

# Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

---

Otakar Buzek; Jan Čermák  
Čas a kmitočet

*Pokroky matematiky, fyziky a astronomie*, Vol. 25 (1980), No. 3, 144--155

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/138777>

## Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 1980

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



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

seminář úzce zaměřený jen na vyřešení Whitmanova problému. Když koncem října 1976 projížděl Prahu kanadský matematik A. DAY, odnesl si pod dojmem toho, co uslyšel na našem semináři (GORALČÍK, JEŽEK, KOUBEK, PUDLÁK, SLAVÍK, TŮMA), přesvědčení, že problém je na spadnutí. Musím říci, že nám se situace takto nejevila, ale zase bylo příjemné, že nás berou tak vážně.

Ukázalo se, že A. Day měl pravdu, když vycítil, že už schází jen pár maličkoků, aby se nepřehledná hromada nastřádaných detailů propojila v bezvadně skloubený celek precizního mnohostupňového důkazu. Tato závěrečná fáze proběhla v překvapivém tempu. Ještě před vánocemi Pudlák s Tůmou telefonují na fakultu a oznamují, že se to povedlo. První byl u telefonu doc. Hedrlín, volal mne – „vem si to, takovej telefonát máš jenom jednou za život“.

Po závatném pocitu radosti se okamžitě dostavila střízlivá myšlenka: musí se to důkladně ověřit, než se to pustí ven (Igošin!). Prvním spolehlivým ověřovatelem důkazu byl dr. Ježek. Ten prohlásil, že je to dobře, způsobem vylučujícím jakoukoli pochybnost. To je všechno pěkné, ale matematik si řekne, tím hůř, je-li tam chyba, tak musí být zatraceně skrytá. Teprve potvrzení, jež přišlo spolu s blahopřáním od nejzajímavějších a tedy nejkritičtějších matematiků, jako jsou BIRKHOFF GRÄTZER, SCHMIDT, SCHÜTZENBERGER, WILLE a další, rozptýlilo poslední pochybnosti a výsledek mohl být ohlášen. Hypotéza stará nejméně třicet let byla konečně dokázána.\*)

Cesta k řešení nebyla lehká a trvala šest let. Jiří Tůma k tomu říká, že nejdůležitější bylo naučit se pracovat, to znamená vypracovat si vlastní přístup a jít v něm dost dlouho, a že pracovní návyky je třeba získávat v určitém nezaměnitelném pořadí.

V současné době se hodně mluví o zapojování studentů do práce na vědeckých problémech. Přimlouvám se za to, aby byli zapojováni a aby se jim umožnilo vědecky pracovat – stojí to za to.

## Čas a kmitočet

*Otokar Buzek, Jan Čermák, Praha*

### 1. Úvod

Rychlý rozvoj vědy a techniky zasáhl v posledních letech i do tradičního oboru, jakým je chronometrie. Její těžiště se postupně přesunulo z rukou astronomů do rukou kvantových fyziků a elektroniků a dalo vzniknout chronometrii elektronické, která se stala

---

\*) Jednota čs. matematiků a fyziků udělila P. Pudlákovi a J. Tůmovi 1. cenu v soutěži vědeckých prací mladých matematiků za rok 1977. (Pozn. redakce.)

nedílnou součástí dnes stále více se osamostatňující vědeckotechnické oblasti — oblasti přesného času a kmitočtu (dále jen PČK). Kvantová fyzika spolu s moderní elektronikou umožnily zavést do měření času a kmitočtu zásadní změny, které posunuly jeho přesnost o několik řádů. V důsledku těchto změn je dnes sekunda, jednotka časového intervalu, určována ze všech základních fyzikálních veličin daleko nejpřesněji, přibližně o čtyři řády přesněji než například jednotka délky, která co do přesnosti následuje. Časový interval nebo jemu reciproká veličina kmitočet jsou navíc přirozenou vlastností elektromagnetického pole, a proto je lze na rozdíl od mnoha jiných fyzikálních veličin snadno rozšiřovat. Přesně definovaný a snadno reprodukovatelný časový interval může být pak základem k vytváření velice přesných a rovnoměrných časových stupnic, kterých je třeba při řízení různých procesů ve složitých systémech.

Třebaže přesný čas a kmitočet dnes prostupují většinu vědeckotechnických oblastí a jejich potřeba je stále naléhavější v řadě průmyslových odvětvích, jsou informace z tohoto oboru v naší literatuře poměrně skoupé a ty, které existují, se povětšinou týkají dosti speciálních problémů. Považujeme proto za účelné vyplnit zmíněnou mezeru a poskytnout veřejnosti přehlednou informaci o současné situaci a problémech spojených s oborem přesného času a kmitočtu.

## 2. Fyzikální pojem času ([1] až [4])

Slovo čas má v češtině z fyzikálního hlediska dvojí, i když úzce související význam. Ptáme-li se například, v jakém čase doběhl sprinter 100 m na lehkotletických závodech, nezajímá nás, běžel-li v poledne nebo večer, nýbrž jak dlouho mu trval běh od startu do cíle. Ptáme-li se však na čas v souvislosti s koncertem, který hodláme navštívit, nezajímá nás zpravidla, jak dlouho koncert potrvá, ale kdy, tj. v kolik hodin koncert začíná. Ačkoliv má v obou případech odpověď fyzikální rozměr času, je zřejmé, že se významově od sebe liší. V prvním případě jde o časový interval, zatímco v druhém nás zajímá časový okamžik, který, máme-li jej časově zařadit, musíme vztáhnout k určité časové stupnici. Pojednejme nyní o obou pojmech blíže.

### 2.1. ČASOVÝ INTERVAL

Časový interval, jinými slovy časová odlehlost dvou událostí, je jednou ze základních fyzikálních veličin a jeho jednotka — sekunda je jako taková dána definicí. A právě definice sekundy v sobě odráží vývoj v chronometrii, která v nedávných letech prošla tak zásadními změnami.

Určovat lidem časový interval umožňovala odedávna sama příroda se svými periodickými procesy. Řečeno mluvou elektronika, přirozeným a přitom velice stabilním generátorem kmitočtu (časového intervalu) je například zeměkoule se svými periodickými pohyby. Proto také dřívější definice sekundy, kterým se nyní někdy říká *astronomické*, vycházely z těchto periodických pohybů Země, ať už kolem vlastní osy (do r. 1956) nebo kolem Slunce (do r. 1967). Původní definice sekundy (do r. 1956) předpokládala stálost rotace zemské (délku dne). Protože však jeden den představuje periodu příliš dlouhou,

je třeba k fyzikální realizaci sekundy pomocných hodin, které umožňují interpolovat čas mezi jednotlivými astronomickými určeními. A právě tyto původně pomocné hodiny, jejichž přesnost byla v průběhu doby neustále zvyšována, nakonec potvrdily, že úhlová rychlost otáčivého pohybu zeměkoule kolem osy vykazuje fluktuace charakterizované relativní odchylkou v řádu  $10^{-8}$ . Snaha o zpřesnění definice vedla v roce 1956 k zavedení nové sekundy, tentokrát na základě oběhu Země kolem Slunce. Časová stupnice založená na této sekundě, tzv. *efemeridové*, je sice rovnoměrnější, zato však sama sekunda je odvozována z periody daleko delší (tropický rok). Mezitím pokračoval rychlým tempem vývoj kvantové spektroskopie; na jeho základě bylo možné již v šedesátých letech realizovat generátory, jejichž stabilita kmitočtu je o několik řádů lepší, než je stabilita periodických pohybů Země. Navíc tyto generátory umožňovaly odvodit sekundu, tzv. *atomovou*, snadným dělením kmitočtu přímo a nikoliv obtížnou interpolací dlouhých časových intervalů. Situace se pomalu stávala neudržitelnou: na jedné straně definice sekundy, o níž se vědělo, že nevyhovuje, na druhé straně možnost definice nové, založené na kvantových procesech v atomech, která byla nepoměrně přesnější. Bylo proto zcela přirozené, když v říjnu 1967 přijala 13. všeobecná konference o mírách a váhách novou definici sekundy SI (Système International), která zní:

Atomová sekunda je délka intervalu vymezeného 9 192 631 770 periodami elektromagnetického záření odpovídajícího přechodu mezi energetickými hladinami  $F(3,0) \rightarrow F(4,0)$  základního stavu volného atomu cesia-133.\*)

Ačkoliv, jak uvidíme dále, sama definice nevyřešila všechny problémy, dá se říci, že jejím přijetím započala nová éra v oblasti přesného času a kmitočtu.

## 2.2. ČASOVÝ OKAMŽIK

Na počátku tohoto oddílu jsme se zmínili i o druhém aspektu fyzikálního pojmu čas – o časovém okamžiku, který vztahujeme k časové stupnici. Ten nás zajímá všude tam, kde čas slouží jako organizátor různých procesů, kde je třeba přisuzovat jej různým událostem, řadit události za sebou, jako je tomu v astronomii, v civilním životě a stále častěji i v jiných oblastech.

K vytváření časové stupnice je obecně třeba generátoru přesného časového intervalu a nějakého zařízení, které by od stanoveného počátku intervaly čítalo. Časový okamžik vztahovaný k takto vytvářené stupnici pak číselně představuje zvláštní časový interval, vztahovaný vždy k tomuto dohodnutému počátku. Aby bylo možné časové okamžiky přesně určovat, řadit za sebou a dlouhodobě je přisuzovat událostem, je třeba zachovávat kontinuitu časové stupnice a snažit se o její maximální rovnoměrnost. Je zřejmé, že rovnoměrnost časové stupnice je v přímé závislosti na časových intervalech, z nichž je vytvářena, jinými slovy na vlastnostech kmitočtového generátoru.

---

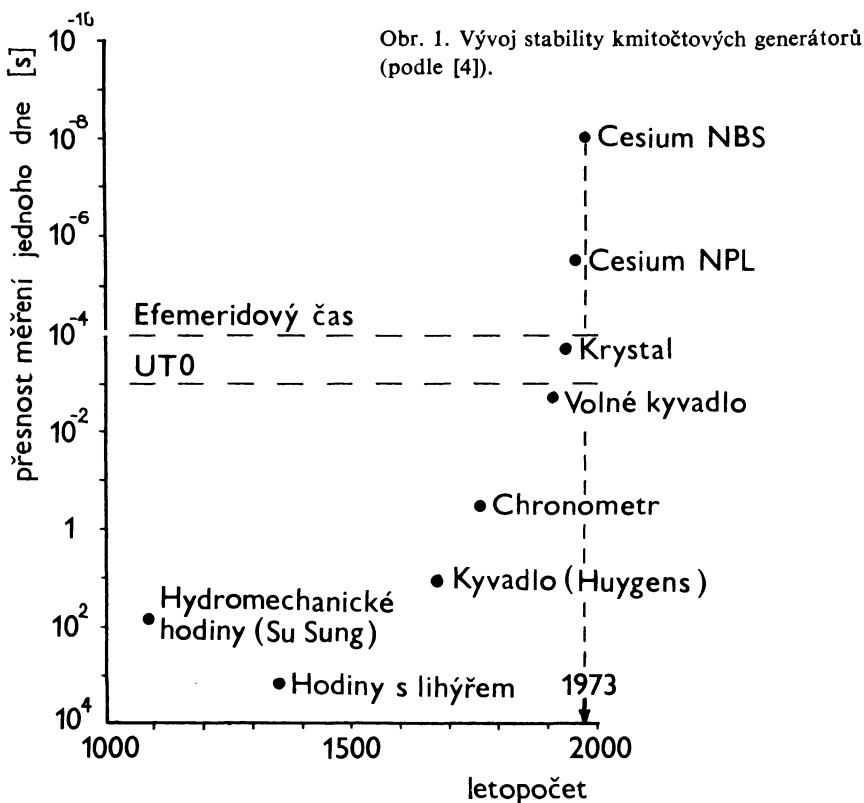
\*) V poslední době se definice atomové sekundy někdy rozšiřuje ještě o podmínku nulového vnějšího magnetického pole a také o redukci na úroveň hladiny moře, čímž se respektuje vliv gravitačního potenciálu na kmitočet plynoucí z obecné relativity.

### 3. Generátor přesného kmitočtu ([4] až [5])

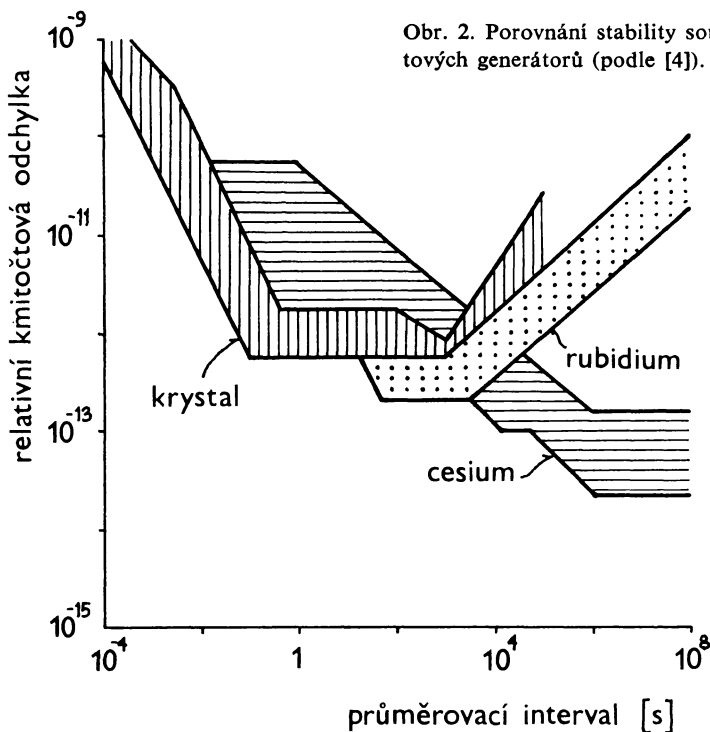
Z toho, o čem jsme dosud hovořili, lze si snadno představit, jak významnou roli hrají v chronometrii generátory přesného kmitočtu, ať už při realizaci sekundy SI nebo při vytváření rovnoměrné časové stupnice.

V současné době se za nejpřesnější kmitočtové generátory považují generátory řízené definovanou rezonancí atomů cesia-133 v laboratorních svazkových etalonech. Tyto etalony poskytují v rámci současných technických možností maximální přiblížení k definici sekundy a jsou proto pokládány za primární. Nejpřesnější z nich jsou uváděny do provozu na omezenou dobu a využívá se jich k periodické kalibraci sekundárních cesiových etalonů, které se vyznačují vysokou dlouhodobou stabilitou a které je možno udržovat v trvalém provozu po několik let. Nejlevnější z používaných kvantových etalonů jsou etalony rubidiové, které mají vysokou krátkodobou stabilitu, zato však vykazují s časem narůstající kmitočtovou odchylku, tzv. stárnutí.

V běžné průmyslové praxi se pro generaci přesných kmitočtů používají krystalové oscilátory. Ty jsou ve srovnání s kvantovými etalony nepoměrně jednodušší a levnější, a přitom jejich vlastnosti co do stability a přesnosti kmitočtu vyhovují v celé řadě různých aplikací.



Pro porovnání vlastností generátorů přesného kmitočtu bylo třeba definovat kmitočtovou stabilitu, ukazatele, který nejlépe vystihuje kvalitu generátoru. Otázka definice stability a jejího určování je poměrně složitá a bylo by nad rámec tohoto článku diskutovat ji podrobněji. Spokojme se s konstatováním, že se udává buď v časové oblasti (tzv. párovým rozptylem střední relativní kmitočtové odchylky v určitém časovém intervalu), nebo v kmitočtové oblasti, kde je jejím měřítkem spektrální hustota relativní kmitočtové odchylky.



Obr. 2. Porovnání stability současných kmitočtových generátorů (podle [4]).

Obr. 1 přehledně ukazuje, jak se vyvíjela dlouhodobá stabilita (měrný interval 1 den) různých generátorů kmitočtu za posledních tisíc let.

Na obr. 2 je pro ilustraci znázorněna kmitočtová stabilita současných generátorů v závislosti na měrném intervalu, v němž je kmitočet průměrován.

#### 4. Časová stupnice ([6] až [7])

V předešlých oddílech jsme konstatovali, že časové stupnice umožňují dlouhodobě určovat čas a přisuzovat jej událostem. V některých synchronních systémech se vystačí s časovými stupnicemi, které mají význam zcela interní bez definovaného vztahu k „vnějšmu“ času. Vzpomeňme např. velitelský čas letců, kdy si piloti srovnávají své hodinky podle velitele a nikoliv podle skutečného času. V mnohých systémech se s takovými

stupnicemi nevystačí, a je proto přirozenou snahou vytvořit jednotnou časovou stupnici platnou pro celý svět. Zdálo by se, že po přijetí atomové definice sekundy SI není nic snazšího: odpoutat se od astronomické časové stupnice a nechat odvíjet nezávisle atomový čas založený na sekundě SI. Existuje však řada problémů, které situaci poněkud komplikují. Zmíňme se alespoň o některých z nich. Jak víme, cesiové etalony, které mohou být v trvalém dlouhodobém provozu a z nichž je takováto atomová stupnice odvozena, neposkytují s největší možnou přesností sekundu SI. Tu poskytují již zmíněné laboratorní cesiové etalony, na nichž však nelze vzhledem k charakteru jejich provozu založit přímo časovou stupnici. V důsledku toho například časový interval mezi 12 h 0 min 0 s a 13 h 0 min 0 s stupnice založené na sekundárních cesiových etalonech nebude představovat beze zbytku 3 600 sekund SI. Tato skutečnost by z hlediska chronometrie nemusela tolik vadit, pokud by se přesto podařilo vytvořit pro celý svět jednotnou, rovnoměrnou stupnici a zachovat dlouhodobě její kontinuitu. To by šlo jednoduše jenom tehdy, kdyby byla stupnice odvozována od jednoho jediného etalonu, což je ovšem z praktických důvodů nemožné. Jakmile však vejde do hry více etalonů, jejichž kmitočty se vzájemně i když sebenepatrně liší a jejichž elektrické signály jsou zatíženy všudypřítomným šumem, dojde nutně k vzájemné divergenci stupnic odvozených od jednoho a druhého etalonu. Stojíme pak před otázkou, kterou ze stupnic brát v úvahu, případně jakým způsobem je vzájemně váhovat při vytváření mezinárodní atomové časové stupnice. Je zajímavé připomenout, že s tímto problémem se nesetkáváme při vytváření stupnice astronomické, neboť ta je vytvářena právě na základě pouze jediného generátoru kmitočtu.

V současné době je situace taková, že se celosvětově užívají tyto časové stupnice:

1. *astronomická časová stupnice UT* (z angl. Universal Time).

Stupnice je založena na původní astronomické sekundě a má přes již zmíněnou nerovnoměrnost stále svůj význam v astronomii, navigaci i v civilním životě. V závislosti na různých korekcích je dále specifikována jako UT0, UT1 a UT2. Stupnice UT0 představuje střední sluneční čas nultého poledníku získaný z přímých astronomických pozorování; stupnice UT1 je UT0 s korekcí na flukтуаční pohyb zemských pólů a konečně UT2 je UT1 s korekcí na malé sezónní fluktuace rychlosti otáčivého pohybu Země.

2. *atomová stupnice TAI* (z franc. Temps Atomique International).

Je odvozena ze souboru cesiových svazkových etalonů. Počátek stupnice je určen definičně okamžikem 0 h 0 min 0 s dne 1. ledna 1958 stupnice UT2. Tato vysoce rovnoměrná stupnice se odvíjí od té doby na čase UT2 zcela nezávisle. Postupně se došlo k závěru, že soubor cesiových etalonů určujících TAI vykazuje vůči primárním laboratorním etalonům relativní kmitočtovou odchylku  $1 \cdot 10^{-12}$ . Ve snaze vyřešit tento nedostatek bylo v roce 1977 rozhodnuto provést korekci v kmitočtu, tuto odchylku odstranit a provádět podle potřeby v dvouměsíčních intervalech další korekce ve skocích  $1 \cdot 10^{-13}$  (tzv. „steering“). Původní kmitočtová nekorigovaná stupnice je zachována a udržována dále pod názvem EAL (z franc. Echelle Atomique Libre).

3. *koordinovaná stupnice UTC* (z angl. Universal Time Coordinated).

V důsledku nestejnosti astronomické a atomové sekundy dochází k vzájemným fluktuacím a dlouhodobé divergenci mezi UT1 a TAI, což by po delší době mohlo vést

princiálně k podobným problémům, jaké bylo nutno řešit při historických reformách kalendáře. Problém byl vyřešen zavedením tzv. koordinované stupnice UTC, založené na atomové sekundě SI a vztažené ke stupnici TAI takto:

Počátek stupnice UTC 0 h 0 min 0 s dne 1. ledna 1972 odpovídá času 0 h 0 min 10 s dne 1. ledna 1972 stupnice TAI. Od té doby je podle potřeby obvykle jednou do roka, a to 1. ledna v 0 h 0 min 0 s UTC, tj. 01 h 0 min 0 s středoevropského času, vložena nebo vypuštěna ze stupnice TAI celá sekunda (zatím docházelo pouze ke vkládání) tak, aby časový rozdíl UTC – UT1 nepřevýšil toleranci  $\pm 0,7$  s. Tímto způsobem si zachovává stupnice UTC vysokou rovnoměrnost stupnice TAI, zároveň však udržuje kontinuitu se stupnicí UT1.

Funkci koordinátora při vytváření časových stupnic TAI a UTC plní Mezinárodní úřad pro čas (BIH – Bureau International de l'Heure) se sídlem v Paříži, s nímž spolupracují i československé instituce. Časové laboratoře vlastní vhodné kvantové etalony kmitočtu vytvářejí své vlastní časové stupnice, které si mezi sebou porovnávají a výsledky zasílají do BIH. Tam jsou tyto výsledky matematicky zpracovávány a podle nich je vytvářena stupnice UTC a TAI. Odchytky UTC – UTC(i), případně TAI – TA(i) jsou pak následně publikovány v oběžnících vydávaných BIH. Je třeba si uvědomit, že časová stupnice UTC je stupnicí papírovou, tj. reálně neexistuje. Reálně existují pouze některé jednotlivé stupnice UTC(i).

## 5. Porovnávání časových stupnic ([8] až [10])

Každá laboratoř PČK vytvářející svou vlastní stupnici UTC(i) má eminentní zájem na jejím porovnávání se stupnicemi ostatních laboratoří. Vždyť právě z výsledků těchto porovnávání je získávána informace směrodatná pro posouzení stability vlastních hodin.

V současné době se pro porovnávání časových stupnic běžně používají tyto tři metody:

### 1. Převoz hodin

Je nejpřesnější z existujících metod a spočívá ve fyzickém převozu atomových hodin. V místě  $A$ , kde je vytvářena stupnice  $T(A)$ , se v čase  $t_{A0}$  zjistí odchylka od času přenosných hodin  $t_{A0} - t_{H0}$ , hodiny se převezou do místa  $B$ , kde se v čase  $t_{B1}$  zjistí odchylka  $t_{B1} - t_{H1}$  a převoz se uzavře návratem do místa  $A$  a určením odchylky  $t_{A2} - t_{H2}$ . Ze zjištěných hodnot se pak vypočte vzájemná odchylka  $t_{A1} - t_{B1}$ . Pokud převoz netrvá déle než několik dnů, dá se při pečlivé realizaci měření dosáhnout přesnosti porovnání lepší než 100 ns.

### 2. Televizní metoda

Tato metoda, umožňující porovnávání s přesností lepší než 1  $\mu$ s, vychází ze skutečnosti, že televizní síť je výborným prostředkem k přenosu časové informace vzhledem k velké šířce pásma televizního kanálu a vysoké stabilitě přenosové cesty televizního signálu. Její princip spočívá v určení rozdílu časových intervalů mezi sekundovými impulsy stupnic  $T(A)$ , resp.  $T(B)$  a prvním následným snímkovým synchronizačním impulsem TV signálu, který vychází ze společného zdroje a je přijímán ve smluvenou



dobu v místě  $A$  i  $B$ . Pokud je znám rozdíl dob šíření TV signálu od společného zdroje k místům  $A$  i  $B$  (tzv. diferenciální zpoždění), lze z uvedených měření zjistit velice přesně časový rozdíl  $T(A) - T(B)$ . Poněvadž je perioda snímkových synchronizačních impulsů rovna 20 ms, je třeba znát předem časový vztah porovnávaných stupnic s přesností lepší než 10 ms (polovina periody), jinak by docházelo ke dvojznačnosti. Není bez zajímavosti, že televizní metoda má svůj původ v Československu.

### 3. Loran-C

Název pochází z anglického LOng RAnge Navigation a je určen navigačnímu systému, jehož signálem je dnes pokryta velká část severní polokoule. Systém má výhodné vlastnosti pro časové účely, a proto se ho využívá k porovnávání časových stupnic. Je tvořen řetězci vysílačů obsahujícími jednu stanicí řídicí a dvě nebo více stanic podružných. Výhoda systému spočívá v možnosti oddělení přízemní a prostorové vlny a tím vyloučení jejich vzájemné interference. Nosný kmitočet 100 kHz, jakož i všechny ostatní kmitočty ze spektra vysílaného signálu jsou odvozeny z cesiových etalonů, což jim zaručuje velkou přesnost a dlouhodobou stabilitu. Prostřednictvím Loranu-C lze dosáhnout přesnosti porovnání lepší než 1  $\mu$ s.

### 6. Sdělování PČK

Výhoda sdělování PČK je více než zřejmá. Vždyť cesiové etalony jsou stále ještě velice nákladnými zařízeními a zdaleka ne každý zájemce si jejich pořízení může dovolit, nehledě na to, že požadavky na přesnost času nebo kmitočtu nejsou vždy natolik přísné, aby je nebylo možno uspokojit způsoby mnohem levnějšími. Pokud jde o čas, je konec konců nutné vzájemně si jej porovnávat a tomu se nevyhnou ani ti, kteří používají cesiových etalonů. Proto také, přísně vzato, patří i předešlé metody pro přesná porovnávání časových stupnic do metod sdělování PČK. Povšimněme si nyní některých dalších metod, ne sice již tak přesných, zato však využitelných v širším měřítku.

Důležitou roli při sdělování PČK plní rozsáhlá síť speciálních stanic vysílajících takřka po celém světě různé signály PČK. Stanice pracují v pásmech velmi dlouhých, dlouhých a krátkých vln a jejich nosné kmitočty i další kmitočty ze spektra signálu jsou obvykle odvozeny od kvantových etalonů, jejich časové signály jsou pak vztahy k času UTC. Některé stanice vysílají i kódovanou časovou informaci, která umožňuje automatické řízení a nastavování hodin na rozsáhlých územích. Poskytovaná přesnost a stabilita kmitočtu, případně přesnost časové informace jsou ovlivňovány řadou faktorů, jako jsou například vlastnosti šíření elektromagnetického pole, šíře přenášeného pásma, způsob modulace, vzdálenost, poměr signálu k šumu v místě příjmu a v neposlední řadě i způsob zpracování signálu. Přesnost časové informace těchto stanic obvykle nepřevyšuje 1 ms, pokud se však jejich signály řídí pouze kmitočet místních generátorů, lze vytvářet časové stupnice s rovnoměrností mnohdy lepší než 1  $\mu$ s. Určujícím faktorem je zde hlavně vzdálenost od vysílače. Bližší informace o stanicích PČK lze najít v ročenkách vydávaných BIH.

K prostředkům sdělování PČK lze řadit i některé navigační systémy (například

OMEGA) i některé systémy družicové. Využití družic k přenosu časové informace je velmi perspektivní, v současné době se však signály přenášené družicemi dosud nehodí k všeobecnému použití, neboť systémy se často mění.

## 7. Přesný čas a kmitočet v Československu [11]

V Československu se speciálně oborem PČK zabývají tři instituce, které spolu na tomto poli velice úzce spolupracují. Jsou to Ústav radiotechniky a elektroniky ČSAV (ÚRE) a Astronomický ústav ČSAV (AsÚ) v Praze a Československý metrologický ústav v Bratislavě (ČSMÚ).

V oddělení přesného času a kmitočtu ÚRE je umístěn a v nepřetržitém chodu udržován národní kmitočtový etalon, z něhož se odvozuje československá časová stupnice UTC(TP)\*. Ve spolupráci ÚRE s AsÚ se UTC(TP) koordinuje se světovou časovou stupnicí UTC definovanou BIH. V AsÚ se kromě toho nezávisle určuje astronomický čas UT1. Obecněji řečeno ÚRE je odpovědný za kmitočet, zatímco AsÚ za fázi (čas). Třetí ze spolupracujících institucí – ČSMÚ vytváří svou nezávislou časovou stupnici UTC(ČSMÚ) odvozenou od cesiového svazkového etalonu, kterou pomocí televizní metody pravidelně porovnává s UTC(TP).

### 7.1. ČASOVÁ STUPNICE UTC(TP)

Stupnice je odvozena od cesiového svazkového etalonu Hewlett-Packard, udržovaného v chodu, jak už bylo řečeno, v ÚRE. Etalon zde má zaručeny konstantní vnější podmínky, nutné k zajištění nejvyšší stability. Kromě konstantních vnějších podmínek vyžaduje etalon, a to platí pro každý generátor přesných kmitočtů, co nejméně vnějších zásahů do svého provozu. Proto také etalon ÚRE vytváří svou časovou stupnici zcela volně, i když jeho současný kmitočet zcela neodpovídá definici sekundy SI. Teprve z této volně vytvářené stupnice, které se někdy říká strojová, se pomocí tzv. mikrodenominace kmitočtu odvozuje koordinovaná stupnice UTC(TP). Mikrodenominace spočívá v periodickém posuvu fáze\*\*) výstupního signálu v krocích 100 ps, přičemž periodu kroků lze podle potřeby měnit. Tak například průměrnou relativní kmitočtovou odchylku  $1 \cdot 10^{-13}$  lze dosáhnout periodickým fázovým skokem o 100 ps každých 1 000 s.

Stupnice UTC(TP) se pomocí televizní metody pravidelně porovnává se stupnicemi UTC vytvářenými v těchto institucích:

ČSMÚ Bratislava

PTB (Physikalisch-Technische Bundesanstalt), Brunšvik, NSR

ZIPE (Zentralinstitut für Physik der Erde), Postupim, NDR

ASMW Amt für Standardisierung, Messwesen und Warenprüfung, Berlín, NDR

\*) TP — Tempus Pragense

\*\*) V oblasti PČK je zvykem udávat fázi ve tvaru  $\varphi/2\pi f_0$ , kde  $\varphi$  je fáze v radiánech a  $f_0$  je nominální kmitočet.

DHI (Deutsches Hydrographisches Institut), Hamburg, NSR  
OMH (Országos Mérésügyi Hivatal), Budapešť, Maďarsko  
Gosstandart, Moskva, SSSR

Kromě těchto pravidelných měření dochází čas od času k porovnání stupnice UTC (TP) s jinými stupnicemi přímým převozem hodin. Například v roce 1978 byly uskutečnĚny tři převozy a provedena tato porovnání:

UTC(TP) – UTC(PKNM), Polsko,  
UTC(TP) – UTC(SSSR),  
UTC(TP) – UTC(IEN), Itálie,  
UTC(TP) – UTC(OP), Francie.

### 7.3. VYSÍLÁNÍ SIGNÁLŮ PČK

Sdělování PČK hraje svou důležitou roli i v Československu. V současné době vysílají na našem území tři stanice PČK: dlouhovlnná OMA-50 kHz a krátkovlnné OMA-2,5 MHz a OLB-3,17 MHz.

Stěžejní význam má stanice OMA-50 kHz vysílající z Liblic u Českého Brodu signály PČK s vyzářeným výkonem kolem 5 kW. Nosný kmitočet stanice je na dálku fázově řízen z ÚRE a navázán tak na UTC(TP). Kromě velice přesného nosného kmitočtu obsahuje signál časové značky (sekundy a minuty) a jako jedna z mála stanic přenáší OMA-50 kHz i kódovanou časovou informaci o minutách a hodinách UTC, dnu, měsíci, dnu v týdnu a informaci o letním a zimním čase v ČSSR. Pro zajímavost uvedme, že v ÚRE byly zkonstruovány hodiny řízené tímto signálem, které se automaticky nastavují s přesností lepší než 10 ms na celém našem území. Předpokládá se, že nynější vyzářený výkon stanice zajistí spolehlivou funkci hodin v okruhu asi 2 000 km, a tak si lze v současné době těžko představit vhodnější prostředek pro zajištění časové jednotnosti s milisekundovou přesností na celém našem území.

## 8. Závěr

Zavedení nové definice sekundy SI na kvantovém základě je důsledkem skutečnosti, že kmitočet elektromagnetického záření odpovídající změně kvantového stavu atomů nebo molekul se vyznačuje mimořádnou stálostí principiálního charakteru. Přitom relativní rozlišovací schopnost v řádu  $10^{-13}$  až  $10^{-14}$  představuje v současné době vrchol možností v poznávání přírodních jevů. Předpokládá se, že extrémní přesnost kmitočtových měření bude mít zásadní význam i pro další vývoj soustavy základních fyzikálních jednotek. Po vyřešení a zvládnutí kmitočtové transformace mezi mikrovlnnou a optickou oblastí se jeví perspektivně možným společný kvantový etalon kmitočtu a vlnové délky se zajímavými důsledky pro definici jednotek času, délky a rychlosti světla. Podobně využití Josephsonova jevu skýtá možnost opřít definici jednotky elektromotorické síly o definici jednotky času. Přechod od jediného klasického etalonu času (kmitočtu), kterým byla Země, k celé soustavě etalonů kmitočtu, z nichž každý se s větší

či menší přesností přibližuje k fyzikální definici sekundy, přináší s sebou řadu problémů. Mnohé otázky teoretické i praktické povahy, často velmi živě diskutované na stránkách odborného tisku i na mezinárodních konferencích, nejsou dodnes plně vyřešeny.

Cílem článku bylo proto podat nezavázanému čtenáři stručný přehled o současném stavu tohoto oboru ve světě i u nás. Jak už to však bývá, každý přehledový článek tohoto typu přináší s sebou nevýhodu širokého záběru, který nedovolí zacházet do přílišných podrobností a nutí autory k co největší stručnosti. Není tomu jinak ani v našem článku, a proto vážnější zájemce o náš obor odkazujeme na literaturu, kterou jsme se snažili vybrat tak, aby na každý oddíl navazovaly dvě až tři stěžejní práce.

### Poděkování:

*Autoři děkují tímto způsobem ing. Jiřímu Tolmanovi, vědeckému pracovníku ÚŘE ČSAV, za cenné rady a připomínky při psaní tohoto článku.*

### Literatura

- [1] SMITH, H. M.: *The Determination of Time and Frequency*. Proc. Inst. Elec. Eng. (England), 98, část II, 143—153.
- [2] ESSEN, L.: *The Measurement of Time*. Vistas in Astronomy, Volume 11, Pergamon Press, Oxford — New York, 1968, 45—67.
- [3] PTÁČEK, V.: *Čas a rotace Země*. Vesmír č. 10, 1971, str. 295.  
Hvězdářská ročenka 1978, ročník 54. (Sestavili J. BOUŠKA, VL. GUTH, B. ONDERLIČKA, JAR. RUPRECHT a spolupracovníci.) Academia, Praha 1977.
- [4] BLAIR, B. E., ET AL.: *Time and Frequency: Theory and Fundamentals*. NBS Monograph 140, (1974).
- [5] BARNES, J. ET AL.: *Characterization of Frequency Stability*, IEEE Trans. on Instrumentation and Measurement, IM—20, 1971, 105—120.
- [6] *Rapport Annuel pour 1977*. BIH, Paříž 1978.
- [7] *Fundamentals of Time and Frequency Standards*. Hewlett-Packard Application Note 52—1, 1974.
- [8] *Timekeeping and Frequency Calibration*. Hewlett-Packard Application Note 52—2, 1975.
- [9] TOLMAN, J., PTÁČEK, V., SOUČEK, A., STECHER, R.: *Microsecond clock Comparison by Means of TV Synchronizing Pulses*. IEEE Trans. on Instrumentation and Measurement, IM—16, 1967, č. 3, 247—254.
- [10] POOTS, C. E., WIEDER, B.: *Precise Time and Frequency Dissemination via the Loran-C System*. Proc. IEEE, 60, 1972, květen, 530—539.
- [11] ČERMÁK, J., BUZEK, O.: *Sdělování času stanicí OMA-50 kHz*. Slaboproudý obzor, č. 2., 1979

## Šest století české vědecké terminologie

Tento příspěvek není historickou studií z dějin českého jazyka; chce jen upozornit na málo známé skutečnosti, které se týkají jazyka našich oborů.

První pokroky matematiky, fyziky a astronomie v našich zemích jsou spojeny se založením pražské univerzity v polovině 14. století. Výuka aritmetiky, geometrie, astronomie, fyziky a me-

chaniky probíhala na ní v latině — jazyku středověké vědy. Klasifikační charakter základů tehdejší vědy přinášel ohromné množství latinských termínů, které si studenti museli rychle osvojit. Předběžná příprava v latině nebyla asi pro mnohé české studenty dostatečným základem, nerozuměli výkladům a textům.

Tato situace podnítila mistra BARTOLOMĚJE z CHLUMCE k účinné pomoci studentům artistické fakulty — psal pro ně veršované skladby, ve kterých je učil latinské terminologii pomocí českých názvů. Jeho cílem nebylo pěstovat vědu v národním jazyce, ale vysvětlit význam jednotlivých latinských slov jejich českými ekvivalenty srozumitelnými studentům slovanského původu. Tak vznikly mimo jiná díla i tři rozsáhlé slovníky s několika tisíci dvojic latinských a českých termínů — *Vokabulář, Bohemář a Glossář*. Podle latinské podoby autorova jména — CLARETUS DE SOLENCIA — se nazývají *Klaretovy slovníky*. Mistr KLARET nepochybně použil plné slovní zásoby živého jazyka; kde však tato zásoba nestačila, tvořil vlastní české termíny — novotvary. Některé se mu podařilo vytvořit ústrojně, jiné jsou dosti násilné (zejména složeniny překládal „doslova“, aby napověděl znění latinského, řeckého či řeckolatinského termínu).

Klaretovy slovníky se šířily v opisech (jeden z dochovaných exemplářů se nazývá „prešpurský rukopis“). Byly vzorem pro mnoho podobných děl až do 16. století. V době úpadku českého jazyka v 17. a v 18. století se staly středem zájmu J. DOBROVSKÉHO, který připravoval jejich souborné vydání. K tomu sice nedošlo, ale v r. 1833 V. HANKA vydal z nich určitý výběr, který velmi silně ovlivnil obrozenecké tvůrce odborné terminologie v JUNGMANNOVĚ KROUŽKU. Díky těmto zvláštním historickým osudům moderní česká odborná terminologie převzala mnoho z odborné terminologie doby Karla IV. Při plynulém vývoji odborného jazyka by patrně rozdíl byly větší, než se jeví teď.

Posuďte sami:

Názvy přirozených čísel zněly v době mistra Klareta přesně tak, jak je říkáme dnes (jeden, dva, tři, čtyři, pět, ..., deset, sto, tisíc), rovněž řadové číslovky (první, druhý, třetí, ..., tisíci), dvakrát, třikrát, ..., stokrát, dvojí, trojí, ..., tře-

tina. Slova „číslo, zákon, dělení, rovnost“ byla v oběhu už také před 600 lety.

Názvy květín, stromů, ovoce, měsíců, částí lidského těla, nemocí, řemeslníků, pracovních nástrojů, vlastností předmětů máme dnes v češtině většinou zcela stejné. (Namátkou uvedu příklady: náprstník, strom, les, keř, kořen, ořech, javor, šípek, jahody, trnky, hloh, hlava, pleť, rty, žláza, plíce, hrdlo, hrtan, česka, článek, neštovice, obrna, nádor, neduh, kýla, otok, oblost, velikost. Těžko mezi nimi rozeznáme slova vytvořená Klaretem od těch slov, která se ve 14. století běžně používala.)

Nezvykle dnes znějí slova, kterými si mistr Klaret vypomohl, aby napověděl latinský termín: *čtena* (litera), *slovna* (termín), *řečena* (logika), *pich* (punkt, bod), *kútek* (úhel), *trojekút* (triangl, trojúhelník), *hubenka* (cifra, číslice), *čercha* (linie, čára), *rohovět* (pyramida, jehlan).

Nepříliš zdařilé nám připadají překlady typu: *právěpiš* (ortografie), *slovočtena* (gramatika), *chytromuž* (sofista), *múdro mil* (filozof), *slučířeč* (sylogismus). Víme, že podobné termíny se objevovaly i později u tzv. puristů.

A jak bychom Klaretovým jazykem nazývali sami sebe, své obory, svou práci?

*Vtípněř* (matematik), *zkušitel* (experimentátor), *hvězdář* (astronom), *početmíra* (aritmetika), *měrozemna* (geometrie), *přirozena* (fyzika), *posluchač*, *zvykání* (cvičení), *snažení* (studium), *čtení* (přednáška), *učenník* (žák), *změřena* (rozměr, dimenze), *tvárný* (formální), *tělesný* (hmotný), *hnutí* (pohyb), *křída*, *list*, *svazek*, *pero*, *opisa* (text).

I tento skromný výčet termínů ukazuje jednak slova, která v jazyce žila po celých 600 let nebo byla obnovena v době obrození, jednak slova nahrazená výstižnějšími termíny. V každém případě je práce Klaretovy skupiny ve 14. století pozoruhodným dokladem rozmachu naší národní kultury v té době.

P.S. Klaretovy slovníky lze jistě považovat za dílo akademické, tím více překvapuje samozřejmost, s jakou naplno uvádí řadu slov, která se dnes většinou v tisku nahrazují prvním písmenem a čtyřmi či více tečkami. Jsou to tedy slova věčně živá, s dlouhou historií.

Jaroslav Šedivý