

Геол. ап. Балк. полуос. Ann. Geol. Penins. Balk.	62	75-101	Београд, децембар 1998 Belgrade, Decembre 1998
---	----	--------	---

УДК 551.248.2:550.3(497.113)

Оригинални научни рад

НЕОТЕКТОНСКА АКТИВНОСТ СТРУКТУРЕ ТУРИЈА (ПАНОНСКИ БАСЕН, ВОЈВОДИНА)

од

Слободана Бојковића*

Када постоји велики број бушотина на малом простору, издвајањем карактеристичних репера на каротажним дијаграмима и анализирањем њима дефинисаних структурних хоризоната, могуће је не само квалитативно, већ и квантитативно праћење тектонске активности. Најбољи резултати се постижу интеграцијом каротажних и сеизмичких података, уз коришћење сеизмичких података за подручја где нису избушене бушотине. На примеру нафтне структуре "Турија" разматра се описани начин рада. Интерполација бушотинских података и конструкција карата стратоизохипси реперних хоризоната и карата њихових разлика обављена је применом комерцијалног програма "Сурфер-6". Затим су анализирани и интерпретирани резултати.

Кључне речи: геофизичка каротажна мерења (ГКМ), каротажни репери, неотектоника, структурни хоризонти, разломне структуре, сеизмика, Турија, Панонски басен, Војводина.

УВОД

За истраживање угљоводоника веома је битно проучавање настанка и еволуције структура седиментног басена, па самим тим и дефинисање најмлађих тектонских покрета ради праћења утицаја, позитивних или негативних, на формирање лежишта и миграцију угљоводоника. Основу за праћење неотектонике у простору дају сеизмички подаци који су, међутим, ограничене резолуције и, због комплексних утицаја на таласни одзив формације, често вишезначни. Поузданост интерпретације углавном зависи од примењеног закона брзина и тачности претпостављеног геолошког модела. Зато је неопходна калибрација сеизмике и сеизмограма ради што боље конверзије време-дубина. При томе, потребне информације за прецизније калибрације, корелације са бушотинским подацима и боље геолошко моделирање, добијају се у бушотинама геофизичким каротажним мерењима и вертикалним сеизмичким профилирањем.

Уколико постоји велики број бушотина на малом простору, могуће је квалитативно и квантитативно праћење неотектонске активности и на бази каротажних података. Тада се издвајају карактеристични каротажни репери и анализирају њима дефинисани структурни хоризонти. Појава нових чланова у литолошком стубу бушотина, уз веће повећање дебљине седимената, углавном означава тоњење, а

* "НИС-НАФТАГАС", О.Д. "Рударски радови", Народног фронта 12, 21 000 Нови Сад.

веће смањење дебљине, релативно издизање структуре. Најбољи резултати се постижу интеграцијом каротажних и сеизмичких података, уз коришћење сеизмичких података за подручја где нису избушене бушотине. На примеру нафтног поља "Турија" разматра се описани начин рада.

ПРЕГЛЕД ГЕОЛОШКЕ ГРАЂЕ

Структура "Турија" припада северном делу Јужнобачке депресије. Прецизније, налази се у зони трансбанатско-бачког разлома (Маровић и др., 1996), тј. зони дубинског разлома Даљ-Хетин (Вукашиновић, 1994).

О структури "Турија" и радовима на нафтном пољу писано је у више појединачних извештаја о петролошким, палеонтолошким, геохемијским и другим испитивањима и мерењима са бушотина (Naftagas, 1988–1998), чија синтеза је дата у елаборату (Курбалија и др., 1994а), а и у објављеним радовима (Đimić, 1991; Вучић и др., 1994; Курбалија и др., 1994б; Modić, 1994; Кнежевић и Модич, 1996; Павловић и др., 1996).

Према Kemenci (1993) колектор стене главног лежишта структуре "Турија" чине декаметарски и метарски блокови шкриљаца, затим дециметарски фрагменти шкриљаца и класти шкриљаца величине зрна песка, који местимично заједно са карбонатно-глиновитим или серицитским везивом чине матрикс крупнокластичним наслагама. И према Kroпја (1989–1992), у лежишту преовлађују одломци мусковит-хлорит-албит-кварц-гранатских шкриљаца. Ређи су фрагменти мусковит-хлорит-биотит-албит-кварц-гранатских, актинолит-епидот-гранатских и биотит-актинолит-хлорит-албитских шкриљаца.

Малобројне минералолошке анализе Ртг дифракцијом матрикса бреча и конглобреча Жумберковић В. (Курбалија и др., 1994а и 1994б) указују да матрикс, поред псамитских класта, садржи карбонате и минерале глина. Обзиром на мали проценат матрикса и одсуство фосилног материјала у њему, није могла да се одреди стратиграфска припадност наслага лежишта.

Према Gagić (1990–1994) и Курбалија и др. (1994а) седименти отнашга указују на црвено-зелену "шарену" моласну серију, а седименти карпата на зелено-сиву моласну серију. Литолошки су представљени алевролитима, пешчарима, микро-конгломератима и конгло-бречама. У северном делу структуре у отнашгу се срећу брече и конглобрече од шкриљаца.

Према Курбалија и др., (1994а и 1994б) седименти бадена представљени су алевролитима, лапорцима, прослојцима кречњака и пешчара, бречама и конглобречама у бази.

– Панон лежи трансгресивно и дискордантно преко маринских седимената бадена у северном и северноисточном делу структуре. У централном, јужном и југозападном делу лежи преко седимената недовољно дефинисане стратиграфије. Развијен је у каспибракичној фазији коју чине полимиктне брече у бази (у северном делу), микрити, биомикрити, глиновити кречњаци и лапорци.

– Доњи понт је представљен слабо песковитим лапорцима у доњем делу, и лапорима са прослојцима пешчара у горњем делу.

– Горњи понт карактеришу лапоровите, песковите и угљевите глине у смењивању са глиновитим и лапоровитим пешчарима.

– Палудински и квартарни седименти нису стратиграфски раздвајани. Представљени су лапоровитим и песковитим глинама, песковима, слабо везаним пешчарима,

угљевитим глинама, прослојцима угља, глинама, лесом и хумусом у површинском хоризонту.

Прву дефиницију наслага бреча од шкриљаца, могућих колектора угљоводоника, дао је Dimić (1991). Приликом анализе 3Д сеизмичких секција издвојио их је као "хаотичну кластичну формацију". По његовој интерпретацији палеоток материјала је ишао са југа на север и североисток.

Према Кетелси (1993) колектор стене главног лежишта структуре "Турија" чине кратко транспортовани катаклазирани блокови и дробина од шкриљаца, као и брече и конглобрече од одломака шкриљаца везаних са псамитским детритусом и карбонатно–глиновитим везивом. Местимично се појављују и метабрече које садрже фрагменте кварцних агрегата и фелдспата пореклом од катаклазираних гранитоида.

И по интерпретацији каротажних дијаграма Grbovića (1989–1998), лежиште чине блокови од шкриљаца са прслинском, и седиментне стене од фрагмената шкриљаца са интергрануларном порозношћу.

Делом другачије гледиште од изложеног налази се у извештајима Kroñja (1989–1992). По њој су колектор стене недовољно дефинисане стратиграфије настале од аутохтоних кристаластих шкриљаца претворених у тектонске и раседне брече.

Према Modić (1994), и Миловановићу Д., ментору њеног дипломског рада, колектор стене су кристаласти шкриљци, који су због интензивног тектонског дробљења (катакластичног метаморфизма) у појединим деловима претворени у тектонске брече и милоните. Кристаласти шкриљци структуре настали су метаморфозом базичних вулканита (стене без серицита) и њихових пирокласта (стене са серицитом). Стене су метаморфисане у условима фације зелених шкриљаца, на температурама између 420 и 550 °С и притисцима између 4 и 6 кбара.

Исто гледиште заступају Кнежевић и Модич (1996). Кнежевић С. је од стране "Нафтагас"–а учествовала у избору материјала за дипломски рад Модич С., а прегледала је језгра и са других бушотина (посебно разрадних).

О могућим матичним стенама и нафтно–геолошком моделу поља "Турија–север" писали су и објавили рад Курбалија и др. (1994b). То је сажетак из елабората Курбалија и др. (1994a).

Павловић и др. (1996), допуњују геолошки модел. Мала порозност колектора, која је регистрована каротажним и лабораторијским методама, објашњава се малом секундарном порозношћу тектонских бреча. Даље се образлаже теза о типичном природно фрактурираном колектору, са одсуством интергрануларне порозности вап раседних зона.

Са гледишта геофизике и тектонике, највише података дају Вучић и др. (1994), а на основу интерпретације 3Д сеизмичких испитивања. Међутим, процена перспективности нафтног поља је углавном заснована на регистровању бреча од шкриљаца велике моћности, уз претпостављена добра колекторска својства, а тај услов није на целом подручју испуњен.

У овом раду се, коришћењем великог броја бушотинских података ГKM, употребених сеизмичким подацима за простор где нису избушене бушотине, приказује тектонска еволуција структуре "Турија" и показују неке разлике у односу на прихваћена гледишта.

МЕТОДОЛОГИЈА ИСТРАЖИВАЊА

Идеја за примењену методологију истраживања је настала почетком 1993. при заједничким покушајима са Кеменци Р. на успостављању корелације између података ГKM и литолошких сазнања са језгара у стенама недовољно дефинисане стратиграфије (Hc). Пошто је у Hc делу било немогуће издвајање стабилних карактеристичних репера, а подаци диплога за праћење пада слојева су у здробљеним шкриљцима неупотребљиви, преостало је праћење седиментације у плићим деловима, кроз панон и доњи понт. Тада је примењена интензивна тектонска активност у доњем понту, када долази до наглог формирања пакета седимената у јужном и југозападном делу, а изостајка, односно смањења дебљине наслага у централном делу структуре. Према томе, праћењем синхроности седиментације и дебљине слојева између одабраних карактеристичних каротажних репера, омогућава се праћење неотектонске активности. Изложени принцип рада није непознат, и применом кабинетског метода, у појединим облицима је примењен за праћење неотектонске активности (Марковић и др., 1997).

Основу за праћење неотектонске активности чине бушотински подаци, пре свега каротажни репери одређивани на дијаграмима ГKM (Naftagas, 1988–1998). У ту сврху су за литолошка рашчлањавања праћене криве специфичног електричног отпора формације (СЕО) дуал индуктивне и дуал латеролог методе, криве порозности компензованог неутрона, каротажа густине, индекса фотоелектричне апсорпције и спектра природне γ радиоактивности. За праћење еластичних својстава формације, уз регистровање интегралног времена за успостављање корелације са рефлексијама сеизмограма, коришћена је звучна каротажа. Подаци диплога су коришћени за праћење кривине бушотина, структурног пада слојева, услова седиментације и одређивање зона раседа и дискорданција. Један пример коришћених дијаграма ГKM дат је на сл. 1. На левој страни је приказан сложени дијаграм ГKM, а на десној обрађени дијаграм диплога.

Анализа γ криве показује да се при уласку у наслага од шкриљаца региструје повишена природна радиоактивност, која није селективна на кривој укупне радиоактивности, услед повећане акумулације урана у бази панона. Зато се користи крива спектралога, и на основу јако повећаног садржаја калијума и торијума у стенама, зона са шкриљцима се лако раздваја. Потврда се налази праћењем Pe криве (индекса фотоелектричне апсорпције литодензитија), јер преласком из карбоната у наслага од шкриљаца вредност Pe опада. Улазак у лежиште на дубини од 2 097 m одређује се преко кривих специфичног електричног отпора (СЕО), спектралога, густине и брзине простирања звучних таласа у стенама.

Даље, интервал од 2 087–2 097 m би могао да припада кластитима отнанга и карната, али нема палеонтолошких података. На 2 076–2 078 m се налази ново увећани репер d' . Уочава се већа акумулација урана, а садржаји калијума и торијума су мањи у односу на садржаје у стенама са шкриљцима. Плиће се налазе седименти базе панона таложени у карбонатној средини. Карактерише их даље смањење садржаја калијума и торијума, уз местимично повећање садржаја урана. Повлата базе панона на 2 038 m одређује се преко γ радиоактивности, СЕО, изражене промене густине и брзине простирања звучних таласа.

Из обрађених података диплога (сл. 1 десно) уочава се улазак у кластите од шкриљаца преко расутих падних углова. У лежишту (дубље од 2 097 m) је иста си-

туација, а су подаци диплога неупотребљиви. Корисне информације се могу добити праћењем плићих слојева. Тако се у интервалу 2 055–2 070 m уочава нетипична промена која би могла да одговара раседној зони. Структурни нагиб од 4° ка северозападу (азимут износи 310°) дефинише садашње стање пружања слојева доњег панона из интервала 2 025–2 038 m.

Према изнетом, на дијаграмима ГKM одређивани су и праћени, одоздо на горе, карактеристични каротажни репери помоћу којих се у простору дефинишу структурни, односно стратиграфски хоризонти. Сваки од издвојених структурних хоризоната представљен је матрицом података коју чине x и y координате и кота z хоризонта у бушотинама. Разлика две матрице, тј. разлика положаја два структурна хоризонта даје дебелину седимената таложених у временском интервалу између њих, на основу које је вршена реконструкција неотектонске активности.



Сл. 1. Дијаграми ГKM и обрада диплога бушотине Tus-30 (Павловић и др., 1996).

Fig. 1. GWL diagrams and diplog processing of the well Tus-30 (Pavlović et al., 1996).

За истражне бушотине су коришћени подаци за каротажне репере одређени у Служби за стратиграфију од стране геолога С. Максимчева и М. Мијатовића. Стратиграфски репери су одређивани на бази петролошких одредби Кеменци Р., Кроња В. и Жумберковић В., палеонтолошких и литолошких праћења матери-

јала из бушотина Гагић Н., интерпретације каротажних дијаграма Г. Грбовића, и, у мањем броју, палинолошких описа И. Дулића.

Постојећи званични подаци о каротажним реперима истражних бушотина су на критичним местима проверавани коришћењем свих каротажних метода, а затим допуњавани, тј. самостално одређивани за разрадне бушотине. Ради бољег сагледавања неотектонике потенцирана је примена тектонски индицираног репера С у доњем понту, и *уведени су нови рејери у бази панона и у панону*. За њихово дефинисање коришћени су, пре свега, дијаграми диплога и спектралога, а за одређивање и дијаграми СЕО дуал индуктивне методе, густине, као и звучне каротаже, одговарајућих бушотина. При томе су од великог значаја били подаци Гагић Н. која је на основу материјала са сита, осим палеонтолошких података, давала детаљне описе литологије стуба бушотине. На тај начин је у потпуности успостављена корелација са каротажним дијаграмима.

Конструисање изолинија реперних хоризоната и њихових разлика вршено је на рачунару у програму "Сурфер-6". За интерполацију података коришћена је Кригинг метода. Ради сагледавања најкрупнијих структура вршено је изравнавање површина реперних хоризоната, као и њихових разлика. Затим су преломне зоне на картама дебљина (подручја наглих промена дебљина) интерпретиране као разломне структуре. За проверу положаја разломних структура коришћене су карте реперних хоризоната и подаци диплога (нагиб, азимут и пречници бушотине, као и израчунати падни углови слојева и структура).

За боље сагледавање целокупног простора коришћени су подаци 3Д сеизмике, који су преко еластичних карактеристика формације и густине повезивани са каротажним подацима. Наиме, на сеизмограмима су проналажене рефлексije које одговарају карактеристичним реперима, и на основу претпостављених закона брзина из најближих бушотина одређиване су дубине каротажних репера (коте z) у деловима где још нису биле, или где нису уопште избушене бушотине.

Дакле, анализом просторних положаја изабраних структурних хоризоната, односно, њихових разлика, омогућено је праћење неотектонске еволуције басена.

ПРИКАЗ РЕЗУЛТАТА И ИНТЕРПРЕТАЦИЈА НЕОТЕКТОНСКЕ АКТИВНОСТИ

По креирању база података конструисане су и анализиране следеће карте структурних хоризоната:

- Нс у повлати стена недовољно дефинисане стратиграфије (сл. 8),
- д' у бази панона (сл. 13),
- Бп у повлати базе панона (сл. 12),
- д1 и д2 у доњем, и IV у горњем панону,
- д3 на граници доњег и горњег панона (сл. 11),
- Пн на граници панона и доњег понта (сл. 9),
- С на крају прве тектонске фазе у доњем понту (сл. 10),
- Г, П, П' и Л у доњем понту,
- Л' на граници доњег и горњег понта,
- Пс на граници горњег понта и палудина,
- Но – површина терена данас.

На свим картама структурних хоризоната коте z су дате у релативним дубинама рачунатим од површине терена надморске висине 79–85 метара.

После изравнавања површина реперних хоризоната разматрана је неотектонска активност на терену површине $5,53 \times 3,37 = 18,6 \text{ km}^2$. У раду су приказане и анализирани карте само за стратиграфски дефинисане формације. Због захтева за поштовањем "тајности података" изостављене су координате терена и називи бушотина, па су објашњења уопштена и мање прецизна.

Структурни хоризонти (сл. 8–13) показују садашњи изглед и положај структура реперних хоризоната. Они носе одређене информације о разломима, али не говоре пуно о времену њиховог активирања. Зато су у раду, ради прецизнијег одређивања тектонске активности, прво приказане и анализирани карте разлика суседних структурних хоризоната, т.ј. карте главних секвенци.

Карта дебљине седимената између репера Нс у повлати стратиграфски недовољно дефинисане серије, до уведеног репера д' у бази панона, приказана је на сл. 2. Структура је, практично, уз неке мање изузетке, све време од почетка бадена до панона била формирана и представљала копно, док је околни простор, поготово северно крило раседа R0, тонуо. Структура Тус (Турија–север) одвојена је од структуре Туи (Турија–исток) раседом R1 у бадену, када је и источни део структуре тонуо. Са југозападне стране се може издвојити расед R2. С обзиром да нису рађена палеонтолошка испитивања за јужни и југозападни део структуре, незахвално је предвиђати стратиграфију. Ипак, према одзиву формација код различитих каротажних метода, може се претпоставити да можда постоји сармат и, баден или чак старији миоцен, у југозападном делу. На северу се, поред маркантног раседа R0, може наслутити расед R3 који се активирао на почетку базе панона и који ће се, касније, у доњем понту реактивирати. (Ради разликовања, раседи који се најављују цртају се непрекиданим линијама.)



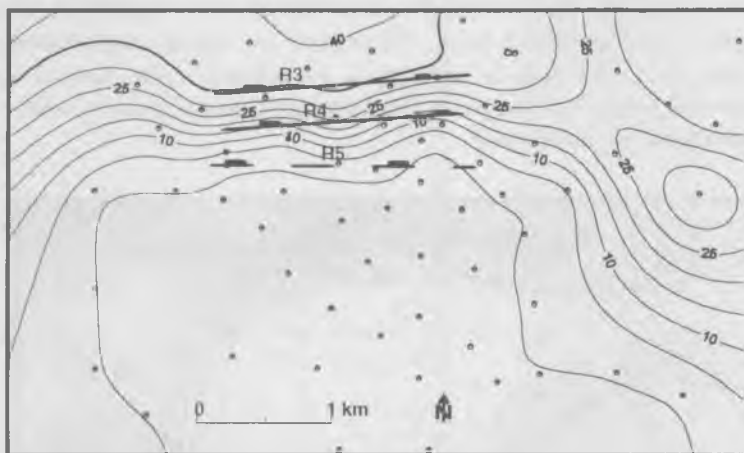
Сл. 2. Карта дебљине седимената између репера Нс и д'.

Fig. 2. Map of sediments' thickness between markers Ns and d'.

Према карти дебљине седимената базе панона на сл. 3, од репера д' до репера Бп (усвојене повлате базе панона), море надире са северозапада и севера, да би преплавило и садашњи издигнути део између раседа R3 и R5. Прво се таложе седименти у делу северно од раседа R3 (активираниог на почетку базе панона), а затим и

јужније, до раседа R5. Новоуведени репер д' по важећој стратиграфији означава крај првог дела седиментације у бази панона. Такође, он омогућава издвајање раседа R4 правца З-И (мало изнад средине сада издигнутог главног дела) и раседа R5. Репер д' је типичан, и на већем броју бушотина се релативно лако препознаје са дијаграма укупне природне γ радиоактивности слојева, а и промена СЕО је карактеристична (сл. 1). Према томе, за одређивање су углавном довољни само дијаграми дуал индуктивне методе који се управо користе у Служби за стратиграфију.

Седименти базе панона леже дискордантно на доњобаденским седиментима у северним и североисточним деловима структуре, док су у највишем делу структуре Тус у директном контакту са стратиграфски недовољно дефинисаном серијом. Кластична серија базе панона литолошки је представљена бречачама, конглобечачама и конгломератима од фрагмената различитог састава и порекла, различите крупноће зрна и карбонатне масе. У серији се запажа присуство битумија, односно, органске материје доказане и преко геохемијских испитивања на језгрима бушотина (Курбалија и др., 1994а). Могуће присуство органске материје најбоље се корелише преко дијаграма спектралогa (криве урана). Остаје отворено питање, шта је узроковало нагло повећање карбонатне компоненте у панону и природне радиоактивности, настале првенствено услед акумулације мобилног, лако растворљивог урана у органској материји?



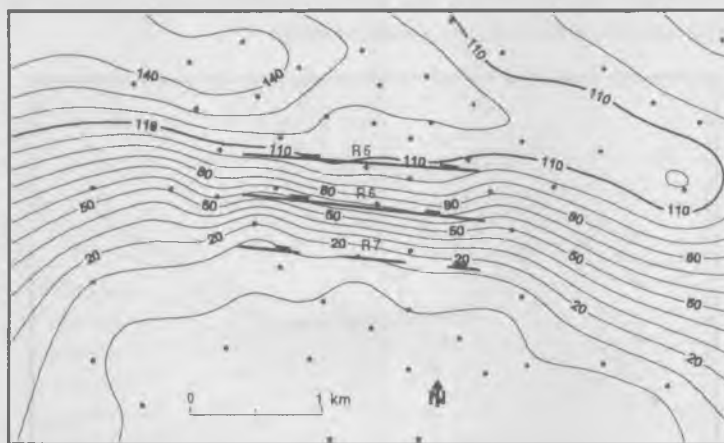
Сл. 3. Карта дебљине седимената између репера д' и Бп.

Fig. 3. Map of sediments' thickness between markers d' and Bp.

Према карти дебљине седимената у доњем панону, између репера Бп и д3 (сл. 4), трансгресија и даље напредује са северозапада и севера на југ. Услед интензивнијег топења, дебљина седимената је већа у северном делу. Од раседа R5 дебљина седимената се нагло сразмерно смањује, јер је структура издигнута у правцу југа, односно југ-југозапада, под углом од око 4° .

Поред раседа R5, на сл. 4 се уочавају и раседи R6 и R7. Активирање раседа R6 је ближе одређено каротажним реперима Бп (повлата базе панона) и д2 (повлата хоризонта д2-д1). Хоризонт д2-д1 је уједначене дебљине (20-26 m), лако се уочава, и има регионалан значај, јер је регистрован на ширем простору, и у преко 100 km удаљеним бушотинама Северног и Средњег Баната (Курбалија и др., 1994а).

И у доњем панону се уочавају повремена повећања природне γ радиоактивности, мањег интензитета, настала од урана, док у горњем делу наслага тога нема. То је био повод за истраживање на основу којег је уведен нови каротажни репер д3, и за разлику од званично усвојене стратиграфије панон раздвојен на горњи и доњи. Репер д3 се издваја првенствено на основу података спектралога и диплога, а и на дијаграмима осталих каротажних метода се уочава дискорданција.



Сл. 4. Карта дебљине седимената у доњем панону.

Fig. 4. Map of sediments' thickness in Lower Pannonian.

Корелишући на каротажним дијаграмима литолошке описе из "шлем" проба Gagić (1990–1994) потврђено је практично потпуно поклапање у дубини каротажних и петролошких података. Према томе, увођењем каротажног репера д3, и издвајањем на каротажним дијаграмима, омогућена је корелација и са палеонтолошким подацима, и једноставнија провера постојања горњег панона не само на стругиури "Турија", већ шире, на простору Војводине.

Према одредбама Gagić (1990–1994), седименти између каротажних репера д3 у подини и Пц у повлати (сл. 5) припадају нижем делу горњег панона. У пробама набушеног материјала са сита евидентирани су остаци врста *Amplocypris* cf. *simplex*, *Amplocypris abscissa* и *Candona (Lineocypris) nonreticulata* из нижег дела горњег панона. Од уведеног репера д3 на дијаграмима диплога мења се падни угао слојева, падни углови су хаотични и растурени, а изостају и "инјекције" урана. Литолошки се издвајају фино песковити лапорци.

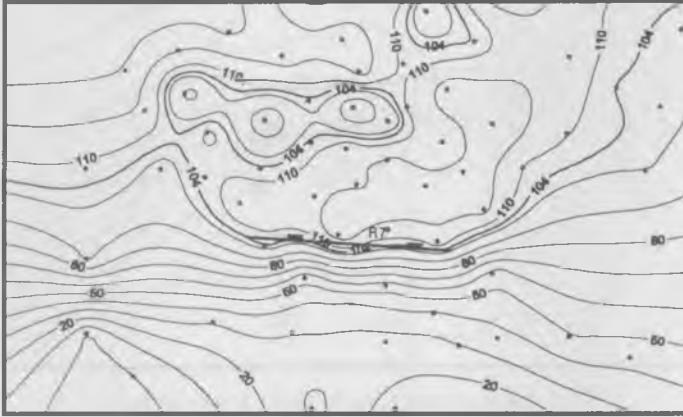
И у горњем панону се наставља интензивније тоњење северног дела (сл. 5), уз проширење на југ (мало јужније од раседа R7). Трансгресија даље напредује на југ, а Панонско море преплављује цео простор.

Карта дебљине седимената између репера Пн на граници панона и доњег понта, и тектонски индицираног репера С из нижег дела доњег понта, приказана је на сл. 6. Део стругиури између раседа R3, R4 и R5, који је у панону тонуо (сл. 3–5), у доњем понту почиње да се релативно издиже у односу на околни простор.

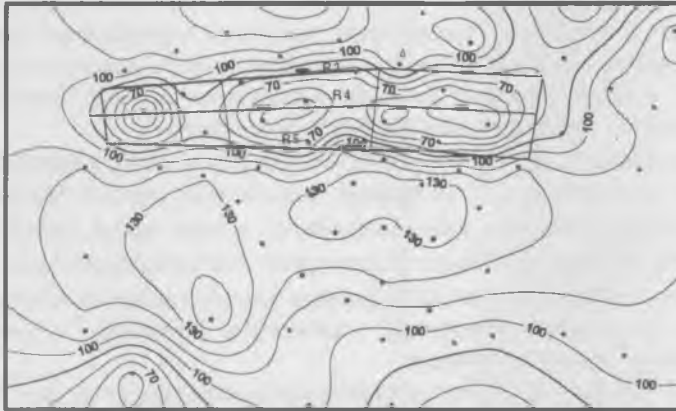
Раседи R3, R4 и R5 су скоро вертикални, узроковани радијалном тектоником. Да се ради о издизању структуре на почетку доњег понта, докази се могу наћи анализом синхроности седиментације слојева, еластичних својстава формације, пода-

така диплога итд. Основно је да структура Тус није настала само услед локалног гравитационог раседања (Курбалија и др., 1994а; Вучић и др., 1994; Павловић и др. 1996), већ и услед издизања централног дела, узрокованог вертикалним кретањима на мало ширем простору.

У седиментима панона пад плиоценског раседа R5 износи око 79° , док се у седиментима млађег плиоцена угао смањује до 75° . И то је разлика у односу на званично усвојена гледишта (Вучић и др., 1994, страна 35, сл. 5) где се плиоценски расед R5 подвлачи под падним углом од максимално 45° .



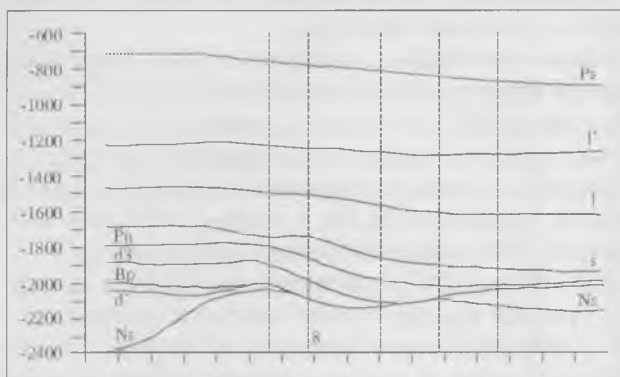
Сл. 5. Карта дебљине седимената горњег панона.
Fig. 5. Map of sediments' thickness of Upper Pannonian.



Сл. 6. Карта дебљине седимената између репера Пн и С.
Fig. 6. Map of sediments' thickness between markers Pn and S.

После интензивних позитивних вертикалних тектонских покрета, приказаних на карти дебљине седимената између репера Пн и С (сл. 6) и на геолошком профилу кроз пресек А-А1 (сл. 7), углавном настаје дејство гравитационе тектонике. Даље током доњег понта структура тоне на југозапад, а потом у горњем понту долази до инверзије, тј. тоњења на североистоку уз издизање на југозападу. Затим, у палудинским слојевима и квартару, настаје интензивно тоњење на југ блокова јужно од

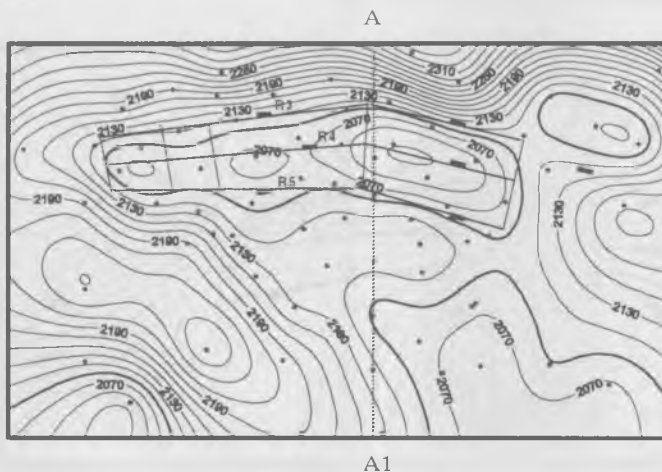
раседа R5, а издизање у крајњем северном, а поготово у садашњем централном делу. Нормално, све време у активним деловима структуре постоје мања повремена издизања и спуштања као резултат интеракције блокова и стабилизације унутар структуре. Због ограниченог простора за ове фазе се не прилажу анализирани карте дебљине седимената, али се описано делом може видети на следећој слици.



Сл. 7. Геолошки профил кроз пресек А-А1.

Fig. 7. Geological profile through section A-A1.

На сл. 7 је приказан геолошки профил С-Ј за пресек А-А1 означен на сл. 8. Због прегледности су приказани само најочљивији структурни хоризонати. За



Сл. 8. Структурни хоризонт Ns.

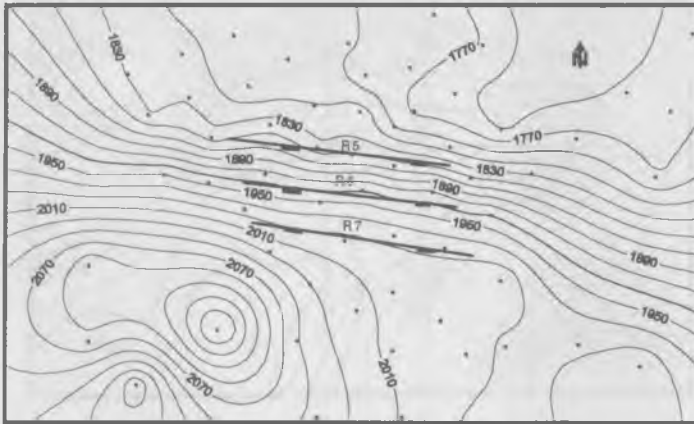
Fig. 8. Structural horizon Ns.

формирање датотека је коришћен програм "Сурфер-6", а за цртање програм "Графер-4". Са слике се запажа сличност тектонске активности у панону (репери д' и Пн) и горњем понту (репери л' и Пс) када северни део интензивније тоне у односу на јужни део. У доњем понту (означеном реперима Пн и л'), као и у палудинским слојевима и квартару (између репера Пс и Но) углавном се јавља супротно кретање блокова. Тада се, осим негативних гравитационих кретања, дешавају и позитивна вертикална кретања. А као резултат најмлађе тектонске активности, "стара" структура Тус са седиментима недефинисане стратиграфије примила је садашњи изглед, док су панонски седименти према северу формирали нову, већу структуру.

Структурни хоризонт по повлати стена Нс, односно, приближно садашњи изглед повлате лежишта, после свих тектонских догађаја, приказан је на сл. 8. Уочава се издигнути део структуре Тус, раздвојен на блокове са три раседа R3, R4 и R5 приближног правца З–И, и неколико раседа приближног правца С–Ј. Уочава се и велика сличност са сл. 6 из нижег доњег понта, што је логично, с обзиром да су кретања блокова стена недовољно дефинисане стратиграфије узроковала промену изгледа и положаја млађих седимената у том делу структуре.

Бушењем и испитивањем језгрованог материјала одређене су врсте шкриљаца у бречима, али није могла да се одреди стратиграфска припадност бреча. Ипак, за Нс серију у издигнутом делу, између раседа R3 и R5, може се рећи да је старија од отнанга, и да је, по таложењу бреча, структура могла да се формира на почетку отнанга. У току је успостављање репера у стенама недефинисане стратиграфије, и на основу прелиминарних резултата, у повлати стена Нс у јужном и ЈЗ делу има седимената млађих у односу на седименте Нс у најиздигнутијем делу структуре.

За разматрање утицаја тектонске активности у плиоцену и квартару, важан је структурни хоризонт репера Пн на граници између горњег панона и доњег понта (сл. 9). То је уједно и карта дебљине седимената таложених од почетка доњег понта до данас. Уочавају се раседи R5, R6 и R7 са сл. 4, уз битну разлику. Наиме, после активирања и спуштања северних крила раседа R5, R6 и R7 у панону (сл. 4 и 5), и издизања северног крила раседа R5 на почетку доњег понта (сл. 6), долази до тоњења јужних крила раседа R5, R6 и R7 (сл. 9).

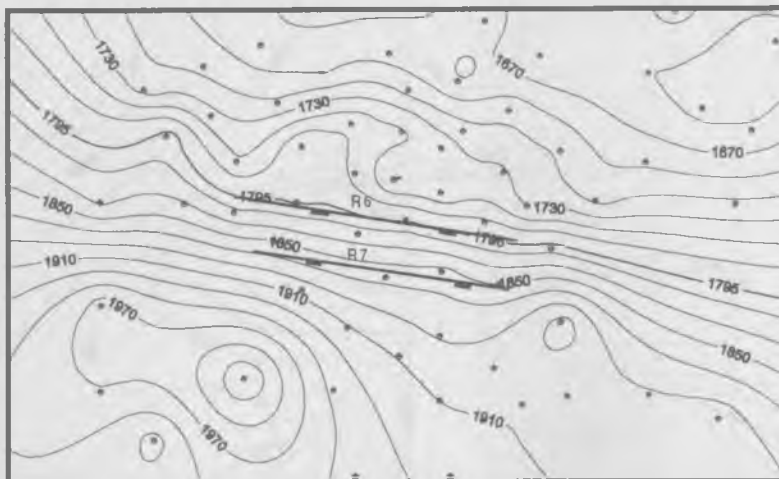


Сл. 9. Структурни хоризонт Пн.

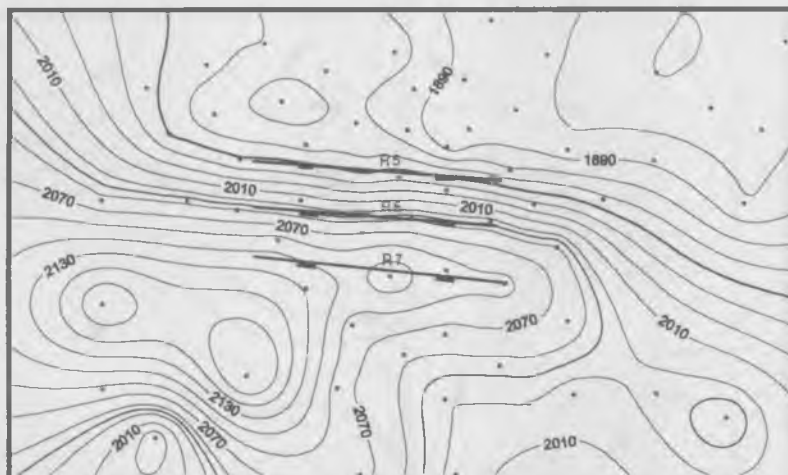
Fig. 9. Structural horizon Pn.

Такође, анализом структурног хоризонта Пн (сл. 9) и секвенце горњег панона (сл. 5) уочава се следеће: седименти између раседа R5 и R7, који су на крају горњег панона били практично хоризонтални (пад од око 1–2° на север), под дејством најмлађе тектонике променили су правац и смер пада, и сада падају под углом од 6 до 13°, али у смеру југа, односно Ј–ЈЗ.

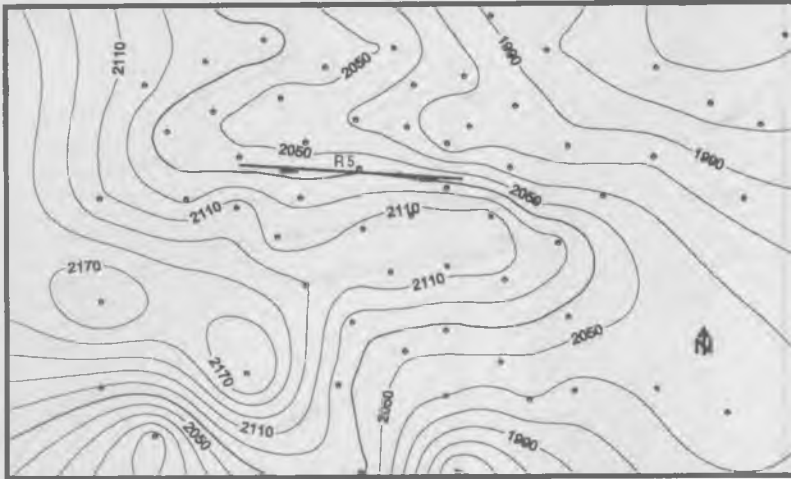
Следеће слике (10–13) приказују преостале, у раду коришћене карте структурних хоризоната: С у нижем делу доњег понта, д3 између доњег и горњег панона, Бп у повлати (на крају) базе панона, и д' са почетка базе панона.



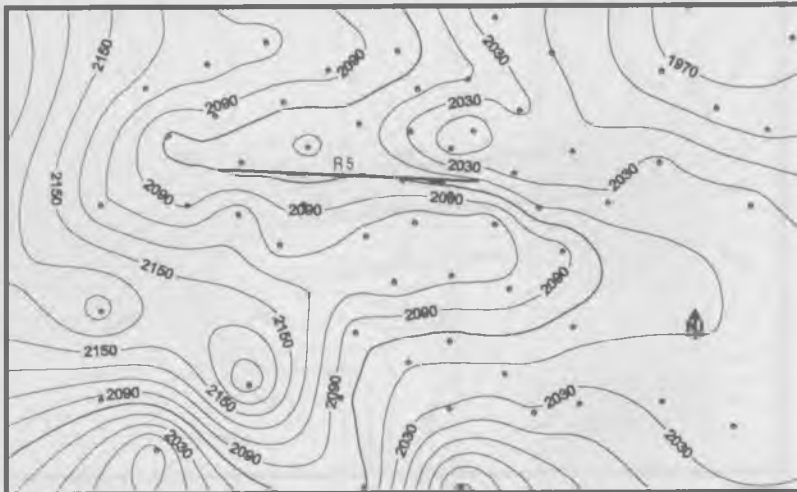
Сл. 10. Структурни хоризонт С.
Fig. 10. Structural horizon S.



Сл. 11. Структурни хоризонт d3.
Fig. 11. Structural horizon d3.



Сл. 12. Структурни хоризонт Бп.
Fig. 12. Structural horizon Bp.



Сл. 13. Структурни хоризонт д'.
Fig. 13. Structural horizon d'.

За праћење тектонске активности у панону и доњем понту, и тачније провере положаја разлома, најкориснији су подаци диплога. Међутим, аутору нису били доступни сви расположиви подаци, јер је већи део интерпретација код Marković i Pavlović (1991–1994) смештен на магнетну траку, архивиран, и за практичне потребе недоступан. Зато је интерпретација дата само за углавном поуздане податке.

Приказане карте структурних хоризоната и њихових разлика су најпрецизније у деловима са највећим бројем бушотинских података. За бољи општи приказ, у зонама без бушотина су убачени подаци са сеизмичких секција. С обзиром на мали број поседованих секција убачено је свега 12 симулираних бушотина са одговарајућим реперима. Бољи резултати би се постигли повећањем броја гачака, а најбоље реинтерпретацијом сеизмике и каротаже.

ЗАКЉУЧАК

Дати су нови подаци о сложенем карактеру структуре "Турија" коришћењем каротажних репера за приказивање тектонске активности. Праћена је еволуција структуре, и дати је прецизнији геолошки модел. Показује се да осим раседа R0 у северном делу структуре, постоји и расед R3, правца З–И, јужније. Тај расед се реактивира на почетку доњег понта и битан је за еволуцију структуре и оконтуравање главног лежишта. Расед је потврђен преко карата дебљине седимената, а и преко заводњавања бушотина у раседној зони. Такође су идентификовани и раседи R4, R6 и R7.

Анализом неотектонске активности показано је да је издигнути део структуре Тус између раседа R3 и R5 најпродуктивнији. То потврђују и подаци о производњи.

Разумевањем карактера и утицаја најмлађе тектонике на формирање лежишта и миграцију угљоводоника, омогућава се примена и на другим структурама сличног, као и различитог типа.

Детаљно се анализира неотектонска активност праћењем дебљине седимената између појединих структурних хоризоната. У ту сврху уведени су нови стратиграфски реперни: д' у бази панона и д3 на граници између доњег и горњег панона. За бољу анализу неотектонике коришћен је и репер С у доњем понту.

Праћењем неотектонике омогућено је и прецизније стратиграфско раздвајање. Потврђено је запажање палеонтолога Н. Гагић о постојању још једног стратиграфског члана у оквиру панона – горњег панона.

За формирање лежишта најбитнија су позитивна вертикална кретања. Изазвана унутрашњим силама из дубине Земље, јављају се у импулсима, са интензивним тектонским покретима. После њих наступају фазе релативног мировања и гравитационе тектонике, са кретањем блокова у истом правцу и смеру, уз повремене краће промене смера приликом стабилизације структура.

Палео рељеф није стационаран и окоштао, већ је динамички променљив. После разградње веће структуре у доњем миоцену и бадену, и разградња структуре "Турија" у панону, на почетку доњег понта почиње формирање мање структуре, и садашњег изгледа "палео" рељефа, које траје и данас.

Главно лежиште нафтног поља "Турија–север" почиње да се формира у доњем понту.

Под дејством најмлађе тектонске активности седименти панона се издижу у северном делу, и формирају нову, већу структуру.

Структура "Турија" због своје комплексности захтева даља мултидисциплинарна истраживања.

Геол. ан. Балк. полуос. Ann. Geol. Penins. Balk.	62	75-101	Београд, децембар 1998 Belgrade, Decembre 1998
---	----	--------	---

UDC 551.248.2:550.3(497.113)

Original scientific paper

NEOTECTONIC ACTIVITY OF TURIJA STRUCTURE (PANNONIAN BASIN, VOJVODINA)

by

Slobodan Bojkovic*

When there are many wells on a small area, it is possible to observe, qualitatively and quantitatively, recent neotectonic activities, using well logging data. For this purpose, it is necessary to distinguish on well logs characteristic markers that represent tectonic events and analyze structural horizons defined by them. The best results are achieved by integrating well logging and seismic data. Seismic data are used in the areas without drilled wells. The described working method is applied on the Turija oil structure.

First, the well data were interpolated using the commercial program Surfer-6. After that, stratoisohypse maps of marker horizons were constructed, as well as the maps of their differences to get thicknesses of the sediments for sequences. Then, results were analyzed and interpreted.

Key words: well logging (WL), well logging marker, tectonics, structural horizon, fault structure, seismics, Turija, Pannonian Basin, Vojvodina.

INTRODUCTION

The study of origin and evolution of sediment basin is very important for hydrocarbon exploration, as well as the definition of the recent tectonic movements and observation of their influences, either positive or negative, on reservoir forming and hydrocarbon migration. Seismic data are the base for tectonic observation in an area, but they are of limited resolution and with many meanings, because of complex influences on the waves response of the formation. For solving such problems and better time-depth conversion, it is necessary to establish all the required calibration in seismic data acquisition, data processing and interpretation. For this purpose, the informations for precise calibration, correlation and better geological modeling are obtained by geophysical well logging, as well as by vertical seismic profiling.

When there are a lot of wells on a small area, it is possible to observe the effects of recent neotectonic activity using well logging data. For that purpose, on well logs is necessary to distinguish characteristic markers, which represent characteristic events, and analyze structural horizons defined by them. The occurrence of a new depositional mem-

* NIS-NAFTAGAS, O.D. Rudarski radovi, Narodnog fronta 12, 21000 Novi Sad.

bers in the lithologic column of the well, with significant thickness increase or thickness reduction may mean relative downthrowing or uplifting, respectively. The best results are given by integration of well logging and seismic data. Seismic data are used in the areas without drilled wells. The described working method is applied on the Turija oil field.

REVIEW OF GEOLOGICAL STRUCTURE

The Turija structure belongs to the northern part of the South-Bačka depression. More precisely, it is located in the Transbanatic-Bačka fault zone (Marović et al., 1996), i.e. in the deep Dalj-Hetin fault zone (Vukašinić, 1994).

About the Turija structure and projects on the oil field, there are many separated reports of petrologic, paleontological, geochemical and other exploration and well logging (Naftagas, 1988-1998), the synthesis of which is given in report (Kurbalija et al., 1994a) and in published articles (Dimić, 1991; Vučić et al., 1994; Kurbalija et al., 1994b; Knežević & Modić, 1996; Modić, 1994; Pavlović et al. 1996).

According to Kemenci (1993), the main reservoir rocks of the Turija structure consist of decameters and meters sized blocks of schist, smaller schist fragments and sand grain sized schist. The latter, with carbonate-clayey and sericite cement forms at places the matrix of the coarse clastic rocks. Fragments of muscovite-chlorite-albite-quartz-garnet schist prevail. Fragments of muscovite-chlorite-biotite-albite-quartz-garnet schist, actinolite-epidote-garnet and biotite-actinolite-chlorite-albite schist are rarer (Kronja, 1989-1992; Kemenci, 1993).

On the bases of several mineralogical analyses by Rtg diffraction method of breccia and conglobreccia matrix, Žumberković (Kurbalija et al., 1994a, 1994b) interprets that besides psammitic clasts the matrix contains carbonate and clay minerals. Due to the small volume of matrix material and absence of fossils in it, the chronostratigraphic identification of reservoir rocks could not be made.

According to Gagić (1990-1994) and Kurbalija et al. (1994a), Otnangian sediments are developed as red-green variegated molasse deposits, and the Karpatian sediments as green-gray molasse deposits. Lithologically, the sediments consist of silt, sandstone, microconglomerate and schist conglobreccia. In the northern part of the structure, Otnangian schist breccia and conglobreccia were found.

According to Kurbalija et al., (1994a, 1994b) the Badenian sediments are represented by siltstone, marlstone, laminated layers of carbonate and sandstone, breccia and conglobreccia in the base.

Pannonian sediments lay transgressively and discordantly above the Badenian marine sediments in the northern and northeastern parts of structure. In the central, southern and southeastern parts they lay above stratigraphically insufficiently defined deposits. The Pannonian exists in Caspibrackish facies made of polymict breccias in the basement (in the northern part), micrite, biomicrite, clayey limestone and marlstone.

The Lower Pontian is represented with low sand content marlstone in the lower part, and marl with laminated sandstone in the upper part.

The Upper Pontian is characteristic of marly, sandy and coaly clays in alternation with clayey and marly sandstones.

The Paludinian beds and Quaternary sediments are not stratigraphically separated. The deposits are marly and sandy clay, sand, poorly consolidated sandstone, coaly clay, coal thinbeds, clay, loess and humus on the surface.

The first definition of breccia deposit of schist, as possible hydrocarbon collectors, gave Dimić (1991). While analyzing 3D seismic section, Dimić separated this deposit and named them as Chaotic Clastic Formation. According to his interpretation, paleo-flow of this breccia came from south to north and northeast.

According to Kemenci (1993) the reservoir rocks of main pool in the Turija structure consist of short transported cataclized blocks and debris of schists, as well as of breccia and conglobreccia of schist fragments cemented with psammitic detritus and carbonate-clayey cement. In places, metabreccias, which contain fragments of quartz and feldspar from cataclized granitoids, can be found.

The well-log interpretation by Grbović (1989–1998) confirms that the reservoir rocks are represented by blocks of schist (with fracture porosity), and sediment rocks with intergranular porosity.

A somewhat different view can be found in the reports of Kronja (1989–1992). According to her, the reservoir rocks of insufficiently defined stratigraphy are made of autochthonous schists changed into tectonic and fault breccias.

According to Modić (1994), and Milovanović D., mentor of her graduated project, the reservoir rocks are crystallized schist, which are, in some parts, changed in tectonic breccias and mylonites, after intensive tectonic processes – cataclastic metamorphism. The crystallized schists of the structure appear by metamorphosis of alkali-volcanoclastics (rocks without sericite) and their pyroclasts (rocks with sericite). The metamorphosis of the reservoir rocks into the green-schists facies occurred on temperatures between 420–550° C and pressures between 400 to 600 MP.

Knežević & Modić (1996) have the same point of view. Knežević selected washed samples from the Core Fund of Naftagas for graduate project of Modić and herself analyzed samples from some additional wells (particularly recovery wells).

Kurbalija et al. (1994b) have written and published a paper on possible source rocks and on oil-geological model of Turija-North field. The paper is a project summary Kurbalija et al. (1994b).

Pavlović et al. (1996), supplemented the geological model. The low reservoir porosity (evaluated from well-logs and laboratory data) is explained by the poor porosity of tectonic breccias. Next, they justify the thesis of naturally fractured reservoir rocks, without intergranular porosity away from fault zone.

From the aspect of geophysics and tectonics, most data were given by Vučić et al. (1994), on 3D seismic section interpretation base. However, evaluation of oil-field productivity is mainly based on breccia of schist records, with prediction of good reservoir features, but this condition is not valid on the whole space.

Using great number of well-log data, supplemented with seismic data for the space without wells, tectonic evolution of the Turija structure is described. Some differences in official points of view are given, too.

INVESTIGATION METHODOLOGY

The idea to apply this methodology of investigation arose in 1993 in mutual attempts with Kemenci R. to establish the correlation between well-log data and lithology descriptions from washed samples in Ns (stratigraphically insufficiently defined formations). Because it was impossible to separate the stable characteristic markers in Ns series and to use diplog data for structural dip tracing in the schist, it remained to follow the younger sediments in the Pannonian and Lower Pontian stages.

Then, intensive tectonic activity in the Lower Pontian were noticed, with development of new sediment members in southern and southwestern parts on one hand, and absence or deposits thinning in the central part of the structure. Accordingly, tracing synchronicity of deposition and formation thicknesses among the selected characteristic well logging markers, it is possible to recognize the effects of neotectonic activities. The described work principle is not unknown and has been used as an office version for the recognition of the neotectonic activity (Marković et al., 1997).

Well data are the bases for neotectonic activity observation, particularly well-logging markers defined on well-logs (Naftagas, 1988–1998). To that purpose, for lithology determination the following geophysical well-log data were used: specific electrical resistance (SER) of Dual Induction and Dual Laterolog methods, porosity of Compensated Neutron Log, density and photo-electrical absorption index of Lithodensity, and spectrum of natural radioactivity of Spectrolog. Compensated Borehole Acoustilog was used for determination elastic property of formations, integral time registration and depth correlation with seismic reflections. Diplog data were used for well inclination tracing, structural dip determination, condition of sedimentation and zone faults and unconformities definition. One example of using WL diagrams is shown in Fig. 1. On the left side is a composite WL diagram, and on the right is the calculated diplog.

Gamma-ray curve analyzes show that the schist has a higher intensity of γ rays, but entries in schist deposits are not selective on the total γ ray curve because of increasing uranium accumulation in the Pannonian base. For that reason, the spectrolog was used, and where the potassium and thorium contents of the rocks highly increases, the schist zone can be easily separated. This is confirmed by the Pe log, because, with the transition from carbonate to schist deposits, the Pe value decreases. Reservoir cap rock entry on 2097 m is determined with specific electrical resistance (SER) curves, spectrolog, lithodensity and travel-time data.

Next, the interval of 2087–2097 m could belong to Otnangian and Karpatian clastics, but paleontological confirmation were not made. From 2076 to 2078 m a new marker, d', is shown. Uranium accumulation is higher and potassium and thorium contents are lower in relation to the contents of the schists. The shallower interval features Pannonian-base sediments deposited in a carbonate environment. They are characteristic of decrease in potassium and thorium contents, and sporadic increase of uranium content. The rocks on top of the Pannonian base at 2038 m could be defined by distinct changes of γ radioactivity, SER data, density and travel time.

From diplog calculation and interpretation (right in Fig. 1), by scattered dip, the entry in schist clastics could be noticed. In the reservoir rocks (deeper than 2097 m) the observation are similar and diplog data are unusable. Useful information can be received by tracing shallower

layers. So, in the 2055–2070 m interval, an untypical change can be noticed, that could be interpreted as a fault zone. The structural dip of 4° on the northwest (310° of azimuth) define the present state and position of the Lower Pannonian layers in the 2025–2038 m interval.

Accordingly, on well logs from bottom upwards are defined and followed the characteristic WL markers, which in space denote structural and stratigraphic horizons. Each of separated structural horizons is represented by data matrix with x and y coordinates, as well as z coordinate (present depth of WL markers). The difference of two matrices, i.e. the difference of two structural horizons give the thickness of sediments deposited in time interval between marker horizons, on the base of which the reconstruction of the neotectonic activity was done.

In the case of exploration wells, the WL markers determined in the Department of Stratigraphy by geologists Maksimčev & Mijatović (1988–1998), were used. The stratigraphic markers are separated on the bases of petrologic determinations by Kemenci R., Kronja V. and Žumberković V., paleontological and litologic well material examination by Gagić N., well-log interpretation by G. Grbović, and, to some extent, by palinologic description of I. Dulic.

Official data about WL markers from exploration wells are on critical and questionable places checked by using all WL methods, and then supplemented by the author of this paper for recovery wells. For better understanding of neotectonic activity, more importance is attached to the event S in Lower Pontian, and *new markers are introduced in the Pannonian*. They were defined by using diplog and spectrolog data. To identify them on logs, dual induction SER data, lithodensity and sonic travel-time data from the wells were used. Great importance has had Gagić N. remarks. She gave complete description of litology in the wells, on the bases of cutting samples. In that way, complete depth correlation is established between cutting samples and WL data.

Construction of isolines of the marker horizons and their differences was done by Surfer-6 computer program. The Krigging method was used for data interpolation. For better separation of main structures, smoothing of data and marker horizons and their differences were made. Then, the braking zones (zones of sudden thickness change) on the maps of differences are interpreted as a fault structure. For checking the place and position of the faults, maps of marker horizon and diplog data (dip, azimuth and caliper data, as well as calculated dip of layers and structure) were used.

For better understanding of the whole space, 3D seismic data were used. Correlation with well-log data were done by using density and travel time (elastic characteristic of formation) data. The reflections which correspond to characteristic markers were defined on seismograms. On the bases of integral travel time to depth correlation for surrounding wells, depth of logging markers (z coordinate) were defined in space without wells.

Thus, analyzing the position of structural horizons, i.e. their differences, it was possible to reconstruct the neotectonic evolution of basin.

REVIEW OF RESULT AND INTERPRETATION OF NEOTECTONIC ACTIVITY

After data base creation, maps of the following structural horizons (events) were constructed and analyzed.

- Ns – on top of stratigraphically insufficiently defined rocks (Fig. 8),
- d' – within the Pannonian base (Fig. 13),
- Bp – on top of the Pannonian base (Fig. 12),
- d3 – on the boundary between Lower and Upper Pannonian (Fig. 11),
- Pn – on the boundary between Pannonian and Lower Pontian (Fig. 9),
- S – in the early Lower Pontian, at the end of the first tectonic phase (Fig. 10),
- d1, d2 – within the Lower and IV within the Upper Pannonian,
- G, P, P' and L – within the Lower Pontian,
- L' – on the boundary between Lower and Upper Pontian,
- Ps – on the boundary between Upper Pontian and Paludinian,
- No – present ground surface.

On all maps of structural horizons, z coordinates are given in relative depths calculated from ground surface (79–85 meters above sea level).

After smoothing of structural horizons, neotectonic activity was analyzed on the area of $5.53 \times 3.37 = 18.6 \text{ km}^2$. In the article are shown and analyzed only the maps of stratigraphically defined formations. For reason of confidentiality, the coordinates of area and names of the wells are not given. The explanations are generalized and therefore not quite definite.

The structural horizons, Figures (8–13), give the present state and position of the marker horizons on the Turija structure. They give some information of the faults, but do not give information on the time of activation. For that purpose, for chronology determination of the tectonic events, maps of differences between adjacent horizons (sequences) are shown and analyzed in the paper.

Figure 2 is a map of sequence determined by event Ns on top of the stratigraphically insufficiently defined sediments and event d' in the Pannonian base. The structure existed as a continental feature at the onset of the Badenian and continued into the Pannonian, with some minor exceptions, while surrounding space, particularly the northern part of the R0 fault, subsided. The structure Tus was separated from the structure Tui by fault R1 in the Badenian, when eastern part of structure was sinking. On the southwest, it is possible to distinguish fault R2. Because the paleontologic investigation were not done for the southern and southwestern parts of structure, the stratigraphy can only be assumed. According to formation response in different well logging methods, in the southwestern part the existence of Sarmatian, Badenian or early Miocene sediments can be supposed. In the north, besides the great fault R0, fault R3 can be recognized. The fault was activated at the beginning of Pannonian base, and later in the Lower Pontian reactivated.

By the Pannonian base sequence defined with d' and Bp events (Fig. 3), the sea invaded the space from northwest and north, and finally flooded the present uplifted part between faults R3 and R5. The sedimentation started in the northern part of fault R3 (activated at the beginning of Pannonian base) and then continued southward to fault R5. According to official stratigraphy, the new event d' denoted the first part of sedimentation in the Pannonian base. In addition, d' helps recognition of the W–E trending fault R4, and of fault R5. Event d' is typical, and in many wells is relatively easy recognized on gamma-ray logs. Also, SER changing is characteristic (Fig. 1). Thus, for the determination of this marker, the dual induction and gamma ray logs which are normally used in Department of Stratigraphy, are enough.

The Pannonian base deposits lay discordantly over the Lower Badenian sediments in the northern and northeastern parts of the structure. In the central, uplifted part, they are in direct contact with stratigraphically insufficiently defined formations. The clastic deposits of the Pannonian base are lithologically represented by breccia, conglobreccia and conglomerate consisted of fragments of different composition and nature, different grain size and carbonate content. In these formation the existence of bitumia was observed, i.e. the organic matter proved by geochemical (pyrolysis) analysis on sample cores from wells (Kurbalija et al., 1994a). The possible deposition of organic material is best correlated with the uranium curve on the spectrolog. That remains an open question; what caused in Pannonian sudden dominance of the carbonate component and natural radioactivity, mainly do to the deposition of mobile, easy soluble uranium in organic matter.

According to the map of sequence, between Bp and d3 events in Lower Pannonian (Fig. 4), the Pannonian Sea transgressed from the northwest and north southward. Sediment thicknesses are greater in the northern part, due to intensive subsidence north of the fault R5. South of fault R5 thickness is reduced because the southern and south-southwestern parts of structure incline at an angle of some four degrees.

Besides fault R5, faults R6 and R7 could also be separated in Fig. 4. Activation of fault R6 is determined on well logs by marker Bp (at the top of Pannonian basement) and d2 (top of d2-d1 horizon). The thickness of horizon d2-d1 ranges from 20-26 m. This horizon of regional importance can be easily recognized. It is registered on 100 km. distant wells in North and central Banat (Kurbalija et al., 1994a).

Also, in the Lower Pannonian can be seen sudden, scattered increase of natural radioactivity caused by uranium accumulation, but of lower intensity than in Pannonian-base deposits. It was the reason for investigation resulted in the observation of a new well logging marker, d3. It presents an event on the boundary of the Lower Pannonian and Upper Pannonian. The Upper Pannonian was therefore introduced in difference to the official view. Marker d3 is defined on the bases of spectrolog and diplog data, and on other well logs.

Correlation of well log curves with lithological description from cutting samples by Gagić (1990-1994) confirm practically full accordance of well logging and petrologic data. *Thus, by introducing and separating the new marker d3 on well logs, the correlation with paleontological data is proved. In addition, it enabled simple checking of Upper Pannonian existence not only on Turija structure, but on the broad area of Vojvodina.*

According to Gagić (1990-1994) determination, the sediment sequence marked with events d3 and Pn (Fig. 5) belongs to the early Upper Pannonian. In the cuttings Gagić found Upper Pannonian fossils of species *Amplocypris* cf. *simplex*, *Amplocypris abscissa* and *Candona (Lineocypris) nonreticulata*. From marker d3 on diplog, dip layers change their dip. The dips are high, chaotic and in all directions. On the gamma ray logs, there are not accumulations of uranium. Lithologically, fine sandy marlstone can be seen.

In the Upper Pannonian, intensive sinking of the northern part continued (Fig. 5), with transgression southward to fault R7. Then, the Pannonian Sea flooded the whole area shown on map.

The map of sequence between events Pn (at Upper Pannonian and Lower Pontian boundary), and tectonic marker S (from early Lower Pontian) is shown on Fig. 6. *Part of the*

structure defined by step faults R3, R4 and R5, which subsided in the Pannonian (Fig. 3–5), began to rise relatively in relation to the surrounding area, from the Pontian on.

Faults R3, R4 and R5 in the Lower Pontian are almost vertical due to radial tectonics. Analyzing synchronicity of sedimentation, elasticity and travel time of layers, diplog data etc., it could be proved that uplifting of structure was dominant at the beginning of Lower Pontian. It is very important that the Tus structure was not formed only by the influence of local gravity faulting (Kurbalija et al., 1994a; Vučić et al., 1994, and Pavlović et al., 1996). It was also affected by the rising of the central part due to vertical movement on a broader area. The dip of the Pliocene fault R5 is approximately 79° in the Pannonian sediments and decreases to some 75° in younger Pliocene sediments. This is different in relation to official point of view (Vučić et al., 1994, page 35, Fig. 5) where the Pliocene fault is shown with maximum dip of 45° .

After intensive positive vertical tectonic movements, partly shown in Fig. 6 (sequence map defined with events Pn and S), and on the geological profile for slice A–A1 (in Fig. 7), the influence of gravity tectonics became dominant. In the Lower Pontian, the southwestern side of the structure was sinking. Then, in the Upper Pontian the movement of the structural blocks reversed, i.e. they subsided in the southeast and rose in the southwest. Later, in the Paludonian Beds and Quaternary, the blocks south of the R5 fault intensively subsided southward, while those in the north and essentially in the present central part of the reservoir were rising. Normally, all the time in the active part of the structure there was some up and down movement as a result of block interaction and stabilization inside the structure. Because of lack of space, the analyzed thickness maps are not included for all phases, but a part of the described tectonic activities can be seen in Fig. 7.

This figure shows the geologic profile N–S for slice A–A1 marked in Fig. 8. For better view, only important structure horizons are shown. Surfer–6 program was used for data base forming and Grafer–4 program for drawing. Fig. 7 indicates a similarity between the tectonic activity in the Pannonian (events d' and Pn) and in the Upper Pontian (events L' and Ps) when the part north of the R5 fault intensely subsided in relation to the part south of this fault. In Lower Pontian (marked with events Pn and L') as well as in Paludonian Beds and Quaternary (between events Ps and No) the movement of blocks was generally reversed. At that time, except negative gravity movement, there are positive vertical movements. As result of recent tectonic activity, the "old" structure Tus of insufficiently defined stratigraphy, changed its shape, and in the northern part caused the forming of a new, bigger structure built of Pannonian deposits.

Fig. 8 shows the structural horizon on top of Ns sediments that is approximately the present status of the reservoir cap rock, after the described tectonic events. The uplifted part of structure Tus, separated into blocks by three approximately W–E striking faults, R3, R4 and R5, and cut by a few faults of approximately direction N–S, can be noticed, too. Great similarity with Fig. 6 from the early Lower Pontian is logical, because the movements of blocks with older rocks of insufficiently defined stratigraphy changed the shape and place of younger deposits in this part of the structure.

Well data and samples analyses showed the types of schist in the breccias, but no chronostratigraphic determinations were possible. Yet, the Ns deposits in the uplifted parts, between the R3 and R5 faults may be older than Ottnangian, and that after breccia

deposition the structure formed on beginning of the Oligocene. Establishing of logging markers in rocks of insufficiently defined stratigraphy is in progress. Based on preliminary results, in the southern and in southwestern parts of the topmost deposits there are younger breccias than in highest parts of the structure.

For consideration of the influence of tectonic activities in the Pliocene and Quaternary, the Pn marker horizon at boundary between the Pannonian and Lower Pontian (Fig. 9) is very important. This is also a map of sediments thicknesses from the beginning of Lower Pontian until Recent. Faults R5, R6 and R7 (Fig. 4) can also be seen, but they exhibit an important difference. Namely, after the blocks north of the faults R5, R6 and R7 (Figs. 4 and 5) subsided, and the block north of fault R5 was uplifted in early Lower Pontian (Fig. 6), the blocks southern of faults R5, i.e. R6 and R7 (Fig. 9) subsided.

In addition, the analyses of the structural horizon Pn (Fig. 9) and the Upper Pannonian sequence (Fig. 5) showed the following. *The deposits between faults R5 and R7 were nearly horizontal by the end of the Upper Pannonian (with dip of layers only 1°–2° northward). After recent tectonic activity, deposits changed their dip and direction, and the existing dip angle ranges from 6° to 13°, but its direction is to the south, i.e. S–W.*

Figures 10 through 13 shows the marker horizons which were also used to design the shown thickness maps. These horizons are: S in early Lower Pannonian, d3 between the Lower and Upper Pannonian, Bp on top of the Pannonian base, and d' on the beginning of Pannonian base.

For tracing tectonic activity in the Pannonian and Lower Pontian, and for precise checking of fault position, the diplog data are most useful. However, the author of this paper could not use all diplog data, because a great part of diplog interpretation done by Markovic & Pavlovic (1991–1994) is stored on magnetic tapes, archived, and unavailable for practical purposes. Thus, the interpretation was done only for part of the structure covered by reliable data.

Maps of structural horizons and sequences are most precise in parts with great number of well data. For improved reliability in the zones without wells, seismic data were used. Because of the restricted number of available seismic sections, only twelve simulated wells were taken into account. Better results can be achieved with more data taken from seismic, and the best by reinterpretation of seismic and well-log data.

CONCLUSION

Owing to the usage of well logging markers for the reconstruction of tectonic activity, *the new data on the complex character of the Turija structure, are given. The evolution of the structure is described, and more precise geological model is presented.* The paper shows that south of the R0 fault there is another, W–E striking one, marked R3. This fault was reactivated early in Lower Pontian, and is important for the development of the Turija structure and the definition of the oil field. Fault R3 is proved on the thickness maps, as well as by rapid water flooding and water producing in the wells near fault. Faults R4, R6 and R7 are identified too.

By analyzing the neotectonic activity, it is shown that the uplifted part of the Tus structure between faults R3 and R5 is the most productive. This was proved by production data.

Once, the character and influence of recent tectonics on reservoir forming and oil migration is understood, the application of the knowledge will be useful for better interpretation of other structures in the Pannonian basin.

Neotectonic activity is analyzed in details using sequences defined by characteristic events. For that purpose, new stratigraphic markers were defined: d' within the Pannonian base and d3 between the Lower and Upper Pannonian. Marker S is used for better tectonic analyzes.

By tracing the effects of neotectonic activity, precise stratigraphic determination became possible. The paleontologic observation of N. Gagic about the possible existence of a new stratigraphic member in the Pannonian – Upper Pannonian is confirmed.

In reservoir forming the most important factor are positive vertical movements. Forced by interior of Earth, they appear in pulses, with intensive tectonic movements. After that, the phases of relative mantle inactivity and gravity tectonics dominate, with all blocks moving in the same direction, with sudden short changes in direction when structure stabilization occurs.

The paleorelief is not static, it is subject of constant changes. In the particular case, after the destruction of the bigger structure in the Lower Miocene and Badenian and of Turija structure in the Pannonian, the reverse process of paleorelief changes takes place from the Lower Pontian to Recent.

The main reservoir of the Turija – North oil field started its development in the Lower Pontian.

Affected by recent tectonic activity and paleorelief changes, the Pannonian sediments were uplifted in the north, forming a new, bigger structure.

Because of the great complexity of the Turija structure, new multi-disciplinary studies are necessary.

Translated by the author

ЛИТЕРАТУРА – REFERENCES

- Dimic Dj., 1991: Detection of environments of hydrocarbon accumulation in south Backa – Academic conferences "Geodynamic evolution of Pannonian basin", 339–354, Beograd.
- Gagic N., 1990–1994: Mikropaleontoloske analize neogenih sedimenata busotina Tus, Tu i Tui.– Fond tehnicke dokumentacije "Naftagas"–a, Novi Sad, (nepublikovano–unpublished).
- Grbovic G., 1989–1998: Interpretacija karotaznih dijagrama.– Fond tehnicke dokumentacije "Naftagas"–a, Novi Sad, (nepublikovano–unpublished).
- Kemenci R., 1993: Izvestaj o radu na studiji "Naoticne klasticne formacije" u okviru naftnog lezista Turija–sever.– Fond tehnicke dokumentacije "Naftagas"–a, Novi Sad, (nepublikovano–unpublished).
- Kronja V., 1989–1992: Petroloske analize stena iz busotina Turija–sever. – Fond tehnicke dokumentacije "Naftagas"–a, Novi Sad, (nepublikovano–unpublished).
- Kurbalija J., Максимчев С., Димих Ђ., Лукић С., Грбовић Г., Гагић Н., Кеменци Р., Кроња В., Жумберковић В., Мандић Г., Мијатовић М., Савков Љ., Дулић И., Васић М. и Кнежевић С. (=Kurbalija et al.), 1994a: Нафтно поље Турија–север, нафтно–геолошка синтеза.– Фонд техничке документације "Нафтагас"–а. 1–45. Нови Сад, (непубликовано–unpublished).
- Курбалија Ј., Максимчев С., Димих Ђ., Гагић Н., Жумберковић В. и Мандић Г. (=Kurbalija et al.), 1994b: Нафтно–геолошки модел поља Турија–север.– Стручни часопис Дит–Нафтагас. 21–22. 43–49, Нови Сад.

- Кнежевић С. и Модич С. (=Knežević & Modić), 1996: Петролошка и хемијска својства колектор стена нафтног лежишта Тус.– Стручни часопис Дит–Нафтагас, 24, 22–30, Нови Сад.
- Маровић М., Боковић И. и Милићевић В. (=Marović et al.), 1996: Геометрија и кинематика структура неогалске литосферне екстензије у војвођанском делу Панонског басена.– Геол. ан. Балк. полуос., 60/2, 79–97, Београд.
- Марковић М., Панџић Ј., Павловић Р. и Чупковић Т. (=Marković et al.), 1997: Структурне карактеристике и неотектонска активност југоисточног дела Панонског басена.– Стручни часопис Дит–Нафтагас, 25, 5–33, Нови Сад.
- Marković M. i Pavlović M., 1991–1994: Obrada i interpretacija diploga busotina Tus i Tu – Fond tehnicke dokumentacije "Naftagas"–а, Novi Sad, (nepublikovano–unpublished).
- Modić S., 1994: Petrologija metamornih stena područja Turija–sever.– Diplomski rad, Rudarsko–geoloski fakultet, Univerzitet u Beogradu, 1–71, (nepublikovano–unpublished).
- Naftagas, 1988–1998: Fond tehnicke dokumentacije "Naftagas"–а, Novi Sad (nepublikovano–unpublished).
- Павловић М., Мартиновић С. и Марковић М. (=Pavlović et al.), 1996: Примена геофизичких метода у креирању геолошког модела нафтног поља Турија–север.– Научни скуп "Савремени трендови развоја геофизике", 24–25 октобар 1996., 17–26. Београд.
- Вукашиновић С. (=Vukasinić), 1994: Конфигурација и геолошке импликације аномалног магнетског поља Војводине.– Радови Геоинститута, 30, 273–286, Београд.
- Вучић С., Живадиновић М., Мавренски Б. и Парезановић М. (=Vučić et al.), 1994: Примена 3Д сеизмичких испитивања на лежишту Турија–север.– Стручни часопис Дит–Нафтагас, 21–22, 27–41, Нови Сад.