

Vrtání kamene dutým vrtákem v pravěku

Studium literatury, stop na originálních artefaktech a první výsledky praktických pokusů

Článek se zamýšlí nad možnostmi vrtání kamenných nástrojů pomocí dutého vrtáku v neolitu a eneolitu střední Evropy. Vychází jednak z rešerše literatury, jednak z proměření a detailního pozorování pracovních stop na originálních artefaktech. V části věnované teoretické přípravě je na základě zjištěných údajů zpochybněna představa o vrtání bezovou tyčkou, jež je podsýpána vlhkým křemenným pískem a roztáčena pomocí luku. Počáteční zkoušky se zdají podporovat teoretické předpoklady, bude v nich však zapotřebí pokračovat. Při zkouškách je kladen důraz na to, aby vrtací aparát i vlastní vrták bylo možno vyrobit za pomoci dobově odpovídajících nástrojů a technologií.

■ Robert TRNKA

Vrtaná kamenná industrie z období neolitu a eneolitu je dokladem umu a velkých praktických znalostí našich předků. V této stati nás bude zajímat především vrtání s pomocí dutého vrtáku.

Pravděpodobně se žádný originální vrták z doby kamenné nedochoval nebo nebyl v nálezovém fondu rozpoznán. Jediným v literatuře uváděným náznakem je kousek dřeva uvízlý v nedovrtném eneolitickém sekeromlatu (Rieth 1958, 106). Nález, publikovaný pod širším označením Bielersee, pochází konkrétně z lokality Vinelz. V současnosti je sekeromlat uložen v Historickém muzeu v Bernu pod inv. č. 5018, dřevo však již neobsahuje (**obr. 1**). Není tak možné učinit moderní analýzy a neexistuje ani podrobnější dokumentace k tomuto nálezu z 19. století (Vollmer – Tschumi – Ischer 1930, 46). Za vstřícnost, dohledání sekeromlatu, aktuální foto a literaturu

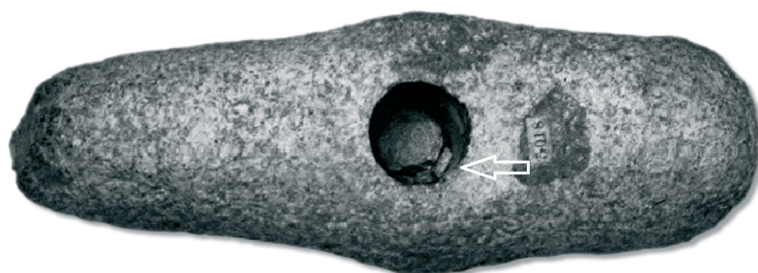
velice děkuji paní Sabine Bolligerové z Bernisches historisches Museum.

Badatelé jsou tedy odkázáni na svou představivost a praktické experimenty, které zpravidla vycházejí z etnografických analogií. Zde je však kámen úrazu, neboť většina přírodních národů využívala plný vrták. Někdy jsou dokonce přebírány postupy sloužící původně k rozdělování ohně (McGuire 1896).

Nejčastěji popisovanou variantou je podsýpání vrtáku křemítem pískem, přičemž má být vrtáno ve vlhkém prostředí (v české literatuře např. Vencl 1960, 9; Malinová – Malina 1982, 148; Šída 2009, 519). Existuje mnoho dokumentovaných pokusů o vrtání tímto způsobem. Vrtacích „strojů“ nalezneme v publikacích i na internetu přehršel a různě složitými aparáty se pyšní také leckteré muzeum. Některé z nich jsou až bizarní, bez výjimky vyrobené s pomocí moderních nástrojů. V době kamenné by je mnohdy nebylo možno podobným způsobem vůbec zkonstruovat.

Výsledky dosud provedených experimentů proto také nejsou příliš uspokojivé. Provrtat kámen se sice mnohdy podařilo, ale pracovní stopy a zejména tvar, sklon a další charakteristiky vrtaných otvorů a vývrtek neodpovídají originálním předlohám.

Jen výjimečně se setkáváme s pokusy snažícími se postup výroby otvoru nejen vyzkoušet, ale také pochopit a dosažené výsledky kriticky zhodnotit. Nejen v rámci České republiky největší dosavadní přínos v této oblasti představuje článek Jana Knotka a Radomíra Tichého (2011). Zde popsané praktické zkoušky naznačují, že tradované postupy vrtání je třeba z velké části



■ Obr. 1 Nedovrtný sekeromlat z lokality Vinelz s údajným zbytkem dřevěného vrtáku. Nahoře podle Rieth 1958, Tab. 22 (upraveno), dole foto S. Bolliger 2015.

odmítnout a hledat jejich varianty či zcela jiné cesty.

Z uvedených důvodů jsme se v rámci Dnů pravěkých technologií, jež pořádá spolek Oživená (pre)historie v prostorách Zoologické a botanické zahrady města Plzně, rozhodli vrtání podrobněji věnovat. Praktickým zkouškám předcházela tříletá teoretická příprava, zaměřená především na zjišťování výsledků dosud provedených pokusů, jejich teoretický rozbor, dále na osobní prohlídku a proměření dochovaných artefaktů a v neposlední řadě také na shánění potřebných surovin a materiálů.

Zkoumání originálních artefaktů

Díky vstřícnosti kolegů a kolegů ze Západočeského muzea v Plzni, Jihočeského muzea v Českých Budějovicích, Moravského zemského muzea v Brně a Regionálního muzea v Českém Krumlově (viz poděkování na konci článku) se podařilo prozkoumat celkem 130 originálních artefaktů. Mohlo tak být dokumentováno několik zákonitostí a pracovních stop, dosud zpravidla nepublikovaných, opomíjených či chybně interpretovaných. Jelikož nelze vyloučit, že některé znaky mohly vzniknout až v moderní době (Sklénář 1999, 23–65), bylo přihlíženo pouze ke stopám, jež se vyskytují opakovaně a jejichž patinace odpovídá zbytku povrchu.

1) V literatuře bývá uvažováno, že před vlastním vrtáním bylo do plochy obrobku vyčukáno mezikruží, které mělo zajistit správně navedení vrtáku (Smolík 1881, 546). Ve skutečnosti se přípravná piketáž vyskytuje pouze na těch eneolitických artefaktech, které byly nebo měly být vrtány s pomocí plného vrtáku. Jde o piketáž plošnou, která dokládá zcela jinou technologii výroby otvoru. Jediný neolitický předmět s údajně vyčukáním mezikružím pro dutý vrták pochází ze Štáhlavic (Franc 1890, 44). Artefakt má značně degradovaný povrch, přesto lze rozpoznat, že se o piketáž nejedná. Jde o silně zkorodovanou stopu navrtání, vedeného mírně šikmo, což je ostatně typické (inv. č. 12198, ZČM Plzeň).

Teoreticky mohly být stopy piketáže odstraněny finálním přebroušením povrchu. Nenalzáme je však ani u kusů nehotových, které povrch dokončen nemají. Počátek vrtání po sobě zanechal zpravidla velmi ostrou hranu. Ta je doložena jak na vlastních obrocích, tak také na odpadu (vývrtcích). To opět znamená, že hrana nevznikla až přebroušením povrchu artefaktu, ale souvisí přímo se způsobem vrtání. Stopy chybného navrtání jsou vzácné, stopy „házení“ vrtáku zcela výjimečné (obr. 2).

Interpretace: Vrtání začínalo do alespoň zhruba srovnaného, někdy až vyhlazeného povrchu a bylo velmi dobře vedeno. To v praxi vyžaduje použití přesného vodícího přípravku, který vrtáku nedovolil uhnout. Zároveň je nepravděpodobné využití podsýpky, neboť volné brusivo by hranu otvoru zaoblilo a poškodilo také vodící přípravek.

2) Naopak na spodní straně některých artefaktů (výhradně ze sbírek MZM) byly stopy piketáže zaznamenány. Jsou často přebroušené při začistiřování spodní hrany otvoru (obr. 3). Velmi dobře dokladovatelné jsou na vývrtcích, které díky této úpravě mají typickou kuželovitou „čepičku“ (obr. 4).

Interpretace: Tyto stopy svědčí o snaze uvolnit vývrték v nedovrtaném otvoru, přičemž byly úder vedeny zespodu na předpokládanou kružnici obvodu vývrtku. Znak může mít určující význam, ať už kulturně nebo časově, a zasloužil by si podrobnější zhodnocení.

3) Průměrný sklon stěny vrtaného otvoru činí 3°, zatímco sklon stěny vývrtku vychází průměrně na 4°.

Interpretace: Proces vrtání byl po technologické stránce velmi dobře zvládnut. Při správném provedení docházelo jen k postupnému a relativně pravidelnému oboustrannému ubývání síly stěny vrtáku. Je možné, že se poněkud rychleji opotřebovávala vnitřní část. To se zdá být logické při obtížnější dostupnosti tohoto prostoru pro opravy. Počet hodnocených vývrtků je však ve srovnání s vrtanými artefakty nízký (16 ks), proto zjištěný rozdíl nelze přeceňovat.



■ Obr. 2 Výjimečně dochovaná stopa „házení“ vrtáku na straně počátku vrtání (př. č. 23/1962, M Český Krumlov). Uvnitř nepatrné stopy po recentních zásazích. Není-li uvedeno jinak, foto R. Trnka.



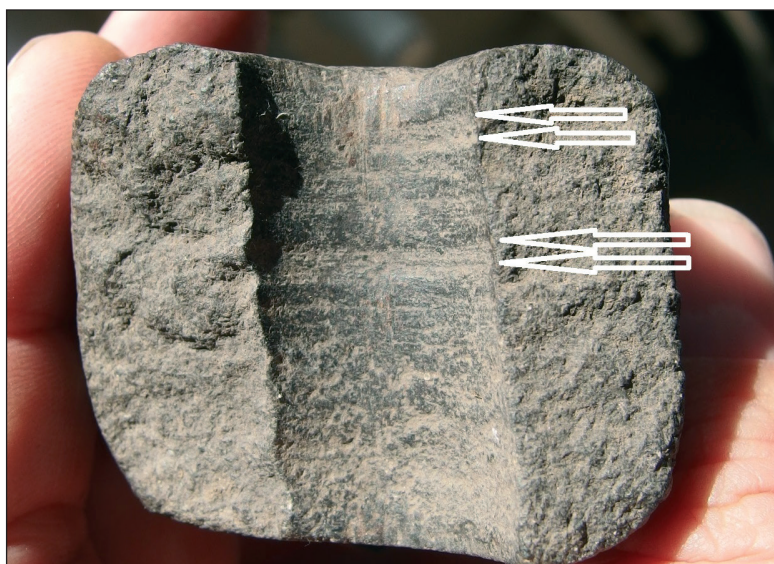
■ Obr. 3 Stopy po piketáži na spodní straně vrtaného artefaktu (inv. č. 47912, MZM Brno).



■ Obr. 4 Vývrték s typickou „čepičkou“ dokládající jeho uvolnění pomocí piketáže (inv. č. 103712, MZM Brno). Patrné také vodorovné rýhování, kolmé na směr vrtání (v textu bod č. 7).



■ **Obr. 5** Nedovrtaná bulava (Pa 8/35, MZM Brno). Vzácný příklad, kdy je i v hlubším otvoru zachován hranatý profil stopy po vrtáku.



■ **Obr. 7** Artefakt inv. č. 47912 ze sbírek MZM Brno se stopami zdvojených, výrazněji vyrytých drážek.



■ **Obr. 8** Drážky kolmé na směr vrtání. Fotografie artefaktu AO 64 pod binokulární lupou (JČM České Budějovice – sbírka Ohrada).

4) Na samém počátku vrtání bývá stopa po vrtáku široká jen 1–2 mm. Směrem do hloubky se rychle rozšiřuje, v hloubce okolo 2 mm dosahuje již maximální šíře, zpravidla 4–6 mm. V hlubších částech síla odvrtaného mezikruží opět slábne, tentokrát pozvolna. Lze-li zjistit profil vrtu v místě kontaktu s řeznou hranou (zpravidla u nedovrtaných artefaktů), pak je většinou zaoblený, zřídka hranatý (**obr. 5**). Na konci bývá stopa vrtáku široká jen okolo 1 mm a profil je zpravidla oblý až zašpičatělý.

Interpretace: Dochované profily u načatých a nedovrtaných artefaktů svědčí o tom, že vrták pravděpodobně nebyl podsýpaný. Spíše měl ve své koruně zasazený řezný kameny, které se postupně omílaly, čímž se původní ostrý profil řezné stopy měnil na zaoblený. Úzkou



■ **Obr. 6** Artefakt ze Zvěrkovic se stopami dvou chybných navrtání. Levé vrtání započalo vzhledem k povrchu šikmo, přičemž se stopa vrtáku směrem do hloubky rozšiřuje. Soukromá sbírka, foto O. Chvojka (upraveno).

počáteční stopu zanechal nejspíše břit řezného kamene, který se teprve začal propracovávat do materiálu (obr. 6). Síla stěny vlastního vrtáku byla většinou okolo 5 mm.

5) Průměrná hloubka jednostranného vrtání je 32 mm, maximální zjištěná hloubka 61 mm (v domácí literatuře nalezen nejdelší vývrtek 64 mm, Šebela – Kuča 2004, 276, obr. 7: 3). Artefakty silnější než 4 cm byly většinou dovtvářeny z druhé strany.

Interpretace: Dosažitelná hloubka je odvozena od houževnatosti vrtného materiálu, vlastností vrtáku a zkušenosti výrobce. Roli jistě hrálo i tření v hlubším otvoru a skutečnost, že se vrták postupně natolik zeslabil a poškodil, že jej nebylo již možné opravit a zřejmě ani kvalitně nahradit.

6) Na stěnách některých otvorů se nalézají nepravidelně rozmístěné výrazné drážky, leckdy zdvojené (obr. 7).

Interpretace: Za příčinu lze považovat vyosení řezných kamenů. Zdá se, že řezné kameny mohly být v koruně vrtáku usazeny po dvojicích. Při našich praktických zkouškách bylo opakovaně zjištěno, že jeden vypadlý kámen zpravidla „vyhodí z lůžka“ i ostatní, pokud jsou zasazené ve zhruba stejné výšce.

7) Častým znakem jsou drážky kolmé na směr vrtání a rozmístěné po celé délce vrtu v podobných rozstupech (obr. 8). Objevují se na stěnách otvorů i na vývrtcích (obr. 4), proto nemůže jít např. o stopu výstružníku, vzniklou až při finálních úpravách otvoru.

Interpretace: Je pravděpodobné, že jde o stopy jednotlivých vrtačích cyklů. Na začátku cyklu byly do koruny vrtáku nejspíše upevněny řezné kameny. Než se jejich ostré hrany olámaly, způsobily ve stěně vrtu i na vývrtku výraznější drážku. Vrtání pak pokračovalo do hloubky cca 0,5 až 1 mm, načež bylo zapotřebí vrták vyjmout, vyčistit vznikající otvor a opravit usazení řezných kamenů (či omleté kameny vyměnit). Poté začal celý proces nanovo. Drážky výmluvně svědčí o tom, že nebylo

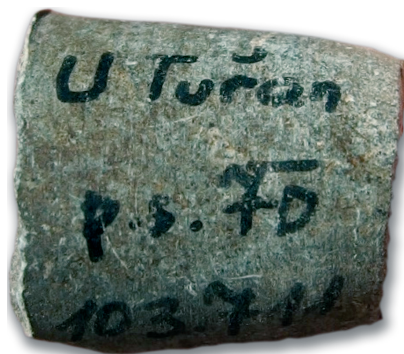
vrtáno s pomocí podsýpky, která by tyto stopy spolehlivě poškodila. Některé otvory a vývrtky však mají stěny vyhlazené. Pokud nebyl otvor včas vyčištěn, odvrtaný materiál ve formě jemného prášku zřejmě fungoval podobně jako moderní lapovací a leštící prostředky. Mezi variantou s dobře znatelnými drážkami a s vyhlazeným povrchem existuje mnoho přechodných fází.

8) Při proměřování otvorů i vývrtků byl opakovaně zjišťován esovitý profil stěny (obr. 9). Na počátku a na konci vrtání bývá sklon kužele větší než uprostřed.

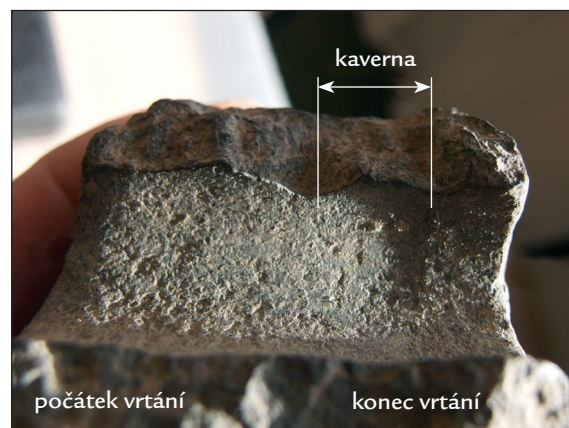
Interpretace: Do širokého počátečního mezikruží vrtáku mohly být vsazeny větší řezné kameny. Jejich tenké hrany se zřejmě rychle olamovaly, než kameny dostaly kompaktnější tvar. I při použití sebestopšího vodícího přípravku také vykazuje vrták na počátku vrtání malou vůli. Teprve v hloubce okolo 3 mm se „usadí“ na vznikajícím vývrtku. Kombinací těchto vlivů patrně vznikl výraznější náběhový kužel. Po vystředění vrtáku nastává stabilní fáze vrtání, vyznačující se menším sklonem kužele. Na konci došlo patrně k rozpadu řezných kamenů, přičemž nové už nebylo možno do tenké stěny vrtáku upevnit. V této fázi se pak jednalo už jen o snahu „dobrousit se“ co nehlouběji, aby bylo možno vývrtek vyrazit nebo uvolnit piketáží. Tato snaha podle dochovaných stop rychle zničila zbytek stěny vrtáku.

9) Zpravidla před koncem vrtání jsou vzácně zjišťována obloukovitě vydržená místa ve stěně vrtu. Pracovně je nazýváme „kavernami“ (obr. 10). Tohoto znaku si povšiml již Adolf Rieth (1958, 104, Tab. 24: 27), dává jej však – patrně mylně – do souvislosti s bikónickým vrtáním.

Interpretace: Ve chvíli, kdy se vrták dopracoval do spodní části budoucí kaverny, došlo zřejmě k rozpadu řezných kamenů. Pokud obsluha nezastavila práci, jejich kousky pronikly do prostoru mezi vrtákem a stěnou vrtu a obojí poškodily. Dle dochovaných stop brusný materiál vzlínal nejčastěji do výšky 8 až 12 mm. Vzhledem k odstředivé síle



■ Obr. 9 Vývrtek inv. č. 103711 (MZM Brno) s vyznačením náběhového (A) a koncového kužele (C) v porovnání s jen mírně kuželovitou střední částí vrtu (B).



■ Obr. 10 Artefakt ozn. AO 16 se stopou výrazné kaverny ve spodní části vrtu (JČM České Budějovice – sbírka Ohrada).



■ Obr. 11 Výrazně vyrytá spirála v horní části vrtu (inv. č. 20318, ZČM Plzeň).



■ Obr. 12 Výroba kamenných nádob v Egyptě s pomocí vrtáku se dvěma závažími. Podle Arnold – Pischikova 1999, 123, fig. 73.

se písek soustředil při vnějším pláští vrtáku a poškozoval stěnu vrtaného otvoru, nikoli vývrtek. Na žádném ze zkoumaných vývrtek alespoň zatím nebyla kaverna zjištěna. Vznik kaverny zřejmě znamenal destrukci vrtáku. Většina takto postižených artefaktů musela být dovrtána z druhé strany, což zřejmě zapříčinilo Riethovu domněnku.

10) V horní části vrtu dokumentována u několika artefaktů pravidelná, výrazněji vyrytá šroubovice – spirála (obr. 11).

Interpretace: Nelze předpokládat, že by vrták zajížděl do kamene tak snadno. Stejně tak jistě nejde o stopy úpravy hotového otvoru jednoduchým výstružníkem, jaký vyobrazuje např. *Norbert Mašek* (1981, 16), ani o funkční opotřebení, způsobené násadou. Uvedený znak je velmi vzácný, ale napovídá nám hned tři věci:

- a) Protože obrobky s tímto znakem byly prokazatelně dovrtány až do konce, může jít o stopu dojezdu vrtáku setrvačností po proražení dolní strany artefaktu. Vrták by tedy pracoval se závažím a minimálně v závěrečné fázi byl jeho pohyb jednosměrný.
- b) Pokud byla šroubovice vyryta řezným kamenem, musel být zasazen ve vyšší partii vrtáku. Je tedy možné, že hlavice vrtáku byla osazena kameny nejen na koruň, ale i na těle. Po zničení spodních kamenů tak mohly být do řezu automaticky natlačeny další, původně výše usazené. Šroubovici však mohl vyrýt i kamínek náhodně zapadlý mezi vrták a stěnu otvoru.

c) Vrtaný artefakt byl při práci položen materiálem, který umožňoval po provrtání postupné zaboření vrtáku a jeho relativně dlouhý dojezd setrvačností. Můžeme předpokládat, že obrobek byl např. zafixován v utužené hlíně.

11) U neolitických artefaktů se setkáváme pravidelně se šikmo navrtaným otvorem. Běžný sklon průvrtu je okolo 3–10° a nezůstal samozřejmě nepovšimnut. Komentuje jej například *František Xaver Franc* (1890, 44) či *Slavomil Vencl* (1975, 63). Zatímco Franc uvažuje o přizpůsobení nástroje pro pravou a levou ruku, Vencl se domnívá, že šlo o snahu zlepšit pracovní úhel nástroje.

Interpretace: Hřbet a báze artefaktů nebývají rovnoběžné (zejména u neolitických nástrojů). Vrtání začíná na hřbetní straně šikmo, ale vzhledem k bázi je postaveno kolmo. To je nepochybně záměr, který měl usnadnit vylomení vývrtku. Minimalizovalo se tak možné poškození artefaktu, ke kterému při nestejně silném zbytku materiálu pod vrtem mohlo snadno dojít. Šikmé navedení patrně také usnadňovalo prvotní „zakousnutí“ vrtáku do horní plochy obrobku (potvrzeno praktickými pokusy). Tím ovšem není vyloučeno, že mělo i funkční význam.

Diskuse k řezným kamenům

Dle zkoumání dochovaných artefaktů patrně nešlo o vybrušování otvoru s pomocí podsýpky, ale pravděpodobněji o skutečné vrtání, nejspíše s pomocí vsazených řezných kamenů o vhodné tvrdosti.

Víme-li, že pravěcí lidé byli schopni v krajině nalézt nejvhodnější materiály na výrobu kamenných nástrojů, jistě jim nedělalo problém vyhledat materiál, kterým by bylo možno tyto nástroje efektivně provrtat. Nejspíše se řídili prostou vrypovou zkouškou (tvrdsí materiál udělá rýhu do měkčího).

Hornina, z níž byly vyráběny vrtané nástroje, obsahuje často minerály s tvrdostí 6 až 7 dle Mohse (aktinolit, ilmenit, živec, olivín, granát, křemen). Existují dokonce vrtané nástroje vyrobené z kompaktnějších materiálů s tvrdostí 7. Ve sbírkách ZČM Plzeň je např. pod inv. č. 19090 deponován rozlomený provrtaný artefakt vyrobený z vrchlíku křemencového valounu. Tyto horniny samozřejmě není možné efektivně vrtat materiálem podobné tvrdosti, tedy křemenem, pazourkem, křemencem apod.

Ve střední Evropě nelze uvažovat o využití diamantu s nejvyšší tvrdostí 10, byť vzácně se tento nerost má vyskytovat i v našich hlubinných vyvřelinách a druhotně v jejich štěrcích (*Sejkora – Kouřimský* 2008, 28). Snadno získatelný je v rámci ČR pyrop – granát, jeho tvrdost je však „jen“ 7 až 7,5. Jinou možností jsou odrůdy berylu a dalších tzv. těžkých minerálů, jejichž tvrdost atakuje hranici stupně 8. Bývají hojně zastoupeny v náplavech (např. spinel) a bylo je tedy možno získávat rýžováním. Také korund s druhou nejvyšší tvrdostí 9 lze nalézt na několika místech naší republiky v dostatečném množství, ať už v obecné nebo drahokamové kvalitě. V souvislosti s neolitickou těžbou metabazitů v Jizerských horách je třeba upozornit především na nedalekou evropsky významnou

lokalitu výskytu safírů (tedy modře zbarvených korundů) a dalších tvrdých minerálů na Jizerské louce (Mrázová et al. 2012).

Vlastní praktické pokusy

Předem je třeba poznamenat, že naše praktické pokusy jsou teprve v počátcích a jejich zde popsané výsledky je nutné brát s rezervou a jen jako prvotní poznatky.

Kromě tradičně uváděného podsýpání křemenným pískem bylo cílem našich pokusů především odzkoušet teoreticky predikované řezné kameny a porovnat oba postupy. Byly použity dva nejsnáze získatelné tvrdé minerály, tedy pyrop a korund. Jelikož lokalita výskytu safírů na Jizerské louce je chráněna a sběr či rýžování nejsou běžným občanům povoleny, na prvotní zkoušky byl použit korund vyráběný uměle pro potřeby strojírenského průmyslu. Dále jsme využili český granát z Turnovska a obecný korund, nakoupený na mineralogické burze.

Vzhledem k obtížné dostupnosti metabazitu typu Pojizeří, který je základní surovinou pro výrobu vrtaných kamenných nástrojů v českém neolitu, probíhala většina zkoušek na spilitech a spilitových tufech, jež jsou dostupnější (používají se na výpravku cest a podsyp železničních tratí). Ve srovnání s metabazitem mají modrošedé spility obdobnou nebo vyšší tvrdost, jež závisí zejména na obsahu křemene. Šedo zelené tufy jsou o poznání měkčím materiálem.

Pokus č. 1: Na základě teoretických rozborů stop na originálních artefaktech byl pro jednoduchý pohon vybrán princip jednosměrného zařízení známého z egyptských vyobrazení (obr. 12).

Jedná se v podstatě jen o klikovité zahnutou dřevěnou tyč. Dvě proti-lehlá závaží by měla rotovat stejnsměrně se vzájemným rozstupem ideálně 180°, a mají tedy funkci setrvačnicku. Jako obrobek posloužil kus spilitu, vrták z trnkové větve podsýpán umělým korundem o zrnitosti 1–3 mm. K vystředění vrtací tyče posloužilo štípané prkno s vysekaným otvorem, upevněné do země dřevěnými kolíky. Obrobek umístěn do prosté jamky v zemi,

do níž byl prknem ještě přitlačen (obr. 13).

Výsledky: Zkouška trvala pouze hodinu a šlo v ní především o ověření stylu práce s egyptským vrtákem. Ten se ukázal pro daný účel velmi vhodný, byť práce s ním není úplně jednoduchá. Je zapotřebí držet vrták svisle a nekývat s jeho horní částí, což při použití klikového pohonu a bez pevné opory chce cvik. Pokud se podaří roztočit obě závaží tak, aby rotovala ve správném rozestupu, získává vrták velkou setrvačnost. Často však dochází k nechtěnému výkyvu tyče, což má za následek porušení vzdálenosti mezi závažími. Vrták pak znatelně hází.

K našemu překvapení se podařilo tvrdý spilit navrtat do hloubky 2,5 mm. K tomu však došlo během pouhých 20 minut ve chvíli, kdy se několik korundových zrnek zachytilo v záměrně předvrtaných prohlubních koruny vrtáku. Funkční vrtání bylo dobře rozpoznatelné podle charakteristického zvuku a drnění vrtací tyče. Jakmile zrnka z koruny vypadla, otvor se dále výrazněji neprohluboval.

Vodící (přítlačné) prkno a jamka v zemi postačují pro upevnění opracovávaného kamene. Nepostačují ale pro udržení podsýpaného materiálu ani k přesnému navedení vrtáku. Korund se při vrtání neustále ztrácel drobnými nerovnostmi mezi prknem a obrobkem, přestože byla spára opakovaně vymazána jilem. Zrnka vylétala také přímo od hlavičky vrtáku. I přes zdánlivě těsné upevnění vykazoval vrták značný stranový výkyv. Je zřejmé, že vodící přípravek musí být řešen jinak. Okraje navrtaného otvoru vznikly neostré a neodpovídají stopám na originálních artefaktech (obr. 14). Pro mělkost navrtání není možné zhodnotit vznikající vývrtek.

V závěru bylo odzkoušeno namočení podsýpaného materiálu, což zapříčinilo konec pokusu. Vrták, již předtím poškozený volným brusivem, se během několika minut roztřípil a stal se nepoužitelným. Zkouška nezáměrně potvrdila, že výrazně účinnější a pravděpodobněji než prosté podsýpání je vrtání s pomocí řezných kamenů.

Pokus č. 2: Během 2,5 hodiny čístejšího času zcela provrtána „motyka“ ze spilitového tufu o tloušťce 13–17 mm.

V průběhu zkoušky střídány jednotlivé techniky vrtání, aby bylo možno důkladněji ověřit jejich účinnost. Vyzkoušeno podsýpání křemenným pískem i umělým korundem (obojí před prací nadrceno na ostrohrannou frakci o velikosti zrn cca 1,5 mm), zasazení korundových zrn do koruny vrtáku, vrtání nasucho i namokro.



■ Obr. 13 Pokusné vrtání s egyptským vrtákem se dvěma závažími.



■ Obr. 14 Spilitový obrobek z pokusu č. 1. Rozostřené okraje ukazují nedostatečnost dřevěného přípravku, který umožňuje vrtáku značnou stranovou vůli.

Vrtacím zařízením byla tentokrát zjednodušená varianta egyptského vrtáku – rovná tyč pouze s jedním závažím (**obr. 15**). V dalším textu je nazývána tyčovým vrtákem. Jedná se patrně o nejjednodušší myslitelné zařízení použitelné pro daný účel. V průběhu pokusu odzkoušena také různá rychlost vrtání (frekvence otáček).

Přímo na vrtaný kámen byl lněným provázkem upevněn kus silnější vydláhané hovězí kůže s otvorem, přesně odpovídajícím hlavici vrtáku



■ **Obr. 15** Zjednodušený (tyčový) vrták při Dnech pravěkých technologií v areálu ZOO/BZ Plzeň. Foto Z. Prokop.



■ **Obr. 17** Provrtaná „motyka“ ze spilitového tufu s poškozeným vývrtekem z pokusu č. 2.

(**obr. 16**). Teprve přes tuto úpravu položeno štípané prkno z prvního pokusu, které obrobek přitisklo do jamky v zemi, vymazané jílem.

Výsledky: Tyčový vrták je velmi jednoduchý na obsluhu a plně postačuje k provrtání kamenného obrobku. Nevýhodou je větší boční výkyv, způsobený jednak pohonem vrtáku, jednak nerovnoměrně rotujícím závažím. Lze jej částečně eliminovat kvalitním přípravkem pro vedení vrtáku.

Vývrtek podobný originálním nálezcům vznikl pouze ve chvílích, kdy bylo vrtáno s pomocí řezných kamenů. Šlo zejména o začátek vrtání do hloubky 6 mm a malý úsek před koncem. Při využití podsýpky (lhostejno, jestli křemenné nebo korundové) dochází k degradaci otvoru, vrtací hlavice i samotného vývrtku. Horní část vývrtku je obroušena téměř do kulata a na profilu otvoru vzniká efekt kaverny (viz výše bod 9). Vrták trpí bočním opotřebením, které snižuje jeho životnost. Mokré vrtání zničilo během několika minut celou vrtací hlavici, vyrobenou v tomto případě z bukového dřeva.

Ukázala se také nevhodnost rychlého vrtání, které je v literatuře často zmiňováno. Při vrtání nasucho, zejména s pomocí podsýpky, se vrtací korunka samozřejmě přehřívá (zavoní spáleným dřevem). Při vrtání namokro dochází velmi rychle k totální destrukci vrtáku. Vznikající vývrtek se právě při zvýšených otáčkách a vrtání s podsýpkou dokonce dvakrát odlomil (**obr. 17**). To mohlo být způsobeno nejen teplotou, ale i bočním namáháním, neboť

závaží mělo při vyšší frekvenci otáček tendenci s vrtací tyčí pohazovat do stran.

Navedení vrtáku pomocí kusu vydláhané hovězí kůže se poměrně osvědčilo. Po dostatečném zahloubení je možno tuto úpravu sejmut, aby nebrzdila vrták v hlubších partiích, kde je i beztak velké tření. Vzhledem k tomu, že na počátku bylo vrtání prováděno s pomocí vsazených řezných kamenů, vznikla horní hrana poměrně ostrá. Následným podsypáním však byla poničena, stejně jako vršek vývrtku. Sklon stěn průvrtnu dosáhl 12° (opět zejména díky podsýpce). Vývrtek nebylo možno vzhledem k jeho poškození spolehlivěji proměřit. Pracovní stopy na stěnách vrtnu nejsou u spilitového tufu dobře zřetelné, navíc bylo použito několik metod vrtání, proto nebyly hodnoceny.

Série **pokusů č. 3** proběhla v rámci oficiální akce pro veřejnost v Zoologické a botanické zahradě města Plzně.

Na obrobky využít kvalitní modrošedý spilit. Egyptský vrták pro větší stabilitu a bezpečnost uchycen v oku dřevěného rámu, čímž se práce s ním stala snadnou i pro malé děti (**obr. 18**). Kromě toho opět použit tyčový vrták. Upevnění obrobků shodné s pokusem č. 2. Pro vrtací hlavice odzkoušeny různé druhy dřev a několik způsobů zasazení řezných kamenů. Vše vyrobeno výhradně za pomoci kamenných nástrojů.

Výsledky: Tyčový vrták se opět velmi osvědčil. Jeho obsluha je nenáročná. Dle potřeby lze snadno



■ **Obr. 16** Kozená příruba – vodící přípravek z vydláhané hovězí kůže (použit starý opasek).

měnit potřebný přítlak, také kontroly správného směru vrtání, stavu vrtací hlavice a čištění drážky jsou snadné. Během pěti hodin se podařilo spilit navrtat do hloubky 8 mm (**obr. 19**). Sklon stěny otvoru dosáhl 10°, což opět neodpovídá originálním artefaktům. Je otázkou, nakolik je na vině malý výkyv tyčového vrtáku, nutný k jeho pohonu. Horší výsledek je třeba spíše připsat na vrub nezkušenosti a neopatrnosti pracujících návštěvníků. Vrtací tyč často vypadávala z přítláčné „želvy“, což poškozovalo jak obrobek, tak vrták. Při soustředěné práci poučené obsluhy lze jistě dosáhnout lepšího výsledku.

Odkroužena vrtací hlavice lipová, bezová, vrbová, lísková a dubová. Řezné kameny z obecného korundu byly pomocí valounového otloukače přímo vtlačovány do otvorů, předvrtaných pazourkovým vrtáčkem v koruně vrtáku (**obr. 20**). Po zeslabení stěny vrtáku do zbytkového mezikruží týmž otloukačem přímo vbíjeny. Okraje horní hrany vrtu vznikly ostré a počínající vývrtky v hrubých rysech odpovídá originálům (horní hrana není výrazněji zaoblena).

Pokus skončil ve chvíli, kdy byl kvůli neúnosné hlukové zátěži učiněn pokus vrtat alespoň částečně vlhkou cestou. Pod vrták vyplivnuto malé množství slin s rozžvýkaným lněným semínkem. Během dvou minut se řezná část obalila kaší ze směsi vyvrtaného prachu a maziva, která připomínala cement. Další vrtání tím bylo znemožněno. Hlavici i obrobek jsme museli nechat zcela vyschnout a následně vyčistit.

Pro upevnění řezných kamenů se nejvíce osvědčila hlavice lísková. Kameny se do ní dají snadno zatlačit a přitom slušně drží. Podobné výsledky vykazuje také vrbové dřevo. Lipová hlavice je příliš měkká, kameny zajíždějí zbytečně hluboko a nevrtají. Do bezové a dubové hlavice nelze řezné kameny vsadit bez nebezpečí, že se dřevo v místě vsazení podélně rozštípe.

Stabilizovaný egyptský vrták překvapil svou snadnou obsluhou. Za dvě hodiny práce se však podařilo do tvrdého spilitu zahлубit jen necelý milimetr. Použita buková vrtací hlavice, do jejíž stěny ve spirále předvrtány pazourkovým vrtáčkem otvory. V nich pak upevněna s pomocí jílů zrna granátu (**obr. 21**). Toto upevnění řezných kamenů se ukázalo jako nevhodné. Také tvrdost pyropů není pro danou práci dostatečná, navíc jsou velmi křehké.

V závěru pokusu obrobek ze spilitu nahrazen metabazitem a granát ve vrtací hlavici přírodním korundem. Během půl hodiny byl metabazit navrtán do hloubky 2 mm. Problémy nastaly ovšem se zajištěním správného přítlaku. Závaží o původní celkové hmotnosti 3,5 kg (použity dva sáčky z ručně tkané lněné látky, naplněné štěrkem) nevytvářelo při roztočení vrtáku díky odstředivé síle dostatečný přítlak. Váha byla postupně zvýšena až na 10 kg, což při vrtání vyhovovalo. Vytvářel se však příliš velký tlak na vrták v době, kdy se otáčky zpomalily nebo když se vrták zcela zastavil. Opakované zkoušky potvrdily, že je výhodnější ponechat menší zátěž, ale snížit otáčky, aby



■ **Obr. 18** Stabilizovaný egyptský vrták byl během Dnů pravěkých technologií v ZOO/BZ Plzeň neustále obležen dětmi. Patrně jsou přidáné váčky se zátěží. Foto Z. Prokop.



■ **Obr. 19** Obrobek z tvrdého spilitu po 5 hodinách práce.



■ **Obr. 20** Upevňování řezných kamenů z obecného korundu do hlavice vrtáku (zde lískového).



■ **Obr. 21** Vrtací hlavice se spirálovitě zasazenými řeznými kameny z českého granátu (pyropu).



■ Obr. 22 Vodící přípravek ze surové hovězí a vrtací hlavice, vyrobená z probíjejího lískového kolíku.



■ Obr. 23 Spodní konec tyčového vrtáku s vnitřním kuželovitým otvorem a vrtací hlavice s odpovídajícím zakončením. Tyčový vrták zpevněn proti roztržení pruhem surové kůže.



■ Obr. 25 Výroba vrtací hlavice (zde vrbové) s pomocí pazourkových nástrojů, včetně výrobního odpadu.

nepřevládla odstředivá síla. Opět je tedy třeba polemizovat s požadavkem na rychle rotující vrták, jemuž dle odborné literatury údajně odpovídají stopy ve vrtaných otvorech (např. Venc 1960, 9).

Vzhledem k použití tvrdšího obrobku trvalo „zakousnutí“ vrtáku déle, než tomu bylo u spilitového tufu. V přípravcích z vydělané hovězí kůže si díky tomu vrták vytlačil značnou vůli. Po konzultaci s odborníkem na přírodní materiály, kolegou Vladimírem Karlem, bylo pro následné pokusy využito přípravků ze surové hovězí, které se osvědčily lépe. Silná kůže probíjena za vlhka zaostřeným kolíkem. Po zaschnutí sejmuta a přímo z probíjejího kolíku vyrobena vrtací hlavice. Zajištěny tak shodné rozměry obou důležitých součástí (obr. 22).

U všech typů vrtacích zařízení a jejich hlavice se osvědčilo upevnění na prostý kužel, odvozené od strojařské praxe (obr. 23). Při správném provedení obou kuželů hlavice v dířku dobře drží, nehází do stran, neprokluzuje a v případě potřeby je ji přesto možno snadno vyjmout. Vše lze vyrobit s pomocí běžných nástrojů, dokumentovaných na neolitických sídlištích. Specifické jsou jen vnitřní kuželovité otvory, jež jsme prováděli nástrojem, obvykle popisovaným jako hrot (Schön 2012, 815). Ten s velkou pečlivostí vyrobil opět kolega V. Karel (obr. 24–25).

Sumář poznatků a diskuse

Vrtání dle dochovaných stop na originálních artefaktech nejspíše probíhalo za pomoci tvrdých řezných kamenů, zasazených do koruny a snad i po obvodu vrtací hlavice. Šlo zřejmě o cyklickou práci, při níž mohlo být za optimálních podmínek vždy odebráno asi 0,5 až 1 mm materiálu.

U vrtacího aparátu je pravděpodobnější jednosměrný pohyb. To je logické, neboť střídavý pohon vykazuje výrazný boční výkyv, zcela nevhodný zejména v počátcích vrtání (z toho důvodu mají některé obzvláště povedené rekonstrukce tři až čtyři stabilizující body – ložiska). Obousměrný pohyb by také velmi rychle uvolnil (vyviklal) zasazení řezných kamenů.

Možné řešení představuje tyčový vrták či spíše (po vyřešení správného přitlaku) egyptský vrták se dvěma závažími. Neolitické zařízení mohlo fungovat na velmi podobném principu.

Na počátku vrtání byl s jistotou využíván vodící přípravek. Z odzkoušených možností vykazuje nejlepší výsledky pruh surové hovězí kůže, probitý v mokřem stavu kulem v síle budoucího vrtáku. Obrobek byl patrně při práci nějakým způsobem zabezpečen proti posunutí, jeho spodní část spočívala na pevném, ale poddajném materiálu (snad utužené půdě).



■ Obr. 24 Zasazování úštěpů z obecného korundu do stěny vrbového vrtáku s pomocí pazourkového vrtáčku a parohového retušeru.

Většina literatury předpokládá použití vrtáku vyrobeného z bezu černého (*Sambucus nigra*). Zřejmě proto, že jeho větve mají uvnitř snadno odstranitelnou „duši“. Nejsilnější duše (až 15 mm) se však vyskytují v jednoročních výhoncích. Ty mají slabou, křehkou dřevní stěnu a nelze je využít k výrobě vrtáků. Platí pravidlo, že čím starší je bezová větev, tím menší má průměr duše (**obr. 26**). I v bezové větvi by tedy bylo třeba vnitřní otvor budoucího vrtáku dovtat nebo dodlabat. Navíc není snadné dutou vrtací hlavici upevnit na pohonný dřív vrtáku pomocí v pravěku dostupných materiálů a postupů. Často prokluzuje a je zapotřebí ji upevnit složitější úpravou, např. pomocí začepování. Při šikvnosti neolitiků v oblasti zpracování dřeva (Stolz 2004) je pravděpodobné, že k výrobě vrtacích hlavic mohly být využity běžně přítomné dřeviny, nejspíše ve formě rovných výmladků a potřebný vnitřní otvor vytvářen s pomocí kamenného vrtáku.

V praktických zkouškách se příliš neosvědčily tvrdé dřeviny (dub, buk, bez), lépe vyhovovaly dřeviny měkké (líška, vrba). Velmi měkké dřevo (lípa) se však také neosvědčilo. To poměrně dobře koresponduje s nálezem údajného zbytku vrtáku z Vinelzu, kde mělo jít spíše o měkké dřevo (Rieth 1958, 106).

Už výsledky předchozích experimentů (Knotek – Tichý 2011, 23–24) naznačily, že v případě použití dutého dřevěného vrtáku nelze vrtat ve vlhkém prostředí. Naše zkoušky to plně potvrdily. Představa mokrého vrtání je do pravěku nejspíše promítnuta zpětně na základě zkušeností s moderními, rychle rotujícími vrtáky, které je zapotřebí chladit. Při vrtání nasucho však vystává problém s enormní hlučností. Z tohoto důvodu byly také přerušeny naše pokusy v ZOO a BZ Plzeň.

Poděkování

Velký dík patří těmto kolegyním a kolegům, kteří byli nápomocní ať již při studiu originálních artefaktů, při vyhledávání literatury, konzultacích či shánění vhodných materiálů: Sabine Bolliger, Zdeněk Hájek, Luboš Hobl, Alena Humpolová,

Ondřej Chvojka, Jan John, Vladimír Karel, Marcela Mašková, Milan Metlička, Albert Minář, Michaela Novotná, Ondřej Protiva, Milan Řezáč, Lucie Šmahelová, Petr Schellong, Oldřich Široký a Petr Zavřel.

Použitá literatura

- Arnold, D. – Pischikova, E. 1999: Stone vessels: Luxury items with manifold implications. In: Ch. Ziegler (ed.), *Egyptian Art in the Age of the Pyramids*. New York, 121–132.
- Franc, F. X. 1890: Štáhlauer Ausgrabungen. In: V. Šaldová (ed.) 1988: F. X. Franc, *Štáhlauer Ausgrabungen – Überblick nálezů v oblasti Mže, Radbuzy, Úhlavy a Klabavy*. Praha, 11–164.
- Knotek, J. – Tichý, R. 2011: Vrtání broušených seker v neolitu. O úloze zkušenosti a dovednosti, *Živá archeologie*. (Re)konstrukce a experiment v archeologii, 12, 19–28.
- Malinová, R. – Malina, J. 1982: Vzpomínky na minulost aneb Experimenty odhalují tajemství pravěku. Ostrava.
- Mašek, N. 1981: Neolitické a eneolitické sídliště v Praze 10-Hostivaři, *Archaeologica Pragensia* 2, 5–41.
- McGuire, J. D. 1896: A study of the primitive methods of drilling. Washington.
- Mrázová, Š. et al. 2012: Základní geologická mapa České republiky 1 : 25 000 s vysvětlivkami 03-142 Hejnice a 03-231 Jizerka. Česká geologická služba. Praha. <http://lokalita.geology.cz/539>
- Rieth, A. 1958: Zur Technik des Steinbohrens im Neolithikum, *Zeitschrift für schweizerische Archäologie und Kunstgeschichte*, Band 18, Heft 3, 101–109, Taf. 21–26.
- Sejkora, J. – Kouřimský, J. 2008: Atlas minerálů České a Slovenské republiky. Praha.
- Schön, W. 2012: Neolithische Pfeilköpfe. In: H. Floss, (Hrsg.), *Steinartefakte vom Altpaläolithikum bis in die Neuzeit*. Tübingen, 807–825.
- Sklenář, K. 1999: Hromové klíny a hrnce trpaslíků. Z pokladnice české folklórní archeologie. Praha.
- Smolík, J. 1881: O hrubších kamenných nástrojích vůbec a vrtaných zvlášť, nalezených v Čechách, *Památky archaeologické a místopisné* 11, sv. 1, 541–556.
- Stolz, D. 2004: Organické předměty kultury s lineární keramikou. In: M. Lutovský (ed.), *Otázky neolitu a eneolitu 2003*. Sborník referátů z 22. pracovního setkání badatelů zaměřených na výzkum neolitu a eneolitu. Český Brod – Kounice 23.–26. září 2003. Praha, 157–170.
- Šebela, L. – Kuča, M. 2004: Objekt 3/1996 z Mokré u Brna (okr. Brno-venkov) a jeho přínos k datování závěru I. stupně kultury s MMK. In: M. Lutovský (ed.), *Otázky neolitu a eneolitu 2003*. Sborník referátů z 22. pracovního setkání badatelů zaměřených na výzkum neolitu a eneolitu. Český Brod – Kounice 23.–26. září 2003. Praha, 271–285.
- Šída, P. 2009: Technologie vrtání kamene od paleolitu po neolit, *Archeologie ve středních Čechách* 13/1, 518–521.
- Viollier, D. – Tschumi, O. – Ischer, T. 1930: Pfahlbauten, elfter Bericht. Mitteilungen der Antiquarischen Gesellschaft in Zürich. Zürich.



■ Obr. 26 Proporce tzv. duše v jedno-, dvou- a tříleté bezové větvi. Čím starší a silnější kmínek, tím menší průměr duše.

- Vencl, S. 1960: Kamenné nástroje prvních zemědělců ve střední Evropě, *Sborník Národního muzea* 14, 1–75.
- Vencl, S. 1975: Hromadné nálezy neolitické broušené industrie z Čech, *Památky archeologické* 66, sv. 1, 12–73.

Zusammenfassung

Das Bohren von Stein mit einem hohlen Bohrer in der Urzeit

(Studium der Literatur, Untersuchung der Spuren auf den originalen Artefakten und erste Ergebnisse praktischer Versuche)

In diesem Artikel werden Überlegungen über mögliche Methoden des Bohrens von Steinwerkzeugen mit Hilfe von einem hohlen Bohrer im Mitteleuropa des Neolithikums vorgestellt.

Ausgegangen wird sowohl von Literaturrecherchen als auch von Messungen und detaillierten Untersuchungen der Arbeitsspuren an Originalartefakten. Bei praktischen Versuchen wurde darauf geachtet, dass Bohraparate, sowie eigentliche Bohrer mit Hilfe der damaligen Zeit entsprechenden Werkzeugen und Technologien zu erzeugen wären.

Aufgrund so erzielter Erkenntnisse wird die traditionelle, weit verbreitete Vorstellung über das Bohren mit einem hohlen Holunderstab, der mit feuchtem Quarzsand unterstreut und mit Hilfe von einem Bogen gedreht wurde, stark angezweifelt. Anzunehmen wäre eher, dass Bohren mit Hilfe von harten Schneidesteinen, die in die Bohrkronen des Bohrkopfes eingelassen waren, bewerkstelligt wurde. Die Drehbewegung des Bohrers wurde wahrscheinlich mit einer einfachen Vorrichtung erreicht, die eine Rotationsbewegung in einer Richtung mit minimalen Seitenschwingungen ermöglichte. Eine geeignete Vorrichtung für solche Zwecke scheint der Bohrer mit Gewichten zu sein, bekannt aus ägyptischen Abbildungen. Praktische Versuche haben auch gezeigt, dass ein Bohrer aus Holz keinesfalls mit Wasser gekühlt werden könnte. (Deutsch von Hana Thomasová)

Robert Trnka, Západočeská pobočka ČAS, adresa: TH optik, Železničářská 83, 312 00 Plzeň, e-mail: trnka.robert@seznam.cz