

Свлачищни деформации на склона в началото на софийския водопровод „Искър“

Живко Тачев, Константин Хамамджиев, Винченцо Рицо

Tachev, Zh., K. Hamamdzhiev, V. Rizzo. 1997. Landslide Deformations of the Slope at the Initial Section of the Iskar Water-main
Eng. Geol. and Hydrogeol., 24, 23-31.

The paper deals with the appearance and development of slope deformations during the construction of the initial section of the Iskar Water-main for the additional water supply of Sofia.

The existence of tectonically affected, exogenically altered metamorphites and of gravelly-clayey talus materials of different grading has been the structure-determining condition for the deformations. The technogenic factors bringing about the deformations have been pointed out: the deep cut into the slope and the intensive in-depth water saturation of the ground.

The engineering geological model of the slope allows for two types of gravitational movements: surface creep and displacements of the blocks in depth of the massif without formation of a shear plain. A typology of the structural zones in the slope has been made and the elements of the model have been attested.

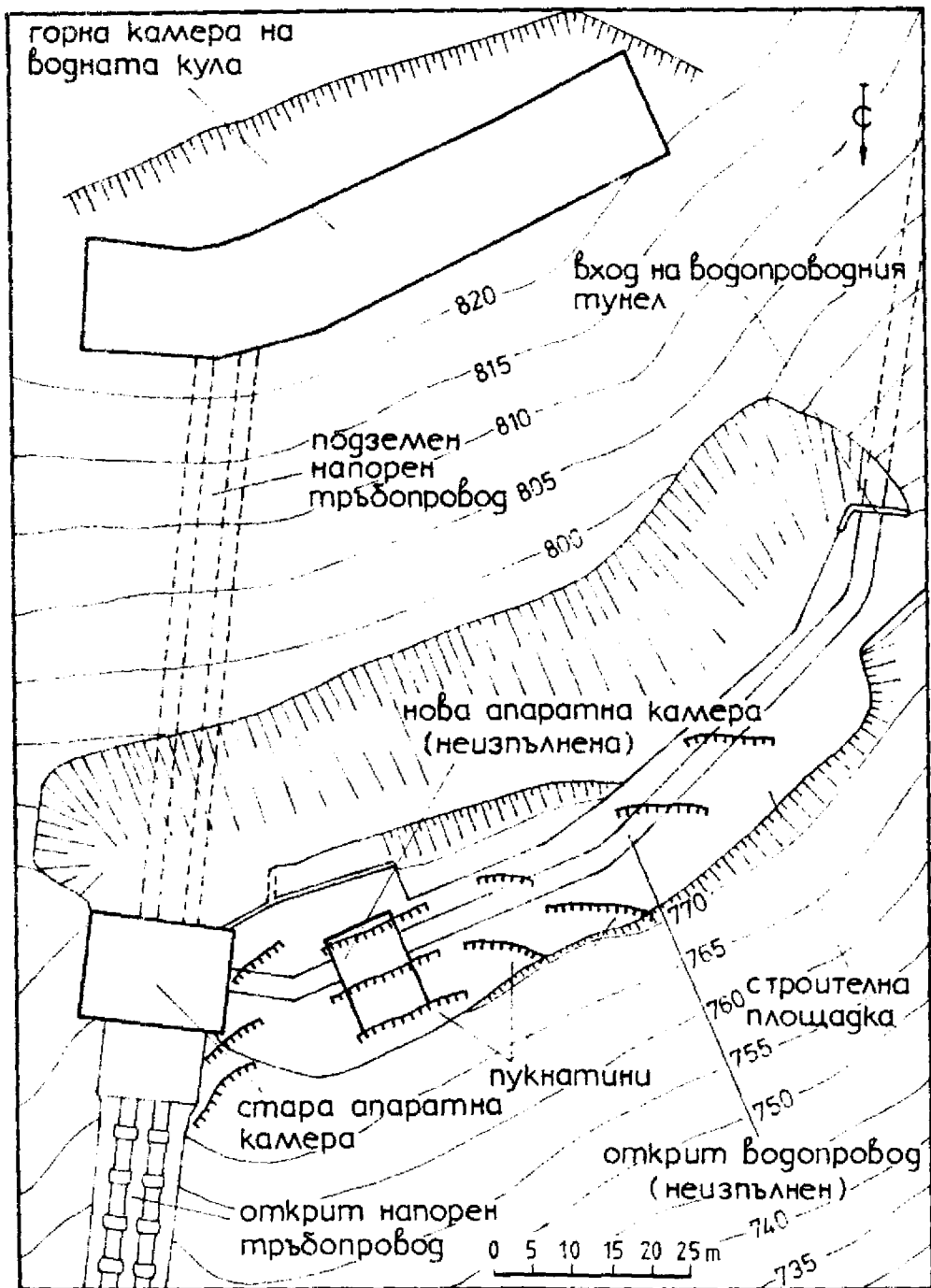
The evolution of the design solution for the stabilization of the slope has been described and some parameters of the project approved for implementation have been presented. One possibility for the establishment of a monitoring and warning system has been outlined.

Key words: landslide, engineering geological model, slope stabilisation

Address: Zh. Tachev, K. Hamamdzhiev — Bulgarian Academy of Sciences, Laboratory of Geotechnics, 1113 Sofia; V. Rizzo — Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica, 87030 Roges di Rende (CS)

Водопроводът „Искър“ представлява система от линейни надземни и подземни хидротехнически съоръжения, която ще осигурява на гр. София около 13,5 m³/s вода за питейни и битови нужди. Началото на водопровода се намира на 22 km югоизточно от София, на левия склон на долината на р. Искър, при апаратната камера на напорния водопровод на ВЕЦ „Пасарел“. Дотам водата от водохранилището язовир „Искър“ се подава чрез тунелна деривация с дължина 5,5 km, оразмерена за водно количество 31 m³/s, която завършва във водната кула на ВЕЦ „Пасарел“. От кулата водата достига до ВЕЦ-а по двоен напорен тръбопровод, изпълнен от стоманени тръби. На 71 m хоризонтално разстояние от водната кула по трасето на напорния тръбопровод е изградена апаратна камера. В камерата са монтирани на всеки от двата тръбопровода по два броя дросел-клапи — работна и аварийна.

Водопроводът „Искър“ започва с отклонение от левия напорен тръбопровод на ВЕЦ-а между двете дросел-клапи (фиг. 1). На 15 m от съществуващата



Фиг. 1. Разположение на началото на водопровода „Искър“ и на пукнатините на площадката
 Fig. 1. Location of the initial section of the Iskar Water-main and of the fissures on the site surface

апаратна камера е проектирано изграждането на нова апаратна камера за затворното съоръжение (също дросел - клапа) на водопровода „Искър“. След апаратната камера водопроводът продължава около 80 m като открит стоманен тръбопровод, след което преминава в тунелен участък.

За разполагане на откритата част на водопровода и новата апаратна камера чрез връзване в ската е оформена хоризонтална площадка с размери дължина 110 m и ширина 15—20 m. В долната част на формиралия се изкопен откос е изградена тънка бетонова стена с наклон 3:1, прикована към откоса с къси стоманени пасивни анкери. В проекта тя е наречена подпорна, но напречният ѝ е профил я определя по-скоро като облицовъчна стена. Откосът над стената е оформен с наклон 1:1, като част от него е покрита с мрежа за предпазване от падащи камъни. Преди събитието, за което става дума тук, е бил започнат монтажът на дросел-клапата и откритата част на водопровода.

Възникване и фази на свлачищните деформации

В процеса на експлоатация на ВЕЦ „Пасарел“ в периода след 1957 г. не са установени видими деформации по склона и по съоръженията. След 1972 г. в горната откритата камера на водната кула са се появили няколко пукнатини в бетона на оградените стени и дъното, които впоследствие не са променили линейния си размер и разтварянето си.

Главното деформационно събитие настъпва по време на строителството на началния участък на водопровода. При осъществяване на връзката на водопровода с тръбата на напорния тръбопровод на ВЕЦ-а е допуснато изтичане в дренажна шахта в участъка на старата апаратна камера на вода с количество около 200 l/s в продължение на четири денонощия. Значителна част от тази вода е инфилтрирала през необлицованото дъно и стените на шахтата във водопроницаемите зони на скалния масив. В ниските части на склона, на ниво около 10 m над реката вследствие хидравлични разриви на склоновия насип са възникнали два възходящи извора.

На 28. 06. 1989 г. около 3 ч. през нощта в участъка на апаратната камера е почувстван трус, последван за кратко време от нискочестотни вибрации, съпроводени със забележим звуков ефект. Сутринта на същия ден, в 6 ч. са установени няколко пукнатини в бетона на подовата плоча на новата апаратна камера и на повърхността на терена в границите на площадката (фиг. 1). Главните пукнатини са закономерно ориентирани паралелно на хоризонталите на склона, като тези в бетона практически съвпадат с фугите между плочата и фундамента на дросел-клапата, фундамента на подпорната стена и бетонните опори на водопровода. Пукнатините от тази група с ясно проявила се тенденция към отваряне очертават динамиката на деформирането на склона. Около 14 ч., когато максималното отваряне на най-голямата пукнатина достига 85 mm, е прекъснато изтичането на вода в дренажната шахта. Това е довело, макар и с известно ретензионно закъснение, до бързо намаляване на скоростта на деформациите и до тяхното пълно затихване около 23 ч. на същия ден. Максималното измерено отваряне на пукнатината към този час е 109 mm. Други единични пукнатини са установени в бетона на лявата стена на старата апаратна камера и на теренната повърхност над подпорната стена. Установено е също „отлепване“ в размер на 20—40 mm на обратния насип и склоновия насип от северната стена на горната камера на водната кула. Не са засегнати фундаментите, рамковата конструкция и опорните блокове на старата апа-

ратна камера и напорния тръбопровод на ВЕЦ „Пасарел“, както и подпорната стена на площадката. Общо деформациите обхващат една зона по склона с ширина 80 m и дължина около 140 m.

Инженерногеоложки условия

Площадката е разположена на югоизточния ляв склон на antecedентната долина на р. Искър, която на това място има симетричен V-образен профил. Склонът е стръмен, със сравнително постоянен естествен наклон от 31° — 38° .

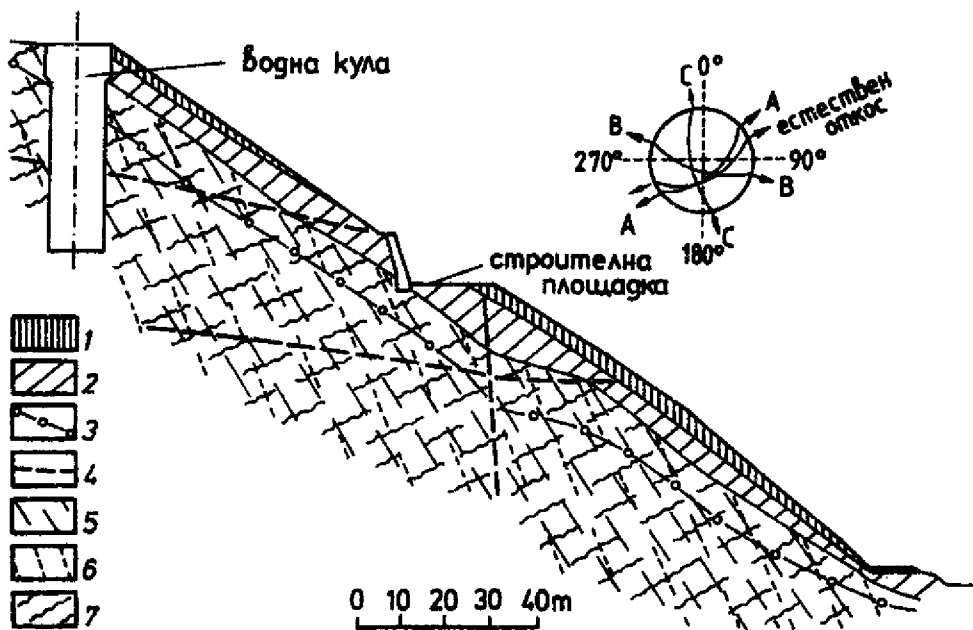
Геоложкият строеж на склона се определя преди всичко от наличието на докамбрийски метаморфити, които хроностратиграфски се отнасят към скалите от Арденската група Ag Fe C. Полиметаморфният състав на скалите включва главно биотитови, двуслюдени и амфибол-биотитови гнайси и биотитови гнайсошисти. Върху обособения метаморфен скален комплекс неравномерно и многократно са проявени ултраметаморфни процеси. Във връзка с тези процеси гнайсите често изменят текстурните си особености от слабо шистозни до ясно слоисти, с редки ивичести послойни магматити.

Над метаморфитите повърхностната зона на склона е заета от кватернерни склонови насипи, шлейфът на които достига до дъното на речната долина. Представени са от несортирани разнозърнести чакъли от слабо изветрели скални късове, неравномерно примесени с пясъчлива глина. Дебелината на склоновите насипи се изменя в граници от 3,5 до 5,5 m, като най-значителна тя е между площадката на началото на водопровода и шосето София — Самоков на около 4 m над реката (фиг. 2). Склоновите насипи са отстранени в обсега на водната кула, апаратната камера и напорния тръбопровод на ВЕЦ-а, както и по цялата строителна площадка.

Структурата на скалния масив се определя на общия фон на интензивна тектонска преработка на лежащия пасивен макроблок на регионалния разлом, който пресича в близост десния склон на речната долина. Този разлом, наречен Искърска тектонска дислокация, се характеризира с широка до 300 m ултрамилонитна зона и още по-широка зона на нехомогенно деструктивно въздействие върху метаморфитите. Освен вторичните изменения на минералния състав и особено на фелдшпатовата и слюдената компонента в скалния масив в участъка на площадката са формирани нови гънкови генерации, пластови зони на изстискване на гнайсошистите, нискоразрядни разрывни структури и обемни зони на крехко напукване с частична милонитизация. Кристализационната шистозност на метаморфитите, която е свързана с наличието на локална реликтова гънкова структура, има променлив наклон 40° — 55° на северозапад или запад.

Определящо значение за състоянието на скалния масив имат изветрителните процеси. Старото алитно изветряване е проникнало на дълбочина 30—40 m в скалния масив. Механичното изветряне е обхванало избирателно масива до дълбочина 10—20 m. То се съчетава с естествения процес на гравитационно разтоварване на близките до повърхността зони паралелно с формирането на речната долина.

В скалния масив циркулират пухнати води от инфилтрационния генетически цикъл. Характерно е, че те имат променлив сезонен режим, не образуват общо пиезометрично ниво и са нискодебитни. Циркулацията им се извършва във водопроницаемата зона на дълбочина от 20 до 35 m, като не включва силно водопроницаемата зона на аерация с дълбочина до около 20 m.



Фиг. 2. Профил-фрагмент на изходния инженерногеоложки модел

1 — склонови насипи; 2 — силно изветрели гнайси (деструктурирана зона); 3 — граница на изветрелите гнайси; 4 — изскоразряден тектонски разлом; 5 — средни пукнатини от системата А; 6 — средни пукнатини от системата В; 7 — средни пукнатини от системата С

Fig. 2. Section-fragment of the engineering geological model

1 — talus materials; 2 — heavily withered gneiss (disstructurized zone); 3 — borderline of the whithered gneiss; 4 — low-grade tectonic fracture; 5 — medium-sized fissures of the A system; 6 — medium-sized fissures of the B system; 7 — medium-sized fissures of the C system

Изходен инженерногеоложки модел

Съставянето на изходния инженерногеоложки модел на участъка на площадката се основава на следните предпоставки:

— гравитационните деформации на склона са предизвикани от въздействието на допълнително наложени техногенни фактори (дълбоки строителни изкопи, интензивно оводняване);

— наблюдаваните деформации маркират два типа движения в масива — пълзене и разривни консеквентни премествания. Пълзенето е обхванало склоновия насип и най-горния деструктуриран слой на силно изветрелите метаморфити в участъка между площадката и водната кула. То е започнало вероятно през 1987—1988 г. като следствие от връзването на строителната площадка в склона и е получило допълнително ускорение по време на раздвижването на същия в края на юни 1989 г. Главен израз на това раздвижване са обаче разривните премествания. Те са резултат от движението на структурно обособени скални блокове в участъка на площадката по направление на най-големия наклон. Разпределителните повърхнини между блоковете съвпадат със съществуващите повърхнини на отслабване в метаморфитите: тектонски разривни нарушения, тектонски пукнатини и пластови зони на изстискване на гвайсоцити. В дълбочина разривните премествания затихват в постепенния преход между силно изветрелите и изветрелите метаморфити;

— инженерногеоложките условия със своята обща и детайлна сложност налагат извършване на типизация и зонирание на структурата на склона с цел обособяване на равнинни и обемни елементи с приблизително еднакви характеристики и свойства.

В изходния инженерногеоложки модел литостратиграфските комплекси са диференцирани в зависимост главно от степента на тяхната екзогенна промяна (фиг. 2). Структурно-тектонските блокове са разделени от индивидуализираните 4 нискоразрядни разлома, преобладаващи в мегапукнатини. Средните и малките тектонски пукнатини са привързани към три системи. В профил-фрагмент на модела (фиг. 2) са показани средните пукнатини от VI порядък като статистически дефинирана система на прекъснатост на скалния масив. Всички елементи на модела са атестирани в съответствие с техните геометрични параметри и физикомеханични свойства (табл. 1). По този начин се осигурява необходимата информация за физическо и математическо моделиране на склона и за изследване на неговата обща устойчивост.

Мероприятия за осигуряване устойчивостта на раздвижения склон

Непосредствено след затихване на движенията като следствие от спирането на постъпващите в масива на склона от дренажната шахта води обектът бива посетен от няколко комисии от специалисти. Те констатираят състоянието на склона и на първо място на строителната площадка, изразяват мнението си по причините за възникването на склоновите движения и дават препоръки за извършване на някои спешни работи за предотвратяване на нарастването на деформациите. В становищата на комисиите е отделено място и за мероприятията, които следва да осигурят необходимата за безаварийна експлоатация на водопровода „Искър“ устойчивост на склона.

Очевидно под влияние на непосредствените впечатления от деформациите на строителната площадка, както и на изключителното значение, което водопроводът „Искър“ ще има в бъдеще за водоснабдяването на София, в препоръките на основните укрепителни мероприятия е проявен максимализъм. Препоръчва се едновременното изпълнение на голям набор от конструктивни и дренажни съоръжения, прилагани в практиката за стабилизиране на свлачища. Спецификата на случая намира отражение и в нереалистично късия срок, предвиден в приетата още през юли 1989 г. програма за проучване, проектиране и изпълнение на укрепителните мероприятия — малко повече от една година.

Първите вариантни разработки за укрепителни мероприятия, изпълнени от проектанта на обекта „Енергопроект“, включват проучвателно-дренажна галерия с ветрила от наклонени дренажни сондажи, 2 реда хоризонтални дренажни сондажи и два реда дълбоки напрегнати анкери за укрепване на масива над строителната площадка, многоредово поле от изливни пилоти за осигуряване устойчивостта на самата площадка.

Извършваните периодични измервания на преместванията на отделни точки от раздвижената част на склона показваха, че движенията са преустановени. Допълнителните проучвания със сондажи недвусмислено потвърдиха, че естественото ниво на подземните води е на значителна дълбочина под повърхността на склона. Очевидно в случая е налице един естествено дрениран склон, чието раздвижване е било предизвикано от масираното и сравнително продължително постъпване на техногенни води. Всичко това заедно с характе-

Таблица 1
Геометрична, морфологична и воматрична характеристика на елементите на изходния инженерногеоложки модел

Елементи	Класификация на елементите	Сигнатура на елементите		Посока на наклон		Ъгъл на наклон		Дължина, m	Ширина, cm	Характер на запълване	Модул на напуканост M_p	Обемна плътност $\rho_p, \text{g/cm}^3$	Якост на срязване	
		интервал	средно	интервал	средно	$\sigma_{ср}$, kPa	$\tau_{ср}$							
Разлом	Тектонски разломи и големи пукнатини IV и V порядък	F_1/F_3 F_4 F_2	— — —	240°—260° 340°—350° 180°—200°	интервал средно	45°—70° 80°—85° 50°—60°	— — —	20—100	8—50	млоницирани слюдени и слюритови шисти, мекс, пластични или ронливи	—	2,10	0,45	50
	Пукнатини	Средни пукнатини VI порядък	A	310°—330°	320°	55°	6—15	0,2—0,3	чисти	0,5	—	—	0,55	20
		Малки пукнатини VII порядък	B	15°—20°	15°	65°	4—7	0,5	частично запълнени с глина	0,4	—	—	0,50	50
		Малки пукнатини VII порядък	C	75°—85°	80°	75°	5—15	0,4—0,8	—	0,5	—	—	0,55	60
Склонови насипи	Деструктурирана зона Изветрели гнайси Нензветрели гнайси	M ₁	180°—190°	180°	65°	1—4	0,2—0,5	—	—	—	—	2,10	0,33	50
		M ₂	250°—260°	250°	75°	1—2	—	—	—	—	—	2,30	0,41	70
		M ₃	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2,55	0,58	110
		M ₄	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2,68	0,68	200

ра на настъпилите разривни деформации — повече или по-малко отворени опънни пукнатини без значима денивелация на бордовете, подсказваше, че е била изконсумирана само началната фаза на свлачищно движение — опънно-напукване в горния активен участък на свлачищното тяло. С прекратяване на постъпването на вода в масива развитието на същинско свлачищно движение, свързано със значително преместване на част от масива по формирана хлъзгателна повърхнина, е било предотвратено. Това безспорно обуславя по-благоприятна ситуация по отношение на необходимите укрепителни мероприятия за гарантиране устойчивостта на склона.

За подаване на вода по вече изградената част от водопровода „Искър“ до пречиствателна станция „Панчарево“ между старата апаратна камера на напорния тръбопровод и водопроводния тунел беше изградена и предадена в експлоатация временна технологична връзка — стоманен тръбопровод с дължина около 110 m за водно количество 4,5 m³/s. Тя беше разположена близо до външния ръб на строителната площадка, така че да не пречи на изпълнението на укрепителните работи, а по-късно — и на началния участък на нормалния водопровод. Така стана възможно проектирането и укрепването на склона да се извършват в по-спокойна обстановка. Това от своя страна доведе до преоценяване на някои виждания от периода непосредствено след раздвижването на склона и в резултат — намаляване на разнообразието и обема на изпълняваните мероприятия, за да съответстват по-точно на действителната нужда от увеличаване на устойчивостта.

В момента (октомври 1993) в напреднала фаза на изпълнение е проектът, изготвен от колектив на Лабораторията по градско подземно строителство при МГИ. През подпорната бетонова стена са прокарани няколко хоризонтални дренажни сондажа. Изпълнен е и един ред дълбоки анкери, които се намират във фаза на напъгане. Заедно със стената, мрежите и отводнителната канавка, изградени преди събитието от юни 1989 г., тези допълнителни мероприятия трябва да осигурят необходимия запас от местна и обща устойчивост на частта от склона над строителната площадка. Що се отнася до самата площадка и частта на склона под нея, освен извършеното непосредствено след раздвижването запълване на пукнатините и бетониране на повърхността на площадката в очертанията на и около новата апаратна камера са изпълнени изливни пилоти. С тях очевидно се подобряват условията на фундиране на апаратната камера и началния открит участък на водопровода. Те едва ли ще имат обаче съществен ефект за повишаване стабилитета на склона под площадката, тъй като влиянието им се ограничава само върху неговата най-горна част, разположена под самата площадка. За тази част на склона няма изпълнени дренажни мероприятия, макар че с изграждането на новата апаратна камера и монтирането на новата дросел-клапа за водопровода вероятността от непредвидените изтичания на вода и попадането на поне част от нея в масива на склона се увеличава. А събитието от юни 1989 г. недвусмислено показва, че именно това е най-същественният фактор за нарушаване устойчивостта на склона с всички отрицателни последици за нормалната експлоатация на водопровода „Искър“. Надяваме се, че авторите на изпълнявания проект за укрепване ще запознаят геотехническата общност с концепцията и подробностите на проектното решение.

Наблюдение на деформациите

Както вече се спомена, наблюдението за развитието на деформациите чрез измерване разтварянето на пукнатините по строителната площадка е започнало още в деня на раздвижването. Тези наблюдения се извършват периодично и досега. Специално подбраните места по дължината на отделни пукнатини са допълнително снабдени с марки по двата борда, а измерването на разстоянието между тях се извършва с деформетър. Измервания от същия тип се извършват и на пукнатини в горната камера на водната кула. Освен тези измервания върху разривни деформации периодични измервания се извършват и на мрежата от геодезични репери, изградена скоро след раздвижването върху застрашената от свличане част на склона. Резултатите както от едните, така и от другите измервания показват, че движението на склона е практически затихнало.

Независимо от това предвид изключителното значение на изграждащия се хидротехнически възел за водоснабдяването на столицата след завършването на укрепителните работи и изпълнението на постоянното отклонение за водопровода „Искър“ е редно да бъде изградена и една съвременна система за наблюдение и предупреждение. Още в края на 1989 г. в рамките на сътрудничеството между Лабораторията по геотехника на Българската академия на науките и италианския Институт за хидрогеоложка защита в Козенца бе изготвен проект за наблюдателна система на деформирания участък на склона. Системата се състои от: шест запоени към тръбопровода датчика с вибрираща струна за измерване на напреженията в метала; един датчик-пукнатиномер за измерване разтварянето на пукнатина; един термометър; един плувиометър. Предвиждаше се и изпълнението на по един пиезометричен, инклинометричен и екстензометричен сондаж, съоръжен със съответна апаратура. Чрез тези подходящо разположени на обекта датчици може да се следи изменението на известен брой характерни параметри. Данните от измерванията се предават на периферно запомнящо устройство, инсталирано на обекта. От него данните се извеждат за по-нататъшна обработка или при периодично посещение на обекта от специално натоварено лице, или при свързване с телефонната мрежа на страната — чрез телепредаване до централен компютър. Там се извършва натрупването на данните, тяхното анализиране чрез специални компютърни програми и вземането на решение за начина на противодействие при очертаване на критична ситуация. Системата може да бъде програмирана и за автоматично включване на затворните съоръжения на тръбопроводите в случай на внезапно възникнала аварийна обстановка.

Проектът не можа да бъде осъществен на по-ранен етап въпреки благоприятните условия за доставка на апаратурата, предлагани от италианска страна поради финансови и организационни трудности. След окончателното завършване на обекта обаче в една актуализирана съобразно новите условия форма той би могъл да послужи за осъществяване на ефективен мониторинг върху този специфичен участък от водопровода „Искър“.

Одобрена на 12. I. 1995 г.

Accepted January 12, 1995