

**MUZEUL JUDEȚEAN BUZĂU  
MONOGRAFII ARHEOLOGICE ȘI ISTORICE  
IV  
BIBLIOTECA MOUSAIOS**

**UN MONUMENT DIN CARPAȚII ORIENTALI CU REPREZENTĂRI DIN  
PREISTORIE ȘI EVUL MEDIU  
- NUCU-“FUNDU PEȘTERII”, JUDEȚUL BUZĂU –**

*UN MONUMENT DES CARPATES ORIENTALES AVEC  
DES REPRÉSENTATIONS  
DE LA PRÉHISTOIRE ET DU MOYEN ÂGE  
– NUCU – « FUNDU PEȘTERII », DÉPARTEMENT DE  
BUZĂU –*

**COORDONATOR: VALERIU SÎRBU**

**EDITORI: VALERIU SÎRBU, SEBASTIAN MATEI**

**MUZEUL BRĂILEI**  
**EDITURA  ISTROS**  
**BRĂILA – BUZĂU**

**2012**

## Sommaire

Valeriu Sîrbu, <i>Introduction</i> .....	7
Maria-Magdalena Ștefan, Dan Ștefan, <i>The Digital Survey of the „Fundu Peșterii” Rock Art Monument. A Challenge</i> .....	19
Bernhard Häck, <i>Eine Bilderhöhle mit prähistorischen Gravierungen in den Südostkarpaten Rumäniens Archäologisch-Speläologische Untersuchungen</i> .....	45
Valeriu Sîrbu, Sebastian Matei, <i>Les fouilles dans la grotte et ses environs</i> .....	101
Tudor Soroceanu, Valeriu Sîrbu, <i>La grotte de Nucu du Néolithique à l’âge du Bronze</i> ....	119
Daniel Costache, Sebastian Matei, <i>L’âge du Bronze – la Culture Monteoru</i> .....	337
Radu Băjenaru, Anca-Diana Popescu, <i>Poignards métalliques à languette au manche datant du Bronze ancien et moyen dans l’espace carpato-danubien</i> .....	363
Doina Ciobanu, <i>Les ermitages rupestres de la zone de Buzău- présentation générale</i> .....	435
Ștefan Chițu, <i>Documents médiévaux concernant la zone de Bozioru-Nucu</i> .....	447
Ionel Căndea, <i>Les symboles chrétiens dans l’ermitage de Fundu Peșterii, commune de Bozioru (dép. de Buzău)</i> .....	451
Valeriu Sîrbu, <i>Considérations finales</i> .....	493
Illustrations .....	501
Indices des noms propres dans les textes et les notes.....	535

**Documentarea digitală a monumentului rupestru de la  
*Fundu Peșterii*. O provocare //**  
***The Digital Survey of the „Fundu Peșterii” Rock Art Monument.  
A Challenge***

**Maria-Magdalena Ștefan, Dan Ștefan**

**Introducere**

Reprezentările preistorice, inscripțiile și simbolurile creștine gravate pe pereții monumentului de la Nucu-*Fundu Peșterii* alcătuiesc un remarcabil ansamblu rupestru al cărui studiu s-a întemeiat atât pe observații realizate în teren, dar și pe un riguros proces de înregistrare a informațiilor de natură fotografică și topografică.

Tradițional, metodele de reproducere și documentare grafică a vestigiilor de artă parietală au fost bazate, în general, pe tehnici manuale sau foarte puțin automatizate: desenare prin împărțire pe carouri sau pe bază de cote, desenare prin suprapunere direct peste simbolurile parietale, desenare cu ajutorul pantografului etc.

În ultimii 10 ani mai multe colective internaționale de cercetare (El-Hakim *et al.* 2004; Lerma *et al.* 2006; González-Aguilera *et al.* 2009) s-au arătat preocupate de îmbunătățirea metodelor de înregistrare și documentare a vestigiilor de artă rupestră, recunoscute fiind dificultățile tehnice deosebite pe care acest tip de monument le ridică. Disponibilitatea recentă a unor tehnologii avansate, dar și evoluția atitudinii științifice ce favorizează metodele de cercetare non-invazive, au condus la identificarea de soluții de

**Introduction**

The prehistoric rock engravings, medieval Christian inscriptions and symbols which cover the Nucu-*Fundu Peșterii* cave walls represent a truly outstanding set of rock art vestiges for the Central-European archaeology. The study of this monument was grounded both on repeated site observations and on the results of a laborious process of photographic and topographic recording.

Conventionally, the common methods used in the processing and graphic recording of parietal art vestiges have been involving various manual drawing replication techniques, either based on projection squares, direct overlaying over the symbols or with the help of a pantograph device.

During the last decade, several international teams (El-Hakim *et al.* 2004; Lerma *et al.* 2006; González-Aguilera *et al.* 2009) have brought their contribution to the improvement of registration methods used for the documentation of cave and rock art sites, challenging the well-known technical issues characterizing this type of monument. Due to the recent availability of advanced technologies and shift in the scientific approaches towards a higher degree of employing non-invasive techniques in the heritage research process,

documentare a monumentelor rupestre derivate din domeniul mai larg al fotogrammetriei și achiziției de date tridimensionale cu ajutorul stației totale și tehnologiei laser scanner.

Ca principiu general, aceste metode urmăresc obținerea de informație metrică din fotografiile digitale de înaltă rezoluție, și într-un plan mai avansat, chiar realizarea modelului tridimensional al peșterilor. Pentru a putea determina corect forma și dimensiunile reprezentărilor rupestre fotografiile suferă un proces de rectificare prin care sunt corectate distorsiunile geometrice cauzate de lentile ori de unghiul de fotografiere, dar și un proces de referențiere, prin care pixelii imaginilor sunt corelați cu informație spațială. Există mai multe metode de referențiere spațială a imaginilor, în general bazate pe identificarea în fotografii diferite a unor puncte comune. Dacă punctele au coordonate cunoscute într-un sistem metric de referință, aplicații software specializate permit rectificarea geometrică a fotografiilor și realizarea de măsurători precise pe baza lor. Coordonatele punctelor de referință pot fi determinate și înregistrate cu ajutorul stației totale ori cu echipamente laser scanner, rezultatul concretizându-se sub forma unor modele 2D sau 3D pe care se potrivesc texturile fotografice înregistrate cu camere foto digitale echipate cu lentile calibrate.

Relativ recent se utilizează și metode de extragere directă de modele 3D din fotografii digitale prin procedee automatizate.

Rezultatele însemnate pe care aceste metode le furnizează în procesul de studiere și protejare a artei rupestre depășesc cu mult limita unor simple planuri bidimensionale, oferind remarcabile posibilități de studiu de mare detaliu și baza conservării virtuale a întregului monument sub forma de modele tridimensionale de înaltă rezoluție și/sau

the main identified solutions have been found in the area of photogrammetry and 3D data acquisition technologies with laser scanner or total station.

As a general principle, these methods pursue to obtain metric data from high resolution digital photographs and, in a more advanced approach, even the 3D model of the rock art monuments.

In order to correctly define the shape and size of the parietal vestiges using photographs, the images suffer a rectification process through which any geometric distortion caused by lenses or shooting angle are being corrected, and a referencing process through which the image pixels are being correlated with spatial data. The task of image referencing may be accomplished using several methods, mainly grounded on the identification of common points between different photographs. If these control points have coordinates defined in a metric reference system, various software applications will be able to rectify them and execute various measurements and spatial analyses. The coordinates of these control points can be determined and recorded with the help of a total station or with laser scanner, the results of these procedures being a 2D or a 3D model, on top of which the photographic texture obtained with calibrated cameras can be overlaid.

A relatively new technology attempts to obtain 3D models directly from automatic stitching of a set of photographs of the target object taken in rotating motion.

The significant results of these novel approaches go beyond a simple bi-dimensional plan of the rock carvings. Their main contribution resides in the virtual preservation of the monument as a high resolution 3D model, offering outstanding possibilities for visualisation, future detailed studies and measurements and, why not, for the materialization of a

realizării de replici la scară sau în mărime naturală. Implicit, precizia măsurătorilor și repetabilitatea procedeelelor garantează o mai bună corectitudine în interpretarea reprezentărilor.

Indiferent de avantajele ori dezavantajele procedeelelor și instrumentelor folosite, condițiile de formare și morfologia peșterilor și a monumentelor de artă rupestră fac din fiecare descoperire o situație unicat, ce impune abordări tehnice particulare.

În ceea ce privește monumentul rupestru de la *Nucu-Fundu Peșterii*, procesul de documentare rămâne dificil, indiferent de metodele folosite, datorită formei caracteristice a grotei, neregularităților pereților și, mai ales, dimensiunilor reduse ale spațiului interior. În plus, densitatea, amănuntele și suprapunerea uimitoare de reprezentări, observabile mai clar ori mai slab pe pereții interiori, în special în locurile cel mai puțin accesibile, tocmai de aceea rămase nedistruse de elementele naturii ori de om, au impus utilizarea de metode și instrumente speciale în vederea atingerii unui nivel cât mai ridicat de detaliu și precizie.

### **Obiective**

Așa cum era de așteptat, obiectivele echipei de cercetare au evoluat pe parcursul desfășurării proiectului. Cu toate acestea, documentarea digitală a ansamblului rupestru de la *Nucu-Fundu Peșterii*, și în mod special a reprezentărilor parietale de aici, a fost o activitate constantă, practică încă din etapele preliminare ale cercetării și continuată fără întrerupere până în faza de interpretare.

Obiectivele echipei noastre<sup>1</sup> au fost următoarele:

- realizarea de hărți informative asupra regiunii geografice în care se află monumentul studiat cu referiri la elemente naturale, arheologice și istorice relevante;

scaled or life-size replica in minute detail. Implicitly, the measurements' accuracy and procedures' repeatability stand as guaranty for a more objective interpretation of the parietal vestiges.

Leaving apart a discussion about the benefits and drawbacks of the employed methods and technologies, we wish to emphasize that the typical formation conditions and morphology of caves and rock sites make every monument unique, requiring therefore a customized technical approach.

The task of registering the *Nucu-Fundu Peșterii* rock carvings and morphology proved to be undeniably difficult especially due to the cave's shape, walls' irregularities and small dimensions of its inner space. Additionally, the carvings' density, detail and amazing imbrication of representations, some of which are less visible than others, or located in inaccessible areas, hence they survived better to natural and anthropic disturbances, called for the employment of high detail and precision methods and equipment.

### **Objectives**

As expected, the research team objectives had evolved while the project was unfolding. Nevertheless, the activity of digital registering the rock site vestiges from *Nucu-Fundu Peșterii* remained a constant concern, from the preliminary study stages, being continued all through the interpretation phase.

The operative objectives established for our team<sup>1</sup> included the following:

- assembling general informative maps describing the region surrounding the site with reference to archaeological, historical and geographical information;

- realizarea planului topografic al zonei din imediata vecinătate a grotii;
- realizarea și prelucrarea de imagini digitale de mare rezoluție, în lumină naturală sau artificială, în scopul identificării tuturor zonelor cu reprezentări, în special a acelor dificil de observat la fața locului, cu ochiul liber;
- realizarea planurilor fotografice, corectate geometric (ortorectificate), pentru fiecare perete;
- realizarea de planuri grafice ale monumentului, în proiecție axonometrică;
- realizarea desenelor de ansamblu și de detaliu ale reprezentărilor de arme, inscripții și alte simboluri vizibile pe pereții interiori;
- realizarea desenelor de ansamblu și de detaliu ale reprezentărilor de arme, inscripții și alte simboluri vizibile pe stâncile aflate în imediata apropiere;
- realizarea desenelor de ansamblu și de detaliu ale intervențiilor umane din interiorul grotii, în special a celor din perioada medievală, când grotta a fost folosită ca schit (sihăstrie);
- realizarea unui model tridimensional de mare rezoluție al grotii și a unei texturi fotografice realiste.

### Selectarea metodelor

Documentarea digitală și înregistrarea precisă a formei grotii (fig. 4) de la *Nucu-Fundu Peșterii* și a intervențiilor umane de aici, din preistorie și din perioada medievală (fig. 6, 7), au fost realizate, așa cum deja s-a precizat, prin adaptarea unui ansamblu de tehnici topografice și fotogrammetrice la condițiile concrete ale acestui monument.

În interior, reprezentările de arme, simboluri și inscripții nu sunt imediat observabile fie datorită obstacolelor ce obturează câmpul de observație și măsură,

- making the topographic plans of the nearby area.
- taking and processing high resolution digital photographs using natural or artificial illumination, in order to identify all the areas covered with parietal representations, especially of those remaining difficult to observe on site with the naked eye;
- making general rectified photographic plans of each wall;
- making axonometric plans of the cave;
- making general and detailed drawings and measurements of the prehistoric representations of weapons, medieval inscriptions and other symbols visible on the interior cave walls;
- making general and detailed drawings and measurements of the representations of weapons visible on the exterior rocks surrounding the cave;
- making general plans and sections of the anthropic interventions over the interior, especially of those connected with the medieval period when the cave was used as a hermitage;
- obtaining of a high resolution 3D model with a realistic photo texture of the monument interior.

### Methods' Selection

The process of digital documentation and precise recording of the *Nucu-Fundu Peșterii* cave shape (fig.4), anthropic facilities excavated in the interior and prehistoric or medieval representations and inscriptions (fig. 6, 7) was attained, as it was stated before, as an adaptation of a certain set of topographic and photogrammetric techniques to the specific physical context of the site.

The parietal representations of weapons, symbols and inscriptions are not immediately visible and obvious, either due to various obstacles in the view field, faint

fie iluminării improprii ori slabei conservări, detaliile devenind evidente doar prin studiul de imagini digitale de mare rezoluție, unele dintre acestea executate cu ajutorul unor surse de iluminare adiționale, direcționale. Reprezentările de arme și simboluri din afara grotii sunt încă și mai dificil de identificat și caracterizat, în principal din cauza mascării acestora de către vegetația actuală și stării slabe de conservare.

Având în vedere constrângerile mai înainte arătate, a devenit clar că problemele de înregistrare grafică a manifestărilor parietale preistorice și medievale de aici nu pot fi soluționate cu ajutorul tehnicilor tradiționale. În același timp, spațiul redus din interior, dar și dificultățile de acces spre sit, nu au permis utilizarea unor echipamente de tip laser-scanner. În aceste condiții, opțiunea de utilizare a tehnicilor de documentare derivate din fotogrammetrie a devenit firească, aceste tehnici fiind, probabil, cel mai bine adaptate la problematica monumentului studiat.

Condițiile practice pentru realizarea fotografiilor, mai ales după standarde fotogrammetrice, au fost critice. Pentru a îndeplini criteriile necesare extragerii informației metrice din fotografia este de dorit ca aceeași țintă să fie fotografiată din unghiuri diferite cu o cameră foto prevăzută cu obiective calibrate și cu un sistem de repere de distanță: rețea de măsură (grid) ori puncte de control (markeri) distribuiți uniform, dar în puncte cheie.

Grota nu permite însă deschideri mai largi de 1.5 m, iar în zonele cele mai înguste înregistrează abia 40 cm distanță între pereți (un sector foarte bogat, de altfel, în reprezentări !). În plus, neregularitățile semnificative ale pereților produse prin acțiunea vântului și apei, dar și forma boltită a peșterii cu pereții decorați de sus până jos, fac ca planul de realizare al

illumination or poor conservation state. Certain details have become visible only after studying high resolution digital images, some of which were made with additional, directional lighting sources. The representation of weapons identified on the exterior rocks were even harder to record as they were located in inaccessible locations, were covered by forest and poorly preserved being directly exposed to environmental factors.

Having in mind the previously mentioned issues, it has become clear that these vestiges could not be recorded with traditional drawing techniques. Likewise, the small cave interior space and problematic access to the site stood against the use of laser scanner. In these conditions, it has become obvious that employing photogrammetry was the most suited solution to the specific site problematic.

The circumstances, in which the photos were taken, especially for photogrammetric use, were critical. In order to achieve the required conditions which allow the extraction of metric data from photographs it is desired that the same target to be photographed from different angles with a camera equipped with calibrated lenses, using a system of control points (markers) or a measurement network (grid), distributed evenly on the target surface, but in key points.

However, the cave has a maximum opening between walls of only 1.5 m and, in its narrowest sectors (where the representations are in fact the most crowded), measures no more than 40 cm. In addition, the significant walls' irregularities caused in time by wind and water and the vaulted shape of the cave, with walls decorated from top to bottom,

reprezentărilor să varieze între 10 și 60 de cm (fig. 5). Acest lucru face ca unghiurile de fotografiere accesibile să provoace distorsiuni de perspectivă foarte mari (fig. 8), iar numărul de fotografii necesare obținerii unei orotofotografii în respectivele zone să fie foarte mare, iar imaginile dificil de combinat, datorită diferenței de unghi. În aceste condiții a fost preferată referențierea imaginilor cu ajutorul unor puncte de control (mark-eri) distribuiți uniform, în puncte cheie, pe suprafețele studiate, a căror poziție urma să fie înregistrată cu ajutorul stației totale (fig. 9b). Această metodă permite utilizarea unor fotografii oblice și are ca rezultat secundar obținerea automată a modelului general tridimensional al interiorului, facilitând determinarea tuturor relațiilor spațiale necesare studiului.

Procesul de lucru, arătat pe scurt mai sus, a fost permanent adaptat și îmbunătățit pentru a asigura îndeplinirea obiectivelor. Detalii metodologice suplimentare, precum și alte aspecte particulare, vor fi introduse pe parcurs pe măsura în care aceste precizări vor fi necesare. Suita de metode alese de noi este cu siguranță lentă și laborioasă (comparativ cu tehnologia laser scanner, de exemplu), dar asigură un bun control asupra componentei spațiale, minimizând erorile și permițând reveniri în matricea datelor și adăugarea de informație nouă.

Rezultatele obținute: planuri, diverse reprezentări în proiecție axonometrică, vederi 3D, modele și reconstituiri virtuale, au stat la baza procesului de analiză și interpretare a vestigiilor rupestre de la *Fundu Peșterii*, prezentate *in extenso*, în continuare, în această monografie.

### **Operațiuni în teren**

Pe pereții grotii au fost plasate repere fotogrammetrice într-o rețea neregulată, cu distanțe maxime<sup>2</sup> de 10-15 de cm. Reperele din hârtie colorată, măsurând un centimetru

make the realization plan of the representations to vary between 10 and 60 cm (fig. 5). This makes the available shooting angles to generate significant perspective distortions (fig. 8) and limited horizontal field covering, hence a large number of photographs to rectify and stitch. In these conditions we preferred to reference the images using a set of additional reference points (markers) distributed evenly, in key points on the study surfaces, the position of which was recorded with the help of a total station (fig. 9). This method allows the use of oblique shots and has as indirect result the general 3D model of the interior, useful for general measurements and study.

The working flow previously mentioned in short was permanently adapted and refined in order to ensure the fulfilment of our objectives. Additional methodological details will be presented later, when necessary. The selected set of methods was undoubtedly slow and laborious (in comparison with laser scanner, for example), but ensured a very good control over the spatial component, reducing the risk of errors and allowing when necessary the reprocessing of original data sets when new data was added.

The obtained results: plans, various axonometric views, 3D views, models and virtual reconstructions were the indispensable study material in the process of analysis and interpretation of the *Fundu Peșterii* cave vestiges, presented *in extenso* further in this monograph.

### **Field Manoeuvres**

On the cave walls we placed an irregular network of photogrammetric markers with distances of 10-15 cm between them<sup>2</sup>. The markers made from coloured paper,



pătrat, au fost lipite cu material natural<sup>3</sup>, printr-un procedeu reversibil, în mod deliberat ales, pentru a nu afecta vestigiile rupestre. Reperele au fost numerotate și măsurate cu stația totală (Leica TCR 805) cu ajutorul laserului în spectru vizibil, utilizarea reflectorului fiind imposibilă în condițiile de spațiu date. Drept suprafață de reflexie a fost folosită chiar cea a pereților grotii. A fost nevoie de 3 puncte de stație diferite, unul poziționat chiar în intrare și două în interior, pentru a acoperi întreaga suprafață a pereților peșterii.

Au fost în total înregistrate 224 de reperi pe peretele sudic și 221 de reperi pe peretele nordic. Deoarece densitatea de distribuție a reperelor fotogrammetrice a fost suficient de mare, în urma măsurărilor lor cu stația totală s-a obținut automat un nor de puncte (point cloud) ce a fost prelucrat ca model tridimensional estimativ al interiorului grotii. Tot cu ajutorul stației totale au fost înregistrate, separat, alte elemente necesare detalierii acestui model: tavanul, podeaua, amenajările în rocă, probabil de epocă medievală, folosite la fixarea unor structuri de lemn, cum ar fi uși, podea ori trepte. Separat, s-au înregistrat alte puncte de măsură prin care a fost descrisă suprafața stâncilor în care se află intrarea în grotă (fig. 1b).

Într-o primă etapă (2009), fotografiile au fost executate cu o cameră DSLR Nikon D80 cu rezoluția de 10.2 Mp. Ulterior (2011 și 2012), înregistrările au fost completate cu seturi de imagini executate cu Nikon D90 (2011) cu rezoluția de 12 Mp, dar și cu imagini capturate pe film (24 x 36 mm), scanate la o rezoluție de 4800 dpi, cu o rezoluție echivalentă de aproximativ 30 Mp. Au fost folosite obiective cu distanța focală de 18 mm (12 mm echivalent în format FX), 50 mm (33 mm echivalent în format FX), dar și 8 mm (*fish-eye*, doar format DX)<sup>4</sup>.

Au fost realizate mai multe seturi de fotografii, cu și fără lumini suplimentare,

measuring about 1 sq. cm, were stitched on the walls using a natural binder<sup>3</sup>, in a procedure intentionally selected to be reversible and non-invasive. The markers were labelled with numbers and recorded with the help of a reflectorless total station (Leica TCR 805) with visible red laser. The reflection surfaces were directly the cave walls. We used three station points, one placed in the cave entrance and two others in the interior, in order to cover the entire surface.

224 markers were recorded on the southern wall and 221 on the northern wall. Because the distribution density of the control points was enough high, we obtained after recording them individually with the total station, a point-cloud which was processed into the rough 3D model of the cave interior. In addition we used the total station to record other morphological features necessary to detail the 3D model: ceiling, floor, rock excavations, probably dated in the medieval period, used for anchorage of various wood structures like doors, stairs and floors. Separately we recorded other points on the exterior rocks which assembled the cave entrance (fig. 1b).

In a first stage (2009) photographs were taken with a Nikon D80 DSLR photo camera equipped with a 10.2 MP sensor. These photos were completed afterwards with digital images from a 12 MP Nikon D90 (2011 and 2012) and also with photos taken on film (24 x 36 mm) scanned at a resolution of 4800 dpi with an equivalent digital resolution of 30 MP. The photos were taken three different focal length lenses: 18 mm (12 mm in FX format), 50 mm (33 mm in FX) and 8 mm (*fish-eye*, only in FX)<sup>4</sup>.

Several sets of images were taken, with or without artificial illumination, occasionally

cu și fără direcționare, folosind, în anumite situații, un monopied (nefiind loc pentru un trepid). Sursele de iluminare au fost atât active, dar și pasive (blende de reflexie).

Distanța de fotografiere a variat de la maxim 1.2 m până la minim 0.25 m. Având în vedere unghiul (orizontal) de fotografiere de aproximativ  $91.3^{\circ}$  ce corespunde distanței focale utilizate, rezultă un domeniu de variație a dimensiunilor înregistrate la o singură fotografiere de la un maxim de 2.45 m x 1.63 m până la minim 0.51 m x 0.34 m. Este evident că la distanțe mici de fotografiere numărul ridicat de imagini necesare a fost foarte mare, îngreunând mult activitatea de prelucrare. În plus, spațiul redus disponibil în interior în partea vestică, a făcut imposibilă fotografierea perpendiculară, permițând doar înregistrări cu oblicitate destul de mare. Chiar și în aceste condiții, precizia obținută în realizarea planurilor corectate ortogonal a fost mai bună de 5 mm.

Într-o procedură distinctă, pereții grotei au fost documentați fotografic cu un obiectiv supra-angular de tip *fish-eye* cu distanță focală fixă de 8 mm și un unghi de cuprindere mai mare de 120 de grade (după corecții și eliminarea extremităților). Acest obiectiv permite cuprinderea într-o singură fotografie a 4 m din grotă, de la distanța de doar 1.2 m (fig. 10). Cu toate că suprafața acoperită este foarte mare, utilitatea planurilor fotografice rezultate este relativ redusă, în special datorită distorsiunilor geometrice și de perspectivă reziduale și rezoluției finale reduse. Metoda este, totuși, utilă pentru planuri fotografice preliminare, la scară redusă.

### **Prelucrarea fotografiilor**

În procesul de prelucrare fotogrammetrică a datelor au fost selectate fotografiile realizate cu oblicitate minimă și care erau

with the help of a monopod (the tripod being useless in the given space conditions). Additional lighting was selected to be either directional or direct, and either active or passive (reflector panels).

The shooting distance varied from maximum 1.2 m to a minimum of 0.25 m. Taking in consideration the shooting horizontal angle of approximately  $91.3^{\circ}$ , corresponding to the given focal length, the range of registered dimensions in a single shoot varied between maximum 2.45 m x 1.63 m to a minimum of 0.51 m x 0.34 m. It is obvious that at smaller shooting distances the resulting number of images was high and their processing challenging. Furthermore, the small inner space available in the western sector made impossible any attempt to shoot perpendicular on the target surface, the perspective of the resulting images being greatly distorted. Even in these conditions, the obtained accuracy of the orthophotographs was better than 5 mm.

In a distinct procedure, the cave walls were photographed with a super wide fish-eye lense, with a fixed focal length of 8 mm and a horizontal covering angle larger than 120 degrees (after corections and cropping distorted edges). These lenses captures in a single shot 4 m of cave walls from only 1.2 m distance (fig. 10). However, despite the fish-eye lenses' large horizontal covering the applicability of the obtained image is minor due to significant residual geometric and perspective distortions and small final resolution. The method was employed only for general documentation purposes, preliminary studies and small scaled photo plans.

### **Image Processing**

In order to obtain the orthophotographs of the two walls we selected those photos that were shoot as closest to perpendicular as

acoperite cât mai bine de repere fotogrammetrice, cel puțin în extremitățile și centrul fotografiei.

Fotografiile au fost referențiate peste reperele măsurate cu stația totală, prezentate într-un plan de proiecție. A fost ales un sigur plan vertical de proiecție pentru ambii pereți, sprijinit pe o axă plasată în lungul peșterii (fig. 5), la o distanță aproximativ egală. Ajunși în acest punct trebuie să subliniem, așadar, că planul reprezentărilor obținut de noi (vezi, Soroceanu, Sîrbu, fig. 2-3) înfățișează proiecții ale modelelor *in situ* caracterizate la origine de semnificative diferențe de relief. Proiecția obținută de noi este mai scurtă decât lungimea desfășurată a pereților, de aici și unele diferențe între forma unor piese prezentate în fotografii oblice în comparație cu desenele din planul grafic de ansamblu<sup>5</sup>.

Fotografiile au fost referențiate și corectate într-un proces bazat pe multiple etape interrelaționate, care a progresat pe măsura familiarizării cu vestigiile studiate.

Inițial, erorile de perspectivă și sfericitate au fost corectate folosind reperele fotogrammetrice, apoi, pe măsura introducerii de noi elemente în puzzle-ul fotografic, rectificarea a avansat prin referire la alte fotografii corectate. S-a ajuns, astfel, la utilizarea chiar și a 30-50 de puncte de referință de fotografie în procesul de corecție fotogrammetrică, în special în cazul imaginilor cu erori mari de perspectivă. Identificarea punctelor de referință s-a realizat manual, selecția punctelor de control adiționale ținând cont de gradul de distorsiune ce afectează diferitele elemente ale imaginii și de relevanța informației grafice oferite. Aceste decizii au fost esențiale, având în vedere faptul că nu toate reprezentările sunt

posibile pentru cele date țintă și care au fost cel mai bine acoperite de repere, cel puțin în extremitățile și centrul fotografiei.

Fotografiile digitale au fost referențiate peste punctul-cloud reprezentând reperele fotogrammetrice înregistrate cu stația totală pentru fiecare pereț separat, dar prezentate într-un singur plan de proiecție. Am selectat un singur plan vertical de proiecție pentru ambele pereți susținuți de o axă situată în lungul peșterii (fig. 5), centrată în raport cu cele două pereți neregulate. Arrivat la acest punct, trebuie să subliniem că planurile generale (Fig. 2, 3, Chap. Soroceanu, Sîrbu) ale vestigiilor de artă rupestră (bazate pe ortofotografii) sunt proiecții ale modelului real, caracterizate de diferențe semnificative de relief. Proiecția obținută de noi este mai scurtă decât lungimea desfășurată a pereților, ceea ce generează unele diferențe în forma unor piese înregistrate în fotografii oblice în comparație cu rezultatele rectificate din planul general<sup>5</sup>.

Fotografiile selectate au fost referențiate și corectate geometric într-un proces interrelaționat care a avansat pe măsură ce ne obișnuim mai bine cu vestigiile studiate.

Inițial, erorile de perspectivă și sfericitate au fost corectate folosind reperele fotogrammetrice, apoi, pe măsură ce am adăugat noi elemente în puzzle-ul fotografic, rectificarea a avansat prin referire la alte fotografii corectate. S-a ajuns, astfel, la utilizarea chiar și a 30-50 de puncte de referință de fotografie în procesul de corecție fotogrammetrică, în special în cazul imaginilor cu erori mari de perspectivă. Identificarea punctelor de referință s-a realizat manual, selecția punctelor de control adiționale ținând cont de gradul de distorsiune ce afectează diferitele elemente ale imaginii și de relevanța informației grafice oferite. Aceste decizii au fost esențiale, având în vedere faptul că nu toate reprezentările sunt

vizibile în același tip de lumină și sub același unghi de fotografiere, fiind adesea nevoie de fotografii multiple ale aceleiași zone pentru a pune în evidență detalii diferite.

Metoda de rectificare aleasă a fost triangulația Delunay. Această metodă poate fi aplicată atunci când sunt disponibile cel puțin 5 puncte de referință pentru o fotografie, puncte între care este cunoscută relația spațială. Metoda se caracterizează prin păstrarea exactă a poziției punctelor de referință, dar și prin apariția, uneori, a unor erori mari către marginile fotografiei rectificate (fig. 9 c). Cu cât sunt introduse mai multe puncte cu atât rectificarea acționează pe suprafețe mai restrânse.

Dificultăți considerabile au fost întâlnite în cazul acoperirii fotografice și rectificării imaginilor pentru sectorul cel mai îngust al grotii, cel opus intrării, acoperit din plin de reprezentări. Zona este evident lipsită de lumină naturală, fiind imposibil de cuprins în cadre largi, perpendiculare, datorită distanței mici dintre pereți. Aici a fost necesară integrarea unui număr mai mare de fotografii (de exemplu, 15 pentru perețele de nord, realizate cu obiective de 18 mm ori 50 mm pentru a acoperi o suprafață de 1 m x 1 m), majoritatea cu distorsiuni semnificative de perspectivă. Fotografii oblice au rezultat și în cazul documentării părții superioare a pereților, în apropierea curburii tavanului (fig. 9).

Trebuie menționat că puzzle-ul fotogrammetric a conținut adesea mai multe fotografii pentru aceeași zonă de reprezentări, fotografii realizate cu iluminări diferite care reușeau să surprindă lucruri complementare. În urma unei etape de interpretare au fost alese fragmentele fotografice relevante pentru evidențierea reprezentărilor și realizarea planului peșterii (fig. 9e). O simplă fotografie rectificată, egalizată tonal nu ar fi fost utilă pentru realizarea planului reprezentărilor, deoarece numai o parte dintre acestea ar fi

angle, multiple images for the same target area being necessary to reveal different things.

The selected rectification method was the Delunay triangulation. This method can be applied when we have at least 5 control points for a single photograph. The main feature of this method pertains to the exact preservation of the control points' position and by the sporadic emergence of significant errors towards the image edges. The more control points are used, the more local remains the rectification process.

Certain difficulties were encountered in the case of photographing and rectifying the narrowest sector of the cave, the one opposing the entrance, fully covered with representations, but obviously the least illuminated by natural light and impossible to be covered in larger, perpendicular shots. In this case, we had to include information from 15 different photographs (for the northern wall) with important perspective distortions, taken with 18 mm or 50 mm in order to cover a 1 m x 1 m surface. Some problems caused by oblique photos appeared as well in the case of the upper part of the walls.

The final orthophotograph was a puzzle resuming relevant information obtained from multiple shots of the same area taken in different lights and angles, therefore capable to reveal complementary aspects. A simple rectified photography made in uniform light, equally toned, would not have been useful as a background for the general plan of the parietal vestiges because not all of them were visible.

fost vizibile.

În final, planul peretelui de nord a fost desenat pe baza informației extrase din 29 de fotografii rectificate, pentru planul peretelui de sud fiind necesare alte 30 de fotografii. Cele două imagini ortofotografice finale, de mare rezoluție, ale pereților au fost împărțite în carouri de 25 x 25 cm. Acestea au constituit baza unei rețele (grid) de raportare și racordare a desenelor de piese și detalii individuale la planul general.

Procesarea datelor topografice, prelucrarea imaginilor, corectarea geometrică a acestora și referențierea față de sistemul local de coordonate, asamblarea generală și corecția tonală finală au fost realizate cu ajutorul aplicațiilor software specializate din domeniile CAD, GIS, geostatistică, prelucrare specializată de imagini etc.

### **Modelare 3D pe baza imaginilor**

Avantajul utilizării metodelor digitale de documentare, pe lângă evaluarea corectă a spațiului și minimizarea erorilor de înregistrare, constă tocmai în accesul la un nou tip de informație, respectiv cea de-a treia dimensiune. În mod special, artiștii rupeștri din vechime au încorporat tridimensionalitatea pereților de piatră în reprezentările gravate. Studiul acestui tip de artă, altfel decât *in situ*, se poate face doar prin disponibilitatea unor modele tridimensionale de mare rezoluție care să permită realizarea de măsurători precise și observarea în detaliu a modului de realizare a reprezentărilor.

### **Concluzii**

Studiile complexe, interdisciplinare, desfășurate de o largă echipă de specialiști asupra ansamblului rupestru de la Nucul-Fundu Peșterii au avut drept suport documentar înregistrări digitale realizate în acord cu cele mai recente metode de achiziție și de prelucrare a datelor topografice și a imaginilor.

The final orthophotograph of the northern wall was assembled from 29 rectified images and that of the southern wall from 30 images. These high resolution images were afterwards divided in squares, 25 cm x 25 cm. They represented the base for a reference network used for relating individual detailed drawings of the representations to the general plan.

The processing of topographic data, geometric correction of the photographs, spatial referencing, general photo assembling and colour correction was performed with various software applications usually used in CAD, GIS, geo-statistical analyses and image processing etc.

### **3D Models from Images**

The main advantage of using digital documentation methods resides, besides the accurate spatial definition and error attenuation, in providing access to a new type of information – the third dimension. This becomes indeed relevant when we acknowledge the fact that the prehistoric and medieval artisans who carved the parietal representations included the 3D features of the rock surface in their art. The study of this type of vestiges, other than *in situ*, may be completed only by using high resolution 3D models for measurements and study of the making process of the representations.

### **Conclusions**

The complex interdisciplinary study of the Nucul-Fundu Peșterii rupestral monument, undertaken by a large team of specialists was grounded on digital recordings performed with methods connected with the most recent international approaches in 3D data acquisition and image processing for caves and rock art sites.

Procesul de documentare digitală s-a dovedit încă de la început o provocare tehnică și metodologică, în special datorită morfologiei complexe a grotii și, mai ales, dimensiunilor reduse ale spațiului interior. Aceste restricții fizice au făcut imposibilă utilizarea unor echipamente voluminoase (de exemplu, *laser scanner*) și au limitat sever amplasarea și manevrarea altor categorii: stație totală, camere foto, surse auxiliare de iluminare etc. În plus, densitatea ridicată a reprezentărilor preistorice de arme, dar și de simboluri și inscripții creștine din perioada medievală, la care putem adăuga fragilitatea acestora, a impus alegerea unor metode de înregistrare care să ofere un înalt nivel de detaliu. În consecință, metodologia de înregistrare utilizată a fost derivată din tehnica fotogrammetrică, cu adaptări specifice pentru condițiile concrete monumentului studiat.

A rezultat, în acest fel, un volum considerabil de informație digitală, valorificată sub formă de hărți, secțiuni, măsurători, analize spațiale, planuri, modele tridimensionale ale ansamblului, a suprafețelor interioare și exterioare, a reprezentărilor de artă parietală și a celorlalte categorii de intervenții antropice. Efortul de documentare va continua și după publicarea prezentei monografii, consolidând baza documentară în vederea continuării cercetărilor și pentru a oferi suport viitoarelor eforturi de conservare și de reconstituire muzeală a monumentului rupestru de la Nucu-*Fundu Peșterii*.

The process of digital documentation has proven since the beginning a technical and methodological challenge, especially due the cave's complex morphology and small inner space. These physical restrictions made impossible the employment of large equipment like laser scanner and had seriously limited the placement and manoeuvring of other devices like photo cameras, total station, auxiliary lighting sources, etc. In addition, the high density of prehistoric representation of weapons and other medieval Christian inscriptions and symbols, many of them rather fragile, conducted to the selection of those methods able to provide detail and accuracy. In consequence the employed methodology was derived from photogrammetric techniques, specially adapted to the particular conditions of the studied monument.

The resulting volume of digital data was significant. It was valorised as thematic maps of the surrounding region, plans sections, measurements and spatial analyses, 3D models of the site, inner surfaces, exterior surfaces, representations or other anthropic interventions.

The documentation process will be continued even after the research team prints this monograph, grounding future efforts for conservation and museum valorisation of the rock art monument from Nucu-*Fundu Peșterii*.

---

<sup>1</sup> La activitățile topografice desfășurate în teren au luat parte și Cătălin Constantin (Universitatea București) și Constantin Ștefan (Digital Domain). Documentarea video-fotografică a peșterii a beneficiat și de asistența lui Bogdan Batog (videograf) // *In the topographic field survey participated as well Cătălin Constantin (Bucharest University) and Constantin Ștefan (Digital Domain Bucharest), and the photo-video documentation process benefited from the help of the videographer Bogdan Batog.*

<sup>2</sup> Practic la limita maximă a posibilităților fizice de materializare și măsurare a reperelor, dar și de timp. Nu în ultimul rând, dacă ar fi fost mai dese ar fi acoperit prea mult din reprezentări. Reperele nu puteau fi mai mici pentru a permite individualizarea lor printr-o etichetă vizibilă în condițiile date de lumină și de rezoluție a senzorului // *This value was established as the minimum distance possible to be materialized and measured in the given*

---

conditions of time and human resources. Furthermore, if the markers were more densely stitched they would have covered the vestiges. The markers couldn't be smaller as they needed to be manually labeled and still visible in the given conditions of low lighting and certain photo sensor capabilities.

<sup>3</sup> Apă cu făină – un liant foarte puternic, ușor de îndepărtat cu apă simplă // *A mix of flour and water - a strong binder but, easily removable with simple water.*

<sup>4</sup> O discuție asupra domeniului de utilizare a diverselor tipuri de obiective fotografice pentru documentarea monumentelor rupestre depășește cadrul acestei expuneri, pentru cazul studiat precizăm doar principalele atribute ale utilizării obiectivelor utilizate: 18 mm, F 1:4 – acoperire geometrică medie-bună, rezoluție optică medie-bună; 50 mm, F 1:1.8 – acoperire geometrică redusă, rezoluție optică excelentă, utilizat în special pentru înregistrarea de mare detaliu; 8 mm, F 1:2, *fish-eye* – acoperire geometrică extremă (unghi diagonal de fotografiere: 180<sup>0</sup>, practic imaginea poate fi corectată până la 120<sup>0</sup>), distorsiuni optice foarte mari (corectate în faza de post-procesare), utilizat pentru imagini de ansamblu // *A discussion about the applicability of various types of photo lenses for cave and rock art sites is put of the purpose of this study. Relevant for the current presentation may only some of their features: 18 mm, F 1:4 geometric covering –medium-good, optical resolution medium-good; 50 mm, F 1: 1.8 – geometric covering low, optical resolution excellent, used for details; 8 mm, F: 1.2, fish-eye – extreme geometric covering (180<sup>0</sup> horizontal angle, the image is usable only for 120<sup>0</sup>), high optical distortions (may be corrected in the processing stage), used for general views.*

<sup>5</sup> Această observație este valabilă pentru planurile de ansamblu. Pentru desenele individuale ale pieselor (reprezentărilor), au fost folosite fotografiile corectate geometric (ortorectificate) cu acoperire locală. În acest fel s-a urmărit ca desenele să fie executate cu deformații conforme (fără deformări unghiulare) față de original // *This observation regards mainly the general plans. For the individual drawings of the representations the photographs were rectified after a local projection plan, the purpose being to execute detail graphics with conform distortions (without angular distortions).*

## Bibliografia

Ciobanu 2010 = D. Ciobanu, *Catalogul izvoarelor sarate din judetul Buzau (studiu etno-arheologic)*, Mousaios, XV, 2010, p. 377-388.

El-Hakim et al. 2004= S. El-Hakim, J. Fryer, M. Picard, E. Whiting, *Digital recording of aboriginal rock art*. In: 10th International Conference on Virtual Systems and Multimedia (VSMM), Ogaki City, Gifu, Japan, 17-19 Nov., 2004, p. 344-353.

González-Aguilera et al. 2009 = D. González-Aguilera , A. Muñoz-Nieto, J. Gómez-Lahoz, J. Herrero-Pascual and G. Gutierrez-Alonso , *3D Digital Surveying and Modelling of Cave Geometry: Application to Paleolithic Rock Art*. In: *Sensors*, 9(02), 2009, p. 1108-1127.

Lerma et al. 2006 = J. L. Lerma, J. Cardona, A. García, V. Villaverde Bonilla, *Close Range Photogrammetry And Enhanced Recording Of Paleolithic Rock Art*. In: *IAPRS*, 5, 36, 2006, p. 25-27.

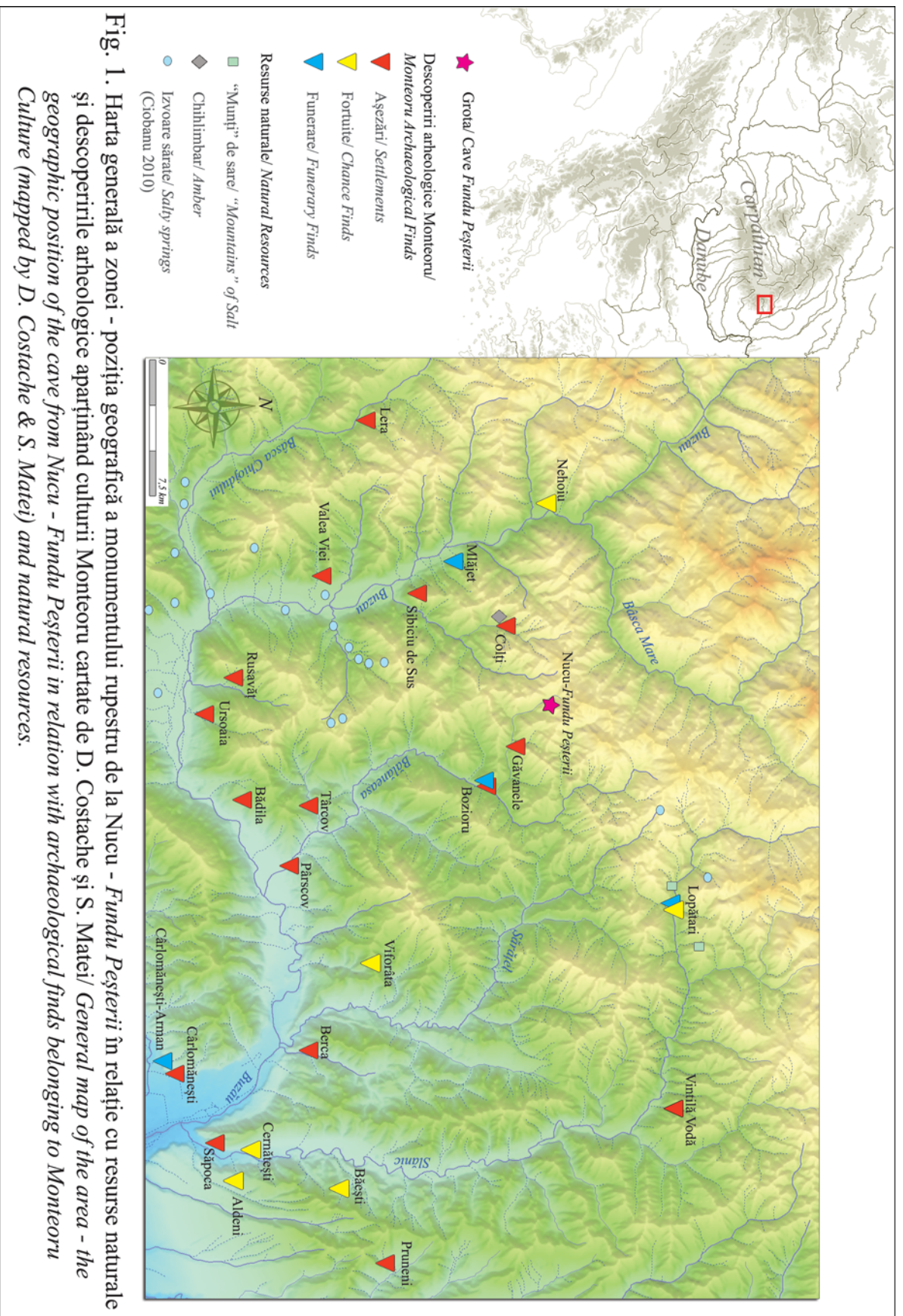
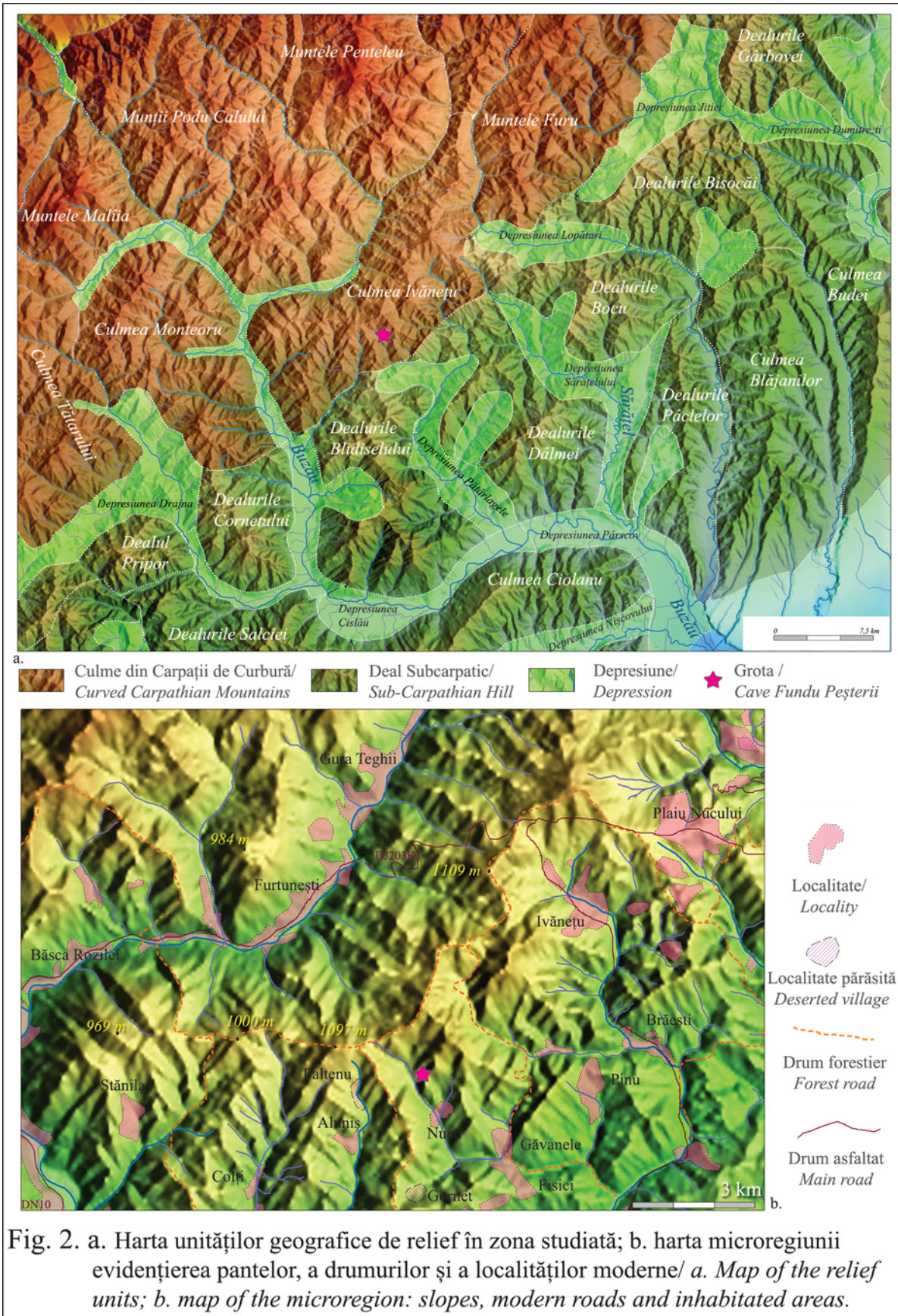
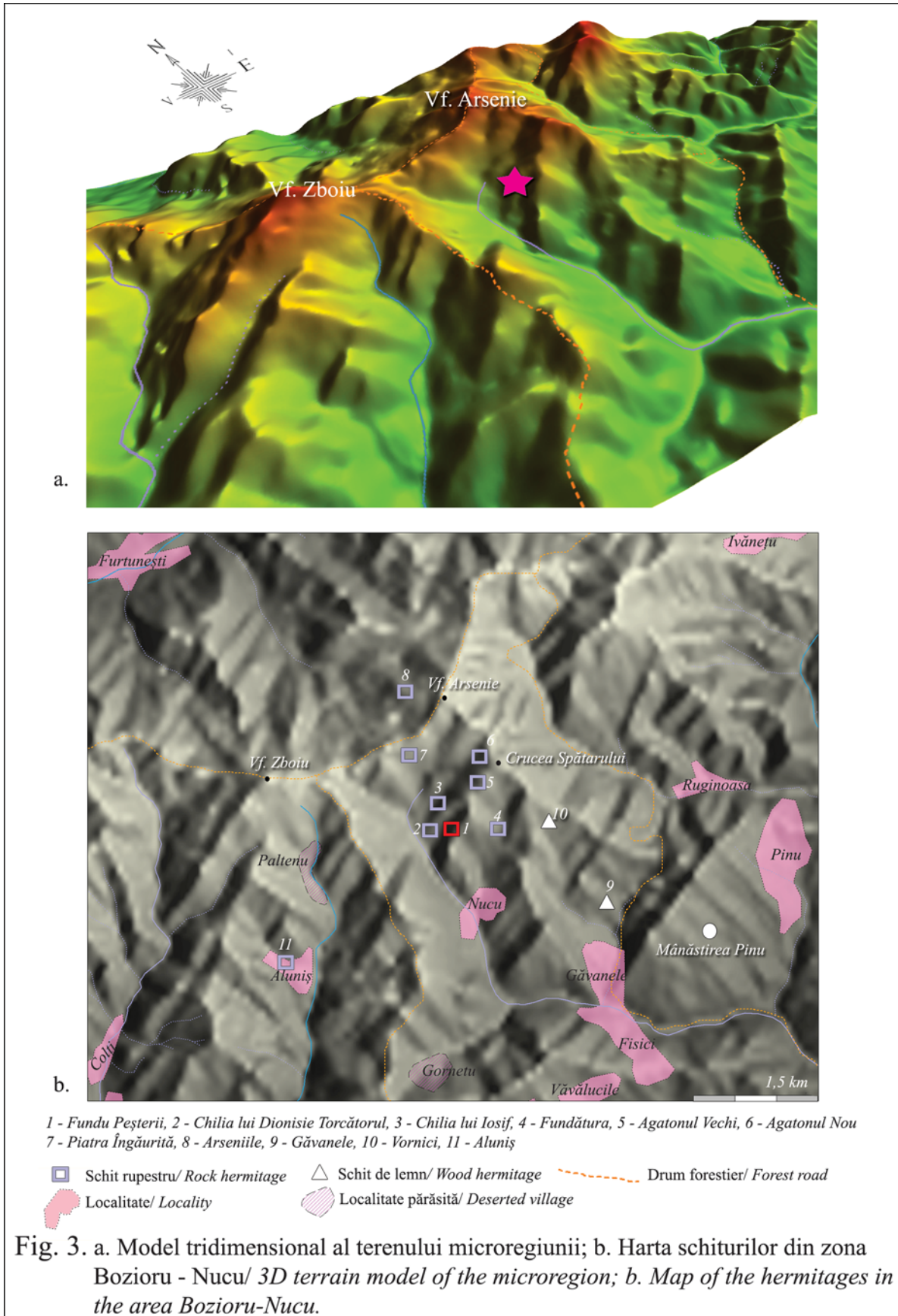
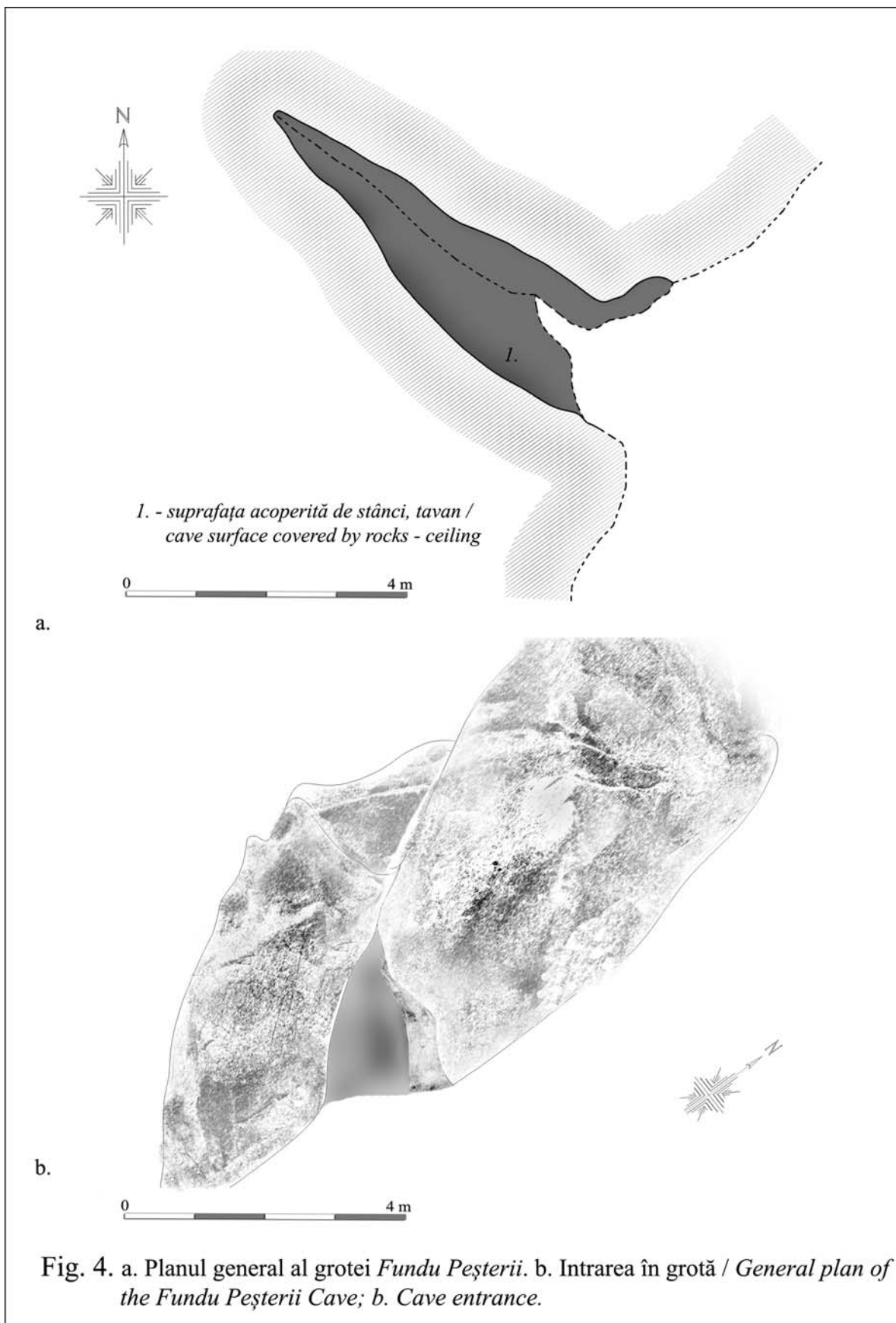


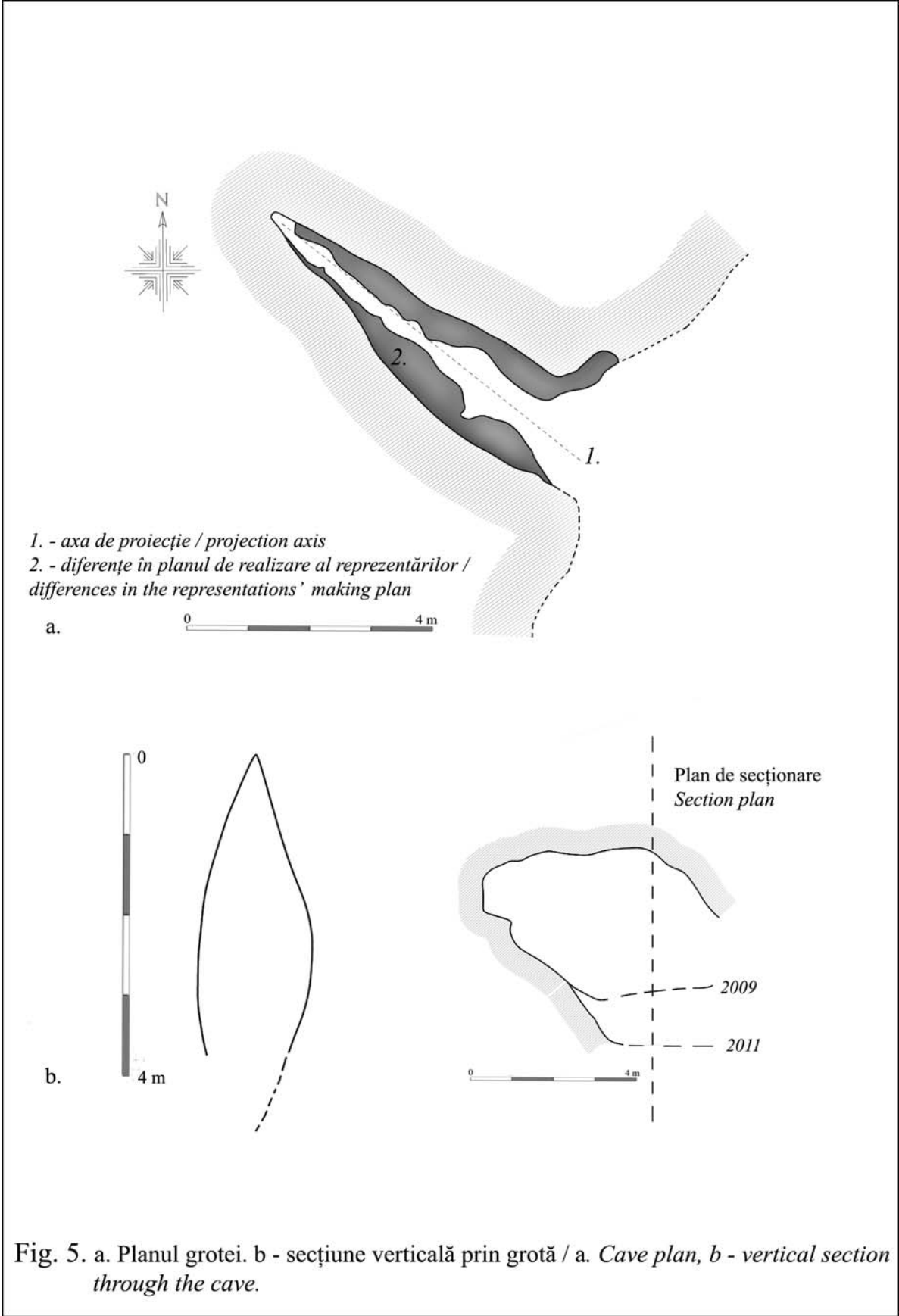
Fig. 1. Harta generală a zonei - poziția geografică a monumentului rupestru de la Nuču - Fundu Peșterii în relație cu resurse naturale și descoperirile arheologice aparținând culturii Monteoru cartate de D. Costache și S. Matei/ General map of the area - the geographic position of the cave from Nuču - Fundu Peșterii in relation with archaeological finds belonging to Monteoru Culture (mapped by D. Costache & S. Matei) and natural resources.











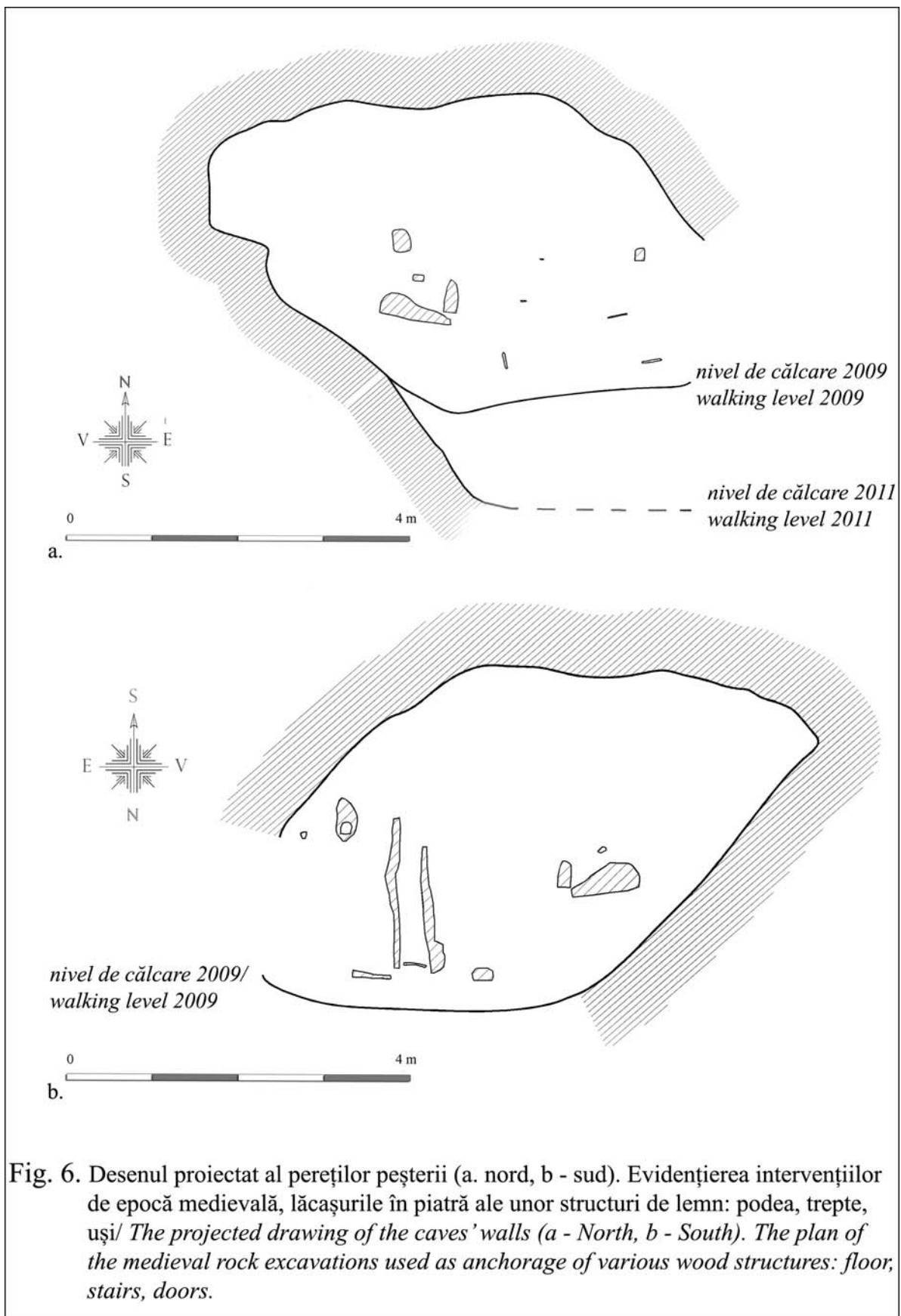


Fig. 6. Desenul proiectat al pereților peșterii (a. nord, b - sud). Evidențierea intervențiilor de epocă medievală, lăcașurile în piatră ale unor structuri de lemn: podea, trepte, uși/ *The projected drawing of the caves' walls (a - North, b - South). The plan of the medieval rock excavations used as anchorage of various wood structures: floor, stairs, doors.*

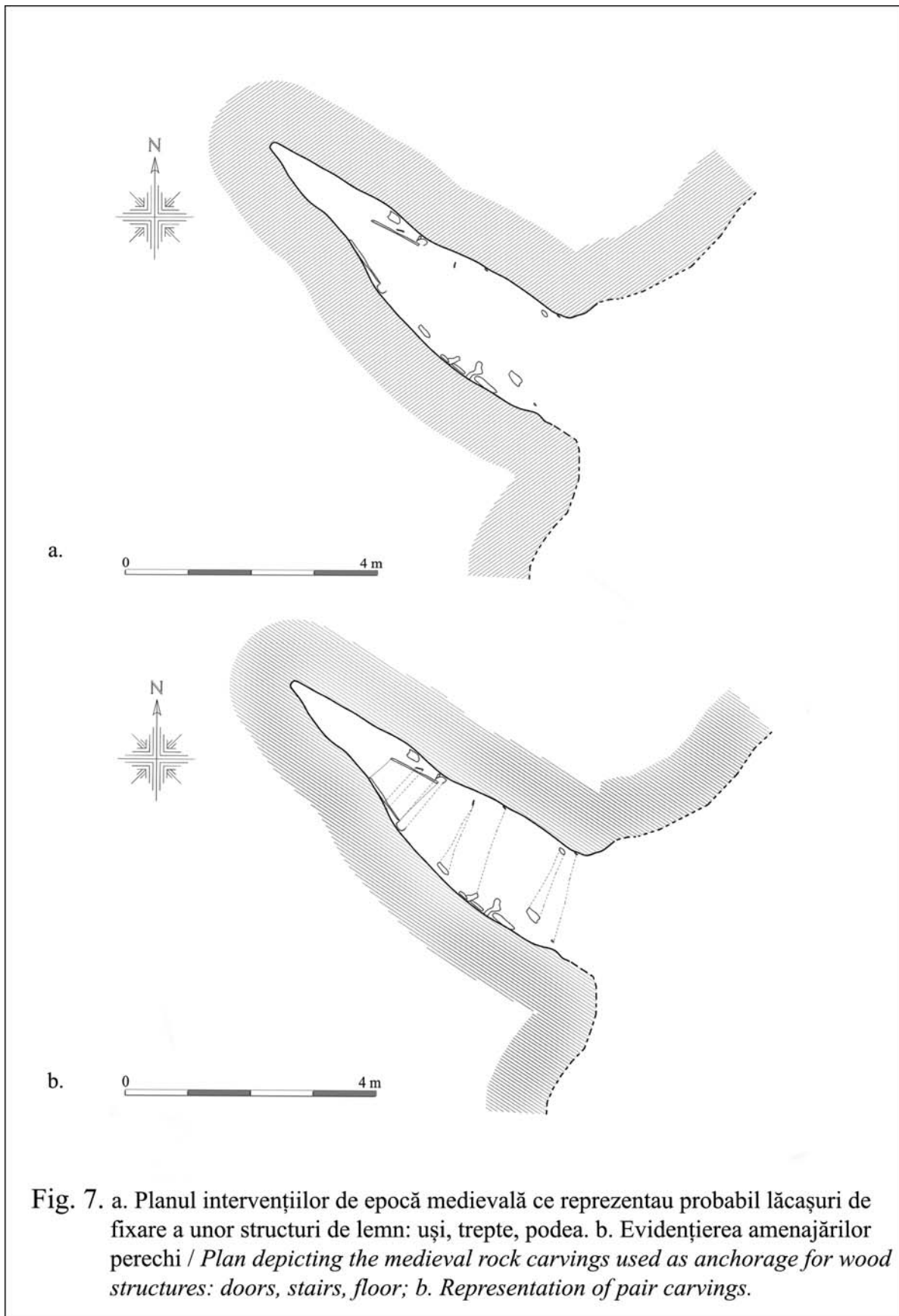
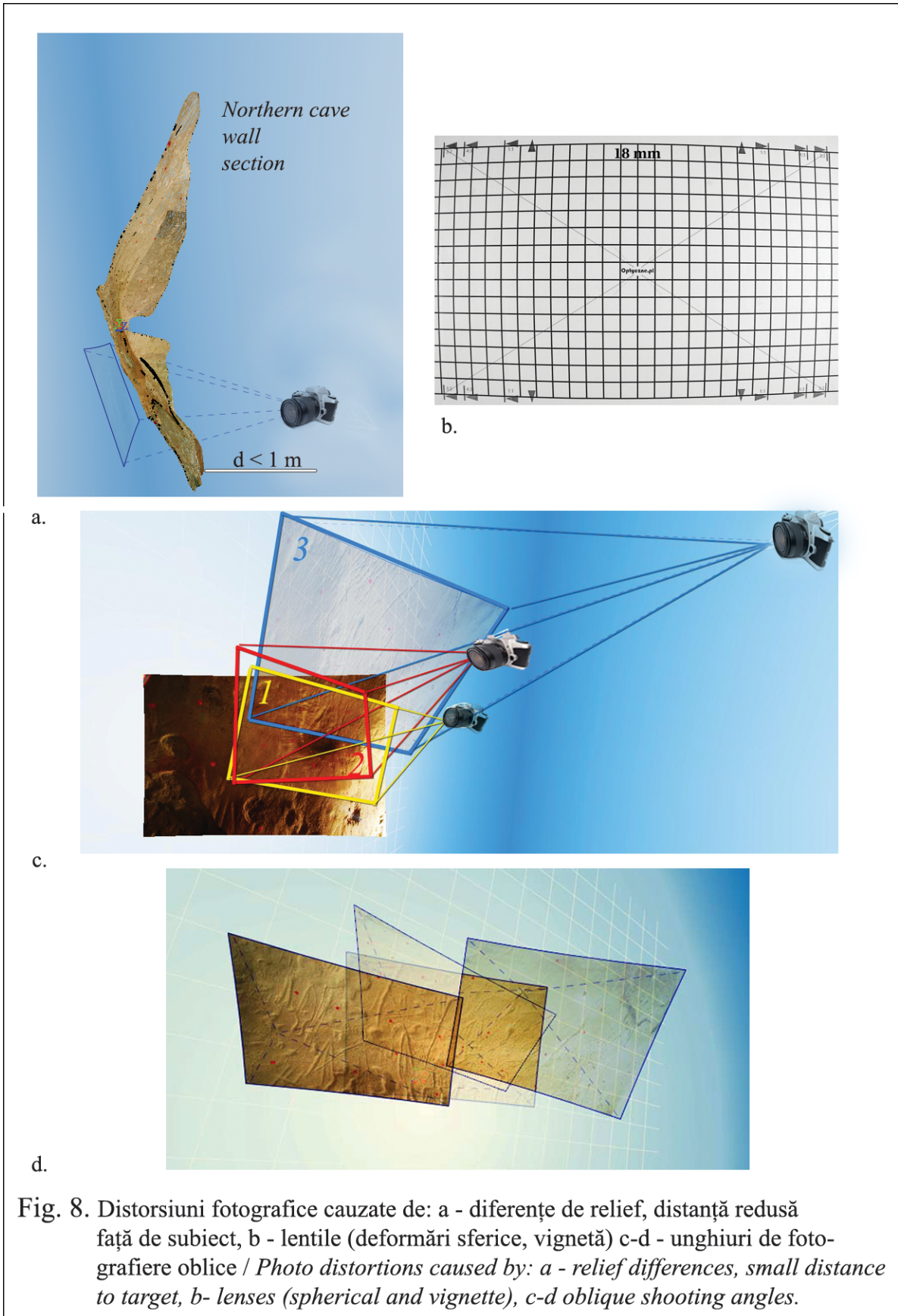
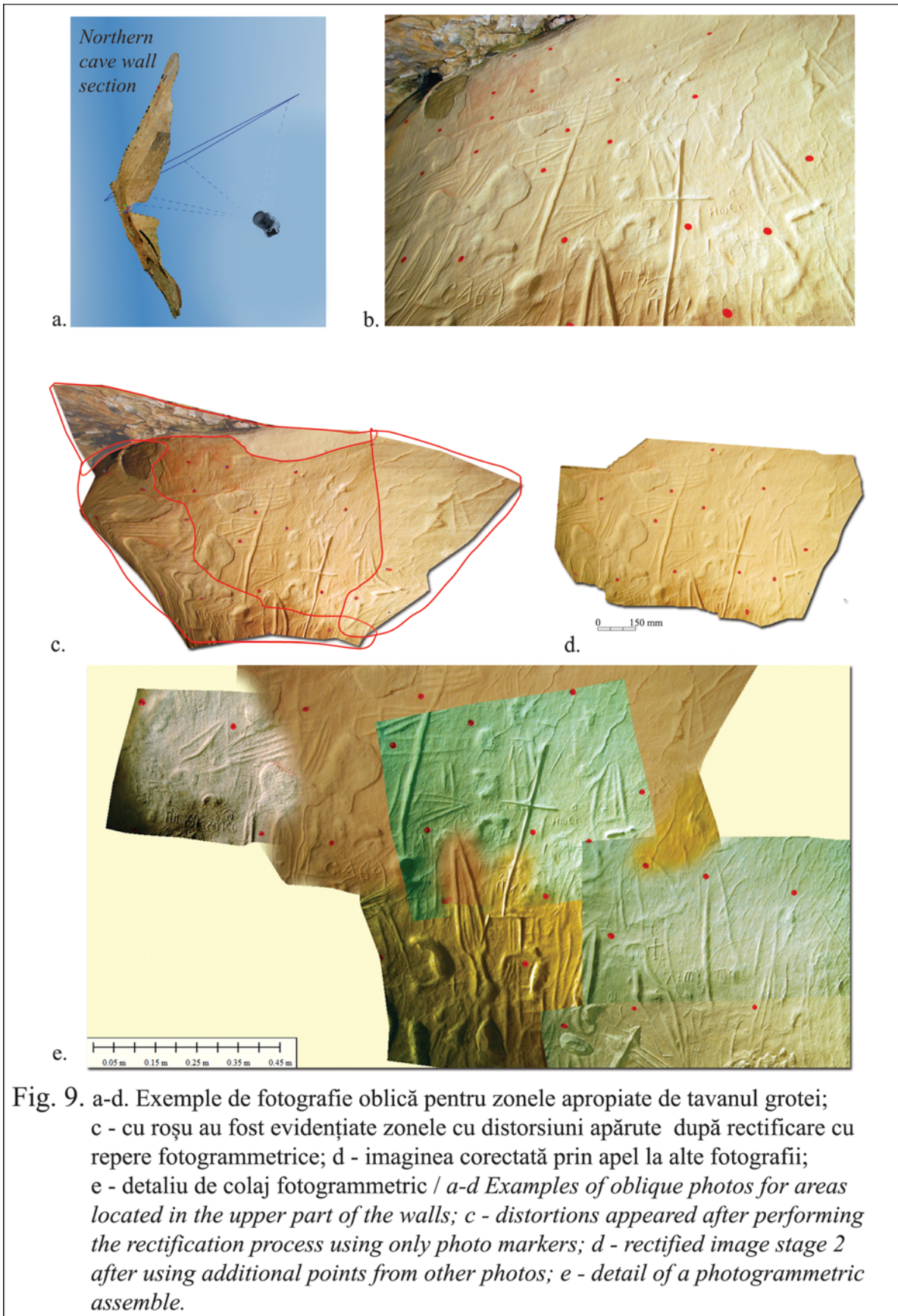


Fig. 7. a. Planul intervențiilor de epocă medievală ce reprezentau probabil lăcașuri de fixare a unor structuri de lemn: uși, trepte, podea. b. Evidențierea amenajărilor perechi / Plan depicting the medieval rock carvings used as anchorage for wood structures: doors, stairs, floor; b. Representation of pair carvings.







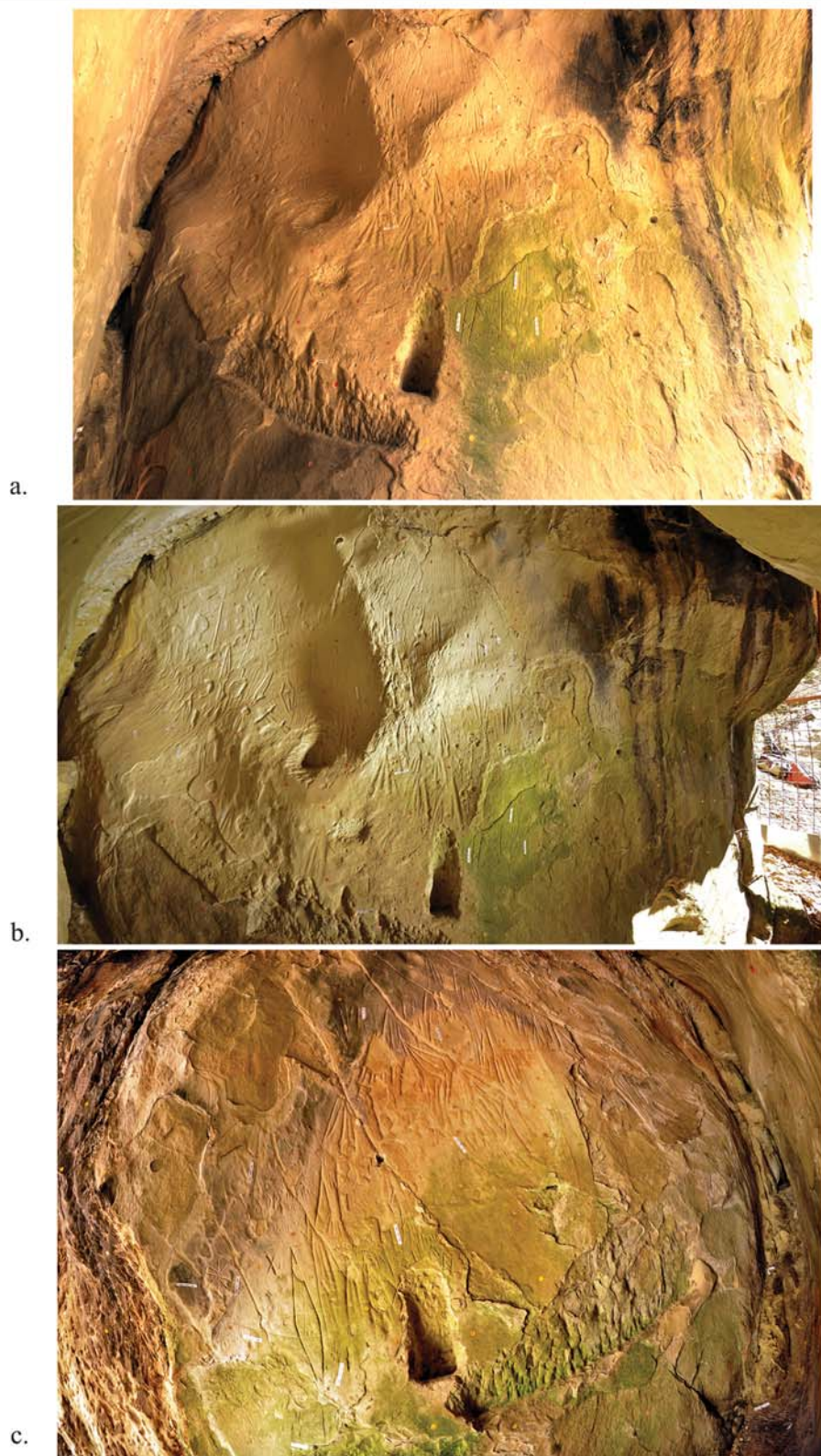


Fig. 10. Fotografii generale realizate cu lentile fish-eye: a-b pentru peretele de nord, c - pentru peretele de sud/ *General images taken with fish-eye lenses: a-b North, c - South wall.*



a.



b.



c.



d.

Fig. 11. Fotografii realizate din unghiuri și cu lumini diferite pentru același set de reprezentări, d- spectru cromatic inversat./ Various photographs of the same target taken from different angles or with different lights, d- inverse colour channel.

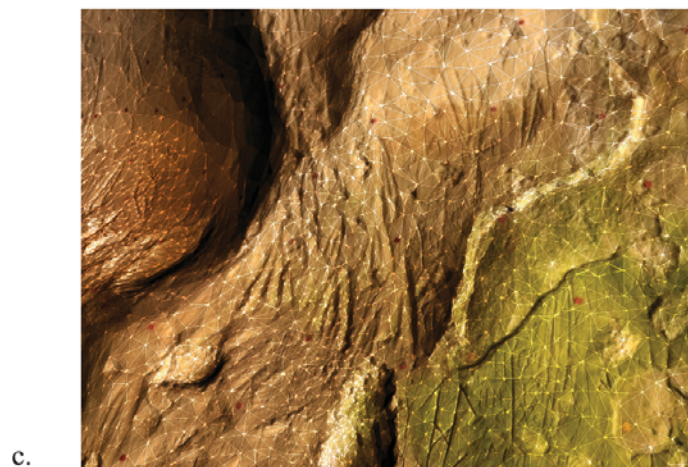
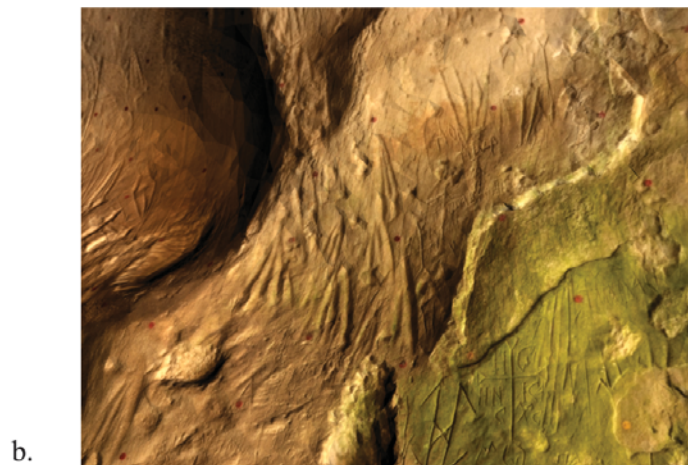
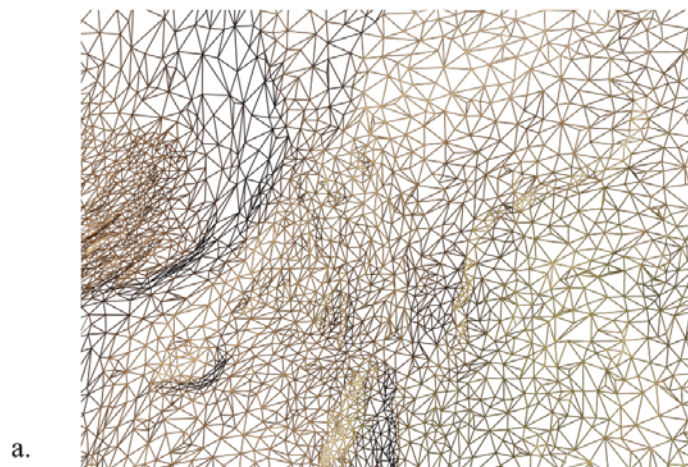


Fig. 12. Model tridimensional al grotii *Fundu Peșterii* realizat în urma prelucrărilor fotogrammetrice - detaliu: a - wireframe (simplificat), b - textură fotografică, c - textura fotografică suprapusă de rețeaua 3D/ 3D model of the *Fundu Peșterii* cave interior walls - detail: a - wireframe (simplified), b - photo texture, c - high resolution 3D mesh.

