14th Biennial International Conference and Exposition
SPG 2023

तेल एवं गैस के अन्वेषण एवं पतले आगार के गुण वर्णन में वर्णक्रमीय अपघटन का महत्व

हरीलाल*, ओएनजीसी (सेवा निवृत्त), देहारादून, भारत
ई-मेल: hariaru@gmail.com

मुख्य शब्द: वर्णक्रमीय अपघटन, पतली परत, विशेष गुण, भूकंपीय तरंगिका, समस्वरण

सारांश

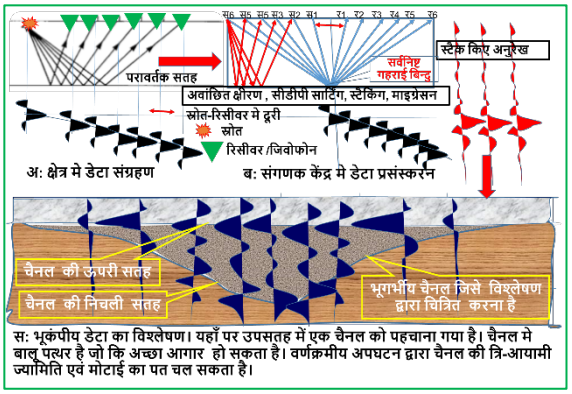
वर्णक्रमीय अपघटन (स्पेक्ट्रल डिकंपोजिसन) भूकंपीय (सेसमिक) डेटा के विश्लेषण की एक महत्वपूर्ण तकनीक है। इसके प्रयोग से भूकंपीय डेटा में निहित स्तरकीय आकृतियों (स्ट्रेटीग्राफिक फीचर्स) का त्वरित चित्रण एवं उनके विशेष लाक्षणिक गुणों (उदाहरणार्थ: ज्यामित, मोटाई, क्षेत्र-विस्तार, क्षेत्रफल आदि) का आकलन कर सकते हैं । ये विशेष गुण हाइड्रोकार्बन की संभावना (प्रास्पेक्ट)को प्रतिबिंबित करने एवं आगार (रिजरवायर) के विशेष मापदण्डों के आकलन में सहायक होते हैं। यह प्रक्रिया भूकंपीय तरंगों में पतली परतों के शीर्ष एवं तल सतहों से परावर्तित तरंगिकाओं के समस्वरण (ट्यूनिंग) प्रभाव पर आधारित है। इस के लिए भूकंपीय डेटा को विभिन्न विधियों द्वारा समय-कार्यक्षेत्र (टाइम डोमेन) से आवृत्ति-कार्यक्षेत्र मे परिवर्तित करके संस्वरित घन (ट्यूनिंग क्यूब) उत्पन्न किया जाता है। आवृत्ति-कार्यक्षेत्र में परावर्तन के आयाम (अंप्लीचूड) को अलग-अलग आवृत्ति पर देख सकते हैं। अधिकतम आयाम से संबद्ध आवृत्ति को संस्वरित आवृत्ति (ट्यूनिंग फ्रिक्वेन्सी) कहते हैं। आयाम के विस्तार से स्तरकीय आकृति एवं संस्वरित आवृत्ति से परत की मोटाई का आकलन कर सकते हैं।

इस शोधपत्र में वर्णक्रमीय अपघटन के सिद्धांत, प्रचलित विधियों का वर्णन एवं इसके प्रयोग से स्तरकीय आकृतियों का चित्रण तथा पतली परतों की मोटाई का आकलन दिखाया गया है। वर्णक्रमीय अपघटन स्तरकीय विश्लेषण की अन्य प्रचलित विधियों से अधिक प्रभावी है। इसके प्रयोग से पूर्व के अनसुलझे तथ्यों एवं विसंगतियों की व्याख्या की गई है। उपसतह में प्रतिबिंबित स्तरकीय आकृतियाँ (चैनल, डेल्टा आदि) हाइड्रोकार्बन की नयी संभावना क्षेत्रों को इंगित करती हैं।

यह शोधपत्र लेखक द्वारा पूर्व में भूकंपीय विश्लेषण के अंग्रेजी भाषा में लिखे गए मूल कार्यों से केवल वर्णक्रमीय अपघटन के उप अनुभागों को संग्रहित करके हिन्दी भाषा में लिखा गया है। भूकंपीय प्रतिबिंबों की आवश्यकतानुसार नयी व्याख्या की गयी है। यह कार्य भूकंपीय डेटा के विश्लेषकों को वर्णक्रमीय अपघटन के क्षेत्र मे निपुण बनाने में सहायक हो सकता है।

प्रस्तावना

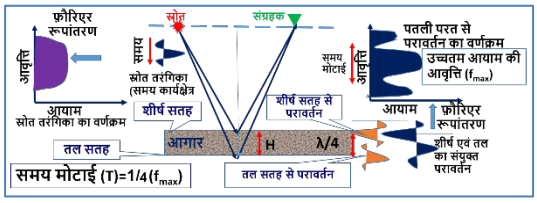
वर्तमान में ऊर्जा के प्रमुख स्रोत तेल एवं गैस प्रायः धरती की उपसतहों में पाये जाते हैं। इनके अन्वेषण के लिए भूविज्ञान एवं भूभौतिकीय पध्दतियों का उपयोग सदियों से किया जा रहा है। भूभौतिकीय तकनीकियों में भूकम्पीय तकनीक अत्यंत महत्वपूर्ण है क्योंकि यह अधस्तल की शिलाओं का संरचनात्मक एवं स्तरिकीय ज्ञान देने में सक्षम है। यह ज्ञान हाइड्रोकार्बन की संभावनाओं की खोज करने एवं हाइड्रोकार्बन क्षेत्रों (फील्ड) का विकास करने में सहायक होता है। भूकम्पीय डेटा क्षेत्रों से सर्वेक्षण द्वारा इकट्ठा करने के बाद संगणक केन्द्रों में प्रसंस्कृत किया जाता है। प्रसंस्करण के बाद भूकम्पीय डेटा का विश्लेषण अधस्तली शिलाओं के गुणों की विवेचना के लिए किया जाता है। चित्र 1 में क्षेत्र सर्वेक्षण से लेकर विश्लेषण तक का कार्यप्रवाह दिखाया गया है। चित्र मे दिखाये गए भूकंपीय अनुरेख एवं प्रारूप परिकल्पित तथा वर्णक्रमीय अपघटन के विश्लेषण के लिए अनुकूलित हैं।



चित्र 1: फील्ड में डेटा संग्रहण (अ) से शुरू करके संगणक केंद्र में प्रसंसकरण (ब) एवं विश्लेषण (स) तक भूगर्भीय डेटा का प्रवाह। *(टिप्पणी: मापक नहीं है।)*

उपसतही शिलाओं के कुछ अनुकूल गुणों द्वारा भूगर्भ में छिपे हाइड्रोकार्बन के संचय के संभावित आगारों का पता चलता है। भूकंपीय डेटा के कुछ विशेष गुण (उदाहरणार्थ परावर्तन आयाम, आवृति एवं कला आदि) हाइड्रोकर्बन के होने का सीधा संकेत (डाइरेक्ट हाइड्रोकार्बन इंडिकेटर) दे सकते हैं। भूकंपीय डेटा से विशेष गुणों का उत्कर्षण करने के लिए गणितीय एवं भौतिकी विधियों को प्रयोग मे लाया जाता है। भूकंपीय

वर्णक्रम अपघटन भूकंपीय डेटा से विशेष गुण उत्कर्षण की एक विशेष प्रक्रिया है जिसके द्वारा डेटा मे छिपे प्रत्येक सम्भावित आवृत्ति (**f**) पर आयाम (**A**) एवं कला (**फेज**) का डेटा घन उत्पन्न किया जाता है। भिन्न-भिन्न आवृत्ति पर आयाम का परिवर्तन उपसतह की परतों के शैल गुण (ध्वनिक प्रतिबाधा आदि) एवं मोटाई पर निर्भर करता है। यदि परत की मोटाई किसी आवृत्ति पर भूकंपीय तरंग की तरंगदैर्ध्य (**λ**) का चौथाई भाग (**λ/4**) के बराबर हो तो समस्वरन (ट्यूनिंग) प्रभाव से उस आवृत्ति पर अधिकतम आयाम प्राप्त होता है (चित्र 2)।



चित्र 2: सापेक्षीय कम प्रतिबाधा (इम्पीडेंस) वाले पतले आगार के शीर्ष एवं तल सतहों से भूकंपीय परावर्तन एवं भूकंपीय संकेत (सिग्नल) का समय एवं आवृत्ति कार्यक्षेत्र में प्रतिनिधित्व। *(टिप्पणी: मापक नहीं है।)*

तरंगदैर्ध्य (**λ**), आवृत्ति (**f**) और वेग (**V**) एक दूसरे से समीकरण **V=f*λ** द्वारा जुड़े हुये है। वर्णक्रमीय अपघटन के माध्यम से अधिकतम आयाम वाली आवृत्ति ($\mathbf{f_{max}}$) का पता चलता है। परत के अंदर तरंग द्वारा चलने में लिया गया समय (**T**), $\mathbf{¼f_{max}}$ से निकाला जा सकता है। समय (**T**) एवं वेग (**V**) के ज्ञान से परत की मोटाई (**H**) ज्ञात हो जाती है। अधिकतम आयाम की मैपिंग से उपसतह में छिपी आकृति की ज्यामिति (उदाहरणार्थ चैनल, डेल्टा आदि) का पता चलता है। भिन्न भिन्न आवृत्ति के कला घन (फेज वॉल्यूम) भूगर्भीय अपभ्रंश (फ़ाल्ट) एवं असंबद्धता को दिखाते हैं।

भूगर्भिक आकृतियों मे अवसादित बालू इत्यादि अच्छे आगार हो सकते है (चित्र 1)। संभावित आगार के क्षेत्रफल एवं मोटाई से आगर का घनफल निकाल सकते हैं। इस तरह से वर्णक्रमीय अपघटन आगार के संरचनात्मक एवं स्तरिकीय गुणों के आकलन एवं आगार के लक्षण वर्णन में महत्वपूर्ण भूमिका निभाता है। अपघटन से प्राप्त मापदंडों को चट्टान की सरंध्रता (पोरोसिटी) एवं संतृप्ति (सेतूरेसन) से मिलाकर आगार में अवस्थित हाइड्रोकार्बन की मात्रा अनुमानित की जा सकती है।

इस शोध-पत्र में वर्णक्रमीय अपघटन के इतिहास एवं सिद्धांत का वर्णन करते हुए इसके प्रयोग से पाये गए विभिन्न परिवेश के आगारों का चित्रण दिखाया गया है। इसमें दिखाई गयी छवियाँ (इमेज) के शीर्षक हिन्दी भाषा मे अनुवादित हैं। अभितट एवं अपतट दोनों परिवेशों में वर्णक्रमीय अपघटन से प्राप्त संस्तरों की आकृति, ज्यामिति, मोटाई और अन्य मानदंड वर्णित हैं।

इतिहास

वीडेस, 1973, ने पतली परतों से परावर्तन में तरंग की तरंगदैर्ध्य (λ) एवं परत की मोटाई में संबंध स्थापित किया था। वर्णक्रमीय अपघटन उन्ही संबंधों पर आधारित भूकंपीय डेटा के विश्लेषण से आकृति की पहचान एवं पतली परतों की मोटाई के आकलन का अपेक्षाकृत नया तरीका है। बीसवीं सदी के अंतिम दशक (1990's) में आमको पेट्रोलियम कनाडा के श्री ग्रेग पार्टीका (1999, 2007) ने इस विधि को दो-आयामी (2-डी) डेटा में भूकंपीय स्रोत तरंगिका को सवारने (वेबलेट शेपिंग) के लिए आमको के प्रसंसक्रण केंद्र मे किया था। अपघटन के लिए असतत फौरीएर रूपांतरण (डिसक्रीट फोरियर ट्रांसफार्म) विधि का प्रयोग किया गया था। तरंगिका प्रसंसकृत डेटा विश्लेषकों को पसंद आया एवं तब से इसके प्रयोग एवं विधि की परिमार्जन विषय पर बहुत से शोधपत्र प्रकाशित हो चुके हैं (लिन 1997, ग्रेग 1999, 2007, कास्टग्ना 2003, ब्राउन 2004, हरीलाल 2009)। आगे चलकर अपघटन के लिए सतत तरंगिका रूपांतर (कंटीनुवास वेबलेट ट्रांसफार्म (सीडबल्यूटी) का प्रयोग हुआ। कास्टग्ना, 2003, ने तात्कालिक वर्णक्रमीय विश्लेषण का प्रयोग करके हाइड्रोकार्बन से जुड़ी कम आवृत्ति को छायांकित किया।

विधियाँ

वर्णक्रमीय अपघटन मे भूकंपीय डेटा को मूलतः समय डोमैन से आवृत्ति डोमैन मे रूपांतरित किया जाता है। समय डोमैन में तरंग में सभी आवृत्तियाँ अंतर्निहित होती हैं और आयाम का परिवर्तन समय के साथ देखते है। सामान्य भूकंपीय डेटा में किसी समय पर दिखाई देने वाला आयाम मुख्यतः प्रमुख आवृत्ति पर होता है। वर्णक्रमीय अपघटन द्वारा हम भूकंपीय सिगनल को घटक आवृत्तियों मे विखंडित कर देते हैं अर्थात प्रत्येक आवृत्ति पर समय के साथ आयाम का परिवर्तन अलग-अलग देख सकते हैं। यह विधि विभिन्न आवृत्ति सीमा में रेडियो स्टेशन के ट्यून करने जैसी है जिसमें एक आवृत्ति-बैंड पर एक विशेष स्टेशन को सुन सकते हैं।

पतली परत के संदर्भ में जो आवृत्ति अधिकतम आयाम दिखाती है उसे संस्वरन (ट्यूनिंग) आवृत्ति कहते हैं। संस्वरन आवृत्ति परत की मोटाई से संबंधित होती है। आकर्षक आवृत्तियों की सीमा मे संस्वरन घन (ट्यूनिंग

क्यूब) बनाकर घटक आवृत्ति पर विसंगतीय आयाम के विस्तार से उपसतह मे विद्यमान आकृतियों (चैनल, डेल्टा आदि) को देखा जा सकता है।

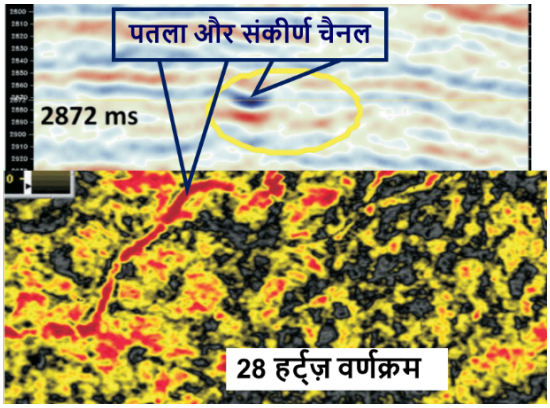
भूकंपीय डेटा के विश्लेषण साफ्टवेयर में वर्णक्रमीय अपघटन के लिए दो विधियाँ प्रचलित हैं: असतत फ़ौरीएर रूपांतर एवं सतत तरंगिका रूपांतर। फ़ौरिएर विधि मे जनित दोलन पूरे अनुक्रम में बने रहते हैं जबकि तरंगिका रूपांतरण मे दोलन छोटी-छोटी समय सीमा मे रह सकते हैं। इस तरह से संकेतों को स्थान और काल में स्थानीयकृत दोलनों में तोड़ सकते हैं। दोलनों के छोटी समय सीमा में केंद्रित होने से भूगर्भीय आकृतियों / विसंगतियों का आकलन सटीक होता है।

वर्णक्रमीय अपघटन के परिणाम को आवृत्ति स्लाइस एवं त्रियायमी दृश्यालोकन के माध्यम से अवलोकित कर सकते हैं। वर्तमान में विसंगतियों के अवलोकन के लिए आरजीबी रंग सम्मिश्रण विधि का उपयोग करते है। सम्मिश्रण तीन आवृत्ति घटकों को एक साथ रखने के लिए किया जाता है, जिसमें कम आवृत्ति वाले घटक को लाल, मध्यम आवृत्ति को हरे एवं उच्च आवृत्ति वाले घटक को नीले रंग से दिखाया जाता है। उच्च आवृत्ति घटक चैनलों के संकीर्ण और पतले हिस्सों को और कम आवृत्ति घटक चैनलों के चौड़े और मोटे हिस्सों, जैसे पॉइंट बार, को प्रदर्शित करते हैं ।

परिणाम एवं तर्क

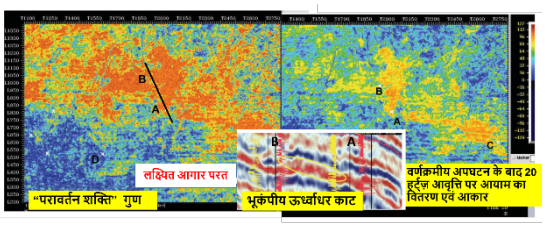
वर्णक्रमीय अपघटन का प्रयोग उपसतही आगार के विशेष गुण वर्णन के लिए दुनिया भर की विभिन्न द्रोणियों मे वेधन (ड्रिलिंग) से पूर्व और वेधन के पश्चात किया गया है। वेधन से पूर्व अध्ययनों में मुख्य उद्देश्य हाइड्रोकार्बन की संभावना (प्रास्पेक्ट) को मानचित्रित करना होता है। इसके लिए आकर्षक अधस्तली आकृतियों, भूगर्भीय अपभ्रंसों आदि का चित्रण करते हैं तथा सीधे हाइड्रोकार्बन संसूचकों (डाइरेक्ट हाइड्रोकार्बन इंडिकेटर) की पुष्टि करते हैं।

गहरे अपतट के परिवेश में हाइड्रोकार्बन की संभावनाओं की खोज के लिए एक त्रियायमी (3-डी) भूकंपीय डेटा का विश्लेषण किया गया एवं वर्णक्रमीय अपघटन के प्रयोग से एक चैनल को प्रतिबिंबित किया गया (चित्र 3)। चित्र के ऊपरी भाग में भूकंपीय काट (सेक्सन) में एक उच्च आयाम का परावर्तन दिख रहा है जोकि संस्वरित घन के 28 हर्ट्ज़ की आवृत्ति पर चैनल के रूप में चित्र के निचले भाग में प्रतिबिम्बित होता है। यह आकार अन्य भूकंपीय लाक्षणिक विश्लेषणों से परिलक्षित नहीं हो सका था। चैनल के बलुआ पत्थर में आगरीय गुण हो सकता है (चित्र 1) किन्तु इसकी पुष्टि करने के लिए अन्य मापदंड जैसे सरंध्रता की आवश्यकता है जोकि ध्वनिक प्रतिबाधा व्युत्क्रम (एकास्टिक इम्पीडेंस इनवरजन) से मिल सकती है।



चित्र 3: वर्णक्रमीय अपघटन द्वारा चैनल की खोज।

एक दूसरे क्षेत्र में एक कूप में हाइड्रोकार्बन मिलने के बाद पास में ऊँचाई पर (अप डिप) वेधित दूसरे कूप में हाइड्रोकार्बन नहीं मिला। कूप डेटा (वेल लाग) के निर्वचन से आगारीय संलक्षणी (रिजरवायर फेसीज़) का अभाव दिखा। इस विसंगति को सुलझाने एवं उपयुक्त क्षेत्र के सीमांत निर्धारण के लिए त्रियायामी डेटा का लाक्षणिक विश्लेषण वर्णक्रमीय अपघटन के माध्यम से किया गया (चित्र 4)।



चित्र 4: वर्णक्रमीय अपघटन द्वारा विसंगतियों को सुलझाना एवं नए उपयुक्त क्षेत्र को खोजना तथा सीमांकन करना।

चित्र के निचले मध्य भाग मे कूप A एवं कूप B को जोड़ते हुये एक भूगर्भीय काट दिखाया गया है। कूप A में हाइड्रोकार्बन मिलने के बाद कूप B में नहीं मिला यद्यपि कूप B का वेधन अप डिप में प्रदाई (पे सैंड) का विस्तार ज्ञात करने के लिए किया गया था तथा स्थान की उपयुक्तता पहले से आकलित कर ली गयी थी। चित्र में बाईं तरफ " परावर्तन शक्ति " लाक्षणिक गुण एवं दाहिनी तरफ में वर्णक्रमीय अपघटन का 20 हर्ट्ज़ का प्रतिबिंब है। परावर्तन शक्ति A एवं B दोनों में लकभग एक जैसी है किन्तु वर्णक्रम में A एवं B में आयाम का अन्तर है। कूप B मुख्य आकृति से बाहर है। यह दिखाता है कि कूप B मे आगारीय संलक्षणी अनुकूल नहीं है इसलिए

संरचनात्मक स्थिति के होते हुये भी हाइड्रोकार्बन नहीं मिला। कूप B के पूरब दिशा में उत्तर-दक्षिण अभिविन्यास में संरचनात्मक एवं संलक्षणी दोनों स्थितियाँ अनुकूल दिखती हैं। अतः कूप A की प्रदाई (पे) विस्तार देखने के नया कूप मानचित्रित आकार में वेधित किया जा सकता है।

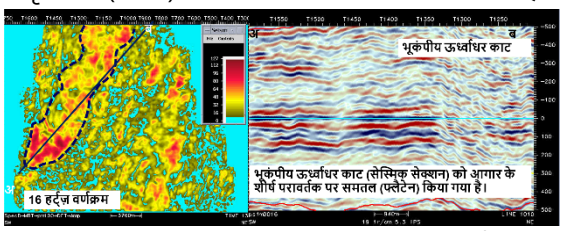
क्षेत्र मे आगार परत में वेग 2650 मीटर/सेकंड है। 20 हर्ट्ज़ समस्वरण आवृत्ति के लिए आगार परत की मोटाई लगभग 33 मीटर आती है जोकि कूप में मिली आगार की मोटाई के समतुल्य है। मोटाई की गणना की विधि नीचे दी गयी है:

समय-मोटाई (T) (सेकंड) में = $\frac{1}{4}f_{max}$ = 1/(4*20)= 0.0125 सेकंड

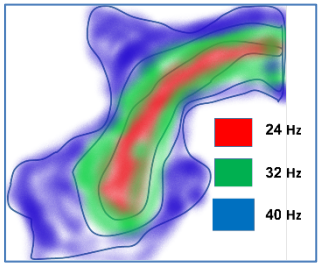
मोटाई (H) (मीटर में) = समय-मोटाई*वेग = 0.0125*2650=33 मीटर

इस तरह वर्णक्रमीय अपघटन के प्रयोग से आगार के आकृति को पहचान कर उसके विस्तार को मानचित्रित किया गया एवं मोटाई का आकलन किया गया।

एक अन्य उदाहरण में वर्णक्रमीय अपघटन का प्रयोग अभितट के त्रियायामी डेटा पर सम्भावना के चित्रण के लिए किया गया है (चित्र 5)। इस चित्र में उत्तरपूर्व-दक्षिणपश्चिम अभिविन्यास में मोटे एवं चौड़े आकार की आकृति (चैनल) का पता लगाया गया है।



चित्र 5: अभितट के त्रियायामी डेटा पर वर्णक्रमीय अपघटन का प्रयोग एवं सम्भावना का चित्रण।



चित्र 6: आर.जी.बी. मिश्रण के प्रयोग से परिकल्पित चैनल का प्रभावी अवलोकन।

आर.जी.बी. मिश्रण से मोटाई की भिन्नता को प्रभावी तरीके से देख सकते हैं (चित्र 6)। चित्र में परिकल्पित चैनल की मोटाई 30 (24 हर्ट्ज़) से 18 (40 हर्ट्ज़) मीटर तक बदलती है।

निष्कर्ष

वर्णक्रमीय अपघटन भूगर्भीय विश्लेषण की अपेक्षाकृत नयी विधा है। इसके प्रयोग से नयी संभावना की खोज, आगार की आकृति एवं विस्तार का वर्णन तथा उसकी मोटाई एवं चौड़ाई का आकलन त्वरित किया गया है। आकलित मोटाई वास्तविक मोटाई के समतुल्य होती है। कभी-कभी चित्रित आकृति में संलक्षणी की गुणवत्ता को जानने के लिए अन्य विधियों, जैसे व्युत्क्रम, की आवश्यकता पड़ती है।

इस शोध-पत्र में वर्णित विधियों का प्रयोग विश्लेषकों द्वारा आसानी से किया जा सकता है।

आभार प्रदर्शन

इस शोध-पत्र को हिन्दी भाषा मे लिखने के लिए प्रोत्साहित करने एवं इसके प्रदर्शन की स्वीकृति देने के लिए मैं एसपीजी का आभारी हूँ। इस विषय पर कार्य का सुअवसर देने के लिए मैं ओएनजीसी का कृतज्ञ हूँ।

संदर्भ

कास्टाग्ना जे.पी., सन एस., सेगफ्राइड आर.डब्ल्यू., 2003, इनस्टांटेनियस स्पेक्ट्रल एनलसिस: डिटेक्सन ऑफ लो फ्रिक्वेन्सी शैडोज़ एसोसिएटेड विथ हाइड्रोकार्बन, द लीडिंग एज, 22 (2003), 120-127.

पार्टीका जी.ए., ग्रिडली जे.एम., लोपेज़ जे., 1999, इंटर्प्रिटेसनल अप्लीकेसन्स ऑफ स्पेक्ट्रल डिकंपोजिसन इन रिजरवायर कैरेक्टेराइजेसन, द लीडिंग एज, 18 (1999), 353-360.

पार्टीका जी.ए, 2007, द बर्थ ऑफ स्पेक्ट्रल डिकंपोजिसन, द लीडिंग एज, 26, (2007), 1624

पीटन एल., बोत्जेर आर., पार्टीका जी., 1998, इंटर्प्रिटेसन ऑफ इनसाइज्ड वैलीज़ यूजिंग निव 3-डी सेस्मिक टेकनिक्स: ए केस हिस्टोरी यूजिंग स्पेक्ट्रल डिकंपोजिसन एंड कोहेरेंसी, द लीडिंग एज, 17 (1998), 1294-1298.

ब्राउन, ए.आर., 2004, इंटर्प्रिटेसन ऑफ थ्री-डाइमेन्सनल सेस्मिक डेटा, सिक्थ एडिसन, एएपीजी मेमोयर 42, सेग इंवेस्टिगेसन्स इन जिओफिजिक्स नंबर 9 ।

हरीलाल, सी.जी. राव, आर.सी.पी. सक्सेना, जे.एल. नांगिया, ए. सूद, और एस.के. गुप्ता, 2009, मैपिंग थिन सैंडस्टोन रिजरवायर्स: अप्लीकेसन ऑफ 3डी विजूलाइजेसन एंड स्पेक्ट्रल डिकंपोजिसन, द लीडिंग एज, 28 (2009),156-167।

वीडेस म. 1973, हाउ थिन इज थिन बेड?: जिओफिजिक्स 38, no. 6, 1176–1180, http://dx.doi.org/10.1190/1.1440403।