



Česká metrologická společnost

Novotného lávka 5, 116 68 Praha 1

tel/fax: 221 082 254

e-mail: cms-zk@csvts.cz

www.csvts.cz/cms

Kalibrační postup

KP 6.1.2/02/14

DIGITÁLNÍ STOPKY

Praha
Říjen 2014

Vzorový kalibrační postup byl zpracován a financován ÚNMZ v rámci Plánu standardizace – Program rozvoje metrologie

Číslo úkolu: VII/2/14

Zadavatel: Česká republika – Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, organizační složka státu

Řešitel: Česká metrologická společnost

Zpracoval: Doc. Ing. Jiří Horský, CSc.

© ÚNMZ, ČMS

Neprodejné: Metodika je volně k dispozici na stránkách ÚNMZ a ČMS. Nesmí však být dále komerčně šířena.

1 Předmět kalibrace

Tento kalibrační postup je určen pro kalibraci ručně spínaných měřidel časových intervalů s mechanickým ovládáním (časoměrných zařízení, digitálních stopek, dále jen stopek).

Měřenou veličinou je časový interval.

Princip kalibrace spočívá v porovnání údajů kalibrovaných stopek a přesných elektronických hodin realizovaných na počítači s pomocí internetu. Podrobněji viz poznámka 1 v příloze.

Kalibrační postup je v souladu s požadavky dokumentů [1], [2], [3], [4].

Kalibrační postup je určen převážně pro nekomerční použití, kdy je použitý program freeware. Pro komerční použití jsou podrobnosti uvedeny v poznámce č. 4 na konci tohoto kalibračního postupu. Při komerční kalibraci stopek se při dostatečné opakovatelnosti používá podle vybavení laboratoře často bezkontaktní snímání frekvence referenčního generátoru stopek nebo porovnání kalibrovaných stopek s přesnějším měřičem času (čítačem) [1].

2 Související normy a metrologické předpisy

- | | | |
|--|--|------------|
| Jeff C. Gust, Michael A. Lombardi, | <i>Stopwatch and Timer Calibrations</i> (Edition 2010) | [1] |
| INTERNATIONAL ASSOCIATION OF ATHLETICS FEDERATIONS (IAAF) Edition 2010 | NIST Special Publication 960-12 <i>IAAF Calibration and Testing Manual</i> | [2] |
| - | http://www.sp.se/en/index/services/timekeeper and stopwatch/sidor/default.aspx | [3] |
| Measurement Standards Laboratory of New Zealand ISO 10553:2003 | Measurement Standards Laboratory of New Zealand “ <i>Horology – Procedure for evaluating the accuracy of quartz watches</i> ” | [4] [5] |
| - | ITTC – <i>Recommended Procedures Sample Work Instructions Calibration of Chronometers with Digital Indication</i> | [6] |
| Doc. Ing. Horský Jiří, CSc. | <i>Kalibrace zařízení pro měření času nejjednoduššími prostředky</i> , Metrologie, 2/2013, strana 13 | [7] |
| Doc. Ing. Horský Jiří, CSc. | <i>Metrologie času a frekvence v praxi</i> , Metrologie 3/2012, str. 6 | [8] |
| C. M. Tsui, Y. K. Yan, and H. M. Chan | <i>Calibration of Stopwatches by Utilizing High Speed Video Recordings and a Synchronous Counter</i> Vol. 6 No. 3 • September 2011 NCSLI Measure | [9] |
| - | <i>Fundamentals of Quartz Oscillators</i> , Application Note 200-2 Agilent | [10] |
| - | SPTimeSync je klient pro MS Windows ke stažení na (http://www.spdialer.com/timesync/) | [11] |
| - | test reakce je na http://www.bbc.co.uk/science/humanbody/sleep/sheep/ | [12] |
| ILAC-P14:01/2013 | <i>Politika ILAC pro nejistoty při kalibraci ILAC</i> , Policy for Uncertainty in Calibration Překlad ČIA - duben 2013 | [13] |
| | http://www.spdialer.com | [14] |
| | http://www.thinkman.com/dimension4/default.htm | [15] |

3 Kvalifikace pracovníků provádějících kalibraci

Kvalifikace pracovníků provádějících kalibraci stopek je dána příslušným předpisem organizace. Pracovníci se seznámí s tímto kalibračním postupem. Kalibrovat by neměli pracovníci, kteří užívají léky snižující pozornost. Doporučuje se reakční doby pracovníků prověřit vhodným způsobem testy reakční doby. Podrobněji viz poznámka 2 v příloze.

4 Názvosloví, definice

Názvosloví a definice jsou obsaženy v příslušných normách (viz čl. 2), zejména v TNI 01 0115 a v publikacích věnovaných metrologické terminologii a krystalovým oscilátorům [1], [9], [10], [11].

5 Prostředky potřebné pro kalibraci

- **Počítač** s připojením na internet
- Nainstalovaný freeware **program SP TimeSync**.
- Nastaveno připojení SP TimeSync na časový server **ntp2.ufe.cz**. nebo jiný server stratum 1 nebo stratum 2, ke kterému je z místa měření dobré internetové připojení.
- Doporučený server je **ntp2.ufe.cz**.
- **Teploměr** na monitorování teploty prostředí.

5.1 Návaznost

Etalon času ČR zajišťuje Laboratoř Státního etalonu času a frekvence (přidružená laboratoř ČMI)

Ústav fotoniky a elektroniky, Akademie věd ČR, v. v. i.

Chaberská 57, 18251, Praha 8 - Kobylisy, Česká republika

Distribuce času UTC (TP) je služba pro veřejnost. Přesný čas UTC (TP) je nepřetržitě šířen v síti Internet protokolem NTP (Network Time Protocol) pomocí časového serveru **ntp2.ufe.cz**. Časový server **ntp2.ufe.cz** je přímo navázaný na UTC (TP), tedy na národní časovou stupnici vytvářenou v Ústavu fotoniky a elektroniky (ÚFE), Akademie věd ČR.

5.2 Program SP TimeSync

Doporučeno je použít program SP TimeSync stažený z <http://www.spdialer.com/timesync/>

Pro nekomerční použití je tento program freeware. Pro komerční použití viz podrobněji v poznámce č. 4 na konci tohoto kalibračního postupu.



obr. 1 Panely programu SP TimeSync

V okně **Time client** nastavíme:

Volíme časový NTP **server** stratum 1 nebo stratum 2. Doporučeno je TimeCZ.

Adresa časového serveru TimeCZ je: **ntp2.ufe.cz**.

V okně **Synchronizace každých** nastavíme periodu synchronizace času. Je doporučeno nastavit na 1 hodinu nebo více, aby server nebyl zbytečně zatěžován, při kalibraci nebude automatická synchronizace využita.

Načtení času do použitého počítače z internetu při kalibraci je provedeno vždy znovu před měřením ručně pokyny **načti čas z internetu** a **seřídít čas v okně časová informace**.

Je možné použít i jiný program umožňující dosáhnout obdobné vlastnosti jako SP TimeSync (například Dimension 4 aj. Pro nekomerční použití je tento program freeware, pro komerční použití viz podrobněji v poznámce č. 4 na konci tohoto kalibračního postupu.

6 Obecné podmínky kalibrace

Kalibrace stopkek se provádí v běžných laboratorních (pokojových) podmínkách $23^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ s relativní vlhkostí vzduchu v rozsahu (20 - 75) % při ustálené teplotě. Doporučuje se $(23 \pm 2)^{\circ}\text{C}$. V průběhu kalibrace by nemělo docházet ke změnám teploty větším, než cca 2°C . Při kalibraci stopky zbytečně dlouho neohříváme držením v ruce.

7 Rozsah kalibrace

Digitální stopky jsou extrémně lineární zařízení. Proto postačí kalibrace jen pro jeden časový interval, který volíme co nejdelší, doporučeno je 24 hodin. (Některé stopky zobrazí čas nejvíce do 10 hodin, ale obvykle počítají dále, jen zobrazují znovu od nuly, takže je možné použít i u těchto stopkek delší časy měření.

Nejistota měření je určena převážně vlivem ručního spínání. Chyba vlivem rozdílu reakční doby obsluhy při zapnutí a při vypnutí stopkek je dominantní složka nejistoty. Relativní vliv rozdílu reakční doby při sepnutí a při vypnutí stopkek je tím menší, čím je doba měření delší. (Chyba vlivem reakční doby obsluhy nezávisí na délce měření, a proto se pro delší dobu měření uplatní relativně méně). Nejistota měření pro průměrného pracovníka vlivem reakční doby je obvykle pod 0,3 s a nezávisí na době měření.

Podrobněji viz poznámka 4 v příloze.

8 Kontrola dodávky a příprava ke kalibraci

8.1 Kontrola dodávky

Kontrola, zda jsou stopky jednoznačně identifikovatelné. Pokud nemají uvedeno výrobní číslo, musí se dohodnout se zadavatelem kalibrace, jak budou jednoznačně identifikovány.

8.2 Čištění a předběžná kontrola

Vnější prohlídka stopek, zda stopky nemají viditelné závady a nejsou mechanicky poškozené. Kontrola displeje, zda je v celém rozsahu čitelný a všechny segmenty jsou funkční. Málo kontrastní displej obvykle signalizuje vybitou baterii, kterou je nutné vyměnit. Kontrola spolehlivosti spínacích tlačítek (opakované zapnutí a vypnutí stopek). Stopky, které nevyhovely při vnější prohlídce, se vyřadí z dalších zkoušek.

8.3 Příprava měřidla

Před kalibrací jsou stopky nejméně 15 minut v prostředí, kde bude provedena kalibrace. Před kalibrací je počítač zapnutý nejméně 15 minut.

9 Postup kalibrace

Zaznamenáme podmínky měření, to je:

- teplota (23 ± 5) °C

Etalonový čas odečítáme na počítači synchronizovaném pomocí programu SP TimeSync

V **SP TimeSync** Otevřeme okno **Časová informace**.

- Klikneme na: **Seřídít čas**.
- Klikneme na: **Načti čas z internetu**.
- Pokud je **rozdíl** menší než 0,05 s, je navázání vyhovující, případně můžeme kroky **Seřídít čas** a **Načti čas z internetu opakovat**, až bude **rozdíl** blízký k nule.

Zkontrolujeme (a zapíšeme do záznamu z měření).

- **Rozdíl** časů místního v počítači a serveru (pod 0,05 s vyhovuje).
- **Zpoždění** na síti pod 0,05 s vyhovuje, pokud je nad, zkusíme znovu. Pokud i nyní není navázání vyhovující,
- zkusíme zvolit jiný časový server nebo jinou dobu kalibrace.

Start

kalibrace provedeme ve zvolený čas zobrazený v **SP TimeSync**, okno **časová informace**, řádek **místní čas**.

V okamžiku, kdy naskočí zvolený místní čas, zobrazený jako **místní čas** v SP time Sync, **sep-**
neme stopky.

Stop

Ve zvolený čas k ukončení měření, například za asi 24 hodin,

- podle SP time Sync znovu **načteme čas z internetu**.

Zkontrolujeme (a zapíšeme do záznamu z měření),

- **Rozdíl** časů místního v počítači a serveru (pod 0,05 s vyhovuje),
- **Zpoždění** na síti pod 0,05 s vyhovuje),

Pokud je **rozdíl** nebo **zpoždění nad 0,05 s**, zkusíme zopakovat postup

- Klikneme na: **Seřídít čas**,
- Klikneme na: **Načti čas z internetu** a zkontrolujeme, zda je výsledek lepší.

V okamžiku, kdy naskočí námi zvolený čas ukončení měření, zobrazený jako **místní čas** v SP time Sync, vypneme stopky.

Měříme-li více stopek současně, zapínáme a vypínáme je v časech se zvolenou prodlevou, například po 1 minutě.

10 Vyhodnocení kalibrace

Výstupní veličinou při kalibraci měřidel časového intervalu je absolutní chyba údaje kalibrovaných stopek pro příslušné hodnoty měřeného časového intervalu. Pro jinou dobu měření se dosáhne přepočtením:

- **minuta**, značka **min**, 1 min = 60 s,
- **hodina**, značka **h**, 1 h = 60 min = 3600 s,
- **den**, značka **d**, 1 d = 24 h = 86 400 s.

Nejprve přepočteme údaj času na sekundy,

$N = \text{Naměřený čas} = \text{naměřeno sekund} + 60 \times \text{naměřeno minut} + 3600 \times \text{naměřeno hodin} = N_S$,

$E = \text{Etalonový čas} = \text{zobrazeno sekund} + 60 \times \text{zobrazeno minut} + 3600 \times \text{zobrazeno hodin} = E_S$.

Chyba stopek ΔT_{24h} pro čas přepočtený na 24 h v sekundách je

$$\Delta T_{24h} = (N_S - E_S) \times 86\,400 / N_S$$

Do kalibračního listu zaznamenáváme naměřenou chybu přepočtenou na zvolený časový interval, obvykle podle užití stopek to je 1 den (24 hodin) nebo 1 hodina.

Poznámka pro informaci:

Například, pokud je pro použití vyhovující, aby chyba vlivem nepřesnosti referenčního oscilátoru stopek byla menší než 0,1 s pro dobu měření 5 minut, pak naměřená chyba za 24 hodin nesmí být větší než 29 s.

Stopky často nemají v dokumentaci uvedenou specifikaci (uvádí se často jenom rozlišení, které se zaměňuje se specifikací).

Dobré stopky mívají chybu pod 5 s za den a drift časové základny cca 1 s za měsíc.

11 Kalibrační list

Výsledky měření by měly být uváděny v souladu s normou ČSN EN ISO 17025 a jejího článku 5.10 – Uvádění výsledků. Jednou z forem je kalibrační list.

11.1 Náležitosti kalibračního listu

Kalibrační list podle normy ČSN EN ISO 17025 by měl obsahovat tyto údaje:

- a) název a adresu kalibrační laboratoře,
- b) pořadové číslo kalibračního listu, očíslování jednotlivých stran, celkový počet stran,
- c) jméno a adresu zadavatele, popř. zákazníka,
- d) název, typ, výrobce a identifikační číslo kalibrovaných stopek,
- e) datum přijetí stopek ke kalibraci (nepovinné), datum provedení kalibrace a datum vystavení kalibračního listu,
- f) určení specifikace uplatněné při kalibraci nebo označení kalibračního postupu (v tomto případě KP 6.1.2/02/14),
- g) podmínky, za nichž byla kalibrace provedena (hodnoty ovlivňujících veličin apod.),

- h) měřidla použitá při kalibraci,
- i) obecné vyjádření o návaznosti výsledků měření (etalony použité při kalibraci),
- j) výsledky měření a s nimi spjatou rozšířenou nejistotu měření a/nebo prohlášení o shodě s určitou metrologickou specifikací,
- k) jméno pracovníka, který stopky kalibroval, jméno a podpis odpovědného (vedoucího) pracovníka, razítko kalibrační laboratoře.

Výsledek měření se udává v souladu s ILAC-P14:01/2013 Politika ILAC pro nejistoty při kalibraci, bod 6.2 pro pravděpodobnost pokrytí přibližně 95 %. Proto se do kalibračního listu uvede:

„Uvedená rozšířená nejistota měření je součinem standardní nejistoty měření a koeficientu k , který odpovídá pravděpodobnosti pokrytí přibližně 95 %.“

Součástí kalibračního listu je též prohlášení, že uvedené výsledky se týkají pouze kalibrovaného předmětu a kalibrační list nesmí být bez předběžného písemného souhlasu kalibrační laboratoře publikován jinak než celý.

Pokud provádí kalibrační, resp. metrologická laboratoř kalibraci pro vlastní organizaci, může být kalibrační list zjednodušen, případně vůbec nevystavován (výsledky kalibrace mohou být uvedeny např. v kalibrační kartě měřidla nebo na vhodném nosiči, popř. v elektronické paměti). V tomto případě je vhodné, aby kalibrační laboratoř zpracovala záznam o měření (s uvedenými měřeními hodnotami) a archivovat jej.

Akreditovaná kalibrační laboratoř navíc uvede akreditační značku a odkazy na akreditaci, ILAC MRA i odkazů na signatářství mezinárodních dohod o vzájemném uznávání výsledků akreditace v souladu s pokyny v MPA 00-04-13, vydaném ČIA.

11.2 Protokoly

Originál kalibračního listu se předává zadavateli kalibrace. Kopii kalibračního listu si ponechá kalibrační laboratoř a archivuje ji po dobu nejméně pěti let nebo po dobu stanovenou zadavatelem zároveň se záznamem o kalibraci. Doporučuje se archivovat záznamy a kalibrační listy chronologicky. Výsledky kalibrace se mohou v souladu s případnými podnikovými metrologickými dokumenty zanášet do kalibrační karty měřidla nebo ukládat do vhodné elektronické paměti. Pokud jsou k dispozici výsledky více rekalibrací, doporučuje se sledovat trend driftu stopek (viz ČSN EN ISO 17025, odstavec 5.9.1) a podle toho případně opravit rekalibrační interval.

11.3 Umístění kalibrační značky

Po provedení kalibrace může kalibrační laboratoř označit kalibrované měřidlo kalibrační značkou, popř. kalibračním štítkem, nejčastěji s uvedením čísla kalibračního listu, datem provedení kalibrace, případně s logem laboratoře. Pokud to není výslovně uvedeno v některém interním podnikovém metrologickém předpisu nebo kupní smlouvě se zákazníkem, nesmí kalibrační laboratoř uvádět na svém kalibračním štítku datum příští kalibrace, protože stanovení kalibrační lhůty měřidla je právem a povinností uživatele.

12 Péče o kalibrační postup

Originál kalibračního postupu je uložen na podnikové síti nebo u jeho zpracovatele, další vyhotovení jsou předána příslušným pracovníkům podle rozdělovníku (viz čl. 13.1 tohoto postupu). Změny, popř. revize kalibračního postupu provádí jeho zpracovatel. Změny schvaluje vedoucí zpracovatele (vedoucí kalibrační laboratoře nebo metrolog organizace).

13 Rozdělovník, úprava a schválení, revize

Uvedený příklad je pouze orientační a subjekt si může tuto dokumentaci upravit podle interních předpisů o řízení dokumentů.

13.1 Rozdělovník

| Kalibrační postup | | Převzal | | |
|-------------------|---------------|---------|--------|-------|
| Výtisk číslo | Obdržel útvar | Jméno | Podpis | Datum |
| | | | | |

13.2 Úprava a schválení

| Kalibrační postup | Jméno | Podpis | Datum |
|-------------------|-------|--------|-------|
| Upravil | | | |
| Úpravu schválil | | | |

13.3 Revize

| Strana | Popis změny | Zpracoval | Schválil | Datum |
|--------|-------------|-----------|----------|-------|
| | | | | |

14 Stanovení nejistoty měření (příklad výpočtu)

Nejistota kalibrace se stanoví podle modelu EA 4/02, příloha 2 příklad S9 a podle doporučení a příkladu výpočtu v [1], str. 31 až str. 36

Předmět kalibrace: digitální stopky s rozlišením 0,01 s

Metoda přímého porovnání s etalonem - etalonové hodiny v PC, synchronizované s časovým serverem ([1], metoda nazvaná Direct Comparison Metod v NIST Special Publication 960-12).

Poznámka: pro zkrácení textu je pro pracovníka provádějícího kalibraci vhodné použít kratší pojem obsluha.

Hlavní složkou nejistoty je rozdíl reakčních dob obsluhy při sepnutí povelů start a stop.

Použité kalibrační zařízení: etalonové hodiny, zobrazené pomocí internetu a programu SPTi-meSync připojené k serveru stratum 1 ntp2.ufe.cz

Chyba frekvence serveru pro ntp2.ufe.cz zanedbatelná (2^{-20}) = ($9,5 \cdot 10^{-7}$)

Variabilita připojení etalonových hodin na internetu 0,03 s

Variabilita reakční doby obsluhy mezi zpožděním pro start a pro stop 0,12 s

Reakční čas obsluhy - směrodatná odchylka 0,20 s

V příkladech jsou použity mírně upravené reakční časy pracovníků podle [1].

Je vhodné a důrazně doporučené zkontrolovat měřením reakční dobu pro pracovníka, který provádí kalibrace stopek.

Celková kalkulace nejistoty

| Zdroj nejistoty | Hodnota ms | Typ | Rozložení | Citlivostní koeficient | Standardní nejistota ms |
|--|---------------|-----|----------------------|---------------------------|-------------------------------|
| Vliv reakční doby obsluhy | 120 | B | pravoúhlé | 1 | 69 |
| Reakční čas obsluhy - směrodatná odchylka | 200 | B | normální ($k = 1$) | 1 | 200 |
| Odchylka času při šíření internetem | 30 | B | pravoúhlé | 1 | 17 |
| Rozlišení stopek | 5 | B | pravoúhlé | 1 | 2,9 |
| Kombinovaná nejistota | | | | | 212 |
| Rozšířená nejistota | | | | | 350 |

Nejistota měření je určena převážně variabilitou reakční doby pracovníků, provádějících měření. Jde o dominantní složku výpočtu, a proto platí doporučení podle příkladu EA 4/02, příloha 2 příklad S9 a v tomto případě $k = 1,65$.

$$U = 0,212 \times 1,65 = 0,35 \text{ s}$$

V příkladu jsou zvoleny poměrně nepříznivé výsledky experimentu v [1], při zacvičené obsluze a soustředění na práci obvykle nepřesahuje nejistota 0,3 s.

15 Validace

Kalibrační metody neuvedené v normách nebo normativních dokumentech podléhají validaci v souladu s normou ČSN EN ISO/IEC 17025 čl. 5.4.5.1. Tato metodika je normalizovaná, viz [1] a [2]. Důrazně se doporučuje, aby uživatel této metodiky prověřil reakční dobu pracovníka. Validační zpráva je uložena v archivu sekretariátu ČMS.

Změny proti předchozímu vydání

Tento kalibrační postup byl upraven s přihlédnutím k novým metrologickým předpisům a normám a podle připomínek uživatelů. Dále byl doplněn o příklad stanovení nejistoty měření při kalibraci a validaci použité metody.

Upozornění

Kalibrační postup je třeba považovat za vzorový. Doporučuje se, aby jej organizace přizpůsobila svým požadavkům s ohledem na své metrologické vybavení a konkrétní podmínky. V případě, že střediskem provádějícím kalibraci je akreditovaná kalibrační laboratoř, měl by být kalibrační postup navíc upraven podle příslušných předpisů (zejména MPA a EA).

16 Přílohy

Příklad provedení kalibračního listu

Místo kalibrace: název a adresa pracoviště, kde byla provedena kalibrace
place of calibration

KALIBRAČNÍ LIST-

Certificate of Calibration

KL-číslo-rok

List 1 z 1 listu
page 1 of 1 pages

Datum vystavení: xxx
date of issue
Zákazník: xxxxx
Applicant
Měřidlo: digitální stopky s rozlišením 0,01 s
Instrument identification
Výrobce: xxxxxx
manufacturer
Typ: xxxxxx
model type
Výrobní číslo: xxxxxxx
serial numer

Kalibrační postup: KP 6.1.2/02/14
procedure

Etalon: hodiny, seřízená PC pomocí programu SP TimeSync, časový server **ntp2.ufe.cz**, který je přímo navázaný na UTC (TP), tedy na národní časovou stupnici vytvářenou v Ústavu fotoniky a elektroniky (ÚFE), Akademie věd ČR.

podmínky prostředí a měření:
environmental and measurement conditions

teplota (23,1 ± 1,5) °C
Měření provedeno pro časový interval 86 000 s

Naměřené výsledky a nejistota měření:
Measurement results and uncertainty of measurement

chyba časové základny kalibrovaných stopkek přepočtená na čas měření 24 h ΔT_{24h}

$$\Delta T_{24h} = (x,x \pm 0,3) \text{ s}$$

„Uvedená rozšířená nejistota měření je součinem standardní nejistoty měření a koeficientu **k**, který odpovídá pravděpodobnosti pokrytí přibližně 95 %.“

Standardní nejistota měření byla určena v souladu s dokumentem EA- 4/02.a ILAC-P14:01/2013

Měřil Xxxx
Person in charge

Informativní poznámka

Znaménko $-u \Delta T_{24h}$ znamená, že se stopky předbíhají.

Znaménko $+u \Delta T_{24h}$ znamená, že se stopky pozdí.

Tento dokument nesmí být bez písemného souhlasu provádějící laboratoře rozmnožován jinak než celý.
This certificate may not be reproduced other than in full, except with the prior written approval of the issuing laboratory.

Příklad

Záznam o měření stopek ke **KL-číslo-rok****Kalibrované stopky:**stopky SportPro
Typ: kk5898 Kenko**Etalon**PC + program SP TimeSync
Etalon: časový server TimeCZ**Rozsah měřidla:** 9 h 59 m 999 s**Etalon – Přesnost:** $(2^{-20}) = (9,5 \cdot 10^{-6})$ **Rozlišení:** 0,01 s**Výr. č. / Evid. č.:****Podatel:****Místo kalibrace:** lab xxxx

Použitý etalon je navázán na státní etalon času ČR.

Teplota okolí:

 $(23 \pm 5) ^\circ\text{C}$ Kalibrace byla provedena podle kalibračního postupu: ČMS **KP 6.1.2/02/14****Podmínky měření**

Počítače

Reference IP 127.127.22.0

Pracovní počítač ID zzzz

Signál z časového serveru TimeCZ , zobrazený pomocí SP TimeSync

NTP verze 4, stratum 1, měřicí čas cca 24 hodin

Dokumentace stavu připojení v době měření podle SPTimeSync

| | | |
|-----------------------------|-------|------|
| Zápis o měření stopek | Start | stop |
| Místní čas podle SPTimeSync | | |
| Rozdíl časů (s) | | |
| Zpoždění (s) | | |

Měření

| Měření | Den a čas STARTu Den (h, m, s, xxx) | Den a čas STOPu Den (h, m, s, xxx) | Přepočtená doba (s) |
|---------------------------|---|--|------------------------|
| Údaj etalonových hodin | | | Etalonový čas E_S |
| Údaj kalibrovaných stopek | 00,00,00,00 | | Naměřený čas N_S |

Chyba stopek ΔT_{24hod} pro čas přepočtený na 24 h v sekundách je

$$\Delta T_{24h} = (N_S - E_S) \times 86400 / N_S$$

Závěr:

chyba časové základny kalibrovaných stopek přepočtená na čas měření 24 h ΔT_{24h}

$$\Delta T_{24h} = (x,xx \pm 0,3) \text{ s}$$

Poznámky pro informaci:**Poznámka 1**

Digitální stopky patří k nejlevnějším měřicím přístrojům. Kvalitní stopky se prodávají za ceny už od

50 Kč. Proto je třeba navrhnout i dostatečně levnou metodu kalibrace.

V principu jsou 3 základní metody kalibrace

1. porovnání s etalonovými hodinami,
2. porovnání s přesnějším měřičem,
3. kalibrace měřením kmitočtu časové základny stopek.

Variantou je

- 1 **Fotometoda**, kde smyslem použití digitálního fotoaparátu je odstranit chyby a zpoždění při odečtu. Fotoaparát může při krátkém expozičním času zajistit současnost a větší rozlišení než je možné manuálně. Metodu je nutno pečlivě odladit a validovat.
- 2 **Metoda přímého porovnání s etalonovými hodinami**
 - Nevyžaduje odesílat stopky do kalibrační laboratoře.
 - Odstraní náklady na etalon a jeho kalibraci.
 - Je možné ji realizovat kdekoliv.

Proto byla zvolena v tomto postupu.

Je nejjednodušší s minimálními nároky na etalony, ale má největší nejistotu. Stopky se porovnávají s etalonovým signálem. Ten může být získán pomocí internetu, jak je popsáno v metodice. Uvažujeme-li se reakční doba obsluhy 0,3 s, pak nejistotu vlivem této doby ukazuje tabulka:

| hodiny | minuty | sekundy | Nejistota v % |
|--------|--------|---------|---------------|
| | | 10 | 3 |
| | 1 | 60 | 0,5 |
| | 10 | 600 | 0,05 |
| | 30 | 1800 | 0,005 6 |
| 1 | 60 | 3600 | 0,001 67 |
| 2 | 120 | 7200 | 0,004 2 |
| 6 | 360 | 21 600 | 0,001 4 |
| 12 | 720 | 43 200 | 0,000 69 |
| 24 | 1440 | 86 400 | 0,000 35 |

požadujeme-li přesnost kalibrace 0,02 %, pak při době reakce obsluhy 300 ms, je třeba měřit alespoň 1500 s, ale uvažujeme-li poměr nejistot při kalibraci 10:1, pak je doba měření již 1500 s. Podle *NIST Handbook 105-5* je vyhovující odchylka 2 s za 3 h (to je za 10 800 s). Každý člověk je jiný a proto je třeba zjistit experimentálně reakční dobu a její rozptyl pro každého pracovníka, který kalibruje stopky.

Smyslem kalibrace je hlavně stanovit, zda se může při měření uplatnit odchylka frekvence referenčního oscilátoru stopek, proto je hlavní výsledek kalibrace konstatování, že se stopky systematicky pozdí nebo předbíhají a udává se odchylka času měřeného stopkami, přepočtená na zvolený časový interval, například hodinu nebo den.

Poznámka 2

Pojem reakčního času

Při kalibraci musíme stopky tlačítkem zapnout a na konci měření zase vypnout. V tom je hlavní problém kalibrace, protože každý z nás má nějak *“dlouhé vedení“*, ke spínání je potřebný nějaký reakční čas. Ten se více uplatní při spínání stopek podle etalonových hodin a potlačen je při spínání kalibrovaného a referenčního měřiče současně. Odstranit se dá fotometodou s citlivým a rychlým digitálním fotoaparátém.

Nejjednodušeji vzato **je reakční doba čas, který uplyne od počátku vnímání podnětu do počátku vykonávání odezvy na tento stimul**. Rozšířený pojem reakční schopnosti přinesla publikace Human Factors Design Handbook 7 vymezující jednoduchý reakční čas jako nejkratší možný čas mezi momentem, kdy smysly detekují podnět a časem, v němž tělo začne vykonávat odezvu, přičemž komplexní reakční doba zahrnuje aditivně proces lidského myšlení. Dále je charakterizován tím, že úlohu, jejímž výstupem má být komplexní reakční čas, tvoří několik stimulů. Rozvinul se nový obor, Mentální chronometrie. Psychologové rozvíjejí a zdokonaľují duševní časomíru hlavně posledních 100 let. Ale už perský vědec Abū Rayhān al-Biruni (973-1048) byl první osobou, která popisovala koncept reakční doby; Sir Francis Galton je obvykle považován za zakladatele diferenciální psychologie, který se snaží zjistit a vysvětlit duševní rozdíly mezi jednotlivci. On byl první, kdo používal přísné testy na reakční čas s výslovným záměrem stanovení průměrů a rozsahů jednotlivých rozdílů duševních znaků u lidí. Jeho testy zahrnovaly výběr z více než 10 000 mužů, žen a dětí z londýnské veřejnosti.

Zkusit si orientačně reakční čas můžete na spoustě internetových měřičů, jako je:

<http://www.humanbenchmark.com/tests/reactiontime/>,

<http://www.topendsports.com/testing/reaction-timer.htm>,

<http://getyourwebsitehere.com/jswb/rttest01.html>,

<http://www.mathsisfun.com/games/reaction-time.html>,

Doporučuji si pohrát, milé je provedení tohoto testu se zastavováním prchajících oveček na:

<http://www.bbc.co.uk/science/humanbody/sleep/sheep/>.



Obr. 1 Měření reakční doby chytáním prchajících oveček podle BBC

Doba odezvy je součet reakční doby a navíc času pohybu. Jednoduchá reakční doba vyžaduje pro pozorovatele reagovat jen na přítomnost stimulu. Například může být subjekt vyzván ke stisknutí tlačítka stopek, jakmile se objeví světelné nebo zvukové znamení. Průměrná reakční doba pro odpočaté vysokoškoláky je asi 160 milisekund od sluchového stimulu, a přibližně 190 milisekund pro detekci na vizuální podnět. Sřední doba reakce pro sprintery na olympijských hrách v Pekingu byla 166 ms u mužů a 189 ms pro ženy.

| Faktor | Účinek | Popis |
|------------------|--------|--|
| Věk | - | Reakční doba se zkracuje u mužů i žen od dětství do 20 roku života. |
| Věk | + | Reakční doba pak pomalu roste od 20 let do věku 50 až 60 let. |
| Věk | ++ | Reakční doba se prodlužuje rychle od věku 60 let na 70 let a více. |
| Rušení | + | Prodlužuje reakční dobu, zejména u mladších osob. |
| Pohlaví | ± | Muži mají kratší reakční doby než ženy. |
| Aktivace | ± | Reakční doba je nejkratší při střední úrovni aktivace a prodlužuje se, když je člověk příliš relaxovaný nebo příliš napjatý. |
| Trénink | - | Trénink zkracuje reakční dobu. |
| Chyby | + | Při chybě ve výkonu (např. reakce před příchodem podnětu) se následná odpověď prodlouží, patrně z důvodu větší opatrnosti. |
| Únava | + | Reakční doba se prodlužuje s únavou, zejména při složitějších úlohách. |
| Únava | ++ | Duševní únava, a zejména ospalost mají největší vliv na prodlužování reakční doby. |
| Léky | + | Tlumivé léky prodlužují reakční dobu. |
| Stimulanty | - | Zkracují reakční dobu, pokud příliš nezvýší celkovou aktivaci. |
| Hladina alkoholu | 0 | Pod 0,3 promile se reakční doba v podstatě nemění. |
| Hladina alkoholu | ++ | Nad 0,3 promile se reakční doba zvyšuje kvadratickou funkcí. |
| Varování | - | Obecně jsou reakční doby kratší, pokud osoba ví, že podnět brzy přijde. |

Tabulka č. 1: Přehled vlivů na reakční dobu

Bylo dokázáno, že vzhledem k momentální úrovni pozornosti je v individuální odezvě značné množství variability, která proto **nemá tendenci sledovat normální (Gaussovo) rozdělení**.

Při kalibraci považují za vhodnější volit horní mez rozsahu reakčního času a obdélníkové rozdělení.

Při kalibraci záleží vliv reakční doby na druhu kalibrace.

Kalibrujeme-li stopky podle etalonových hodin, které sledujeme, můžeme předvídat okamžik sepnutí a reakční čas může být i záporný.

Kalibrujeme-li stopky podle etalonových hodin, které průběžně nesledujeme (například až zazní zvuk) je čas delší.

Kalibrujeme-li stopky proti přesnějším, současným spínáním obou stopek, jsou dosažitelné časy kratší a jsou dány hlavně rozdíly mezi spínací reakcí měřidel.

Kalibrujeme-li stopky podle etalonových hodin, není nejdůležitější zpoždění pro okamžik sepnutí a zpoždění pro okamžik vypnutí stopek, ale rozdíl v těchto časech a jeho variabilita.

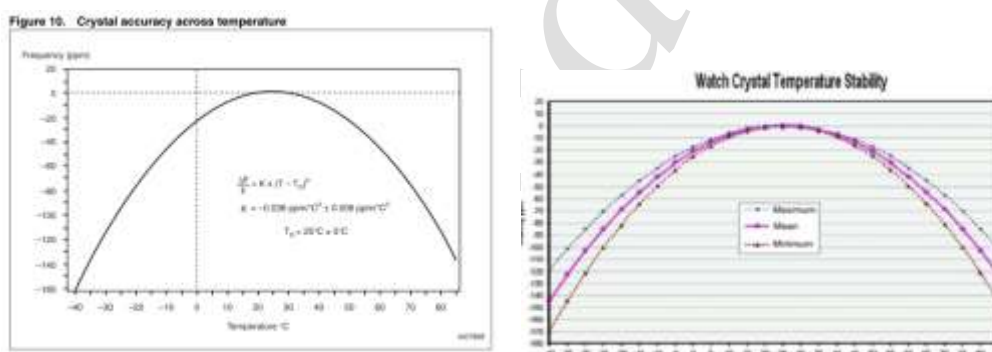
Poznámka 3

Digitální stopky obsahují jediný analogový prvek, kterým je krystalový oscilátor, který kmitá u převážné většiny stopek na frekvenci 32 768 Hz, to je (2^{15} Hz). Přesnost je ovlivněna vlastnostmi krystalu a teplotou. Nastavení bodu obratu na 25 °C znamená, že pro vyšší i pro nižší teploty frekvence klesá (hodiny se pozdí).

Výrobci obvykle při specifikaci vlastností stopek šetří údaji. Běžně je udáváno jen rozlišení displeje, které je 0,001 s, 0,01 s nebo 0,1 s, případně i 1 s a často se rozlišení zaměňuje s přesností stopek. Odchylku frekvence referenčního oscilátoru mají udanou jen některé dražší stopky a její časová stabilita obvykle chybí nebo je udána jen za kratší dobu, 1 měsíc. Skutečnost pak musí určit kalibrace. Podle výrobní tolerance a specifikace krystalu stopkek může být odchylka frekvence až 100 ppm a drift za měsíc asi 10 ppm. U přesných a dražších výrobků může být použito elektronické dostavení frekvence při kalibraci.



Obr. 2: U mechanických je etalonem setrvačka, u elektronických křemenný krystal, dobře viditelný na obrázku vpravo.



Obr. 4

Krystalový oscilátor pro stopky a hodinky

Elektronické analogové i digitální hodinky a stopky jsou řízeny krystalovým oscilátorem. Metrologické parametry jsou určeny krystalem, který obvykle pracuje na frekvenci 32 768 Hz. Krystal pro hodinky je technicky velmi zajímavá součástka. Prodává se za malou cenu od 5 Kč za kus a při tom má obdivuhodné parametry. Je to miniaturní součástka, pouzdřená obvykle do válcového pouzdra o průměru (1,5 až 3) mm a délky (5 až 8,3) mm nebo subminiaturních pouzder pro povrchovou montáž. Základní typové parametry krystalů 32 768 Hz pro hodinky shrnuje tabulka.

Tabulka č. 2

| Parametr | Min | Typ | Max | jednotka |
|-----------------------|-------|-------|------|----------|
| Frekvence | | 32768 | | Hz |
| Tolerance nastavení f | | 20 | | ppm |
| Stabilita f | 0,028 | | 0,40 | ppm/°C |
| Bod obratu | 20 | | 30 | °C |
| Stárnutí 1. rok | -3 | | 3 | ppm/rok |
| pracovní teplota | -20 | | +60 | °C |

Krystaly jsou určeny pro práci při velmi malém odběru energie, to znamená, že lithiová baterie hodinek postačí na několik let provozu. Nastavení bodu obratu na 25 °C znamená, že pro **vyšší i pro nižší teploty frekvence klesá (hodiny se pozdí)**. Kolem bodu obratu je ale vliv teploty velmi malý, asi -0,04 ppm/°C. Výrobní tolerance frekvence krystalů bývá v rozmezí cca 10 ppm. Vliv teploty je nejdůležitější, u dobrého krystalu jsou ostatní vlivy řádově nižší (například šok nebo vibrace velikosti 1G vyvolá změnu f řádu 10^{-9} , změna polohy kolem $2 \cdot 10^{-9}$).

Poznámka 4**Internet a časový server**

Časový server je zařízení umožňující přenášet informaci o čase v síti internet. Důležitou vlastností časového serveru je způsob, jakým je synchronizován vůči světovému času UTC. Drtivá většina časových serverů získává informaci o čase z dalších serverů a pouze tzv. primární časové servery tuto informaci získávají z pomocných systémů navázaných na UTC.

Každý NTP klient, který má plně implementovanou specifikaci protokolu, se zároveň stává NTP serverem a může tedy svůj čas šířit dalším klientům. NTP server má přiděleno číslo z intervalu 1 až 15, nazývané **Stratum**. Stratum klienta je vždy vyšší než Stratum jeho serveru. Tím vzniká hierarchie časových serverů. Stratum-1 znamená, že server má externí zdroj času, nezávislý na jiných serverech. Takový server je také označován jako primární. Hodnota Stratum tedy přímo nevyjadřuje přesnost serveru, jen jeho pořadí ("vzdálenost") od externího zdroje času. NTP verze 4 dokáže po internetu udržovat čas s chybou menší než 10 ms, v místní síti může dosáhnout přesnosti až 200 μ s.

Pokud má počítač připojení na internet, může jednoduše nastavovat přesný čas podle některého serveru s přesným časem plně automaticky. Pro tento účel existují **protokoly, starší Time a novější NTP a SNTP**. Přesnost synchronizace času pomocí protokolu Time není velká, pohybuje se kolem 1 sekundy. Windows XP navazují na časový server 1x týdně, pokud je počítač v té době zapnut. Mají přednastaveny vzdálené servery, které u nás nejsou optimální. Velkou nevýhodou je, že k synchronizaci hodin dochází jen jednou týdně v definovaný okamžik (čas poslední synchronizace). Pokud v tento okamžik bude počítač zrovna vypnutý nebo se nezdaří připojení k časovému serveru, synchronizace neproběhne. Čas je však možné synchronizovat ručně stiskem tlačítka „Aktualizovat“ v okně, které se ukáže po poklepnání na hodiny na ploše. Tento druh synchronizace vyhovuje pro běžné užití počítače, ale není vhodný pro kalibrace.

Naopak protokol NTP, umožňuje udržovat systémový čas s přesností desetin milisekundy. Proto ho také časové servery v internetu používají k synchronizaci s globálním jednotným časem UTC. Dosažitelná přesnost seřízení hodin v počítači závisí i na operačním systému. Pro operační systém Windows NT2000/XP se udává přesnost synchronizace ± 5 ms.

V jiných operačních systémech (např. v Linuxu) je nejjednodušší využít program ntpd, který funguje i jako klient a dokáže nejen synchronizovat systémový čas vůči NTP serveru, ale i automaticky koriguje frekvenční odchylku krystalového oscilátoru, od něhož jsou odvozeny systémové hodiny. Dosažitelná dlouhodobá přesnost hodin tak může být v řádu stovek nebo i desítek mikrosekund – závisí na kolísání teploty a např. obvodů pro dynamické řízení spotřeby hardware, přesnost bude tedy většinou lepší u serverů a stolních počítačů než u notebooků. Praktický význam hierarchie časových serverů je v tom, že primární servery bývají vysoce přesné, ale sekundární servery zajišťují lepší dostupnost služby a odolnost vůči rušivým vlivům, jako je nestabilita sítě nebo porucha externího zdroje času.

NTP servery provozuje mnoho institucí především pro vlastní potřebu nebo pro své zákazníky. Na domovské stránce projektu NTP existuje velmi rozsáhlá dokumentace. Je také průběžně aktualizován seznam veřejných primárních a sekundárních NTP serverů. Při pravidelném využívání těchto serverů je nutné splnit podmínky a omezení, která stanovili jejich správci.

Laboratoř Státního etalonu času a frekvence (přidružená laboratoř ČMI), Ústav fotoniky a elektroniky, Akademie věd ČR, poskytuje distribuci času UTC (TP) jako službu pro veřejnost. Přesný čas UTC (TP), je nepřetržitě šířen v síti Internet protokolem NTP (Network Time Protocol) pomocí časového serveru **ntp2.ufe.cz** Služba Časového serveru je poskytována zdarma.

Časový server je určen zejména pro běžného provozovatele počítače. Programy běží podle principu, že klient vyšle dotaz, do kterého vloží aktuální hodnotu svého času (timestamp) T_0 . Server přijme dotaz v čase T_1 a odpoví v čase T_2 . Odpověď dorazí klientovi v čase T_3 . Uvedeným způsobem získá klient jeden vzorek obsahující trojici hodnot:

- rozdíl časů - pravděpodobný posun hodin,
- zpoždění- doba přenosu signálu, interval nejistoty offsetu,
- disperze - stabilita hodin serveru (tento údaj pošle server v odpovědi).

Každý takovýto vzorek obsahuje hodnoty náhodně ovlivněné okamžitým stavem sítě. Pro lepší přesnost a stabilitu se použije specializovaný algoritmus. Výsledkem je mnohem přesnější výpočet offsetu hodin klienta od UTC, než lze získat z jednoho vzorku. Navíc je vypočtena maximální a odhadovaná chyba.

Většina NTP serverů je provozována v operačním systému Linux a jejich implementace není komplikovaná - stačí instalovat distribuční balíček NTP a do konfiguračního souboru nastavit několik blízkých NTP serverů s nízkou hodnotou Stratum. Nároky na hardware jsou minimální, jen by systém neměl být ani krátkodobě přetěžován jinými aplikacemi. Tímto způsobem si můžeme vytvořit NTP server pro vlastní síť.

K synchronizaci systémového času vašeho počítače existuje mnoho programů jak komerčních tak i volně ke stažení. Aby se čas ve vašem počítači synchronizoval ze serveru `ntp2.ufe.cz`, je nutné tyto programy nejprve nakonfigurovat. Jako jméno serveru jednoduše vyplníte '`ntp2.ufe.cz`'. Doporučené jsou programy:

- **SPTimeSync** je klient pro MS Windows (<http://www.spdialer.com/timesync/>), nebo
- **Dimension 4**, (<http://www.thinkman.com/dimension4/download.htm>).

SP TimeSync má velmi jednoduché rozhraní, které můžete začít ihned používat, aniž byste četli nějaké manuály. Stačí kliknout na: Získat čas a pak nastavte hodiny tlačítko pro nastavení přesného času na vašem počítači. SP TimeSync podporuje širokou škálu operačních systémů, jako jsou Windows 2000/XP/Vista/7 a Windows 95/98/Me/NT, oba 32-bit a 64-bit verze. Velikost SP spustitelného souboru TimeSync je menší než 100 kB. Vytváří okna, přiděluje paměť a načte všechny potřebné knihovny dynamicky pouze pro malé časové období, kdy se to skutečně vyžaduje, a tím uvolní všechny prostředky ihned pro další použití. Proto můžete spustit tento program na pozadí bez zpomalení počítače.

SP TimeSync je poskytován zdarma pro osobní nekomerční použití. V každém případě je nutné zakoupit verzi Professional, viz <http://www.spdialer.com/timesync/order.html>. Professional verze SP TimeSync používá pokročilé algoritmy zajišťující mnohem větší přesnost a spolehlivost synchronizace času a také podporuje další funkce. Cena licence SP TimeSyncPro byla 15 USD za jednu instalaci v roce 2014. Podrobnosti naleznete v <http://www.spdialer.com/timesync/profvers.html>.

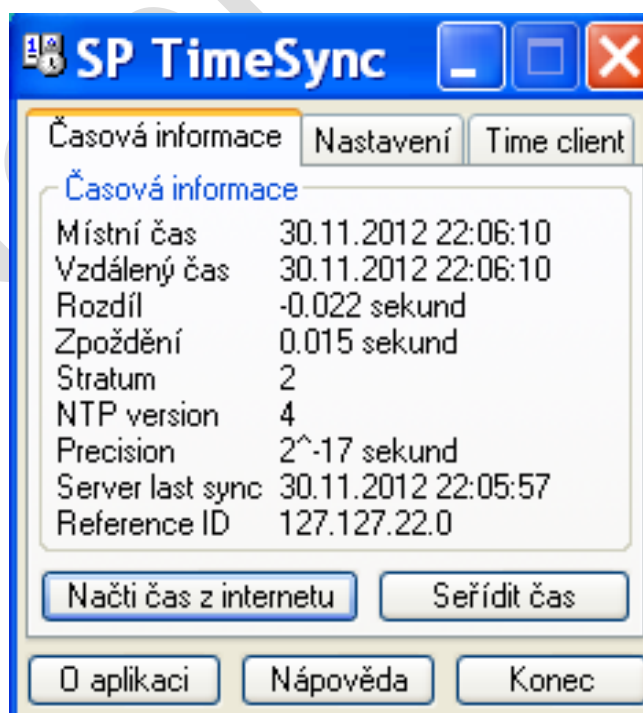
Další možností je použít program Dimension 4, který vám nabídne sám několik časových serverů, aniž byste je museli vyhledávat. Časový server `ntp2.ufe.cz`, ale musíte do seznamu doplnit a řada serverů ve vzdálených zemích Vám není k ničemu. Výhodou je okno, zobrazující drift počítače v době mezi navázáním. Program Dimension 4 verze 5.3 je k dispozici jako freeware pro osobní použití doma, využití při vzdělávání ve školách a na univerzitách a použití dobročinnými organizacemi. Komerční uživatelé Dimension 4 verze 5.3 se musí zaregistrovat a pro každý počítač s nainstalovaným programem Dimension 4 platí 10 USD licenčního poplatku (stav v roce 2014) viz <http://www.thinkman.com/dimension4/download.htm>.

Využívání serveru ntp2.ufe.cz pro synchronizaci času v počítači s Linuxem (resp. i jiným systémem se standardní distribucí balíčku NTP) spočívá ve vložení řádky server ntp2.ufe.cz do konfiguračního souboru /etc/ntp.conf.

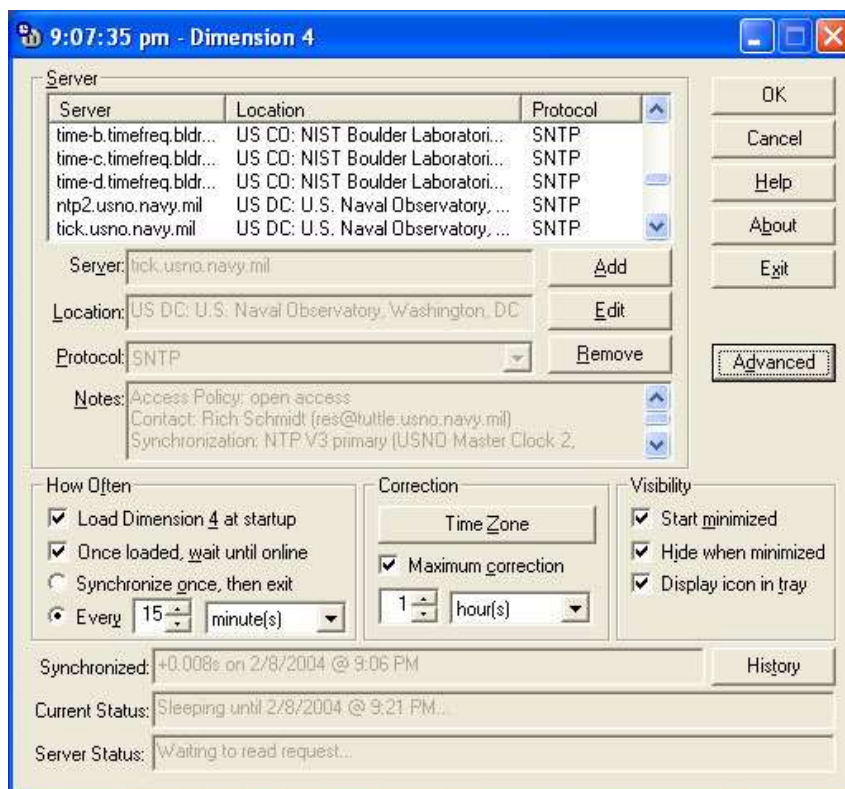
Podstatné je **volit servery, ke kterým je rychlé a stabilní internetové připojení**, to je obvykle ty, které jsou blíže. V ČR a okolních zemích je v každé zemi několik serverů na úrovni stratum 1 nebo 2, takže je z čeho vybírat.

| Země a stratum 2server | Experimentálně zjištěné zpoždění v Brně, sekund |
|---------------------------|--|
| ČR | |
| ntp2.ufe.cz | 0,015 |
| time.web-systems.ws | 0,015 |
| ntp.ujf.cas.cz | 0,015 |
| ntp.cgi.cz | 0,015 |
| Rakousko | |
| ntp.inode.at | 0,015 |
| ntp.wien.diakoniewerk.at | 0,015 |
| Polsko | |
| ntp.stream.pl | 0,060 |
| Slovensko | |
| ntp.blava.net | 0,020 |
| Velká Británie | |
| ntp3.tcpd.net | 0,140 |
| Švýcarsko | |
| ntp.metas.ch | 0,040 |

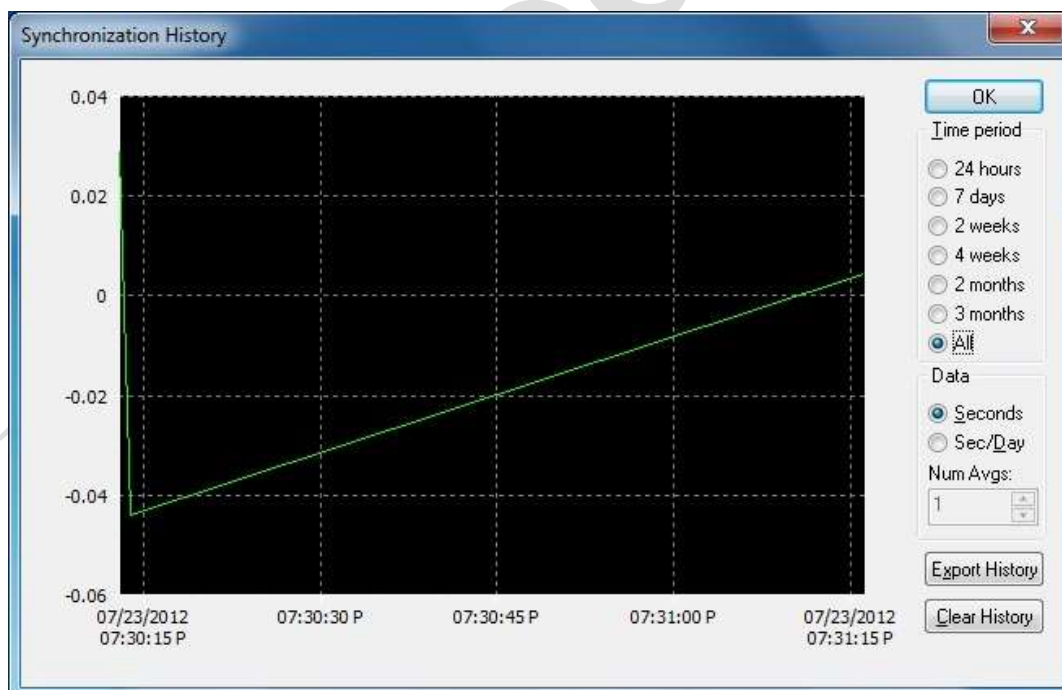
Tabulka č. 3: Experimentální kontrola zpoždění přenosu času přes internet, měřeno v Brně, dopoledne, pracovní den, pomocí SP Time Sync. Vzdálenější servery program odmítl sám.



Obr. 5: ukázka panelu programu SP TimeSync



Obr. 6: ukázka panelu programu Dimension 4 s předvolenými pro nás vzdálenými servery <http://www.thinkman.com/dimension4/screenshots.htm>



Obr. 7: ukázka panelu programu Dimension 4 s grafem historie synchronizace

Uvedený seznam použitelných programů nemusí být úplný.