

STONEHENGE BOL PRESTREŠENÝ OBJEKT

STATICKÉ POSÚDENIE HISTORICKEJ KAMENNEJ STAVBY

František Hájek

V článku sú uvedené výsledky statického posúdenia neolitickej ruiny kamenného monumentu Stonehenge, ktoré pozostáva z analýzy a zhodnotenia jeho dochovaných prvkov a jeho deštrukcie. Zistené stavebné vlastnosti a spôsoby deštrukcie jednoznačne poukázali na skutočnosť, že monument bol pôvodne dvojpriestorový objekt so strechou, čo umožnilo jeho celoročné chránené používanie.

STONEHENGE WAS A ROOFED STRUCTURE: STATIC ASSESSMENT OF THE HISTORICAL STONE BUILDING

This paper presents the results of a structural assessment of the Neolithic ruins of the Stonehenge Stone Monument, consisting of an analysis and evaluation of its preserved features and its destruction. The structural features and identified methods of destruction clearly indicated that the monument was originally a two-roomed structure with a roof, which allowed for its year-round protected use.

Článok nadväzuje na príspevky autora [2], [3], [4], v ktorých boli uvedené nosné a ďalšie stavebné vlastnosti prvkov ruiny kamenného monumentu. Z nich sa usúdilo, že mohli byť podpernou konštrukciou strechy. Tiež bola uvedená historická rekonštrukcia strechy a tým aj objektu ako celku. V archeológii je ale zvykom, že hypotézy sa dokazujú hmatateľne. A za ne sa žiaľ statické vlastnosti možných podperných prvkov strechy nepokladajú. V článku sa preto uvádzajú aj ďalšie údaje vrátane posúdenia deštrukcie tejto historickej stavby. Nimi sa dokazuje, že to bol pôvodne dvojpriestorový objekt so strechou. Tým sa zásadne mení doterajší pohľad na jeho pôvodný vzhľad, účel a význam.

Prehľad statických a stavebných vlastností ruiny monumentu

Zo súčasného stavu (obr. 1) je pôvodné vyhotovenie kamenného monumentu málo zrejmé. Určitú predstavu umožňuje pôdorys dochovaných prvkov (obr. 2), resp. fotografie z nadhľadu, ale aj modely pôvodného tvaru (obr. 3). Podrobnejšie vlastnosti jeho prvkov sú tu uvedené v skrátenom prehľade s tým, že ak sú nosné a súvisia s existenciou novej strechy, sú zvýraznené kurzívkou.

Až na výnimočný, tzv. oltárny kameň a jeden ojedinelý preklad (č. 150) pozostávala kamenná časť z dvoch druhov prvkov:

- mohutných pilierov z kremičitého pieskovca, tzv. typu sarsen,



1

- menších a samostatne stojacich pilierikov z vyvetreného doleritu, resp. príbuzných hornín, tzv. typu bluestone.

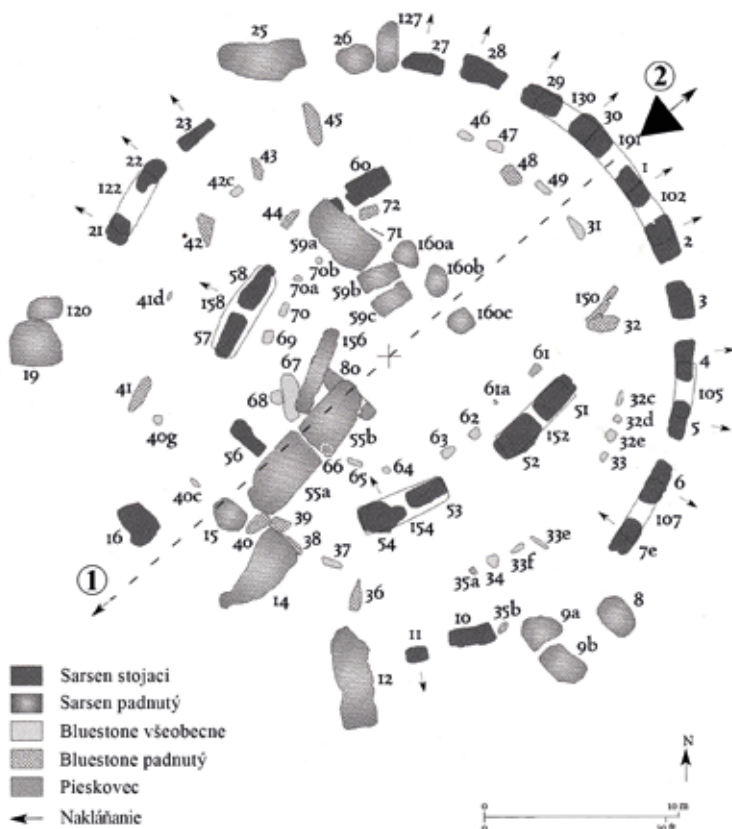
Vzhľadom na veľkosť a hmotnosť oboch druhov prvkov (sarseny až 40 t, bluestone do 4 t), ako aj ich polohy a doby osadenia je zrejmé, že v jednotlivých stupňoch vývoja nemohli spolu konštrukčne súvisieť. V prípade prvkov bluestone má v poslednom stupni jedna časť tvar kruhu (tzv. Bluestone Circle – BC) a druhá tvar podkovy (tzv. Bluestone Horseshoe – BH). Obe sa nachádzajú z vnútra zoskupení sarsen a majú vzhľad ich doplnku. Mohli byť ale veľmi významné, a to dokonca až tak, že mohli zodpovedať niektorému z účelov monumentu. Najnovšie [8] sa podľa prof. M. Parkera Pearsona predpokladá, že mohlo ísť o pohrebné pamätníky.

Prvky sarsen majú tvar základných stavebných nosných prvkov – pilierov a prekladov. Vyhotovali sa v šiestich tvaroch (obr. 4), pričom sa odlišovali najmä plochou priečného rezu a rozdielnym opracovaním. Oba druhy boli vzájomne spojené kamennými čapmi (obr. 5). Spoj medzi pilierom a prekladom mohol prenášať vodorovné

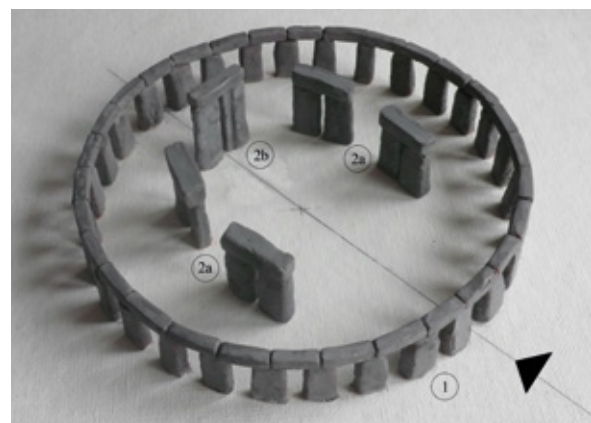
sily a tým brániť vykloneniu pilierov, zvislý spoj prekladov mohol zaistiť ich spolupôsobenie pri ich pootočení. *Kým vyklonenie pilierov mohlo byť spôsobené viacerými vplyvmi, druhý účinok mohol vzniknúť iba okrajovým zaťažením prekladov napr. trámami strechy, ktoré bolo podmienené geometrickým tvarom ich podpier.*

Prvky sarsen vytvárali dve rozdielne konštrukcie (obr. 3): obvodovú kruhovú z otázaného počtu 30 pilierov a 30 prekladov (tzv. Sarsen Circle – SC) a vnútornú v tvare podkovy (tzv. Sarsen Horseshoe – SH), ktorú tvorilo päť výskovo odstupňovaných a samostatne stojacich trilítov vyšších ako SC. Mali charakter skupinových podpier. Tzv. Veľký trilít (GT) vo vrchole podkovy prevyšoval štyri nižšie o cca 1 m. Svojim tvarom boli obe konštrukcie vhodné hlavne na prenos zvislého zaťaženia. Spolu vytvárali jeden nosný celok, ktorým mohla byť iba podperná konštrukcia strechy. Iný možný účel, napr. charakteru astronomického observatória, sa nezistil [10].

Kým SC tvoril podopretie obvodové, pre vnútorné postačovali štyri nižšie trilítov doplnené o drevené prievlaky po ich obvode. Tým obe konštrukcie vytvori-



2



3

1 Záhľadný kamenný monument – SV pohľad (foto: S. Kühn) 2 Pôdorys dochovaných prvkov: SC 1–30, 101–130, BC 31–49, SH 51–60 a 152–160, oltárny kameň 80; vychýlenie pilierov SC, polohy slnovratov: 1 – zimný, 2 – letný (zdroj: [1], Hájek) 3 Nosné konštrukcie kamennej časti (spolu podporná konštrukcia strechy): 1 – obvodový SC, 2a – nižšie trilitiony SH, 2b – Veľký trilition (GT) 1 Enigmatic Stone Monument – northeast view (photo: S. Kühn) 2 Plan of the preserved stones: SC 1–30, 101–130, BC 31–49, SH 51–60 and 152–160, Altar Stone 80, leaning Sarsen uprights, 1 – winter solstice, 2 – summer solstice (source: [1], Hájek) 3 Load bearing structures of the Stone Monument (roof support): 1 – outer SC, 2a – lower trilithons SH, 2b – Great Trilithon (GT)

li priebežné a v zásade vodorovné podopretie pre strešnú trámovú konštrukciu (obr. 6). Piaty trilition (GT) svojou výškou zasa umožnil, aby sa v rámci strechy mohol vytvoriť svetlík.

Z plôch priečných rezov pilierov vyplýva, že ich pôdorysné rozmiestnenie zodpovedalo zaťaženiu strechou. I keď niektoré chýbajú, stále vidno, že ich priezová plocha sa po obvodu SC a SH od severovýchodného vchodu postupne zmenšovala. Výnimkou bol iba pilier 16, ktorý svojim mohutnejším a špecifickým tvarom (obr. 4) poukazuje na silový úči-

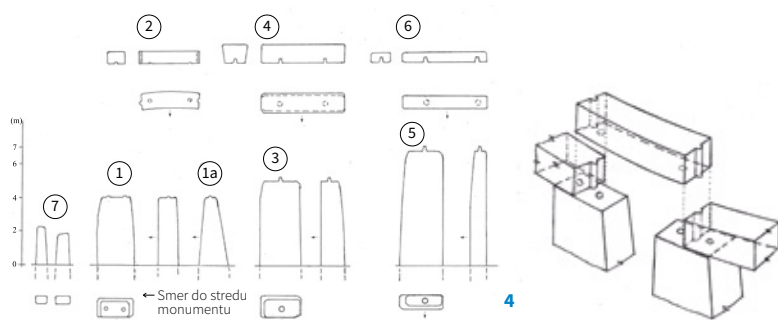
nok z prestrešenia svetlíka. Pravdepodobne aj jeho padnuté dvojča, t. j. pilier 15, malo túto vlastnosť. Taktiež tvar a únosnosť prekladov trilitionov je v súlade so zaťažením novej strechy. Napriek ich kratšiemu rozpätiu (v porovnaní s prekladmi SC) boli mohutnejšie a únosnejšie, čo poukazuje na ich väčšie zaťaženie, než aké pôsobilo na preklady SC. Tiež väčšia šírka ich hornej plochy ako spodnej poukazuje na potrebnú väčšiu úložnú šírku.

Obe podporné konštrukcie určovali aj dispozíciu kamennej časti. Za hlav-

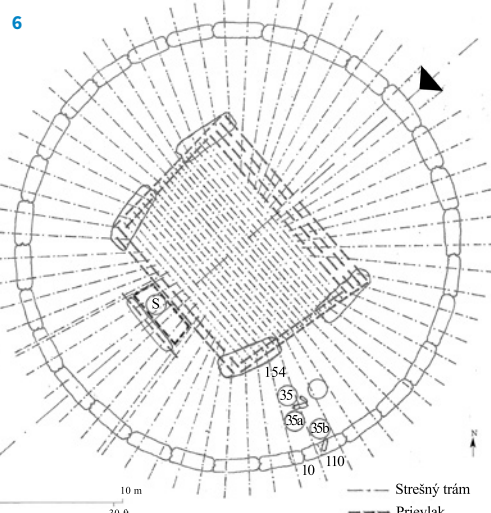
ným vstupom v osi monumentu ju tvoril vstupný priestor prechádzajúci do obvodovej časti a centrálneho priestoru. (obr. 7). Tým mala kamenná časť charakter dvojpriestorového objektu. Taktiež výškovo vytvárali podporné konštrukcie tvar strechy.

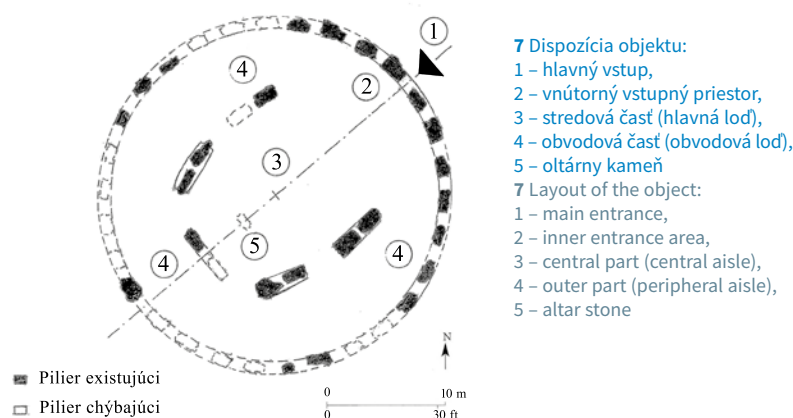
Pre nosnú trámovú konštrukciu strechy určenú historickou rekonštrukciou [2], [4] by postačovali kmene dĺžok 8 až 15 m a priemeru 280 až 550 mm. V stredovej časti by boli rovnobežné a vodorovné, v obvodovej radiálne a v spáde (obr. 6 a 11). Výsledne by strecha síce

4 Prvky monumentu: 1 – bežný pilier SC, 1a – atypický pilier SC16, 2 – preklad SC, 3 – pilier nižších trilitionov, 4 – preklad nižších trilitionov, 5 – pilier GT, 6 – preklad GT, 7 – pilieriky bluestone 5 Nosné čapové spoje: pilier-preklad, preklad-preklad 6 Pôdorys nosnej konštrukcie strechy, polohy porušeného pilierika BC35, S – svetlík 4 Elements of the monument: 1 – upright SC, 1a – atypical upright SC16, 2 – lintel SC, 3 – upright of lower trilithons, 4 – lintel of lower trilithons, 5 – upright GT, 6 – lintel GT, 7 – bluestone pillars 5 Mortices and tenons of interlocking joints: upright-lintel, lintel-lintel 6 Plan of the roof structure, position of the destroyed pillar BC35, S – skylight



5





bola mohutná, ale výrobne jednoduchá, tzv. zelená s malým sklonom. Najpravdepodobnejšie mala tvar guľového vrchlíka s lokálnym svetlíkom (obr. 8).

Poruchy a deštrukcia monumentu

Analýza deštrukcie sa v literatúre prakticky neuvádza. Ak je o nej predsa len zmienka, tak iba tým, že „kamene jednoducho padli a zničili sa“. Ako teda asi mohla deštrukcia nastať? A aká je jej výpovedná hodnota?

Na najstarších vyobrazeniach z prvej polovice 17. storočia vidno, že už vtedy sa v zásade monument nachádzal v stave, v akom ho poznáme dnes. Jeho deštrukcia vo forme pádov a porušení musela nastať ešte skôr. Prvou zaevidovanou deštrukciou bol pád trilítu 57, 58 a 158 roku 1797 [1], [7]. Následne, o cca storočie neskôr, ešte padli piliere SC22 a 23. Okrem nadmerného vyklonenia piliera GT56 boli známe aj zmeny polohy ďalších pilierov SC, pričom šiestich až do takej miery, že sa museli podprieť a stabilizovať. Výsledne sa v pôvodnom mieste zachovalo iba 25 pilierov a 9 prekladov sarsen z pôvodných 40 a 35, resp. 13 pilierikov bluestone z 31. Chýba 5 pilierov a 22 prekladov sarsen. Zvyšné prvky padli a sa aj poru-

šili. Pri analýze deštrukcie sa vylúčilo zemetrasenie, nakoľko Stonehenge sa nachádza v oblasti s minimálnou seizmickou aktivitou.

Deštrukcia pilierikov BC a HC

V nedávno vydannej publikácii [7] bola uvedená fotografia odkrytého pahýlu pôvodného pilierika 35. Kým jeho spodná časť označená na obr. 2 ako 35a je stále v pôvodnej polohe, jeho horná časť 35b leží niekoľko metrov od pôvodného miesta pri obvodovom pilieri SC10. Z jej polohy a spôsobu porušenia sa dá usúdiť, že do pôvodného pilierika musel naraziť v smere von z monumentu hmotný predmet a porušiť ho (obr. 9). Keďže susedný trilít 53, 54 a 154 zostal v pôvodnom stave, náraz na pilierik 35 mohol spôsobiť iba pád nadstavby kamennej časti, čo mohol byť iba hmotný kmeň strešného trámu (obr. 10). Obdobný, ale trieštivý spôsob porušenia má aj pilierik BC32. Taktiež viaceré evidentne zlomené pilieriky, napr. 40, 41, 42, 43 a 70 [11] a ich pahýle, ako aj poškodenia viacerých vrcholov pilierikov, napr. 31 a 61, poukazujú na rovnakú príčinu. Uvedené prejavy deštrukcií možno preto považovať za hmatateľné dôkazy existencie pôvodnej strechy monumentu. Nič iné ich nemohlo spôsobiť. Pri analýze



8 Pravdepodobný pôvodný vzhľad centrálneho objektu Stonehenge, JZ pohľad

8 Probable original design of the central part of Stonehenge, southwest view

deštrukcie kamennej časti sa preto bude vychádzať zo skutočnosti, že pôvodne mala strechu. Zohľadnila sa v tvare vykonanej historickej rekonštrukcie (obr. 6, 8 a 11 [2]).

Poruchy a deštrukcie obvodových pilierov SC

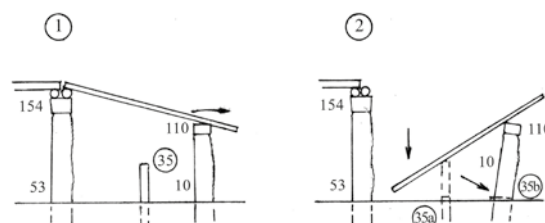
V súčasnosti stojí 17 pilierov (jeden zhora deštruovaný), 8 je padlých a 5 chýba. Smerom von padlo, resp. bolo vyklonených až 18 pilierov (obr. 2). S piatimi chýbajúcimi by to bola takmer všeobecná porucha.

Základové pomery monumentu (hornina krieda) boli vhodné pre megalitickú stavbu typu Stonehenge, pričom všetky piliere sa mohli osadiť do jám tvaru kalicha. Ich päty boli ale rozdielne dlhé a mali aj rôzny tvar (obr. 2). Okrem toho sa piliere mohli vykloniť ešte z týchto dôvodov:

- niektoré z vonkajších stien kalichov boli nižšie v dôsledku vztyčovacích rámp (okrem GT smerovali z vonka) a nižšie steny nahradil výsledne iba zásyp z kriedových odštiepkov a zeminy,
- v dôsledku spádu a kruhového tvaru SC sa strešné trámy podopierali na vonkajších okrajoch prekladov, čím piliere mali snahu sa vykláňať (boli



9 Čelný pohľad na podzemnú časť (BC35a) deštruovaného pilierika BC35 (foto: M. Pitts)
 9 Front view of the stump (BC35a) of the destroyed pillar BC35 (photo: M. Pitts)



10 Deštrukcia pilierika BC35 pádom kmeňa strešného trámu:
 1 – realizované riešenie, 2 – deštrukcia po nadmernom vychýlení obvodového piliera 10 Destruction of the pillar BC35 caused by the fall of timber roof joist: 1 – final construction of the monument, 2 – destruction following the excessive leaning of outer upright

zťažené mimostredne),

- vonkajšia strana pilierov mohla byť podmáčaná vodou zo strechy.

S týmito účinkami sa pravdepodobne počítalo už pri návrhu SC, pretože vykloneniu pilierov mal brániť obvodový kamenný prstenec typu tiaha [3], [4]. Vyklonenia ale ukazujú, že nebol dostatočne účinný. Z polohy chýbajúcich pilierov v juhozápadnej časti SC taktiež vidno, že tenšie piliere (zodpovedajúce menšiemu zťaženiu strechou) neboli dostatočne hmotné a tým ani stabilné. Preto sa mohli postupne vykláňať a dokonca aj padnúť. Na takýto typ deštrukcie poukazujú tie piliere, ktoré po páde zostali v mieste svojej pôvodnej polohy (pilieri 12, 22 a 26).

Vykláňaním pilierov sa skracovala aj úložná dĺžka obvodových strešných trámov na podopierajúcich prievlakoch, čím trámy mohli prepadnúť. Ak sa pod trámom nachádzal nejaký pilierik, nárazom sa mohol vykloniť, poškodiť až deštruovať, a dokonca až premiestniť, čo sa stalo pri pilieriku 35 (obr. 9 a 10), ako aj pilieriku 32, resp. ďalších uvedených pilierikoch. Obdobné prejavy poškodenia padnutým trámom vidno aj na pilieroch 8, 9, 19 a 25.

Že problém vykláňania bol veľmi starý, poukazujú dve skutočnosti. Zo začiatku 20. storočia existujú fotografie prídavného podopretia pilierov 1, 2, 6, 7, 29 a 30 [1], [7]. Podľa širok škár medzi prekladmi sa vyklonili až 490 mm, čo by pri stiesnenom uložení trámov na

prievlakoch už nezaručovalo ich dostatočné podopretie. Na ešte dávnejšie všeobecné vykláňanie pilierov poukazujú ale aj doteraz neobjasnené jamy Y a Z po obvodě SC. Dajú sa vysvetliť ako základové jamy obvodového podopretia pilierov SC radiálnymi vzperami (obr. 11). Jamy Y a Z tým neboli poslednou stavebnou fázou, ale záchranným podopretím vykláňajúcich sa pilierov.

Poruchy v dôsledku zatekania strechy

Je možné, že zelená strecha časom zatekala. Tým mohli kmene strechy postupne prehnávať, resp. až padať, čo po nárazoch mohlo kamenné prvky nielen poškodiť, ale až deštruovať, resp. premiestniť mimo ich pôvodnú polohu. Okrem pilierikov BC na to poukazujú aj piliere sarsen (14, 15, 57, 58 a 59) a ich preklady (158 a 160).

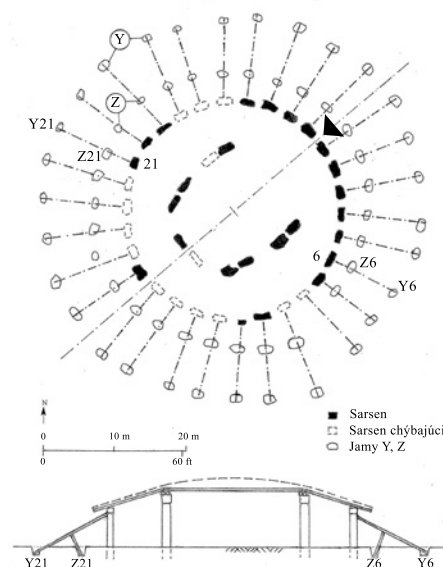
Poruchy účinkom vetra

Poruchy účinkom vetra sa jednoznačne prejavili na najvyššej konštrukcii, t. j. trilitone GT. Už z rytín z konca 17. storočia [1] vidno, že pilier 55 a preklad 156 padli do vnútra monumentu a aj pilier 56 sa výrazne vyklonil. Ich päty boli pritom v hĺbke cca 1,5, resp. 2,5 m. Napriek tejto skutočnosti a tvaru oboch pilierov poruchy poukazujú aj na zväčšený účinok vetra v dôsledku prestrešenia svetlíka.

Celkové zhodnotenie

Analýzou stavebných vlastností dochovaného kamenného monumentu sa zistilo, že mal nosné a dispozičné vlastnosti podpernej konštrukcie strechy. Kruhovú časť z pilierov a prekladov SC mohla strechu podopierať po jej obvodě, štyri nižšie trility v jej stredovej časti a najvyšší triliton v mieste lokálneho svetlíka. Ich rozdielne výšky umožnili vyspádovanie strechy a ich pôdorysná poloha dvoja priestorovú dispozíciu.

Z analýzy deštruovaných prvkov (najmä pilierika 35) vyplynulo, že na kamenné prvky pôsobili okrem gravitácie aj výrazné sily, ktoré mohli spôsobiť hlavne strecha. Ich negatívnym dôsledkom bolo prakticky všeobecné vykláňanie pilierov obvodového SC smerom von z objektu, čo dokazujú doteraz nešpecifikované jamy Y a Z pre prídavné vzpery pilierov SC. Ďalšími prejavmi pôsobenia



11 Záchranné obvodové podopretie pilierov SC vzperami 11 Uprights SC with outer rescue support by the poles

strechy na kamennú časť, t. j. jej pád, boli nielen silové poškodenia a deštrukcie pilierikov a pilierov, ale dokonca aj ich premiestnenia mimo pôvodnú polohu.

Obe posúdenia sa vzájomne dopĺňajú a prejavy deštrukcie aj hmatateľne potvrdili, že kamenná časť mala strechu. Tým sa dá jednoznačne tvrdiť, že centrálna stavba Stonehenge bola pôvodne dokončená a celý kamenný monument bol prestrešeným objektom. **Bol kruhového tvaru s kamennou podpernou konštrukciou a drevenou strechou. Bol dvoja priestorový s evidentným estetickým dôrazom na jeho vnútornú časť vrátane jej osvetlenia.** Z dnešného pohľadu mohol mať charakter chrámu. Navyše sa vo vnútornej časti nachádzal tzv. oltárny kameň, ktorý, ak by stál, mohol byť osvetlený v dňoch oboch slnovratov lúčami slnka. Hlavná funkcia monumentu najpravdepodobnejšie súvisela s jeho prestrešením, čím sa mohol celoročne chránene používať. Tým mohol mať charakter centrálného objektu a najdôležitejšej stavby Salizburskej pláne.

Autor ďakuje pánovi Antonovi Johnsonovi za súhlas na použitie výkresu na obr. 2 a pánovi Mike Pittsovi za súhlas na použitie fotografie na obr. 9. Obr. 3 až 8, 10 a 11 sú vlastníctvom autora článku.

Článok vznikol z iniciatívy autora, nebol k nemu poskytnutý žiaden grant.

Autor pôsobil na Katedre betónových konštrukcií a mostov SvF STU v Bratislave a tiež ako autorizovaný inžinier SKSI a súdny znalec.



doc. Ing. František Hájek, PhD.
franti.hajek@gmail.com

Literatúra:

- [1] JOHNSON, A. *Solving Stonehenge*. London: Thames & Hudson Ltd, 2008.
- [2] HÁJEK, F. Stonehenge bola stavba so strechou. Bol to chrám? *Stavebníctví*. 2015, č. 9.
- [3] HÁJEK, F. Stonehenge – najstaršia stavba s obvodovým ťahadlom. *Beton TKS*. 2015, roč. 15, č. 5, s. 50–52.
- [4] HÁJEK, F. Was Stonehenge a Roofed Temple? *The Structural Engineer*. 2017, Issue 5.
- [5] DARWILL, T., MARSHALL, P., PEARSON, M. P., WAINWRIGHT, G. Stonehenge remodelled. *Antiquity*. 2012, Vol. 86, Issue 334, pp. 1021–1040.
- [6] DARWILL, T. Keeping time at Stonehenge. *Antiquity*. 2022, Vol. 96, Issue 386, pp. 319–335.
- [7] PITTS, M. *How to build Stonehenge?* London: Thames & Hudson Ltd, 2022.
- [8] PEARSON, M. P. Stonehenge – A New Understanding: Solving the Mysteries of the Greatest Stone Age Monument. The Experiment, 2014.
- [9] RÜKL, A. Stonehenge. *Kozmické rozhledy*. Neperiodický věstník Československé astronomické společnosti při SAV. 1967, č. 2, s. 34–43. Praha.
- [10] RUGGLES, C. Astronomy and Stonehenge. *Proceedings of the British Academy*. 1997, 92, pp. 203–229. Dostupné z: thebritishacademy.ac.uk/documents/3920/92p203.pdf
- [11] BANTON, S. *The Stones of Stonehenge* [online]. Dostupné z: stonestonehenge.org.uk