

# STONEHENGE – NAJSTARŠIA STAVBA S OBVODOVÝM ŤAHADLOM ■ STONEHENGE – THE OLDEST BUILDING STRUCTURE WITH THE PERIPHERAL TIE

František Hájek

Kamenný monument Stonehenge je možné považovať za predchodcu montovaných konštrukcií z prostého betónu. Nosné vlastnosti jeho dvoch zoskupení Sarsen Circle a Sarsen Horseshoe majú charakter podperných konštrukcií. Umožňovali, aby monument mal strechu. Stonehenge je významná svetová technická pamätihodnosť s kamenným obvodovým ťahadlom. ■ The stone monument of Stonehenge can be referred to as a predecessor of the mounted plain concrete structures. Load bearing properties of its two stone groups – the Sarsen Circle and the Sarsen Horseshoe having the characteristics of supporting structures – made it possible for the Stone Monument to be roofed. Stonehenge is a technical monument with a stone peripheral tie, a monument of world significance.

V učebniciach o betóne sa uvádza, že betón (prostý) vďaka jeho technickým vlastnostiam možno považovať za umeľý kameň. Konštrukcie z kusového kameňa však bežne nazývame murované pre ich charakter muriva. Výnimkou sú megalitické kamenné stavby. Skôr sa podobajú montovaným konštrukciám z prostého betónu. Takouto konštrukciou je i symbol komplexu Stonehenge – jeho centrálny kamenný monument.

I keď je dlhodobo ruinou (obr. 1), stále je z časti pôvodný. Pri pohľade očami statika vidno, že časť jej prvkov mohla mať charakter nosných konštrukcií. Ešte výraznejšie je tomu pri predpokladanom pôvodnom vyhotovení, ktoré sa odvodilo na základe rozsiahleho archeologického prieskumu. V súčasnosti viac menej panuje zhoda, že kamenný monument tvorili v jeho vrcholnom štádiu dve obvodové zoskupenia v tvare koncentrických kruhov (Sarsen Circle a Bluestone Circle) a dve vnútorné v tvare podkov (Sarsen Horseshoe a Bluestone Horseshoe). Okrem nich sa pravdepodobne v osi monumentu nachádzal ďalší prvok – tzv. oltárny kameň. Os pritom prebiehala medzi bodom východu slnka pri letnom slnovrate a jeho západom pri zimnom slnovrate. Súčasne v nej ústila zo severovýchodu hlavná prístupová cesta široká až cca 12 m.

Už na prvý pohľad je zrejmé, že na možnú nosnú funkciu poukazujú iba zoskupenia Sarsen Circle a Sarsen Horseshoe (obr. 2). Pozostávajú z mohut-

ných pilierov a prekladov, ktoré sú z tvrdého a trvanlivého kremičitého pieskovca nazývaného sarsen. Pre ich hmotnosť (niekoľko desiatok až cca 50 t), tvar, výšku ako i vzájomné prepojenie sú neprehliadnuteľné. Bluestone Circle a Bluestone Horseshoe sú výrazne menšie, menej hmotné (do 5 t) a z inej horniny. Tvoria ich iba samostatne stojace pilieriky. Svojim vzhľadom, tvarom a polohou skôr pôsobia ako prvky výzdobné resp. deliace, takže na nosnú funkciu vo vzťahu k prvým dvom zoskupeniam nepoukazujú. Obdobne je to v prípade oltárneho kameňa.

## NOSNÉ VLASTNOSTI SARSEN CIRCLE A SARSEN HORSESHOE

Prevažne panuje zhoda, že **zoskupenie Sarsen Circle** pôvodne tvorilo 30 pilierov a 30 prekladov vzájomne prepojených v tvare obvodového kruhu s vnútorným priemerom necelých 30 m [1].

Piliere sú síce tvarovo obdobné, v priečnom reze však rozdielne. V úrovni terénu sú široké od 1,8 do 2,2 m (s výnimkou dvoch užších), resp. hrubé 0,9 až 1,6 m (okrem jedného tenšieho). Dohora sa zmenšujú, hlavne ich šírka. Tým sa zväčšuje medzera medzi nimi z priemernej hodnoty cca 1,1 na necelých 1,6 m. Po obvode zoskupenia pritom prvky poukazujú na určitú závislosť. Najrozmernejšie (28 až 3) a teda i najviac únosné sa nachádzajú v úseku hlavného vstupu t.j. oproti otvorenej časti Sarsen Horseshoe, resp. prvok 16 na náprotivnej strane. Zvyšné sú evidentne štíhlejšie, a teda i menej únosné. Všetky boli osadené do jám v krievcovom podlaží. Sú rozdielných hĺbok. Napr. pri prvkoch 29, 30, 1 a 2 je ich hĺbka pod úrovňou terénu 1,3 až 2,2 m. Taktiež tvar ich piat je rozdielny. Z tvaru pilierov je zrejme, že postupné zúženie smerom dohora, a tým nižšia poloha ťažiska boli výhodné nielen pri ich osadzovaní a vztyčovaní do výslednej polohy, ale i z hľadiska ich stability.

Preklady sú obdĺžnikového prierezu. Ich šírka (1 až 1,2 m) poukazuje na rovnakú závislosť ako pri prierezovej ploche pilierov. Výškovo sú ale jednotné (0,75 m). Na pilieroch boli uložené na doraz, takže vytvárali uzavretý kruhový prstenec s rovinným horným povrchom (cca 4,9 m nad terénom). Preklady pritom neboli uložené voľne, ale pro-

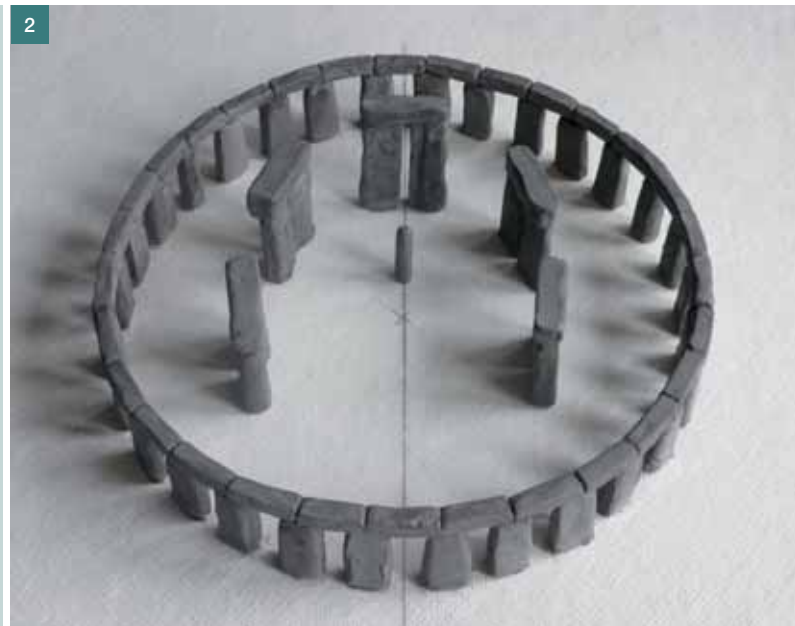
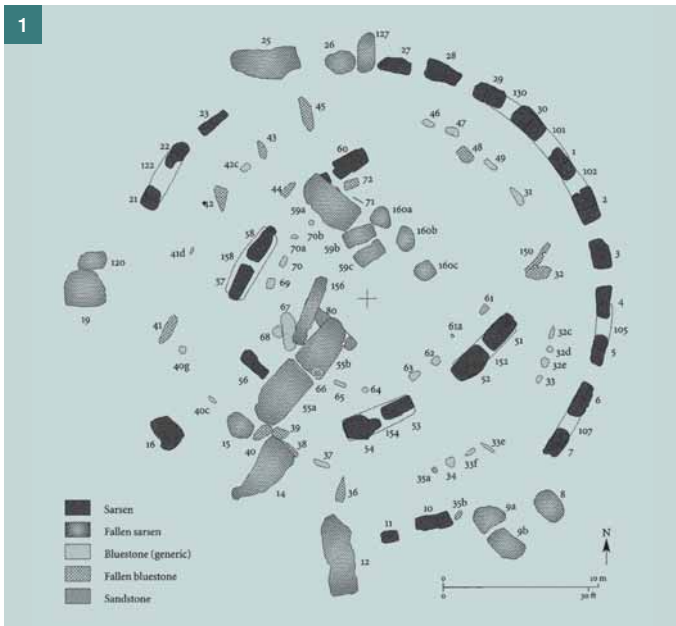
Obr. 1 Pôdorys dochovaných prvkov [1] – Sarsen Circle 1–30 a 101–130, Bluestone Circle 31–49, Sarsen Horseshoe 51–60 a 152–160, Bluestone Horseshoe 61–72, oltárny kameň 80 ■ Fig. 1 Plan of the surviving stones [1] – Sarsen Circle 1–30 and 101–130, Bluestone Circle 31–49, Sarsen Horseshoe 51–60 and 152–160, Bluestone Horseshoe 61–72, Altar Stone 80

Obr. 2 Idealizovaný model Sarsen Circle, Sarsen Horseshoe a oltárneho kameňa pri pohľade v osi monumentu ■ Fig. 2 Idealized model of the Sarsen Circle, Sarsen Horseshoe and Altar Stone viewed along the axis of the monument.

stredníctvom dvoch pologulatých čapov na každom z pilierov (obr. 3). Navyše sa v čelách prekladov nachádzal zvislý spoj typu pero–drážka zaisťujúci spolupôsobenie prekladov pri ich natočení.

Tvar prekladov bol výhodný z hľadiska zvislého zaťaženia ( $l_n/h \cong 2$ ), nakoľko ohybová únosnosť kamenných prvkov ale hlavne z pieskovca je všeobecne malá. Navyše mohli pôsobiť i ako jednotlivé tiahla, resp. prenosom z prekladu cez čapový spoj do piliera a následne cez ďalší čapový spoj do prekladu, a ďalej sa mohla po obvode Sarsen Circle prenášať ťahová sila (obr. 3a, b). Tým sa zaisťovala nielen stabilita polohy jednotlivých pilierov pri ich dosadaní, ale Sarsen Circle ako konštrukcia bol schopný i prenosu všeobecného zaťaženia pôsobiaceho na preklady. Mohli sa na ne napríklad mimostredne uložiť strešné trámy (obr. 3c, napr. z dôvodu ich spádu). Na obr. 4a, b sa dokumentuje namáhanie Sarsen Circles so 60 radiálnymi ohybovými momentami ako náhrade zvislého účinku strešných tráv na preklady. Ohybové momenty sa pritom uvažovali idealizovanou konštantnou hodnotou 10 kNm, ktorá zodpovedá cca 0,6 až 0,35 násobku hodnôt účinku rekonštruovanej strešnej konštrukcie.

**Zoskupenie Sarsen Horseshoe** bolo úplne iné. Pozostávalo z piatich samostatne stojacich trilithonov, t.j. vždy dvojice pilierov s prekladom. Medzi jednotlivými trilithonmi pritom boli cca trojmetrové medzery, čo bolo približne trikrát viac ako v prípade pilierov Sarsen Circle. V otvorenej časti, t.j. zo strany hlavného vstupu, to bolo ešte výraz-



ne viac – cca 13 m. Všetky pritom boli vyššie ako Sarsen Circle, ich výška ale bola rozdielna. Kým najvyšší – tzv. Veľký trilithon sa nachádzal vo vrchole podkopy a prečnieval nad terénom cca 7,5 m, horná plocha štyroch nižších klesala v miernom spáde (s priemernou výškou cca 6,1 m) od najvyššieho trilithonu.

Piliere štyroch nižších trilithonov boli z hľadiska priečného rezu najrozmernejšími, a tým i najúnosnejšími prvkami kamenného monumentu. Smerom dohora sa sice taktiež zmenšovali, ich vnútorné plochy boli ale zvislé. Navyše boli opracované do hladka, čo zrejme bol zámer z hľadiska estetiky vnútornej časti. Aj ich preklady boli rozmernejšie. Okrem toho mali v priečnom reze tvar lichobežníka so širšou hornou plochou ako spodnou, čo možno chápať ako väčšiu úložnú plochu a prekryvali oba piliere vždy v celej ich šírke. Naokoľko medzery medzi dvojicami pilierov každého z trilithonov boli výrazne užšie – v úrovni terénu iba niekoľko málo desiatok cm a pri hornom okraji iba cca

1 m – bol pomer  $l_n/h \cong 1$  ešte priaznivejší. V dôsledku taktiež vytvoreného čapového spoja pilierov s prekladom mohli preklady pôsobiť nielen ako nosníky ale i tiahla. Tým sa obdobne mohla zaistiť aj vzájomná poloha pilierov pri ich dosadaní, prípadne pri ich vodorovnom zaťažení.

Veľký trilithon bol úplne atypický. Okrem toho, že jeho piliere boli najvyššie, boli i najštíhlejšie. Zaráža pritom nesymetričnosť piliera 56 – rozdielne od pilierov nižších trilithonov má zvislú vonkajšiu plochu a vnútorná, t.j. smerom do vnútra monumentu, je vypuklá. V prípade jeho zvaleného, rozlomeného a čiastočne zaboreného dvojčata (piliera 55) poukazujú na obdobný tvar jeho viditeľné povrchy. Možno teda predpokladať, že pri tomto trilithone sa vzhľadom na výstrednosť piat pilierov voči jeho hlavám uvažovalo okrem zaťaženia zvislého i so zaťažením vodorovným, a to v smere z obvodu monumentu do jeho vnútra, čo je v danej lokalite prevládajúci smer vetra.

Aj preklad Veľkého trilithonu je v porovnaní s prekladmi nižších trilithonov výrazne štíhlejší, čo celkove poukazuje na menšiu únosnosť Veľkého trilithonu pri zvislom namáhaní.

Možno teda konštatovať, že aj zoskupenie Sarsen Horseshoe malo vlastnosti nosnej konštrukcie, ale s tým, že jej päť trilithonov pôsobilo samostatne, a to ako zvislé skupinové podpory. Z ich vlastností je pritom zrejmé, že štyri nižšie boli určené hlavne k prenosu zvislých účinkov, a to najväčších v rámci kamenného monumentu, naproti tomu Veľký trilithon pre zvislé účinky menšie ale v kombinácii s vodorovnými. Stabilita všetkých trilithonov sa okrem poddajného votknutia zaisťovala hlavne gravitačným účinkom.

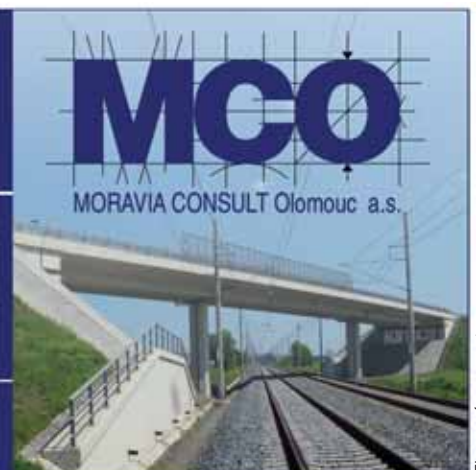
Svojou polohou malo zoskupenie Sarsen Horseshoe i významnú funkciu dispozičnú – rozdeľovalo priestor obostavaný konštrukciou Sarsen Circle na dve časti. Idealizovane mali charakter vnútornej a obvodovej lode. Obe boli pritom vďaka širokým medzerám medzi

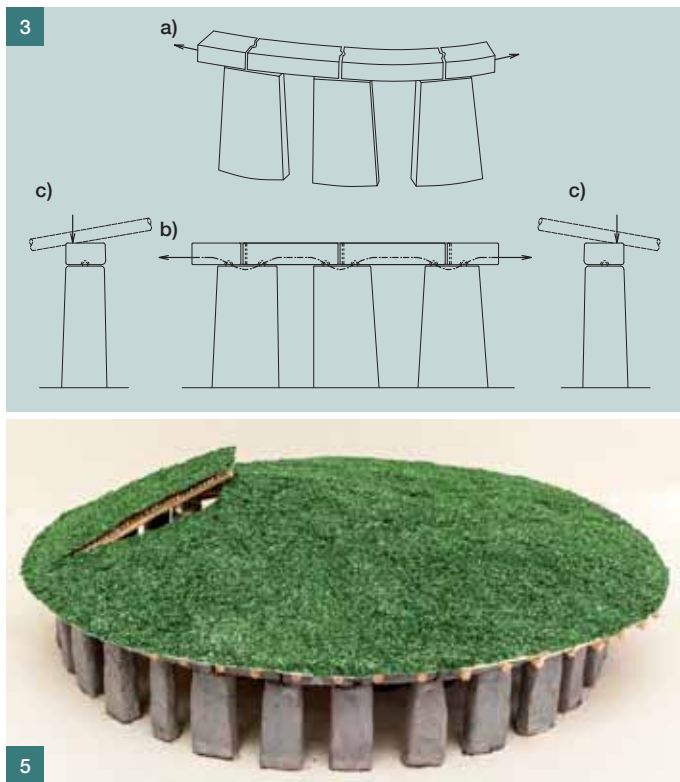
## MORAVIA CONSULT Olomouc, a.s.

Držiteľ certifikátů ČSN EN ISO 9001:2009 a ČSN OHSAS 18001:2008

Jsme renomovaná projektová, inženýrská a konzultační společnost, dlouhodobě úspěšně působící na našem trhu. Specializujeme se na projektovou přípravu železničních, silničních a pozemních staveb všech stupňů v garantované kvalitě.

NABÍZÍME KVALIFIKOVANÉ SLUŽBY V OBLASTI PŘÍPRAVY INVESTIC





Obr. 3 Silové pôsobenie čapových spojov prekladov s piliermi Sarsen Circle: a) ako obvodového tiahla, b) prenos ťahovej sily prekladmi a piliermi, c) zaťaženie strešnými trámami na vonkajšom okraji prekladov (spôsobujúce obvodovú ťahovú silu v tiahle)  
 ■ Fig. 3 Mortise-and-tenon joints between the lintels and the Sarsen Circle's uprights and the resulting force action: a) as a peripheral tie, b) as a transfer of the tension force trough lintels and uprights, c) potential load by the roof joists on the exterior perimeter of lintels (causing the peripheral tension force in the tie)

jednotlivými trilithonmi dobre prepojené, a to tak komunikačne, ako i vizuálne a akusticky.

**CELKOVÉ ZHODNOTENIE NOSNÝCH VLASTNOSTÍ**

Z analýzy vlastností Sarsen Circle ako i Sarsen Horseshoe jednoznačne vyplýva, že obe zoskupenia mali a stále majú znaky cieľavedome vytvorených nosných konštrukcií. Okrem funkcie prekladov ako ťahadiel zaisťujúcich stabilitu polohy pri ich dosadaní, vykazovali obe konštrukcie ako celok a taktiež ich prvky ďalšie nosné vlastnosti typické pre podperné konštrukcie. Trilithony tým vytvárali podperný systém vnútorný a Sarsen Circle obvodový a navyše priestorový s obvodovým tiahom.

**MOŽNÉ PRESTREŠENIE KAMENNÉHO MONUMENTU**

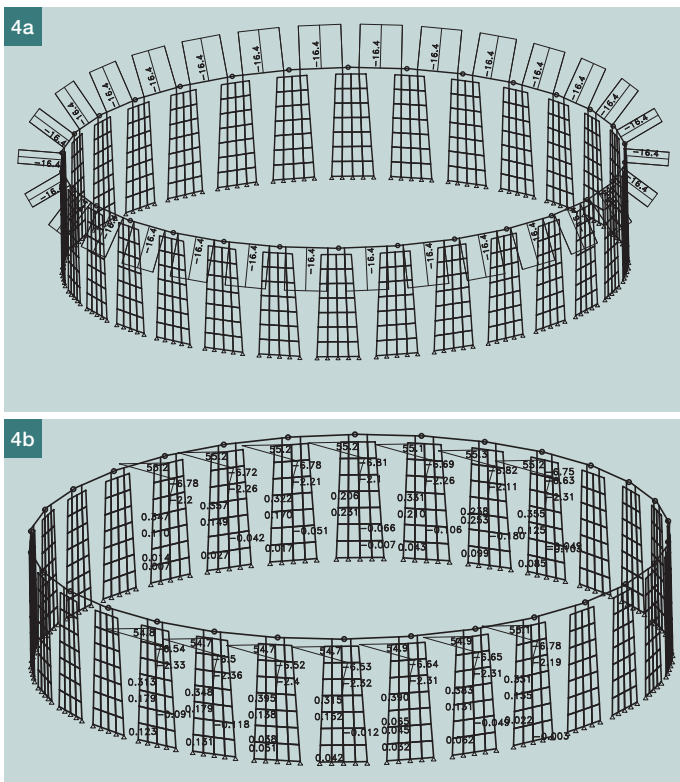
Vlastnosti podperných konštrukcií viedli k záveru, že neboli samoúčelné, ale umožňovali prestrešenie kamennej časti. Pri jeho rekoštrukčnom návrhu sa vychádzalo z nosných a dispozičných vlastností podperného systému

ako i výrobných a materiálových možností danej doby. Nosnú časť prestrešenia tvorili iba jednotlivé kmene s funkciou strešných trámov, resp. prievlakov. Výsledným riešením je zelená strecha v tvare nepravidelného guľového vrchlíka s lokálnym svetlíkom pri Veľkom trilithone (obr. 5). Pozostáva z nosnej konštrukcie, spádovej vrstvy a strešného krytu. Jej podrobnejší popis je uverejnený osobitne.

**ZÁVER**

Analýza nosných vlastností centrálnej stavby komplexu Stonehenge – kamenného monumentu ukázala, že obe najvýraznejšie zoskupenia – Sarsen Circle a Sarsen Horseshoe – mali a stále majú charakter nosných podperných konštrukcií. Spolu s ich dispozičným riešením možno preto s určitosťou tvrdiť, že pôvodne mali tvoriť podperný systém pre strechu. Jej rekonštrukčný návrh ukázal realnosť možného a pritom pomerne výrobné a i technicky jednoduchého riešenia.

Okrem toho, že stavba je výnimočnou kultúrnou a historickou pamiatkou, ide



Obr. 4 Namáhanie Sarsen Circle pri zaťažení radiálne orientovanými ohybovými momentami: a) ťahová sila [kN] v prekladoch, b) vodorovné normálové sily v pilieroch  
 ■ Fig. 4 Straining of the Sarsen Circle under radial bending moments: a) tension force [kN] in lintels, b) horizontal normal forces in the uprights  
 Obr. 5 Pravdepodobný pôvodný vzhľad kamenného monumentu so strechou (pohľad z juhovýchodu)  
 ■ Fig. 5 Probable initial design of the roofed Stone monument (as viewed from the southeast)

o najstaršiu známu rotačnú konštrukciu s obvodovým tiahom navyše pri použití iba kamenných prvkov. Ide teda i o mimoriadnu technickú-stavebnú pamiatku svetového významu. Vďaka jej konštrukcii a stavebného materiálu – spolupôsobiacimi gigantickými kamennými blokmi s kamennými čapovými spojmi – ju súčasne možno považovať za dávovekého predchodcu montovaných konštrukcií z prostého betónu.

Literatúra:  
 [1] JOHNSON, A. *Solving Stonehenge*. London: Thames & Hudson Ltd., 2008.  
 [2] HÁJEK, P. Stonehenge bola stavba so strechou. Bol to chrám? *Stavebnictví*. 2015, č. 9.

Autor ďakuje pánovi Anthony Johnson za možnosť použitia obr. 1 z jeho knihy *Solving Stonehenge* [1] a doc. Ing. Viktorovi Borzovičovi, PhD., za spoluprácu pri výpočtovom modeli.

doc. Ing. František Hájek, PhD.  
 Žilinská 18, 811 05 Bratislava  
 e-mail: franti.hajek@gmail.com

