

## 2.3 Nedestruktivní zkoušky

### 2.3.1 Přehled provedených zkoušek

Jak již bylo předesláno v kap.1.4.4., v této práci je měřena rychlost šíření podélných UZ vln a intenzita zbytkového magnetického pole  $H_r$  za účelem kontroly vyloučení grafitu, mechanických vlastností (tvrdost, pevnost, počáteční modul pružnosti), identifikace struktury, detekce oduhličení či množství zbytkového austenitu. Jednotlivé parametry byly vybrány tak, aby bylo možné kontrolovat celý proces výroby izotermicky kalených litin – každá z použitých metod se vyznačuje rozdílnou citlivostí na strukturní vlivy.

Základní principy a postupy jednotlivých zkoušek byly popsány v kap.1.4 - v kap. 2.3 jsou tedy uvedeny již pouze podmínky měření, vybrané výsledky a výpočty z maněřených hodnot, příp. další podstatné informace týkající se měření.

V tab. 2.3.1 – 2.3.4 je pro lepší orientaci uveden přehled zkoušek prováděných na jednotlivých vzorcích neboť, jak bylo zdůvodněno v kap. 2.1, nebylo možné pokrýt všechny varianty TZ shodnými zkouškami. Měření drsnosti povrchu, rentgenografická fázová analýza a analýza Barkhausenova šumu jsou součástí kap. 2.5 – Řízené zpevňování povrchu.

#### Legenda k tabulkám:

<b>Lu</b>	<i>měření akustické dráhy pro výpočet rychlosti UZ</i>
<b>Hr</b>	<i>měření zbytkové magnetizace metodou magnetické skvrny</i>
<b>XRD</b>	<i>rentgenografická kvalitativní a kvantitativní fázová analýza</i>
<b>BNA</b>	<i>měření magnetoelastického parametru analyzátozem Barkhausenova šumu</i>
<b>DP</b>	<i>měření drsnosti povrchu (před a po kuličkování)</i>
<b><math>E_0</math></b>	<i>měření počátečního modulu pružnosti <math>E_0</math> ultrazvukem</i>
<b>oduhl. mag</b>	<i>detekce a měření hloubky oduhličení metodou magnetické skvrny</i>
<b>opak. mag</b>	<i>identifikace struktury opakovanou magnetizací, měření ustálené hodnoty <math>H_r</math>, metoda magnetické skvrny</i>

**Tab.2.3.1:** Přehled nedestruktivních zkoušek základní sady LLG/AGI.

Vzorek	Lu	Hr	XRD	BNA	E <sub>0</sub>	DP	opak. mag.	oduhl. mag.
ZS LLG	•	•	-	-	-	-	•	-
3L2 240	•	•	-	-	-	-	•	-
3L1 240	•	•	-	-	-	-	•	-
3L6 240	•	•	-	-	-	-	•	-
9L2 240	•	•	-	-	-	-	•	-
9L1 240	•	•	-	-	-	-	•	-
9L6 240	•	•	-	-	-	-	•	-
3L2 310	•	•	-	-	-	-	•	•
3L1 310	•	•	-	-	-	-	•	•
3L6 310	•	•	-	-	-	-	•	•
9L2 310	•	•	-	-	-	-	•	•
9L1 310	•	•	-	-	-	-	•	•
9L6 310	•	•	-	-	-	-	•	•
3L2 400	•	•	-	-	-	-	•	-
3L1 400	•	•	-	-	-	-	•	-
3L6 400	•	•	•	•	-	•	•	-
9L2 400	•	•	-	-	-	-	•	-
9L1 400	•	•	-	-	-	-	•	-
9L6 400	•	•	•	•	-	-	•	-

**Tab.2.3.2:** Přehled nedestruktivních zkoušek základní sady LVG/AVGI.

Vzorek	Lu	Hr	XRD	BNA	E <sub>0</sub>	DP	opak. mag.	oduhl. mag.
ZS LVG	•	•	-	-	-	-	•	-
3C2 240	•	•	-	-	•	-	•	-
3C1 240	•	•	-	-	•	-	•	-
3C6 240	•	•	-	-	•	-	•	-
9C2 240	•	•	-	-	•	-	•	-
9C1 240	•	•	-	-	•	-	•	-
9C6 240	•	•	-	-	•	-	•	-
3C2 310	•	•	-	-	•	-	•	•
3C1 310	•	•	-	-	•	-	•	•
3C6 310	•	•	•	•	•	•	•	•
9C2 310	•	•	-	-	•	-	•	•
9C1 310	•	•	-	-	•	-	•	•
9C6 310	•	•	•	•	•	•	•	•
3C2 400	•	•	-	-	•	-	•	-
3C1 400	•	•	-	-	•	-	•	-
3C6 400	•	•	•	•	•	•	•	-
9C2 400	•	•	-	-	•	-	•	-
9C1 400	•	•	-	-	•	-	•	-
9C6 400	•	•	•	•	•	•	•	-

**Tab.2.3.3:** Přehled nedestruktivních zkoušek základní sady LKG/AVGI.

Vzorek	Lu	Hr	XRD	BNA	E <sub>0</sub>	DP	opak. mag.	oduhl. mag.
ZS LKG	•	•	-	-	-	-	•	-
3K2 240	•	•	-	-	-	-	•	-
3K1 240	•	•	-	-	-	-	•	-
3K6 240	•	•	-	-	-	-	•	-
9K2 240	•	•	-	-	-	-	•	-
9K1 240	•	•	-	-	-	-	•	-
9K6 240	•	•	-	-	-	-	•	-
3K2 310	•	•	-	-	-	-	•	•
3K1 310	•	•	-	-	-	-	•	•
3K6 310	•	•	•	•	-	•	•	•
9K2 310	•	•	-	-	-	-	•	•
9K1 310	•	•	-	-	-	-	•	•
9K6 310	•	•	•	•	-	•	•	•
3K2 400	•	•	-	-	-	-	•	-
3K1 400	•	•	-	-	-	-	•	-
3K6 400	•	•	•	•	-	•	•	-
9K2 400	•	•	-	-	-	-	•	-
9K1 400	•	•	-	-	-	-	•	-
9K6 400	•	•	•	•	-	•	•	-

**Tab.2.3.4:** Přehled nedestruktivních zkoušek speciální sady AVGI – Heunisch.

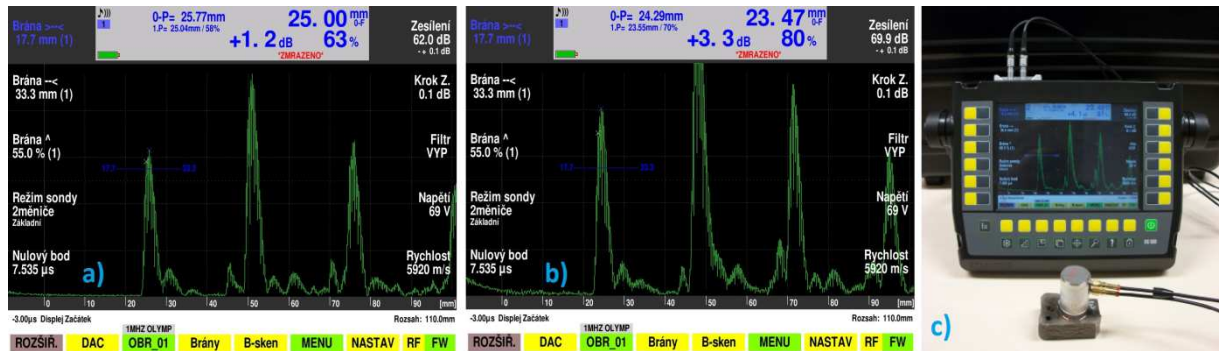
Vzorek	Lu	Hr	XRD	BNA	E <sub>0</sub>	DP	opak. mag.	oduhl. mag.
3_15.5_2_240	•	•	-	-	-	-	•	-
3_37.5_1_240	•	•	-	-	-	-	•	-
3_34.5_6_240	•	•	-	-	-	-	•	-
9_16.6_2_240	•	•	-	-	-	-	•	-
9_7.6_1_240	•	•	-	-	-	-	•	-
9_34.6_6_240	•	•	-	-	-	-	•	-
3_12.5_2_310	•	•	-	-	-	-	•	-
3_10.5_1_310	•	•	-	-	-	-	•	-
3_27.5_6_310	•	•	-	-	-	-	•	-
9_30.6_2_310	•	•	-	-	-	-	•	-
9_29.6_1_310	•	•	-	-	-	-	•	-
9_11.6_6_310	•	•	-	-	-	-	•	-
3_16.5_2_400	•	•	-	-	-	-	•	-
3_13.5_1_400	•	•	-	-	-	-	•	-
3_40.5_6_400	•	•	-	-	-	-	•	-
9_39.6_2_400	•	•	-	-	-	-	•	-
9_40.6_1_400	•	•	-	-	-	-	•	-
9_14.6_6_400	•	•	-	-	-	-	•	-

## 2.3.2 Akustická měření

### 2.3.2.1 Měření akustické dráhy Lu a výpočet rychlosti šíření UZ

Na všech vzorcích bylo provedeno měření akustické dráhy  $Lu$  [mm] – viz obr.2.3.2.1.1b. K měření byly použity dvouměničové přímé sondy o frekvenci 2 MHz (Starmans; LKG a LVG) a 1 MHz (Olympus; LLG) a defektoskop STARMANS DIO 1000 (viz obr.2.3.2.1.1c). Kalibrováno bylo na ocelové měrce K1 ( $L = 25$  mm,  $c_L = 5920$  m/s) – viz obr.2.3.2.1.1a. Pro každý vzorek bylo provedeno 5 měření impulzní odrazovou metodou a vypočtena střední hodnota  $Lu$  i  $L$ . Z těchto hodnot byly vypočteny rychlosti podélných ultrazvukových vln  $c_L$  [m/s] dle vztahu (1.4.1.4).

Tzv. relativní rychlost UZ  $c_R=L/L_u$  m/s slouží jako porovnávací hodnota, příp. se dosazuje do výpočtu  $c_L$ . Hodnota  $dc_{LTZ}$  je rozdílem rychlostí počátečního (základního) a TZ stavu – byla vypočtena pro potřeby sestavení některých závislostí – viz kap. 2.4. Naměřené i vypočtené hodnoty jsou obsaženy v tab.2.3.2.1.1 – 2.3.2.1.4. Počáteční hodnoty rychlostí  $c_{LZS}$  a  $c_{RZS}$  vzorků speciální sady LVG – Heunisch byly převzaty z předchozího výzkumu.



**Obr.2.3.2.1.1:** Měření akustických vlastností; a) kalibrace; b) měření akustické dráhy ; c) UZ defektoskop Starmans DIO 1000

**Tab.2.3.2.1.1:** Hodnoty naměřené ultrazvukem - základní sada LLG/AGI. L a Lu jsou středními hodnotami.

Vzorek	L	Lu	$c_R$	$c_L$	sonda	$dc_{LTZ}$
	[mm]	[mm]	[-]	[m/s]	[MHz]	[m/s]
<b>ZS LLG</b>	21,04	26,48	0,795	<b>4736</b>	1	-
<b>3L2 240</b>	22,12	28,40	0,779	<b>4642</b>	1	94
<b>3L1 240</b>	16,44	22,60	0,727	<b>4335</b>	1	401
<b>3L6 240</b>	23,26	33,79	0,688	<b>4102</b>	1	634
<b>9L2 240</b>	18,56	24,45	0,759	<b>4524</b>	1	212
<b>9L1 240</b>	19,90	27,45	0,725	<b>4321</b>	1	415
<b>9L6 240</b>	19,72	28,33	0,696	<b>4149</b>	1	587
<b>3L2 310</b>	15,87	22,74	0,698	<b>4159</b>	1	577
<b>3L1 310</b>	18,59	26,07	0,713	<b>4250</b>	1	486
<b>3L6 310</b>	16,27	22,14	0,735	<b>4380</b>	1	356
<b>9L2 310</b>	15,57	22,30	0,698	<b>4161</b>	1	575
<b>9L1 310</b>	18,96	26,85	0,706	<b>4209</b>	1	527
<b>9L6 310</b>	16,31	22,55	0,723	<b>4311</b>	1	425
<b>3L2 400</b>	19,36	26,51	0,730	<b>4353</b>	1	383
<b>3L1 400</b>	21,30	28,28	0,753	<b>4489</b>	1	247
<b>3L6 400</b>	19,80	25,43	0,779	<b>4640</b>	1	96
<b>9L2 400</b>	19,33	26,77	0,722	<b>4304</b>	1	432
<b>9L1 400</b>	19,80	26,15	0,757	<b>4513</b>	1	223
<b>9L6 400</b>	21,31	27,30	0,781	<b>4652</b>	1	84

**Tab.2.3.2.1.2:** Hodnoty naměřené ultrazvukem - základní sada LVG/AVGI. L a Lu jsou středními hodnotami.

Vzorek	L	Lu	c <sub>R</sub>	c <sub>L</sub>	sonda	dc <sub>L,TZ</sub>
	[mm]	[mm]	[-]	[m/s]	[MHz]	[m/s]
<b>ZS LVG</b>	19,29	21,16	0,912	<b>5433</b>	2	-
<b>3C2 240</b>	14,50	16,30	0,890	<b>5302</b>	2	131
<b>3C1 240</b>	19,19	21,93	0,875	<b>5215</b>	2	218
<b>3C6 240</b>	19,05	22,08	0,863	<b>5142</b>	2	291
<b>9C2 240</b>	14,25	16,14	0,883	<b>5262</b>	2	171
<b>9C1 240</b>	19,10	21,93	0,871	<b>5191</b>	2	242
<b>9C6 240</b>	19,24	22,24	0,865	<b>5156</b>	2	277
<b>3C2 310</b>	19,04	21,81	0,873	<b>5203</b>	2	230
<b>3C1 310</b>	14,97	16,97	0,882	<b>5258</b>	2	175
<b>3C6 310</b>	14,92	16,99	0,878	<b>5234</b>	2	199
<b>9C2 310</b>	19,02	21,96	0,866	<b>5162</b>	2	271
<b>9C1 310</b>	19,05	21,53	0,885	<b>5273</b>	2	160
<b>9C6 310</b>	15,05	17,30	0,870	<b>5185</b>	2	248
<b>3C2 400</b>	22,19	25,20	0,881	<b>5248</b>	2	185
<b>3C1 400</b>	19,22	21,33	0,901	<b>5370</b>	2	63
<b>3C6 400</b>	22,11	24,81	0,891	<b>5311</b>	2	122
<b>9C2 400</b>	18,44	20,79	0,887	<b>5286</b>	2	147
<b>9C1 400</b>	16,70	18,39	0,908	<b>5412</b>	2	21
<b>9C6 400</b>	19,80	22,15	0,894	<b>5328</b>	2	105

**Tab.2.3.2.1.3:** Hodnoty naměřené ultrazvukem - základní sada LKG/ADI. L a Lu jsou středními hodnotami.

Vzorek	L	Lu	c <sub>R</sub>	c <sub>L</sub>	sonda	dc <sub>L,TZ</sub>
	[mm]	[mm]	[-]	[m/s]	[MHz]	[m/s]
<b>ZS LKG</b>	15,03	15,60	0,963	<b>5742</b>	2	-
<b>3K2 240</b>	14,83	16,05	0,924	<b>5507</b>	2	235
<b>3K1 240</b>	17,55	19,33	0,908	<b>5411</b>	2	331
<b>3K6 240</b>	20,47	22,76	0,899	<b>5360</b>	2	382
<b>9K2 240</b>	20,95	22,57	0,928	<b>5532</b>	2	210
<b>9K1 240</b>	19,99	21,78	0,918	<b>5470</b>	2	272
<b>9K6 240</b>	20,88	23,13	0,903	<b>5380</b>	2	362
<b>3K2 310</b>	20,52	22,21	0,924	<b>5506</b>	2	236
<b>3K1 310</b>	21,75	23,41	0,929	<b>5537</b>	2	205
<b>3K6 310</b>	21,05	22,36	0,941	<b>5611</b>	2	131
<b>9K2 310</b>	20,78	22,61	0,919	<b>5478</b>	2	264
<b>9K1 310</b>	19,94	21,37	0,933	<b>5561</b>	2	181
<b>9K6 310</b>	20,96	22,25	0,942	<b>5614</b>	2	128
<b>3K2 400</b>	20,45	22,60	0,905	<b>5393</b>	2	349
<b>3K1 400</b>	20,32	21,97	0,925	<b>5512</b>	2	230
<b>3K6 400</b>	18,55	19,75	0,939	<b>5598</b>	2	144
<b>9K2 400</b>	19,97	21,73	0,919	<b>5477</b>	2	265
<b>9K1 400</b>	19,65	21,06	0,933	<b>5561</b>	2	181
<b>9K6 400</b>	19,65	20,82	0,944	<b>5625</b>	2	117

**Tab.2.3.2.1.4:** Hodnoty naměřené ultrazvukem - speciální sada AGI Heunisch.  $L$  a  $Lu$  jsou středními hodnotami.

Vzorek	$L$	$Lu$	$c_R$	$c_L$	sonda	$c_{LZS}$	$c_{RZS}$	$d_{CLTZ}$
	[mm]	[mm]	[-]	[m/s]	[MHz]	[m/s]	[m/s]	[m/s]
3_15.5_2_240	20,10	23,92	0,840	<b>5008</b>	2	5353	0,903	345
3_37.5_1_240	19,82	23,72	0,836	<b>4980</b>	2	5385	0,892	405
3_34.5_6_240	19,77	23,86	0,829	<b>4938</b>	2	5340	0,898	402
9_16.6_2_240	23,82	28,26	0,843	<b>5024</b>	2	5347	0,890	323
9_7.6_1_240	23,75	28,31	0,839	<b>5000</b>	2	5315	0,899	315
9_34.6_6_240	23,88	29,12	0,820	<b>4888</b>	2	5306	0,884	418
3_12.5_2_310	19,95	22,77	0,876	<b>5222</b>	2	5581	0,907	359
3_10.5_1_310	19,89	22,05	0,902	<b>5376</b>	2	5620	0,912	244
3_27.5_6_310	19,95	22,54	0,885	<b>5275</b>	2	5454	0,907	179
9_30.6_2_310	23,90	27,10	0,882	<b>5256</b>	2	5462	0,914	206
9_29.6_1_310	23,85	26,30	0,907	<b>5405</b>	2	5503	0,904	98
9_11.6_6_310	<b>25,10</b>	<b>41,56</b>	<b>0,604</b>	<b>3600</b>	1	<b>5417</b>	<b>0,915</b>	<b>1817</b>
3_16.5_2_400	19,85	22,18	0,895	<b>5334</b>	2	5502	0,910	173
3_13.5_1_400	20,02	21,86	0,916	<b>5458</b>	2	5506	0,906	168
3_40.5_6_400	25,35	28,14	0,901	<b>5369</b>	2	5435	0,911	66
9_39.6_2_400	23,26	25,96	0,896	<b>5340</b>	2	5519	0,896	179
9_40.6_1_400	23,67	25,70	0,921	<b>5489</b>	2	5575	0,892	86
9_14.6_6_400	23,73	26,22	0,905	<b>5394</b>	2	5465	0,976	71

Pozn.: vzorek 11.6 obsahuje degenerovaný grafit.

### 2.3.2.2 Měření na štíhlých tyčích, stanovení počátečního modulu pružnosti

Aby bylo možné vypočítat počáteční modul pružnosti  $E_0$  z hodnot  $L$  a  $Lu$  naměřených ultrazvukem, je třeba nejprve provést měření na speciálním vzorku ve tvaru štíhlé tyče a určit materiálovou konstantu  $K$ . Celý postup určení konstanty i příslušné vztahy pro výpočty jsou uvedeny v kap.1.4.1.

Vzhledem k nedostatku materiálu na výrobu speciálních vzorků nebylo možné stanovit konstanty pro všechny typy zkoušených litin. Určení  $E_0$  pomocí UZ je tedy demonstrováno pouze na vzorcích z izotermicky kalené litiny s vemikulárním grafitem, kde tato možnost ještě nebyla vyzkoušena. Konstanta  $K$  byla zjišťována na dvou tyčích s rozdílným TZ – 9C6 310 a 9C6 400. Konstanta by měla vyjít z obou měření téměř shodně (viz veličiny pro určení konstanty) – tzn., že konstantu lze následně použít k výpočtu  $E_0$  i pro více „variant“ TZ daného materiálu. (Pro vzorek v ZS nebo příp. zcela odlišný druh TZ by bylo nutné zjistit konstantu  $K$  zvlášť.)

K měření na štíhlých tyčích byl využit UZ defektoskop Starmans DIO 562 a 2 MHz přímá dvouměničová sonda. Měřeno bylo impulsní odrazovou metodou. Naměřené a vypočtené hodnoty jsou shrnuty v tabulkách 2.3.2.2.1 a 2.3.2.2.2. Veličina  $dE_{OTZ}$  vyjadřuje rozdíl mezi hodnotou  $E_0$  v základním a izotermicky kaleném stavu. Pro výpočet  $E_0$  v tab. 2.3.2.2.2 se používá konstanta  $K$  zaokrouhlená na celé číslo. Výsledná hodnota modulu z výpočtu je v řádu [MPa], v tabulce přepočtena na [GPa] a zaokrouhlená na celé číslo. Hodnota  $E_0$  ZS LVG byla převzata z předchozího výzkumu.

**Tab.2.3.2.2.1:** Hodnoty naměřené na štíhlých tyčích a výpočtené konstanty K.

Vzorek	Veličina					Konstanta K [N <sup>1/2</sup> ·m <sup>-1</sup> ]
	c <sub>L0</sub> [m/s]	M [kg]	V [m <sup>3</sup> ]	r [mm]	L [mm]	
9C6 310	5920	0,418	0,0595	16,8	190,3	K <sub>1</sub> = 445,989
	Lu [mm]	d [mm]	T [mm]	μ [-]	ρ [kg/m <sup>3</sup> ]	
	218,66	19,96	14,652017	0,27	7037,84	
9C6 400	c <sub>L0</sub> [m/s]	M [kg]	V [m <sup>3</sup> ]	r [mm]	L [mm]	K <sub>2</sub> =445,416
	5920	0,399	0,0567	16,8	180,1	
	Lu [mm]	d [mm]	T [mm]	μ [-]	ρ [kg/m <sup>3</sup> ]	
	205,53	20,02	14,743548	0,27	7042,51	

**Tab.2.3.2.2.2:** Hodnoty počátečního modulu pružnosti E<sub>0</sub> vzorků základní sady LVG.

Vzorek	L	Lu	E <sub>0</sub>	dE <sub>07Z</sub>
	[mm]	[mm]	[GPa]	[GPa]
ZS LVG	19,29	21,16	168	-
3C2 240	14,50	16,30	157	11
3C1 240	19,19	21,93	152	16
3C6 240	19,05	22,08	149	19
9C2 240	14,25	16,14	154	14
9C1 240	19,10	21,93	150	18
9C6 240	19,24	22,24	148	20
3C2 310	19,04	21,81	151	17
3C1 310	14,97	16,97	154	14
3C6 310	14,92	16,99	153	15
9C2 310	19,02	21,96	149	19
9C1 310	19,05	21,53	155	13
9C6 310	15,05	17,30	150	18
3C2 400	22,19	25,20	154	14
3C1 400	19,22	21,33	161	7
3C6 400	22,11	24,81	157	11
9C2 400	18,44	20,79	156	12
9C1 400	16,70	18,39	163	5
9C6 400	19,80	22,15	158	10

## 2.3.3 Magnetická měření

### 2.3.3.1 Měření Hr opakovanou magnetizací pro identifikaci matrice

Na všech vzorcích bylo provedeno měření metodou opakované magnetizace, určené pro identifikaci struktury matrice. Výsledky jsou v kap.2.4.3.1 porovnány s údaji z metalografie a mechanickými vlastnostmi a jednotlivé hodnoty parametru **dHr [A/m]** jsou navázány na příslušné struktury. Postup měření opakovanou magnetizací je popsán v kap.1.4.2.

Měřeno bylo pomocí magnetického strukturoskopu DOMENA B3 v režimu *L*, stupeň magnetizace M3. **Kalibrováno na  $H_r = 200$  A/m (270 HB)**, stupeň magnetizace M3 v režimu *T*. Výsledky jsou shrnuty v tabulkách 2.3.3.1.1 – 2.3.3.1.4.

Počáteční hodnoty  $H_{r1zs}$  a  $H_{r2zs}$  vzorků speciální sady LVG – Heunisch byly převzaty z předchozího výzkumu. Hodnota  $dH_{rzs}$  je pak rozdílem mezi 1. a 2. měřením výchozího stavu ( $H_{r1zs}$  a  $H_{r2zs}$ ).

**Tab.2.3.3.1.1:** Hodnoty naměřené opakovanou magnetizací - základní sada LLG/AGI.

Vzorek	$H_{r1}$ [A/m]	$H_{r2}$ [A/m]	$dH_r$ [A/m]	kalibr [A/m]
<b>ZS LLG</b>	135	123	<b>12</b>	200
<b>3L2 240</b>	341	310	<b>31</b>	199
<b>3L1 240</b>	318	285	<b>33</b>	200
<b>3L6 240</b>	306	272	<b>34</b>	200
<b>9L2 240</b>	383	350	<b>33</b>	200
<b>9L1 240</b>	382	348	<b>34</b>	199
<b>9L6 240</b>	375	340	<b>35</b>	200
<b>3L2 310</b>	296	258	<b>38</b>	199
<b>3L1 310</b>	323	281	<b>42</b>	199
<b>3L6 310</b>	357	314	<b>43</b>	200
<b>9L2 310</b>	358	320	<b>38</b>	200
<b>9L1 310</b>	392	347	<b>45</b>	199
<b>9L6 310</b>	404	356	<b>48</b>	200
<b>3L2 400</b>	344	294	<b>50</b>	200
<b>3L1 400</b>	363	311	<b>52</b>	200
<b>3L6 400</b>	395	339	<b>56</b>	200
<b>9L2 400</b>	411	360	<b>51</b>	199
<b>9L1 400</b>	430	372	<b>58</b>	200
<b>9L6 400</b>	443	383	<b>60</b>	201

**Tab.2.3.3.1.2:** Hodnoty naměřené opakovanou magnetizací - základní sada LVG/AVGI.

Vzorek	$H_{r1}$ [A/m]	$H_{r2}$ [A/m]	$dH_r$ [A/m]	kalibr [A/m]
<b>ZS LVG</b>	56	47	<b>9</b>	200
<b>3C2 240</b>	314	285	<b>29</b>	200
<b>3C1 240</b>	308	276	<b>32</b>	201
<b>3C6 240</b>	303	270	<b>33</b>	200
<b>9C2 240</b>	330	300	<b>30</b>	200
<b>9C1 240</b>	311	280	<b>31</b>	199
<b>9C6 240</b>	320	286	<b>34</b>	200
<b>3C2 310</b>	281	243	<b>38</b>	199
<b>3C1 310</b>	345	297	<b>48</b>	200
<b>3C6 310</b>	312	267	<b>45</b>	199
<b>9C2 310</b>	299	260	<b>39</b>	199
<b>9C1 310</b>	359	309	<b>50</b>	200
<b>9C6 310</b>	331	285	<b>46</b>	200
<b>3C2 400</b>	345	293	<b>52</b>	200
<b>3C1 400</b>	361	302	<b>59</b>	200
<b>3C6 400</b>	359	305	<b>54</b>	199
<b>9C2 400</b>	366	313	<b>53</b>	200
<b>9C1 400</b>	390	330	<b>60</b>	190
<b>9C6 400</b>	390	335	<b>55</b>	200



**Tab.2.3.3.1.3: Hodnoty naměřené opakovanou magnetizací - základní sada LKG/ADI.**

Vzorek	Hr <sub>1</sub>	Hr <sub>2</sub>	dHr	kalibr
	[A/m]	[A/m]	[A/m]	[A/m]
<b>ZS LKG</b>	77	66	<b>11</b>	200
<b>3K2 240</b>	313	281	<b>32</b>	200
<b>3K1 240</b>	307	274	<b>33</b>	200
<b>3K6 240</b>	302	268	<b>34</b>	200
<b>9K2 240</b>	331	298	<b>33</b>	200
<b>9K1 240</b>	320	287	<b>33</b>	200
<b>9K6 240</b>	319	284	<b>35</b>	200
<b>3K2 310</b>	312	274	<b>38</b>	200
<b>3K1 310</b>	322	280	<b>42</b>	199
<b>3K6 310</b>	332	284	<b>48</b>	200
<b>9K2 310</b>	311	271	<b>40</b>	200
<b>9K1 310</b>	332	289	<b>43</b>	201
<b>9K6 310</b>	343	293	<b>50</b>	200
<b>3K2 400</b>	336	285	<b>51</b>	200
<b>3K1 400</b>	355	298	<b>57</b>	197
<b>3K6 400</b>	363	304	<b>59</b>	200
<b>9K2 400</b>	355	301	<b>54</b>	201
<b>9K1 400</b>	383	327	<b>56</b>	199
<b>9K6 400</b>	392	332	<b>60</b>	200

**Tab.2.3.3.1.4: Hodnoty naměřené opakovanou magnetizací - speciální sada AVGI Heunisch.**

Vzorek	Hr <sub>1</sub>	Hr <sub>2</sub>	dHr	kalibr	Hr <sub>1zs</sub>	Hr <sub>2zs</sub>	dHr <sub>zs</sub>
	[A/m]	[A/m]	[A/m]	[A/m]	[A/m]	[A/m]	[A/m]
<b>3_15.5_2_240</b>	312	281	<b>31</b>	200	56	51	5
<b>3_37.5_1_240</b>	303	270	<b>33</b>	200	53	47	6
<b>3_34.5_6_240</b>	300	267	<b>33</b>	200	53	50	3
<b>9_16.6_2_240</b>	322	290	<b>32</b>	199	56	53	3
<b>9_7.6_1_240</b>	312	279	<b>33</b>	199	54	50	4
<b>9_34.6_6_240</b>	321	286	<b>35</b>	200	55	51	4
<b>3_12.5_2_310</b>	308	270	<b>38</b>	199	66	63	3
<b>3_10.5_1_310</b>	313	271	<b>42</b>	200	59	54	5
<b>3_27.5_6_310</b>	343	298	<b>45</b>	201	58	54	4
<b>9_30.6_2_310</b>	320	280	<b>40</b>	200	58	54	4
<b>9_29.6_1_310</b>	328	286	<b>42</b>	199	61	55	6
<b>9_11.6_6_310</b>	389	343	<b>46</b>	200	63	59	4
<b>3_16.5_2_400</b>	346	293	<b>53</b>	199	56	53	3
<b>3_13.5_1_400</b>	364	309	<b>55</b>	200	65	60	5
<b>3_40.5_6_400</b>	368	311	<b>57</b>	200	47	42	5
<b>9_39.6_2_400</b>	377	324	<b>53</b>	199	77	71	6
<b>9_40.6_1_400</b>	391	334	<b>57</b>	200	43	39	4
<b>9_14.6_6_400</b>	396	337	<b>59</b>	200	53	50	3

### 2.3.3.2 Měření Hr pro detekci a stanovení hloubky oduhličení

Na vybraných vzorcích základních sad AGI, AVGI a ADI s izotermickou výdrží na 310°C bylo provedeno **měření Hr [A/m] postupem pro detekci nežádoucího oduhličení**. Postup a úskalí při měření oduhličení metodou magnetické skvrny byl popsán v kap.1.4.2. K měření byl použit přístroj DOMENA B3 v režimu L, pro měření byl kalibrován na cejchovním kameni s M=200 A/m (270 HB) při magnetizaci M3 v režimu T. Naměřené a dopočtené hodnoty byly porovnány s hodnotami zjištěnými metalograficky (viz tab.2.3.3.2) a byly vytvořeny závislosti pro odečet hloubky oduhličení dle příslušného Hr (kap.2.4.4). Hodnoty hloubky oduhličení v tab.2.3.2.2 jsou hodnotami **celkového** oduhličení. Naměřené hodnoty Hr jsou středními hodnotami z maximálního možného počtu měření (3-5) na neovlivněném povrchu jednotlivých vzorků. Měřené strany: *a* - neoduhličená, *b* - oduhličená. Rozdíl  $M3dHr_{12}$  – údaj o mikrostruktuře.

**Tab.2.3.3.2:** Tabulka naměřených a vypočtených hodnot zbytkové magnetizace, měření pro detekci a stanovení hloubky oduhličení.

Vzorek	Hl. oduhlič. metalografic.	Měřená strana	M3H1	M3H2	M8Hr	Přeměření Kalibru	M3dH <sub>ab1</sub>	M3dH <sub>ab2</sub>	M8dH <sub>ab</sub>	M3
	[ $\mu\text{m}$ ]		1.měř	2.měř	[A/m]		1. měř.	2. měř.		dH <sub>12</sub>
			[A/m]	[A/m]	[A/m]		[A/m]	[A/m]		[A/m]
3L2 310	429	a	296	258	541	199	32	14	10	38
		b	264	244	531					20
3L1 310	432	a	323	281	550	198	34	15	11	42
		b	289	266	539					23
3L6 310	425	a	357	314	560	200	30	15	11	43
		b	327	299	549					26
9L2 310	509	a	358	320	570	202	42	19	12	38
		b	316	301	558					15
9L1 310	501	a	392	347	565	199	38	19	12	45
		b	354	328	553					24
9L6 310	504	a	404	356	576	200	40	20	13	48
		b	364	336	563					26
3C2 310	321	a	281	243	491	199	24	11	9	38
		b	257	232	482					25
3C1 310	314	a	345	297	515	200	22	10	8	48
		b	323	287	507					36
3C6 310	339	a	312	267	508	200	27	13	10	45
		b	285	254	498					34
9C2 310	397	a	299	260	504	196	38	13	9	39
		b	261	247	495					22
9C1 310	390	a	359	309	522	199	32	13	9	50
		b	327	296	513					35
9C6 310	449	a	331	285	514	200	44	17	11	46
		b	287	268	503					29
3K2 310	268	a	312	274	486	200	24	9	7	38
		b	288	265	479					27
3K1 310	254	a	322	280	501	198	20	8	7	42
		b	302	272	494					30
3K6 310	254	a	332	284	505	200	20	9	7	48
		b	312	275	498					37
9K2 310	315	a	311	271	492	200	28	11	5	40
		b	283	260	487					25
9K1 310	324	a	332	289	504	201	32	13	9	43
		b	300	276	495					28
9K6 310	306	a	343	293	510	200	30	12	8	50
		b	313	281	502					36

**Pozn.:** strana a = neoduhličená, strana b = oduhličená.

### 2.3.3.3 Měření Hr pro stanovení ustálené hodnoty

Protože při měření z panenského stavu (od prvotní magnetizace) se hodnota  $H_r$  ustálí až po 4-6 měřeních, bylo po měření opakovanou magnetizací na stejném místě provedeno ještě další měření pro získání tzv. **ustálené hodnoty  $H_{r_i}$** , se kterou je dále operováno při porovnávání s mechanickými vlastnostmi a při dosazování do výpočtů. Měřeno bylo pomocí magnetického strukturoskopu DOMENA B3 v režimu LL při stupni magnetizace M3. Kalibrace na  $M = 200 \text{ A/m}$  (270 HB), stupeň magnetizace M3 v režimu T.  $H_{r_i}$  je poslední hodnotou z 5 po sobě následujících měření v jednom bodě. Po každé pěti měření byl znovu přeměřen kalibr, aby se zaznamenaly případné odchylky měření. Výsledky jsou uvedeny v tab.2.3.3.3.1 – 2.3.3.3.4.

**Tab.2.3.3.3.1:** Měření ustálené hodnoty zbytkové magnetizace - základní sada LLG/AGI.

Vzorek	H <sub>r1</sub>	H <sub>r2</sub>	H <sub>r3</sub>	H <sub>r4</sub>	H <sub>r5</sub>	H <sub>r</sub>	kalibr
	[A/m]	[A/m]	[A/m]	[A/m]	[A/m]	[A/m]	[A/m]
<b>ZS LLG</b>	123	123	120	120	121	<b>121</b>	200
<b>3L2 240</b>	341	310	308	308	308	<b>308</b>	200
<b>3L1 240</b>	318	285	285	284	284	<b>284</b>	201
<b>3L6 240</b>	306	272	270	269	270	<b>270</b>	201
<b>9L2 240</b>	383	350	350	349	349	<b>349</b>	200
<b>9L1 240</b>	382	348	347	346	346	<b>346</b>	199
<b>9L6 240</b>	375	340	340	339	340	<b>340</b>	200
<b>3L2 310</b>	296	258	257	256	256	<b>256</b>	199
<b>3L1 310</b>	323	281	279	279	278	<b>278</b>	200
<b>3L6 310</b>	357	314	314	314	313	<b>313</b>	200
<b>9L2 310</b>	358	320	320	318	318	<b>318</b>	200
<b>9L1 310</b>	392	347	345	345	345	<b>345</b>	199
<b>9L6 310</b>	404	356	355	354	354	<b>354</b>	200
<b>3L2 400</b>	344	294	294	292	292	<b>292</b>	201
<b>3L1 400</b>	363	311	310	308	308	<b>308</b>	200
<b>3L6 400</b>	395	339	338	338	337	<b>337</b>	200
<b>9L2 400</b>	411	360	360	360	359	<b>359</b>	199
<b>9L1 400</b>	430	372	370	370	369	<b>369</b>	200
<b>9L6 400</b>	443	383	381	381	381	<b>381</b>	200

**Tab.2.3.3.3.2:** Měření ustálené hodnoty zbytkové magnetizace - základní sada LVG/AVGI.

Vzorek	H <sub>r1</sub>	H <sub>r2</sub>	H <sub>r3</sub>	H <sub>r4</sub>	H <sub>r5</sub>	H <sub>r</sub>	kalibr
	[A/m]	[A/m]	[A/m]	[A/m]	[A/m]	[A/m]	[A/m]
<b>ZS LVG</b>	46	47	45	44	44	<b>65</b>	200
<b>3C2 240</b>	314	285	284	283	283	<b>283</b>	200
<b>3C1 240</b>	308	276	275	275	275	<b>275</b>	201
<b>3C6 240</b>	303	270	270	269	268	<b>268</b>	201
<b>9C2 240</b>	330	300	298	297	297	<b>297</b>	200
<b>9C1 240</b>	311	280	280	278	279	<b>279</b>	199
<b>9C6 240</b>	320	286	285	284	284	<b>284</b>	200
<b>3C2 310</b>	281	243	242	242	242	<b>242</b>	199
<b>3C1 310</b>	345	297	297	295	295	<b>295</b>	200
<b>3C6 310</b>	312	267	265	265	264	<b>264</b>	198
<b>9C2 310</b>	299	260	258	258	257	<b>257</b>	199
<b>9C1 310</b>	359	309	308	307	307	<b>307</b>	200
<b>9C6 310</b>	331	285	284	283	283	<b>283</b>	200
<b>3C2 400</b>	345	293	292	291	291	<b>291</b>	201
<b>3C1 400</b>	361	302	300	299	299	<b>299</b>	200
<b>3C6 400</b>	359	305	304	304	303	<b>303</b>	199
<b>9C2 400</b>	366	313	313	312	312	<b>312</b>	200
<b>9C1 400</b>	390	330	328	327	328	<b>328</b>	200
<b>9C6 400</b>	390	335	335	333	333	<b>333</b>	200

**Tab.2.3.3.3.3:** Měření ustálené hodnoty zbytkové magnetizace – základní sada LKG/ADI.

Vzorek	Hr <sub>1</sub>	Hr <sub>2</sub>	Hr <sub>3</sub>	Hr <sub>4</sub>	Hr <sub>5</sub>	Hr <sub>i</sub>	kalibr
	[A/m]	[A/m]	[A/m]	[A/m]	[A/m]	[A/m]	[A/m]
<b>ZS LKG</b>	66	66	63	66	65	<b>66</b>	200
<b>3K2 240</b>	313	281	280	280	280	<b>280</b>	200
<b>3K1 240</b>	307	274	272	273	272	<b>272</b>	201
<b>3K6 240</b>	302	268	267	266	266	<b>266</b>	200
<b>9K2 240</b>	331	298	297	296	296	<b>296</b>	200
<b>9K1 240</b>	320	287	286	286	286	<b>286</b>	200
<b>9K6 240</b>	319	284	283	281	281	<b>281</b>	200
<b>3K2 310</b>	312	274	272	272	271	<b>271</b>	199
<b>3K1 310</b>	322	280	280	278	279	<b>279</b>	200
<b>3K6 310</b>	332	284	284	283	283	<b>283</b>	200
<b>9K2 310</b>	311	271	270	268	268	<b>268</b>	200
<b>9K1 310</b>	332	289	289	288	288	<b>288</b>	201
<b>9K6 310</b>	343	293	292	291	291	<b>291</b>	200
<b>3K2 400</b>	336	285	284	283	282	<b>282</b>	200
<b>3K1 400</b>	355	298	295	296	295	<b>295</b>	199
<b>3K6 400</b>	363	304	304	303	303	<b>303</b>	200
<b>9K2 400</b>	355	301	300	298	298	<b>298</b>	200
<b>9K1 400</b>	383	327	325	326	325	<b>325</b>	200
<b>9K6 400</b>	392	332	330	330	329	<b>329</b>	200

**Tab.2.3.3.3.4:** Měření ustálené hodnoty zbytkové magnetizace - speciální sada AVGI - Heunisch.

Vzorek	Hr <sub>1</sub>	Hr <sub>2</sub>	Hr <sub>3</sub>	Hr <sub>4</sub>	Hr <sub>5</sub>	Hr <sub>i</sub>	kalibr
	[A/m]	[A/m]	[A/m]	[A/m]	[A/m]	[A/m]	[A/m]
<b>3_15.5_2_240</b>	312	281	280	279	278	<b>278</b>	200
<b>3_37.5_1_240</b>	303	270	270	269	270	<b>270</b>	201
<b>3_34.5_6_240</b>	300	267	267	266	265	<b>265</b>	200
<b>9_16.6_2_240</b>	322	290	288	287	288	<b>288</b>	200
<b>9_7.6_1_240</b>	312	279	278	277	277	<b>277</b>	199
<b>9_34.6_6_240</b>	321	286	285	285	285	<b>285</b>	200
<b>3_12.5_2_310</b>	308	270	268	267	267	<b>267</b>	199
<b>3_10.5_1_310</b>	313	271	270	269	269	<b>269</b>	200
<b>3_27.5_6_310</b>	343	298	298	297	296	<b>296</b>	201
<b>9_30.6_2_310</b>	320	280	280	278	278	<b>278</b>	200
<b>9_29.6_1_310</b>	328	286	285	285	284	<b>284</b>	200
<b>9_11.6_6_310</b>	389	343	341	342	342	<b>342</b>	200
<b>3_16.5_2_400</b>	346	293	291	291	290	<b>290</b>	199
<b>3_13.5_1_400</b>	364	309	308	307	307	<b>307</b>	200
<b>3_40.5_6_400</b>	368	311	310	309	309	<b>309</b>	200
<b>9_39.6_2_400</b>	377	324	322	322	322	<b>322</b>	199
<b>9_40.6_1_400</b>	391	334	333	332	332	<b>332</b>	200
<b>9_14.6_6_400</b>	396	337	336	337	337	<b>337</b>	200