



Geodetic measurements and study of the Mirovo salt deposit

*Georgi Valev*¹
*Georgi Rainov*²
*Keranka Vassileva*³

¹Shumen University, gvalev@abv.bg

²Геопрециз инженеринг ООД, geoprecis@abv.bg

³National Institute of Geophysics, geodesy and Geography, BAS, ker@bas.bg

Key wards: GPS, displacement, subsidence, deformation

Геодезически измервания и изследвания в района на Мировското солно находище

*Георги Вълев*¹
*Георги Райнов*²
*Керанка Василева*³

¹Шуменски университет, gvalev@abv.bg

²Геопрециз инженеринг ООД,

³Национален институт по геофизика, геодезия и география, БАН, ker@bas.bg

Ключови думи: GPS, преместване, слягане, деформации

Abstract

The Mirovo salt deposit is located approximately 5 km south-east of the town of Provadiya. That is a unique natural phenomenon with its origin, composition, location and geophysical characteristics. The Mirovo salt diapir has a depth of approximately 4000m and its top is 15 to 20m deep. The diapir has a base area of the order of 200 km² and generally has the shape of a truncated cone. Approximately 73% of the diapir is Sodium Chloride, the remainders comprising insoluble elements and other evaporates, irregularly distributed through the salt mass. It was excavated in 1919. The method of boring is applied at present in the salt pits (more than 30 utilized bore-holes) and more specifically the method of underground salt leaching through which one major raw material for the Devnya chemical plants is produced – brine. It is a geodynamic project, which was attracting researcher's interest. A dense network of 26 stable pillars and many levelling benchmarks is designed and built-up especially to monitor movements and deformations in the deposit area using precise angular and distance measurements, spirit levelling and GPS. Part of the pillars – outside the central zone – controls the detailed over the salt body. Twenty five campaigns, after the initial observations in 1990, were taking place. The aim is to examine how far exploration of rock salt is connected to local seismic activity because recently earthquakes occur here more frequently and with increasing strength. To give an idea what the magnitude of the deformations is, these solutions are compared also to the campaign, accomplished in June 1990. Obviously, the general trend of terrain deformations is subsidence of the central zone and, as a by-product, shortening of the distance between the centre and the outer margin. Increasing residuals with time span is due to the time-dependent components, whereas the constant part, gives an accuracy estimate.

1. Сеизмотектонска характеристика на района

Мировското солно находище край гр. Провадия представлява уникално природно явление за нашата страна, както по своя произход, форма, състав и разположение така и по геофизическите си характеристики.

В района са налице множество разломи с различна пространствена ориентация, образуващи сложен тектонски възел, в който се формира самото диапирно изтискване на солта. Характерна особеност на района на Мировското солно находище е и неговата сеизмичност.

Констатираното активизиране на сеизмичните процеси поражда и обратните въпроси как и доколко всяко по-силно земетресение в района би оказало въздействие върху експлоатационните инсталации върху солното находище. Естествено, най-опасни за съоръженията са земетресения, чиито огнища са в непосредствена близост до солното тяло.

Известно е, че бързото движение на земната кора се явява като един от най-важните краткосрочни предвестници на земетресенията. Ето защо бяха необходими периодични измервания с цел получаването на достоверна информация относно хоризонталните и вертикални движения и деформационните процеси на земната кора, изразяващи се в свиване, разтягане, потъване, наклоняване. Важен факт е също, че през района на обекта минава ж.п.линията Варна – София.

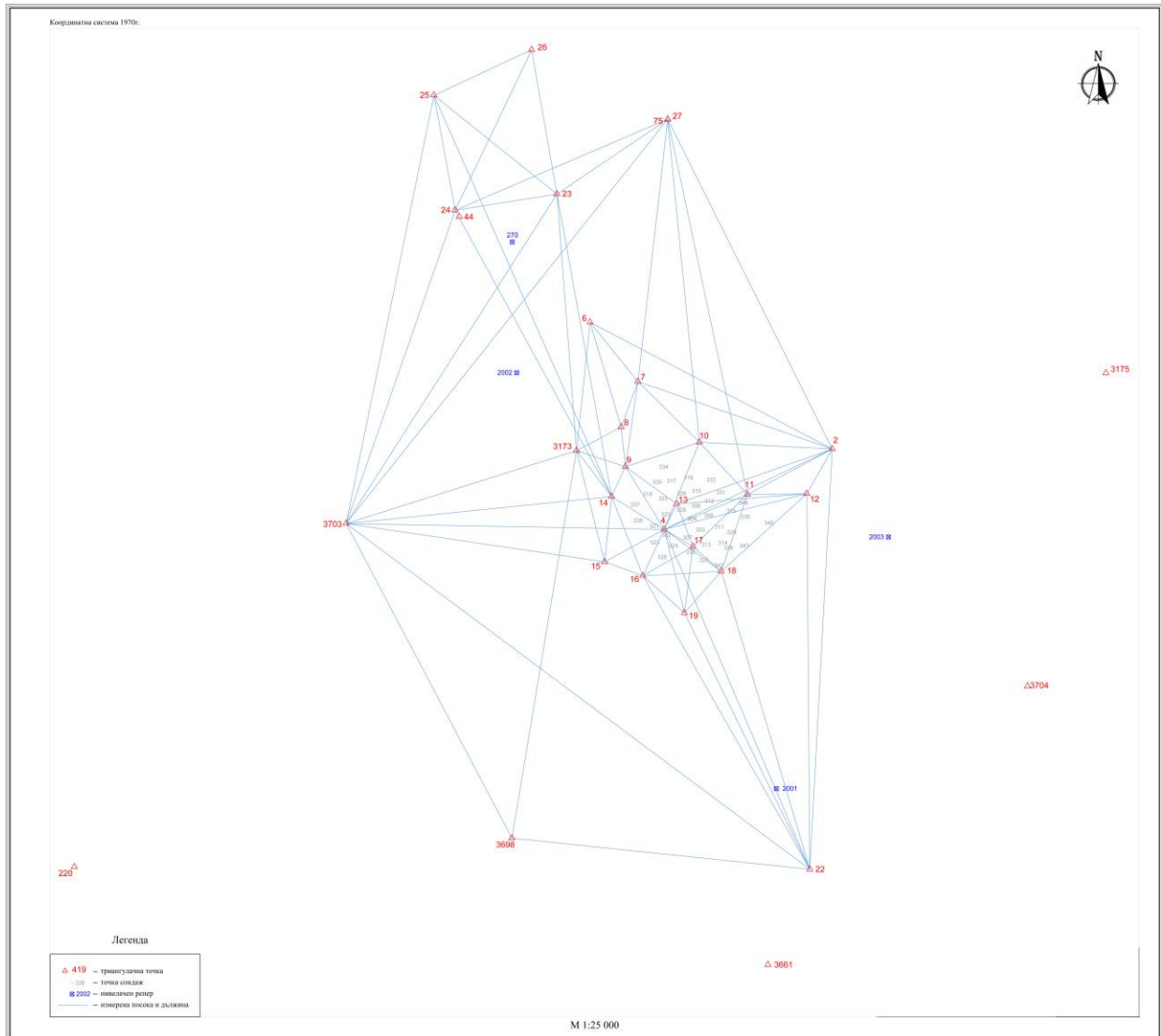
2. Геодинамична мрежа в района на находището

Предвид на това, че геодезията предоставя най-точните методи за извличане на естествени геометрични величини, логично бе да се обърне особено внимание на геодезическите методи за изследвания.

Геодезическите изследвания в района на Мировското солно находище датират доста отдавна. Открити са резултати от нивелачни измервания още от 1970 г., но към 1986 година обаче нивелачната мрежата вече е почти разрушена и негодна за по-нататъшно използване.

Ето защо фирма ПОЛИХИМ - Девня инвестира проектирането и изграждането на една съвременна геодинамична мрежа, която да дава възможност да бъдат измервани с висока точност вертикалните и хоризонталните движения и на базата на тях да бъдат изчислявани съответните деформации и напрежения в земната кора. Новата геодинамична мрежа трябваше да представлява комбинация от хоризонтална, нивелачна мрежа, гравиметрична и космическа мрежа с точки, построени по специален начин и разположени на подходящо избрани места. Проектът беше изработен от фирма "Геопрещиз инженеринг ООД" на базата на предварителни задълбочени проучвания и всестранни моделни изследвания. Тази мрежа трябваше да служи поне 100 години. Разработена беше и технологията за геодинамичния мониторинг. През 1988 година започна реализацията на проекта.

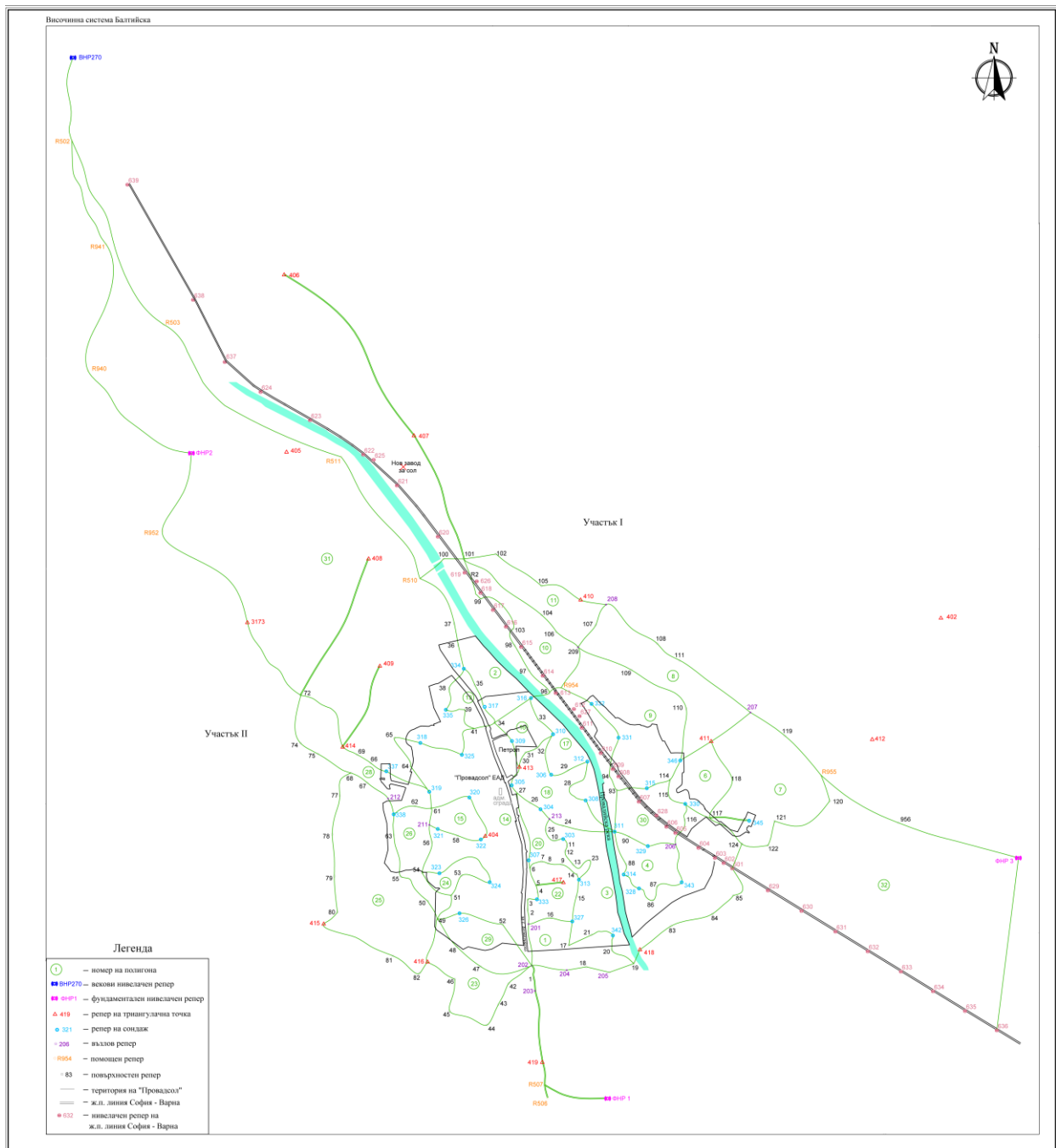
Изградената мрежа за хоризонтални определяния понастоящем се състои от 26 точки, в които се включват 6 съществуващи точки от Държавната геодезическа мрежа на Република България и изградени 20 нови точки (фиг. 1).



Фиг. 1. Схема на мрежата за хоризонтални определяния

Началните геодезически измервания бяха проведени през май 1990 година. До настоящия момент върху мрежата са извършени общо 35 цикъла комплексни геодезически измервания.

Новата нивелачна мрежа (фиг.2) включва един вековен репер от първокласната нивелачна мрежа на България, един репер от второкласната мрежа, няколко репера от държавната мрежа, 3 новопостроени вековни репера, 37 нивелачни марки със специална конструкция закрепени към сондажните колони, 13 дълбочинни репера, фундирани на 5 метра под повърхността на земята, 123 повърхностни репера на 2 м дълбочина и 26 репера, стабилизирани към фундаментите на точките от хоризонталната мрежа.



Фиг. 2. Схема на нивелачната мрежа

През последните няколко години е изградена допълнителна геодезическа мрежа от 36 точки за следене на деформацията на ж.п. линията.

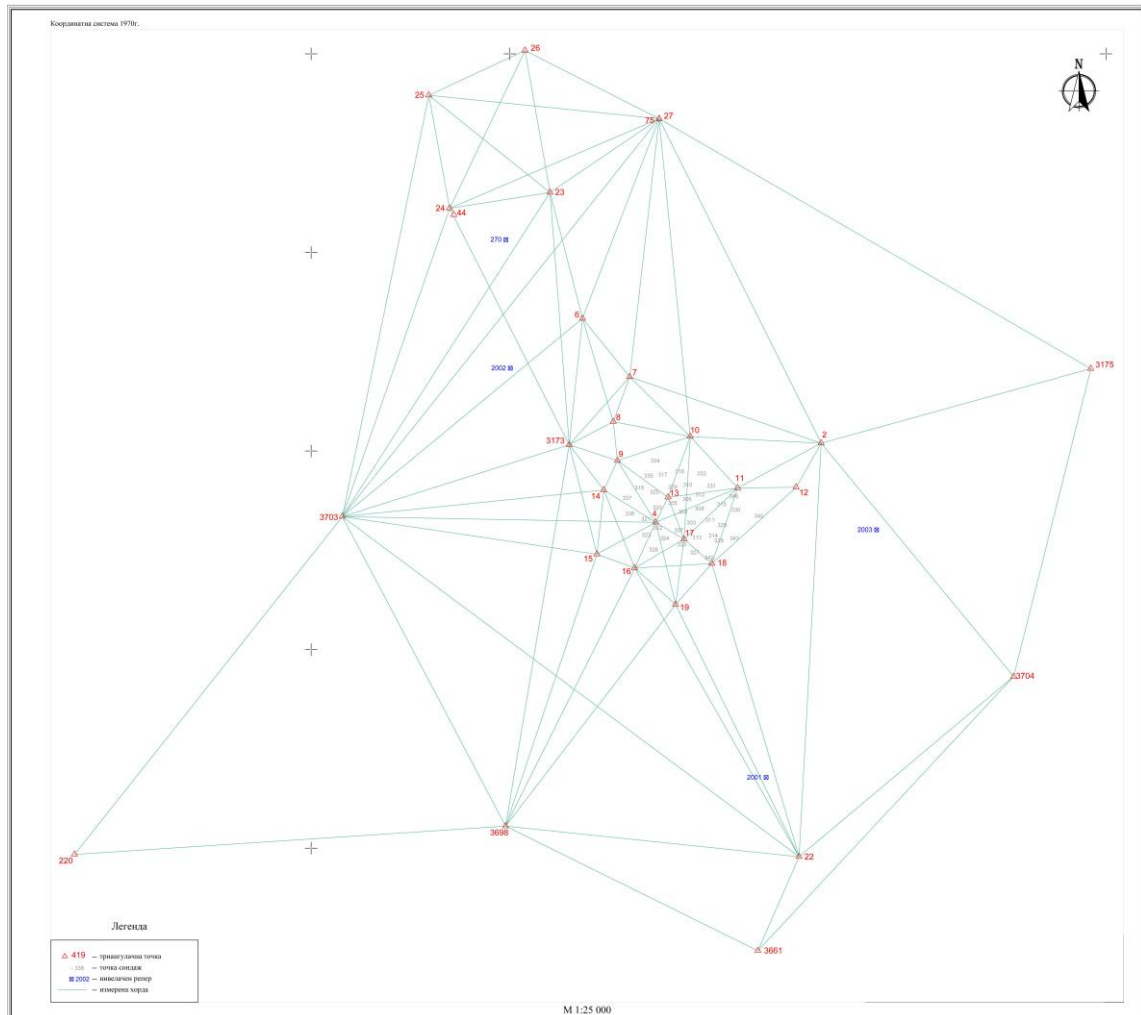
3. Геодезически измервания, извършени в района на находището

При началното измерване (нулев цикъл) беше уточнена окончателната методика, точките бяха окончателно изградени и получените резултати задоволяваха напълно изискванията, поради което бяха приети за начални. По-нататък комплексните измервания продължиха редовно всяка година по два пъти - пролет и есен, а през последните няколко години - по веднъж през пролетта.

Геодезическите измервания включват ъглови измервания (хоризонталните и зенитните ъгли с електронен теодолит KERN E2), измервания на наклонените разстояния между точките (прецизен лазерен далекомер KERN MEKOMETER ME 5000) и прецизна нивелация (електронен дигитален нивелир Zeis DINI 12).

С оглед интегралната обработка на данните през първите два цикъла са извършвани астрономични определения и гравиметрични измервания.

С цел повишаване ефективността и надеждността на класическите геодезически измервания ежегодно се провеждат и GPS измервания, отначало върху седем точки от мрежата (фиг.3).



Фиг. 3. GPS мрежа

Постепенно в GPS измерванията бяха включени всичките 26 точки от хоризонталната мрежа и допълнителните 4 точки от националната геодезическа мрежа на България. Еднократно са извършени GPS измервания и върху всеки сондаж.

Точките от геодезическата мрежа, свързана с изследванията на ж.п. линията са измервани по специална програма и с по-голяма честота. Върху тях са извършвани само нивелачни и GPS измервания, които винаги са включени и към точки от геодинамичната мрежа.

4. Резултати от геодезическите измервания и тяхната обработка

До настоящия момент върху геодинамичната мрежа са извършени общо 35 цикъла комплексни геодезически измервания. Резултатите от различните геодезически измервания са подложени на строга математическа обработка по метода на най-малките квадрати, като за целта са разработени специални програмни продукти от проф. Г.Вълев. Първоначално всеки вид измервания е обработен поотделно. Всички резултати от разнородните геодезически измервания след това са подложени и на интегрирана обработка. В изравнението са включени: хоризонталните посоки, зенитните ъгли, наклонените разстояния, нивелачните превишения, астрономичните азимуты, астрономичните координати и GPS измерванията. Получени са пространствените координати на

точките в координатната система, близка до Световната геодезическа система WGS 84, и астрономичните сферични координати на всички точки в същата система. Средната аритметична грешка в пространственото положение на точките, получена от интегрираната обработка е 2.5 - 3.0 мм.

Гравиметричните измервания са изравнени като мрежа, като са изчислени стойностите на силата на тежестта във всички точки. Изчислени са аномалиите "Буге" и аномалиите "свободен въздух", като е изработена гравиметрична карта на аномалиите на Буге в М 1:10 000.

5. Анализ и геодезическа интерпретация на резултатите от измерванията и обработката

При анализа и интерпретацията на резултатите от всеки пореден цикъл геодезически измервания и обработка е прилагана една и съща методика.

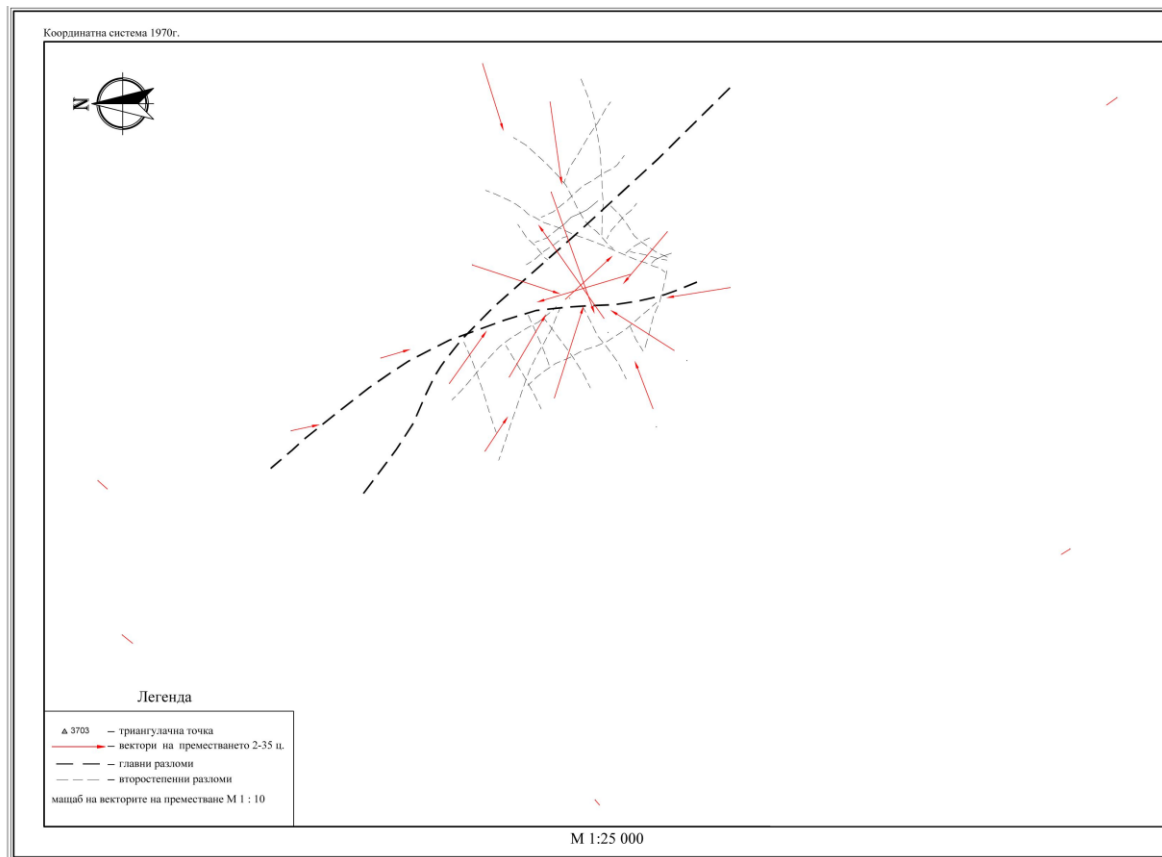
Основният тип информация, която е използвана включва: 1) Установените пространствени премествания на точките и 2) Деформациите, настъпили в горния слой на земната кора.

Изведените оценки при обработката на различните видове измервания, показват, че точността на измерванията и на резултатите, получени въз основа на тях, е изключително висока, което означава, че стойностите на преместванията са определени с гарантирана надеждност.

Постепенното натрупване на информацията от високоточните геодезически измервания създаде надеждни предпоставки за установяване на закономерностите и тенденциите в динамичното поведение на точките от специалната геодинамична мрежа, както и за свързването на тези закономерности и тенденции с процесите в района, имащи техногенен, тектонски и сеизмичен характер.

5.1. Анализ на хоризонталните премествания на точките от геодинамичната мрежа

Измененията на разстоянията между точките от хоризонталната геодинамична мрежа са подложени на регресионен анализ. За целта е разработен специален софтуер също от проф. Г. Вълв. Получени са надеждно скоростите на тези изменения (фиг.4), които достигат до 30 мм/год. с едно средно квадратно отклонение в рамките на 1 мм/год. и коефициент на корелация много близък до единица. Това предполага достоверно прогнозиране на деформациите за сравнително дълъг период от време.



Фиг. 3. Вектори на хоризонталните премествания

5.2. Анализ на изотропните хоризонтални деформации на земната повърхност

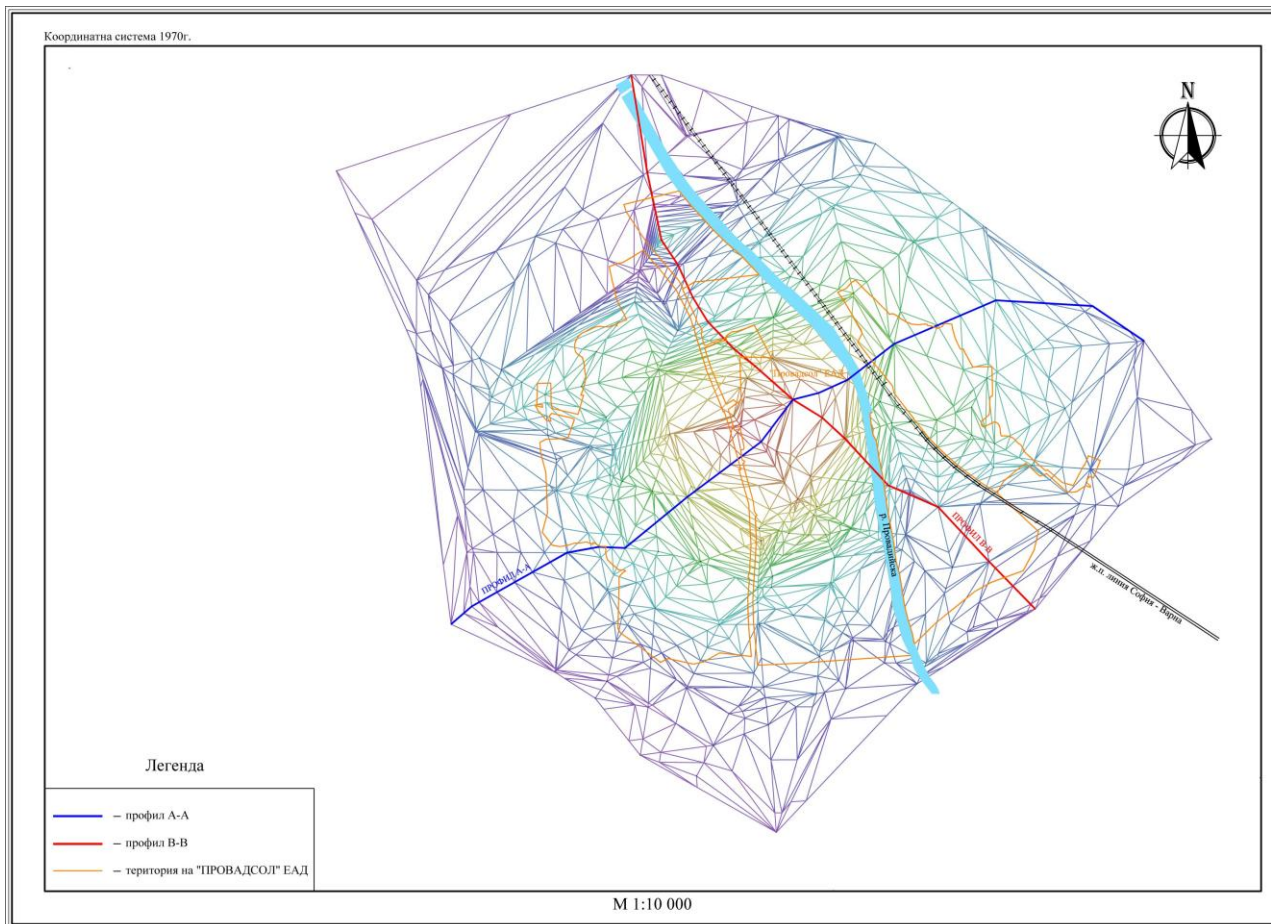
При предположението, че деформациите, настъпили между всеки два цикъла, са изотропни е приложен методът на крайните елементи като е работено с едни и същи стандартни площадки, представляващи непокриващи се триъгълници. За всяка деформационна площадка са изчислявани големината и направлението на главните оси на деформация. Като изходни данни за тези изчисления са използвани координатите на точките от всеки цикъл. И за тази цел е разработен специален софтуер - също от проф. Г. Вълев.

Резултатите от тези изчисления са основа за един разнопосочен анализ на деформационните процеси в изследвания район. Големите деформации са установени в централната част на находището.

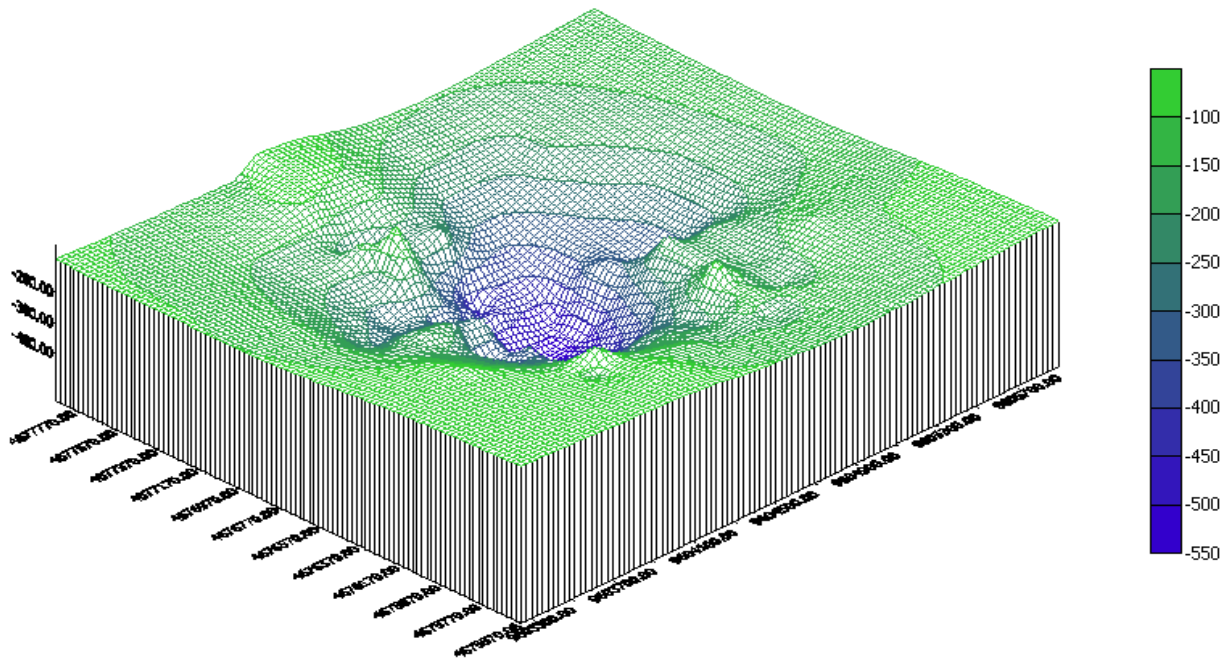
5.3. Интерпретация на резултатите от нивелачните измервания

При интерпретацията на резултатите от прецизните нивелачни измервания е изследвано поведението на сондажните репери, повърхностните и възлови репери и реперите към триангулационните точки.

На базата на резултатите от периодичните нивелачни измервания са изчислявани ежегодно потъванията и съответните годишни вертикални скорости на всички репери, като е изработвана и карта на скоростите за изследвания район (фиг. 4, 5). Налице са достатъчно основания да се счита, че поведението на тези репери е отражение на деформации, настъпили в солното тяло. Потъването на сондажите много добре си съответства с реологията на солно-скалната маса, както по големина, така и по разпределение.



Фиг. 4. Вертикални премествания



Фиг. 5. 3D изображение на слягането на земната повърхнина

Извършен е регресионен анализ на пониженията при сондажите във функция от времето. Установява се, че зависимостта при всички сондажи е линейна при много висок коефициент на корелация (~ 100%). Получени са надеждни стойности за годишните скорости. С помощта на



получените зависимости може надеждно да се прогнозира понижението за един сравнително дълъг период от време.

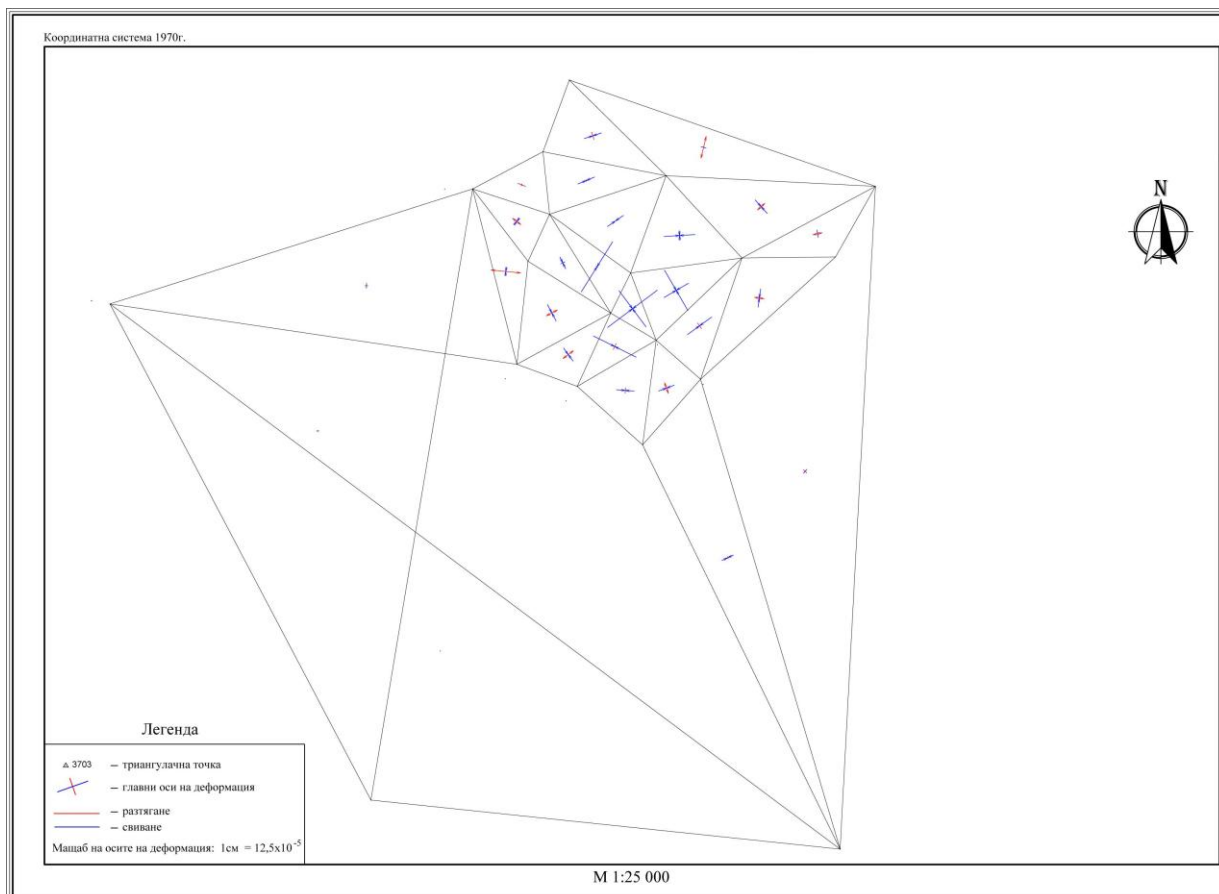
5.4. Използване на GPS измерванията

Общо взето GPS резултатите добре се съгласуват с резултатите от класическите (светлодалекомерните и нивелачните) измервания, с изключение на случаите, когато не са извършвани едновременно с тях. Те са особено ценни при изследванията на далечните точки, там където класическите измервания не могат да се използват или не дават необходимата точност. Освен това те дават надеждна информация за ротацията на мрежата и от тях се взема изходният азимут или посочен ъгъл, необходим при обработката на класическите геодезически измервания. Те са единствения начин, по който се контролират изходните данни. Безспорно най-точните резултати дава интегрираната обработка на всички измервания, включително и GPS. Така GPS резултатите предоставят обобщена информация за геодинамиката в района, а прецизните ъглови и линейни измервания детайлизират картината в района на солното тяло и разкриват по-фините ефекти на тектонската и техногенна дейности.

5.5. Премествания и скорости

Установените премествания дават възможност да се забележат някои закономерности. Съвсем очевидно е придвижването на точките от мрежата, намиращи се североизточно от Провадийския разлом, в северозападна посока. От друга страна, точките попадащи в района на солното тяло, които са от южната страна на Провадийския разлом имат ясно изразено движение в североизточно направление. Също така се забелязва придвижване на южните точки на север, а на северните - на юг. Получени са надеждни стойности за годишните скорости, които достигат до 30 мм/год. С тяхна помощ може да се прогнозира понижението за един сравнително дълъг период от време. Големи скорости на понижение се констатира в централната част, като понижението намаляват към периферните зони.

Когато извличането се извършва подземно, какъвто е този случай, реализацията на натиск позволява пластовете да потъват навътре от всички посоки. Така, в допълнение към потъването на горнището, дъното (хоризонтът) на разработката се стреми да се издигне. Една синклинала (впадина) на слягане се формира на повърхността, която се разширява извън краищата на разработката и постепенно намалява до зоната, където не се регистрира по-нататъшно движение. Целият повлиян район приема формата на един обърнат пресечен конус. Деформации на опън се появяват в краищата на зоната на слягане, а деформации на натиск - в центъра (фиг. 6).



Фиг.6. Главни оси на деформации

Всичко това е практически доказано от дългогодишния мониторинг на солното находище. Налице е трайна тенденция към образуване на "котловина", която е негативно изображение на солното тяло. Нейното дъно е разположено над върха на солното тяло, а нейният контур е по контура на находището. Скоростта на понижението на дъното в централната зона е около 3 см/год.

6. Изводи и заключение

От извършените измервания, обработката им, анализ и интерпретация на резултатите могат да се направят следните изводи:

1. Налице са деформации, както на разтягане (дилатация), така и на свиване (компресия). Има площадки, където деформациите са или само на свиване или само на разтягане.

2. В централната част на находището са застъпени главно деформациите на свиване като стойностите им обикновено са по-големи.

3. В периферните площадки деформациите са общо взето разнообразни и по-малки по стойност.

4. Налице е непрекъсната промяна в количествените и качествените характеристики, което означава, че настъпва често преразпределение на интензивността и характера на деформационните процеси в района.

5. Във връзка с въпроса за двете компоненти - тектонска и техногенна – съществува предположение, че са налице и двете и действат комплексно. Не може да се отрече, че причините за деформациите са най-вече техногенни, но те сами по себе си едва ли биха се проявили в такава степен, ако не съществуваше страничен тектонски натиск. В полза на това твърдение са осезателните стойности на деформациите извън находището.

6. Понижението в централната част не може да не предизвика хоризонтално преместване на точките по посока от периферията към центъра на "падината".



7. Наблюдаваното почти равномерно преместване на точките и реперите в хоризонтално и вертикално отношение вероятно се дължи на това, че цялостната експлоатация на солното находище протича по такъв начин, който не предизвиква резки, скокообразни промени. Този факт показва, че на този етап окръжаващата среда все още продължава да се държи устойчиво.

9. Резултатите от всички измерителни цикли показват, че деформационният процес общо взето се развива с едно и също темпо и с една и съща тенденция.

11. Интересна констатация, която може да се направи, е че поведението на повърхностния слой създава впечатление, че нашите измервания се извършват върху жива субстанция, т.е. диапирът пълзи непрекъснато.

12. Друга констатация е, че независимо дали работят или не някои сондажи, скоростите на вертикалните и хоризонтални движения се запазват почти постоянни. Не се наблюдава връзка между преустановяването на експлоатацията на сондажа и динамиката на преместванията и след няколкогодишно спиране на добива в част от камерите.

13. Трафикът по ж.п.линията представлява едно опасно динамично натоварване, което може да предизвика разхерметизиране на сондажите в близост до нея, както и да възникнат проблеми с безопасността на движението на влаковете. Вертикалните и хоризонтални премествания в района на ж.п.линията имат значителни стойности. Хоризонталните деформации на терена са едноразовни и също са значителни.

14. Настъпилото наскоро земетресение с магнитуд 4.5 по скалата на Рихтер, предизвикало (или предизвикано от) разломни движения вероятно е причинило едно общо преместване на реперите по ж.п.линията и е ускорило придвижването по посока към централната част на находището (т.н. "солно огледало"), през която минава главния разлом.

15. От световния опит е известно, че сляганята, регистрирани при железопътната инфраструктура, намираща се в близост до минни разработки, се причиняват от деформации на опън и натиск, свързани със понижението на горния пласт в минните разработки. Тези деформации водят до изменения в напреженията вътре в непрекъснатия ремонтирания релсов път.

От геодезическа гледна точка може да се твърди, че на този етап се осъществява надежден мониторинг относно геодинамичната обстановка в района, което е една много добра основа за сигурни и обосновани изводи.

Все още на този етап обстановката не може да се оцени като опасна, но не е известно това докога ще продължи. По тази причина геодезическият мониторинг следва да продължи по същата методика и с по-голяма честота.

Натрупан е доста материал, което позволява да бъдат изчислени надеждни годишни скорости на хоризонталните и вертикалните движения. На базата на тези скорости биха могли да се изведат прогнозни величини за преместванията и деформациите, да се изведат напреженията, което би спомогнало за вземането на съответни правилни технически решения относно безопасната и безаварийна експлоатация на находището, както и на ж.п. линията в района на находището.