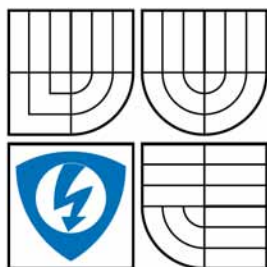


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY



FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

AKUSTICKÁ ANALÝZA MECHANICKÝCH HODINEK

ACOUSTICAL ANALYSIS OF MECHANICAL WATCHES

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. Marek Dohnal

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

prof. Ing. Milan Sigmund, CSc.

BRNO, 2010



**VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ**

**Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií**

Ústav radioelektroniky

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Elektronika a sdělovací technika

Student: Bc. Marek Dohnal

ID: 21524

Ročník: 2

Akademický rok: 2009/2010

NÁZEV TÉMATU:

Akustická analýza mechanických hodinek

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se s metodami zpracování akustických signálů a se způsoby záznamu tichých signálů. Vypracujte přehledovou studii vhodné základní literatury a měřicích přístrojů. Zaznamenejte chod několika kapesních hodinek a proveďte rozvalu, které parametry by bylo vhodné analyzovat. Vytvořte databázi akustických záznamů chodu mechanických kapesních, případně také náramkových hodinek. Použijte hodinky různého stáří a různé kvality, které si pro daný účel sám obstaráte. Vytvořte a vyzkoušejte program na určování přesnosti chodu hodinek z jejich krátkodobého akustického záznamu v laboratorních podmínkách. Pomocí analýzy akustických záznamů vytvořte a vyhodnoťte vhodná kritéria na určení dalších vybraných charakteristických vlastností mechanických hodinek. Navrhněte a softwarově realizujte systém na poloautomatickou analýzu technického stavu hodinek.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] KADLEC, F. Zpracování akustických signálů. Skriptum. Praha: FEL ČVUT v Praze, 2002.

[2] KADLEC, F. et al. Zpracování slabých akustických signálů malých živočichů zaznamenaných v neoptimálních podmínkách. In Proceedings of Matlab 2004. Praha: Humusoft, 2004, p. 208-213.

Termín zadání: 8.2.2010

Termín odevzdání: 21.5.2010

Vedoucí práce: prof. Ing. Milan Sigmund, CSc.

prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida
Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

LICENČNÍ SMLOUVA

POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO

uzavřená mezi smluvními stranami:

1. Pan/paní

Jméno a příjmení: Bc. Marek Dohnal
Bytem: Preslova 18, Brno, 602 00
Narozen/a (datum a místo): 13. ledna 1982 v Brně

(dále jen „autor“)

a

2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
se sídlem Údolní 53, Brno, 602 00
jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:
prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida, předseda rady oboru Elektronika a sdělovací technika
(dále jen „nabyvatel“)

Čl. 1

Specifikace školního díla

1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):

- ☐ disertační práce
- ☒ diplomová práce
- ☐ bakalářská práce
- ☐ jiná práce, jejíž druh je specifikován jako
(dále jen VŠKP nebo dílo)

Název VŠKP: Akustická analýza mechanických hodin

Vedoucí/ školitel VŠKP: prof. Ing. Milan Sigmund, CSc.

Ústav: Ústav radioelektroniky

Datum obhajoby VŠKP: _____

VŠKP odevzdal autor nabyvateli*:

- ☒ v tištěné formě – počet exemplářů: 2
- ☒ v elektronické formě – počet exemplářů: 2

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činností dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s autorským zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.

3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.

4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

* hodící se zaškrtněte

Článek 2

Udělení licenčního oprávnění

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užít, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizování výpisů, opisů a rozmnoženin.
2. Licence je poskytována celosvětově, pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.
3. Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupné v mezinárodní síti
 - ☒ ihned po uzavření této smlouvy
 - ☐ 1 rok po uzavření této smlouvy
 - ☐ 3 roky po uzavření této smlouvy
 - ☐ 5 let po uzavření této smlouvy
 - ☐ 10 let po uzavření této smlouvy(z důvodu utajení v něm obsažených informací)
4. Nevýdělečné zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona č. 111/ 1998 Sb., v platném znění, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

Článek 3

Závěrečná ustanovení

1. Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.
2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném znění a popř. dalšími právními předpisy.
3. Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísní a za nápadně nevýhodných podmínek.
4. Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne: 21. května 2010

.....
Nabyvatel

.....
Autor

ABSTRAKT

Tato práce je zaměřena na problematiku analýzy vlastností mechanických hodin na základě akustického záznamu chodu. Jsou zde teoreticky rozebrány vady a poruchy mechanických hodin a jejich kompenzace.

Zvláštní pozornost je věnována poruchám, které je možné vyčíst z akustického záznamu chodu hodin. Dále je zde řešena nejvhodnější metoda záznamu s ohledem na minimalizaci okolního akustického rušení. Hlavní součástí je experimentální měření vstupních dat, na jejichž základě je vytvořen program pro určení přesnosti chodu a případných poruch mechanických hodin.

Klíčová slova: akustika, analýza, mechanické hodiny,

ABSTRACT

This thesis is focused on the analysis of the characteristics of mechanical watches on the basis of their sound. There are theoretically analysed usual mechanical defects and disorders of watches and compensation of those defects.

Particular attention is given to disorders, that can be extracted from the recorded acoustic sound of watches. There are also solved most appropriate methods of recording with a respect to the minimisation of ambient acoustic interference. The main part of this work is experimental measurement on watches and evaluation of achieved acoustic data. For this purpose, an autonomously running software were developed.

Keywords: acoustics, analysis, mechanical watches,

DOHNAL, M. *Akustická analýza mechanických hodinek*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2010. 48 stran, 45 stran příloh. Vedoucí diplomové práce prof. Ing. Milan Sigmund, CSc.

Prohlášení

Prohlašuji, že svoji diplomovou práci na téma *Akustická analýza mechanických hodinek* jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího semestrálního projektu a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne 21. května 2010

.....
podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu diplomové práce Prof. Ing. Milanu Sigmundovi, CSc. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mého semestrálního projektu.

Dále děkuji PhDr. Jaromíru Ondráčkovi ze Střední školy obchodu a služeb v Jihlavě, za odbornou pomoc při pořízení akustických záznamů.

Děkuji též p. Hanákovi z klenotnictví Fr. Hanák, za poskytnutí změřených referenčních parametrů hodinek.

V Brně dne 21. května 2010

.....
podpis autora

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ:	8
SEZNAM TABULEK:	9
1. ÚVOD	10
2. PŘESNOST HODIN, RUŠIVÉ VLIVY A JEJICH KOMPENZACE	12
2.1 PŘÍČINY NEROVNODOBOSTI KYVŮ SETRVAČKY	12
2.2 RUŠIVÉ VLIVY VYVOLANÉ NESTÁLOSTÍ TEPLOTY.....	13
2.3 RUŠIVÉ VLIVY VYVOLANÉ NESTÁLOSTÍ ROZKMITU SETRVAČKY	13
2.4 DENNÍ CHOD HODIN.....	14
2.5 RYCHLÁ REGULACE HODIN POMOCÍ ČASOVÉHO KOMPARÁTORU	14
2.6 ANALÝZA STAVU HODIN POMOCÍ ČASOVÉHO KOMPARÁTORU	16
2.7 ROZKMIT SETRVAČKY	16
3. ZÁZNAM TICHÝCH AKUSTICKÝCH SIGNÁLŮ	18
3.1 MĚŘÍCÍ METODA.....	18
3.2 FILTRACE NAMĚŘENÝCH SIGNÁLŮ.....	19
3.3 VHODNÝ TYP MIKROFONU PRO ZÁZNAM	19
3.4 KONSTRUKCE PROTIHLUKOVÉHO BOXU	21
4. LABORATORNÍ ZÁZNAM CHODU HODIN	22
4.1 EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ.....	22
4.2 ROZBOR ZAZNAMENANÉHO SIGNÁLU – ČASOVÁ OBLAST.....	23
4.3 ROZBOR ZAZNAMENANÉHO SIGNÁLU – KMITOČTOVÁ OBLAST.....	27
5. DATABÁZE ZÁZNAMŮ	30
6. PROGRAM PRO ANALÝZU CHODU HODIN	32
6.1 POPIS FUNKCE	32
6.2 OVLÁDÁNÍ PROGRAMU	37
6.3 OVĚŘENÍ PŘESNOSTI MĚŘENÍ CHYBY ČASOVÉHO ÚDAJE.....	37
6.4 OVĚŘENÍ VÝSLEDKŮ ANALÝZY.....	38
6.5 KVALITA HODINOVÉHO STROJE	44
7. ZÁVĚR	46
SEZNAM POUŽITÉ LITERARURY	48
SEZNAM PŘÍLOH	49
A DATABÁZE AKUSTICKÝCH ZÁZNAMŮ	50
B VÝVOJOVÝ DIAGRAM PROGRAMU	93

Seznam obrázků:

Obr 1.1	Schéma mechanických hodin (převzato z [4]).....	10
Obr 2.1	Setrvačka (převzato z [4]).....	12
Obr 2.2	Kompenzační setrvačnick (převzato z [4]).....	13
Obr 2.3	Blokové schéma vibrografu (převzato z [8]).....	14
Obr 2.4	Krokové kolo (převzato z [8]).....	14
Obr 2.5	Krokové kolo (převzato z [8]).....	15
Obr 2.6	Krokové kolo (převzato z [8]).....	15
Obr 2.7	Časový průběh (převzato z [16]).....	15
Obr 2.8	Časový komparátor (převzato z [17]).....	15
Obr 2.9	Čtení stop na časovém komparátoru (převzato z [17]).....	16
Obr 2.10	Ústrojí krokového kola (převzato z [8]).....	17
Obr 3.1	Snímání akustického signálu nízké úrovně (převzato z [2]).....	18
Obr 3.2	Protihlukový box s instalovaným mikrofonom SENNHEISER	21
Obr 4.1	Mikrofonní předzesilovač	22
Obr 4.2	Časový průběh zaznamenaný mikrofonom a) SENNHEISER b) Behringer	23
Obr 4.3	Vzájemná poloha hodin a mikrofonu	23
Obr 4.4	Výpis programu	24
Obr 4.5	Matice pro stav regulační ručky „FAST“	24
Obr 4.6	Matice pro stav regulační ručky „0“	25
Obr 4.7	Matice pro stav regulační ručky „SLOW“	26
Obr 4.8	Detail matice z obrázku 4.5	26
Obr 4.9	Proměnlivý chod hodin	27
Obr 4.10	Spektrum kapesních hodin DOXA	27
Obr 4.11	Spektrum náramkových hodin POBEDA	28
Obr 4.12	Spektrum náramkových hodin PRIM	28
Obr 4.13	Kmitočtová char. (převzato z [12]).....	29
Obr 4.14	Spektrum záznamu bez zdroje zvuku (hodin)	29
Obr 5.1	Profesionální přípravek pro záznam	31
Obr 6.1	Úvodní menu a načtení vstupních dat	32
Obr 6.2	Časový průběh vstupního signálu	33
Obr 6.3	Doba kyvu	34
Obr 6.4	Histogram doby kyvu	34
Obr 6.5	Vibrograf	35
Obr 6.6	Průběh kyvu – rozkmit setrvačky	36
Obr 6.7	Generovaný syntetický signál	37
Obr 6.8	Zaznamenaný syntetický signál	37
Obr 6.9	Hodinové stroje pro kontrolní analýzu	38
Obr 6.10	Grafické výsledky – korunka na stranu (hodinky Prim Junior)	39
Obr 6.11	Vystavený certifikát na měření hodinek Prim Junior	40
Obr 6.12	Vykreslená stopa na přístroji WITSCHI (hodinky Prim)	41
Obr 6.13	Grafické výsledky – číselník vzhůru (kapesní hodinky DOXA)	42
Obr 6.14	Vibrograf – Kapesní hodiny DOXA (poloha: korunka vzhůru)	43
Obr 6.15	Certifikát měření (kapesní DOXA)	43
Obr 6.16	Vykreslená stopa na přístroji WITSCHI (hodinky DOXA)	43

<i>Obr 6.17 Náramkové hodinky (bezvadný stav)</i>	44
<i>Obr 6.18 Analýza přístrojem WITSCHI</i>	44
<i>Obr 6.19 Naměřené hodnoty</i>	45

Příloha (x – číslo přílohy)

<i>Obr A.x.1 Hodinový stroj</i>	
<i>Obr A.x.2 Časový průběh</i>	
<i>Obr A.x.3 Histogram spektra</i>	
<i>Obr A.x.4 Grafické výsledky</i>	

Seznam tabulek:

<i>Tab 2.1 Počet kyvů (převzato z [4])</i>	12
<i>Tab 5.1 Databáze záznamů</i>	30
<i>Tab 6.1 Zhodnocení parametrů</i>	36
<i>Tab 6.2 Hodiny: Prim Junior (program)</i>	40
<i>Tab 6.3 Hodiny: Prim Junior (přístroj WITSCHI)</i>	40
<i>Tab 6.4 Hodiny: DOXA kapesní (program)</i>	41

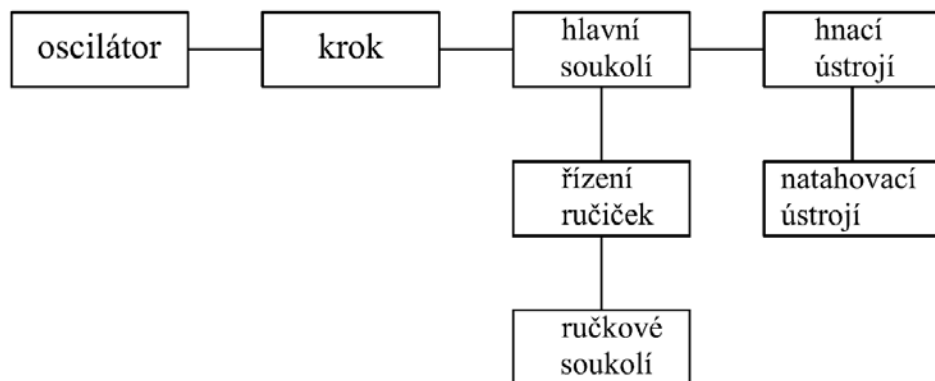
1. Úvod

Během vývoje historie lidstva bylo nalezeno mnoho více či méně přesných způsobů jak odměřovat čas, přes různé opakovatelné děje jako je například přesypání písku či hoření svíčky, hodiny sluneční, vodní, olejové, mechanické či elektrické. Přístroje k měření času se však neustále zdokonalují. Náš způsob života je zcela závislý na přesném měření času. Věda, komunikace, doprava, výroba i jiné odvětví by se bez znalosti přesného času neobešly. [3]

Podle jedné z definic jsou mechanickými hodinami takové přístroje, které používají stálé, neměnné síly k pohonu mechanismu, který může měřit stálé a stejné intervaly. Nejstaršími mechanickými hodinami podle této definice jsou údajně anaforické vodní hodiny ve starém Řecku, sestavené ve 3. století př. n. l. Smyslem anaforických hodin bylo poskytnout dvojdimenzionální přehled denního pohybu Slunce a Měsíce proti hvězdnému pozadí. Název „anaforický“ je odvozen z řeckého „anaphero“ (stoupat), které poukazuje na stoupání a sestup různých jasných hvězd, které byly zobrazeny na rotačním ciferníku.

Skutečná moderní éra chronometrie a mechanických hodin přichází ale až s převratným vynálezem kolečkových hodin. Jde o mechanické hodiny s funkčními prvky, krokem a oscilátorem, kterými se tyto hodiny liší od hodin elementárních, nemechanických. V této souvislosti se za mechanické hodiny označují měřiče času, jejichž charakteristickým znakem je použití převodu s ozubenými koly a pastorky s mechanickým oscilátorem.[10] Až v roce 1505 se norimberskému zámečnickovi Petru Henleinovi poprvé podařilo sestavit tak malé mechanické hodiny, že je bylo možné nosit v kapse. Tyto "kapesní hodiny" byly zabudovány do pouzdra.[11]

Tento projekt je zaměřen na akustickou analýzu vlastností a poruch mechanických hodin, především kapesní a náramkové velikosti. Stroj mechanických hodin je možné rozdělit na sedm hlavních součástí, neboli ústrojí (viz Obr 1.1).



Obr 1.1 Schéma mechanických hodin [4]

Základem měření času u mechanických hodin je pravidelné kývání oscilátoru (kyvadla nebo setrvačky). Oscilátor je proto jejich nejdůležitějším ústrojím. Vlivem tření doprovázejícího každý pohyb, by se kyvy neustále zmenšovaly, až by se oscilátor zastavil. Aby mohl stroj setrvat v neustálém pohybu, musí být stále dodávána energie.

Krok je ústrojí vložené mezi oscilátor a soukolí a má dvojí funkci: jednak přivádí oscilátoru energii a jednak počítá kyvy oscilátoru tím, že kotva propouští při každých dvou kyvech vždy jeden zub krokového kola. Po určité době, kdy se oscilátor dostane do stejné polohy, vykoná jeden kmit nebo též dva kyvy. V hodinářské praxi je však obvyklé, že je hodinový stroj charakterizován počtem *kyvů* za jednu sekundu, případně za hodinu.

Hlavní soukolí je soustava spolu zabírajících ozubených kol. Plní rovněž dva úkoly: slouží k přenosu energie hnacího ústrojí na krok (a tím i oscilátor) a zároveň sečítá kyvy oscilátoru počítané krokem. Soukolí se neotáčí plynule, nýbrž přerušovaně, neboť je neustále zastavováno a uvolňováno krokem.

Hnací ústrojí (pero nebo závaží) je zásobníkem energie pro pohon hodinového stroje.

Ručkové soukolí slouží jako převod mezi minutovou a hodinovou ručkou.

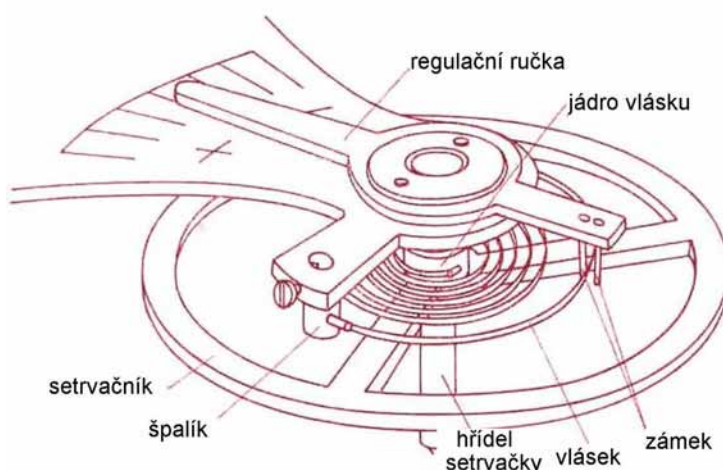
Ústrojí pro natahování je pomocné zařízení, které slouží k dodávání energie hnacímu ústrojí.

Ústrojí pro řízení ruček je rovněž pomocné zařízení, které slouží k občasnému upravení časového údaje hodin.

Vzájemná poloha jmenovaných ústrojí je zajištěna tzv. kostrou stroje, která se skládá z desek, ložisek apod. Hodinový stroj bývá někdy doplněn přídatným strojem (např: budícím, bicím či kalendářním). [4]

2. Přesnost hodin, rušivé vlivy a jejich kompenzace

Přesto, že u kvalitních mechanických hodin záleží a preciznosti každé součásti, největší vliv na přesnost hodin má oscilátor. Pro přenosné hodiny, na které bude tento projekt především zaměřen, se jako oscilátoru používá tzv. setrvačky (Obr 2.1). Setrvačka je méně přesným oscilátorem než kyvadlo. Pracuje však spolehlivě při libovolné poloze hodin, používá se však i u hodin nehybně umístěných (např. stolních, nástěnných apod.) Setrvačka se skládá z kola,



Obr 2.1 Setrvačka [4]

zvaného setrvačnick, naraženého na hřídels setrvačky. Na témže hřídels je pomocí jádra uchycena jemná spirálová pružina, zvaná vlásek, která by měla mít nejméně 10 závitů. Vnější konec vlásku prochází s malou vůlí zámkem regulační ručky a je zakolíkovan ve špalíku, spojeném s kostrou hodinového stroje. Délka vlásku od jádra až po zámek se nazývá *činná délka vlásku* a lze ji pootáčením regulační ručky v malém rozmezí prodlužovat (při předcházení hodin) nebo zkracovat (při zpoždování).

Doba kyvu setrvačky je závislá na rozměrech a materiálu setrvačnicku a vlásku. [4] Je možné ji stanovit početně, ale výpočet nebývá zcela přesný. Zkušený hodinář ji nastavuje zkusmo, k tomu však musí znát počet kyvů setrvačky, pro který je stroj konstruován. U běžných typů hodin je to vcelku ustálená hodnota (viz Tab 2.1).

Tab 2.1 Počet kyvů [4]

Druhy hodinového stroje	počet kyvů za		
	hodinu	minutu	sekundu
velké budíky	12 000	200	3 1/3
námořní chronometry, budíky střední velikosti	14 400	240	4
kapesní a náramkové hodinky, stopky, malé budíky	18 000	300	5
náramkové hodinky rychloběžné	19 800	330	5 1/2
náramkové hodinky rychloběžné	21 600	360	6
stopky (rychloběžné)	36 000	600	10
stopky speciální	360 000	6000	100

2.1 Příčiny nerovnodobosti kyvů setrvačky

Setrvačka je v tomto ohledu mnohem více citlivá na rušivé vlivy než kyvadlo, neboť se jedná o velmi lehký oscilátor, jehož hmota je rozložena v malé vzdálenosti od otočného bodu a je při pohybu snáze ovlivnitelná rušivými silami. Rušivé vlivy které ovlivňují rovnodobost jsou zejména nestálost teploty a nestálost rozkmitu setrvačky. Nestálost tlaku vzduchu v všech druzích setrvačkových hodin se zanedbává. Barometrická chyba je cca 1/5 sekundy za den při změně tlaku o 10 mm rtuťového sloupce. [4]

Největší nesnází je opět nestálost rozkmitu setrvačky, kterou u setrvačkových hodin způsobují tři hlavní faktory:

1) Proměnlivost hnací síly – (tj. síly přenášené na oscilátor) velmi citelně se projevuje u pohonu perem, neboť hnací síla klesá v průběhu rozvíjení pera.

2) Proměnlivost tření čepů setrvačky – tj. při přechodu z polohy vodorovné do polohy svislé. Je způsobena tvarem čepů setrvačky. Například ve vodorovné poloze hodinek spočívá čelo čepu setrvačky na krycím kamenu, zatímco ve svislé poloze se oba čepy setrvačky opírají v otvorech kamenů válcovou částí. V druhém případě je tření větší neboť působí na větším poloměru setrvačky. Proto je rozkmit setrvačky ve svislých polohách hodinek menší než ve vodorovných. Rozdíl je přibližně 50° . Účinek tohoto rušivého činitele omezujeme tvrdými a dokonale vyleštěnými ložnými plochami setrvačky, zmenšením průměru čepů, zploštělým čelem čepů a použitím kamenů s olivovaným (zaobleným) otvorem.

3) Proměnlivost mazacích vlastností oleje – tj. pokles teploty, znečištění stroje, stárnutí oleje, se projevuje poklesem rozkmitu setrvačky, dá se omezit čistotou součástí, volbou kvalitních mazacích olejů a dobře těsnící hodinové skříň. [4]

2.2 Rušivé vlivy vyvolané nestálostí teploty

U setrvačkového oscilátoru to jsou :

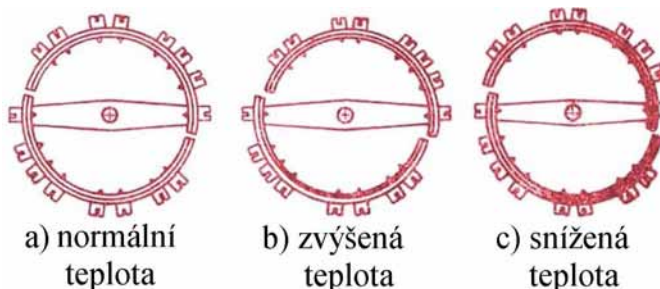
a) proměnlivost rozměrů setrvačnicku a vlásku – vzniká roztažností materiálů

b) proměnlivost modulu pružnosti vlásku

U méně kvalitních typů hodin (např: běžného budíku) s mosazným setrvačnickem bronzovým vláskem je teplotní chyba přibližně 10 vteřin za den při změně teploty o 1°C . Tato úchylna chodu je vyvolána prakticky jen proměnlivým modulem pružnosti vlásku, neboť změny rozměrů setrvačnicku a vlásku se navzájem zhruba ruší. Teplotní chyba setrvačkových hodin je podstatně větší než u kyvadlových, proto bývá často kompenzována u všech setrvačkových hodin střední a lepší jakosti.

V zásadě se používá dvou odlišných způsobů kompenzace:

- 1) Kompenzační setrvačník (Obr 2.2 – jeho věnec je bimetalický a je proříznut na dvou protilehlých místech. Vlasek nemá v tomto případě kompenzační vlastnosti (je buď ocelový, nebo ze speciální nemagnetické slitiny). Kompenzace probíhá takto: zvýšení teploty by způsobilo poždění chodu. Bimetalický věnec se však vlivem nestejně roztažnosti kovů prohne volnými konci dovnitř. Tím dojde ke zmenšení průměru setrvačnicku a ke zrychlení chodu, kterým je kompenzována teplotní chyba. Při poklesu teploty je tomu zase naopak. [4]



Obr 2.2 Kompenzační setrvačník [4]

- 2) Kompenzační vlasek – vlasek je zhotoven ze speciální slitiny, která téměř nemění svoji pružnost při změně teploty a současně i kompenzuje vcelku malý vliv roztažnosti materiálů setrvačnicku a vlásku. [4]

2.3 Rušivé vlivy vyvolané nestálostí rozkmitu setrvačky

U setrvačky neexistuje cirkulární chyba, není proto žádný důvod abychom její rozkmit volili malý. Naopak je výhodné aby setrvačka měla rozkmit pokud možno co největší (např. 300°). Při větším rozkmitu má totiž setrvačka větší rychlost a lépe odolává účinkům rušivých sil,

ovlivňujících dobu kyvu, např. vlivu kroku. Rušivých vlivů vyvolaných nestálostí rozkmitu je větší počet a všechny působí současně. [4]

2.4 Denní chod hodin

U převážné většiny hodinových strojů posuzujeme jejich přesnost v časovém úseku 24 hodin porovnáváním s přesnějšími stroji nebo provádíme kontrolu chodu poslechem časových signálů. Při běžné regulaci se spokojíme s vyregulováním chodu stroje tak, aby denní odchylka od přesného času byla co nejmenší. Velikost této odchylky závisí na kvalitě stroje a též na více či méně precizním provedení opravy. U budíků a kuchyňských hodin nemohou být požadavky na přesnost příliš vysoké, jejich průměrná denní odchylka je okolo jedné minuty. Hodinové stroje s dlouhým kyvadlem však již mohou být vyregulovány přesněji.

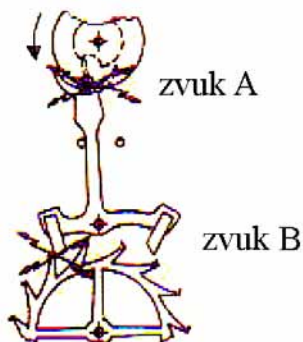
Při přesné regulaci se však nemůžeme spokojit s konstatováním denní odchylky chodu. Posouzení kvality stroje podle toho, o kolik se chod stroje za den zpozdí nebo zrychlí není správné. Nezáleží totiž ani tak na velikosti zpoždění či zrychlení, jako na tom, jak **pravidelné** tyto odchylky jsou. Mají-li zdánlivě přesné hodiny, které se opoždějí např. denně o půl minuty, chod tak pravidelný, že nedochází k jiným časovým změnám, můžeme chybu odstranit regulací. Je-li naproti tomu zpoždování zdánlivě přesnějších hodiněk **nepravidelné**, např. jeden den od 10 sekund, druhý den o 20 sekund...., stává se regulace obtížnou a nejistou.

Kvalitu hodinového stroje správně charakterizuje **průměrná denní změna** (variance) chodu. Zde již však nestačí posuzování odchylek ze dne na den. Stroj musí být podroben kontrole řadu dní (např. 2 týdny). Zjištěné denní odchylky zpoždění i zrychlení se pak musí přepočítat na průměrný denní chod a rovněž průměrnou denní variaci. Potom teprve je možné určit s jakou přesností můžeme tímto strojem odměřovat čas. [6]

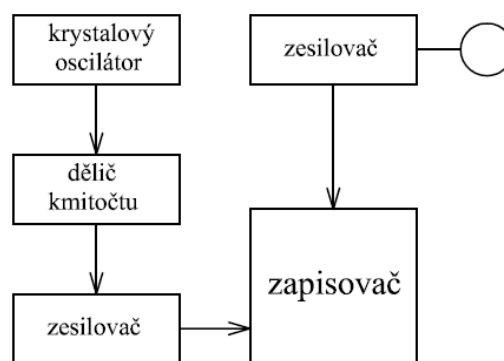
2.5 Rychlá regulace hodin pomocí časového komparátoru

Dříve používali hodináři k rychlému seřízení hodinového stroje „přesně“ vyregulované hodiny. Srovnání se uskutečňovalo odposloucháváním tiků obou strojů najednou. V dnešní době se regulace hodinového stroje provádí více či méně modernizovaným zařízením zvaným časový komparátor.

Jedná se o zařízení, které akusticky snímá chod hodin a zapisuje vstupní impulsy na papírový pásek, který se odvíjí definovanou



Obr 2.4 Krokové kolo [8]



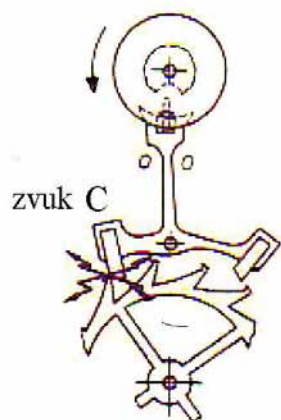
Obr 2.3 Blokové schéma vibrografu [8]

konstantní

rychlostí. Jdou-li

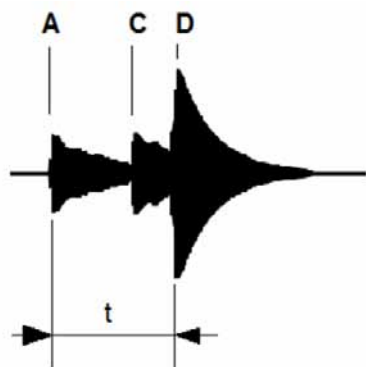
hodiny správně, je na papírovém pásku řada bodů, které jsou stejně vzdáleny od okrajů pásku. Zpoždování či zrychlování hodin se projeví nakloněním křivky. Při nepravidelném chodu jsou značky na papírku rozházené. Stupnicí na okraji papírku je možné odečíst sklon řady a tím i diferenci. Ze záznamu lze soudit i na „kulhání“ hodiněk, které způsobí dvojitou řadu záznamu, případně i jiné závady, jako např. těsné záběry apod.

K lepšímu pochopení registrace časového komparátoru je třeba se zamyslet nad funkcí kroku. Komparátor reaguje na



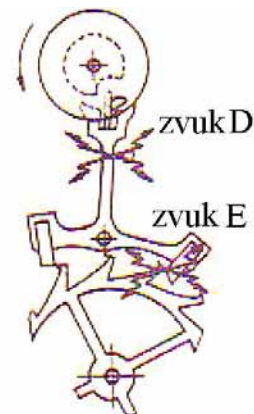
Obr 2.5 Krokové kolo [8]

Tento okamžik zachycuje obrázek 2.5 (zvuk C). Tyto dva tóny jsou slabé. Nyní nastává impuls, který rovněž slyšíme o něco slaběji než (zvuk A) a proto není obvykle časovým komparátorem zaznamenán. Při ukončení impulsu opustí zub krokového kola náhle paletu a krokové kolo je na okamžik mimo záběr. Zub, který opustil vcházející paletu, dopadá na plochu klidu vycházející palety (viz Obr 2.6). Skoro současně je i vidlička přitažena k ohraničujícímu kolíčku. Tím vznikají zvuky, jež vzájemně splývají (zvuk D a E). Úder při dopadu zubu na paletu je nejsilnější ze všech. Údery dříve popsaného kroku je možné promítnout na obrazovku osciloskopu (Obr 2.7). Údery (impulsy) jsou zde značeny stejnými písmeny.



Obr 2.7 Časový průběh [16]

zvuky, které vznikají a jsou zaznamenány mikrofonom. Na obrázku 2.4 je nakreslen záběr krokového kola s kotvou, vidličkou a vodítkem. V okamžiku, kdy setrvačka prochází střední polohou nastává náraz vodícího kamene na výřez ve vidličce (zvuk A). Tento zvuk je první co slyšíme a je velmi přesný, neboť jej vyvolává sama setrvačka. Vidlička je vodícím kamenem posunuta, přičemž umožní uvolnění zubu kola na kameni kotvy (zvuk B). V okamžiku uvolňování zubu krokového kola se vrací kolo nepatrně zpátky a pak teprve zub kola sklouzává na plochu zdvihu.



Obr 2.6 Krokové kolo [8]

Je důležité si uvědomit, že přístroj neregistruje pohyb setrvačky, ale údery vznikající při průběhu funkce kroku. Ty jsou mikrofonom zachyceny jako elektrické signály zesíleny v zesilovači. Je však nutné, aby zesílení bylo regulovatelné, tj. aby přístroj reagoval na impulsy jež požadujeme. V opačné případě by byl záznam zcela znehodnocen. [8]

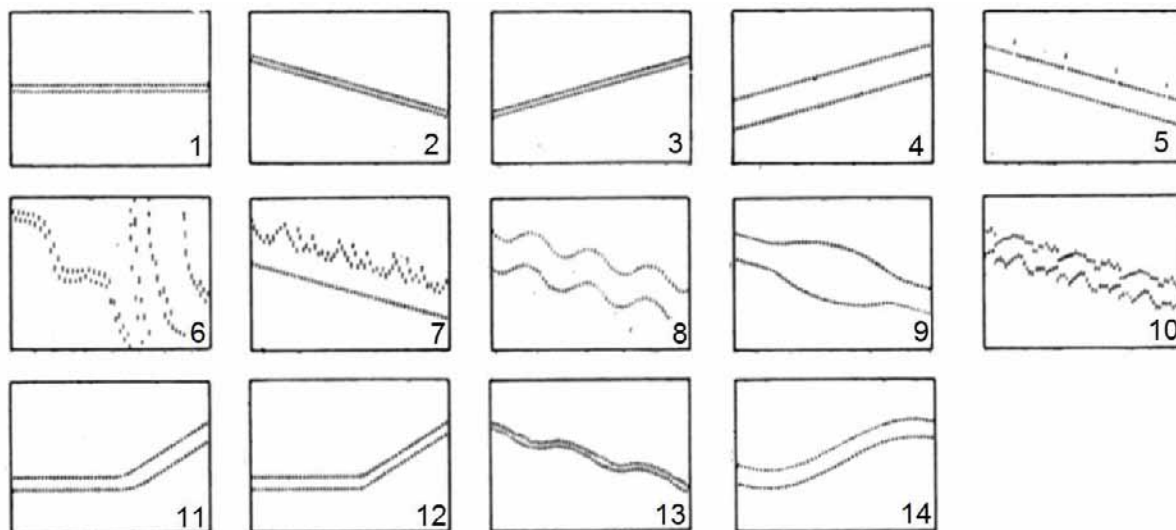
Ukázka provedení staršího typu časového komparátoru je na obrázku 2.8.



Obr 2.8 Časový komparátor [17]

2.6 Analýza stavu hodin pomocí časového komparátoru

Kromě přesnosti chodu stroje je též možné rozeznávat elementární vady uvnitř stroje pomocí stopy, kterou komparátor vykresluje výše uvedeným principem. Stručný přehled stop zakreslených časovým komparátorem je znázorněn na obrázku 2.9. Dle tvaru stopy je pak možné posuzovat jednotlivé vady, či jejich kombinace. Prvních pár obrázků, jako je předbíhání, zrychlování, kulhání či vadný krok jsou obvyklé vady. Ostatní ukázky jsou spíše výjimečné případy.



Obr. 2.9 Čtení stop na časovém komparátoru [17]

Význam jednotlivých stop je následující:

1 – přesný chod, 2 – předcházení, 3 – zpoždování, 4 – kulhání, 5 – poškozený zub krokového kola, 6 – setrvačka naráží, 7 – vadný krok, 8 – excentrické krokové kolo, 9 – nestejný rozkmit, 10 – nečistý krok, nestejnoměrné přenášení hnací síly, 11 – chyby izochronizmu, 12 – nevyvážená setrvačka, 13 – velká vůle setrvačky nebo chyby v záběrech kol, 14 – nestejně přenášení hnací síly. [17]

2.7 Rozkmit setrvačky

Pro hodinářskou praxi je kromě výše zmíněných též velmi důležitý parametr zvaný rozkmit setrvačky. Jedná se o úhlovou vzdálenost krajních poloh setrvačky, která se udává obvykle ve stupních. Pokud se rozkmit setrvačky pohybuje v určitých mezích, tzn. kolem 300° jedná se zpravidla o bezproblémový chod. Pokud je však rozkmit nižší například kolem 120° , může to signalizovat problémy, které nemusí být na první pohled zcela zřejmé. Hodinový stroj může i s malým rozkmitem setrvačky správně krátkodobě měřit čas. Může se například jednat o nesprávné uložení setrvačky nebo různé nečistoty, které brání plynulému chodu či dokonce korozi krokového kola.

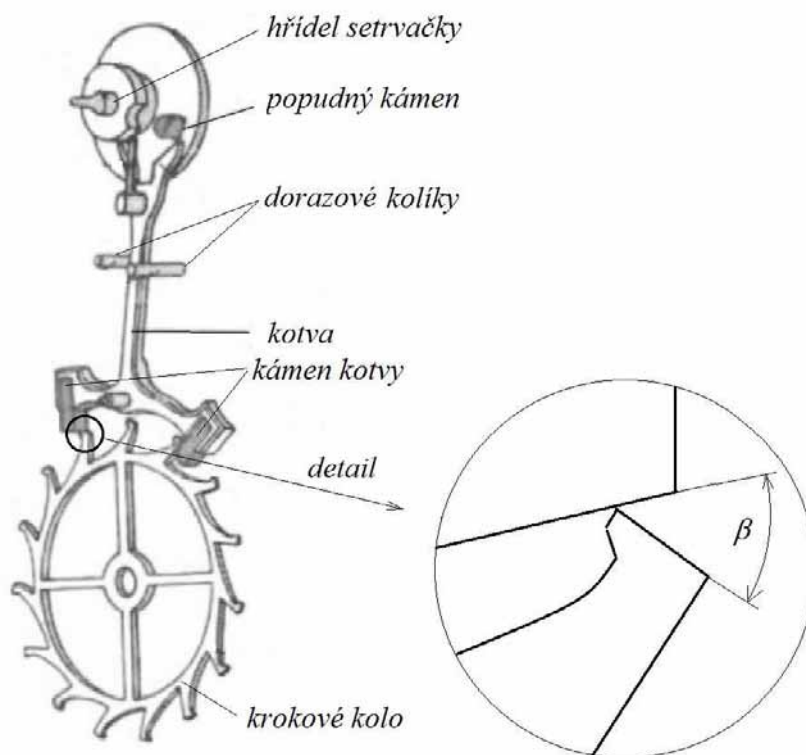
Jak je zřejmé z obrázku 2.9 (stopa 9), časový komparátor umožňuje rozeznat změnu rozkmitu setrvačky během měření, avšak není schopen číselně vyjádřit její hodnotu. Tuto funkci podporují až modernější přístroje, jako je například vibrograf Grainer B 600. Princip měření rozkmitu setrvačky spočívá v jistých fyzikálních zákonitostech, jejichž nepostradatelnými parametry jsou: počet kyvů stroje, velikost časového úseku t , který je zřejmý z obrázku 2.7 a úhlového údaje zvaného „lift angle“. Tento údaj určuje úhel, který svírá čelní plocha kamene kotvy s čelní plochou zubu krokového kola při vzájemném

kontaktu (Obr 2.10). „Lift angle“ je charakteristický pro určité druhy hodinových strojů, avšak až na jisté výjimky je pro většinu dnešních mechanických hodin stejný (52°). [16]

Zjednodušeně je tedy možné rozkmit setrvačky stanovit pomocí následujícího vztahu

$$\text{Rozkmit} = \frac{(3600 \cdot \beta)}{(t \cdot \pi \cdot m)} \quad [^\circ], \quad [16] \quad (2.1)$$

kde **Rozkmit** je hledaná veličina ve stupních, β je tzv. „Lift angle“ ve stupních (obvyklá hodnota je kolem 52°), t je čas mezi impulsy **A** a **D** v sekundách (Obr 2.7) a m značí počet kyvů stroje za jednu hodinu. [16]



Obr 2.10 Ústrojí krokového kola [8]

3. Záznam tichých akustických signálů

Smyslem této práce je analýza mechanických hodin na základě jejich akustického záznamu. Práce se signály tohoto druhu je typický případ problému zpracování signálů nízké úrovně. I v případě, kdy se záznam neprovádí v přirozeném prostředí, ale v laboratoři, je odstup signálu od šumu v některých kmitočtových pásmech velmi nízký a zejména na nízkých kmitočtech šumová složka převažuje. Proto je výběr vhodného zpracování signálu a jeho provedení kritické.

I když bude záznam signálu prováděn v akusticky upraveném prostředí, zaznamenaný signál může obsahovat velké množství nežádoucích složek. Nejpodstatnější je samozřejmě nízkofrekvenční hluk pozadí. [2]

3.1 Měřicí metoda

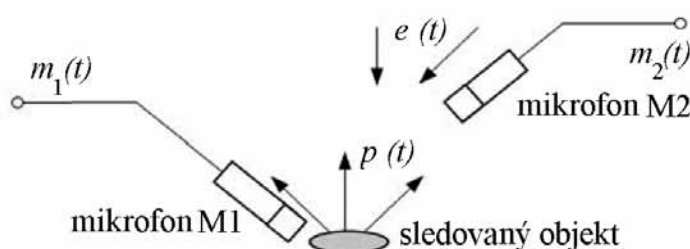
Při snímání akustických signálů obdržíme na výstupu mikrofону signály $m(t)$, které lze obecně napsat ve tvaru

$$m(t) = p(t) + e(t), \quad (3.1)$$

přičemž $p(t)$ je reprezentace akustického signálu vydávaného sledovaným objektem, v našem případě mechanickými hodinami. Chybový signál $e(t)$ můžeme dále rozdělit na složky $s(t)$ a $n(t)$, což jsou náhodné stacionární a nestacionární části signálu pocházející z vnějšího okolí měření. [2]

$$e(t) = s(t) + n(t) \quad (3.2)$$

Chybové signály $s(t)$ a $n(t)$ mohou být jak akustického původu, také však mohou být způsobeny elektromagnetickým smogem, který proniká do signálové cesty. Aby došlo k omezení vlivu chybových signálů (šumů) na přesnost analýzy akustického signálu měřeného



Obr 3.1 Snímání akustického signálu nízké úrovně [2]

objektu, bude pro měření zvolena metoda využívající 2 mikrofóny. Blokové schéma měření je na obrázku 3.1. Mikrofon M1 je umístěn v bezprostřední blízkosti měřeného objektu, řádově ve vzdálenosti několika mm. Mikrofon M2 se nachází v takové vzdálenosti, kdy lze ještě předpokládat, že charakter náhodného chybového signálu je shodný s chybovým signálem v bezprostřední blízkosti sledovaného objektu, zároveň však akustický signál vydávaný sledovaným objektem a snímáný mikrofónem M2 má velmi nízkou úroveň. [2] Signál snímáný mikrofónem M1 můžeme pomocí rovnice (3.3) napsat ve tvaru

$$m_1(t) = p(t) + e(t - t_0) = p(t) + s(t - t_0) + n(t - t_0). \quad (3.3)$$

Signál $m_2(t)$ zaznamenaný mikrofónem M2 pak můžeme napsat ve tvaru

$$m_2(t) = \alpha \cdot p(t - t_0) + s(t) + n(t), \quad (3.4)$$

kde α je činitel tlumení, přičemž platí $\alpha < 1$. Koeficient t_0 představuje časové zpoždění akustických signálů mezi oběma mikrofóny. Vzdálenost mikrofónů l_0 je pak určena vztahem

$l_0 = c \cdot t_0$, kde c je rychlost šíření akustického signálu. Šíření zvukového signálu $p(t)$ vydávaného sledovaným objektem předpokládáme směrem od mikrofonu M1 k mikrofonu M2. Směr šíření chybových signálů $s(t)$ a $n(t)$ předpokládáme opačný, tj. směrem z okolního prostředí, kde nejprve dopadnou na mikrofon M2 a poté se dále šíří k měřenému objektu. Koeficient α představuje zatlumení signálu $p(t)$ na druhém mikrofonu M2. Předpokládáme-li, že mikrofon M2 je v dostatečné vzdálenosti od sledovaného objektu a signál $p(t)$ má sám o sobě nízkou úroveň, můžeme napsat, že

$$\alpha \cdot p(t - t_0) \cong 0. \quad (3.5)$$

Na základě předchozí úvahy můžeme rovnici (3.4) napsat ve tvaru

$$m_2(t) \cong e(t) = s(t) + n(t) \quad (3.6)$$

Signál $e(t)$ naměřený mikrofonem M2 použijeme při extrakci signálu $p(t)$ ze signálu $m_1(t)$ naměřeného mikrofonem M1, tedy

$$p(t) = m_1(t) - m_2(t). \quad (3.7)$$

[2]

3.2 Filtrace naměřených signálů

U mechanických hodinek přenosných či kapesních při jejich fyzikálních rozměrech celkových i jednotlivých konstrukčních dílů lze předpokládat, že v oblasti nízkých kmitočtů nebudou generovat žádné zvukové signály.

Kmitočtové spektrum naměřených signálů $m_1(t)$ a $m_2(t)$ přitom zahrnuje celé slyšitelné kmitočtové pásmo 20 Hz ÷ 20 kHz. Z toho vyplývá, že v oblasti nízkých kmitočtů se jedná pouze o akustický, nebo indukovaný elektrický šum okolního prostředí. Z tohoto důvodu je vhodné tyto signály nejdříve kmitočtově omezit na dolním konci kmitočtového pásma. [2]

3.3 Vhodný typ mikrofonu pro záznam

Mikrofon je akusticko - elektrický převodník. Možností, jak převést akustické vlnění na elektrický signál existuje mnoho. Většinou se jedná o membránu, zachycující akustické vlny. Ta je spojena s nějakým systémem, vytvářejícím elektrický signál, který je obrazem tohoto zvuku. Akusticky jsou mikrofony řešeny jako tlakové nebo gradientní. [9]

Mikrofony tlakové:

Je-li mikrofon proveden tak, aby akustická vlna dopadala na membránu pouze z jedné strany a zbytek systému je akusticky uzavřen, jedná se o tlakový mikrofon. U tohoto uspořádání je výstupní elektrický signál přímo úměrný intenzitě zvuku a mikrofon má obvykle kulovou směrovou charakteristiku. Používá se hlavně v nahrávacích studiích, pokud jsou jmenované vlastnosti potřebné. [9]

Mikrofony gradientní:

Gradientní mikrofony mají akustický signál přiveden před i za membránu. Tím je docíleno toho, že úroveň výstupního elektrického signálu není úměrná jen jeho intenzitě, ale i jeho gradientu, tj. přírůstku intenzity v závislosti na vzdálenosti zdroje zvuku od mikrofonu. Zjednodušeně je možno říci, že zvuk z větší vzdálenosti působí stejně na obě strany membrány a jeho účinky se navzájem odečítají. Zato při snímání zvukového zdroje z bezprostřední blízkosti membrány převládá působení zepředu a výsledný elektrický signál sílí. Tato vlastnost umožňuje u mikrofonů eliminovat nežádoucí okolní hluk a sklony ke zpětným vazbám. [9]

U gradientních mikrofonů je možné technickými úpravami tvaru snímacího systému, otvorů pro zvuk za membránu a rezonančních prostorů kolem mikrofonního systému tvarovat i tzv. směrovou charakteristiku mikrofonu. Výrobci vyjadřují směrovou charakteristiku grafem, popisujícím, v jakých úhlech vzhledem k ose mikrofonu má ten který typ největší

citlivost. Prostor největší citlivosti může mít různý tvar: kulový, ledvinový, osmičkový, kuželový apod. [9]

Princip dynamických mikrofonů

Elektrodynamický (dynamický) mikrofon je nejrozšířenějším druhem mikrofonu pro pódiové ozvučení. Membrána kmitající vlivem zvuku je spojena s cívkou, která se pohybuje v magnetickém poli permanentního magnetu (u moderních mikrofonů je použit silný neodymový magnet). Pohybem cívky v magnetickém poli vzniká elektrický signál. Typickou impedancí dynamických mikrofonů je 30 až 300 ohm. Má vyrovnanou přenosovou charakteristiku. [9]

Princip krystalových mikrofonů

Principem krystalového mikrofonu je schopnost některých materiálů (keramických, nebo některých solí) vytvářet na pokovených plochách výbrusu při mechanickém namáhání elektrický potenciál. Na výbrus se z membrány přenáší pohyb mechanicky "chvějkou". Stejně pracuje i krystalová přenoska klasického gramofonu. Krystalového systému využívají některé mikrofony podobné typu „Green Bullet“ a různé nástrojové nebo ladičkové snímače. Typická impedance krystalového mikrofonu je vysoká, v oblasti megaohmů. Přivede-li se na piezoelektrický měnič nějaký signál, převede ho měnič zpět na zvuk, proto piezoelektrický měnič najdeme například ve starých náramkových hodinkách se zvukovým signálem, v budících, kde nahrazují malý reproduktor apod. Má tvar ploché mince s postříbřeným středem. [9]

Princip uhlíkových mikrofonů

Membrána, na níž dopadá akustické vlnění rozechvívá uhlíkový prášek, který tím mění svůj odpor. Protéká-li uhlíkovým práškem proud, je tímto měnícím se odporem modulován. Proto uhlíkový mikrofon potřebuje napájení (podle typu od 1 do 10V). Typický odpor uhlíkového mikrofonu je 50 až 200 ohm. Je levný, ale pro svou omezenou přenosovou charakteristiku a chraptivý zvuk se používal hlavně v telefonii a v hudbě. [9]

Princip kondenzátorových mikrofonů

Pro své vynikající zvukové vlastnosti je ve studiích používán kondenzátorový (elektrostatický) mikrofon. Tenká vodivá membrána je umístěna velmi blízko pevné vodivé elektrodě (řádově mikrometry). Když zvuk chvěje membránou, mění tím kapacitu takto vzniklého kondenzátoru a moduluje procházející proud. Mikrofon je velice náročný na výrobu, jeho cena je vysoká ale jeho charakteristika je mimořádně vyrovnaná. Elektrický signál, získaný tímto systémem je slabý, takže je nutno zesílit ho už v blízkosti mikrofonu. Impedance je závislá na předzesilovači. [9]

Princip elektretových mikrofonů

Elektretových mikrofonů je mnoho druhů. Společné mají to, že elektrický signál zde vzniká pohybem vodivé membrány v elektrickém poli. Umožňuje to vlastnost některých izolantů (elektretu) trvale udržet elektrickou polarizaci. Tím nutnost permanentního magnetu odpadá. Většina elektretových mikrofonů obsahuje i FET tranzistor, zesilující elektrický signál, proto tyto mikrofony potřebují napájení. Elektretové mikrofony je možné najít v elektronice, mobilech, kamerách, počítačích a používají se i pro snímání hudebních nástrojů. Jejich impedanční vlastnosti jsou určeny integrovaným zesilovačem. [9]

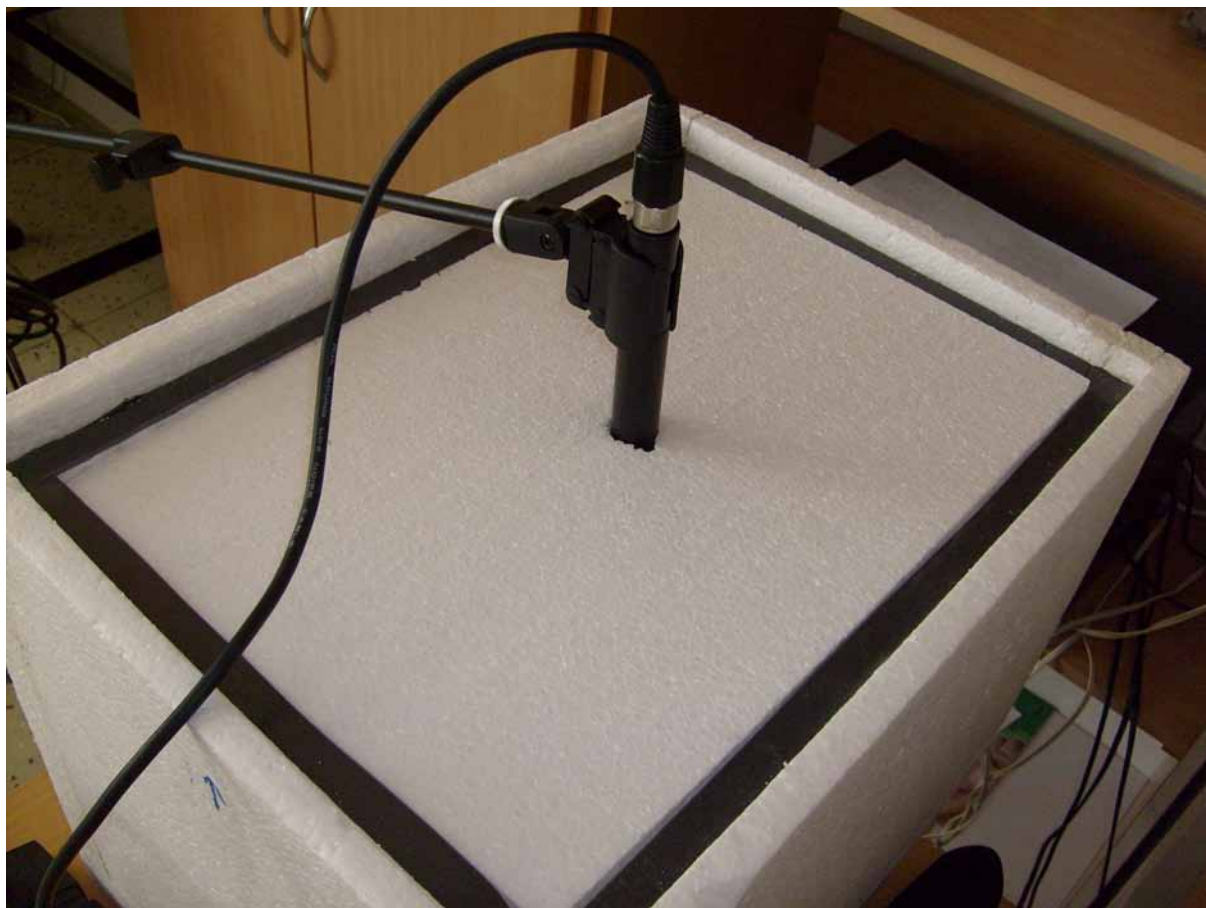
Nejvhodnějším kandidátem pro snímání zvuku velmi nízkých úrovní se jeví kondenzátorový mikrofon. Tedy v podstatě „studiový“ mikrofon, který má vysokou citlivost. Čím vyšší je citlivost mikrofonu, tím je lepší odstup užitečného signálu od šumu, protože při vyšším signálu z mikrofonu jej není zapotřebí dodatečně tolik zesilovat. „Studiový“ mikrofon má navíc další velmi vhodnou vlastnost pro naše potřeby, dokáže částečně eliminovat nežádoucí okolní hluk, který by mohl znehodnotit záznam.

3.4 Konstrukce protihlukového boxu

V úvodních experimentech bude pro jednoduchost zvolena nejjednodušší metoda záznamu, tj. záznam signálu pouze jedním mikrofonom v co nejlépe akusticky izolovaném prostředí. Toto prostředí zajišťuje protihlukový box z polystyrenu, vyrobený speciálně pro tento účel (Obr 3.2). Stěna boxu je 4 cm silná. Odnímatelné víko má kvůli lepší izolaci na hranách dvojí zalomení, kde se na dosedací ploše nachází tmavé pěnové těsnění. Dosažení co nejlepší akustické izolace od okolního hluku a zároveň dosažení co nejmenší odrazivosti od vnitřních stěn bude předmětem následujícího měření. Měření bude provedeno pro různé uspořádání zdroje zvuku a mikrofonu a různé druhy výplně. Výplň bude zaměněna tak, aby při výměně za jiný materiál byly vnitřní rozměry boxu vždy zachovány.

Experimentálně je nutné ověřit, zda bude vhodnější zkoumané hodiny z důvodu menšího útlumu užitečného signálu například položit či raději zavěsit a to buď pevně nebo pružně.

S ohledem na dostupnost požadovaných mikrofونů bude na základě úvodního měření vyhodnocen mikrofون s největší citlivostí. Tento mikrofون bude použit pro veškerá další měření. Metoda dvou mikrofонů pro minimalizaci rušení nebude realizována z důvodu nedostupnosti potřebného technického vybavení.



Obr 3.2 Protihlukový box s instalovaným mikrofonom SENNHEISER

4. Laboratorní záznam chodu hodin

4.1 Experimentální měření

Experimentální záznamy chodu hodin byly pořízeny mikrofony (ECM 8000 Behringer, SENNHEISER, PEAVEY PV) a při různém nastavení parametrů mikrofonního zesilovače Europack UB 1002 Behringer (Obr 4.1).

Celkem bylo pořízeno 24 záznamů, které zahrnují různé variace čtyř druhů hodinek, dvou druhů výplně, mikrofonů a jejich umístění a nastavení parametrů předzesilovače. Všechny tyto záznamy jsou uloženy v elektronické formě na přiloženém CD nosiči. Podrobnější informace o jednotlivých záznamech jsou v dokumentu „poznámky.doc“ ve stejném adresáři. Záznamy jsou číslovány 001.wav až 024.wav. Z pořízených zvukových záznamů je na první pohled zřejmé, že nejkvalitnější záznam byl pořízen s mikrofonom ECM 8000 Behringer bez krytu. Kryt slouží jako ochrana proti prachu, ale též jako zvukový filtr a vzhledem k daným nízkým úrovním signálu je lepší jej nepoužít. Při užití naposledy zmíněného mikrofonu bylo dosaženo největšího odstupu signálu od šumu, což je zřejmé z obrázku 4.2 a) a b), kde a) představuje kvalitní záznam mikrofonom ECM 8000 Behringer a b) představuje záznam mikrofonom SENNHEISER. Mikrofon SENNHEISER je sice též velmi kvalitní, ale je akusticky citlivý téměř v celé svojí délce a pro tyto podmínky není protihlukový box uzpůsoben. Tedy z hlediska odstupu signálu od šumu byl nekvalitnější záznam pořízen při následujících parametrech:

Hodinky: DOXA

Způsob snímání: viz Obr 4.3

Druh výplně: molitan

Mikrofon : ECM 8000 Behringer, bez krytu

Zesílení: Europack UB 1002 Behringer

Nastavení zesilovače: line 1 – gain MAX

MAIN MIX – střed (0dB)

Equalizer HI střed MAX (krajní poloha)

MID MAX (krajní poloha)

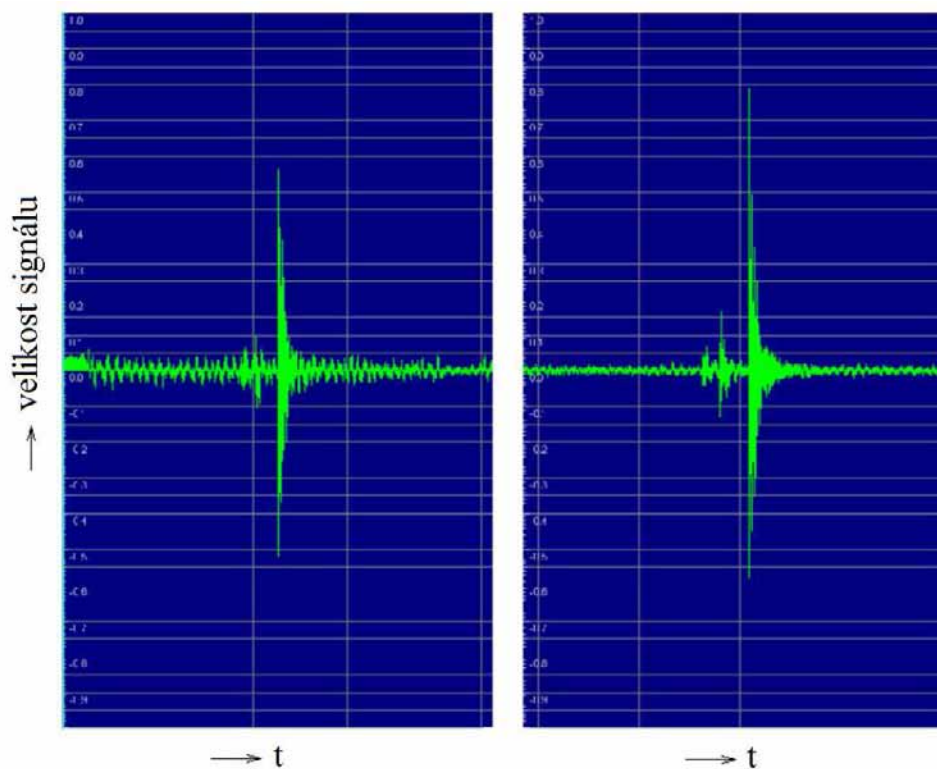
LO střed (0) (při vyšší chytá ZV)

PAN střed (vypnuto)

LEVEL – MAX (krajní poloha)



Obr 4.1 Mikrofonní předzesilovač



Obr 4.2 Časový průběh zaznamenaný mikrofonom
a) SENNHEISER b) Behringer



Obr 4.3 Vzájemná poloha hodin a mikrofону

Z obrázku 4.3 je zřejmé že se nejedná o žádné speciální uložení, nýbrž jen snaha přiblížit mikrofón co nejvíce setrvačce. Rušivé vlivy vyvolané velmi malou vzdáleností mikrofónu a hodin, jako například odražený zvuk od víka hodin nebyly zaznamenány.

4.2 Rozbor zaznamenaného signálu – časová oblast

Nejzákladnějším parametrem, který je možno určovat z akustického záznamu chodu hodin, je jejich přesnost. Na obrázku 4.2 b) jsou patrné tři impulsy blíže popsané v teoretickém úvodu v kapitole 2.5. Základní myšlenkou dříve zmiňovaného vibrografu je indikace nejsilnějšího impulsu a jeho zaznamenání na odvíjející se papírek.

V modernějším pojetí je možné si to představit i tak, že daný signál časově rozdělíme na intervaly o délce jednoho kyvu a tyto časové intervaly umístíme do matice za sebou tak, aby jeden časový interval odpovídal jednomu sloupci matice. Tento princip je možné interpretovat například v prostředí „Matlab“. Výpis programu, který koná výše popsanou funkci se nachází na obrázku 4.4. Program byl napsán ve verzi Matlab 6.5. Pro větší názornost budou pro

ukázku použity tři záznamy stejných hodin (kapesní hodinky DOXA r. 1905) při stejných podmínkách. Jediným proměnným parametrem bude nastavení rychlosti chodu hodin regulační ručkou (Obr 2.1). Při aplikaci výše uvedeného programu na zvukový záznam dostaneme zmiňovanou matici (Obr 4.5), ve které bílá barva má význam signálu s nulovou amplitudou a černá barva má význam signálu s maximální amplitudou.

```
pocet_kyvu=5; % pocet kyvů hodin za 1 sekundu
Y=wavread('024.wav'); % načtení zvukového záznamu
Fvzork=44100; % vzorkovací kmitočet

% naplnění matice
x=0;
M=zeros(Fvzork/pocet_kyvu, (round(length(Y)/Fvzork*pocet_kyvu)-1));
n=0;
for i=1:(round(length(Y)/Fvzork*pocet_kyvu)-1)
    x=x+1;
    for j=1:Fvzork/pocet_kyvu
        n=n+1;
        M(j,x)=Y(n);
    end
end

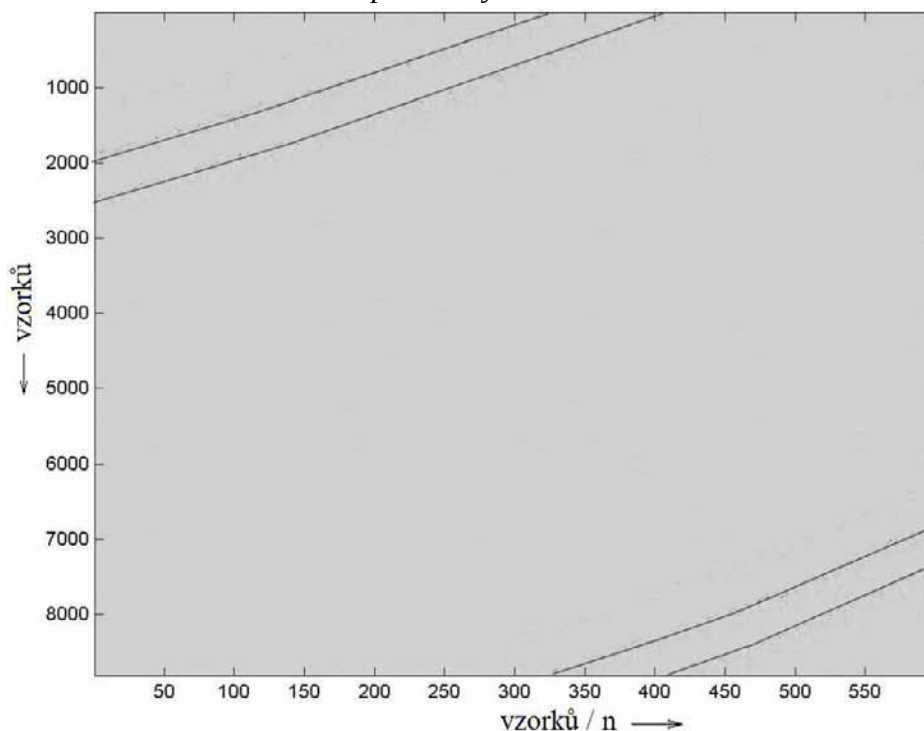
imagesc(M) % vykreslení matice
```

Obr 4.4 Výpis programu

Zjednodušeně si lze představit, že vzorky signálu jsou přeskládány do sloupců, kdy jeden sloupec má právě 8820 vzorků. Daný počet vzorků vychází ze vzorkovacího kmitočtu a počtu kyvů hodin za jednu sekundu.

Tedy pokud počet vzorků ve sloupci je **n**, pak platí, že

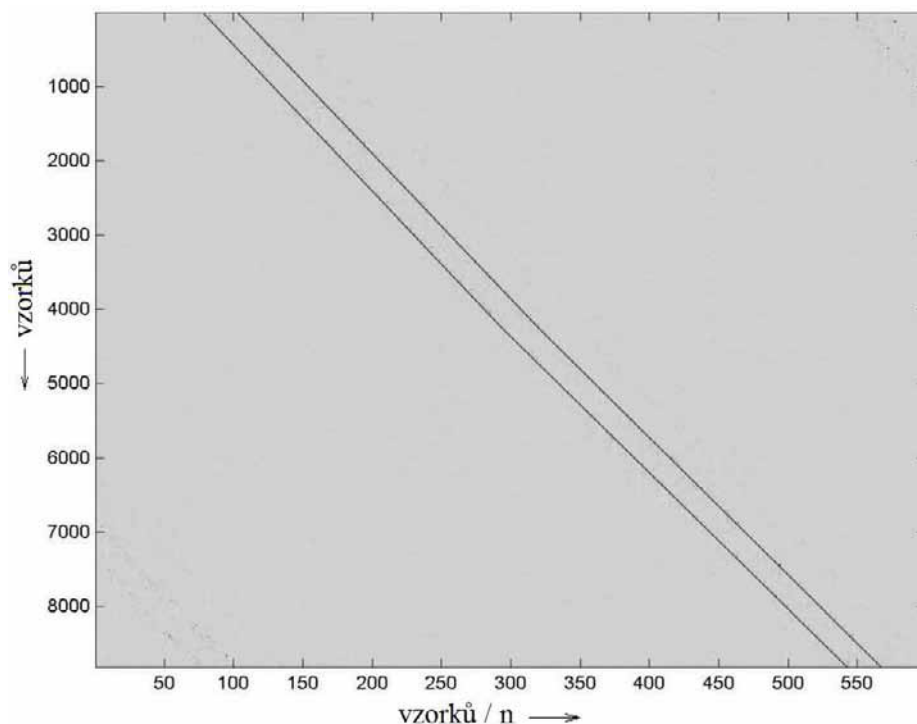
$$n = \frac{f_{\text{vzork}}}{\text{pocet_kyvu}} \frac{44100}{5} = 8820 \text{ vzorků.} \quad (4.1)$$



Obr 4.5 Matice pro stav regulační ručky „FAST“

Hodnoty v ose x pak mají význam počtu takovýchto sloupců. Pokud bychom tedy měli hodinky, které mají ideálně počet kyvů shodný s uvažovaným počtem kyvů pro vykreslování, (tzn. chod hodin je ZCELA přesný) pak by výsledkem byla přímka rovnoběžná s osou x . Poloha začátku křivky na ose y je víceméně náhodná a závisí na tom, ve kterém okamžiku mezi jednotlivými kyvy zahájíme záznam. Přičemž výsledek určení přesnosti není polohou začátku nijak ovlivněn. V našem případě (Obr 4.5) je regulační ručka uvedena do polohy „FAST“ a křivky tomu odpovídají – každý další kyv přichází o trochu dříve – hodinky jdou rychleji.

Na dalším obrázku 4.6 je stejným způsobem zpracován záznam, kdy je regulační ručka ve střední poloze („0“).



Obr 4.6 Matice pro stav regulační ručky „0“

Z obrázku 4.6 je zřejmé, že každý další kyv přichází o něco později, tj. hodinky jdou pomaleji. Obrázek 4.7 odpovídá stavu, kdy je regulační ručka nastavena do polohy „SLOW“. Křivka je ještě více skloněná než na obrázku 4.6, tedy hodinky jdou ještě mnohem pomaleji.

Na obrázku 4.8 je detail záznamu, který odpovídá obrázku 4.5. Jedná se o výpočet identické matice, pouze vstupní signál byl zkrácen na cca 5 sekund. Z obrázku 4.8 jsou patrné dvě nejvýraznější křivky, které odpovídají zvuku „D“ (nejsilnější zvuk - viz kapitola 2.5). Další nepatrné náznaky křivek jsou zapříčiněny zjednodušeným způsobem zpracování programu. Z hlediska výtěžnosti informace o přesnosti by měl program vykreslovat pouze nejsilnější zvuk „D“ a ostatní slabší zvuky potlačit. Jedná se však zatím pouze o experimentální verzi programu.

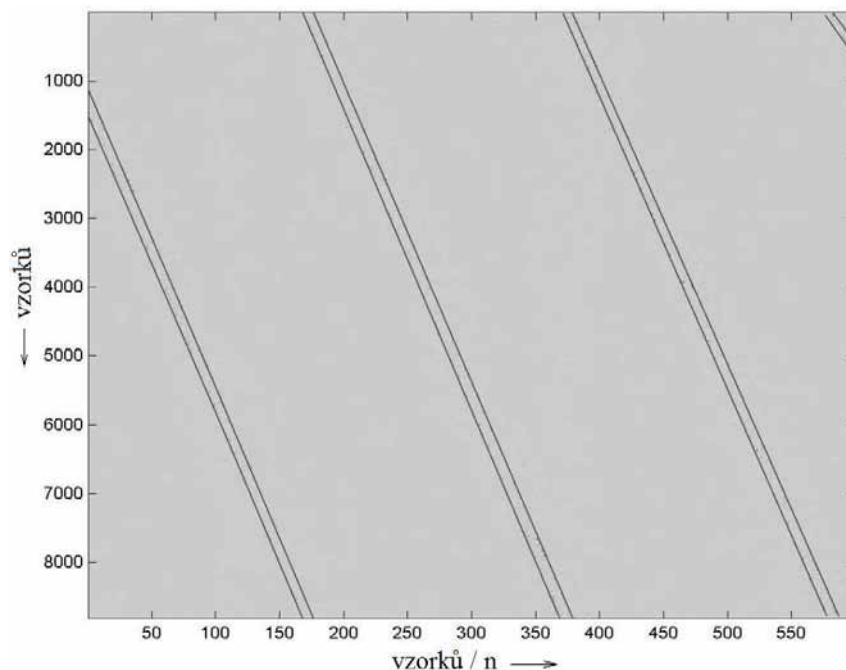
Z obrázků 4.5 4.6 a 4.7 je možné rozpoznat, že dvě rovnoběžné křivky, způsobené záznamem, nejsou pro všechna tři nastavení stejně daleko od sebe.

Jedná se o vadu zvanou „nerovnodobost kyvu setrvačky“ nebo též kulhání (viz kapitola 2.1). Pokud by kyv setrvačky na jednu i druhou stranu trval stejně dlouhou dobu, byl by záznam tvořen pouze jedinou křivkou a tedy nerovnodobost kyvu setrvačky by byla nulová. Je tedy zřejmé, že pro uvažované tři záznamy závisí velikost nerovnodobosti kyvu setrvačky

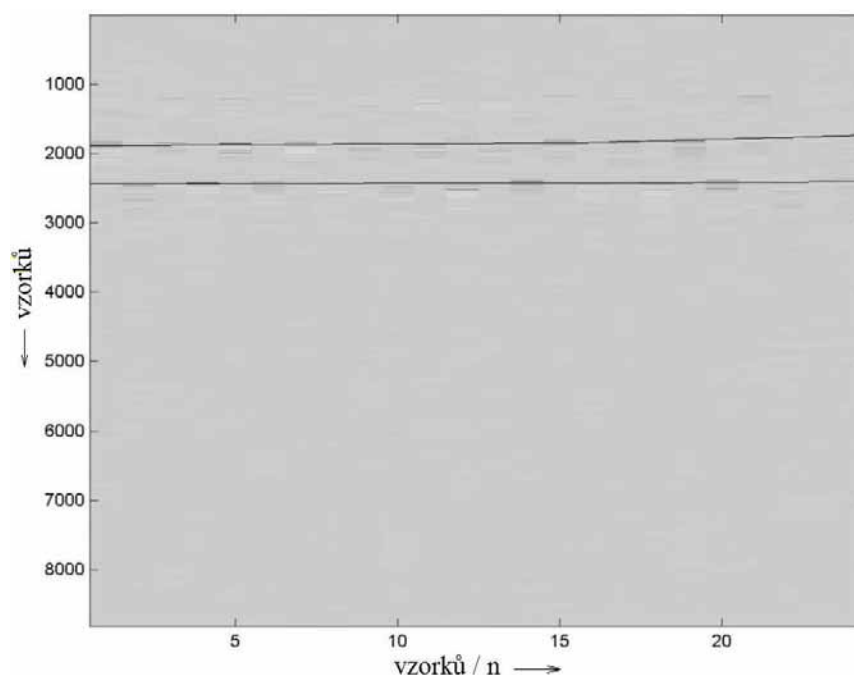
na nastavení rychlosti hodin. Taková závislost ovšem může velmi ztížit opravu hodinového stroje.

Na obrázku 4.9 je taktéž dvouminutový záznam náramkových hodin „POBEDA“. Ze záznamu je patrná nejen dvojité řada (viz výše), ale především proměnlivý chod hodin. To znamená, že záznam tvoří křivka nikoli přímka. Tyto hodinky se dají považovat za méně kvalitní, vzhledem k tomu, že nelineární chod je patrný už ze záznamu, který je dlouhý dvě minuty.

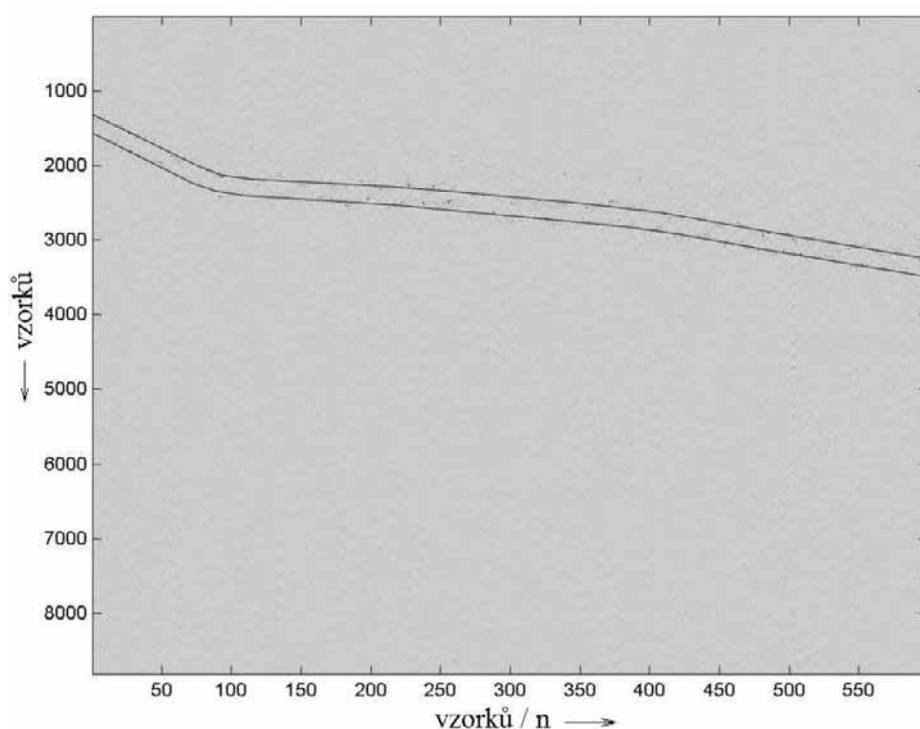
Ve všech obrázcích generovaných úsekem programu z obrázku 4.4 byly křivky pro větší názornost dodatečně uměle zvýrazněny.



Obr 4.7 Matice pro stav regulační ručky „SLOW“



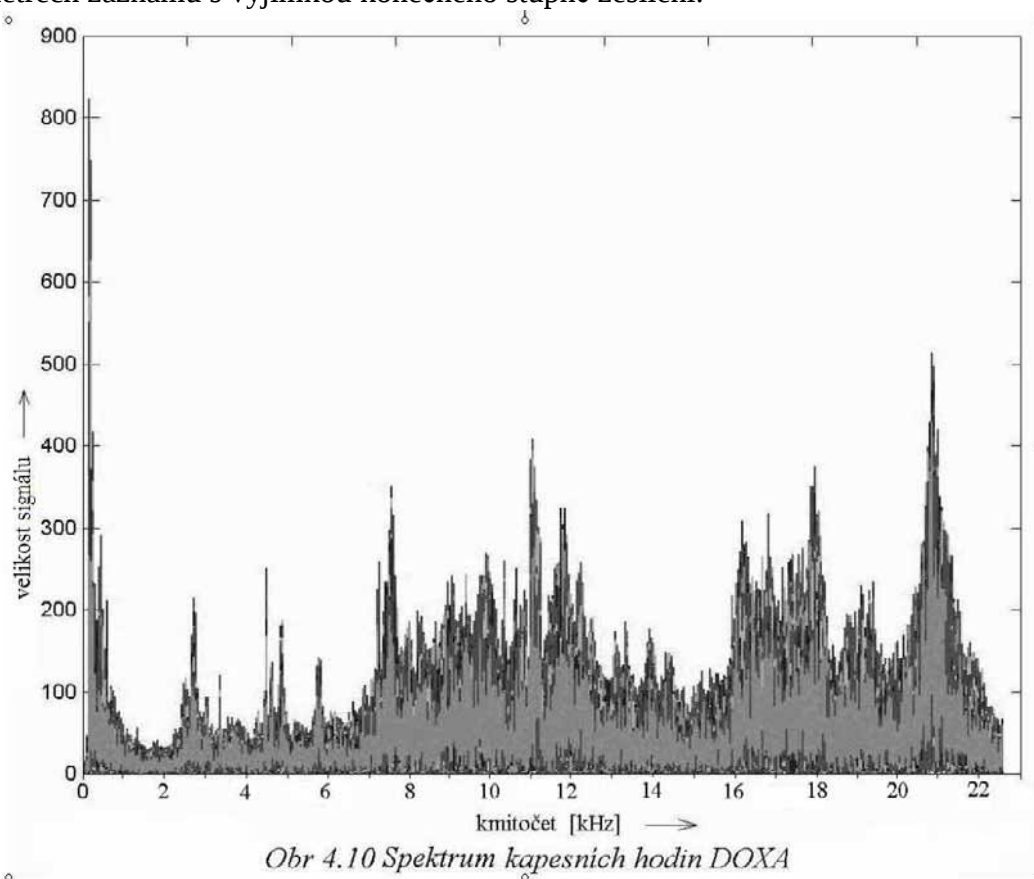
Obr 4.8 Detail matice z obrázku 4.5



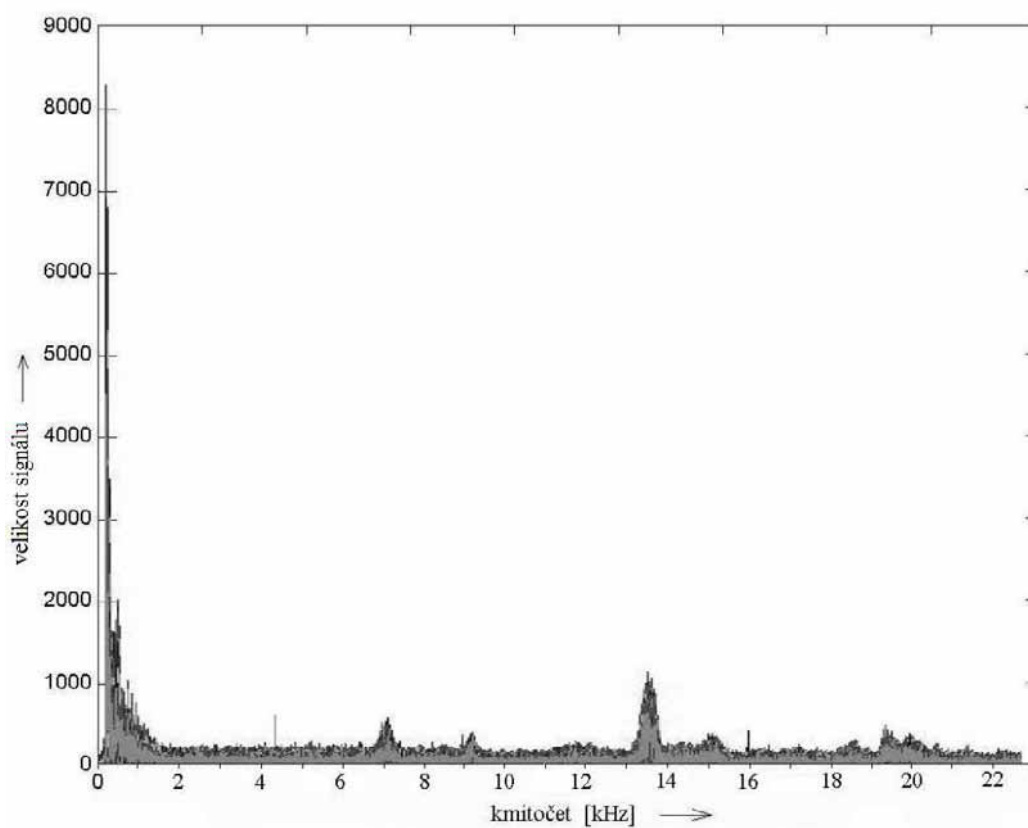
Obr 4.9 Proměnlivý chod hodin

4.3 Rozbor zaznamenaného signálu – kmitočtová oblast

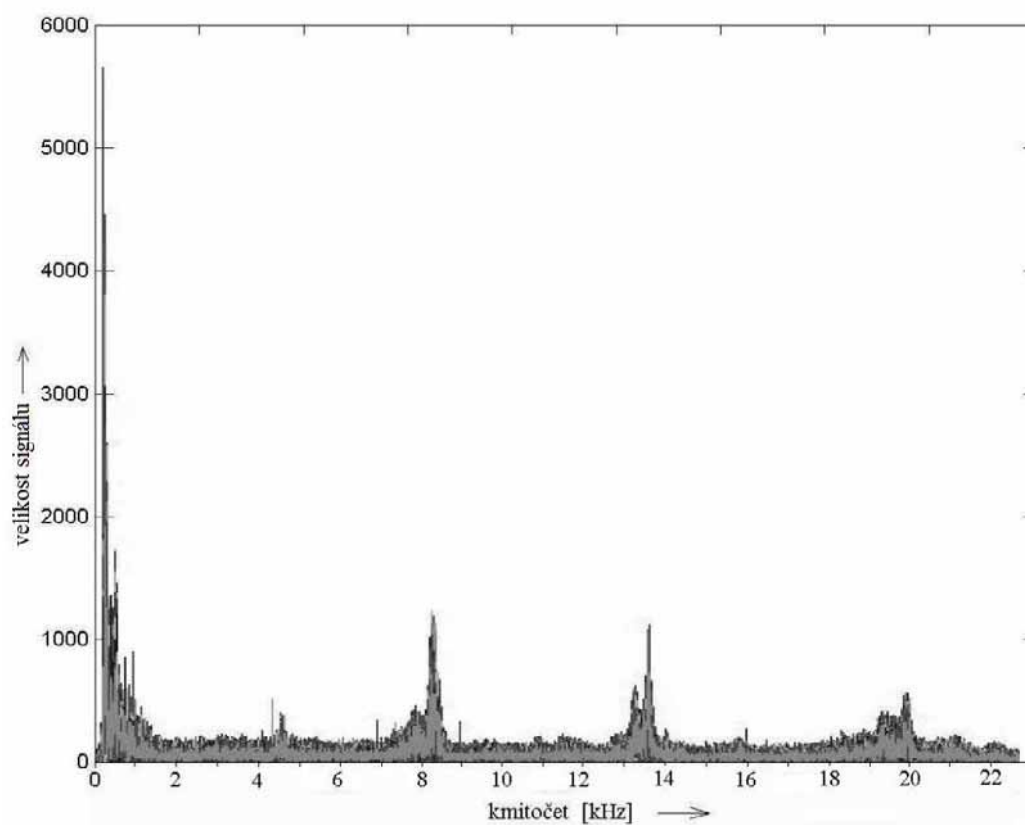
Spektrální složky budou pravděpodobně charakteristické pro daný druh hodinového stroje. V případě záznamu pouze odlišných hodinových strojů lze jen stěží tyto spektra srovnávat. Jako příklad jsou uvedeny spektra tří druhů hodin (Obr 4.10, 4.11 a 4.12) při stejných parametrech záznamu s výjimkou konečného stupně zesílení.



Obr 4.10 Spektrum kapesních hodin DOXA



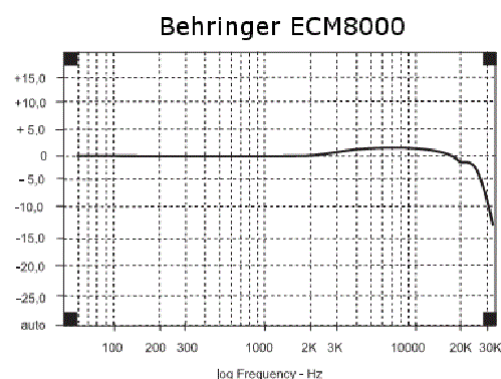
Obr 4.11 Spektrum náramkových hodin POBEDA



Obr 4.12 Spektrum náramkových hodin PRIM

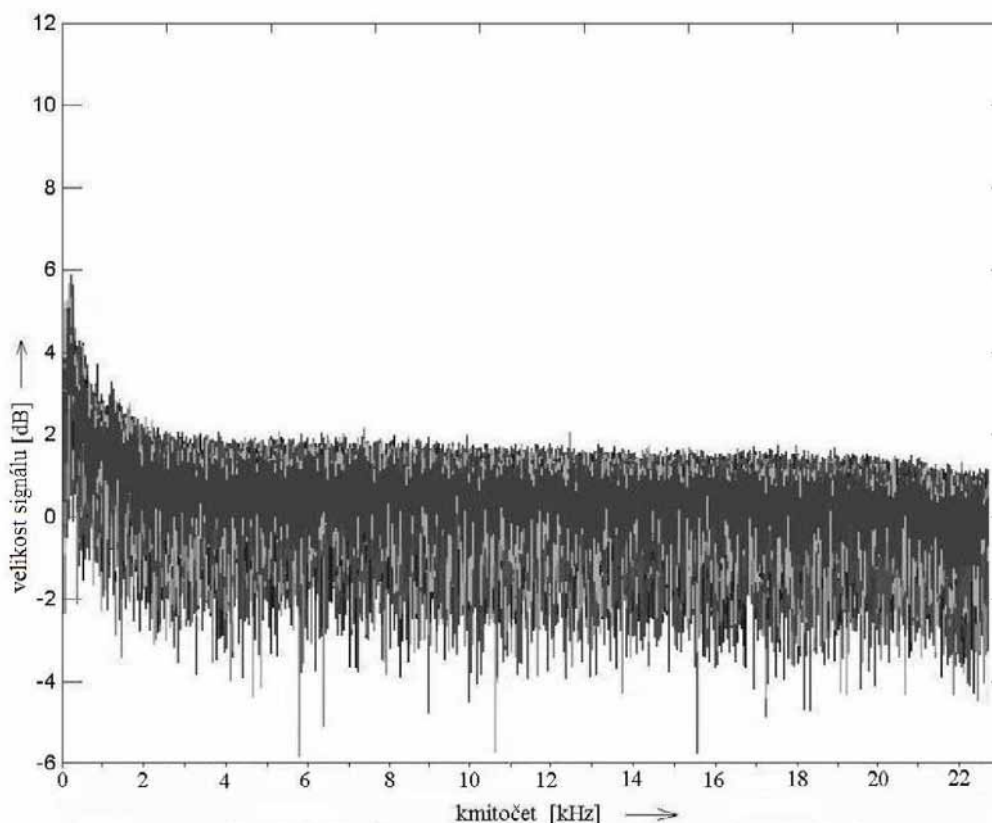
Poněvadž každý z různých hodinových strojů měl jinou velikost hlasitosti, bylo nezbytné signál dodatečně zesílit, aby bylo vůbec možné spektrum zobrazit.

Při bližším zkoumání kmitočtového spektra záznamů je pozoruhodné, že se ve spektru vyskytují kmitočty velmi se blížíící meznímu kmitočtu 22500 Hz. Při dalším měření by bylo vhodné zjistit skutečný původ těchto spektrálních složek o vysokém kmitočtu. V případě, že se opravdu jedná o kmitočtové složky generované chodem hodin, bylo by vhodné zvýšením vzorkovacího kmitočtu tuto oblast lépe prozkoumat. Ovšem podle technických parametrů mikrofonu, který se jeví jako nejvhodnější pro daný druh signálu, tj. mikrofonu BEHRINGER ECM8000 to není zcela triviální řešení. Při kmitočtech od 20 kHz do 30 KHz dochází k velkému poklesu velikosti signálu, což je patrné z obrázku 4.13.



Obr 4.13 Kmitočtová char. [12]

V rámci experimentálních záznamů byl pořízen záznam i bez zdroje zvuku (hodin), jehož spektrum je na obrázku 4.14. Aby byl průběh spektra lépe čitelný i při velmi nízkých úrovních, bylo spektrum zobrazeno v logaritmické míře. Z obrázku 4.14 je zřejmé, že téměř všechny složky jsou zastoupeny rovnoměrně kolem cca 2 dB. Složky na nízkých kmitočtech dosahující úrovně až 6 dB jsou pravděpodobně generovány nízkofrekvenčním rušením, nikoli chodem hodin.



Obr 4.14 Spektrum záznamu bez zdroje zvuku (hodin)

5. Databáze záznamů

Hodnotnější databáze akustických záznamů chodu hodin byla pořízena návštěvou hodinářské dílny v rámci Stření školy obchodu a služeb v Jihlavě. Záznamy byly pořízeny za pomoci mikrofону BEHRINGER ECM8000 (Obr 4.3) a mikrofonního předzesilovače EURORACK (Obr 4.1).

Optimální nastavení předzesilovače bylo převzato z úvodních pokusů, kde byl tento vliv zkoumán. Celkem bylo pořízeno 22 záznamů, které jsou shrnuty v následující tabulce 5.1. Podrobnější informace o jednotlivých záznamech jsou uvedeny v příloze A. U každého záznamu je zobrazen časový průběh a histogram spektra. Pro všechny záznamy byl použit vzorkovací kmitočet 44,1 kHz a délka záznamu 120 s. Při číslování záznamů byl brán ohled na experimentální záznamy pořízené v první části projektu. Záznamy jsou samozřejmě k dispozici na přiloženém CD pod názvy 025.wav až 046.wav.

Číselné označení jednotlivých hodinových strojů patrné z poznámky v tabulce 5.1 se nazývá „kalibr“ (cal). Dříve kalibr udával průměr hodinového stroje v jednotkách zvaných „pařížská linka“, ale v dnešní době se jedná spíše o typové označení stroje.

Maximální časová chyba způsobená vzorkováním při záznamu chodu může tvořit maximálně dvě vzorkovací periody, tzn. nevhodný okamžik pro vzorkování na začátku a na konci časového intervalu. Při užití běžného vzorkovacího kmitočtu 44,1 kHz bude maximální časová chyba v mikrosekundách

$$t_{chyba} = 2 \cdot \frac{1}{44100} = 45,351 \text{ } \mu\text{s} . \quad (5.1)$$

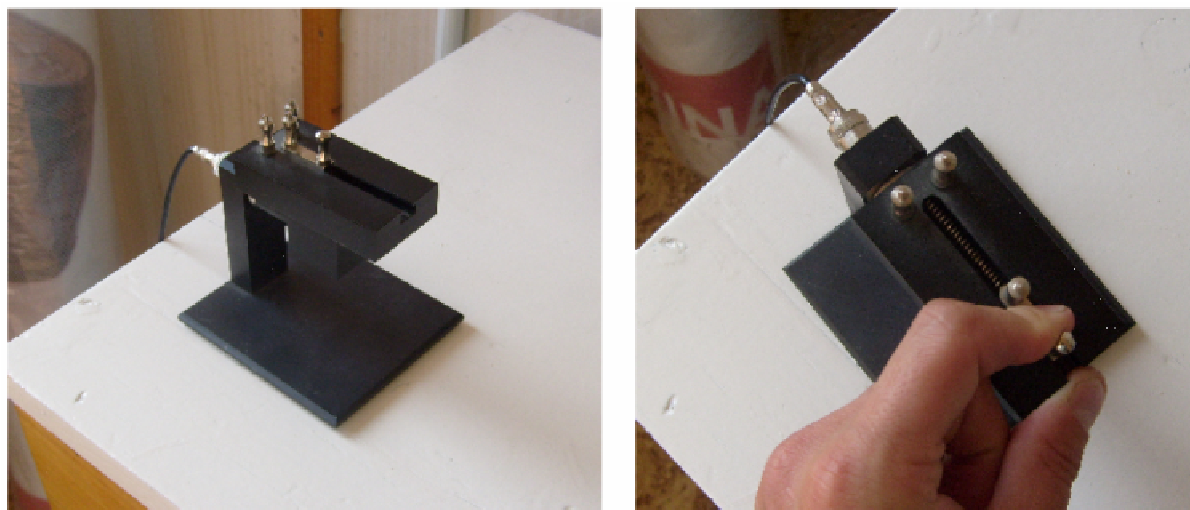
Tabulka 5.1 Databáze záznamů

název záz. n.	poznámka	stav	počet kyvů
25	náramkové h. cal 2824 - 2 ETA	100%	8
26	náramkové h. cal 2824 - 2 ETA	kulhání	8
27	náramkové h. cal 2892A2 ETA	100%	8
28	VALJOUX 7751 v chodu od r. 1995	100%	8
29	VALJOUX 7751 v chodu od r. 1995	kulhání	8
30	náramkové h. cal 2892A2 ETA	kulhání + zrychlování	8
31	stopky HEUER semikrograph pat. 73392/93	100%	50
32	stopky Hanhart	100%	10
33	námkové h. PRIM cal 68	100%	5
34	budík neznámého původu (znečištěný stroj)	neznámý	neznámý
35	budík PRIM B - 71	100%	4,25
36	budík HES B - 90	100%	3,3
37	budík HES B - 90	kulhání	3,3
38	budík HES B - 90 , poloha 0 stupňů	nevyvážená setrvačka	3,3
39	budík HES B - 90 , poloha 270 stupňů	nevyvážená setrvačka	3,3
40	budík HES B - 90 , poloha 180 stupňů	nevyvážená setrvačka	3,3
41	budík HES B - 90 , poloha 90 stupňů	nevyvážená setrvačka	3,3
42	námkové h. PRIM cal 68	přemazaný krok	5
43	budík HES B - 90 poloha ručky SLOW	100%	3,3
44	budík HES B - 90 poloha ručky FAST	100%	3,3
45	budík HES B - 90 poloha ručky CENTER	100%	3,3
46	kapesní hodiny DOXA v přípravku (viz obr 6.1)	neznámý	neznámý

Pokud srovnáme tuto časovou chybu s dobou jednoho kyvu speciálních rychloběžných stopek se 100 kyvy za sekundu (extrémní případ), chyba tvoří cca 0,45% doby jednoho kyvu. Vzorkovací kmitočet dnešních PC s obyčejným záznamovým zařízením může být však

mnohem vyšší. Záznam však bývá mnohonásobně delší než v jednotkách kyvů a též uvedený počet kyvů je spíše výjimečný. Tyto skutečnosti daný výpočet jen zpřesňují.

Poslední záznam v tabulce 5.1 s číslem 046 byl pořízen speciálním přípravkem který je součástí profesionálního přístroje pro analýzu hodinek. Bližší informace o tomto přístroji však bohužel nejsou známy. Ze záznamu jsou však již sluchem patrné nežádoucí zvuky. Jedná se s největší pravděpodobností o kmitání pružiny, která má přidržovat analyzovaný hodinový stroj (Obr 5.1). Přístroj, ke kterému přípravek náleží je zřejmě laditelný a kmitání pružiny neovlivní výsledek analýzy, pro naše potřeby je však tento přípravek nevyhovující.



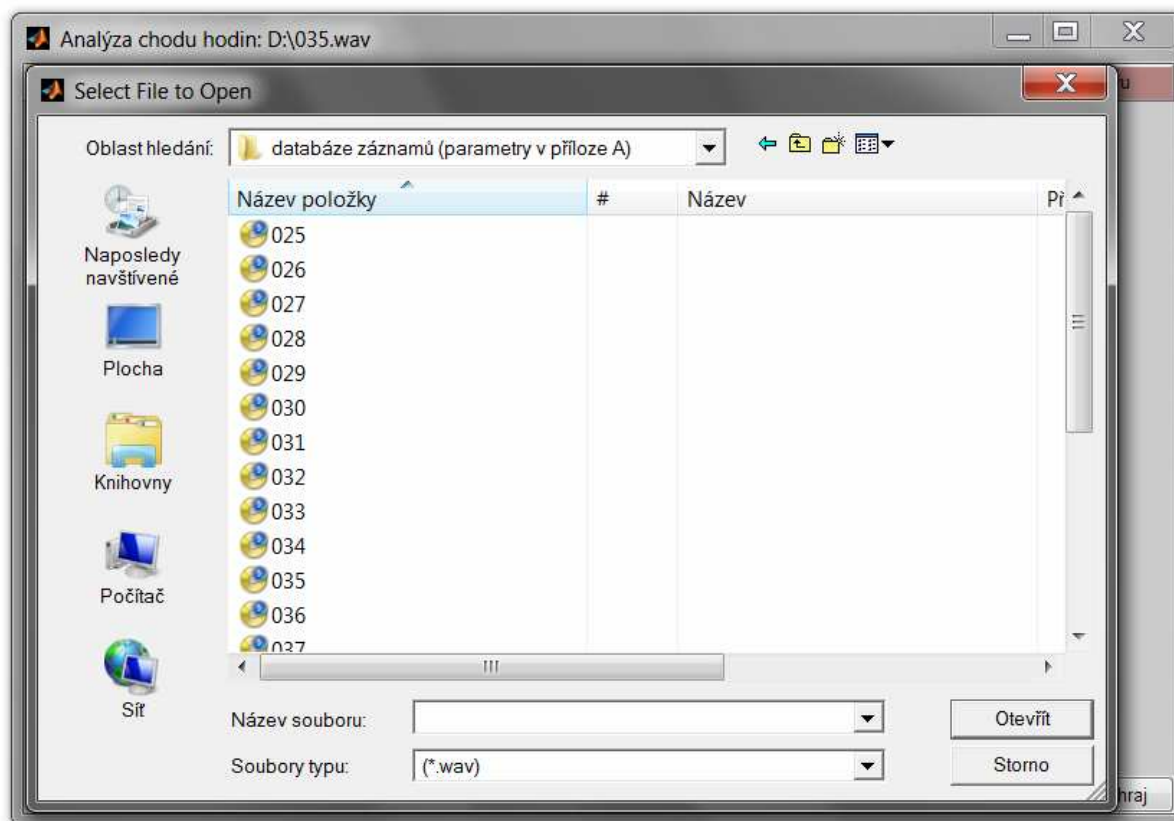
Obr 5.1 Profesionální přípravek pro záznam

6. Program pro analýzu chodu hodin

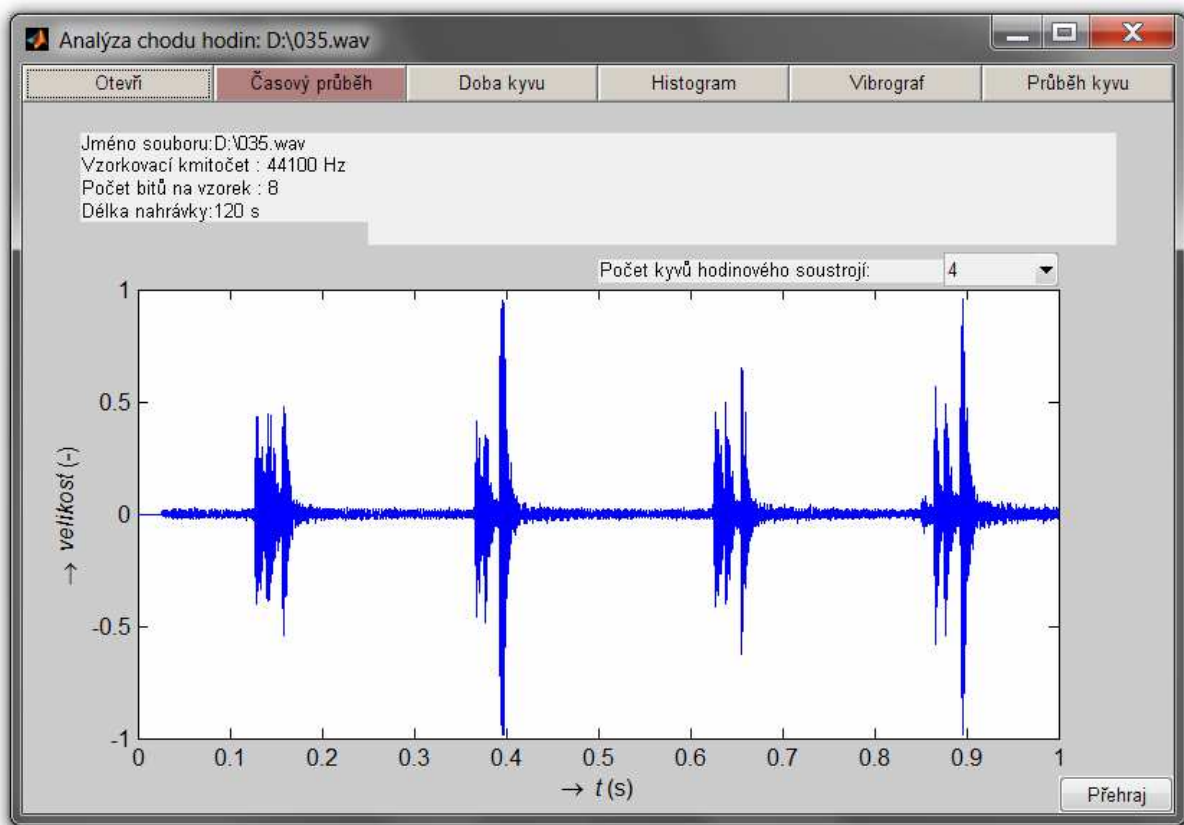
6.1 Popis funkce

Vstupními daty pro vytvoření softwaru pro určení přesnosti chodu hodinek byla samozřejmě výše zmíněná databáze. Vstupní data programu mají charakter zvukového záznamu v audio formátu wav (nejběžnější audio formát při záznamu zvuku pomocí PC). Výchozím prostředkem pro uvažovaný program je prostředí Matlab, konkrétně Matlab 7.6.0 (R2008a). Program pro analýzu je však uzpůsoben i pro autonomní činnost (viz kapitola 6.2 Ovládání programu).

Princip funkce, který je nastíněn vývojovým diagramem v příloze B, je založen na vyhledání impulsů (jednotlivých kyvů) v audiosignálu pomocí korelace, vypočtení a zaznamenání časových úseků mezi jednotlivými impulsy (kyvy). Prvním nezbytným krokem pro činnost programu je načtení audio záznamu do paměti. Současně jsou z těchto dat vyčteny parametry audio záznamu, jako je vzorkovací kmitočet, délka záznamu apod. Tyto parametry jsou klíčové pro další práci se signálem. Jednotlivé funkce programu jsou rozčleněny pod ovládacími tlačítky s příslušným popisem. Úvodní menu a funkce „Otevři“ soubor jsou viditelné na obrázku 6.1, přičemž je samozřejmostí, že pokud není otevřen soubor s audio daty, tlačítka pro ostatní výpočty jsou neaktivní. Při stisknutí tlačítka „Otevři“ se objeví standardní okno pro výběr vstupního souboru s daty, ve kterém se zobrazují pouze soubory podporované daným programem, tedy soubory s příponou wav (Obr 6.1). Po otevření audiosignálu jsou dále automaticky prováděny některé operace, které uživateli usnadňují ovládání, tj. automaticky se zobrazí časový průběh aktuálního vstupního signálu a rovněž je předběžně vypočten počet kyvů hodinového soustrojí (Obr 6.2). Počet kyvů hodinového stroje je nezbytný parametr pro určení přesnosti hodin.



Obr 6.1 Úvodní menu a načtení vstupních dat



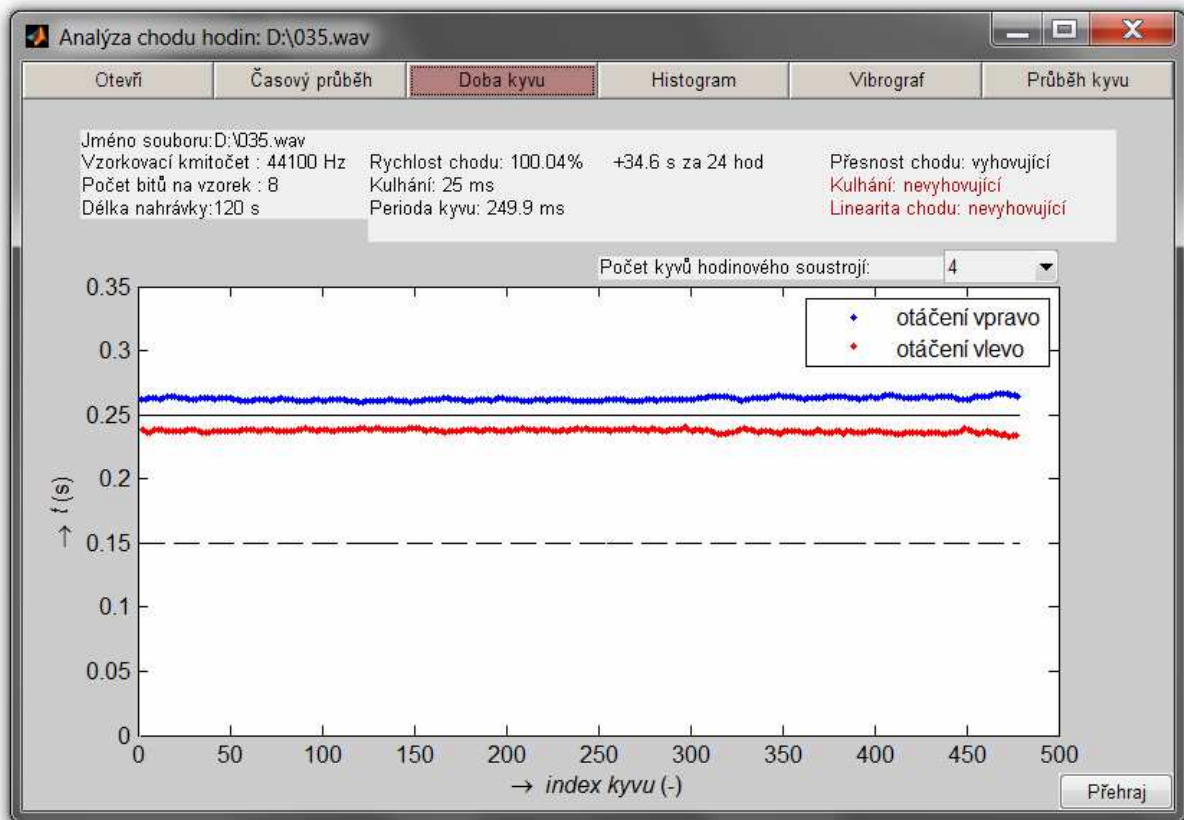
Obr 6.2 Časový průběh vstupního signálu

Okamžitě po zobrazení časového průběhu jsou aktivována všechna ostatní tlačítka, včetně tlačítka „Přehraj“ umístěného v pravém dolním rohu. Toto tlačítko umožňuje přehrávání krátkého úseku načteného audio souboru.

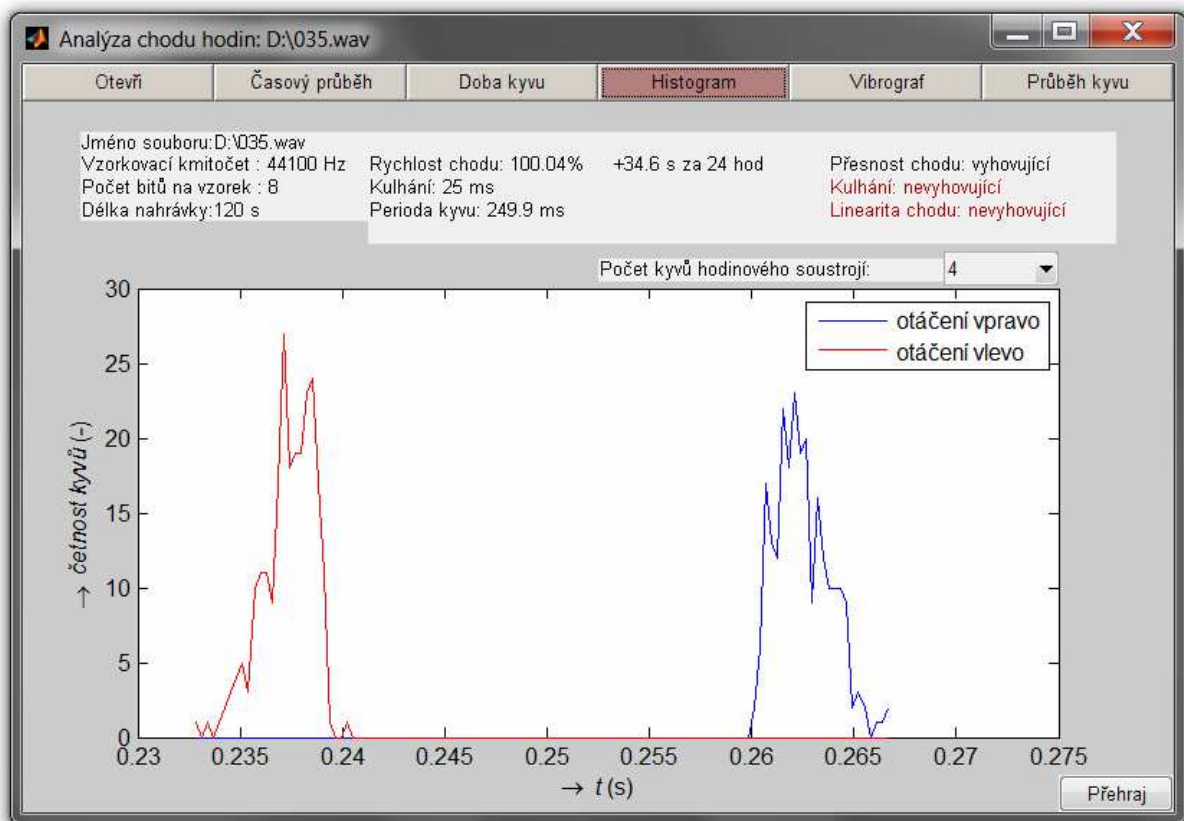
Díky rušení, které se může vyskytnout ve vstupních datech však nemusí být stanovení počtu kyvů vždy zcela správné. Proto je časový průběh signálu zobrazen v úseku právě jedna sekunda, aby uživatel mohl zkontrolovat, zda se shoduje počet kyvů v časovém průběhu s počtem kyvů stanoveným programem. Tento údaj se nachází vpravo nad grafem časového průběhu (Obr 6.2). V případě, že nedošlo ke správnému výsledku, může uživatel kliknutím na danou hodnotu údaj opravit. Při nesprávném stanovení doby kyvu a nemožnosti opravy údaje by byly další výpočty zcela nesprávné.

Nyní je možné kterýmkoli z dalších tlačítek zahájit výpočetně nejnáročnější část programu, tj. výpočet časových úseků mezi jednotlivými kyvy. Následně jsou zobrazeny i textové výsledky výpočtu – chyba měření času v procentech a chyba v sekundách vztažená na dobu 24 hodin, velikost kulhání apod. Zobrazení výsledků, které se skrývá pod uvedenými tlačítky, má následující význam: při výběru tlačítka „Doba kyvu“ je vykreslena závislost, která znázorňuje délku trvání jednotlivých kyvů (Obr 6.3).

Jak bylo již dříve zmíněno, setrvačka má dvě krajní polohy (otáčení vlevo a vpravo), které jsou v programu tímto způsobem označeny. Z obrázku 6.3 je patrné, že doba kyvu „vpravo“ a „vlevo“ se neshoduje, tedy stroj trpí vadou, která se nazývá „kulhání hodin“. Rozdíl průměrných dob kyvu „vpravo“ a „vlevo“ je přesně vyčíslen v textovém poli nad grafem, tedy hodiny trpí kulháním velikosti 25 ms. Tento údaj převyšuje obvyklou toleranci 5 ms [20], tedy stroj si žádá opravu. V obrázku 6.3 jsou též vyznačeny určité časové úrovně (černou barvou) jejichž význam je následující: plná čára vyznačuje správnou hodnotu doby kyvu pro daný hodinový stroj, dvě okrajové čárkované linie označují toleranci správné hodnoty doby kyvu.



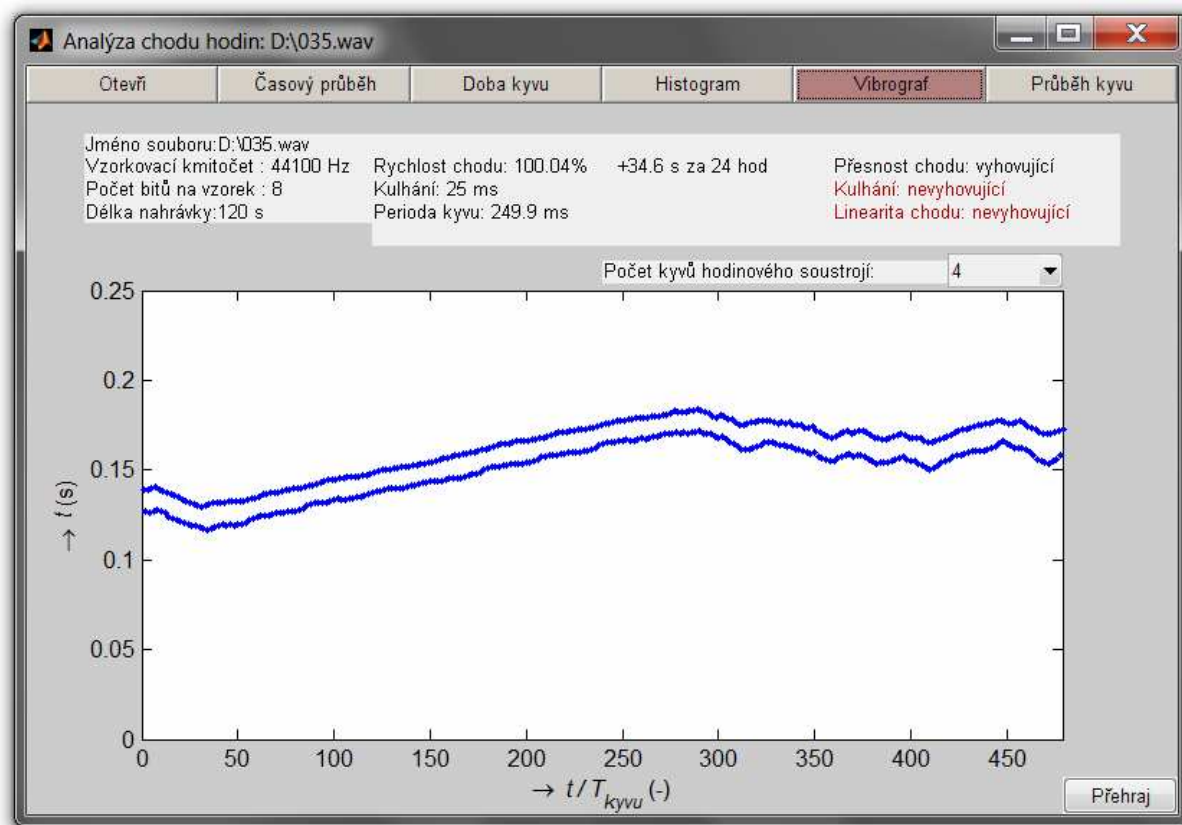
Obr 6.3 Doba kyvu



Obr 6.4 Histogram doby kyvu

Tato tolerance byla úmyslně zavedena při počítačovém výpočtu. Časové úseky, které nespádají do daného tolerančního pole, vznikly chybnou nebo žádnou identifikací daného kyvu. Tyto extrémní časové údaje by velice zhoršily výpočet přesnosti, proto nejsou do výpočtu zahrnuty, ale pro úplnost jsou graficky znázorněny.

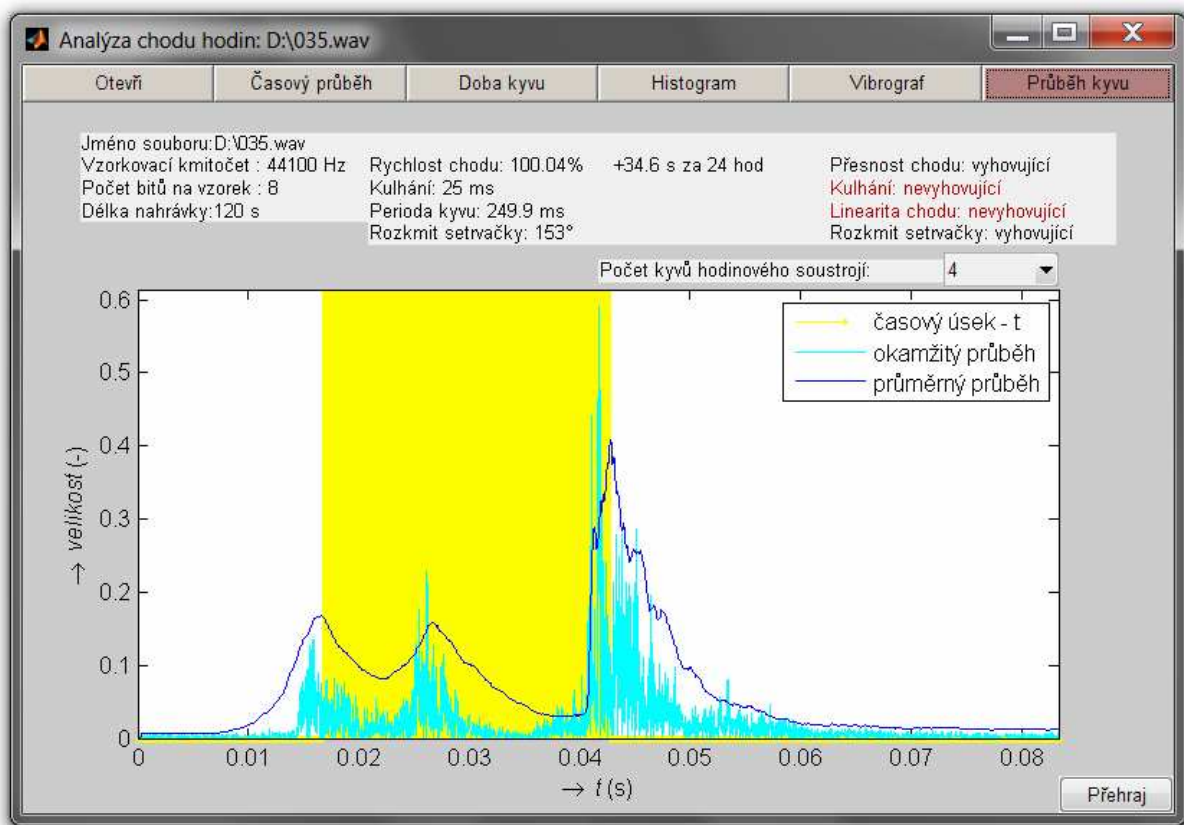
Další závislost nazvaná „Vibrograf“, jejíž princip je vysvětlen v kapitole 4.2 je na následujícím obrázku 6.5. Toto zobrazení používají téměř všechny moderní přístroje pro analýzu chodu hodin.



Obr 6.5 Vibrograf

Z tvaru stopy vibrografu je možné usuzovat o konkrétních problémech či vadách zkoumaných hodin (viz kapitola 2.6). Z obrázku 6.5 je například patrný výrazně nelineární chod, který může být zapříčiněn nedokonalými záběry kol nebo vůlí setrvačky. Dvojitá křivka ve vibrografu je způsobena kulháním stroje.

Poslední funkcí programu je výpočet rozkmitu setrvačky. Jedná se o velikost jejího úhlového rozkmitu. Princip výpočtu je rozebrán v kapitole 2.7. Klíčovým parametrem pro určení rozkmitu setrvačky je časový úsek t (v obrázku 6.6 vyznačen žlutou barvou), který má význam časové vzdálenosti mezi impulsy A a D (viz teorie – obrázek 2.7). Obrázek 2.7 je však ideální, ve skutečnosti však může dojít i k tomu, že poměry velikostí jednotlivých impulsů jsou náhodné. Princip určení časového okamžiku t tímto programem spočívá v nalezení zmíněných impulsů v průměrném průběhu a vypočtení časového zpoždění mezi nimi. Přičemž „průměrný průběh“ v obrázku 6.6 je počítán ze všech kyvů a „okamžitý průběh“ je pouze jeden zvolený. Pokud však bude průběh kyvu výrazně jiný než na obrázku 2.7, například méně nebo více impulsů, nelze měření rozkmitu považovat za správné. Tento případ se však obvykle neslučuje s bezchybným chodem stroje, což je zřejmé například ze záznamu A.8 v příloze.



Obr 6.6 Průběh kyvu – rozkmit setrvačky

Všechny zjištěné parametry jsou v programu též vyhodnoceny z hlediska únosnosti jednotlivých odchylek od „správných“ hodnot. Toto vyhodnocení se zobrazí v pravé části textového pole ihned po spočtení a zobrazení příslušného parametru. Vyhodnocení je podbarveno dle stavu (viz tabulka 6.1). Linearita chodu stroje je vyjádřena pomocí střední kvadratické odchylky vypočtené z pole dat obsahujícího jednotlivé časové úseky. Rozmezí hodnot jednotlivých parametrů byly zvoleny na základě informací načerpaných v hodinářském servisu [20]. Toleranční meze linearity chodu jsou voleny experimentálně. Textové zhodnocení má však pouze informativní charakter, protože všechny hodinové stroje větší či menší kvality nelze posuzovat dle stejných kritérií.

Tab 6.1 Zhodnocení parametrů

chyba chodu (s) / 24 hod	kulhání (ms)	rozkmit setrvačky (°)	linearita chodu (-)	STAV
< 10	< 2	260 <	< 0,0002	výborný / vynikající
10 < < 60	2 < < 5	150 < < 260	0,0002 < < 0,0015	vyhovující
60 <	5 <	< 150	0,0015 <	nevyhovující

Zmíněný program je natolik flexibilní, že samozřejmě dokáže zpracovat audiosignály i o jiné délce či jiném vzorkovacím kmitočtu. S přibývajícím délkou záznamu se samozřejmě zpřesňuje výpočet hledaných parametrů, avšak úměrně se prodlužuje doba potřebná pro výpočet. Výpočetně nejnáročnější operací celého programu je vyhledávání jednotlivých kyvů a jejich časové vzdálenosti pomocí korelace. Délka váhového okénka upravována v závislosti na počtu kyvů z důvodu delšího či kratšího trvání časového úseku mezi impulsy A a D (viz teorie – obrázek 2.7). Pro stanovování přesnosti chodu z delších úseků audiosignálu, například pro dlouhodobé sledování stroje, spojitě či nespojitě, by bylo nutné algoritmus pro výpočet přepracovat, nebo zpracovávat signál po částech.

6.2 Ovládání programu

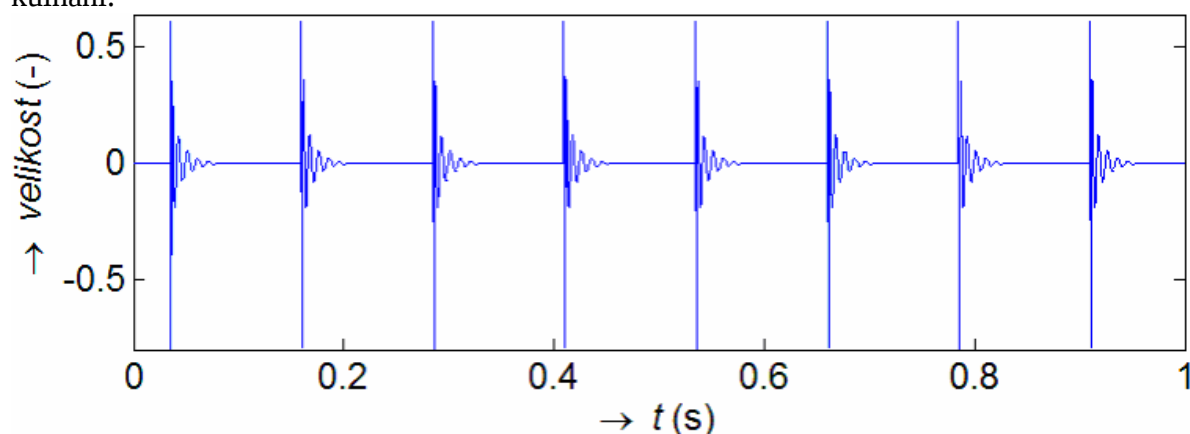
Program je přiložen jak ve formě zdrojového textu v jazyce Matlab, tak též jako autonomní samostatně spustitelná aplikace s příponou *.exe*. Spuštění programu jako autonomní aplikace však vyžaduje předchozí instalaci knihoven Matlabu. Jedná se o soubor *MCRInstaller.exe*. V případě, že daný počítač již obsahuje Matlab 7.6.0, není instalace nutná. V případě spuštění programu v prostředí Matlab je nutné otevřít a spustit soubor *gui.m*.

Ovládání programu je vcelku jednoduché a intuitivní. Po otevření souboru s daty je však pouze třeba zkontrolovat automaticky vypočtený počet kyvů hodinového soustrojí s počtem kyvů v časovém průběhu (viz kapitola 6.1 Popis funkce). Délka trvání analýzy se může pohybovat v rozmezí 20 - 40 sekund, dle výkonu počítače. Vzhledem k tomu že program byl optimalizován pro analýzu krátkých časových úseků je nutné tento fakt brát v úvahu. Zpracování signálů delších než 5 či 10 minut je sice možné, avšak z hlediska optimální doby výpočtu a zobrazení výsledků není doporučeno.

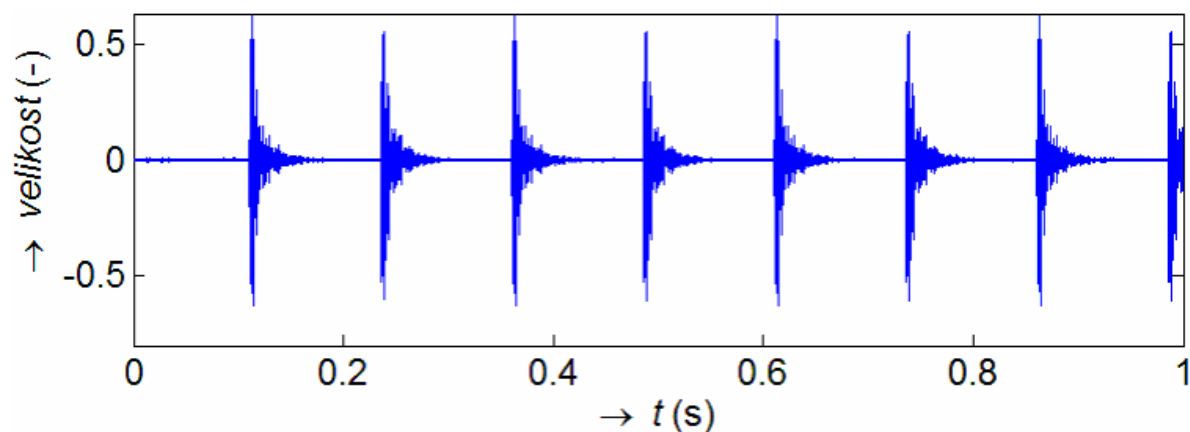
6.3 Ověření přesnosti měření chyby časového údaje

Zaznamenané signály od samotného mikrofonu, přes vzorkování a zpracování mohou být postiženy nejrůznějšími chybami. Jedná se nejen o okamžiky nevhodného vzorkování (viz vztah 5.1), ale též například o stabilitu vzorkovacího kmitočtu apod.

Přesnost byla zkoumána softwarově generovaným syntetickým signálem na následujícím obrázku 6.7. Signál má přesně 8 Hz (8 kyvů) a měl by vykazovat nulovou chybu měření času i kulhání.



Obr 6.7 Generovaný syntetický signál



Obr 6.8 Zaznamenaný syntetický signál

Aby byly postihnuty všechny zdroje chyb a nepřesností, byl tento signál reprodukován a následně zaznamenán mikrofonom. Tomu samozřejmě odpovídá průběh signálu, který je obohacen šumem a různými druhy rušení. Časový průběh signálu po opětovném zaznamenání je na obrázku 6.8.

Po analýze opětovně zaznamenaného syntetického signálu programem byla zjištěna chyba měření času 0,0 s / 24 hod a velikost kulhání 0,0 ms. Tedy pro požadovanou maximální přesnost měření na desítky milisekund je chyba vzniklá záznamem a zpracováním neměřitelná. Při záměrném zvýšení přesnosti byla zjištěna velikost kulhání 22,7 μ s. Přesnost s jakou bude daný program vyhodnocovat naměřená data bude pravděpodobně dostatečná i při použití jiného hardwaru i při několikanásobném zvětšení chyby měření. Důvodem je fakt, že obecně používaná tolerance kulhání do velikosti 5 ms je o tři řády výše než zjištěná chyba.

Ověření bylo provedeno pomocí standardního PC s použitím zvukové karty průměrné kvality.

6.4 Ověření výsledků analýzy

Pro kontrolu dosažených výsledků analýzy pomocí zmiňovaného programu, byly použity výsledky analýzy z hodinářského servisu. Hodinářský servis byl vybaven nejmodernějšími přístroji dnešní doby. Kontrolní analýza stavu hodinových strojů byla provedena přístrojem *Witschi chronoscope M1*. Na měření byly vystaveny příslušné certifikáty.

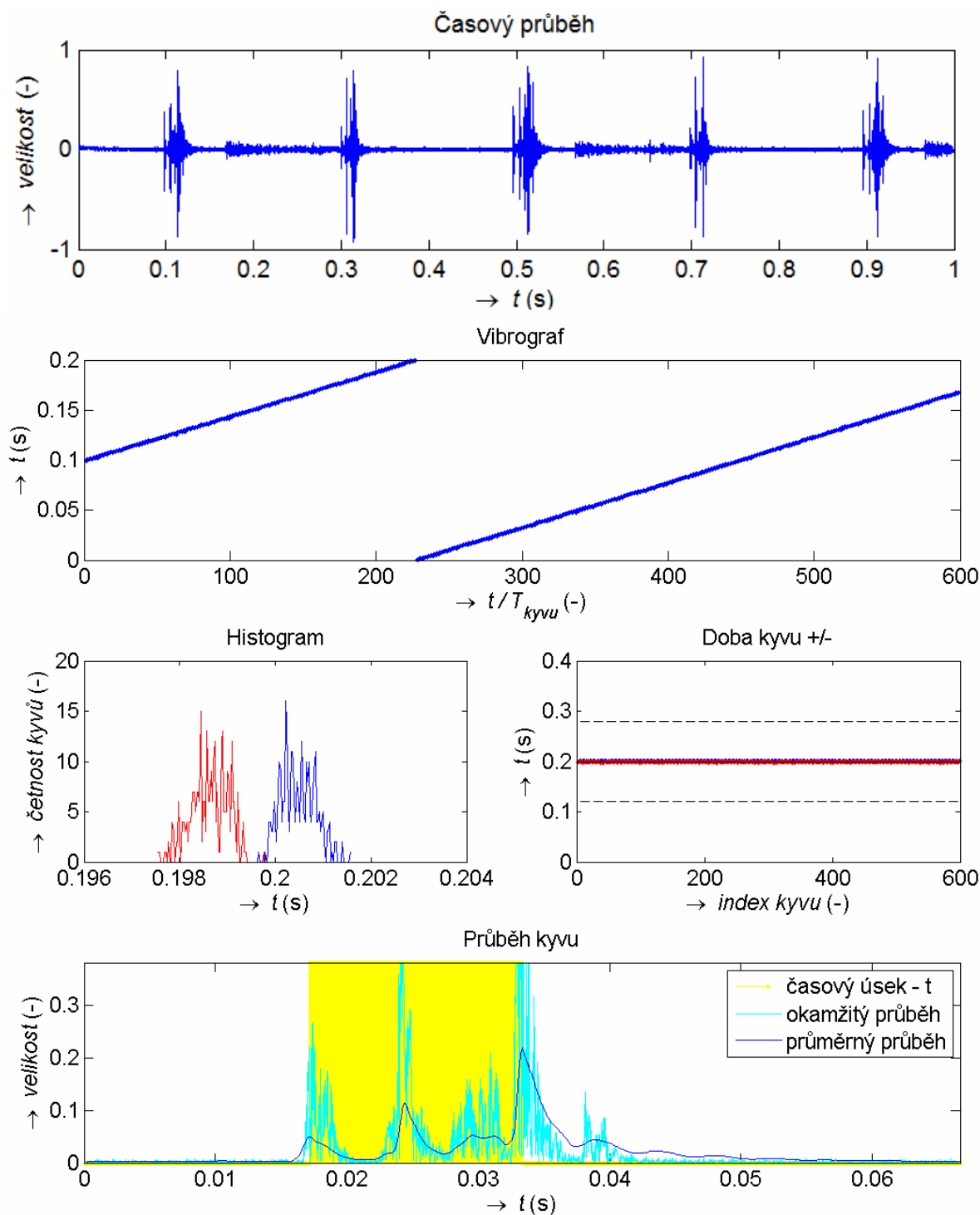
Pro analýzu byly vybrány exempláře, z nichž jeden jsou náramkové hodinky „Prim junior“ (Obr 6.9 a) b)) a druhý jsou kapesní hodiny „Doxa“ (Obr 6.9 c) d)).



Obr 6.9 Hodinové stroje pro kontrolní analýzu

Jednotlivé záznamy byly pořízeny v několika polohách, tak jak je pro hodinářskou praxi běžné, za stejných podmínek, které vychází z předchozích experimentálních měření. Je zřejmé že hodinky Prim Junior vykazují velkou chybu měření času cca kolem 200 sekund za den, což není na závadu, jde pouze o záležitost přesného doregulování. Pro tento účel měření není

důležité, aby hodiny odměřovaly reálný čas. Důležité je aby stanovená chyba odpovídala kontrolnímu měření. Záznamy jsou přiloženy pod příslušným názvem na CD disku. V histogramu na obrázku 6.10 je nejlépe patrné kulhání hodin. Kulhání je ale tak malé, že například v zobrazení zvaném „Vibrograf“ je nerozpoznatelné.



Obr 6.10 Grafické výsledky – korunka na stranu (hodiny Prim Junior)

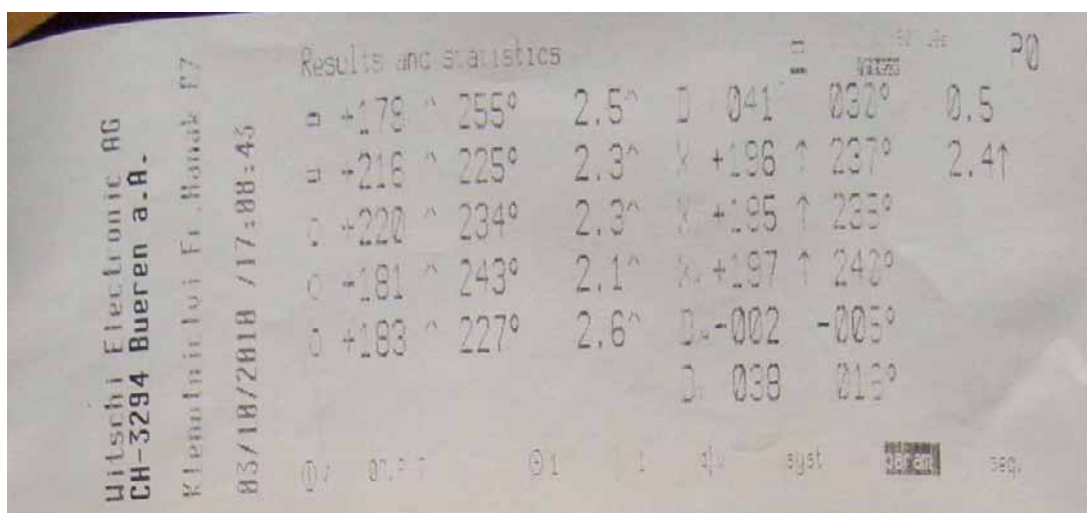
Průměrná hodnota kulhání činí číselně 1,8 ms. Je obvyklou praxí, že pokud kulhání nepřesahuje 5 ms, je tato hodnota v normě a neopravuje se. Z „Vibrografu“ je zřejmé, že křivka je lineární bez jakýchkoli rušivých elementů, což značí bezproblémový chod. To, že je

křivka rostoucí jen podtrhuje fakt, že se hodinky výrazně zrychlují. Velikost rozkmitu setrvačky je dostatečná, avšak se změnou polohy kolísá přibližně o 80°. Tedy uvedené hodinky vyžadují pouze doregulování rychlosti chodu, jinak jsou zcela v pořádku. Přesné hodnoty parametrů zjištěné pomocí programu jsou uvedeny v následující tabulce 6.2.

Tab 6.2 Hodinky: Prim Junior (program)

poloha záznamu	chyba měření času	rozkmít setrvačky	kulhání	název
	(s) / 24 hod	(°)	(ms)	
číselník vzůru	+191,5	274	1,6	047.wav
číselník dolů	+218,9	244	1,8	048.wav
korunka dolů	+210,8	240	1,5	049.wav
korunka na stranu	+192,9	198	1,9	050.wav
korunka vzůru	+174,9	252	2,1	051.wav
PRŮMĚR	+197,8	242	1,8	-

Výsledky analýzy provedené v hodinářském servisu jsou shrnuty na certifikátu měření, který je na obrázku 6.11. Certifikát je bohužel z důvodu nekvalitního tisku přístroje hůře čitelný, proto byl přepsán do tabulky 6.3.



Obr 6.11 Vystavený certifikát na měření hodinek Prim Junior

Tab 6.3 Hodinky: Prim Junior (přístroj WITSCHI)

poloha záznamu	chyba měření času	amplituda setrvačky	kulhání
	(s) / 24 hod	(°)	(ms)
číselník vzůru	+179	255	2,5
číselník dolů	+216	225	2,3
korunka dolů	+220	234	2,3
korunka na stranu	+181	243	2,1
korunka vzůru	+183	227	2,6
PRŮMĚR	+196	237	2,4

Na první pohled je zřejmé, že údaje se mírně liší. Průměrná chyba měření času o cca 2 s za den, průměrný rozkmít setrvačky o cca 5°, průměrná hodnota kulhání o cca 0,5 ms. Měření bohužel nebyla prováděna ve stejném čase ani na stejném místě, což může ovlivnit spoustu faktorů jako je například okolní teplota apod. Dalším faktorem, který do srovnávání parametrů vnáší nejistotu je časová stálost parametrů použitých hodin. Pokud vezmeme v úvahu fakt, že

změna teploty o 1 °C může u hodin bez teplotní kompenzace vyvolat rozdíl až 10 sekund za den, jsou rozdíly ve výsledcích analýzy programem a přístrojem WITSCHI zanedbatelné.



Obr 6.12 Vykreslená stopa na přístroji WITSCHI (hodinky Prim)

Stopa odpovídající zobrazení „Vibrograf“, vykreslená přístrojem WITSCHI, je na obrázku 6.12. Body které jsou zřetelně odchyľeny od křivky podle odborného názoru hodináře mohou značit problém s chodem krokového kola (viz Obr 2.9). Vzhledem k tomu, že ke zmíněnému jevu nedochází zcela pravidelně, mohlo se též jednat pouze o nějaký druh nečistoty v hodinovém stroji. Tento problém nebyl při předchozí analýze uvedeným programem vlastní výroby rozpoznán. Příčina s největší pravděpodobností spočívá v tom, že přístroj WITSCHI používá odlišný způsob snímání založený na přenosu vibrací nikoli klasického zvuku. Tento systém je podstatně odolnější vůči okolnímu rušení. Aby bylo pomocí zmíněného programu dosaženo adekvátních výsledků bylo zapotřebí signál filtrovat, tedy došlo k jistým informačním ztrátám.

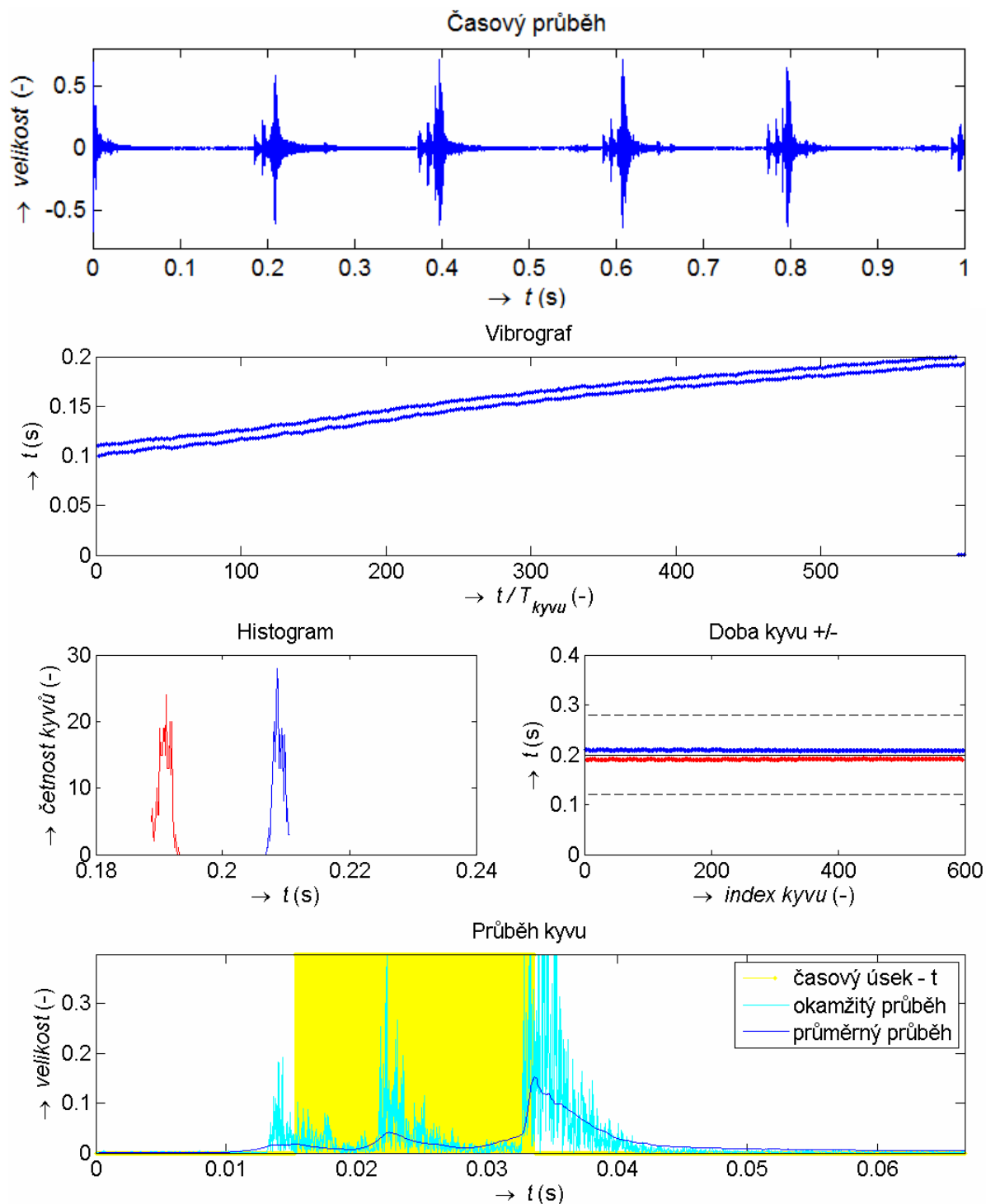
Druhým exemplářem byly kapesní hodinky DOXA (Obr 6.9 c) d)). Číselné hodnoty měřených veličin jsou uvedeny v tabulce 6.4. Záznamy jsou přiloženy na CD disku pod příslušným názvem.

Tab 6.4 Hodinky: DOXA kapesní (program)

poloha záznamu	chyba měření času	rozkmit setrvačky	kulhání	název
	(s) / 24 hod	(°)	(ms)	
číselník vzůru	+72,5	174	17,8	052.wav
číselník dolů	+37,8	194	14,9	053.wav
korunka dolů	+159,1	98	28,4	054.wav
korunka na stranu	-219,4	110	29,0	055.wav
korunka vzůru	-218,4	102	33,6	056.wav
PRŮMÉR	-33,7	136	24,7	-

Z tabulky 6.4 je zřejmé, že chyba měření času má pro jednotlivé polohy veliký rozptyl. Tento rozptyl je důkazem toho, že hodinky jsou ve velmi špatném technickém stavu. Rovněž hodnota kulhání převyšuje toleranční meze. Rozkmit setrvačky taktéž nedosahuje obvyklých hodnot a výrazně kolísá.

Z průběhu „Vibrograf“ na obrázku 6.13 je viditelné jak kulhání působící dvojitou křivku, tak i nelinearita chodu. Zmíněná nelinearita může být zapříčiněna nestejným přenášením hnací síly dodávané perem. Při bližším zkoumání stavu hodin v jednotlivých polohách byly zjištěny radikální změny chodu, které jsou zřejmé například srovnáním zobrazení „Vibrograf“ v obrázcích 6.13 a 6.14.

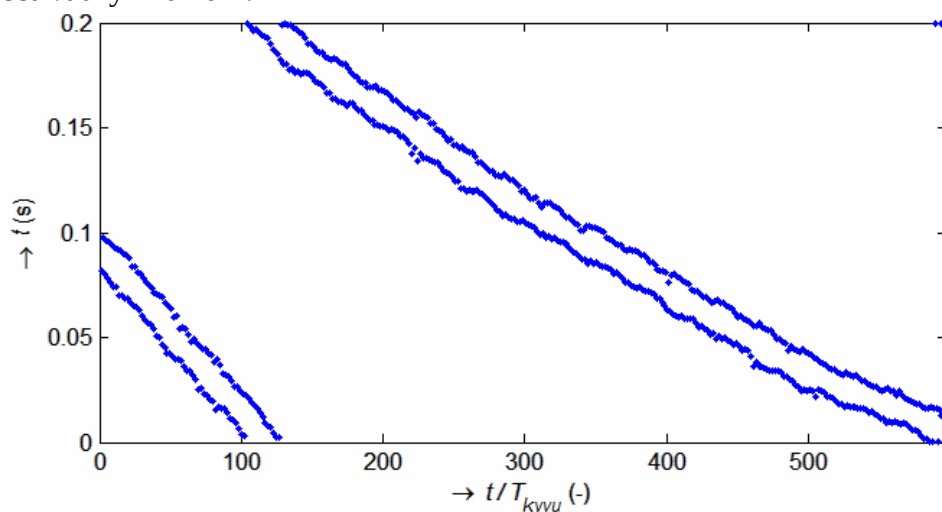


Obr 6.13 Grafické výsledky – číselník vzhůru (kapesní hodiny DOXA)

Příčinou takovýchto změn je s největší pravděpodobností stárí těchto hodin, tedy vyschlé mazivo v ložiscích a velká míra znečištění stroje.

Při analýze kapesních hodin DOXA přístrojem WITSCHI, bylo možné měřit pouze v poloze číselníkem vzhůru, protože při režimu měření se změnou polohy hodinového stroje již měřicí přístroj nezobrazoval výsledky. Důvodem byl fakt, že přístroj je optimalizován na přesná měření hodin, v podstatně lepším technickém stavu. Naměřené hodnoty jsou opět

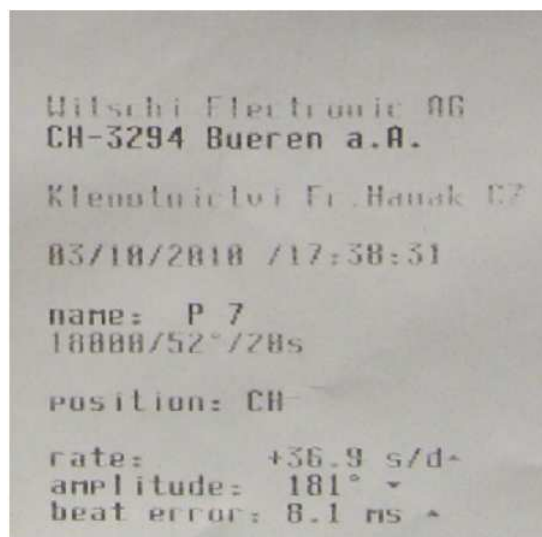
opatřeny certifikátem (Obr 6.15). Z obrázku jsou zřetelné hodnoty chyby měření času, rozkmitu setrvačky i kulhání.



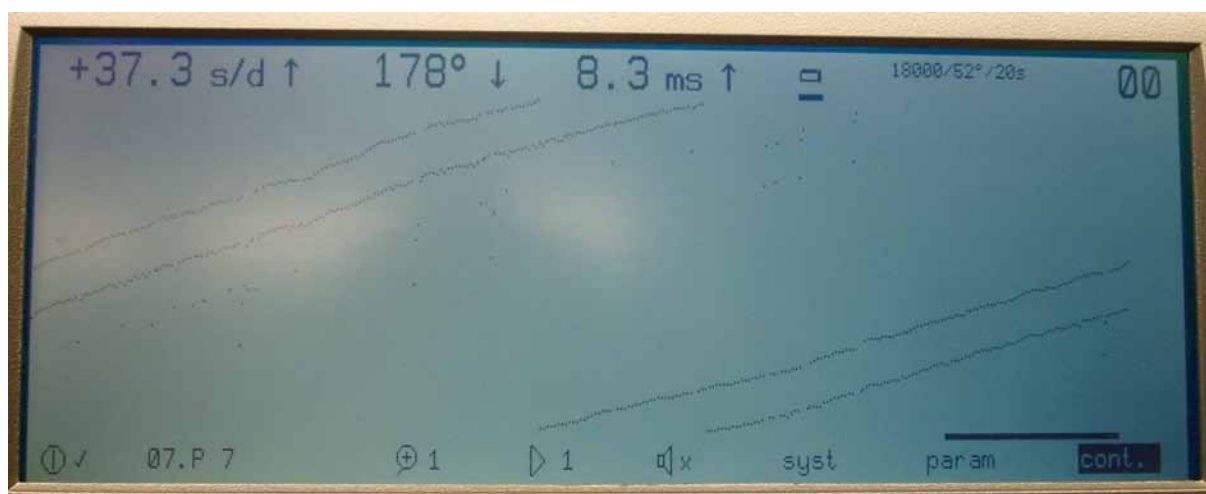
Obr 6.14 Vibrograf - Kapesní hodiny DOXA (poloha: korunka vzhůru)

Při porovnání údajů z obrázku 6.15 a prvního řádku tabulky 6.4 jsou kromě rozkmitu setrvačky výrazné odlišnosti. Chod tohoto stroje je vlivem nečistot a vyschlého maziva tak nestabilní, že i opakovaná analýza v krátkém čase zapříčinila velmi odlišné výsledky. Stopa vibrografu na obrázku 6.16 tento fakt vystihuje. V tomto obrázku jsou také patrné náhodné body umístěné zcela mimo křivku. Tyto body, které naznačují náhodilé výkyvy chodu, byly při zpracování programem pravděpodobně potlačeny filtrací.

Rozdílnost výsledků analýzy je v tomto případě bohužel jednoznačně zapříčiněna nestabilním chodem hodin.



Obr 6.15 Certifikát měření (kapesní DOXA)



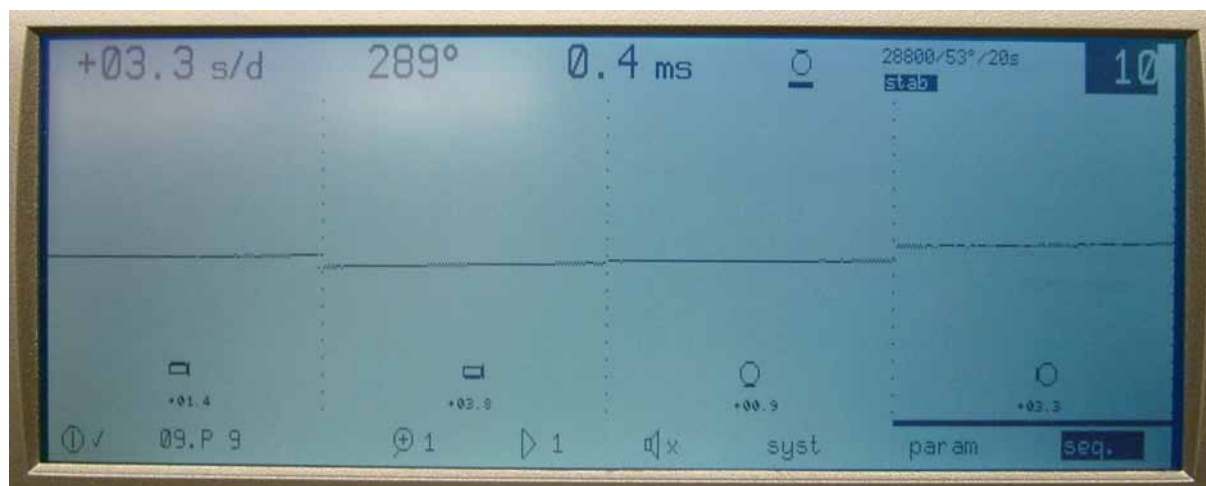
Obr 6.16 Vykreslená stopa na přístroji WITSCHI (hodinky DOXA)

6.5 Kvalita hodinového stroje

Skutečná kvalita hodinového stroje spočívá v časové i polohové i teplotní stálosti sledovaných parametrů. Změnám rychlosti chodu, kulhání či rozkmitu setrvačky se však nelze vyhnout zcela. I ty nejkvalitnější stroje budou vykazovat určité změny. Cílem je tyto změny minimalizovat. Dobrým základem pro stálost parametrů je samozřejmě původ stroje. Neméně důležitými podmínkami je však také bezvadný stav a čistota uvnitř stroje. Bohužel i vliv okolní teploty není zanedbatelný. Tento vliv se však dá do jisté míry potlačit například bimetalickou setrvačkou (viz Obr 2.2), materiálem vlásku apod. Tím samozřejmě roste i cena. Jako příklad jsou zde uvedeny náramkové hodinky přijatelné kvality (Obr 6.17).



Obr 6.17 Náramkové hodinky (bezvadný stav)



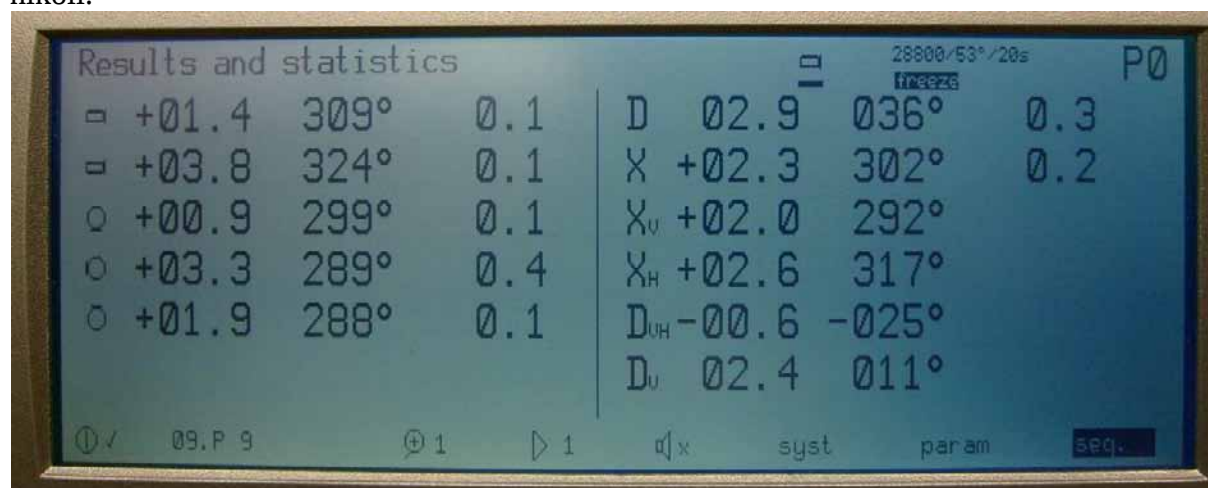
Obr 6.18 Analýza přístrojem WITSCHI

Na obrázku 6.18 je průběh analýzy zmiňovaných náramkových hodinek. V průběhu stopy jsou dobře patrná místa, kdy přístroj automaticky mění polohu hodinek upevněných na mikrofónu (Obr 6.18). Při těchto změnách polohy taktéž dochází ke změnám parametrů, které jsou vypsané na obrázku 6.19. První tři sloupce odpovídají chybě měření času za 24 hod, rozkmitu setrvačky a velikosti kulhání. Jednotlivé řádky představují polohu stroje.

Na obrázku vpravo jsou pak průměrné hodnoty a též střední kvadratické odchylky vypočtené z různých kombinací poloh hodinového stroje. Při posouzení kvality hodinového stroje výše zmíněným programem z hlediska polohy při záznamu je tedy nezbytné porovnávat měřené parametry ve více polohách. Toho lze docílit opakovanou analýzou pro jednotlivé polohy.

Vzhledem k tomu, že se jedná pouze o softwarovou realizaci (program pro analýzu hodin) bez hardwarové podpory otáčení hodinového stroje, nemá softwarová podpora pro „současnou“ analýzu ve více polohách smysl. Je však možné záznamy v jednotlivých polohách porovnat postupně. Z hlediska časové stálosti parametrů lze v určitých časových intervalech (obvykle po 24 hodinách) stroj opětovně analyzovat a na základě rozdílu

parametrů jednotlivých analýz rozhodovat, zda-li je časová stálost parametrů dostatečná či nikoli.



Obr 6.19 Naměřené hodnoty

7. Závěr

Jedním s cílů této diplomové práce bylo vytvoření databáze akustických záznamů mechanických hodin různých charakteristických vlastností. Databáze byla pořízena ve spolupráci s hodinářskou dílnou Střední školy obchodu a služeb v Jihlavě a též s několika hodinářskými dílnami v Brně. Při pořízení audio záznamů byly užity postupy, jejichž vhodnost byla předmětem zkoumání v dřívější části této práce (viz kapitola 4.1 Experimentální měření). Databázová data obsahují kromě samotného audio záznamu a jeho parametrů též informace o předpokládaném stavu hodinového stroje, tj. eventuální či záměrně simulované vadě hodinového stroje. Databáze záznamů se nachází v příloze na konci práce.

Hlavním cílem práce bylo vytvoření programu pro analýzu technického stavu mechanických hodin. V zásadě se jedná o analýzu krátkodobého záznamu, jehož hlavní předností je rychlé získání informace stavu hodin. Tyto informace jsou získány přesným měřením velmi krátkých časových úseků. Program stanovuje několik parametrů (viz Obr 6.5 a 6.6). Jedná se o chybu měření času, velikost kulhání, rozkmit setrvačky, linearitu chodu a též vizuální stav průběhu vibrografu. Z tohoto průběhu je možné usuzovat na konkrétní vady, jejichž základní přehled je na obrázku 2.9. Kromě prvních několika vad z obrázku 2.9, jako je například kulhání, vadný krok či poškozený zub krokového kola jsou popisované problémy spíše výjimečné [20].

Číselně vyjádřené parametry jsou též slovně ohodnoceny, zda vyhovují či nikoli. Tolerance byla volena s ohledem na obvyklou hodinářskou praxi [20]. V konkrétních případech je však spíše věcí hodináře (či uživatele programu) zda považuje dosažené parametry pro daný hodinový stroj za vyhovující či nikoli. Tedy slovní hodnocení je spíše informativního charakteru.

Na základě zjištěných parametrů je pak možné rozhodovat o stavu stroje, případně jakým způsobem postupovat při odborné opravě. Oprava hodinového stroje je velmi precizní činnost. Jak je zřejmé z rozdílů analýzy v příloze A.9 a A.18, i nepatrně větší množství maziva ve stroji než je správné, má zásadní význam na chod stroje.

Činnost programu je optimalizována pro délky záznamu do maximální hodnoty cca 5 minut. Délka záznamu samozřejmě ovlivňuje přesnost výsledků, ale též dobu potřebnou pro výpočet. Hlavní předností tohoto programu jsou adekvátní výsledky při srovnání s profesionálními přístroji za desítky tisíc korun (viz kapitola 6.4 Ověření výsledku analýzy). Vzhledem k požadované maximální přesnosti na desítky milisekund je zpracování pomocí průměrné zvukové karty a PC zcela dostačující. Přesto se však při srovnání výsledků s profesionálním přístrojem projevily určité odlišnosti, které byly způsobeny okolním rušením. Proto musel být zpracováváný signál filtrován a tím došlo k jisté informační ztrátě. Na vině je způsob záznamu akustickou cestou. Profesionální přístroje používají výhradně přenosu vibrací pevně uchyceného hodinového stroje, čímž je značně eliminováno okolní rušení. Klasický mikrofon tedy není ideálním řešením.

Zmíněný postup rychlé analýzy hodinového stroje pomocí programu však nezohledňuje skutečnou kvalitu stroje. Ta spočívá v minimální variaci chodu (průměrná změna chodu) z hlediska časového, teplotního i vzhledem k poloze hodin. Hodinový stroj s libovolnou časovou chybou, která je „konstantní“ je vždy kvalitnější, protože chybu lze odstranit regulací. U stroje jehož chyba se s časem mění, je regulace velmi obtížná.

Grafická interpretace výsledků programu zahrnuje průběh zvaný „vibrograf“, který se používá téměř u všech moderních elektronických přístrojů dnešní doby. Pokud je průběh křivky vibrografu lineární jedná se většinou pouze o doregulování rychlosti chodu či velikosti kulhání. Pokud však průběh vykazuje nelinearity je možné dle charakteru křivky (obrázek 2.9)

rozhodnout o dalším postupu opravy. V případě, že bude průběh vibrografu spíše náhodný a rozkmit setrvačky bude taktéž nevyhovující, je obvyklou praxí kompletní rozebrání a vyčištění stroje. Při této činnosti jsou pak odhaleny veškeré další nedostatky a opotřebení.

Z hlediska analýzy je též velmi užitečné grafické vyjádření histogramu kyvů, který informuje nejen o velikosti kulhání, ale především o rozptylu hodnot doby kyvu. Pokud se jedná o čistou formu kulhání je možné ji lehce odstranit. Tedy průměrná číselná hodnota se může blížit nule, avšak velikost rozptylu hodnot by bez grafického vyjádření byla ztracena.

Zmíněným programem byly analyzovány všechny databázové záznamy v příloze A. Každá analýza obsahuje jak číselné vyjádření parametrů tak i slovní komentář ke stavu stroje s přihlédnutím k předem známému stavu. Profesionální přístroje, které jsou vybaveny zařízením pro automatickou změnu polohy hodin vyhodnocují parametry ze všech poloh hodin současně. Pokud budou vstupní data pro program pořízena ve více polohách je možné je vyhodnocovat postupně. Za těchto okolností je možné program použít jako adekvátní náhradu profesionálního přístroje.

Zkoumání záznamů ze spektrálního hlediska se ukázalo jako nevhodné, což je zřejmé při srovnání histogramů spektra pro stejné hodinové stroje s případnou změnou jednoho parametru (viz příloha A). Histogram spektra jednoho hodinového stroje má jisté charakteristické rysy, avšak při změně jednoho libovolného parametru dochází k obecně těžko definovatelným změnám ve spektru. Tento jev je zřejmě způsoben nepřítomností pevného uložení mikrofону vzhledem k hodinám. Tvar spektra je bohužel také velmi ovlivnitelný okolním rušením. Vliv okolního rušení může být proměnný vzhledem k rozdílnému požadovanému zesílení při pořizování jednotlivých záznamů.

Seznam použité literatury

- [1] KADLEC, F. *Zpracování akustických signálů*. Skriptum. Praha: FEL ČVUT v Praze, 2005. ISBN 80-01-02588-8
- [2] KADLEC, F. et al. *Zpracování slabých akustických signálů malých živočichů zaznamenaných v neoptimálních podmínkách*. In Proceedings of Matlab 2004. Praha: Humusoft, 2004, p. 208-213.
- [3] internetové stránky: <http://vt-2004.astro.cz/teorie/G2/G2.pdf> (cit. 27.2.2009)
- [4] MARTÍNEK-ŘEHOR: *Základy hodinářství* SNTL, 1968
- [6] BUREŠ, J. *Hodinové stroje I.* 2. vyd. Praha: SPN, 1970.
- [7] BUREŠ, J. *Hodinové stroje II.* 2. vyd. Praha: SPN, 1970.
- [8] BUREŠ, J. *Hodinové stroje III.* 3. vyd. Praha: SPN, 1976.
- [9] internetové stránky: <http://www.haaf.cz/view.php?cisloclanku=2007060305> (cit. 27.2.2009)
- [10] internetové stránky: <http://time.sternberk.cz/docs/scenar/9-Mechanickehodiny.doc> (cit. 28.2.2009)
- [11] internetové stránky:
<http://www.museumonline.at/1999/schools/classic/sternberk/historie.htm>
(cit. 28.2.2009)
- [12] internetové stránky:
http://www.behringerdownload.de/ECM8000/ECM8000_C_Specs.pdf
(cit. 20.4.2009)
- [13] internetové stránky:
<http://www.murrayjewelersupply.com/img/2824-2.jpg>
(cit. 15.10.2009)
- [14] internetové stránky:
http://lh6.ggpht.com/_yRVKX6INY_I/SDLqQpxtYqI/AAAAAAAAAMWw/pchCA7ZVHi0/Muzeum+Prim+110.JPG
(cit. 17.10.2009)
- [15] ZAPLATÍLEK K. DOŇAR B. *Matlab - tvorba uživatelských aplikací*, BEN – technická literatura, Praha 2004 ISBN 80-7300-133-0
- [16] internetové stránky:
http://www.greinervibrograf.com/info/infos-Dateien/B600_english.pdf
(cit. 13.3.2010)
- [17] učební texty SŠOS Jihlava
- [18] ZAPLATÍLEK K. DOŇAR B. *Matlab – pro začátečníky*, BEN – technická literatura, Praha 2003 ISBN 80-7300-175-6
- [19] ZAPLATÍLEK K. DOŇAR B. *Matlab – začínáme se signály*, BEN – technická literatura, Praha 2006 ISBN 80-7300-200-0
- [20] konzultace v profesionálním hodinářském servisu

Seznam příloh

A	DATABÁZE AKUSTICKÝCH ZÁZNAMŮ	50
A.1	NÁRAMKOVÉ HODINKY ETA 2824 – 2	51
A.2	NÁRAMKOVÉ HODINKY ETA 2824 – 2	53
A.3	NÁRAMKOVÉ HODINKY ETA 2892A2.....	55
A.4	NÁRAMKOVÉ HODINKY VALJOUX 7751	57
A.5	NÁRAMKOVÉ HODINKY VALJOUX 7751	59
A.6	NÁRAMKOVÉ HODINKY ETA 2892A2.....	61
A.7	STOPKY HEUER SEMIKROGRAPH PAT. 73392/93.....	63
A.8	STOPKY HANHART	65
A.9	NÁRAMKOVÉ HODINKY PRIM CAL.68.....	67
A.10	BUDÍK NEZNÁMÉHO PŮVODU	69
A.11	BUDÍK PRIM B-71	71
A.12	BUDÍK HES B-90	73
A.13	BUDÍK HES B-90	75
A.14	BUDÍK HES B-90	77
A.15	BUDÍK HES B-90	79
A.16	BUDÍK HES B-90	81
A.17	BUDÍK HES B-90	83
A.18	NÁRAMKOVÉ HODINKY PRIM CAL.68	85
A.19	BUDÍK HES B-90	87
A.20	BUDÍK HES B-90	89
A.21	BUDÍK HES B-90	91
B	VÝVOJOVÝ DIAGRAM PROGRAMU	93

A DATABÁZE AKUSTICKÝCH ZÁZNAMŮ

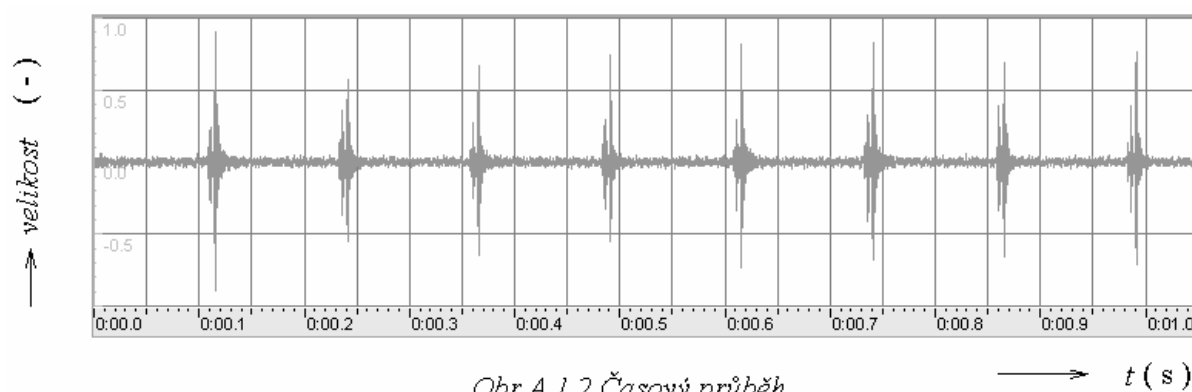
A.1 Náramkové hodinky ETA 2824 – 2

Parametry záznamu a předpokládaný stav stroje:

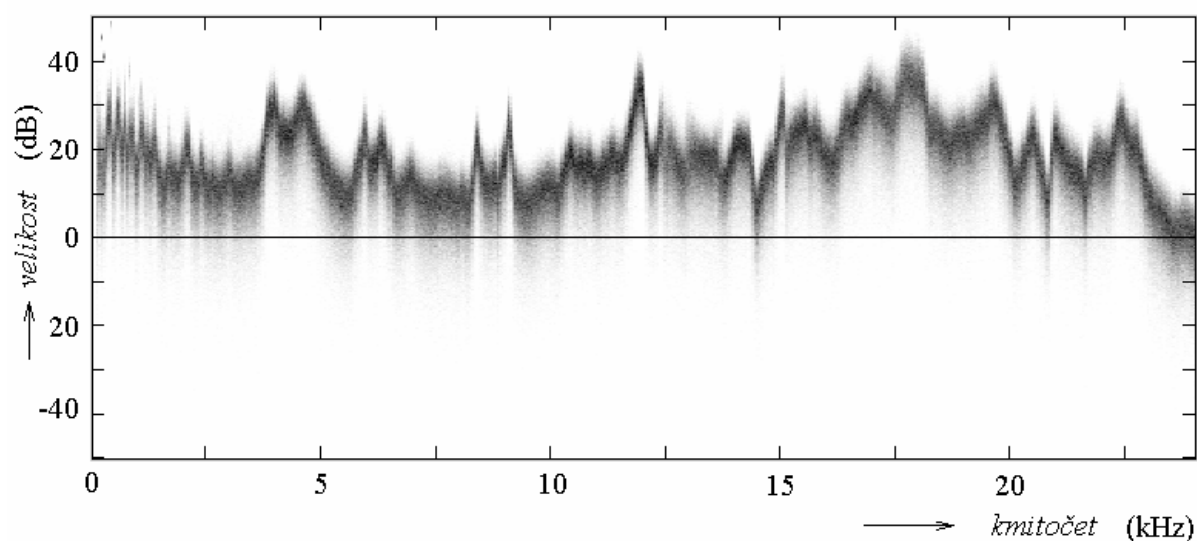
Počet kyvů:	8
Stav hodinového stroje:	100%
Název zvukového záznamu:	025.wav
Vzorkovací kmitočet:	44,1 kHz
Počet bitů na vzorek:	8
Délka záznamu:	120 s
Mikrofon:	Behringer ECM 8000
Poloha při záznamu:	číselník dolů
Poznámka:	nepoužívané (nenošené)



Obr A.1.1 Hodinový stroj



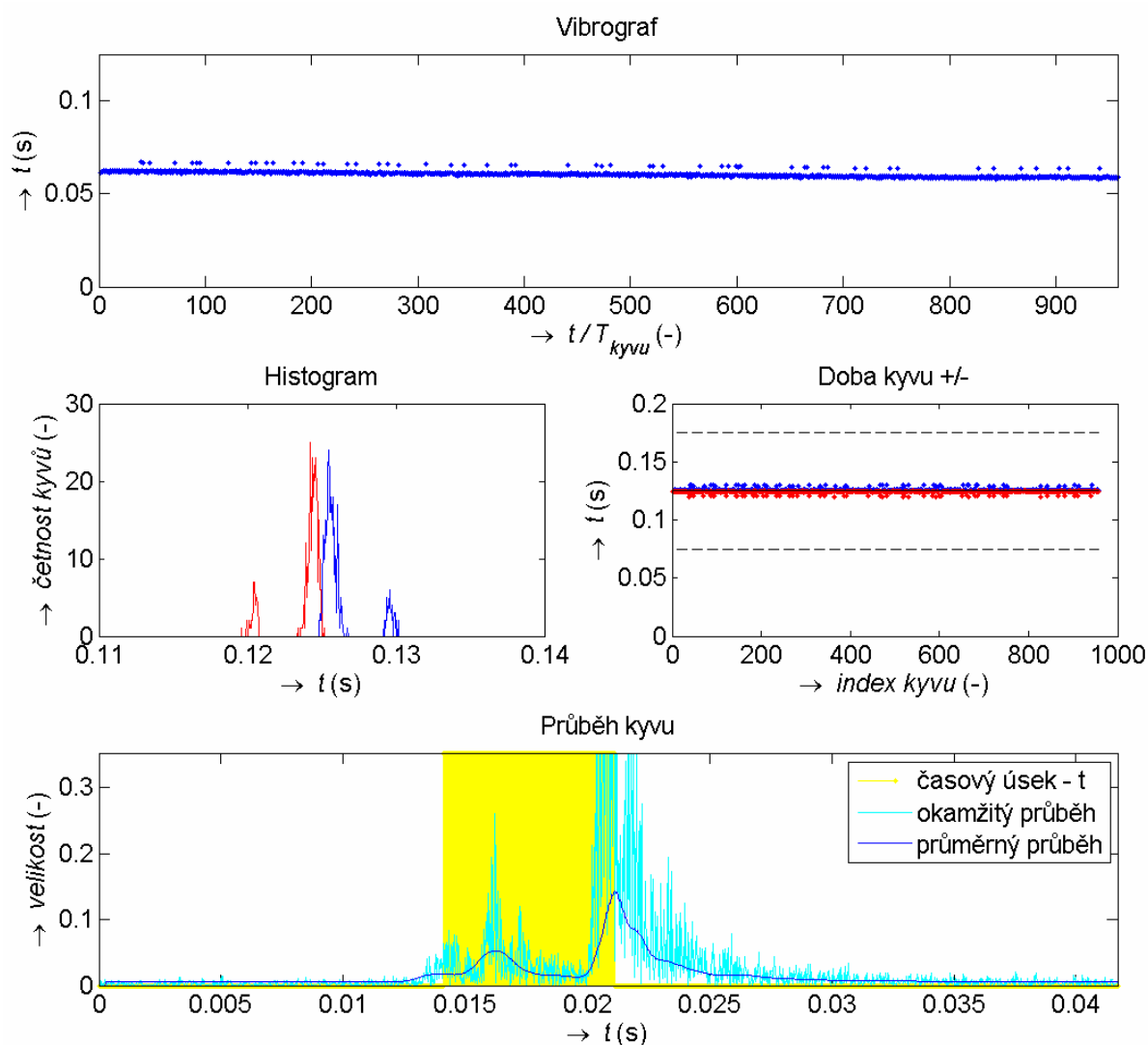
Obr A.1.2 Časový průběh



Obr A.1.3 Histogram spektra

Analýza skutečného stavu stroje:

Chyba měření času : -2,5 s / 24 hod
Velikost kulhání : 2,2 ms
Rozkmit setrvačky : 287°
Linearita chodu: vyhovující



Obr A.1.4 Grafické výsledky

Zhodnocení stavu:

Z vibrografu na obrázku A.1.4 je patrný lineární průběh, tedy stroj je v téměř bezvadném stavu. Body náhodného charakteru, které se však vyskytují v téměř konstantní vzdálenosti od „přímky“ jsou způsobeny pravděpodobně nějakým druhem nečistoty uvnitř stroje. Velikost kulhání nepřesahuje 5 ms, tedy je v toleranci a není nutné jej opravovat. Rozkmit setrvačky, který by se měl pohybovat kolem 300° , je taktéž v toleranci. Důležitým parametrem pro výpočet rozkmit setrvačky je časový úsek t , vyznačený v obrázku žlutou barvou. Chyba měření času není příliš velká, obvykle se však s ohledem na proměnlivost chodu nastavuje mírně směrem ke kladným hodnotám.

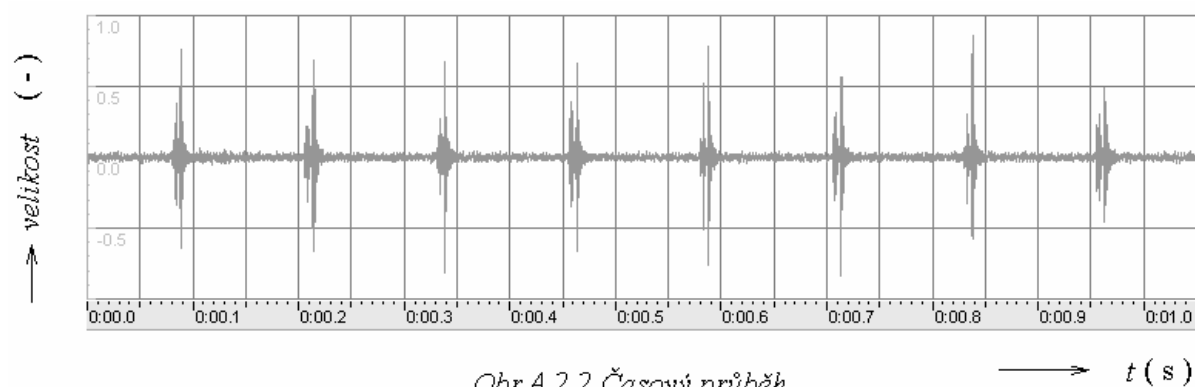
A.2 Náramkové hodinky ETA 2824 – 2

Parametry záznamu a předpokládaný stav stroje:

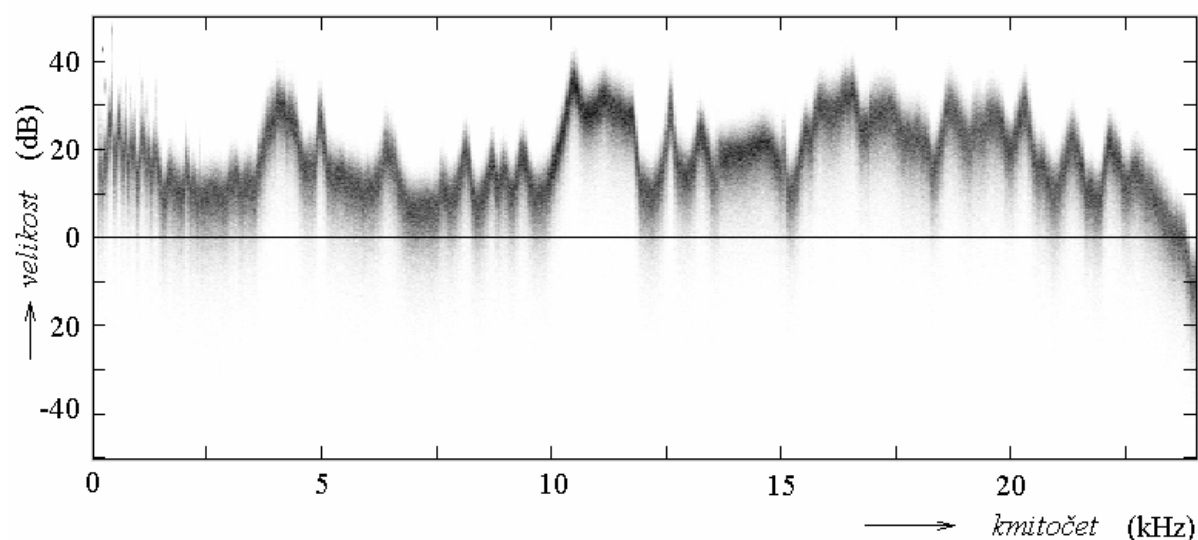
Počet kyvů:	8
Stav hodinového stroje:	kulhání
Název zvukového záznamu:	026.wav
Vzorkovací kmitočet:	44,1 kHz
Počet bitů na vzorek:	8
Délka záznamu:	120 s
Mikrofon:	Behringer ECM 8000
Poloha při záznamu:	horizontální
Poznámka:	nepoužívané (nenošené)



Obr A.2.1 Hodinový stroj



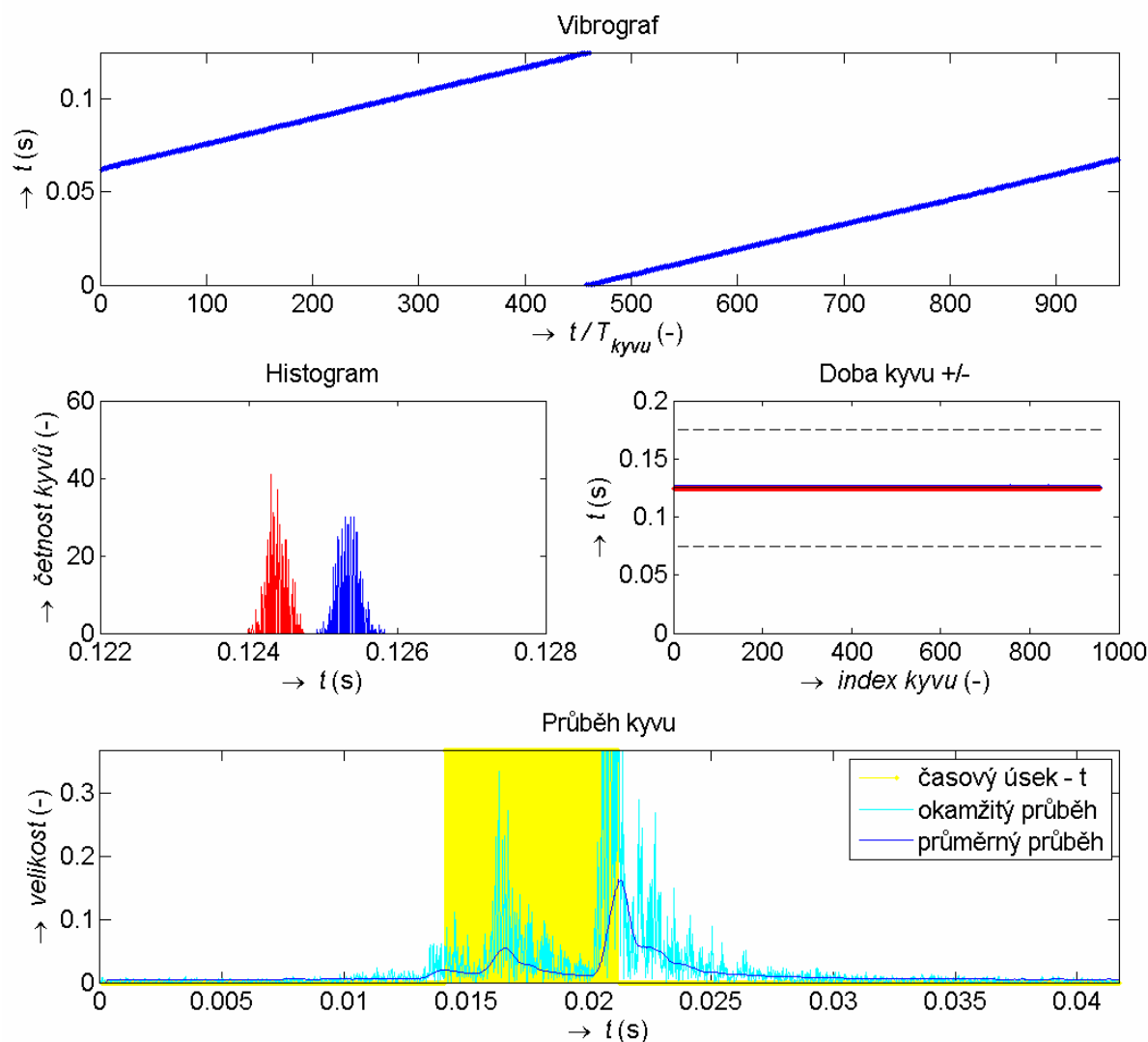
Obr A.2.2 Časový průběh



Obr A.2.3 Histogram spektra

Analýza skutečného stavu stroje:

Chyba měření času : +93,6 s / 24 hod
Velikost kulhání : 1,0 ms
Rozkmit setrvačky : 282°
Linearita chodu: vynikající



Obr A.2.4 Grafické výsledky

Zhodnocení stavu:

Nakloněná přímka ve vibrografu napovídá pouze zrychlování stroje. Jiné závady nejsou zřetelné. Předpokládané kulhání se nepotvrdilo. Naopak jeho hodnota vzhledem k předchozímu záznamu ještě poklesla. Umělé nastavení kulhání způsobilo zrychlování stroje. Tato závislost velikosti kulhání na rychlosti chodu stroje často znesnadňuje opravu. Výsledkem bývá určitý kompromis. Rozkmit setrvačky i velikost kulhání jsou v toleranci, tedy po seřízení rychlosti chodu bude stroj v bezvadném stavu.

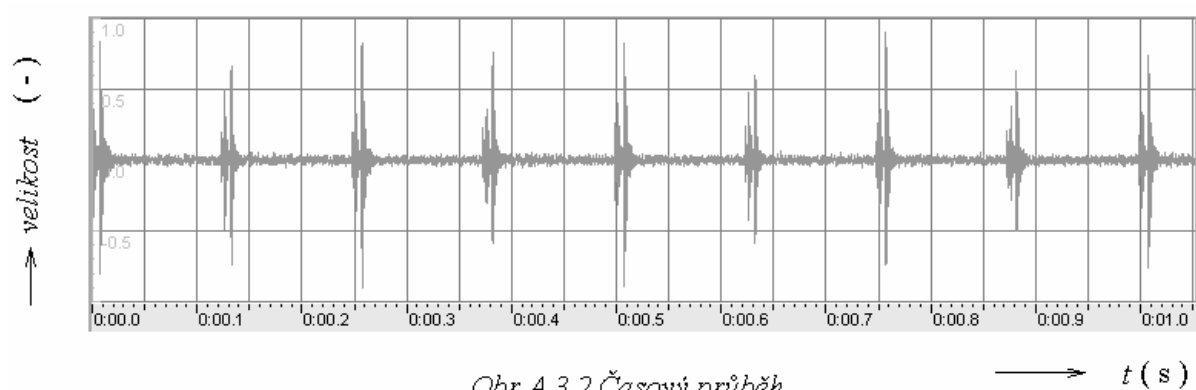
A.3 Náramkové hodinky ETA 2892A2

Parametry záznamu a předpokládaný stav stroje:

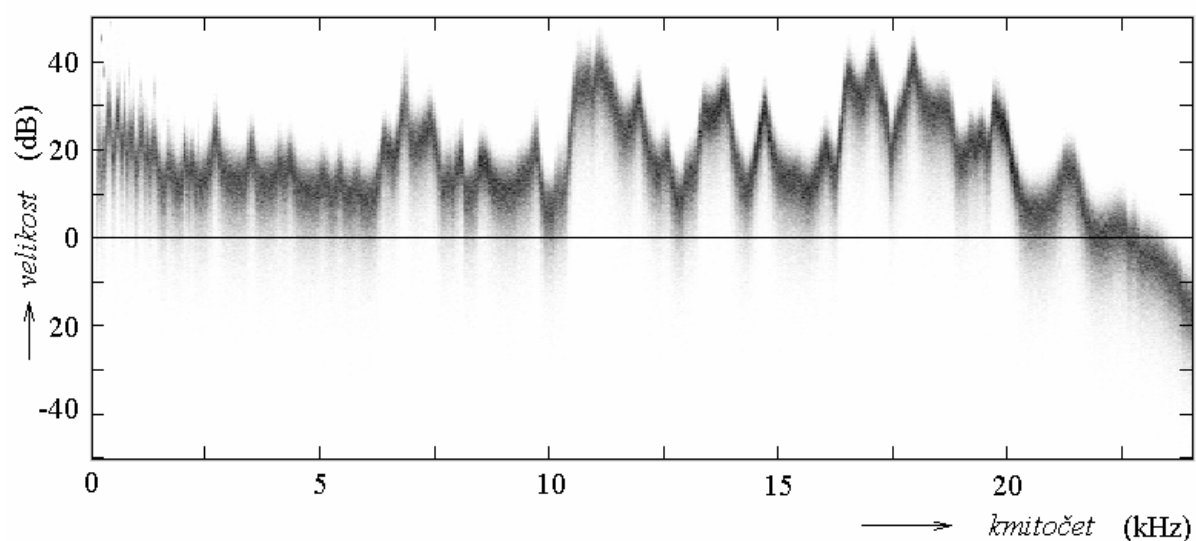
Počet kyvů:	8
Stav hodinového stroje:	100%
Název zvukového záznamu:	027.wav
Vzorkovací kmitočet:	44,1 kHz
Počet bitů na vzorek:	8
Délka záznamu:	120 s
Mikrofon:	Behringer ECM 8000
Poloha při záznamu:	horizontální
Poznámka:	nepoužívané (nenošené)



Obr A.3.1 Hodinový stroj [13]



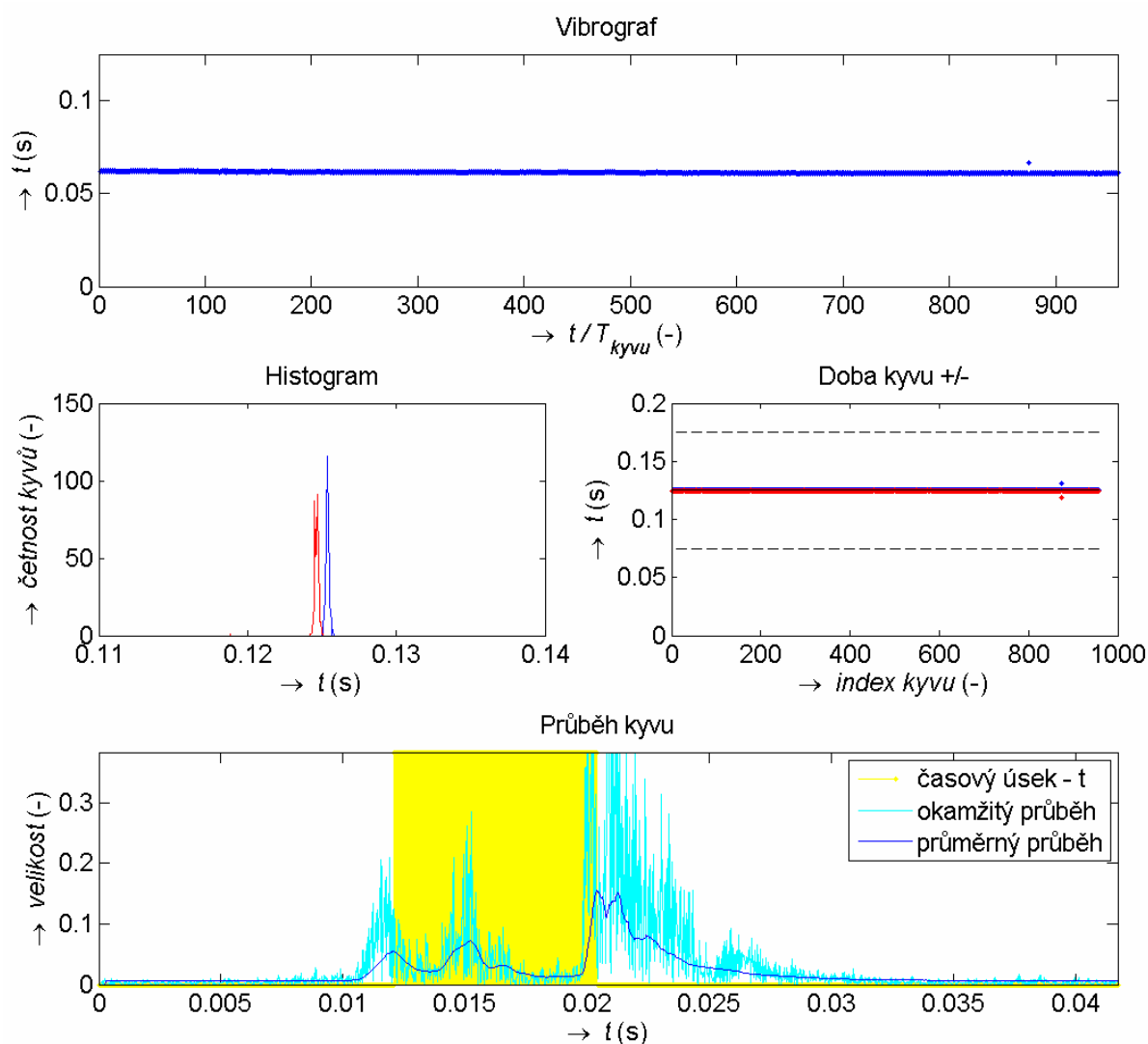
Obr A.3.2 Časový průběh



Obr A.3.3 Histogram spektra

Analýza skutečného stavu stroje:

Chyba měření času : -1,0 s / 24 hod
Velikost kulhání : 0,7 ms
Rozkmit setrvačky : 242°
Linearita chodu: vyhovující



Obr A.3.4 Grafické výsledky

Zhodnocení stavu:

Z vibrografu je zřejmý bezchybný chod stroje. Velikost chyby měření času i velikost kulhání jsou uspokojivé. Velikost rozkmitu setrvačky je v zásadě též uspokojivá. Menší rozkmit setrvačky než zmíněných 300° může napovídat těsnější uložení hřídele setrvačky, avšak i s menším rozkmitem může stroj dále bezproblémově pracovat. Hodinky jsou téměř v bezchybném stavu, což odpovídá původním předpokladům.

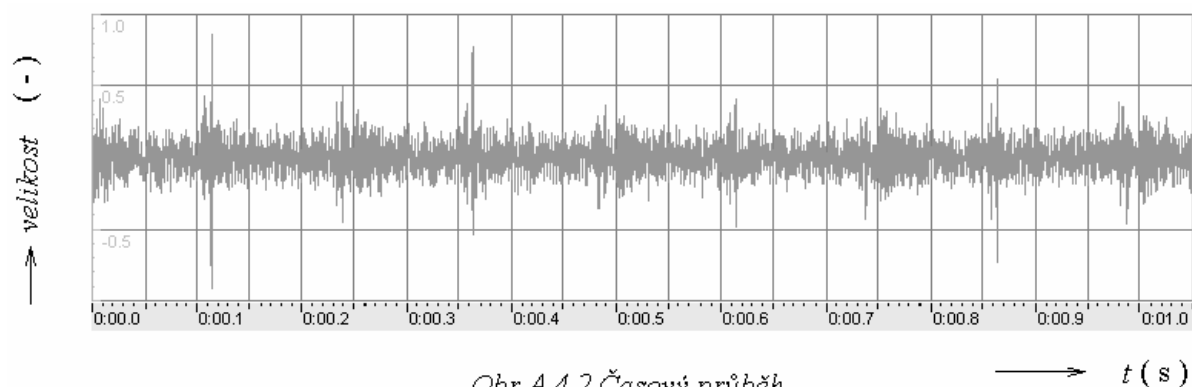
A.4 Náramkové hodinky Valjoux 7751

Parametry záznamu a předpokládaný stav stroje:

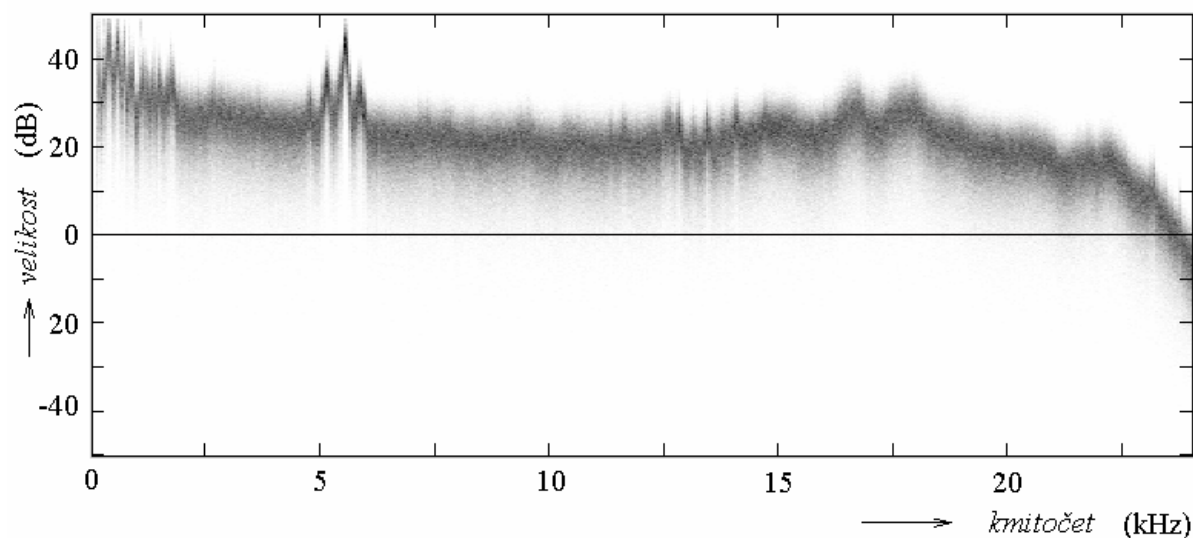
Počet kyvů:	8
Stav hodinového stroje:	100%
Název zvukového záznamu:	028.wav
Vzorkovací kmitočet:	44,1 kHz
Počet bitů na vzorek:	8
Délka záznamu:	120 s
Mikrofon:	Behringer ECM 8000
Poloha při záznamu:	horizontální
Poznámka:	denně užívané, znečištěné, vyschlé mazivo, v chodu od roku 1995



Obr A.4.1 Hodinový stroj



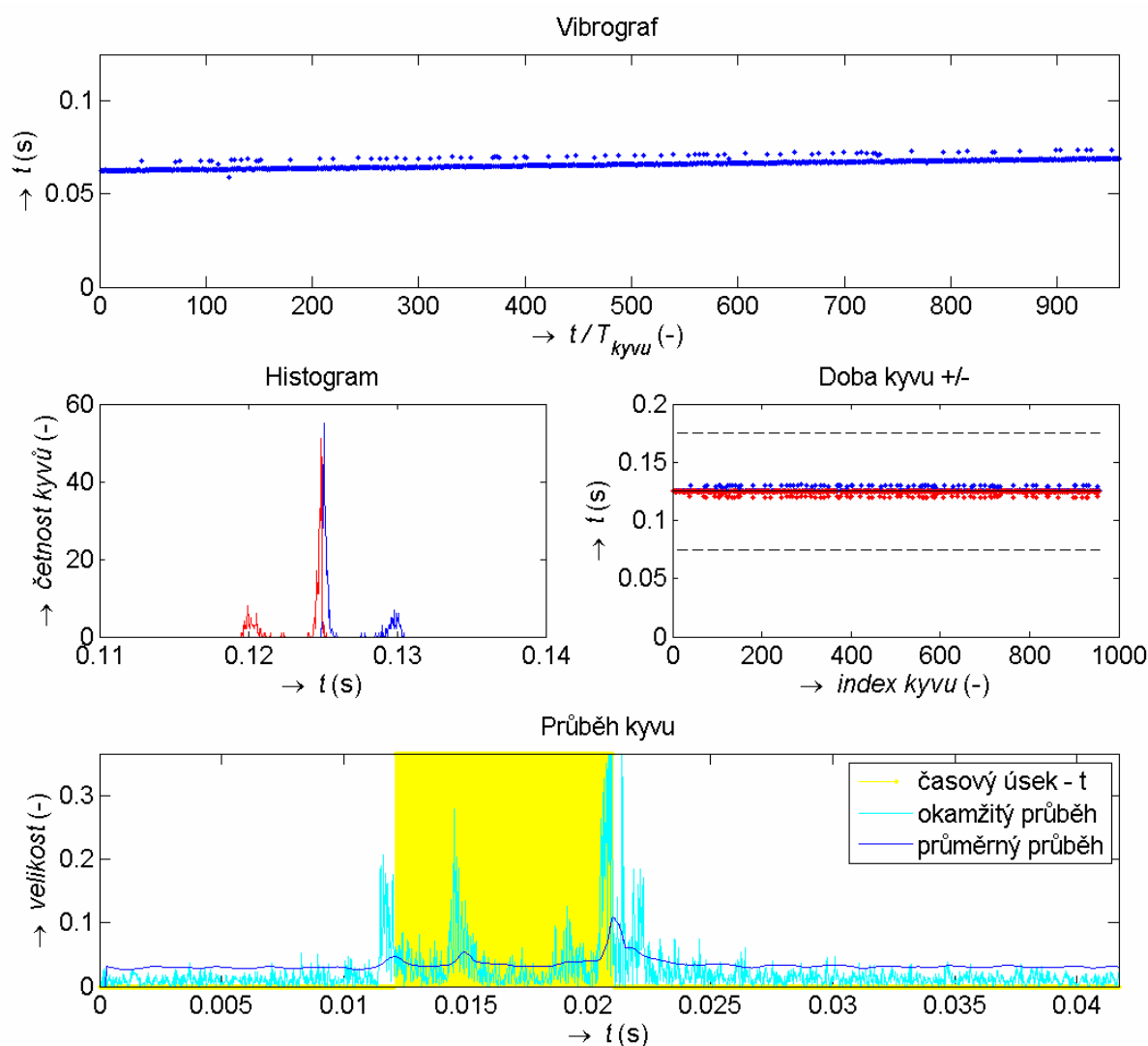
Obr A.4.2 Časový průběh



Obr A.4.3 Histogram spektra

Analýza skutečného stavu stroje:

Chyba měření času : +4,7 s / 24 hod
Velikost kulhání : 2,5 ms
Rozkmit setrvačky : 225°
Linearita chodu: nevyhovující



Obr A.4.4 Grafické výsledky

Zhodnocení stavu:

Průběh vibrografu naznačuje nepravidelnosti v chodu stroje, přesto průměrná hodnota měření chyby času i kulhání jsou relativně dobré. Nepravidelnosti v chodu stroje odpovídají předpokladům, tedy znečištěný stroj i vyschlé mazivo mohou být příčinou. S tímto stavem koresponduje i nevelký rozkmit setrvačky. Linearita chodu označená jako nevyhovující je způsobena velkým rozptylem hodnot okolo křivky.

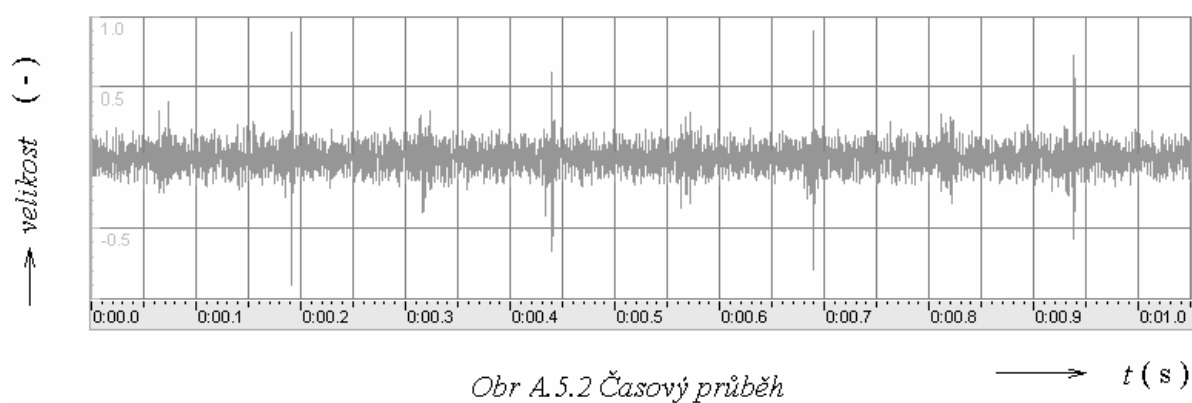
A.5 Náramkové hodinky Valjoux 7751

Parametry záznamu a předpokládaný stav stroje:

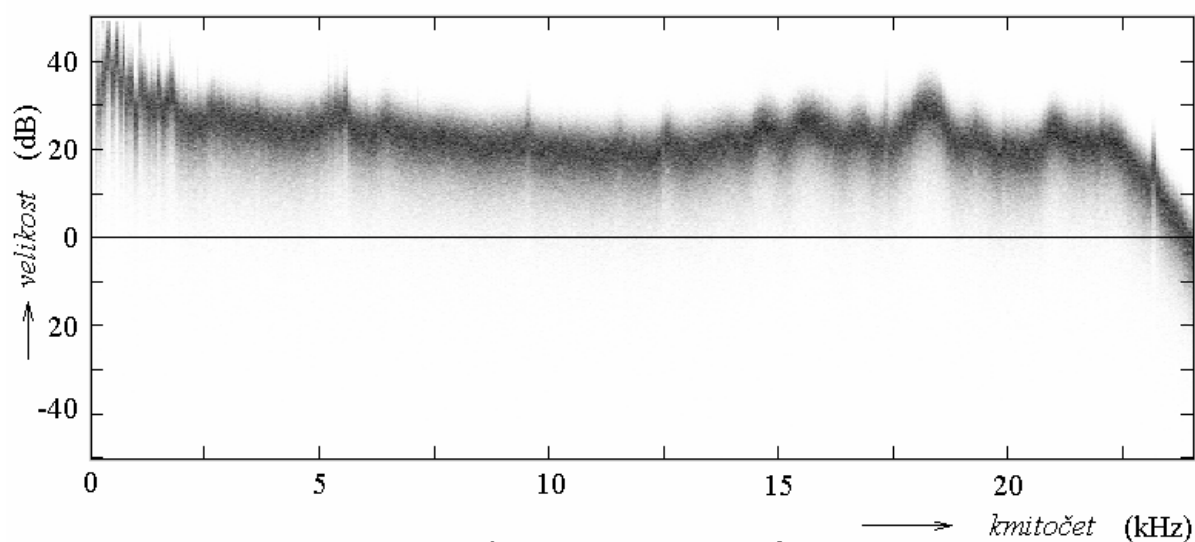
Počet kyvů:	8
Stav hodinového stroje:	kulhání
Název zvukového záznamu:	029.wav
Vzorkovací kmitočet:	44,1 kHz
Počet bitů na vzorek:	8
Délka záznamu:	120 s
Mikrofon:	Behringer ECM 8000
Poloha při záznamu:	horizontální
Poznámka:	denně užívané, znečištěné, vyschlé mazivo, v chodu od roku 1995



Obr A.5.1 Hodinový stroj



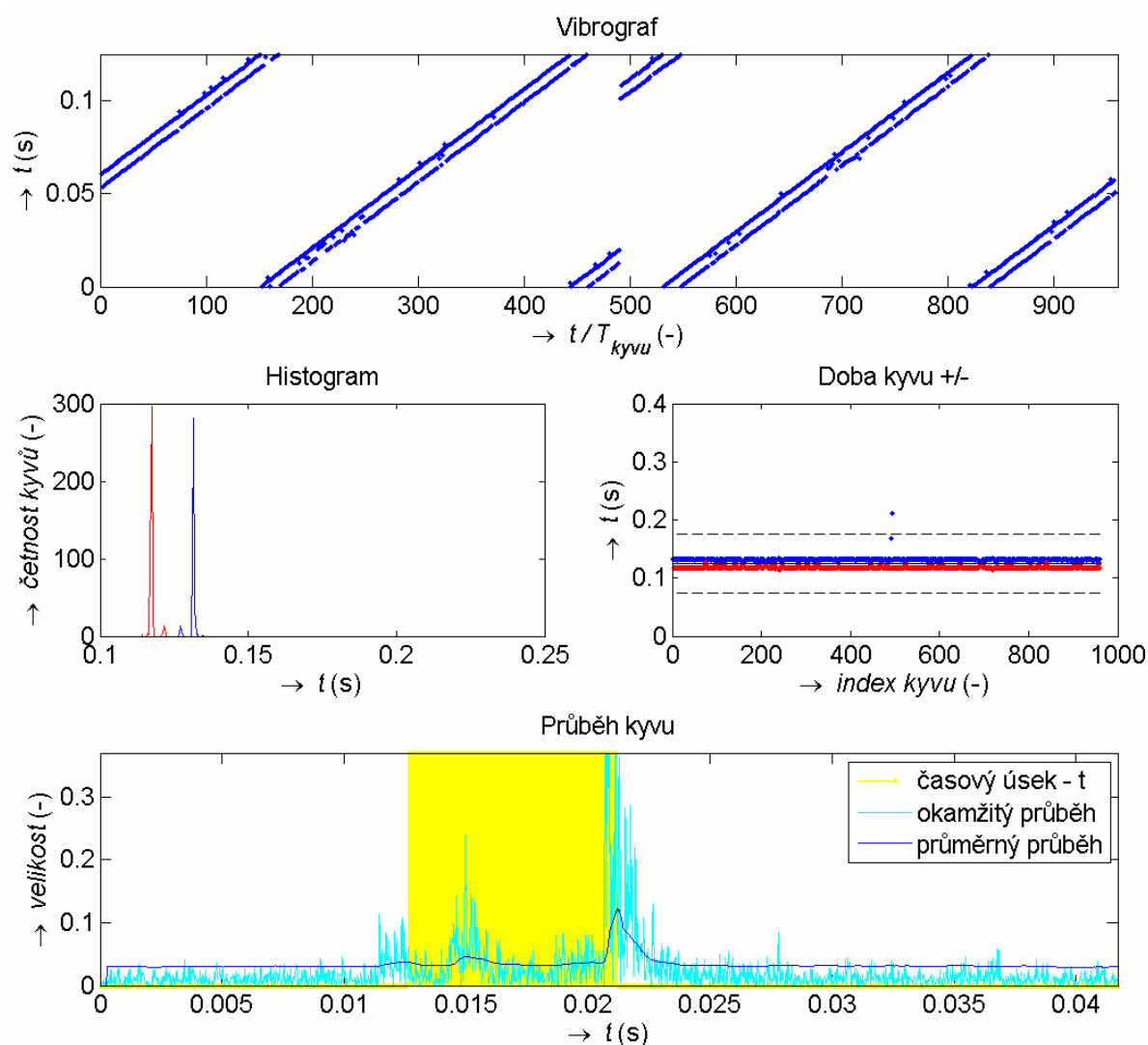
Obr A.5.2 Časový průběh



Obr A.5.3 Histogram spektra

Analýza skutečného stavu stroje:

Chyba měření času : +261,6 s / 24 hod
Velikost kulhání : 13,9 ms
Rozkmit setrvačky : 235°
Linearita chodu: nevyhovující



Obr A.5.4 Grafické výsledky

Zhodnocení stavu:

Předpokládané kulhání je zřejmé jak histogramu, tak z dvojité křivky ve vibrografu. Nespojitost křivky vibrografu je způsobena rušivým impulsem, který je velmi dobře patrný z obrázku „Doba kyvu +/-“. I číselné údaje napovídají, že záměrnou simulací kulhání došlo k výrazné změně rychlosti chodu hodin, dokonce i k nepatrné změně velikosti rozkmitu setrvačky.

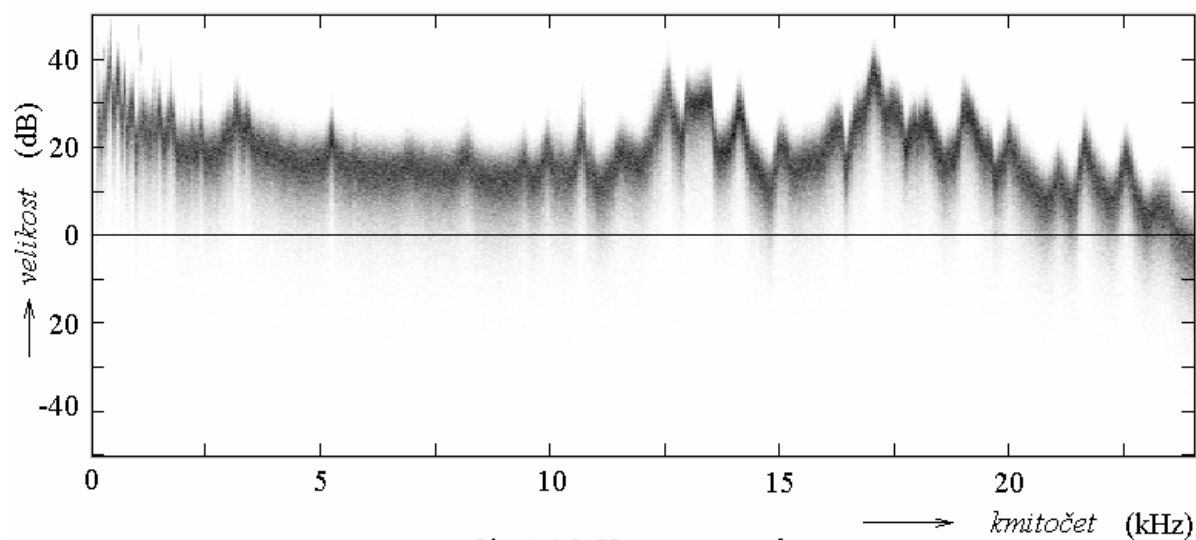
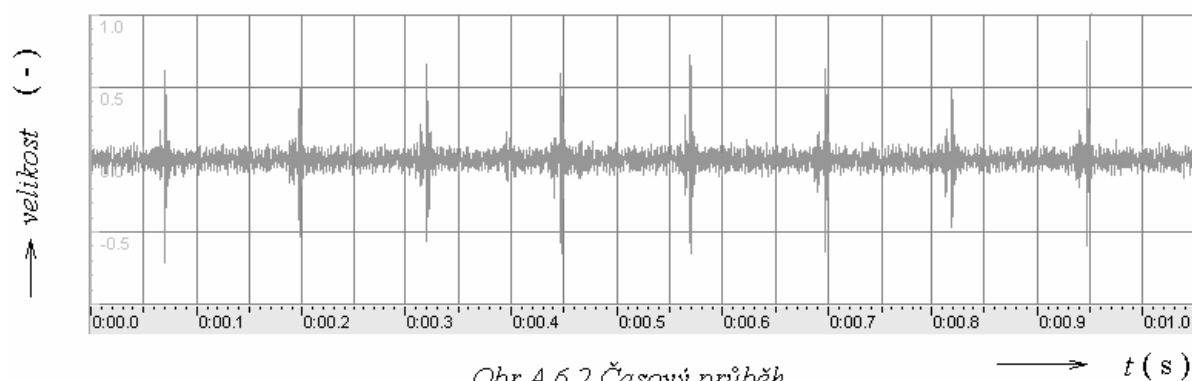
A.6 Náramkové hodinky ETA 2892A2

Parametry záznamu a předpokládaný stav stroje:

Počet kyvů:	8
Stav hodinového stroje:	kulhání, zrychlování
Název zvukového záznamu:	030.wav
Vzorkovací kmitočet:	44,1 kHz
Počet bitů na vzorek:	8
Délka záznamu:	120 s
Mikrofon:	Behringer ECM 8000
Poloha při záznamu:	horizontální
Poznámka:	nepoužívané (nenošené)

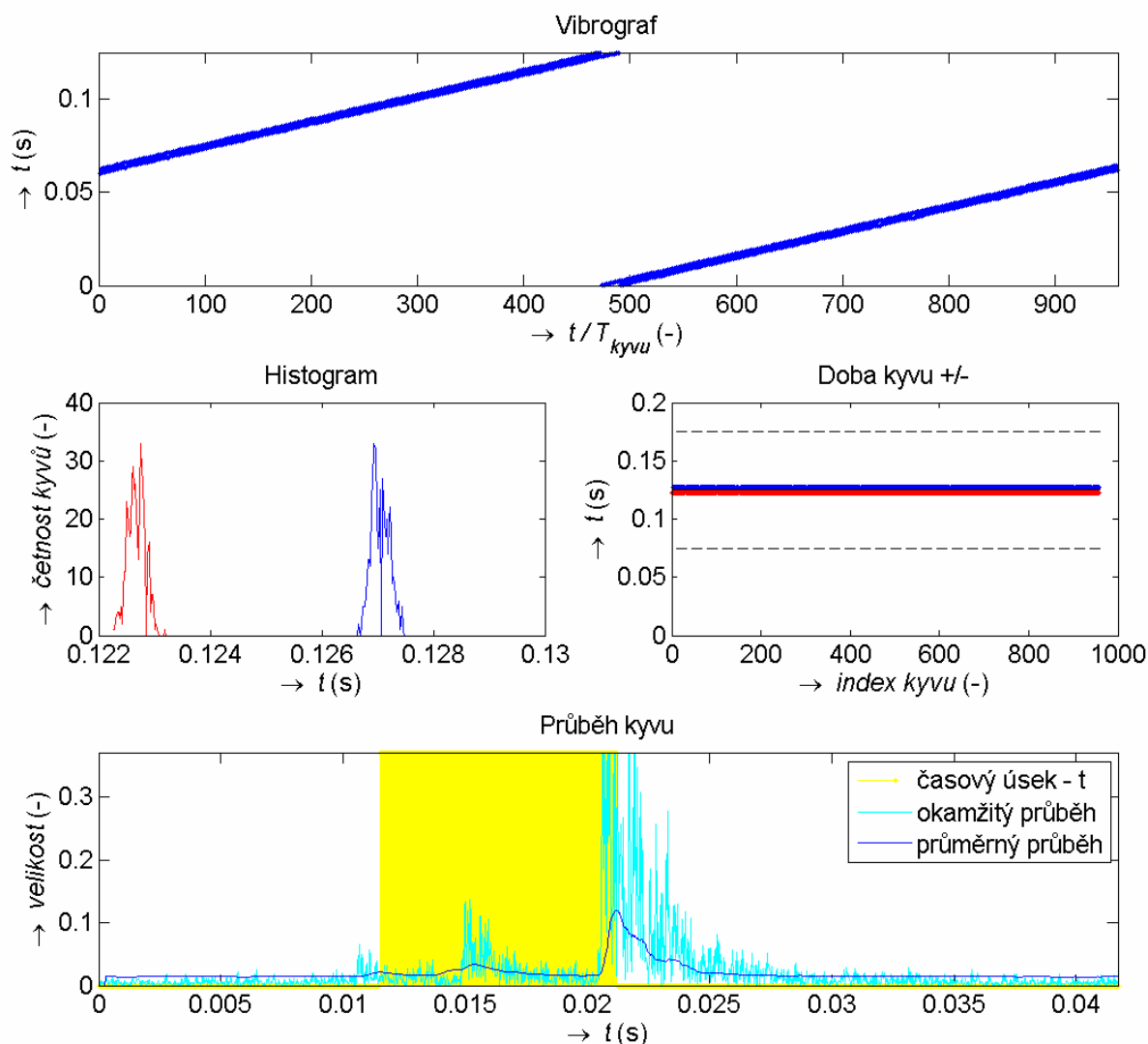


Obr A.6.1 Hodinový stroj [13]



Analýza skutečného stavu stroje:

Chyba měření času : +89,8 s / 24 hod
Velikost kulhání : 4,4 ms
Rozkmit setrvačky : 207°
Linearita chodu: vynikající



Obr A.6.4 Grafické výsledky

Zhodnocení stavu:

Hodinky se výrazně zrychlují dle předpokladu. Velikost kulhání, která byla též uměle zvýšena však nepřesahuje obvyklou toleranci 5 ms. Z vibrografu je zřejmá velmi čistá stopa, což vypovídá o bezchybném chodu stroje. Rozkmit setrvačky je přibližně o jednu třetinu menší než je obvyklé, což může být důsledkem toho, že hodiny nebyly používány a mazivo může být vyschlé či ztuhlé. Kromě vyregulování rychlosti chodu však hodinky nevyžadují žádný radikální zásah. Srovnání histogramu spektra se záznamem A.3, kdy byly hodiny ve 100% stavu však nepřináší dobře čitelné informace ohledně stavu stroje.

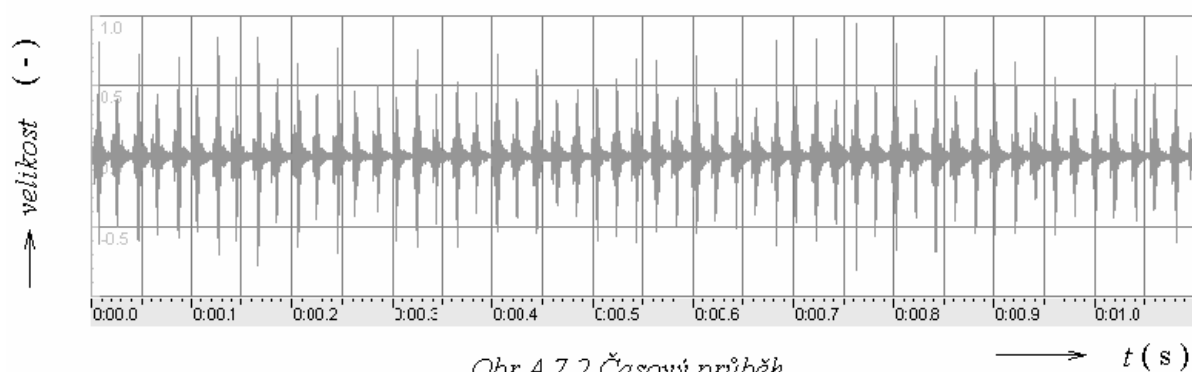
A.7 Stopky Heuer semikrograph pat. 73392/93

Parametry záznamu a předpokládaný stav stroje:

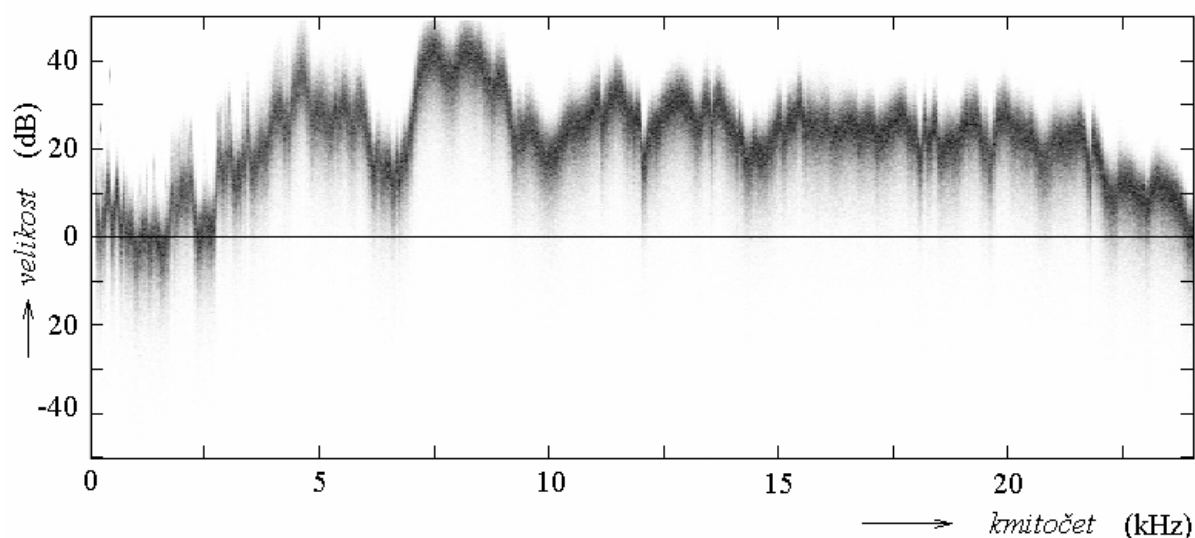
Počet kyvů:	50
Stav hodinového stroje:	100%
Název zvukového záznamu:	031.wav
Vzorkovací kmitočet:	44,1 kHz
Počet bitů na vzorek:	8
Délka záznamu:	120 s
Mikrofon:	Behringer ECM 8000
Poloha při záznamu:	horizontální
Poznámka:	



Obr A.7.1 Hodinový stroj



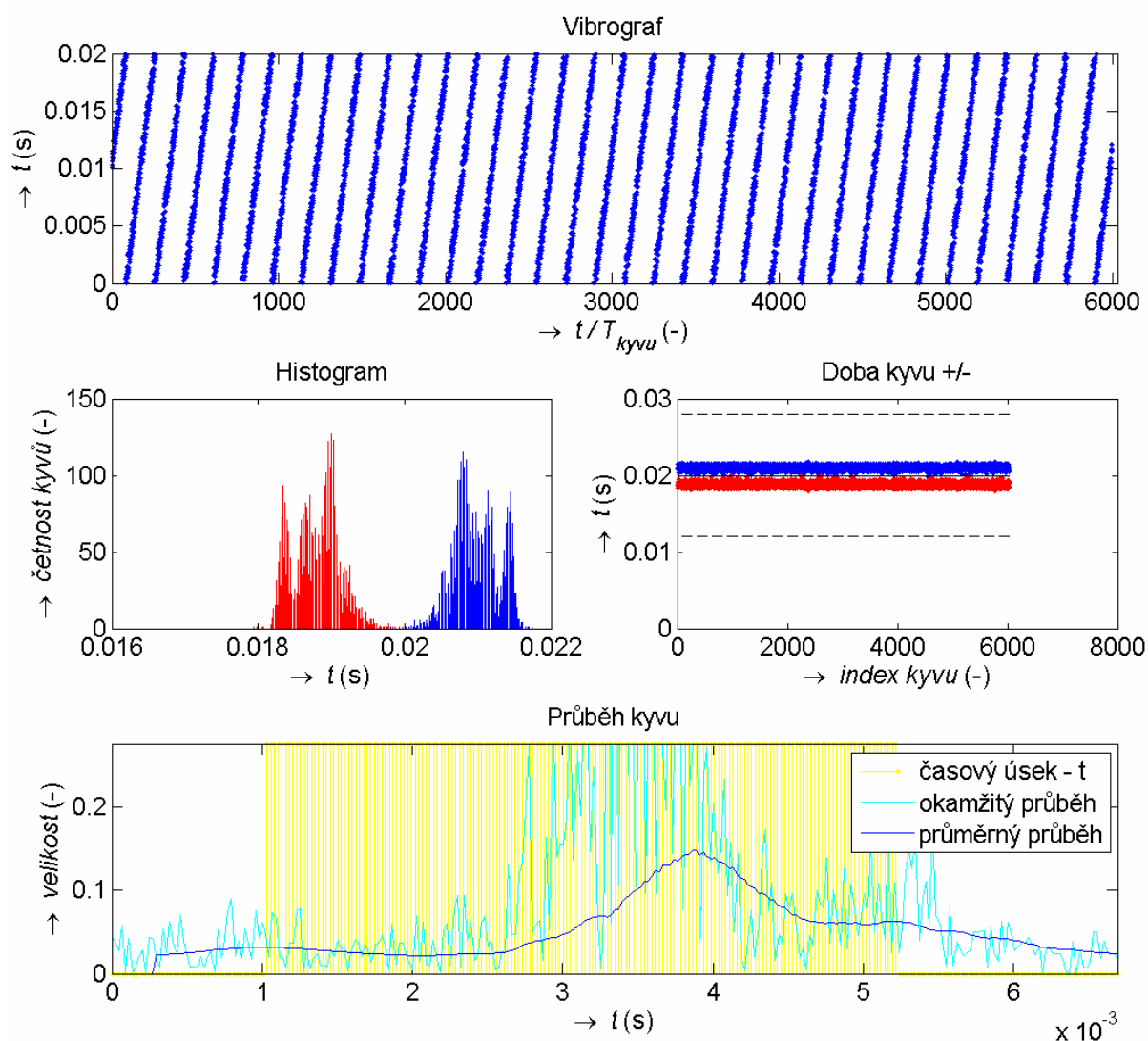
Obr A.7.2 Časový průběh



Obr A.7.3 Histogram spektra

Analýza skutečného stavu stroje:

Chyba měření času : +488,4 s / 24 hod
Velikost kulhání : 2,2 ms
Rozkmit setrvačky : 82°
Linearita chodu: vyhovující



Obr A.7.4 Grafické výsledky

Zhodnocení stavu:

Tyto mechanické stopky se výrazně předbíhají. Míra kulhání je však v toleranci. Zkoumání linearity křivky ve vibrografu by však bylo vhodné ponechat až po odstranění silného předbíhání stroje. Hodnota rozkmitu setrvačky je však velmi nízká, což signalizuje stáří maziva a znečištění stroje. Oprava těchto hodin by měla spočívat v rozebrání stroje a vyčištění všech součástí. Po následné kompletaci opět podrobit stroj analýze a na základě jejích výsledků doregulovat velikost kulhání a rychlost chodu stroje.

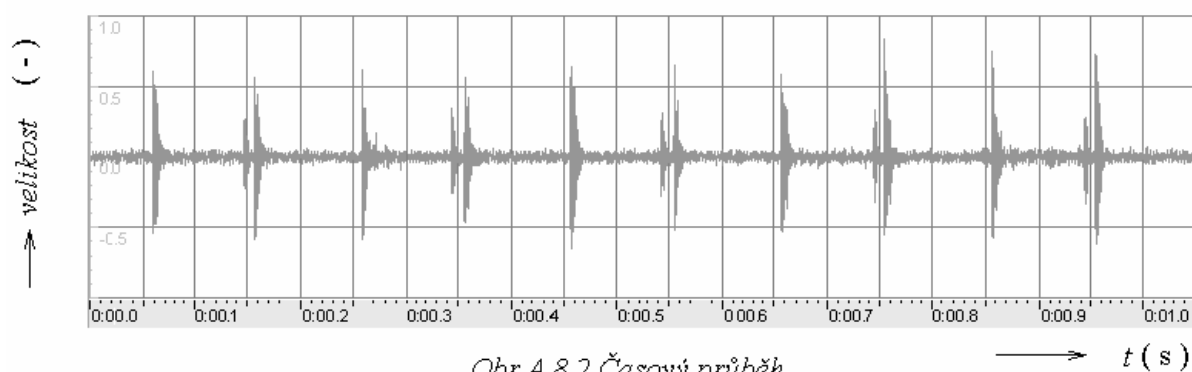
A.8 Stopky Hanhart

Parametry záznamu a předpokládaný stav stroje:

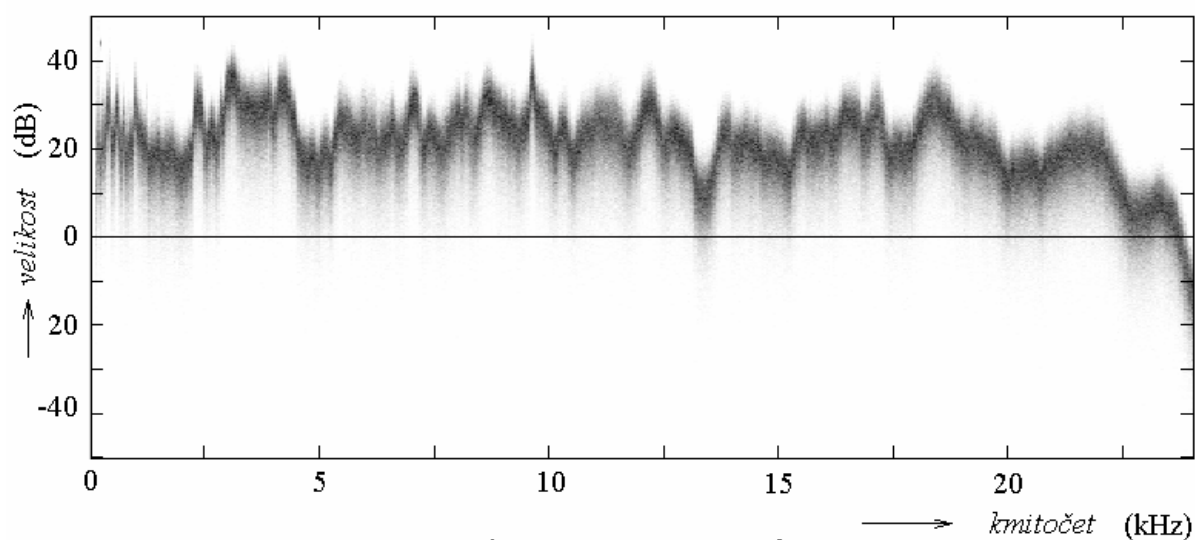
Počet kyvů:	10
Stav hodinového stroje:	100%
Název zvukového záznamu:	032.wav
Vzorkovací kmitočet:	44,1 kHz
Počet bitů na vzorek:	8
Délka záznamu:	120 s
Mikrofon:	Behringer ECM 8000
Poloha při záznamu:	horizontální
Poznámka:	



Obr A.8.1 Hodinový stroj



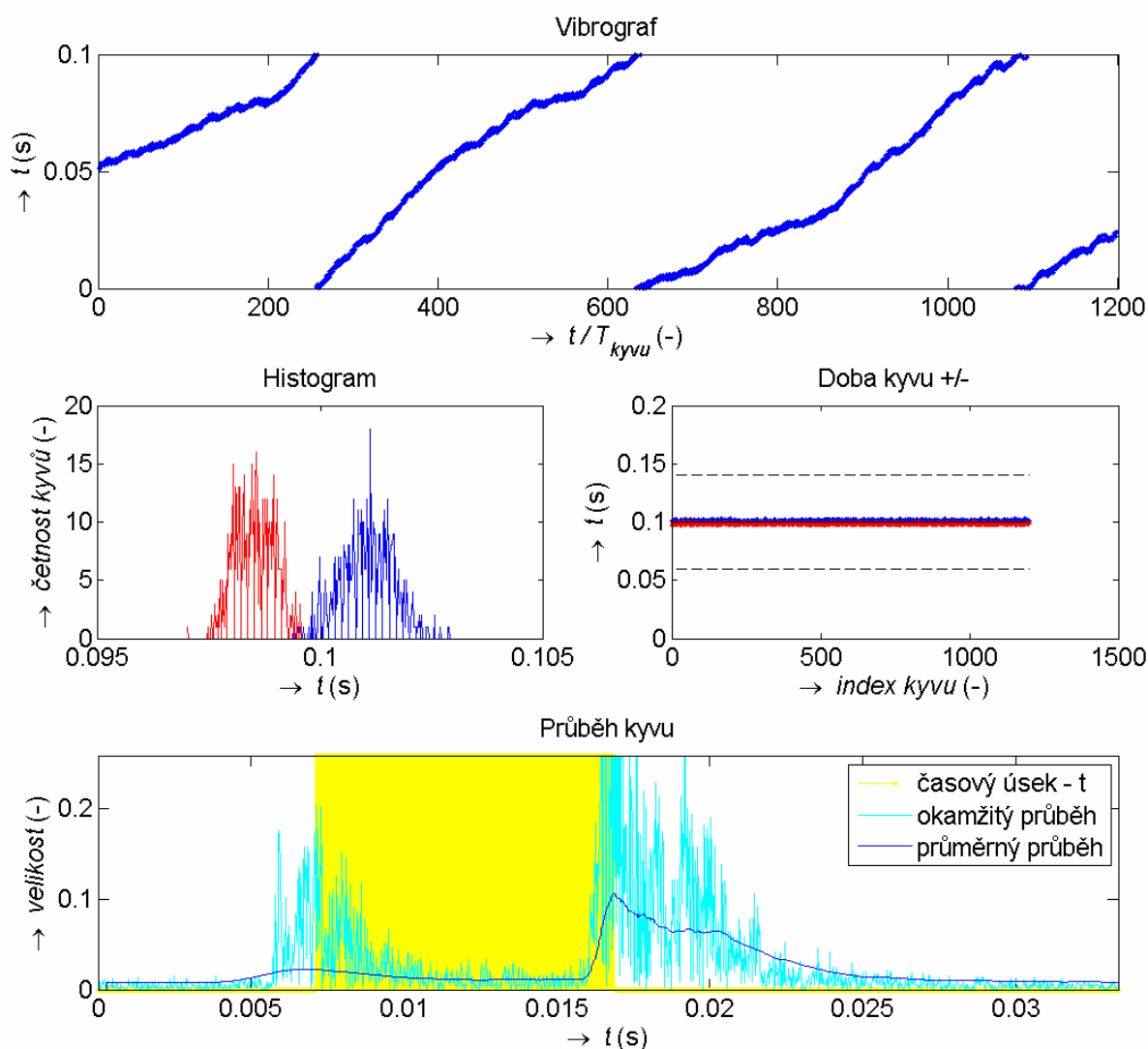
Obr A.8.2 Časový průběh



Obr A.8.3 Histogram spektra

Analýza skutečného stavu stroje:

Chyba měření času : +197,2 s / 24 hod
Velikost kulhání : 2,5 ms
Rozkmit setrvačky : 166°
Linearita chodu: nevyhovující



Obr A.8.4 Grafické výsledky

Zhodnocení stavu:

Nelineární průběh křivky vibrografu naznačuje, že se jedná o velmi nepravidelný chod stroje. Na křivce vibrografu jsou patrné „vlnky“ které naznačují problém se záběry kol uvnitř stroje nebo velkou vůlí v uložení setrvačky (viz teorie Obr 2.9). Rozkmit setrvačky je přibližně o polovinu menší než očekávaná hodnota. Vzhledem k těmto zjištěným skutečnostem se pravděpodobně jedná o nepoužívaný stroj s vyschlým či zatuhlým mazivem v ložiscích. Jako první fáze opravy bude vhodné provést kompletní vyčištění a po následné analýze teprve opravovat konkrétní nedostatky.

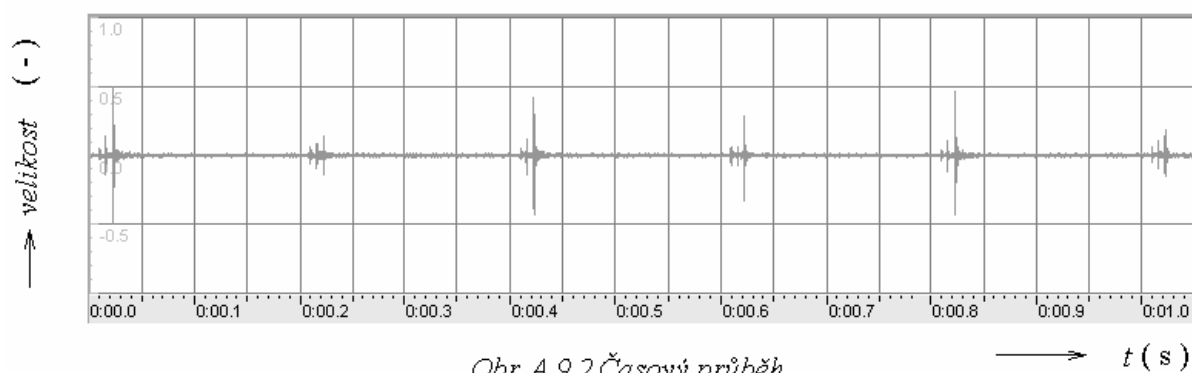
A.9 Náramkové hodinky Prim cal.68

Parametry záznamu a předpokládaný stav stroje:

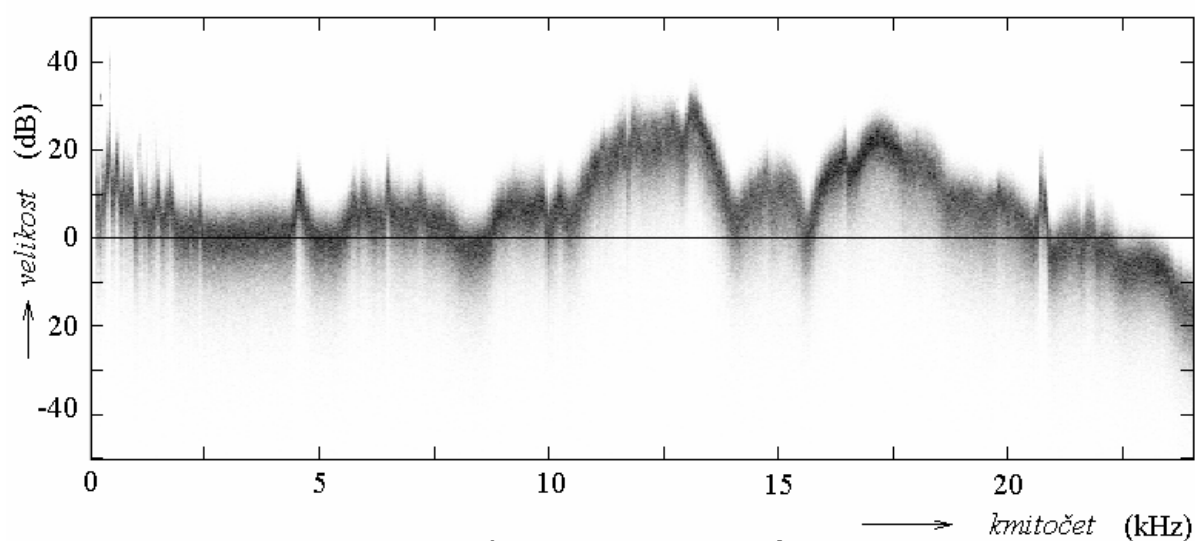
Počet kyvů:	5
Stav hodinového stroje:	100%
Název zvukového záznamu:	033.wav
Vzorkovací kmitočet:	44,1 kHz
Počet bitů na vzorek:	8
Délka záznamu:	120 s
Mikrofon:	Behringer ECM 8000
Poloha při záznamu:	horizontální
Poznámka:	



Obr A.9.1 Hodinový stroj



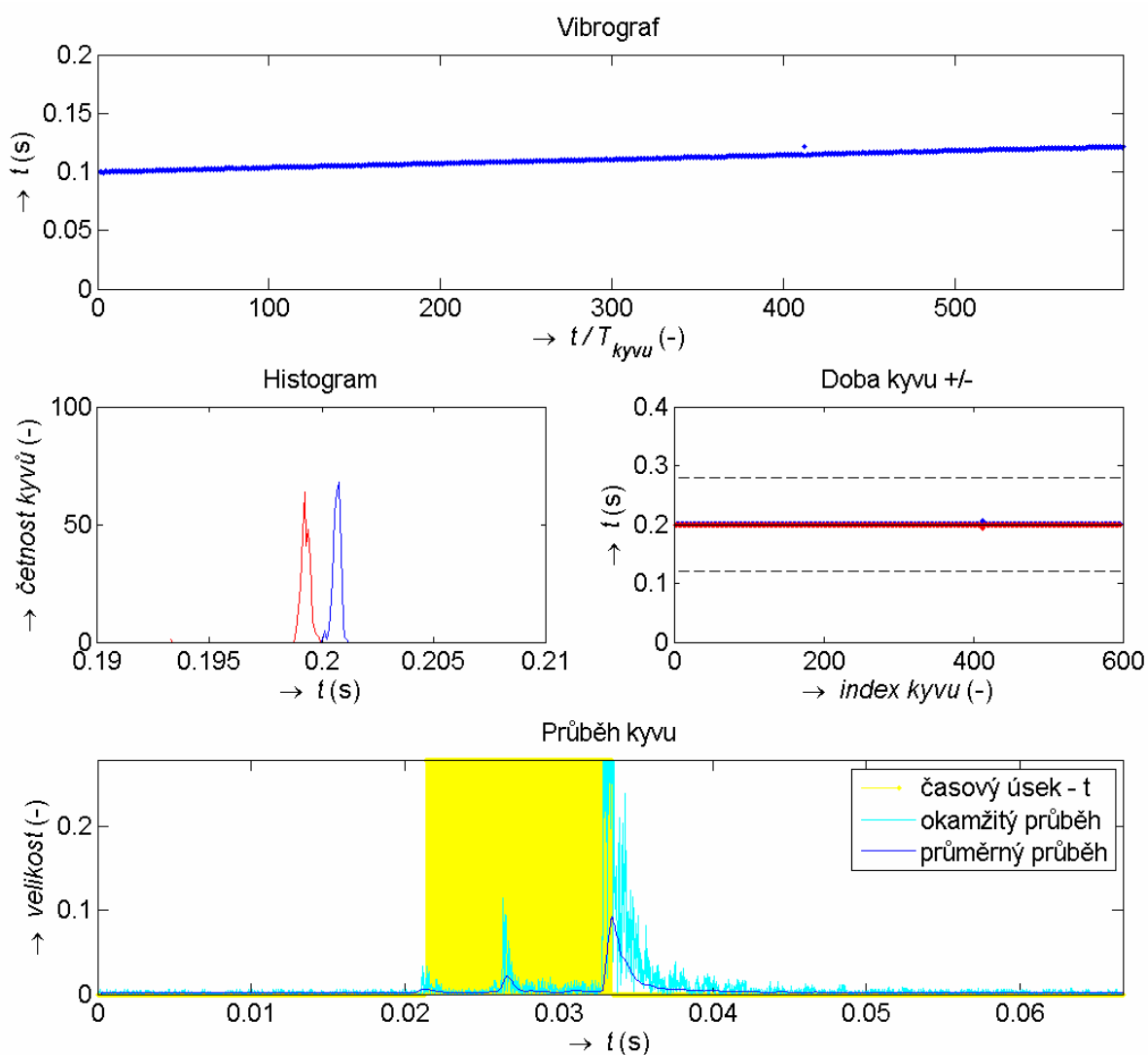
Obr A.9.2 Časový průběh



Obr A.9.3 Histogram spektra

Analýza skutečného stavu stroje:

Chyba měření času : +15,4 s / 24 hod
Velikost kulhání : 1,4 ms
Rozkmit setrvačky : 264°
Linearita chodu: vyhovující



Obr A.9.4 Grafické výsledky

Zhodnocení stavu:

Průběh vibrografu naznačuje bezproblémový chod stroje. Mírné zrychlování je pouze otázkou přesného vyregulování rychlosti chodu. Rozkmit setrvačky je vcelku vyhovující a hodnota kulhání je taktéž v toleranci. Po mírné úpravě rychlosti chodu mohou tyto hodinky dále sloužit.

Při neodborném zásahu do tohoto stroje (viz příloha A.18) je při srovnání histogramu spektra patrné jisté vyrovnnání velikostí složek spektra kolem kmitočtu 15 kHz, avšak z těchto obrázků nelze jednoznačně vyvodit co se v daném stroji změnilo.

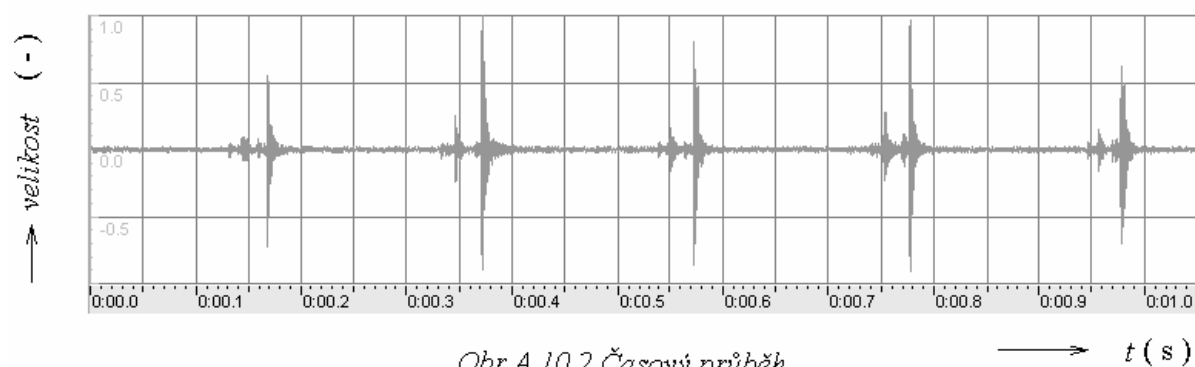
A.10 Budík neznámého původu

Parametry záznamu a předpokládaný stav stroje:

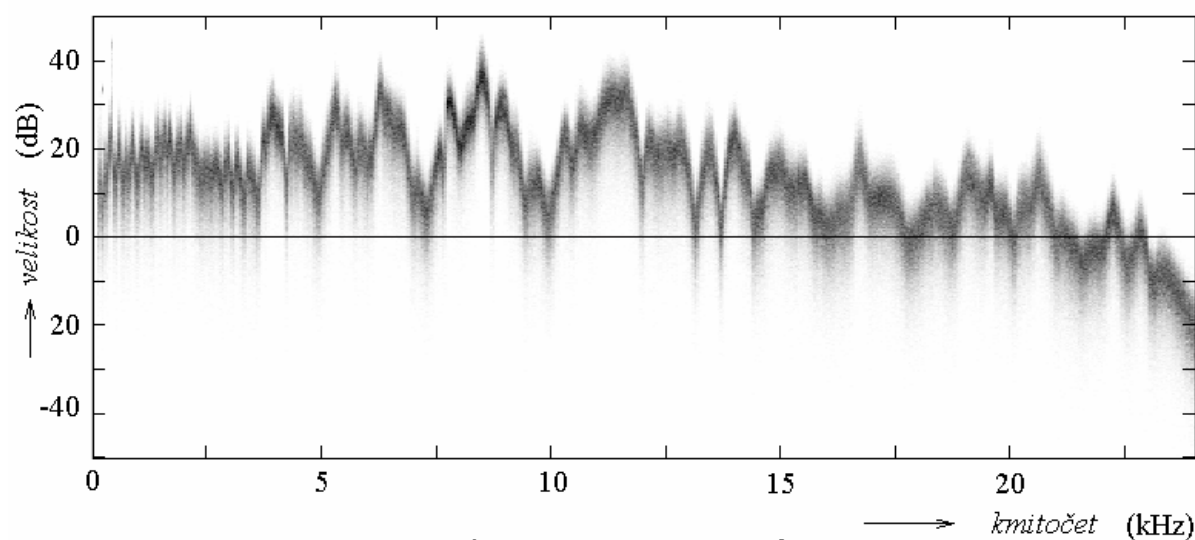
Počet kyvů:	neznámý
Stav hodinového stroje:	neznámý
Název zvukového záznamu:	034.wav
Vzorkovací kmitočet:	44,1 kHz
Počet bitů na vzorek:	8
Délka záznamu:	120 s
Mikrofon:	Behringer ECM 8000
Poloha při záznamu:	vertikální
Poznámka:	



Obr A.10.1 Hodinový stroj



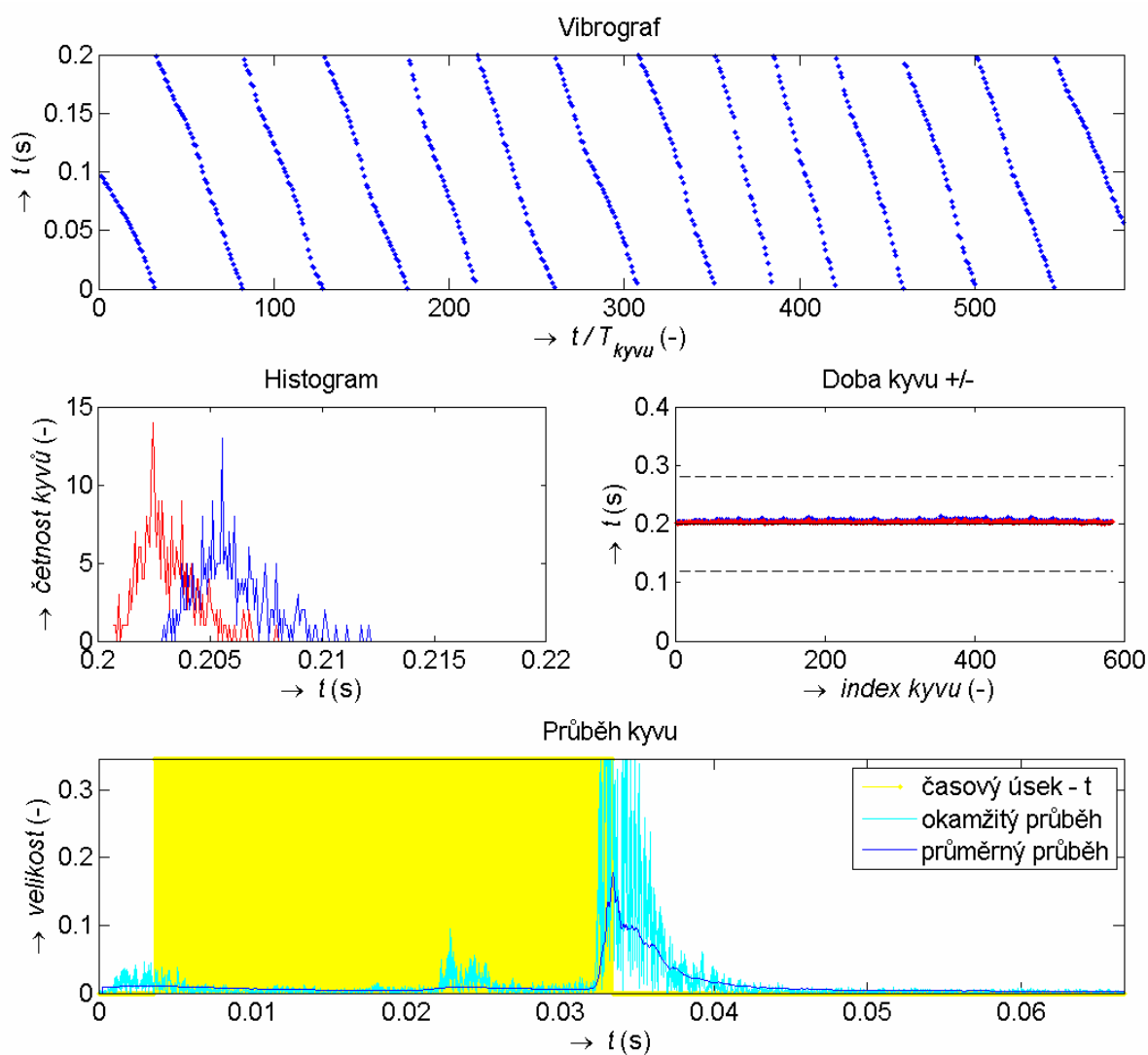
Obr A.10.2 Časový průběh



Obr A.10.3 Histogram spektra

Analýza skutečného stavu stroje:

Chyba měření času : -1982,2 s / 24 hod
Velikost kulhání : 2,9 ms
Rozkmit setrvačky : 108°
Linearita chodu: nevyhovující



Obr A.10.4 Grafické výsledky

Zhodnocení stavu:

Pokud není předem znám počet kyvů stroje, je dobře patrný z časového průběhu, který je úmyslně zobrazován v délce jedné sekundy. Počet kyvů za sekundu je tedy roven pěti, což program také rozpozná. Přestože velikost kulhání tohoto stroje je v toleranci, ostatní parametry napovídají, že budík nebyl delší dobu používán. S největší pravděpodobností se tedy jedná o znečištění stroje a ztuhlé staré mazivo. Průběh vibrografu též není ideální a vykazuje jisté nelinearity.

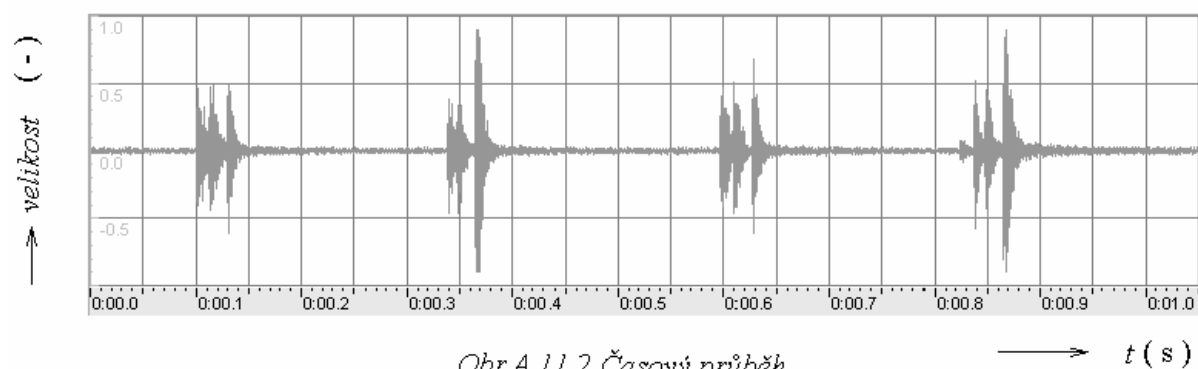
A.11 Budík Prim B-71

Parametry záznamu a předpokládaný stav stroje:

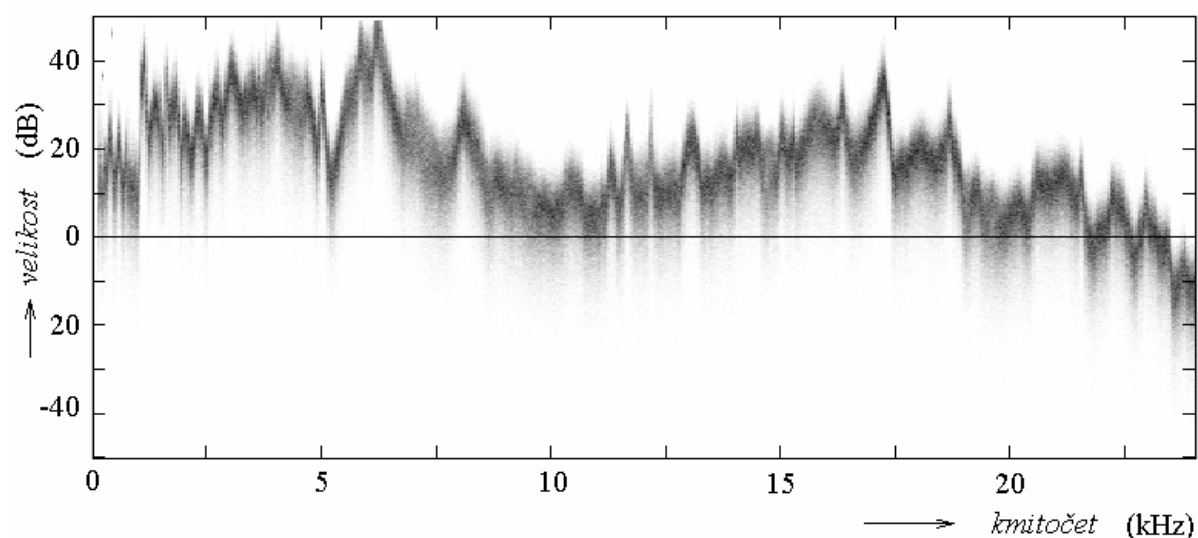
Počet kyvů:	4
Stav hodinového stroje:	100%
Název zvukového záznamu:	035.wav
Vzorkovací kmitočet:	44,1 kHz
Počet bitů na vzorek:	8
Délka záznamu:	120 s
Mikrofon:	Behringer ECM 8000
Poloha při záznamu:	vertikální
Poznámka:	



Obr A.11.1 Hodinový stroj [14]



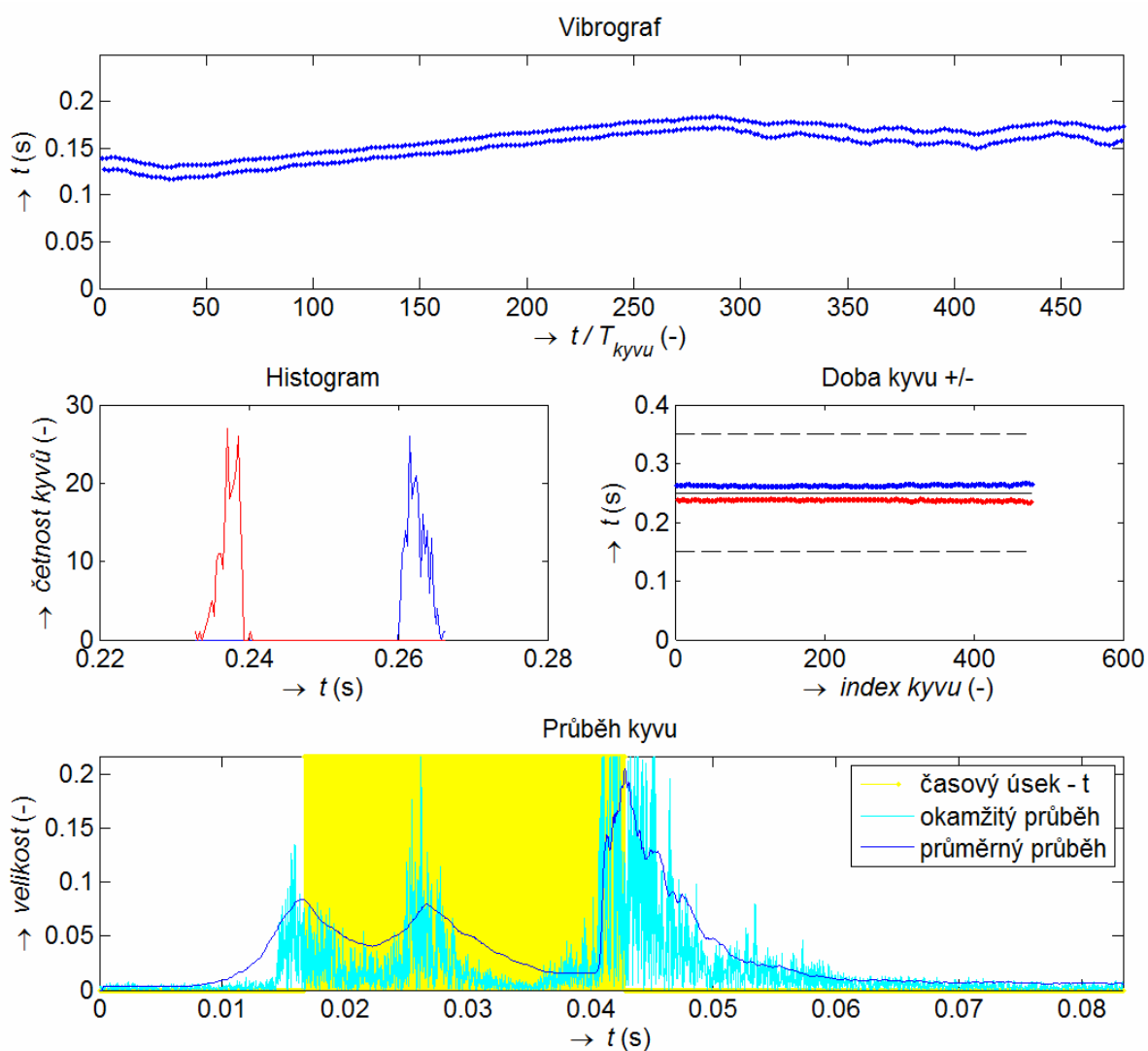
Obr A.11.2 Časový průběh



Obr A.11.3 Histogram spektra

Analýza skutečného stavu stroje:

Chyba měření času : +34,6 s / 24 hod
Velikost kulhání : 25,0 ms
Rozkmit setrvačky : 153°
Linearita chodu: vyhovující



Obr A.11.4 Grafické výsledky

Zhodnocení stavu:

Tento hodinový stroj trpí silným kulháním, což je znatelné i z dvojité křivky na vibrografu. Výrazně nelineární chod i velikost rozkmitu setrvačky opět nasvědčuje znečištění stroje a stáří maziva. Doporučený postup opravy spočívá v kompletním rozebrání stroje, vyčištění a poté znovu podrobení analýze. Oprava rychlosti chodu či kulhání takového stroje bez předchozího vyčištění obvykle nemá uspokojivé výsledky.

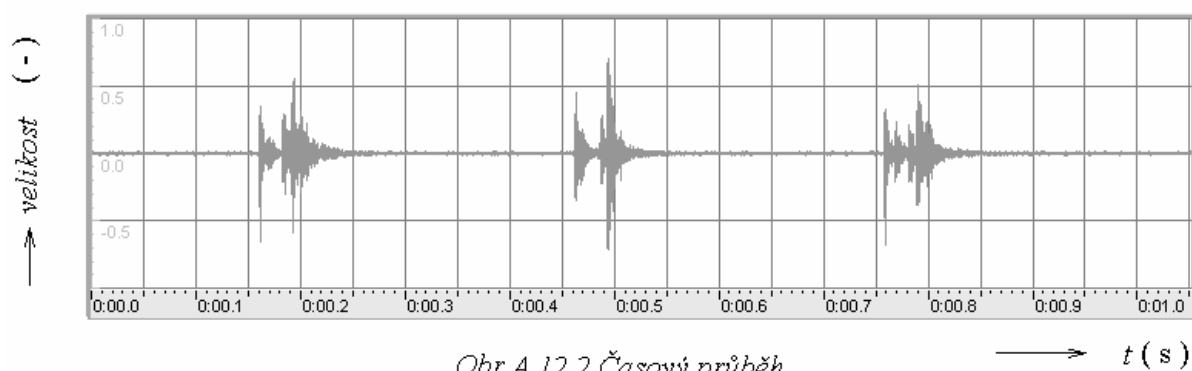
A.12 Budík HES B-90

Parametry záznamu a předpokládaný stav stroje:

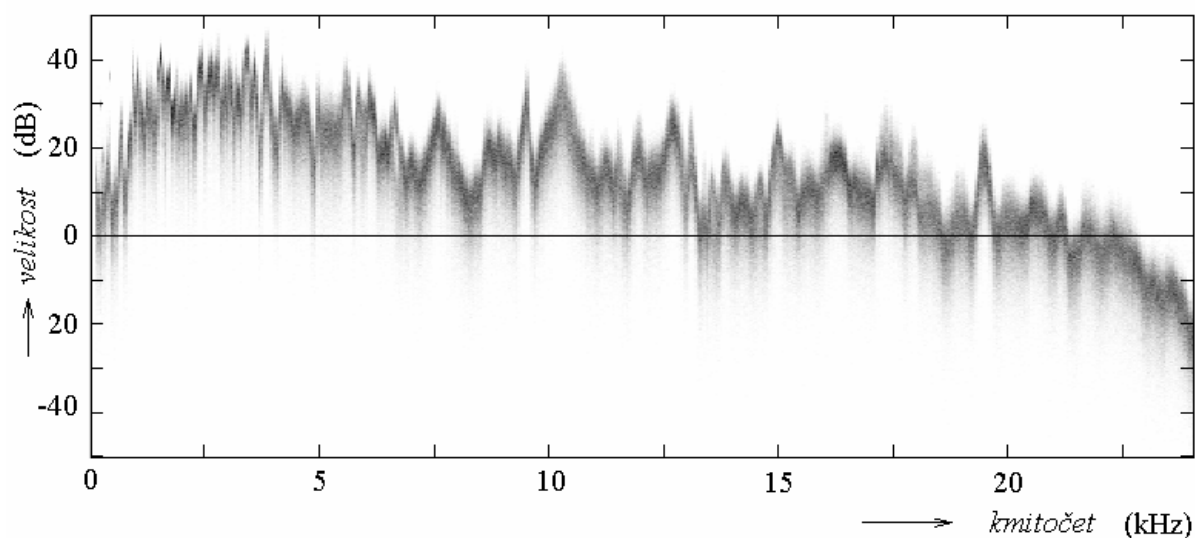
Počet kyvů:	3,3
Stav hodinového stroje:	100%
Název zvukového záznamu:	036.wav
Vzorkovací kmitočet:	44,1 kHz
Počet bitů na vzorek:	8
Délka záznamu:	120 s
Mikrofon:	Behringer ECM 8000
Poloha při záznamu:	vertikální
Poznámka:	



Obr A.12.1 Hodinový stroj



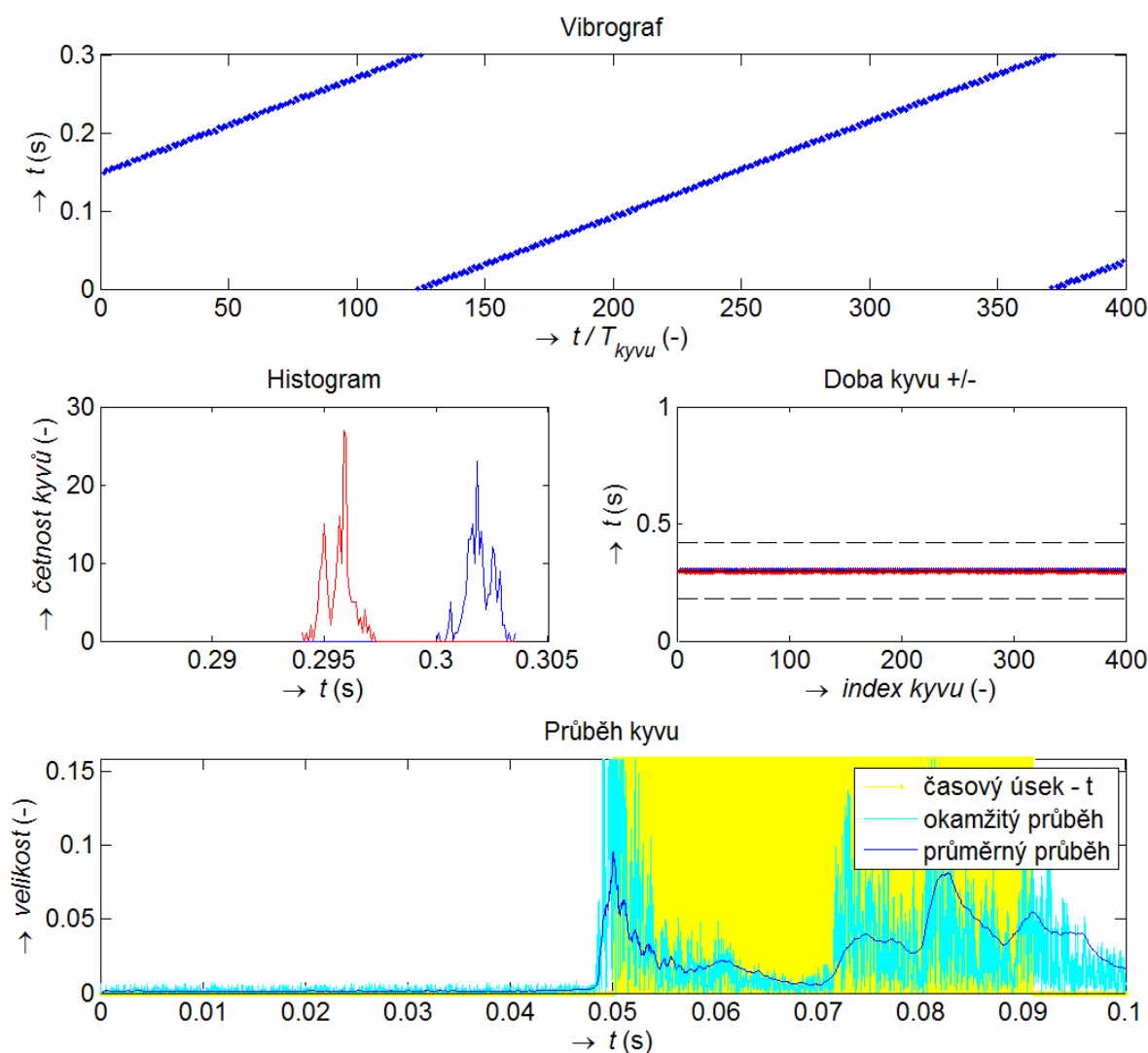
Obr A.12.2 Časový průběh



Obr A.12.3 Histogram spektra

Analýza skutečného stavu stroje:

Chyba měření času : +349,4 s / 24 hod
Velikost kulhání : 6,2 ms
Rozkmit setrvačky : 117°
Linearita chodu: vyhovující



Obr A.12.4 Grafické výsledky

Zhodnocení stavu:

Tento stroj byl vybrán pro sérii následujících pokusů, které zkoumají vliv polohy stroje na zkoumané parametry v souvislosti s nevyváženou setrvačkou. Při tomto záznamu byl předpoklad 100% stavu stroje, což se však nepotvrdilo. Z výsledků je zřejmé, že již teď se silně přebíhá a velikost kulhání taktéž není zanedbatelná. Průběh kyvu rovněž neodpovídá ideálnímu průběhu. Díky tomu není určení časového okamžiku t a tedy i rozkmitu setrvačky zcela jednoznačné. V tuto chvíli však bude rozhodující, jak se tyto hodnoty změní při změně polohy stroje při záznamu.

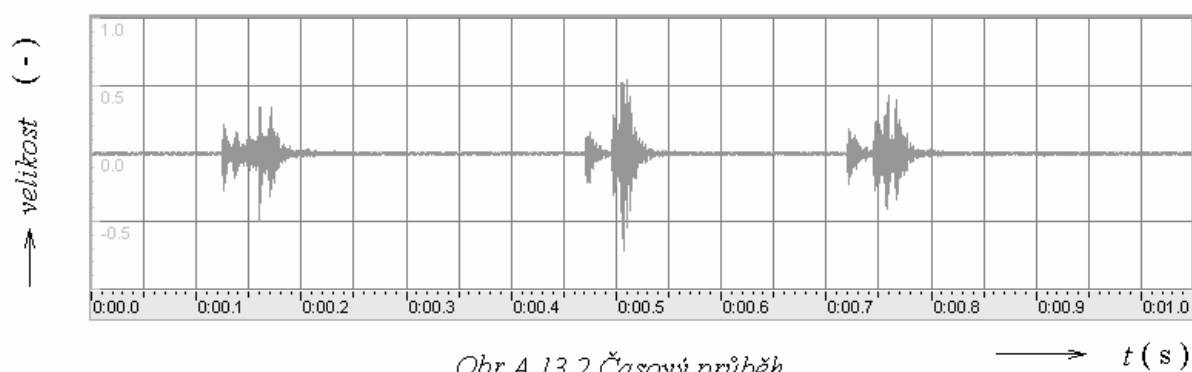
A.13 Budík HES B-90

Parametry záznamu a předpokládaný stav stroje:

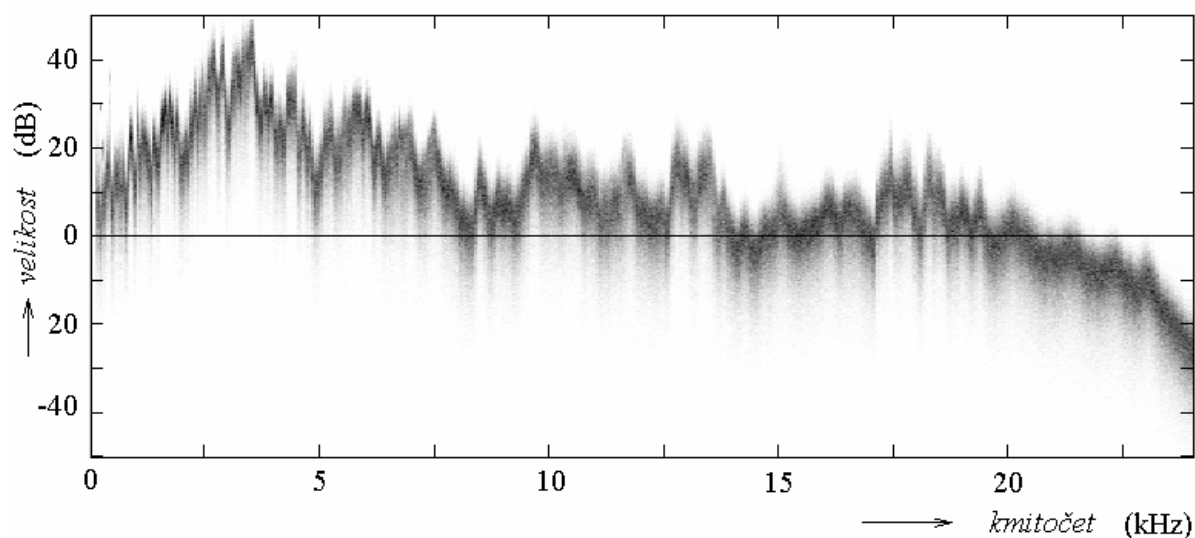
Počet kyvů:	3,3
Stav hodinového stroje:	kulhání
Název zvukového záznamu:	037.wav
Vzorkovací kmitočet:	44,1 kHz
Počet bitů na vzorek:	8
Délka záznamu:	120 s
Mikrofon:	Behringer ECM 8000
Poloha při záznamu:	vertikální
Poznámka:	



Obr A.13.1 Hodinový stroj



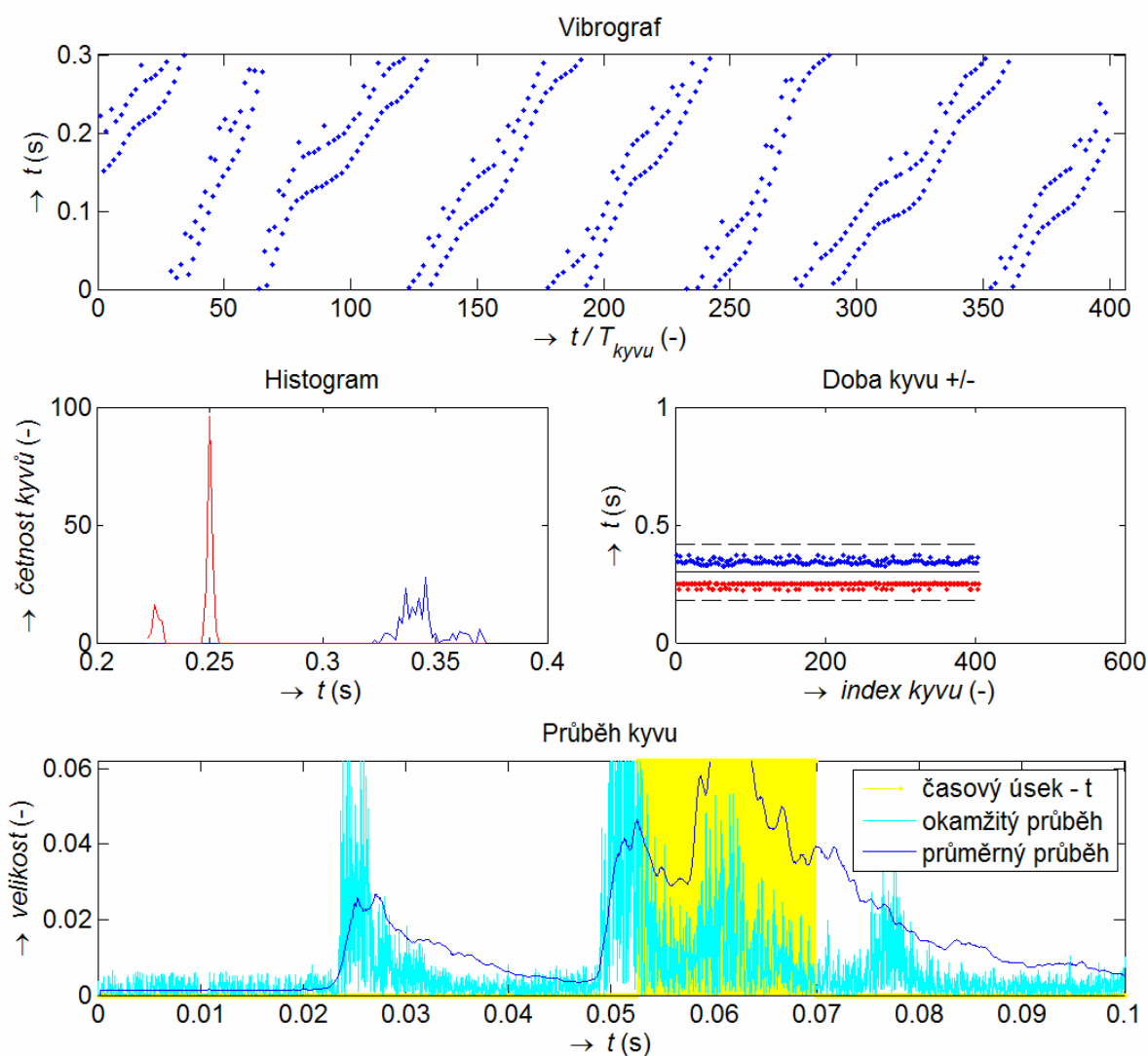
Obr A.13.2 Časový průběh



Obr A.13.3 Histogram spektra

Analýza skutečného stavu stroje:

Chyba měření času : +1519,0 s / 24 hod
Velikost kulhání : 98,6 ms
Rozkmit setrvačky : 276°
Linearita chodu: nevyhovující



Obr A.13.4 Grafické výsledky

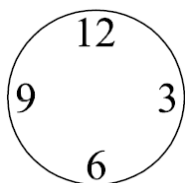
Zhodnocení stavu:

V tomto záznamu bylo oproti předchozímu záměrně zvětšeno kulhání, což se potvrdilo (viz výsledky). Tento zásah však měl značný vliv i na rychlost a rovnoměrnost chodu, což je zřejmé ze silně nelineárního průběhu na vibrografu. Kromě zvýšení průměrné hodnoty kulhání došlo k radikální změně hodnoty rozkmitu setrvačky. Tato změna byla způsobena zásadní změnou tvaru okamžitého průběhu kyvu. Tedy hodnota rozkmitu není zcela jednoznačná. V průběhu histogramu spektra jsou viditelné radikální změny oproti předchozímu záznamu, přičemž se jedná o identický stroj pouze s úmyslnou změnou jednoho parametru. Tyto změny však nejsou dostatečně slovně ani matematicky popsitelné.

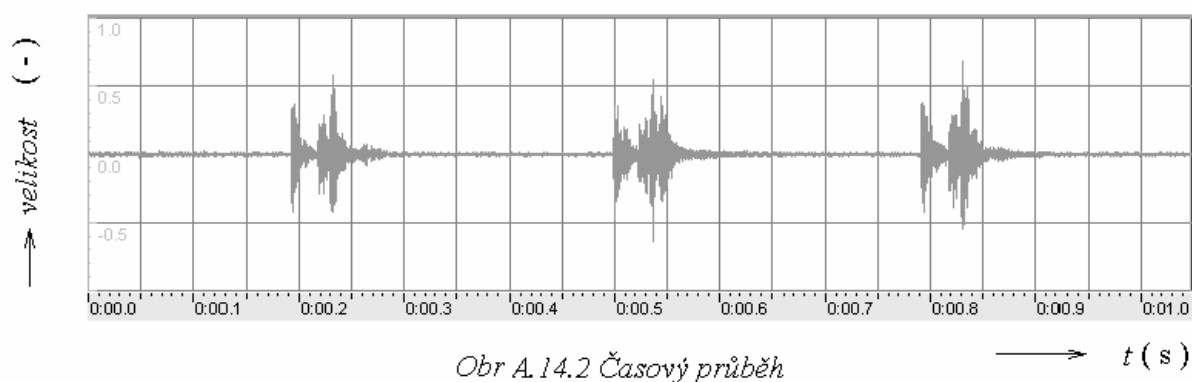
A.14 Budík HES B-90

Parametry záznamu a předpokládaný stav stroje:

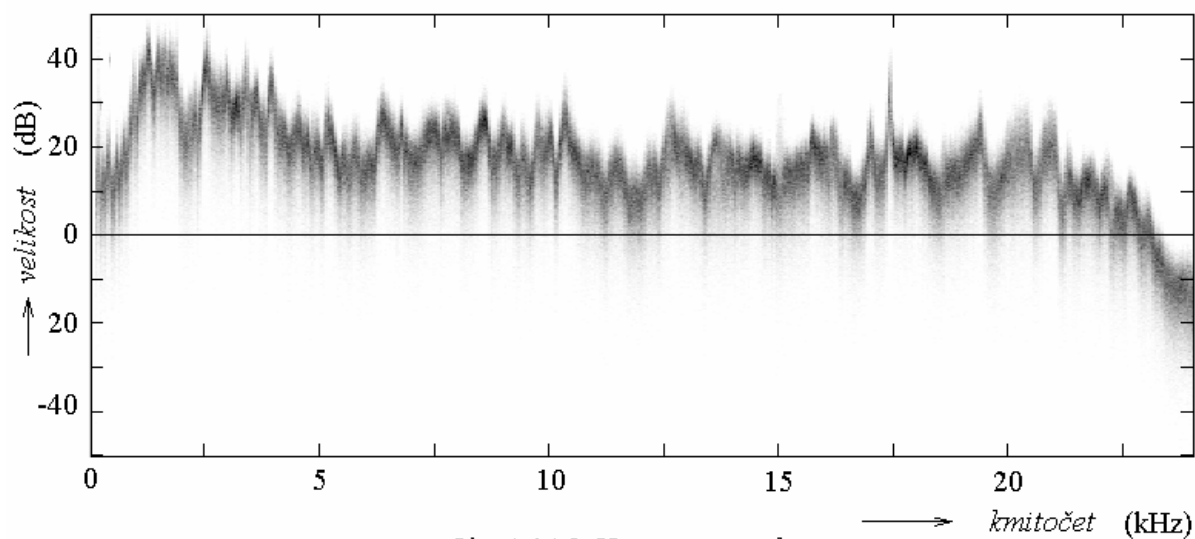
Počet kyvů: $3, \bar{3}$
Stav hodinového stroje: nevyvážená setrvačka
Název zvukového záznamu: 038.wav
Vzorkovací kmitočet: 44,1 kHz
Počet bitů na vzorek: 8
Délka záznamu: 120 s
Mikrofon: Behringer ECM 8000
Poloha při záznamu: vertikální
Poznámka: poloha hodin:



Obr A.14.1 Hodinový stroj



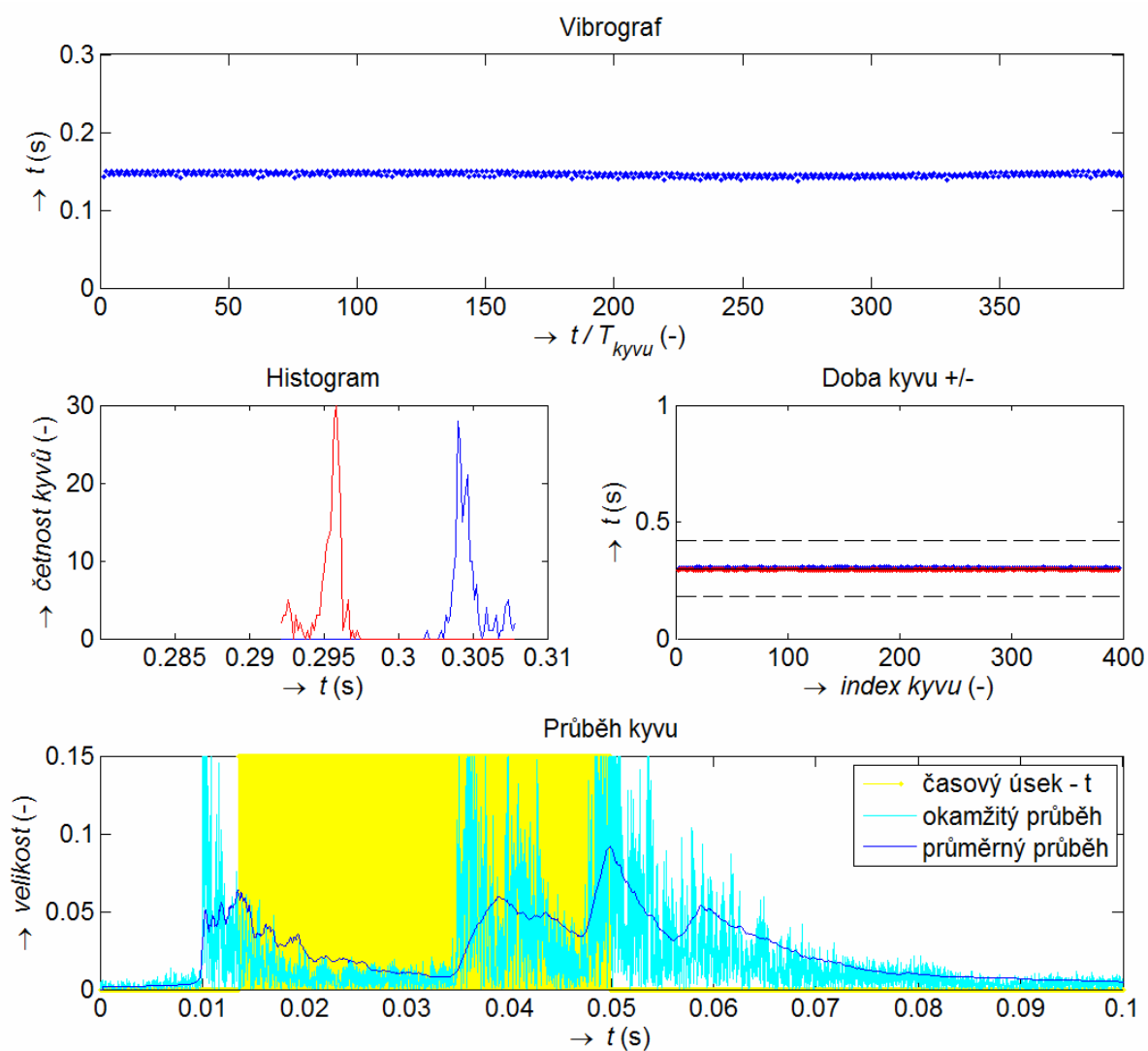
Obr A.14.2 Časový průběh



Obr A.14.3 Histogram spektra

Analýza skutečného stavu stroje:

Chyba měření času : -0,7 s / 24 hod
Velikost kulhání : 9,3 ms
Rozkmit setrvačky : 132°
Linearita chodu: vyhovující



Obr A.14.4 Grafické výsledky

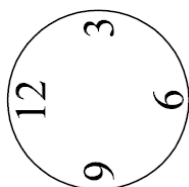
Zhodnocení stavu:

Pro sérii záznamů, které odpovídají názvům příloh A.14, A.15, A.16, A.17, bylo uměle vyvoláno nevyvážení setrvačky. Ve zmíněných čtyřech záznamech je zkoumán vliv polohy stroje v souvislosti s nevyváženou setrvačkou. Tato vertikální poloha a natočení 0° (viz nákres na předchozí straně) je považována za výchozí.

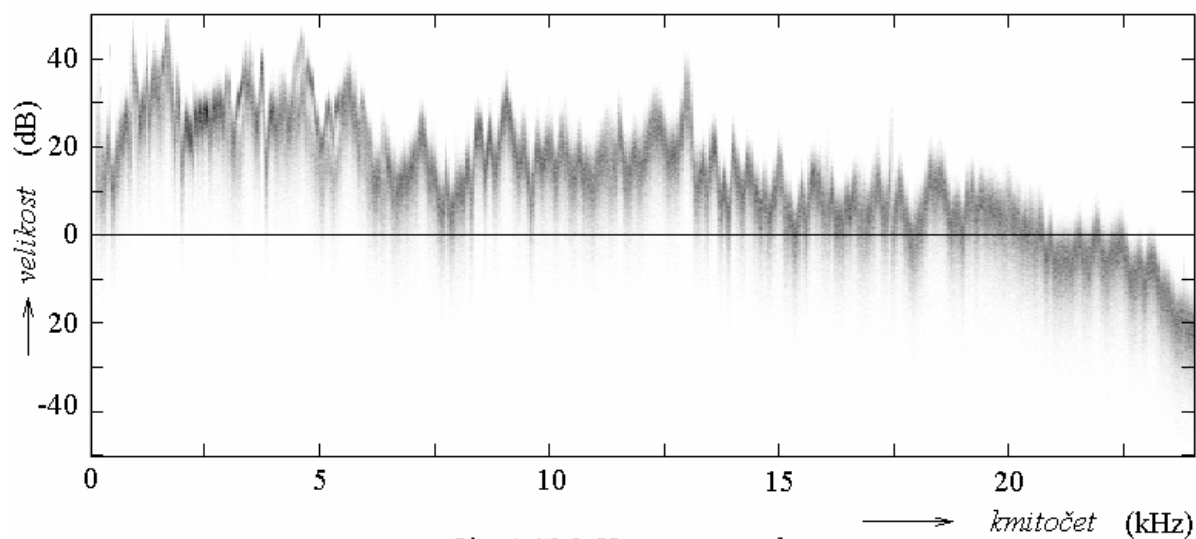
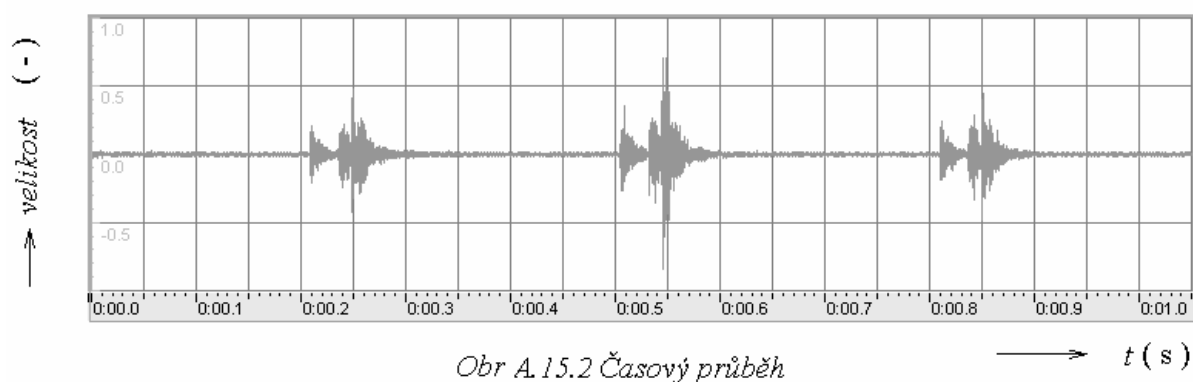
A.15 Budík HES B-90

Parametry záznamu a předpokládaný stav stroje:

Počet kyvů: $3, \bar{3}$
 Stav hodinového stroje: nevyvážená setrvačka
 Název zvukového záznamu: 039.wav
 Vzorkovací kmitočet: 44,1 kHz
 Počet bitů na vzorek: 8
 Délka záznamu: 120 s
 Mikrofon: Behringer ECM 8000
 Poloha při záznamu: vertikální
 Poznámka: poloha hodin:

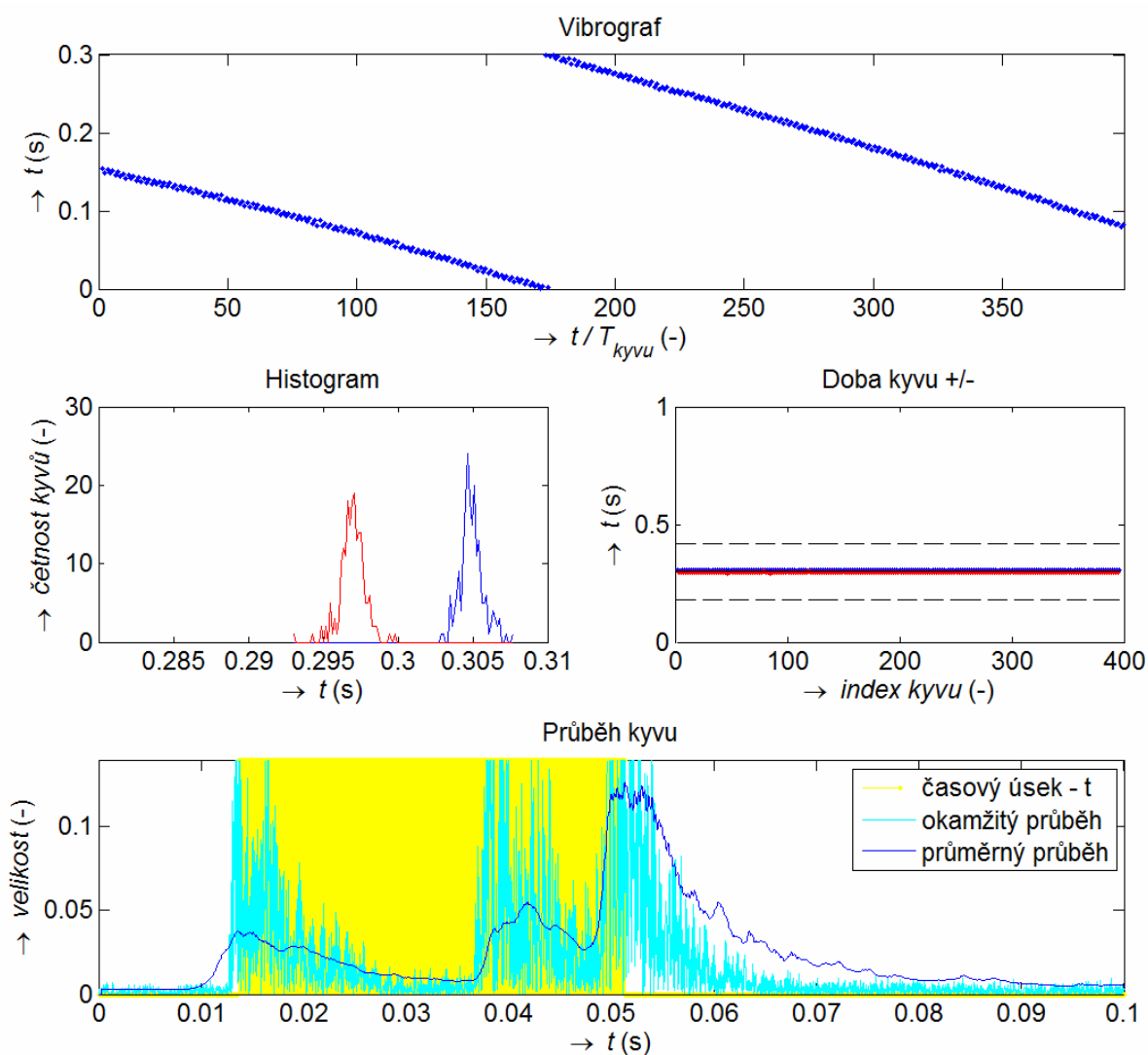


Obr A.15.1 Hodinový stroj



Analýza skutečného stavu stroje:

Chyba měření času : -268,6 s / 24 hod
Velikost kulhání : 7,9 ms
Rozkmit setrvačky : 127°
Linearita chodu: vyhovující



Obr A.15.4 Grafické výsledky

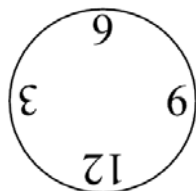
Zhodnocení stavu:

Pouhým pootočením stroje o 90° došlo k radikální změně rychlosti chodu hodin. Rozkmit setrvačky se změnil jen nepatrně a velikost kulhání o přibližně 2 ms. Tento vliv je několikanásobně větší, než při bezvadném stavu setrvačky.

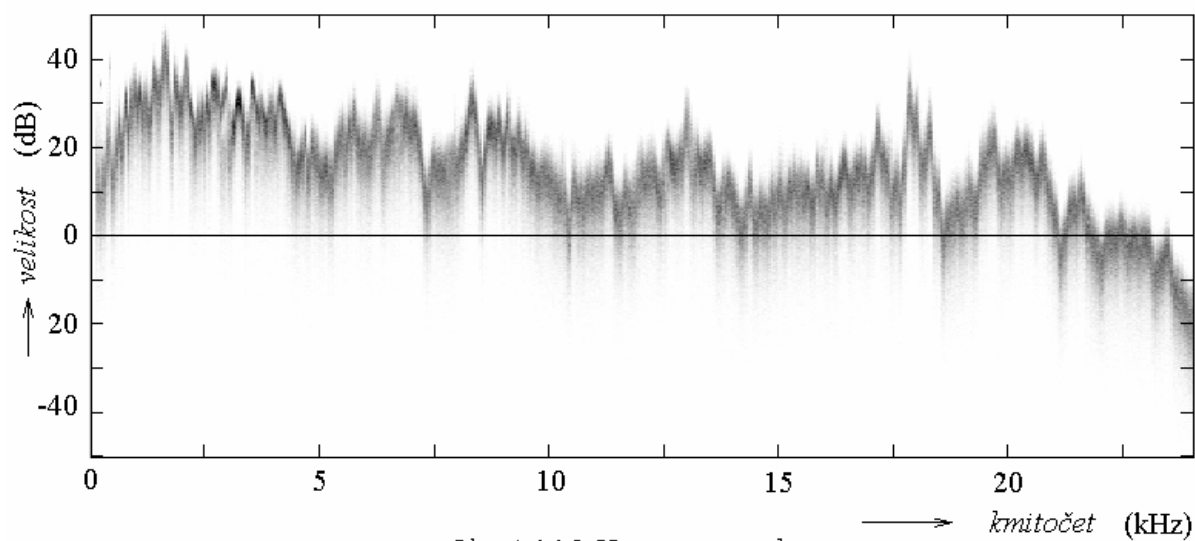
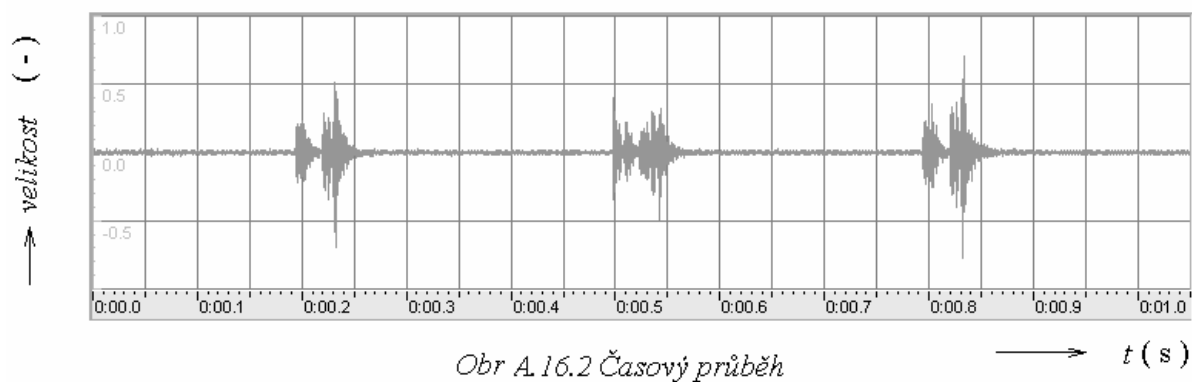
A.16 Budík HES B-90

Parametry záznamu a předpokládaný stav stroje:

Počet kyvů: $3, \bar{3}$
 Stav hodinového stroje: nevyvážená setrvačka
 Název zvukového záznamu: 040.wav
 Vzorkovací kmitočet: 44,1 kHz
 Počet bitů na vzorek: 8
 Délka záznamu: 120 s
 Mikrofon: Behringer ECM 8000
 Poloha při záznamu: vertikální
 Poznámka: poloha hodin:

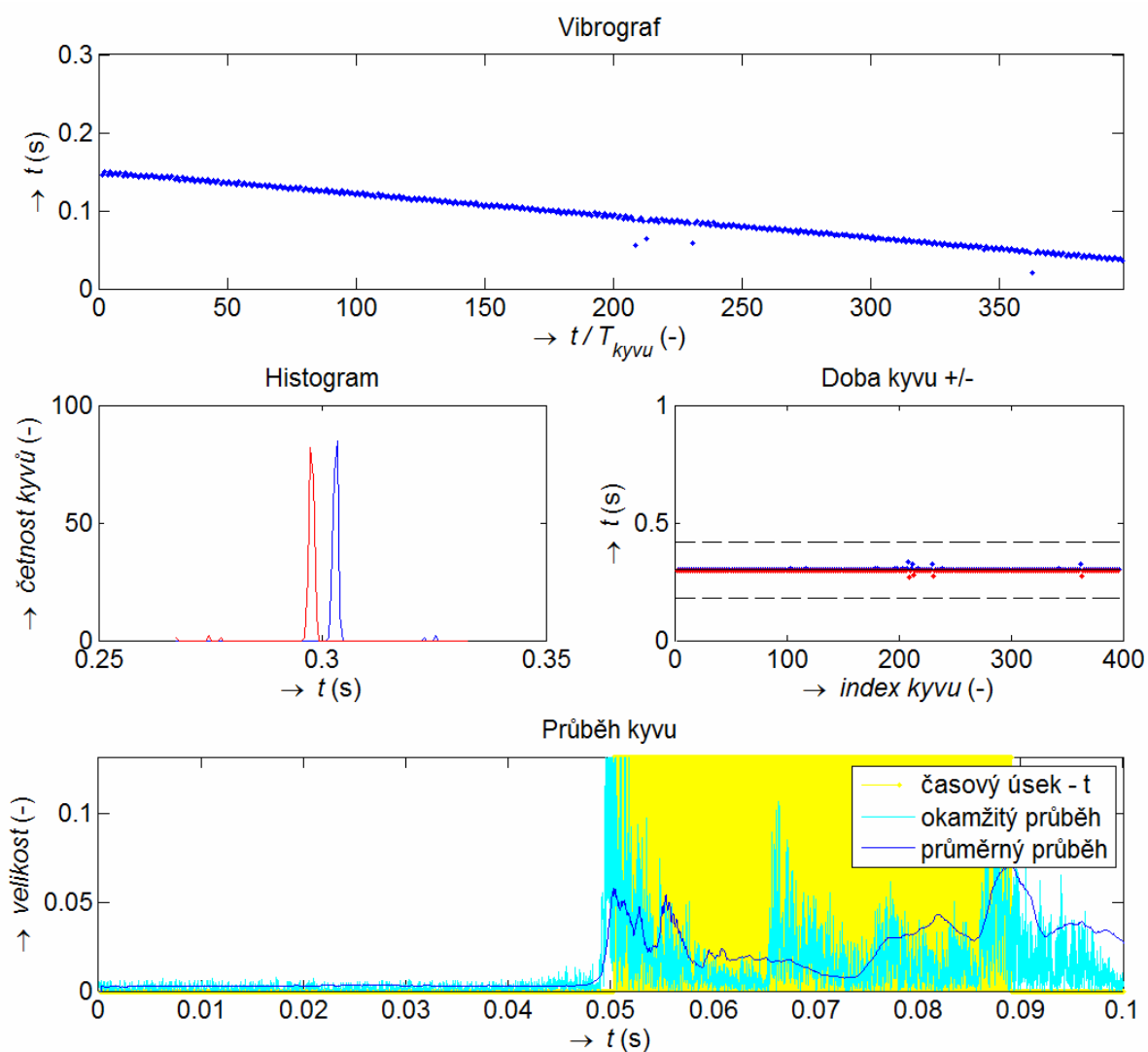


Obr A.16.1 Hodinový stroj



Analýza skutečného stavu stroje:

Chyba měření času : -80,6 s / 24 hod
Velikost kulhání : 6,3 ms
Rozkmit setrvačky : 124°
Linearita chodu: nevyhovující



Obr A.16.4 Grafické výsledky

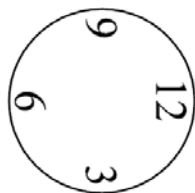
Zhodnocení stavu:

V tomto případě došlo sice změnou parametrů k jistému zlepšení přesnosti chodu i velikosti kulhání, avšak změna vzhledem k hodnotám z předchozího záznamu je značná. Z průběhu kyvu je zřejmé, že při změnách polohy se tvar výrazně mění, což by samozřejmě neměl. I přes tento fakt se však rozkmit mění jen nepatrně.

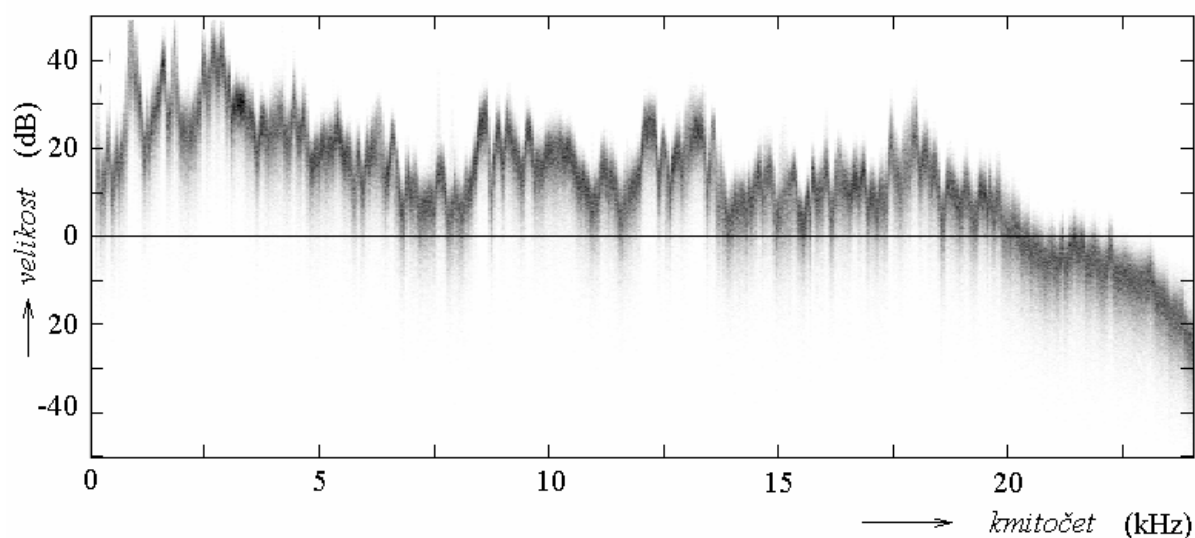
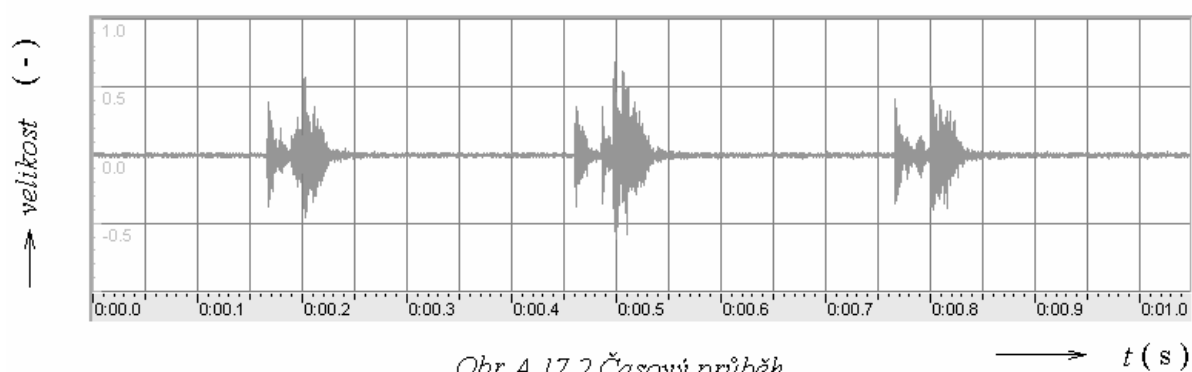
A.17 Budík HES B-90

Parametry záznamu a předpokládaný stav stroje:

Počet kyvů: $3, \bar{3}$
 Stav hodinového stroje: nevyvážená setrvačka
 Název zvukového záznamu: 041.wav
 Vzorkovací kmitočet: 44,1 kHz
 Počet bitů na vzorek: 8
 Délka záznamu: 120 s
 Mikrofon: Behringer ECM 8000
 Poloha při záznamu: vertikální
 Poznámka: poloha hodin:

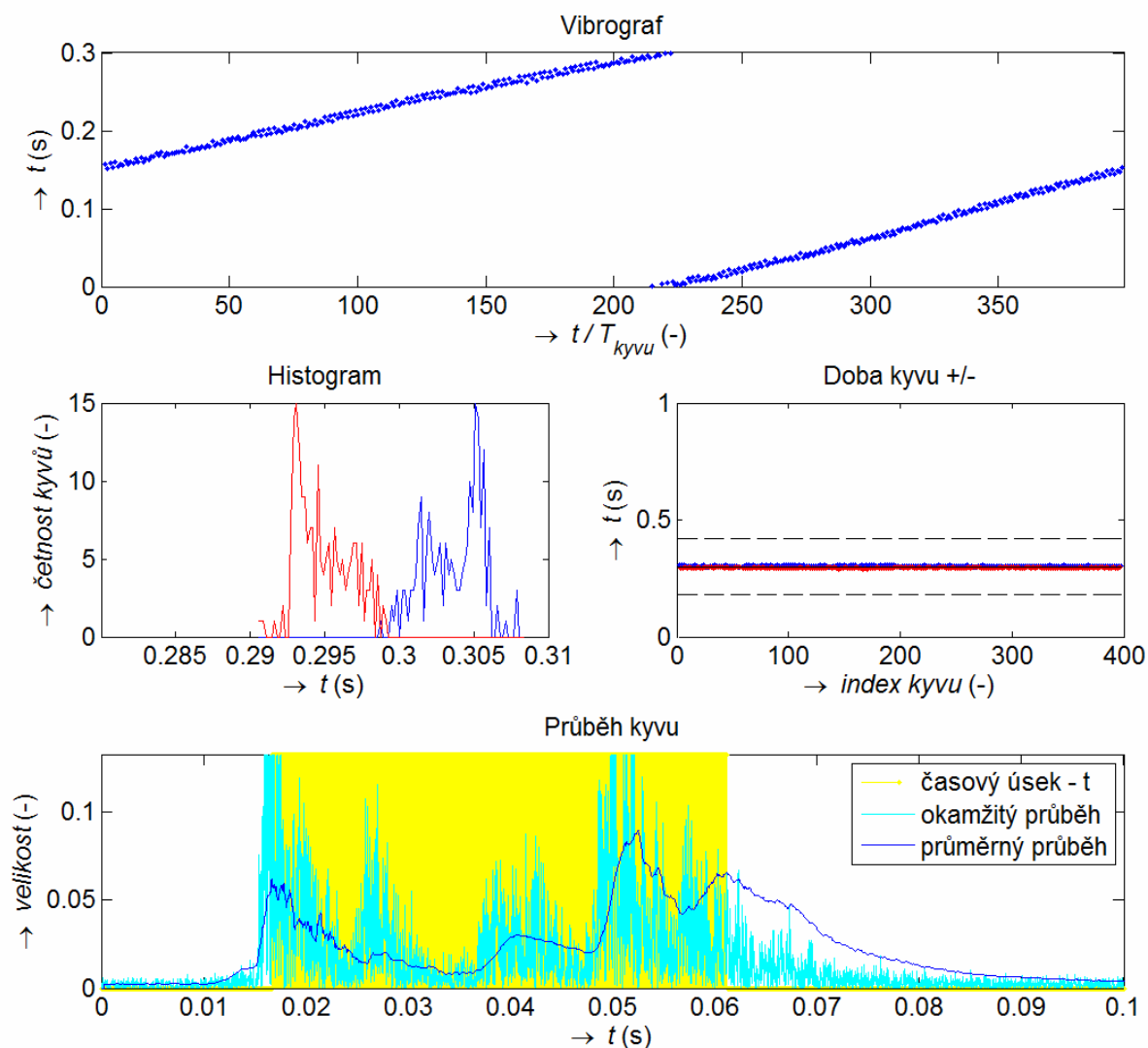


Obr A.17.1 Hodinový stroj



Analýza skutečného stavu stroje:

Chyba měření času : +218,6 s / 24 hod
Velikost kulhání : 8,6 ms
Rozkmit setrvačky : 108°
Linearita chodu: nevyhovující



Obr A.17.4 Grafické výsledky

Zhodnocení stavu:

Předchozí čtyři záznamy dokazují, že správné uložení a vyvážení setrvačky je velmi důležitou podmínkou pro správný chod stroje. Tento experiment byl proveden na budíku neurčeného původu, avšak vyvozené závěry jsou platné i pro hodinové stroje jiné velikosti (kapesní, či náramkové). Princip chodu stroje je identický, jedná se pouze o velikost provedení. Použití budíku pro simulaci bylo navíc výhodnější i z hlediska velikosti součástí.

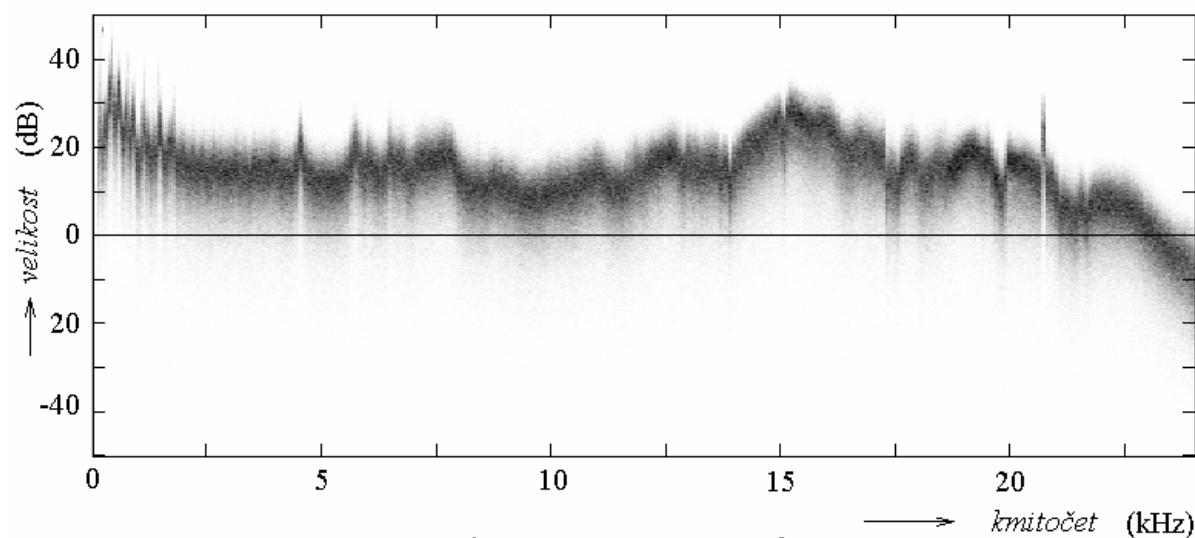
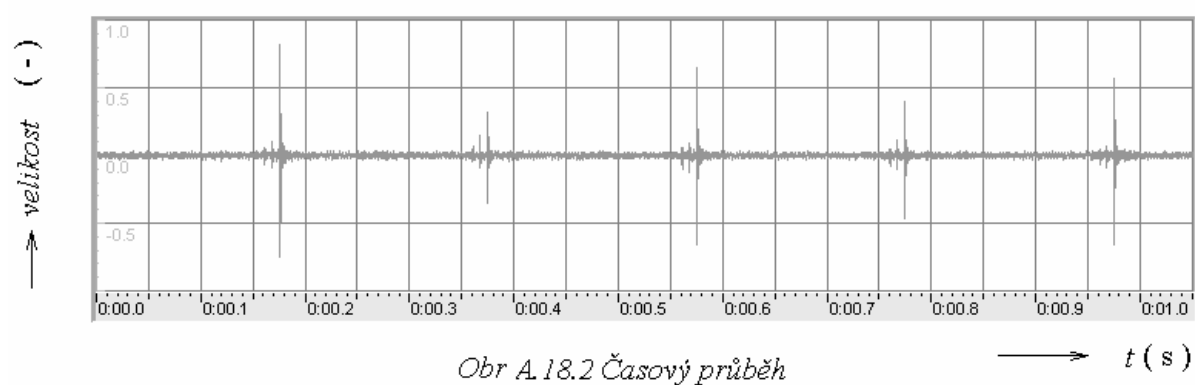
A.18 Náramkové hodinky Prim cal.68

Parametry záznamu a předpokládaný stav stroje:

Počet kyvů:	5
Stav hodinového stroje:	přemazaný krok (chybná oprava)
Název zvukového záznamu:	042.wav
Vzorkovací kmitočet:	44,1 kHz
Počet bitů na vzorek:	8
Délka záznamu:	120 s
Mikrofon:	Behringer ECM 8000
Poloha při záznamu:	horizontální
Poznámka:	

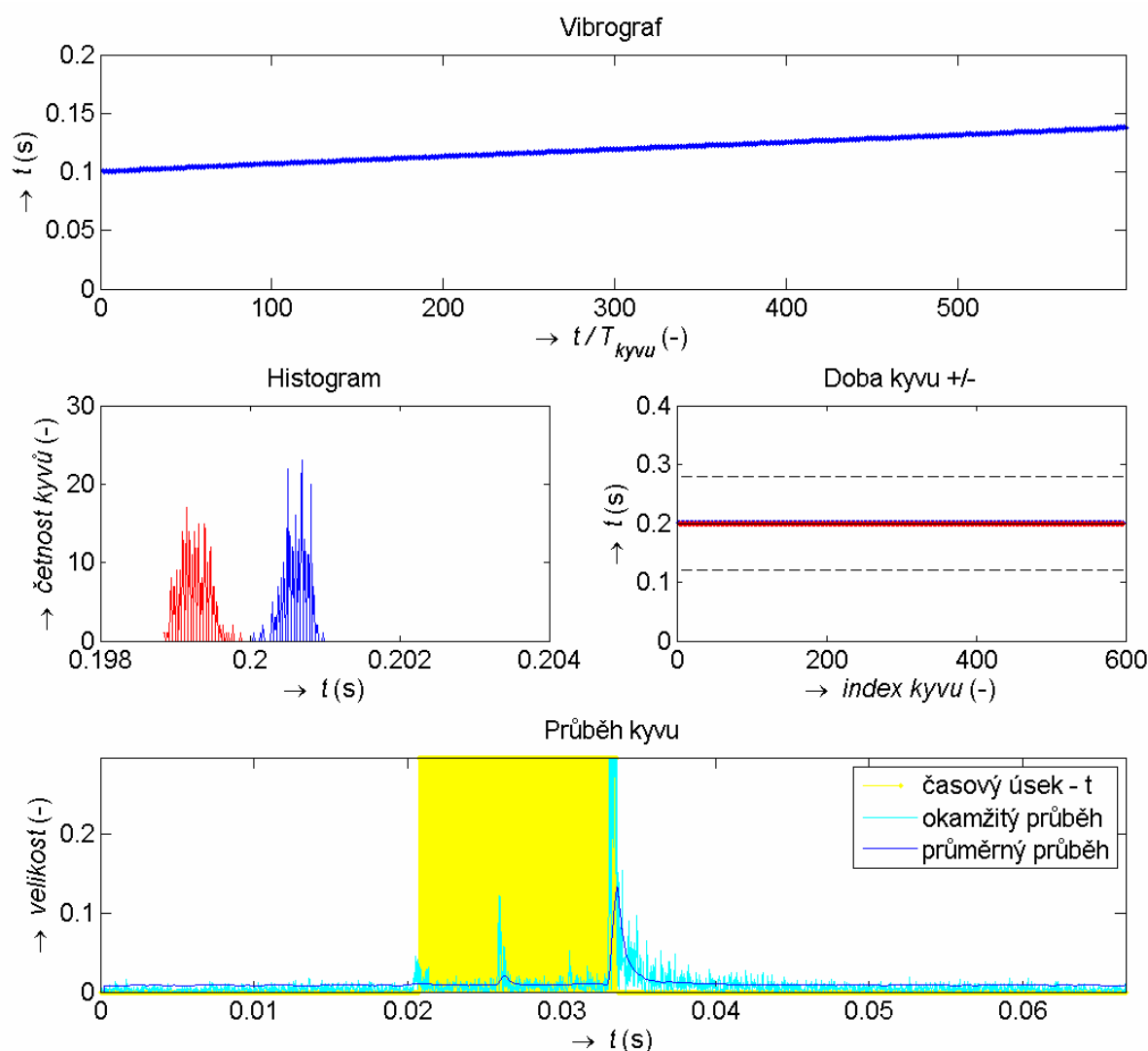


Obr A.18.1 Hodinový stroj



Analýza skutečného stavu stroje:

Chyba měření času : +27,1 s / 24 hod
Velikost kulhání : 1,3 ms
Rozkmit setrvačky : 248°
Linearita chodu: vynikající



Obr A.18.4 Grafické výsledky

Zhodnocení stavu:

Tento záznam byl pořízen na hodinovém stroji, který byl záměrně chybně opraven. Parametry stroje před opravou jsou vyčísleny v příloze s názvem A.9. Většina pohyblivých součástí samozřejmě vyžaduje mazivo. Zde bylo úmyslně použito více maziva pro mazání soustrojí kroku než je správné. Chod hodin se zpomalil o více než 15 vteřin za den, ostatní změny parametrů nejsou tak kritické avšak nezanedbatelné. Je tedy pochopitelné, že hodinářská činnost vyžaduje velkou míru preciznosti. Tento chybný zákrok je odstranitelný pouze kompletním rozebráním a vyčištěním stroje.

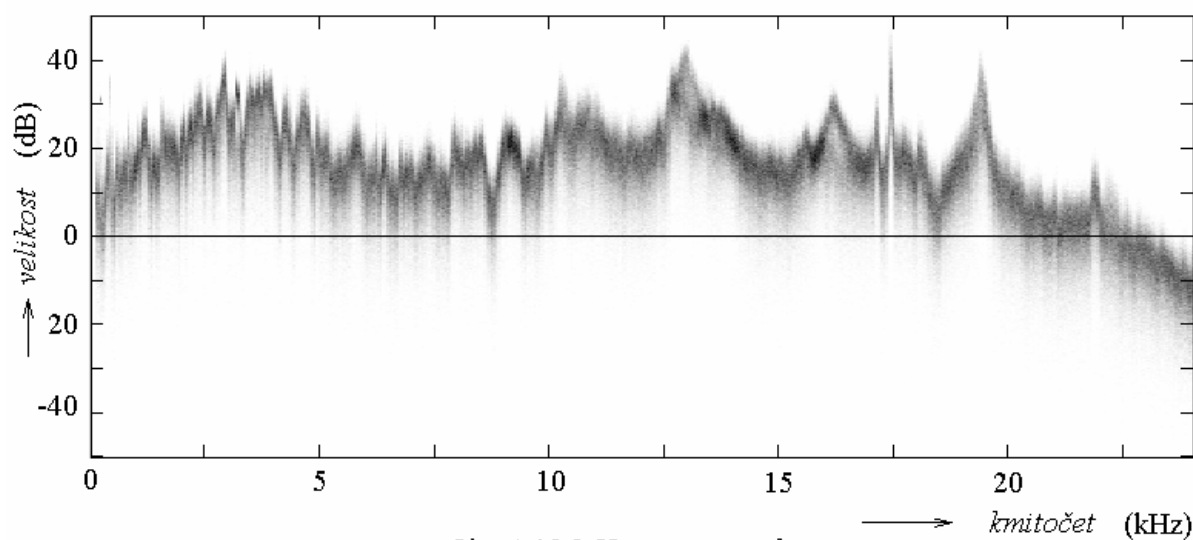
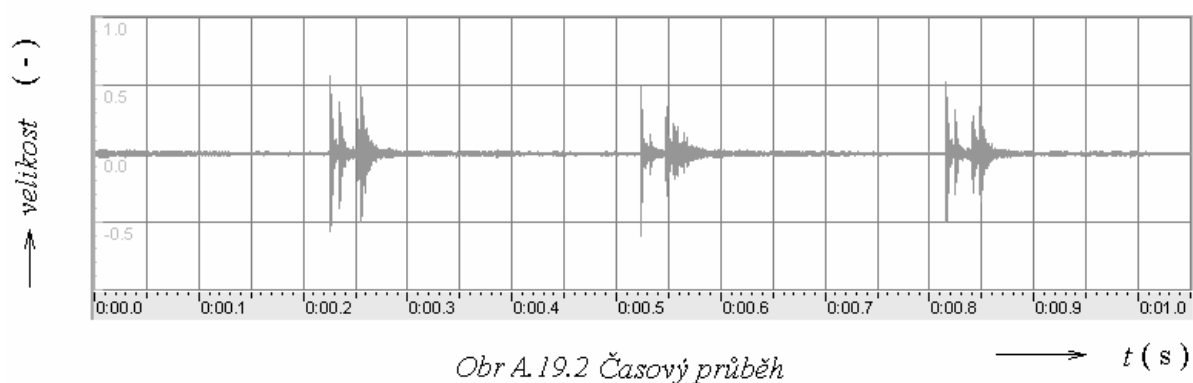
A.19 Budík HES B-90

Parametry záznamu a předpokládaný stav stroje:

Počet kyvů:	$3, \bar{3}$
Stav hodinového stroje:	regulace rychlosti - „FAST“
Název zvukového záznamu:	043.wav
Vzorkovací kmitočet:	44,1 kHz
Počet bitů na vzorek:	8
Délka záznamu:	120 s
Mikrofon:	Behringer ECM 8000
Poloha při záznamu:	vertikální
Poznámka:	

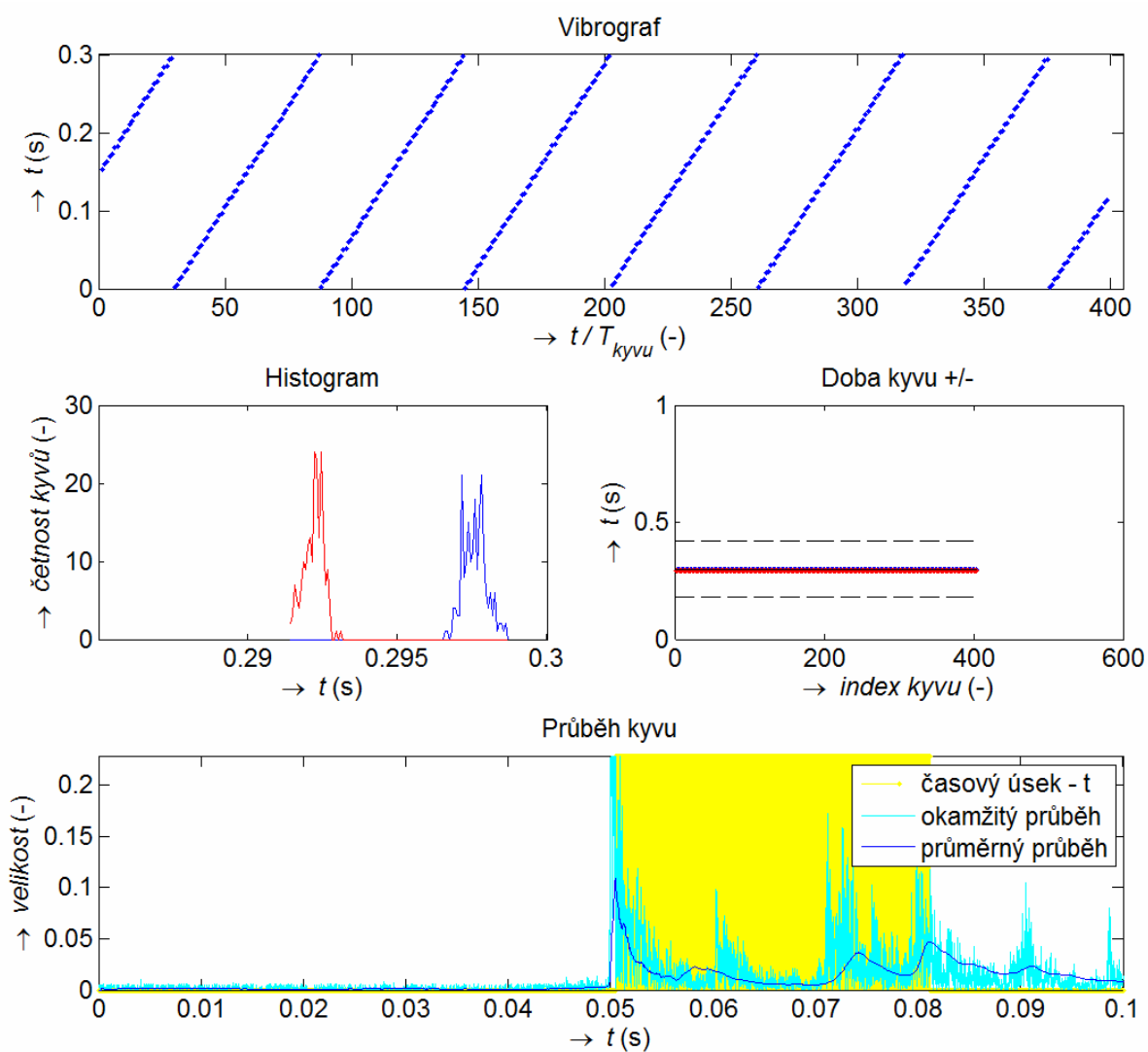


Obr A.19.1 Hodinový stroj



Analýza skutečného stavu stroje:

Chyba měření času : +1467,3 s / 24 hod
Velikost kulhání : 5,3 ms
Rozkmit setrvačky : 156°
Linearita chodu: vyhovující



Obr A.19.4 Grafické výsledky

Zhodnocení stavu:

Tento a následující záznamy postihují záměrně rozdílnou rychlost chodu hodin, která je měněna regulační ručkou uvnitř stroje. U tohoto stroje silné zrychlování odpovídá nastavení ručky do polohy „FAST“.

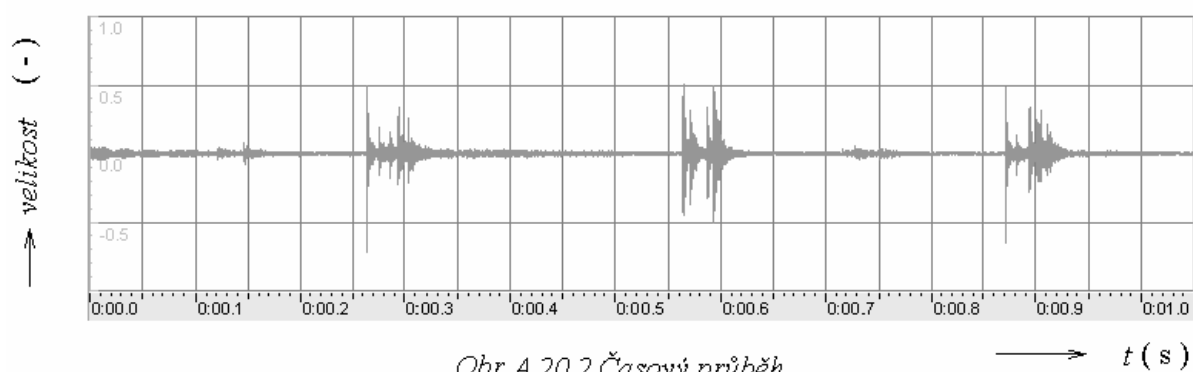
A.20 Budík HES B-90

Parametry záznamu a předpokládaný stav stroje:

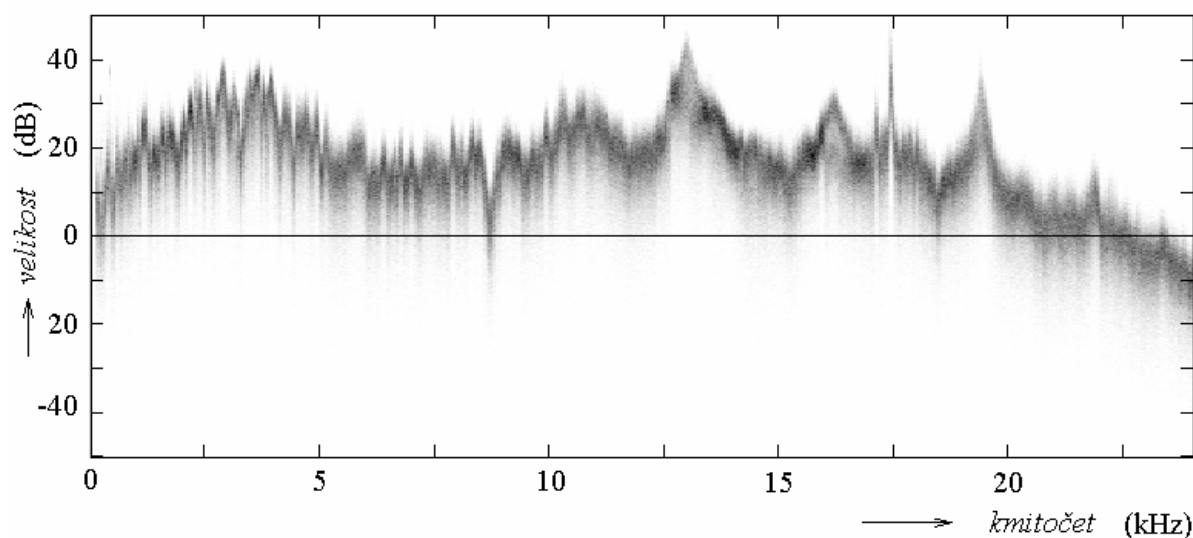
Počet kyvů:	3,3
Stav hodinového stroje:	regulace rychlosti - „SLOW“
Název zvukového záznamu:	044.wav
Vzorkovací kmitočet:	44,1 kHz
Počet bitů na vzorek:	8
Délka záznamu:	120 s
Mikrofon:	Behringer ECM 8000
Poloha při záznamu:	vertikální
Poznámka:	



Obr A.20.1 Hodinový stroj



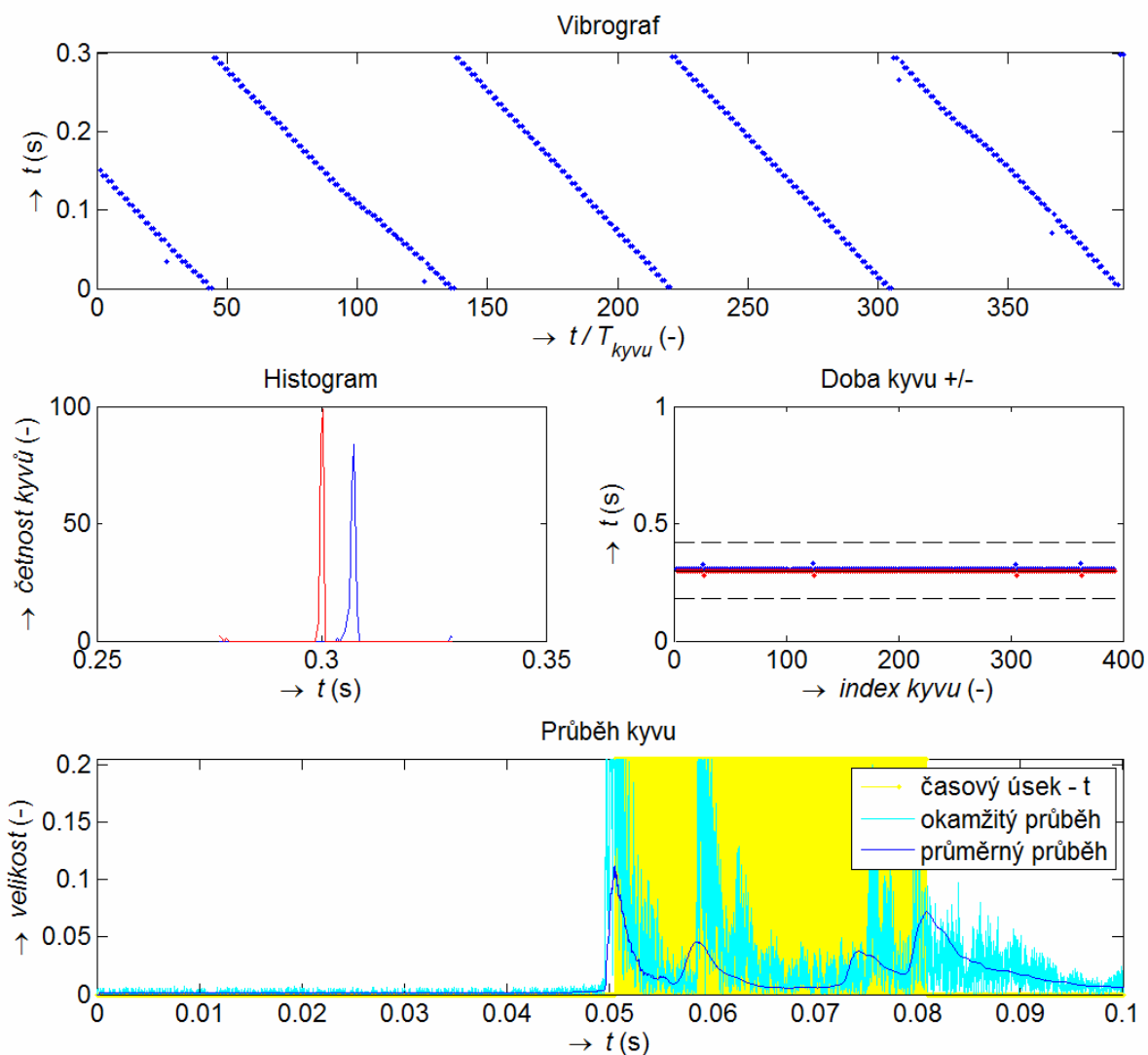
Obr A.20.2 Časový průběh



Obr A.20.3 Histogram spektra

Analýza skutečného stavu stroje:

Chyba měření času : -1004,6 s / 24 hod
Velikost kulhání : 7,8 ms
Rozkmit setrvačky : 158°
Linearita chodu: nevyhovující



Obr A.20.4 Grafické výsledky

Zhodnocení stavu:

Při nastavení ručky na „SLOW“ dochází k silnému zpoždování. Je však zřejmé, že ostatní parametry se mění jen velmi nepatrně vzhledem k radikální změně rychlosti chodu.

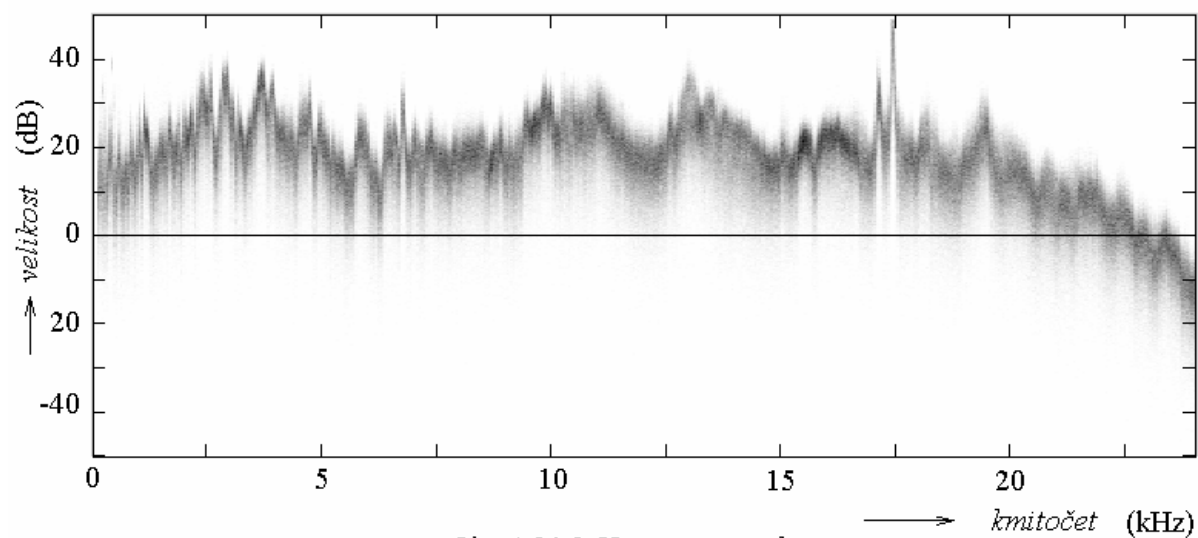
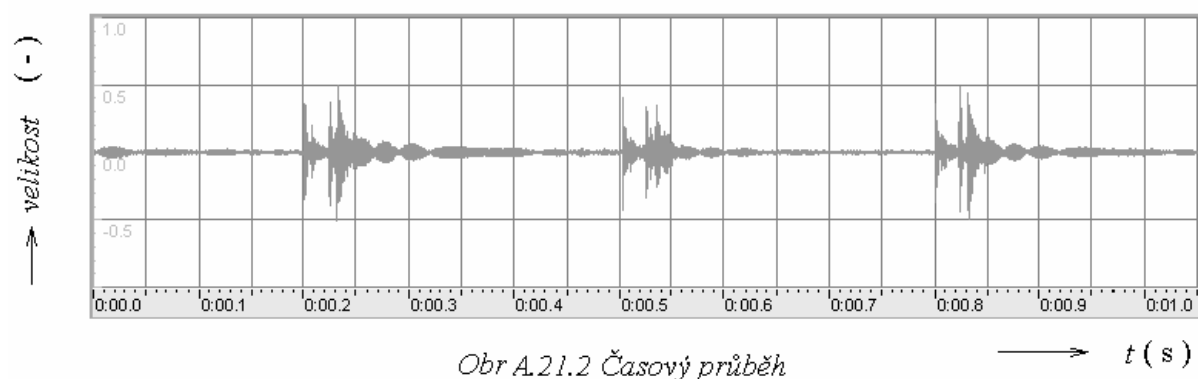
A.21 Budík HES B-90

Parametry záznamu a předpokládaný stav stroje:

Počet kyvů:	3,3
Stav hodinového stroje:	regulace rychlosti - „CENTER“
Název zvukového záznamu:	045.wav
Vzorkovací kmitočet:	44,1 kHz
Počet bitů na vzorek:	8
Délka záznamu:	120 s
Mikrofon:	Behringer ECM 8000
Poloha při záznamu:	vertikální
Poznámka:	

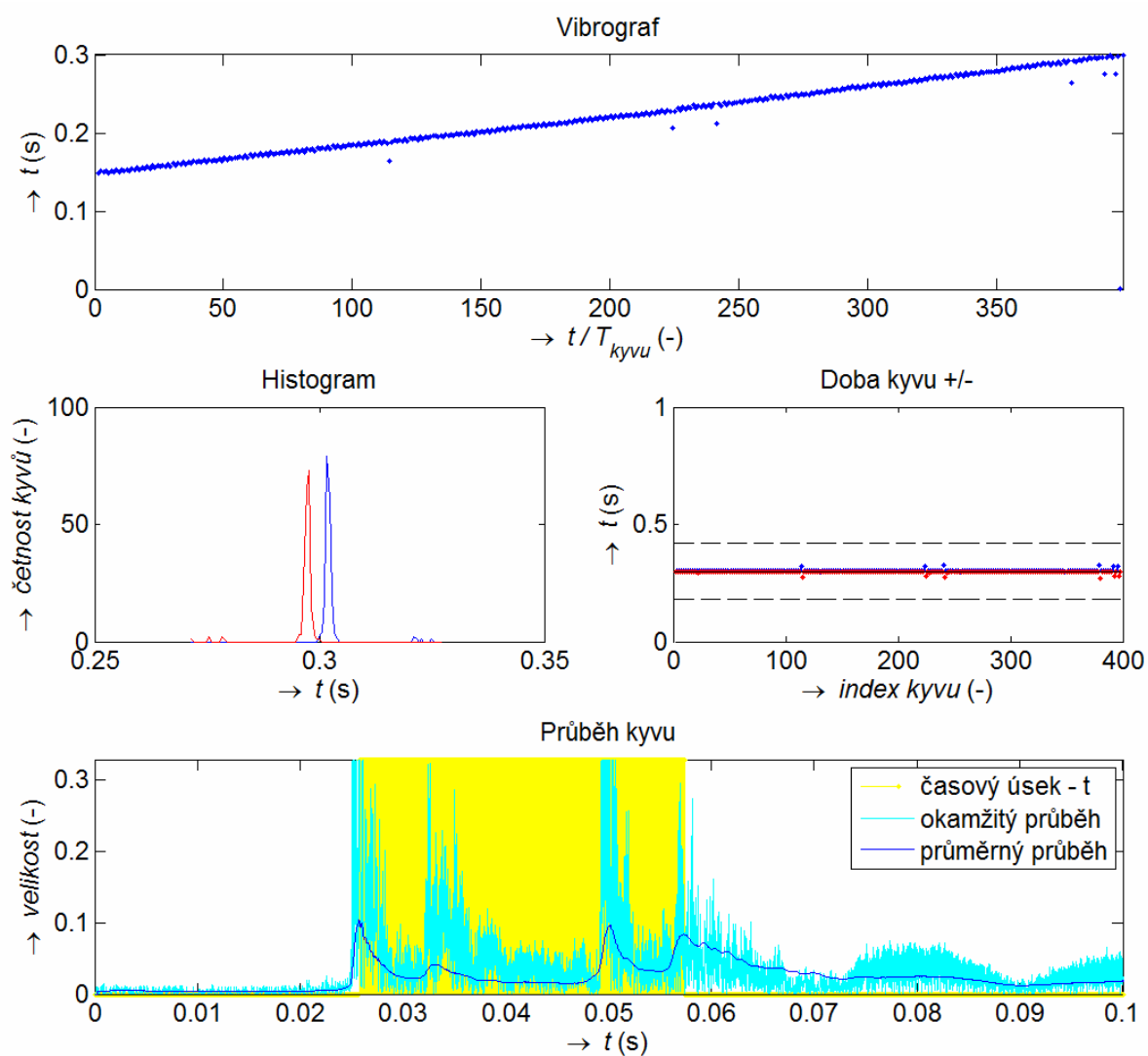


Obr A.21.1 Hodinový stroj



Analýza skutečného stavu stroje:

Chyba měření času : +107,5 s / 24 hod
Velikost kulhání : 5,8 ms
Rozkmit setrvačky : 152°
Linearita chodu: nevyhovující



Obr A.21.4 Grafické výsledky

Zhodnocení stavu:

Tento záznam odpovídá poloze ručky „CENTER“, což koresponduje s číselnými výsledky. Je však zajímavé, že velká změna rychlosti chodu měla oproti minulým záznamům relativně malý vliv na velikost kulhání i velikost rozkmitu setrvačky. Fakt, že tyto dva parametry nejsou zcela nezávisle nastavitelné, velmi ztěžuje případné opravy stroje.

B VÝVOJOVÝ DIAGRAM PROGRAMU

