# ИДЕНТИФИЦИРАНЕ НА ЕСТЕСТВЕНОТО ДРЕНИРАНЕ НА ПОДЗЕМНИ ВОДИ ЧРЕЗ ТЕРМАЛНО ДИСТАНЦИОННО ОБСЛЕДВАНЕ С БЕЗПИЛОТНА ЛЕТАТЕЛНА СИСТЕМА – ПРИМЕР ОТ ВС „ИЗВОРА“, С. КРУПНИК

**Борислав Борисов**

*Геологически институт „Страшимир Димитров“ – Българска академия на науките*
*e-mail: bobiborisov@abv.bg*

***Ключови думи:*** *подземни води; термално обследване; безпилотна летателна система; извор; Крупник*

***Резюме:*** *В статията е разгледана възможността за локализиране на зони на дрениране на подземни води около водовземно съоръжение „Извора“, южно от с. Крупник. След преустановяване на експлоатацията изходящият тръбопровод е затапен. Впоследствие в прилежащия терен са наблюдавани просмуквания и деформации. През юни 2026 г. са извършени оптично и термално заснемане с безпилотна летателна система DJI Mavic 3 Thermal, геодезическо заснемане и теренни наблюдения. Температурните контрасти са съпоставени с видимите овлажнени участъци и водопроявления. Част от аномалиите съвпадат с установените на терен изтичания и насочват към възможни приповърхностни пътища на водата. Резултатите показват практическата стойност на термалните изображения при планиране на целеви проверки, но сами по себе си не определят произхода, дебита или дълбочината на подземния поток.*

# IDENTIFICATION OF NATURAL GROUNDWATER DISCHARGE THROUGH UAV THERMAL REMOTE SENSING: A CASE STUDY OF THE IZVORA WATER INTAKE, KRUPNIK, BULGARIA

**Borislav Borisov**

*Geological Institute “Strashimir Dimitrov” – Bulgarian Academy of Sciences*
*e-mail: bobiborisov@abv.bg*

***Keywords:*** *groundwater discharge; thermal imaging; unmanned aerial vehicle; spring; Krupnik*

***Abstract:*** *This paper examines the use of unmanned aerial vehicle (UAV) thermal imaging to locate groundwater discharge near the Izvora spring water intake, south of Krupnik, Bulgaria. Following the cessation of operation, the outlet pipe was blocked. Seepage and ground deformation were subsequently observed nearby. In June 2026, optical and thermal UAV imaging with a DJI Mavic 3 Thermal was combined with geodetic surveying and field observations. Surface thermal contrasts were compared with visible wet areas and observed seepage. Several anomalies coincide with field-verified water emergence and indicate possible shallow drainage pathways. The results demonstrate the value of thermal imagery for targeting field inspection; thermal contrast alone cannot establish the origin, discharge rate, or depth of groundwater flow.*

## Въведение

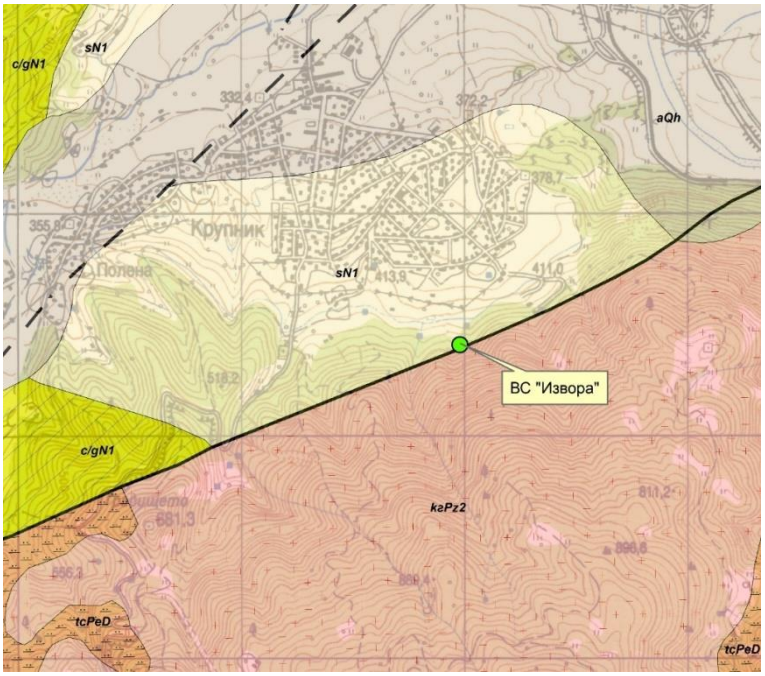
Изворите и зоните на просмукване са повърхностен израз на дренирането на подземните води. Тяхното установяване може да бъде затруднено от растителност, насипни материали и изградени каптажни съоръжения. Термалните изображения открояват локални температурни различия, които при подходящи условия се свързват с изтичане на подземни води (Deitchman & Loheide, 2009; Ozotta & Gerla, 2021). Изследвания с термални камери, монтирани на безпилотни летателни апарати (БЛА), показват възможност за пространствено картографиране на водопроявления и проследяване на повърхностния им израз (Watts et al., 2023).

Температурата на заснетата повърхност обаче зависи от слънчевата радиация, растителността, влажността, вида на материалите, а до голяма степен и от часа на наблюдението. Поради това термалната аномалия представлява признак за проверка, а не самостоятелно доказателство за подземен приток (Mundy et al., 2017).

Целта на изследването е да се очертаят вероятните участъци на дрениране около ВС „Извора“ чрез съвместна интерпретация на термални и оптични изображения, геодезически данни и теренни наблюдения.

**Район на изследване и хидрогеоложки условия**

Обектът е разположен приблизително на 300 m южно от с. Крупник, община Симитли, върху склон в периферията на Симитлийската котловина (фиг. 1).




Фиг. 1. Местоположение на ВС „Извора“ и обхват на изследвания район

Симитлийската котловина принадлежи към системата от неогенски грабени по долината на Струма. В нейното развитие важна роля имат активизирането на граничните разломи и натрупването на седименти (Nedjalkov et al., 1988). За района на Крупник са описани разнородни метаморфни и гранитоидни комплекси (Zagorchev et al., 2017). На разглеждания обект изворното проявление е свързано с контактната зона между скалната основа и седиментните образувания според наличните теренни и картни данни.

Разломните и контактните зони могат да създават предпочитани пътища на филтрация, но тяхната роля зависи от конкретната геометрия и пропускливостта на скалите (Gerginov, 2021). Положението на подземните пътища в участъка на ВС „Извора“ не може да бъде определено еднозначно само по повърхностните термални изображения.

Инженерногеоложкият контекст е съществен за интерпретацията на наблюдаваните деформации. В регионалното изследване на Dobrev (1997) са разгледани свлачищата в Симитлийската котловина, включително геоложките и хидрогеоложките условия и техногенните въздействия. Тази работа обосновава необходимостта водопроявленията да се разглеждат съвместно със склоновите процеси. Регионалната характеристика обаче не е достатъчна за класифициране на конкретното пропадане при каптажа. За това са необходими данни за строежа на насипа, състоянието на дренажа и развитието на деформацията във времето.

**Състояние на съоръжението и наблюдавани процеси**

Според предоставените сведения водите от извора са използвани за питейно-битово водоснабдяване до 2019 г. След установяване на превишени стойности на общата алфа-активност експлоатацията е преустановена. Тези обстоятелства са изходни данни за настоящото изследване, като стойностите на радиологичните показатели не са предмет на анализ.

Изходящият тръбопровод на водовземното съоръжение е затапен с цел да се предотврати използването на водата от местното население. В последствие в прилежащия терен са наблюдавани овлажняване, водопроявления и локални деформации.

Затапването е възможен фактор за промяна на местата на изтичане, но тази причинна връзка не може да се установи количествено без данни за предходния режим, конструкцията на каптажа и водните нива. Значението на водния режим за устойчивостта на склонове е показано в други инженерногеоложки обекти (Angelov & Vasileva, 2023); тези резултати не следва да се пренасят като пряко доказателство за процесите при ВС „Извора“. За района на Крупник са описани и регионални разломни и гравитационни движения (Avramova-Tacheva & Dobrev, 2007), които също не могат автоматично да се отъждествят с локалните деформации при съоръжението.

**Материали и методи**

През месец юни 2026 г. районът е заснет с оптичната и термалната камера на DJI Mavic 3 Thermal. Извършени са GNSS заснемане и теренен оглед на достъпните участъци. Оптичното заснемане е използвано за локализиране на каптажа, ревизионната шахта, насипа и видимите водопроявления. Термалните кадри са интерпретирани спрямо съседните повърхности и проверките на терен.

Приложението на БЛА с оптични и термални камери за наблюдение на инфраструктурни обекти е разгледано от Zhelev et al. (2026), които съчетават въздушното заснемане с радарни спътникови данни. При настоящото изследване оптичните и термалните изображения се използват за съпоставяне на състоянието на водовземното съоръжение с пространственото разположение на овлажнените участъци и водопроявленията.

Подходът съчетава пространствения обзор на заснемането с БЛА с непосредствена проверка на аномалиите. Подобно допълване между дистанционни и наземни данни е важно при интерпретация на характеристиките на повърхността (Filchev et al., 2025). При хидроложки приложения съчетаването на термални изображения и БЛА позволява да се изследват пространствени модели, които трудно се проследяват само от отделни наземни точки (Dugdale, 2022).

При съпоставянето на изображенията основни ориентири са неподвижните елементи на съоръжението и ясно различимите граници на теренните обекти. Интерпретацията се извършва последователно – установяване на локалния температурен контраст, проверка на вида на повърхността в оптичното изображение и съпоставяне с наблюдаваното овлажняване. Съседни участъци с подобно покритие са по-подходящи за сравнителен фон от повърхности с различен материал или различно ослънчаване. Пространственото съвпадение се оценява на равнището на разпознаваемите обекти, без да се приписва точност, която не е проверена независимо.

Съчетаването на ГИС, изображения от БЛА и фотограметрични модели за пространствено документиране на обекти е разгледано и в археологически изследвания (Ciocani et al., 2025). При ВС „Извора“ съвместното разглеждане на изображенията и геодезическите данни подпомага определянето на взаимното положение на съоръжението, водопроявленията и наблюдаваните деформации.

Анализът в настоящата работа е качествен. Представеният набор данни не включва синхронни измервания на температурата и дебита на изтичащата вода, както и количествена оценка на неопределеността на термалните измервания. Поради това температурните контрасти се използват като пространствени индикатори, без да се изчислява дебит или да се определя дълбочината на източника.

**Резултати и обсъждане**

В термалните изображения се открояват участъци с различна температура спрямо прилежащия терен около ВС „Извора“ и по склона под него. Съпоставката с теренните данни показва, че част от тези участъци съвпадат с наблюдавани изтичания и овлажняване. При подобни изследвания водните проявления могат да се открояват поради различния топлинен режим на изтичащата вода и заобикалящата повърхност (Deitchman & Loheide, 2009; Ozotta & Gerla, 2021).

Съвместното разглеждане на ортофотото и термалното изображение уточнява разположението на температурните контрасти спрямо каптажа, ревизионната шахта, насипа и установените деформации (фиг. 2 и 3). Подобен подход за пространствено картографиране на просмуквания с термални данни от БЛА е приложен и при други теренни условия (Watts et al., 2023).




Фиг. 2. Деформация на терена над дренажа: 1 – ревизионна шахта; 2 и 3 – водопроявления

Най-убедителни са аномалиите, за които има пряко съвпадение с водопроявление, установено при огледа. Останалите аномалии остават вероятни зони и изискват повторна теренна проверка. Това разграничение е съществено, тъй като температурният сигнал може да бъде повлиян от различия в покритието и микроклимата (Mundy et al., 2017).

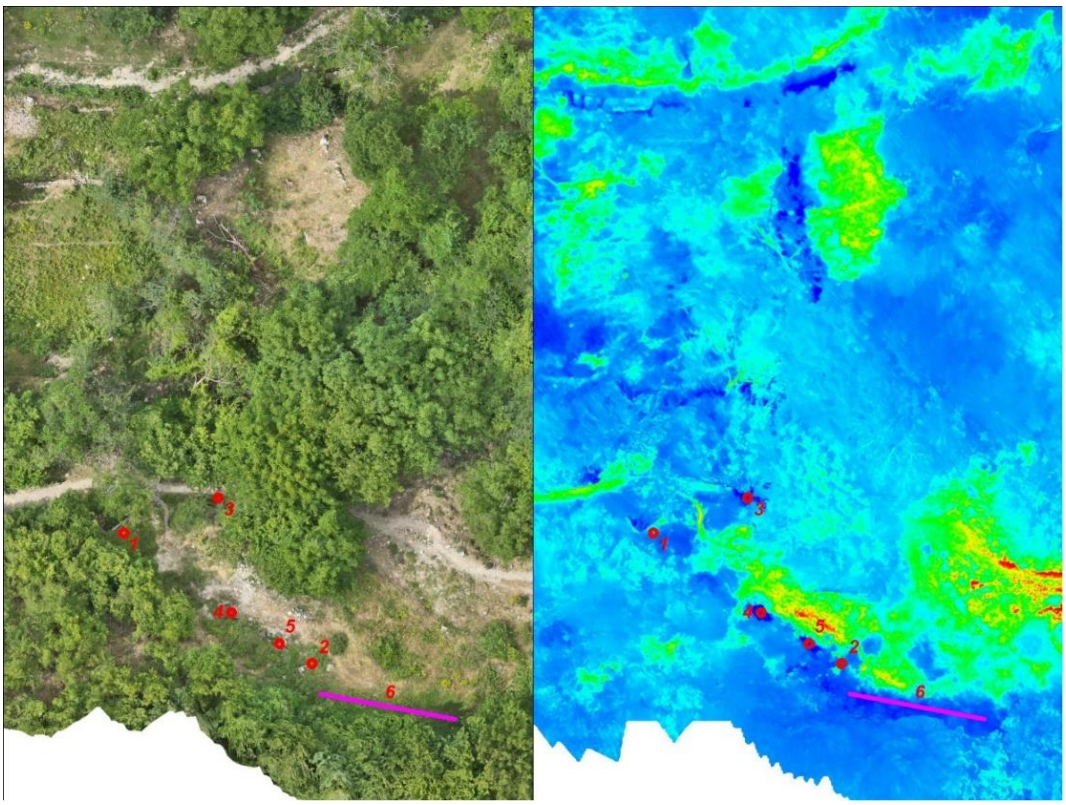
За работната интерпретация се разграничават три групи участъци: водопроявления, потвърдени при огледа и разпознаваеми в изображенията; овлажнени участъци без ясно изразено свободно изтичане; и температурни аномалии без наземно потвърждение. Първата група дава най-надеждна основа за локализиране на дренирането. Втората може да отразява дифузно просмукване или задържане на влага, а третата служи за насочване на допълнителни проверки. Така картографираните признаци не се приравняват автоматично на отделни извори.

Разположението на водопроявленията е съвместимо с хипотезата за преразпределение на изтичането след прекъсване на организираното отвеждане на водата. Публикуваните данни за структурния строеж на района (Nedjalkov et al., 1988; Zagorchev et al., 2017) и за значението на контактните зони в сходни хидрогеоложки обстановки (Gerginov, 2021) дават геоложка рамка на тази интерпретация, но не установяват конкретния подземен път под каптажа.

Наличието на преовлажняване може да влияе върху локалната устойчивост на приповърхностните материали (Angelov and Vasileva, 2023). Установяването на механизма на деформациите при ВС „Извора“ изисква самостоятелно инженерногеоложко изследване. Регионалните наблюдения върху Крупнишкия разлом и свързаните склонови движения (Avramova-Tacheva & Dobrev, 2007) са контекст, а не доказателство за причината на конкретното пропадане.

При оценка на възможните причини трябва да се отчита и валежният режим. Ivanov & Ivanova (2023) разглеждат влиянието на валежите върху свлачищната активност в Югозападна България и показват необходимостта от съвместен анализ на климатични и теренни фактори. За ВС „Извора“ липсата на съпоставим времеви ред не позволява да се отдели ефектът на затапването от промени в подхранването и повърхностния отток. Повторните обследвания следва да се съпровождат с данни за предходните валежи и със снимки на едни и същи контролни участъци.

Термалното обследване е най-полезно като способ за избор на места за проверка. То показва пространствения модел на температурните разлики, докато теренните наблюдения установяват дали има действително изтичане. Денонощните изменения и разнородните повърхности могат да създават погрешни интерпретации (Mundy et al., 2017), а съчетаването на БЛА и термални данни изисква внимание към условията на заснемане (Dugdale, 2022).




Фиг. 3. Ортофото и термално изображение на района: 1 – каптаж на ВС „Извора“; 2 – ревизионна шахта; 3 и 4 – водопроявления; 5 – просмукване през насипа; 6 – зона с възможно наличие на вода

**Перспективи за проверка на концептуалния модел**

Работният модел допуска, че ограниченото отвеждане през съоръжението може да насочи част от водата към по-пропускливи приповърхностни участъци и към насипа. Проверка на този модел изисква установяване на конструктивната схема, достъпните дренажни връзки и действителните водни нива. При възможност трябва да се измерят отделно температурата и дебитът на видимите изтичания и да се сравнят с водата в съоръжението. Сходството на температурите би подкрепило, но не би доказало самостоятелно общ произход.

Полезна следваща стъпка е повторно термално заснемане при различно ослънчаване и устойчиво обозначени контролни точки. Участъци, които запазват връзката си с проверено изтичане, имат по-голяма диагностична стойност от единични аномалии. За деформирания терен геодезическото проследяване трябва да се съчетае с инженерногеоложки оглед. Решенията за възстановяване или промяна на дренажа следва да се основават на тези допълнителни данни, а термалната карта да служи за избор на места за измерване и наблюдение.

**Заключение**

Термалното обследване с БЛА откри температурни аномалии около ВС „Извора“, част от които съвпадат с проверени на терен водопроявления. Тези съвпадения позволяват да се очертаят приоритетни участъци за последващи измервания.

Комбинираният анализ на термални и оптични изображения и наземни данни подпомага локализирането на повърхностните изтичания. Само по термалното изображение не може да се определи нито дебитът, нито действителната геометрия на подземните филтрационни пътища.

За проверка на предполагаемата връзка между затапването, преразпределението на потока и деформациите са необходими данни за конструкцията на съоръжението, водните нива, температурата и дебита на водопроявленията, както и повторни наблюдения при различни условия.

**Литература:**


1. Angelov, L., T. Vasileva 2023. Influence of geological and hydrogeological settings in assessing the stability of a landslide slope in the Tutrakan area, Northeastern Bulgaria. Engineering Geology and Hydrogeology, 37, 47–60. https://doi.org/10.52321/igh.37.1.47.
2. Avramova-Tacheva, E., N. Dobrev 2007. On the application of 3D monitoring methods of active fault and gravitational movements in Bulgaria. Geologica Balcanica, 36(3–4), 13–20. https://doi.org/10.52321/GeolBalc.36.3-4.13.
3. Ciocani, P., M. Chanev, P. Popov, I. Ivanov, L. Filchev. 2025. Spatial Technologies in Archeology: From GIS Mapping to SFM-Based Modelling. Proceedings of the Twenty-first International Scientific Conference Space, Ecology, Safety SES'2025, SRTI–BAS, 200–206.
4. Deitchman, R. S., S. P. Loheide II. 2009. Ground-based thermal imaging of groundwater flow processes at the seepage face. Geophysical Research Letters, 36, L14401. https://doi.org/10.1029/2009GL038103.
5. Dobrev, N. 1997. Landslides in the Simitli Kettle. Engineering Geology and Hydrogeology, 24, 41–65 (in Bulgarian with English abstract).
6. Dugdale, S. J. 2022. Looking to the Skies: Realising the Combined Potential of Drones and Thermal Infrared Imagery to Advance Hydrological Process Understanding in Headwaters. Water Resources Research, 58, e2021WR031168. https://doi.org/10.1029/2021WR031168.
7. Filchev, L., M. Chanev, G. Petrov 2025. Earth Observation for Comprehensive Soil Health Assessment and Monitoring. Revue Internationale de Géomatique, 34, 513–533. https://doi.org/10.32604/rig.2025.064280.
8. Gerginov, P. 2021. Geological and tectonic preconditions for hydraulic heterogeneity of the rocks in the area of the Gotse Delchev valley. Engineering Geology and Hydrogeology, 35, 51–61. https://doi.org/10.52321/igh.35.1.51.
9. Ivanov, I., E. Ivanova 2023. Influence of precipitation on landslide activity in Southwestern Bulgaria in the context of climate change. Engineering Geology and Hydrogeology, 37, 133–144. https://doi.org/10.52321/igh.37.1.133.
10. Mundy, E., T. Gleeson, M. Roberts, M. Baraer, J. M. McKenzie 2017. Thermal Imagery of Groundwater Seeps: Possibilities and Limitations. Groundwater, 55(2), 160–170. https://doi.org/10.1111/gwat.12451.
11. Nedjalkov, P., E. Kojumdgieva, I. Božkov 1988. Sedimentation cycles in the Neogene grabens along the Struma valley. Geologica Balcanica, 18(2), 61–66.
12. Ozotta, O., P. J. Gerla 2021. Mapping Groundwater Seepage in a Fen Using Thermal Imaging. Geosciences, 11(1), 29. https://doi.org/10.3390/geosciences11010029.
13. Watts, C. L., C. E. Hatch, R. Wicks 2023. Mapping groundwater discharge seeps by thermal UAS imaging on a wetland restoration site. Frontiers in Environmental Science, 10, 946565. https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.946565.
14. Zagorchev, I., C. Balica, E. Kozhoukharova, I. Balintoni 2017. Pirin metamorphic and igneous evolution revisited in a geochronological frame based on U-Pb zircon studies. Geologica Balcanica, 46(1), 27–63. https://doi.org/10.52321/GeolBalc.46.1.27.
15. Zhelev, G., N. Dimitrov, Z. Dimitrov, G. Sotirov, P. Penev, K. Metodiev, R. Dimitrov, M. Chanev. 2026. Quasi-Synchronous Aerospace Monitoring of Critical Infrastructure Objects Using Unmanned Aerial Vehicles and Radar Satellites. Aerospace Research in Bulgaria, 38, 167–178. https://doi.org/10.3897/arb.v38.e15.