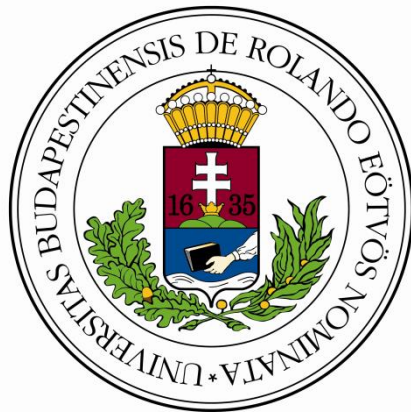


Gázok okozta szeizmikus anomáliák a Balaton példáján



Készítette: Bodnár Tünde

Földtudomány BSc, geofizika szakirány

Témavezető: Visnovitz Ferenc

ELTE Geofizikai és Űrtudományi Tanszék

2013

Tartalomjegyzék

Bevezetés.....	3
1. A sekély gázokról általában	
1.1. A sekély gázok eredete	5
1.2. A biogén gázok jelentősége	6
2. A vízi szeizmika szerepe a sekély gázok kutatásában	
2.1. A vízi szeizmikus szelvények	8
2.2. Gázindikátorok megjelenése a szeizmikus szelvényeken.....	9
2.3. A gázindikátorok típusai	9
3. Vízi szeizmikus szelvények feldolgozása	
3.1. Általános lépések	14
3.2. Szeizmikus adatok feldolgozása sekély gázok vizsgálatához.....	18
4. A balatoni sekély gázok jellemzése	
4.1. Megfigyelt gázjelenségek	21
4.2. A gázjelenségek csoportosítása.....	28
5. Összefoglalás.....	30
Köszönetnyilvánítás	31
Függelék	32
Ábrajegyzék	33
Irodalomjegyzék.....	35

Bevezetés

A balatoni iszap pórusterében megtalálható sekély gázok vizsgálata lehetőséget ad a tavi üledékek bizonyos fizikai, kémiai és biológiai tulajdonságainak megismerésére. Napjainkban egyre fontosabbá válik eme gázok keletkezésének és területi eloszlásának vizsgálata, mivel az üledékben csapdázódó gázok (elsősorban CO_2 , CH_4) olyan felszín alatti folyamatokról árulkodhatnak, mint a tóba érkezett szennyezőanyagok biodegradációja, vagy a Balaton-felvidékről érkező savanyú vizek Balaton alatti megcsapolódása. A gázok jelenléte sekély vízi környezetben geofizikai mérésekkel könnyen kimutatható, mivel az üledék gáztartalma erősen befolyásolja az akusztikus hullám terjedését. A mérés során megfigyelt szeizmikus kép a befoglaló üledék és a gázok fizikai és anyagi tulajdonságaival függ össze, amely a balatoni iszap esetében változatos formákban mutatkozik meg.

A Balaton Közép-Európa legnagyobb tava, felszíne 596 km^2 , és átlagos vízmélysége $3,25 \text{ m}$ (Weisz et al., 2000). Ez a vízfelület egyedülálló kutatási területet jelent a Pannon-medencében, hiszen itt a - felszíni víztestnek köszönhető - jó akusztikus csatolás következtében megvalósítható a néhány méteres tavi iszapréteg és az alatta diszkordánsan települő, máshol több kilométer mélyen fekvő pannóniai rétegek nagyfelbontású akusztikus leképezése (Tóth Zs. et al., 2010). A vízi szeizmikus anyagok segítik a tó eredetének és fejlődéstörténetének pontosabb megismerését, valamint a Pannon-medence múltjának és szerkezeti elemeinek tanulmányozását (Bada et al., 2010, Sztanó et al., 2013) is. A gáztartalmú üledékeknél jelentkező szeizmikus anomáliák többek között a fenti vizsgálatokat nehezítik, így a sekély gázok analízise környezeti és mérés technikai szempontból is különös figyelmet érdemel.

Dolgozatom első két fejezetében a sekély gázok, és a munka alapját képező vízi szeizmikus kutató módszer általános bemutatása található meg, majd a harmadik fejezetben a vízi szeizmikus szelvények feldolgozásáról számolok be. Az irodalmi bevezetőt saját vizsgálataim és eredményeim ismertetése követi. A kutatás során a célom az volt, hogy a balatoni sekély gázokat az irodalmi példákkal összevethető módon azonosíthatóvá, és meghatározott szempontok alapján csoportosíthatóvá tegyem. A későbbiekben ezek a csoportok jelenthetik majd a térképezések alapjait, és tovább információt hordozhatnak a gáz eredetét illetően. A gáz-mintázatok vizsgálatán túl a jövőben a szeizmikus felvételeknél rögzített különféle fizikai paraméterek (pl.: a jel amplitúdó-változásai) is tervezem

megvizsgálni a gázindikációknál és környezetében. Véleményem szerint ezek a munkák új lehetőségeket adnak majd a gázjelenségek pontosabb megismerésében.

1. A sekély gázokról általában

Sekély gázokról azoknál a területeknél beszélünk, ahol a gáztartalmú zónák a felszín közelében vagy a felszíni vizekhez kapcsolódó iszaprétegben helyezkednek el. Ez a gáz vízi üledékekben főleg szén-dioxidot (CO_2), hidrogén-szulfidot (H_2S), etánt (C_2H_6) és metánt (CH_4) jelent, de az összetevők közül általában csak a legutóbbi fordul elő számottevő mennyiségben (Floodgate&Judd, 1992). Az olajiparban a szárazföldi fúrásoknál többek között a márgagázt, a szénben megkötve előforduló metánt, a jól cementált, alacsony porozitású homokkövekben megtalálható úgynevezett tömött gázt, valamint a medence-középi gázt sorolják a sekély gázok közé (Kovács, 2013).

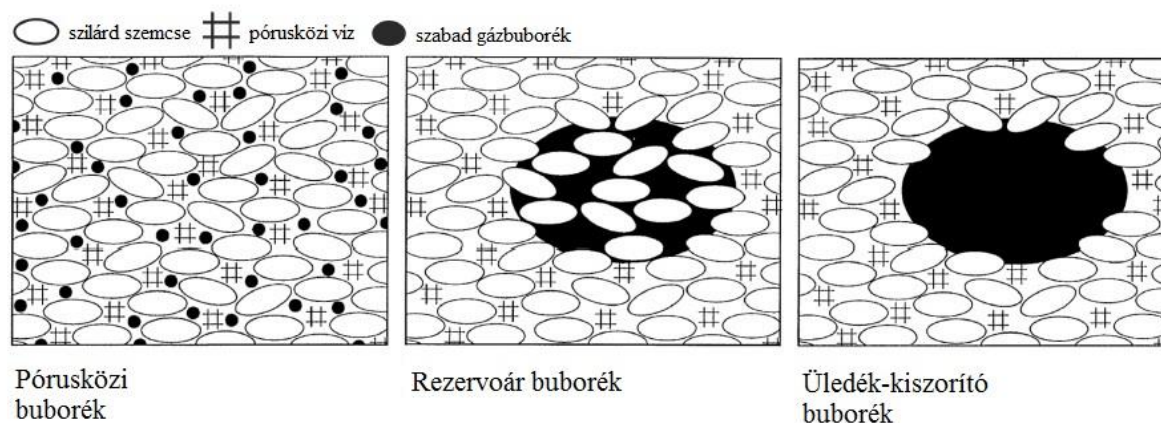
1.1. A sekély gázok eredete

A tengerekben, tavakban létrejövő gáz lehet bakteriális tevékenység (alacsony hőmérsékletű bakteriális metanogenezis) eredménye, illetve nem biogén folyamatok (vulkanikus, hidrotermális, primordiális, destabilizáló gáz-hidrátok) vagy termogenikus/petrogén (magas hőmérsékletű) redukció által is keletkezhet (Floodgate&Judd, 1992). Utóbbi főleg az 1000 méteres mélységet meghaladó vizekben gyakori. A gáz a teljes üledéknek csak néhány százalékát teszi ki és a pórustérben foglal helyet.

A sekély gázokban lévő metán felszín alatti szerves anyagok bomlása során jön létre. Sekély vizekben ez a gáz többnyire biogén eredetű, metanogén mikroorganizmusok (archaebacteria) termelik oxigénhiányos körülmények között (Floodgate&Judd, 1992). A gáz termelődéséhez és gyors akkumulálódásához ideálisak a finom szemcsés iszapos üledékek, illetve az alacsony szulfát-koncentrációjú, szerves anyagban gazdag területek. Földtani környezetet tekintve a bakteriális metánképződésre a gyorsan süllyedő, hideg vízzel borított, kis geotermikus gradiensű területek alkalmasak (Vető, 1988). A keletkező gázbuborékok tulajdonságait befolyásolja többek között a hőmérséklet, a sótartalom, a nyomás, a mikroorganizmusok biológiai aktivitása és a vízben valamint az üledékben lejátszódó kémiai folyamatok (Baltzer et al., 2005). Ha az üledék nem tudja megtartani a gázbuborékokat, azaz telítetté válik, a víztesten át metán szabadul fel. Utóbbit mechanikai hatások is kiválthatják, például földrengések.

A gázbuborékok az üledékben kis csoportokban lehetnek jelen. A gázzal telített üledék fizikai leírásakor három gázbuborék-típust különböztetünk meg (1. ábra, Anderson et al., 1998):

- a) *pórusközi buborék* (kis méret, teljesen kitölti a pórusközt)
- b) *rezervoár buborék* (nagyobb helyet foglal el a pórustérben, de nem torzítja azt)
- c) *üledék-kiszorító buborék* (nagy méret, torzítja az üledéket)



1. ábra: Az üledéket kitöltő részecskék kapcsolatától függően megkülönböztethető gázszaturáció típusok (Anderson et al., 1998 alapján)

1.2. A biogén gázok jelentősége

A tavak, tengerek üledékeiből szivárgó biogén aktivitáshoz kapcsolódó in situ gázfelhalmozódás lehet természetes (mocsarasodás, természetes feliszapolódás) vagy antropogén eredetű (torkolatoknál, öblöknél előforduló gyári - szerves - hulladékok, kőolaj származékok). A gáz jelenléte és összetétele már önmagában jelezheti a terület környezeti állapotát, mivel az csak bizonyos feltételek mellett képződik és halmozódik fel számottevő mennyiségben. Ennek megfelelően a környezeti monitoring és állapotfelmérés szempontjából is kiemelten fontos a gázos zónák megismerése és térképezése, valamint hogy tudjuk, hogy az egyes azonosított gázjelenségek milyen környezeti állapotról tanúskodnak.

A keletkező gáz ugyanakkor komoly hatással lehet a helyi ökoszisztémára is, megváltoztathatja azt, ha a gázképződés nem a kialakult ökológiai egyensúly része. Például a magas hidrogén-szulfid koncentráció, - ami bakteriális szulfát redukcióból vagy nem biológiai forrásból is származhat - a vizek alján élő aerob szervezetek fejlődését gátolhatja. A tengeri üledékekből származó CH_4 továbbá potenciális forrása a légköri metánnak, amely az

üvegház-gázok csoportjába tartozik. Hatása jelentős, a szivárgás helyének és mennyiségének ismerete a klímaváltozás okainak vizsgálata szempontjából is meghatározó.

A szeizmikus szelvényeken azonosítható geometriák emellett lehetőséget adnak a gáz migrációjának (vándorlásának) és csapdázódásának megfigyelésére is. Ezekből a felszín alatti vízáramlásokra, illetve a szennyezőanyagok csapdázására alkalmas képződmények lehatárolására tehetünk kísérleteket, melyek a tó területén egyébként csak igen nehezen és költségesen megvalósíthatók (nyílt vízen telepített potenciométerek segítségével).

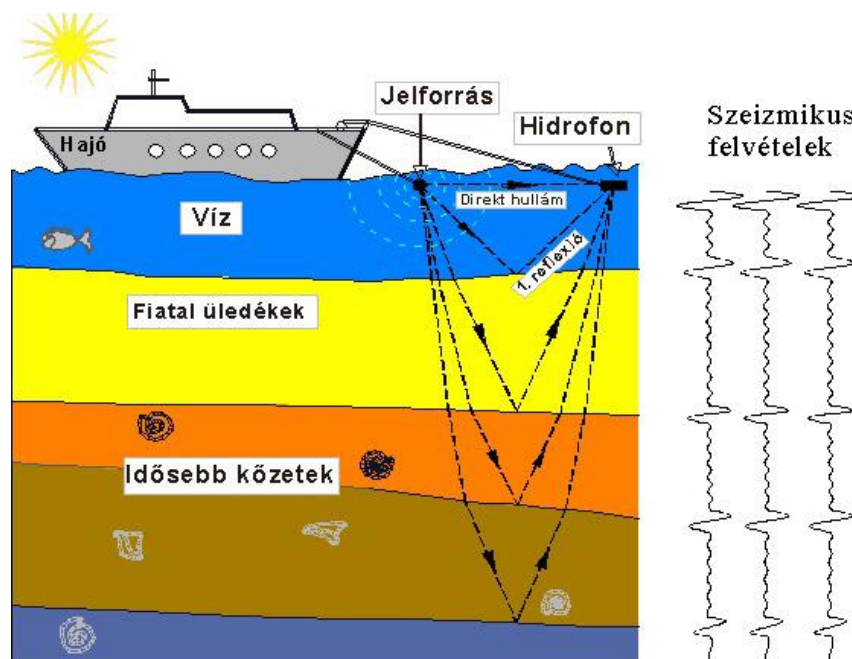
A biogén gázok számottevő részarányban tartalmazhatnak metánt, így jelentős energiaforrást jelenhetnek. Rice (1992) becslése szerint a világ földgáz tartalékainak közel egyötöde anaerob baktériumok által történő szerves anyagok lebontásából ered (García-García et al., 2007). A széleskörű ipari felhasználás miatt is érdemes vizsgálni, mivel a metán a földgáz fő alkotórésze. Főleg fűtésre használják, de fontos vegyipari alapanyag is.

Az ipari gyakorlatban, a tengeri üledékekben a nagy nyomás alatt lévő gázok és eltemetett csatornák jelentenek veszélyforrást. Ezek gondot okozhatnak az offshore területeken folyó termelő/kutató fúrások kivitelezése során, mivel a gázzal telített réteg elérésekor gyors felhajtóerő-változás jelentkezik. Szárazföldön akár robbanásokat, tüzeket is okozhatnak a feltörő gázok. Ilyenkor bekövetkezhet emberi sérülés, számolni kell a berendezések rongálódásával, illetve a környezetben okozott károkkal (például kráter keletkezése). A gázkitöréses baleseteket hosszan elhúzódó, nehezen lebonyolítható kárelhárítási munkák követhetik, mivel a kitörő gáz táplálta láng sokszor nehezen elfojtható.

2. A vízi szeizmika szerepe a sekély gázok kutatásában

2.1. A vízi szeizmikus szelvények

A szeizmikus mérések alapja a mesterségesen gerjesztett rugalmas hullámok visszaverődésének detektálása a kőzetek/üledékek eltérő akusztikus paramétereinek miatt megjelenő réteghatárokról (2. ábra). Visszaverődés olyan határról történik, ahol akusztikus impedanciakontraszt lép fel (az impedancia a réteg sebességének és sűrűségének szorzata), azaz eltérő a határ alatti és feletti rétegek ezen tulajdonsága. A vízi szeizmika előnye a szárazföldi mérésekhez képest, hogy a mérés a hullámzástól eltekintve ideális, vízszintes felületen történik és mind a jelgerjesztés, mind pedig az észlelés homogén, közel rugalmas közegben zajlik (Tóth Zs. et al., 2010). Ezáltal a jelforrás és a vizsgálandó közeg közötti akusztikus csatolás kiváló, így a nagyfrekvenciás hullámok nem nyelődnek el. A vízi szeizmikus módszer a szárazföldi szelvényekhez képest nagy/ultranagy-felbontású (dm-m) leképezést tesz lehetővé. Rezgéskeltésre sűrített levegőt vagy vizet kilövő hidraulikus puskát (air-gun, water-gun), elektromos ívkisülést létrehozó forrást (sparker), vagy indukciós elven működtetett cintányéroszerű eszközt (boomer) alkalmaznak. A mérőeszközt egy műanyag csőben elhelyezett piezoelektromos nyomásérzékelő, ún. hidrofon vagy azok sorozata alkotja (Tóth Zs. et al., 2010).



2. ábra: Egyesatornás vízi szeizmikus mérés vázlata Tóth Zs. et al. (2010) alapján

2.2. Gázindikátorok megjelenése a szeizmikus szelvényeken

Szeizmikus méréseknél, ha a P-hullám (nyomáshullám, longitudinális) sebességének csökkenését detektáljuk, gáz előfordulására gyanakodhatunk. A porozitás és a pórus fluidum telítettsége befolyásolja a hullámok sebességét, így ennek csökkenése sokszor a relatív gáztartalom megnövekedéséhez köthető (Yuan et al., 1992). A porozitás növekedése vízzel, olajjal, gázzal telített pórusok esetén szintén csökkenti a terjedési sebességet. A csökkenés a legkisebb a vízzel, legnagyobb a gázzal kitöltött pórusok esetén (Meskó, 1994).

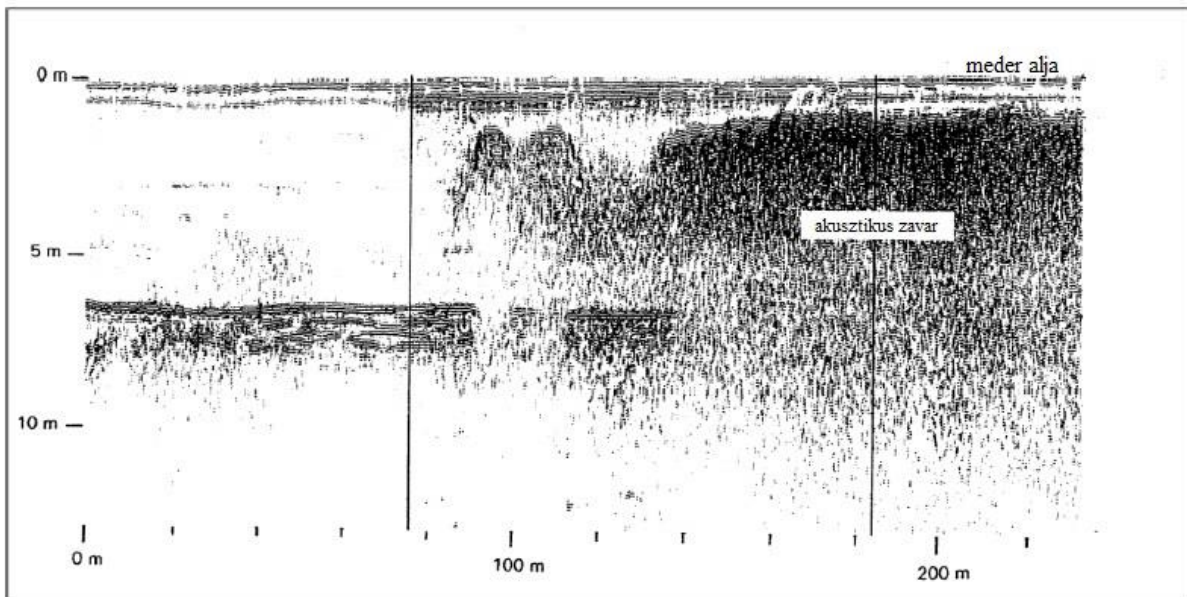
A sekély gáz jelenléte tehát anomáliákat okoz a szeizmikus képen, mivel változik a sűrűség, és/vagy az üledék kompressziós sebessége, tehát az akusztikus impedancia is. Emellett a gázbuborékok a szeizmikus hullám szóródását és elnyelődését is befolyásolják. A leggyakoribb gázjelenség az ún. akusztikus zavar („acoustic turbidity”, Baltzer et al., 2005), ami olyan zónák gyűjtőneve, melyekben részben eltűnnek a szeizmikus reflektorok. A másik gyakori jelenség a kitakarás („blanking”, Baltzer et al., 2005), ahol a szeizmikus reflektorok teljesen eltűnnek. A jel hirtelen megszakadásán túl (amelyet az energia elnyelődése, szóródása vagy szinte teljes visszaverődése okoz) magas amplitúdójú, fordított/reverz polaritású reflektorok, azok visszaverődött és többszöröződött képe (multiples), vagy lefelé hajló (push-down) reflexiók is gyakran megfigyelhetők, mint további gázindikátorok. Ezek külön-külön, vagy együttesen is alkothatják a gáz keltette anomáliát.

2.3. A gázindikátorok típusai

A nemzetközi szakirodalom alapján a vízi szeizmikus szelvényeken azonosítható gázindikációknak a következő típusai figyelhetők meg:

Akusztikus zavar (acoustic turbidity)

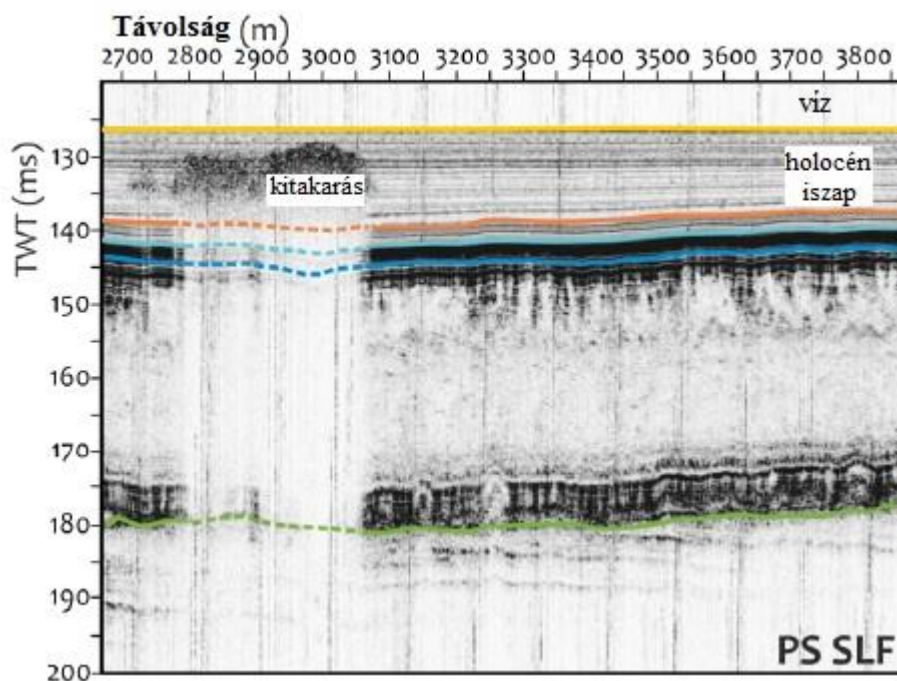
Ezt a fajta szeizmikus mintázatot nagy amplitúdó és magas frekvencia jellemzi, leginkább „sötét” elmosódásra hasonlít (3. ábra). A reflexiók benne kaotikusak, vagy különböző mértékű zajok fedik el őket. Előfordul, hogy halvány, koherens, kis amplitúdójú reflexiók követhetőek lesznek a gázos réteg alatt is, melyek az áthatoló hullám alacsony energiája ellenére is megjelennek (García-Gil et al., 2002). A nagy amplitúdó és a kaotikus textúra a gázbuborékok akusztikus energiaszórásának tulajdonítható (Judd&Hovland, 1992).



3. ábra: Az akusztikus zavar szeizmikus képe Wever et al. (1998) alapján

Kitakarás (blanking)

Kialakulása a jel erős gyengüléséből fakad, amely a gázbuborékok nagymértékű energia abszorpciójának és szóródásának köszönhető. Mélyebbre, az anomáliák alá az adott szeizmikus módszerrel nem lehet belátni (4. ábra). Ezt a jelenséget okozhatja még az



4. ábra: Kitakaró (blanking) zóna Tóth Zs. (2013) alapján

akusztikus energia nagy részének reflexiója egy kemény üledékes rétegről (pl. homoktest, homokkőpad). Ha van, akkor a felső, erős koherens reflexió jelöli ki a gázzal telített rétegfelső határát, a gázfrontot (García-Gil et al., 2002). Megjelenését tekintve lehet pontszerű vagy nagyobb kiterjedésű. A szakirodalomban több típusát is megkülönböztetik, mint például gázfüggöny („gas curtain”), -takaró („blanket”), -oszlop („gas column”), -csóva („plume”), utóbbiakat gázszivárgásokhoz kapcsolják (például Taylor, 1992). A fenti típusokat az alakjuk és kiterjedésük alapján különítik el egymástól. A különbséget a kitakarás és az akusztikus zavar között a felhalmozódott gáz mennyisége határozza meg (Baltzer et al., 2005).

Erősített reflexió (enhanced reflector)

Erősített reflexióként emlegetik azokat a koherens reflexiókat, melyeknek szokatlanul megnövekedett az amplitúdója (Judd & Hovland, 1992). Nem ritka, hogy ezek oldalirányban elnyúlnak és összefüggnek a fentebb leírt zavaros zónákkal. Hasonló a jelenség, mint a mélyebb rétegekben történő kutatáskor megjelenő „bright spot” esetében. A szénhidrogénkutatás ipari gyakorlatában a „bright spot” egy amplitúdó anomáliát jelöl, ami erős akusztikus impedancia kontraszt miatt alakul ki. Oka, hogy a porózus kőzetben feltehetően szénhidrogén található.

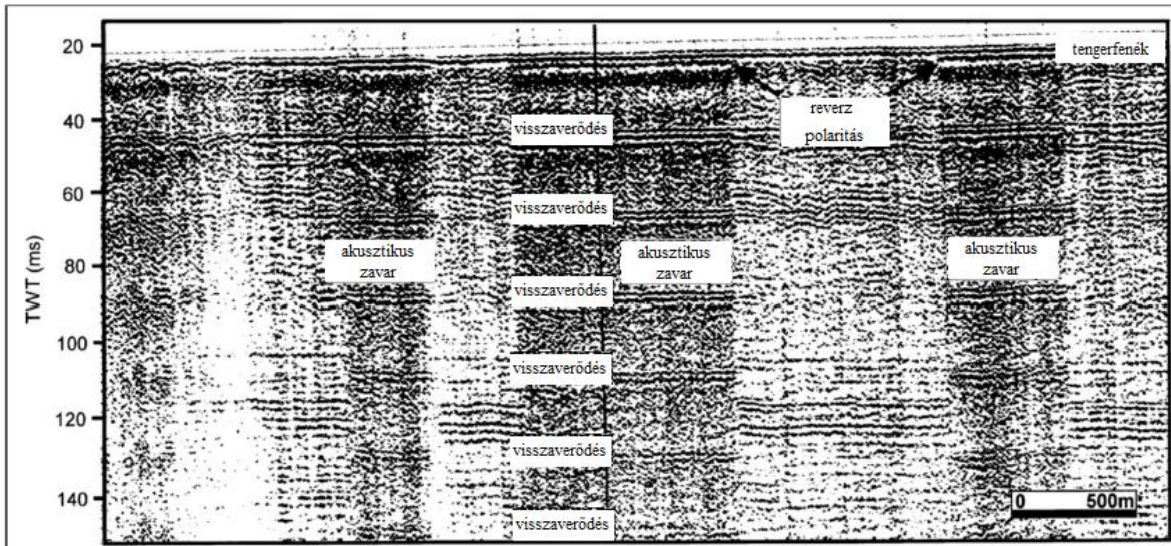
Reverz polaritás (reverse polarity)

A polaritás megadja, hogy az akusztikus impedancia növekszik vagy csökken egy adott határfelületen. Tavak alján növekszik az impedancia, mivel az iszapban nagyobb a sűrűség, mint a vízben, így a tófenék reflexiója pozitív polaritású lesz. A gázos üledéknek kisebb a sűrűsége és benne a P-hullámok sebessége is, így arra nézve csökken az akusztikus impedancia értéke. Ennek köszönhetően a gázos zóna határa negatív polaritású reflexióként fog jelentkezni. A reflektorok fordított polaritása tehát utal a gáz jelenlétére. Ez a jelenség együtt vizsgálándó a többi sekély gáz indikátorral, mint például blanking zónák felsőrétegeinek magas frekvenciás adatai, vagy a többszöröződő visszaverődések.

Többszöröződések (multiples)

Ha az üledékrétegben gáz található, a reflexiók együttható olyan magas lesz, hogy a leképezett reflexiónak számos többszöröse alakul ki (például a tófenékről). A lefelé terjedő akusztikus hullám energiájának nagy része tehát visszaverődik a gázzal telített rétegről, és miközben felfelé terjed, vissza-visszaverődik a víz felszínéről is (5. ábra). A többszörözőket magas amplitúdó és konstans reverz polaritás jellemzi (Tóth Zs., 2013). Két csoportra

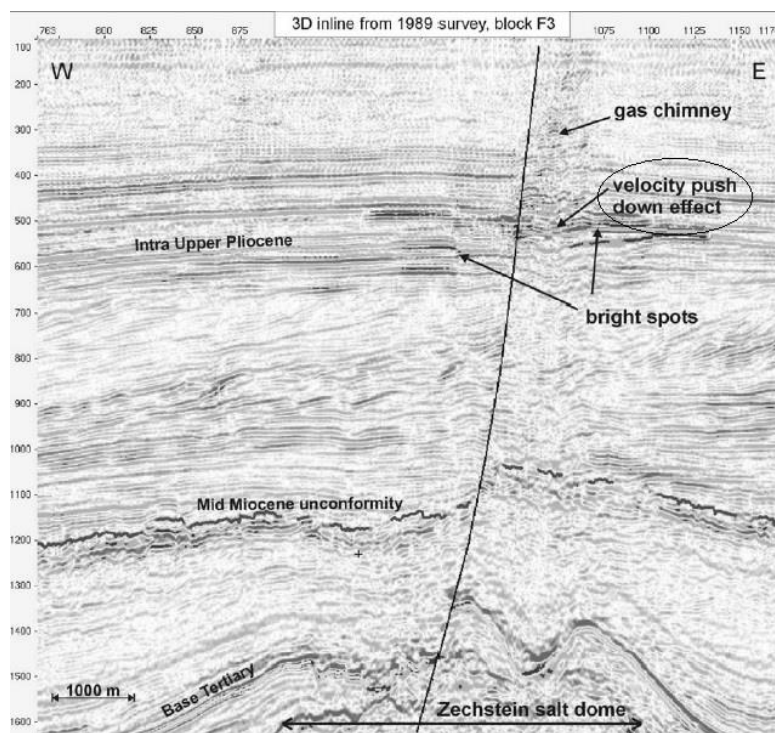
oszthatjuk őket; a rövid utas többszörösökre, melyek rövid szakaszok ismételt befutásával jönnek létre, míg a hosszú utas többszörösökre az jellemző, hogy a hullámok minden reflexió között egyre hosszabb utat tesznek meg (Meskó, 1994). A visszaverődött reflexiók lecsengési üteme további információt adhat a sekély gázok jellegéről.



5. ábra: Példa különféle gázanomáliákra (akusztikus zavar, visszaverődés, reverz polaritás) Missiaen et al. (2002) alapján

Sebességcsökkenés miatti lehajlás (velocity push-down)

A vízszintes reflektorok látszólagos lefelé hajlását takarja a kifejezés (6. ábra).



6. ábra: Sebességcsökkenés miatti lehajlás Schroot&Schüttenhelm (2003) alapján

Kialakulásának oka, hogy a gázzal telített rétegeknek köszönhetően csökken a sebesség az üledékrétegben, így a reflexióknak későbbi beérkezési ideje lesz és mélyebben fognak látszani, mint valójában (ehhez megfelelő vastagságúnak kell lennie a gázos rétegnek). A jelenség gyakran kitakaró zónák szélénél figyelhető meg.

3. Vízi szeizmikus szelvények feldolgozása

Az egycsatornás, ultranagy-felbontású vízi szeizmikus szelvények geológiai értelmezéséhez fontos a körültekintő adatfeldolgozás. Ha a szelvény felvétele szelesebb időjárási körülmények között történt, a későbbi értelmezést különösen megnehezíti például a Balaton hullámszázából adódó zaj. A feldolgozás során a cél a zavaró környezeti, és a műszerből adódó mesterséges hatások eltávolítása. Az alapvető korrekciók elvégzése után van lehetőség a sekély gázok vizsgálatára is. A szokásos feldolgozás az amplitúdó erősítés, sávszűrés, hullámtalanítás, dekonvolúció és migráció lépéseiből állnak, melynek elvégzésére a ProMAX2003 programot használtam.

3.1. Általános lépések

Amplitúdó visszaállítása

A művelet célkitűzése olyan korrekciókat alkalmazni, hogy a korrigált csatornán a reflexiók amplitúdóinak viszonya jól közelítse a megfelelő reflexiós együttthatók viszonyát (Meskó, 1994). A teljesség igénye nélkül az alábbi tényezők a legfontosabbak, amelyek befolyásolják az amplitúdókat:

- a gömbi szóródás
- az energia elnyelődése a terjedés során (a nem tökéletesen rugalmas viselkedés következménye)
- az energia szóródása (kisméretű inhomogenitások következménye)
- a többszörösök keletkezése
- a reflektáló felület görbülete, visszaverő tulajdonságai

A gömbi szóródás azt jelenti, hogy végtelen, homogén, izotróp közegben a rugalmas hullám energiája az idő múlásával és a hullám előrehaladásával egyre nagyobb gömbfelületen oszlik meg (pontforrás esetén). Rétegzett közegben az energia az amplitúdó négyzetével arányos, így a távolsággal arányosan csökken az amplitúdó (1. és 2. összefüggés).

$$A \sim \frac{1}{v_{RMS}^2(t) \cdot t}$$

(1)

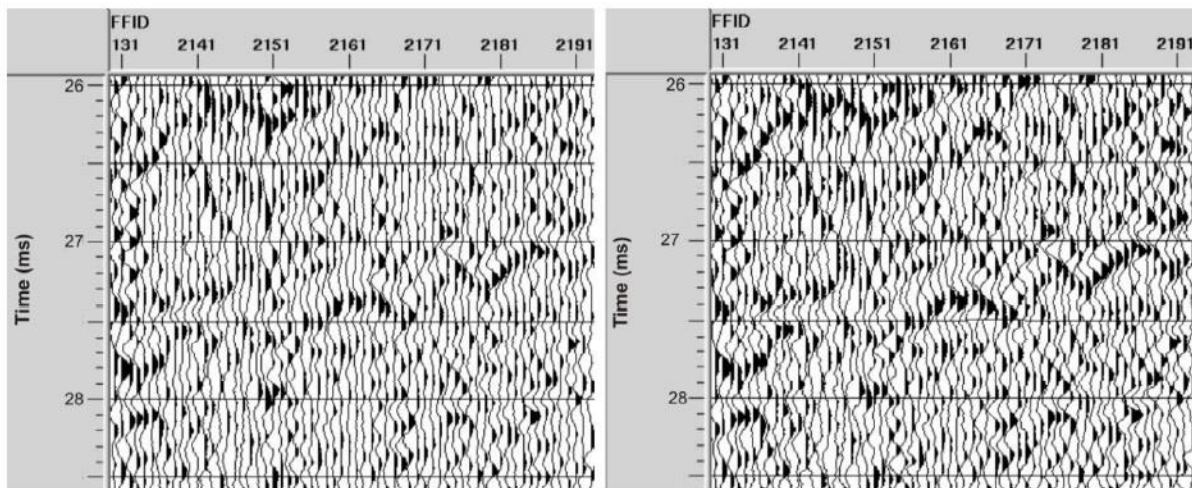
$$v_{RMS}^2 = \frac{\sum v_i^2 t_i}{\sum t_i}$$

(2)

Az adott rétegben a v_i a hullám terjedési sebessége, a t_i pedig a benne töltött időt jelenti. Ezt az amplitúdó csökkenést a gömbi szóródás inverzével történő erősítéssel lehet korrigálni.

A gyakorlatban kétféle amplitúdó erősítést szokás alkalmazni, a TAR-t (True Amplitude Recovery), illetve az AGC-t (Automatic Gain Control). Előbbi a valódi amplitúdó visszaállítását jelenti, míg utóbbi egy amplitúdófüggő erősítés. TAR-t akkor alkalmazunk, ha rendelkezésünkre áll egy megfelelő sebességtér, ami leírja a rétegbeli sebességeket az adott szelvény mentén. Ez egyet jelent a gömbi szóródás korrekcióval, amely tehát egy sebességtől és időtől függő erősítő függvényt alkalmaz az egyes csatornákon.

Az AGC ezzel szemben egy adott hosszúságú időkapu megválasztása után kiszámítja az amplitúdók négyzetes átlagát, és az erősítést ennek függvényében végzi el (Yilmaz, 1997). Ezzel az eredeti információk elvesznek, de az amplitúdók jobban követhetővé válnak (7. ábra).

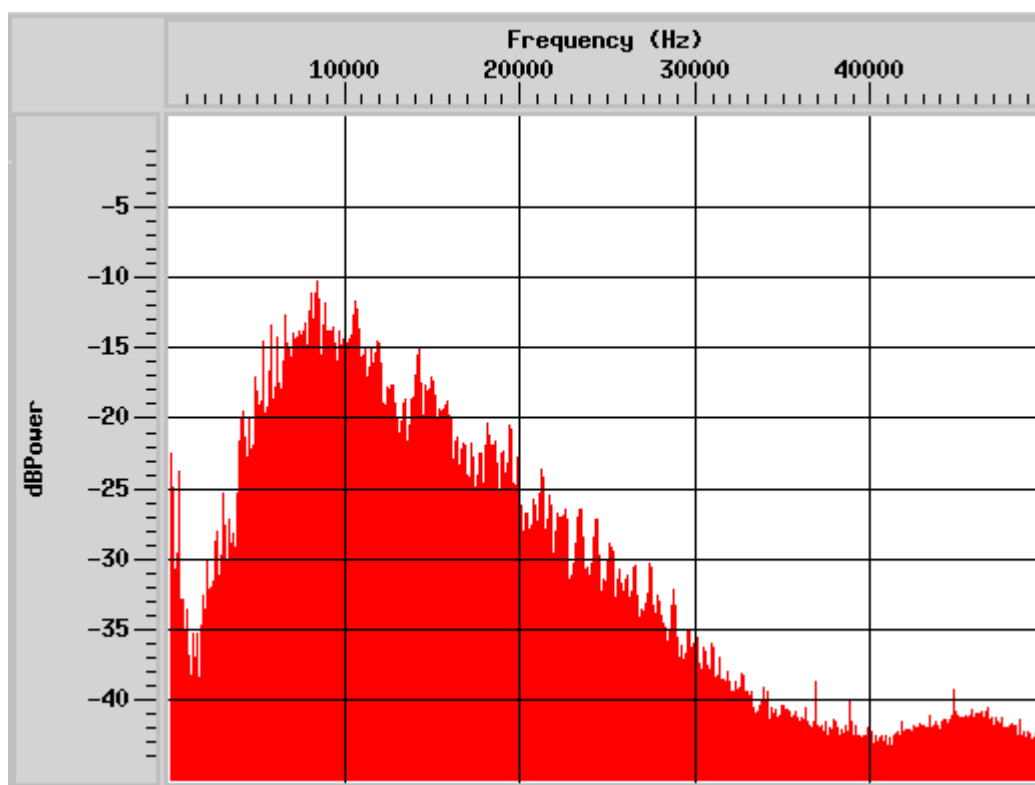


7. ábra: Mintaszelvény amplitúdó-erősítés előtt és után Balázs (2011) nyomán

Sávszűrés

Mielőtt sávszűrést alkalmaznánk a szelvényen, spektrum analízist kell elvégeznünk, hogy megállapíthassuk, mi a számunkra hasznos frekvenciatartomány (8. ábra). Az általam vizsgált szelvényeknél a maximum értékek a skálán 4-9 kHz közt voltak megtalálhatóak, ami összhangban van az ultranagy-felbontású szelvényeknél szokásos értékkel. A balatoni

felmérések során legtöbbször alkalmazott egyetemi eszköz egy kanadai fejlesztésű műszer (IKB-SeistecTM), amely 1–10 kHz frekvenciatartományú jelével sekély behatolást (20–60 m) és ultranagy-felbontást (10–20 cm) biztosít (Tóth Zs. et al., 2010). Az alacsony frekvenciatartományban látható lokális maximum megjelenésének oka (8. ábra), hogy az alkalmazott boomer forrás minden egyes gerjesztéskor nem csak a vízoszlop gyorsításával indít akusztikus hullámokat, hanem ezek ellenerejeként megrázza az IKB-SeistecTM vázát is. Ez a rázkódás alacsony frekvenciás sajátrezgésként jelentkezik a felvételen (Tóth T., 2003), melynek zavaró jelét utófeldolgozással el kell távolítani.

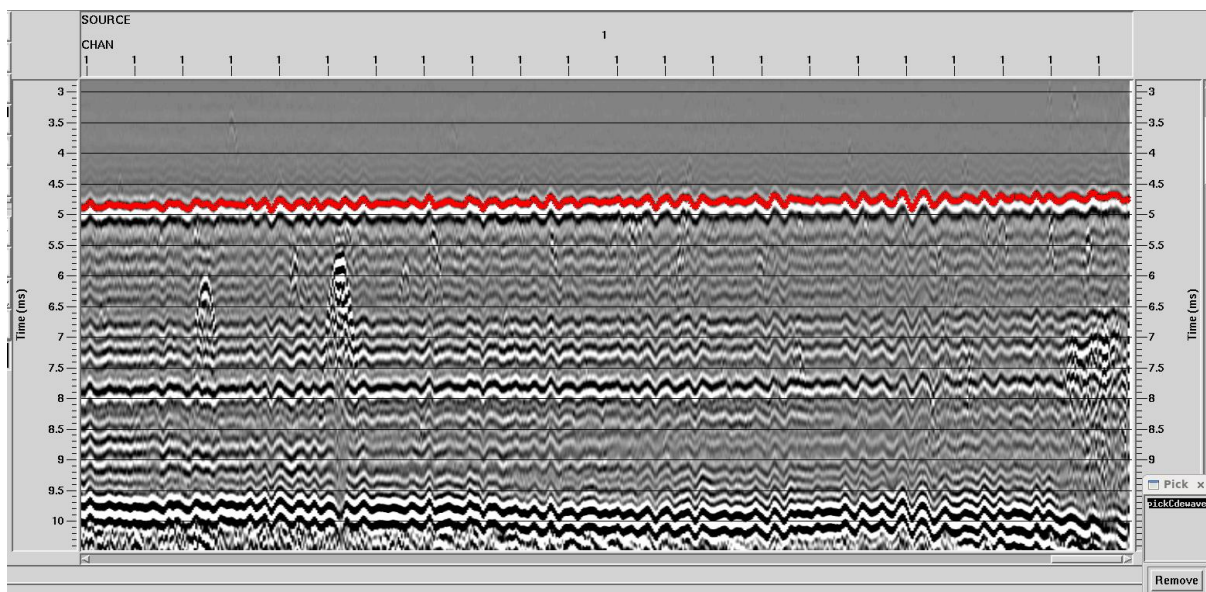


8. ábra: Egy jellegzetes balatoni szeizmikus szelvény spektruma dBel skálán

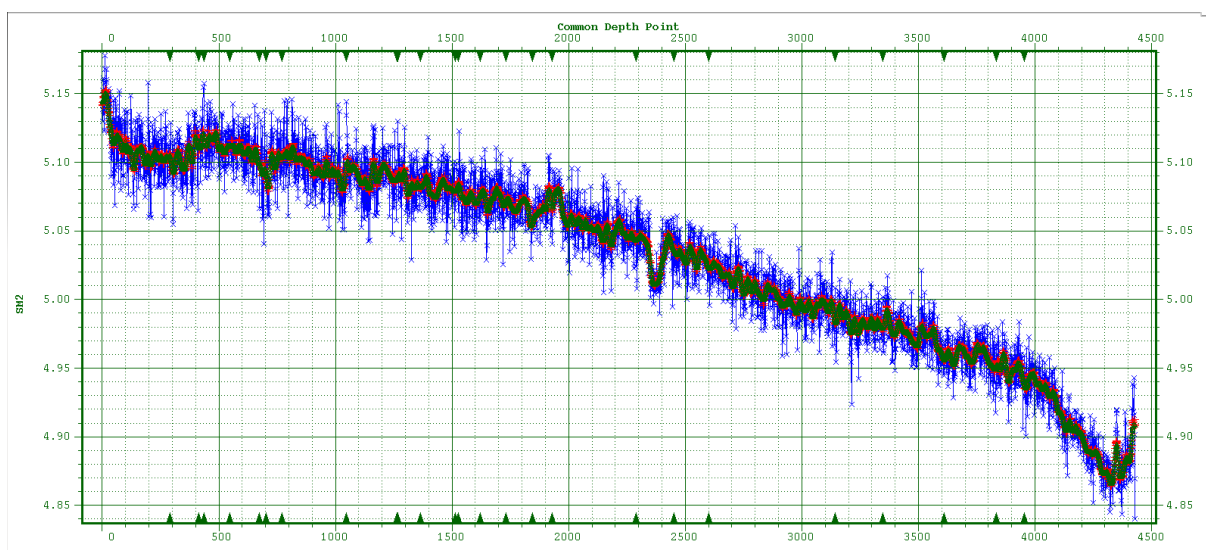
A hasznos tartomány megállapítása után, egy Ormsby sávszűrőt alkalmazva a szelvény négy frekvenciaérték (a-b-c-d) alapján szűrhető. A szűrő az első megadott frekvencia alatt az értékeket lenullázza, a második értékig lineárisan erősíti, és a két középső érték közti tartományt meghagyja. A harmadik értéktől a negyededikig lineáris csökkentést eszközöl, míg az utolsó szűrőparaméter után a frekvenciatartományon belül szintén lenulláz. Az ilyen típusú trapéz szűrőkre azért van szükség, mert egy négyszög-szűrő használatával, mikor csak két paramétert adunk meg (alul- és felülvágó szűrő egyszerre, mely két érték között meghagyja a frekvenciaértékeket), a megadott értékeknél éles változás következne be, így nem reális szeizmikus képet kapnánk.

Hullámtalanítás

A szeizmikus felvételek feldolgozásakor sokszor korrigálni kell a környezeti tényezőkből adódó zajhatásokat is. A Balatonnál ez főleg a víz hullámozását jelenti. Eltávolításához olyan horizontot kell kijelölnünk, ahol nem várunk kis hullámhosszúságú változásokat. Ez esetben a mederfenék reflexiója adja az ideális felszínt (9. ábra). A korrekció során ezt kell kijelölni a szelvényeken, majd kiexportálni egy adatbázisba. Az adatbázis alapján a programon belül elvégezhető egy futóátlagolás, majd az eredeti adatsorból kivonva az átlagolt értéket megkaphatjuk, hogy mekkora időbeli eltolásokat okozott a víz hullámozása (10. ábra). A kapott



9. ábra: Balatoni szeizmikus szelvény részlete, melyen jól kivehető a víz hullámozásának hatása (piros vonal) a meder aljának reflexióján, ami láthatóan a többi reflexión azonos módon jelentkezik



10. ábra: A 9. ábrán látható szelvény mederfenék horizontja (kék) és a rajta elvégzett simítások (piros, zöld), melyek alapján a korrekciót számoljuk

érték szerint statikus tolást hajtunk végre minden egyes csatornán, ezzel megszüntetve a hullámmásolási hatását.

F-X dekonvolúció

Ezzel a lépéssel a véletlen zajok csökkentését lehet elérni, így növelve a jel/zaj arányt. A korrekció során először az idő-távolság teret frekvencia-távolsággá alakítjuk Fourier-transzformáció alkalmazásával. Ezután egy komplex prediktív szűrővel próbáljuk „megjósolni” az egyes csatornák spektrumát. Ennek alapja, hogy a hasznos jel a közeli csatornák adataiból megjósolható, ám a véletlenszerű zaj értelemszerűen nem. Az eredeti és a jósolt értékek közti eltérés zajnak tekinthetjük, azokat a szűrővel eltávolítjuk (Yilmaz, 1997).

Migráció

Migráció elvégzése akkor szükséges, ha a leképezett rétegek jelentősen dőlnek, vagy oldalirányban nagy változékonyságot mutatnak, illetve ha a szelvényen feltűnnek diffrakciós hiperbolák. Utóbbit a szeizmikus leképezés szempontjából pontszerű objektumok és rétegelvégződések okozhatják. A migrációval ezeket a jelenségeket korrigálva növelhetjük a horizontális felbontóképességet és visszaállíthatjuk a valós dőlési viszonyokat. Megfelelően elvégzett migráció után reális geometriájú képet kapunk, ha a laterális sebességváltozások nem számottevőek. Mivel esetünkben a mérés két dimenzióban zajlott, itt csupán a szelvény irányába eső döléseket tudjuk figyelembe venni (Yilmaz, 1997).

3.2. Szeizmikus adatok feldolgozása sekély gázok vizsgálatához

Az amplitúdó korrekcióknál az AGC-vel történő erősítés után az eredeti információk elvesznek, így ennek alkalmazása jelen tanulmány esetén kizárandó. Sekély gázok detektálásánál szükség van az eredeti amplitúdóviszonyok ismeretére, mivel ezek az adatok utalhatnak gáz jelenlétére (Baltzer et al., 2005). Ennek ellenére a gömbi szóródás okozta veszteséget ekkor is célszerű figyelembe venni, hogy a különböző mélységben jelentkező helyezkedő gázjelenségeket együttesen tudjuk kezelni. Erre alkalmas a TAR használata, amelyet megfelelő sebességtér hiányában, az adott rétegekre jellemző átlagértékek alapján végeztem el. A víz esetében a sebességet 1500 m/s, a holocén iszap rétegében 1600 m/s, a pannon rétegekben 2000 m/s-nak vettem. Ahol az iszap és a pannon rétegek közt megjelent egy keskeny pleisztocén mederüledék réteg is, ott 1800 m/s átlagsebességet adtam meg.

Sávszűrésnél a frekvenciatartomány felső határát nagyon körültekintően kellett megválasztanom, mivel több sekély gáz indikátor is nagy frekvenciás értékkel jellemzett. A szűrő alsó paramétereit úgy választottam meg, hogy a korábban tárgyalt alacsony frekvenciatartományban megjelenő lokális maximum eltűnjön. az alkalmazott szűrő az 500 Hz alatti értékeket levágta, és pár ezer Hz-ig lineárisan kiegyenlítette a frekvenciaértékeket. A felső határokat általában 10 és 15 kHz közti tartományokra adtam meg, minden szelvényre specifikusan.

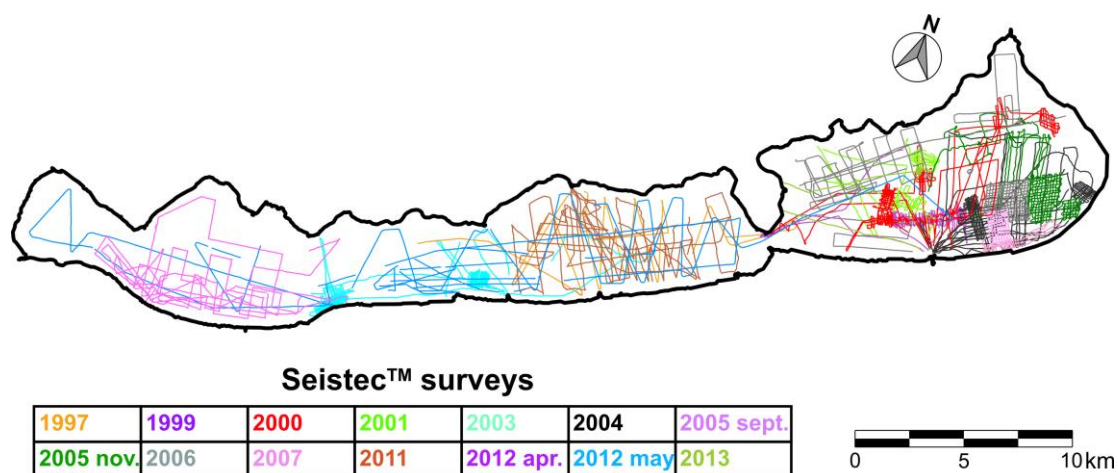
A hullámváz hatásának korrekcióját természetesen mindegyik szelvényen elvégeztem a geometriai viszonyok jobb feltárása érdekében.

F-X dekonvolúció alkalmazását végül nem igényelték az általam vizsgált szelvények, ugyanis az eljárás nem javította a jel/zaj arányt, ellenben rontotta a spektrumot és újabb sávszűrés után sem lettek jobbak az eredmények.

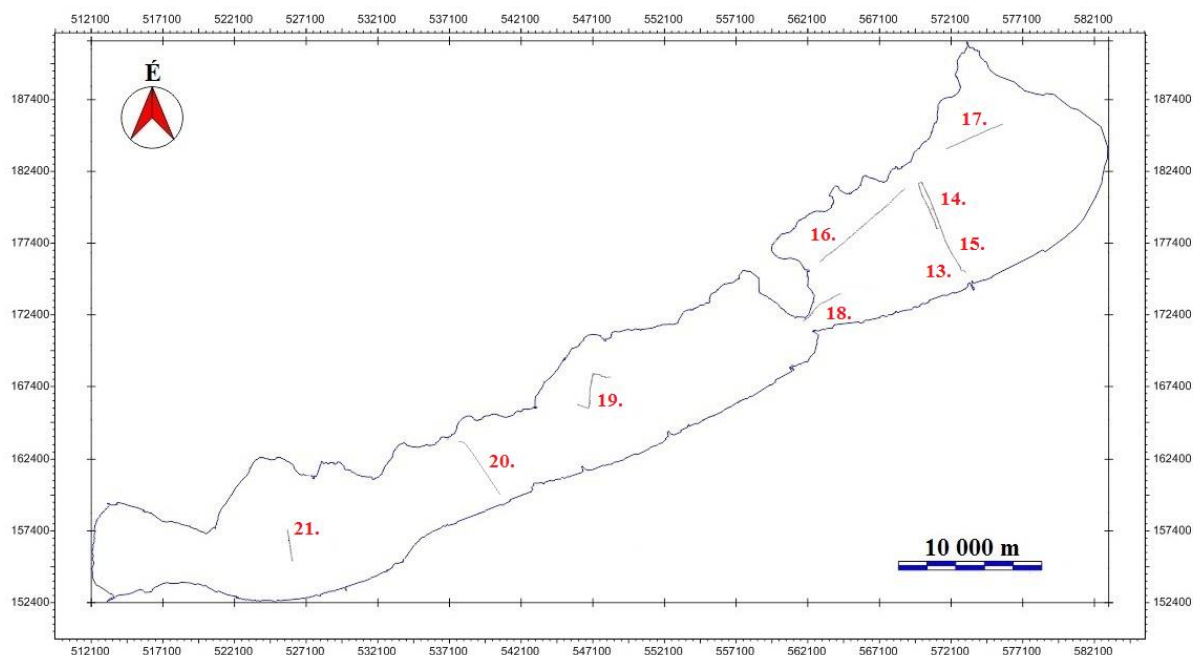
A balatoni rétegek dőlése nem haladja meg a néhány fokot, ezért csak diffrakciós hiperbolák jelenléténél van szükség a migrációra. Esetünkben a pontszerű gázoknál, valamint a gázreflektorok szélénél volt erre példa. Mivel jelen tanulmányban ezek a hiperbolák hasznos információt jelentenek, így ezt a lépést sem végeztem el.

4. A balatoni sekély gázok jellemzése

A szelvények feldolgozása után az volt a célom, hogy a Balaton esetében megjelenő gáz eredetű szeizmikus anomáliákat bizonyos szempontok alapján csoportokba tudjam sorolni. Balázs et al. (2013) alapján elmondható, hogy a tó iszaprétegének gáztelítettsége területileg igen változékony. A medence nyugati részén, illetve a Balaton északi partjaihoz közelebb is több gázos területet találunk. Az elkövetkezőkben a korábban már megnevezett irodalmi példákat követve mutatom be a balatoni gázjelenségeket, és alakjuk, mélységük, kiterjedésük, illetve határoló felületeik alapján jellemzem azokat. Mivel korábban a Balatonon számos egycsatornás mérést végeztek, rengeteg adat állt a rendelkezésemre, amelyet a 11. ábra is igazol. A szelvények egy részét sikerült csupán feldolgoznom és ezek közül is csak a jól azonosítható, látványos gázanomáliákat mutató szelvényeket használtam fel. A feldolgozott szelvények földrajzi elhelyezkedése a 12. ábrán látható.



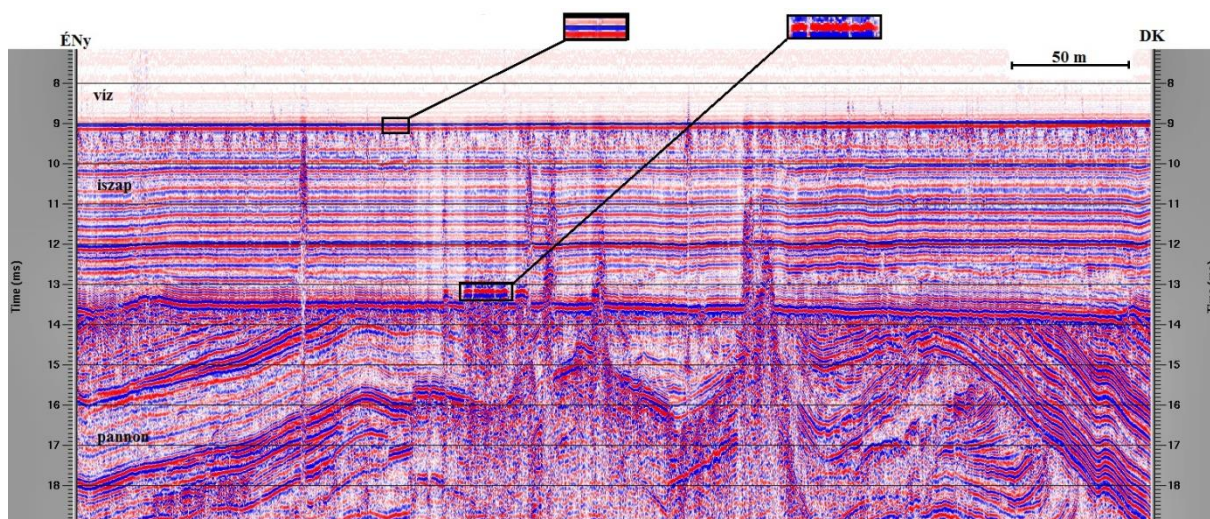
11. ábra: Egycsatornás szeizmikus mérések a Balatonon 1997 és 2013 között



11. ábra: A feldolgozott vízi szeizmikus szelvények földrajzi elhelyezkedése az ábrájuk számával megjelölve

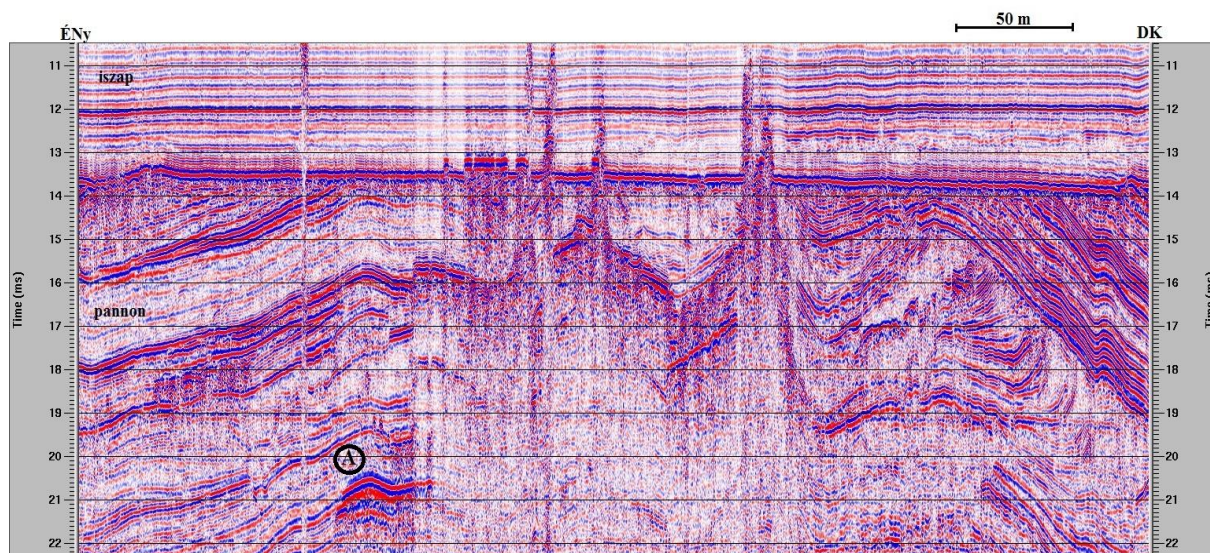
4.1. Megfigyelt gázjelenségek

Mint az irodalomban látott példánál is, a balatoni gázindikátoroknak is alapvető tulajdonsága a reverz polaritás. Mivel elsősorban ebből következtethetünk sekély gáz jelenlétére, ez a tulajdonság az összes általam bemutatott anomáliánál is megmutatkozik. A vizsgálatokkor minden esetben a tómeder alját vettem alapdefiníció szerint normál polaritású reflektornak, és ezt hasonlítottam össze a gáznak tulajdonított erősített reflexiókkal. A módszer lényege szemléletesen látszik a 13. ábrán bemutatott szelvényen, ahol az iszap alján azonosított határozott határfelületű akusztikus zavar polaritása ellenkező lesz.



13. ábra: Vízi szeizmikus szelvény részlet Alsóörsről délkeletre. A mederfenék normál polaritású reflexiója gázos zónáknál előjelet vált

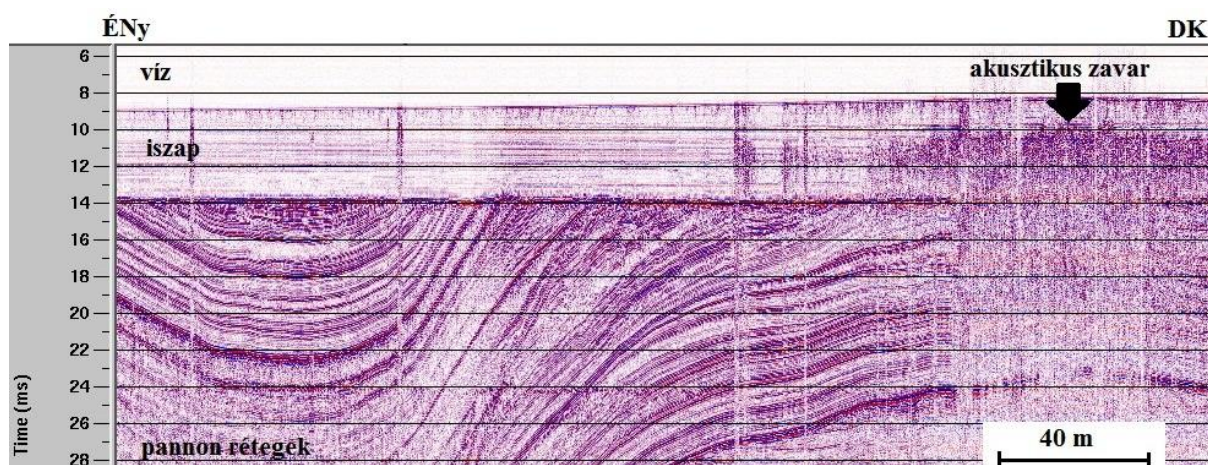
A legtöbb szelvénynél a gáz az iszapban jelentkezett, annak alsó, középső vagy felső rétegeiben. Megjelentek néhol a pleisztocén mederüledékekben, sőt a mélyebben található rétegekben is azonosíthatók anomáliák. Ha az előző szelvénynek egy másik részletét nézzük, feltűnik a pannon rétegben is egy erősített reflektor (14. ábra, A-val jelölve), jól látható fordított polaritással.



12. ábra: Vízi szeizmikus szelvény Alsóörsről délkeletre. Megjelenik a pannon rétegben egy erősített reflektor (A). A pannonban lévő gázok úgy tűnik, kapcsolatban állhatnak az iszapban lévő gázzal

Az akusztikus zavar számos szelvényen nyomon követhető volt (15. ábra). Általánosságban elmondható, hogy ekkor a felső határoló felület nem élesen kivehető, diffúz

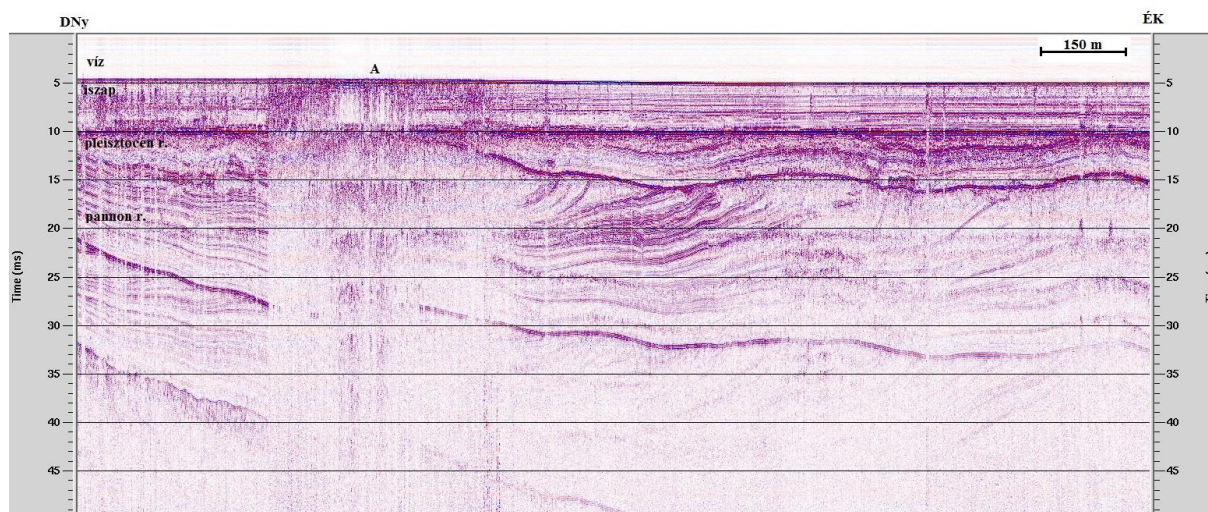
jelleget mutat, a reflexiók pedig alig vagy egyáltalán nem követhetők ebben a tartományban. Előfordulnak pontszerű zavarok, illetve néhány tíz métertől pár száz méterig kiterjedő zavar zónák az azonosítás helyétől függően.



13. ábra: Vízi szeizmikus szelvény Alsóörstől délkeletre, amin 60-80 m széles akusztikus zavar azonosítható, ami ÉNy felé fokozatosan eltűnik. A szelvény ÉNy részén pontszerű gázindikációk is megjelennek

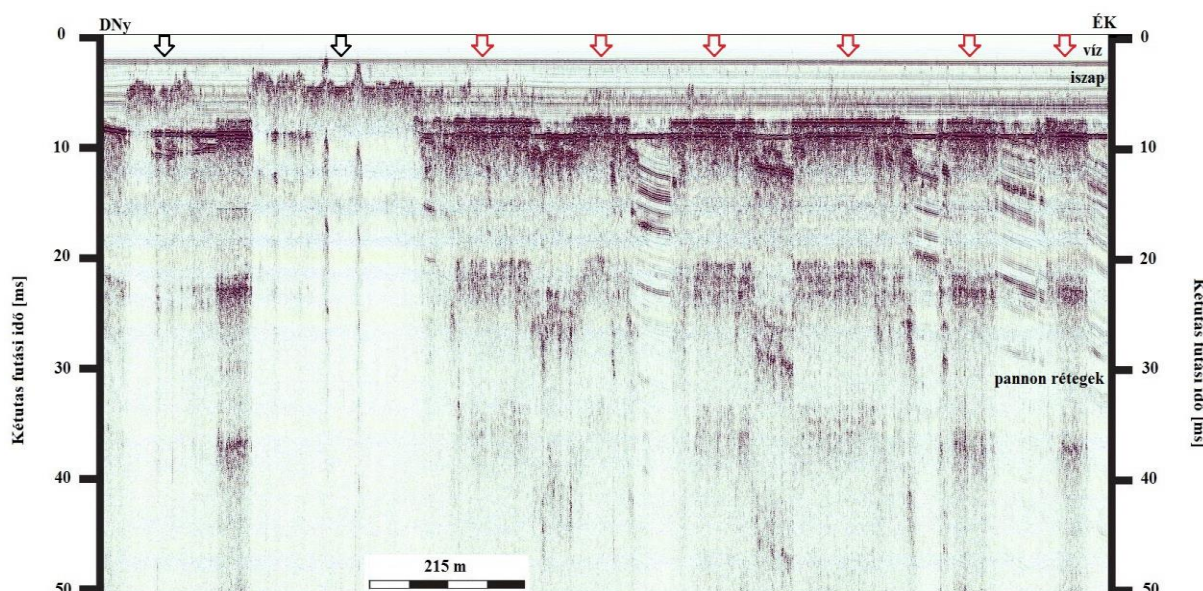
A kitakaró (blanking) zónák megjelenése is igen változatos. Főleg a holocén iszap rétegben tűnnek fel. Lehetnek pontszerűek vagy nagyobb kiterjedésűek. Függönyről akkor beszélünk, ha 100 és 500 méter közti a kiterjedés, míg a takaró kifejezést akkor, ha az 500 métert meghaladja (Baltzer et al., 2005). A kitakaró (blanking) zónák teteje általában egy erős reflexióként tűnik fel, ez főleg a nagyobb kiterjedésűekre igaz. Pontszerű kitakarásoknál a felső határfelület sokszor diffrakciós hiperbolaként jelentkezik. Takarók a Balaton esetében a keleti medencékben a partmenti sávban fordulnak elő. A tó nyugati felében a gázok takaró hatása kiterjedtebb, a mélyebb rétegek leképeződése a déli rész egyharmadára korlátozódik.

A 16. ábrán jól kivehető egy függöny méretű kitakarás (a kiterjedés jelen esetben a szelvény mentén értendő). Maga a gáz az iszap felső részében található, alatta a reflexiók kevésbé kivehetőek. A gázos zóna DNy részén a kitakarás teljes (fehér sáv).



14. ábra: Vízi szeizmikus szelvény Tihanytól északkeletre, a partvonallal párhuzamosan, függöny méretű kitakarás látható (A), mely ÉK felé fokozatosan zavarzónába megy át. A gáz fizikai paramétereiben változás mutatkozik, mivel kizárólag a gázos zóna közepén figyelhetők meg az egyre gyengülő többszörösök

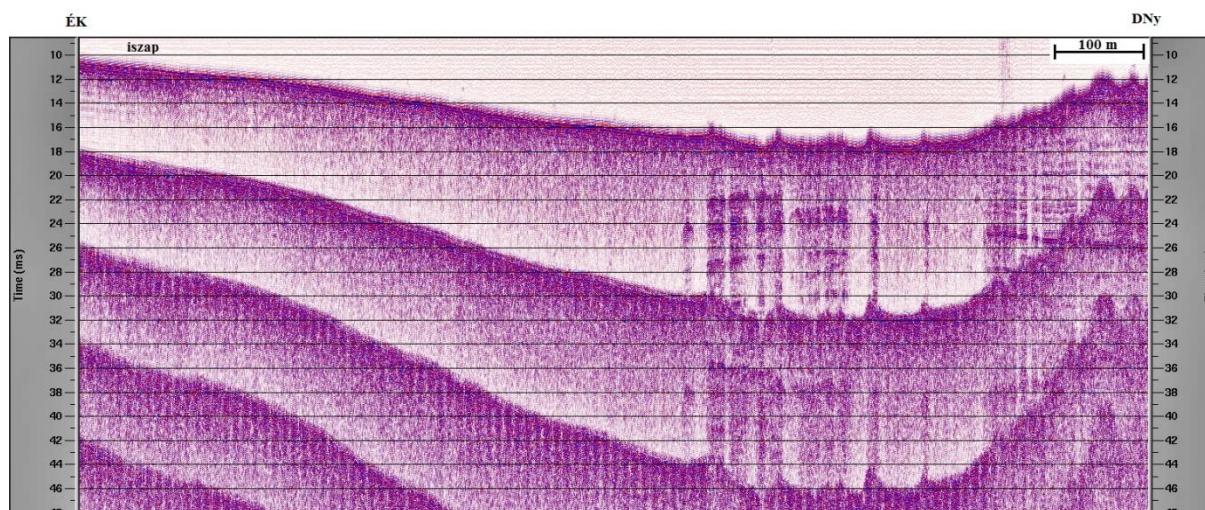
A 17. ábrán kivehető a kitakaró jelenségnek két típusa is. Az iszap réteg alsó részében néhány éles reflektorokkal határolt kitakaró zóna, amelyhez többszöröződések társulnak. Megfigyelhető, hogy a visszaverődött reflexióknak az erőssége eltérő. Ezen kívül a középső részen egy diffúz határfelületű akusztikus zavar és kitakarás átmenete is látható, néhol teljes a kitakarás, néhol láthatóvá válnak a reflexiók.



15. ábra: Vízi szeizmikus szelvény Balatonalmádítól délre. A szelvényen az iszapbázis környezetében látható néhány gázreflektor többszöröződése (piros nyíl), illetve egy kisebb és egy nagyobb kiterjedésű kitakarás és zavarzóna átmenete (fekete nyíl)

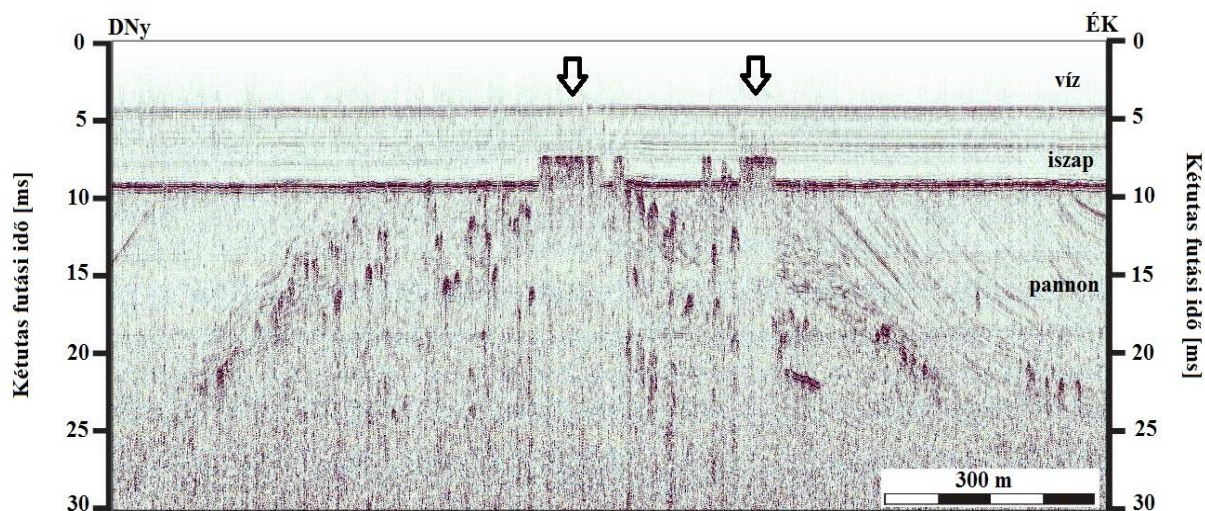
A partközeli sávban valamint a Tihany-kútban igen jellemző a gázos rétegek erős reflexióinak intenzív többszöröződése. Ezeknél a helyeknél az ilyen jellegű többszöröződések

nagy mennyiségű gázra engednek következtetni, ekkor ugyanis olyan magas lesz a reflexiók együtttható, hogy az akusztikus hullám folyamatosan visszaverődik például a meder aljáról (18. ábra). A Balatonnál akár pontszerű (13. és 14. ábra) vagy nagyobb kiterjedésű kitakarásoknál is előfordulnak többszöröződések (18. ábra). A visszaverődött reflexiók erőssége eltérőek, a különböző gázzal telített rétegek ugyanis befolyásolhatják a lecsengés ütemét.



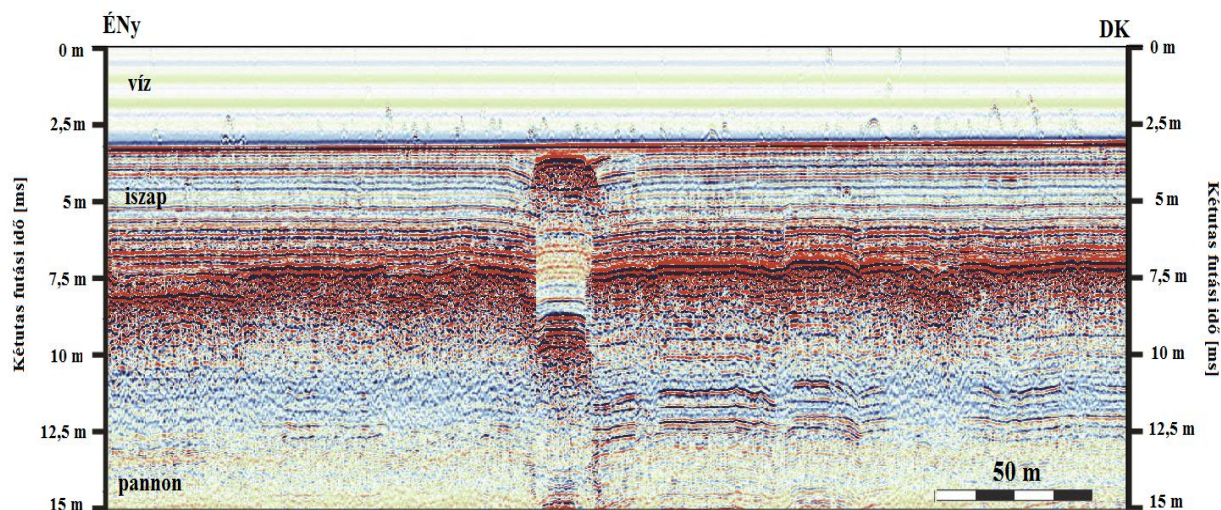
16. ábra: Vízi szeizmikus szelvény a Tihany-kúton keresztül, melyen a mederfenék reflexiójának többszörösei láthatók, az ÉK részen teljes a kitakarás, míg DNy felé ennek mértéke változó

A 19. ábrán látható szelvényen azonosíthatók gázjelenlétre utaló pontszerű anomáliák a pannon rétegekben. Ezek közül néhány látszólag az iszap alsó részében kijelölhető éles határfelületű kitakaró zavarzónákhoz futnak ki, és feltehetően kapcsolatban állnak azokkal. Ez egyfajta gázutánpótlásra utalhat. Abból pedig, hogy a pannonban is megjelennek gázindikátorok, felszín alatti vízáramlásokra következtetünk, tehát feltehetően a savanyúvizekből származó szén-dioxid gázbuborékok migrálódni tudtak.



17. ábra: Vízi szeizmikus szelvény Révfülöptől keletre. Az iszap alsó részében látható gázanomáliák (fekete nyilak) feltehetően a pannon rétegekben pontszerű gázindikációkkal áll kapcsolatban

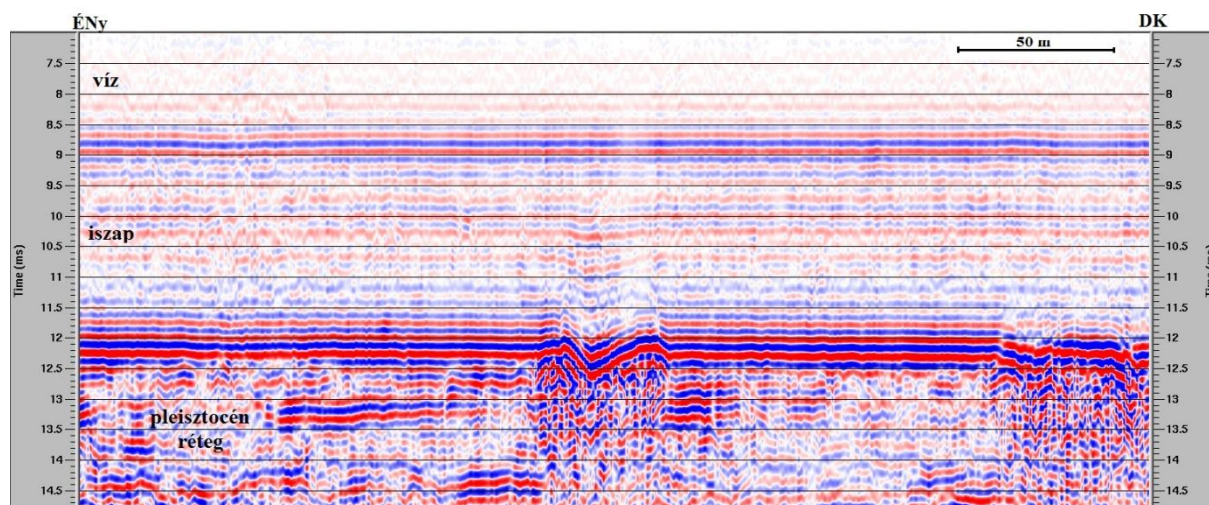
Találhatunk példát a balatoni szelvények között is sebességcsökkenés miatti lehajlásra. A 20. ábrán jól láthatunk az iszap felső részében egy reverz polaritású kitakaró zóna, amelynek megjelennek a többszörösei is. A szakirodalmi definíció szerinti reflektorlehajlások valóban jól kivehetőek a jelenség szélénél.



20. ábra: Vízi szeizmikus szelvényrészlet Badacsonytomajtól délnyugatra. A képen a sebességcsökkenés miatti lehajlás jelensége látható

Nem olyan jellegzetes, de felfedezhető pár szelvényen gázok okozta üledékrogyás is (21. ábra). Ez egy kis kiterjedésű, jól kivehető változás a reflexióban, és elmondható, hogy környezetében semmi nem indokolja az ilyen jellegű elváltozást, ezért azt a gáz hatásának tulajdonítjuk az alatta megjelenő kaotikus zónával együtt. A 21. ábrán megjelenő gázindikátor

a Balaton keleti és nyugati medencéiben is azonosítható, és kivétel nélkül a tavi iszap bázisához kapcsolódik.



218. ábra: Vízi szeizmikus szelvény részlet Balatonmárfürdőtől északra, a megnövekedett gáztartalom miatt az üledék beroskadt

4.2. A gázjelenségek csoportosítása

Munkám alapján elmondható, hogy az irodalmi indikációs formák szinte mindegyike a Balaton esetében is megjelenik a szeizmikus felvételeken. Az illusztrált példák alapján kézenfekvő, hogy azok a tulajdonságok, amelyek alapján a balatoni vízi szeizmikus szelvények anomáliáit csoportosítani kívántam, átfedik egymást.

Mindegyik jelenség alaptulajdonsága a fordított polaritás, de a gázjelenségek a Balaton alatti üledékek különböző rétegeiben megtalálhatóak voltak. Bemutattam pontszerű és nagy laterális kiterjedésű anomáliákat is, eltérő mélységekben. Megemlítettem a különböző határoló felületek jellegéből adódó eltéréseket, és hogy ezek milyen árnyékoló hatáshoz kapcsolódnak. Szót ejtettem a többszörös visszaverődésekről is. Egyedi esetekre is hoztam példát, a szelvényeket pedig a tó különböző részeiről igyekeztem összeválogatni. Mindezen információk alapján egy táblázatot állítottam össze (22. ábra), hogy a későbbiek folyamán támpontot adjon a balatoni sekély gázok osztályozásához. Több csoport kialakítható a táblázat és a bemutatott szelvények alapján, melyek közül néhány kiemelten jellemző a Balaton esetében. Ilyen például az iszap felső részében megjelenő pontszerű gázanomália (14. ábra) vagy az iszapréteg közepén mutatkozó diffúz határfelületű akusztikus zavar is (15. ábra). Utóbbinál néhol előfordul, hogy fokozatosan átmegy kitakaró zónába (16. ábra). Az iszapbázis környezetében előfordulnak éles határfelületű kitakarások (17. ábra), amelyeknek megjelenhetnek többszöröződései is (18. ábra). A pannon rétegben is láthatunk (19. ábra), vagy az iszap középső részében megjelenő, diffúz felületű, függöny méretű akusztikus zavar (13. ábra).

Sekély gázok a Balatonban

Általános tulajdonság	reverz polaritás				
Befoglaló réteg	iszap			pleisztocén mederüledék	pannon réteg
	alsó	középső	felső		
Kiterjedés	pontszerű	függöny (100-500 m) ¹		takaró (>500 m) ¹	
Felső határfelület	nincs		diffúz		reflektor
Árnyékoló hatás	kitakarás			zavar	
Többszöröződés	nincs		rövid idejű lecsengés		hosszú idejű lecsengés
Egyéb jelenségek	sebességcsökkenés miatti lehajlás			üledékrogyás	
	Pannon rétegből feljövő gáz lehetősége				

¹ Baltzer et al., 2005 alapján

19. ábra: Balatoni gázok csoportosításának szempontjai

5. Összefoglalás

A munkám során a célom az volt, hogy rendszerezem és megvizsgáljam a balatoni sekély gázjelenségeket szeizmikus képük és akusztikus tulajdonságaik alapján. Dolgozatomban először általános képet adtam a sekély gázokról, valamint a vízi szeizmikus felvételezésről a nemzetközi és hazai irodalom alapján, majd ismertettem a vízi szeizmikus feldolgozás alapvető lépéseit. A bemutatott szelvények feldolgozását magam végeztem el, hogy a vizsgált gázjelenségek jól azonosíthatóak, és ezáltal csoportosíthatóak legyenek.

A szeizmikus szelvények pontosabb értelmezése mellett, a sekély gázok vizsgálata a Balaton ökológiai állapotának szempontjából is igen jelentős. Ahhoz azonban, hogy a sekély gázokat tanulmányozni lehessen, az adatfeldolgozás során a hagyományos lépésektől szükséges kissé eltérni, elsősorban az amplitúdó-korrekciók tekintetében. Ennek oka, hogy kizárólag az eredeti amplitúdó-viszonyok ismeretében tudunk csak korrekt következtetéseket levonni a sekély gáz valószínűsíthető helyére és tulajdonságaira vonatkozóan.

Munkám során az anomáliák számos fajtáját sikerült megkülönböztetni, mélységük, kiterjedésük, határoló felületeik és egyéb további szempontok alapján. Ezek mindegyikére a feldolgozott szelvényeken példákat is bemutatam. Annak érdekében, hogy a későbbi szeizmikus értelmezések során a balatoni sekély gázokat csoportosítani lehessen, a legfontosabb csoportosítási szempontokat táblázatos formában foglaltam össze.

A dolgozat folytatásaként tervezem a gázokhoz kapcsolódó fizikai paraméterek (pl.: amplitúdó, fázis, reflexivitás stb.) részletes statisztikai alapú geofizikai vizsgálatát, esetleges paraméter csoportok kialakítását, illetve ezen kategóriák és az anomáliák közti kapcsolatok megállapítását, mely itt nem tárgyalt előzetes eredményeim alapján biztató eredményeket hozhatnak. Ezekkel a vizsgálatokkal a későbbiekben megvalósítható lenne akár a nem feltűnő gázzónák azonosítása, illetve egy automatizált, nagy megbízhatóságú detektálási módszer kialakítása is. A fizikai paraméterek és a gázösszetételek közötti összefüggések megismerését célzott mintavételezések tennék lehetővé. A gázminták és a mérések kiértékeléséből származó eredmények együttes felhasználásával megvalósítható lenne a sekély gázok időbeli és a gázanomáliák térbeli térképezése is. Ehhez kapcsolódóan az egyes részterületek monitoring vizsgálata, állapotfelmérése miatt is hasznos lenne, hogy megértsük, egyes gázjelenségek pontosan milyen környezeti állapotról tanúskodnak. Úgy gondolom, hogy a bemutatott osztályozás mellett, az ehhez hasonló kutatások folytatása jelentheti a balatoni sekély gáz vizsgálatok további célkitűzéseit.

Köszönetnyilvánítás

Köszönettel tartozom témavezetőmnek, Visnovitz Ferencnek, aki türelmes és lelkes hozzáállásával nagyban hozzájárult ahhoz, hogy ez a dolgozat elkészüljön. Köszönöm Horváth Ferencnek és Balázs Attilának, hogy bevezettek a szeizmika és a szeizmikus feldolgozás világába.

A dolgozat az OTKA NK 83400 támogatásának köszönhetően jöhetett létre.

Függelék

Munkám során a feladatom a balatoni vízi szeizmikus szelvényeken megjelenő gázanomáliák vizsgálata, megkülönböztetése és csoportba sorolása volt. Önálló munkám első lépése a szakirodalom - főleg idegen nyelvű cikkek - áttekintése volt, hogy képet kapjak a sekély gázokról, illetve a gázindikációk típusáról, azaz hogy pontosan mit is keressek a balatoni szelvényeken. A következő lépés a vízi szeizmikus szelvények feldolgozása volt. Először hagyományos módon kellett elvégezni a feldolgozási lépéseket, utána figyelembe véve a gázanomáliák vizsgálhatósága miatt szükséges módosításokat. A feldolgozáshoz a ProMAX2003 programot használtam. A rendelkezésemre álló adatrendszernek (egycsatornás vízi szeizmikus mérések), ami szinte az egész Balaton medencéjét lefedi (11. ábra), csak egy részét sikerült feldolgoznom. Ezek közül a szelvények közül pedig úgy választottam ki néhányat, hogy azokon az irodalmi példák alapján jól beazonosítható és látványos gázjelenségek látszanak. Találtam a szelvényeken egyedi példát is (üledékrogyás), amelyet szintén bemutatam. Mindezek után a feldolgozott szelvények alapján összeállítottam egy táblázatot, amely a gázindikációk minden szempont (kiterjedés, határoló felület, mélység/elhelyezkedés, stb.) szerinti leírását tartalmazza, így csoportosíthatóvá, osztályozhatóvá tévő azokat, megkönnyítve a későbbiekben a gázjelenségek beazonosítását. Továbbá néhány főbb csoportot megemlítettem, amelyek a leggyakrabban fordulnak elő a balatoni szelvényeken. Végezetül a gázanomáliák további vizsgálataira tettem javaslatokat, előtérbe helyezve a fizikai paraméterek analízisét, mivel az előzetes vizsgálataim biztató eredményeket mutattak.

Ábrajegyzék

1. ábra: Az üledéket kitöltő részecskék kapcsolatától függően megkülönböztethető gázszaturáció típusok (Anderson et al., 1998 alapján)
2. ábra: Egycsatornás vízi szeizmikus mérés vázlata Tóth Zs. et al. (2010) alapján
3. ábra: Az akusztikus zavar szeizmikus képe Wever et al. (1998) alapján
4. ábra: Kitakaró (blanking) zóna Tóth Zs. (2013) alapján
5. ábra: Példa különféle gázanomáliákra (akusztikus zavar, visszaverődés, reverz polaritás) Missiaen et al. (2002) alapján
6. ábra: Sebességcsökkenés miatti lehajlás Schroot&Schüttenhelm (2003) alapján
7. ábra: Mintaszelvény AGC előtt és után Balázs (2011) nyomán
8. ábra: Egy jellegzetes balatoni szeizmikus szelvény spektruma dBel skálán
9. ábra: Balatoni szeizmikus szelvény részlete, melyen jól kivehető a víz hullámozásának hatása (piros vonal) a meder aljának reflexióján, ami láthatóan a többi reflexión azonos módon jelentkezik
10. ábra: A 9. ábrán látható szelvény mederfenék horizontja (kék) és a rajta elvégzett simítások (piros, zöld), melyek alapján a korrekciót számoljuk
11. ábra: Egycsatornás szeizmikus mérések a Balatonon 1997 és 2013 között
12. ábra: A feldolgozott vízi szeizmikus szelvények földrajzi elhelyezkedése az ábrájuk számával megjelölve
13. ábra: Vízi szeizmikus szelvény részlet Alsóörsről délkeletre. A mederfenék normál polaritású reflexiója gázos zónáknál előjelet vált
14. ábra: Vízi szeizmikus szelvény Alsóörsről délkeletre. Megjelenik a pannon rétegben egy erősített reflektor (A). A pannonban lévő gázok úgy tűnik, kapcsolatban állhatnak az iszapban lévő gázzal
15. ábra: Vízi szeizmikus szelvény Alsóörsről délkeletre, amin 60-80 m széles akusztikus zavar azonosítható, ami ÉNy felé fokozatosan eltűnik. A szelvény ÉNy részén pontszerű gázindikációk is megjelennek

16. ábra: Vízi szeizmikus szelvény Tihanytól északkeletre, a partvonallal párhuzamosan, függöny méretű kitakarás látható (A), mely ÉK felé fokozatosan zavarzónába megy át. A gáz fizikai paramétereiben változás mutatkozik, mivel kizárólag a gázos zóna közepén figyelhetők meg az egyre gyengülő többszörösök

17. ábra: Vízi szeizmikus szelvény Balatonalmáditól délre. A szelvényen az iszapbázis környezetében látható néhány gázreflektor többszöröződése (piros nyíl), illetve egy kisebb és egy nagyobb kiterjedésű kitakarás és zavarzóna átmenete (fekete nyíl)

18. ábra: Vízi szeizmikus szelvény a Tihany-kúton keresztül, melyen a mederfenék reflexiójának többszöröse láthatók, az ÉK részen teljes a kitakarás, míg DNy felé ennek mértéke változó

19. ábra: Vízi szeizmikus szelvény Révfülöptől keletre. Az iszap alsó részében látható gázanomáliák (fekete nyilak) feltehetően a pannon rétegekben pontszerű gázindikációkkal áll kapcsolatban

20. ábra: Vízi szeizmikus szelvényrészlet Badacsonytomajtól délnyugatra. A képen a sebességcsökkenés miatti lehajlás jelensége látható

21. ábra: Vízi szeizmikus szelvény részlet Balatonmáriafürdőtől északra, a megnövekedett gáztartalom miatt az üledék beroskadt

22. ábra: Balatoni gázok csoportosításának szempontjai

Irodalomjegyzék

ANDERSON, A. L., ABEGG, F., HAWKINS, J. A., DUNCAN, M. E., LYONS, E. P. (1998), "Bubble populations and acoustic interaction with the gassy floor of Eckernförde Bay", *Continental Shelf Research*. Vol. 18, pp. 1807-1839.

BADA, G., SZAFIÁN, P., VINCZE, O., TÓTH, T., FODOR, L., SPIESS, V., HORVÁTH, F. (2010), "Neotektonikai viszonyok a Balaton keleti medencéjében és tágabb környezetében nagyfelbontású szeizmikus mérések alapján", *Földtani Közlöny* 140/4, 367–390.

BALÁZS, A. (2011), "Balatoni vízi szeizmikus adatok feldolgozása", ELTE-TTK Földrajz- és Földtudomány Intézet Geofizikai és Űrtudományi Tanszék, Budapest.

BALÁZS, A., VISNOVITZ, F., SPIESS, V., FEKETE, N., TÓTH, ZS., HÁMORI, Z., KUDÓ, I., HORVÁTH, F. (2013), "Új szeizmikus mérések a Balatonon: beszámoló a 2011–2012. évi szelvényezésekről", *Magyar Geofizika* 54/ 2, 67–76.

BALTZER, A., TESSIER, B., NOUZÉ, H., BATES, R., MOORE, C., MENIER, D. (2005), "Seistec Seismic Profiles: A Tool to Differentiate Gas Signatures", *Marine Geophysical Researches*. Vol. 26 (2-4), pp. 235-245.

FLOODGATE, G. D., JUDD, A. G. (1992), "The origins of shallow gas", *Continental Shelf Research*. Vol. 12 No 10, pp. 1145-1156.

GARCÍA-GARCÍA, A., ORANGE, D. L., MISEROCCHI, S., CORREGGIARI, A., LANGONE, L., LORENSON, T. D., TRINCARDI, F., NITTROUER, C. A. (2007), "What controls the distribution of shallow gas in the Western Adriatic Sea?", *Continental Shelf Research*. Vol. 27, pp. 359-374.

GARCÍA-GIL, S., VILAS, F., GARCÍA-GARCÍA, A. (2002), "Shallow gas features in incised-valley fills (Ría de Vigo, NW Spain): a case study", *Continental Shelf Research*. Vol. 22, pp. 2303–2315.

JUDD, A. G., HOVLAND, M. (1992), "The evidence of shallow gas in marine sediments", *Continental Shelf Research*. Vol. 12 No 10, pp. 1081-1095.

KOVÁCS, SZ. (2013), "Nem konvencionális szénhidrogéntelepek keletkezése és bányászati körülményei", Gekko Előadássorozat.

MESKÓ, A. (1994), "Rugalmas hullámok a Földben", Budapest.

MISSIAEN, T., MURPHY, S., LONCKE, L., HENRIET, J-P. (2002), "Very high-resolution seismic mapping of shallow gas in the Belgian coastal zone", Continental Shelf Research. Vol. 22, pp. 2291-2301.

SCHROOT, B. M., SCHÜTTENHELM, R. T. (2003), "Shallow gas and gas seepage: expressions on seismic and other acoustic data from the Netherlands North Sea", Journal of Geochemical Exploration. Vol. 78-79, pp. 305-309.

SZTANÓ O., MAGYAR I., SZÓNOKY M., LANTOS M., MÜLLER P., LENKEY L., KATONA L., CSILLAG G. (2013), "A Tihanyi Formáció a Balaton környékén: típusszelvény, képződési körülmények, rétegtani jellemzés", Földtani Közlöny 143 (1): 445–468.

TAYLOR, D. I. (1992), "Nearshore shallow gas around the U.K. coast", Continental Shelf Research. Vol. 12 No 10, pp. 1135-1144.

TÓTH, T. (2003), "Folyóvízi szeizmikus mérések", PhD értekezés, ELTE-TTK Geofizikai Tanszék.

TÓTH, ZS. (2013), "Seismo-acoustic investigations of shallow free gas in the sediments of the Baltic Sea", Doktorgrades der Naturwissenschaften am Fachbereich Geowissenschaften der Universität Bremen.

TÓTH, ZS., TÓTH, T., SZAFIÁN, P., HORVÁTH, A., HÁMORI, Z., DOMBRÁDI, E., FEKETE, N., SPIESS, V., HORVÁTH, F. (2010), "Szeizmikus kutatások a Balatonon", Földtani Közlöny, Budapest. Vol. 104/4, pp. 355-366.

VETŐ, I. (1988), "A földgáz geokémiája (A szakirodalom értékelt összefoglalása)", MÁFI, Budapest.

WEISZ, M., POLYÁK, K., HLAVAY, J. (2000), "Fractionation of elements in sediment samples collected in rivers and harbors at Lake Balaton and its catchment area", Microchemical Journal. Vol. 67, pp. 207-217.

WEVER, T. F., ABEGG, F., FIEDLER, H. M., FECHNER, G., STENDER, I. H. (1998), "Shallow gas in the muddy sediments of Eckernförde Bay, Germany", *Continental Shelf Research*. Vol. 18, pp. 1715-1739.

YILMAZ, O. (1997), "Seismic Data Processing", SEG, Tulsa.

YUAN, F., BENNELL, J. D., DAVIS, A. M. (1992), "Acoustic and physical characteristics of gassy sediments in the western Irish Sea", *Continental Shelf Research*. Vol. 12 No 10, pp. 1121-1134.