

*Západočeská univerzita
Institut technologie a spolehlivosti
Plzeň, Veleslavínova 11*

Ing. Petr HORA, CSc.
Ing. Jiří PÁTEK

TLUSTÁ DESKA

-

výsledky výpočtů a měření

Číslo zprávy : 133VP

Číslo kopie :

Vedoucí grantu : Ing. Petr HORA, CSc.

Ředitel institutu : Ing. Miroslav BALDA, DrSc.

Plzeň, prosinec 1994

ROZDĚLOVNÍK :

Výtisk číslo :	1	archivní výtisk	
	2	knihovna ITS ZČU	
	3	Ing. Zdeněk PŘEVOROVSKÝ, CSc.	ÚT AV ČR
	4	Ing. Michal LANDA	ÚT AV ČR
	5	Doc. Ing. Rudolf BREPTA, DrSc.	
	6	Ing. František VALEŠ, CSc.	ITS ZČU
	7	Ing. Petr HORA, CSc.	ITS ZČU
	8	Ing. Jiří PÁTEK	ITS ZČU

Obsah

OBSAH	3
ÚVOD	4
ANALYTICKÁ METODA VÝPOČTU NAPJATOSTI TLUSTÉ DESKY	5
POPIS ÚLOHY O TLUSTÉ DESCE.....	5
ŘEŠENÍ ÚLOHY.....	6
POPIS MĚŘENÍ NA TLUSTÉ DESCE	11
USPOŘÁDÁNÍ EXPERIMENTU	11
LOM KAPILÁRY.....	13
DOPAD KULIČKY.....	16
ZÁVĚR	17
DODATEK A: VERTIKÁLNÍ POSUV - TEORIE	23
DODATEK B: RADIÁLNÍ POSUV - TEORIE	36
DODATEK C: VERTIKÁLNÍ POSUV - MĚŘENÍ - BUZENÍ KAPILÁROU	49
DODATEK D: VERTIKÁLNÍ POSUV - MĚŘENÍ - BUZENÍ KULIČKOU	62
DODATEK E: VÝPIS KONVERZNÍHO PROGRAMU	75
LITERATURA	81

ÚVOD

Tato zpráva vznikla na základě podpory grantu GA ČR č. 101/94/0971 *Nové metody vyhodnocování signálů akustické emise* (řešitel Ing. Petr HORA, CSc.). Tento grant se řeší v ITS ZČU v Plzni a ÚT AV ČR.

Zpráva přináší reprezentativní výsledky získané měřeními na rozměrné ocelové desce. Na desce se měřily vertikální posuvy jak na horním tak i na dolním povrchu. K vybuzení napěťových vln se používaly dva typy buzení: lámání kapiláry (skokové buzení) a pád ocelové kuličky (impulsní buzení). Buzení bylo aplikováno vždy na horním povrchu desky. Výsledky jsou dále podrobeny srovnání s časovými průběhy vertikálního posuvu, které byly vypočteny analytickou metodou - integrální transformace. Součástí zprávy je i disketa s veškerými naměřenými daty.

Touto prací jsou sjednoceny a rozšířeny roztržštěná dílčí starší měření, která byla prováděna za různých podmínek, především různými zdroji rozruchu; pomocí měnicích se přístrojových sestav a zpracovávají v té době dostupnými programy.

Uvedené výsledky navazují a hlouběji potvrzují poznatky získané v grantu č. 27007 *Využití napěťových vln pro diagnostiku porušování materiálů* řešený v ITS ZČU v rámci GA AV ČR v letech 1990-1993 (řešitel Ing. František Valeš, CSc.).

Naměřená kolekce časových průběhů bude použita pro vybudování databáze odezev, která bude využívána metodami umělé inteligence. Data budou dále využita v Ústavu termomechaniky AV ČR, který je spoluřešitelem zmíněného grantu a dále řeší vlastní grant *Identifikace zdrojů AE ve vláknových kompozitech* (řešitel Ing. Zdeněk Převorovský, CSc.), a samozřejmě v sesterském grantu Ing. Františka Valeše, CSc. *Stanovení zákonitostí šíření signálů ve skořepinách pro potřeby akustických diagnostických metod*.

V Plzni 2.prosince 1994

Ing. Petr HORA, CSc.

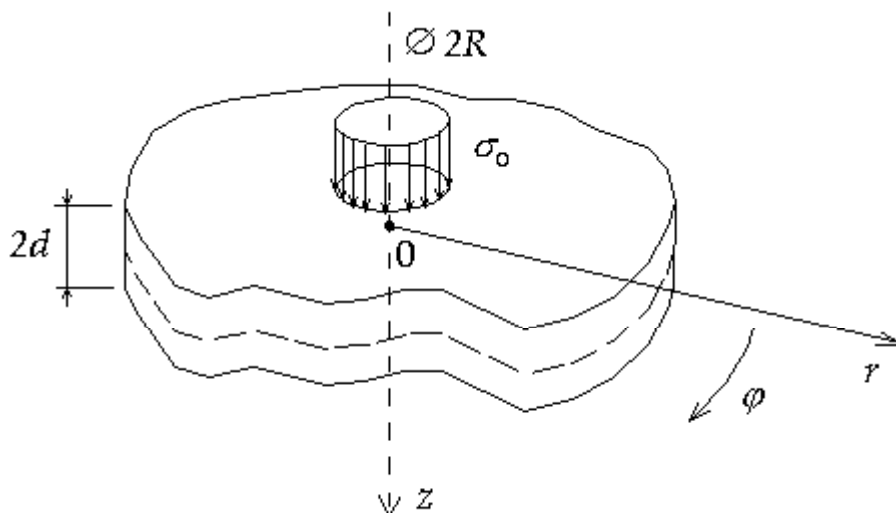
Ing. Jiří PÁTEK

ANALYTICKÁ METODA VÝPOČTU NAPJATOSTI TLUSTÉ DESKY

Historie úloh řešících napjatost rázově zatěžovaných těles analytickou cestou je poměrně nedávná. Za počátek je všeobecně považována Lambova práce [LAM04] řešící napjatost poloprostoru zatíženém silovou přímkou, v čase skokově působící. Širší rozvoj zaznamenaly tyto úlohy v 50.letech, kdy byly uveřejněny i první práce týkající se tlustých desek, [LYO55] a [PUR57], a zejména Sneddonova práce [SNE58], která řeší přechodový děj v tlusté neohraničené desce za podmínek rotační symetrie a využití Hankelovy transformace pro radiální souřadnici a Laplaceovy transformace pro čas. Na tuto práci navazuje i Miklowitz [MIK78], řešící napjatost tlusté desky zatížené dvěma osamělými stejně velikými silami působícími kolmo k povrchům desky proti sobě. V čase působí síly skokově. Tím je vnesena do úlohy rovina symetrie totožná se střední rovinou. Úlohu lze díky tomu chápat, že deska poloviční tloušťky leží na dokonale tuhé podložce a zatěžujeme ji na vnějším povrchu jedinou osamělou skokově působící silou. Jednostranně zatížená deska, která má opačný povrch zcela volný a která se podstatně více blíží skutečné realitě, byla odvozena Ing.F.Valešem,CSc. [VAL83, 84]. Přibližme stručně tuto úlohu.

Popis úlohy o tlusté desce

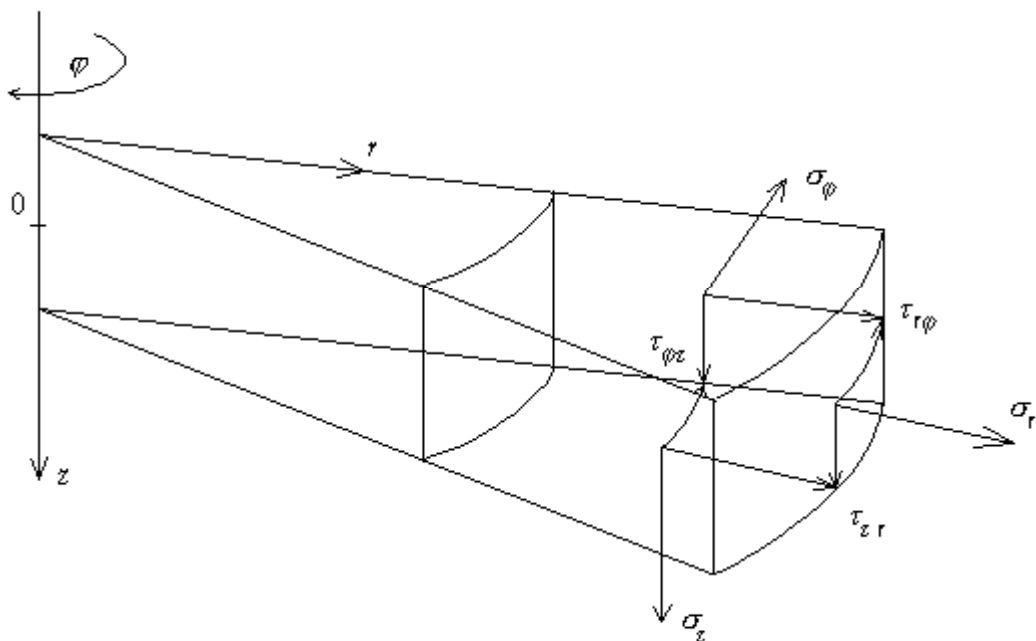
V úlohách zabývajících se nestacionární napjatostí desky je z důvodu řešitelnosti parciálních diferenciálních rovnic hyperbolického typu uvažována deska nekonečně rozlehlá. Materiál desky je lineární, izotropní a homogenní. Platí teorie malých deformací. Neuvažuje se vnitřní ani vnější tlumení. Absence okrajů eliminuje složitosti s odrazy. Zdroj rozruchu leží na jediném povrchu a je tvořen kruhovou oblastí, ve které působí na celé oblasti konstantní normálové napětí. Toto napětí působí v čase skokově. Uspořádání přibližuje obr. 1.



Obr. 1 Tlustá deska - uspořádání úlohy

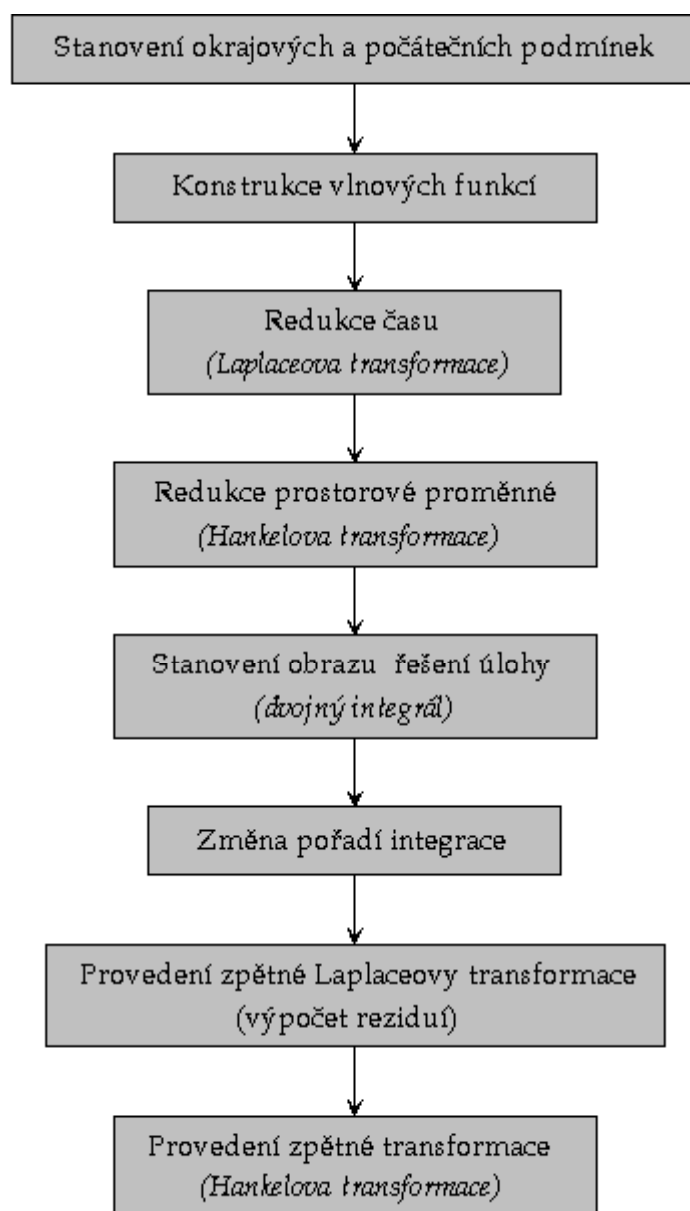
Řešení úlohy

Tvar budícího zdroje a jeho časový průběh umožňuje analyticky vyjádřit jeho Laplaceův obraz. V takto postavené úloze je výhodné použít válcovou souřadnicovou soustavu. Pohybové rovnice sestavujeme na základě vytknutého elementu uvedeného na obr.2. Využijeme vztahů mezi posuvy, deformacemi a napětími ve válcovém 3D kontinuu, počáteční podmínky pro $t=0$ vyjadřující, že deska je v tomto okamžiku nezatížená a v klidu, a okrajové podmínky popisující, že oba povrchy s výjimkou kruhové oblasti zatížení jsou volné. Proměnnými jsou čas t a dvě prostorové souřadnice, radiální r a příčná z . Neznámými funkcemi jsou posuvy (příčný u_z a radiální u_r), napětí (σ_r , σ_φ , σ_z a τ_{zr}) a deformace (ε_r , ε_φ , ε_z a γ_{zr}). Pohybové rovnice však řešíme pro posuvy a poté pomocí závislostí mezi veličinami platícími pro rotačně symetrické kontinuum vyjadřujeme napětí a deformace. Získané parciální diferenciální rovnice řešíme Laplaceovou transformací vzhledem k času a zmiňovanou Hankelovou transformací vzhledem k radiální souřadnici r . Dostaneme tak dvojici obyčejných diferenciálních rovnic vzhledem k proměnné z .



Obr. 2 Vytknutý element desky

Řešením je superpozice hyperbolických sinů a cosinů, neznámé konstanty zjistíme dosazením do okrajových podmínek. Nyní je možné se vrátit k původní radiální souřadnici, zapíšeme integrál zpětné Hankelovy transformace. Zapišeme také zpětnou Laplaceovu transformaci. Využitím Fubiniovy věty obrátíme pořadí integrace. Vnitřní integrál je obecně komplexní, řešíme jej využitím věty o reziduích. Hledat póly integrandu v této úloze znamená hledat nulové body dvou jmenovatelů. Dvojice podmínek pro nulový jmenovatel má fyzikální význam, neboť se tato podmínka shoduje s disperzními rovnicemi tlusté desky pro dilatační vlny a pro smykové vlny. Zbýlý integrál zpětné Hankelovy transformace není analyticky řešitelný a je nutné integrovat numericky. Celý postup analytického řešení úlohy o tlusté desce je ještě znázorněn na obr. 3.



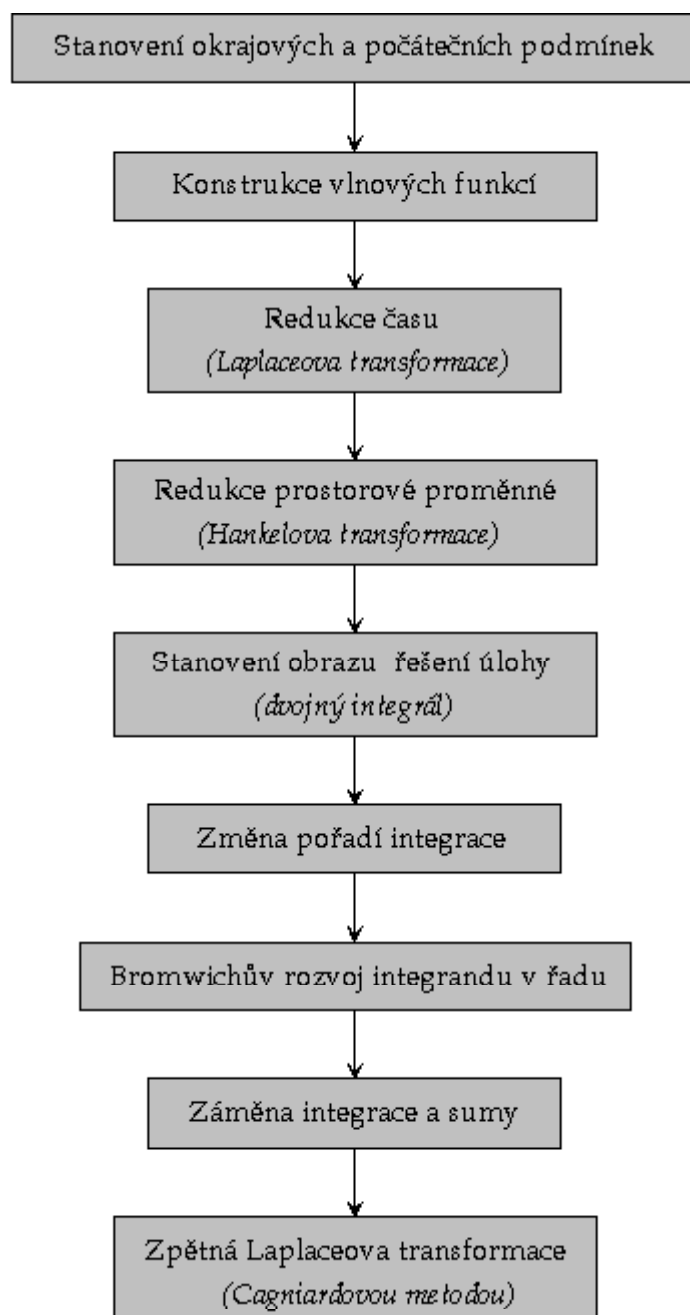
Obr. 3 Postup analytického řešení úlohy o tlusté desce.

Pro úlohu zobrazenou na obr. 1 lze přijmout další zjednodušující podmínky. Pokud je deska tenká, nebo je bod sledování vzdálený od oblasti buzení více jak desetinásobek tloušťky desky, je možné zanedbat příčné napětí a předem stanovit závislost na souřadnici z . Díky tomu se v pohybových rovnicích již nevyskytuje souřadnice z , úloha je pouze jednorozměrná, místo 3D máme 2D kontinuum. Úloha se nazývá úlohou o tenké desce. Dvojice spočetných systémů disperzních křivek se zredukuje na pouhé dvě křivky. Tím pronikavě klesá doba výpočtu. Takto získané průběhy (zejména posuvů) sice vystihují základní tvary

odpovídajících průběhů úlohy o tlusté desce, ale mizí příspěvky odrazů od povrchů a zejména čelo Rayleighovy vlny [PÁT92].

Popsaná úloha o tlusté desce byla v ITS ZČU dovedena do podoby výpočtových programů. Úloha o tenké desce je shrnuta v [VAL85] a rozvinuta v [PÁT92].

Jinou metodou k výpočtu napjatosti tlusté desky je přesná paprsková metoda, která byla vyvinuta v šedesátých letech. V této teorii jsou elastické vlny, které se z důvodu vícenásobných odrazů a lomů šíří podél různých paprskových drah, reprezentovány řadou paprskových integrálů, z nichž každý může být vypočten přesně pomocí Cagniardovy metody [CAG39]. Poněvadž impulsy, které jsou reprezentovány paprskovými integrály, přicházejí do místa pozorování v postupném pořadí, poskytuje teorie přesné řešení pro tranzientní vlny až do okamžiku příchodu následujícího paprsku. Celý postup řešení úlohy o tlusté desce pomocí přesné paprskové metody je znázorněn na obr. 4. Přesná paprsková metoda je také rozvinuta v ITS a byla dovedena do podoby výpočtových programů [HOR92]. Velkou nevýhodou této metody je dramatický nárůst počtu paprskových integrálů pro dlouhé časy nebo pro vzdálená místa pozorování. **Z tohoto důvodu byla paprsková metoda použita pouze pro výpočet časů příchodů jednotlivých paprsků a pro vlastní výpočet průběhů byla použita integrální metoda.**

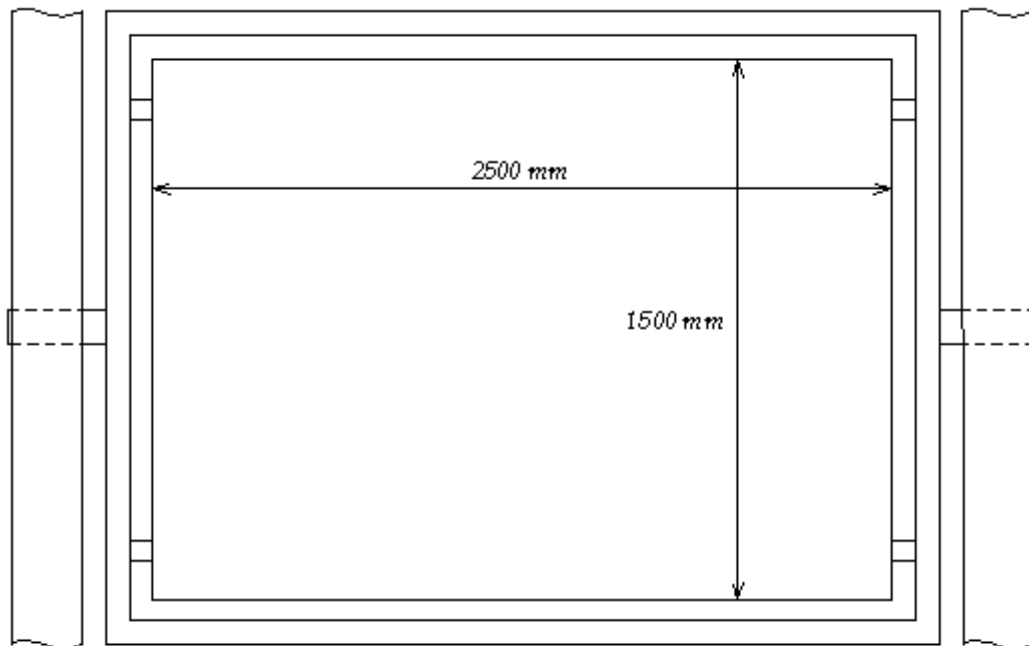


Obr. 4 Postup paprskového řešení úlohy o tlusté desce.

POPIS MĚŘENÍ NA TLUSTÉ DESCE

Uspořádání experimentu

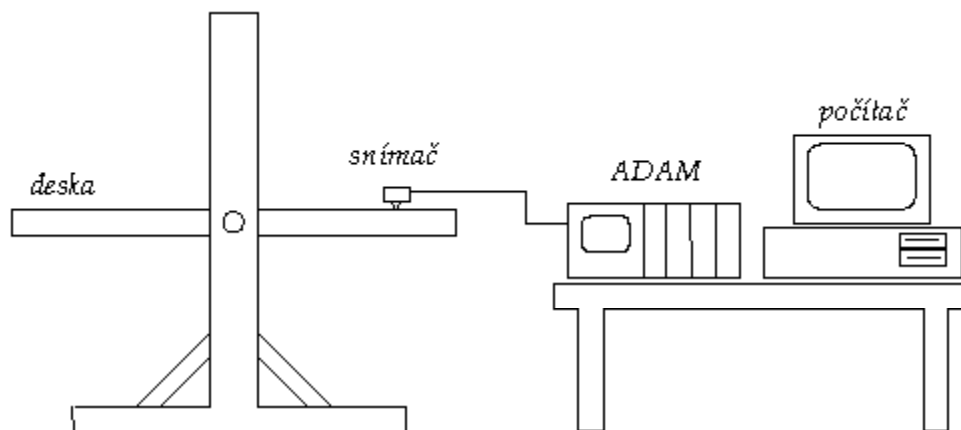
K experimentu byla využita rozměrná deska, která je umístěna v laboratoři ITS. Deska byla zhotovena v závodech Škoda. Jde o ocelový plát opracovaný hoblováním o rozměrech 2500x1500x50 mm. Deska je uchycena v rámu pomocí čtyř šroubů M20 a distančních bloků. Rám je spojen s vlastním stojanem prostřednictvím otočných čepů, takže lze celou deskou otáčet. Celé uchycení desky v rámu a stojanu přibližuje obr. 5. Deska byla pro obě měření (lom kapiláry i dopad ocelové kuličky) umístěna vodorovně.



Obr. 5 Detail uložení desky v rámu s rozměry.

Použité měřicí a záznamové zařízení je znázorněno na obr. 6. Jako snímač byl použit piezoelektrický kuželový snímač. Z několika kusů dostupných na pracovišti byl použit snímač č.17, který je zhotoven podle [PRO82]. Piezomateriál snímacího kuželu pocházející od fy TERRONIC, a.s., Hradec Králové nese označení PK274 [TER92]. Signál z piezosnímače byl veden do číslicového záznamníku přechodových dějů ADAM TC2010 firmy Maurer ze Švýcarska [ADAM]. Tento záznamník je tvořen čtyřmi kanály, z nichž každý má svůj 10-ti

bitový A/D převodník s maximální vzorkovací frekvencí 20 MHz a největší citlivostí 10 mV na plný rozsah převodníku. Každý kanál disponuje pamětí 64 Kslov, kterou lze segmentovat, a tak uložit více měření bez nutnosti okamžitého přenosu do počítače. Pomocí zřetěženého spouštění kanálů je možné získat jeden průběh až s 262 144 vzorky. Získané průběhy lze zobrazovat na vestavěné obrazovce i na externím monitoru v obvyklém osciloskopickém uspořádání. U každého kanálu je nastavitelná citlivost, offset, AC-DC vazba, typ a úroveň spouštění záznamu. Velmi užitečnou vlastností je možnost posuvu polohy spouštění v čase, a tak zaznamenat i úsek signálu před samotným spuštěním (pretriggering). Pomocí této funkce byly získány průběhy, které vždy obsahují čelo primární dilatační vlny. Naměřené průběhy byly přenášeny do počítače PC vybaveného komunikační kartou HP-IB (IEEE488).



Obr. 6 Uspořádání měření.

Lom kapiláry

Výběr kapilár pro generování budící síly ve tvaru skokové funkce má klíčový význam. Kapiláry, které jsme měli k dispozici, byly z křemenného skla a jejich parametry spolu s hodnocením vlastností jsou uvedeny v tabulce I.

Průměr [μm]		Poměr průměrů	Tloušťka stěny ku střednímu poloměru	Poznámky
vnější	vnitřní			
95	30	3,2	1,0	výborná, ale malý signál
100	55	1,8	0,6	výborná, ale malý signál
100	70	1,4	0,4	nevyhovující, více lomů, malý signál
195	35	5,6	1,4	dobrá, občas více lomů
195	47	4,2	1,2	dobrá, občas více lomů
195	77	2,5	0,9	výborná
299	18	16,6	1,8	nevyhovující, více lomů
295	58	5,1	1,3	nevyhovující, více lomů
300	95	3,2	1,0	výborná

Tab. I Parametry křemenných kapilár a jejich ohodnocení.

Křemenné kapiláry vyrobil v ÚTZCHT ČSAV v Suchdole v roce 1991 Ing. Jan ZÁTORSKÝ podle našich doporučení, která zněla: kombinovat vnitřní průměry 30, 50 a 70 μm a vnější průměry 100, 200 a 300 μm . Vzhledem k technologickým obtížím se nepodařilo přesně dodržet požadované rozměry kapilár. Následně jsme zjišťovali, jak jsou jednotlivé typy kapilár vhodné pro použití coby zdroj skokové síly pro experimenty na poloprostoru a tlusté desce. Především jsme sledovali průměrnou sílu potřebnou k rozdrčení kapiláry (viz tabulka II) a rychlost lomu. Z našich pozorování vyplynulo:

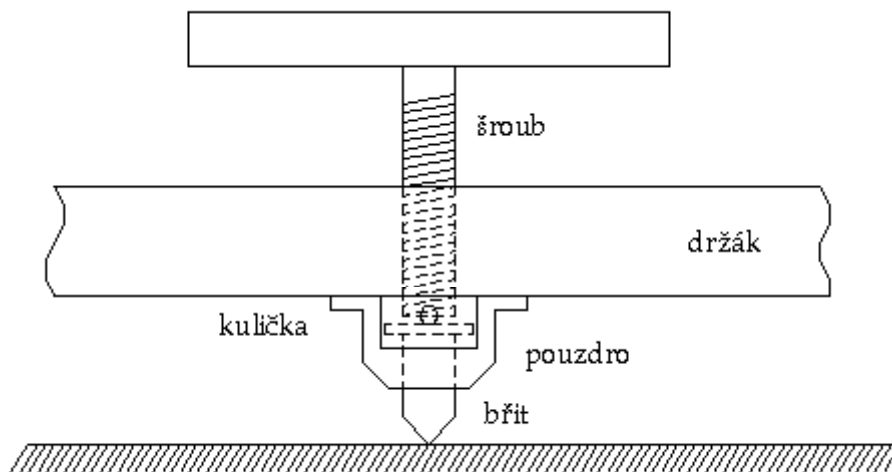
- kapiláry o vnějším průměru 100 μm poskytují příliš slabý signál
- tenkostěnná kapilára (100/70 μm) a tlustostěnné kapiláry (195/35, 195/47, 299/18 a 295/58 μm) nejsou vhodné, neboť u nich dochází k postupnému lámání
- nejvhodnější se ukázaly kapiláry 195/77 μm a 300/95 μm , které poskytují dostatečně silný signál a k jejichž lomu dochází náhle

Při našich měřeních jsme používali kapiláry 300/95 μm .

Průměr [μm]		Průměrná síla na rozdrčení [N]	Standardní odchylka
vnější	vnitřní		
95	30	4,8	1
100	55	4,9	1,2
100	70	3,5	1
195	35	11,1	3
195	47	13	4,5
195	77	15,2	4,1
299	18	22,5	4,2
295	58	19,6	2,9
300	95	29,2	7,5

Tab. II Průměrná síla potřebná k rozdrčení kapilár

Na následujícím obrázku (obr. 7) je znázorněno zařízení na drcení kapilár.



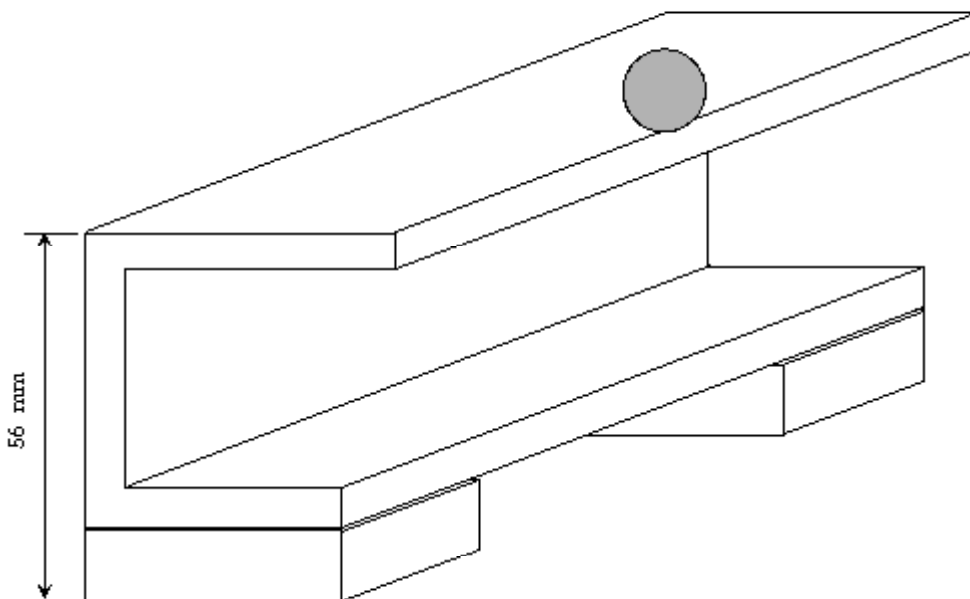
Obr. 7 Zařízení na drcení kapilár.

Po rozdrcení kapiláry dojde ke skokovému odlehčení.

Dopad kuličky

Lámání kapiláry bylo případem realizace zdroje časově skokového odlehčení na nepatrné oblasti povrchu. Dopad ocelové kuličky je naopak příkladem impulsního zatížení. Jde o snadno realizovatelný zdroj, který vykazuje výbornou stálost doby rázu i konstantní amplitudu. Zajistíme-li neměnnou citlivost snímače v různých místech snímání, lze navzájem srovnávat průběhy z různých míst snímání. Kontrola výšky byla prováděna pomocí robustního nosníkového profilu (viz obr. 8).

Při našich měřeních jsme používali kuličku o průměru 5 mm a váze 447 mg, která byla spouštěna z výšky 56 mm.



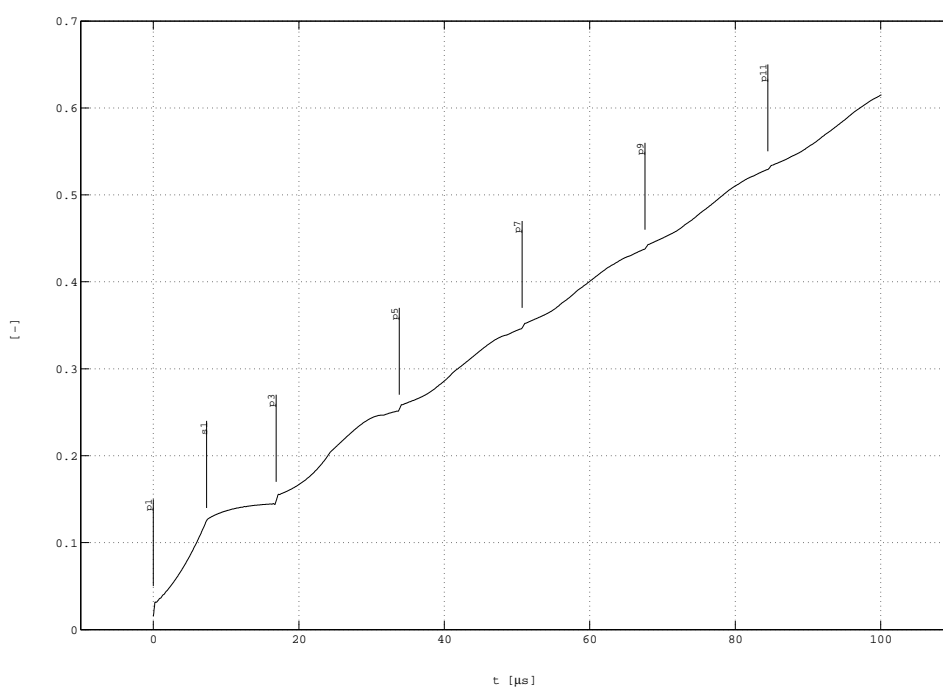
Obr. 8 Dopad kuličky.

ZÁVĚR

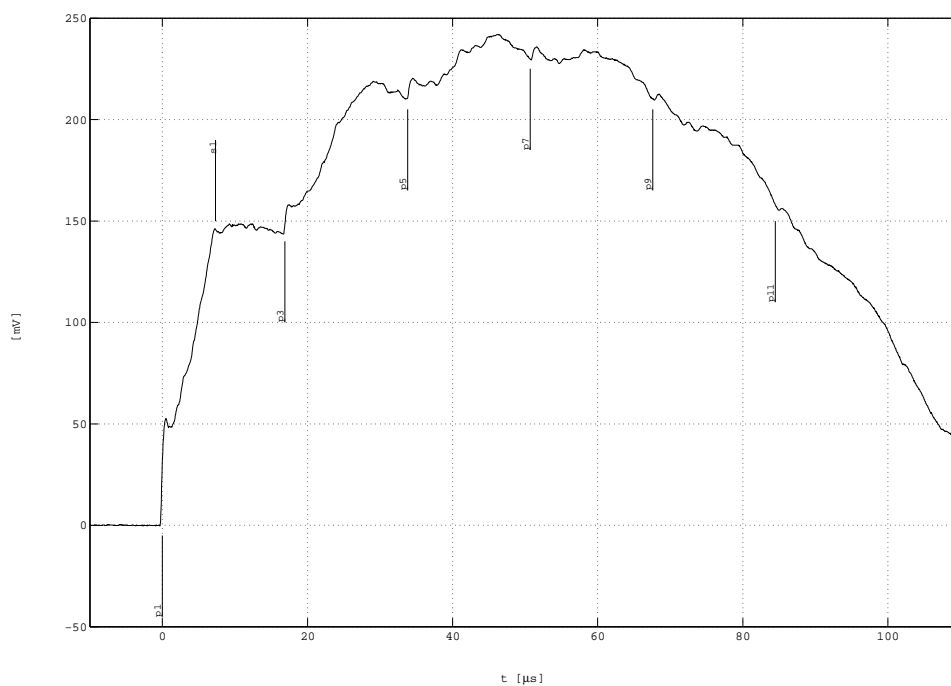
Z naměřeného průběhu vertikálního posuvu v místě epicentra při buzení lomem kapiláry lze odhadnout rychlosti šíření elastických vln a z nich vypočítat např. Poissonovo číslo. Pro ilustraci je na obr. 9 znázorněn průběh vypočteného vertikálního posuvu v epicentru při buzení vertikální bodovou silou se skokovou časovou závislostí. V obrázku jsou zakresleny i okamžiky příchodů jednotlivých paprsků. Na obr. 10 je znázorněn průběh naměřeného vertikálního posuvu v epicentru při buzení lomem kapiláry (tj. vertikální bodová síla se skokovou časovou závislostí). V obrázku jsou taktéž zakresleny i okamžiky příchodů jednotlivých paprsků. Zakreslené okamžiky příchodů paprsků byly vypočteny paprskovou metodou, ale lze je také díky dobré strmosti jednotlivých vlnových čel stanovit z naměřeného průběhu. Z obou obrázků je patrná dobrá shoda v okamžicích příchodů několika prvních paprsků, a je proto možné z okamžiků příchodů několika prvních paprsků určených z naměřeného průběhu vypočítat rychlosti šíření elastických vln c_1 a c_2 . Při této metodě odhadu rychlostí šíření je třeba počítat s některými skutečnostmi ovlivňujícími přesnost odhadu :

- stanovení epicentra, tj. buzení a snímač musí ležet přesně proti sobě,
- odečet okamžiků příchodů jednotlivých paprsků, tj. hrany jednotlivých příchodů mají konečnou strmost vlivem:
 - a) frekvenční charakteristiky snímače,
 - b) konečným rozměrům snímače,
 - c) konečné velikosti zdroje buzení a
 - d) jisté doby potřebné k lomu kapiláry.

Ze znalosti rychlostí c_1 a c_2 je možné obdržet Poissonovo číslo μ a pokud známe i hustotu materiálu ρ , získáme moduly pružnosti E a G . Jestliže $k = (c_2 / c_1)^2$, pak $\mu = \frac{2k - 1}{2(k - 1)}$,
 $G = c_2^2 \rho$ a $E = 2(1 + \mu)G$.



Obr. 9 Průběh vypočteného vertikálního posuvu v epicentru při buzení vertikální bodovou silou se skokovou časovou závislostí. Zakresleny jsou i okamžiky příchodů několika prvních paprsků.



Obr. 10 Průběh naměřeného vertikálního posuvu v epicentru při buzení lomem kapiláry. Zakresleny jsou i okamžiky příchodů několika prvních paprsků.

Vertikální odezvy naměřené při lomu kapiláry (Dodatek C) lze přímo porovnávat s časovými průběhy teoretických vertikálních posuvů (Dodatek A). Na změřených odezvách lze sledovat příchody odražených paprsků. Jednotlivá čela jsou díky klesající citlivosti snímače u vyšších frekvencí zvýrazněná. Zvýraznění čel má však příčinu také v určité citlivosti snímače i na horizontální posuvy snímaného povrchu. Proto je tak vhodné zjišťovat frekvenční charakteristiku snímače z měření odezvy v epicentru, kde je horizontální posuv nulový.

Z naměřeného průběhu vertikálního posuvu v místě epicentra při buzení dopadající kuličkou lze odečíst přibližnou dobu rázu kuličky; asi 20 μs (viz obrázek na straně 62). Doba rázu byla ověřována měřením intervalu vodivého spojení kuličky s povrchem desky. Na kuličku byl připájen vlasový smaltovaný drátek, který posloužil jako kontakt. Doba elektrického kontaktu činila 18 μs .

Součástí této zprávy je disketa, která obsahuje soubory s naměřenými daty. Data jsou v těchto souborech uložena v binárním formátu záznamníku přechodových dějů ADAM a soubory mají příponu 'dta'. Formát ADAMa je následující :

- 80-ti bytová hlavička, ve které jsou uloženy parametry nastavení záznamníku,
- posloupnost navzorkovaných dat (10 bitů uloženo ve 2 bytech).

Data je možno načíst do MATLABu verze 4.0 a vyšší funkcí `load_adm`, která je též na disketě s datovými soubory a jejíž výpis je uveden v Dodatku E. Funkci `load_adm` lze volat s jedním vstupním a až dvěma výstupními parametry. Vstupní parametr udává název binárního datového souboru, první výstupní parametr je proměnná, do které se uloží navzorkovaná posloupnost dat, a druhý výstupní parametr je proměnná, do které se uloží parametry ADAMa v textové formě. Vstupní parametr (název souboru) je volitelný; pokud není uveden, zvolí si uživatel odpovídající soubor dialogově. Výstupní parametry jsou také volitelné, ale pokud chceme použít druhý výstupní parametr, musí být uveden i první parametr. Pokud se nazadá žádný výstupní parametr, je navzorkovaná posloupnost dat vykreslena. Tedy veškeré kombinace volání funkce `load_adm` jsou :

```
load_adm;  
load_adm('pokus123.dta');  
response = load_adm;  
response = load_adm('c:\data\uz.dta');  
[response, par] = load_adm;  
[response, par] = load_adm('c:\data\uz.dta');
```

Následující příklad ukazuje použití funkce load_adm

```
[y, p] = load_adm('c:\data\s10.dta');  
plot(y);
```

V prvním řádku jsou navzorkovaná data načtena do proměnné y a parametry nastavení ADAMA do proměnné p a druhým řádkem se data vykreslí. Proměnná p obsahuje následující text, který popisuje nastavení záznamníku (řádky zakončené dvojtečkou jsou názvy parametrů):

Header :

Channel:

1

Block:

1

From address:

-8192

To address:

24575

Record:

SINGLE

Block length:

32768

samples

Block length / 256:

128

Time base:

SINGLE

Time base 1:

50

ns

0

samples

Time base 2:

2

us
20
samples
Main delay:
-25
Aux delay:
OFF
0
steps
Aux delay step:
25
%
Ext trigger:
OFF
+
Memory:
64
KB
50
ns
ADC:
50
ns
10
bits
Trigger link:
OR
Trigger coupling:
DC
Trigger slope:
+/-
Trigger pos level:
55
Trigger neg level:
45
Amplifier coupling:
DC
Amplifier range:
0.4
V
Amplifier offset:
45
Identifier:
0

Obsah souborů na disketě :

Funkce pro načtení binárních souborů do MATLABu :

load_adm.m

Vertikální výchylky na horním povrchu při buzení lomem kapiláry ve vzdálenostech 10, 15, 20, ... 60 mm od místa buzení :

s10k.dta

.

s60k.dta

Vertikální výchylky na horním povrchu při buzení dopadem kuličky ve vzdálenostech 10, 15, 20, ... 60 mm od místa buzení :

s10b.dta

.

s60b.dta

Vertikální výchylky na dolním povrchu při buzení lomem kapiláry ve vzdálenostech 0, 5, 10, ... 60 mm od epicentra :

o00k.dta

.

o60k.dta

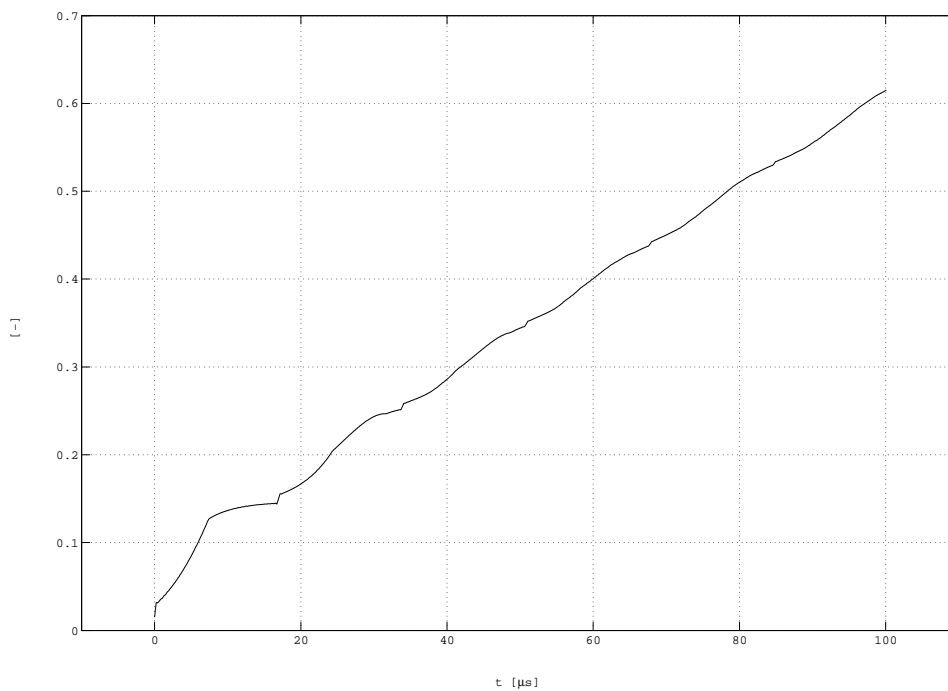
Vertikální výchylky na dolním povrchu při buzení dopadem kuličky ve vzdálenostech 0, 5, 10, ... 60 mm od epicentra :

o00b.dta

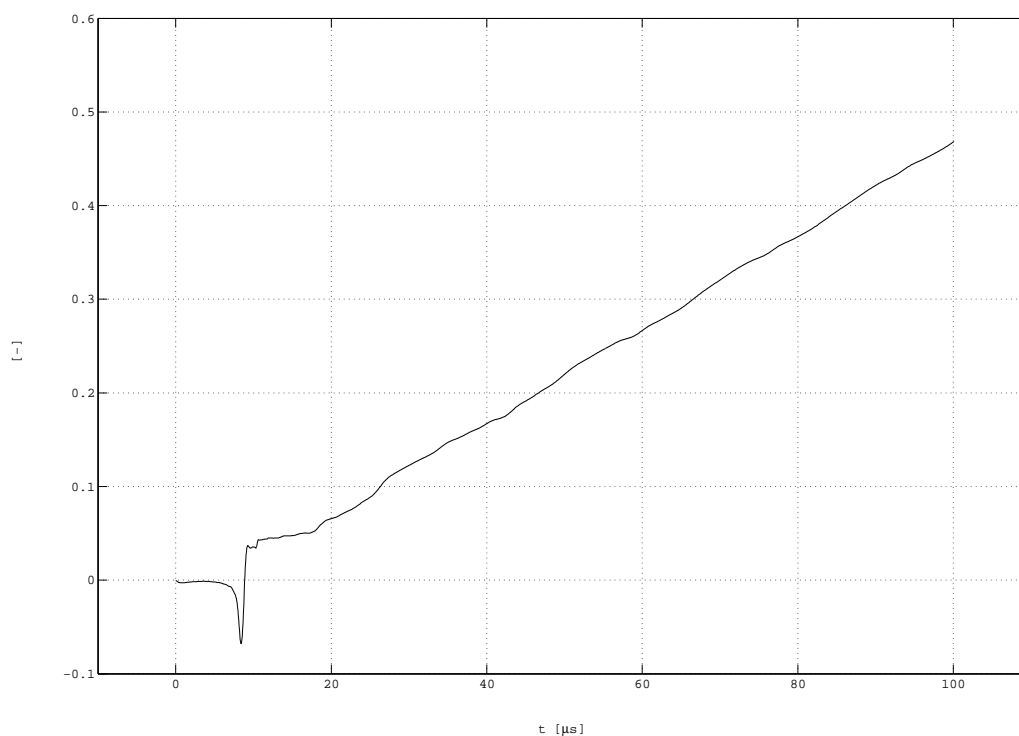
.

o60b.dta

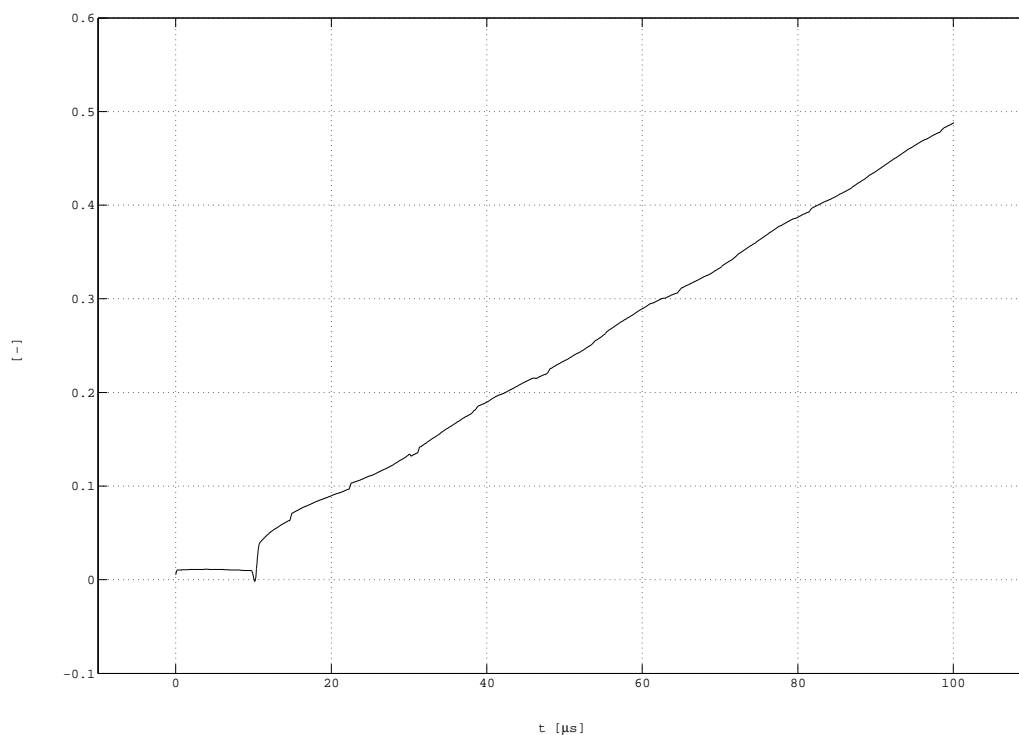
DODATEK A: VERTIKÁLNÍ POSUV - TEORIE



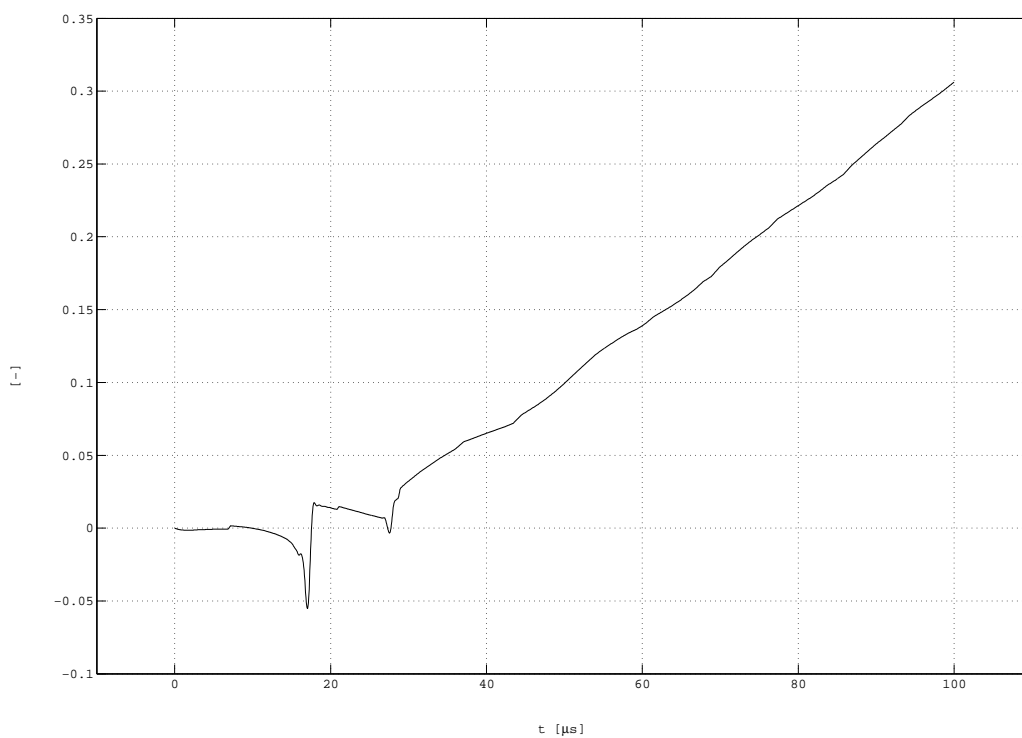
Opačný povrch	tloušťka: 5 cm	vzdálenost: 0 cm
---------------	----------------	------------------



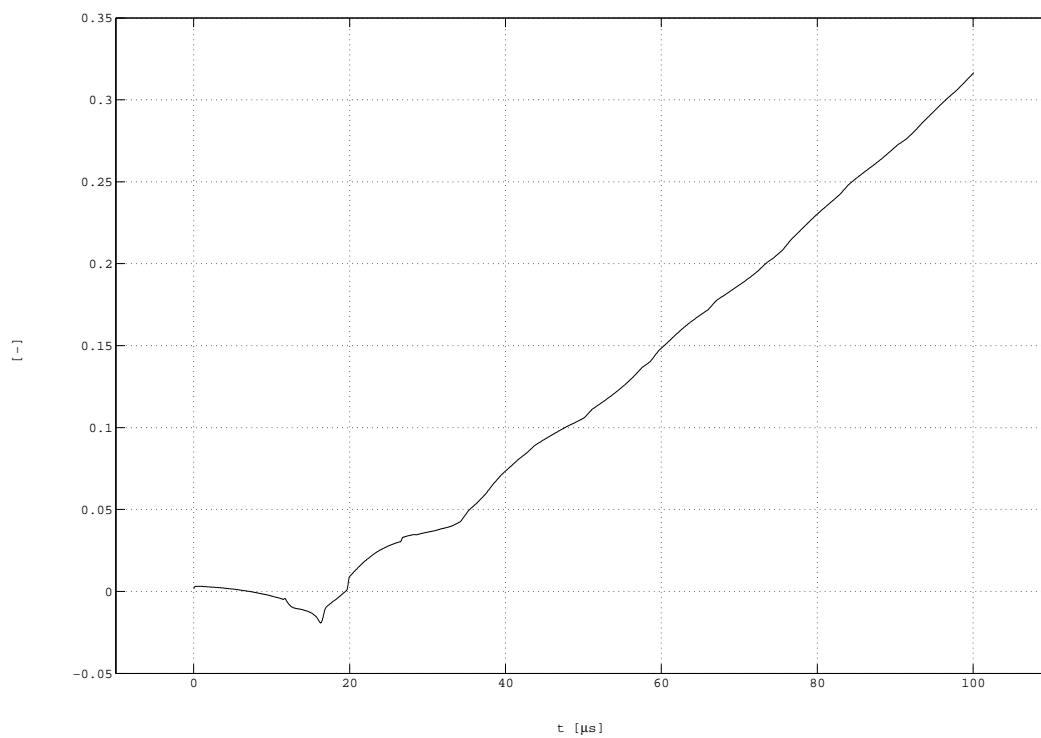
Stejný povrch tloušťka: 5 cm vzdálenost: 5 cm



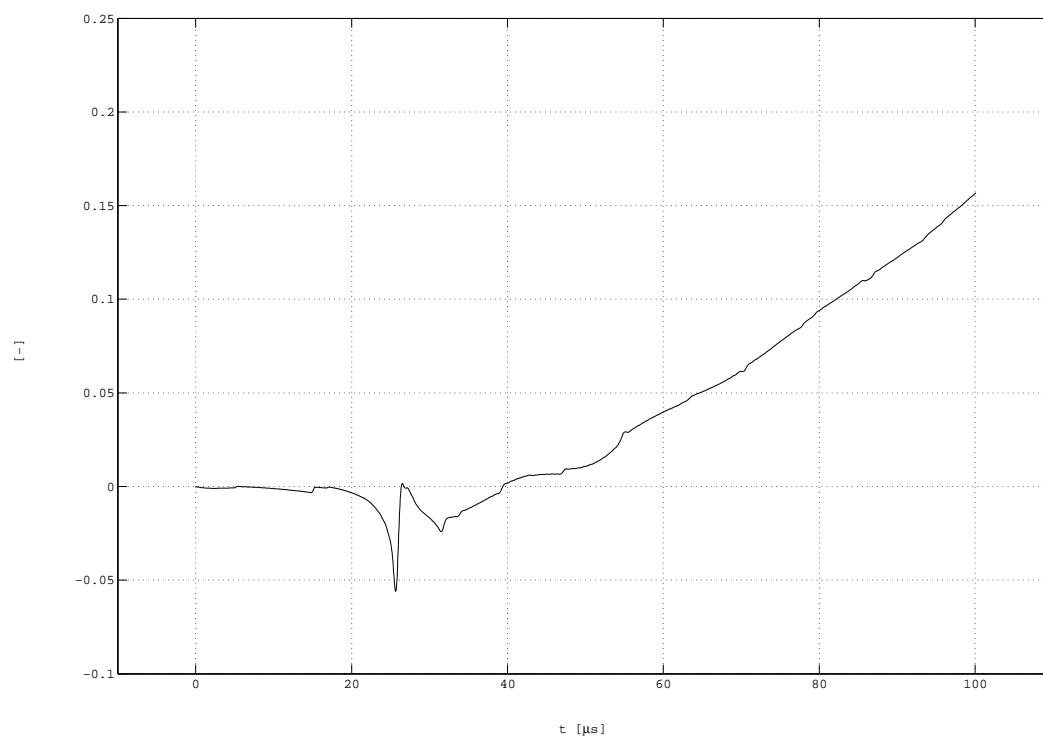
Opačný povrch tloušťka: 5 cm vzdálenost: 5 cm



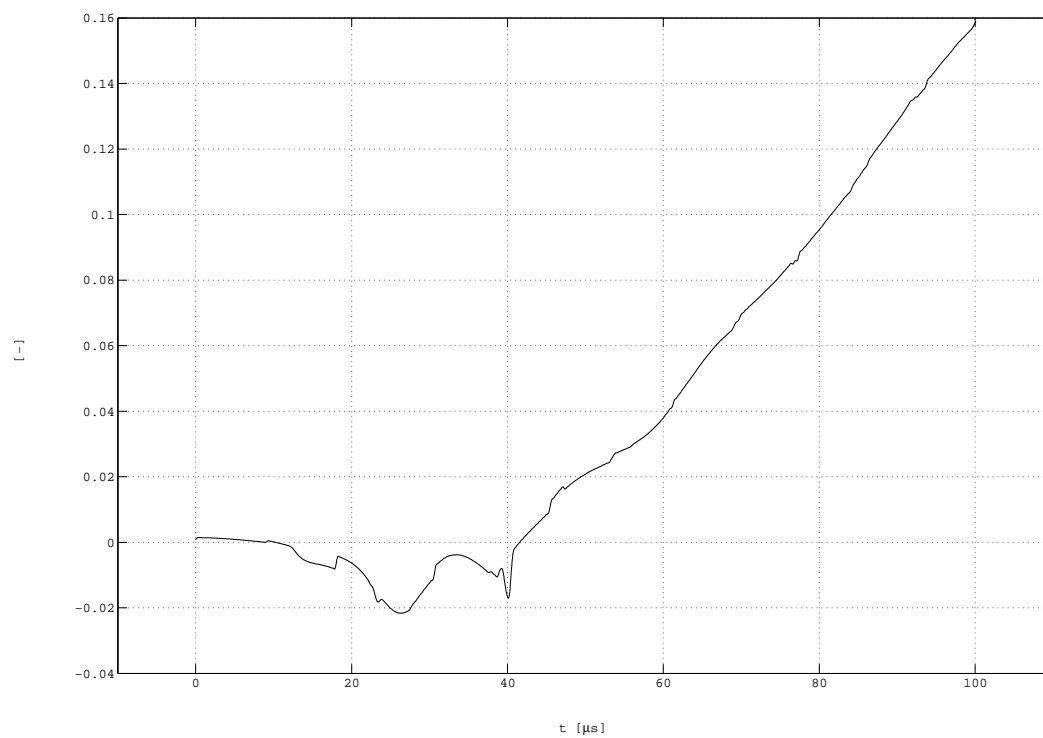
Stejný povrch tloušťka: 5 cm vzdálenost: 10 cm



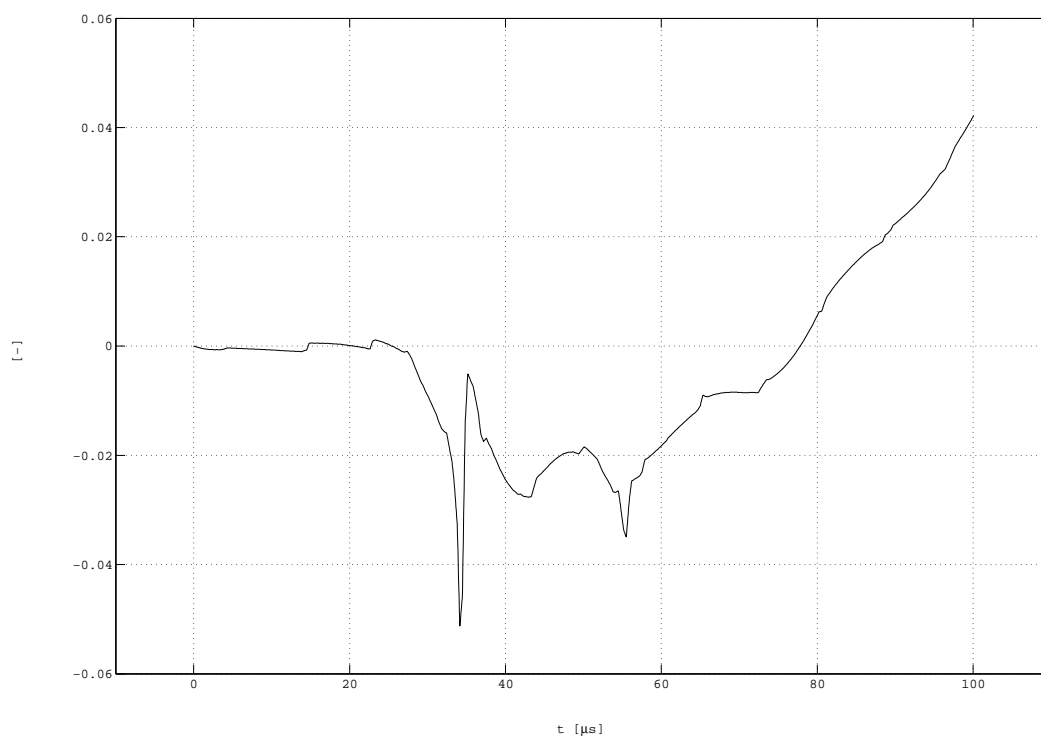
Opačný povrch tloušťka: 5 cm vzdálenost: 10 cm



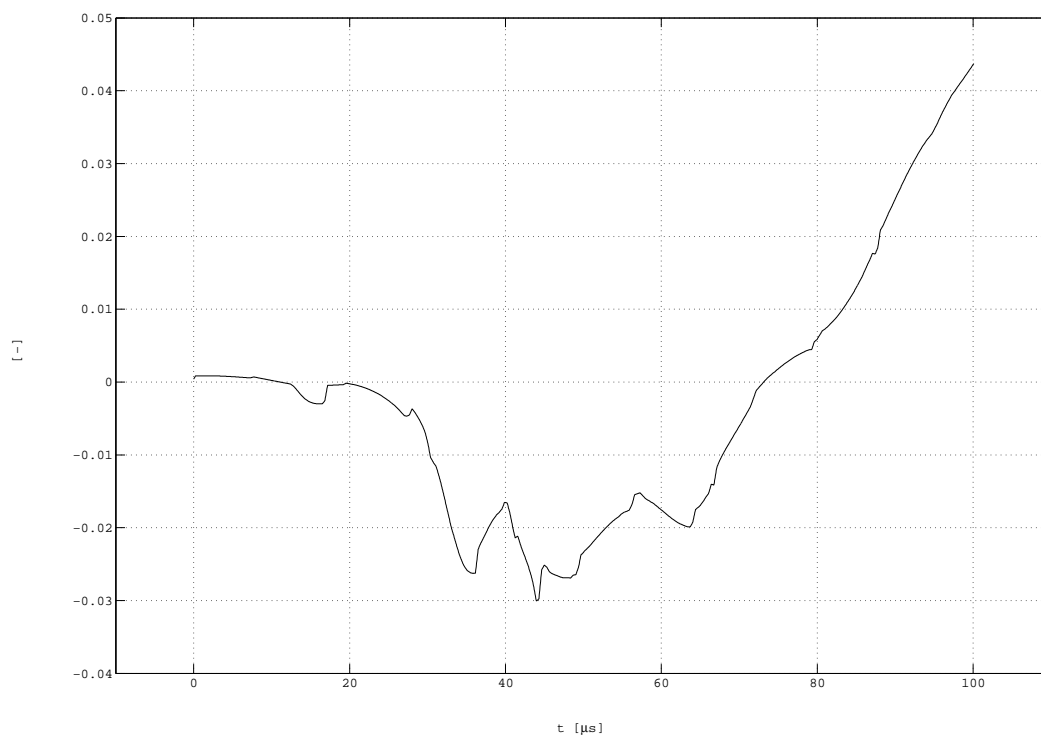
Stejný povrch tloušťka: 5 cm vzdálenost: 15 cm



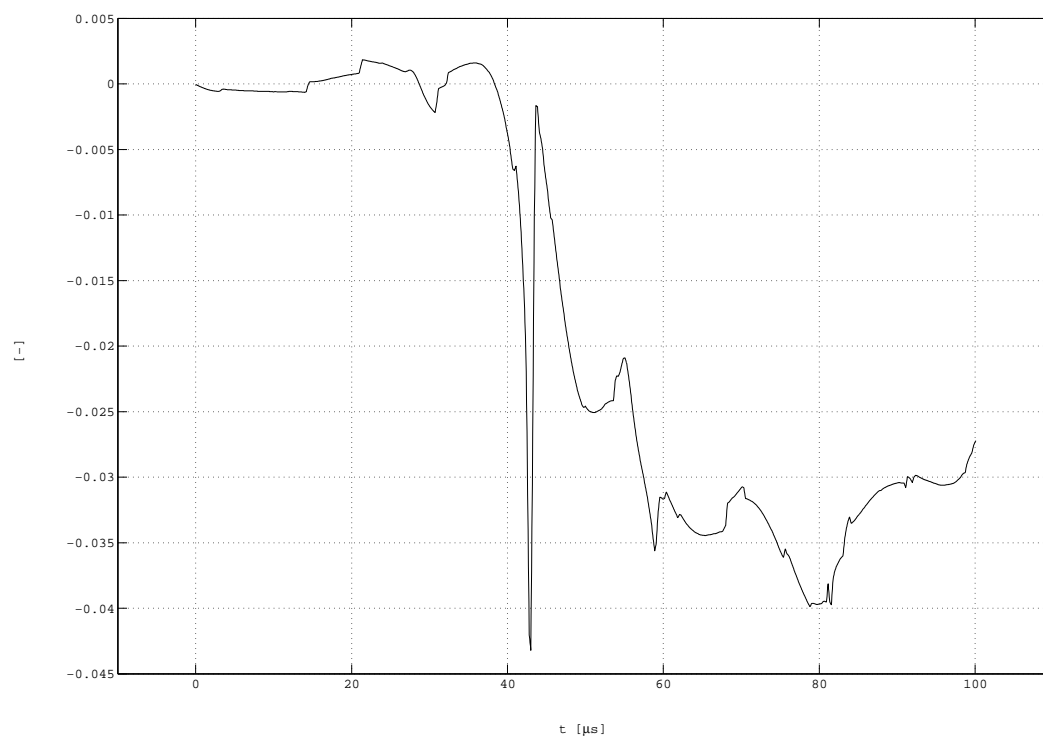
Opačný povrch tloušťka: 5 cm vzdálenost: 15 cm



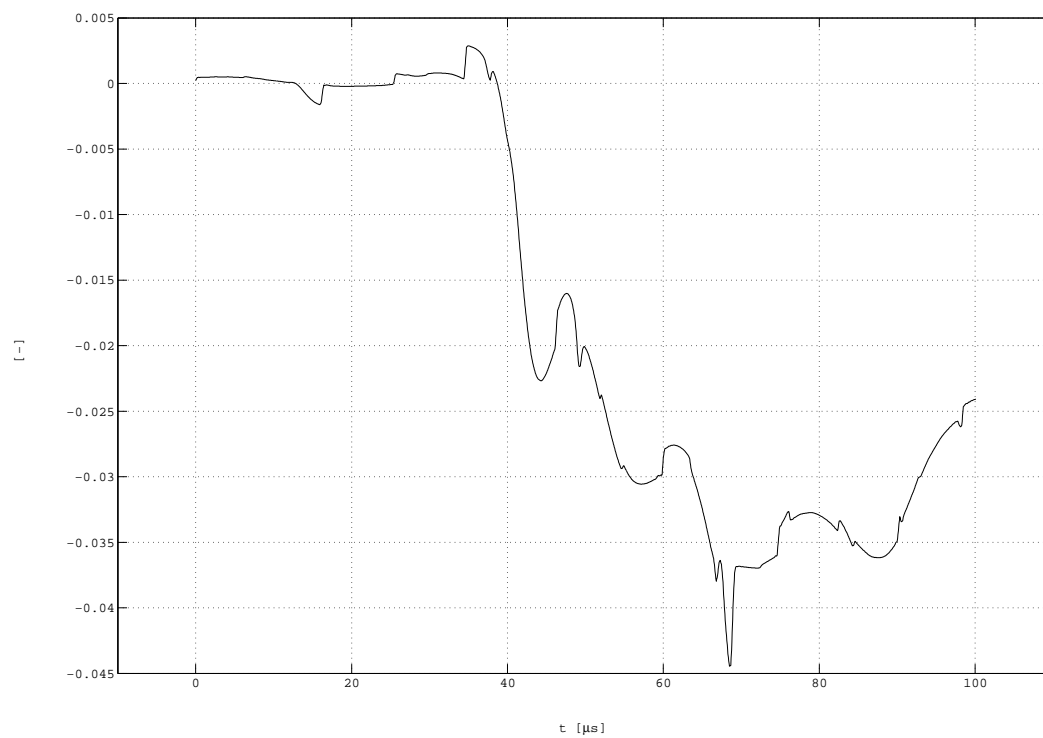
Stejný povrch tloušťka: 5 cm vzdálenost: 20 cm



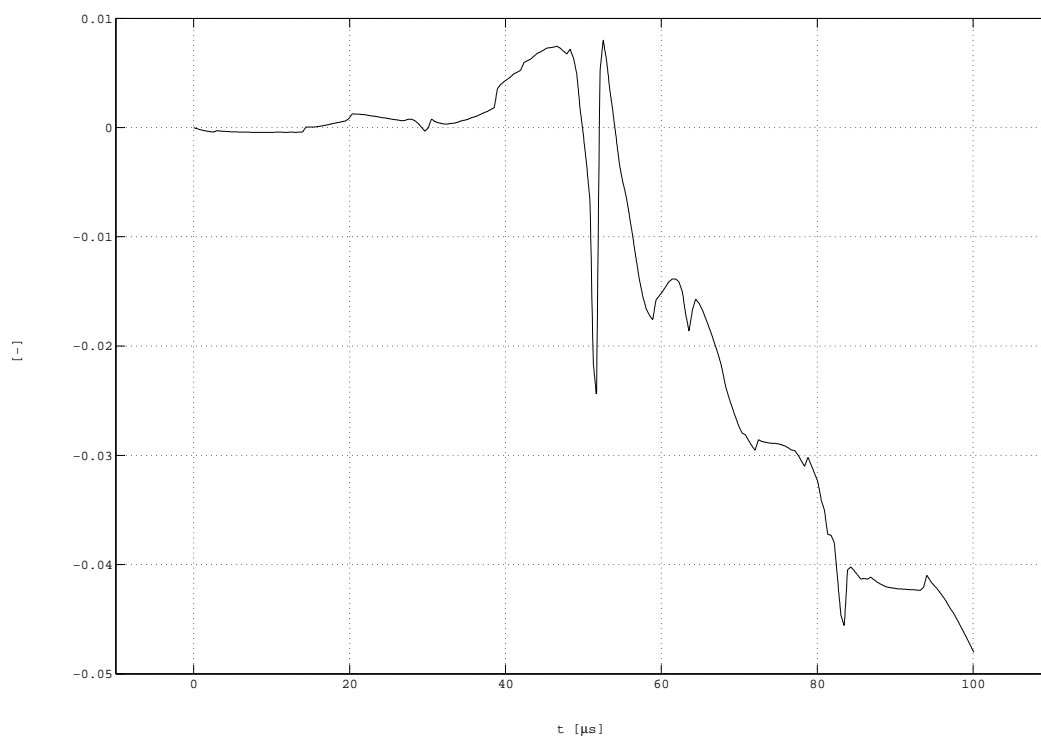
Opačný povrch tloušťka: 5 cm vzdálenost: 20 cm



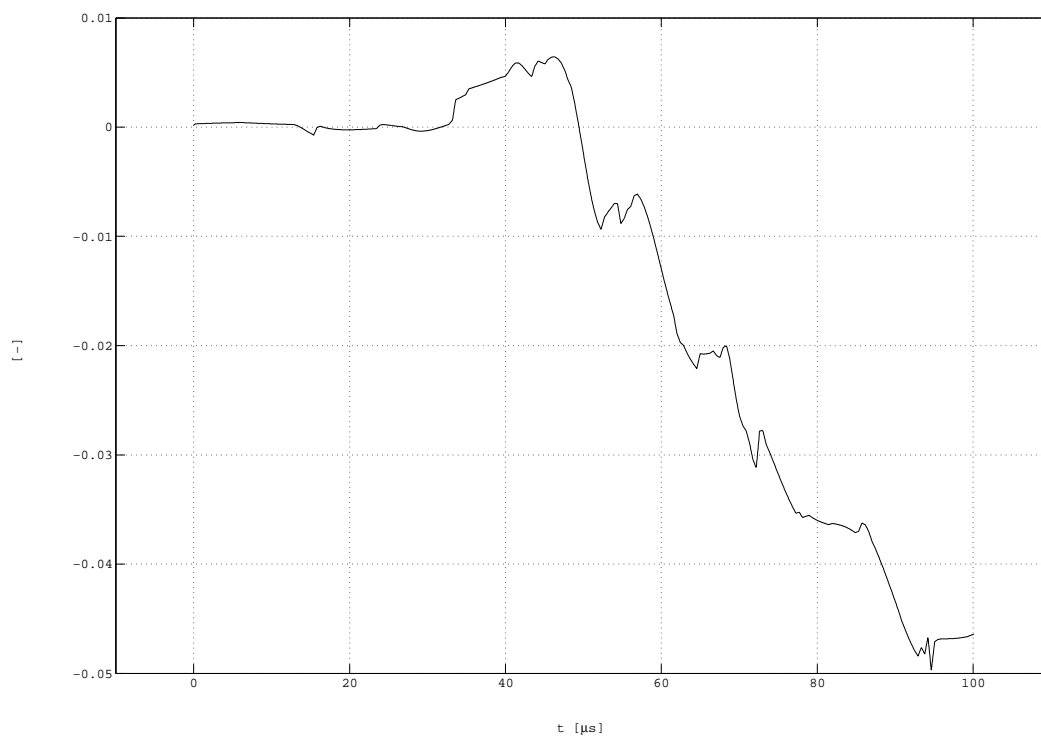
Stejný povrch tloušťka: 5 cm vzdálenost: 25 cm



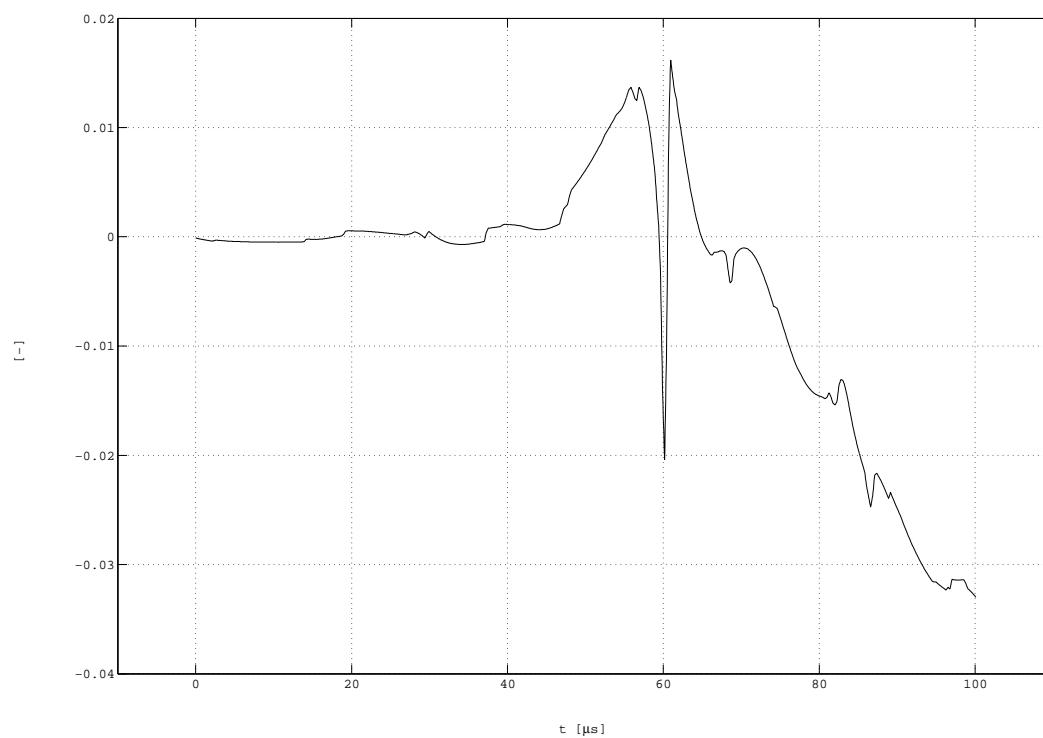
Opačný povrch tloušťka: 5 cm vzdálenost: 25 cm



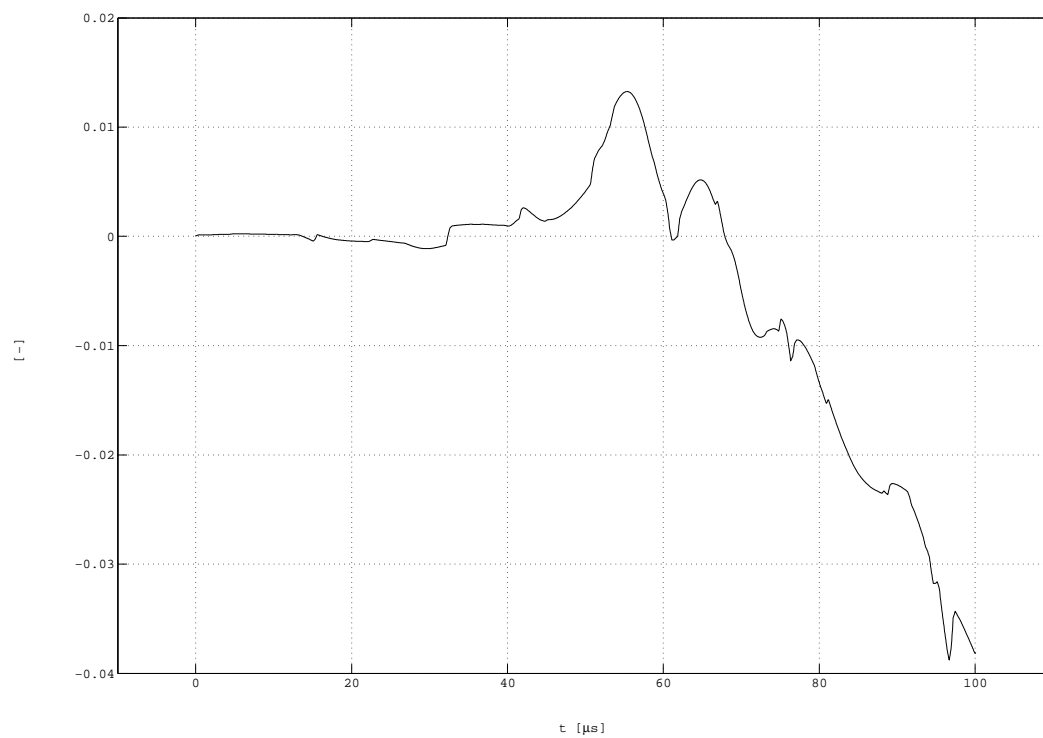
Stejný povrch tloušťka: 5 cm vzdálenost: 30 cm



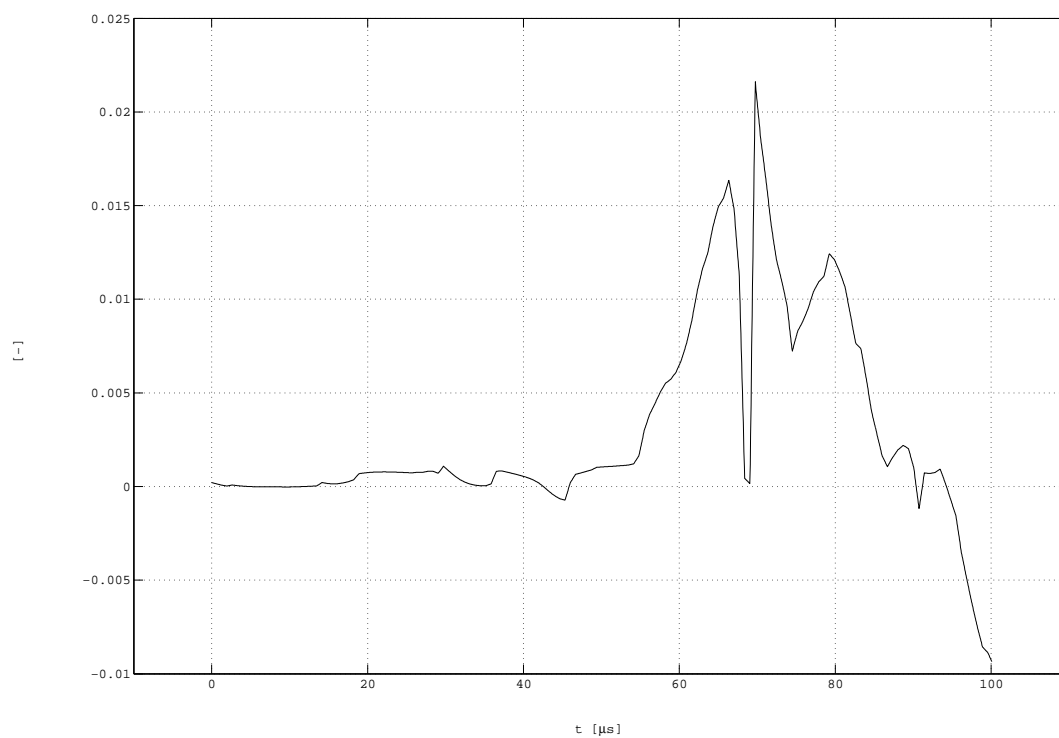
Opačný povrch tloušťka: 5 cm vzdálenost: 30 cm



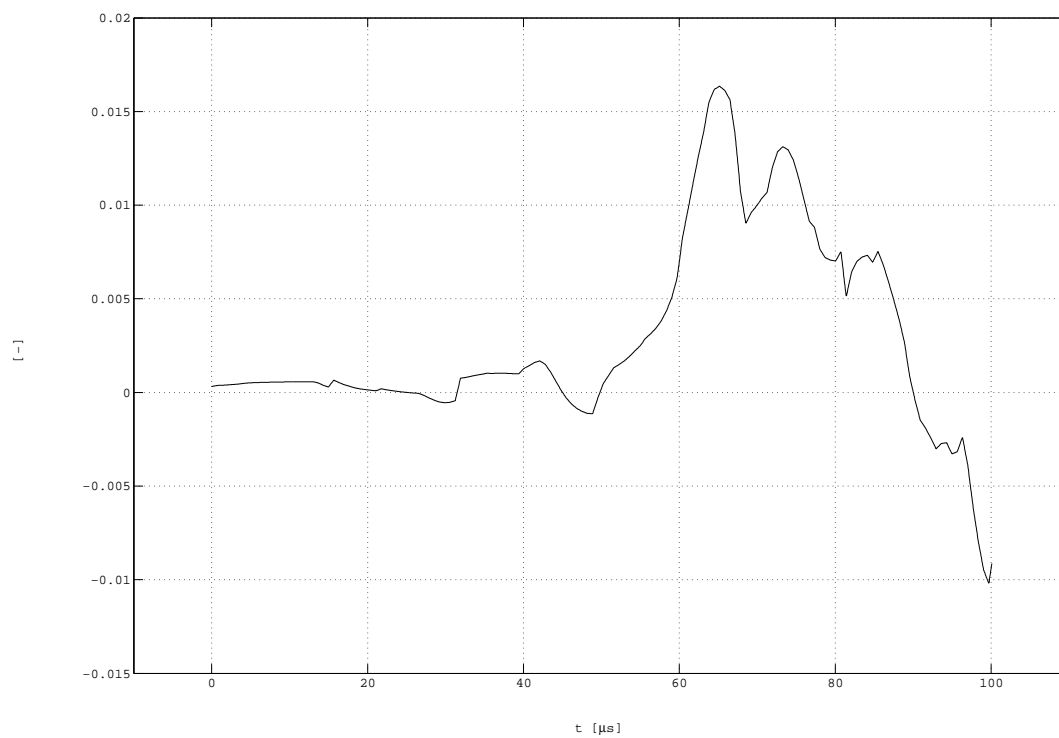
Stejný povrch tloušťka: 5 cm vzdálenost: 35 cm



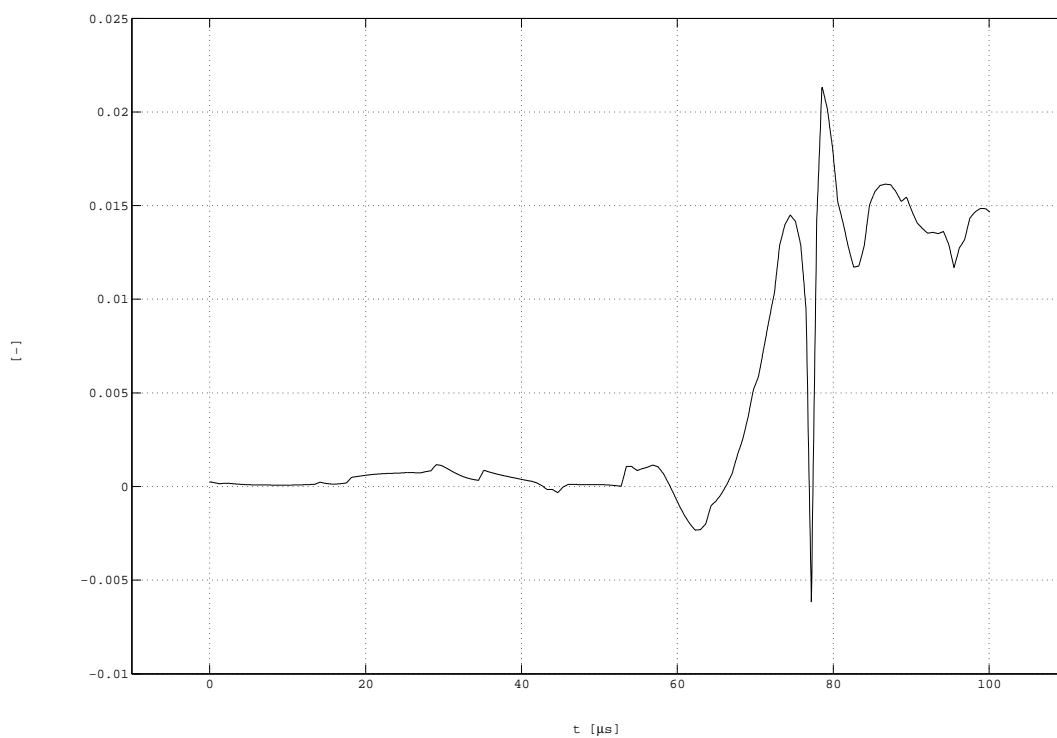
Opačný povrch tloušťka: 5 cm vzdálenost: 35 cm



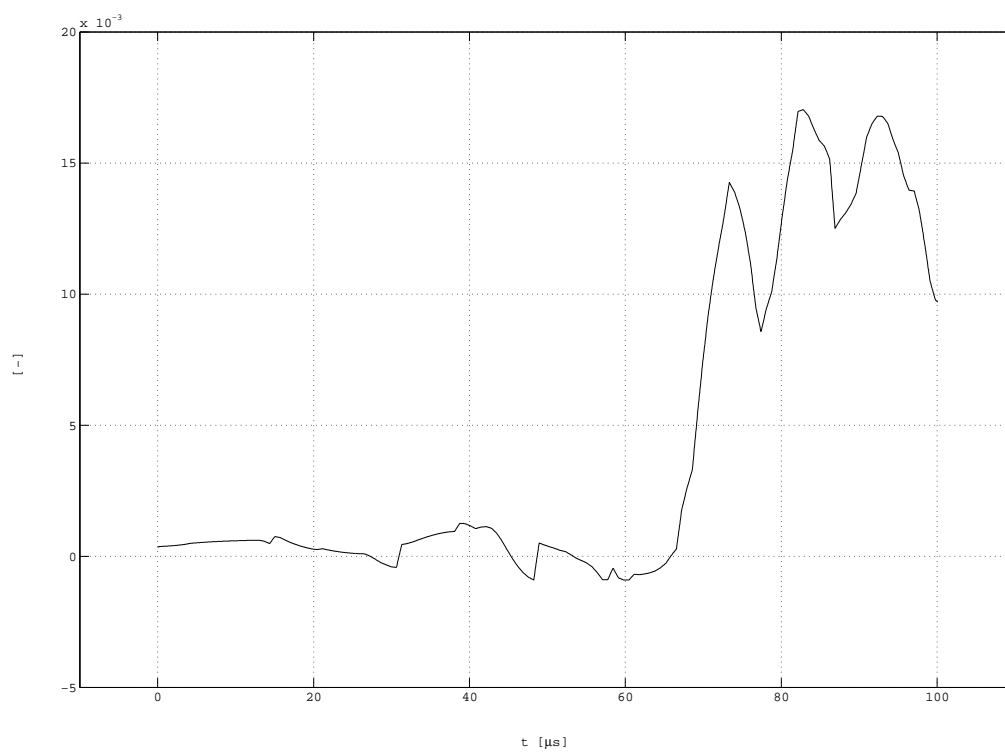
Stejný povrch tloušťka: 5 cm vzdálenost: 40 cm



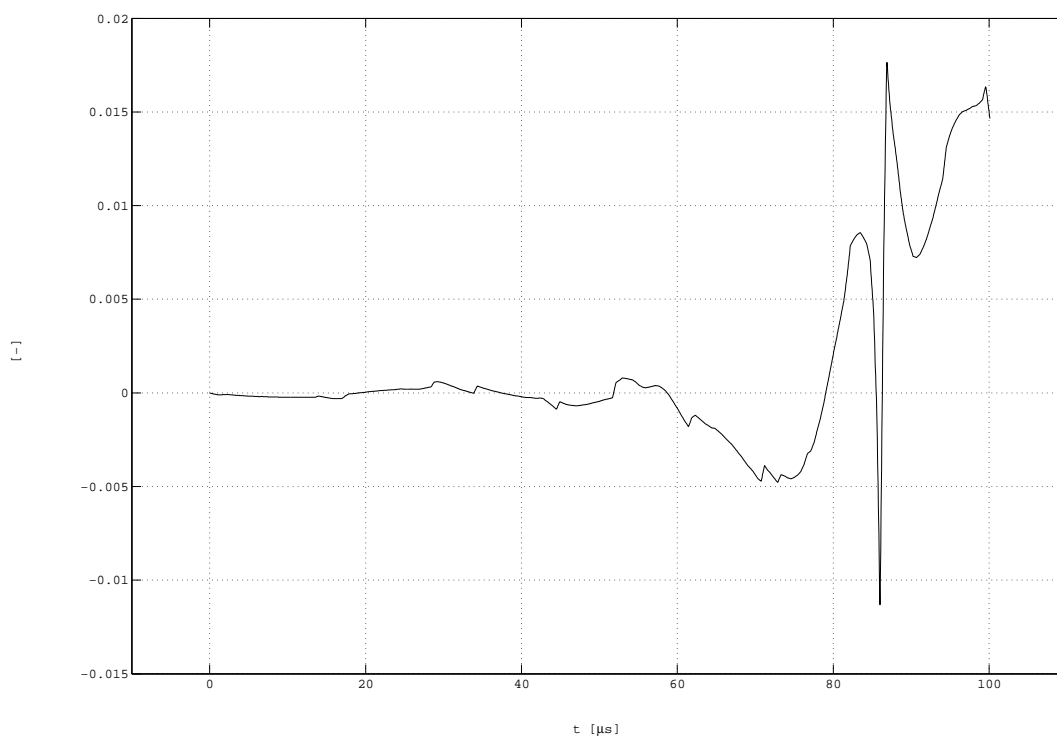
Opačný povrch tloušťka: 5 cm vzdálenost: 40 cm



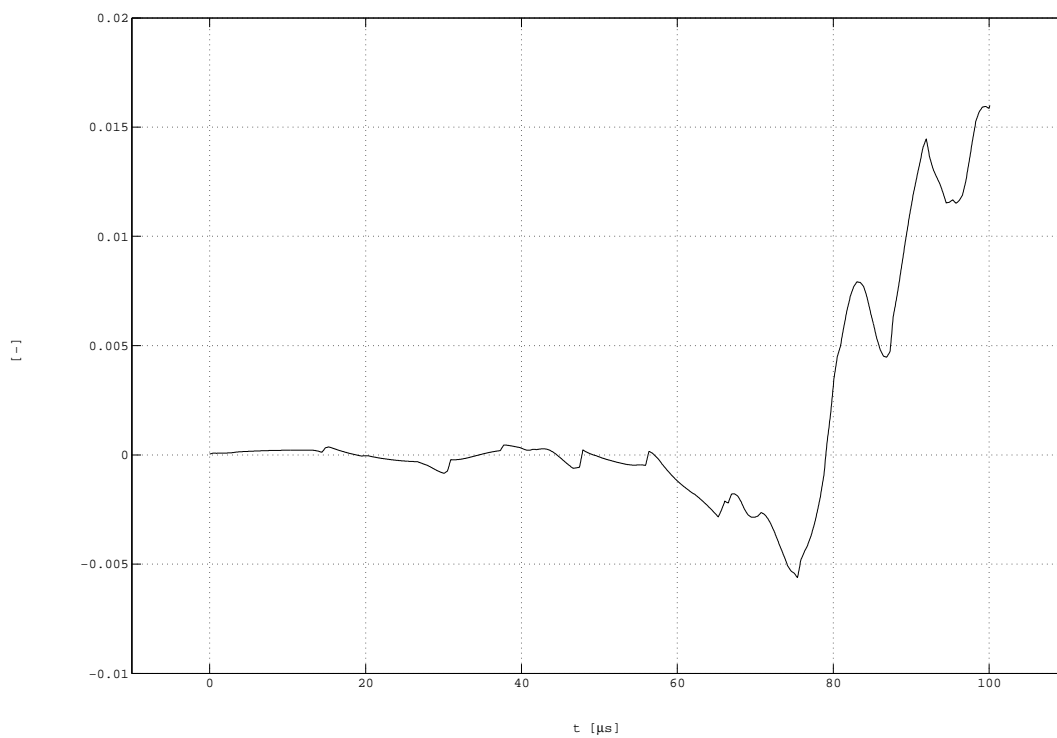
Stejný povrch tloušťka: 5 cm vzdálenost: 45 cm



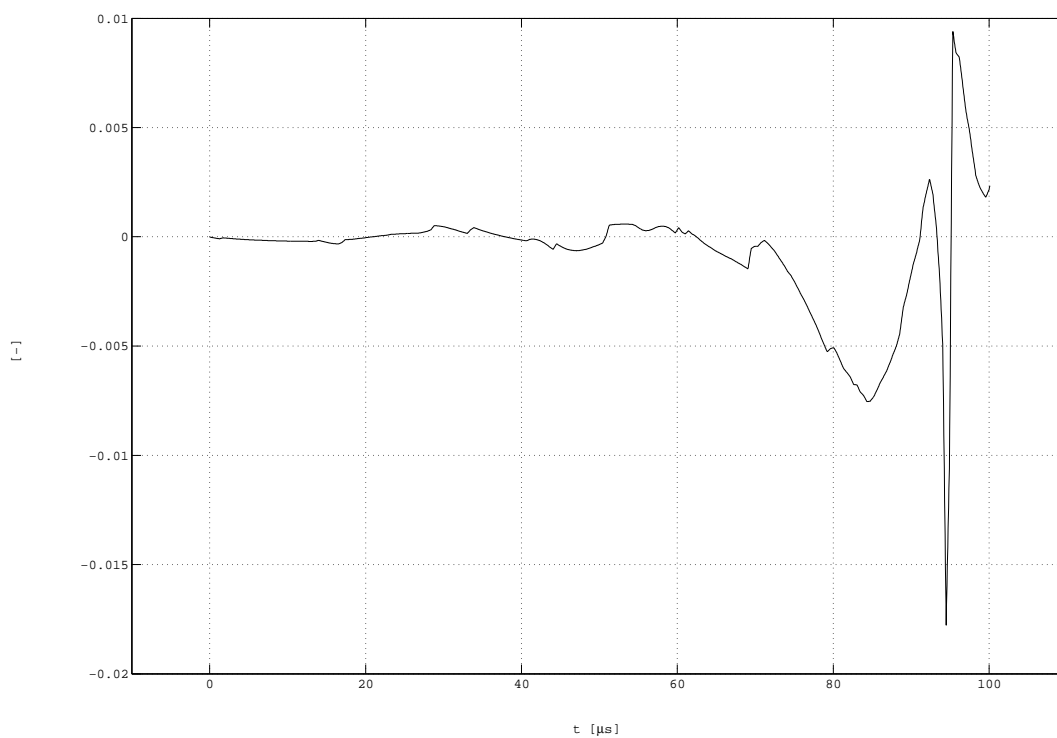
Opačný povrch tloušťka: 5 cm vzdálenost: 45 cm



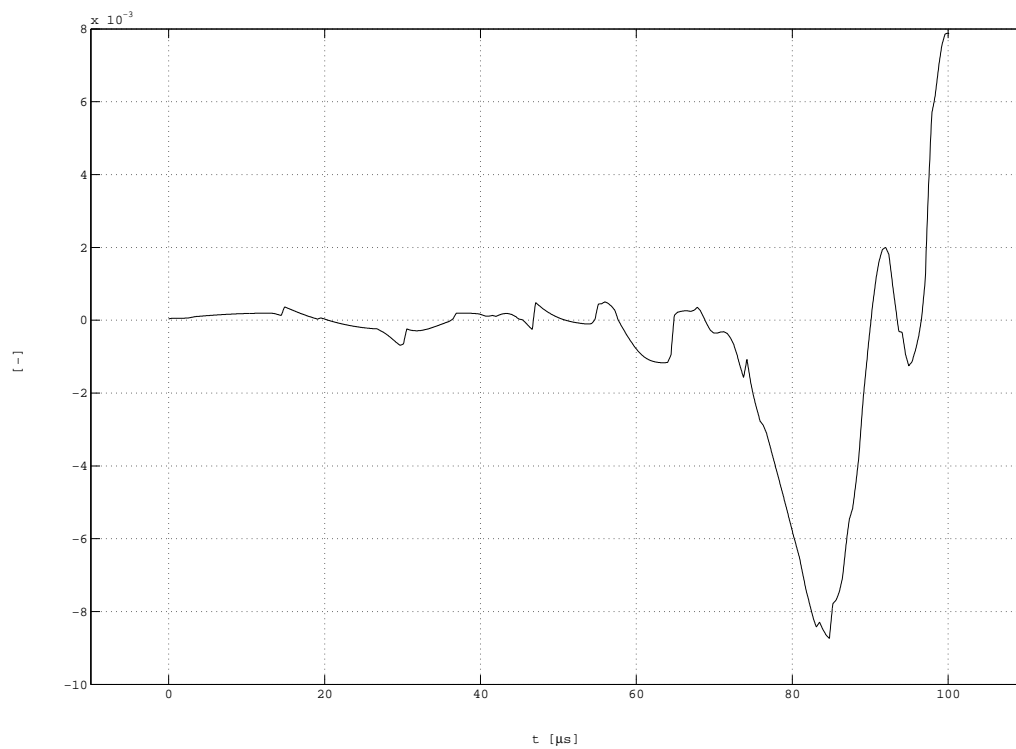
Stejný povrch tloušťka: 5 cm vzdálenost: 50 cm



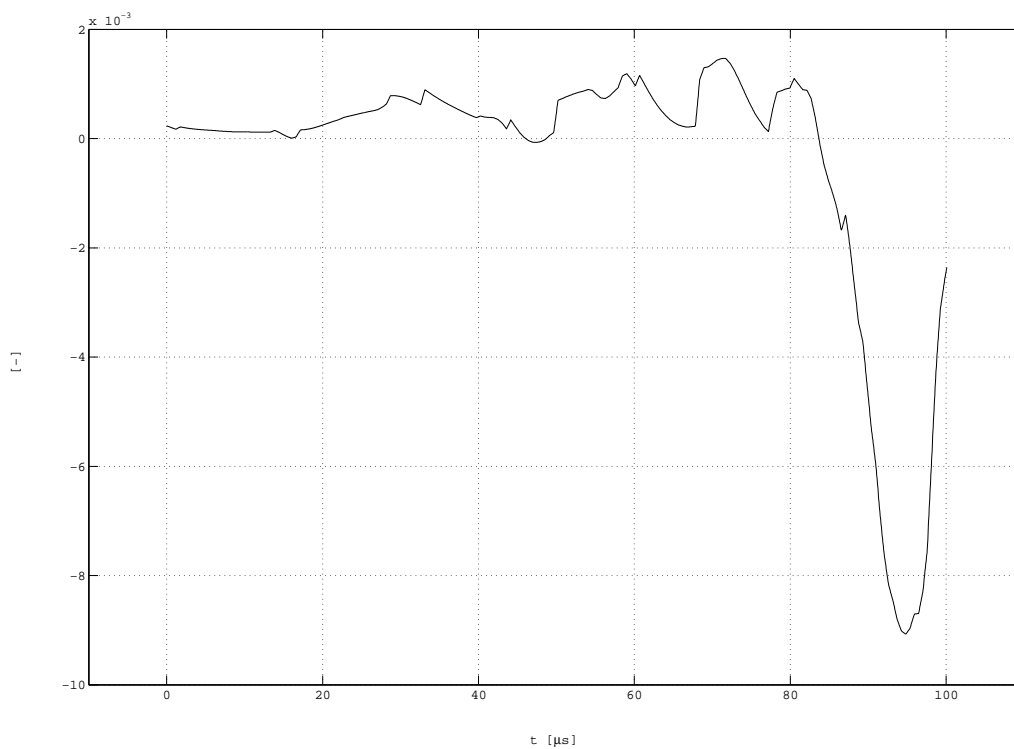
Opačný povrch tloušťka: 5 cm vzdálenost: 50 cm



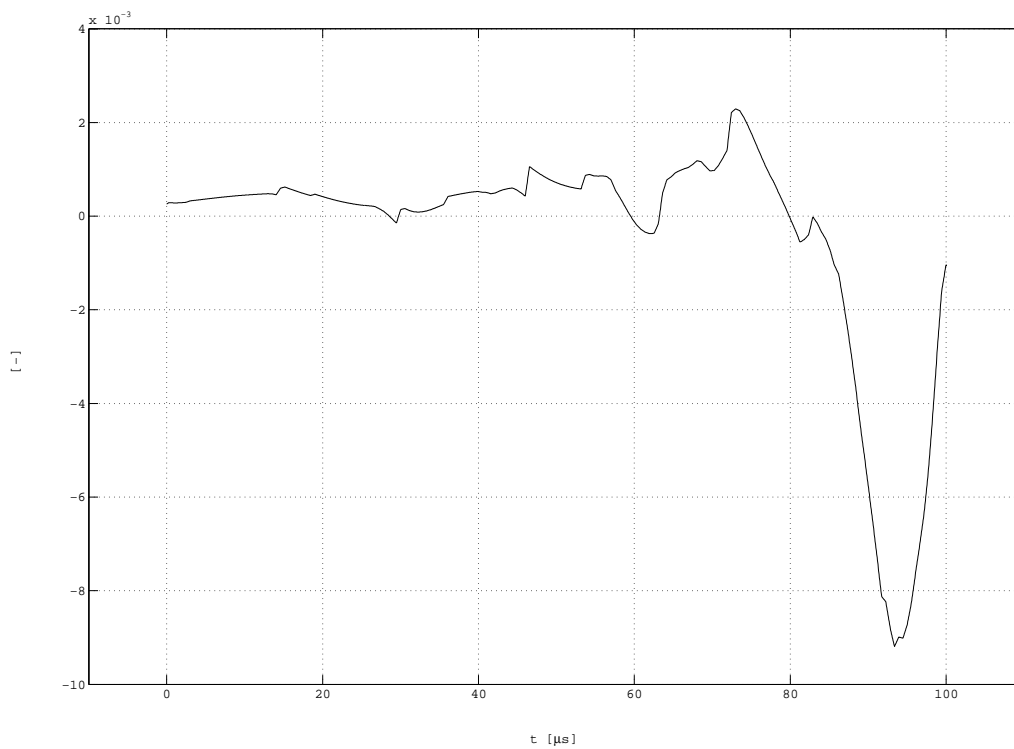
Stejný povrch tloušťka: 5 cm vzdálenost: 55 cm



Opačný povrch tloušťka: 5 cm vzdálenost: 55 cm



Stejný povrch tloušťka: 5 cm vzdálenost: 60 cm



Opačný povrch tloušťka: 5 cm vzdálenost: 60 cm

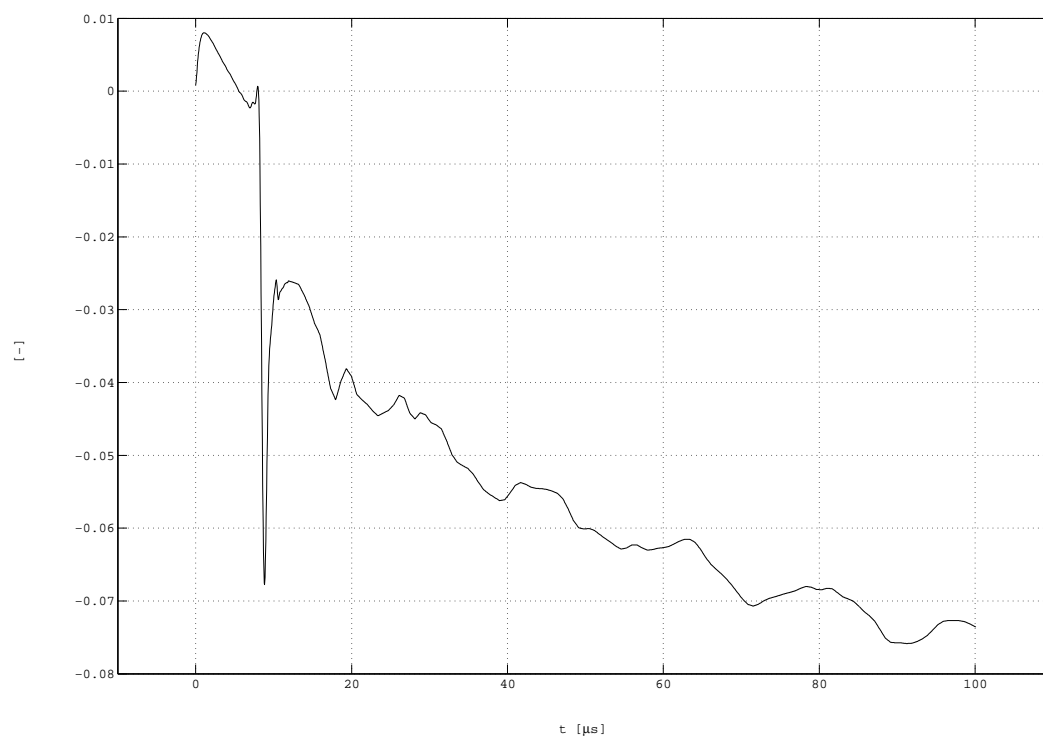
DODATEK B: RADIÁLNÍ POSUV - TEORIE

Radiální posuv v epicentru je nulový.

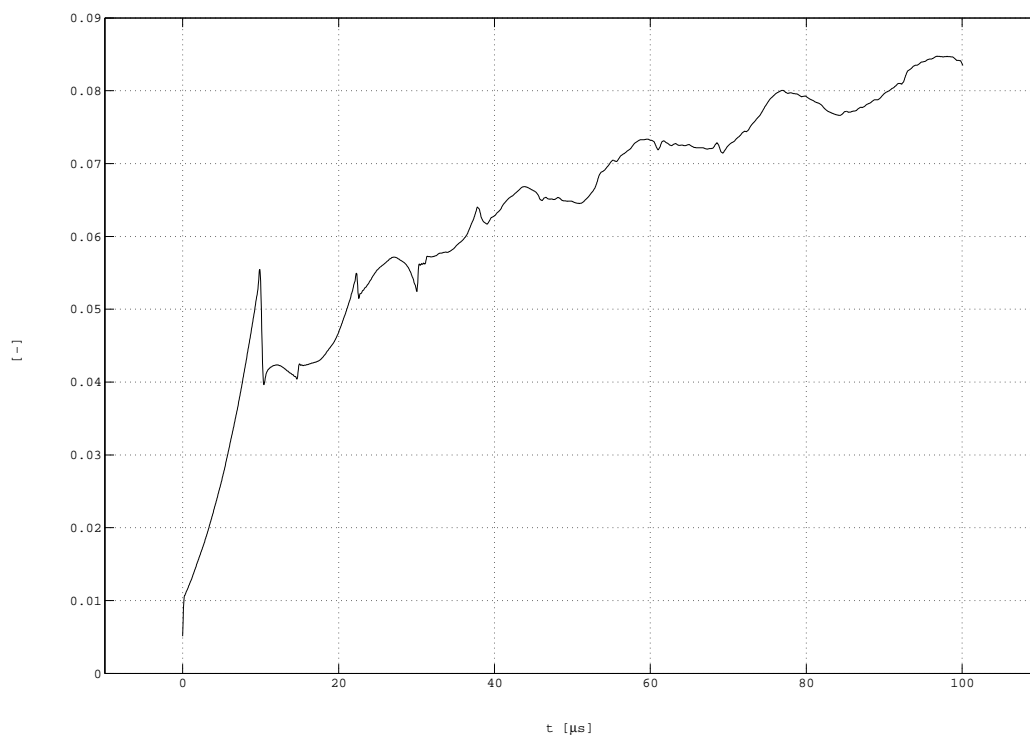
Opačný povrch

tloušťka: 5 cm

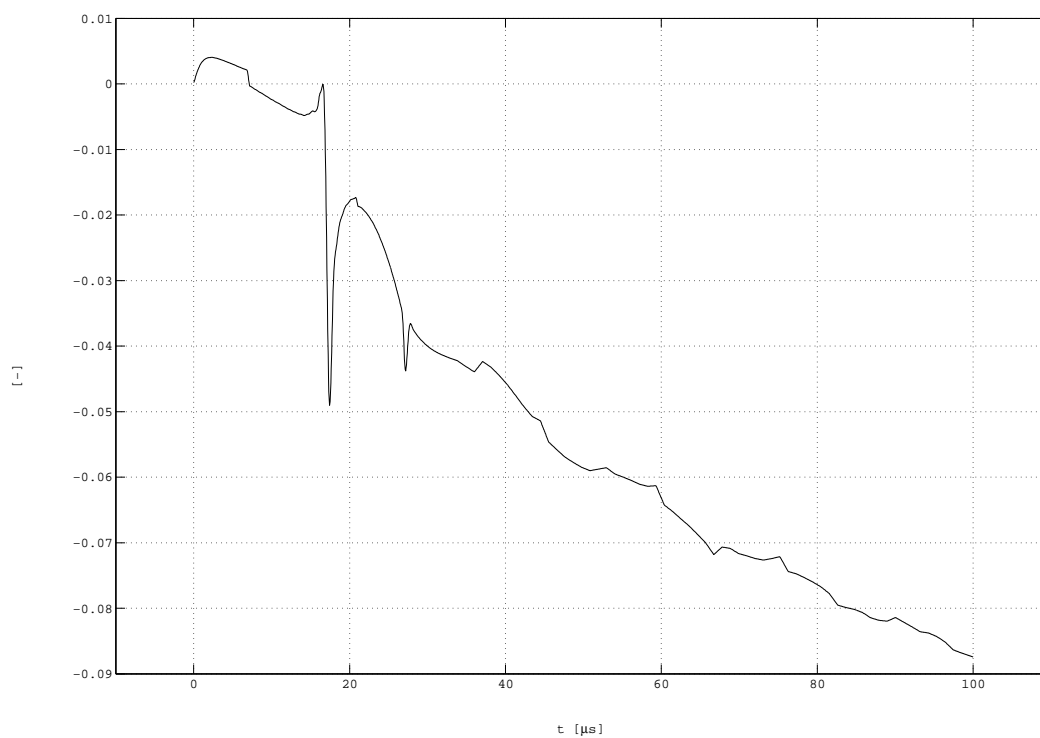
vzdálenost: 0 cm



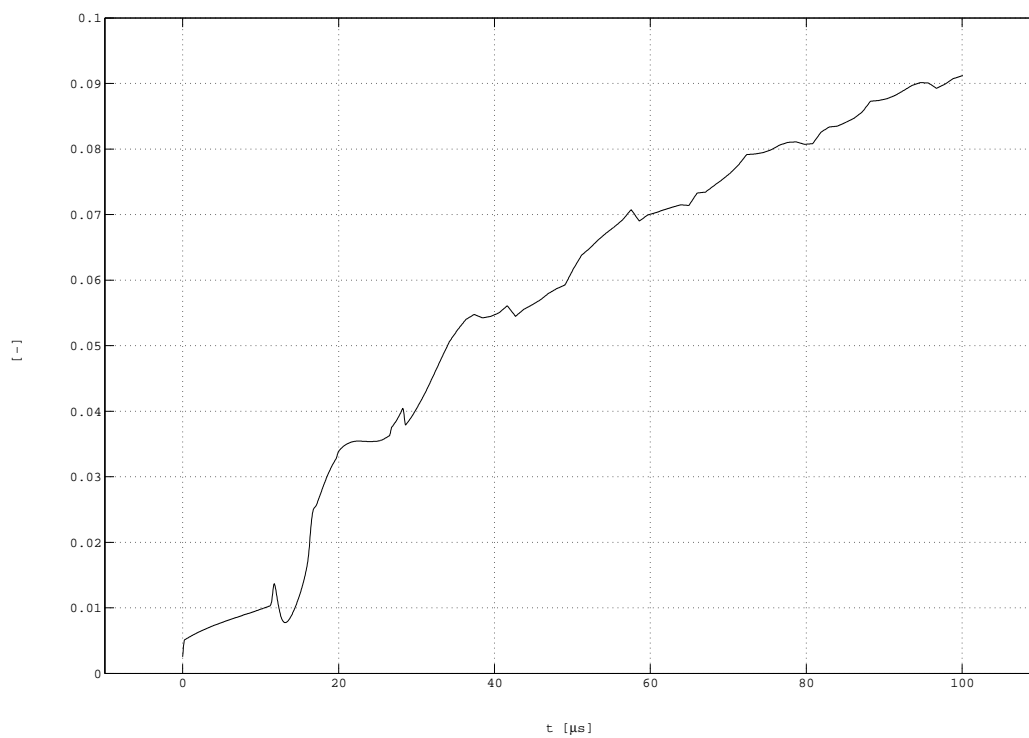
Stejný povrch tloušťka: 5 cm vzdálenost: 5 cm



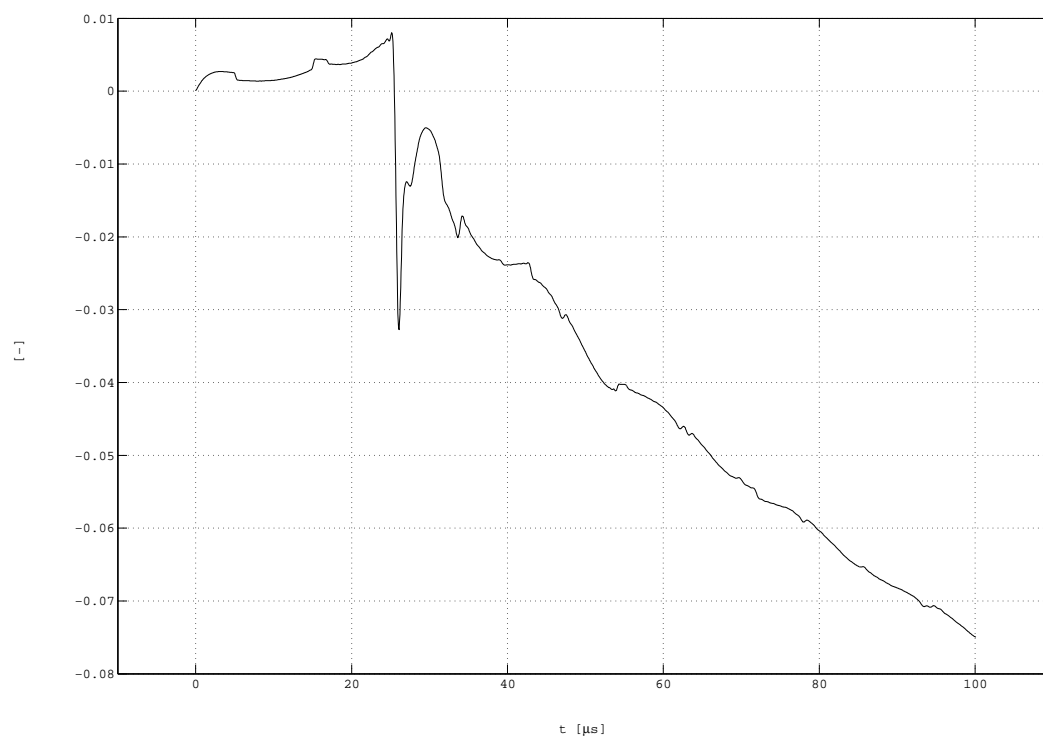
Opačný povrch tloušťka: 5 cm vzdálenost: 5 cm



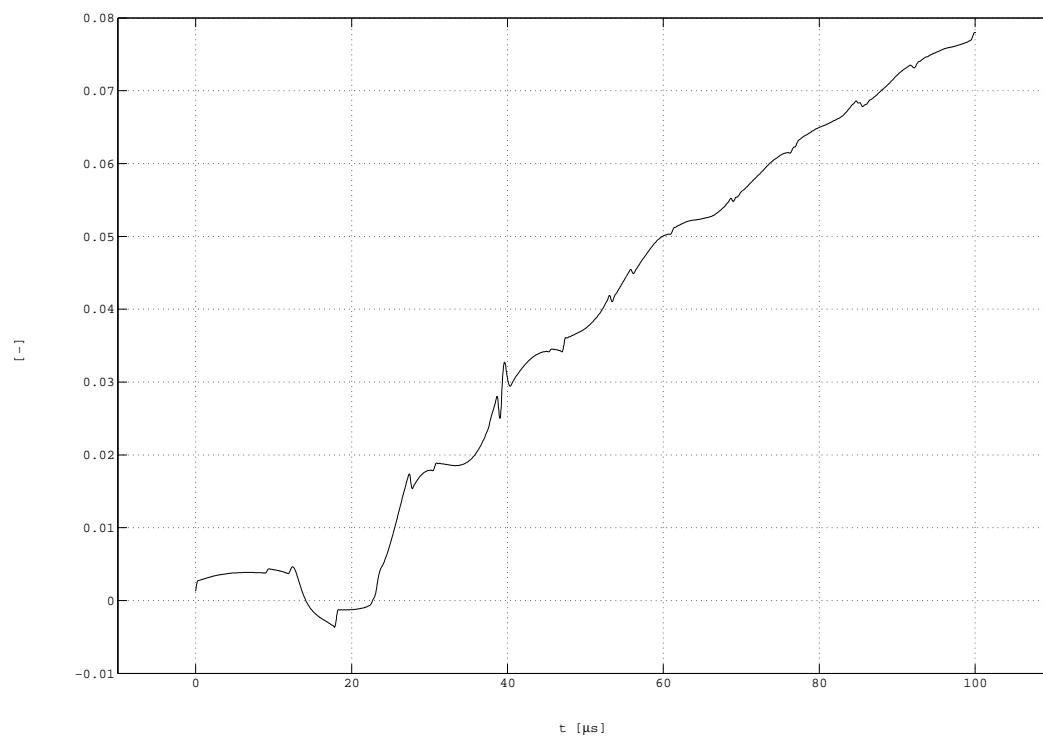
Stejný povrch tloušťka: 5 cm vzdálenost: 10 cm



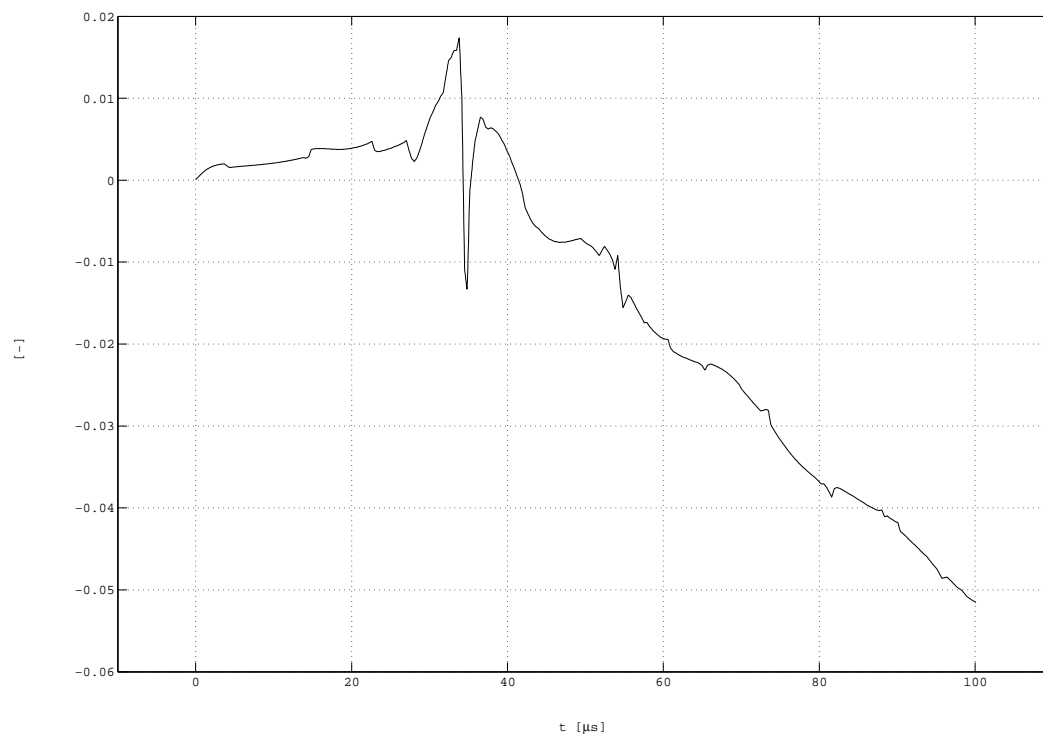
Opačný povrch tloušťka: 5 cm vzdálenost: 10 cm



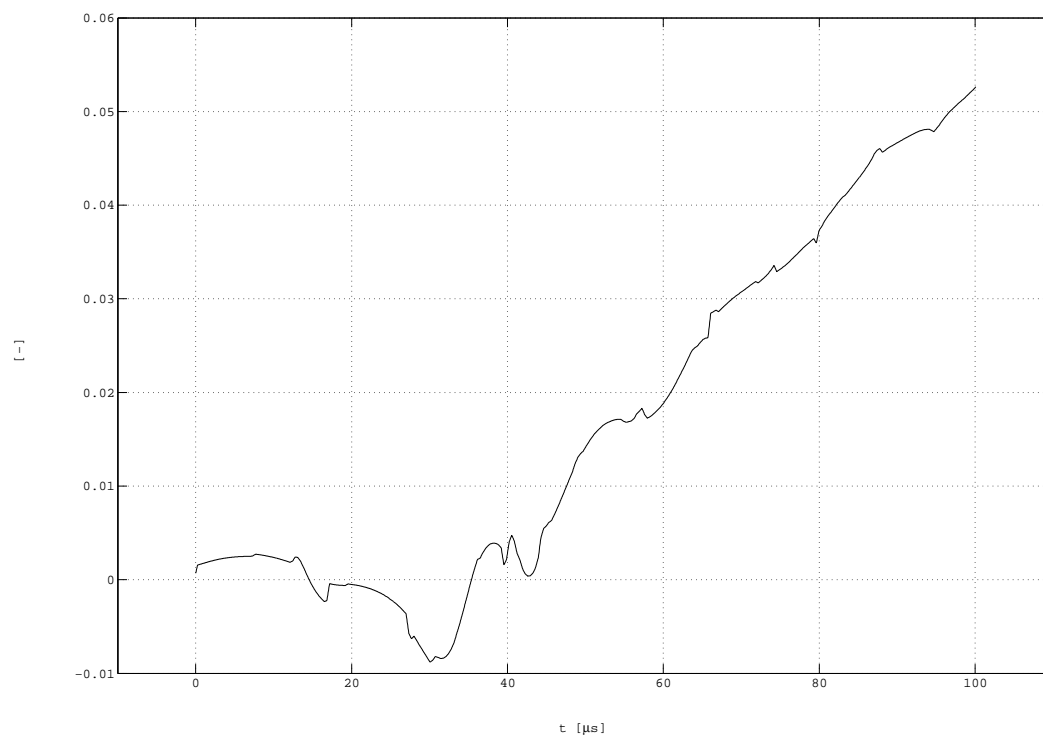
Stejný povrch tloušťka: 5 cm vzdálenost: 15 cm



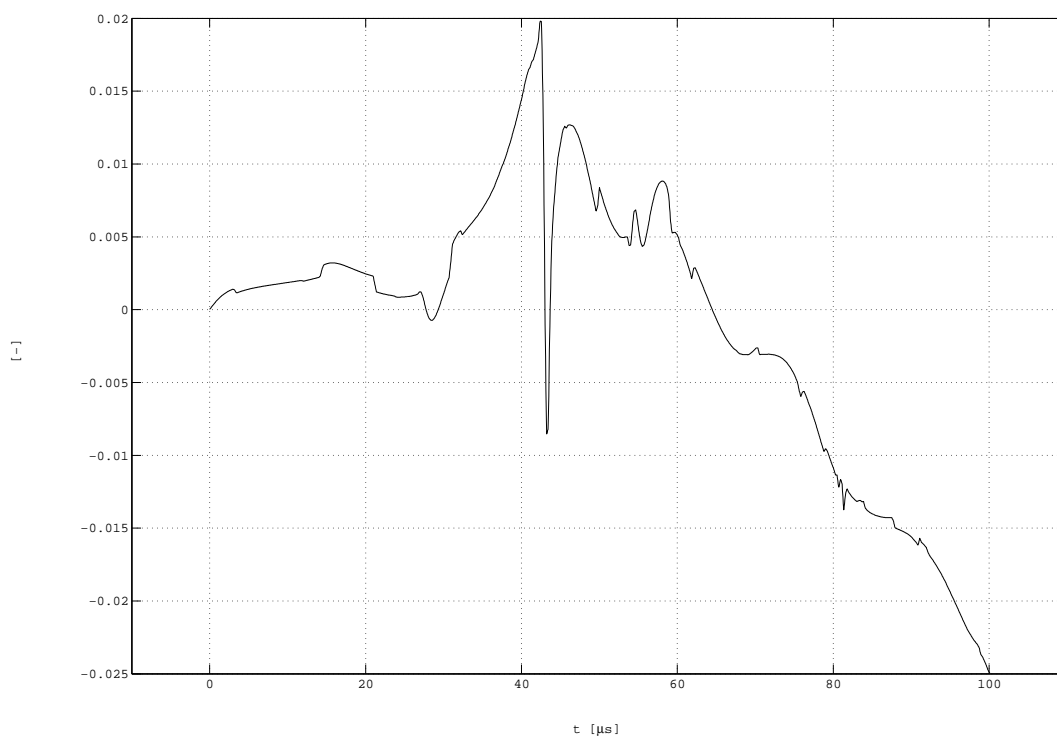
Opačný povrch tloušťka: 5 cm vzdálenost: 15 cm



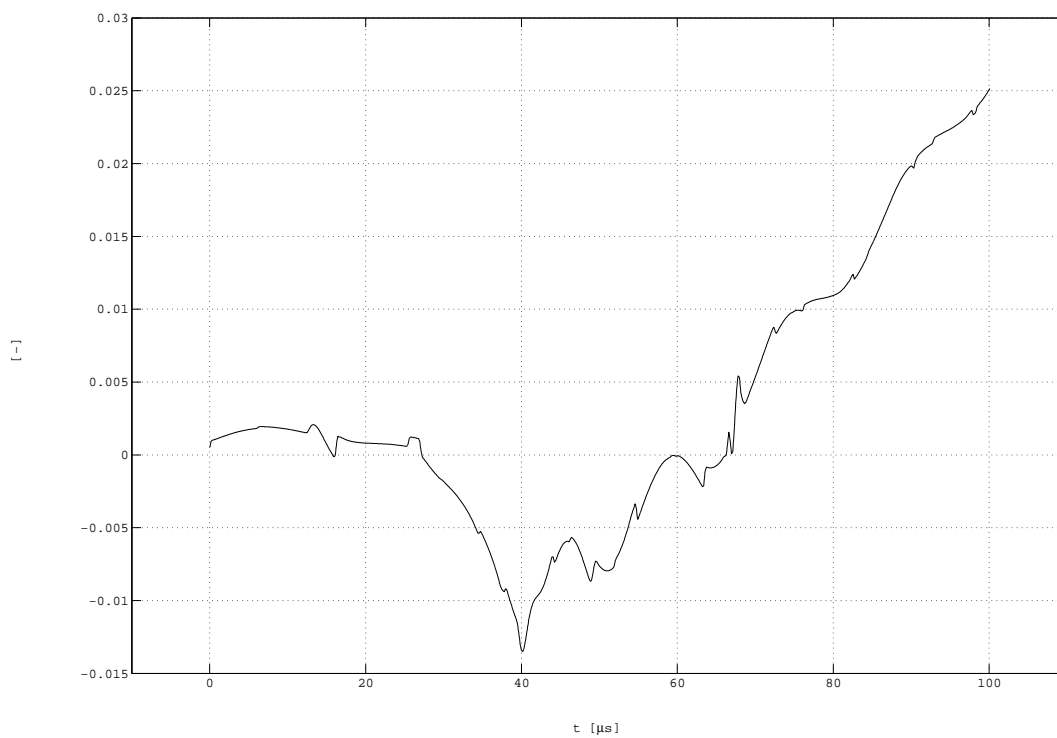
Stejný povrch tloušťka: 5 cm vzdálenost: 20 cm



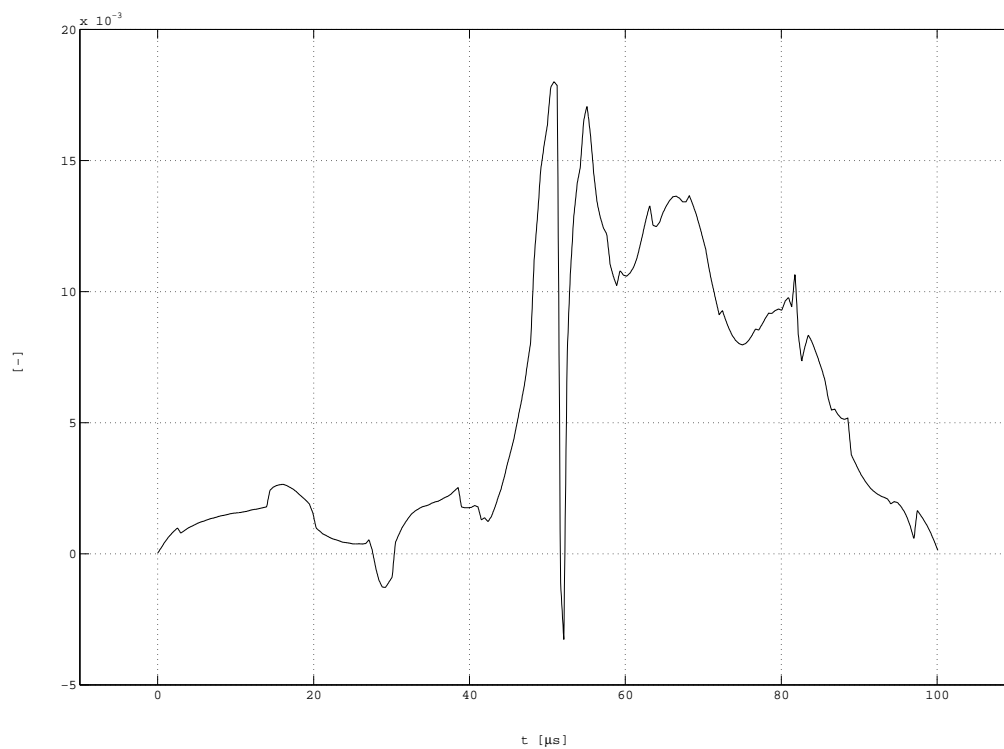
Opačný povrch tloušťka: 5 cm vzdálenost: 20 cm



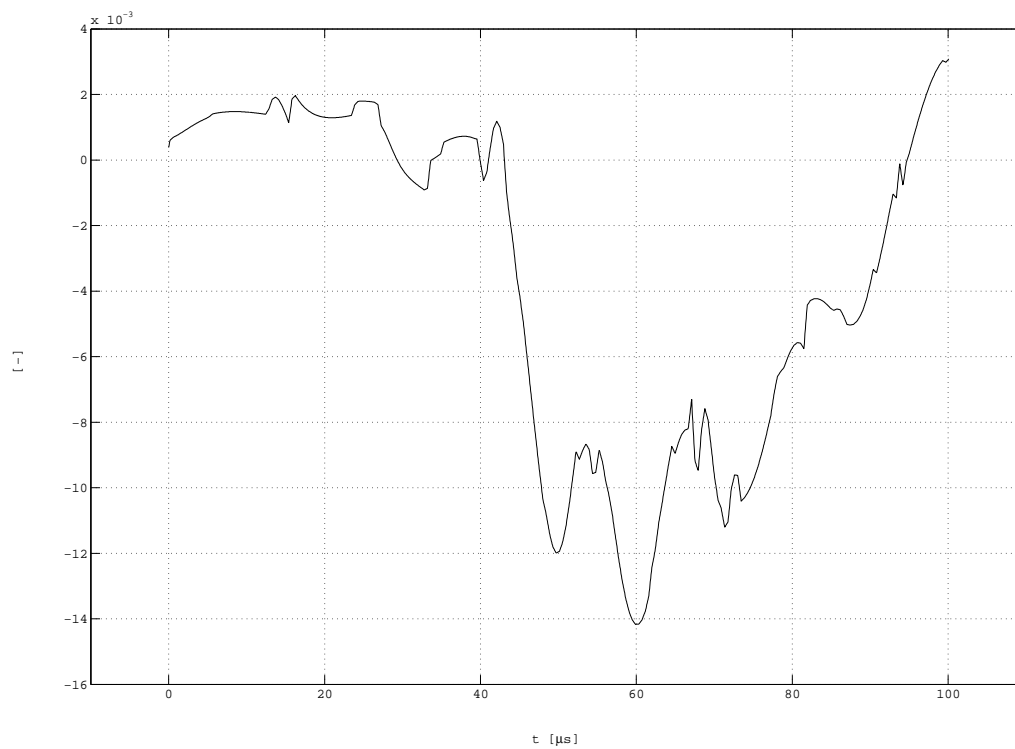
Stejný povrch tloušťka: 5 cm vzdálenost: 25 cm



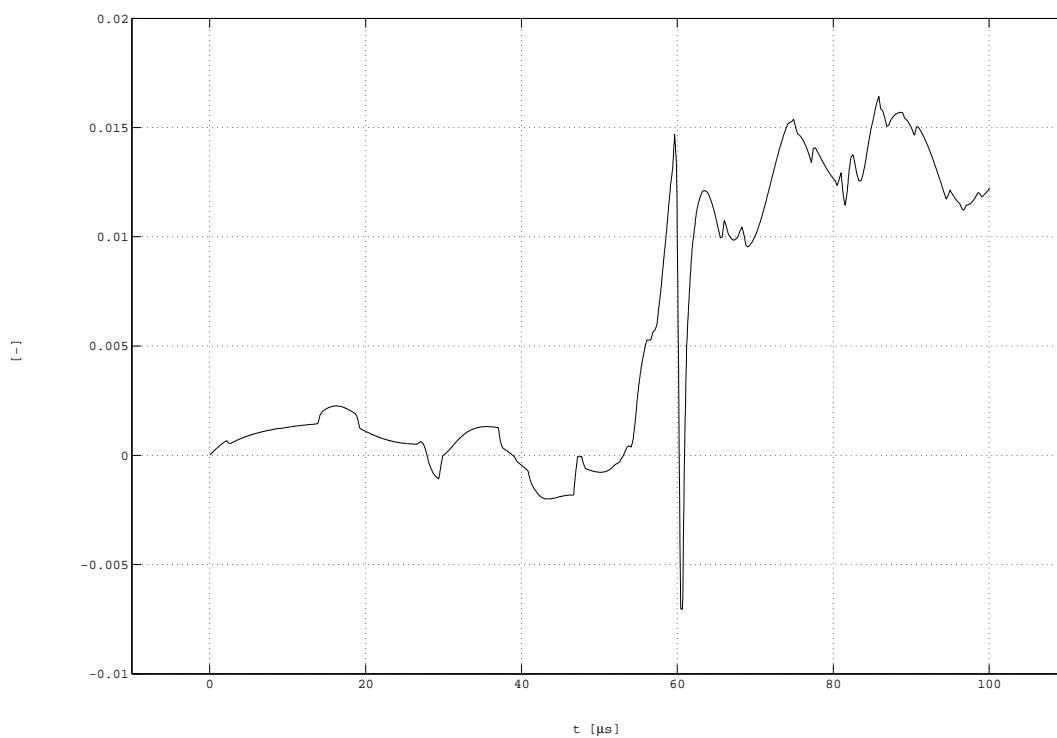
Opačný povrch tloušťka: 5 cm vzdálenost: 25 cm



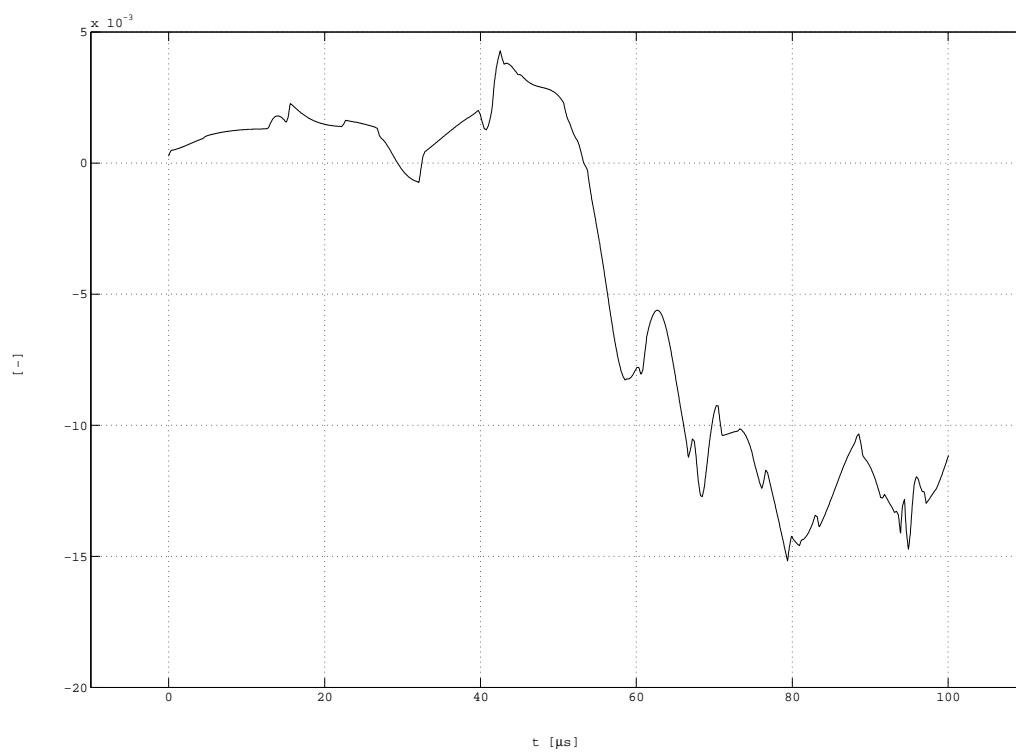
Stejný povrch tloušťka: 5 cm vzdálenost: 30 cm



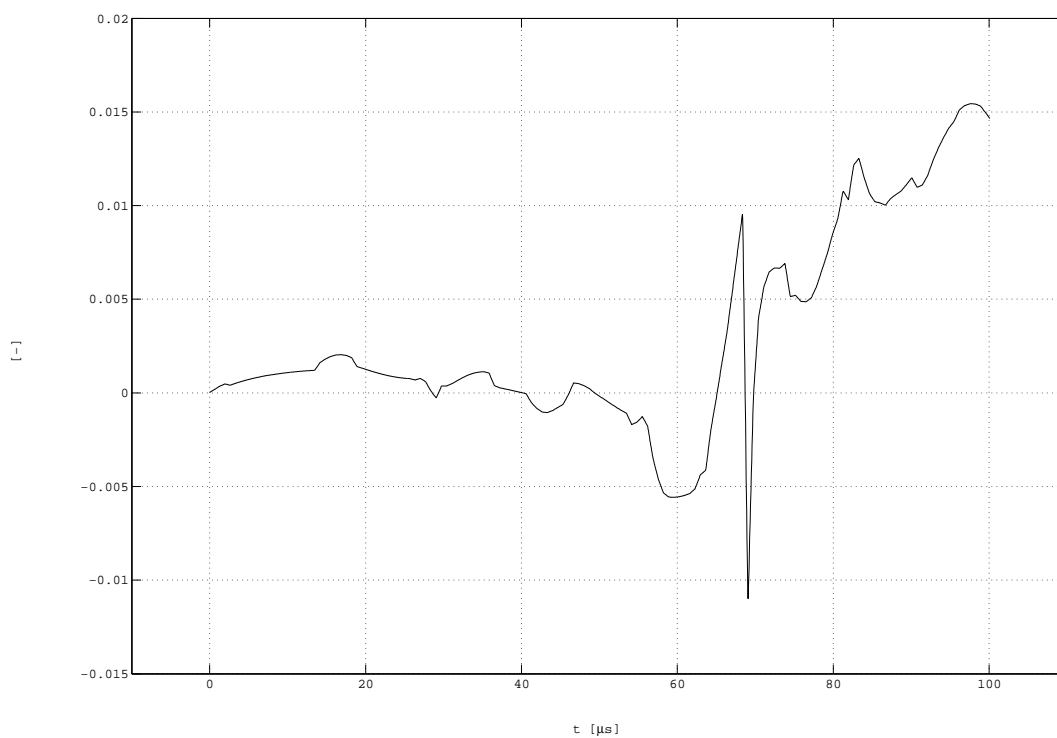
Opačný povrch tloušťka: 5 cm vzdálenost: 30 cm



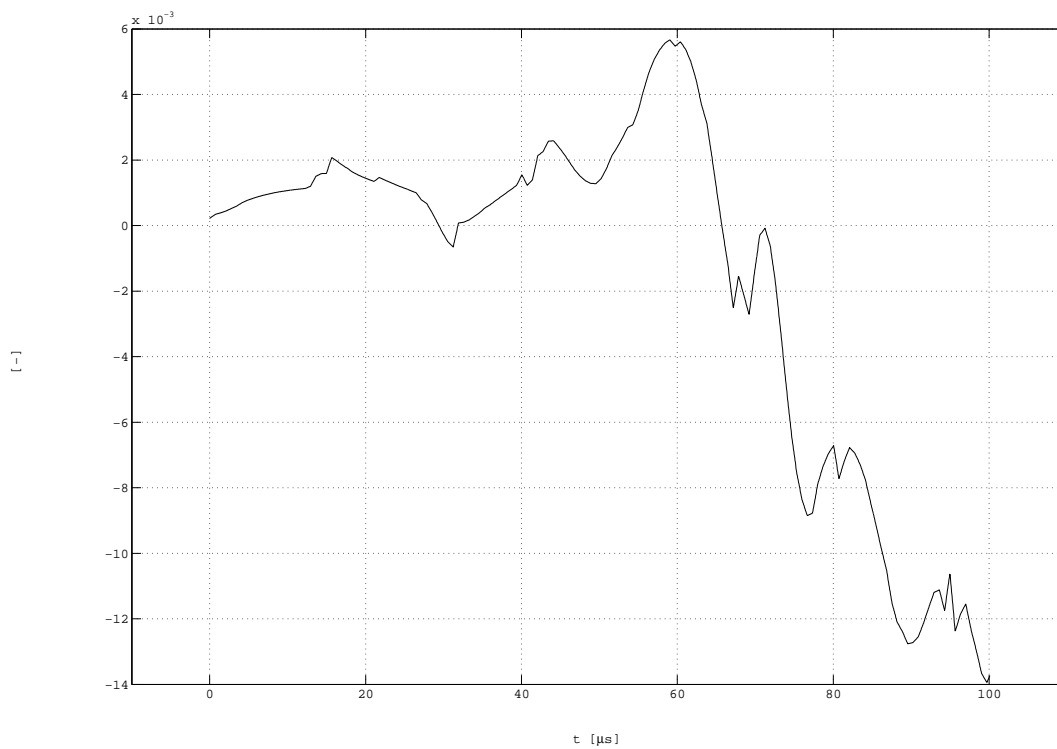
Stejný povrch tloušťka: 5 cm vzdálenost: 35 cm



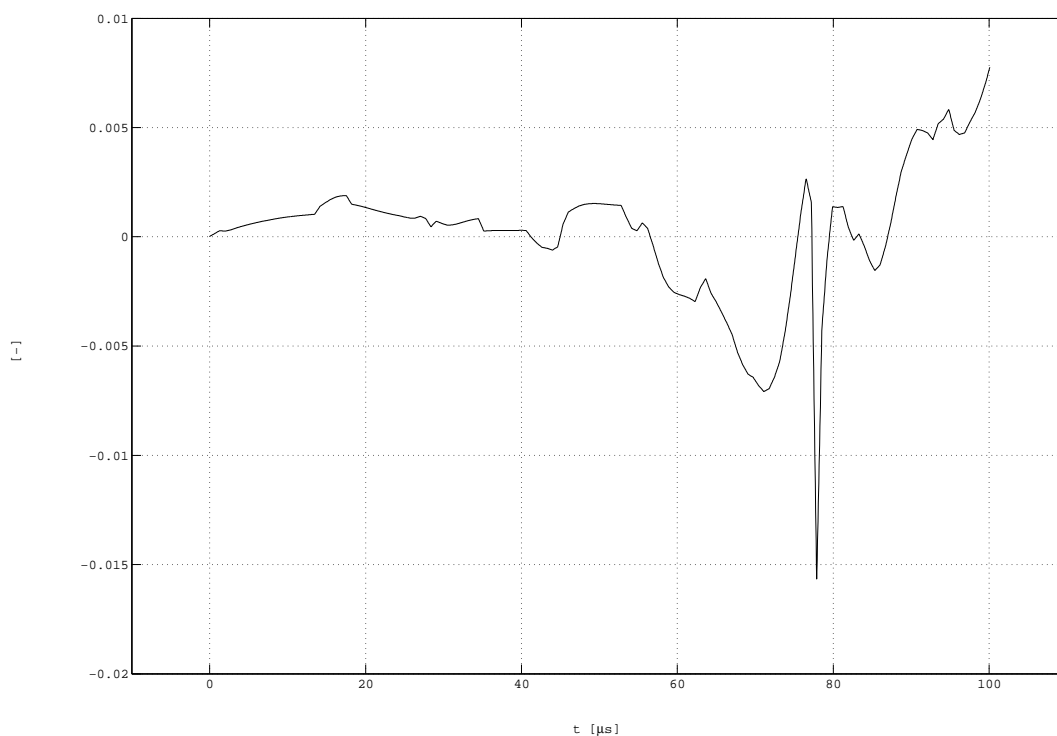
Opačný povrch tloušťka: 5 cm vzdálenost: 35 cm



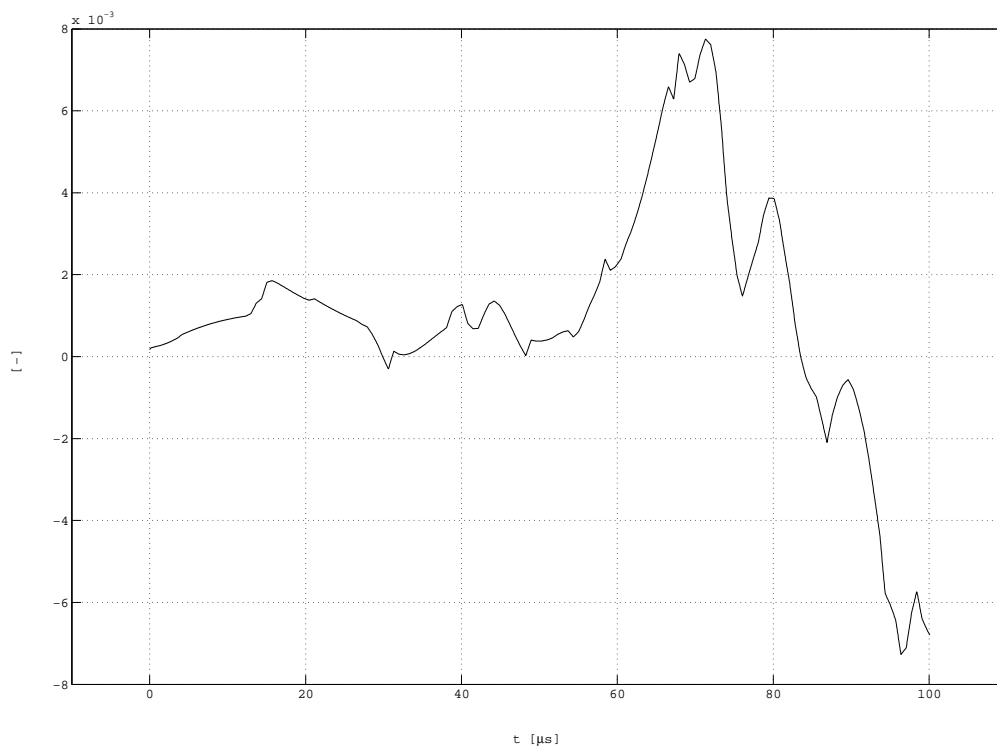
Stejný povrch tloušťka: 5 cm vzdálenost: 40 cm



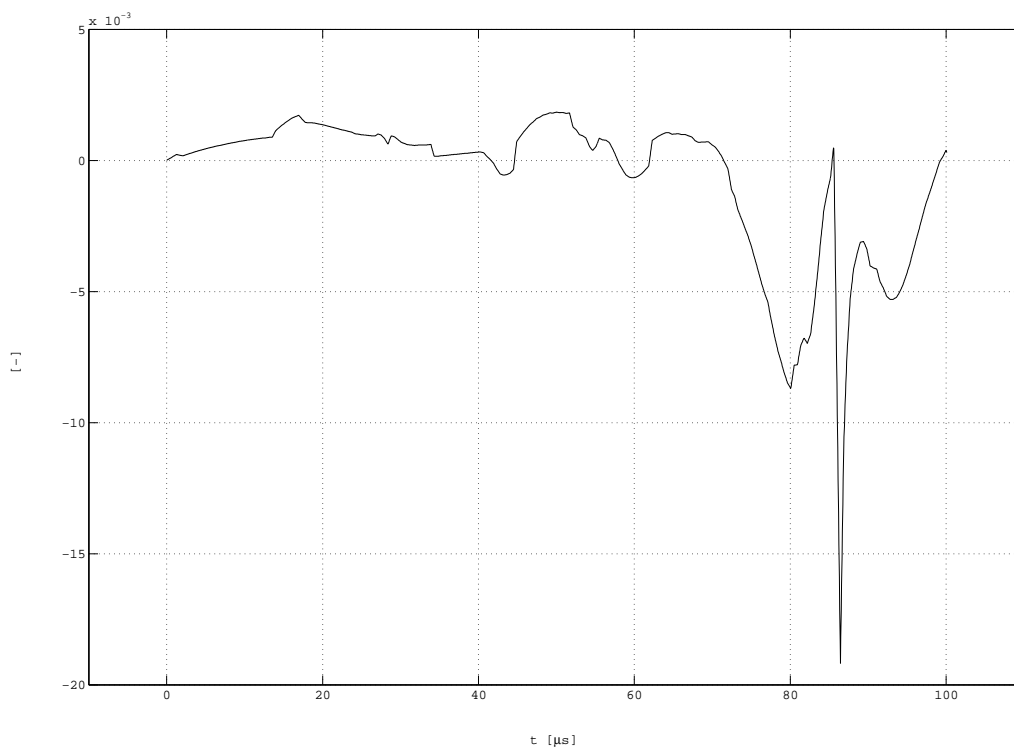
Opačný povrch tloušťka: 5 cm vzdálenost: 40 cm



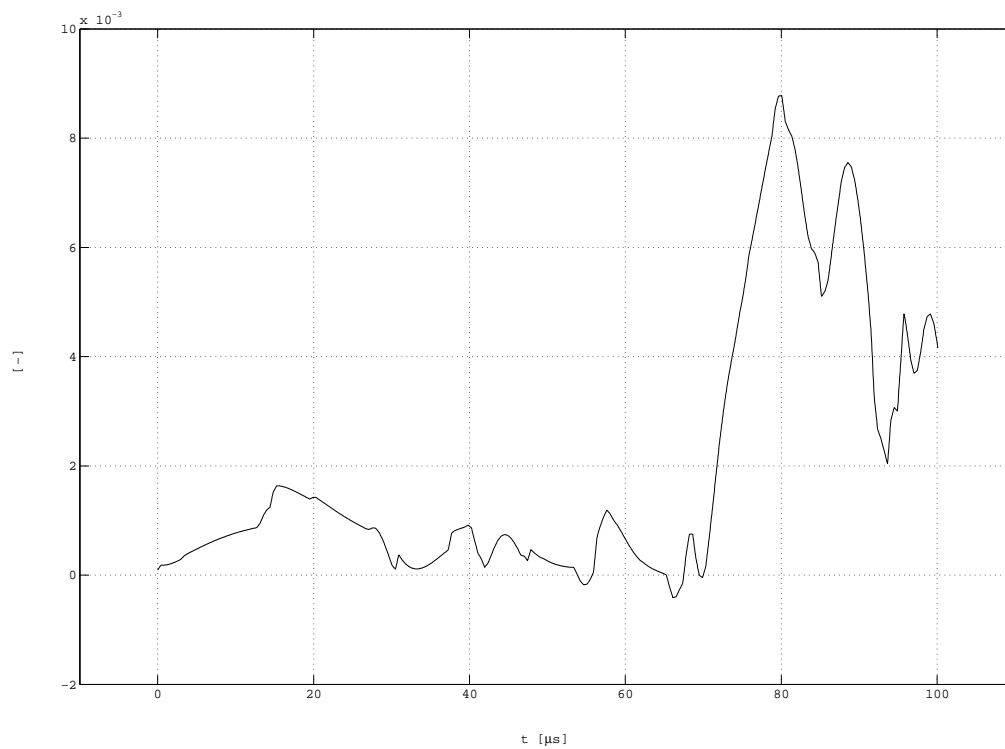
Stejný povrch tloušťka: 5 cm vzdálenost: 45 cm



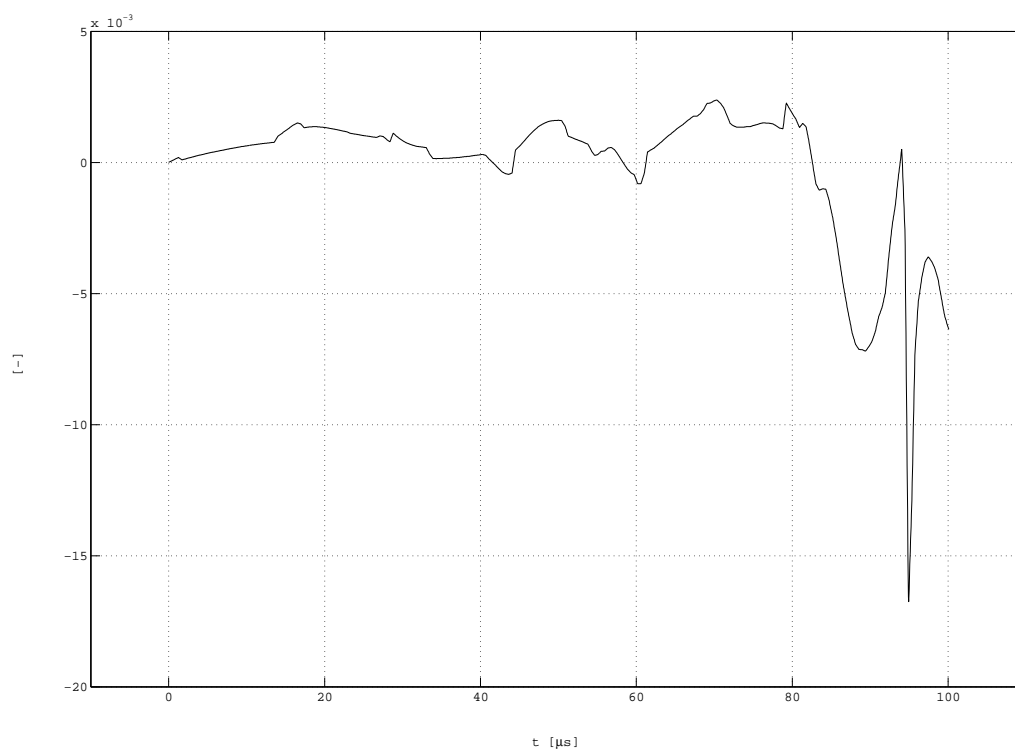
Opačný povrch tloušťka: 5 cm vzdálenost: 45 cm



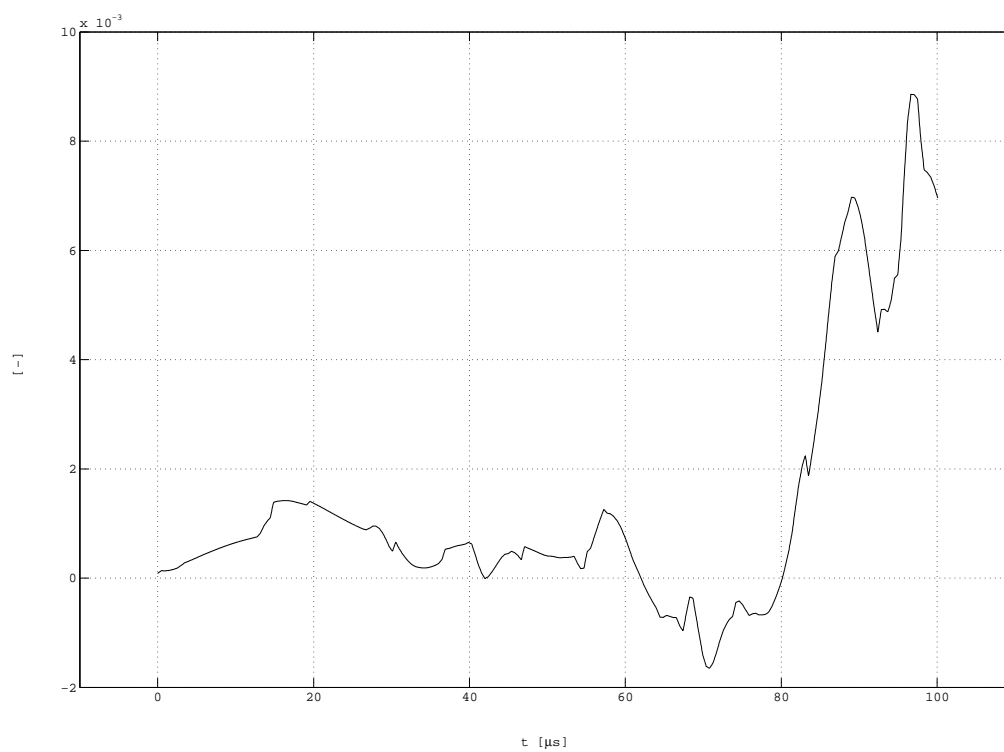
Stejný povrch tloušťka: 5 cm vzdálenost: 50 cm



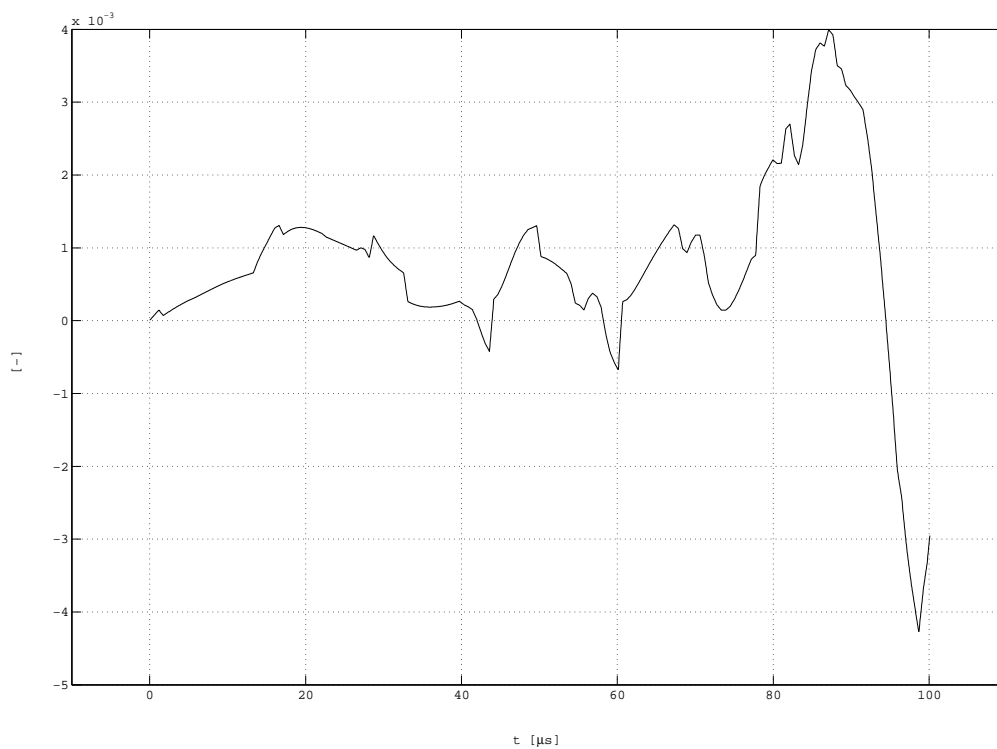
Opačný povrch tloušťka: 5 cm vzdálenost: 50 cm



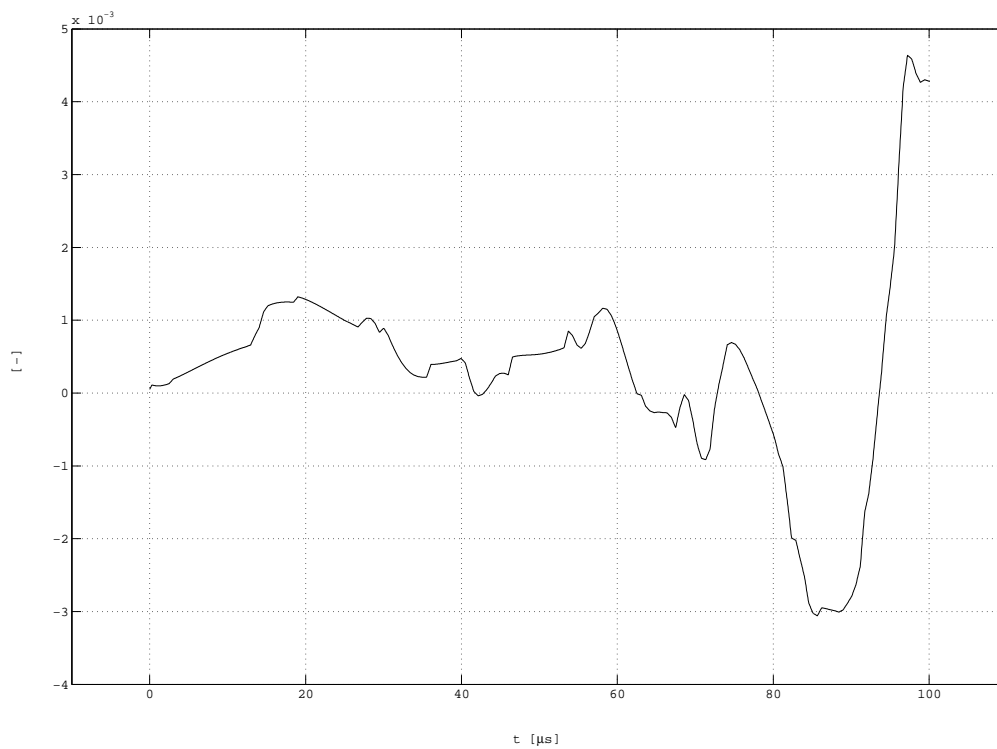
Stejný povrch tloušťka: 5 cm vzdálenost: 55 cm



Opačný povrch tloušťka: 5 cm vzdálenost: 55 cm

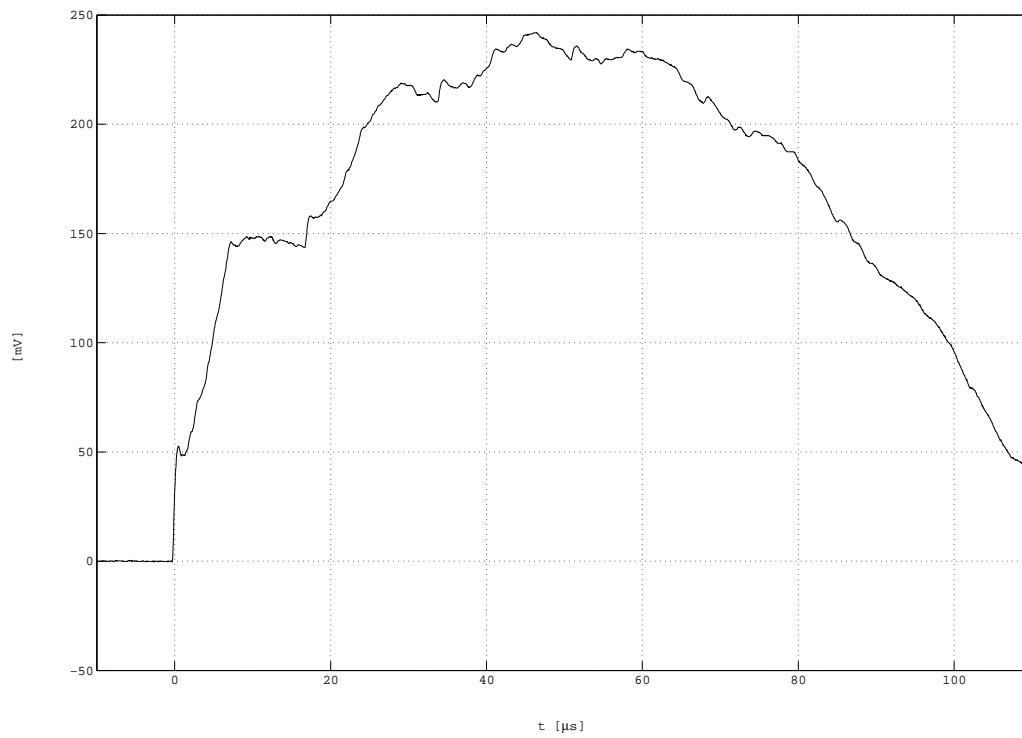


Stejný povrch tloušťka: 5 cm vzdálenost: 60 cm



Opačný povrch tloušťka: 5 cm vzdálenost: 60 cm

DODATEK C: VERTIKÁLNÍ POSUV - MĚŘENÍ - BUZENÍ KAPILÁROU



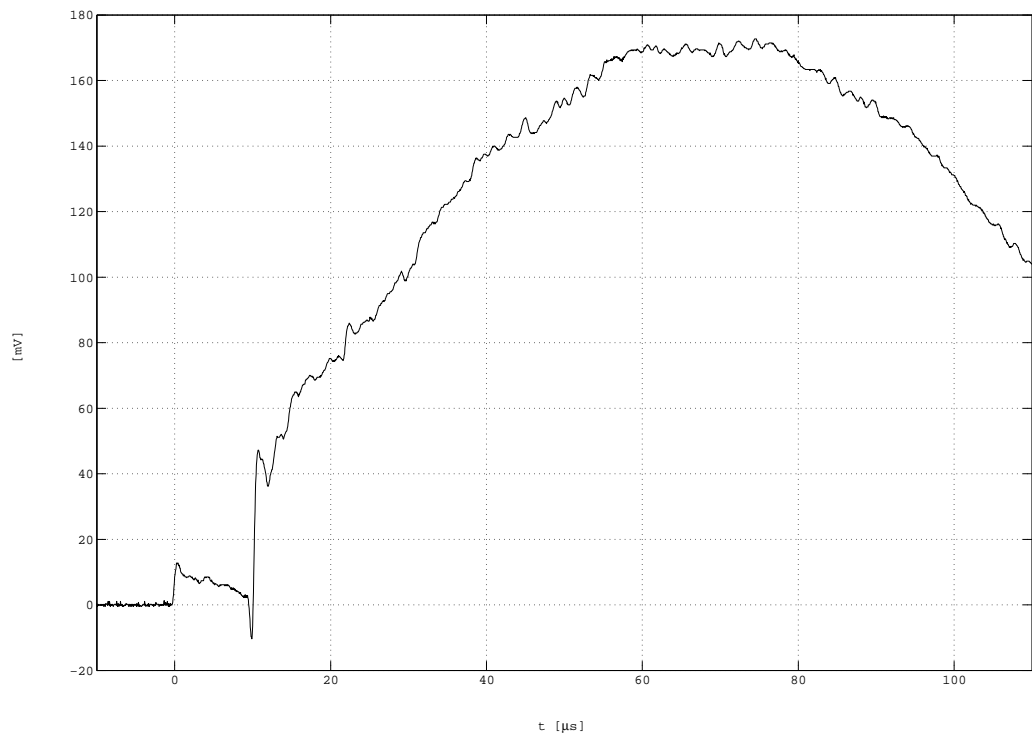
Opačný povrch

tloušťka: 5 cm

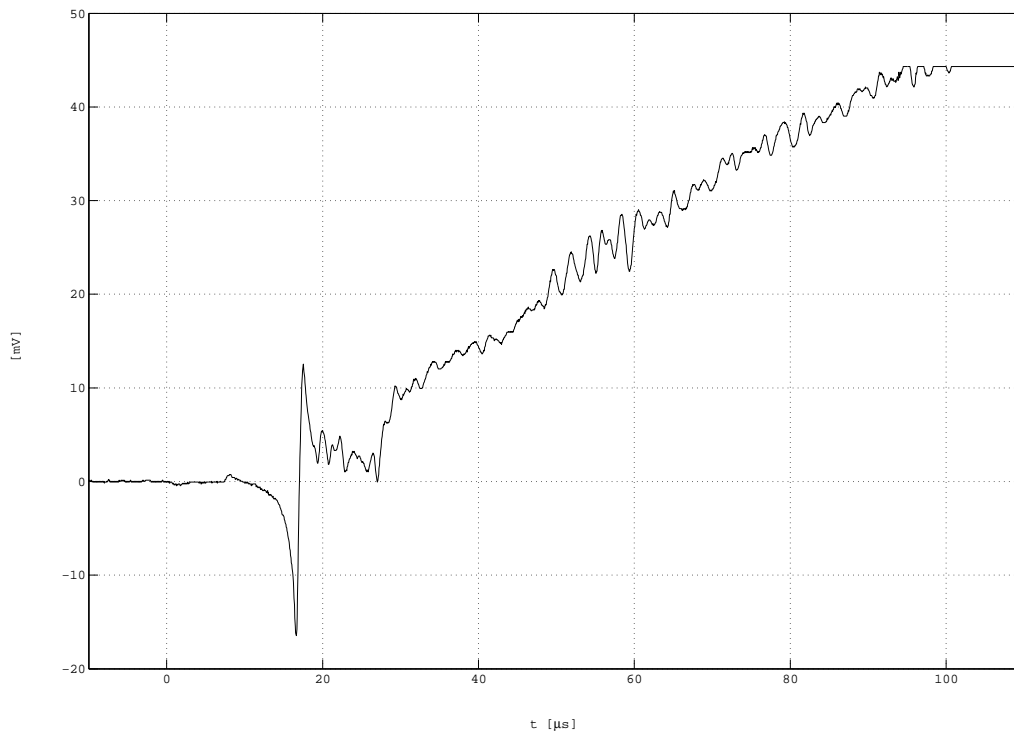
vzdálenost: 0 cm

Neměřeno – velké rozměry snímače

Stejný povrch tloušťka: 5 cm vzdálenost: 5 cm



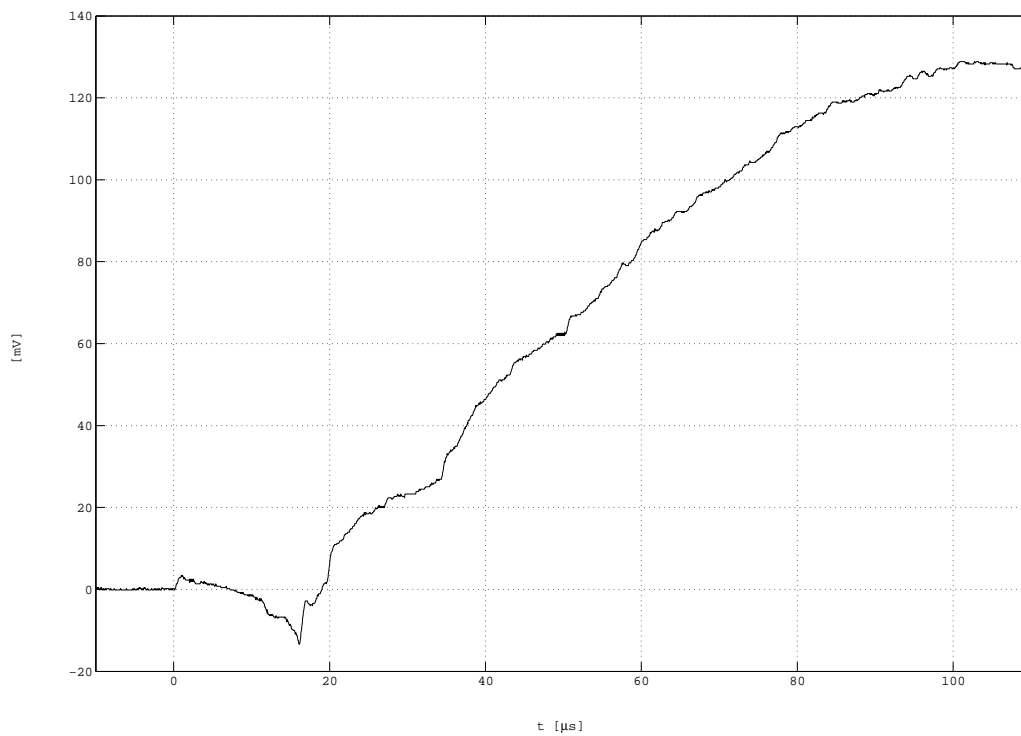
Opačný povrch tloušťka: 5 cm vzdálenost: 5 cm



Stejný povrch

tloušťka: 5 cm

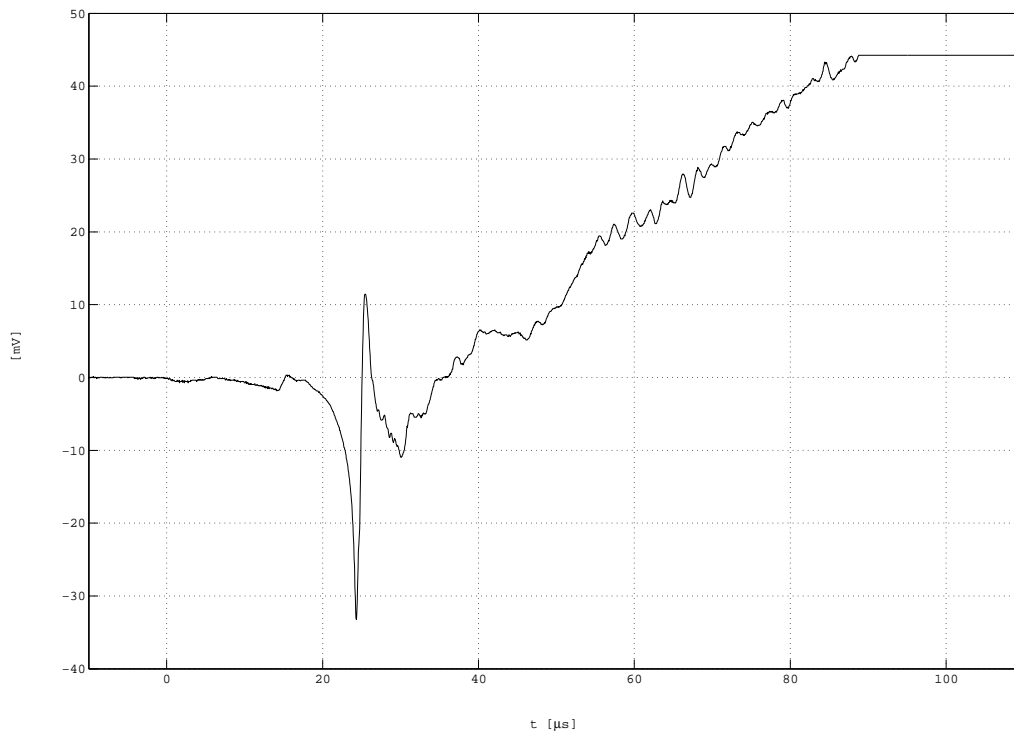
vzdálenost: 10 cm



Opačný povrch

tloušťka: 5 cm

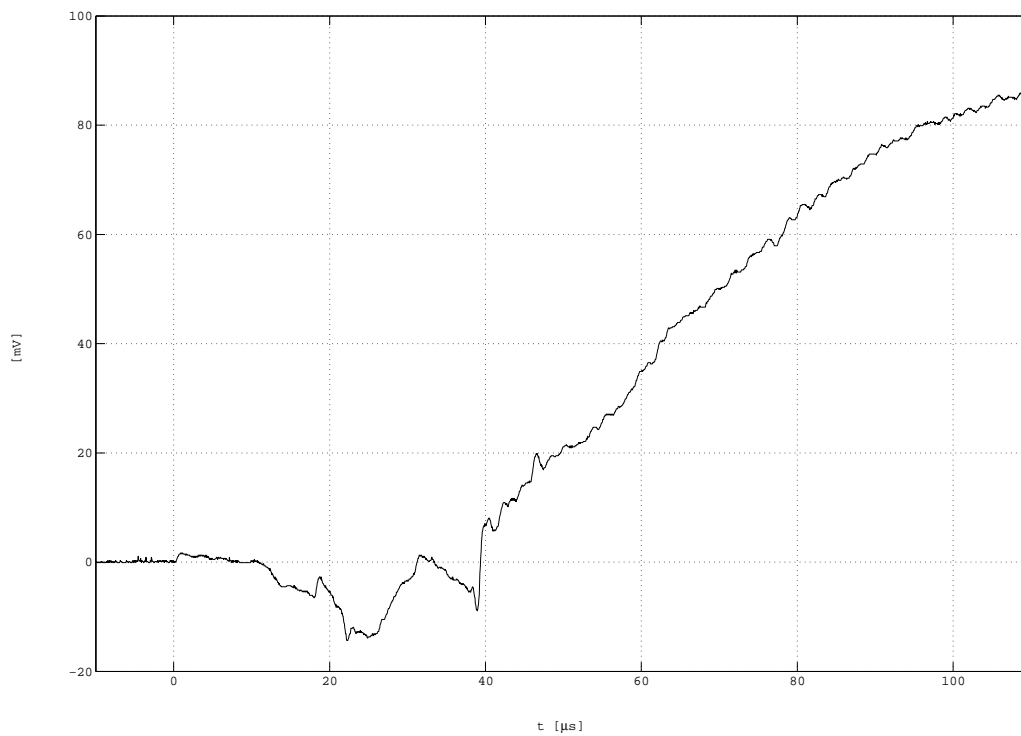
vzdálenost: 10 cm



Stejný povrch

tloušťka: 5 cm

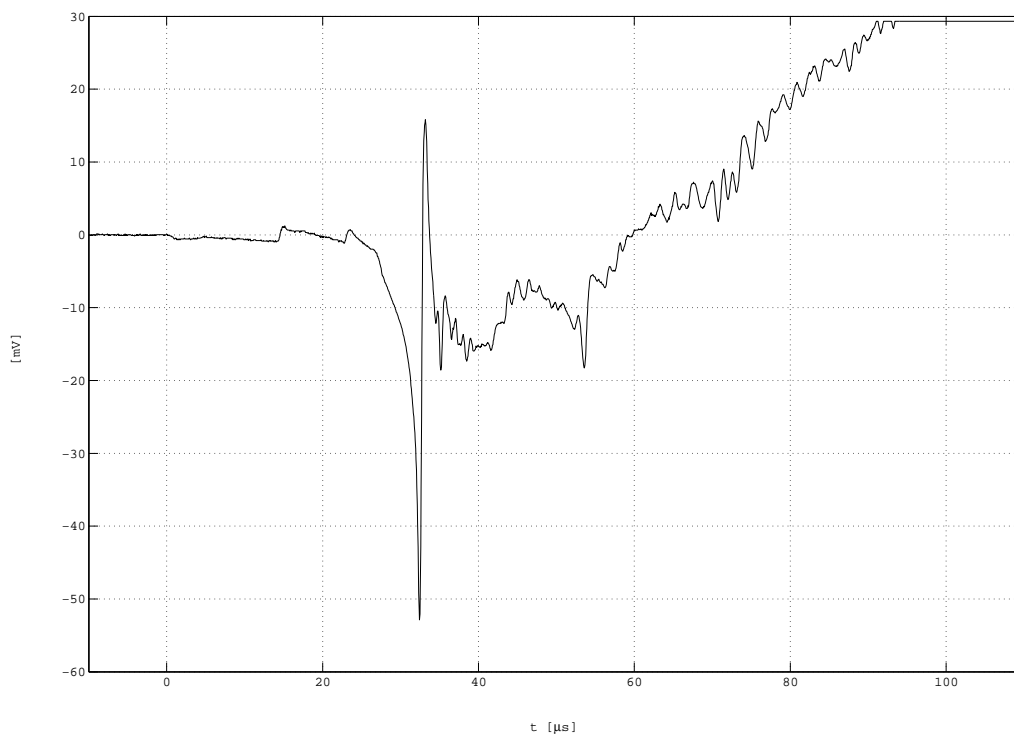
vzdálenost: 15 cm



Opačný povrch

tloušťka: 5 cm

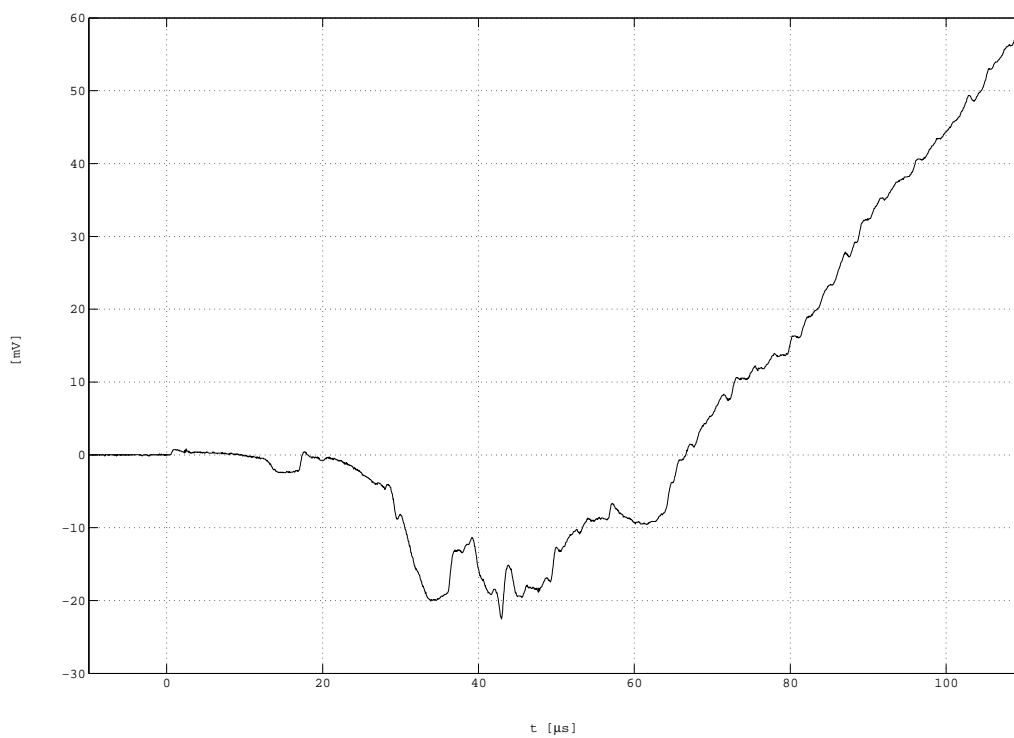
vzdálenost: 15 cm



Stejný povrch

tloušťka: 5 cm

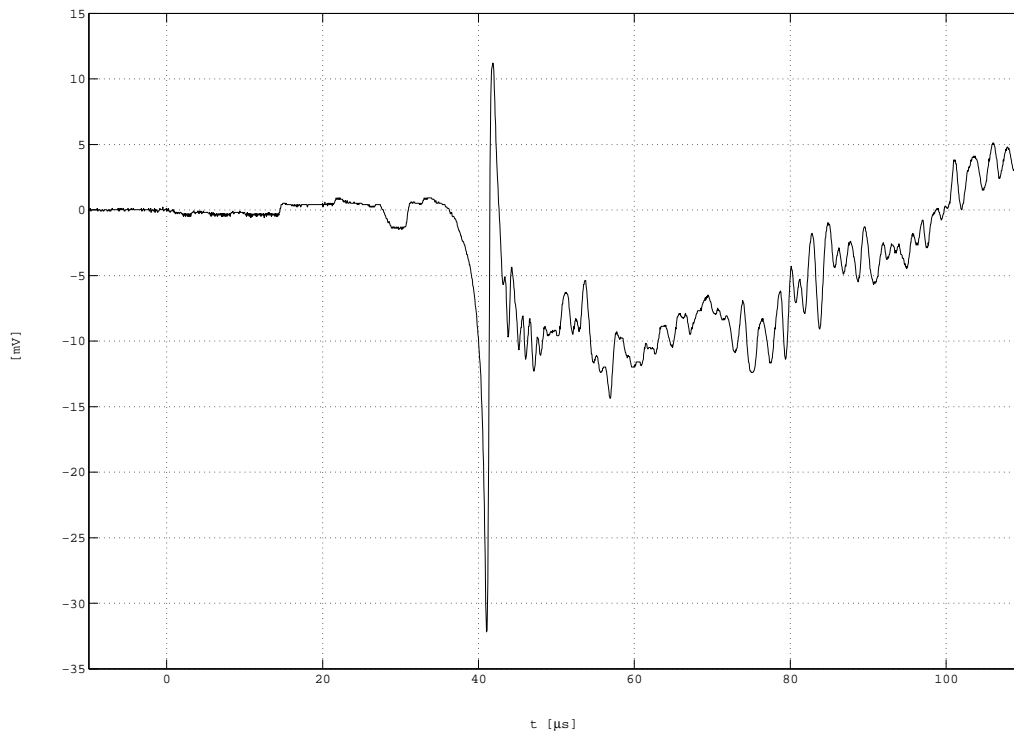
vzdálenost: 20 cm



Opačný povrch

tloušťka: 5 cm

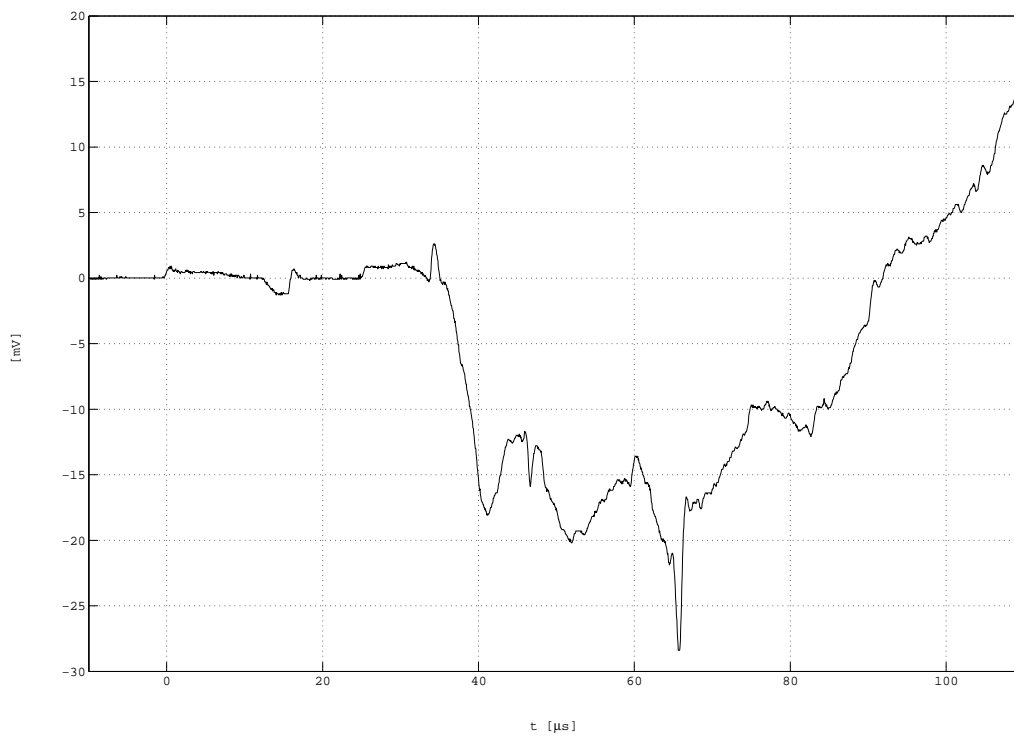
vzdálenost: 20 cm



Stejný povrch

tloušťka: 5 cm

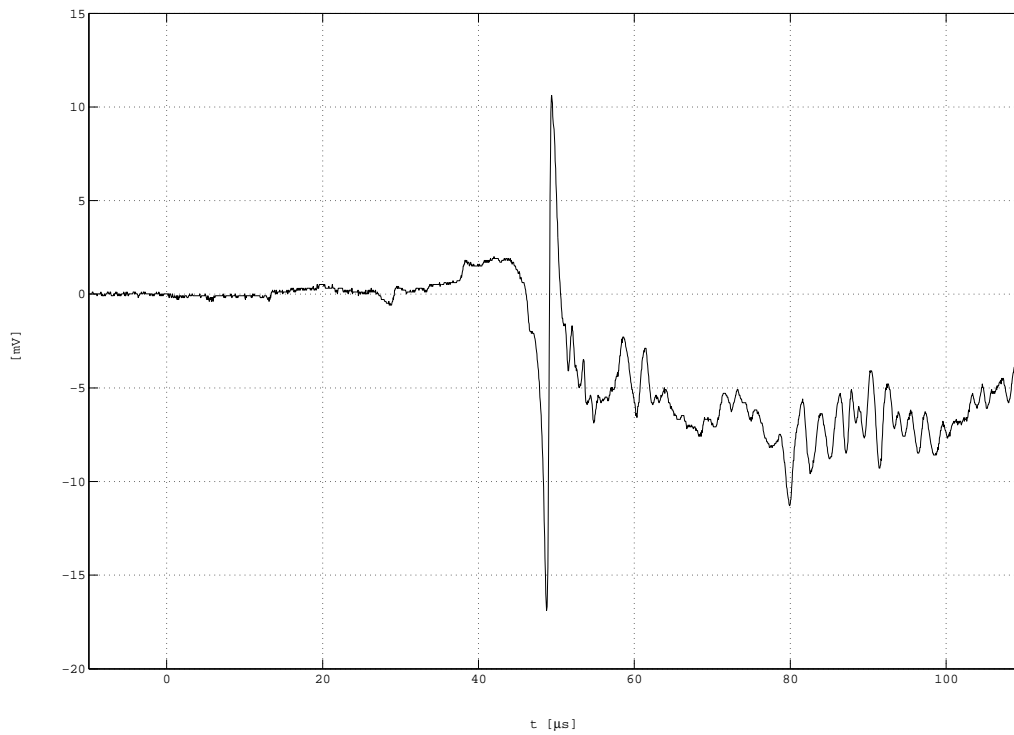
vzdálenost: 25 cm



Opačný povrch

tloušťka: 5 cm

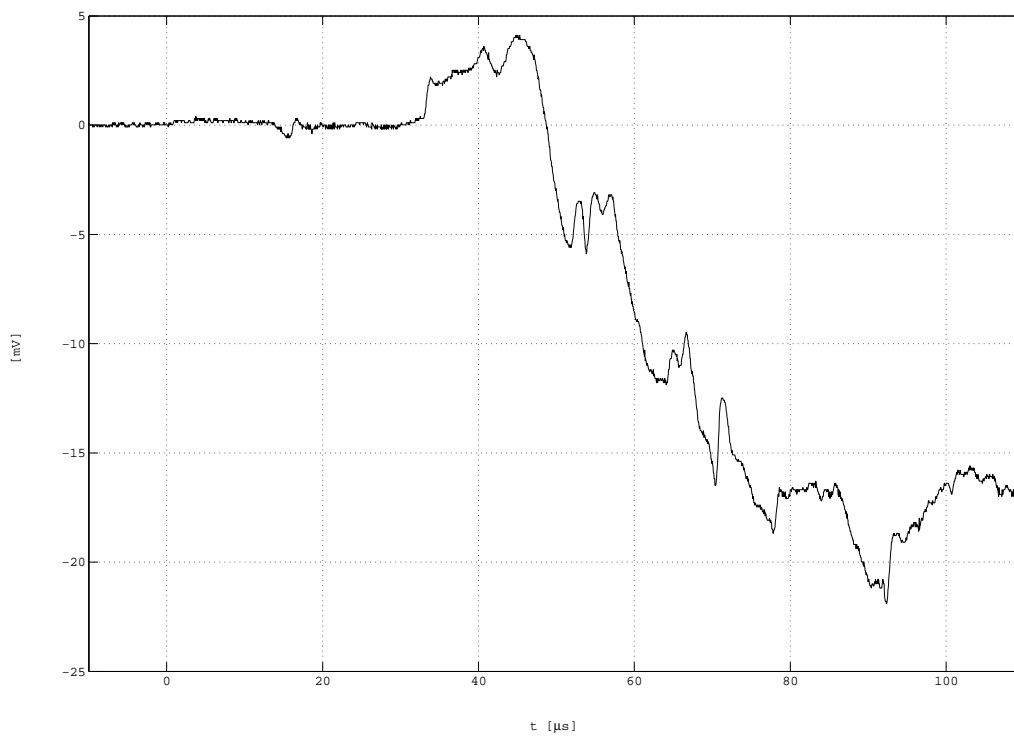
vzdálenost: 25 cm



Stejný povrch

tloušťka: 5 cm

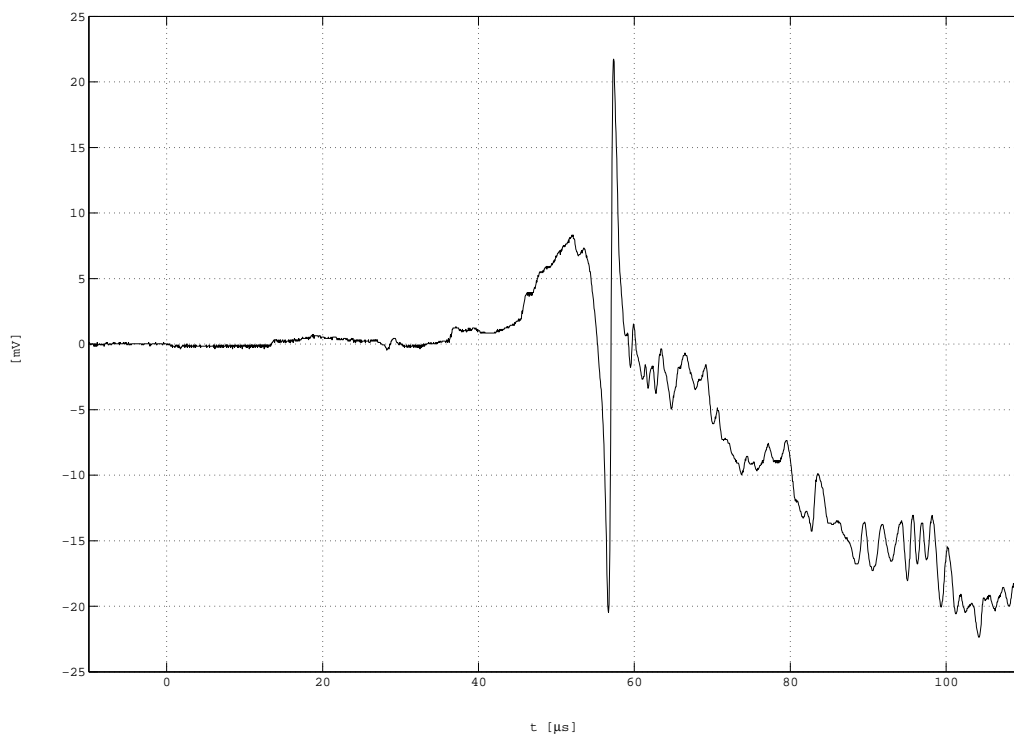
vzdálenost: 30 cm



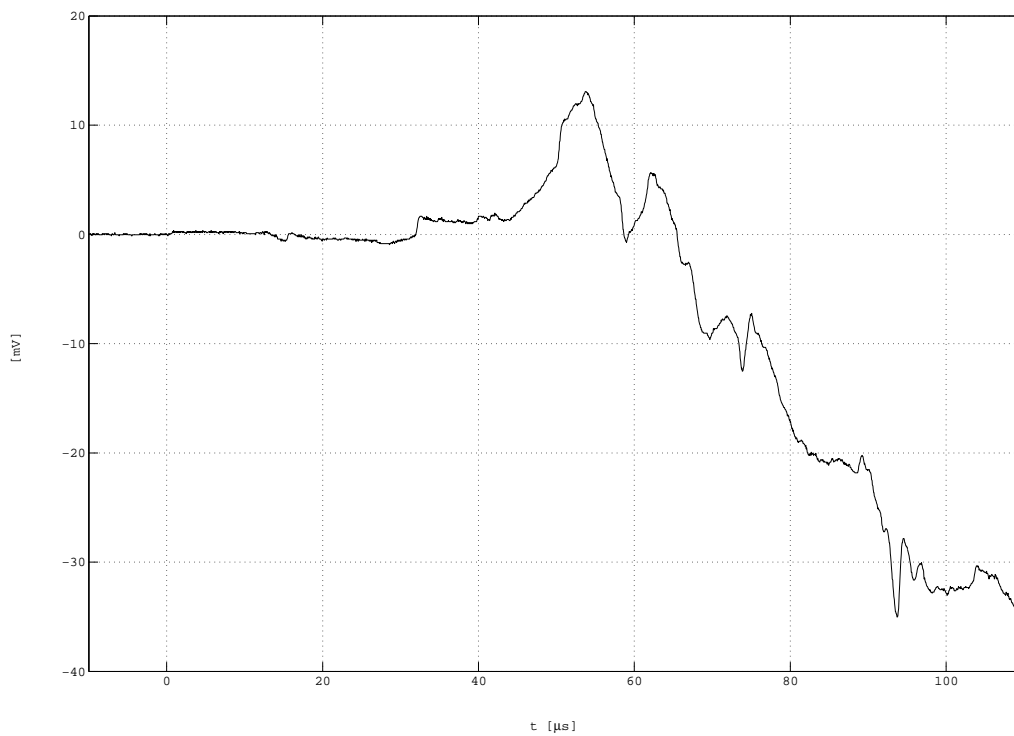
Opačný povrch

tloušťka: 5 cm

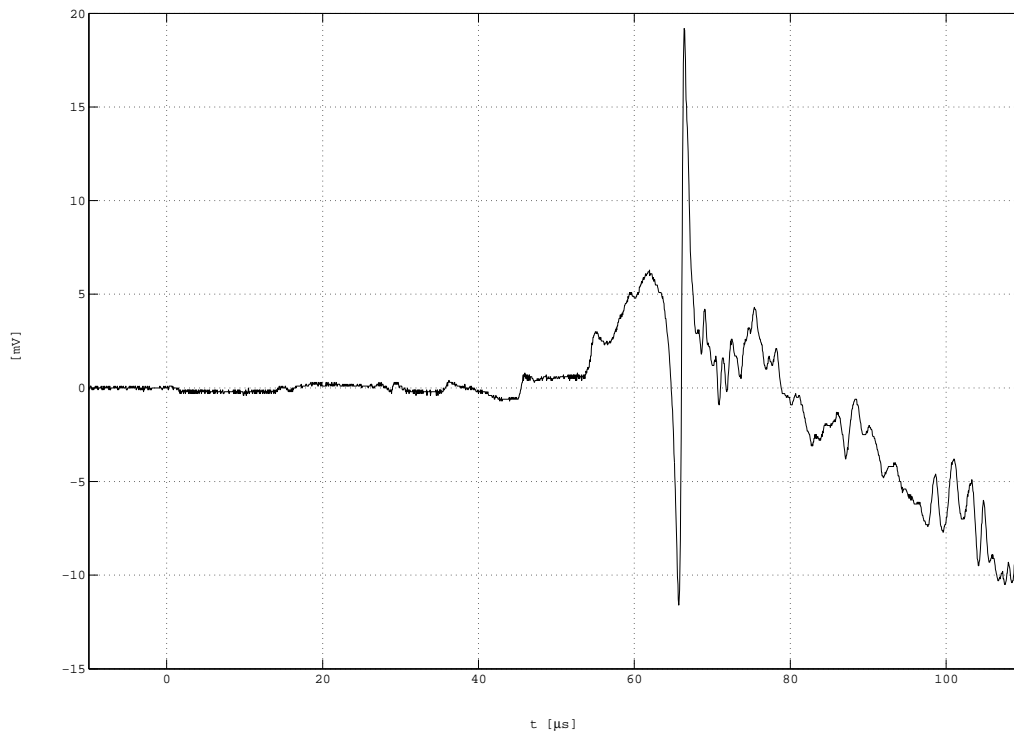
vzdálenost: 30 cm



Stejný povrch tloušťka: 5 cm vzdálenost: 35 cm



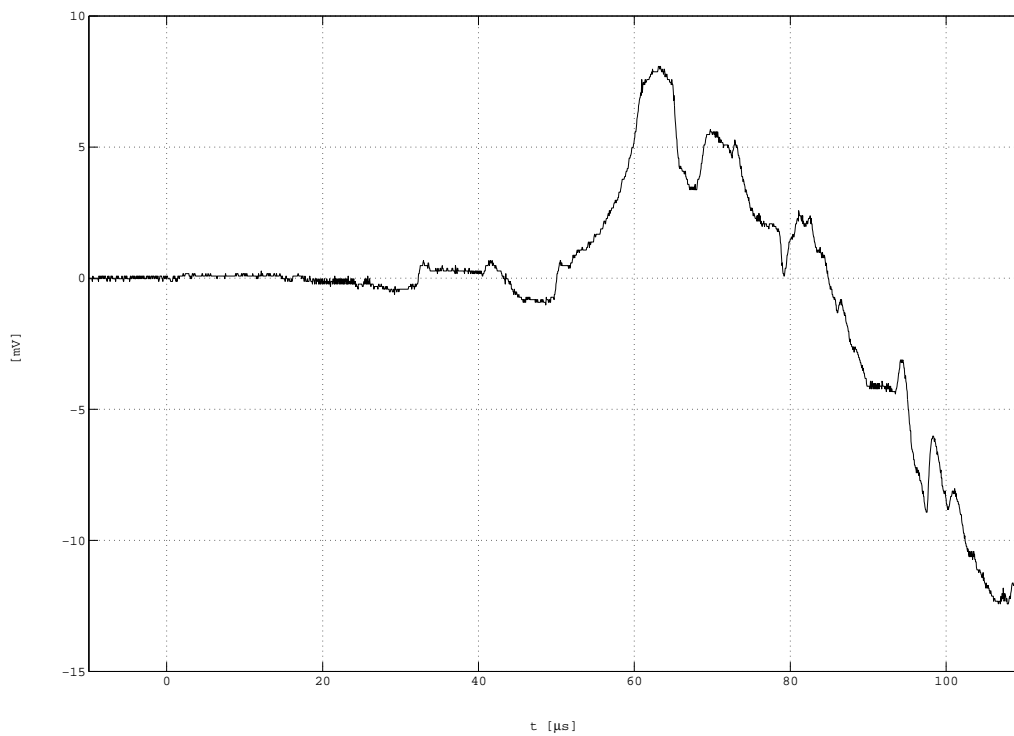
Opačný povrch tloušťka: 5 cm vzdálenost: 35 cm



Stejný povrch

tloušťka: 5 cm

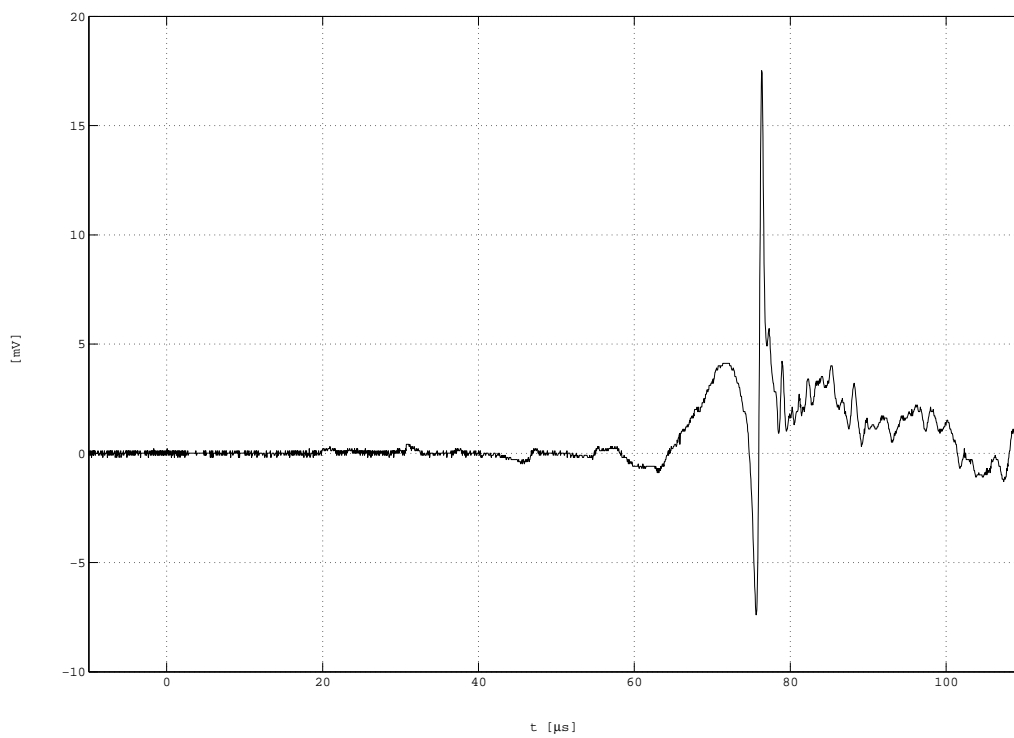
vzdálenost: 40 cm



Opačný povrch

tloušťka: 5 cm

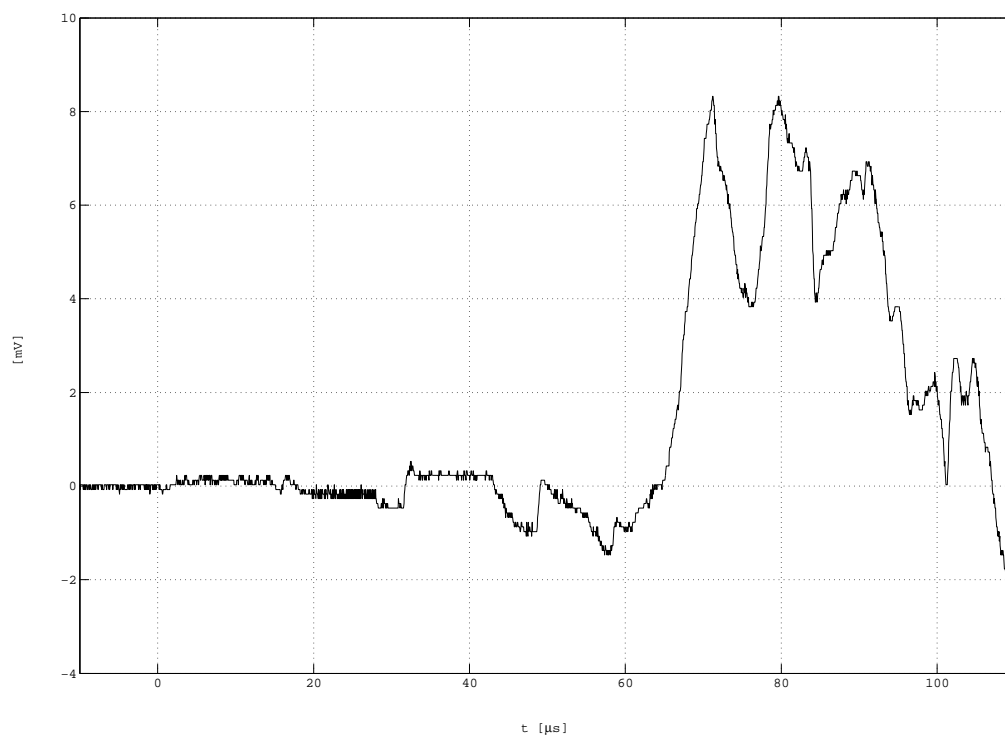
vzdálenost: 40 cm



Stejný povrch

tloušťka: 5 cm

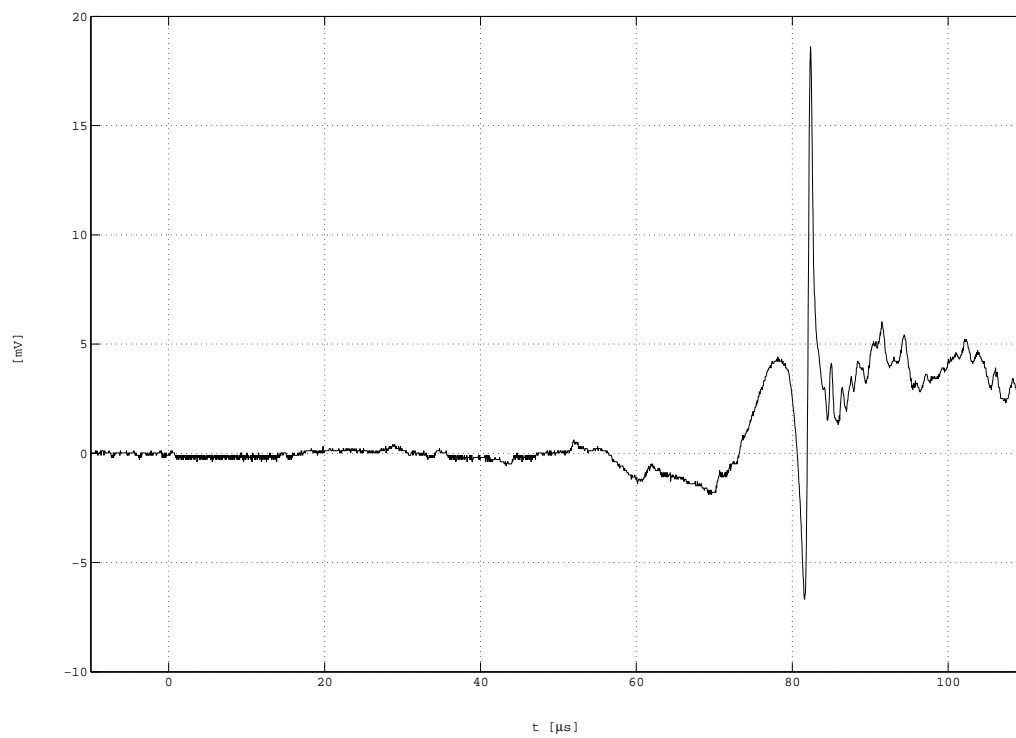
vzdálenost: 45 cm



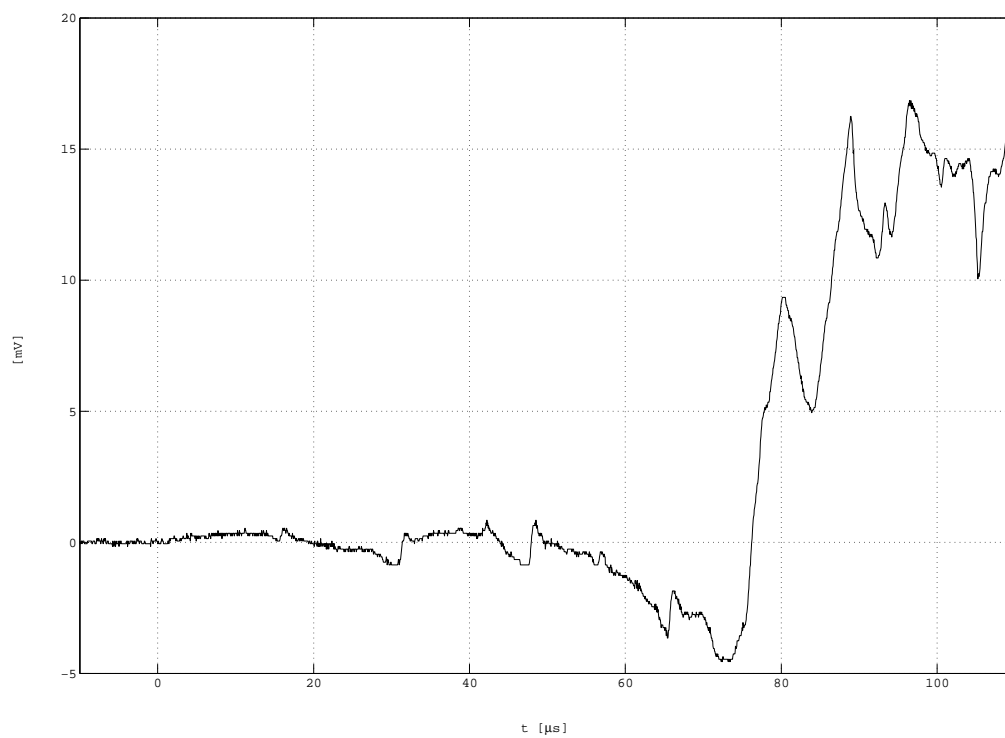
Opačný povrch

tloušťka: 5 cm

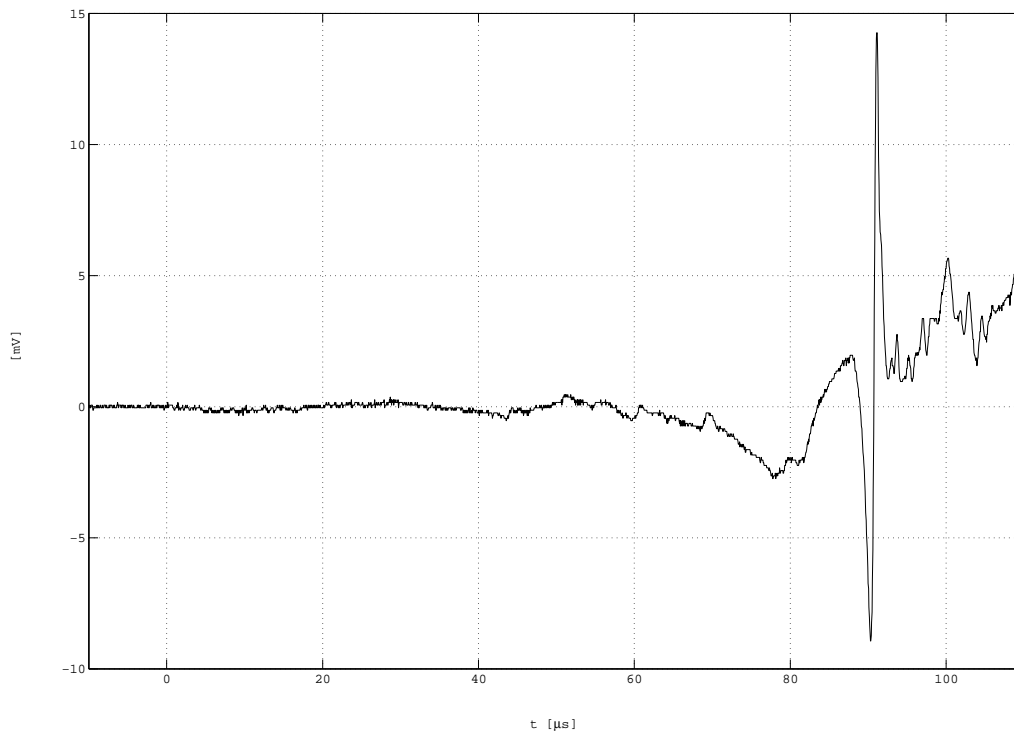
vzdálenost: 45 cm



Stejný povrch tloušťka: 5 cm vzdálenost: 50 cm



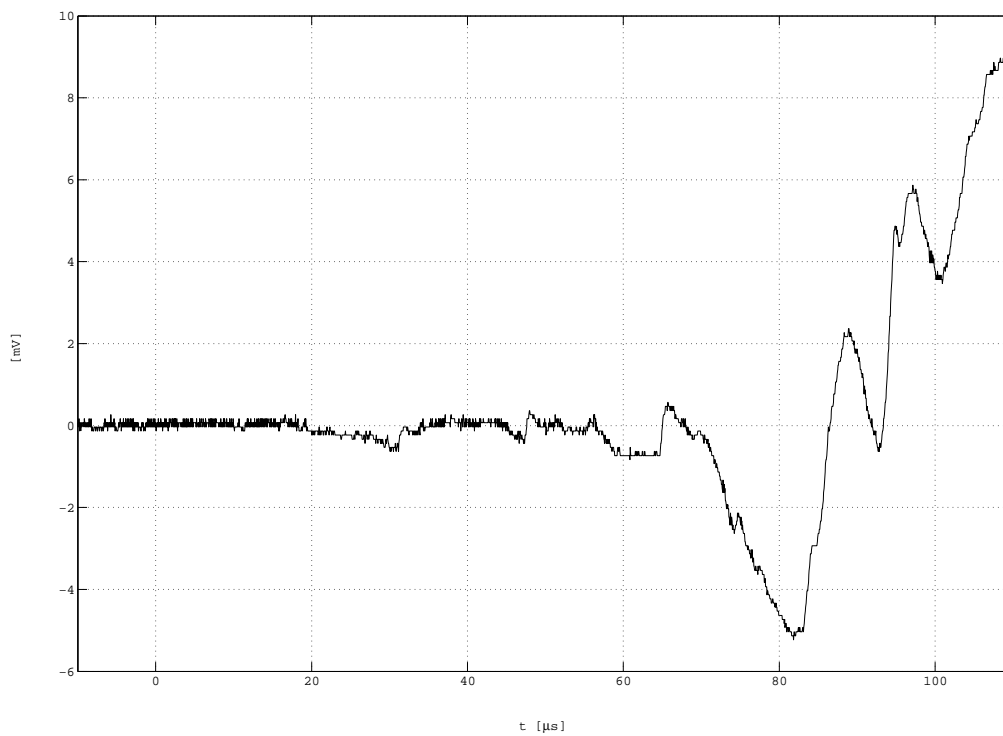
Opačný povrch tloušťka: 5 cm vzdálenost: 50 cm



Stejný povrch

tloušťka: 5 cm

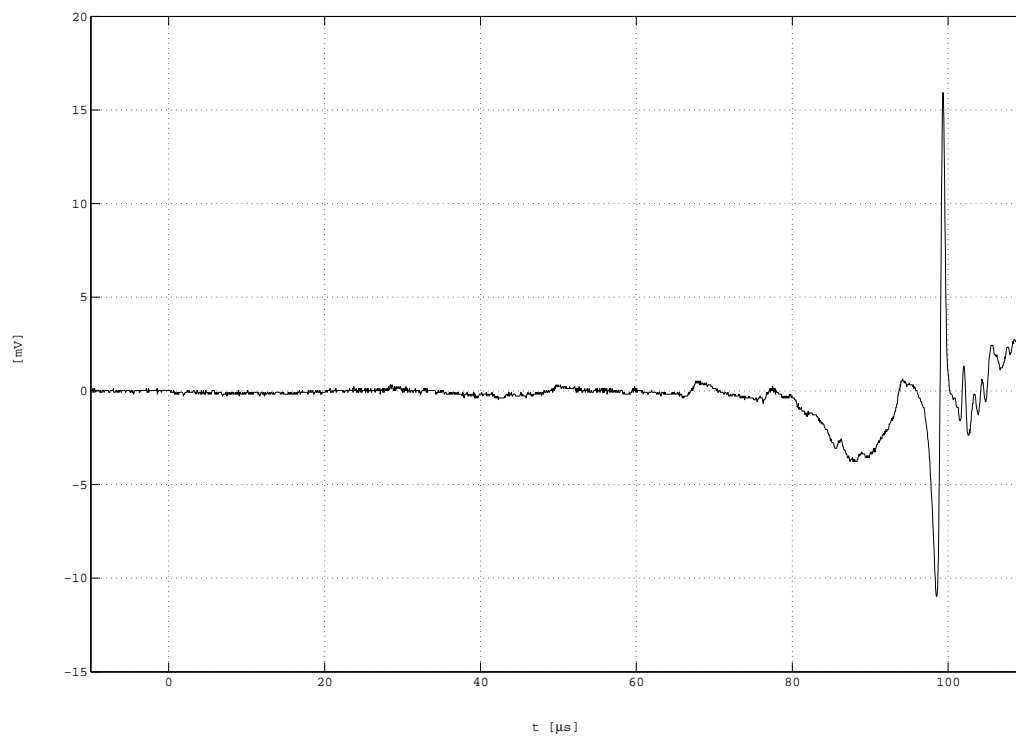
vzdálenost: 55 cm



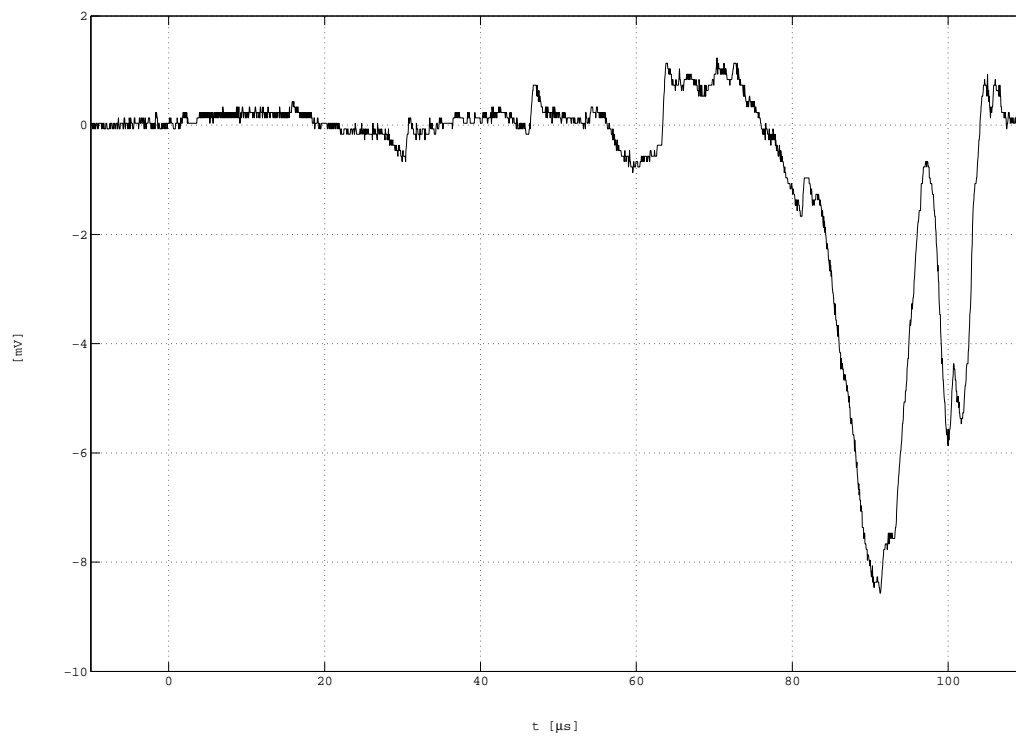
Opačný povrch

tloušťka: 5 cm

vzdálenost: 55 cm

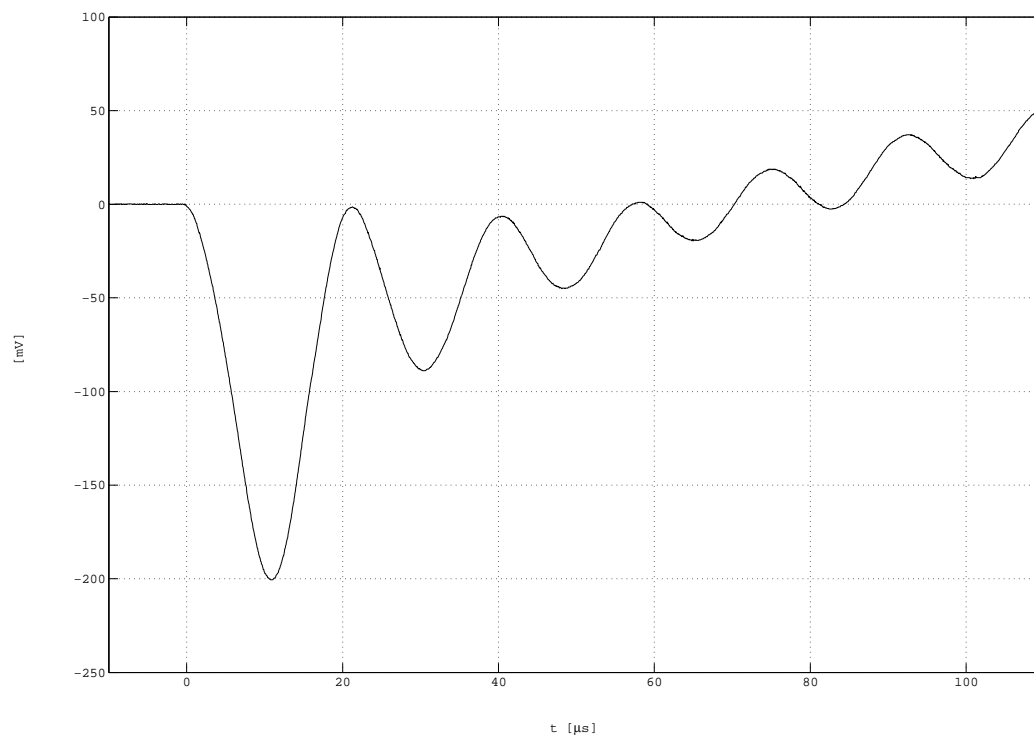


Stejný povrch tloušťka: 5 cm vzdálenost: 60 cm



Opačný povrch tloušťka: 5 cm vzdálenost: 60 cm

DODATEK D: VERTIKÁLNÍ POSUV - MĚŘENÍ - BUZENÍ KULIČKOU



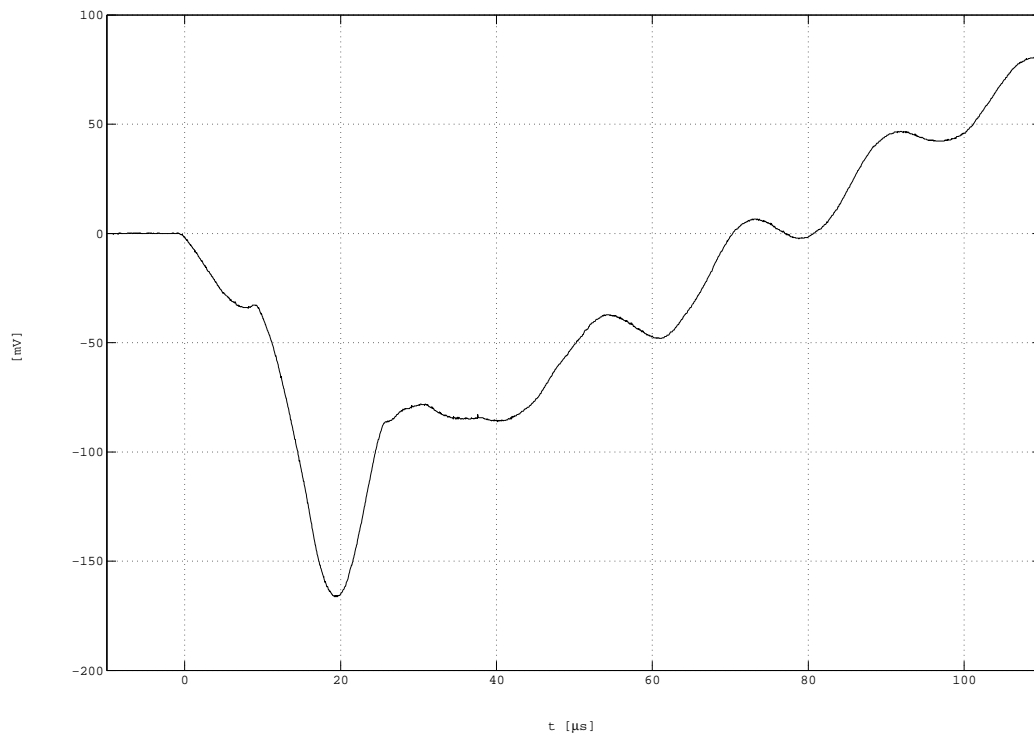
Opačný povrch

tloušťka: 5 cm

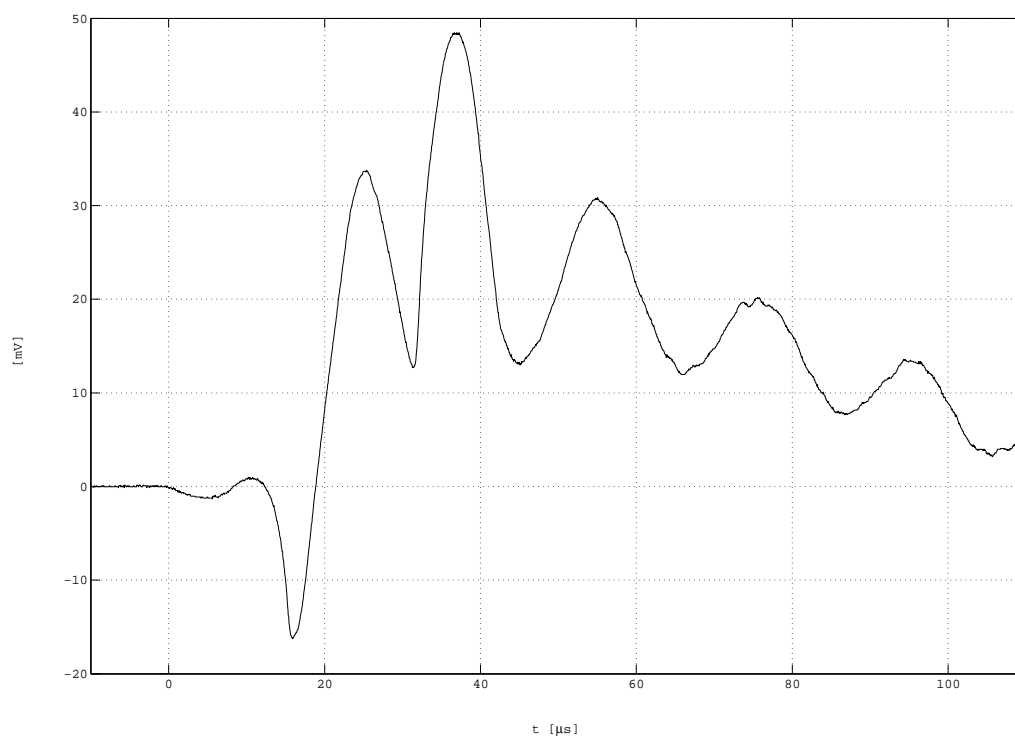
vzdálenost: 0 cm

Neměřeno – velké rozměry snímače

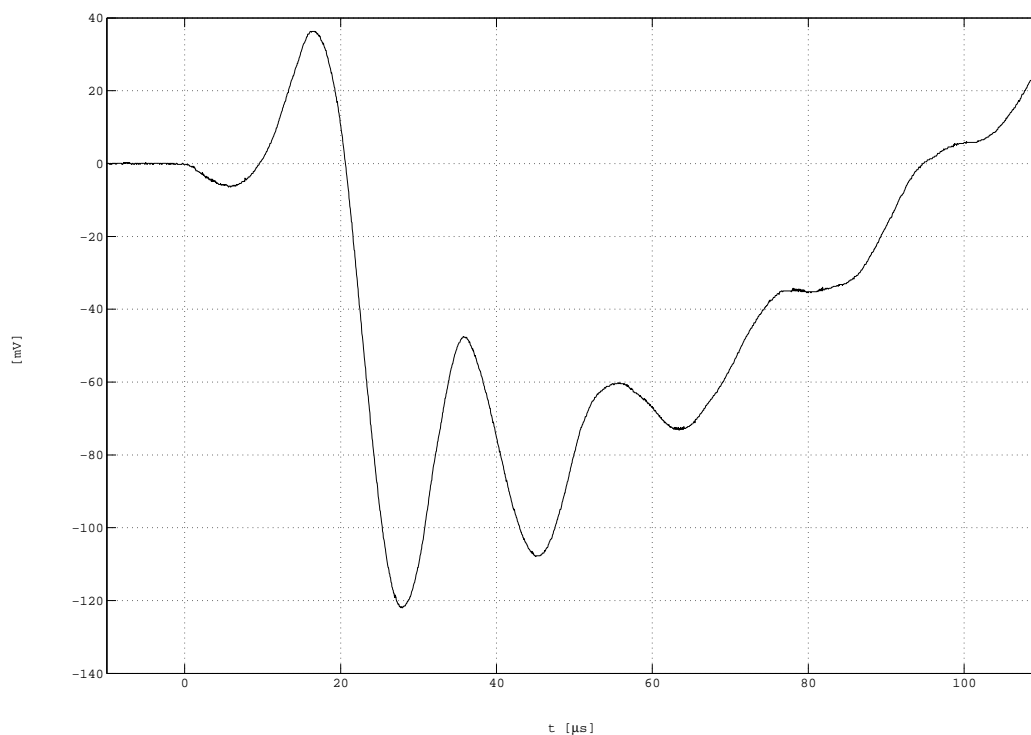
Stejný povrch tloušťka: 5 cm vzdálenost: 5 cm



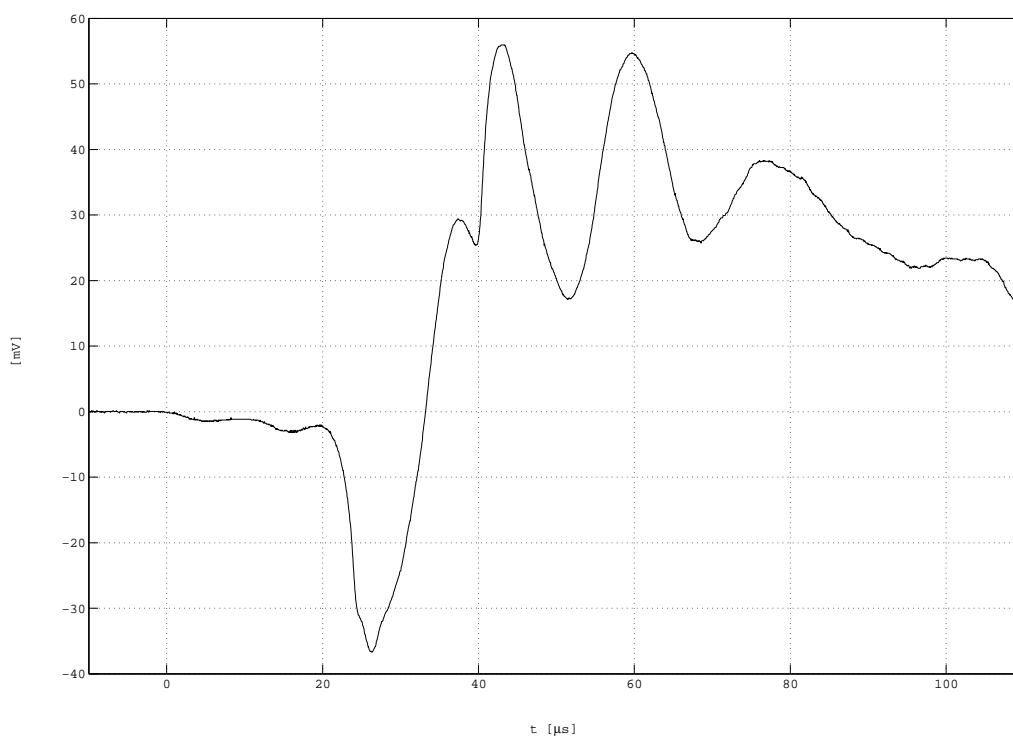
Opačný povrch tloušťka: 5 cm vzdálenost: 5 cm



Stejný povrch tloušťka: 5 cm vzdálenost: 10 cm



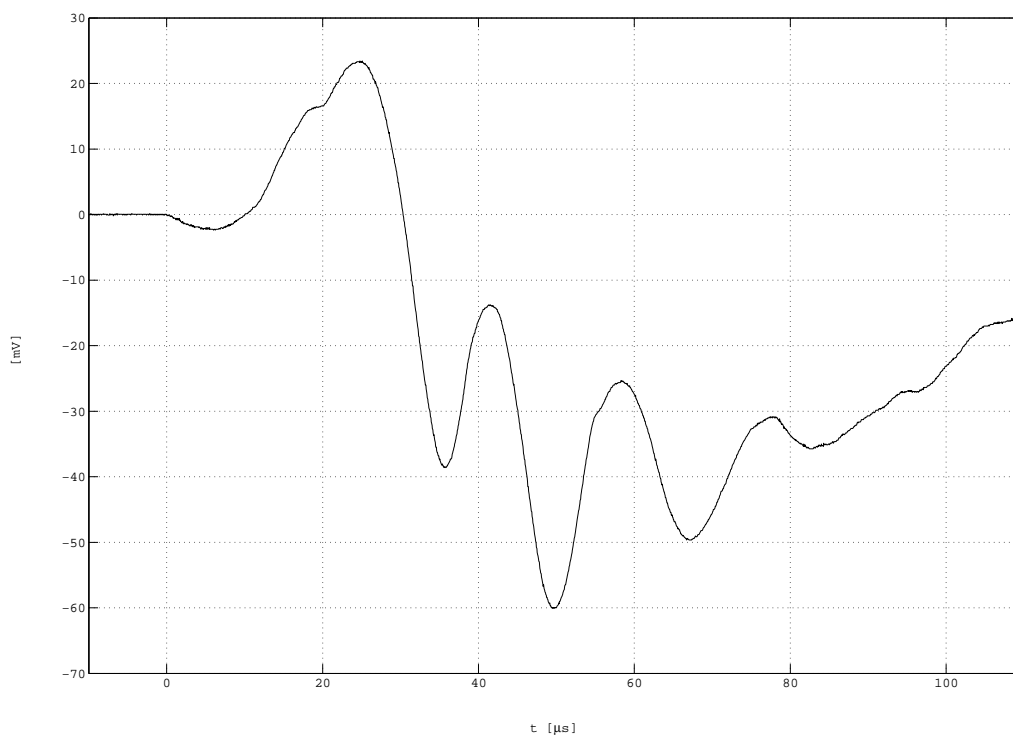
Opačný povrch tloušťka: 5 cm vzdálenost: 10 cm



Stejný povrch

tloušťka: 5 cm

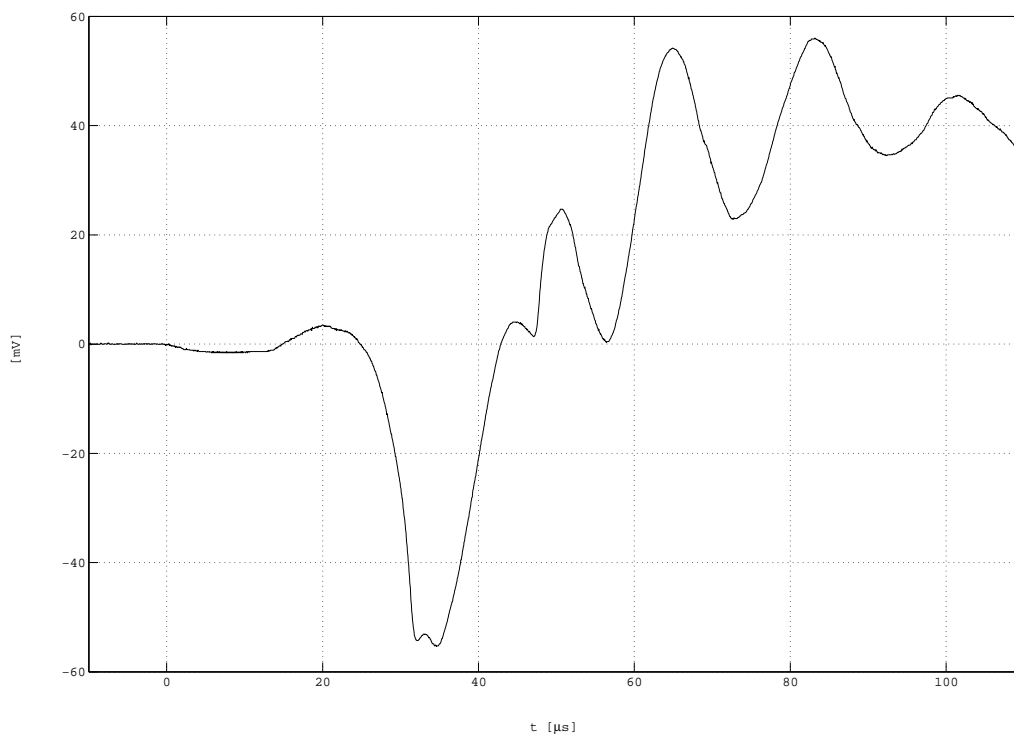
vzdálenost: 15 cm



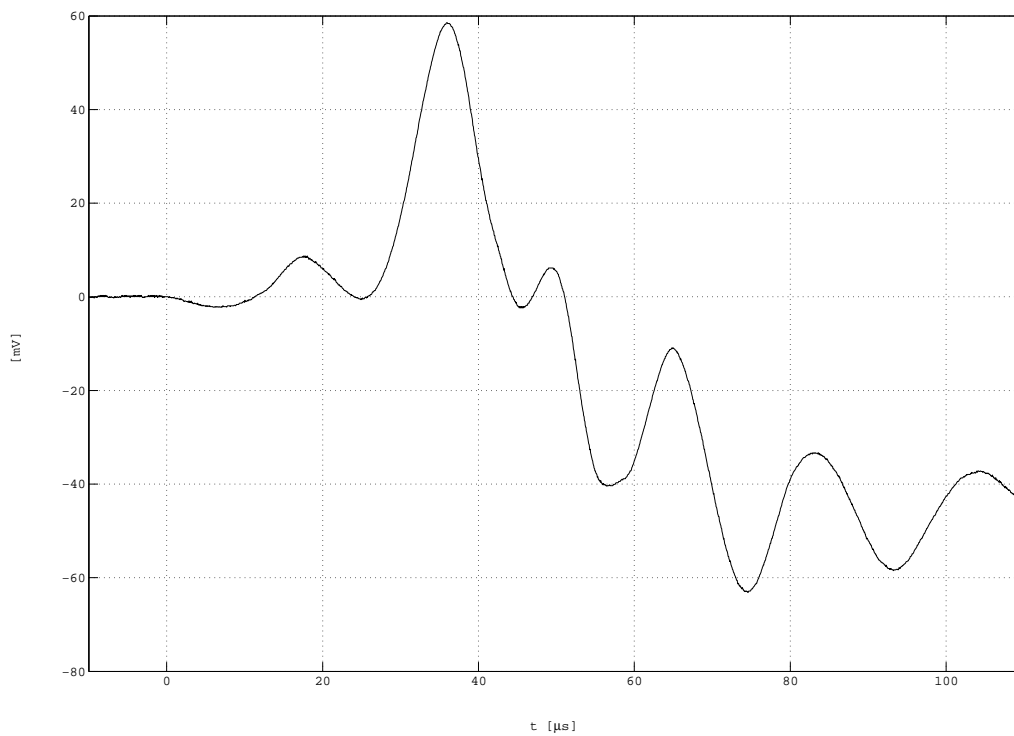
Opačný povrch

tloušťka: 5 cm

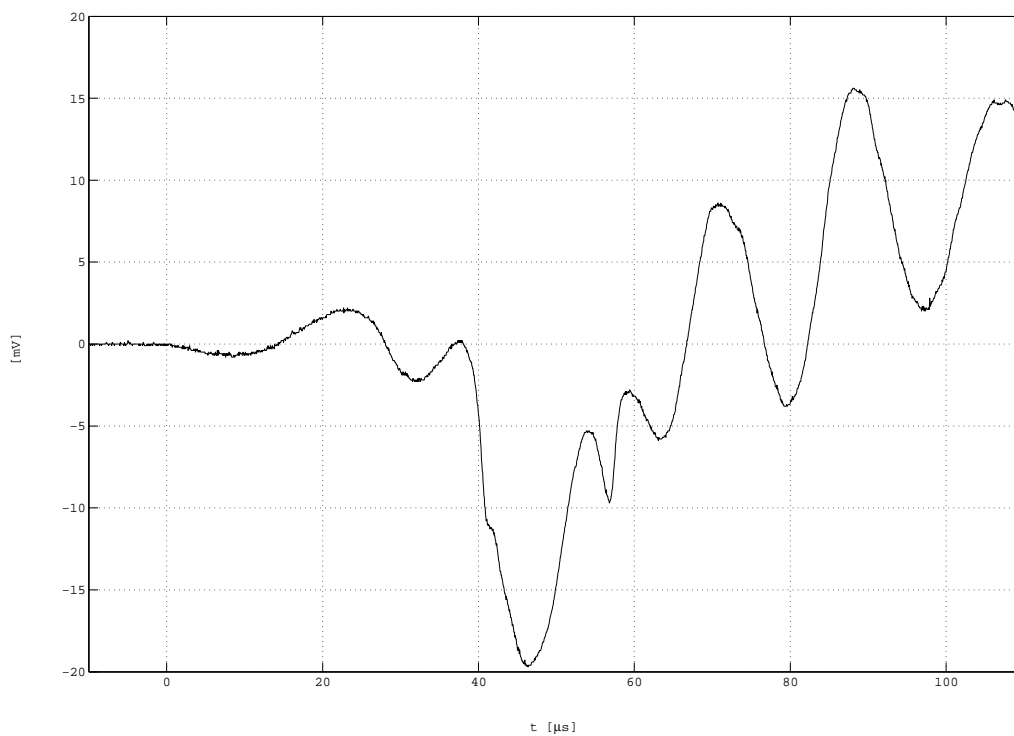
vzdálenost: 15 cm



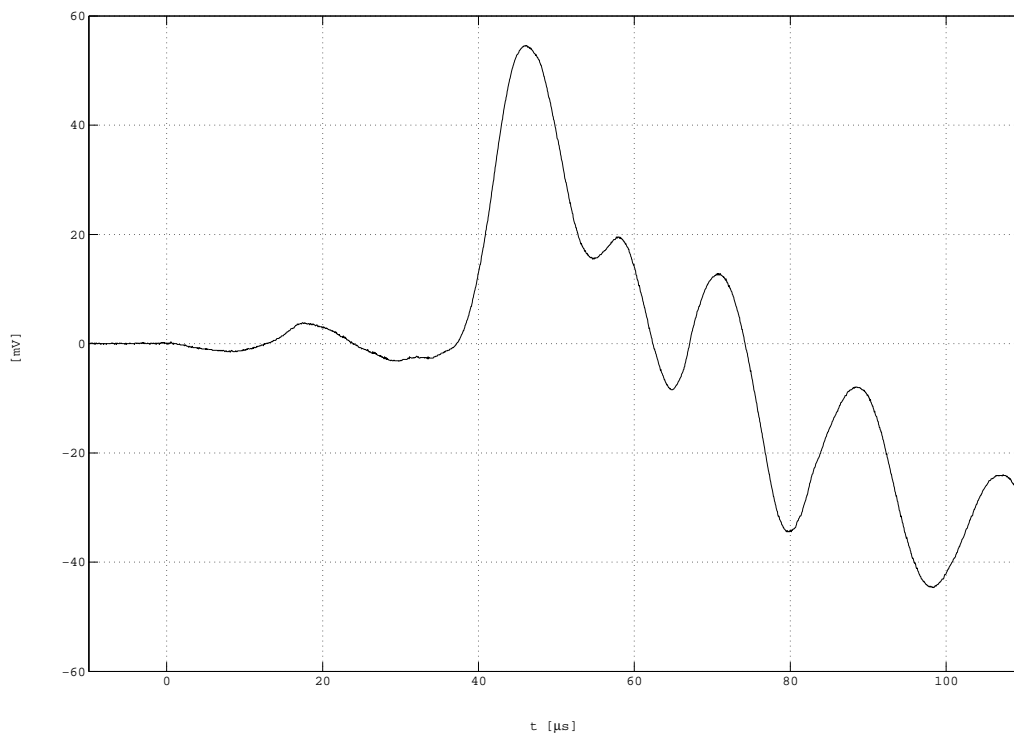
Stejný povrch tloušťka: 5 cm vzdálenost: 20 cm



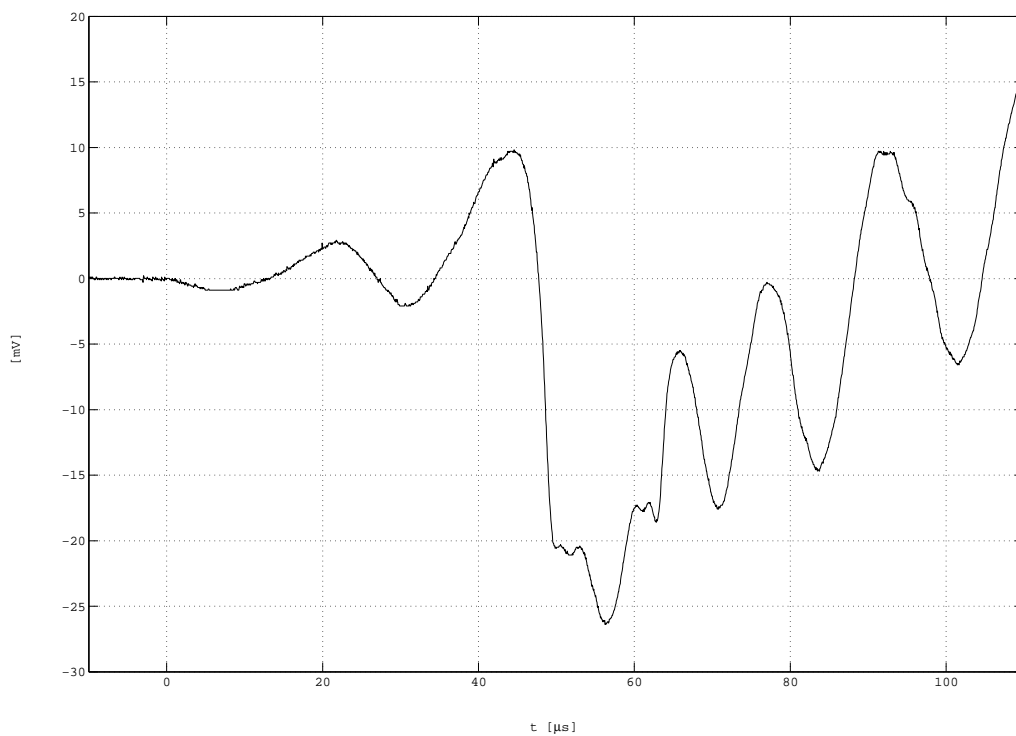
Opačný povrch tloušťka: 5 cm vzdálenost: 20 cm



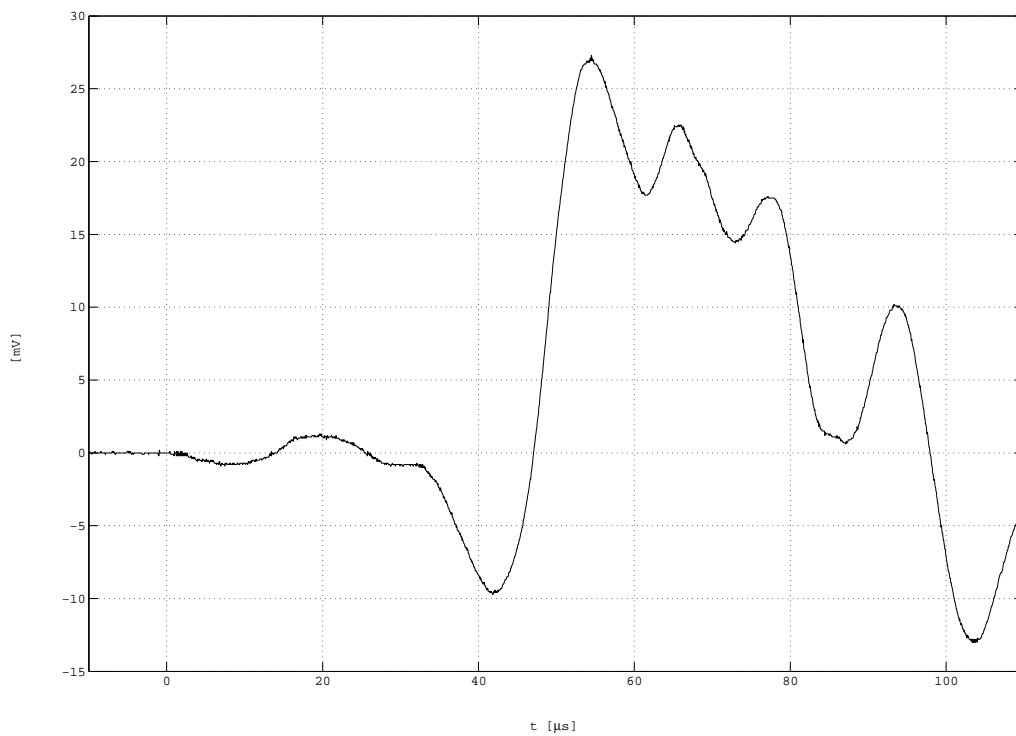
Stejný povrch	tloušťka: 5 cm	vzdálenost: 25 cm
---------------	----------------	-------------------



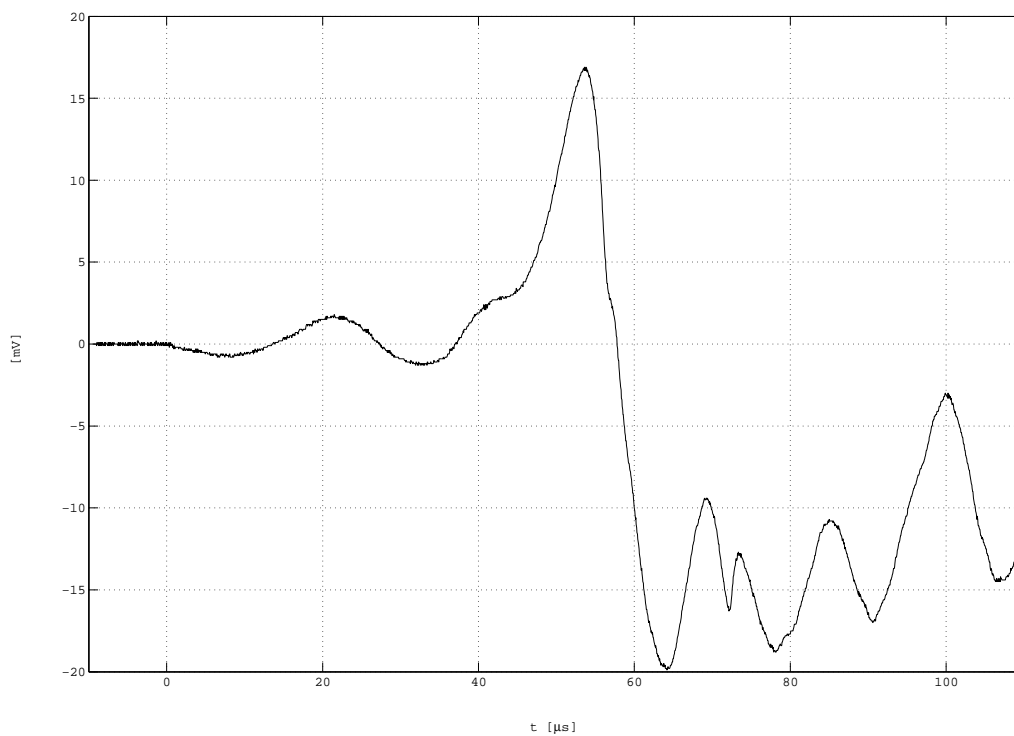
Opačný povrch	tloušťka: 5 cm	vzdálenost: 25 cm
---------------	----------------	-------------------



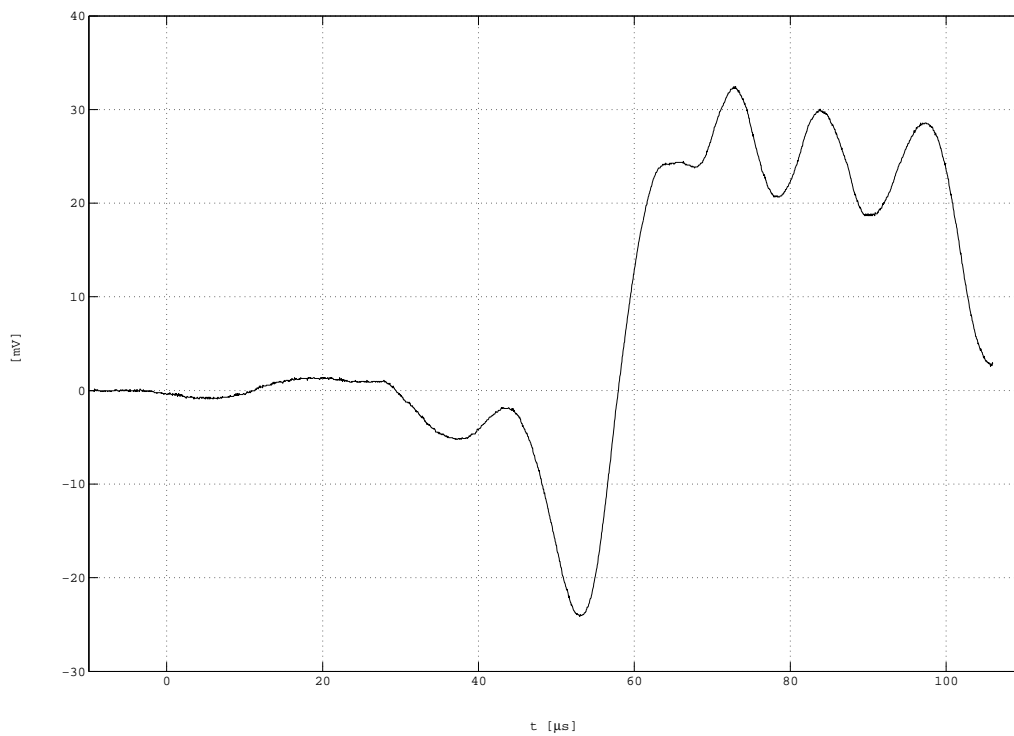
Stejný povrch tloušťka: 5 cm vzdálenost: 30 cm



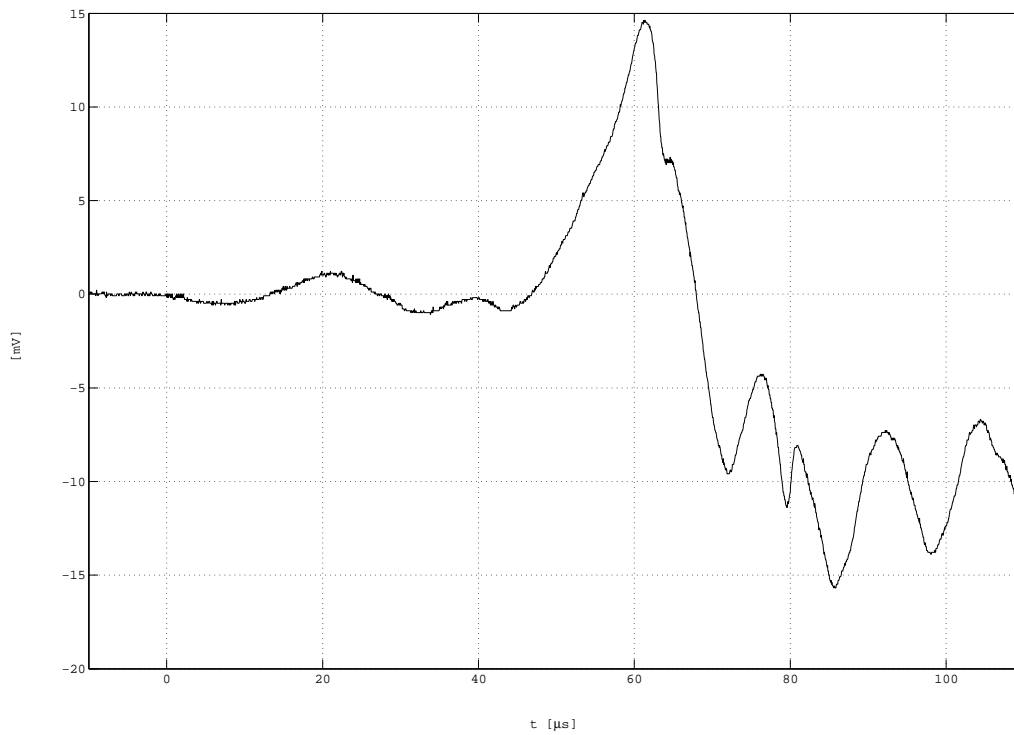
Opačný povrch tloušťka: 5 cm vzdálenost: 30 cm



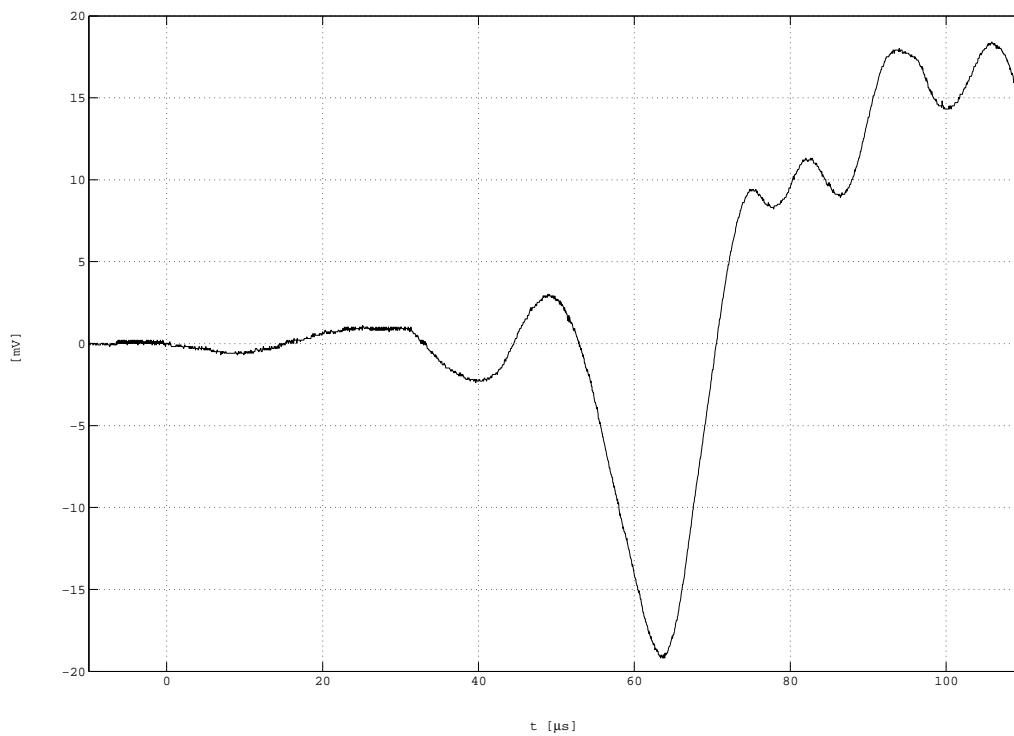
Stejný povrch tloušťka: 5 cm vzdálenost: 35 cm



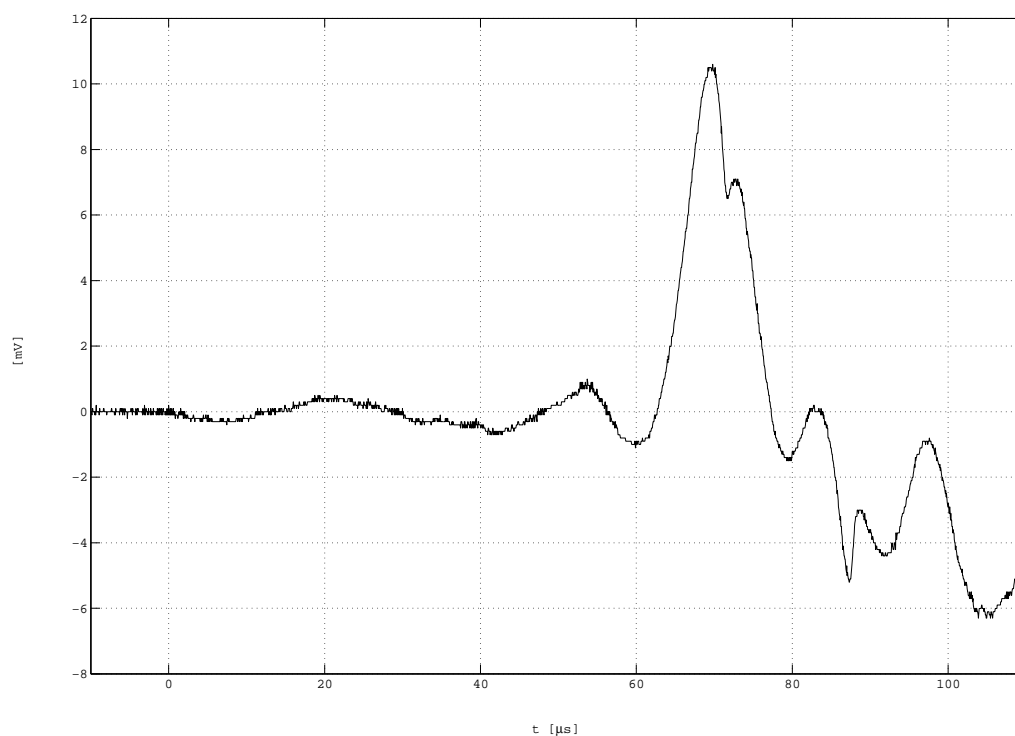
Opačný povrch tloušťka: 5 cm vzdálenost: 35 cm



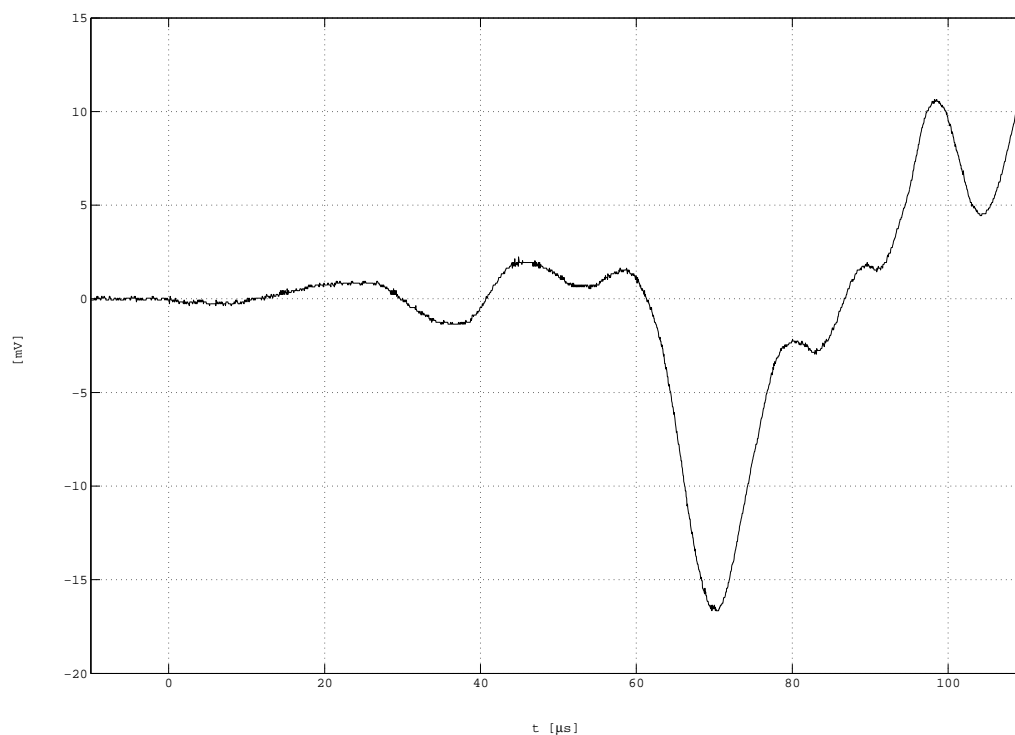
Stejný povrch tloušťka: 5 cm vzdálenost: 40 cm



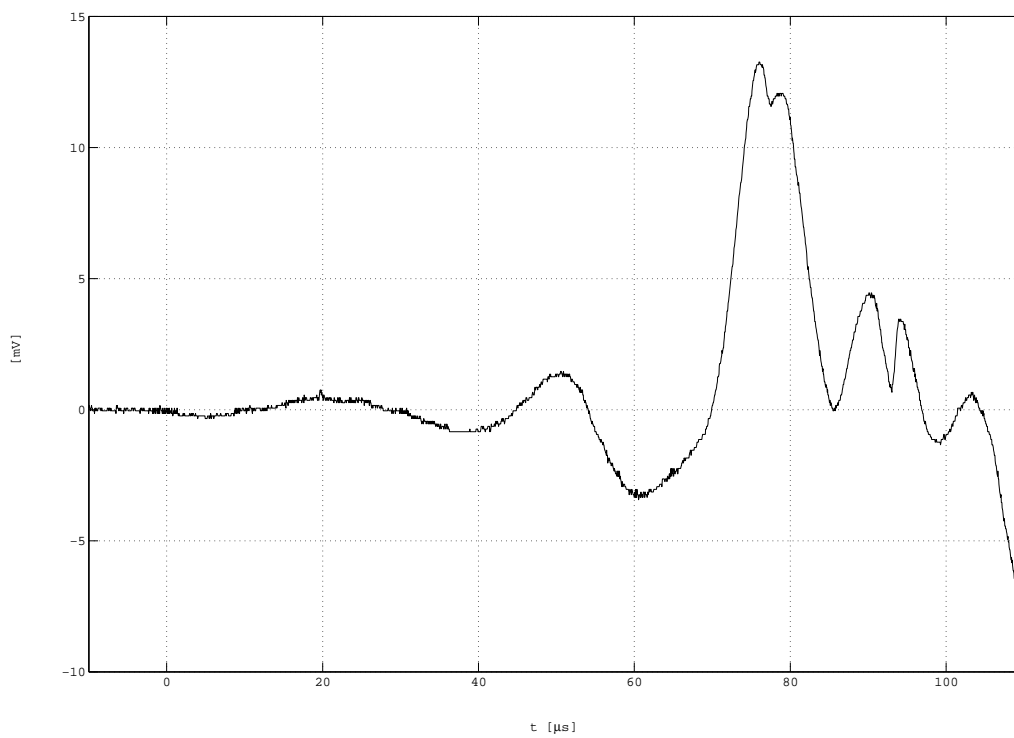
Opačný povrch tloušťka: 5 cm vzdálenost: 40 cm



Stejný povrch tloušťka: 5 cm vzdálenost: 45 cm



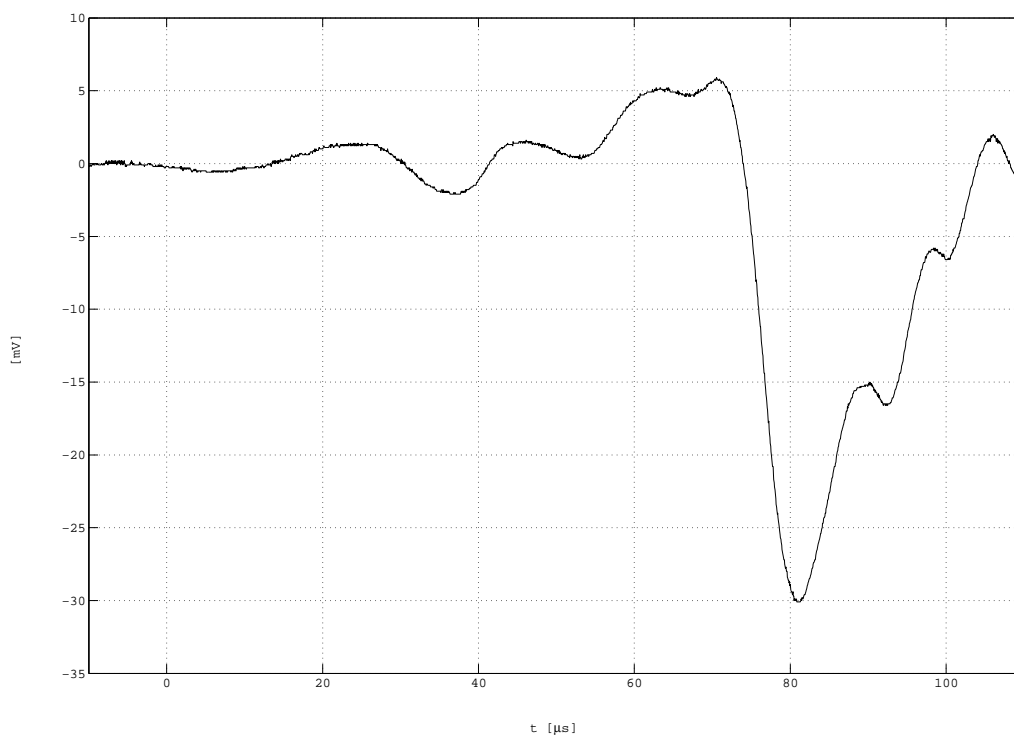
Opačný povrch tloušťka: 5 cm vzdálenost: 45 cm



Stejný povrch

tloušťka: 5 cm

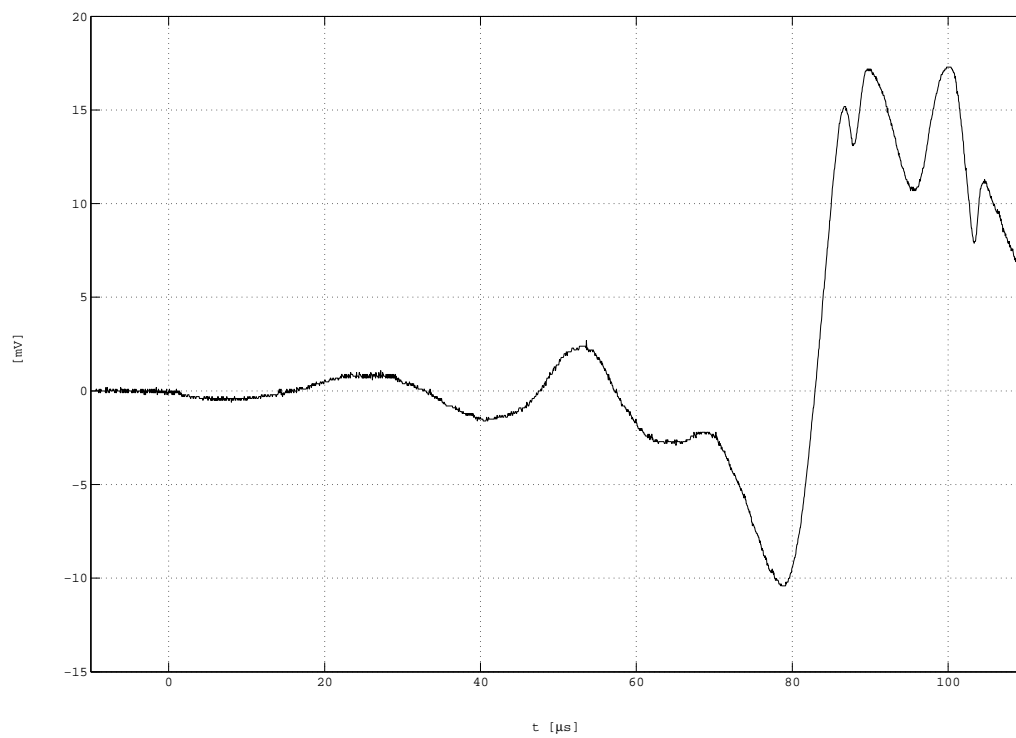
vzdálenost: 50 cm



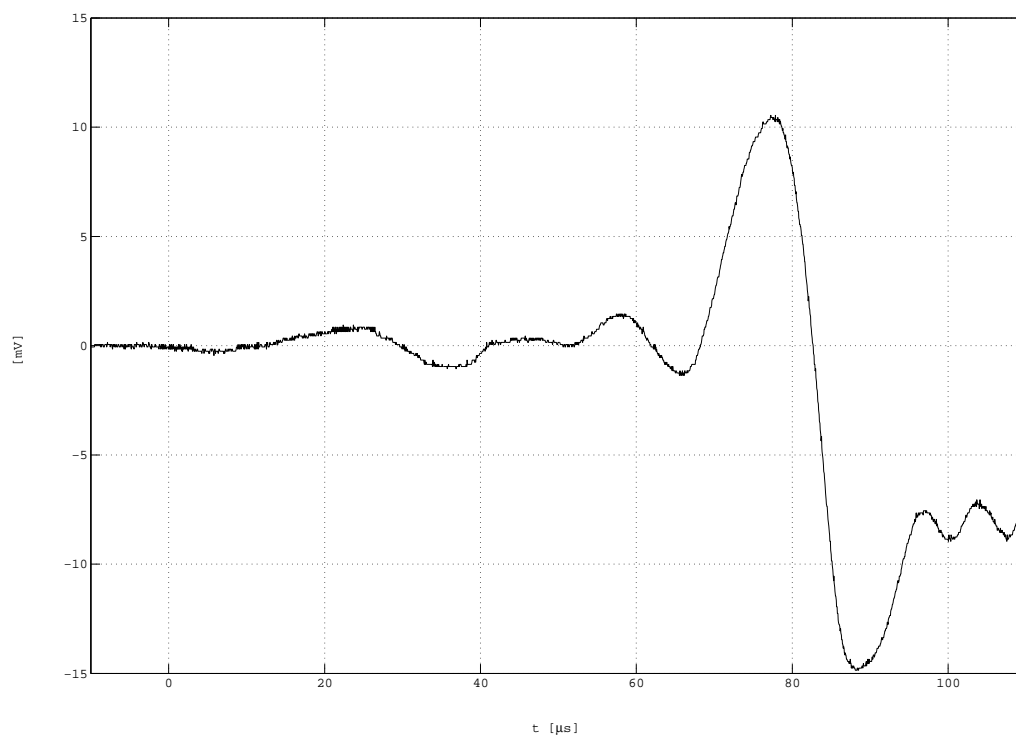
Opačný povrch

tloušťka: 5 cm

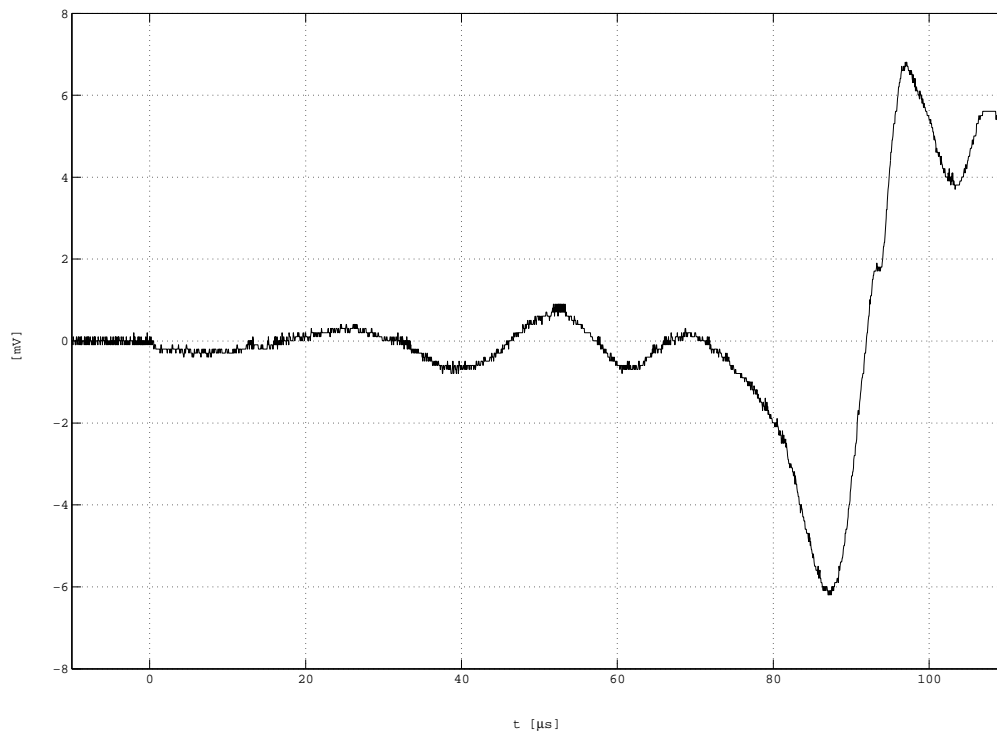
vzdálenost: 50 cm



Stejný povrch tloušťka: 5 cm vzdálenost: 55 cm



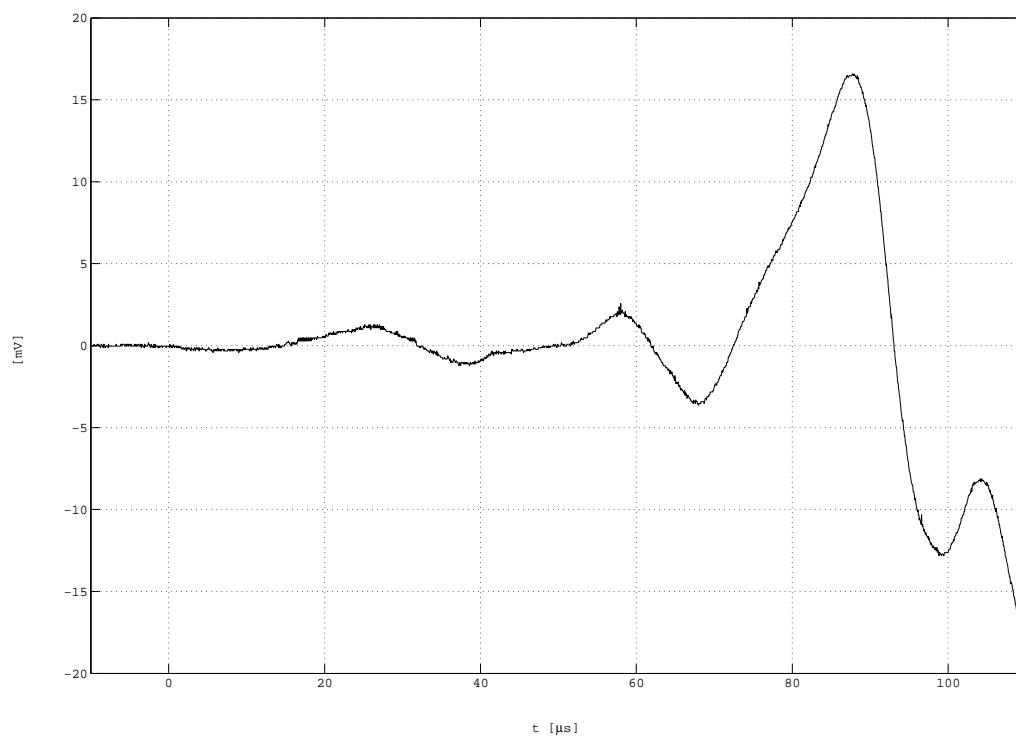
Opačný povrch tloušťka: 5 cm vzdálenost: 55 cm



Stejný povrch

tloušťka: 5 cm

vzdálenost: 60 cm



Opačný povrch

tloušťka: 5 cm

vzdálenost: 60 cm

DODATEK E: VÝPIS KONVERZNÍHO PROGRAMU

```

function [y,describe] = load_adm(fname);

% Load the ADAM file (*.dta)
%
% [y, describe] = load_adm(fname)
%
% y          ... y-values
% describe  ... parameters
% fname     ... file name
%
% Example : load_adm;
%          load_adm('pokus123.dta');
%          response = load_adm;
%          response = load_adm('c:\data\uz.dta');
%          [response, par] = load_adm;
%          [response, par] = load_adm('c:\data\uz.dta');
%

% (c) Petr HORA, 1994

if nargin < 1
    [fn, fp] = uigetfile('* .dta', 'Load ADAM file');
    if fn == 0
        return;
    else
        fname = [fp, fn];
    end
end

[fid, message] = fopen(fname, 'rb');
if fid < 0
    disp(message);
    return;
end

header = fread(fid, 80, 'char');
BL_code = header(19);
BL_length = 2^(8+BL_code);
block = fread(fid, [2,BL_length], 'char');

fclose(fid);

% Decoding header

% Format = header(1);

```

```

Channel = header(2)+1;

Block = header(3)+1;

Starting_address = header(12)*65536 + header(13)*256 + header(14);
if header(12) > 127
    Starting_address = Starting_address - 16777216;
end
Final_address = header(15)*65536 + header(16)*256 + header(17);
if header(15) > 127
    Final_address = Final_address - 16777216;
end

RM_code = header(18);
if RM_code == 0, RM = 'SINGLE';
elseif RM_code == 1, RM = 'MULTIBLOCK MAN-RES';
elseif RM_code == 2, RM = 'MULTIBLOCK AUTO-RES';
elseif RM_code == 3, RM = 'AUTO';
elseif RM_code == 4, RM = 'LIVE FREE RUN';
elseif RM_code == 5, RM = 'LIVE TRIGGERED';
end

TB_code = header(21);
if TB_code == 0, TB = 'SINGLE';
elseif TB_code == 1, TB = 'DUAL INT-CTL';
elseif TB_code == 2, TB = 'DUAL EXT-CTL';
elseif TB_code == 3, TB = 'EXT-SOURCE';
end

TB1_rate = header(22)*256 + header(23);
TB1_dim_code = header(24);
if TB1_dim_code == 0, TB1_dim_str = 'us'; TB1_dim = 1e-6;
elseif TB1_dim_code == 1, TB1_dim_str = 'ms'; TB1_dim = 1e-3;
elseif TB1_dim_code == 2, TB1_dim_str = 's'; TB1_dim = 1;
elseif TB1_dim_code == 3, TB1_dim_str = 'ns'; TB1_dim = 1e-9;
end
TB1_samples = header(25)*256 + header(26);

TB2_rate = header(27)*256 + header(28);
TB2_dim_code = header(29);
if TB2_dim_code == 0, TB2_dim_str = 'us'; TB2_dim = 1e-6;
elseif TB2_dim_code == 1, TB2_dim_str = 'ms'; TB2_dim = 1e-3;
elseif TB2_dim_code == 2, TB2_dim_str = 's'; TB2_dim = 1;
elseif TB2_dim_code == 3, TB2_dim_str = 'ns'; TB2_dim = 1e-9;
end
TB2_samples = header(30)*256 + header(31);

MD_code = header(32);
MD = -100 + MD_code*12.5;

```

```

AD_use_code = header(33);
if (AD_use_code == 0)
    AD_use = 'OFF';
else
    AD_use = 'ON';
end

BL_div_256 = header(35)*256 + header(36);

ET_link_code = header(40);
if ET_link_code == 0, ET_link = 'OFF';
elseif ET_link_code == 1, ET_link = 'OR';
elseif ET_link_code == 2, ET_link = 'AND';
end

ET_slope_code = header(41);
if ET_slope_code == 0
    ET_slope = '+';
else
    ET_slope = '-';
end

AD_step_code = header(42);
AD_step = 25*(1 + AD_step_code);

if header(45) == 15, MC_code = 1*16^3-1; MC = 4;
elseif header(45) == 31, MC_code = 2*16^3-1; MC = 8;
elseif header(45) == 63, MC_code = 4*16^3-1; MC = 16;
elseif header(45) == 127, MC_code = 8*16^3-1; MC = 32;
elseif header(45) == 255, MC_code = 16*16^3-1; MC = 64;
end

Memory_speed = header(47)*256 + header(48);

ADC_speed = header(49)*256 + header(50);

Resolution_code = header(51);
if Resolution_code == 0, Resolution = 8;
elseif Resolution_code == 192, Resolution = 10;
elseif Resolution_code == 240, Resolution = 12;
end

T_link_code = header(54);
if T_link_code == 0, T_link = 'OFF';
elseif T_link_code == 1, T_link = 'OR';
elseif T_link_code == 2, T_link = 'AND';

```

end

```
T_coupling_code = header(55);  
if T_coupling_code == 0, T_coupling = 'DC';  
elseif T_coupling_code == 1, T_coupling = 'AC';  
elseif T_coupling_code == 2, T_coupling = 'AC-LFR';  
end
```

```
T_slope_code = header(56);  
if T_slope_code == 0, T_slope = '+';  
elseif T_slope_code == 1, T_slope = '-';  
elseif T_slope_code == 2, T_slope = '+/-';  
end
```

```
T_pos_level = header(57);
```

```
T_neg_level = header(58);
```

```
AD = header(59);
```

```
Amp_coupling_code = header(61);  
if Amp_coupling_code == 0, Amp_coupling = 'DC';  
elseif Amp_coupling_code == 1, Amp_coupling = 'AC';  
elseif Amp_coupling_code == 2, Amp_coupling = 'GND';  
end
```

```
Amp_range_code = header(62);  
if Amp_range_code == 0, Amp_range = 0.10;  
elseif Amp_range_code == 1, Amp_range = 0.12;  
elseif Amp_range_code == 2, Amp_range = 0.15;  
elseif Amp_range_code == 3, Amp_range = 0.20;  
elseif Amp_range_code == 4, Amp_range = 0.25;  
elseif Amp_range_code == 5, Amp_range = 0.30;  
elseif Amp_range_code == 6, Amp_range = 0.40;  
elseif Amp_range_code == 7, Amp_range = 0.50;  
elseif Amp_range_code == 8, Amp_range = 0.60;  
elseif Amp_range_code == 9, Amp_range = 0.80;  
elseif Amp_range_code == 10, Amp_range = 1.0;  
elseif Amp_range_code == 11, Amp_range = 1.2;  
elseif Amp_range_code == 12, Amp_range = 1.5;  
elseif Amp_range_code == 13, Amp_range = 2.0;  
elseif Amp_range_code == 14, Amp_range = 2.5;  
elseif Amp_range_code == 15, Amp_range = 3.0;  
elseif Amp_range_code == 16, Amp_range = 4.0;  
elseif Amp_range_code == 17, Amp_range = 5.0;  
elseif Amp_range_code == 18, Amp_range = 6.0;  
elseif Amp_range_code == 19, Amp_range = 8.0;  
elseif Amp_range_code == 20, Amp_range = 10;  
elseif Amp_range_code == 21, Amp_range = 12;  
elseif Amp_range_code == 22, Amp_range = 15;
```

```

elseif Amp_range_code == 23, Amp_range = 20;
elseif Amp_range_code == 24, Amp_range = 25;
elseif Amp_range_code == 25, Amp_range = 30;
elseif Amp_range_code == 26, Amp_range = 40;
elseif Amp_range_code == 27, Amp_range = 50;
elseif Amp_range_code == 28, Amp_range = 60;
elseif Amp_range_code == 29, Amp_range = 80;
elseif Amp_range_code == 30, Amp_range = 100;
end

Amp_offset = header(63);
if Amp_offset > 127
    Amp_offset = Amp_offset - 256;
end

Identifier = header(66);

offset = Amp_offset * 10.0;

if nargout > 0
    y = Amp_range*(block(1,:)*4 + block(2,:)/64 - offset);    % mV
end

if nargout > 1
    describe = str2mat('Header :', ' ');
    describe = str2mat(describe, 'Channel:', int2str(Channel));
    describe = str2mat(describe, 'Block:', int2str(Block));
    describe = str2mat(describe, 'From address:', int2str(Starting_address));
    describe = str2mat(describe, 'To address:', int2str(Final_address));
    describe = str2mat(describe, 'Record:', RM);
    describe = str2mat(describe, 'Block length:', int2str(BL_length), 'samples');
    describe = str2mat(describe, 'Block length / 256:', int2str(BL_div_256));
    describe = str2mat(describe, 'Time base:', TB);
    describe = str2mat(describe, 'Time base 1:', int2str(TB1_rate), TB1_dim_str,...
        int2str(TB1_samples), 'samples');
    describe = str2mat(describe, 'Time base 2:', int2str(TB2_rate), TB2_dim_str,...
        int2str(TB2_samples), 'samples');
    describe = str2mat(describe, 'Main delay:', int2str(MD));
    describe = str2mat(describe, 'Aux delay:', AD_use, int2str(AD), 'steps');
    describe = str2mat(describe, 'Aux delay step:', int2str(AD_step), '%');
    describe = str2mat(describe, 'Ext trigger:', ET_link, ET_slope);
    describe = str2mat(describe, 'Memory:', int2str(MC), 'KB',...
        int2str(Memory_speed), 'ns');
    describe = str2mat(describe, 'ADC:', int2str(ADC_speed), 'ns',...
        int2str(Resolution), 'bits');
    describe = str2mat(describe, 'Trigger link:', T_link);
    describe = str2mat(describe, 'Trigger coupling:', T_coupling);
    describe = str2mat(describe, 'Trigger slope:', T_slope);
    describe = str2mat(describe, 'Trigger pos level:', int2str(T_pos_level));

```

```
describe = str2mat(describe, 'Trigger neg level:', int2str(T_neg_level));
describe = str2mat(describe, 'Amplifier coupling:', Amp_coupling);
describe = str2mat(describe, 'Amplifier range:', num2str(Amp_range), 'V');
describe = str2mat(describe, 'Amplifier offset:', num2str(Amp_offset));
describe = str2mat(describe, 'Identifier:', num2str(Identifier));
end

if nargout < 1
    plot(Starting_address : Final_address, ...
        Amp_range*(block(1,:)*4 + block(2,:)/64 - offset));
end
```


LITERATURA

- ADAM Maurer Instruments Ltd. Switzerland
Manuál k číslicovému záznamníku přechodových jevů.
1989
- CAG39 Cagniard, L.:
Reflexion et refraction des Ondes seismiques progressives.
Gauthier Villars, Paris, (1939)
[Reflection and Refraction of Progressive Seismic Waves.
McGraw-Hill, New York, (1962)]
- HOR92 Hora, P.:
Teorie zobecněného paprsku
a analýza tranzientních vln ve vícevrstevném pevném tělese.
Výzkumná zpráva ÚTSSK ČSAV, 114VP, Plzeň, (1992)
- LAM04 Lamb, H.:
On the Propagation of Tremors Over the Surface of an Elastic Solid.
Philos. Trans. Roy. Soc. (London), Ser.A, Vol.203, (1904), str.1-42
- LYO55 Lyon, R. H.:
Response of an Elastic Plate to Localized Driving Forces.
Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 27, (1955), str.259-265
- MIK78 Miklowitz, J.:
The Theory of Elastic Waves and Waveguides.
North-Holland Publishing Company, Amsterdam, (1978)
- PÁT92 Pátek, J.:
Výpočet napjatosti tenké desky příčně nestacionárně buzené.
Výzkumná zpráva ÚTSSK ČSAV, 105VP, Plzeň, (1992)
- PRO82 Proctor, T. M. Jr.:
An improved piezoelektrick acoustic emission transducer.
Journal of the Acoustical Society of America, Vol.71, (1982), str.1163-1168
- PUR57 Pursey, H.:
The Launching and Propagation of Elastic Waves in Plates.
Quarterly of Mechanics and Applied Mathematics, Vol. 10, (1957), str.45-62
- SNE58 Sneddon, I.N.; Fulton, J.:
The Dynamical Stresses Produced in a Thick Plate by the Action of Surface Forces.
Proceedings of the Glasgow Mathematical Association, Vol.3, (1958), str.153-163
- VAL83 Valeš, F.:
Napjatost tlusté desky příčně nestacionárně zatížená:
I. část - Odvození Laplaceových obrazů pro posuvy a napětí.
Výzkumná zpráva ÚT ČSAV, Z847/83, Praha, (1983)

- VAL84 Valeš, F.:
Napjatost tlusté desky příčně nestacionárně zatížené:
II. část - Zpětná transformace vztahů pro posuvy a napětí.
Výzkumná zpráva ÚT ČSAV, Z887/84, Praha, (1984)
- VAL85 Valeš, F.; Červ, J.:
Přehled odvození pohybových rovnic tenké desky -
korekce a disperzní vlastnosti.
Výzkumná zpráva ÚT ČSAV, Z930/85, Praha, (1985)
- TER92 TERRONIC
Materiálový list hmoty PK274