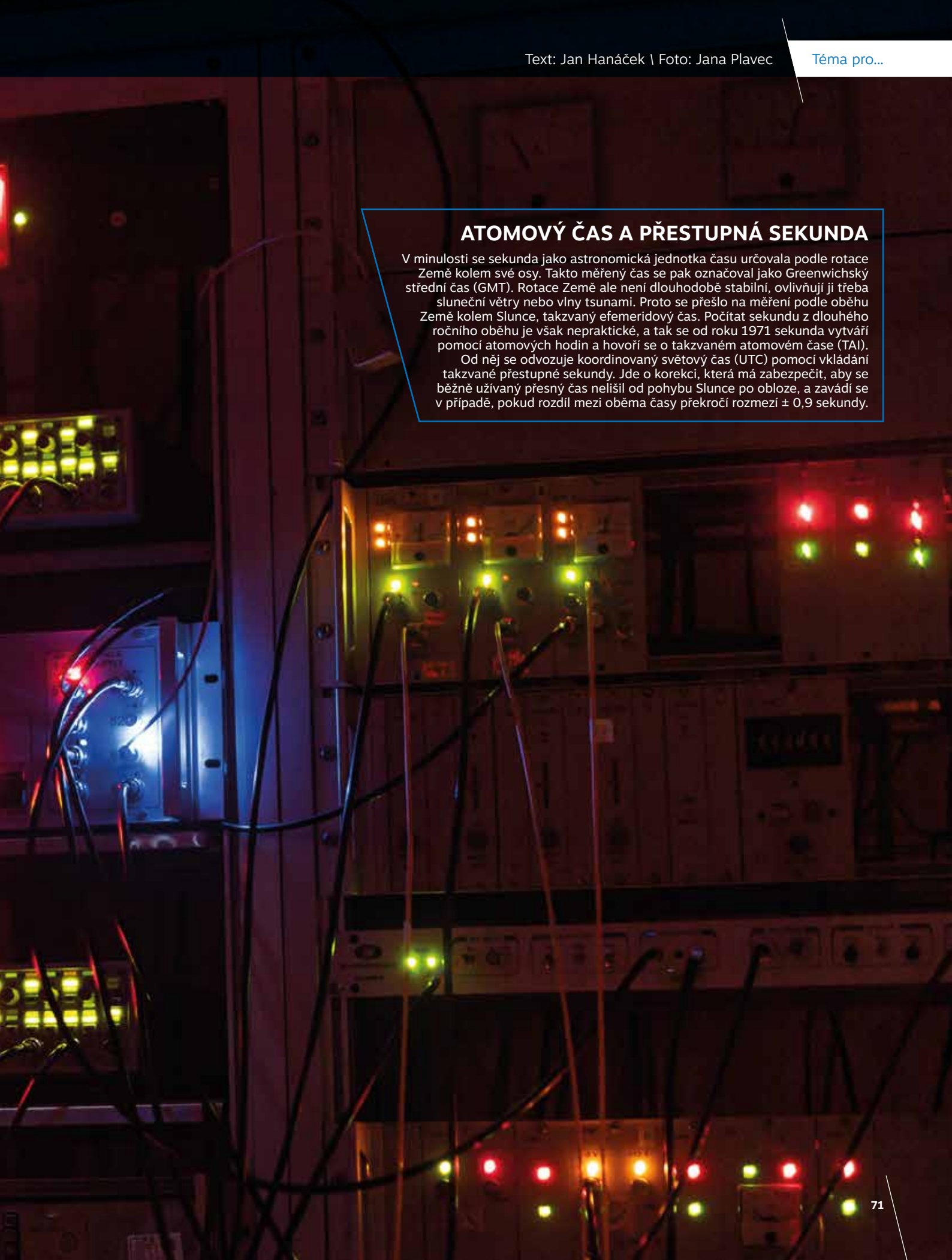
STRÁŽCI PŘESNÉHO ČASU

Nikdy ho nemáme dostatek a každý den se snažíme nějaký ušetřit. Kdo ale měří a definuje čas samotný?



ATOMOVÝ ČAS A PŘESTUPNÁ SEKUNDA

V minulosti se sekunda jako astronomická jednotka času určovala podle rotace Země kolem své osy. Takto měřený čas se pak označoval jako Greenwichský střední čas (GMT). Rotace Země ale není dlouhodobě stabilní, ovlivňují ji třeba sluneční větry nebo vlny tsunami. Proto se přešlo na měření podle oběhu Země kolem Slunce, takzvaný efemeridový čas. Počítat sekundu z dlouhého ročního oběhu je však nepraktické, a tak se od roku 1971 sekunda vytváří pomocí atomových hodin a hovoří se o takzvaném atomovém čase (TAI). Od něj se odvozuje koordinovaný světový čas (UTC) pomocí vkládání takzvané přestupné sekundy. Jde o korekci, která má zabezpečit, aby se běžně užívaný přesný čas nelišil od pohybu Slunce po obloze, a zavádí se v případě, pokud rozdíl mezi oběma časy překročí rozmezí ± 0,9 sekundy.

Pokud chceme zjistit skutečně přesný čas, musíme se vydat do budovy Ústavu fotoniky a elektroniky AV ČR. Najdeme jej v nenápadné laboratoři Státního etalonu času a frekvence. Nejedná se o laboratoř v obvyklém smyslu slova, ale pracoviště metrologické. V potemnělé místnosti bez oken, za skleněnou výplní a dveřmi s nápisem „nevstupovat“ poblikávají desítky rudých a zelených diod. Patří k přístrojům, které neúnavně zpracovávají signál přicházející hlouběji z podzemí budovy, kde se za těžkými kovovými dveřmi v malé komoře skrývá odpověď. Dvojice cesiových hodin vytvářející přesný čas. Neúnavně pracující ve tmě a za regulované teploty 23 °C.

Už od počátku devadesátých let minulého století se přesný český čas, označovaný jako Tempus Pragense, měří a definuje právě tady. Zdejší přidružená laboratoř Českého metrologického institutu, který spravuje etalony neboli standardy všech jednotek soustavy SI, vznikla těsně po rozpadu Československa. Do té doby se většina etalonů nacházela na území našich východních sousedů. „Rozhodlo se, že než budovat zcela novou laboratoř a síť, využijeme vybavení a zázemí, které Ústav fotoniky a elektroniky v té době měl k dispozici, a to včetně atomových hodin a navázané spolupráce s dalšími instituty,“ vysvětluje nedávnou historii Alexander Kuna, vedoucí laboratoře a jeden ze dvou současných pracovníků, kteří se o chod etalonu času starají. Většina měřicích úkonů je zde totiž automatizovaná, ponechána na citlivých přístrojích, kterým se člověk v přesnosti vůbec nemůže rovnat. Lidský zásah do jejich práce přichází jen v případě nutnosti.

DISTRIBUCE ČASU A FREKVENCE

Neznamená to však, že přístroje odvedou všechnu práci, samy atomové hodiny vyžadují hodně údržby. Kromě toho laboratoř plní celou řadu jiných úkolů. Rozvíjí síť českých etalonů a také zakládá podobná zařízení jinde po světě. Má za sebou spoluúčast na úspěšných projektech v Mongolsku, Makedonii nebo Bosně a Hercegovině. Důležitá je také distribuce přesného času, jež se děje převážně pomocí internetového FTP serveru. Jedinečný je tím, že na rozdíl od jiných serverů, které k synchronizaci používají čas z GPS, je přímo napojený na cesiové hodiny. Podobně probíhá distribuce času pomocí optických vláken. Mezi odběratele patří třeba ČVUT, CESNET nebo Ústav přístrojové techniky AV ČR, s nímž se v rámci Strategie AV21 plánuje výstavba a využití infrastruktury z optických kabelů pro přenos času a frekvence.

K hlavní náplni práce ale patří správa českého státního etalonu. Laboratoř se tak podílí na tvorbě světového koordinovaného času UTC. Stupnice, kterou zde naměří, se hlásí do Mezinárodního úřadu pro míry a váhy BIPM v Paříži. Ta na základě těchto a dalších dat z přibližně stovky podobných laboratoří po celém světě koordinovaný čas vypočítá.

K tomu laboratoř nepřispívá jen vlastní dvojicí atomových hodin, do výpočtu se nasazují i jiné kvantové etalony po celém Česku. Pražská laboratoř slouží pro centrální správu měření času na našem území. „Idea je taková, že pokud má nějaký ústav nebo instituce k dispozici vlastní cesiové nebo atomové hodiny, naváže je na nás. My je nahlásíme do Francie a pak se také podílejí na výpočtu koordinovaného času UTC,“ říká Alexander Kuna a poznamenává, že z celkového množství globálních měření tak přibližně jedno procento pochází od nás.

Každé atomové hodiny v Česku jsou pod drobnohledem, navázané na státní etalon pomocí optických vláken, satelitních navigačních systémů, například GPS. Pořídit si je ostatně nemůže každý. Nejde o přístroj pro radioamatéry, ale o mnohamilionovou investici. Sama cesiová trubice, srdce atomových hodin, se po několika málo letech provozu vyčerpá a je třeba ji pravidelně měnit. Jen ona vyjde na 1,5 milionu korun.

PŘESNÁ SEKUNDA A JEJÍ PŘIBLIŽNÉ MĚŘENÍ

V běžných analogových hodinách se frekvence jedné sekundy vytváří pomocí pohybu kyvadla. V digitálních určuje frekvenci oscilace křemenného krystalu. Atomové hodiny fungují na principu kvantového jevu, a právě proto se někdy označují jako hodiny kvantové. Jsou zdrojem vysoce stabilní frekvence, ze které se čas posléze odvozuje měřením. V atomu cesia, při změně jeho energetického stavu, přeskočí elektron do jiné vrstvy obalu, a tím se uvolní nebo pohltí elektromagnetické záření. Jeho frekvence je přibližně 9,2 GHz a je tak stabilní, že je na něm postavená současná definice základní jednotky času, sekundy. Cesiové hodiny se rozcházejí maximálně o jednu sekundu za 15 milionů let.

Čekat ale na to, až atom cesia sám od sebe změní svůj stav a vyzáří energii, není praktické. Etalony tedy fungují na opačném principu. Vyberou se specifické atomy, které se nacházejí v nižším energetickém stavu, a zářením o zmíněné frekvenci se jim dodá energie. Detektory následně nahlásí, jestli se změnu podařilo vyvolat. Důležité je ladění etalonu, při kterém se vědci snaží dosáhnout toho, aby se změna pokud možno dotkla všech atomů cesia v trubici. Z frekvence záření se nakonec vypočítá jedna sekunda. Ta je v současnosti definována jako doba trvání 9 192 631 770 period záření, které odpovídá přechodu mezi dvěma hladinami velmi jemné struktury základního stavu atomu cesia 133.

To je však definice ideální, cesiový atom by při tomto scénáři měl být v klidu, při teplotě absolutní nuly a naprosto bez vnějších vlivů. Proto jsou cesiové hodiny, jakkoli přesné, pouhou realizací

„Díky nám se data ze všech atomových hodin v Česku podílejí na výpočtu světového koordinovaného času UTC.“

Alexander Kuna

sekundy a svou naměřenou hodnotou se definici přibližují. „Je to podobné jako s rychlostí světla ve vakuu. I ta je jednoznačně přijatou konstantou, nemá žádnou nejistotu a ani žádnou přesnost. Zkrátka je definitivní," vysvětluje Alexander Kuna. Reálná rychlost šíření světla, podobně jako zde realizovaná sekunda, je ovlivněná okolnostmi a má oproti konstantě výchylky. Někdy se tedy i čas o něco zpozdí.

JEDNOTKA V SAMÝCH ZÁKLADECH VĚDY

Výchylky jsou ale neuvěřitelně malé. Člověk si ani nedovede představit, v jakých měřítkách se v laboratoři pracuje. Frekvence a od ní odvozený čas jsou nejpřesněji realizovatelné a měřitelné veličiny a žádnou jinou není možné vytvářet s takovou jistotou. Všechny ostatní etalony jednotek ze soustavy SI, jako je kilogram, ampér, metr nebo kelvin, mají o několik řádů vyšší nejistotu, a tak se od jednotky času odvozují. Stabilita cesiových hodin dosahuje řádu 10^{-15}. Oproti tomu například maximální přesnost odvozeného kilogramu se pohybuje v řádech 10^{-8}. Z toho důvodu vědci pro svá měření využívají čas všude, kde je to jen možné. Práce na etalonu stojí v základech vědeckého bádání.

Etalon tak není důležitý jen v metrologii, tedy oboru zabývajícím se měřením technických a fyzikálních veličin. O přesně měřenou stabilní frekvenci se opírají i jiné obory, třeba telekomunikace. Ostatně atomová frekvence se od sedmdesátých let až do rozšíření internetu šířila prostřednictvím televizního signálu. Platí, že čím stabilnější je frekvence, tím užší frekvenční pásmo je potřeba a o to více kanálů je možné přenášet.

Vysoká přesnost v řádech stovek nanosekund je nutná také při synchronizaci mobilních sítí nové generace. I jejich nastavení je navázané na frekvenci vytvářenou cesiovými hodinami. Ve většině využití, mimo vědu samou, ale není natolik přesný čas, jaký vytváří státní etalon, potřeba. Jsou od něho však odvozené.

Ing. ALEXANDER KUNA, Ph.D.

ÚSTAV FOTONIKY A ELEKTRONIKY AV ČR

Vedoucí laboratoře Státního etalonu času a frekvence, expert na přesné porovnávání a distribuce času prostřednictvím satelitních navigačních systémů, optických telekomunikačních sítí nebo měření frekvenční stability a fázového šumu v krystalových oscilátorech. Je řešitelem mnoha úspěšných projektů rozvíjejících obor metrologie.

DYNAMICKÝ ROZVOJ MĚŘENÍ ČASU

Kromě cesiových hodin se v současnosti používají hodiny rubidiové, které jsou ovšem méně přesné, tvoří takzvané sekundární etalony. Naopak mnohem přesnější než cesium jsou vodíkové masery. Jejich frekvence je však stabilní jen krátkodobě a provoz je výrazně náročnější. „V novodobých etalonech najdeme i další prvky, jako je hliník, stroncium nebo ytterbium. Tvoří takzvané optické hodiny, které pracují jen s jedním atomem a využívají záření o frekvenci stovek terahertzů, což je záření, jehož frekvence se nachází v optické oblasti spektra. Proto se jim říká optické hodiny," vysvětluje Alexander Kuna technologii, která je ještě o několik řádů přesnější než cesiové hodiny. Výstavbu takového zařízení plánuje Český metrologický institut na rok 2026. Má nahradit současnou laboratoř. Pokrok v metrologii znamená posun v přesnosti. V historii používané artefaktové etalony, jako je platino-iridiová tyč definující jeden metr, nahradily takové, které se definují pomocí fyzikálních konstant. Času se to týká také. V budoucnosti jistě dojde k dalším změnám definice sekundy, bude založená na fungování kvantového jevu v atomu, jen s jiným prvkem, na jiné frekvenci a s vyšší jistotou. Navzdory poklidné atmosféře, která v laboratoři státního etalonu času a frekvence vládne, je metrologie dynamický obor plný změn.