

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

Jaroslav Klokočník; Jan Kostecký
Orientace starobylých staveb Mezoameriky

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, Vol. 58 (2013), No. 2, 140–157

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/143380>

Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 2013

Institute of Mathematics of the Czech Academy of Sciences provides access to digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain these *Terms of use*.



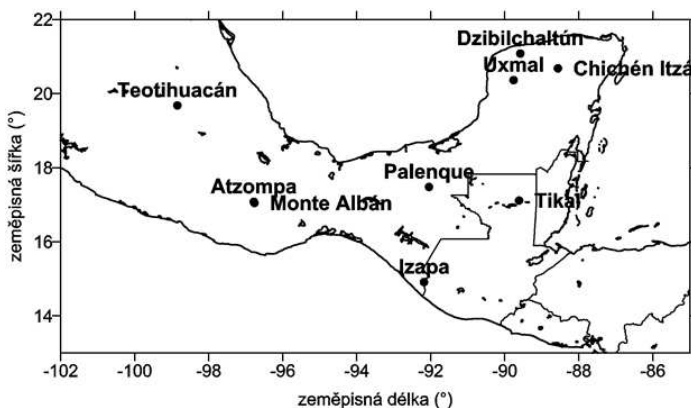
This document has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ: The Czech Digital Mathematics Library* <http://dml.cz>

Orientace starobylých staveb Mezoameriky

Jaroslav Klokočník, Ondřejov, Jan Kostecký, Zdíby

1. Úvod

Člověk pozoroval děje na nebi odjakživa. Co se dělo na nebi, bylo důležité pro život na Zemi. Děje tam „nahore“ a zde „dole“ se nedaly oddělit. Pozorování nebeských těles, jejich pohybů a „opakování se“ umožnilo sestavit *kalendář*, důležitou pomůcku pro praktický život (zemědělství) i pro „nadstavbu“ (ceremoniály, rituály a to, co bychom dnes nazvali astrologií). Přesnost kalendáře někdy překračovala přesnost potřebnou pro praktické cíle a dosahovala přesnosti kalendáře našeho (např. u Mayů). Nejde o nic nepochopitelného, o žádný zázrak, ale o výsledek pečlivého, dlouhodobého pozorování.



Orientační plánec: přehled lokalit v Mezoamerice, o kterých se píše v tomto článku.

© J. Kostecký

Archeoastronomie, vybavená znalostmi moderní nebeské mechaniky (součástí astronomie), archeologie, historie a dalších oborů, se snaží rozluštit co, jak a proč dávné kultury pozorovaly, jak se jejich víra promítala třeba do prostorové orientace významných staveb i celých měst (vůči světovým stranám). Archeoastronomické výzkumy se týkají různých staveb a objektů a jejich částí – pyramid, zdí, schodišť, věží, rondelů (okrouhlých staveb s příkopy), polokruhových staveb (kultury Chaco), stél (což jsou upravené a opracované vztyčené kameny s vytesanými nápisy), soch aj.

Tento článek je kompilací z našich předchozích prací, zejména [16], [17] a z knihy [34].

Prof. Ing. JAROSLAV KLOKOČNÍK, DrSc., Astronomický ústav AV ČR, v. v. i., 251 65 Ondřejov, e-mail: jklokocn@asu.cas.cz. Prof. Ing. JAN KOSTECKÝ, DrSc., Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický, v. v. i., 250 66 Zdíby 98, e-mail: kost@fsv.cvut.cz

2. Astronomická orientace význačných staveb v Mezoamerice

2.1. Úvod

Pyramidy existují v různých podobách po celém světě. Představují stavební útvar, který se dá postavit vcelku snadno (jsou to „přerostlé hrobky“, mastaby) a je velmi stabilní. Stavěly se nejspíše k uctění památky význačného mrtvého (s patřičným vybavením na posmrtný život, ve který se zřejmě věřilo v té či oné formě úplně všude a odjakživa). Použitý materiál je různý, podle místa stavby, od udusané hlíny pokrývající hrobku z kamene (Čína), přes nepálené cihly (Peru) až po kámen (vápenec v Egyptě nebo Mezoamerice, sopečný materiál na Tenerife ...).

Mezoameriku definujeme jako oblast sahající přibližně od spolkových států Durango, Zacatecas a Tamaulipas na severu Mexika přes Guatemala a Belize až do západního Hondurasu a severozápadního Salvadoru. Toto rozsáhlé území má řadu shodných kulturněhistorických rysů.

Prostorová orientace pyramid a dalších význačných staveb (vůči světovým stranám) není náhodná, ani v Egyptě (kde je astronomická ve směru sever-jih), ani v Mezoamerice, u núbijských pyramid v Súdánu nebo v Číně kolem Xi'anu a Luoyangu (kde je to složitější). Stěna stavby může sledovat nějaký význačný směr k obzoru daný východem/západem Slunce, Měsíce, Venuše či hvězd v určitou dobu (ročním období). Může vystihovat směr, ve kterém se nám jeví Venuše, Sirius či jiný objekt při prvním/posledním východu/západu tělesa pozorovatelném z daného místa během roku (tzv. *heliaktický*, též *heliakální východ/západ*). Možností je celá řada. Probereme si je na ukázkách (kap. 2.2). Měřením zjistíme, že zdaleka ne vše bylo orientované astronomicky (možné řešení problému je poté v kap. 3).

Se *sluneční orientací* se setkáváme často. Objekt je orientován přesně směrem SJ/VZ nebo odkloněn tak, že ve směru zdi nebo výklenku či díry ve zdi Slunce vychází/zapadá o *zimním/letním slunovratu*. Slunovratům odpovídající astronomický azimut A východu/západu je:

$$\cos A = -\frac{\sin \delta}{\cos \varphi},$$

kde deklinace Slunce $\delta = 23.5^\circ$ a φ je zeměpisná šířka pozorovatele, $90^\circ - \varphi > |\delta| > \varphi - 90^\circ$, $A \in \langle -180^\circ, 180^\circ \rangle$, a tedy uvedenému vzorci odpovídají dvě hodnoty A , jedna pro východ a druhá pro západ Slunce. Vzorec předpokládá zenitovou vzdálenost Slunce $z = 90^\circ$ (viz např. [14]) čili ideální obzor.

Obyvatelé rovníkových krajín v rozmezí šířek $-23.5^\circ < \varphi < 23.5^\circ$ mají ročně právě dva *zenitové průchody Slunce*, kdy Slunce v pravé poledne svítí přímo z nadhlavníku a objekty nevrhají stín. Takže můžeme pyramidu nebo jinou stavbu vybudovat s úzkou, dlouhou, vertikální šachtou a sledovat, kdy Slunce osvítí dno. Dostáváme kalendářní pomůcku fungující s přesností až ± 1 den. *Kalendářní orientace* je sluneční orientace podle směru východu/západu Slunce vztažená k nějakému tehdejšímu společensky významnému dni – je zřejmé, že se nám vůbec nemusí podařit rozluštit k jakému.

Měřické postupy a data. Díky obvykle nízké požadované přesnosti výpočtů pro archeo-astronomické aplikace, řekněme $\pm 1^\circ$, je možné některé výpočty a postupy zjednodušit. Používáme *příruční GPS* dnes poskytující souřadnice s přesností několika metrů. Velký „důlní“ *kompas* umožňuje odečítat azimuty na $\pm 1^\circ$. Příkládá se ke stěnám a pokud ty nejsou obzvláště „křivolaké“, lze opakovanými měřeními snadno docílit

uvedené přesnosti. Kompas se výborně hodí i do podzemí, kde by GPS neuspělo (nesmí ovšem v blízkosti být kovový objekt). Kompas měří „magnetický azimut“, který je třeba korigovat na astronomický. V dané lokalitě se proměří vybraná základna kompasem i pomocí příruční GPS a směry se porovnají. Korekce magnetických azimutů pak platí pro celou lokalitu v daném čase. Pokud by měření nebyla k dispozici, poslouží model magnetické deklinace podle NOAA, NGDC (National Ocean and Atmospheric Administration, National Geophysical Data Center), www.ngdc.noaa.gov („*declination calculator*“). Podrobnosti jsou v [16], [17], [34] a kap. 3.1.

Je-li třeba přesně vystihnout tvar nějakého artefaktu se všemi detaily rampiček, výstupků a prohlubní, pak lze použít *laserový skenující radar*. Z měření se sestaví 3D model objektu a poté se použije například „architektonický“ software *Allplan* (www.nemetschek.cz) k osvětlení objektu Sluncem v různé denní a roční dobu. Tím lze dekódovat případnou astronomickou sluneční orientaci (ukázka pro Yurac Rumi je v kap. 4.3 – druhá část).

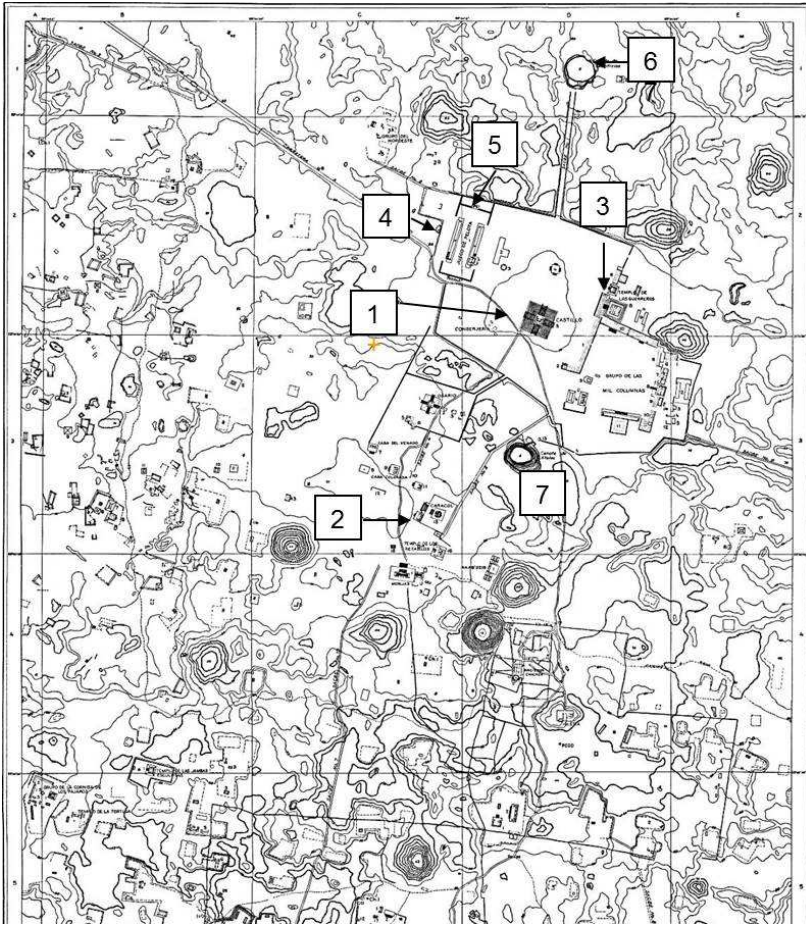
Vedle podrobných pozemských map jednotlivých lokalit (např. US mapping, © E. Barnhart 2000, <http://www.mesoweb.com/palenque/resources/maps/maps.html>) jsou dnes k dispozici přesné družicové snímky až se submetrovým rozlišením ve všech směrech. Ty jsou často vystaveny na veřejně přístupném *Google Earth*; hojně je využíváme.

Často potřebujeme znát *průběh terénu* (topografie) v okolí pozorovatele v horách, abychom mohli korigovat astronomický azimut A východu či západu Slunce a jiných těles vůči ideálnímu obzoru na obzor skutečný. Tak třeba východ Slunce v horách u Cuzka ve výškách 10, 20 a 30° nad obzorem znamená změnu v azimutu vůči azimutu východu nad teoretickým horizontem 0° zhruba 3, 7 a 13°. K zavedení korekce používáme *digitální model terénu* (DMT) nebo *reliéfu* (DMR), konkrétně ASTER GDEM (2009), www.gdem.aster.ersdac.or.jp. Jeho rozlišení je 30 m/pixel a byl vytvořen ze stereo snímků skeneru ASTER družice Terra.

Terminologie užitá v kap. 3.1: *Magnetická deklinace* D je odchylka strelky kompasu od astronomického poledníku (mířícího k astronomickému či geografickému či pravému pólu rotace Země). Na východ od astronomického severu je D kladná, na západ záporná. Při měření kompasem jsme potřebovali soudobou magnetickou deklinaci pro danou lokalitu. Pro testy v kap. 3.1 budeme potřebovat hodnoty magnetické deklinace v historické minulosti. *Paleomagnetická* (archo-magnetická) deklinace je deklinace odvozená z různých nepřímých dat pro geologickou (historickou) minulost [31].

2.2. Vybrané lokality

Čerpáme z naší starší práce [16] a z naší nejnovější knihy [34], kde je ovšem daleko více příkladů, a ze zahraničních zdrojů – pro tuto kapitolu specificky z [1]–[4], [27], [37] a dalších. Některé obrázky pocházejí z *Google Earth*, kde by pro jednotlivé snímky bylo třeba citovat různé zdroje. Zde je všude „© *Google Earth*“. Uváděné souřadnice jsou zeměpisná šířka a délka (φ, λ) v jednotném celosvětovém geodetickém systému WGS 84. Symbol S je pro severní, J pro jižní šířku, Z pro délku západně od Greenwich. Jsou to přibližné údaje (zaokrouhlené na obloukové minuty), většinou vztažené k nejvýznačnějšímu objektu dotyčné archeologické lokality. Mají čtenáře rychle a snadno navést do lokality při jeho virtuální návštěvě.



Obr. 1. Archeologický areál v Chichén Itzá. Se svolením Joela Skidmora (© US mapping, 2001). Sever je směrem šípky.

2.2.1. Chichén Itzá ($\varphi = 20^{\circ}41' S, \lambda = 88^{\circ}34' Z$) jsou rozsáhlé ruiny mayského města na poloostrově Yucatan z období asi 600–1200 n.l. Mapa lokality je na obr. 1. Nejvýznačnějšími objekty jsou Kukulcánova (Quetzalcóatlova) pyramida, též El Castillo (1), obr. 2a,b, kruhovitá stavba Caracol (2), obr. 3a,b,c, tzv. Chrám válečníků se sloupovým (3), obří hřiště na míčovou hru zvanou pelota (4) s Chrámem vousatého muže (5) a cenote (posvátné studně), jakési „Macochy“ ve zdejší třetihorní vápenci, vyplněné původně pitnou vodou (6, 7 a další), kam byly vhažovány obětní předměty i oběti lidské.

Pyramida má astronomickou, a to sluneční orientaci. Její stěny nemíří přesně SJ a VZ směry, ale směr SJ je odkloněn asi o 24° od severu na východ, takže severní schodiště o rovnodennostech umožňuje zvláštní stínový efekt. Jak Slunce zapadá, postupuje stín kolem severního schodiště, jako by bůh Quetzalcóatl (Opeřený had) sestupoval z nebe na zem (obr. 2a,b). Pozorování tohoto jevu se každoročně na jaře a na podzim účastní spousta turistů.



(a)



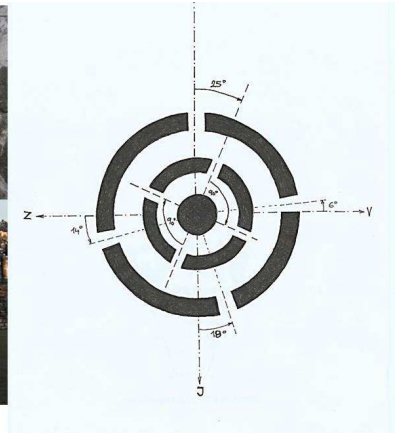
(b)

Obr. 2. Kukulkánova pyramida v Chichén Itzá. Stín v podvečer o rovnodennosti postupující po okraji schodiště, s osvětlenou hlavou hada dole u schodiště, foto © J. Klokočník, 2010.

(a)

(b)

(c)



Obr. 3. Caracol v Chichén Itzá, celkový pohled a schodiště uvnitř vnitřního pilíře, dnes nepřístupné, vedoucí na horní patro s okénky. Foto © D. Lampířová, 2010. Plánek Caracolu podle našich měření – redukované astronomické azimuty [16]. Kresba F. Vitek (2005).

Caracol, objekt č. 2 na obr. 1, je považován za observatoř; ceremoniální a další využití se samozřejmě nevyklučují. Celkový pohled a detaily částečně zničené horní partie budovy jsou na obr. 3a,b. Výsledky našeho měření orientace této budovy pomocí kompasu jsou po potřebné redukci na obr. 3c. Kruhová věž je u Mayů architektonickou výjimkou. Věž měla dvě stavební etapy, první (asi 9. stol. n. l.) zahrnuje výstavbu centrálního pilíře s točitým schodištěm a další, vnější plášť byl přistavěn asi o sto let později. V horní části stavby byla okénka, z nichž se zachovala jen malá část. Většina se v minulém století vlivem dešťů s celou horní částí stavby zřítily. Odtud z okének, z ochozů a ode dveří měla probíhat astronomická měření. Uspořádání zachovalých okének (dnes nedostupných) a jejich možné astronomické využití ukazuje Morley [32] nebo Aveni [2], [3], ale některé Aveniho závěry mohou být chybné, neboť se opírá o chybný plánek Caracolu. Správná orientace (ale už jen dveří) je na obr. 3c a je



(a)

(b)

Obr. 4. (a) Chrám sedmi panenek (aneb struktura č. 1) v severoyucatanském Dzibilchaltúnu (foto © J. Klokočník, 2010). (b) Východ Slunce o rovnodennostech pozorovaný ze sacbé od západu, obrázek převzatý z internetu.

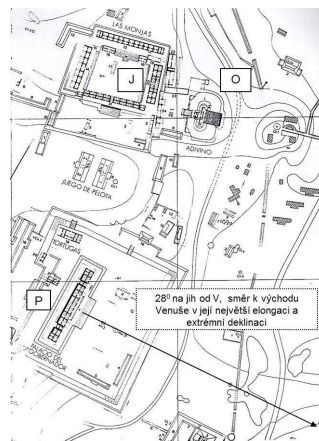
výsledkem našich měření [16]. Měření dokladují, že vnější dveře míří přesně na sever (± 2 stupně), východní jsou odkloněny o $6^\circ \pm 2^\circ$ na jih od východu a západní jsou od směru na západ odkloněny na sever asi o $14^\circ \pm 2^\circ$. Rozmístění vnějších dveří vůči světovým stranám je bezesporu nesymetrické. Z našich měření vyplývá, že vnitřní dveře na východ označují směr východu Slunce o místním letním slunovratu a jihozápadní označují směr západu Slunce o zimním slunovratu.

2.2.2. *Dzibilchaltún* ($\varphi = 21^\circ 05' S$, $\lambda = 89^\circ 35' Z$) byl obřím komplex asi se 40 tisíci obyvatel, osídlen pravděpodobně nepřetržitě od 2. tisíciletí před n. l. až do roku 1000 n. l. [33]. Významné je náměstí (plaza), sacbé (silnice či posvátná cesta, stavěná s vyvýšením nad okolním terénem) vedoucí od náměstí směrem na východ i západ a řada pyramidálních struktur. *Chrám sedmi panenek*, též nazývaný struktura č. 1 (obr. 4a,b), má čtvercový půdorys a spočívá na čtvercové pyramidální základně. Stavba je orientována skoro SJ-VZ směrem. Ve stropě věžovité nástavby budovy byl čtvercový otvor. Na místě jsme byli seznámeni s některými výsledky měření zdejších badatelů. Stavba prý byla používána jako sluneční kalendář. Například z jižních dveří přes výhledy v západní stěně bylo možno sledovat západ Slunce o letním slunovratu, další možné kombinace zahrnují směry k zimnímu slunovratu a rovnodennostem a patrně i další směry mezi těmito extrémami. Čtvercové okno ve stropě mohlo být používáno ke stanovení dnů zenitových průchodů Slunce a k určování začátků měsíců mayského slunečního kalendáře.

2.2.3. *Uxmal* ($\varphi = 20^\circ 22' S$, $\lambda = 89^\circ 46' Z$) byl v období 200–1000 n. l. klíčovým městem oblasti (severozápad Yucatanu). Palác vládce (obr. 5a) má být z 9.–10. stol. n. l., Velká pyramida z 8. stol., Palác jeptišek asi z 9.–10. stol. Odklon budov na východ od severu je i zde jako v předchozích dvou lokalitách zřejmý. Palác vládce je však na rozdíl od ostatních budov odkloněn více. Odklon celé fasády i schodiště mířícího na východ je $28\text{--}29^\circ$ na jih od východu (obr. 5b). To je příliš na to, aby byl vysvětlen sluneční orientací, protože pro danou zeměpisnou šířku je maximální odklon na jih od VZ směru v případě zimního slunovratu 25° . Aveni [3] dospěl na základě tehdy existujících geodetických měření k hodnotě 28° . Podle Aveniho je orientace Paláce vládce dána směrem k východu Venuše při její největší elongaci a krajní deklinaci. Rovina oběžné dráhy Venuše kolem Slunce svírá s rovinou ekliptiky úhel 3.4° , takže si lze představit pro danou zeměpisnou šířku (kde tělesa zapadají a vycházejí skoro kolmo k obzoru) změnu azimutu východu Venuše vůči azimutu Slunce ve slunovratu z 25 na 28° . Aveni



(a)



(b)

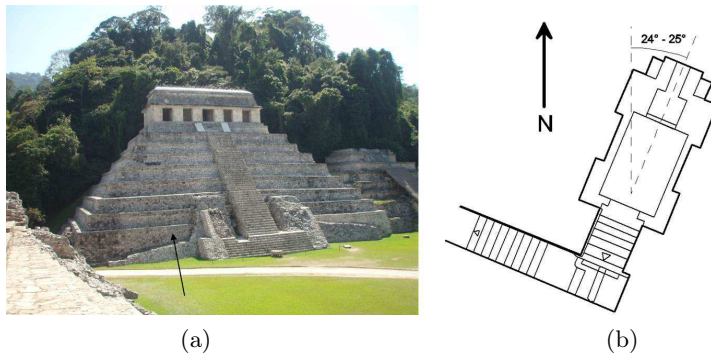
Obr. 5. (a) Palác vládce v Uxmalu v tzv. puuckém stylu (foto © J. Klokočnick), (b) plánec Paláce s orientací podle Venuše (převzato z [16]). Mapové podklady poskytla Dr. Maricela A. Falcónová, Mexico City, 2003.

našel na blízkém pahorku v selvě (lese) místo (malou pyramidu Nohpat), kam míří myšlený paprsek z centrálních dveří Paláce vládce kolmo k jeho stěně přes stělu a sochu dvouhlavého jaguára před ním (obr. 5b). Našimi měřeními a následnými výpočty jsme Aveniho závěry ([16], obr. 19) ověřili; úhel 28° na jih od východu jsme dostali také. Připomeňme, že na fasádě Paláce vládce jsou glyfy zobrazující Venuši.

2.2.4. Palenque (např. [7], [11]) je význačná mayská památka dnes obklíčená džunglí, v kopcovitém terénu, ($\varphi = 17^\circ 29' \text{ S}$, $\lambda = 92^\circ 03' \text{ Z}$). Dlouhou dobu zde panoval král Pakal (Lord Hanab Pacal, K'ínich Janaab' Pakal, Sluneční štít, †683 n. l.). V jeho době bylo Palenque důležitým ceremoniálním centrem, sídlem vládce s paláci a lázněmi pro elitu. Pakalova hrobka je uvnitř Pakalovy pyramidy s Chrámem nápisů (obr. 6a), což je vedle Paláce se strážní a astronomickou věží a pyramid skupiny Slunce nejvýznamnější objekt v Palenque. Hrobka je přístupná seshora od Chrámu nápisů dlouhým schodištěm dovnitř pyramidy. V kryptě je sarkofág a na jeho víku na basreliéfu je vyobrazen muž, který (interpretace podle [7]) padá do chřtánu smrti, do podsvětí (kde vládne X'ibalba).

Orientace pohřební komory vůči světovým stranám jistě není náhodná; něco takového u Mayů nepadá v úvahu. Našli jsme plánec v [35] naznačující, že by krypta mohla být slunečně, a to slunovratově orientována. Pakal jakožto vyznavač Slunce si mohl přát mít svoji hrobku orientovanu „nějak v souladu“ se svým bohem. Hypotéza zní: hrobka je orientována podle směru východu či západu Slunce o letním či zimním slunovratu nebo podle azimutů východu či západu Slunce ve dnech zenitových průchodů Slunce v této lokalitě nebo podle dne Pakalova narození nebo uvedení na trůn. Ukážeme na základě našich vlastních měření, že to první je to nejpravděpodobnější vysvětlení [15], [20].

Uvnitř hrobky jsme měřili kompasem v r. 2005. Venku jsme rozvinuli dvě základny pro určení korekce z magnetického na astronomický azimut. Magnetický azimut delší stěny pohřební komory (obr. 6b) vychází $21 \pm 1^\circ$, tomu odpovídající astronomický



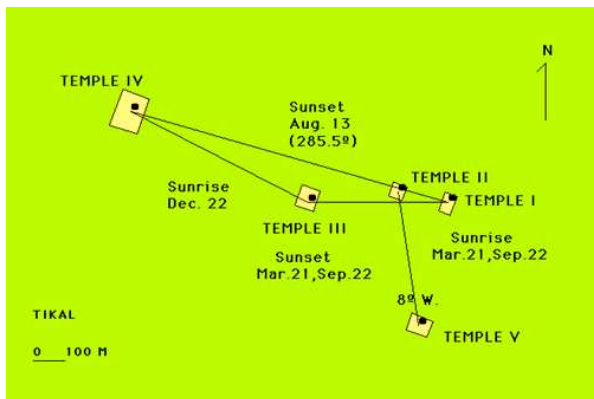
Obr. 6. (a) Pakalova pyramida s Chrámem nápisů na jejím vršku fotografovaná ze schodiště od Pakalova paláce. Šipka ukazuje polohu pohřební komory uvnitř pyramidy. Orientace schodiště a stěn pyramidy a hrobky uvnitř pyramidy se liší. Foto © J. Klokočník, 2010. (b) Sluneční orientace krypty a sarkofágu. Dlouhá osa pohřební komory je odkloněna od severu na východ o $24\text{--}25^\circ$. Hlava Pakala mířila na SV. Slunce o slunovratech vychází resp. zapadá ve směru kolmém k této ose.

azimut je $24 \pm 2^\circ$. Očekávaný astronomický azimut $A = 25^\circ$. Shoda znamená, že Pakalova hrobka je skutečně orientována slunečně, a to podle směru východu/západu Slunce o místním zimním/letním slunovratu (to je směr kolmý k delší stěně komory). Vzhledem k okolnímu terénu šlo patrně o západ Slunce o letním slunovratu (přímá viditelnost ze schodiště nad hrobkou).

2.2.5. *Tikal* ($\varphi = 17^\circ 13' \text{ S}$, $\lambda = 89^\circ 37' \text{ Z}$, na území dnešní Guatemaly) je ukázkou špičkové mayské architektury. Osídlení asi už od 7. stol. před n.l., boom spadá do 6.–8. stol. n.l., úpadek kolem 900 n.l. Tikalu dominuje centrální náměstí se dvěma obřimi pyramidami, dvěma komplexy paláců a Akropolí.

Podle Malmströma [29] je ve vzájemné orientaci pyramid zakódována astronomická symbolika. Ukazuje ji plánec na obr. 7. Pyramida III je od pyramidy I přesně na západ. Pyramida III je od pyramidy IV ve směru východu Slunce o zimním slunovratu. Spojnice pyramid I–II a IV se kryje se směrem západu Slunce pozorovaného z pyramidy I k 13. 8., což je jisté „posvátné“ datum, blízké datu druhého zenitového průchodu Slunce v roce v dané lokalitě (kap. 5.8). Mezi chrámy V a I je odklon o 15.5° na východ. Naše měření [16] potvrzují to, co je na obr. 7.

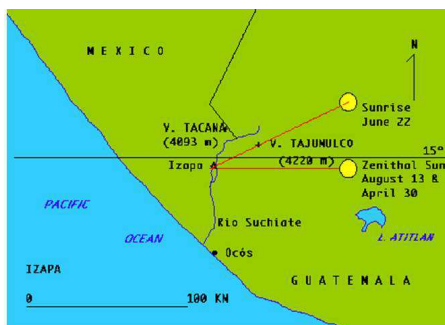
2.2.6. *Izapa* ($\varphi = 14^\circ 55' \text{ S}$, $\lambda = 92^\circ 11' \text{ Z}$) je rozsáhlý archeologický komplex asi 10 km od Tapachuly, stát Chiapas, na hranici s Guatemalou, blízko Tichého oceánu. Osídlení začíná již kolem 1500 před n.l. a vrcholí mezi 600 před n.l. a 100 n.l. Osa hřiště na pelotu (obr. 8a) v severní partii komplexu je odkloněna od směru VZ asi o 25° na jih, čili je orientována k východu Slunce o zimním slunovratu nebo jeho západu při slunovratu letním. Malmström [29], si všiml, že ve směru východu Slunce o letním slunovratu se nachází hora Tajumulco, takže celá lokalita Izapy mohla být naplánována na místo (vhodné i z jiných důvodů), kde je splněna dotyčná geometrie, obr. 8b (www.dartmouth.edu/~izapa). Při zenitových průchodech 13. 8. a 30. 4. je východ Slunce ve směru další vysoké hory. Sluneční orientace hřiště „předepisovala“ jednotnou orientaci celé severní lokality. Malmström nalezl v této oblasti více takových slunovratových orientací.



Obr. 7. Tikal v Peténu v Guatemale. Vzájemné propojení pyramid I-V s astronomickou interpretací, podle Malmströma [28], [29], ověřenou našimi měřeními [16], [17].



(a)



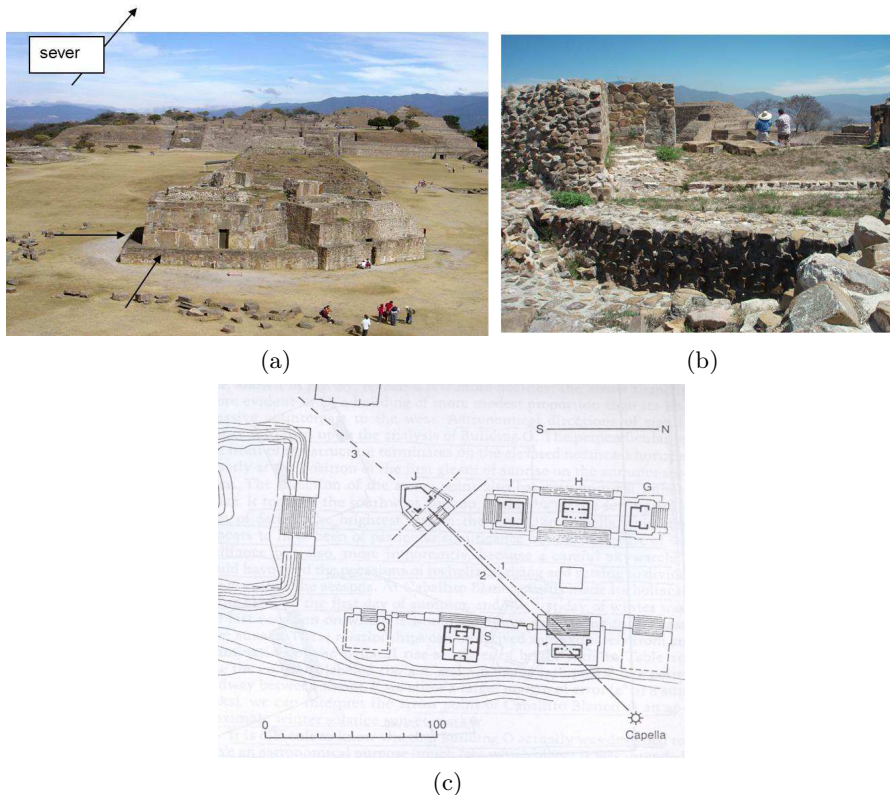
(b)

Obr. 8. Izapa. (a) Orientace hřiště na pelotu a celého areálu skupiny F k hoře Tajumulco – ke směru východu Slunce o letním slunovratu, podle Malmströma [29]; <http://www.dartmouth.edu/~izapa/izapasite.html> (b) Astronomický azimut východu/západu Slunce ve dnech zenitových průchodů Slunce 13. 8. a 30. 4. pro zeměpisnou šířku Izapy má být $74^\circ/286^\circ$.

2.2.7. Oblast *Monte Albán* (dále jen MA, obr. 11a, $\varphi = 17^\circ 03' S$, $\lambda = 96^\circ 46' Z$) byla osídlena již paleoindiány. MA se úspěšně rozvíjel v období 200–950 n. l. Pozoruhodným výtvozem je od všech ostatních staveb na první pohled odlišná Budova J (obr. 9a,b), která je považována za astronomickou observatoř (např. [2], [3]). Je patrně z období kolem r. 200 před. n. l. Většina toho, co je dnes v MA k vidění, je z etapy MA II (100 před n. l. až 250 n. l.) a MA III (200–900).

Celková prostorová orientace je skoro jednotná pro celý archeologický areál MA. Vůbec by tomu tak nemuselo být. Na plošině by mohly stát stavby orientované rozmanitě ke světovým stranám (případ Budovy J). Není tomu tak (až na Budovu J), což jistě není náhoda a není to dáno jen topografií místa.

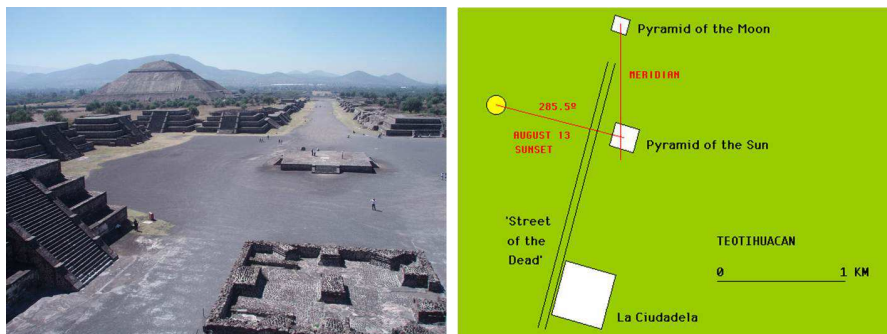
Budova J je výjimečná. Její schodiště na SV a její šípovitý či „žehličkovitý“ tvar vytvářejí dojem výjímky na celé plošině. Ovšem snadno změříme, že části západních a jižních stěn jsou orientované přesně SJ a VZ. Na obr. 9a vidíme Budovu J jako celek a na obr. 9b stojíme na její horní plošině. Vidíme tam, mimo jiné, vertikální



Obr. 9. (a) Zapotécká lokalita Monte Albán (MA) u města Oaxaca. Označené stěny (viz šipky) struktury J jsou orientovány přesně SJ a VZ. Na obr. (b) jsou vertikální šachty (se schůdky umožňujícími vstup). Foto © J. Klokočník, 2010. (c) Budovy J a P. K Aveniho astronomickému výkladu, Aveni [2], str. 256, obr. 86. Kolmice (1) k severovýchodnímu vstupu na Budovu J míří podle Aveniho ke schodům Budovy P, kde je vertikální šachta, (2) je kolmo ke schodišti na SV Budovy J a míří ke dveřím P a pak na SV horizont, kde se dále heliaktický východ hvězdy Capelly v době, kdy Slunce v této lokalitě prochází zenitem. Tato událost může prý být pozorována zmíněnou vertikální šachtou v nedaleké Budově P. Linie (3) míří k dalším jasným hvězdám.

šachty, které by se hodily k pozorování zenitových průchodů Slunce. Tradičně Budovu J považují archeologové za astronomickou observatoř [1]–[3], obr. 9c. Alternativnímu vysvětlení orientace areálu se věnujeme v kap. 3.2 (též v [21]).

2.2.8. Grandiózní areál *Teotihuacánu* ($\varphi = 19^{\circ}41' \text{ S}$, $\lambda = 98^{\circ}51' \text{ Z}$) má orientaci zavedenou jasným plánem někdy v prvních stoletích před n. l. Městem prochází široká, asi 2 km dlouhá silnice, tzv. třída Mrtvých od severní pyramidy Měsíce, kolem pyramidy Slunce, lázní až k Citadele na jihu (obr. 10a). Osa třídy Mrtvých je odkloněna o $15^{\circ}28'$ od SJ směru na západ, měřeno od pyramidy Měsíce na jih. Bylo zjištěno ([1], [2] a citace starších prací v těchto pracích), že některé stavby mají odklon $16^{\circ}30'$. Areál má tedy orientaci podél dvou os. Proč 15.5° resp. 16.5° ? K nejrozumnějším hypotézám (např. [1], [2], [29], [36]) se zde nebudeme dopodrobna vracet, viz [21]. Malmström [28], [29] tvrdí, že azimut západu Slunce ke dni 13. 8., jak je po-



Obr. 10. Teotihuacán. Třída Mrtvých z pyramidy Měsíce, pyramida Slunce je v pozadí vlevo. Foto © J. Klokočník, 2010. Podle Malströma [29] Slunce zapadá ve směru od pyramidy Slunce kolmo na třídu Mrtvých s astronomickým azimutem 285.5° dne 13. 8., což má být význačné datum počátku mayského kalendáře.

zorován z pyramidy Slunce, je kolmý na osu třídy Mrtvých (obr. 10b). Ověřili jsme si výpočtem, že pro den 13. 8. je dotyčný azimut $286 \pm 1^\circ$ a podle Malmströma má být $15.5 + 270 = 285.5^\circ$. Den 13. 8. se má vztahovat k počátku *Dlouhého počtu* mayského kalendáře, t.j. mayský rok, den a měsíc „nula“ údajně připadají na den 13. 8. nebo 12. 8. 3113 před n. l. (To vše ale jen za předpokladu, že převodní koeficient mezi mayským a naším kalendářem platí tak, jak jej většina historiků užívá. Proti tomu je řada námitek s použitím astronomických dat (shrnuto v [18]).) Aveni [2] zjistil, že zde v prvních stoletích n. l. docházelo k heliaktickému východu hvězdokupy Plejády právě v době prvního zenitového průchodu Slunce (zde 20. 5.).

Naše měření v Teotihuacánu měla jen kalibrační charakter [16]. Podél osy třídy Mrtvých jsme rozvinuli několik základů GPS a měřili kompasem. Dostali jsme magnetický azimut $+10 \pm 1^\circ$. Magnetická deklinace podle našich měření byla $4\text{--}5^\circ$ a podle modelu $+5.5^\circ$. Astronomický azimut třídy Mrtvých je tudíž $+15 \pm 2^\circ$.

3. Neastronomická orientace význačných staveb v Mezoamerice

3.1. Fusonova hypotéza a olmécký kompas

Orientace řady význačných staveb v Mezoamerice, Peru či jinde je astronomická pro účely kalendáře, zemědělství, náboženské, ceremoniální a další. Přesto platí, že astronomická orientace staveb je v menšině, že pro většinu staveb to bylo „nějak jinak“. Rozhodně ne libovolně. Oním referenčním směrem nebyl astronomický sever nebo jih, ale jiný a patrně též pohyblivý referenční bod. Fuson [12] vyslovil hypotézu, že v Mezoamerice znali a používali kompas. Carlson [6] k tomu přidal rozbor nálezu tzv. olméckého kompasu ze San Lorenza, datovaný do období 1 200 let před n. l. Je to malá tyčinka z feromagnetického hematitu Fe_3O_4 , pečlivě opracovaná a vyleštěná, která měla plavat na rtuťovém horizontu a ukazovat základní směr pro odečítání azimutů. Klokočník et al. [16], [17] posléze shromáždili mnoho měření a provedli jejich interpretaci podporující (ale nedokazující) Fusonovu hypotézu. Další nečekaný důkaz, podporující Fusonovu hypotézu, přinesla práce [13], týkající se Číny. Zde k orientaci pyramid dle kompasu vedla hluboce zakořeněná víra ve feng-shui (feng-šuej).

Orientace staveb podle kompasu znamená, že směry stěn staveb jsou odvozeny ze směru vůči magnetickému poledníku v místě a v době konstrukce či poslední rekonstrukce dotyčné stavby. Pozice magnetického poledníku i pólu, promítnuto na zemský povrch, se však velmi rychle a podstatně mění, viz obr. 11 (vztaženo k pólu rotace Země, který je proměnný řádově méně a zde je považován za „pevný“). Tím pádem různě staré stavby budou mít různou orientaci. Orientace a stáří podle kompasu orientovaných staveb korelují. Pokud stavitel použil kompas, ten se „nasměroval“ k siločarám tehdejšího magnetického pole Země v daném místě (nepřesně řečeno k tehdejšímu severnímu magnetickému pólu). Pokud nástupce stavitele přijde na totéž místo a měří tam kompasem třeba za 100 let, nový směr k aktuálnímu magnetickému poledníku se může signifikantně lišit od původního. Změna směru pozorovaná z jednoho místa může být až 30 stupňů za sto let! Záleží na epoše a lokalitě, a tím na směru, odkud se na magnetický sever díváme.

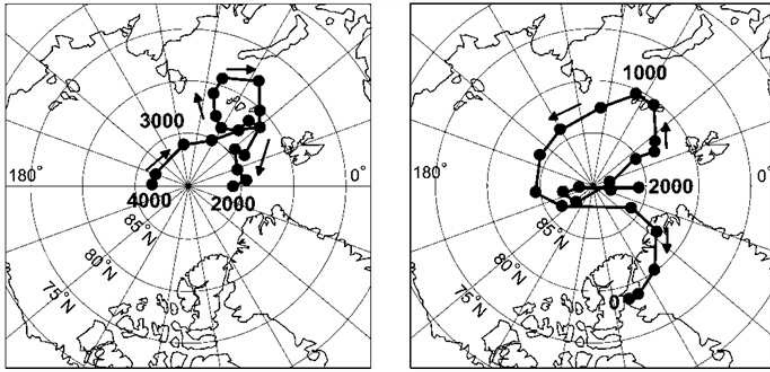
Prakticky všechny pyramidy v Mezoamerice mají odchylku na východ od severu a to tak významnou, že ji nelze svést na projekční či stavební nepřesnost (viz různé na obr. 12). Kdyby orientace byla provedena astronomicky či kalendářně, měly by směry být rozmanité, promíchané. K tvrdošijně východní odchylce není žádný důvod obranný, estetický, meteorologický nebo jiný a často taková orientace znamenala zbytečnou stavební práci navíc, posuzováno našima očima. Odchylky nemají ani topografický důvod, neboť existují i v úplně rovinném terénu severního Yucatanu. Dokonce i při přestavbě některých objektů byla přestavěná část v rámci stavebních možností orientována jinak než původní, takže třeba vnější část pyramidy je o několik stupňů natočena jinak než vnitřní (pyramidy sestávají ze „slupek“, mezi kterými se někdy dá projít a měřit tam).

O tom, že kompas byl v Mezoamerice znám a používán, svědčí nález „magnetických kamenů“ (např. [28], [30]). Želva (žába?) ze starobylé Izapy (na hranici dnešního Mexika a Guatemaly) má rozměry asi $1.5 \times 1.5 \times 1$ m. Když ji v těsné blízkosti obejdete s kompasem, střelka se otáčí tak, že ukazuje k ocásku nebo k čumáku zvířete. V městě La Democracia v Guatemale je vystaveno 12 „magnetických soch“, tzv. tlouštíků, s podobnými vlastnostmi („severní pól“ mají na břicho nebo na zádech [30]). Ten, kdo želvu či tlouštíky vytvořil, si byl velmi dobře vědom magnetických vlastností materiálu a musel mít kompas, aby dosáhl umístit třeba čumák zvířete cíleně právě na „magnetickém pólu“ kamene a ne jinde.

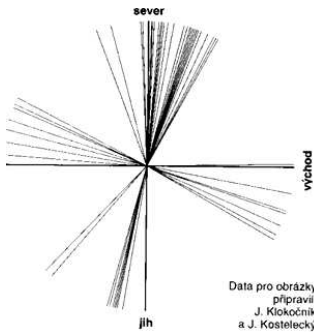
K ověření hypotézy, že Olmékové a další používali kompas k orientaci svých významných staveb, je třeba znát průběh paleomagnetické deklinace D a absolutní stáří staveb. Obojí je problém, i když dnes jsou k dispozici mnohem lepší paleomagnetická data než měli Fuson a Carlson, a to od Haralda Böhnela z Mexika [5] nebo od Moniky Korteové z GFZ Potsdam [9], [22], [23]. Ukázka pro Mexiko je na obr. 13. Nicméně i dnes je přesnost D jen asi $\pm 3^\circ$ až $\pm 5^\circ$ (podle lokality).

3.2. Ověřování Fusonovy hypotézy

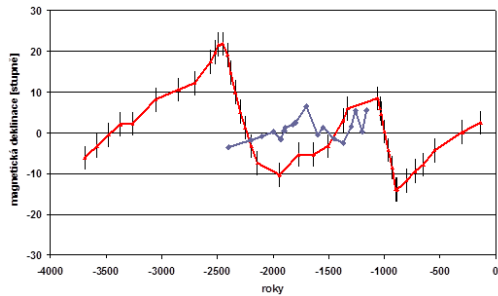
Pyramidy a další struktury zapoteckých archeologických lokalit *Monte Albánu*, $\varphi = 17^\circ 03' \text{ S}$, $\lambda = 96^\circ 46' \text{ Z}$, a místa známého pod názvem *Santa Maria Atzompa* (dále jen Atzompa, $\varphi = 17^\circ 05' \text{ S}$, $\lambda = 96^\circ 47' \text{ Z}$) u města Oaxaca v horách JV od Mexico City nejsou orientovány přesně severojižním směrem. Změřené odchylky v MA jsou východní, několikastupňové a liší se mírně struktura od struktury. Nedaleká Atzompa



Obr. 11. Pohyb severního paleomagnetického pólu vztahený k „neměnnému“ rotačnímu pólu Země, za období posledních 2000 let. Čas se odčítá ve stovkách let (puntíky) od současnosti (0) zpět (2000, tj. rok 0 n.l.). Podle [31] překreslil J. Kostecký.



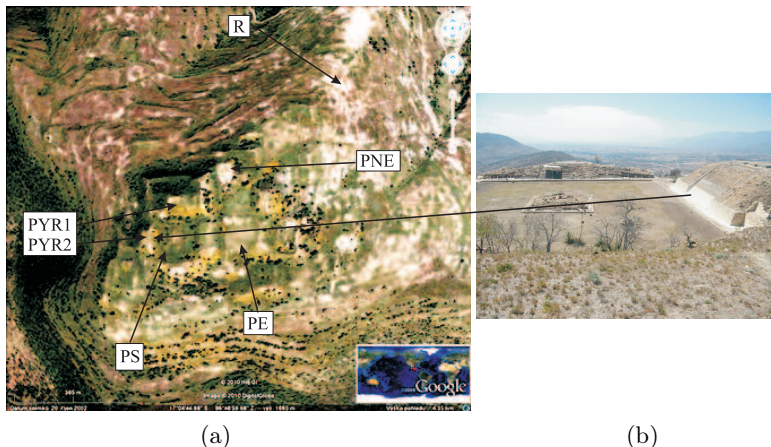
Obr. 12. Směry řady význačných staveb v Mezoamerice vesměs s výraznou východní odchylkou. Západní odchylka byla zaznamenána jen výjimečně. Podle [2].



Obr. 13. Paleomagnetická deklinace pro Mexiko podle Böhnela (soukr. sděl. 2005), tlustá křivka s úsečkami (střední kvadratické chyby dle autora), spolu s daty z práce [10], tenká křivka. Kladná deklinace znamená odchylku na východ od astronomického severu. Čas na ose x je v rocích do minulosti, čili -2000 odpovídá roku 0 n.l. Povšimněte si výrazných a rychlých změn deklinace v období 500–100 před n.l. nebo 900–1100 n.l. Podrobnosti v [16], [17].

(obr. 14a,b) má být mladší než MA. Má i jinou orientaci (téměř severojižní s malými odchylkami na západ i na východ). Považujeme-li za rozhodný interval pro naplánování lokality MA období 400–200 před n.l. a pro Atzompú 600–700 n.l., nacházíme dobrou shodu zjištěné orientace s nezávislými hodnotami paleomagnetické deklinace (obr. 13). Potvrzujeme, že i zde Fusonova hypotéza vyhovuje. O orientaci MA podle kompasu uvažoval již Fahnelt Beyer [10].

Hypotézy o astronomické orientaci *třídy Mrtvých* a celého areálu v *Teotihuacánu* jsou propracované, ale poněkud komplikované. Přijmeme-li jako fakt možnost, že celková prostorová dispozice *Teotihuacánu* je dána třídou *Mrtvých* a že zde bylo osídlení už kolem 600 před n.l., pak se nabízí alternativní vysvětlení orientace, a sice,



Obr. 14. (a) Atzompa na kopci severně od Monte Albán u města Oaxacy. Oba areály nutno chápat jako jeden celek. © Google Earth. Symboly: R přístupová cesta, PYR 1, 2 pyramida 1 a 2 na vrcholku kopce, PNE, PE, PS náměstí (plaza) na severovýchod od nejvyšší pyramidy, na jihovýchod a na jih od ní. (b) Pyramidy na vršku kopce Atzompa. Pohled z PYR 1 na PYR 2. Foto © J. Klokočník, 2010.

že byla provedena pomocí kompasu. Křivka na obr. 13 platí i pro Teotihuacán a pro ~ 400 před n. l. dává východní odchylku $15 \pm 5^\circ$, tedy to, co je i ve skutečnosti pozorováno (část města má odklon 15.5° , jiná 16.5° , ale to z hlediska Fusonovy hypotézy není problém).

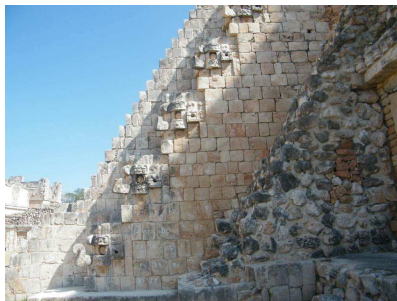
V Mexiku, Guatemale a v Hondurasu (Copán) – a také v Peru a v Číně – jsme prováděli řadu měření kompasem a příruční GPS (2003–2011) ke studiu orientace staveb s cílem ověřit či zahrnout Fusonovu hypotézu. Podařilo se nám ji podpořit, nikoliv však dokázat. Příklady pro Monte Albán, Atzompu nebo Teotihuacán jsme právě předvedli, ale těch měřených lokalit bylo mnohem více (Mexico City, Tenayuca, Acatitlán, El Tajín, Mitla, Palenque, Chichén Itzá, Dzibilchaltún, Itzamatul, Uxmal, Labná, Sayil, Kabáh, Cobá, Tulúm, Izapa, Kaminaljuyú, Quiriguá, Tikal, Uaxactún, Copán). V pracích [16], [17] jsou podrobné tabulky s jednotlivými objekty v jednotlivých lokalitách s hodnocením, zda naměřená orientace může být pomocí kompasu. Fusonova hypotéza vysvětlí orientaci řady objektů (až na struktury známé jako astronomicky orientované, třeba Kukulkánova pyramida v Chichén Itzá nebo Palác vládce v Uxmalu). Někdy je zatím nemožné rozhodnout mezi kompasem a kalendářní orientací. Palenque má astronomicky orientovanou Pakalovu hrobku, ale některé stavby (třeba v oblasti Chrámu kříže v Palenque) mají východní odklon tak velký, že neuspějeme ani s astronomickým vysvětlením, ani s kompasem. Je možné, že jednotlivé struktury zde byly orientovány navzájem uvnitř města podle nějakého „předpisu“, který jsme ještě nepochopili.

4. Zpívající pyramidy

Většina mezoamerických pyramid má příkré stěny, se sklonem větším než 45 stupňů (ukázka na obr. 15a,b). To, po čem se šlape (podstupnice), je užší než výška schodu (nášlap, obr. 15b). Některé mezoamerické pyramidy produkují akustické efekty. Turisté



(a)



(b)

Obr. 15. (a) Proč jsou schodiště pyramid v Mezoamerice většinou tak příkrá? Na snímku je pohled na schodiště od horní plošiny u chrámu na Kukulkánově pyramidě v Chichén Itzá. (b) Ukázka příkrého schodiště na Oválnou pyramidu s chrámem kouzelníka (či proroka) v Uxmalu, ozdobeno glyfy boha deště Chaca. Foto © J. Klokočník, 2010.

tleskají před schodišti Kukulkánovy pyramidy v Chichén Itzá a vrací se jim zvláštní ozvěna (zní to jako „*loong*“). Povšiml si toho Lubman ([24]–[26], www.ocasa.org/MayanPyramid.htm). Viz též základní informaci v [8]. Existují však i jiné hypotézy.

Podstata *Lubmanovy hypotézy*: pyramidy jsou konstruovány proto, aby také sloužily k akustickým účelům při ceremoniích. Proto není náhodou, že jsou tak příkré, protože jedině pak může vyniknout ona speciální ozvěna. Ozvěna, která je kompozicí tlesknutí z místa před schodištěm od jednotlivých schodů, má napodobovat plesnutí křídel posvátného ptáka kvesala, který je ztělesněním boha Quetalcóatla, Opeřeného hada, v oblasti uznávaného.

Chodili jsme kolem různých pyramid a tleskali před jejich schodišti (zdaleka nejen v Chichén Itza). Někde je akustický efekt výborný (Uxmal), někde slabý. Kvalita ozvěny záleží na sklonu pyramidy (čím větší, tím lepší), na šířce schodiště, na míře poškození schodiště (dříve byly schody hladké, pokryté vápencovou vrstvou) a na okolní vegetaci (neměla by překážet).

Odvodili jsme, jak to mohlo fungovat [19]. Šlo samozřejmě o empirickou záležitost, asi jako u řeckých amfiteátrů. Zjistili jsme, že frekvence signálu odraženého od vyššího schodu je nižší než od schodu nižšího. Tleskající pozorovatel P „sbírá“ ozvěnu od všech schodů dohromady a tím dostává potřebný zvuk „*loong*“.

Hodnotu x (obr. 16) počítáme od bodu P k n -tému schodu vodorovně (x_0 je k prvnímu, nejspodnějšímu schodu), y svisle; je to výška n -tého schodu od země. Sklon schodiště α považujeme za konstantní v celé jeho délce, $y = k(x - x_0)$, kde $k = \operatorname{tg} \alpha$. Doba t od vyslání k návratu signálu, šířícího se rychlostí zvuku c , k P je $t = 2s/c$, kde s je šikmá vzdálenost k n -tému schodu pyramidy

$$s^2 = x^2 + y^2 = x^2 + k^2(x - x_0)^2.$$

Řešíme pro x ,

$$x = \frac{k^2 x_0 + \sqrt{(1 + k^2)s^2 - k^2 x_0^2}}{1 + k^2}. \quad (1)$$

Pro časovou prodlevu mezi odrazy od dvou sousedních schodů můžeme napsat

$$\Delta t = \frac{dt}{dx} \Delta x$$

a po dosažení z (1) dostaneme

$$\Delta t = \frac{2}{cs} \Delta x [x(1 + k^2) - x_0 k^2] = \frac{2}{c} \Delta x \sqrt{1 + k^2 - \frac{4k^2 x_0^2}{c^2 t^2}}. \quad (2)$$

Pro první schod, $s_0 = x_0$, je $\Delta t_0 = 2\Delta x/c$, takže frekvence echa od nejnižšího schodu je

$$f_0 = \frac{1}{\Delta t_0} = \frac{1}{2} \frac{c}{\Delta x}.$$

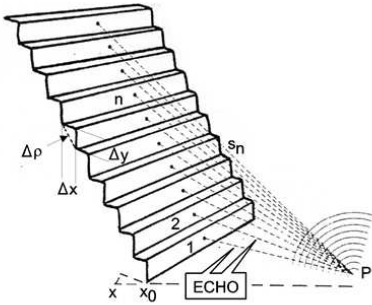
Pro nejvyšší, asymptotický schod, $s = \infty$, podle (2) platí $\Delta t_a = 2\Delta\rho/c$ a příslušná frekvence

$$f_a = \frac{1}{\Delta t_a} = \frac{1}{2} \frac{c}{\Delta\rho}, \quad \text{kde} \quad \Delta\rho = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2}.$$

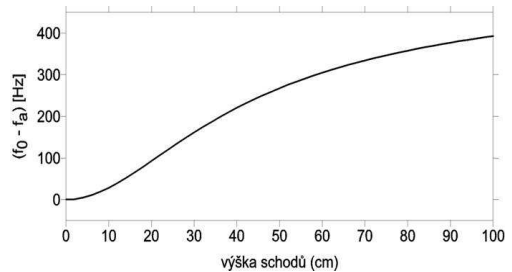
Pro dvojnásobek rozdílu frekvencí mezi prvním a asymptotickým schodem vychází

$$2(f_0 - f_a) = \frac{c}{\Delta x} - \frac{c}{\Delta\rho}. \quad (3)$$

Závěry: (i) Čím výše je schod, tím je nižší frekvence odraženého signálu. (ii) Závislost rozdílu frekvencí (3) na výšce schodu pro vybranou, typickou šířku schodu $\Delta x = 30$ cm vidíme na obr. 17.



Obr. 16. Jak akustický efekt schodů na pyramidě podle Lubmanovy hypotézy funguje. Pozorovatel v bodě P před schodištěm tleská. Vrací se mu ozvěna složená z ozvěn různých frekvencí od jednotlivých schodů – čím výše je schod, tím je nižší frekvence odraženého signálu. Výsledný efekt ozvěny zní jako „*loong*“ a má připomínat plesnutí křídel posvátného ptáka kvesala.



Obr. 17. Závislost $f_0 - f_a$ na výšce schodu Δy pro typickou šířku schodu $\Delta x = 30$ cm

Představme si dav shromážděný pod pyramidou, tleskající či vyluzující krátké impulsy (např. křesáním kamínků o sebe). Možná měli i nějaké hudební nástroje. Dále si představme, že pyramida je výrazně barevná a podél schodiště mohou být posvátné

ohně. V případě Chichén Itzá se o rovnodennostech přidá efekt „sestupujícího Opeřené hada“. Kněz či král či velitel seshora od chrámu hřmal k davům. Musel to být velmi působivý ceremoniál.

L i t e r a t u r a

- [1] AVENI, A. F. (ed.): *Archaeoastronomy in pre-Columbian America*. The University of Texas Press, Austin and London, 1977.
- [2] AVENI, A. F.: *Skywatchers of ancient Mexico*. Univ. Texas Press, Austin and London, 1980 (nové vyd. 2001).
- [3] AVENI, A. F.: *Stairways to the stars: skywatching in three great ancient cultures*. Pův. angl. vyd. 1997, český překlad 2004 v nakl. Dokořán a Argo.
- [4] AVENI, A. F., HARTUNG, H.: *Maya city planning and the calendar*. Trans. Amer. Phil. Soc., Ser. Philadelphia for Promoting Useful Knowledge 76 (7), Philadelphia, American Philosophical Society, 1986.
- [5] BÖHNEL, H., MOLINA-GARZA R.: *Secular variation in Mexico during the last 40 000 years*. *Physics Earth Planet Int.* 133 (2002), 99–109.
- [6] CARLSON, J. B.: *Lodestone compass: Chinese or Olmec primacy?* *Science* 189 (1975), 753–760.
- [7] COE, M. D.: *The Maya*. Thames & Hudson, 2002.
- [8] COHEN, P.: *Echo of the past: Were Mayan pyramids designed to capture the quetzal's cry?* *New Scientists* 1998, 10 Oct.
- [9] DONADINI, F., KORTE, M., CONSTABLE, C. G.: *Geomagnetic field for 0-3 ka: 1. New data sets for global modelling*. *Geochem. Geophys. Geosyst.* 10 (2009), Q06007, doi: 10.1029/2008GC002295.
- [10] FAHMEI BEYER, B.: *El empleo de una brújula en el diseño de los espacios arquitectónicos en Monte Albán, Oaxaca, México: 400 a.C - 830 d.C*. *Revista Española de Antropología Americana* 23 (1993), 29–40, Edit. Complutense, Madrid.
- [11] FRENCH, K. D., DUFFY, C. J.: *Hydroarchaeology: Measuring the ancient human impact on the Palenque eatershed*. Presented at 6th A. von Humboldt Internatl. Conf. EGU Climate Change, Natural Hazards, and Societies, AVH6-45, Mérida, México, March 15, 2010.
- [12] FUSON, R. H.: *The orientation of Mayan ceremonial centers*. *Annals Assoc. American Geographers* 59 (1969), 494–511.
- [13] CHARVÁTOVÁ, I., KLOKOČNÍK, J., KOLMAŠ, J., KOSTELECKÝ, J.: *Chinese tombs oriented by a compass: evidence from paleomagnetic changes versus the age of tombs*. *Studia Geophys. et Geod.* 55 (2011), 159–174.
- [14] KABELÁČ, J., KOSTELECKÝ, J.: *Geodetická astronomie 10*. Skripta. ČVUT Praha, 1998, 254 s.
- [15] KLOKOČNÍK J.: *Pakalova hrobka je astronomicky orientovaná*. *Vesmír* 90 (12) (2011), 712–713.
- [16] KLOKOČNÍK, J., KOSTELECKÝ, J., VONDRÁK, J., VÍTEK, F.: *Astronomická a neastronomická orientace významných starověkých staveb Mesoameriky a další pozoruhodnosti z cesty do Mexika, Guatemaly a Hondurasu na jaře 2005*. Preprint. Astronomický ústav AV ČR, Ondřejov, 2005.

- [17] KLOKOČNÍK, J., KOSTELECKÝ, J., VÍTEK, F.: *Pyramids and ceremonial centers in Mesoamerica: were they oriented using a magnetic compass?* *Studia Geophys. et Geod.* 51 (2007), 515–533.
- [18] KLOKOČNÍK, J., KOSTELECKÝ, J., BÖHM, V., BÖHM, B., VONDRÁK, J., VÍTEK, F.: *Correlation between the Mayan calendar and ours: Astronomy helps to answer why the most popular correlation (GMT) is wrong.* *Astronom. Notes (Astronom. Nachr.)* 329 (2008), 426–436, doi: 10.1002/asna.200710892a.200710892.
- [19] KLOKOČNÍK, J., HADRAVA P.: *Singende Pyramidentreppen und mögliche Zeremonien für Quetzalcoatl bei den Maya der klassischen Epoche.* *AmerIndian Research* 6/2 (20) (2011), 118–120.
- [20] KLOKOČNÍK, J., KOSTELECKÝ, J.: *Palenque: Sonnenkult und Wasserspiele.* *AmerIndian Research* 7/2 (24) (2012), 102–108.
- [21] KLOKOČNÍK, J., KOSTELECKÝ, J.: *Teotihuacan: Ausrichtung und Wasserbecken auf der Straße der Toten.* *AmerIndian Research* 7/1 (23) (2012), 34–40.
- [22] KORTE, M., CONSTABLE, C. G.: *Spatial and temporal resolution of millennial scale geomagnetic field model.* *Adv. Space Res.* 41 (2008), 57–69, doi: 10.1016/j.asr.2007.03.094.
- [23] KORTE, M., GENEVEY, A., CONSTABLE, C. G., FRANK, U., SCHNEPP E.: *Continuous geomagnetic field models for the past 7 millennia.* *G3: Geochemistry, Geophysics, Geosystems* 6 (2005), # 1, 32 s. a # 2, 18 s.
- [24] LUBMAN, D.: *An archaeological study of chirped echo from the Mayan pyramid of Kukulkan at Chitzen Itza.* Meeting Acoustic Soc. Amer., Norfolk, VA, 12–16 Oct. 1998.
- [25] LUBMAN, D.: *Singing stairs.* *Science News* 155 (1999), 44–45.
- [26] LUBMAN, D.: *Convolution-scattering model for staircase echoes at the Temple of Kukulkan.* Conf. Acoustics 08, June 29–July 4 2008, Paris.
- [27] MACGOWAN, K.: *The orientation of Middle American sites.* *American Antiquity* 11 (1945), 118.
- [28] MALMSTRÖM, V. H.: *Mesoamerica knowledge of magnetism in pre-Columbian.* *Nature* 259 (5542) (1976), 390–391.
- [29] MALMSTRÖM, V. H.: *A reconstruction of the chronology of Mesoamerican calendar systems.* *J. Hist. Astr.* 9, part 2 (1978) (hlavně str. 105–116).
- [30] MALMSTRÖM, V. H.: *Pre-Columbian magnetic sculptures in Western Guatemala.* Rukopis bez určení, zda a kde byl publikován, 1981, převzato z www.dartmouth.edu/~izapa.
- [31] McELHINNY, M. W., MCFADDEN, P. L.: *Paleomagnetism, continents and oceans.* Academic Press, London, 2000.
- [32] MORLEY, S. G.: *The ancient Maya.* Univ. Press, Stanford, 1956 (též český překlad, Orbis, Praha, 1977).
- [33] NOVOTNÝ, B., a kol.: *Encyklopédia archeológie.* Bratislava, 1986.
- [34] PAVELKA, K., KLOKOČNÍK, J., KOSTELECKÝ, J.: *Astronomicko-historické otazníky Mesoameriky a Peru.* Nakl. ČVUT, Praha, 2013, 287 s.
- [35] STINGL, M.: *Tajemství indiánských pyramid.* Orbis, Praha, 1971.
- [36] ŠPRAJC, I.: *Astronomical alignments at Teotihuacan, Mexico.* *Latin Amer. Antiquity* 11 (4), (2000), 403–415.
- [37] ŠPRAJC, I.: *More on Mesoamerican cosmology and city plans.* *Latin Amer. Antiquity* 16 (2005), 209–216; s řadou dalších referencí.