsás jellegű. Repedéseit rozsdabarna anyag — többnyire kvarc tölti ki.

A kutatási területünk déli részén a mélyfúrás *mezozoikum*ban állt le. A magminták *jura* korú kőzeteket — világos színű ösmaradványmentes dolomitbreccsát, valamint zöldesszürke, illetve vörösesbarna karbonátos heterogén breccsát — tartalmaznak. Az említett kőzetek feltehetően szálbanálló összletből származnak. *Kréta* korú képződményeket a fúrások nem harántoltak, de a miocén törmeléken kőzetek tartalmaznak kréta korú üledékes kőzetdarabokat. Ez arra utal, hogy a területünk tágabb szomszédságában előfordulnak az említett korú kőzetek is [OKGT.NKV 1988].

Miocén képződményeket harántolt a kutatási területünk két fúrása. A harántolt törmeléken *összlet badeni* emeletbe sorolható. Cikluskezdő alapbreccsa, illetve alapkonglomerátum, sekélytengeri, törmeléken üledékek, piroklasztikumok építik fel. Gyengén karbonátos kötőanyagú tufatörmelékek, alsókréta, valamint metamorf kőzetdarabok is előfordultak a magvizsgálatok során.

A terület legelterjedtebb képződményei a *pannoniai* emelet kőzetei. Az *alsópannoniai* emelet kezdeti szakaszairól ismereteink meglehetősen hiányosak, mindössze öt fúrás harántolta teljesen. Így vastagságviszonyai szeizmikus adatok alapján ismertek [OKGT.NKV 1988].

Pannon fekvő elért fúrások alapján állítható, hogy a területen nem fejlődött ki a Békési formáció. További litosztratigráfiai egységeket azonban már találunk, így előfordulnak a Tótkomlósi, Nagykőrüi, Szolnoki, Algyői, Törteli, Zagyvai, Nagyalföldi formációk [OKGT.NKV 1988].

Tektonikai viszonyok: A terület legjellegzetesebb tektonikai eleme az aljzati maximum felett kialakult fiatal vetőrendszer. A vető síkja ívelt, az egész medenceüledéket érinti; az alaphegységtől a felszínig terjed. A tágabb környezet üledékeit átható fiatal vetőrendszer alapján a terület egy balos oldaleltolási

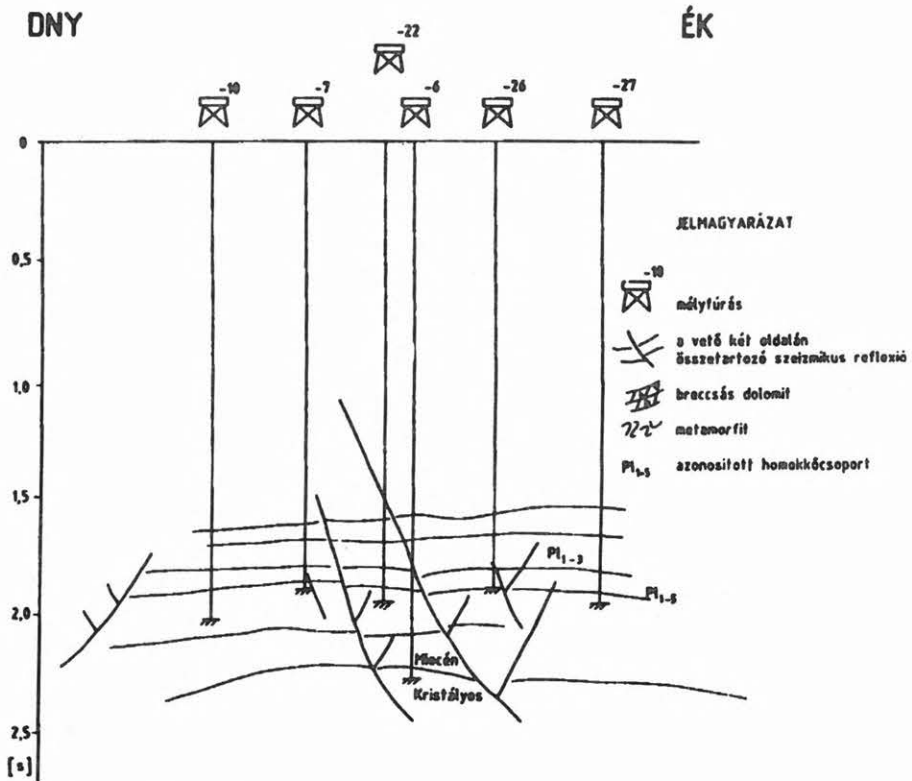
vetőzónába esik. Az Alföld tektonikáját uraló balos oldalelmozdulások a vetőrendszer fő szerkezeti vonalával oldalirányban szöget bezáró másodlagos vetőrendszerekben oldódnak fel. Ilyenek a szarvasi, a martfű-öcsödi, mezőtúri, dévaványai, körösladányi, szeghalmi vetőrendszerek [GKV 1991]. A süllyedékeket a gerincektől normál vetők választják el, amelyek részei lehetnek egy makro virágszerkezetnek. Ezen szerkezeti elemek láthatók a hosszanti illetve kereszt irányú szeizmikus időszelvények mentén készült, szerkezetföldtani metszeteken (2. és 3. ábra). A meredek leszakadású DK-i szárny neogén vetőrendszere egy negatív virágszerkezet képét mutatja, erős liztrikus „growth-fault” jelleggel. Az aljzati és neogén vetőrendszereknek meghatározó szerepük van a szénhidrogén migrációban és csapadózásban.

Szénhidrogénföldtani viszonyok: A kutatási területen iparilag hasznosítható CH telepek elsősorban pannóniai prodelta, deltalejtő és deltafront fáciesben lerakódott homokkövekben csapadózottak [MAT-TICK R. et al. 1987, GKV 1991]. A földgáztelepek sztratigráfiai helyzetétől, csapdatípusától, tárolóparamétereitől, telepek nagyságától stb. meghatározottan a Szolnoki formáció felső részében és az Algyői formációban található, amint azt az általános rétegoszlop is mutatja (4. ábra). A felsőpannoniai emelet Zagyvai formáció néhány homokkőve szintén CH-t tárol [OKGT.NKV 1988]. A tágabb térség homokkőcsoportosítását rezervoárgéológiai szempontok alapján alkalmazva, hat alsópannon homokkőcsoportot azonosítottak (P₁₋₁, -2, -3, -4, -5, -6). A P₁₋₁, -2 homokkővek az Algyői formációba, a P₁₋₃, -4, -5, -6 homokkővek a Szolnoki formációba tartoznak [OKGT.NKV 1988]. Egy-egy csoporton belül egyes homokkőrétegeket is elkülönítettek, például P_{1-3/2} jelöléssel. Először ezek a rétegek képezik a geostatistikai vizsgálatom tárgyát, azután egy összesített, minden telepet magába foglaló, telepes összlet készletszámítási paramétereit vizsgáltam meg.

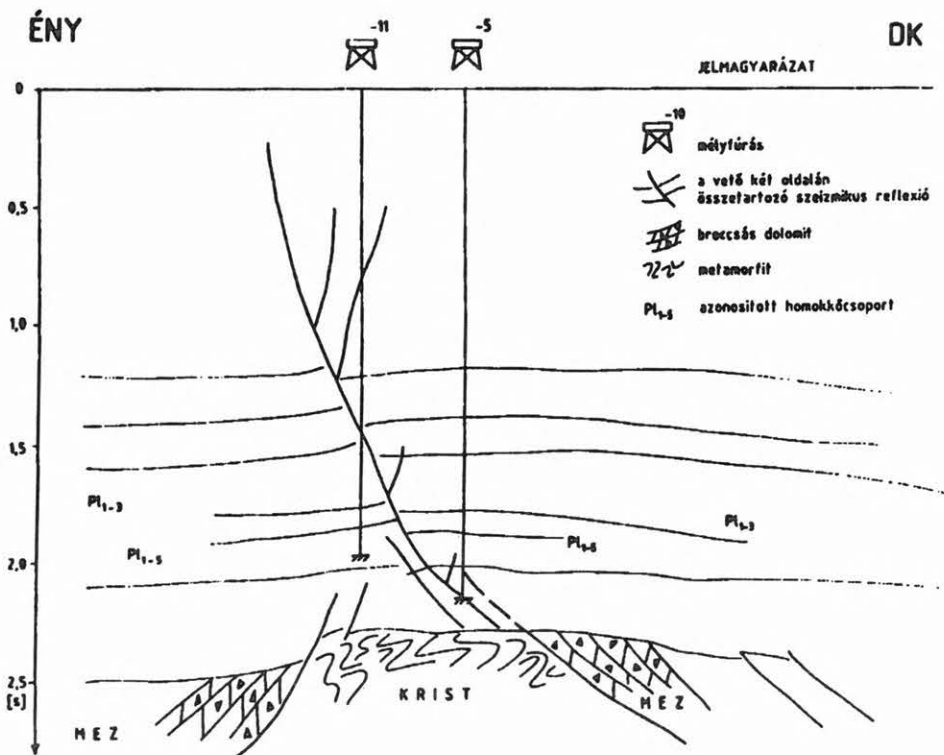
Eloszlásvizsgálatok

Mint már említettem, bármely paraméter eloszlásáról, mint valószínűségi változóról akkor kapunk képet, ha a paraméterek diszkrét adataiból, megfelelő hisztogramok segítségével, tapasztalati sűrűségfüggvényt szerkesztünk. Ilyen hisztogramok segítségével a feltételezett eloszlást valamely eloszlásméleti eloszlással közelítem és hipotézis vizsgálat alapján elfogadom vagy elutasítom az állítást. Elfogadás esetén minden ábrán feltüntettem az említett alapstatistikai értékeket. A vizsgálatok részleteit mellőzve, csak a következtetéseket sorolom fel:

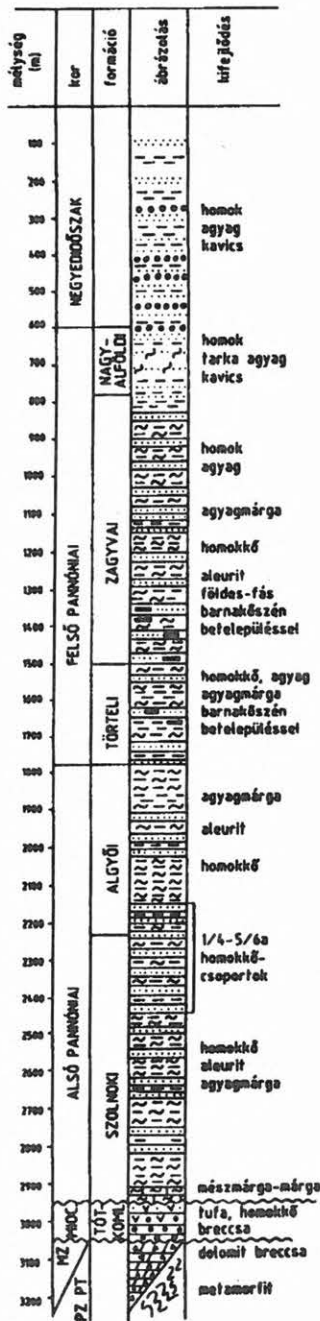
- némely homokkőcsoport néhány fúrásában harántolt homokkő vastagságok besorolása nem megfelelő, további elemzésük az alacsony mintaszám miatt nem lehetséges;
- az Algyői formáció képződményeire igazolódik az állítás, mely szerint az üledékes medencék mélyebb helyzetű összleteinek sűrűségfüggvényei nagyobb aszimmetriát mutatnak (pl. lefelé haladva az eloszlás normálisból lognormálisba megy át — 5., 6., 7. ábrák);



2. ábra. A terület egy hosszanti szeizmikus időszelvény menti szerkezetföldtani metszete
 Fig. 2. A longitudinal geo-structural profile along a seismic line of the area

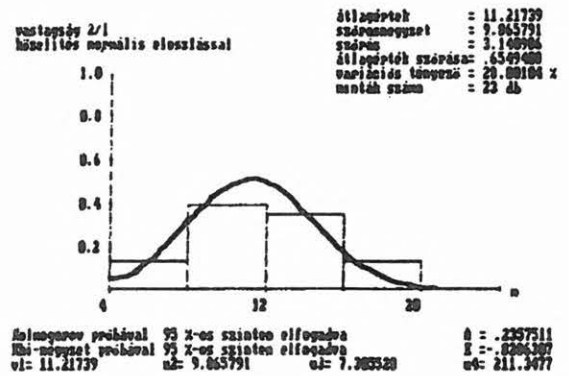


3. ábra. A terület egy haránt szeizmikus időszelvény menti szerkezetföldtani metszete
 Fig. 3. A transversal geo-structural profile along a seismic line of the area

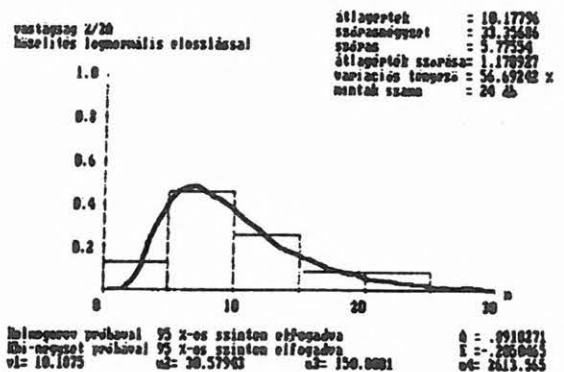


4. ábra. A terület általános földtani rétegoszlopa
Fig. 4. A common geological strata column of the area

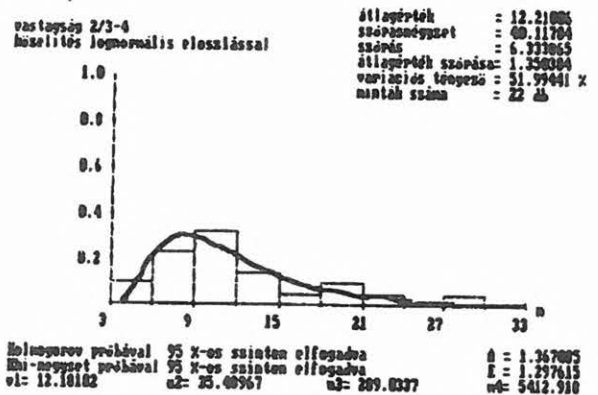
- feltűnő, hogy a 4A és 3/4 illetve 4B és 4/2 homokkőcsoportok páronként közeli statisztikai jellemzőkkel rendelkeznek, de eltérő eloszlás típusúval közelíthetők (8., 9., 10., 11. ábrák);
- 5-ös csoporton belül lognormális, valamint túlközött lognormális eloszlástípusok a delta lejtő illetve mélyvízi fácies homokkő kifejlődései közötti különbséget jelentik (12., 13., 14., 15., 16., 17. ábrák);
- 6-os csoport széteső hisztogramot mutat — a kevés mintaszám miatt;



5. ábra. A P₁-2/1-es homokkőcsoportjának hisztogramja normális eloszlással közelítve
Fig. 5. Histogram of P₁-2/1 sand stone group approached by normal distribution

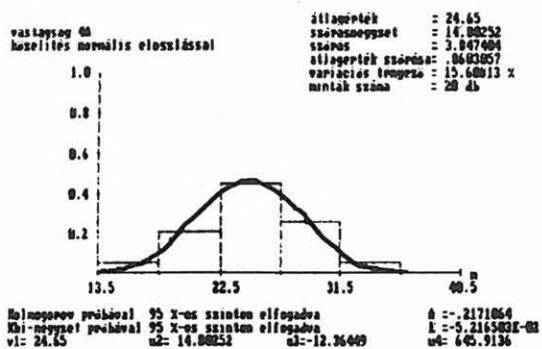


6. ábra. A P₁-2/2A-es homokkőcsoportjának hisztogramja lognormális eloszlással közelítve
Fig. 6. Histogram of P₁-2/2A sand stone group approached by lognormal distribution

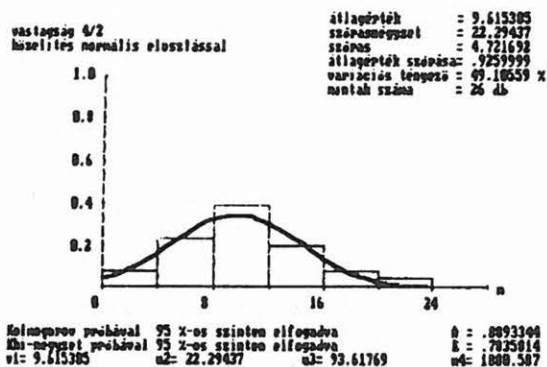


7. ábra. A P₁-2/3-4-as homokkőcsoportjának hisztogramja lognormális eloszlással közelítve
Fig. 7. Histogram of P₁-2/3-4 sand stone group approached by lognormal distribution

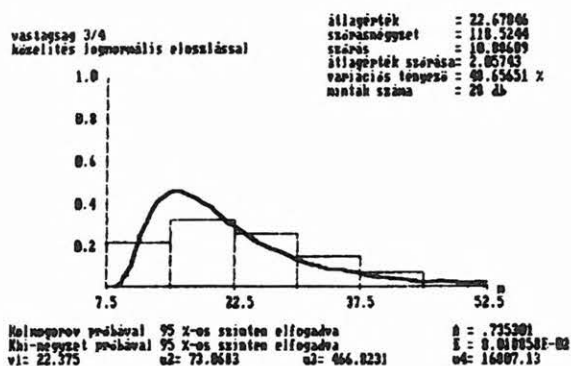
- a telepés összlet vastagságára és effektív vastagságára végzett eloszlás vizsgálatok expo-



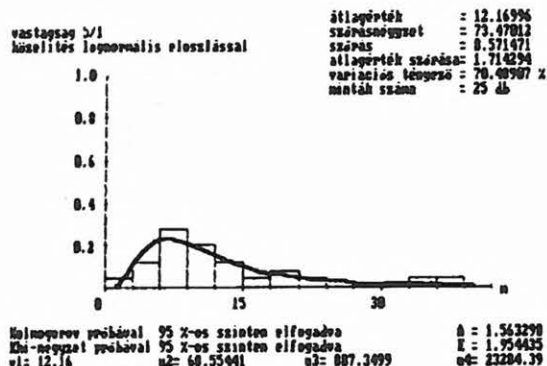
8. ábra. A P₁-4A homokkőcsoport hisztogramjának közelítése normális eloszlással
 Fig. 8. Histogram of P₁-4A sand stone group approached by normal distribution



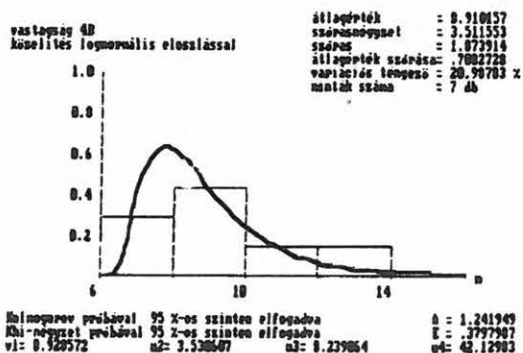
11. ábra. A P₁-4/2 homokkőcsoport hisztogramjának közelítése normális eloszlással
 Fig. 11. Histogram of P₁-4/2 sand stone group approached by normal distribution



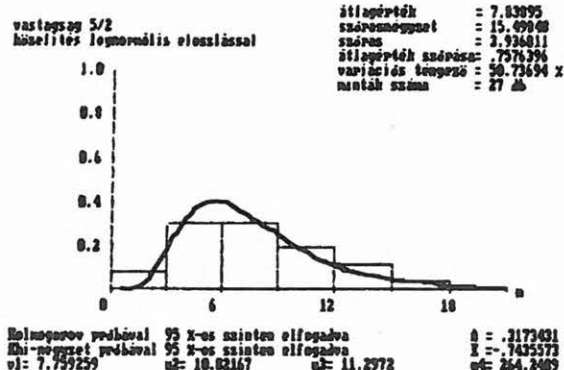
9. ábra. A P₁-3/4-es homokkőcsoportjának hisztogramja lognormális eloszlással közelítve
 Fig. 9. The P₁-3/4 sand stone group's histogram approached with lognormal distribution



12. ábra. A P₁-5/1 homokkőcsoport hisztogramjának közelítése lognormális eloszlással
 Fig. 12. Histogram of P₁-5/1 sand stone group approached by lognormal distribution



10. ábra. A P₁-4B homokkőcsoport hisztogramjának erős exponencialitása lognormális közelítéssel
 Fig. 10. Histogram of P₁-4B sand stone group with a high exponentiality, and approached by lognormal distribution



13. ábra. A P₁-5/2 homokkőcsoport hisztogramjának közelítése lognormális eloszlással
 Fig. 13. Histogram of P₁-5/2 sand stone group approached by lognormal distribution

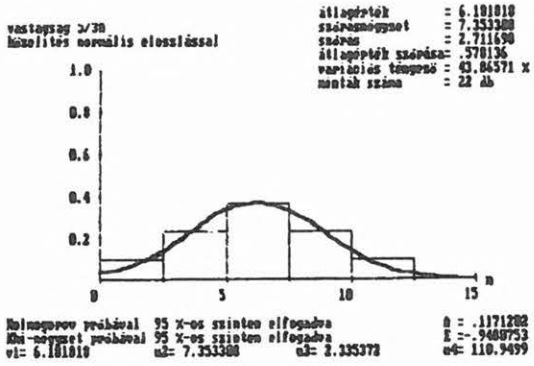
nenciális eloszlással közelíthető hisztogramot adtak (18., 19. ábrák);
 — az effektív porozitás és az effektív víztelítettség hisztogramjai normális eloszlást mutatnak (20., 21. ábrák);

— az effektív izovol származtatott mennyiség, egy exponenciális és két normális eloszlású paraméter szorzata, elvárásnak megfelelően lognormális eloszlású (22. ábra);

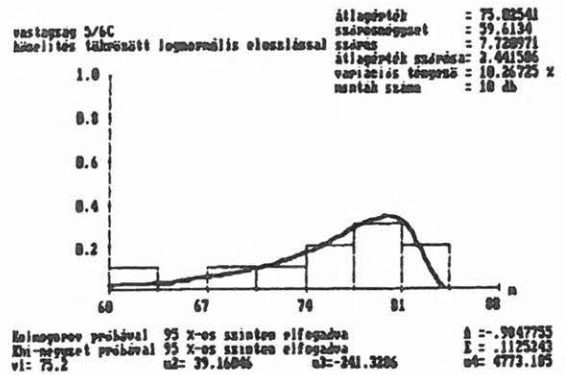
— az összetett többnyire egy populációjú eloszlást mutat, míg a telepese összetett leg-
alább négy populációjú és ennek magyarázata az erősen tektonizált aljzat hatása, amelyet a magasabb szintekben eltompít az üledékfel-
töltődés (23., 24. ábrák);

Entrópia vizsgálatok

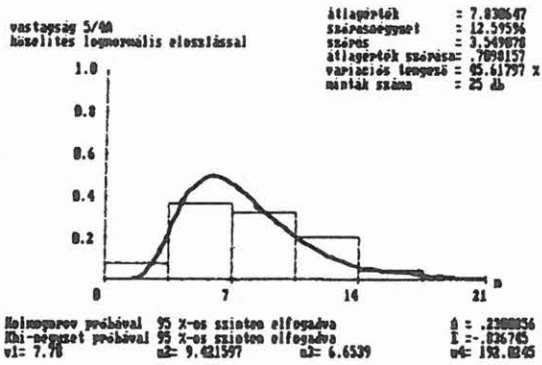
Az említett módon vizsgálva a paraméterek is-
mertségi fokát, itt is az eredmények összefoglalását említem:



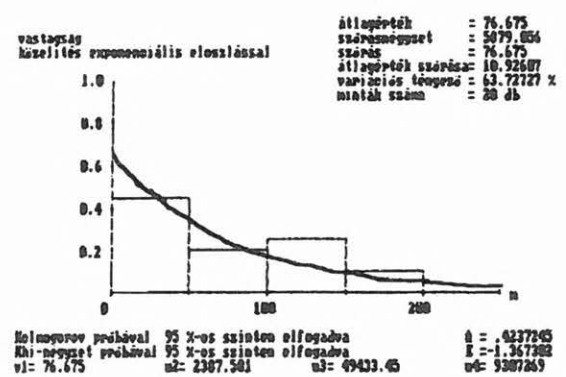
14. ábra. A $P_{11-5/3A}$ homokkőcsoport histogramjának közelítése normális eloszlással
 Fig. 14. Histogram of $P_{11-5/3A}$ sand stone group approached by normal distribution



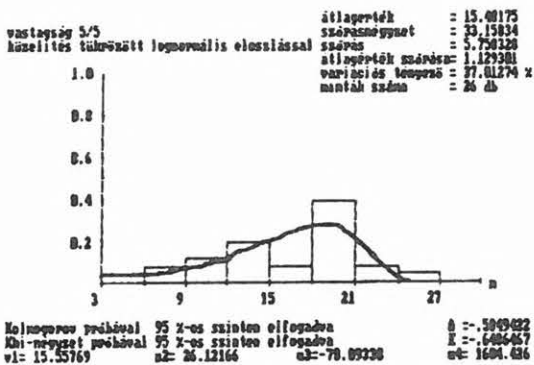
17. ábra. A $P_{11-5/6C}$ homokkőcsoportjának histogramja túlrögzített lognormális közelítéssel
 Fig. 17. Histogram of $P_{11-5/6C}$ sand stone group approached by symmetric lognormal distribution



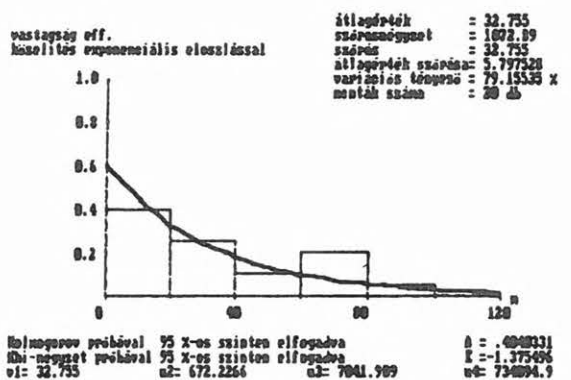
15. ábra. A $P_{11-5/4A}$ homokkőcsoportjának histogramja lognormális közelítéssel
 Fig. 15. Histogram of $P_{11-5/4A}$ sand stone group approached by lognormal distribution



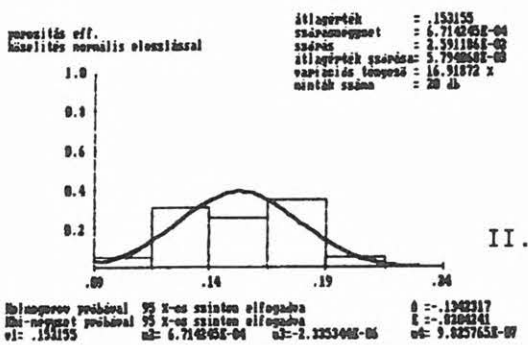
18. ábra. Az összevont telepek vastagság histogramjának exponenciális közelítése
 Fig. 18. Thickness histogram of multihorizontal strata complex approached by exponential distribution



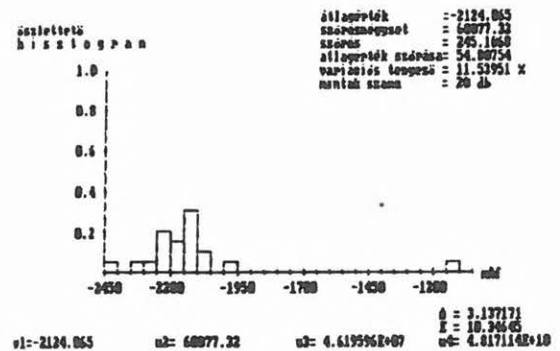
16. ábra. A $P_{11-5/5}$ homokkőcsoportjának histogramja túlrögzített lognormális közelítéssel
 Fig. 16. Histogram of $P_{11-5/5}$ sand stone group approached by symmetric lognormal distribution



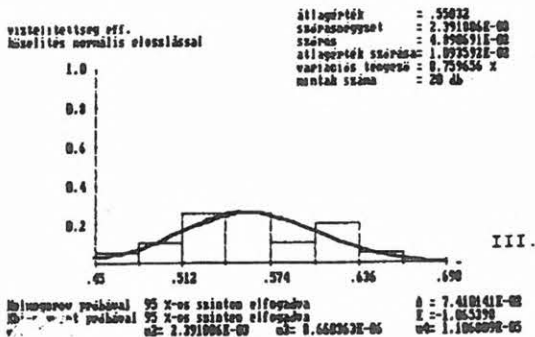
19. ábra. Az összevont telepek effektív vastagság histogramjának exponenciális közelítése
 Fig. 19. Effective thickness histogram of multihorizontal strata complex approached by exponential distribution



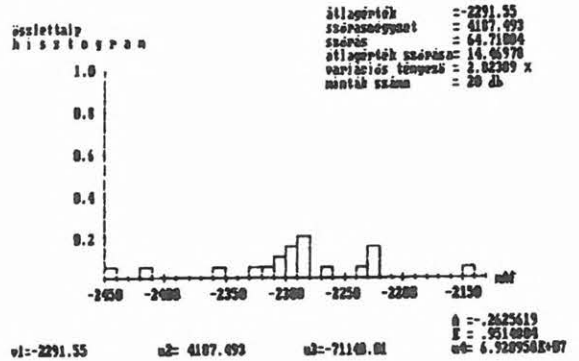
20. ábra. Az összevont telepek effektív porozitás hisztogramjának normális közelítése
 Fig. 20. Effective porosity histogram multihorizontal strata complex approached by normal distribution



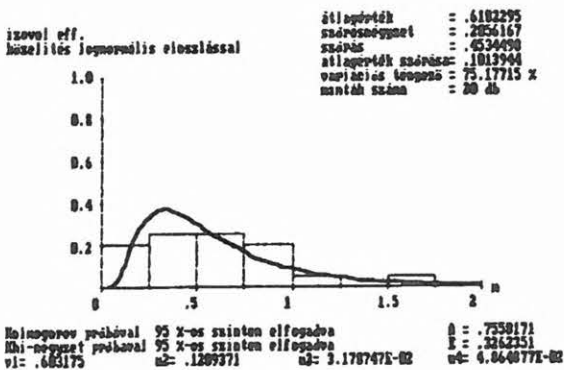
23. ábra. Az összevont telepek összetett hisztogramja
 Fig. 23. Top histogram of multihorizontal strata complex



21. ábra. Az összevont telepek effektív víztelítettség hisztogramjának normális közelítése
 Fig. 21. Effective water saturation of multihorizontal strata complex histogram approached by normal distribution



24. ábra. Az összevont telepek összetett hisztogramja
 Fig. 24. Bottom histogram of multihorizontal strata complex



22. ábra. Az összevont telepek effektív iszovl hisztogramjának lognormális közelítése
 Fig. 22. Effective isochlor histogram of multihorizontal strata complex approached by lognormal distribution

— megállapítható, hogy az adott területen eddig mélyült fúrások adatai alapján az Algyői formáció homokkőcsoportjai eléggé feltártnak bizonyulnak ($H \rightarrow 100\%$);

— a Szolnoki formáció 4A, 4/2 homokkőcsoportjai a legmagasabb feltártsággal rendelkeznek és gyakorlatilag feltáratlanok a 3/3, 3/4, 5/5 homokkőcsoportok, a többi csoportok kevésbé feltártak ($H < 90\%$);

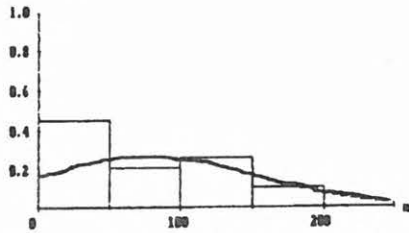
— vastagság-, porozitás-, víztelítettség-effektív és az előbbiekből származtatott effektív iszovl ismertségi foka 92–94% körüli, azaz a fúrások telepítése szerencsés volt és a származtatással a paraméterek ismertségi foka emelkedett.

Ez utóbbit a vastagság és effektív vastagság példáján keresztül mutatom be. A származtatás $H=87,2\%$ -ról $H=94,52\%$ -ra növelte az ismertségi fokot, azaz $I=1,258$ nat-ról $I=1,4150$ nat-ra emelkedett az információtartalom. Ezenkívül figyelemre méltó a maximális információtartalom növekedése is $I=1,4428$ nat-ról $I=1,5000$ nat-ra (25., 26. ábrák), erre még visszatérek az entrópia kockázatánál.

Regressziós vizsgálatok

Értelemszerűen az összevont telepek adataira végeztem regressziós vizsgálatot, mivel ez tartalmaz több paramétert. Az öt paraméterre végzett reg-

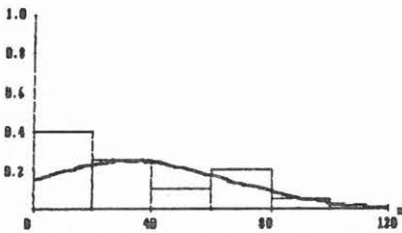
vastagság
Entropia vizsgálat



Tépleges információtartalom : $I = 1.2500$ nat = 1.8150 bit = 0.5464 Hartley
 Maximális információtartalom : $I_m = 1.4429$ nat = 2.0815 bit = 0.6266 Hartley
 Ismerlési fok : $H = 87.20\%$

25. ábra. A telepes összlet vastagságának entrópia vizsgálata
 Fig. 25. Entropy analysis of thickness of multihorizontal strata complex

vastagság eff.
Entropia vizsgálat



Tépleges információtartalom : $I = 1.4150$ nat = 2.0414 bit = 0.6145 Hartley
 Maximális információtartalom : $I_m = 1.9770$ nat = 2.1597 bit = 0.6501 Hartley
 Ismerlési fok : $H = 94.52\%$

26. ábra. A telepes összlet effektív vastagságának entrópia vizsgálata
 Fig. 26. Entropy analysis of effective thickness of multihorizontal strata complex

ressziós számítások alapján korrelálatlanak bizonyultak a következő paraméter kapcsolatok:

- effektív vastagság — effektív porozitás,
- effektív vastagság — effektív víztelítettség,
- effektív porozitás — effektív izovol,
- effektív víztelítettség — effektív izovol.

A továbbiakban csupán a korrelálhatóságot feltételezett paraméter kapcsolatokat tárgyalom.

Az effektív porozitás és effektív víztelítettség paraméterek között a regressziós vizsgálatok lineáris közelítéssel negatív iránytangensű korrelációt mutatnak ($K=0,8$ -as korrelációs együtthatóval). Ez látható a következő ábra gyakorisági térhisztogramján az oszlopok átló menti csoportosulásában (27. ábra). Ennek jelentőségére később a paraméter becsléseknél visszatérek.

Félvariogram vizsgálatok

A félvariogram vizsgálatot először a telepes összlet tető- és talpadataira végeztem el. Irányfüggetlen és iránymenti félvariogramokat számítottam.

Az összlettelő irányfüggetlen félvariogrammal számított kör területe nagyságrenddel kisebb a hatásterületi ellipszis területénél és az iránymenti félvariogramok sem esnek az ellipszisre. Így tovább ez utóbbi nem használható.

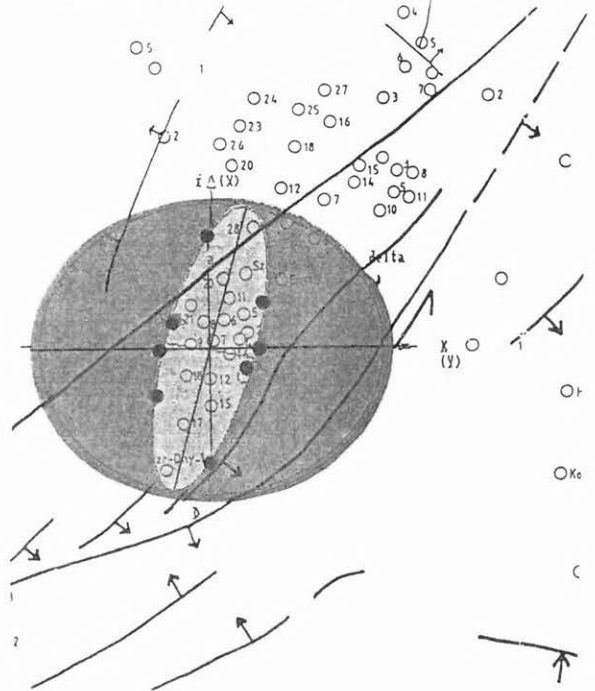
Az összlettalp iránymenti félvariogramok kiszámításával meghatároztam az összlettalp hatásterületi ellipszisének és minden egyes félvariogram hatástávolsága az ellipszisre esik. Összevetve a hatásterületi ellipszis tengelyirányítottságát a terület tektonikai térképével, egyezés észlelhető az oldaleltolódásos tektonikára jellemző másodlagos — Riedel — töréseinek főirányával (28. ábra).

További félvariogram vizsgálatokat a két vastagság paraméterre végeztem, amely esetében a hatástávolságok lényegesen nem változtak a származtatással, a félvariogram küszöbszintje negyedére csökkent (29. ábra).

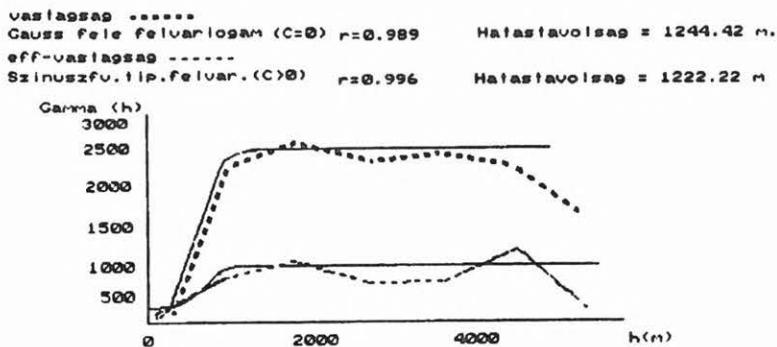
A hatásterületi ellipsziseket vizsgálva, megállapítható, hogy a származtatással NY-i irányba fordult el az ellipszis. Így került az ellipszis kistengelye párhuzamos irányba az üledékbehordási főiránnyal (30. ábra). Ennek geológiai magyarázata a következő:



27. ábra. A telepes összlet effektív víztelítettség és effektív porozitás eloszlásának térhisztogramja
 Fig. 27. Spatial histogram of effective porosity and effective water saturation distribution for multihorizontal strata



28. ábra. Az összlettalp hatásterület ellipszisének helyzete a tektonikai térképen
 Fig. 28. Position of a range ellipse on the multihorizontal strata complex bottom range ellipse as shown on the tectonic map of the area



29. ábra. A teleses összlet vastagság és effektív vastagság félvariogramjai
 Fig. 29. Semivariograms of thickness and effective thickness of multihorizontal strata complex

A GKV és USGS szakemberei által a Békési medencében végzett közös kutatási program egyik eredménye az említett medence feltöltődési modellje [31. ábra — MATTICK R. et al. 1987].

Az ábra a szeizmikus mérések kiértékelése alapján azonosított progradációs deltákat mutatja. Látható, hogy a kutatási területen a 3NW jeű delta rendszer fejlődött ki, amelynek üledékbehordása ÉNy-i irányból történt.

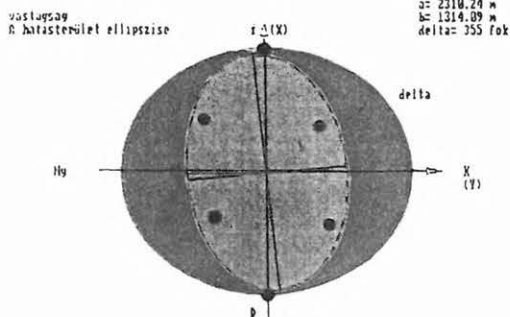
A következő ábrán ezt a progradáló delta front kiépülést láthatjuk, időmelység értékek, valamint üledékbehordási csatornák feltüntetésével (32. ábra).

Összevetve az effektív vastagság hatásterületi ellipszisét az előbb bemutatott 3NW delta progradációs térképpel, szembevető az egyezés a homokkőtestek térbeli kifejlődésével (33. ábra).

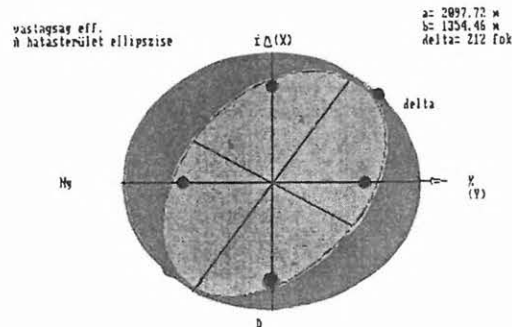
Sajnálatos, hogy az irányfüggetlen félvariogramból számított kör területe több mint 20%-kal kisebb a hatásterület ellipszisénél, ennek ellenére az ellipszis tengelyirányítottága felhasználható. Látható, hogy az üledékbehordással párhuzamosan az effektív vastagság változékonyabb, mint az erre merőleges irányban.

Folytattam a vizsgálatot az effektív porozitás félvariogram számításával. A félvariogram hatástávolsága megegyezik az effektív vastagság hatástávolságával (34. ábra).

Az effektív vízeléltetésnek kétszer nagyobb a hatástávolsága, mint bármely eddigi paraméternek, hasonlóan az effektív izovolhoz. A hatásterületi ellipszist vizsgálva magas fokú paraméter izotrópiát tapasztaltam (35., 36. ábrák).



$C = 592.2927$ $C_0 = 90.1112$ $r = 0.996$ $S_L = 25.282$ $H = 4.54$ %
 a tapasztalati félvariogram Malléron-féle



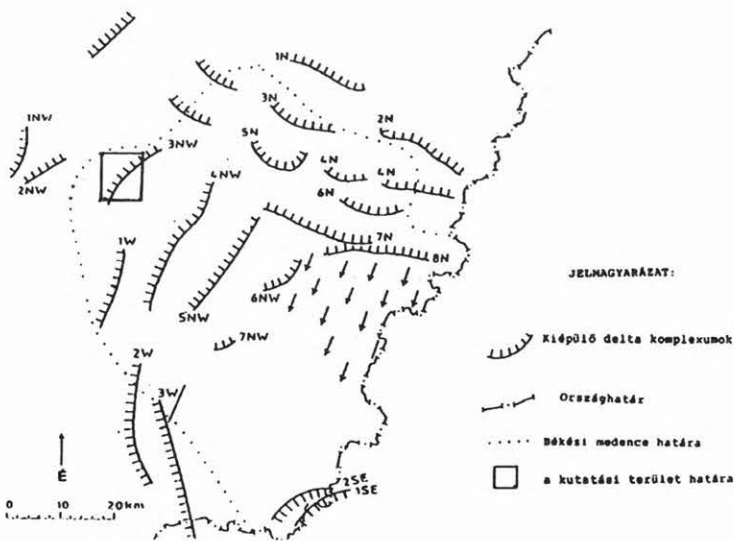
Kockázat vizsgálatok

A bevezetésben definiált döntések kockázati számának fogalmát és számítását alkalmaztam. Ennek keretén belül az ismert paraméterek következő földtani kockázati vizsgálatát végeztem el:

- átlagértékek kockázata,
- szórások kockázata,
- entrópiák kockázata,
- regressziók kockázata.

Az átlagérték kockázatának számítását az egyes homokkő vastagságok kockázatával kezdtem. Általánosan megállapítható, hogy az átlagértéknél nagyobb vastagsági értékek használata erősen kockázatos vagy már *hazárd* állítás. Példaként említem a P11-4/2 jó feltártságú ($H=99\%$) homokkőcsoport kockázat elemzését: a vastagság átlag értéke 9,62 m, amely érték $K=1$, azaz kockázatos állítás. Ha csupán 7 cm-rel nagyobb értéket veszünk, akkor már a *hazárd* tartományába lépünk ($K>1,2$) és ha ugyanennyivel kevesebbet, akkor állításunk még csak közepesen kockázatos. Állításunk kockázata minimálisra csökken, ha csak 9 m-es vastagsággal számolunk, ugyanis akkor $K=0,4$ és így ezzel a kockázati tényezővel óvatos becslést végzünk (37. ábra).

30. ábra. A teleses összlet vastagság és effektív vastagság hatásterület ellipszise
 Fig. 30. Range ellipse of multihorizontal strata complex thickness and effective thickness

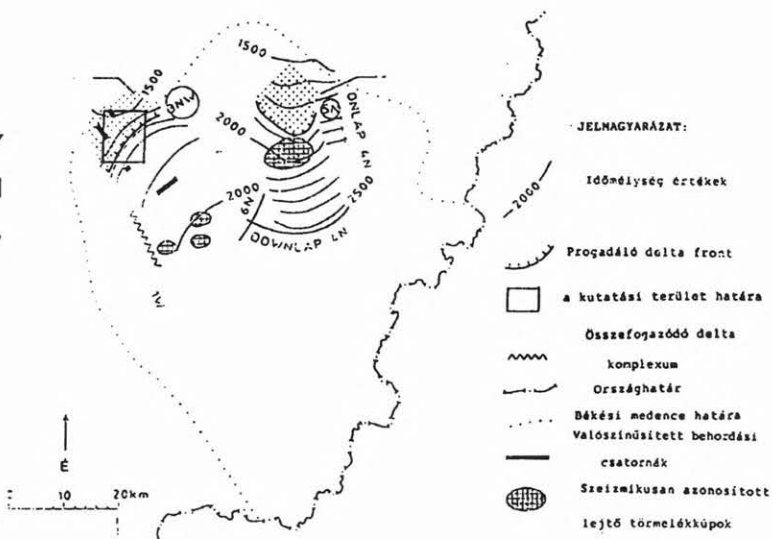


31. ábra. A kutatási terület helyzete a Békési medence feltöltődési modell térképén [MATTICK R. et al. 1987]

Fig. 31. The position of the area on the map about Békés basin upfilling modell [MATTICK R. et al. 1987]

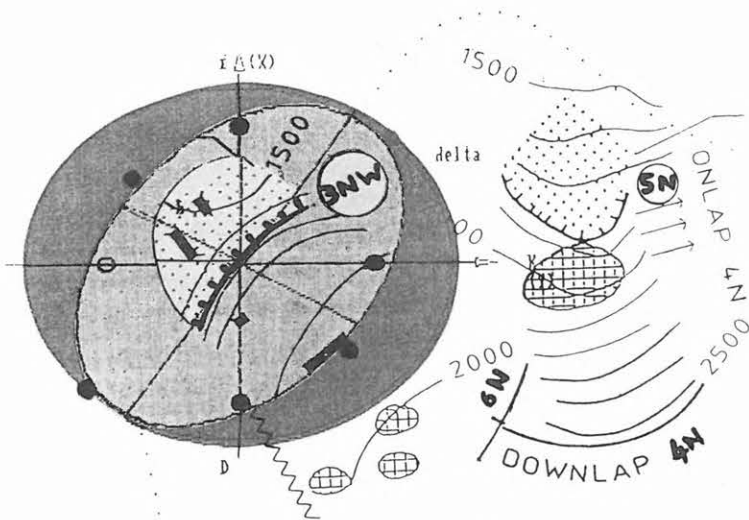
32. ábra. A kutatási területen képződő 3NW delta rendszer a medence feltöltődés egy adott pillanatában [MATTICK R. et al. 1987]

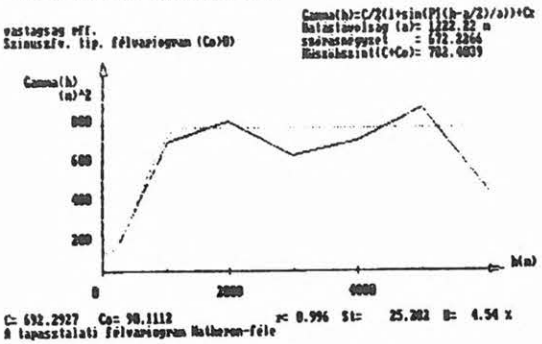
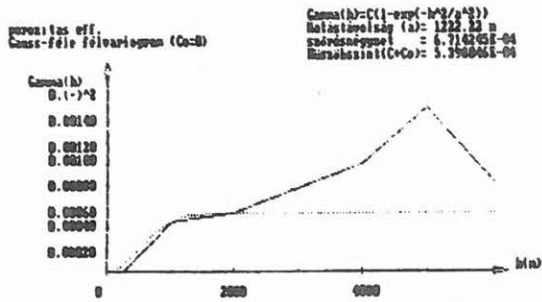
Fig. 32. The developing 3NW delta system, an upfilling stage of the Békés basin [MATTICK R. et al. 1987]



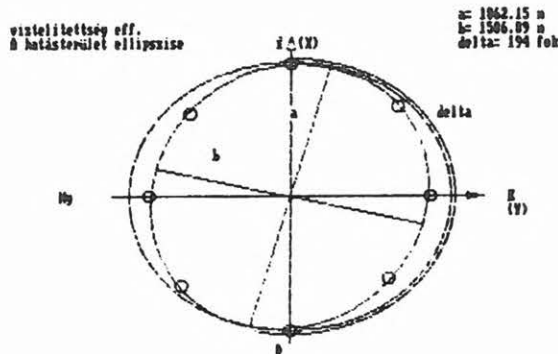
33. ábra. A területen képződő 3NW delta és az effektív vastagság hatásterület ellipszis egymáshoz viszonyított helyzete

Fig. 33. Spatial configuration of range ellipse of effective thickness between the developing 3NW system





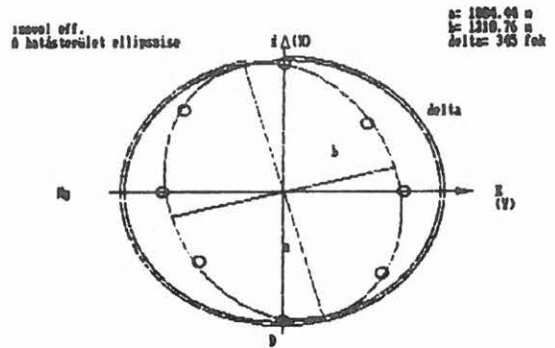
34. ábra. A telepes összlet effektív porozitásának és effektív vastagságának félvariogram összehasonlítása
 Fig. 34. The effective-porosity semivariogram compared to the effective thickness



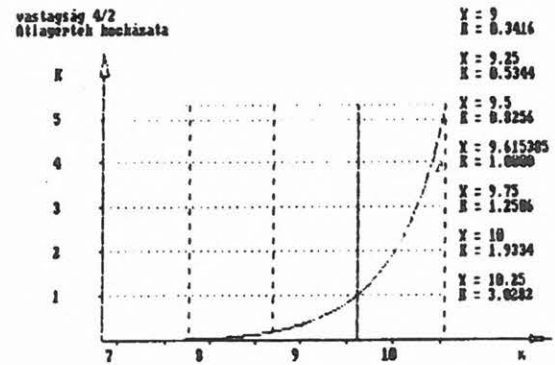
35. ábra. A telepes összlet effektív víztelítettségének hatásterület ellipszise
 Fig. 35. Range ellipse of effective water saturation of multihorizontal strata complex

nyezőt jelent, becslésünk óvatos, míg ugyanennyivel nagyobb vastagságérték tízszeresen növeli a kockázati tényezőt ($K=2,67$).

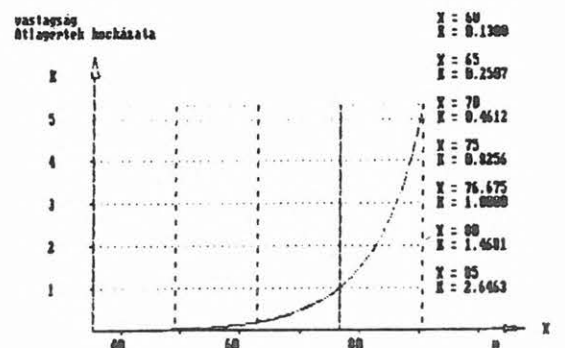
Az effektív vastagság készletszámítási szempontból kedvezőbb tulajdonságú a vastagságnál. A kockázati számítások kimutatták, hogy az átlagnál 0,25 m-rel nagyobb érték esetében erősen kockáza-



36. ábra. A telepes összlet effektív izovoljának hatásterület ellipszise
 Fig. 36. Range ellipse of effective isovol of multihorizontal strata complex



37. ábra. A $Pl_1-4/2$ -es homokkőcsoport vastagság átlagérték kockázata
 Fig. 37. Thickness average value risk of $Pl_1-4/2$ sand stone group



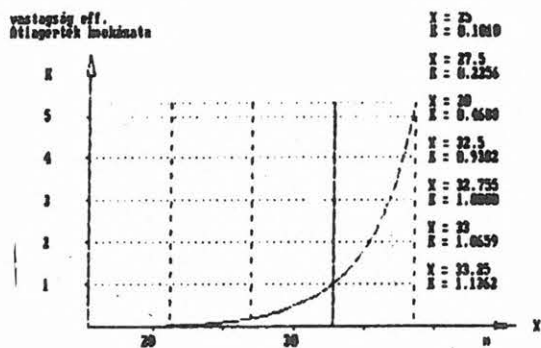
38. ábra. A telepes összlet vastagság átlagértékének kockázata
 Fig. 38. Thickness average value risk of multihorizontal strata complex

Hasonlóan, ugyanez érvényes bármelyik tanulmányozott homokkőcsoportra a megfelelő értékek figyelembevételével és alapvető fontosságú az illető homokkőtest CH készletének meghatározásakor.

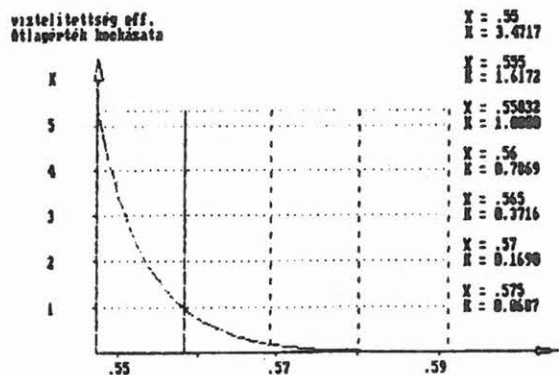
Tanulságos eredménnyel szolgált a telepes összlet vastagság átlagértékének kockázati számítása (38. ábra). Megmutatta, hogy 76,67 m-nél csupán 1,5 m-rel nagyobb vastagság már hazárdírozás és ugyanennyivel kisebb érték esetén pedig csak közepesen kockázatos az állításunk. A 10 m-rel kisebb vastagság figyelembevétele $K=25\%$ kockázati té-

tos a becslés (39. ábra), de a 0,5 m-rel több sem hazardírozás. Az állítás kockázata minimális, ha az átlagnál 3 m-rel kisebb értékkel számolunk.

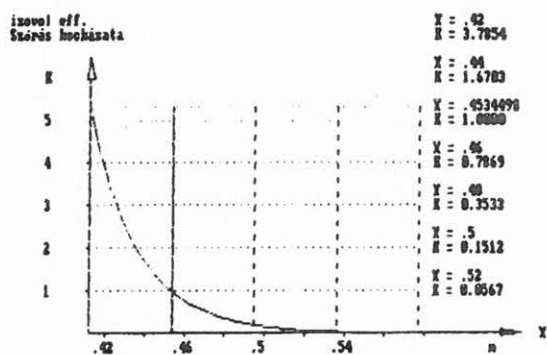
Megállapítható, hogy a származtatott paraméter használata jelentősen csökkenti az állítások kockázati tényezőjét, szemben a „nyers” paraméter által hozozott kockázattal.



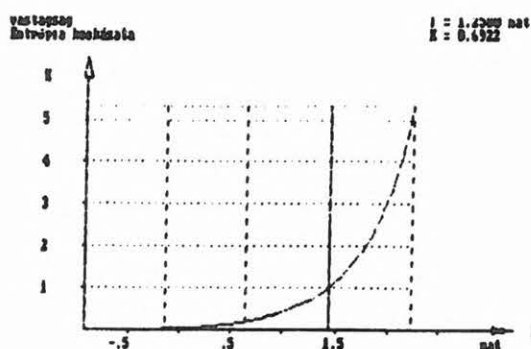
39. ábra. A telespes öszszlet effektív vastagság átlagértékének kockázata
Fig. 39. Effective thickness average value risk of multihorizontal strata complex



40. ábra. A telespes öszszlet effektív víztelítettség átlagértékének kockázata
Fig. 40. The effective water saturation average value risk of multihorizontal strata complex



41. ábra. A telespes öszszlet effektív izovol szórásának kockázata
Fig. 41. Effective izovol dispersion/standard deviation risk of the multihorizontal strata complex



42. ábra. A telespes öszszlet vastagság entrópiájának kockázata
Fig. 42. Thickness entropy risk of multihorizontal strata complex

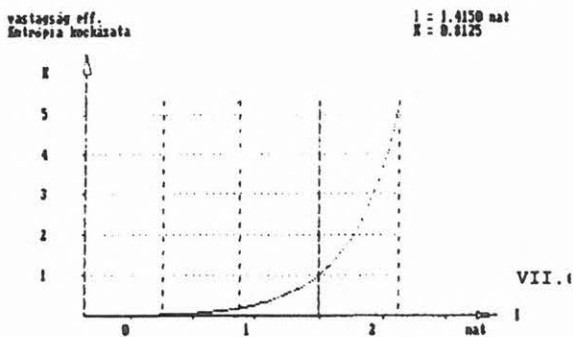
Az effektív víztelítettség átlagértékének kockázati függvénye értelemszerűen fordított, a magas paraméter érték kedvezőtlen számunkra (40. ábra), tehát csökkenő exponenciális jellegű. Átlagértéke 55,8%, amelynél 0,3%-kal kisebb érték (55,5%) már erős hazardírozás ($K=1,62$). Az 57 %-os víztelítettség pesszimista becslést ($K=0,16$) jelent.

Az effektív izovol átlagérték kockázatának diagramja ugyanolyan, akár a többi paraméteré, nyilvánvalóan a nagyobb érték a kedvező számunkra. A 0,618 m-nél kockázatos az állítás és 0,65 m értéknél hazardírozunk. Ugyanakkor 0,60 m izovol értéknél már pesszimista az állításunk. Tehát az effektív paraméterekből származtatott effektív izovol a legérzékenyebb bármely paraméter érték változására.

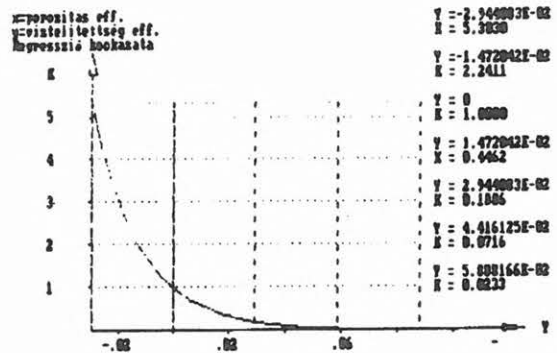
A soron következő kockázati vizsgálatok a szórásra vonatkoznak. Ha nagyobb szórást adunk a számítottnál, állításaink kockázati tényezője csökken. A szórás kockázati függvénye a víztelítettség kockázatahoz hasonlóan exponenciálisan csökkenő görbét mutat. A számított szórásnál kisebb érték nagyon megnövelheti a kockázati tényezőt. Ezt a következő ábrán (41. ábra) szemléltetem, ahol a telespes öszszlet esetében az effektív izovol szórása 0,453 m. Csupán 0,013 m-rel kisebb szórással már hazardírozunk, de a 0,027 m-rel nagyobb értéknél óvatos az állításunk.

Végül megállapítható, hogy a telespes öszszlet esetében a származtatott paraméterek szórása sokkal érzékenyebben reagál a kisebb szórási intervallumra; a számítottnál kisebb szórás figyelembevétele a hazardírozásba sodorja állításainkat.

Egy paraméter entrópia kockázati tényezője egyszerűsíti azt az állítást, amely szerint a tényleges entrópia egyenlő lesz a maximális entrópiával. Ez lényegében az az ideális eset, amikor a tényleges információ megegyezik a maximális információval; elméletileg az ismertségi fok 100 %. Ez az entrópia maximum szórásával számítható. Ezt a telespes öszszlet vastagságának, valamint effektív vastagságának entrópia kockázatán keresztül szemléltetem. Amint az előzőekben láttuk, a származtatással nemcsak az ismertségi fok növekedett, de a maximális információ is. Az ily módon növelt információ tartalom kockázata nőtt $K=0,7$ -ről $K=0,81$ -re (42., 43. ábrák). Ez azt jelenti, hogy a származtatással csökkenttem a vastagság átlagértékének a kockázatát, de a számítások elkerülhetetlenül növelték az entrópia kockázatát.



43. ábra. A teleses összlet effektív vastagság entrópiájának kockázata
 Fig. 43. Effective thickness entropy risk of the multihorizontal strata complex



44. ábra. A teleses összlet effektív porozitásának és effektív víztelítettségének regressziószámítási kockázata
 Fig. 44. Regression risk for effective porosity and effective water saturation concerning a multihorizontal strata complex

A különböző regressziós kapcsolattal rendelkező paraméterpárok regressziós egyenleteinek használata szintén bizonyos kockázattal jár. Itt is az egyenletről számolt érték elfogadásának mértéke a kockázati tényező. Ha elfogadjuk a számolt értéket ($K=1$), kockázatos a becslésünk, de ez kiküszöbölhető, ha kisebb kockázati tényezőt választunk. Ezt az effektív porozitás — effektív víztelítettség regressziós kockázati ábráján mutatom be (44. ábra), ahol a függőleges folytonos vonal az egyenletről számolt értéket jelenti, a szaggatott vonalak pedig a regressziós függvény standard hibájának egész számú többszöröseit. Az ábrán szerepelnek még a kiszámított Y -ból előállított

$$Y-2S; Y-1,5S; Y-S; Y-0,5S; Y+0,5S; Y+S,$$

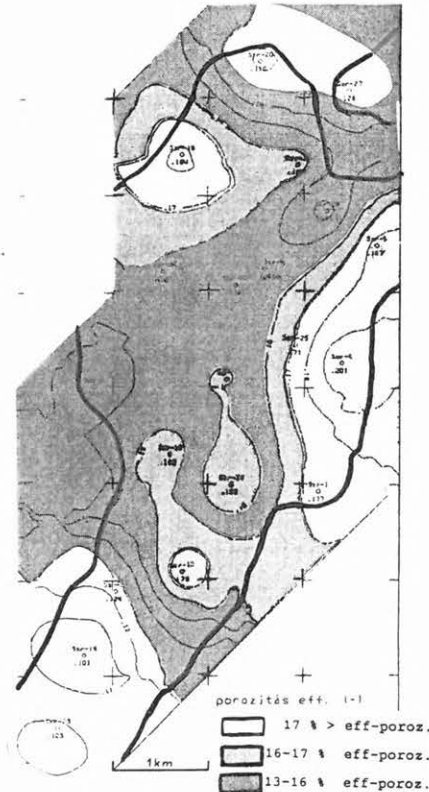
értékek és ezekhez tartozó megfelelő kockázati tényezők.

Paraméterbecslés

A teleses összlet paraméter értékeinek becslésére az előbbi eredmények ismeretében a krigelési eljárást használtam és térképeket szerkesztettem. Ezen térképek közül az effektív porozitás paraméter térkép jelentőségére hívom fel a figyelmet, ugyanis a telepkontúrokon DK-i irányba túlterjednek a 16–17%-os szintvonalak. A többi paramétertérkép esetében a peremi területrészek felé az izovonalak lefutása csökkenő tendenciájú. A regressziós vizsgálatok kapcsolatot mutattak ki az effektív porozitás és effektív víztelítettség között, amely az említett irányban a teleses összlet kisebb víztelítettségét jelenti (45. ábra).

A térségről kiadott MOL Rt. GKE-231-es számú szeizmikus méréseket kiértékelő jelentése ugyanezt a területet javasolta mélyfúrással való megkutatásra, jelentős CH készlettel remélve (46. ábra).

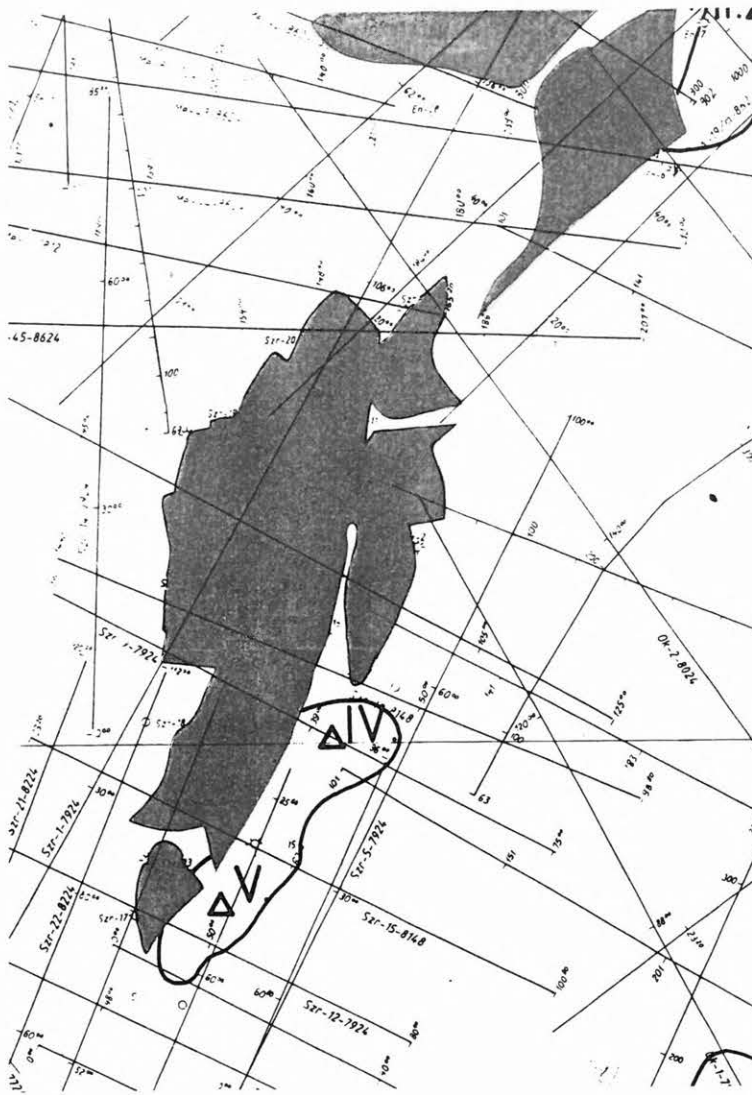
Összességként elmondható, hogy a készletszámitási paraméterek telepen belüli és a peremi területeken történő tanulmányozása, valamint a földtani kockázatra vonatkozó elemzése alapja lehet a gazdasági kockázat számításnak.



45. ábra. Az effektív porozitás térképe a telepkontúrokon túlterjedő 16–17% -os izovonalakkal
 Fig. 45. Map for effective porosity with the 16–17% isolines surpassing the actual hydrocarbon field limits

Köszönetnyilvánítás

Ezúton köszönetemet szeretném kifejezni MOL-NÁR Károly Úrnak, a MOL Rt. GKE vezérigazgatójának, valamint POGÁCSÁS György kutatási igazgatóhelyettesnek a dolgozatban felhasznált szeizmikus szakirodalom igénybevételének és az eredmények közlésének engedélyezéséért. Köszönettel tartozom FÜST Antal Úrnak, aki szakértelmével és segítőkészségével szakmailag és erkölcsileg egyaránt támogatott.



46. ábra. A szeizmikus mérések kiértékelése után mélyfúrásra javasolt CH perspektivikus terület [GKV.1991]
 Fig. 46. Area proposed for drilling following seismic interpretation and with perspectives for hydrocarbon accumulation [GKV.1991]

HIVATKOZÁSOK

AGTERBERG F. P. 1974: Geomathematics. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, London, New York
 BAKSA Cs., BÁRDOSSY A., BÁRDOSSY Gy., FODOR B., LENGYEL Vné, VIRÁGH K., ZSIDAY G. B. 1983: A geostatistika alapfogalmai. Budapest
 DAVID M. 1977: Geostatistical Ore Reserve Estimation. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, Oxford, New York
 FÜST A. 1990: Geostatistika. Kézirat. Budapest
 GKV 1991: J.231. számú jelentés Szarvas-Endrőd-Dévaványa kutatási terület szeizmosztratigráfiai és szénhidrogénföldtani értelmezéséről, és a rejtett típusú csapdalehetőségek térképezésének eredményeiről. GKV adattára

GUARASCIO M. et al. (eds.) 1976: Advanced Geostatistics in the Mining Industry. D. Riedel Publishing Company, Dordrecht — Holland/Boston — USA
 JOURNEL A. G, HUIJBREGTS Ch. J. 1978: Mining Geostatistics. Academic Press, London, New York, San Francisco
 MARSAL D. 1987: Statistics for Geoscientists. Pergamon Press, Oxford, New York, Beijing, Frankfurt, Sao Paulo, Sydney, Tokyo, Toronto
 MATHERON G. 1965: Les Variables Regionales et leur Estimation. Masson et cie. Editeurs, Paris
 MATTICK R., RUMPLER J., ÚJFALUSY A., SZANYI B., NAGY I. 1987: Seismic Stratigraphy of the Békés Basin — Southeast Hungary, GKV adattára
 OKGT.NKV 1988: Szarvas (Endrőd-II.) lehatároló kutatási fázisú földtani zárójelentése (1988. áprilisi állapot). GKV adattára