

Určení rychlosti šíření ultrazvukové vlny a jejího útlumu v pevné látce

J. Erhart, 18.4.2023

Pracovní úkol:

- 1) Proveďte měření rychlosti ultrazvukové vlny různých frekvencí v pevné látce.
- 2) Určete útlum ultrazvukové vlny v pevné látce.
- 2) Použijte ultrazvukovou vlnu k vizualizaci defektů v pevné látce.

Pomůcky: ultrazvukový systém ULTRASONIC ECHOSCOPE GS200 připojený k počítači, plexisklové válce (PMMA) o délkách 40, 80 a 120 mm, duralový válec o délce 55 mm, plexisklový blok s otvory, přizpůsobovací gel, ubrousky, flash-disc na přenos dat

Teoretický úvod:

Ultrazvuk (UZ) je mechanická vlna šířící se hmotným prostředím určitou fázovou rychlostí c , která závisí na mechanických vlastnostech prostředí (elastický modul) a jeho hustotě. Pro vlnu šířící se ve směru délky tyče je fázová rychlost pro podélně polarizovanou vlnu v neohraničeném prostředí

$$c_L = \sqrt{\frac{E}{\rho} \frac{1-\mu}{(1-2\mu)(1+\mu)}}, \quad (1)$$

a pro příčně polarizovanou vlnu

$$c_T = \sqrt{\frac{G}{\rho}} = \sqrt{\frac{E}{\rho} \frac{1}{2(1+\mu)}}, \quad (2)$$

kde E a G jsou Youngův a smykový modul pružnosti, μ je Poissonův modul pružnosti, ρ je hustota.

Pro určení rychlosti šíření ultrazvuku v pevné látce se dá použít metoda registrace ozvěny vlny („pulse-echo“ metoda), kdy určíme dobu průchodu ultrazvukové vlny prostředím ze známé délky průchodu l a času průchodu t takto

$$c = \frac{l}{t}. \quad (3)$$

Délka průchodu se potom liší podle použitého módu ozvěny – lze registrovat ozvěnu v transmisním módu (jedna UZ sonda pulz vyšle a druhá ho po průchodu pevnou látkou registruje), nebo reflexním módu (tataž sonda UZ vlnu vysílá i registruje odraženou vlnu od opačného povrchu vzorku). Přitom se může ultrazvuková vlna odrážet několikanásobně a mohou být registrovány násobné ozvěny následující v pravidelných časových rozestupech. Délka průchodu vlny l je potom násobkem tloušťky vzorku d , viz Tabulka 1.

Tabulka 1. Délky l průchodů UZ vlny vzorkem o tloušťce d pro různé pracovní módy

Mód	1 průchod	2 průchody	3 průchody	1 odraz	2 odrazy	3 odrazy
l	d	$3d$	$5d$	$2d$	$4d$	$6d$

Během průchodu UZ vlny pevnou látkou dochází také k jejímu utlumování podle exponenciálního zákona

$$I = I_0 e^{-\alpha x}, \quad (4)$$

kde α [dB/mm] je koeficient útlumu UZ vlny. Pokud tedy registrujeme ozvěnu po průchodu UZ vlny délkou l vzorku, určíme koeficient útlumu

$$\alpha = -\log \frac{I}{I_0} / (l \log e). \quad (5)$$

Pro vyjádření koeficientu útlumu α v obvykle používaných jednotkách $[dB/mm]$ je třeba dosadit délku vzorku $l[mm]$

$$\alpha = -10 \log \frac{I}{I_0} / (l \log e) [dB/mm]. \quad (6)$$

Pokyny pro měření:

- 1) Spustíte počítačový program a připojíte GS200 k počítači [1].
- 2) Připojíte dvě UZ sondy 2MHz k přístroji, připravte si plexisklové těleso-válec o délce 40 mm na stojan, uložte UZ sondy na držáky a přiložte je z obou stran válce, použijte přitom gel na akustické přizpůsobení sond k tělesu. Poissonův modul plexiskla uvažujte $\mu = 0.415$.
- 3) Seznamte se s funkcemi ovládání přístroje GS200, zvláště pak s nastavením parametrů pro zobrazení a mód registrace ozvěny (transmisní nebo reflexní mód), vyzkoušejte si vliv přitlačení sondy ke vzorku. Všechny použité sondy dávají při kolmém šíření UZ do tělesa podélnou vlnu.
- 4) Seznamte se s funkcemi a ovládáním kurzorů pro odečítání hodnot intenzit registrovaného pulzu a časových intervalů ozvěny.
- 5) Vyzkoušejte měření časů ozvěny vůči vyslanému pulzu pro reflexní a transmisní mód funkce přístroje, určete rychlost UZ vlny podle vztahu (3) pro sondy o frekvenci 2MHz (pro transmisní mód musí být použity sondy stejné frekvence).
- 6) Opakujte měření časů ozvěny pro reflexní mód také pro sondy o frekvencích 1MHz a 4MHz a různé módy odrazů, které lze registrovat.
- 7) Opakujte výše uvedená měření také pro hliníkový válec. Poissonův modul hliníku uvažujte $\mu = 0.334$.
- 8) Pro sondu o frekvenci 2MHz určete intenzitu původního pulzu $I_1[V]$ a intenzity pro 2 a 3 průchody $I_{mi}[V], i=2,3$ spolu s hodnotou zesílení $z_i[dB], i=2,3$ pomocí funkce „Trigger“ přístroje vzorkem plexiskla a hliníku.
- 9) Intenzity registrovaných pulzů pro 2 a 3 průchody určíme pomocí vztahu

$$I_i = I_{mi} 10^{-z_i/10} \quad (7)$$

se započtením zesílení pomocí funkce Trigger přístroje.

- 10) Koeficient útlumu $\alpha [dB/mm]$ najdeme po dosazení dekadického logaritmu vztahu (7) do (6)

$$\alpha = -10 \frac{\log I_{mi} - \log I_1 - z_i/10}{l_i \log e} [dB/mm], \quad (8)$$

kde za l_i dosadíme délky průchodů UZ vlny vzorkem pro 2 a 3 průchody podle Tabulky 1.

Pokyny pro zpracování:

- 1) Vypočtete rychlosti šíření UZ vlny v plexiskle a v duralu pro různé délky těles a různé módy (odraz a průchod) průchodu UZ vlny tělesem. Výslednou rychlost určíte jako průměr těchto hodnot, její chybu jako chybu rozptylu hodnot v souboru.
- 2) Koeficient útlumu určíte pro druhý a třetí pulz pro plexisklové a duralové těleso podle vztahu (8). Doplníte obrázkem („A-MODE“) pulzů s polohami kurzorů použitými pro měření útlumu.
- 3) Stáhněte obrázek („B-MODE“) zobrazených defektů v plexisklovém bloku pro různé frekvence použité UZ sondy (1 MHz, 2 MHz a 4 MHz), zkontrolujte jejich polohu v bloku a na obrázku, diskutujte rozlišení pro různé frekvence UZ sondy.

Literatura:

[1] Ultrasonic echoscope GS200/GS200i, User Manual, GAMPT Ultrasonic solutions, Gesellschaft für Angewandte Medizinische Physik und Technik mbH, 2015

Určení rychlosti šíření ultrazvukové vlny a jejího útlumu v pevné látce

Návod v laboratoři

Pokyny pro měření:

Pro měření rychlosti UZ vlny v plexiskle jsou k dispozici válcová tělesa o délkách 40 mm, 80 mm a 120 mm. Pro dural je připraven válec o délce 55 mm.



1) Ovládání přístroje GS200 viz manuál [1]. Přístroj připojený USB kabelem k počítači zapneme tlačítkem ON/OFF. Spustíme ovládací program v počítači v módu „A-MODE“.

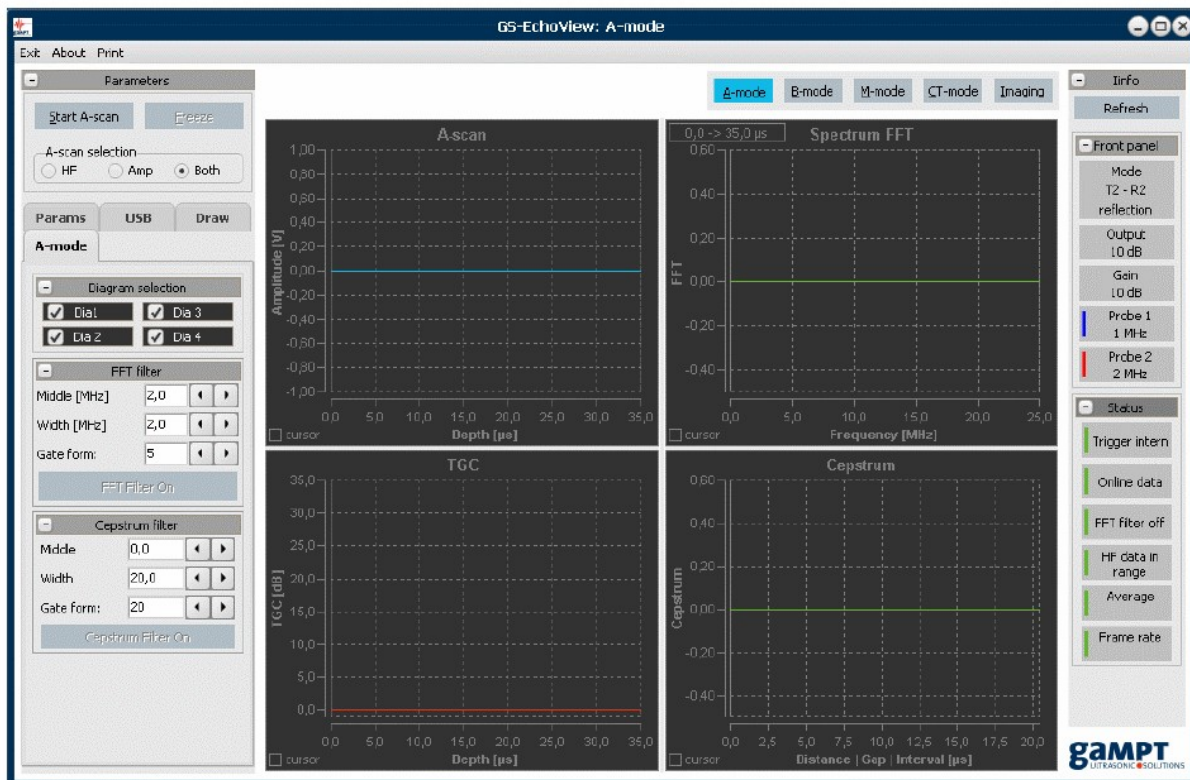


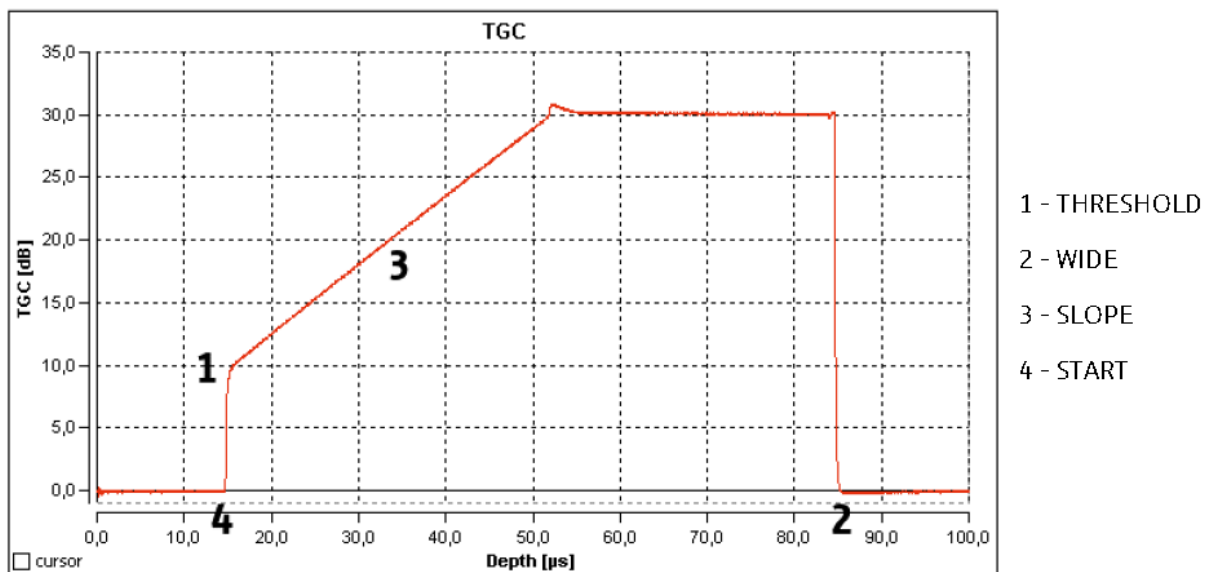
Fig. 24: GS-EchoView after program start

2) Opatrně provlékneme kabely sond plastovými držáky, sondy upevníme v otvorech držáků a opatrně připojíme sondy nasunutím do konektorů k přístroji GS200 – konektory „PROBE 1“ a „PROBE 2“.

Receiver/transmitter setting

Switch position	Transmitter	Receiver	Mode of operation
1 1	Probe 1	Probe 1	Reflection
1 2	Probe 1	Probe 2	Transmission
2 1	Probe 2	Probe 1	Transmission
2 2	Probe 2	Probe 2	Reflection

3) Pracovní módy přepínáme na panelu „TRANSMITTER / RECEIVER – MODE“. Význam označení je následující: 1/1=vysílač sonda 1/ přijímač sonda 1 (mód na odraz vlny), 1/2=vysílač sonda 1/ přijímač sonda 2 (mód na průchod vlny), 2/1=vysílač sonda 2/ přijímač sonda 1 (mód na průchod vlny), 2/2=vysílač sonda 2/ přijímač sonda 2 (mód na odraz vlny).
 4) Na panelu „RECEIVER/TRANSMITTER“ nastavujeme zesílení amplitudy pro vysílající sondu (knoflík OUTPUT dB) a zesílení amplitudy pro přijímající sondu (knoflík GAIN dB). OUTPUT nastavený na OFF vypíná výstup z vysílací sondy a UZ není generován. Přepínání vyžaduje chvíli vyčkat, než se výstup nebo příjem UZ vlny po přepnutí parametrů ustálí. Která sonda vysílá a která přijímá je určeno přepínačem na panelu „TRANSMITTER / RECEIVER – MODE“. Takto lze regulovat amplitudy zobrazovaných signálů na měřitelné úrovni v počítačovém programu.

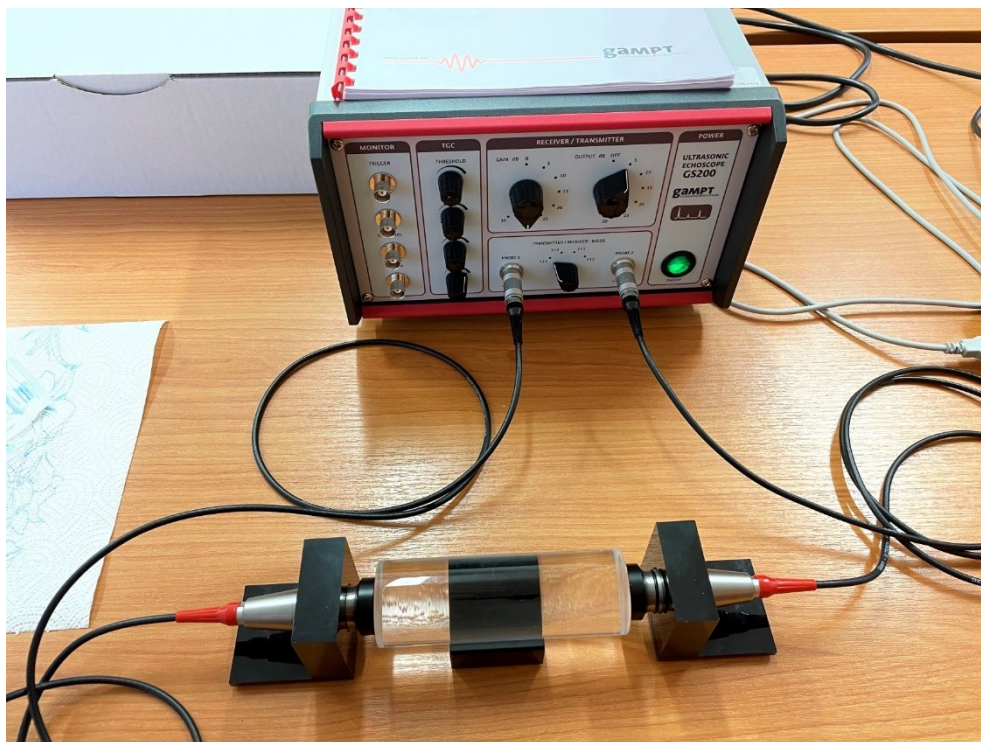


5) Funkce Triggeru – panel TGC. Na tomto panelu můžeme manuálně a selektivně regulovat amplitudy ozvěn zobrazovaných v počítačovém programu. K dispozici jsou funkce „THRESHOLD“, „WIDE“, „START“ a „SLOPE“. Funkce „START“ umožňuje nastavit počátek (na časové škále zobrazení ozvěn v počítačovém programu) oblasti zesílení signálu, funkce „SLOPE“ nárůst hodnot zesílení, „WIDE“ šířku zesilované oblasti a „THRESHOLD“ maximální úroveň zesílení.



Fig. 10: Ultrasonic single-element transducers (blue: 1 MHz, red: 2 MHz, green: 4 MHz)

6) UZ sondy mají stejný design uložení ve stejných pouzdech, které lze přes gumové O-kroužky upevnit v otvoru plastového držáku. Sondy se liší barevným označením, které se zobrazuje v počítačovém programu – 1MHz = modrá, 2MHz=červená a 4MHz=zelená. Nejnižší frekvence 1MHz umožňuje největší hloubku průniku UZ vlny do látky, ale naopak nejmenší podélné rozlišení (úměrné vlnové délce UZ vlny v materiálu). Se zvyšující se frekvencí sondy se zmenšuje hloubka průniku UZ vlny do látky, ale zvětšuje se rozlišení při zobrazení defektů v látce. Používáme gel pro akustické přizpůsobení mezi sondou a povrchem vzorku.



7) Počítačový program umožňuje nastavení základních parametrů – módu činnosti přístroje (využijeme pouze „A-MODE“ a „B-MODE“), základních parametrů nastavení rozsahů sond a pulsu a zobrazování ozvěn (defektů pro defektoskopický mód B-MODE).

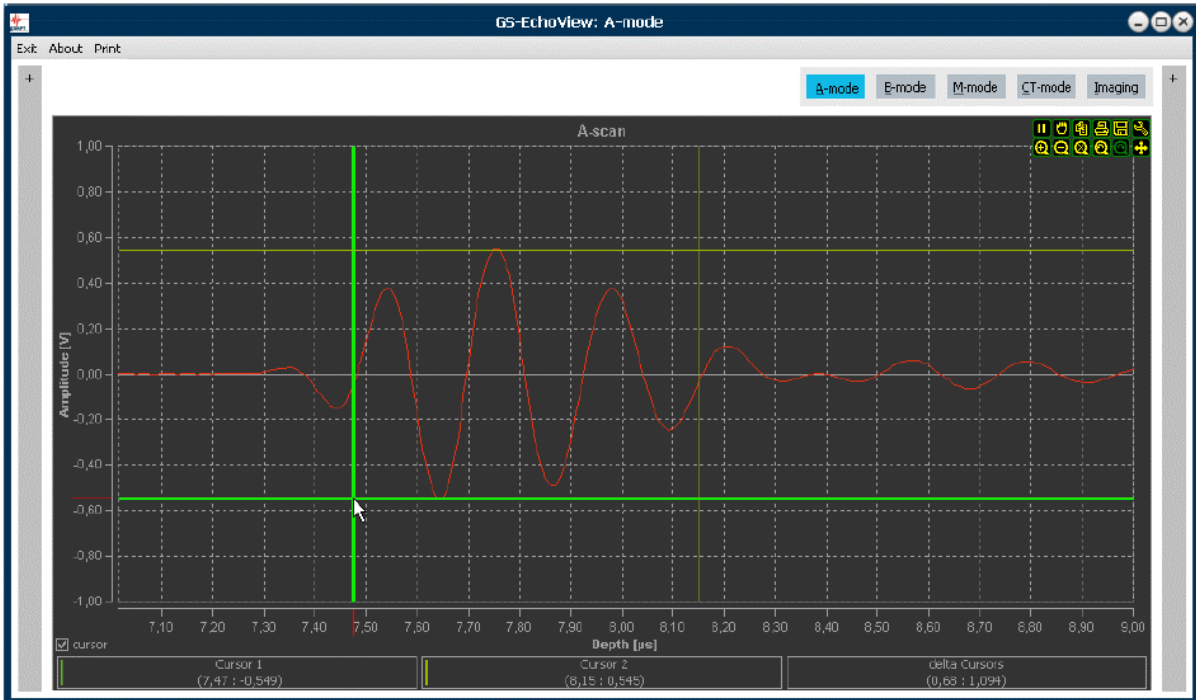


Fig. 21: Selected measuring cursor in the A-scan diagram.

Pro zobrazení UZ vlny a jejích ozvěn použijeme HF+Amp mód. Polohu pulzu měříme podle polohy maxima v Amp zobrazení.

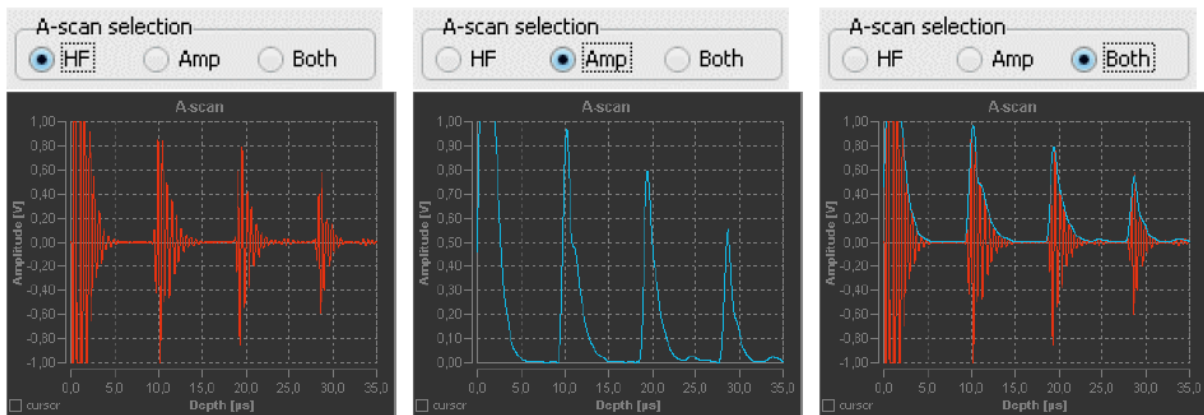


Fig. 26: Display modes of an amplitude scan

8) A-MODE umožňuje nastavení spuštění „Start A-MODE“ a jeho zafixování pro odečet hodnot „FREEZE“. Zobrazený diagram má funkční tlačítka jak pro celý diagram, tak pro jednotlivé osy umožňující zvláště škálování hodnot na jednotlivých osách a v diagramu pro snadnější měření hodnot. Jsou k dispozici kurzorem přetahovatelné vodorovné a svislé kurzory pro změření polohy pulsu jak na časové ose, tak hodnot amplitudy na svislé ose diagramu. Poloha kurzoru a rozdíl v polohách svislých kurzorů (tj. časový rozdíl) je zobrazen v informačních okénkách.

9) Pro zobrazení defektů v pevné látce použijeme plexisklový blok s vyvrtanými otvory a sondy různých frekvencí. Nastavíme „B-MODE“ a v jeho parametrech rychlost šíření UZ vlny v plexiskle, která nám vyšla v předchozí úloze (asi 2700 m s^{-1}), a zobrazení polohy v jednotkách mm . Spustíme „Start B-MODE“, obrázek odrazů UZ vlny postupně probíhá a zobrazuje defekty v plexisklovém bloku nacházející se pod sondou.

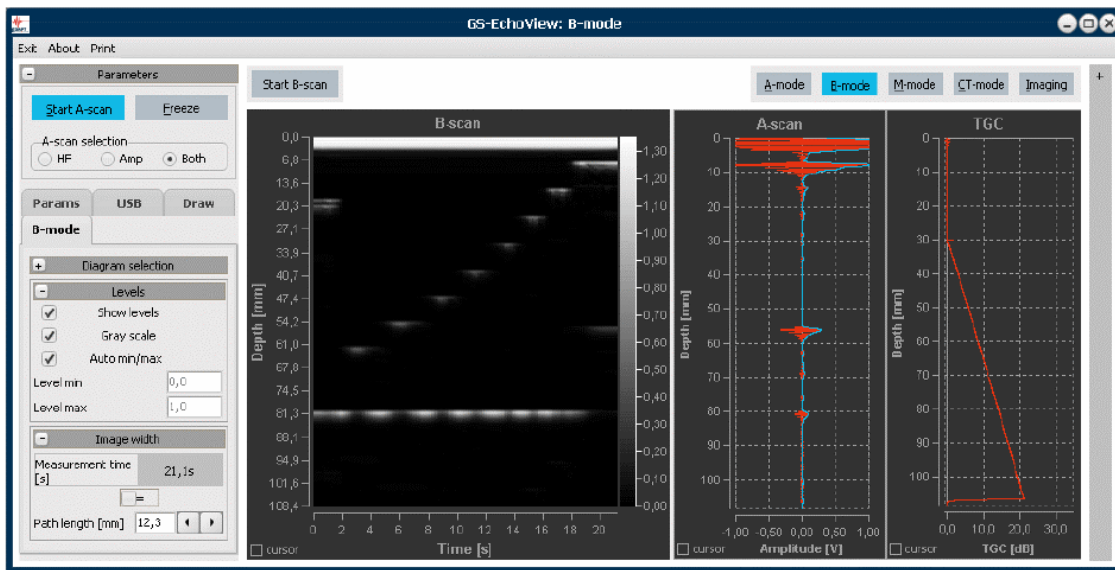
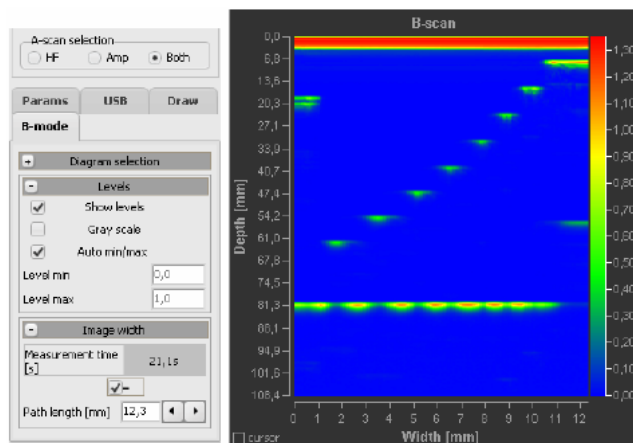
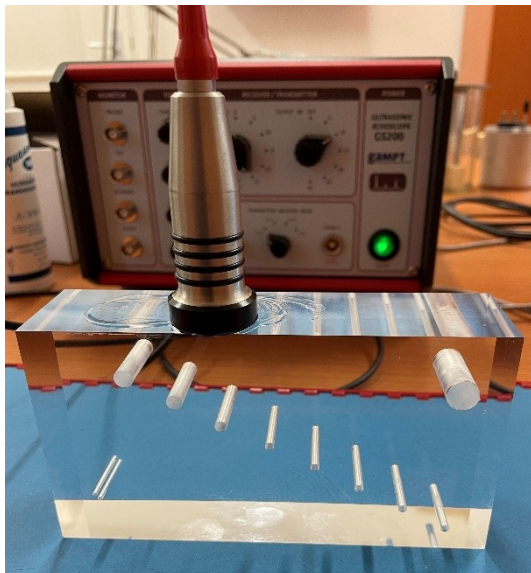
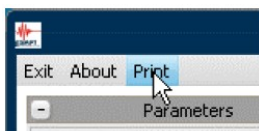


Fig. 50: Program view in B-mode operation



10) Výstup je možný tiskem v různých formátech (pdf, jpg) – přineste si flash-disc na přenos dat.



Výsledky:

Rychlosti UZ vlny v různých prostředích.
Plexisklo (Poissonův modul $\mu=0.415$)

Frekvence [MHz]	Délka tělesa d [mm]	Délka průchodu l [mm]	Čas průchodu t [μ s]	Rychlost UZ c [ms^{-1}]	Modul E [GPa]	Mód
1	40	80	30.29	2641	3.42	1. max odraz
1	80	160	59.75	2678	3.51	1. max odraz
1	120	240	89.29	2688	3.52	1. max odraz
2	40	40	15.66	2554	3.20	1. max průchod
2	40	120	45.31	2648	3.44	2. max průchod
2	40	80	29.64	2699	3.57	1. max odraz
2	40	160	59.13	2706	3.59	2. max odraz
2	80	80	30.36	2635	3.40	1. max průchod
2	80	160	59.05	2710	3.60	1. max odraz
2	120	120	45.29	2650	3.42	1. max průchod
2	120	240	88.58	2709	3.58	1. max odraz
4	40	80	29.64	2699	3.57	1. max odraz
4	80	160	58.96	2714	3.61	1. max odraz
4	120	240	88.04	2726	3.62	1. max odraz
Průměr				2675	3.50	

Dural (Poissonův modul $\mu=0.334$)

Frekvence [MHz]	Délka tělesa d [mm]	Délka průchodu l [mm]	Čas průchodu t [μ s]	Rychlost UZ c [ms^{-1}]	Modul E [GPa]	Mód
1	55	110	18.26	6024	67.40	1. max odraz
1	55	220	35.97	6116	69.48	2. max odraz
1	55	330	53.16	6208	71.57	3. max odraz
2	55	55	9.33	5895	64.54	1. max průchod

2	55	165	26.84	6148	70.19	2. max průchod
2	55	275	43.86	6270	73.02	3. max průchod
2	55	110	17.44	6307	73.89	1. max odraz
2	55	220	34.63	6353	74.96	2. max odraz
2	55	330	52.49	6287	73.41	3. max odraz
4	55	110	17.73	6204	71.49	1. max odraz
4	55	220	35.01	6284	73.34	2. max odraz
4	55	330	52.29	6311	73.97	3. max odraz
Průměr				6201	71.44	

Chybu měření určíme jednak jako chybu rozptylu naměřených hodnot v různých módech, tak započteme chybu jednoho měření času a délky tělesa.