

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní
Katedra materiálů

Zuzana ANDRŠOVÁ

Obor: Materiály a technologie
Zaměření: Materiálové inženýrství

**TEPLOTNÍ STABILITA MĚŘENÍ MAGNETICKÝM
BODOVÝM PÓLEM**

**THERMAL STABILITY OF A MEASURING BY
SPOT MAGNETIC POLE**

KMT - B - 111

Vedoucí práce: doc.Ing.Břetislav Skrbek,CSc.

LIBEREC 2006



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jméno a příjmení	Zuzana ANDRŠOVÁ
studijní program	B2341 Strojírenství
obor	3911 R 018 Materiály a technologie
zaměření	Materiálové inženýrství

Ve smyslu zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách se Vám určuje bakalářská práce na téma:

Teplotní stabilita měření magnetickým bodovým polem

Zásady pro vypracování:

(uveďte hlavní cíle bakalářské práce a doporučené metody pro vypracování)

- 1) Seznamte se s principem měření a využitím přístrojů řady DOMENA k měření tvrdosti.
- 2) Proveďte testy stability opakovaného měření HBM (tvrdost magneticky) za doporučených teplot a během změn teplot.
- 3) Vyhodnoťte výsledky v závislosti na čase a teplotě.
- 4) Vyvodte závěry pro zlepšení diagnostiky HBM.

Forma zpracování bakalářské práce:

- průvodní zpráva v rozsahu 25 - 40 stran
- přílohy

Seznam literatury (uveďte doporučenou odbornou literaturu):

- [1] Míšek, J., Ptáček, L.: Zkoušení materiálů bez porušení. SNTL Praha 1973.
- [2] Skrbek, B. : Nedestruktivní materiálová diagnostika litinových odlitků. Disertační práce Liberec 1988.
- [3] ELKOSO s.r.o. Brno. Strukturoskop DOMENA B3, technický popis.

Vedoucí bakalářské práce:
Konzultant bakalářské práce :



doc. Ing. Břetislav Skrbek, CSc.

L.S.

prof. RNDr. Petr ŠPATENKA, CSc.
vedoucí katedry

doc. Ing. Petr LOUDA, CSc.
děkan

V Liberci dne 31.10. 2005

Platnost zadání diplomové práce je 15 měsíců od výše uvedeného data (v uvedeném lhůtě je třeba podat přihlášku ke SZZ). Termíny odevzdání diplomové práce jsou určeny pro každý studijní rok a jsou uvedeny v harmonogramu výuky.

Anotace

Jméno: Zuzana Andršová
Obor: Materiály a technologie
Zaměření: Materiálové inženýrství
Téma: Teplotní stabilita měření magnetickým bodovým polem.
Číslo BP: KMT – B - 111
Vedoucí BP: doc.Ing. Břetislav Skrbek, CSc.

Abstrakt: Tato práce se zaměřuje na vlivy teplot při měření struktury a tvrdosti feromagnetických materiálů magnetickým bodovým polem, konkrétně při použití přístrojů DOMENA..

Teoretická část obsahuje přehled nedestruktivního zkoušení a princip metody magnetického bodového pólu.

Experimentální část obsahuje popis měření, vyhodnocení údajů získaných měřením a návrhy na kompenzaci teplotních vlivů.

Rozsah práce :

- počet stran: 62
- počet obrázků: 32
- počet tabulek: 61
- počet příloh: 10

Klíčová slova: Nedestruktivní zkoušení - defektoskopie – strukturoskopie – metoda magnetického bodového pólu - strukturoskopy DOMENA – vlivy teplot – kompenzace teplotních vlivů

Datum: 26.5.2006

Annotation

Name: Zuzana Andršová
Specialization: Materials and technologies
Focusing: Material engineering
Theme: Thermal stability of a measuring by spot magnetic pole

Number of BSC work: KMT – B - 111

Leader of BSC work: doc.Ing. Břetislav Skrbek,CSc.

Abstract: The main theme of this work is temperature effect on measuring of structure and hardness by spot magnetic pole,especially by DOMENA appliances.

The teoretical part includes the non-destructive tests oveview and a principle of the spot magnetic pole method.

The experimental part includes a description of the measuring,an evaluation of the measured values and a design of compensation of the temperature effect.

Range of the work:

- number of pages: 62
- number of pictures: 32
- number of tabs: 61
- number of supplements: 10

Key words: The non-destructive testing – defectoscopy – structuroscopy – the spot magnetic pole method – DOMENA structuroscopes – temperature effect – compensation of the temperature effect

Date: 26.5.2006

Poděkování

Děkuji doc. Skrbkovi za odborné vedení, ochotné poskytnutí potřebných pomůcek a vstřícný přístup při zpracovávání této práce.

Dále děkuji rodičům za péči a podporu během doby mého studia.

Zuzana Andršová.

Obsah

1. Seznam použitých zkratk	str.7
2. Úvod	str.8
3. Přehled defektoskopických zkoušek	str.9
3.1 Rozdělení	str.9
3.2 Prozařování RTG a gama paprsky (RT)	str.10
3.3 Zkoušení ultrazvukem (UT)	str.15
3.4 Zkoušení magnetickými metodami (MT)	str.19
3.5 Metoda vířivých proudů (ET)	str.22
3.5 Kapilární zkoušky (PT)	str.23
4. Měření magnetickým bodovým polem	str. 26
4.1 Princip měření	str.26
4.2 Přístroj a pomůcky pro měření	str.28
4.3 Způsob měření,vlivy na měření	str.30
4.3.1 Způsob měření	str.30
4.3.2 Vliv struktury,vliv tloušťky,okrajový efekt	str.32
4.3.3 Vliv povrchu	str.34
4.3.4 Vliv magnetizace	str.34
4.3.5 Vliv teplot	str.34
5. Měření	str.35
5.1 Přístroje a pomůcky	str.35
5.2 Vzorky	str.35
5.3 Postup měření	str.36
5.4 Naměřené hodnoty – DOMENA B3,sonda A	str.37
5.5 Naměřené hodnoty – DOMENA B3,sonda M	str.45
5.6 Naměřené hodnoty – DOMENA B2	str.53
6. Diskuse výsledků	str.58
6.1 Hodnocení měření sondou A,DOMENA B3	str.58
6.2 Hodnocení měření sondou M,DOMENA B3	str.59
6.3 Hodnocení měření přístrojem DOMENA B2	str.59
6.4 Závěr,doporučení	str.60
7. Použitá literatura	str.61
8. Seznam příloh	str.62

Přílohy

Prohlášení

1. Seznam použitých zkratk

λ	... vlnová délka [m]
E	... energie záření [eV]
ρ	... hustota [kg/m ³]
t	... tloušťka [mm]
M	... hodnota zbytkové magnetizace feromagnetické matrice materiálu [A/m]
M_c	... hodnota zbytkové magnetizace feromagnetické matrice cejchovního kamene [A/m]
HB	... tvrdost podle Brinella
A, B	... konstanty pro převod M na HB
S	... sledovaná veličina
m, s, e, f	... fce pro aproximaci konstant A a B
K	... korelační koeficient
H_o	... vnější magnetické pole [A/m]
H_r	... remanentní(zbytkové) magnetické pole [A/m]
I_r	... remanentní(zbytková) polarizace
μ	... permeabilita prostředí
N	... demagnetizační činitel
s	... stínící faktor
l	... délka [mm]
d	... char.rozměr průřezu [mm]
LLG, F	... litina s lupínkovým grafitem, feritická
LLG, P	... litina s lupínkovým grafitem, perlitická
LKG, F	... litina s kuličkovým grafitem, feritická
LKG, P	... litina s kuličkovým grafitem, perlitická

2. Úvod

Mechanickými a technologickými zkouškami se vlastnosti materiálů ověřují na zkušebních vzorcích, vyjmutých buď z určitého místa namátkově vybraného výrobku, nebo z přídávku, popř. se zkouší celý výrobek.

Při těchto zkouškách se většinou výrobek poruší do té míry, že se již nedá použít.

Navíc zkoušky takto prováděné nedávají záruku, že vlastností, zjištěných u zkušebních vzorků, bude dosaženo u všech vyrobených součástí, popř. v celém jejich objemu.

Tuto nevýhodu nemají **zkoušky nedestruktivní** (tj. bez porušení), které mohou být podle potřeby provedeny jak u všech vyrobených součástí, tak i v celém jejich objemu, tj. umožňují téměř 100% kontrolu, a to i již během výroby. [1]

Obor nedestruktivních zkoušek materiálů se dá rozdělit na oblasti defektoskopie a strukturoskopie.

Defektoskopie se zabývá zjišťováním skrytých povrchových i vnitřních vad, které porušují celistvost materiálu. Zahrnuje velké množství postupů a metod, popsaných normami EN. [1]

Nejpoužívanější metody defektoskopických zkoušek jsou stručně popsány v přehledu na str. 9-25.

Strukturoskopie (bezdemontážní diagnostika struktury) využívá souvislosti mezi fyzikálními vlastnostmi a strukturně-mechanickými parametry materiálu.

V průmyslu se používají praxí ověřené metody vířivých proudů a ultrazvukové metody (pro hodnocení železných i neželezných slitin), a impulzní magnetické metody (pro hodnocení feromagnetických slitin). [5]

Tato práce se zaměřuje na vlivy teplot při měření magnetickým bodovým pólem, což je jedna z výše uvedených impulzních magnetických metod (popis metody viz. str. 26-34), konkrétně při použití v ČR rozšířených strukturoskopů DOMENA fy Elkoso, s r.o., Brno.

Vyhodnocuje působení vysokých i nízkých teplot, srovnává tato měření s měřeními při standardních teplotách a při použití různých sond.

Naznačuje možná řešení v podobě kompenzace těchto vlivů pomocí dostupných opatření či postupů měření.

3. Přehled defektoskopických zkoušek

3.1 Rozdělení

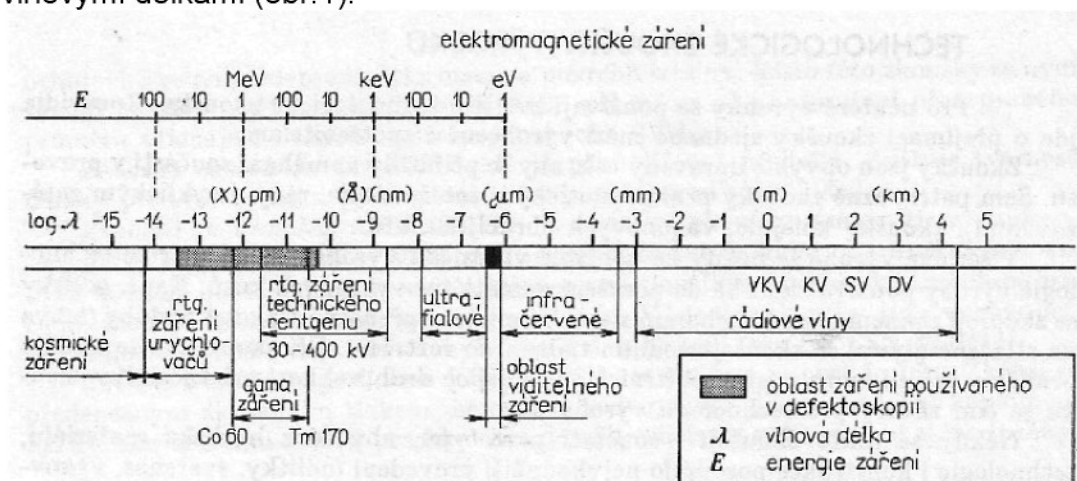
Defektoskopické zkoušky zahrnují **celou řadu metod**, které se navzájem doplňují, žádná však neumožňuje zjistit najednou všechny vady, které by se mohly v daném případě vyskytnout, proto je vhodné pracovat vždy několika metodami pro bezpečné určení vad.

Používají se **2 druhy** defektoskopických zkoušek:

- **zjišťování vad na povrchu materiálu**
 - vizuální zkoušky (VT)
 - zkoušky magnetické (MT)
 - zkoušení metodou vířivých proudů (ET)
 - zkoušky kapilární (PT)
- **zjišťování neviditelných vnitřních vad materiálu**
 - prozařovací metody (RT)
 - zkoušení ultrazvukem (UT)

3.2 Prozařování RTG a gama paprsky (RT)

Rentgenové i gama záření jsou **elektromagnetická vlnění** s velmi krátkými vlnovými délkami (obr.1).



Obr.3.2.1. Vlnové délky různých druhů elektromagnetického vlnění [2]

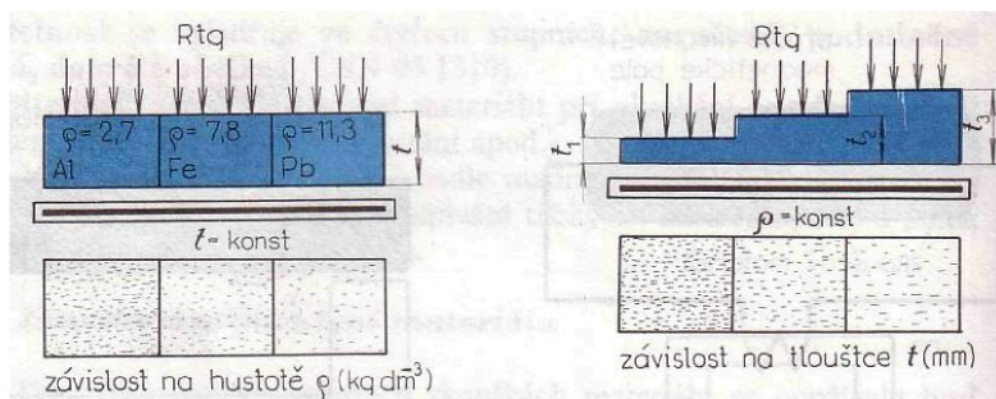
Rentgenové záření vzniká při prudkém **zabrzdnění rychle letících elektronů**. Podle vlnové délky, popř. podle energie záření se rozlišuje na dlouhovlnné (o nízké energii-měkké), krátkovlnné (o střední energii) a velmi krátkovlnné (o vysoké energii).

Vzniká ve zvláštní elektronce, zvané **rentgenka**.

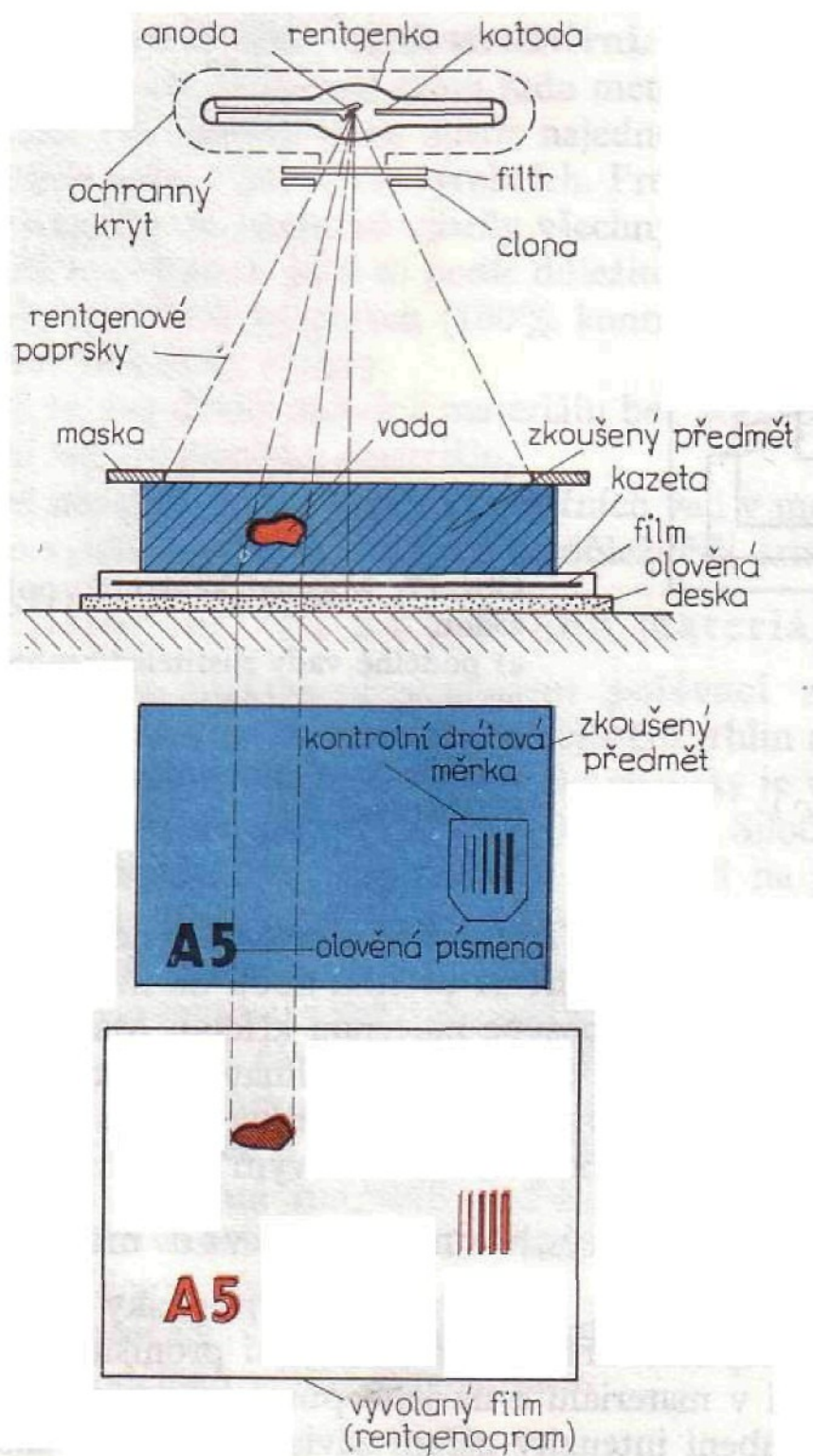
Naproti tomu **gama** záření vzniká při **rozpadu jader radioaktivního prvku**, jako Thulium, Iridium, Caesium, Kobalt a Radium.

RTG i gama záření proniká materiálem (obr.3.2.2), přičemž je **zeslabováno v závislosti na tloušťce a chemickém složení materiálu** (obr.3.2.3) a na vlnové délce záření.

Záření krátkovlnnější, tj. o vyšších energiích, je při průchodu materiálem méně zeslabováno, než záření dlouhovlnné.



Obr.3.2.3 Závislost prozařování na hustotě a tloušťce materiálu [2]



Obr.3.2.2 Princip prozařování RTG paprsky [2]

Intenzita záření, které prošlo materiálem, se zjišťuje několika způsoby:

- *fotochemicky* – záření působí na citlivou vrstvu fotografického filmu a vzniká tak fotografický záznam-rentgenogram,
- *vizuálně přímo* – pozoruje se přímo stínový obraz na fluorescenčním štítu,
- *vizuálně nepřímo* – pomocí elektronooptického převaděče-fluorescenční obraz na štítu se pozoruje optickým zařízením, nebo se přenáší na televizní obrazovku, přičemž je možné dosáhnout až 3000 násobného zvětšení,
- *ionizačními metodami* – intenzita se měří ionizačními detektory a odečítá se nebo registruje na měřicích přístrojích.

Je-li **tloušťka materiálu zeslabena** ve směru záření **vadou** o určité tloušťce a vhodné orientaci, dopadne **v průmětu vady** na fotografický film **záření o větší intenzitě** než v ostatních místech. Proto se na filmu po vyvolání objeví **obraz vady**, který je **tmavší** než okolí (obr.3.2.4).



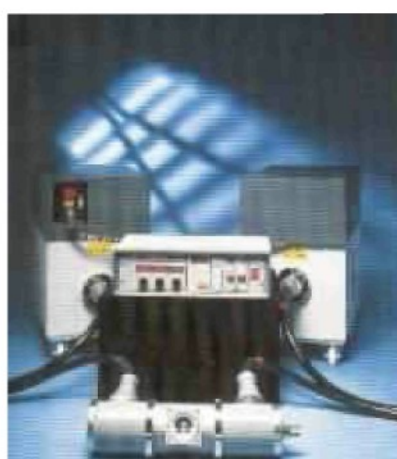
Obr.3.2.4 Rentgenogram [1]

Prozařovací metody se používají převážně při kontrole prostorových vnitřních vad, které výrazně zeslabují tloušťku stěny ve směru záření, a to hlavně u složitých odlitků (např. blok motoru) nebo svarů.

Na snímkování se používají buď **přenosné** (obr.5) nebo **stacionární** přístroje (obr.6), umístěné z bezpečnostních důvodů ještě ve stíněných buňkách nebo speciálních místnostech (obr.7).



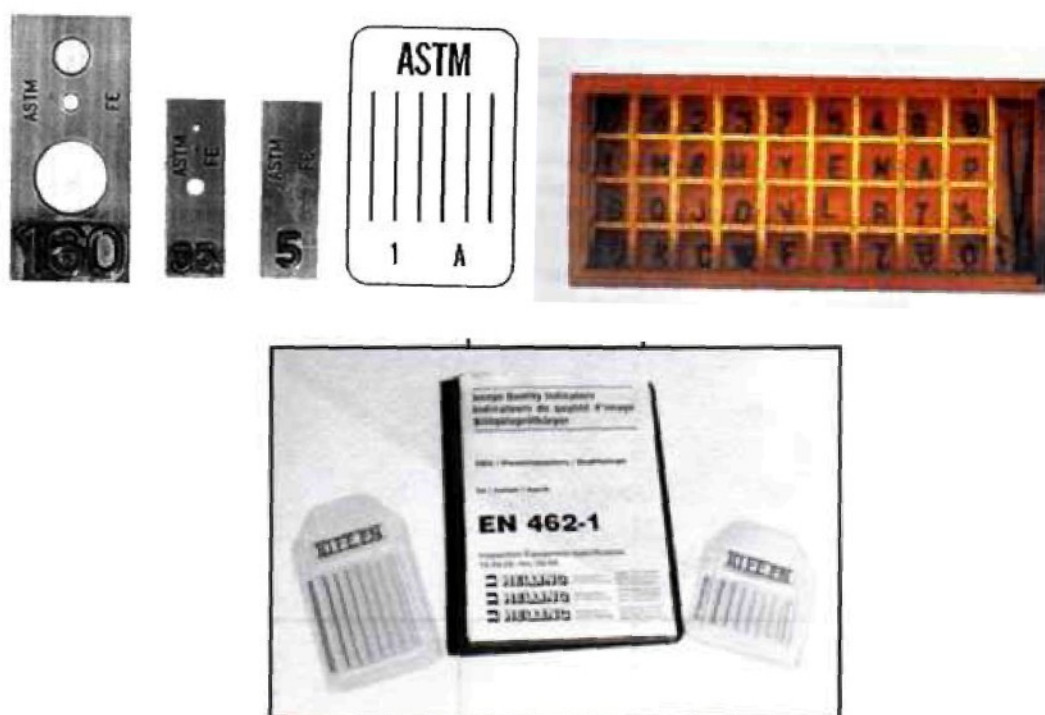
Obr.3.2.5 Přenosné RTG přístroje [3]



Obr.3.2.6 Stacionární RTG přístroje [3]



Obr.3.2.7 Stíněné kabiny pro RTG [3]



Obr.3.2.8 Olověné měrky a písmena pro RTG [3]

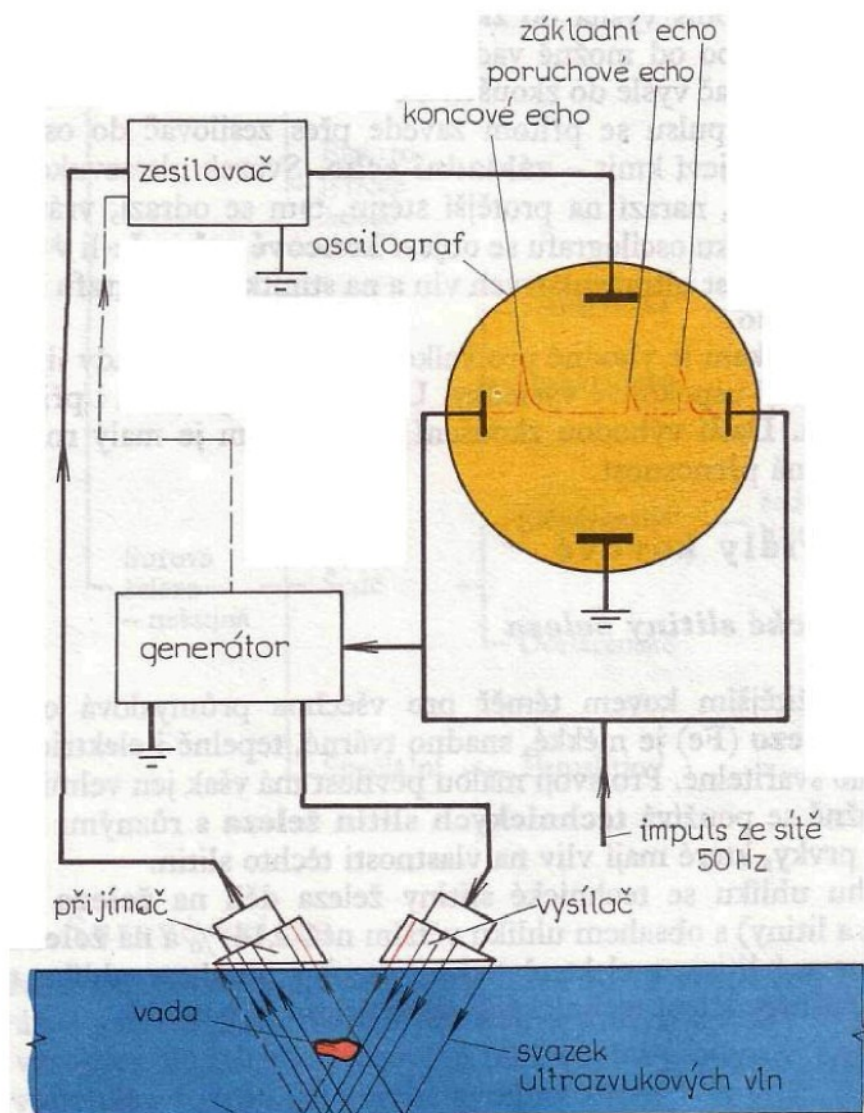
3.3 Zkoušení ultrazvukem (UT)

Při ultrazvukových zkouškách se používá **podélných a příčných ultrazvukových vln** o frekvenci cca 1-10 MHz.

Podélné ultrazvukové vlny se mohou šířit v tuhých látkách, kapalinách i plynech. Naproti tomu příčné vlny se mohou šířit jen v tuhých látkách.

V materiálu lze prokázat jen tu vadu, jejíž rozměr, kolmý na směr šíření UT vlnění, je **větší, než polovina vlnové délky**. Při menším rozměru vady dochází k ohybu UT vln a vada není zjištělná.

Při těchto zkouškách se používají *impulsní defektoskopy* (princip radaru), které mají buď jednu sondu (pracuje střídavě jako vysílač a přijímač), nebo dvě sondy (sonda vysílací a sonda přijímací).



Obr.3.3.1 Princip ultrazvukového defektoskopu [1]

Nejrozšířenější je **metoda odrazová** (obr.3.3.2) ,s jednou sondou,při které se vlny odrazí od protilehlé stěny nebo od vady a na straně,z níž vysílač vyšle do zkoušeného materiálu svazek ultrazvukových vln.

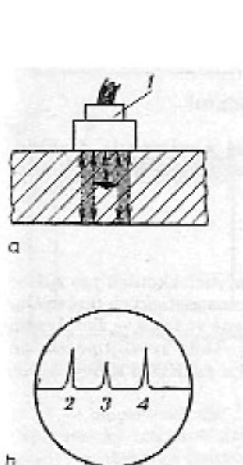
Část budícího impulsu se přitom zavede přes zesilovač do oscilografu,na kterém se objeví kmit – **základní echo**.

Svazek vln prostupuje materiálem,narazí na protější stěnu a vrátí se zpět do přijímače,na oscilografu se objeví **koncové echo**.

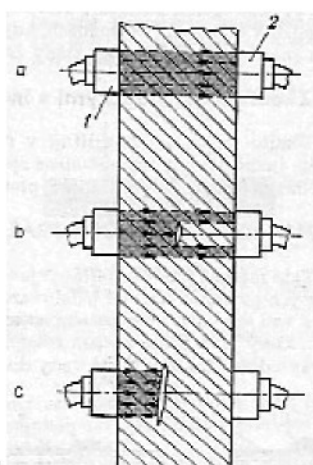
Je-li v materiálu vada,odrazí se od ní část vln a na oscilografu se to projeví jako **poruchové echo**.

Podobnou metodou je **metoda průchodová**,se dvěma sondami (obr.3.3.3). Obě tyto metody používají **podélné (longitudální)** ultrazvukové vlnění,které se od materiálu odráží kolmo.

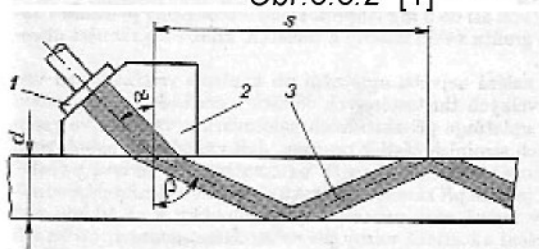
Tam,kde je přístupný jen jeden povrch,se používá **příčné (transverzální)** ultrazvukové vlnění,které je do materiálu vysíláno pod úhlem a střídavě se odráží od horního a dolního povrchu stěny se stejným úhlem a postupně projde celým průřezem (obr.3.3.4).Také lze použ. jako měření tloušťky.



Obr.3.3.2 [1]



Obr.3.3.3 [1]



Obr.3.3.4 [1]

Obr.3.3.2 Impulsní odrazová metoda: a-uspořádání,b-výstup osciloskopu, 1- vysílací a přijímací sonda

Obr.3.3.3 Průchodová metoda: a-materiál bez vad;b,c-materiál s vadou; 1- vysílací sonda, 2-přijímací sonda

Obr.3.3.4 Použití příčného vlnění: 1-měníč, 2-nástavec z plexiskla, 3-svazek vln

Aby při přechodu rozhraní materiál-vzduch nedocházelo ke zkreslení údajů, používají se přípravky, vytvářející vhodnou **přechodovou vrstvu** mezi sondou a vzorkem (emulze, oleje, vazelíny).

Ve srovnání s prozařovacími metodami umožňuje ultrazvuková metoda snadné a spolehlivé zjištění plošných rovinných vad, rovnoběžných s povrchem nebo šikmo orientovaných k povrchu materiálu.

Nalézají uplatnění hlavně při kontrole velkých výkovků, vývalků a tlustostěnných odlitků.

Výhodou je pohotovost, relativně nízké náklady a možnost automatizace.

Pozn.: Ve strukturoskopii se ultrazvuku využívá ke zjišťování modulu pružnosti a tvaru grafitu.



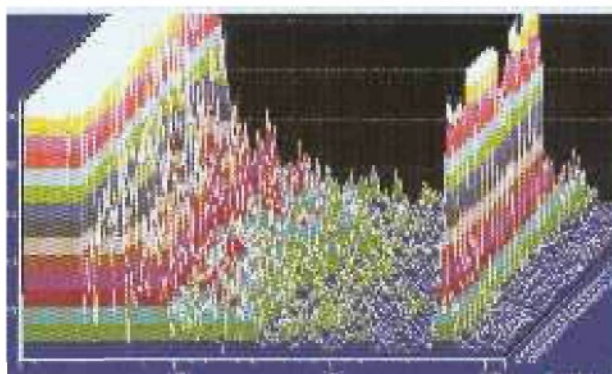
Obr.3.3.5 Přenosné UT přístroje [3]



Obr.3.3.6 UT linka [3]



Obr.3.3.7 Tloušťkoměry [3]



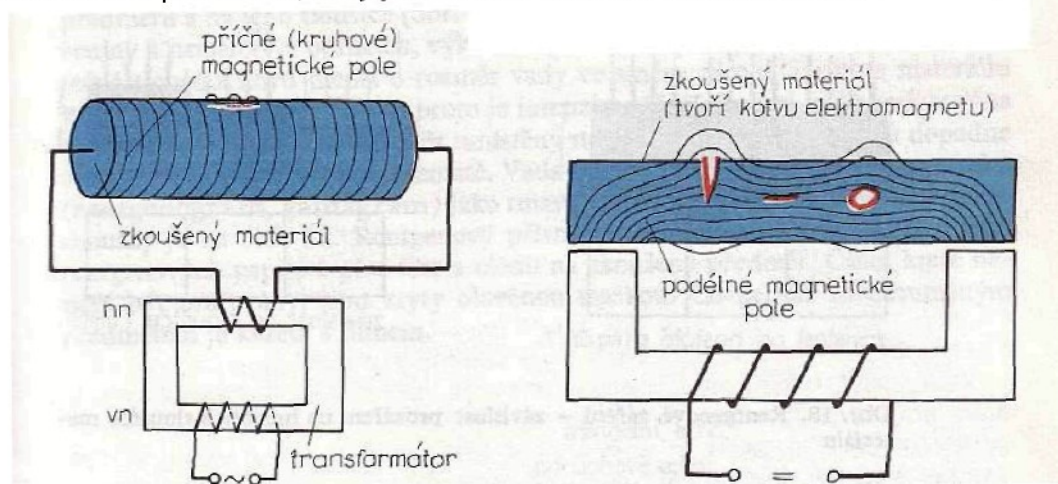
Obr.3.3.8 Zkouška ultrazvukem – průběh 2D,3D [3]

3.4 Zkoušení magnetickými metodami (MT)

Těmito metodami se zjišťují v materiálu především **necelistvosti**, související s povrchem (trhliny, studené spoje), popř. i vnitřní **vady**, ležící **v těsné blízkosti povrchu** u **feromagnetických materiálů**.

Nejpoužívanější je **magnetická metoda prášková**.

K indikaci vad se využívá změn magnetického toku, vyvolaných vadami ve zkoušeném předmětu, který je za tímto účelem zmagnetován (obr.3.4.1).



Obr.3.4.1 Princip magnetické metody [2]

Vady zvyšují podstatně **magnetický odpor**, takže v místě vady dochází ke **zhuštění a zakřivení magnetických siločar**, z nichž část vystupuje na povrch a vytvoří na obvodu vady magnetické póly.

Ke **zviditelnění vad** se používá buď suchého **feromagnetického prášku** nebo **detekční kapaliny**, ve které je prášek rozptýlen (kapalina může být i barevná nebo fluorescenční – obr.3.4.2).

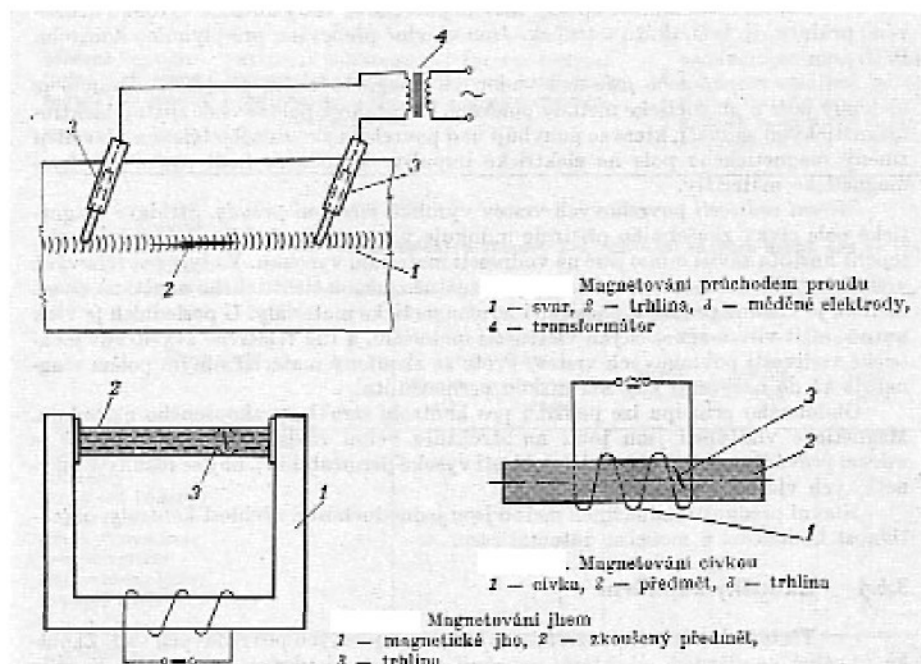


Obr.3.4.2 Detekční látky [3]

Podmínkou výrazné indikace povrchových vad je zmagetování zkoušeného předmětu tak, aby ve zkoušené oblasti vznikl magnetický tok vhodně orientovaný k průběhu vady.

Magnetování se provádí (obr.3.4.3):

- **průchodem proudem** buď přímo zkoušeným předmětem, nebo pomocným vodičem. Vzniká tak kruhové magnetické pole, ve kterém lze indikovat vady rovnoběžné se směrem procházejícího proudu;
- **magnetizačním jhem**, mezi jehož póly se zkoušený předmět vloží, magnetický tok prochází rovnoběžně se spojnicí pólů jha a lze indikovat vady kolmo na směr magnetického pole;
- **magnetizační cívkou** – zkoušený předmět se vkládá do cívky, kterou prochází proud, indikují se vady kolmé na osu cívky;
- **permanentním magnetem** (podkovovým) – přiloží se na zkoušený předmět nebo jeho část, takže se zmagetuje, indikace je jako u zkoušek magnetizačním jhem.

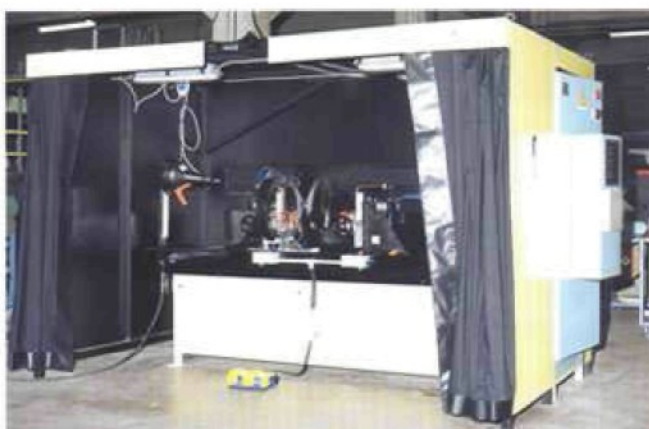


Obr.3.4.3 Způsoby magnetování [1]

Po provedení zkoušky je třeba provést ještě následné **odmagnetování**.



Obr.3.4.4 Magnetování ručním magnetem,sada ručního magnetu [3]



Obr.3.4.5 Magnetizační zdroje – stacionární,mobilní [3]



Obr.3.4.6 Bertholdova měrka na měření směru magn. toku;
Odmagnetovací tunel [3]

Pozn.:

K indikaci magnetického pole nad vadou ve zmagnetovaném předmětu lze požit i **elektromagnetické snímače**, které se pohybují nad povrchem zkoušeného tělesa a převádějí změny magnetického pole na elektrické impulsy.

Touto metodou se zjišťují zejména **povrchové vady hutních výrobků kruhového průřezu**, tj. tyčí a trubek, ale lze ji použít i pro kontrolu struktury zkoušeného materiálu. Magnetické vlastnosti jsou totiž na struktuře velmi závislé. V tomto případě se měření provádí ve slabých polích (v oblasti vysoké permeability), aby se rozdíly v magnetických vlastnostech citlivě odlišily.

3.5 Metoda vířivých proudů

Střídavé magn.pole cívky zkušebního přístroje indukuje **v povrchu výrobku střídavé proudy**, jejichž hustota závisí mimo jiné na vodivosti materiálu výrobku. Vady vodivost zhoršují, což se projeví zpětně změnou el.napětí na cívce. Metoda je vhodná i **pro nemagnetické materiály**.

Metoda se používá před. pro **měření vodivosti povrchových vrstev**.

Hlavní předností této metody jsou jednoduchost a rychlost kontroly, objektivnost hodnocení a možnost automatizace.

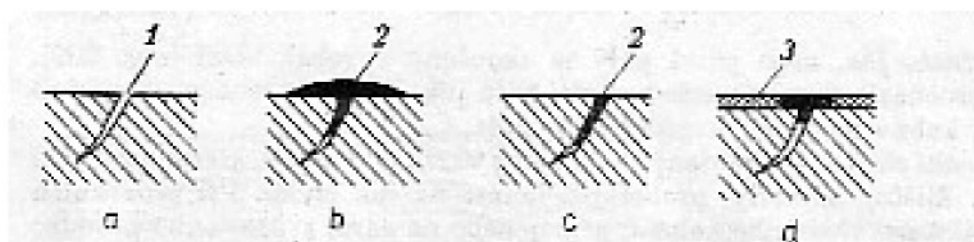


Obr.3.5.1 Měř.povrch.vrstev metodou vířivých proudů [3]

3.6 Kapilární zkoušky (PT)

Tyto zkoušky se používají ke **zviditelnění jemných povrchových vad**.

Na zkoušený předmět se nanese **indikační látka** – tmavá barva nebo fluorescenční kapalina, ponořením nebo nástřikem, která vyplní všechny trhliny na povrchu. Potom se indikační látka setře. Následně se nanáší **detekční látka**, která do sebe nasákne indikační kapalinu. Ta vystoupí na povrch a zviditelní tak vadu. Barva je vidět přímo, na fluorescenční kapalinu je třeba použít UV lampu.



Obr.3.6.1 Princip kapilární metody: a-povrch před nanesením kapaliny, b-povrch po nanesení kapaliny, c-po otření povrchu, d-po nanesení detekční látky; 1-trhlina, 2-indikační kapalina, 3-detekční látka [1]

Tab.3.6.1 Přehled kapilárních zkoušek [1]

Indikační látka	Detekční látka	Zobrazení vady	Použití
Petrolej	Vápenné mléko Malířská hlínka	Tmavé zbarvení v místě vady	Metoda je nejjednodušší, má široké použití při kontrolě hrubých součástí (odlitky, svary) a při zkoušce těsnosti
Fluorescenční olej	Práškový uhličitán hořečnatý	Fluoreskující obraz vady v UV světle	Uplatňuje se v sériové výrobě, zejména velmi náročných výrobků z neželezných kovů
Barevná kapalina (zbarvený petrolej)	Suspenze uhličitanu vápenatého nebo hořečnatého v acetonu – nanese se rozprášením	Barevná indikace vady	Má široké použití ve výrobě i na montáži jako samostatná metoda, popř. jako doplňek magnetické zkoušky práškové



Obr.3.6.2 Příklady použití kapilárních zkoušek [3]



Obr.3.6.3 Kapilární linky [3]



Obr.3.6.4 Zařízení pro nanášení indikační kapaliny nástřikem, resp. ponorem [3]



Obr.3.6.5 Indikační kapaliny – barevné, resp. fluorescenční [3]



Obr.3.6.6 UV lampy [3]

4. Měření magnetickým bodovým pólem

4.1 Princip měření

Charakteristikou feromagnetických ocelí a litin jsou bloky stejně orientovaných atomů - takzvané domény, které tvoří subzrna krystalické struktury. Působením vnějšího magnetického pole se jednotlivé domény začnou skokově orientovat ve směru magnetického pole (viz. obr.4.1.1). Nejdříve se orientují domény s blížkou orientací a naposled s opačnou orientací. Pokud vnější magnetické pole pomine, domény se vrací do původní orientace a do celkově magneticky neutrálního stavu.

Poruchy krystalové mřížky (dislokace) a překážky (atomy uhlíku, cementitu Fe₃C a martenzitu) tomuto návratu brání. Proto železo s obsahem karbidů, nebo martenzitu si ponechá zbytkový magnetizmus. Takové železo se po odeznění vnějšího magnetického pole jeví jako permanentní magnet. Čisté železo (ferit) zmagnetovat nelze. Strukturální složky jako martenzit, nebo lamely perlitického cementitu nazýváme magneticky tvrdé. Tyto strukturální složky jsou i mechanicky tvrdé.

Princip magnetické metody bodového pólu spočívá v tom, že je měřena intenzita vzniklého magnetického pole těsně po předchozím zmagnetování feromagnetického materiálu pod příložnou sondou měřicího přístroje.

Sonda (viz. obr. 4.1.2) obsahuje dva systémy:

magnetizační cívkou, jež vytváří dostatečně silné magnetické pole vhodného průběhu, které zmagnetuje feromagnetickou kovovou hmotu pod ní a **snímač** intenzity slabého magnetického pole zmagnetizované feromagnetické kovové hmoty. (Tímto snímačem bývá Hallův snímač – viz. poznámka.)

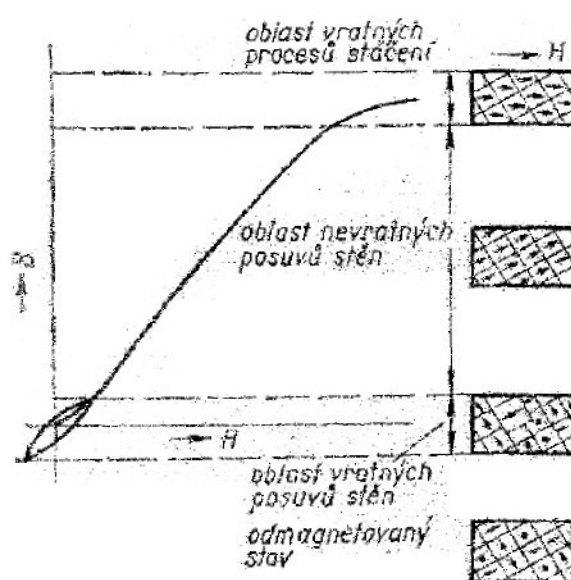
Velikost změřené intenzity magnetického pole souvisí se strukturou tohoto materiálu.

Takto můžeme s určitou přesností měřit na feromagnetických materiálech **tvrdost, pevnost a hloubku prokalení**.

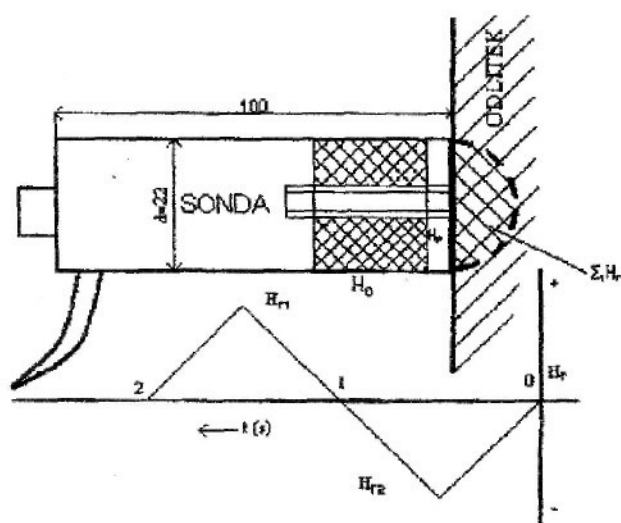
Vzájemný vztah mezi sledovanou veličinou a změřenou intenzitou magnetického pole je nutno experimentálně vysledovat a pak přístroj zkaličovat. Dále je nutno si uvědomit, že výsledky měření ovlivňuje tvar měřeného předmětu a proto kalibrace platí jen pro něj. [4]

Poznámka – Hallův snímač:

Princip Hallova jevu spočívá v tom, že na stranách polovodičové destičky orientované kolmo ke směru stejnosměrného proudu, který destičkou protéká, vzniká napětí [mV], působí-li na destičku magnetické pole (příčinou vzniku napětí je Lorentzova síla, kterou magn. pole působí na pohybující se náboje). Tímto napětím lze řídit jednoduchý klopný obvod. Hallův generátor i s klopným obvodem je technologií výroby integrovaných obvodů vytvořen na jedné polovodičové destičce (křemík, germanium, germanium-arsenid) a zapouzdřen. Pokud na tento snímač začne působit magnetické pole určité velikosti, dojde ke změně stavu klopného obvodu a na výstupních svorkách snímače se objeví napětí téměř tak velké jako napájecí napětí snímače. Využívá se jak k měření magn. indukce, tak k měření el. proudu.



Obr.4.1.1 Interakce struktury s magnetickým polem



Obr.4.1.2 Sonda pro měření magnetickým bodovým pólem

4.2 Přístroj a pomůcky pro měření

Pro měření struktury a především tvrdosti feromagnetických materiálů metodou magnetického bodového pólu se v ČR používají přenosné bateriové přístroje DOMENA fy Elkoso Brno, s r.o. (technický popis typu DOMENA B3 viz. příloha 1).

Přístroj DOMENA B3 má pro ovládání k dispozici:

- přepínač velikosti MAGNETIZACE v 8 stupních
 - přepínač FUNKCE s funkcemi A,B,T,TT,L,LL
 - klávesnici s dvanácti tlačítky
 - čtyřmístný sedmisegmentový zobrazovač LED, výšky 14mm
 - indikační světla PAM, DATA, x, s
 - přepínač akumulátorového zdroje VYP, NAB, ZAP
- se dvěma indikačními světly a jedním dvojitým světlem

pro další připojení:

- konektor SND pro kombinovanou sondu
- konektor PC pro připojení počítače
- konektor 230V/60Hz pro připojení vnitřní nabíječky

pro jištění:

- čtyři pojistky. [7]

K přístroji patří ještě příložná Hallova sonda o $\varnothing$ 21mm a délce 100 mm, s tlačítkem spouště měření a cejchovní kámen (kousek tvrdého odlitku).



Obr. 4.2.1 Strukturoskop DOMENA B3 [5]

Tab.4.2.1 Reference přístrojů řady DOMENA k 2004-11-03 [5]

Firma:	Využití přístroje:	Kontakt:
STROJÍRNY POLDI a.s. Kladno 272 03, Dubská 243	Měření hloubky indukčně kalených vrstev čepů klikových hřídelí.	Ing.R.Černohorský, OŘJ, tel.312645162, 101, ori@stroipoldi.cz
SECO TRANS(býv.AGS) a.s. Jičín 50 648, Jungmannova 11	Měření tvrdosti HB odlitků z litiny s kuličkovým grafitem (LKG)	Ing.Kužel ved.OŘJ, 493 500890, kuzel@slv.ags.cz
Jihomoravská armaturka a.s., Hodonín 659 01, Lipová Alej 1	Měření tvrdosti HB odlitků z LKG.	Ing.Fr.Měchura ved.ŘJ slévárny, 518318314, mechura@imahod.cz
TRANSTRADE Jan Hanuš s.r.o. Vsetín 75501 Smetanova 1057	Separace tvrdých a měkkých odlitků z LKG a LLG (šedé litiny).	TK Juříčka,571412340, transtrade@vs.inext.cz
FOUNDEIK (býv.MORA Moravia) slévárna Mariánské Údolí 783 66	Separace tvrdých odlitků z LLG a LKG.	Ing. Jiří Herink TÚ, 587 414430, jiri.herink@foundeik.cz
Moravské Železářny a.s. Řepčínská 86, Olomouc 77900, slévárna LKG	Měření tvrdosti HB odlitků z LKG.	Ing.Fiala ved.sl., Ing. Marek ŘJ, 575812228, marek@mzol.cz
Moravské Železářny a.s. slévárna fitinků	Měření tvrdosti HB LKG, LLG odlitků.	Ing. J.Hojgr ved.sl., Ing. Langer ŘJ, 585712302, hojgr@mzol.cz
ANAH s.r.o., Vrahovická 23, Prostějov 796 21	Měření tvrdosti HB odlitků z LLG.	Ing. Julius Juhas ŘJ 582313765, slevarna-anah@slevarna-anah.cz
TŽ-slévárny a.s., Třinec 73965, Prmyslová 1001	Měření tvrdosti HB odlitků z LKG	Ing.Zd. Vladar ved.TÚ a ŘJ, 558533401, zdenek.vladar@trz.cz
TEDOM s.r.o.,divize MOTORY, Jablonec n/N. 466 01, Belgická 400	Přejímka odlitků dle HB z LLG, diagnostika ventilů z austenit. ocelí.	Jindřich Merunka ved. Vst. TK, 483363143, skrbek@motory.tedom.cz
SIGMA Lutín 78350, J.Sigmunda 75.	Měření tvrdosti HB odlitků z LLG a LKG.	Ing.Vladimír Šolc ŘJ, 585 651 722, vsolc@msl.cz
ELITEX slévárna a.s., Týniště nad Orlicí 517 21	Měření tvrdosti HB odlitků z LLG.	Ing. Dobiáš ředitel, Krejčíř TÚ, 494332513, jiri.krejcir@elitexslevarna.cz
Doc.Ing.B.Skrbek,Csc., TU SF katedra materiálu Hálkova 6, Liberec 46117	Aplikační vývoj a osvojení měření přístroji DOMENA.	485353606,3118 breislav.skrbek@vslib.cz
SKS Krnov a.s., OMNIA group. Revoluční 77, 794 01 Krnov	Kontrola tvrdosti odlitků z LKG, LLG.	554611534, Ing. A. Jedinák, RJ, laborator@skskrnov.cz

4.3 Způsob měření, vlivy na měření

4.3.1 Způsob měření

Měřená plocha musí být otryskána a bez hrubých výčnělků a zbytků oxidů. Osa sondy musí být v kontaktu s materiálem. Měření na vydutých plochách vyžaduje upravený tvar čela sondy. Při měření na vypuklých plochách je nutno sondu uložit do nekovového centrážního prizmatu.

Před měřením (souborem měření na 1 typu odlitku) se přístroj kalibruje pomocí cejchovního kamene hodnoty M_c , příslušného ke konkrétnímu přístroji.

Jedno měření běžným režimem trvá cca 3s, na jedno nabití provede přístroj min. 600 měření v běžném režimu.

Měření je třeba provést několikrát, aby se vyloučily náhodné vlivy.

Přístroj při měření ukazuje hodnotu M [A/m] zbytkového magnetismu feromagnetické matrice materiálu, po zadání konstant A a B (viz. níže) příslušného materiálu pak ukazuje přímo tvrdost HB.

Zadávání konstant viz. příloha 1 – Technický popis DOMENA B3.

Určení konstant A a B : [4]

Přístroj DOMENA ukazuje poměrné číslo M , které je úměrné intenzitě zbytkového magnetického pole po předchozím zmagnetování vzorku.

Nazveme sledovanou veličinu S . Získáme soubor vzorků o různé velikosti S takové, aby bohatě překryly oblast možných S od minimální hodnoty S_0 po maximální hodnotu S_n . Například takovýto soubor:

$$S_0, S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6, \dots, S_n$$

Tyto vzorky změříme při vhodně nastavených prvcích:

Konstanta $A = 1$

Konstanta $B = 0$

FUNKCE L

MAGNETIZACE $M5$

Takto získáme soubor výsledků:

$$M_0, M_1, M_2, M_3, M_4, M_5, M_6, \dots, M_n$$

Pro vzájemný vztah mezi sledovanou veličinou S a změřenou intenzitou magnetického pole platí tento vztah:

$$S = A \cdot M + B \quad (1)$$

S . . . sledovaná veličina

M . . . hodnota zbytkového magnetismu

A, B . . . konstanty pro výpočet tvrdosti

Pro nastavení přístroje určíme konstanty A a B buď aproximací metodou nejmenších čtverců, nebo jednodušeji grafickou metodou.

a) Aproximace metodou nejmenších čtverců

Nejprve stanovíme tyto hodnoty :

$$m = \sum_{i=0}^n M_i \quad (2) ; \quad s = \sum_{i=0}^n S_i \quad (3) ; \quad e = \sum_{i=0}^n M_i^2 \quad (4) ; \quad f = \sum_{i=0}^n M_i \cdot S_i \quad (5)$$

$M, S \dots$ viz. (1)

a pak konstanty podle vztahů:

$$A = \frac{m \cdot s - f(n+1)}{m^2 - e(n+1)} \quad (6) ; \quad B = \frac{f - A \cdot e}{m} \quad (7) \quad .$$

$A, B \dots$ viz. (1)

b) Grafická metoda

Do grafu zakreslíme jednotlivé body dané souřadnicemi M a S , to je na osu Y vyneseme hodnoty S a na osu X vyneseme hodnoty M . Tyto body s citem proložíme přímkou a určíme její parametry. Na přímce si zvolíme dva okrajové body se souřadnicemi M_a, S_a a M_b, S_b , potom:

$$A = \frac{(S_b - S_a)}{(M_b - M_a)} \quad (8) ; \quad B = S_a - A \cdot M_a \quad (9) \quad .$$

$S, M, A, B \dots$ viz. (1)

c) Stanovení konstant A a B kalkulačkou s lineární regresí

Tímto způsobem lze konstanty stanovit nejrychleji. Navíc získáme i hodnotu korelačního koeficientu K .

Smysluplné měření vyžaduje koeficient K vyšší jak 0,9.

4.3.2 Vliv struktury, vliv tloušťky, okrajový efekt

Charakteristikou feromagnetických ocelí a litin jsou bloky stejně orientovaných atomů - takzvané domény, které tvoří subzrna krystalické struktury.

Polarizací vnějším magnetickým polem dochází u domén se shodnou a blízkou polarizací s vnějším polem k růstu posunem Blochových zón, nebo ke skokovým změnám polarizace Barkhausenovými přeskoky.

Po zániku vnějšího magnetického pole H_o se nevrátí všechny domény do původního stavu. Vzniká remanentní polarizace I_r . Zmagnetované místo má vlastní magnetické pole o intenzitě H_r (jako M).

Vratným změnám brání atomy vázané v molekulách, atomární pnutí a mřížkové poruchy.

Proto složky, které obsahují karbidy, martenzit, dislokace a hranice zrn vykazují vysokou hodnotu I_r .

Demagnetizační činitel N charakterizuje vnější i vnitřní geometrické poměry rozhraní feromagnetika. Extrémy hodnot N přísluší tenké desce, štíhlé tyči, poloprostoru z feromagnetika. Vymezují geometrické podmínky metody magnetického bodového pólu. [6]

Platí vztah:

$$H_r = H_o - \frac{N \cdot I_r}{\mu} \quad (10)$$

H_r . . . intenzita zbytkového magn. pole

H_o . . . intenzita vnějšího magn. pole

I_r . . . zbytková polarizace

N . . . demagnetizační činitel

μ . . . permeabilita prostředí

Okrajový efekt dovoluje měřit **bez významné odchylky až od 25-30mm od okraje** ocelových plechů. S **rostoucí tloušťkou stěny** (0,5 až 15mm) hodnota **H_r** ostře exponenciálně **klesá**. **Nad 15mm** zůstává **H_r** prakticky **beze změny**.

Oddálení H_o od povrchu feromagnetika působí stejný relativní pokles dH_r/H_r jak na tenké desce, tak na silné i pro různé magnetizace. [6]

Ocelovému výrobku přísluší konstantní chemické složení feromagnetika. **Litiny**, které tvoří **diamagnetický grafit** rozptýlený **ve feromagnetické matici**, mají rezervoár uhlíku pro feromagnetickou matici právě v útvarech grafitu.

Matrice litiny téhož odlitku tak může obsahovat od 0% C (feritická měkká matrice) až po 0,8% C (plně perlitická matrice) podle způsobu ochlazování. Lokální magnetická strukturoskopie litin má proto ještě větší význam a účinnost jak u ocelí.

Výsledná hodnota měřené veličiny H_r se skládá z jednotlivých příspěvků domén dH_r struktury feromagnetika, uložených v různých hloubkách pod povrchem od snímače H_r (Hallova či Foerstrova sonda). Příspěvek hlouběji položených domén snižuje **stínící faktor s** .

$$H_r = \sum s_i \cdot dH_{r_i} \quad (11)$$

H_r . . . hodnota zbytkového magnetismu

dH_r . . . přírůstek zbytkového magnetismu

s . . . stínící faktor

Při konstantní matici ($I_r = konst$) a **různých tvarech grafitu** v matici vyloučených **se** hodnota **H_r mění**. Roste se štíhlostí l/d útvarů grafitu. Tvar grafitu mění také stínící efekt s . [6]

Metodu lze tedy požit jak na určení druhu feromagnetické matrice, tak i na zjištění druhu grafitu.

4.3.3 Vliv povrchu

V technické praxi se setkáváme s nutností měření metodou magnetického bodového pólu na součásti zkorodované či okujené.

Oxidy Fe však vykazují silnou magnetickou remanenci.

Experimentálně bylo zjištěno, že povrchy po žíhání do 630 °C nevadí, ale při vyšších teplotách TZ a po vytlučení odlitku z formy je nutno povrch před měřením otryskat. Otryskané odlitky skladované i dlouhou dobu venku nemusí být před měřením znovu otryskávány – atmosférická koroze nemá významný vliv. Naopak po působení agresivního prostředí se zvýšenými hodnotami oxidu siřičitého a teploty je nutno součást očistit, jinak by bylo měření znehodnoceno. [6]

4.3.4 Vliv magnetizace

Vznik zbytkového magnetismu závisí:

- **na stupni magnetizace** (s rostoucí intenzitou magnetizace roste přesnost měření);
- **na stavu magnetovaného materiálu**. Nebyl-li kovový feromagnetický materiál před měřením magnetován (například byl vystaven teplotě nad Currierův bod), bude změřená hodnota po prvním magnetování větší, než další hodnoty při opakovaném měření. Velikost hodnoty se ustálí po 4. až 6. magnetování. Tomuto poklesu se vyhneme pokud použijeme dlouhodobou magnetizaci. Tu také volíme pro opakovaná měření na jednom místě a měření na místech odlitků, která byla již magneticky ovlivněna měřením M , nebo přítomností rušivých magnetických polí. [4]

4.3.5 Vliv teplot

Vlivem teplot na měření přístroji DOMENA se podrobněji zabývají následující statě.

5. Měření

5.1 Přístroje a pomůcky

- strukturoskop DOMENA B3 (Ing. Skrbek/01;Elkoso spol.s r.o.,Brno) + sondy A a M + cejchovní kámen (Mc=200)
- strukturoskop DOMENA B2 (Tedom spol. s r.o.,divize Motory, Jablonec n/N;Elkoso spol,s r.o.,Brno;r.v. 1995) + sonda + cejchovní kámen (Mc=180)
- pyrometr Calex
- digitální teploměr a vlhkoměr Impacta (r.v.2003;C&C Líně spol.s r.o.)
- kondenzační přístroj Impacta (650W; hygroskop; průtok vzduchu 400m³/min;r.v. 2003;IMPACTA DUO,spol.s r.o.,Žilov)
- mrazicí box Vestfrost HF 506 (200W;r.v.1994)

5.2 Vzorky

Jako vzorky byly použity 2 odlitky z litiny s lupínkovým grafitem (C 3,3%;Si 1,81%;Mn 0,74%;P 0,129%) a 2 z litiny s kuličkovým grafitem (C 3,55%;Si 3,17%;Mn 0,16%;P 0,08%;S 0,012%;Se 1,107%). [8]

Vždy jeden vzorek měl matrici feritickou a jeden perlitickou,dosaženou TZ.

Vzorky byly ve tvaru desek s vyfrézovanými stupni ,k měření byla použita vždy nejmenší a největší tloušťka.

Používané označení a známé vlastnosti vzorků:

LLG,F . . . litina s lupínkovým grafitem,feritická
tvrdost: 137 HB
silná stěna (**S**):20,5mm;A=0,98;B=82
tenká stěna(**T**):4,7mm;A=0,66;B=68

LLG,P . . . litina s lupínkovým grafitem,perlitická
tvrdost : 223 HB
silná stěna(**S**): 21mm;A=0,98;B=82
tenká stěna(**T**): 4,7 mm;A=0,66;B=68

LKG,F . . . litina s kuličkovým grafitem,feritická
tvrdost: 168 HB
silná stěna(**S**):20 mm;A=0,73;B=131
tenká stěna(**T**):4,34 mm;A=0,52;B=128

LKG,P . . . litina s kuličkovým grafitem,perlitická
tvrdost: 270 HB
silná stěna(**S**): 20 mm;A=0,73;B=131
tenká stěna(**T**): 4,47 mm;A=0,52;B=128

5.3 Postup měření

Při každém měření byla měřena silná stěna (**S**) a tenká stěna (**T**) každého vzorku,vždy dvakrát.Mezitím byl pokaždé přeměřen cejchovní kámen.

Měření byla prováděna se dvěma přístroji - DOMENA B2 a DOMENA B3,ten měl navíc pro porovnání dvě různé sondy A a M.

Teplotní podmínky jednotlivých měření byly voleny tak,aby byly pokryty pokud možno všechny případné aplikace,od měření na mrazu až po měření v horku na prudkém slunci.

Pro některá měření na mrazu byly využity příhodné venkovní podmínky, ostatní měření byla prováděna v mrazícím boxu.

Měření za vysokých teplot byla prováděna v boxu s kondenzačním přístrojem a radiátorem na sušení řeziva.

Pro všechna měření byl volen stejný režim měření i stupeň magnetizace,aby byly výsledky navzájem srovnatelné.

Všechny naměřené hodnoty,zanesené v tabulkách a grafech,není-li vyznačeno jinak,jsou hodnotami **M** zbytkové magnetizace (viz. teoretická část).

5.4 Naměřené hodnoty – DOMENA B3, sonda A

Měření A1 – cejchování za normálních teplot, měření za normálních a nízkých teplot, temperování

DOMENA B3, sonda A, 28.2.2006

a) měření za normálních teplot

Podmínky měření:

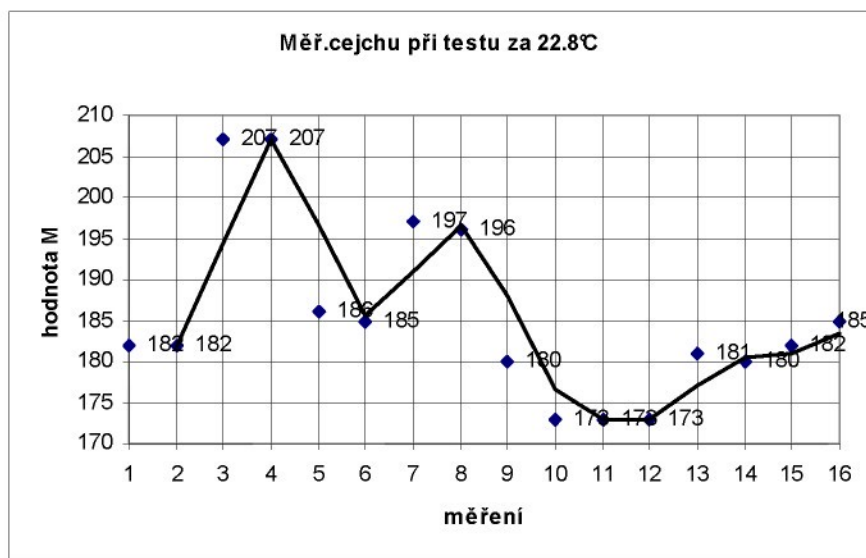
režim L; magnetizace M4; teplota **22,8°C** ;
cejchování na $M_c=200$ při teplotě 22,8°C, $K=0,569$.

Tab. 5.4.1 Hodnoty Měření A1a

LLG,F	vzorek	cejch	LLG,P	vzorek	cejch	LKG,F	vzorek	cejch	LKG,P	vzorek	cejch
S	62,1	182	S	143	186	S	50,1	180	S	177	181
	59,2	182		145	185		49	173		174	180
T	101	207	T	245	197	T	79,2	173	T	270	182
	98	207		243	196		77,4	173		264	185

Tab. 5.4.2 Průběh cejchování měření A1a

	měření	hodnota M
LLG,F,S	1	182
	2	182
LLG,F,T	3	207
	4	207
LLG,P,S	5	186
	6	185
LLG,P,T	7	197
	8	196
LKG,F,S	9	180
	10	173
LKG,F,T	11	173
	12	173
LKG,P,S	13	181
	14	180
LKG,P,T	15	182
	16	185



Tab. 5.4.3 Statistika cejchování měření A1a

Aritm.průměr: 185,5625 - pokles o 7,2% od $M_c=200$
Maximum: 207-nárůst o 3,5% od $M_c=200$ a o 11,5% od aritm.prm. naměřených hodnot ($M=185,5625$)
Minimum: 173-pokles o 13,5% od $M_c=200$ a o 6,8% od aritm.prm. naměřených hodnot ($M=185,5625$)

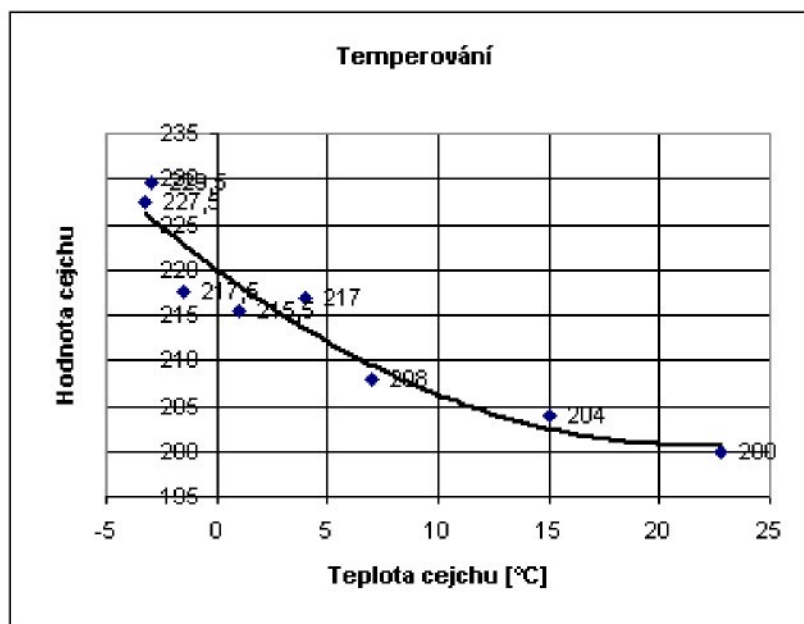
b) temperování

Podmínky měření:

režim L; magnetizace M4; přechod z 22,8°C na -3,3°C ;
cejchování na Mc=200 při tepl.22,8°C, K=0,569

Tab.5.4.4 Hodnoty měření A1b

teplota cejchu	hodnota M cejchu
22,8°C	199 201
15°C	203 205
7°C	209 207
4°C	217 217
1°C	217 214
-1,5°C	220 215
-3°C	228 231
-3,3°C	228 227



c) za nízkých teplot

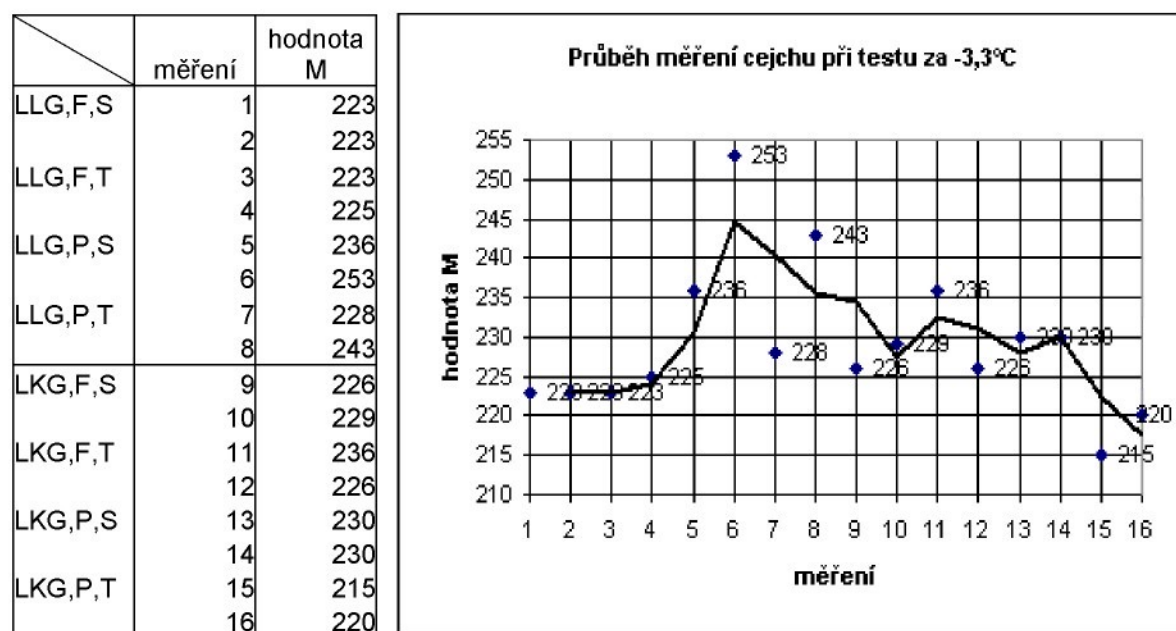
Podmínky měření:

režim L; magnetizace M4; teplota -3,3°C ;
cejchování na Mc=200 při tepl.22,8°C, K=0,569

Tab.5.4.5 Hodnoty měření A1c

LLG,F	vzorek	cejch	LLG,P	vzorek	cejch	LKG,F	vzorek	cejch	LKG,P	vzorek	cejch
S	73,2	223	S	209	236	S	58,5	226	S	220	230
	66,5	223		200	253		57,3	229		209	230
T	114	223	T	281	228	T	91,5	236	T	338	215
	118	225		275	243		91,5	226		332	220

Tab.5.4.6 Průběh cejchování měření A1c



Tab 5.4.7 Statistika cejchování měření A1c

Aritm. průměr: 229,125 - prům.zvýšení o 14,56% (od Mc=200)
Maximum: 253-nárůst o 26,5% od Mc=200 a o 10,4% od aritm.prm. naměřených hodnot(m=229,125)
Minimum: 215-nárůst o 7,5% od Mc=200,pokles o 6,16% od aritm.prm. naměřených hodnot (M=229,125)

Měření A2 – cejchování za normálních teplot,měření za normálních a za nízkých teplot

DOMENA B3;sonda A;7.3.2006

a) měření za normálních teplot

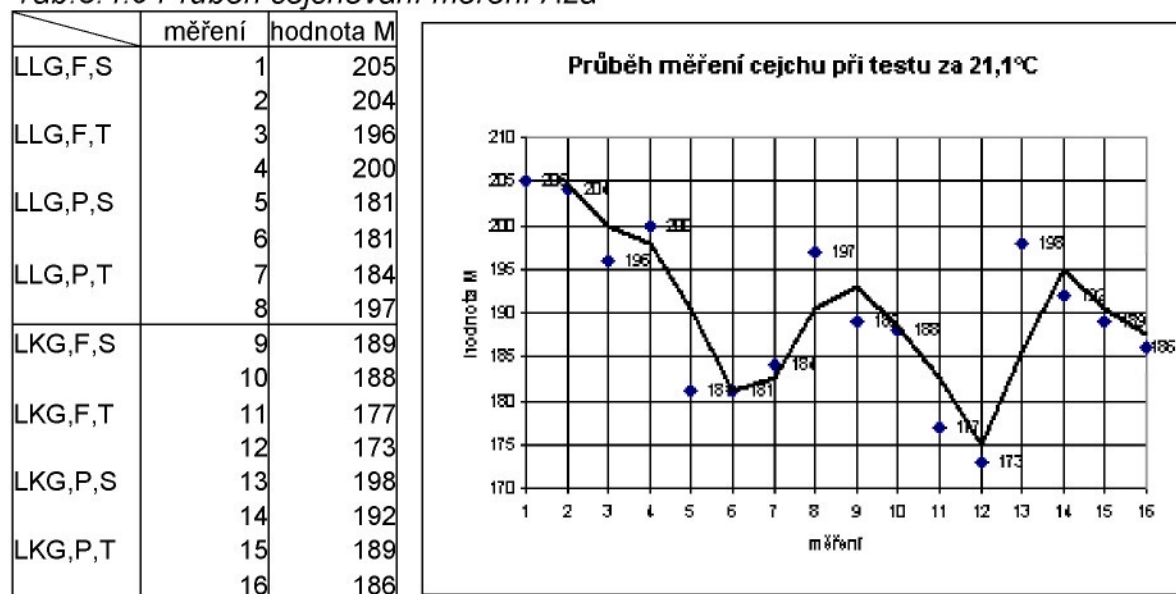
Podmínky měření:

režim L,magnetizace M4;teplota **21,1°C** ;
cejchování na Mc=200 při tepl. 21,1°C,K=0,569

Tab. 5.4.8 Hodnoty měření A2a

LLG,F	vzorek	cejch	LLG,P	vzorek	cejch	LKG,F	vzorek	cejch	LKG,P	vzorek	cejch
S	52,9	205	S	140	181	S	48,4	189	S	177	198
	57,5	204		168	181		49,5	188		174	192
T	96,8	196	T	239	184	T	78	177	T	263	189
	96,2	200		242	197		82	173		258	186

Tab.5.4.9 Průběh cejchování měření A2a



Tab.5.4.10 Statistika cejchování měření A2a

aritm.průměr: 190 - pokles o 5% od Mc=200
maximum: 205- nárůst o 2,5% od Mc=200 a o 7,9% od aritm.prm.naměřených hodnot(M=190)
minimum: 173 - pokles o 13,5% od Mc=200 a o 8,9% od aritm.prm.naměřených hodnot(M=190)

b) měření za nízkých teplot

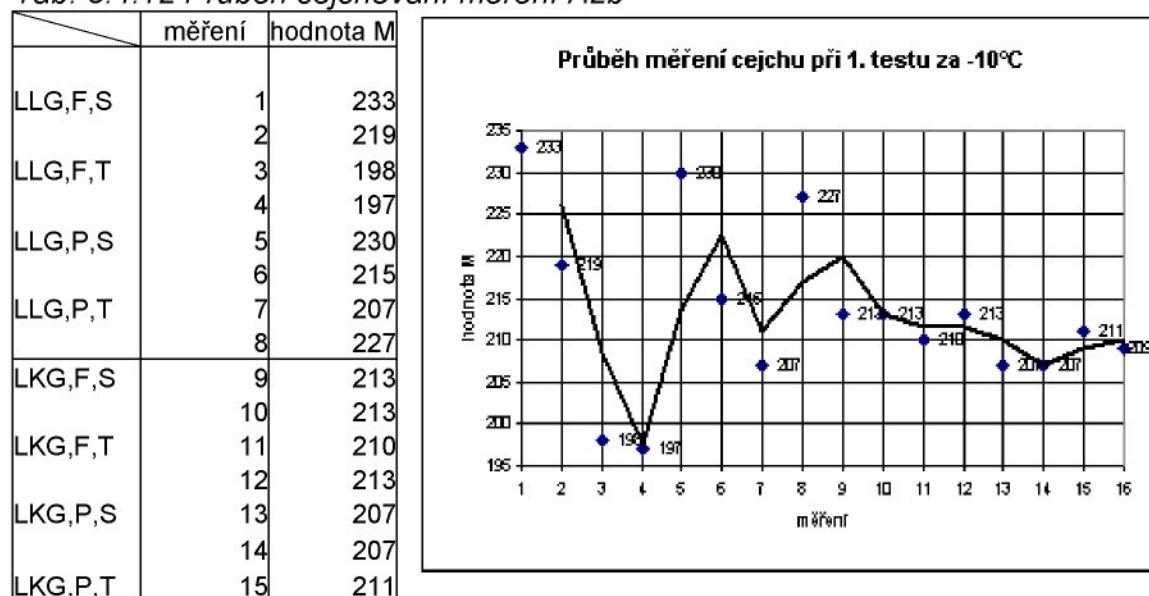
Podmínky měření:

režim L,magnetizace M4;teplota **-10°C** ;
cejchování na Mc=200 při tepl. 21,1°C,K=0,569

Tab. 5.4.11 Hodnoty měření A2b

LLG,F	vzorek	cejch	LLG,P	vzorek	cejch	LKG,F	vzorek	cejch	LKG,P	vzorek	cejch
S	70	233	S	164	230	S	56,4	213	S	194	207
	66	219		162	215		55,8	213		192	207
T	103	198	T	283	207	T	87,1	210	T	298	211
	103	197		277	227		87,1	213		296	209

Tab. 5.4.12 Průběh cejchování měření A2b



Tab. 5.4.13 Statistika cejchování měření A2b

Aritm.průměr:213 - nárůst o 6,5% od Mc=200
Maximum: 233 - nárůst o 16,5% od Mc=200 a o 9,4% od aritm.prm.naměřených hodnot(M=213)
Minimum: 197 - pokles o 1,5% od Mc=200 a o 7,5% od aritm prn.naměřených hodnot(M=213)

Měření A3 – cejchování a měření za nízkých teplot

DOMENA B3;sonda A;7.3.2006

Podmínky měření:

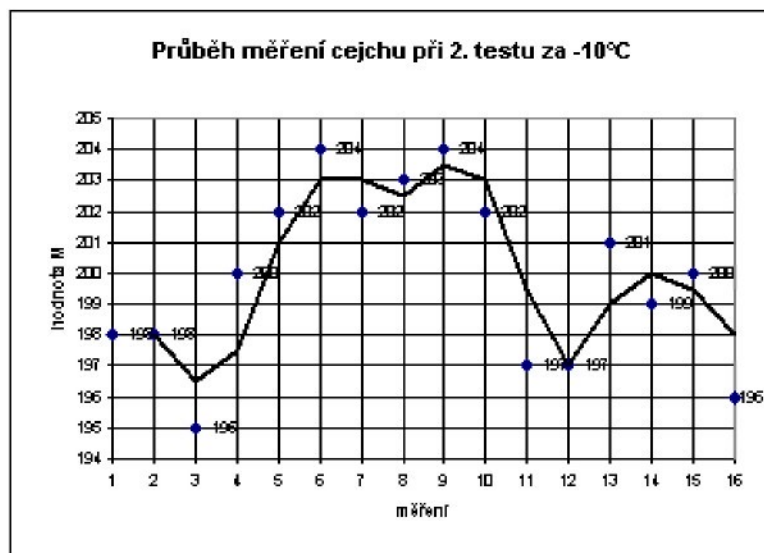
režim L;magnetizace M4;teplota **-10°C** ;
cejchování na Mc=200 při tepl. -10°C,K=0,531

Tab. 5.4.14 Hodnoty měření A3

LLG,F	vzorek	cejch	LLG,P	vzorek	cejch	LKG,F	vzorek	cejch	LKG,P	vzorek	cejch
S	58,5	198	S	160	202	S	52,6	204	S	184	201
	58,5	198		155	204		55,8	202		182	199
T	104	195	T	238	202	T	84,5	197	T	281	200
	100	200		246	203		84	197		297	196

Tab. 5.4.15 Průběh cejchování měření A3

	měření	hodnota M
LLG,F,S	1	198
	2	198
LLG,F,T	3	195
	4	200
LLG,P,S	5	202
	6	204
LLG,P,T	7	202
	8	203
LKG,F,S	9	204
	10	202
LKG,F,T	11	197
	12	197
LKG,P,S	13	201
	14	199
LKG,P,T	15	200
	16	196



Tab. 5.4.16 Statistika cejchování měření A3

Aritm.průměr: 199,875 = cca 200=Mc
Maximum: 204 - nárůst o 2% od Mc=200
Minimum: 195 - pokles o 2,5% od Mc=200

Měření A4 – cejchování za normálních teplot, měření za vysokých teplot

DOMENA B3; sonda A; 8.3.2006

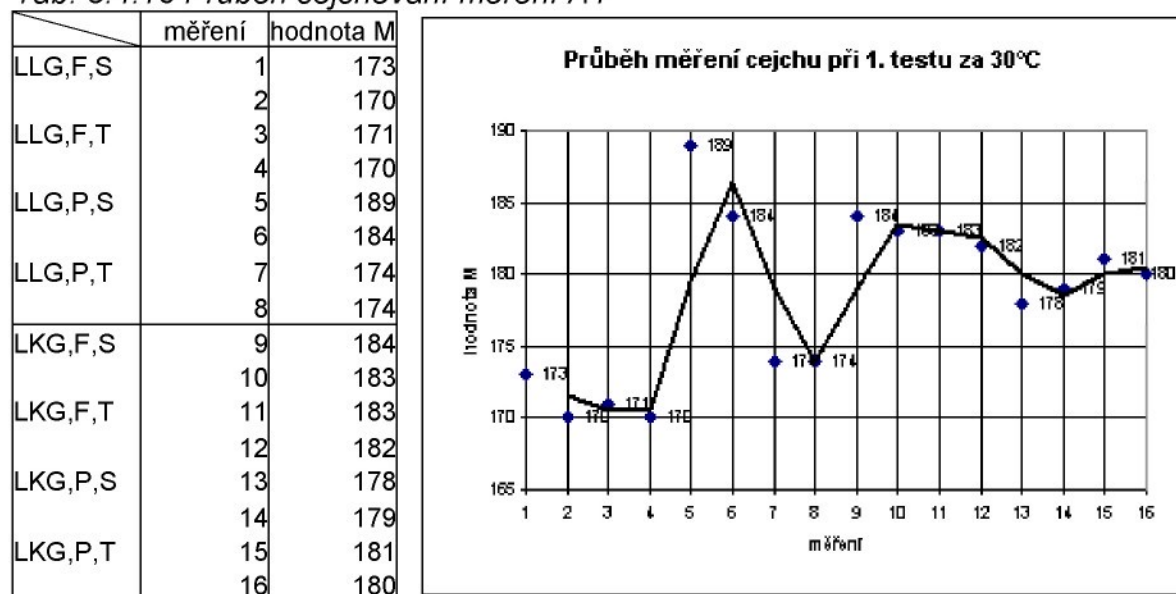
Podmínky měření:

režim L; magnetizace M4; teplota prostředí 30°C, vzorků 40°C, cejchu 24°C;
cejchování na Mc=200 při tepl. 24°C, K=0,539

Tab. 5.4.17 Hodnoty měření A4

LLG,F	vzorek	cejch	LLG,P	vzorek	cejch	LKG,F	vzorek	cejch	LKG,P	vzorek	cejch
S	52,8	173	S	141	189	S	46,3	184	S	162	178
	51,7	170		140	184		45,8	183		160	179
T	105	171	T	220	174	T	70,6	183	T	245	181
	105	170		218	174		70,6	182		243	180

Tab. 5.4.18 Průběh cejchování měření A4



Tab. 5.4.19 Statistika cejchování měření A4

Aritm.průměr: 178,4375 - pokles o 10,78% od $M_c=200$
Maximum: 189 - pokles o 5,5% od $M_c=200$ a nárůst o 5,9% od aritm,prům.naměřených hodnot ($M=178,4375$)
Minimum: 170 - pokles o 15% od $M_c=200$ a o 4,73% od aritm,prům.naměřených hodnot ($M=178,4375$)

Měření A5 – cejchování a měření za vysokých teplot

DOMENA B3; sonda A; 8.3.2006

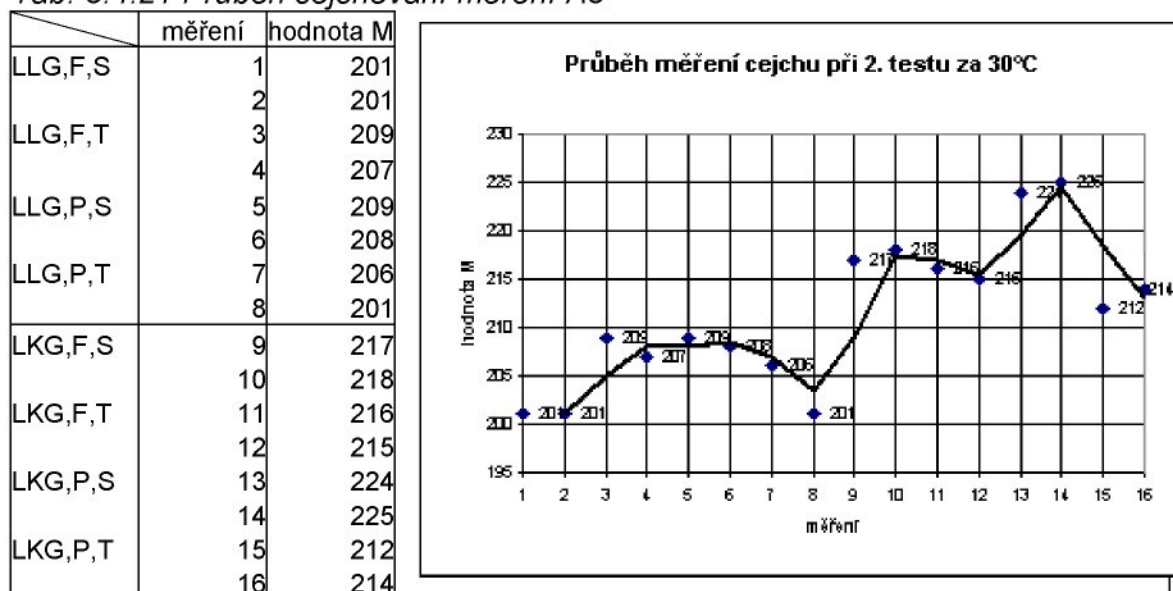
Podmínky měření:

režim L, magnetizace M4; teplota prostředí 30°C, vzorky a cejch 40°C;
cejchování na $M_c = 200$ při tepl.prostředí 30°C a cejchu 40°C, $K=0,613$

Tab. 5.4.20 Hodnoty měření A5

LLG,F	vzorek	cejch	LLG,P	vzorek	cejch	LKG,F	vzorek	cejch	LKG,P	vzorek	cejch
S	60,7	201	S	165	209	S	56,6	217	S	192	224
	60,1	201		157	208		54,4	218		183	225
T	111	209	T	258	206	T	87,7	216	T	292	212
	109	207		255	201		88,2	215		277	214

Tab. 5.4.21 Průběh cejchování měření A5



Tab. 5.4.22 Statistika cejchování měření A5

Aritm.průměr: 211,4375 - nárůst o 5,7% od $M_c=200$
Maximum: 225 - nárůst o 12,5% od $M_c=200$ a o 6,4% od aritm.prm.naměřených hodnot($M=211,4375$)
Minimum: 201 - nárůst o 0,5% od $M_c=200$, pokles o 4,9% od aritm.prm.naměřených hodnot($M=211,4375$)

5.5 Naměřené hodnoty – DOMENA B3,sonda M

Měření M1 – cejchování za normálních teplot,měření za normálních a nízkých teplot,temperování

DOMENA B3;sonda M;7.3. 2006

a) měření za normálních teplot

Podmínky měření:

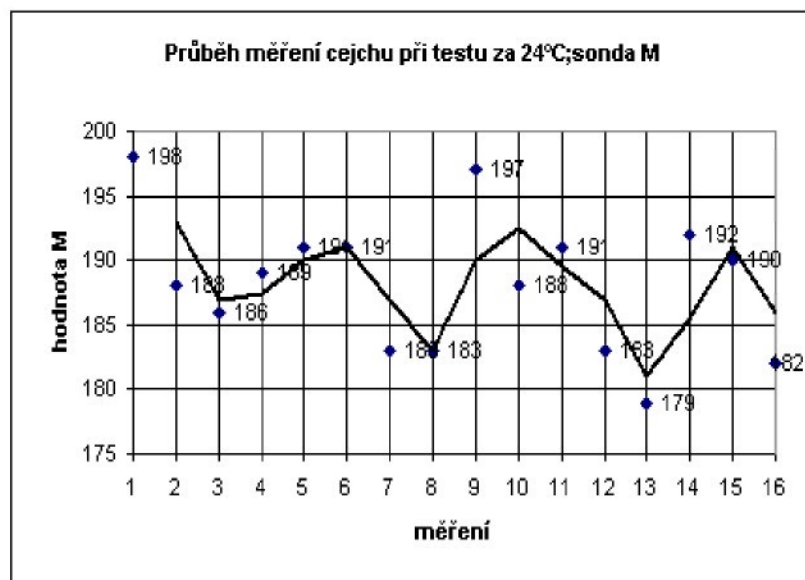
režim L;magnetizace M4;teplota **24°C** ;
cejchování na Mc=200 při teplotě 22,8°C,K=0,699

Tab. 5.5.1 Hodnoty měření M1a

LLG,F	vzorek	cejch	LLG,P	vzorek	cejch	LKG,F	vzorek	cejch	LKG,P	vzorek	cejch
S	54,5	198	S	144	191	S	43,3	197	S	174	179
	56,6	188		137	191		51	188		172	192
T	104	186	T	236	183	T	78,3	191	T	253	190
	95,8	189		241	183		76,9	183		262	182

Tab. 5.5.2 Průběh cejchování měření M1a

	měření	hodnota M
LLG,F,S	1	198
	2	188
LLG,F,T	3	186
	4	189
LLG,P,S	5	191
	6	191
LLG,P,T	7	183
	8	183
LKG,F,S	9	197
	10	188
LKG,F,T	11	191
	12	183
LKG,P,S	13	179
	14	192
LKG,P,T	15	190
	16	182



Tab.5.5.3 Statistika cejchování měření M1a

Aritm.průměr:188,1875 - pokles o 5,9% od Mc=200
Maximum: 197 - pokles o 1,5% od Mc=200,nárůst o 4,8% od aritm.prm.naměřených hodnot(M=188)
Minimum: 179 - pokles o 10,5% od Mc=200 a o 4,8% od aritm.prm.naměřených hodnot(M=18)

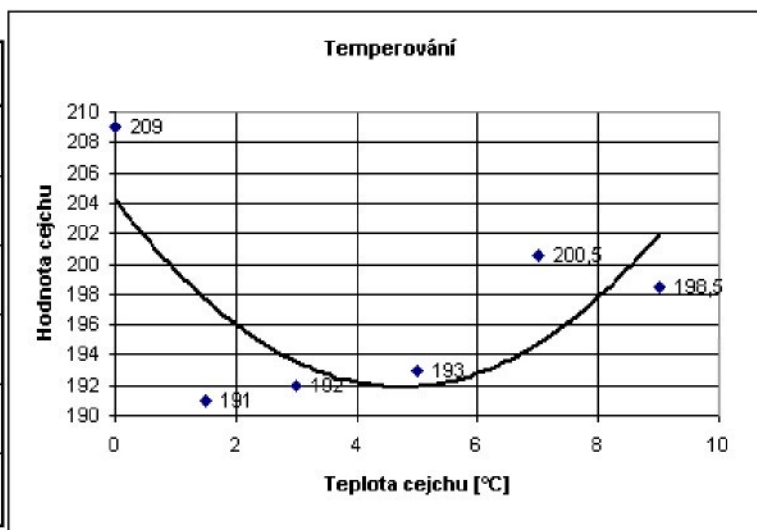
b) temperování

Podmínky měření:

režim L; magnetizace M4; přechod z 24°C na 0°C ;
cejchování na Mc=200 při tepl.24°C, K=0,699

Tab.5.5.4 Hodnoty měření M1b

teplota cejchu	hodnota cejchu M
9°C	191 206
7°C	197 204
5°C	196 190
3°C	193 191
1,5°C	192 190
0°C	209 209



c) za nízkých teplot

Podmínky měření:

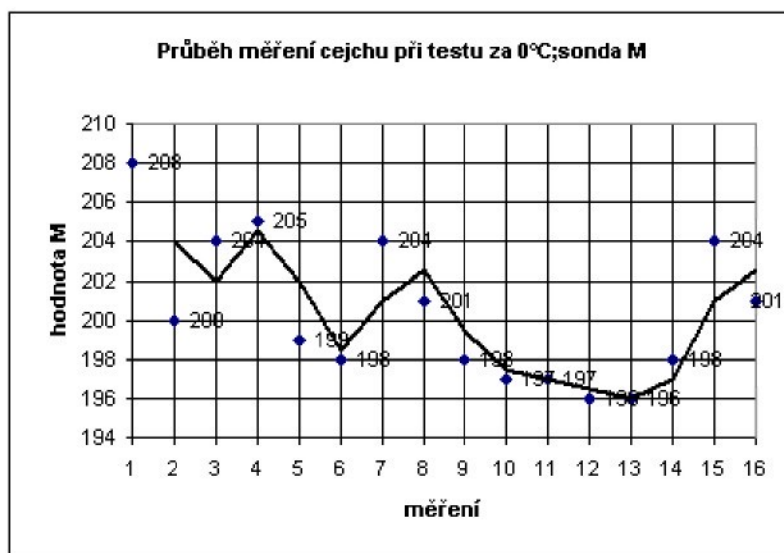
režim L; magnetizace M4; teplota 0°C ;
cejchování na Mc=200 při tepl.24°C, K=0,699

Tab.5.5.5 Hodnoty měření M1c

LLG,F	vzorek	cejch	LLG,P	vzorek	cejch	LKG,F	vzorek	cejch	LKG,P	vzorek	cejch
S	51	208	S	168	199	S	52,4	198	S	181	196
	55,5	200		162	198		48,9	197		181	198
T	98,6	204	T	247	204	T	76,2	197	T	281	204
	97,9	205		244	201		77,6	196		280	201

Tab.5.5.6 Průběh cejchování měření M1c

	měření	hodnota M
LLG,F,S	1	208
	2	200
LLG,F,T	3	204
	4	205
LLG,P,S	5	199
	6	198
LLG,P,T	7	204
	8	201
LKG,F,S	9	198
	10	197
LKG,F,T	11	197
	12	196
LKG,P,S	13	196
	14	198
LKG,P,T	15	204
	16	201



Tab. 5.5.7 Statistika cejchování měření M1c

Aritm.průměr: 200,375=cca200=Mc
Maximum: 208 - nárůst o 4% od Mc
Minimum:196 - pokles o 2% od Mc

Měření M2 – cejchování za normálních teplot,měření za normálních a za nízkých teplot

DOMENA B3;sonda M;7.3.2006

a) měření za normálních teplot

Podmínky měření:

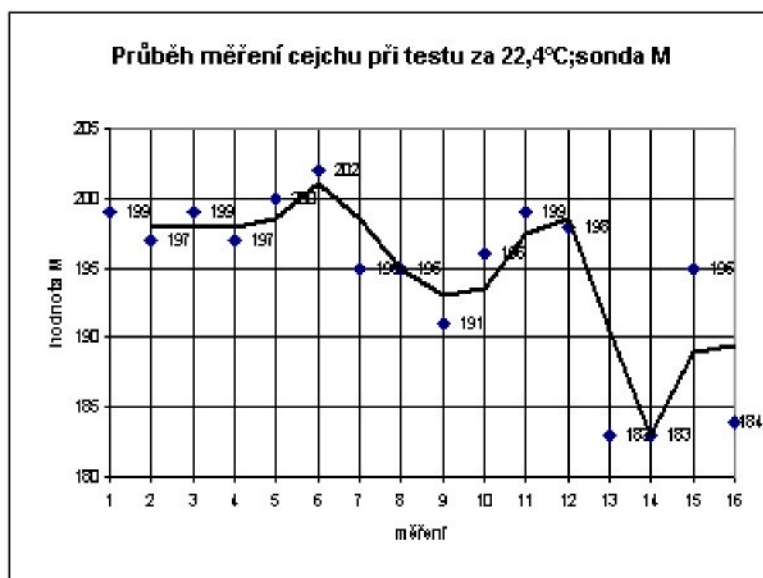
režim L,magnetizace M4;teplota 22,4°C ;
cejchování na Mc=200 při tepl. 22,4°C,K=0,704

Tab. 5.5.8 Hodnoty měření M2a

LLG,F	vzorek	cejch	LLG,P	vzorek	cejch	LKG,F	vzorek	cejch	LKG,P	vzorek	cejch
S	55,6	199	S	142	200	S	50,7	191	S	173	183
	54,2	197		140	202		45,7	196		174	184
T	105	199	T	235	195	T	76,7	199	T	265	195
	104	197		235	195		78,1	198		262	184

Tab. 5.5.9 Průběh cejchování měření M2a

	měření	hodnota M
LLG,F,S	1	199
	2	197
LLG,F,T	3	199
	4	197
LLG,P,S	5	200
	6	202
LLG,P,T	7	195
	8	195
LKG,F,S	9	191
	10	196
LKG,F,T	11	199
	12	198
LKG,P,S	13	183
	14	183
LKG,P,T	15	195
	16	184



Tab. 5.5.10 Statistika cejchování měření M2a

Aritm.průměr: 196,5625 - pokles o 2,7% od Mc=200
Maximum: 202 - nárůst o 1% od Mc=200 a o 2,76% od aritm.prm.naměřených hodnot
Minimum: 183 - pokles o 8,5% od Mc=200 a o 6,7% od aritm.prm.naměřených hodnot

b) měření za nízkých teplot

Podmínky měření:

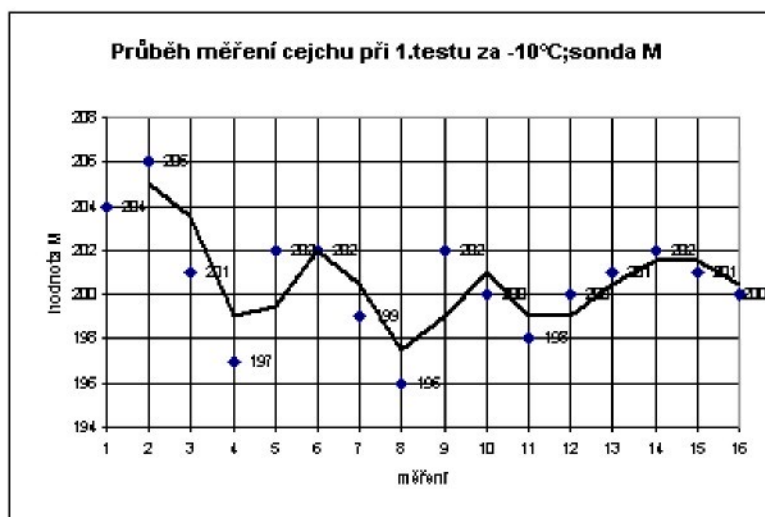
režim L,magnetizace M4;teplota **-10°C** ;
cejchování na Mc=200 při tepl. 22,4°C,K=0,704

Tab. 5.5.11 Hodnoty měření M2b

LLG,F	vzorek	cejch	LLG,P	vzorek	cejch	LKG,F	vzorek	cejch	LKG,P	vzorek	cejch
S	63,2	204	S	159	202	S	54,9	202	S	186	201
	61,2	206		157	202		57,7	200		184	202
T	112	201	T	244	199	T	84,5	198	T	274	201
	111	197		241	196		85,2	200		275	200

Tab. 5.5.12 Průběh cejchování měření M2b

	měření	hodnota M
LLG,F,S	1	204
	2	206
LLG,F,T	3	201
	4	197
LLG,P,S	5	202
	6	202
LLG,P,T	7	199
	8	196
LKG,F,S	9	202
	10	200
LKG,F,T	11	198
	12	200
LKG,P,S	13	201
	14	202
LKG,P,T	15	201
	16	200



Tab. 5.5.13 Statistika cejchování měření M2b

Aritm.průměr:200,6876=cca 200=Mc
Maximum: 206 - nárůst o 3% od Mc=200
Minimum:196 - pokles o 2% od Mc=200

Měření M3 – cejchování a měření za nízkých teplot

DOMENA B3;sonda M;7.3.2006

Podmínky měření:

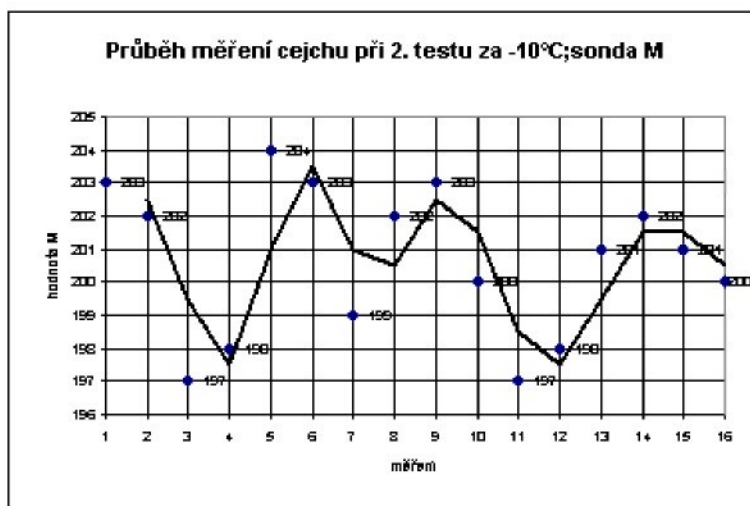
režim L;magnetizace M4;teplota **-10°C** ;
cejchování na Mc=200 při tepl. -10°C,K=0,692

Tab. 5.5.14 Hodnoty měření M3

LLG,F	vzorek	cejch	LLG,P	vzorek	cejch	LKG,F	vzorek	cejch	LKG,P	vzorek	cejch
S	67,8	203	S	175	204	S	56	203	S	189	201
	66,4	202		171	203		56,7	200		184	202
T	112	197	T	249	199	T	85,1	197	T	267	201
	111	198		252	202		83	198		262	200

Tab. 5.5.15 Průběh cejchování měření M3

	měření	hodnota M
LLG,F,S	1	203
	2	202
LLG,F,T	3	197
	4	198
LLG,P,S	5	204
	6	203
LLG,P,T	7	199
	8	202
LKG,F,S	9	203
	10	200
LKG,F,T	11	197
	12	198
LKG,P,S	13	201
	14	202
LKG,P,T	15	201
	16	200



Tab.5.5.16 Statistika cejchování měření M3

Aritm.průměr: 200,625=cca 200=Mc
Maximum: 204 - nárůst o 2% od Mc=200
Minimum: 197 - pokles o 1,5% od Mc=200

Měření M4 – cejchování za normálních teplot,měření za vysokých teplot

DOMENA B3;sonda M;8.3.2006

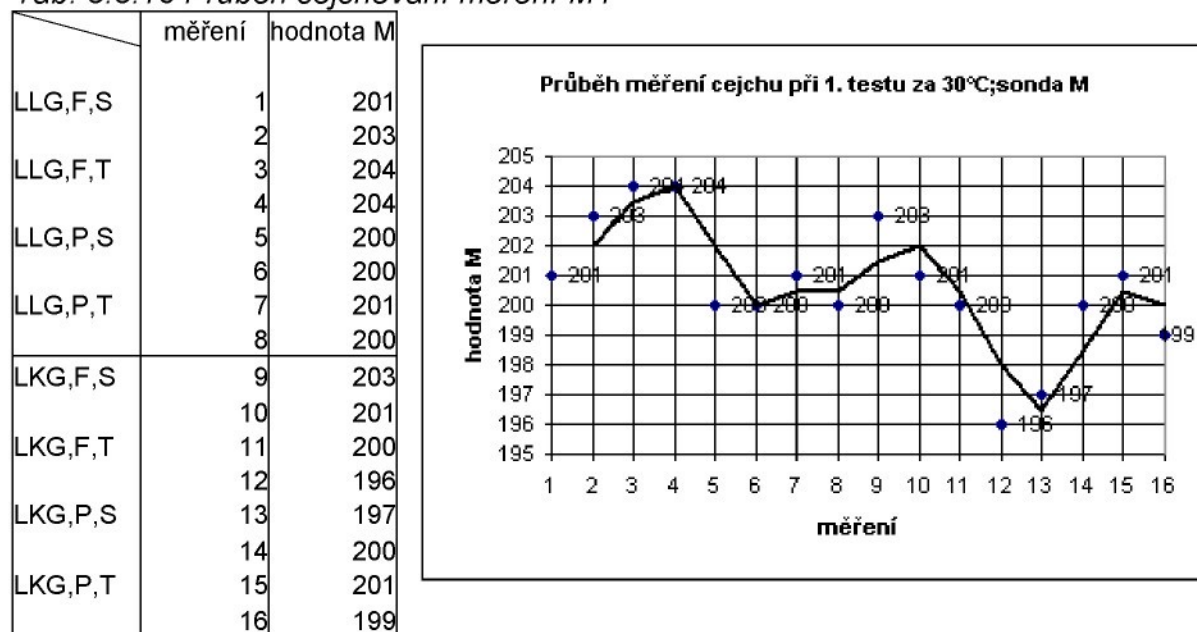
Podmínky měření:

režim L;magnetizace M4;teplota prostředí 30°C,vzork ů 40°C,cejchu 24°C;
cejchování na Mc=200 při tepl. 24°C,K=0,757

Tab. 5.5.17 Hodnoty měření M4

LLG,F	vzorek	cejch	LLG,P	vzorek	cejch	LKG,F	vzorek	cejch	LKG,P	vzorek	cejch
S	59	201	S	162	200	S	51,5	203	S	180	197
	57,5	203		162	200		50,7	201		178	200
T	118	204	T	253	201	T	84	200	T	267	201
	119	204		250	200		80,3	196		265	199

Tab. 5.5.18 Průběh cejchování měření M4



Tab. 5.5.19 Statistika cejchování měření M4

Aritm.průměr: 200,625=cca 200=Mc
Maximum: 204 - zvýšení o 2% od Mc
Minimum: 196 - pokles o 2% od Mc

Měření M5 – cejchování a měření za vysokých teplot

DOMENA B3; sonda M; 8.3.2006

Podmínky měření:

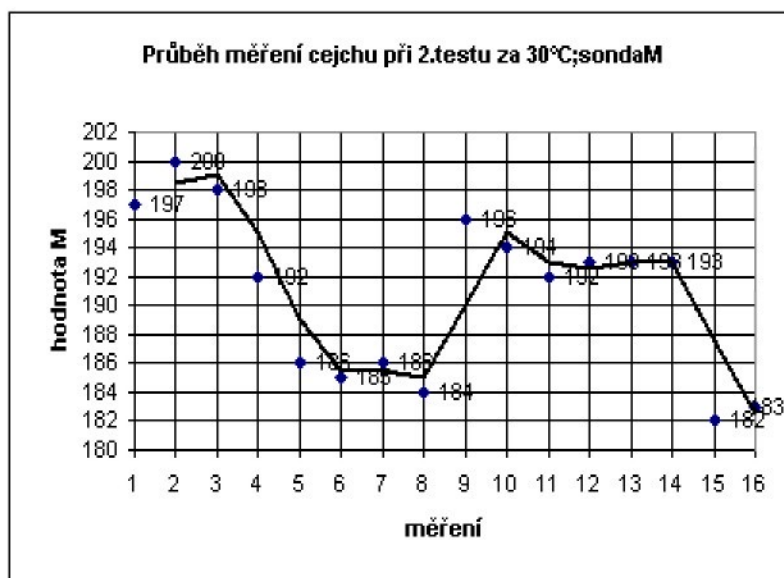
režim L, magnetizace M4; teplota prostředí 30°C, vzorky a cejch 40°C;
cejchování na $M_c = 200$ při tepl.prostředí 30°C a cejchu 40°C, $K=0,689$

Tab. 5.5.20 Hodnoty měření M5

LLG,F	vzorek	cejch	LLG,P	vzorek	cejch	LKG,F	vzorek	cejch	LKG,P	vzorek	cejch
S	55,8	197	S	135	186	S	45,5	196	S	162	193
	54,4	200		134	185		46,8	194		160	193
T	96,5	198	T	220	186	T	75,1	192	T	243	182
	102	192		217	184		74,4	193		246	183

Tab. 5.5.21 Průběh cejchování měření M5

	měření	hodnota M
LLG,F,S	1	197
	2	200
LLG,F,T	3	198
	4	192
LLG,P,S	5	186
	6	185
LLG,P,T	7	186
	8	184
LKG,F,S	9	196
	10	194
LKG,F,T	11	192
	12	193
LKG,P,S	13	193
	14	193
LKG,P,T	15	182
	16	183



Tab. 5.5.22 Statistika cejchování měření M5

Aritm.průměr: 190,875- pokles o 4,56% od Mc=200
Maximum: 200- nárůst o 4,78% od aritm.prm.naměřených hodnot(M=178,75)
Minimum: 182 - pokles o 9% od Mc=200 a o 4,65% od aritm.prm.naměřených hodnot(M=190,875)

5.6 Naměřené hodnoty – DOMENA B2

Měření S1 – cejchování za normálních teplot, měření za normálních a za nízkých teplot

DOMENA B2; 17.3.2006

a) měření za normálních teplot

Podmínky měření:

režim L, magnetizace M4; teplota **23°C** ;

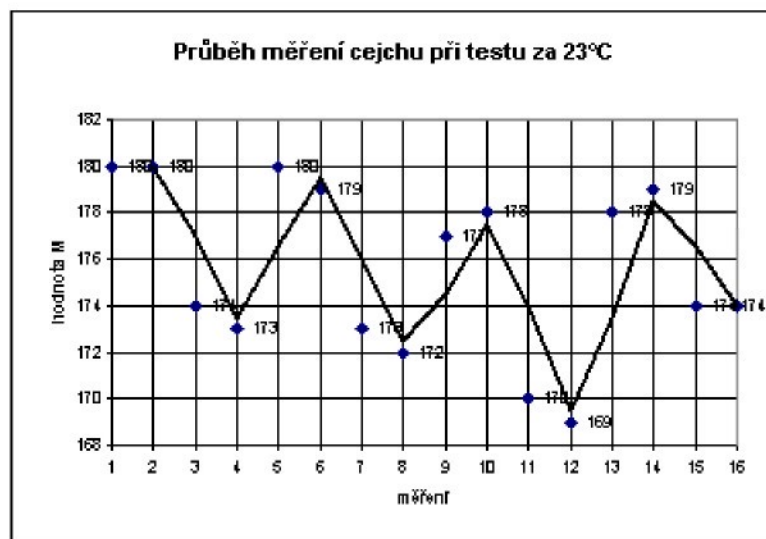
cejchování na $M_c=180$ při tepl. 23°C, $K=0,729$

Tab. 5.6.1 Hodnoty měření S1a

LLG,F	vzorek	cejch	LLG,P	vzorek	cejch	LKG,F	vzorek	cejch	LKG,P	vzorek	cejch
S	66,6	180	S	168	180	S	56,2	177	S	188	178
	65,8	180		165	179		55,5	178		187	179
T	108	174	T	257	173	T	85,6	170	T	279	174
	110	173		256	172		85,4	169		278	174

Tab 5.6.2 Průběh cejchování měření S1a

	měření	hodnota M
LLG,F,S	1	180
	2	180
LLG,F,T	3	174
	4	173
LLG,P,S	5	180
	6	179
LLG,P,T	7	173
	8	172
LKG,F,S	9	177
	10	178
LKG,F,T	11	170
	12	169
LKG,P,S	13	178
	14	179
LKG,P,T	15	174
	16	174



Tab. 5.6.3 Statistika cejchování měření S1a

Aritm.průměr: 175,625; pokles o 2,43% od $M_c=180$
Maximum: 180= M_c ; nárůst o 2,43% od aritm.prm.naměřených hodnot ($M=175,625$)
Minimum: 169 - pokles o 6,11% od $M_c=180$ a o 3,77% od aritm.prm.naměřených hodnot ($M=175,625$)

b) měření za nízkých teplot

Podmínky měření:

režim L, magnetizace M4; teplota -10°C ;

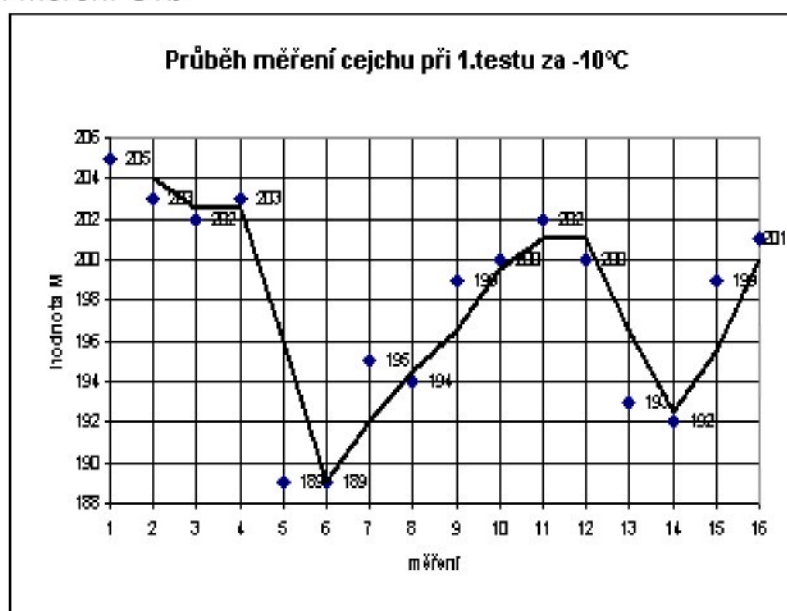
cejchování na $M_c=180$ při tepl. 23°C , $K=0,729$

Tab. 5.6.4 Hodnoty měření S1b

LLG,F	vzorek	cejch	LLG,P	vzorek	cejch	LKG,F	vzorek	cejch	LKG,P	vzorek	cejch
S	72,1	205	S	197	189	S	61,8	199	S	213	193
	69,7	203		199	189		63,4	200		210	192
T	120	202	T	286	195	T	97,5	202	T	323	199
	118	203		292	194		97,5	200		315	201

Tab.5.6.5 Průběh cejchování měření S1b

	měření	hodnota M
LLG,F,S	1	205
	2	203
LLG,F,T	3	202
	4	203
LLG,P,S	5	189
	6	189
LLG,P,T	7	195
	8	194
LKG,F,S	9	199
	10	200
LKG,F,T	11	202
	12	200
LKG,P,S	13	193
	14	192
LKG,P,T	15	199
	16	201



Tab. 5.6.5 Statistika měření S1b

Aritm.průměr: 197,875 - nárůst o 9,93% od $M_c=180$

Maximum: 205 - nárůst o 13,8% od $M_c=180$ a o 3,6% od aritm.prm.naměřených hodnot($M=197,875$)

Minimum: 189 - nárůst o 5% od $M_c=180$, pokles o 4,48% od aritm.prm.naměřených hodnot($M=197,875$)

Měření S2 – cejchování a měření za nízkých teplot

DOMENA B2; 17.3.2006

Podmínky měření:

režim L; magnetizace M4; teplota -10°C ;

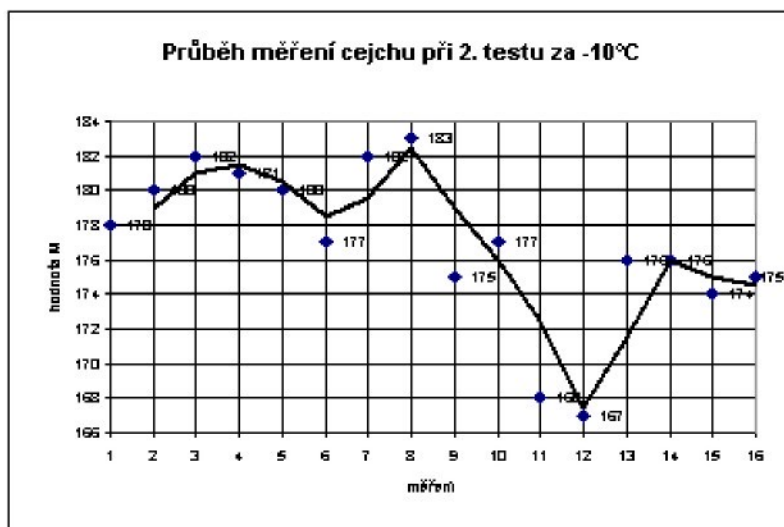
cejchování na $M_c=180$ při tepl. -10°C , $K=0,728$

Tab. 5.6.6 Hodnoty měření S2

LLG,F	vzorek	cejch	LLG,P	vzorek	cejch	LKG,F	vzorek	cejch	LKG,P	vzorek	cejch
S	67,7	178	S	174	180	S	57,5	175	S	192	176
	66,3	180		173	177		59	177		189	176
T	109	182	T	257	182	T	84,5	168	T	279	174
	107	181		253	183		85,2	167		276	175

Tab. 5.6.7 Průběh cejchování měření S2

	měření	hodnota M
LLG,F,S	1	178
	2	180
LLG,F,T	3	182
	4	181
LLG,P,S	5	180
	6	177
LLG,P,T	7	182
	8	183
LKG,F,S	9	175
	10	177
LKG,F,T	11	168
	12	167
LKG,P,S	13	176
	14	176
LKG,P,T	15	174
	16	175



Tab. 5.6.8 Statistika cejchování měření S2

Aritm.průměr: 176,9 - pokles o 1,7% od $M_c=180$
Maximum: 183 - nárůst o 1,6% od $M_c=180$ a o 3,44% od arit.prm.naměřených hodnot($M=176,9$)
Minimum: 167 - pokles o 7,22% od $M_c=180$ a o 5,59% od arit.prm.naměřených hodnot($M=176,9$)

Měření S3 – cejchování za normálních teplot, měření za vysokých teplot

DOMENA B2; 18.3.2006

Podmínky měření:

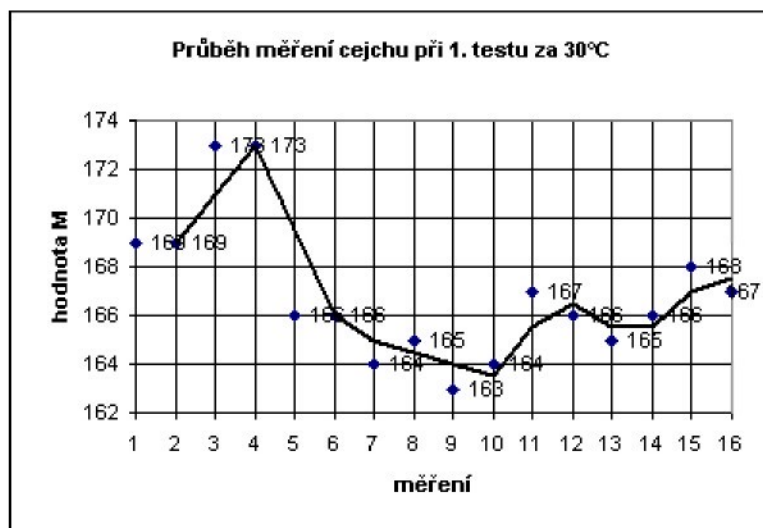
režim L; magnetizace M4; teplota prostředí 30°C, vzorek ů 40°C, cejchu 24°C;
cejchování na $M_c=180$ při tepl. 24°C, $K=0,782$

Tab. 5.6.9 Hodnoty měření S3

LLG,F	vzorek	cejch	LLG,P	vzorek	cejch	LKG,F	vzorek	cejch	LKG,P	vzorek	cejch
S	66,5	169	S	157	166	S	61	163	S	182	165
	63,3	169		156	166		56,3	164		178	166
T	105	173	T	255	164	T	87,6	167	T	281	168
	102	173		246	165		84,5	166		270	167

Tab. 5.6.10 Průběh cejchování měření S3

	měření	hodnota M
LLG,F,S	1	169
	2	169
LLG,F,T	3	173
	4	173
LLG,P,S	5	166
	6	166
LLG,P,T	7	164
	8	165
LKG,F,S	9	163
	10	164
LKG,F,T	11	167
	12	166
LKG,P,S	13	165
	14	166
LKG,P,T	15	168
	16	167



Tab. 5.6.11 Statistika cejchování měření S3

Aritm.průměr: 166,9 - pokles o 7,27% od $M_c=180$
Maximum: 173 - pokles o 3,88% od $M_c=180$; nárůst o 3,65% od aritm.prm.naměřených hodnot ($M=166,9$)
Minimum: 163 - pokles o 9,44% od $M_c=180$ a o 2,33% od aritm.prm.naměřených hodnot

Měření S4 – cejchování a měření za vysokých teplot

DOMENA B2; 18.3.2006

Podmínky měření:

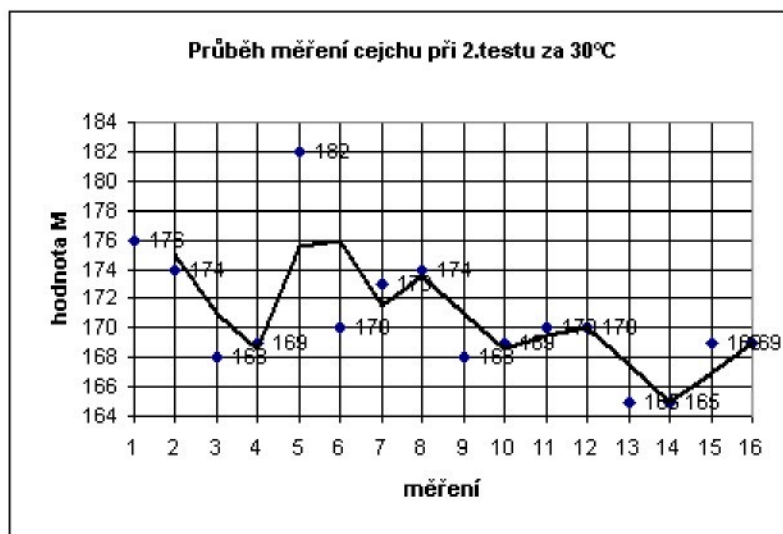
režim L, magnetizace M4; teplota prostředí 30°C, vzorky a cejch 40°C;
cejchování na $M_c = 180$ při tepl. prostředí 30°C a cejchu 40°C, $K=0,785$

Tab. 5.6.12 Hodnoty měření S4

LLG,F	vzorek	cejch	LLG,P	vzorek	cejch	LKG,F	vzorek	cejch	LKG,P	vzorek	cejch
S	68,8	176	S	159	182	S	57,9	168	S	187	165
	67,3	174		155	170		57,1	169		181	165
T	101	168	T	249	173	T	83,7	170	T	270	169
	99,3	169		242	174		82,9	170		266	169

Tab. 5.6.13 Průběh cejchování měření S4

	měření	hodnota M
LLG,F,S	1	176
	2	174
LLG,F,T	3	168
	4	169
LLG,P,S	5	182
	6	170
LLG,P,T	7	173
	8	174
LKG,F,S	9	168
	10	169
LKG,F,T	11	170
	12	170
LKG,P,S	13	165
	14	165
LKG,P,T	15	169
	16	169



Tab. 5.6.14 Statistika cejchování měření S4

Aritm.průměr: 170,7 - pokles o 5,17% od $M_c=180$
Maximum: 182 - nárůst o 1,1% od $M_c=180$ a o 6,62% od aritm.prm.naměřených hodnot($M=170,7$)
Minimum: 165 - pokles o 8,33% od $M_c=180$ a o 3,34% od aritm.prm.naměřených hodnot($M=170,7$)

6. Diskuse výsledků

6.1 Hodnocení měření sondou A, DOMENA B3

Sonda A je při měření prokazatelně nestabilní. Již při kalibraci a při měření za normálních teplot (viz měření A1a, A2a) vykazuje neustálé výkyvy naměřených hodnot.

Navíc během měření často zadrhává tlačítko na sondě a přístroj vždy přestává na čas měřit – narušuje se tak kontinuita jednotlivých souborů měření.

Při měření za nízkých teplot jsou naměřené hodnoty M výrazně vyšší (až o 35 %), než při měření za normálních teplot. Nezáleží přitom, zda je teplota hluboko nebo jen mírně pod bodem mrazu (viz měření A1c, A2b, A3).

Růst hodnot M s klesající teplotou je dobře patrný na průběhu temperování (viz. měření A1b).

Malý, ale nezanedbatelný vliv na hodnoty naměřené za nízkých teplot má i postupné ohřátí sondy od rukou během měření (teplota sondy, původně temperované na teplotu okolí, tj. pod bodem mrazu, byla ke konci měření i více než 20°C).

Podobný vliv jako extrémně nízké teploty mají i teploty extrémně vysoké. (Vzrůst hodnot je až o 15%). Důležitou roli přitom nehraje ani tak samotná teplota prostředí, jako teplota měřených vzorků, resp. teplota sondy, která se od nich v průběhu měření ohřívá (viz. měření A4, A5).

Kolísání hodnot vlivem střídavého ohřátí a ochlazení sondy je dobře patrné z výsledků měření A4.

Z výsledků měření A3, A5 vyplývá, že nežádoucí vlivy teplot lze omezit, pokud je cejchování prováděno až po temperování přístroje a především sondy a cejchovního kamene při teplotě následného měření. Zvýšení hodnot je u nízkých teplot max. o 10% a u vysokých teplot o 9%. (Rozdíly se také liší podle jednotlivých struktur.)

Pozn.: Grafy, složené z hodnot všech měření a znázorňující teplotní a strukturní citlivost sondy A jsou obsaženy v přílohách 2 a 3.

6.2 Hodnocení měření sondou M,DOMENA B3

Sonda M je při měření poměrně spolehlivá, i když vykazuje občasné výkyvy naměřených hodnot.

Ovlivnění teplotou je obdobné, i když ne tak výrazné, jako je tomu u sondy A.

Při měření za nízkých teplot je to nárůst hodnot M až o 16% (viz. měření M1c, M2b), při cejchování až po temperování na příslušnou teplotu měření max. o 8% (viz. měření M2c).

Při měření za vysokých teplot, resp. když je sonda ohřátá, jsou hodnoty srovnatelné s hodnotami naměřenými za normálních teplot, případně jen mírně kolísají jak do vyšších, tak do nižších hodnot (viz. měření M1a, M2a, M4, M5).

Pozn.: Grafy, složené z hodnot všech měření a znázorňující teplotní a strukturní citlivost sondy M jsou obsaženy v přílohách 4 a 5;

Srovnání sond A a M v přílohách 8, 9 a 10.

6.3 Hodnocení měření přístrojem DOMENA B2

Při kontinuálním měření přístrojem DOMENA B2 postupně mírně klesají naměřené hodnoty M. Patrné je to především z kontrolních měření cejchovního kamene (viz. měření S1a). Pravděpodobně je to způsobeno ohříváním sondy během měření.

Tomu napovídají i kolísavé výsledky kontrolních měření za nízkých teplot, kdy se sonda může střídavě zahřívat od ruky při manipulaci a ochlazovat přikládáním ke vzorkům, které mají teplotu hluboko pod bodem mrazu (viz. měření S1b, S2).

Stejně jako u sond DOMENY B3 jsou hodnoty M, naměřené za nízkých teplot, zvýšené cca o 10%. Při měření s cejchováním až po temperování na teplotu měření jsou rozdíly minimální (viz. měření S2).

Při měření za vysokých teplot jsou hodnoty M nižší cca o 7%, patrně díky ohřátí sondy. Kalibrace po temperování cejchovního kamene zde nemá vliv.

Pozn.: Grafy, složené z hodnot všech měření a znázorňující teplotní a strukturní citlivost sondy jsou obsaženy v přílohách 6 a 7.

6.4 Závěr,doporučení

Měření v extrémních teplotách, které se ovšem v technické praxi mohou běžně vyskytovat, v některých případech značně ovlivňuje výsledky měření.

Vlivy se mění podle jednotlivých měřících zařízení, všeobecné trendy lze předpokládat jen zhruba (jako např. zvýšení naměř. hodnot při nízkých teplotách). Bylo by třeba pro každý přístroj zvlášť souborem několika zkušebních měření stanovit přesnější hodnoty.

Obecně lze pro zpřesnění měření přístroji DOMENA v nestandardních podmínkách doporučit pouze cejchování přístrojů až po důkladném temperování na teplotu následného měření.

Také lze téměř s jistotou říci, že teploty nemají vliv na přístroje samotné, ale především na sondy.

Firma Elkoso sice neposkytuje ke svým přístrojům citlivé informace jako elektronická schémata a podrobné principy, takže přesnou fyzikální příčinu zjištěných teplotních vlivů lze těžko určit, ale zřejmě je to dáno polovodičovou konstrukcí Hallova snímače v sondě (viz polovodiče mění v urč. teplotních rozmezích svůj el. odpor – např. při nízkých teplotách je odpor menší – mohou protékat vyšší proudy, magnetizace je intenzivnější a jsou tedy naměřeny i vyšší hodnoty).

7. Použitá literatura

- [1] Pluhař, J., Koritta, J. a kol.: Strojírenské materiály; SNTL; Praha 1977; str. 229-240
- [2] Hluchý, M., Beneš, J.: Strojírenská technologie; SNTL; Praha 1990; str. 34-38
- [3] www.testima.cz; www.papco.cz; www.ndt.cz; www.spectris.cz ; ze dne 14.2.2006
- [4] Aplikační příručka pro strukturoskop DOMENA B4; Elkoso spol. s r.o., Brno 2004; str. 1-4
- [5] Skrbek, B.: Bezdemontážní magnetická diagnostika strukturní matrice litinových součástí. In: TechMat 04 "Perspektivní technologie a materiály pro technické aplikace"; Pardubice : Univerzita Pardubice, 2004. str. 11-14; ISBN 80-7194-707-5
- [6] Skrbek, B. , Nosek, V. Lokální magnetická strukturoskopie - vliv kvality povrchu na výsledky; Vědecká pojednání XI/2005. Liberec : Technická univerzita v Liberci , 2005; str. 350-356; ISBN 80-7083-966-X
- [7] Technický popis a návod k obsluze DOMENA B3.b; Elkoso, spol. s r.o.; Brno 2003; str. 2
- [8] Skrbek, B.: Nedestruktivní materiálová diagnostika litinových odlitků; disertační práce; Liberec 1988; str. 73
- [9] Věchet, M., Kesl, J., Špika, L., Eder, V.: Defektoskopie v otázkách a odpovědích; SNTL; Praha 1989; str. 83-85

8. Seznam příloh

- Příloha 1 – Technický popis, DOMENA B3
- Příloha 2 – sonda A, DOMENA B3, teplotní citlivost
- Příloha 3 – sonda A, DOMENA B3, strukturní citlivost
- Příloha 4 - sonda M, DOMENA B3, teplotní citlivost
- Příloha 5 – sonda M, DOMENA B3, strukturní citlivost
- Příloha 6 – DOMENA B2, teplotní citlivost
- Příloha 7 – DOMENA B2, strukturní citlivost
- Příloha 8 – srovnání sond A a M, teplotní citlivost
- Příloha 9 – srovnání sond A a M, strukturní citlivost
- Příloha 10 – srovnání sond A a M, průběh cejchování

Příloha 1

ELKOSO, spol. s r.o.
614 00 Brno, Obřanská 60, CZ

Tel.: +420 545215854
Fax: +420 545215874
E-mail: elkoso@cbox.cz

Přenosný bateriový strukturoskop

typ

DOMENA - B3.B

Technický popis a návod k obsluze

Není určeno k publikování.

BRNO 2003

Návod k obsluze přístroje DOMENA-B3

Přístroj má pro ovládání k dispozici

- přepínač velikosti MAGNETIZACE v 8 stupních
- přepínač FUNKCE s funkcemi A,B,T,TT,L,LL
- klávesnici s dvanácti tlačítky
- čtyřmístný sedmsegmentový zobrazovač LED, výšky 14mm
- indikační světla PAM,DATA,x,s
- přepínač akumulátorového zdroje VYP,NAB,ZAP
se dvěma indikačními světly a jedním dvojitým světlem
- tlačítko START na sondě

pro další připojení

- konektor SND pro kombinovanou sondu
- konektor PC pro připojení počítače
- konektor 230V/60Hz pro připojení vnitřní nabíječky

pro jištění

- čtyři pojistky.

Uvedení do chodu.

Připojíme kombinovanou sondu do konektoru SND. Přepínač akumulátorového zdroje přepneme z polohy VYP do polohy ZAP, rozsvítí se zobrazovač. Nerozsvítí-li se dvojitě indikační světlo NAB, jsou akumulátory v pořádku. Nyní se přesvědčíme o nastavených konstantách po zapnutí přístroje. V poloze přepínače funkce

A	bude na zobrazovači hodnota	1.00
B	bude na zobrazovači hodnota	000
T	bude na zobrazovači hodnota	1.00
TT	bude na zobrazovači hodnota	1.00
L	bude na zobrazovači hodnota	000
LL	bude na zobrazovači hodnota	000

Přepínačem MAGNETIZACE nastavíme vhodný stupeň magnetizace vzorku. Požadujeme-li přenos do počítače, propojíme přístroj s počítačem kabelem, který zastrčíme do konektoru PC na přístroji a druhý konec zastrčíme do příslušného konektoru v počítači. Počítač musí obsahovat program pro zpracování přenášených dat. (Poznámka - program nutno objednat u dodavatele tohoto přístroje).

Nastavení konstanty A.

Přepínač FUNKCE dáme do polohy A a na zobrazovači se zobrazí vždy nastavená konstanta A v rozsahu +/- 0,01 až 999, ale po zapnutí to bude 1,00. Pomocí klávesnice je možno konstantu změnit takto. Stiskneme postupně klávesy jednotlivých číslic.

Na displeji se číslice mění postupně zprava doleva. Postupným stiskem klávesy *, nastavíme správnou polohu desetinné tečky. Opětovným stiskem klávesy nastavíme kladné, nebo záporné číslo. Volbu konstanty potvrdíme stiskem klávesy <- a nyní přepínač FUNKCE je obsluze k dispozici. Takto můžeme konstantu kdykoli změnit. Po přepnutí přepínače akumulátorového zdroje do polohy NAB, nebo VYP se nastavení konstanty zruší.

Nastavení konstanty B.

Přepínač FUNKCE dáme do polohy B a na zobrazovači se zobrazí vždy nastavená konstanta B v rozsahu +/- 10,0 až 999, ale po zapnutí to bude 000. Pomocí klávesnice je možno konstantu změnit takto. Stiskneme postupně číslicové klávesy, číslice se mění postupně zprava doleva. Postupným stiskem klávesy *, nastavíme správnou polohu desetinné tečky. Opětovným stiskem klávesy # nastavíme kladné, nebo záporné číslo. Volbu konstanty potvrdíme stiskem klávesy D a nyní přepínač FUNKCE je obsluze k dispozici. Takto můžeme konstantu kdykoli změnit. Po přepnutí přepínače akumulátorového zdroje do polohy NAB, nebo VYP se nastavení konstanty zruší. Pokud při potvrzení konstanty se objeví chybové hlášení (viz seznam chybových hlášení) je konstanta nesprávně nastavena.

Korekce měřené hodnoty.

Protože po čase se může citlivost sondy změnit a výsledky měření by neodpovídaly kalibraci přístroje, je možné pomocí funkce TEST, nebo TEST LOW (pětinásobná magnetizace) provést korekci takto. Přepínač FUNKCE přepneme do polohy T, nebo TT (TEST LOW). Na zobrazovači se zobrazí vnitřní konstanta "a", která je po zapnutí přístroje nastavena na 1,00. Korekci provedeme měřením na etalonu o známé hodnotě M pro danou fyzikální hodnotu. Tedy po přepnutí přepínače FUNKCE do polohy T, nebo TT a nastavíme pomocí klávesnice známou hodnotu M již popsáním způsobem a nastavení potvrdíme klávesou D. Na zobrazovači se objeví znak C a nula úplně vpravo. Nyní přiložíme sondu na etalon a stiskneme tlačítko START na sondě. Začne se provádět měření a úplně vpravo na zobrazovači se ukazuje počet magnetizačních kroků a na konec se zobrazí nová hodnota vnitřní konstanty "a" stanovená podle vztahu

$$a = M / m$$

kde "m" je hodnota magnetizace pro a = 1,00. Po přepnutí přepínače akumulátorového zdroje do polohy NAB, nebo VYP se nastavení konstanty zruší. Nesouhlasíme-li s nastavenou konstantou, stlačíme klávesu D a nastavíme znovu známou hodnotu M a měření opakujeme. Pokud nám stanovení vnitřní konstanty vyhovuje, stačí přepnout přepínač FUNKCE do jiné polohy a vnitřní konstanta "a" je uchována v paměti. Přístroj rozlišuje dvě vnitřní konstanty pro funkci TEST a TEST LOW. (Poznámka - je-li zobrazena hodnota "a" bez desetinné tečky, míní se tím hodnota 0,xxx - tedy tisíckrát menší.)

Měření.

Po nastavení konstant A,B a případně "a" můžeme začít měřit. Lze zvolit dva režimy LINEAR a LINEAR LOW, kdy vzorek je magnetizován pětikrát (pomalu). Změřená hodnota zbytkového magnetizmu "m" je násobena příslušnou vnitřní konstantou "a", tak že platí vztah

$$M = m * a$$

Po zapnutí přístroje je vnitřní konstanta nastavena na hodnotu 1,00 a tedy platí

$$M = m$$

Po přepnutí přepínače FUNKCE do polohy L, nebo LL se na zobrazovači objeví hodnota posledního měření, nebo po zapnutí přístroje hodnota 000. Nyní přiložíme sondu k měřenému vzorku a stiskneme tlačítko START na sondě. Na zobrazovači se objeví znak C a úplně vpravo počet magnetizačních kroků a nakonec se zobrazí údaj

$$Y = A * M + B$$

který odpovídá hodnotě v daných jednotkách, podle kalibrační přímky s odpovídajícími konstantami A a B.

Volba konstant A a B je dána kalibrací přístroje pomocí souboru vzorků známých hodnot. Takto je možno přístroj okalibrovat tak, aby měřil tvrdost, pevnost, nebo hloubku prokalení v příslušných jednotkách. To pak zjednodušuje interpretaci změřených výsledků.

Funkce tlačítek.

A

stiskem tohoto tlačítka rozsvítí se světlo PAM a od tohoto okamžiku jsou měřené hodnoty Y ukládány do paměti. Opětovné stlačení tohoto tlačítka ukládání zrušíme a světlo PAM zhasne. Paměť umožňuje zapsat maximálně 100 hodnot. Přeplnění paměti je oznámeno chybovým hlášením, které nedopustí zničení již naměřených hodnot.

B

stiskem tohoto tlačítka přenáší se obsah paměti do připojeného počítače a bliká světlo DATA.

C

stiskem tohoto tlačítka zobrazí se na tři vteřiny průměr z nenulového obsahu paměti, svítí světlo x a na další tři vteřiny velikost směrodatné odchylky z téhož souboru dat a svítí světlo s. Potom se na zobrazovači objeví původní hodnota před stiskem tohoto tlačítka.

Nabíjení akumulátorů.

Při každém použití přístroje kontrolujeme stav akumulátorů tím, že sledujeme rudou dvojitou kontrolku NAB pro oba akumulátory. Jakmile se kontrolka trvale rozsvítí, znamená to že příslušný akumulátor je již vybitý a nutno akumulátory nabít. Pokud při měření problikává, ukazuje to na částečné vybití příslušného akumulátoru, ale přístroj je stále funkční.

POZOR při přepnutí přepínače do polohy VYP, nebo NAB z polohy ZAP odpojíme přístroj od zdroje a paměť se vymaže.

Nabíjení provedeme tak, že přepínač dáme do polohy VYP, do konektoru 220V vzadu zasuneme kabel a druhý konec zapojíme do sítě. Přepínač přepneme do polohy NAB. V tomto okamžiku rozsvítí se rudá světla AKU1, AKU2 signalizující nabíjení akumulátorů. Jakmile se rudé světlo změní v zelené je nabíjení příslušného akumulátoru ukončeno a akumulátor je dobíjen jen udržovacím proudem. Nabíjení ukončíme odpojením od sítě.

Při nabíjení přepínač ponecháme v poloze NAB. Pokud tak neučiníme rozsvítí se obě zelená světla a nabíjení se přeruší. Chceme-li pokračovat v nabíjení, musíme přerušit síťové napájení a postupovat znovu.

Dvojitě kontrolní světlo NAB kontroluje stav akumulátorů v poloze přepínače ZAP. V tomto provedení přístroje lze akumulátory vyjmout a nahradit čerstvě nabitými a tak prodloužit funkci přístroje.

Energii šetříte, když zvolený stupeň magnetizace je malý.

Poznámka.

Chybové hlášení E xx , zrušíte stlačením klávesy D a na zobrazovači se objeví poslední platný výsledek.

Po přepnutí přepínače akumulátorového zdroje do polohy NAB, nebo VYP se obsah paměti zruší.

Velikost pojistek.

Pojistka vzadu	0,4 A
Pojistka u AKU1	5,0 A
Pojistka u AKU2	5,0 A
Pojistka u NAB	1,0 A

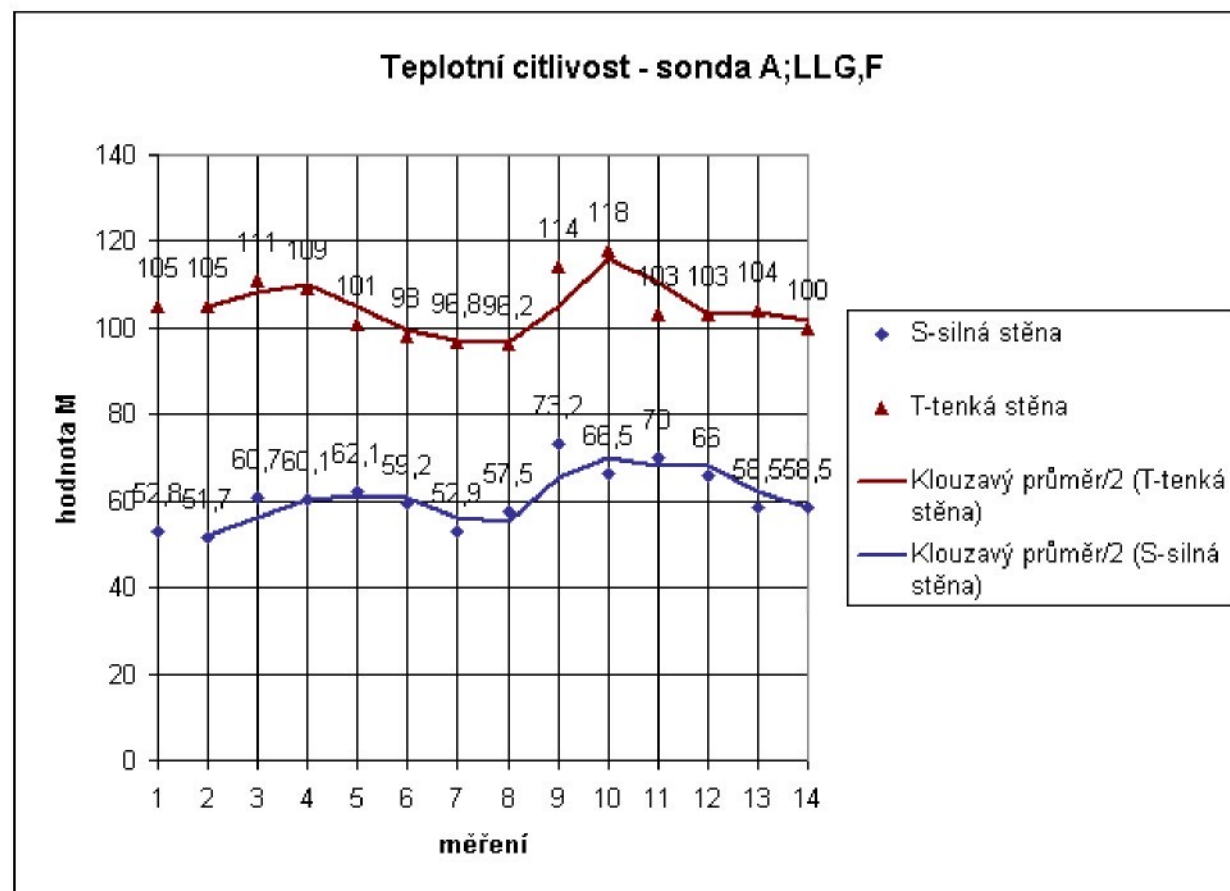
Přehled chybových hlášení:

- Err 11 při kalibraci malá změřená hodnota standardu,
musí být vyšší než 100
- Err 12 přetečení při výpočtu korekční konstanty C nebo D,
v praxi nemůže nastat
- Err 13 přetečení při výpočtu Z,
Z je větší než 6500
- Err 14 přetečení při výpočtu $A \cdot Z$,
součin $A \cdot Z$ je větší než 6500
- Err 15 překročení hodnoty součinu $A \cdot Z$,
součin $A \cdot Z$ je větší než 2000
- Err 16 překročení minimální hodnoty Y,
výsledek Y je menší než 0
- Err 17 překročení maximální hodnoty Y,
výsledek Y je větší než 1000
- Err 18 chybné zadání konstanty B,
B má více desetinných míst
- Err 19 chybné zadání standardu To,
To má více des. míst nebo je menší než 0
- Err 30 při výpočtu průměru dělení nulou,
prázdná paměť, $n=0$
- Err 31 při výpočtu sm.odchylky dělení nulou,
málo prvků, $n=1$
- Err 32 při výpočtu odmocniny příliš malé číslo,
- Err 33 při výpočtu odmocniny příliš velké číslo,
- Err 34 při výpočtu průměru v paměti více než 255 hodnot,
v praxi nenastane
- Err 35 při výpočtu sm.odchylky v paměti více než 255 hodnot,
v praxi nenastane
- Err 36 buffer pro naměřené hodnoty je plný,
uloženo více než 100 hodnot

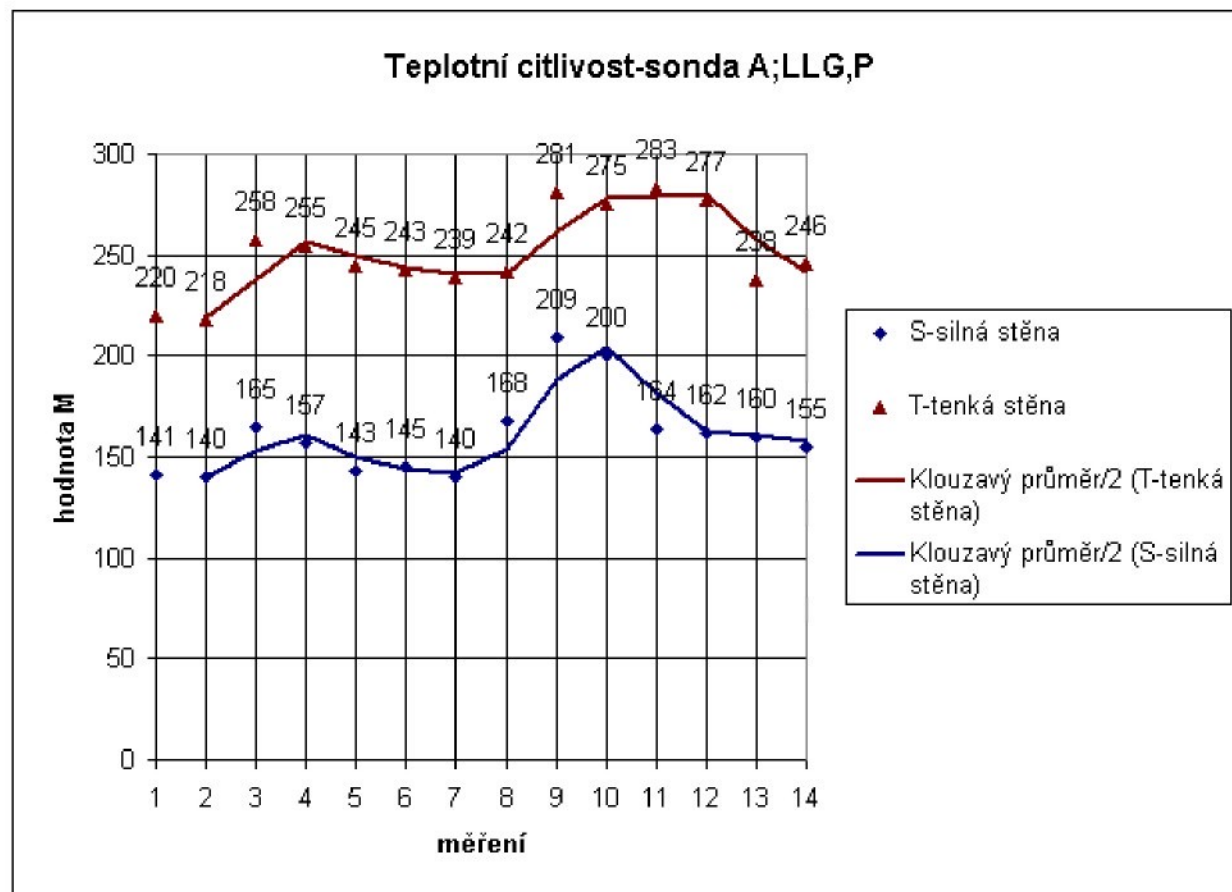
Hodnoty C,D,Z, jsou mezivýsledky výpočtu.

Příloha 2 – sonda A,DOMENA B3,teplotní citlivost

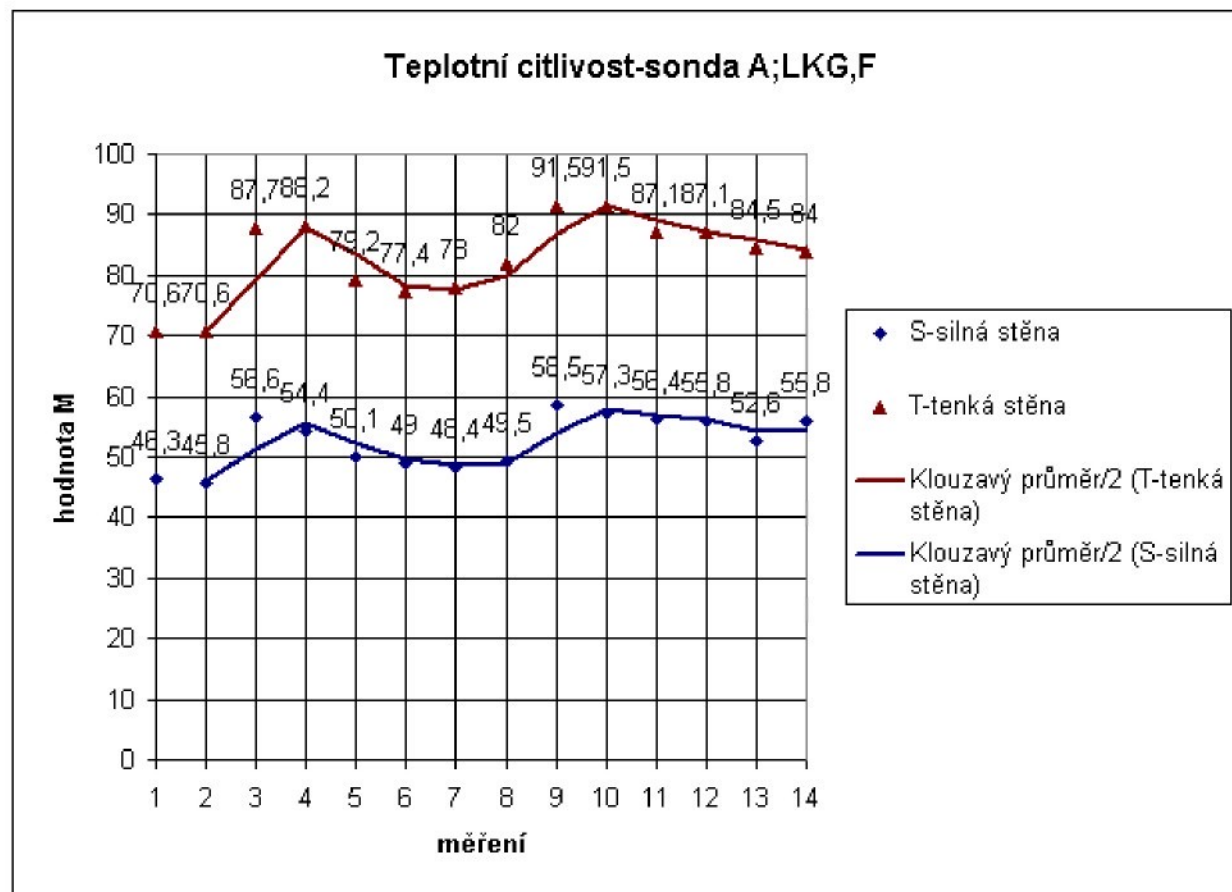
Měření LLG,F		S	T
	měření	hodnota M	hodnota M
30°C/ I.	1	52,8	105
	2	51,7	105
30°C/ II.	3	60,7	111
	4	60,1	109
22,8°C	5	62,1	101
	6	59,2	98
21,1°C	7	52,9	96,8
	8	57,5	96,2
-3,3°C	9	73,2	114
	10	66,5	118
-10°C/ I.	11	70	103
	12	66	103
-10°C/ II.	13	58,5	104
	14	58,5	100



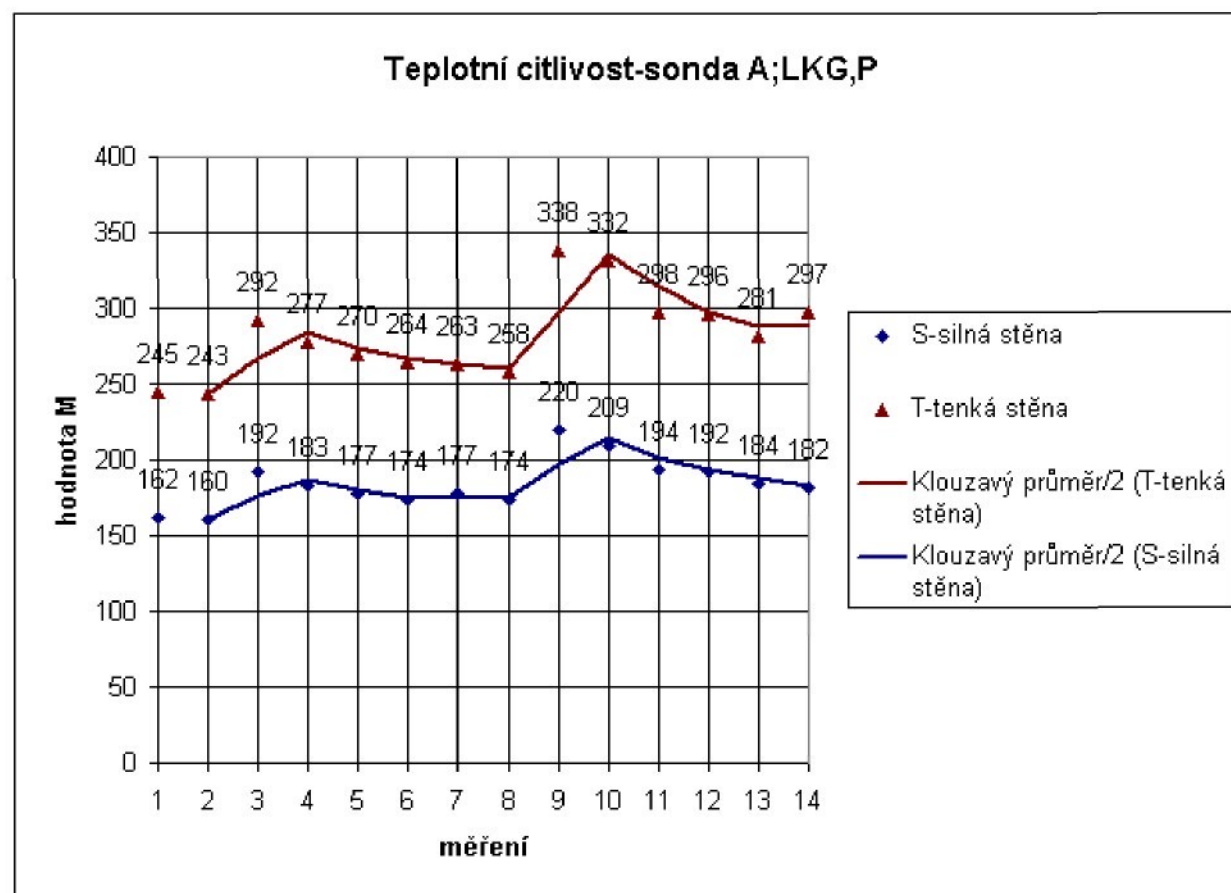
Měření LLG,P		S	T
měření		hodnota M	hodnota M
30°C/ I.	1	141	220
	2	140	218
30°C/ II.	3	165	258
	4	157	255
22,8°C	5	143	245
	6	145	243
21,1°C	7	140	239
	8	168	242
-3,3°C	9	209	281
	10	200	275
-10°C/ I.	11	164	283
	12	162	277
-10°C/ II.	13	160	238
	14	155	246



Měření LKG,F		S	T
měření		hodnota M	hodnota M
30°C/ I.	1	46,3	70,6
	2	45,8	70,6
30°C/ II.	3	56,6	87,7
	4	54,4	88,2
22,8°C	5	50,1	79,2
	6	49	77,4
21,1°C	7	48,4	78
	8	49,5	82
-3,3°C	9	58,5	91,5
	10	57,3	91,5
-10°C/ I.	11	56,4	87,1
	12	55,8	87,1
-10°C/ II.	13	52,6	84,5
	14	55,8	84



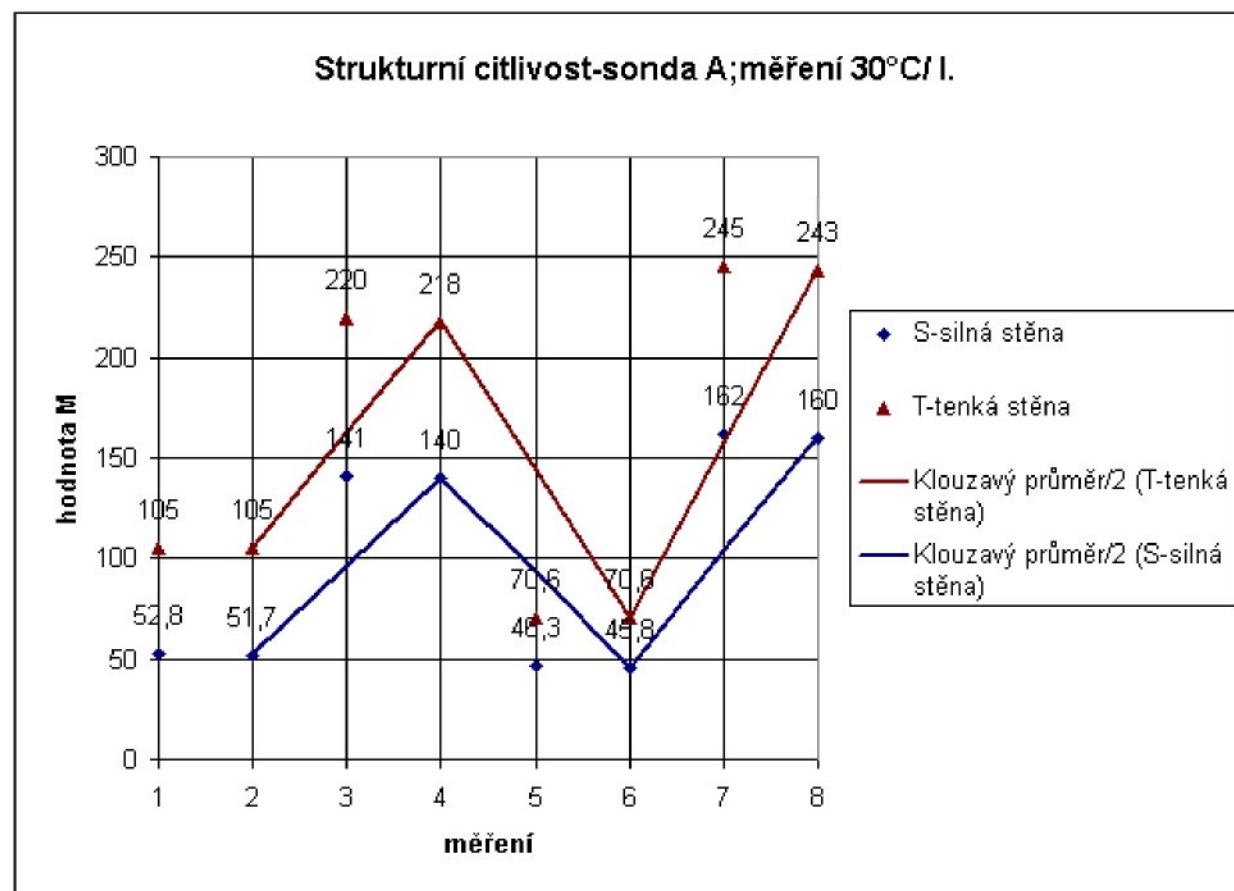
Měření LKG,P		S	T
měření		hodnota M	hodnota M
30°C/ I.	1	162	245
	2	160	243
30°C/ II.	3	192	292
	4	183	277
22,8°C	5	177	270
	6	174	264
21,1°C	7	177	263
	8	174	258
-3,3°C	9	220	338
	10	209	332
-10°C/ I.	11	194	298
	12	192	296
-10°C/ II.	13	184	281
	14	182	297



Příloha 3 – sonda A,DOMENA B3,strukturní citlivost

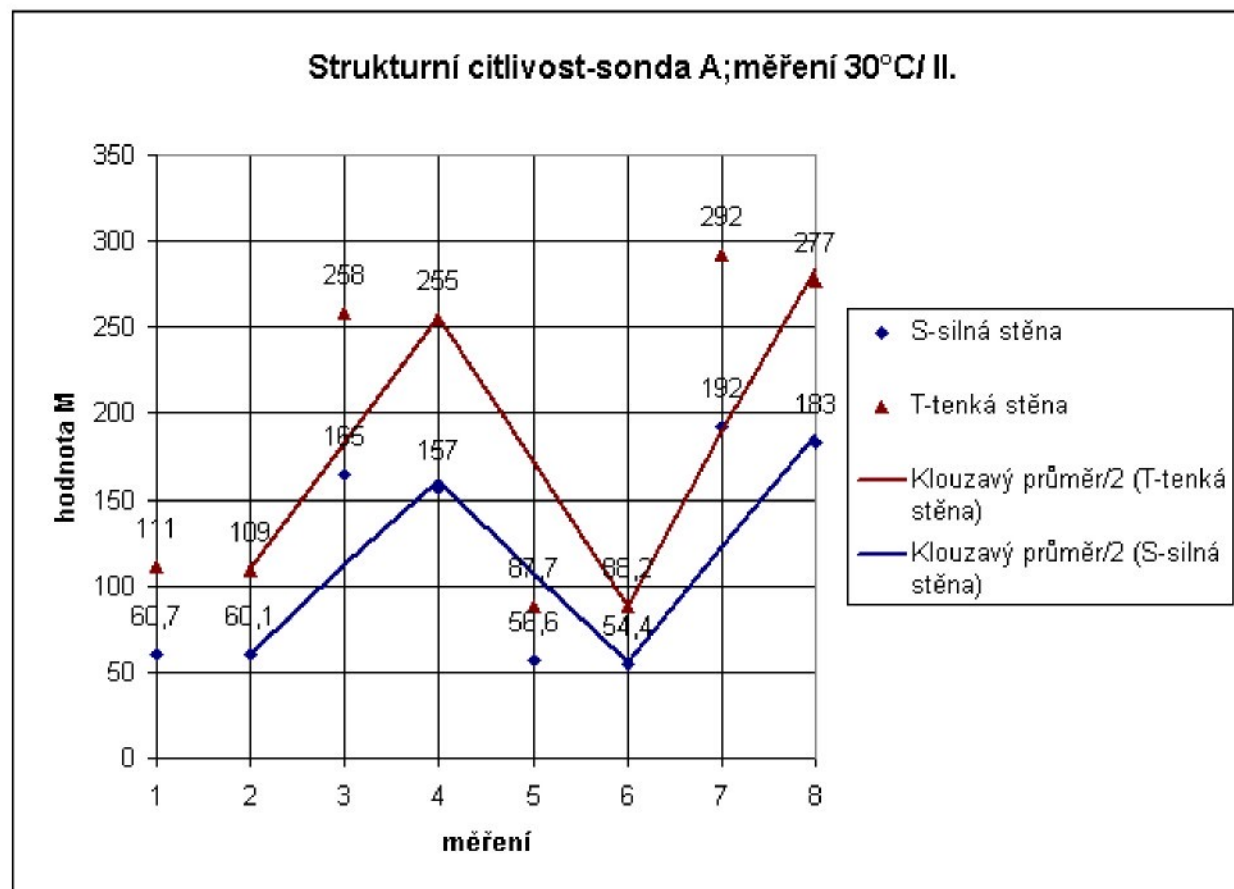
Měření 30°C/ I. měření		S hodnota M	T hodnota M
LLG,F	1	52,8	105
	2	51,7	105
LLG,P	3	141	220
	4	140	218
LKG,F	5	46,3	70,6
	6	45,8	70,6
LKG,P	7	162	245
	8	160	243

	T/S	nárůst M
LLG,F	105/51,7	103,00%
LLG,P	218/140	55,70%
LKG,F	70,6/45,8	54,14%
LKG,P	243/160	51,88%
LLG,P/F nárůst M		
S	140/51,7	170,00%
T	218/105	108%
LKG,P/F nárůst M		
S	160/45,8	249%
T	243/70,6	244%



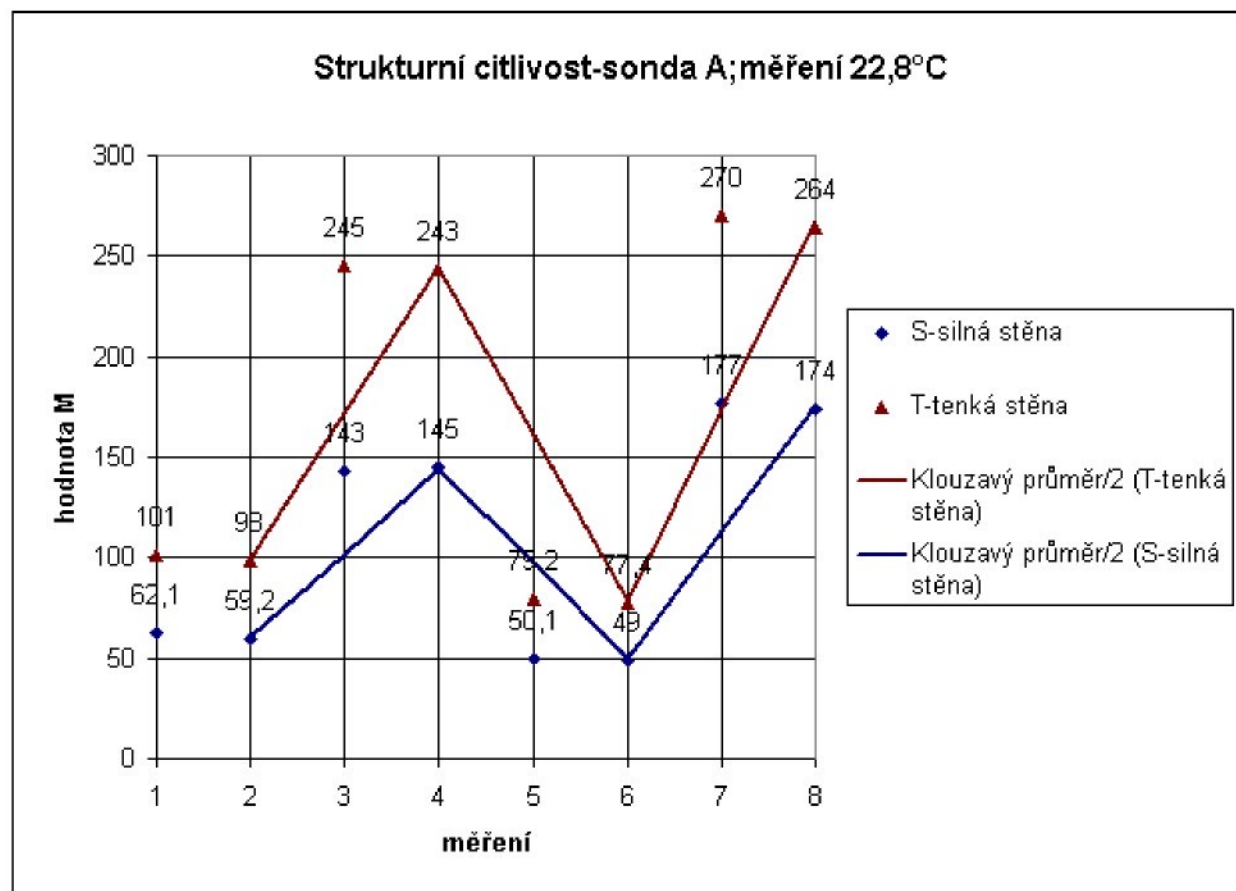
Měření 30°C/ II.		S	T
měření		hodnota M	hodnota M
LLG,F	1	60,7	111
	2	60,1	109
LLG,P	3	165	258
	4	157	255
LKG,F	5	56,6	87,7
	6	54,4	88,2
LKG,P	7	192	292
	8	183	277

	T/S	nárůst M
LLG,F	109/60,1	81,36%
LLG,P	255/157	62,40%
LKG,F	88,2/54,4	62,13%
LKG,P	277/183	51,36%
LLG,P/F nárůst M		
S	157/60,1	161,00%
T	255/109	134%
LKG,P/F nárůst M		
S	183/54,4	236%
T	277/88,2	214%



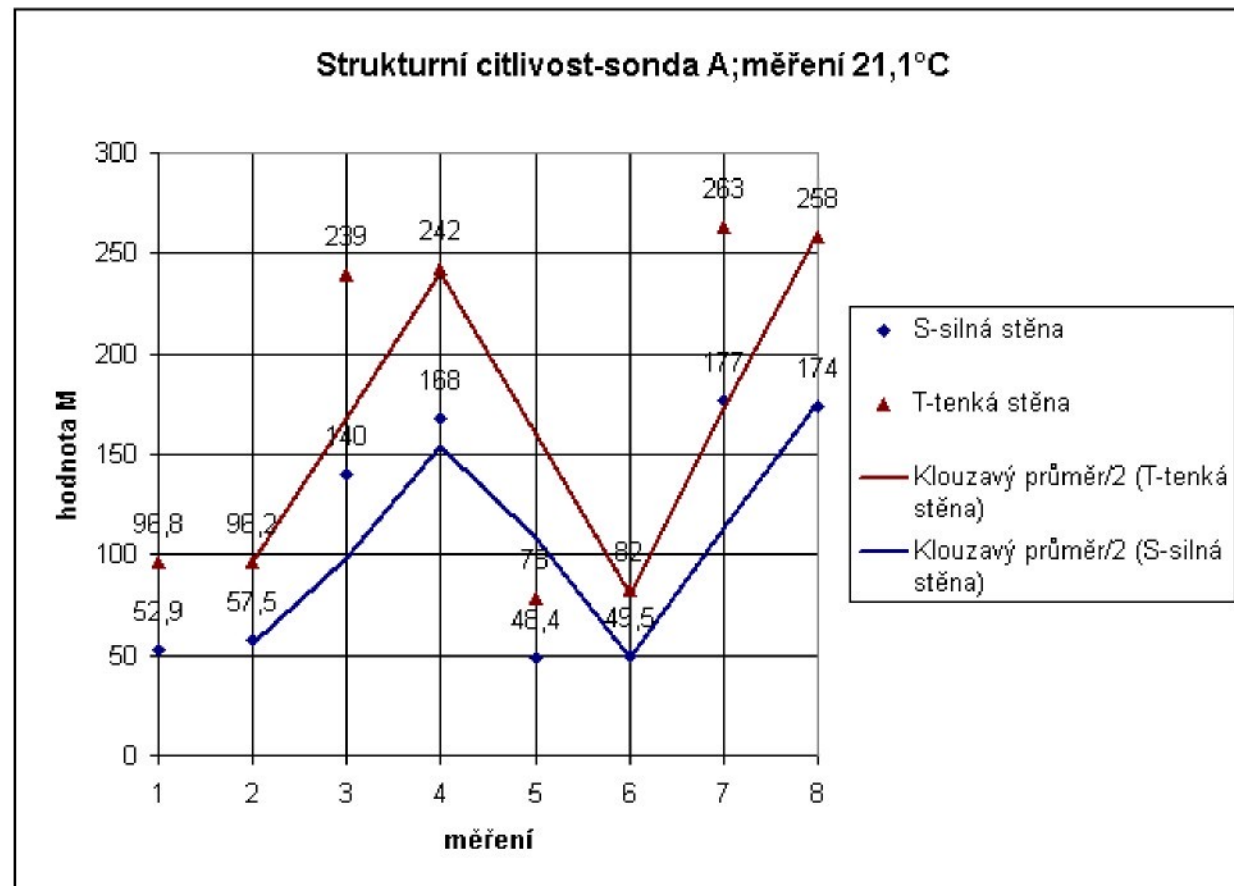
Měření 22,8°C		S	T
měření		hodnota M	hodnota M
LLG,F	1	62,1	101
	2	59,2	98
LLG,P	3	143	245
	4	145	243
LKG,F	5	50,1	79,2
	6	49	77,4
LKG,P	7	177	270
	8	174	264

	T/S	nárůst M
LLG,F	98/59,2	65,54%
LLG,P	243/145	67,58%
LKG,F	77,4/49	58,00%
LKG,P	264/174	51,70%
LLG,P/F nárůst M		
S	145/59,2	145,00%
T	243/98	148%
LKG,P/F nárůst M		
S	174/49	255%
T	264/77,4	241%



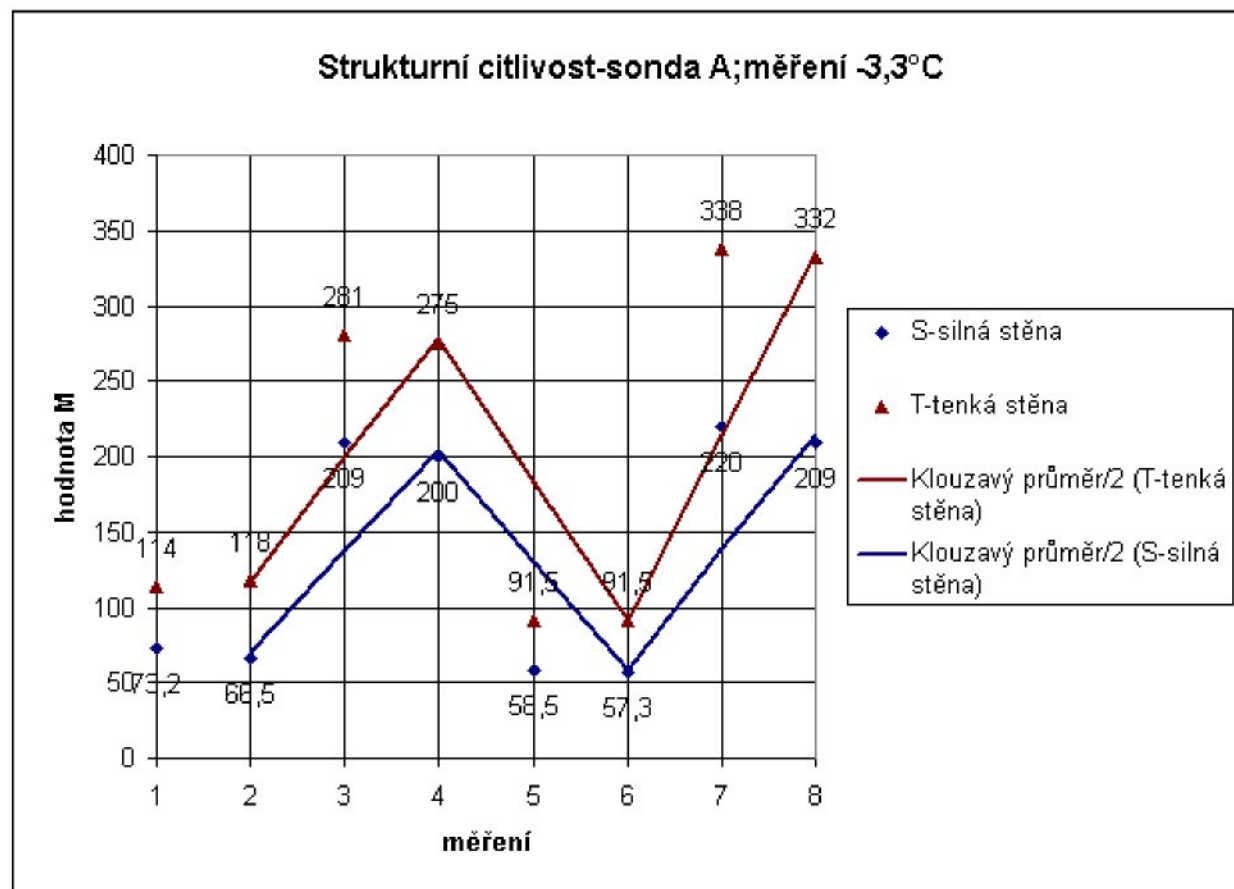
Měření 21,1°C		S		T	
měření		hodnota M		hodnota M	
LLG,F	1	52,9		96,8	
	2	57,5		96,2	
LLG,P	3	140		239	
	4	168		242	
LKG,F	5	48,4		78	
	6	49,5		82	
LKG,P	7	177		263	
	8	174		258	

	T/S	nárůst M
LLG,F	96,2/57,5	67,30%
LLG,P	242/168	44,00%
LKG,F	82/49,5	65,65%
LKG,P	258/174	48,30%
LLG,P/F nárůst M		
S	168/57,5	192,00%
T	242/96,2	152%
LKG,P/F nárůst M		
S	174/49,5	252%
T	258/82	215%



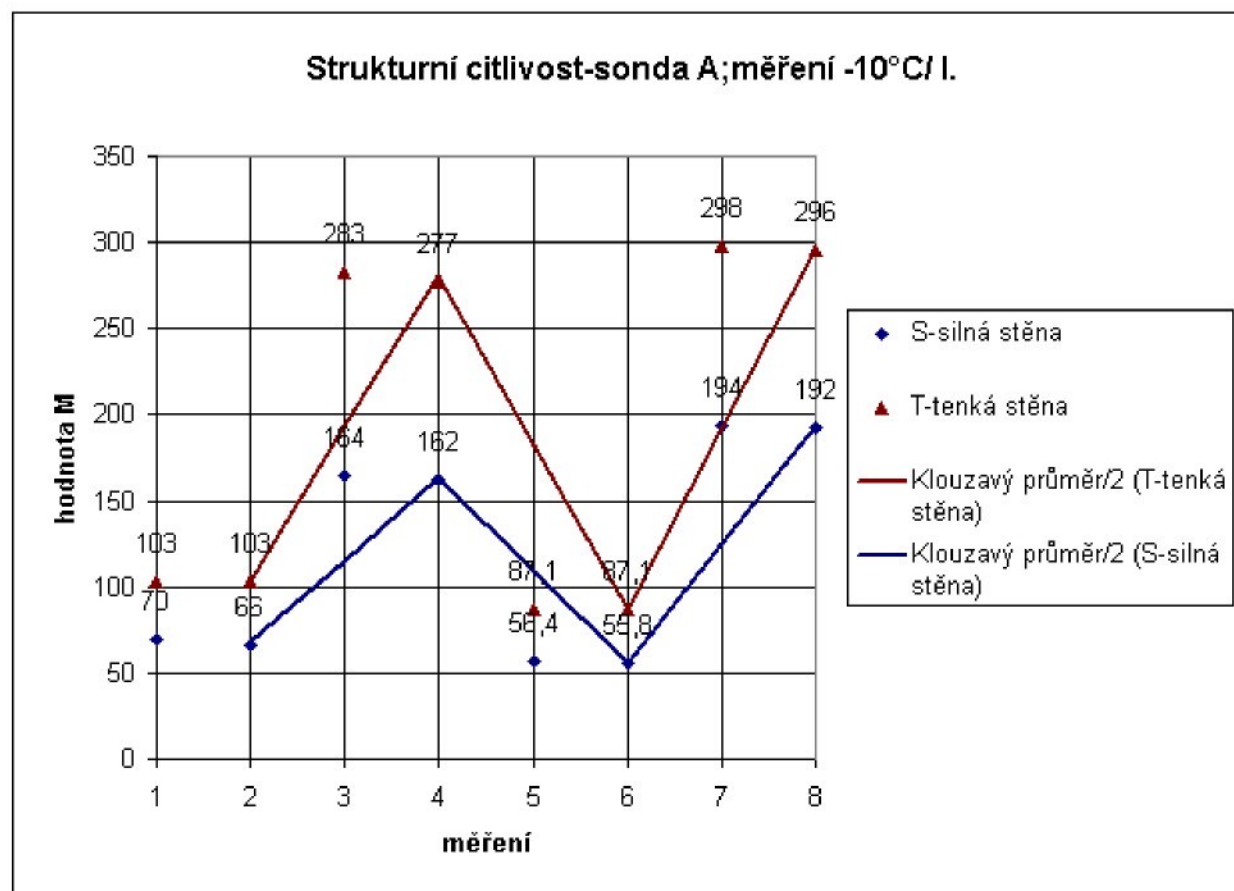
Měření -3,3°C		S	T
měření		hodnota M	hodnota M
LLG,F	1	73,2	114
	2	66,5	118
LLG,P	3	209	281
	4	200	275
LKG,F	5	58,5	91,5
	6	57,3	91,5
LKG,P	7	220	338
	8	209	332

	T/S	nárůst M
LLG,F	118/66,5	77,44%
LLG,P	275/200	37,50%
LKG,F	91,5/57,3	59,68%
LKG,P	332/209	58,85%
LLG,P/F nárůst M		
S	200/66,5	200,00%
T	275/118	133%
LKG,P/F nárůst M		
S	209/57,3	265%
T	332/91,5	263%



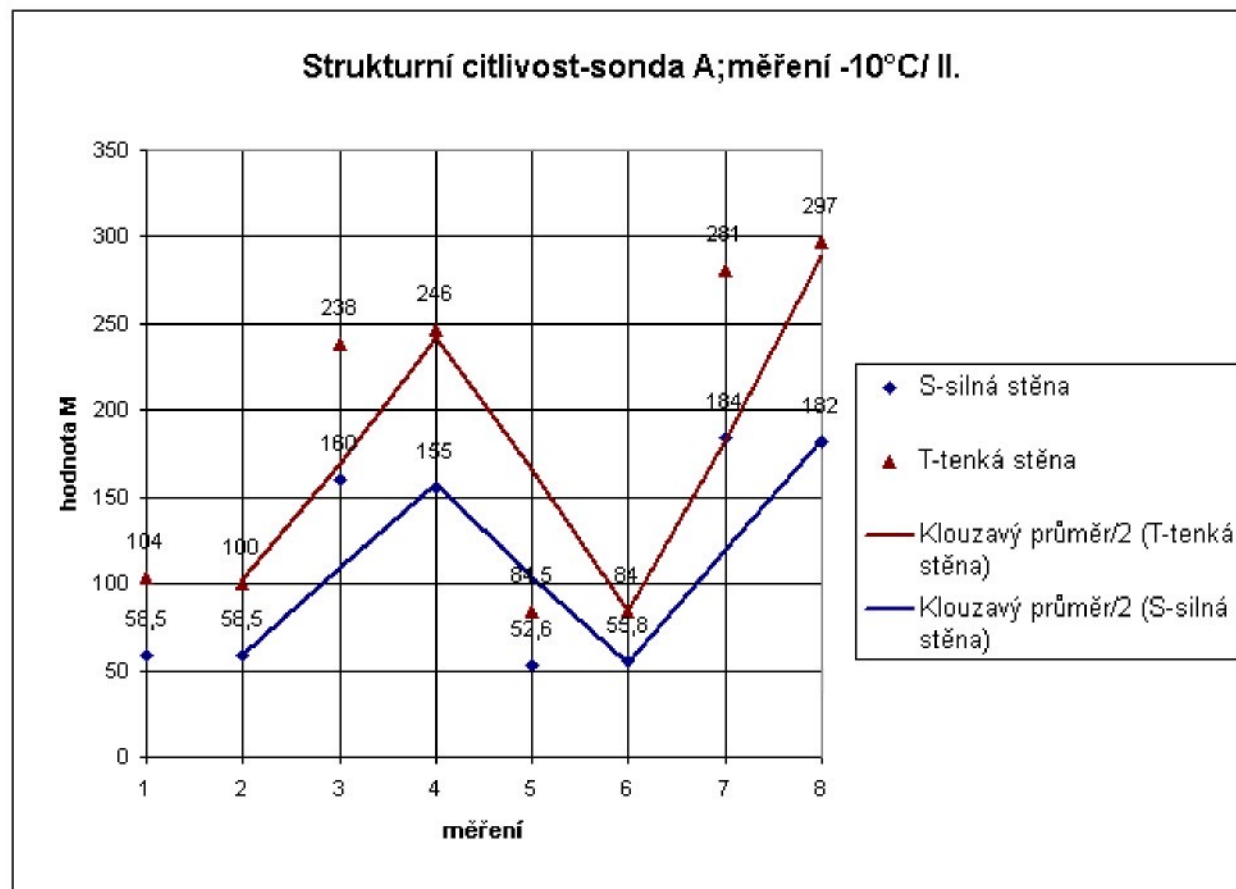
Měření -10°C/ I. měření		S	T
		hodnota M	hodnota M
LLG,F	1	70	103
	2	66	103
LLG,P	3	164	283
	4	162	277
LKG,F	5	56,4	87,1
	6	55,8	87,1
LKG,P	7	194	298
	8	192	296

	T/S	nárůst M
LLG,F	103/66	56,00%
LLG,P	277/162	70,98%
LKG,F	87,1/55,8	56,00%
LKG,P	296/192	54,16%
LLG,P/F nárůst M		
S	162/66	145,45%
T	277/103	169%
LKG,P/F nárůst M		
S	192/55,8	244%
T	296/87,1	240%



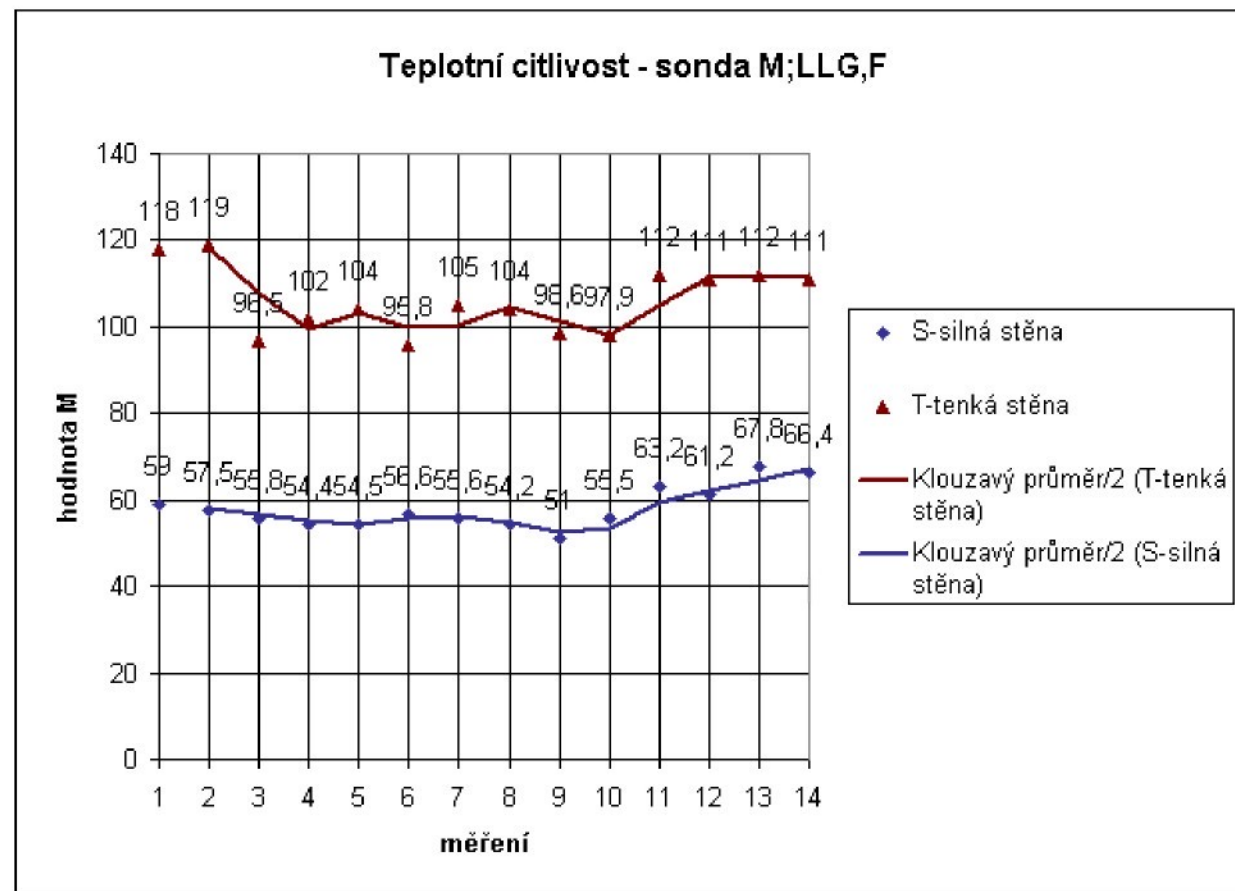
Měření -10°C/ II. měření		S	T
		hodnota M	hodnota M
LLG,F	1	58,5	104
	2	58,5	100
LLG,P	3	160	238
	4	155	246
LKG,F	5	52,6	84,5
	6	55,8	84
LKG,P	7	184	281
	8	182	297

	T/S	nárůst M
LLG,F	100/58,5	70,94%
LLG,P	246/155	58,70%
LKG,F	84/55,8	50,53%
LKG,P	297/182	63,10%
LLG,P/F nárůst M		
S	155/58,5	164,90%
T	246/100	146%
LKG,P/F nárůst M		
S	182/55,8	226%
T	297/84	254%

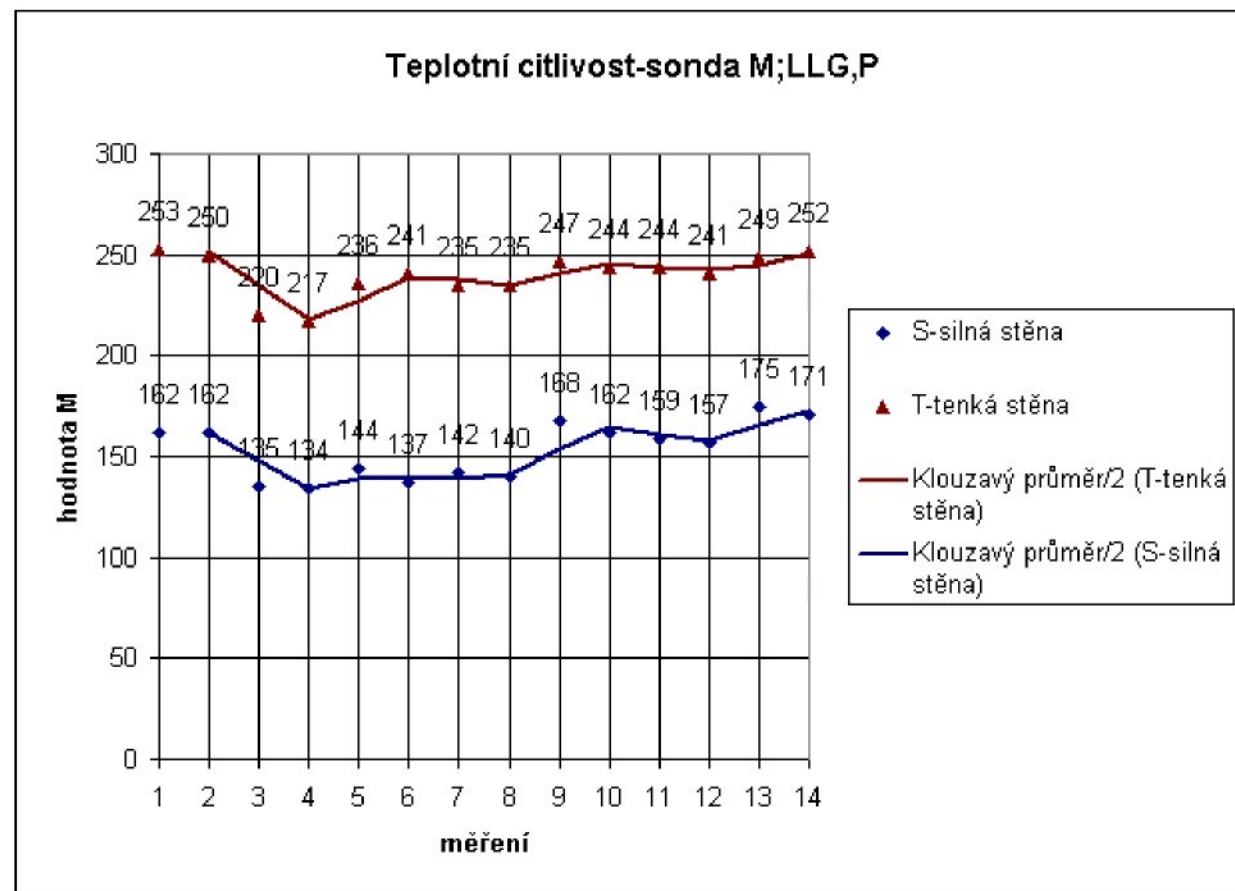


Příloha 4 – sonda M,DOMENA B3,teplotní citlivost

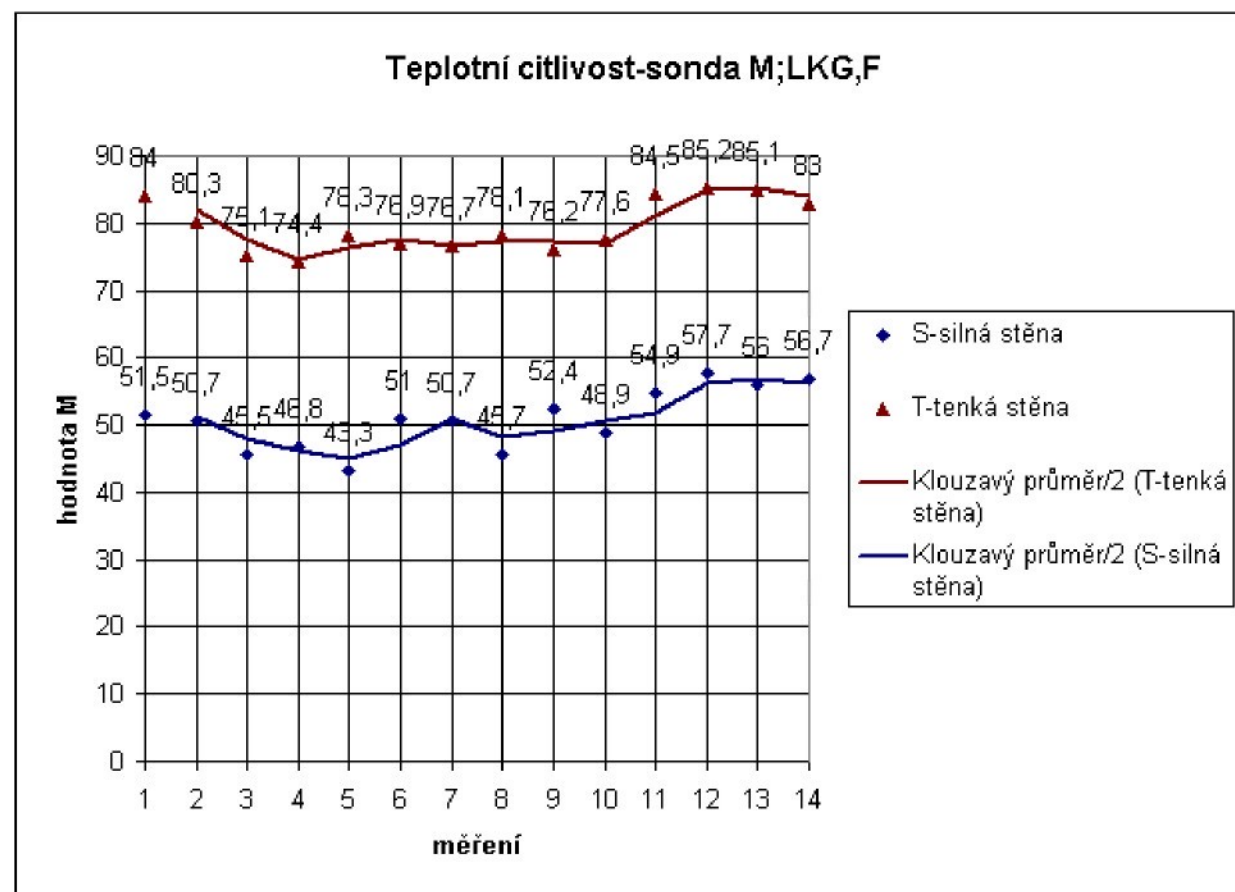
Měření LLG,F		S	T
	měření	hodnota M	hodnota M
30°C/ I.	1	59	118
	2	57,5	119
30°C/ II.	3	55,8	96,5
	4	54,4	102
24°C	5	54,5	104
	6	56,6	95,8
22,4°C	7	55,6	105
	8	54,2	104
0°C	9	51	98,6
	10	55,5	97,9
-10°C/ I.	11	63,2	112
	12	61,2	111
-10°C/ II.	13	67,8	112
	14	66,4	111



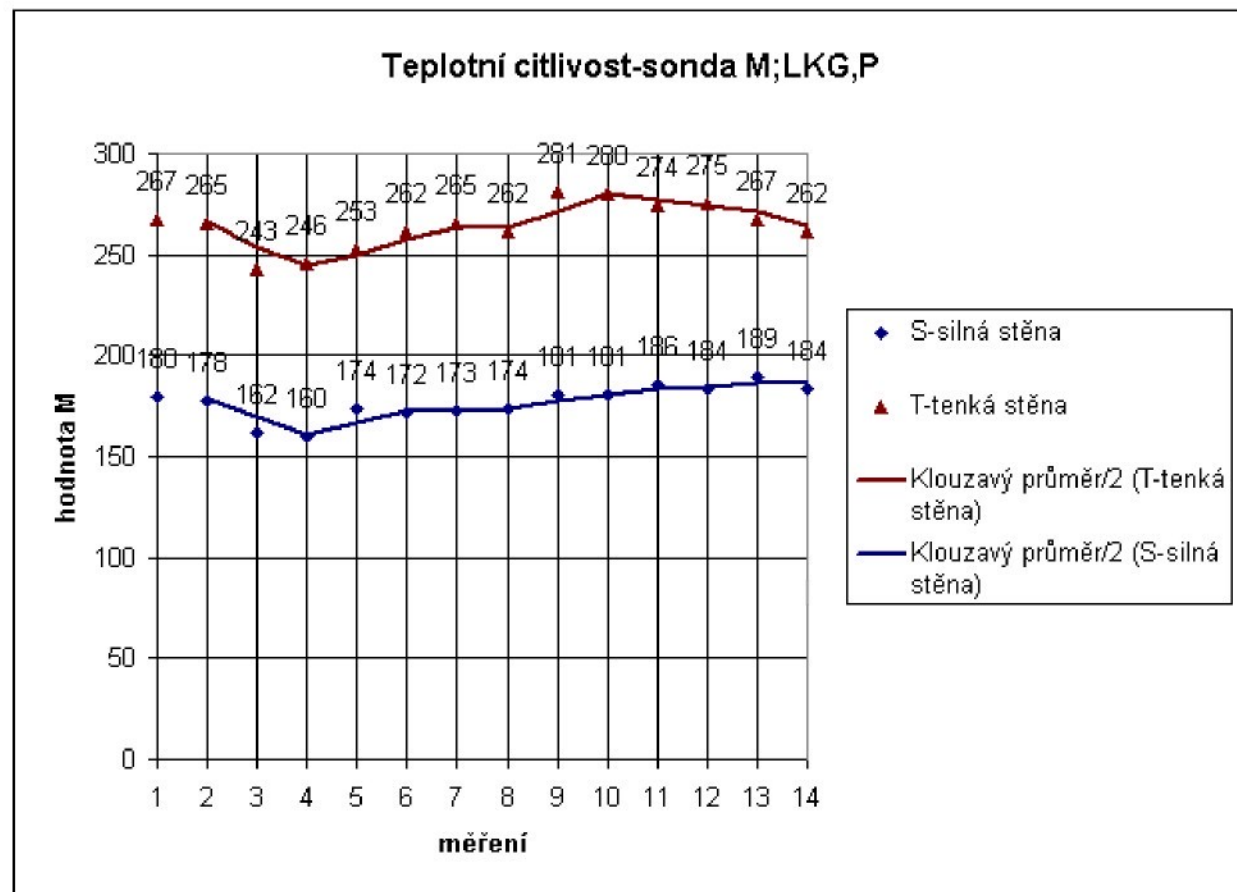
Měření LLG,P		S	T
měření		hodnota M	hodnota M
30°C/ I.	1	162	253
	2	162	250
30°C/ II.	3	135	220
	4	134	217
24°C	5	144	236
	6	137	241
22,4°C	7	142	235
	8	140	235
0°C	9	168	247
	10	162	244
-10°C/ I.	11	159	244
	12	157	241
-10°C/ II.	13	175	249
	14	171	252



Měření LKG,F		S	T
měření		hodnota M	hodnota M
30°C/ I.	1	51,5	84
	2	50,7	80,3
30°C/ II.	3	45,5	75,1
	4	46,8	74,4
24°C	5	43,3	78,3
	6	51	76,9
22,4°C	7	50,7	76,7
	8	45,7	78,1
0°C	9	52,4	76,2
	10	48,9	77,6
-10°C/ I.	11	54,9	84,5
	12	57,7	85,2
-10°C/ II.	13	56	85,1
	14	56,7	83



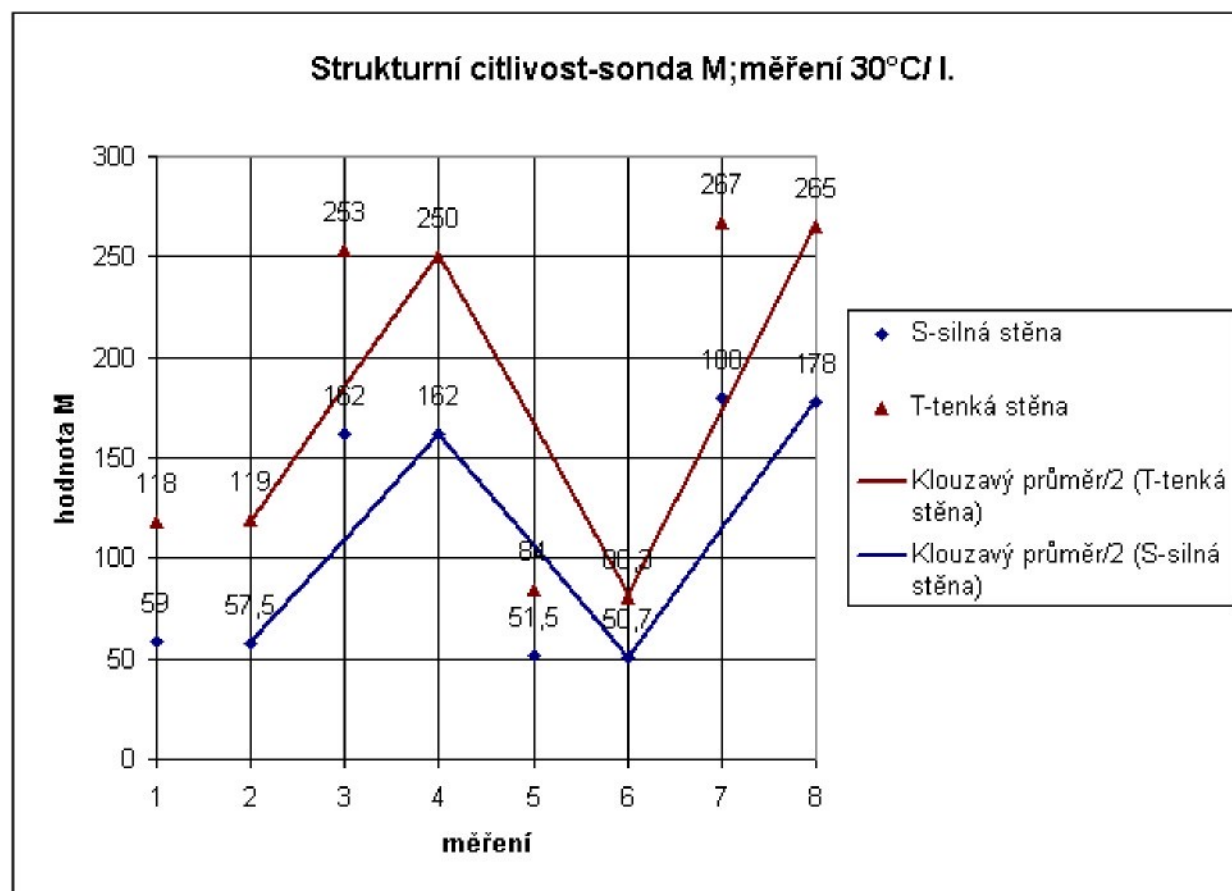
Měření LKG,P		S	T
měření		hodnota M	hodnota M
30°C/ I.	1	180	267
	2	178	265
30°C/ II.	3	162	243
	4	160	246
24°C	5	174	253
	6	172	262
22,4°C	7	173	265
	8	174	262
0°C	9	181	281
	10	181	280
-10°C/ I.	11	186	274
	12	184	275
-10°C/ II.	13	189	267
	14	184	262



Příloha 5 – sonda M,DOMENA B3,strukturní citlivost

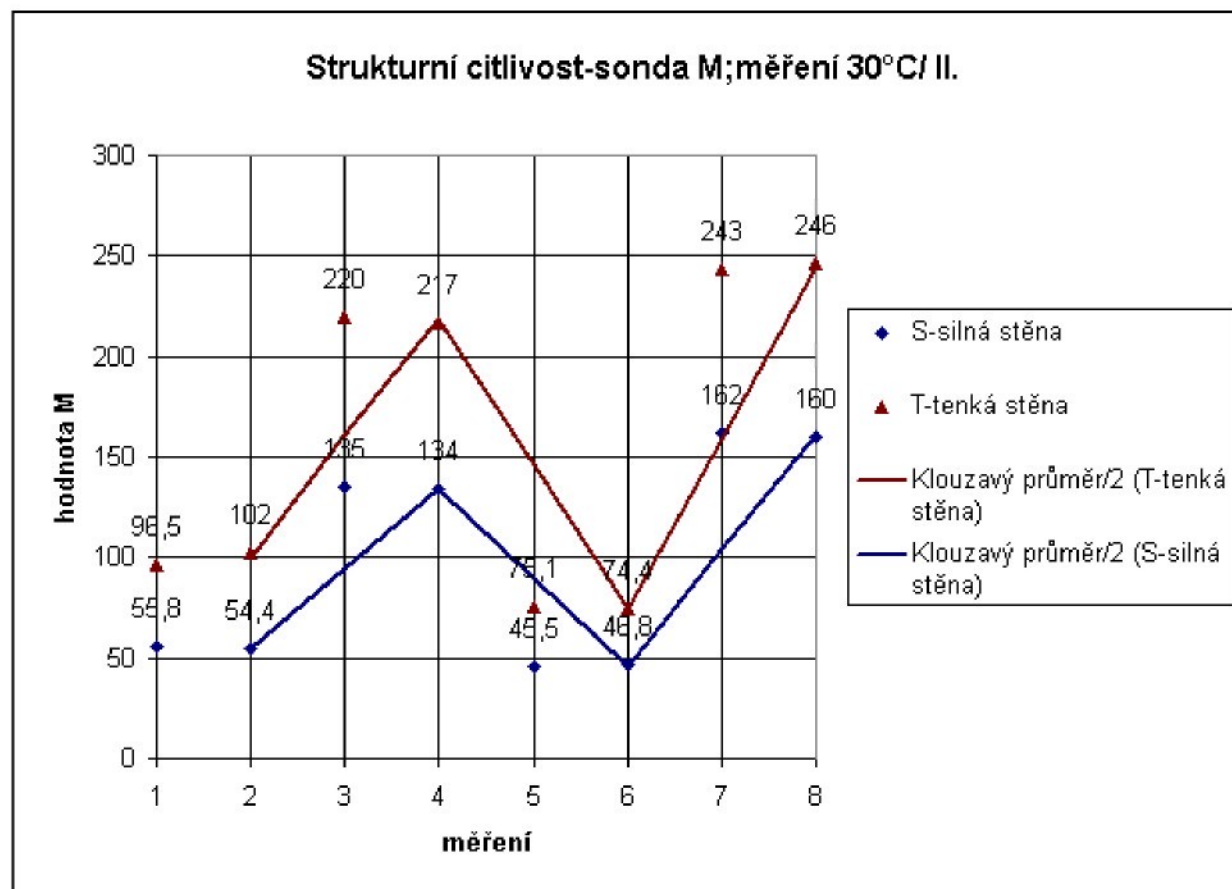
Měření 30°C/ I. měření		S	T
		hodnota M	hodnota M
LLG,F	1	59	118
	2	57,5	119
LLG,P	3	162	253
	4	162	250
LKG,F	5	51,5	84
	6	50,7	80,3
LKG,P	7	180	267
	8	178	265

	T/S	nárůst M
LLG,F	119/57,5	106,95%
LLG,P	250/162	54,32%
LKG,F	80,3/50,7	58,38%
LKG,P	265/178	48,87%
	LLG,P/F	nárůst M
S	162/57,5	181,74%
T	250/119	110%
	LKG,P/F	nárůst M
S	178/50,7	251%
T	265/80,3	230%



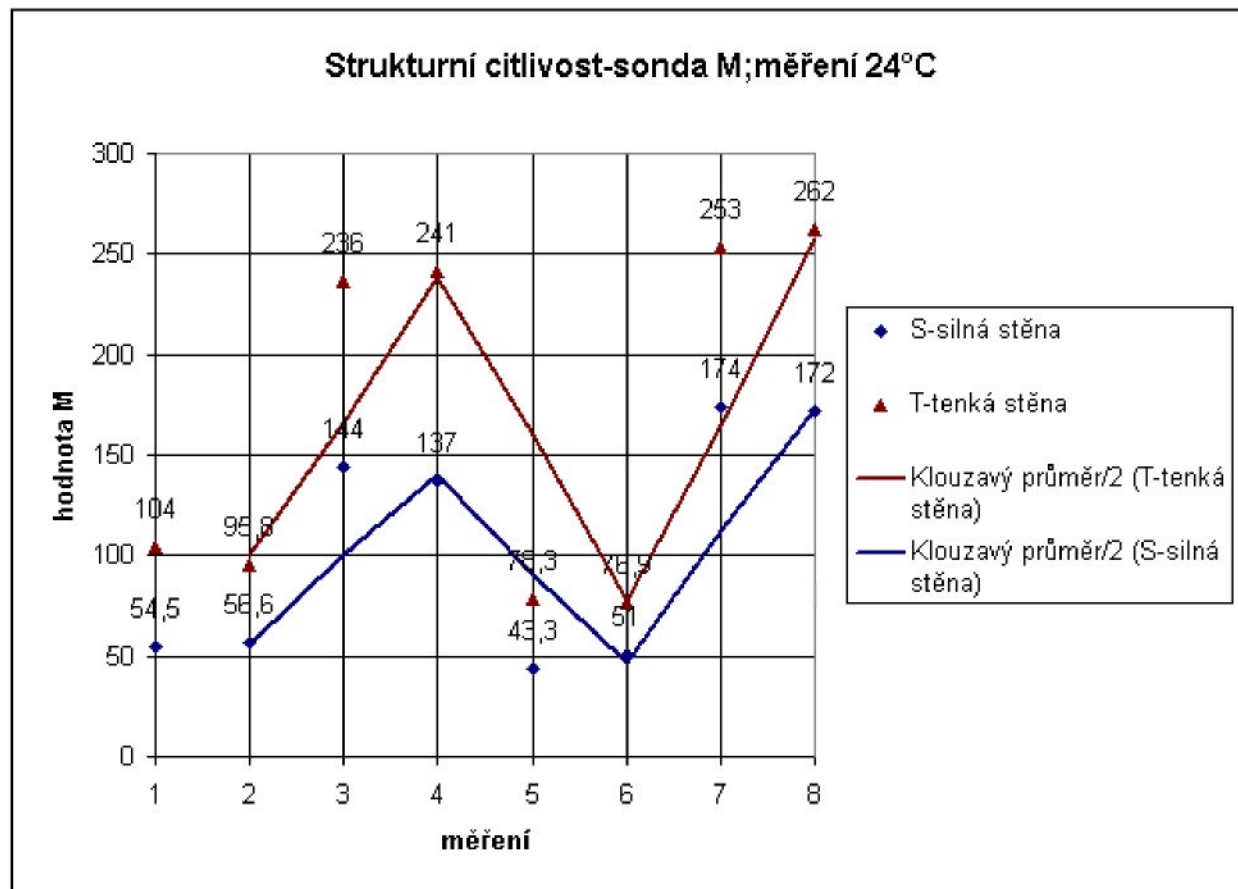
Měření 30°C/ II. měření		S	T
		hodnota M	hodnota M
LLG,F	1	55,8	96,5
	2	54,4	102
LLG,P	3	135	220
	4	134	217
LKG,F	5	45,5	75,1
	6	46,8	74,4
LKG,P	7	162	243
	8	160	246

	T/S	nárůst M
LLG,F	102/54,4	87,50%
LLG,P	217/134	61,94%
LKG,F	74,4/46,8	59,00%
LKG,P	246/160	53,75%
LLG,P/F nárůst M		
S	134/54,4	146,00%
T	217/102	113%
LKG,P/F nárůst M		
S	160/46,8	242%
T	246/74,4	231%



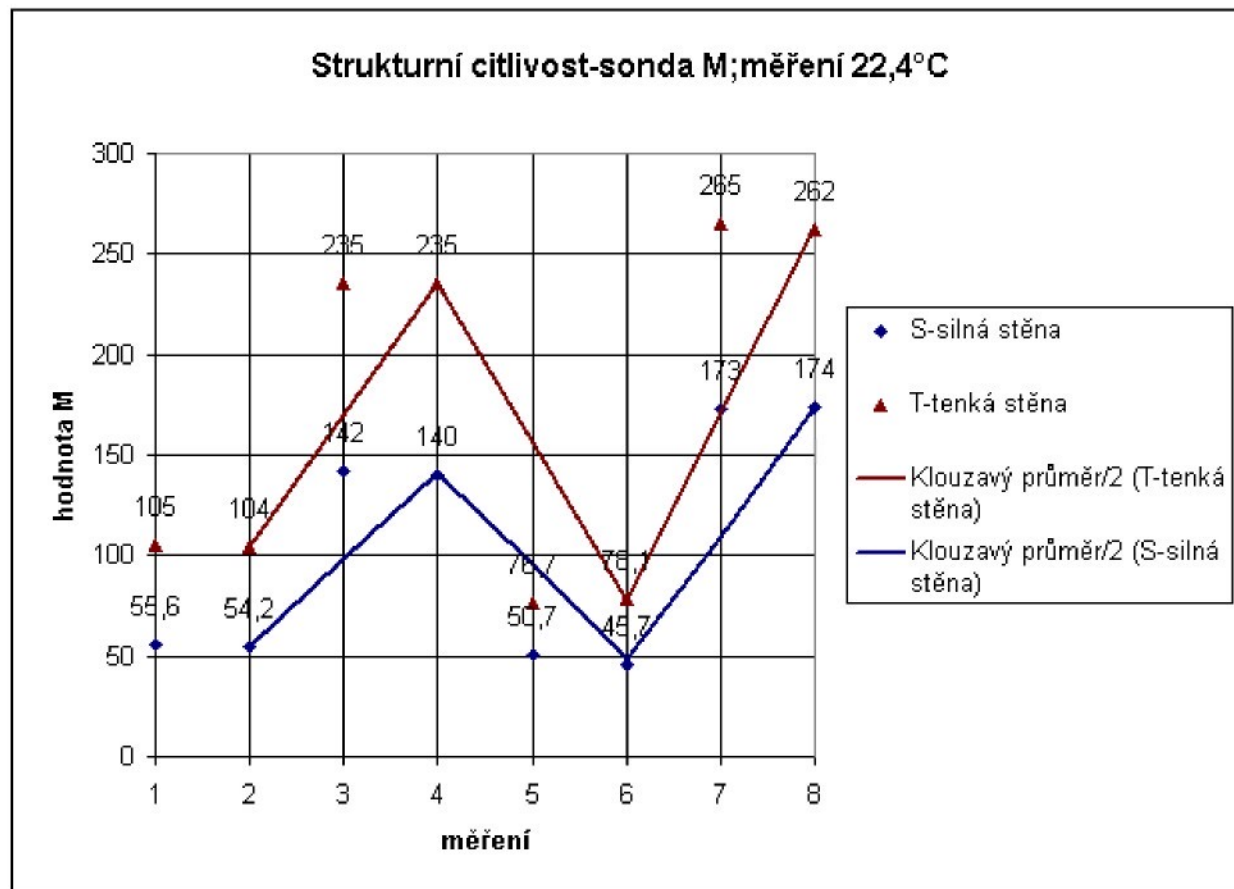
Měření 24°C měření		S	T
		hodnota M	hodnota M
LLG,F	1	54,5	104
	2	56,6	95,8
LLG,P	3	144	236
	4	137	241
LKG,F	5	43,3	78,3
	6	51	76,9
LKG,P	7	174	253
	8	172	262

	T/S	nárůst M
LLG,F	95,8/56,6	69,25%
LLG,P	241/137	76,00%
LKG,F	76,9/51	50,78%
LKG,P	262/172	52,32%
LLG,P/F nárůst M		
S	137/56,6	142,00%
T	241/95,8	151%
LKG,P/F nárůst M		
S	172/51	237%
T	262/76,9	240%



Měření 22,4°C		S	T
měření		hodnota M	hodnota M
LLG,F	1	55,6	105
	2	54,2	104
LLG,P	3	142	235
	4	140	235
LKG,F	5	50,7	76,7
	6	45,7	78,1
LKG,P	7	173	265
	8	174	262

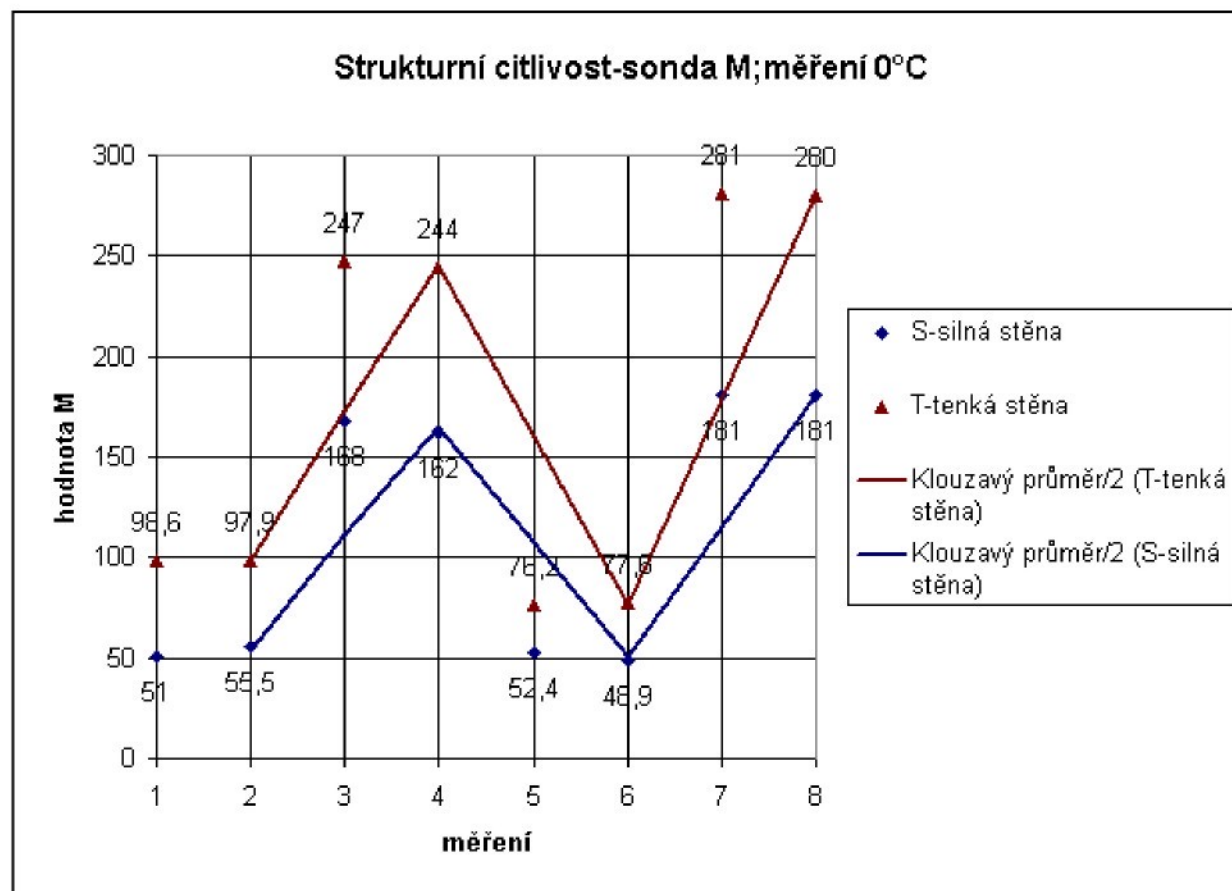
	T/S	nárůst M
LLG,F	104/54,2	91,88%
LLG,P	235/140	67,85%
LKG,F	78,1/45,7	70,89%
LKG,P	262/174	50,57%
LLG,P/F nárůst M		
S	140/54,2	158,30%
T	235/104	126%
LKG,P/F nárůst M		
S	174/45,7	280%
T	262/78,1	235%



Měření 0°C		S	T
měření		hodnota M	hodnota M
LLG,F	1	51	98,6
	2	55,5	97,9
LLG,P	3	168	247
	4	162	244
LKG,F	5	52,4	76,2
	6	48,9	77,6
LKG,P	7	181	281
	8	181	280

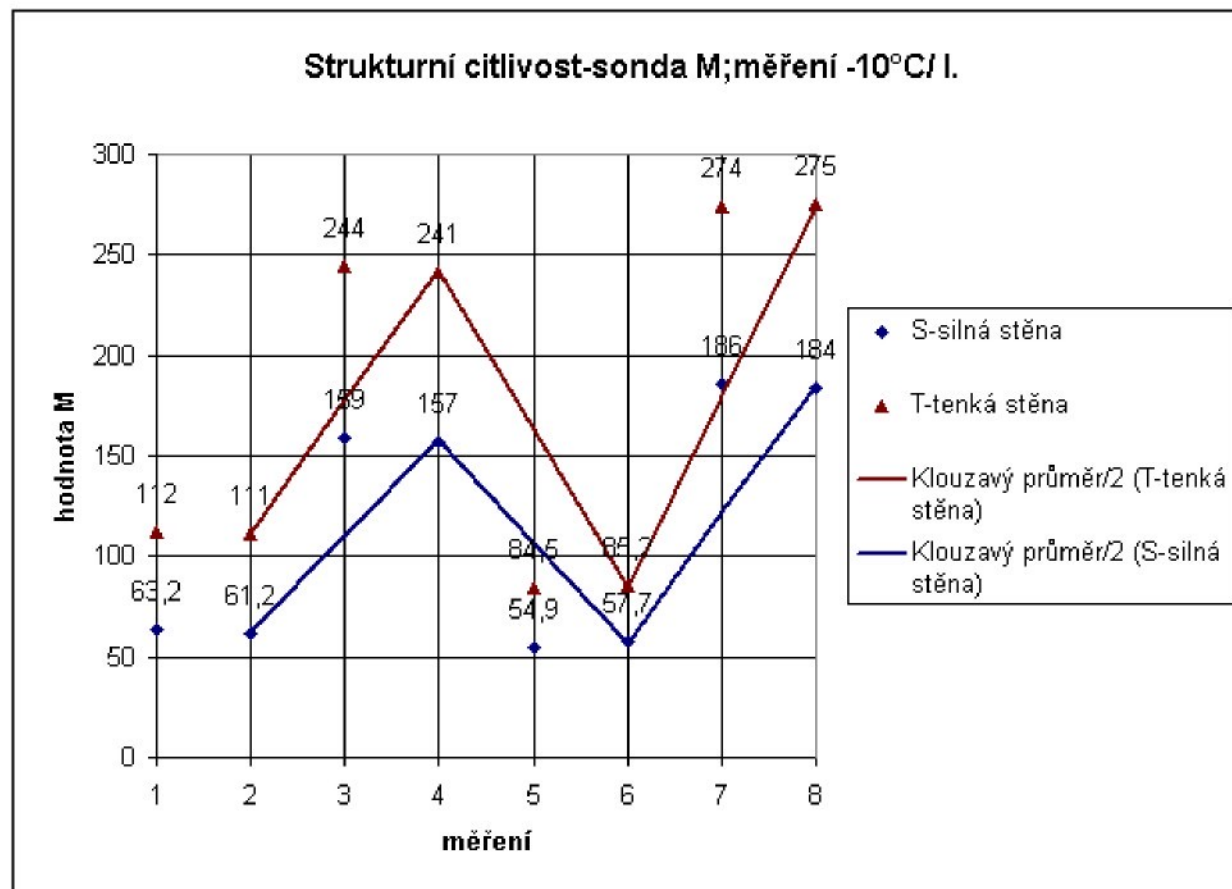
	T/S	nárůst M
LLG,F	97,9/55,5	76,39%
LLG,P	244/162	44,37%
LKG,F	77,6/48,9	58,69%
LKG,P	280/181	54,69%

	LLG,P/F	nárůst M
S	162/55,5	191,89%
T	243/97,9	148%
	LKG,P/F	nárůst M
S	181/48,9	270%
T	280/77,6	261%



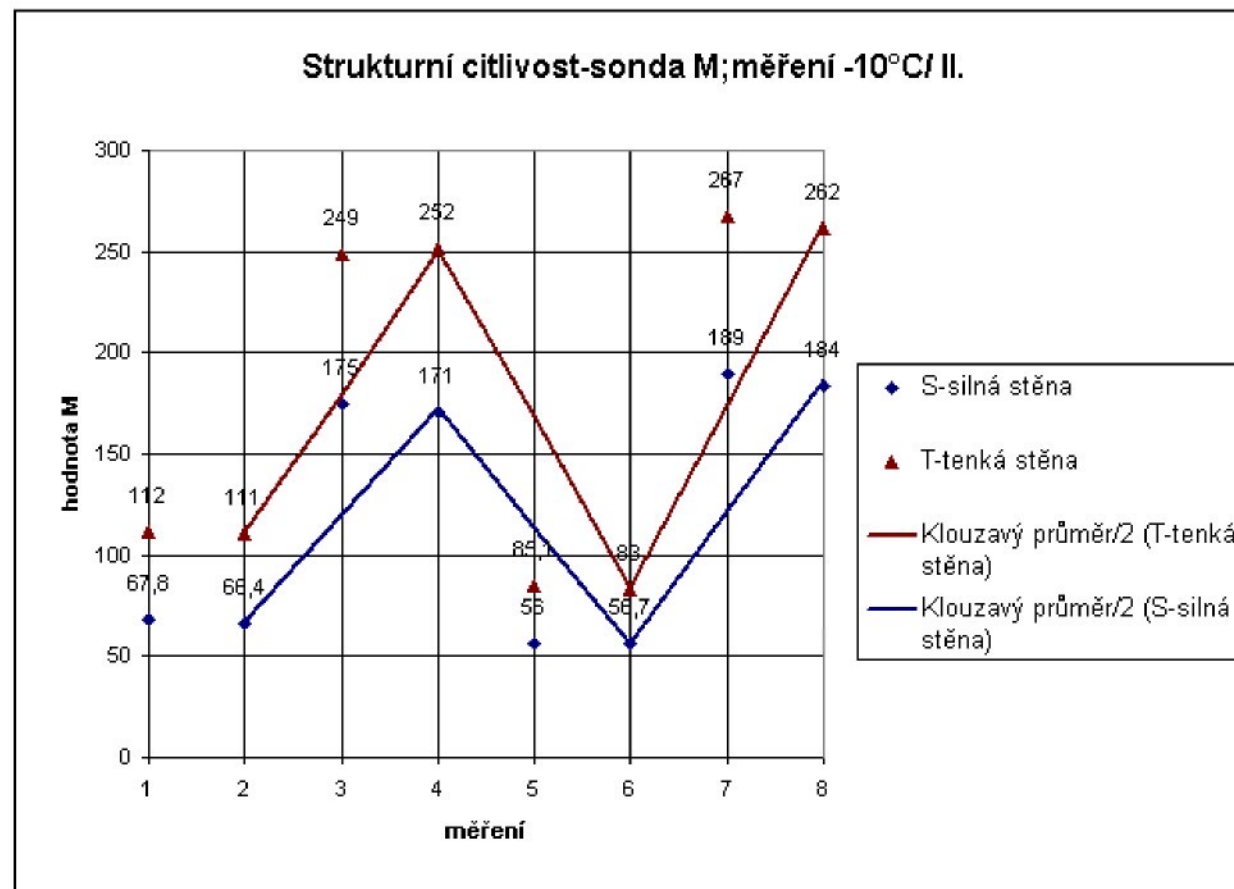
Měření -10°C/ I. měření		S	T
		hodnota M	hodnota M
LLG,F	1	63,2	112
	2	61,2	111
LLG,P	3	159	244
	4	157	241
LKG,F	5	54,9	84,5
	6	57,7	85,2
LKG,P	7	186	274
	8	184	275

	T/S	nárůst M
LLG,F	111/61,2	81,37%
LLG,P	241/157	53,50%
LKG,F	85,2/57,7	47,66%
LKG,P	275/184	49,45%
LLG,P/F nárůst M		
S	157/61,2	156,53%
T	241/111	117%
LKG,P/F nárůst M		
S	184/57,7	219%
T	275/85,2	223%



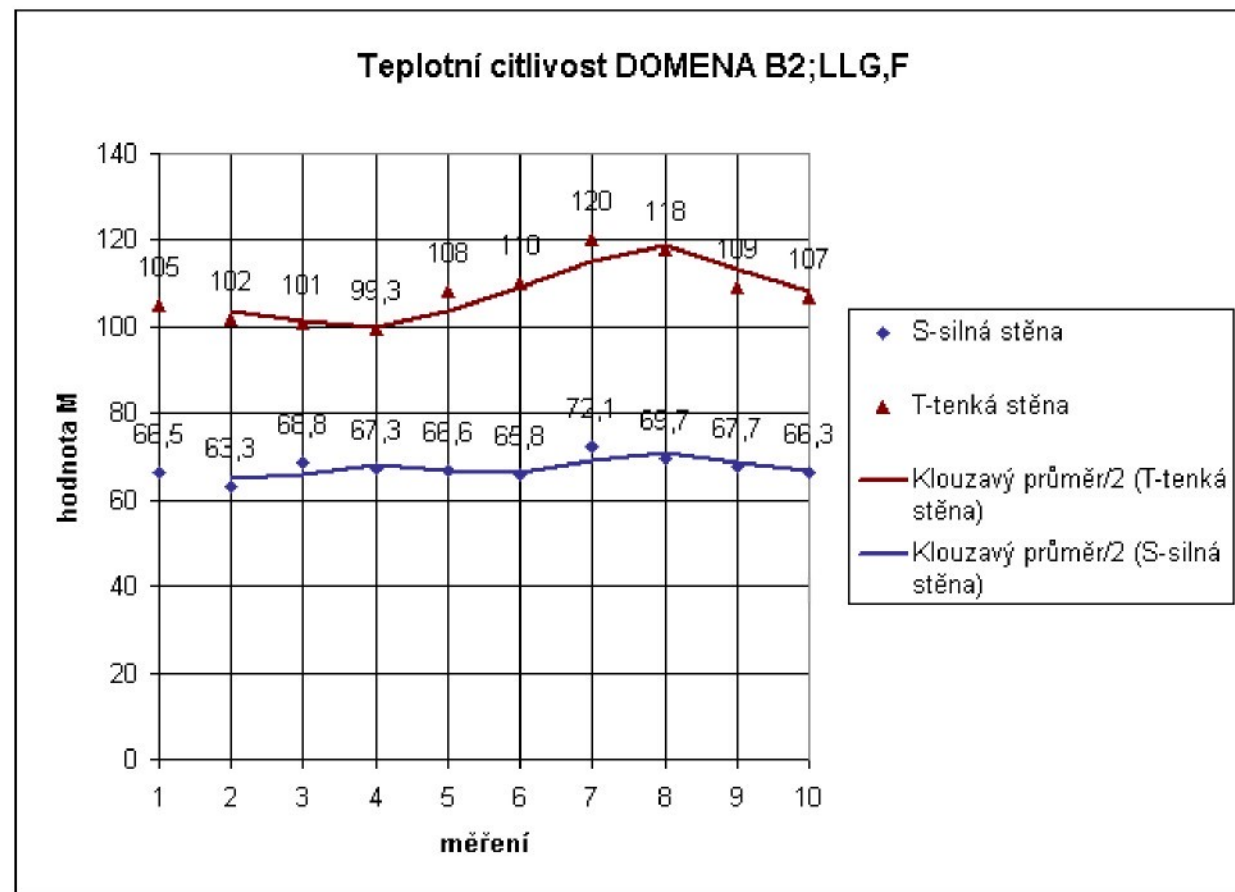
Měření -10°C/ II. měření		S	T
		hodnota M	hodnota M
LLG,F	1	67,8	112
	2	66,4	111
LLG,P	3	175	249
	4	171	252
LKG,F	5	56	85,1
	6	56,7	83
LKG,P	7	189	267
	8	184	262

	T/S	nárůst M
LLG,F	111/66,4	67,00%
LLG,P	252/171	47,36%
LKG,F	83/56,7	46,38%
LKG,P	262/184	42,39%
LLG,P/F nárůst M		
S	171/66,4	157,53%
T	252/111	127%
LKG,P/F nárůst M		
S	184/56,7	228%
T	262/83	216%

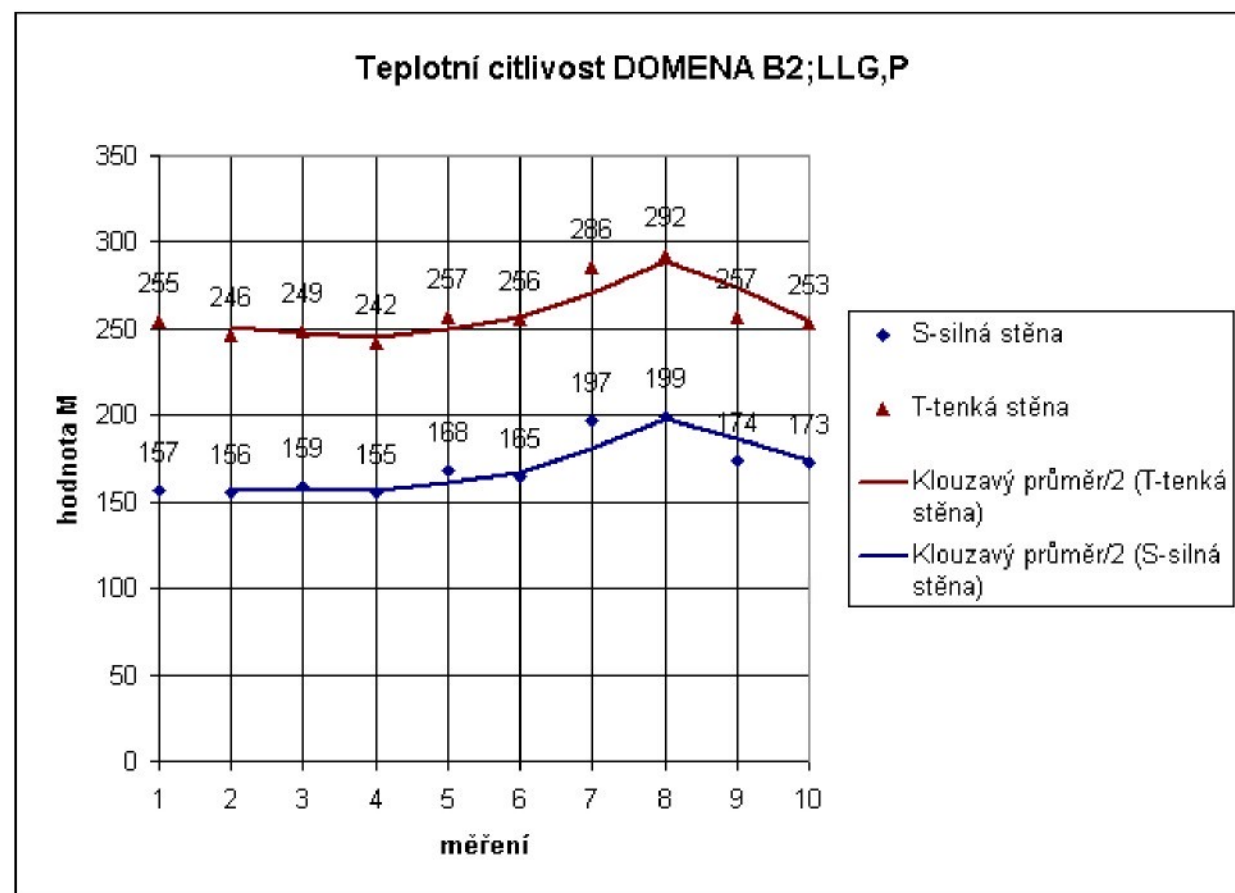


Příloha 6 – DOMENA B2,teplotní citlivost

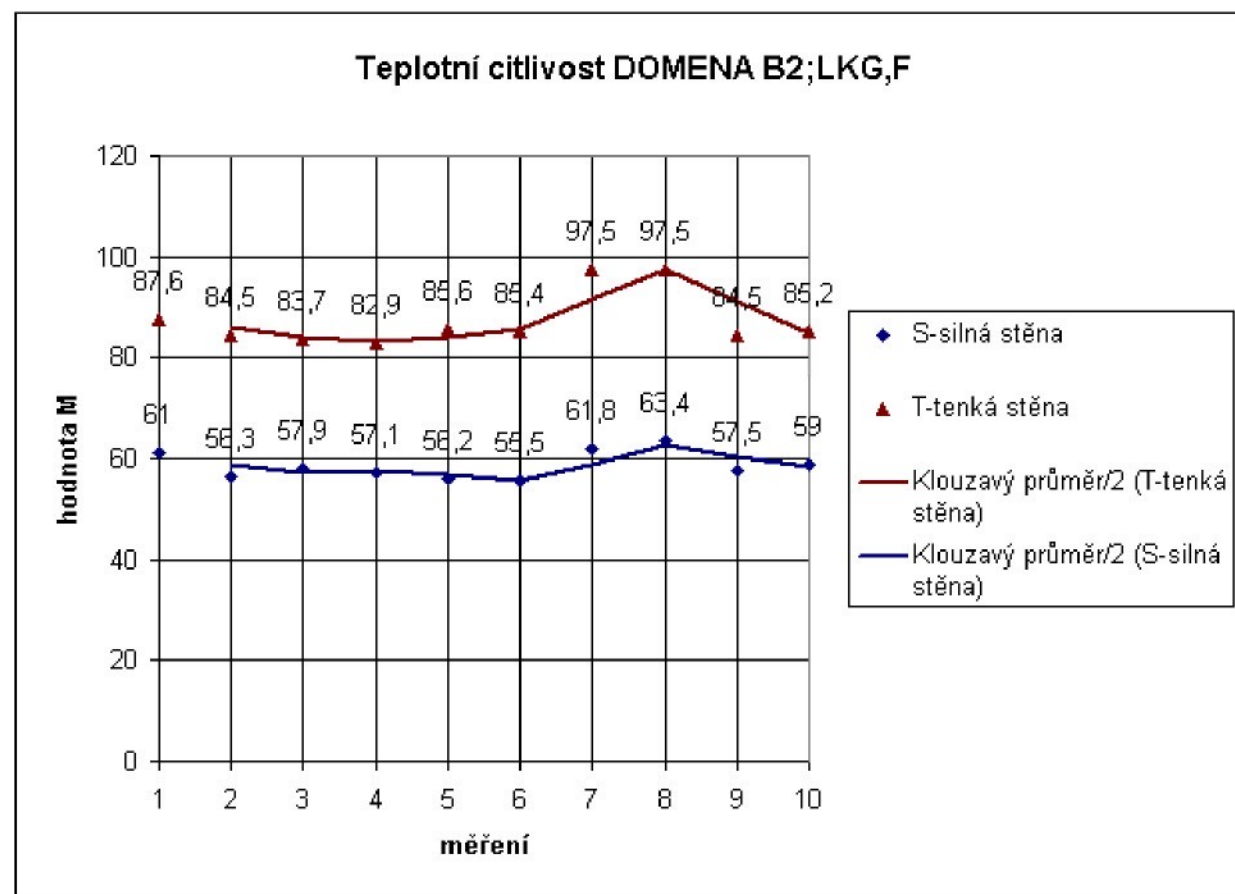
Měření LLG,F		S	T
	měření	hodnota M	hodnota M
30°C/ I.	1	66,5	105
	2	63,3	102
30°C/ II.	3	68,8	101
	4	67,3	99,3
23°C	5	66,6	108
	6	65,8	110
.-10°C/ I.	7	72,1	120
	8	69,7	118
.-10°C/ II.	9	67,7	109
	10	66,3	107



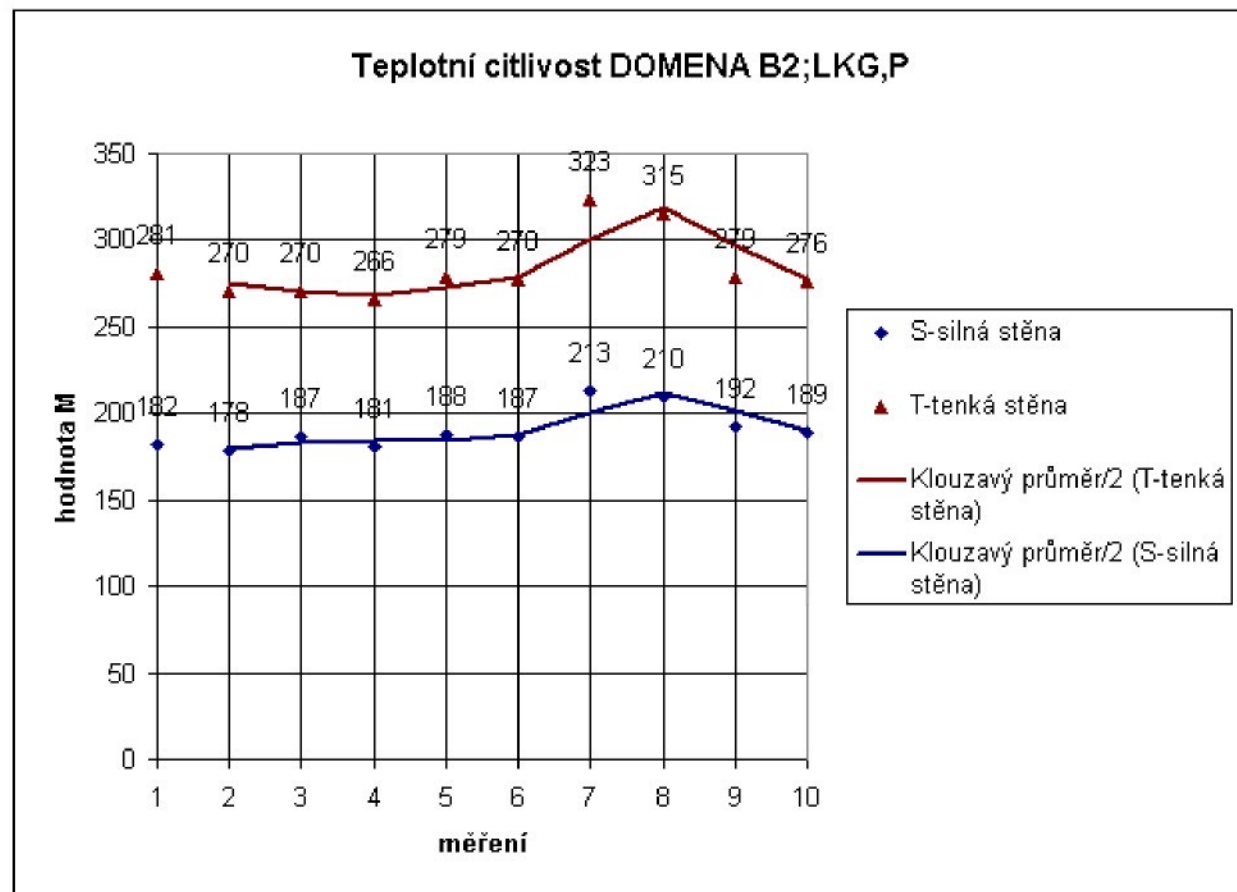
Měření LLG,P		S	T
měření		hodnota M	hodnota M
30°C/ I.	1	157	255
	2	156	246
30°C/ II.	3	159	249
	4	155	242
23°C	5	168	257
	6	165	256
.-10°C/ I.	7	197	286
	8	199	292
.-10°C/ II.	9	174	257
	10	173	253



Měření LKG,F		S	T
měření		hodnota M	hodnota M
30°C/ I.	1	61	87,6
	2	56,3	84,5
30°C/ II.	3	57,9	83,7
	4	57,1	82,9
23°C	5	56,2	85,6
	6	55,5	85,4
.-10°C/ I.	7	61,8	97,5
	8	63,4	97,5
.-10°C/ II.	9	57,5	84,5
	10	59	85,2



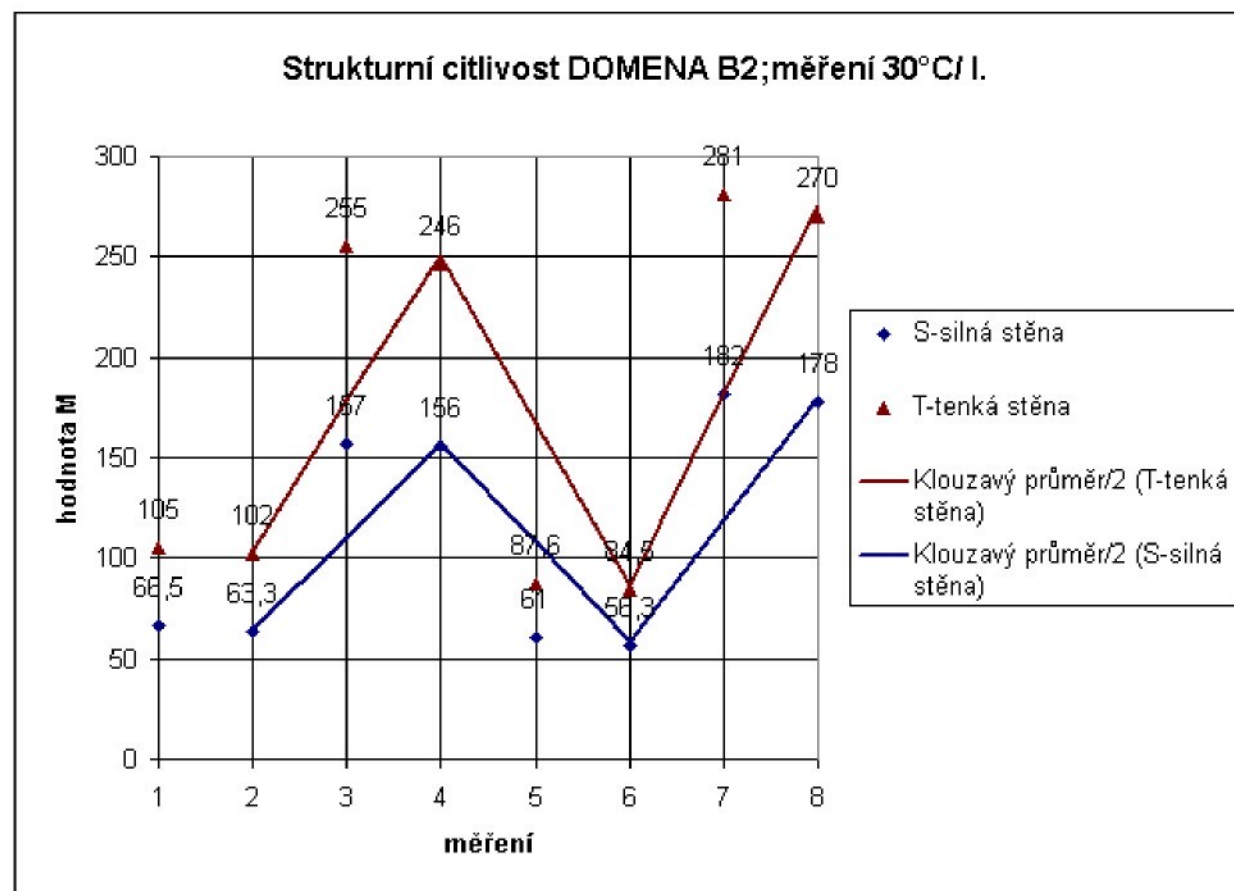
Měření LKG,P		S	T
měření		hodnota M	hodnota M
30°C/ I.	1	182	281
	2	178	270
30°C/ II.	3	187	270
	4	181	266
23°C	5	188	279
	6	187	278
.-10°C/ I.	7	213	323
	8	210	315
.-10°C/ II.	9	192	279
	10	189	276



Příloha 7 – DOMENA B2,strukturní citlivost

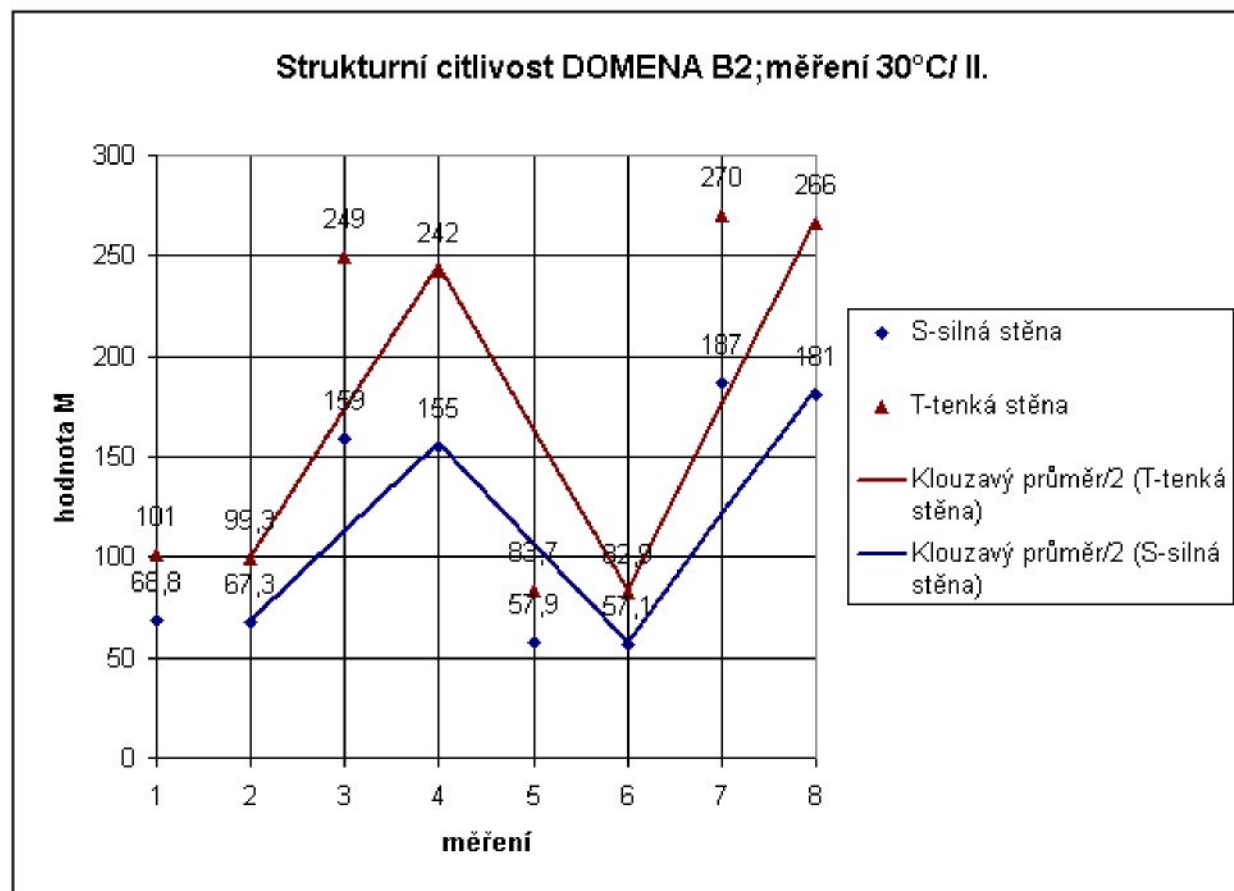
Měření 30°C/ I. měření		S hodnota M	T hodnota M
LLG,F	1	66,5	105
	2	63,3	102
LLG,P	3	157	255
	4	156	246
LKG,F	5	61	87,6
	6	56,3	84,5
LKG,P	7	182	281
	8	178	270

	T/S	nárůst M
LLG,F	102/63,3	61,00%
LLG,P	246/156	57,69%
LKG,F	84,5/61	50,00%
LKG,P	270/178	51,70%
LLG,P/F nárůst M		
S	156/63,3	146,00%
T	246/102	141%
LKG,P/F nárůst M		
S	178/56,3	216%
T	270/84,5	219%



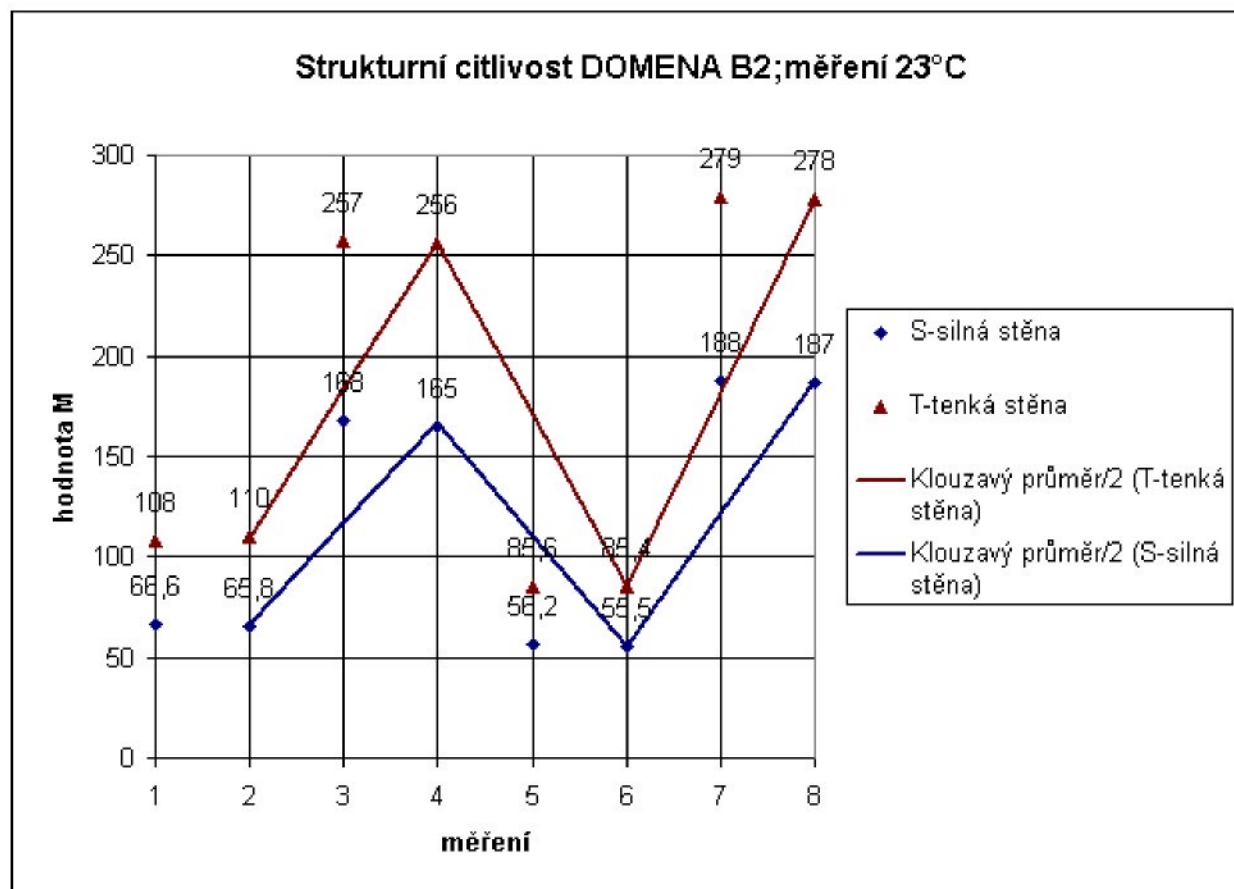
Měření 30°C/ II. měření		S	T
		hodnota M	hodnota M
LLG,F	1	68,8	101
	2	67,3	99,3
LLG,P	3	159	249
	4	155	242
LKG,F	5	57,9	83,7
	6	57,1	82,9
LKG,P	7	187	270
	8	181	266

	T/S	nárůst M
LLG,F	99,3/67,3	47,55%
LLG,P	242/155	56,00%
LKG,F	82,8/57,1	45,00%
LKG,P	266/181	47,00%
	LLG,P/F	nárůst M
S	155/67,3	130,00%
T	242/99,3	144%
	LKG,P/F	nárůst M
S	181/57,1	217%
T	266/82,8	221%



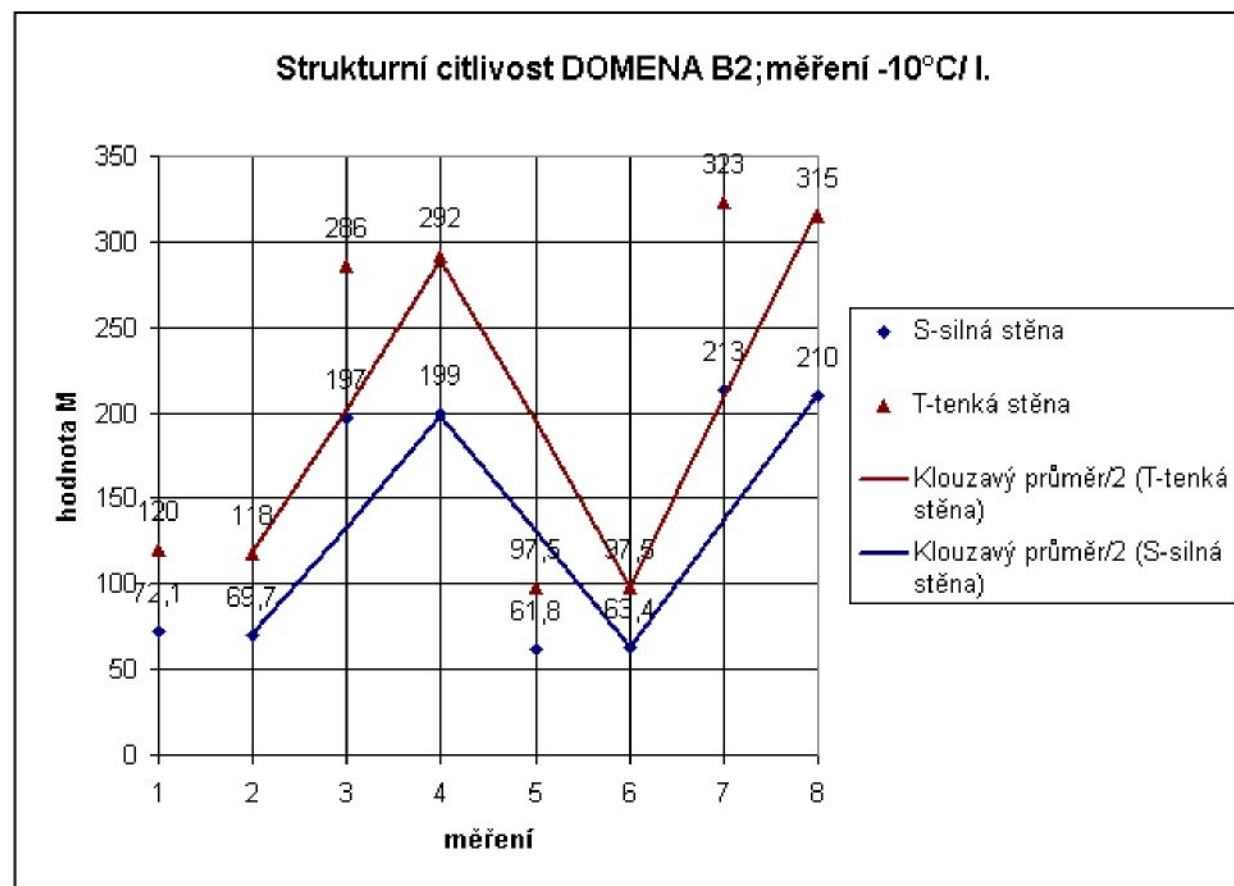
Měření 23°C měření		S	T
		hodnota M	hodnota M
LLG,F	1	66,6	108
	2	65,8	110
LLG,P	3	168	257
	4	165	256
LKG,F	5	56,2	85,6
	6	55,5	85,4
LKG,P	7	188	279
	8	187	278

	T/S	nárůst M
LLG,F	110/65,8	67,00%
LLG,P	256/165	55,00%
LKG,F	85,4/55,5	53,90%
LKG,P	278/187	48,66%
	LLG,P/F	nárůst M
S	165/65,8	150,75%
T	256/110	133%
	LKG,P/F	nárůst M
S	187/55,5	237%
T	278/85,4	225%



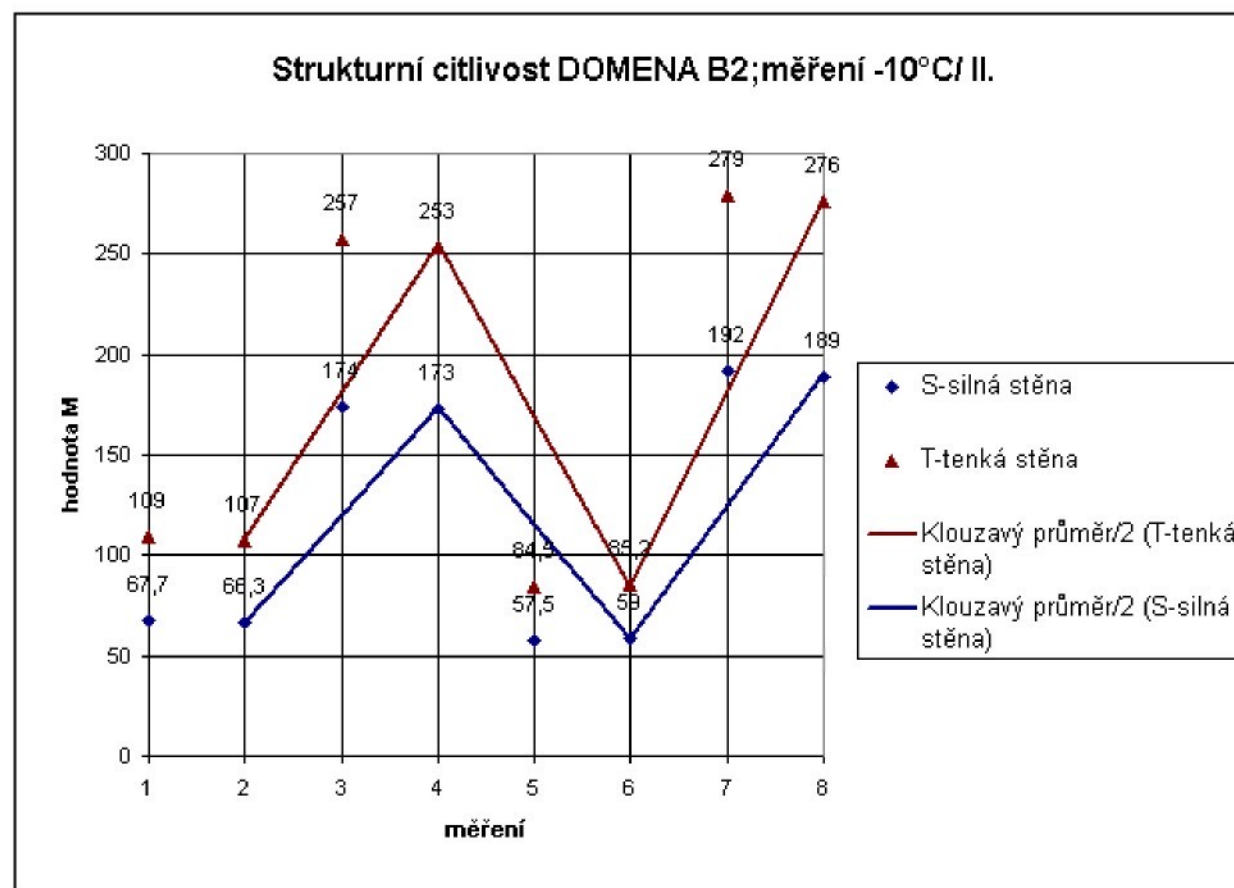
Měření -10°C/ I. měření		S	T
		hodnota M	hodnota M
LLG,F	1	72,1	120
	2	69,7	118
LLG,P	3	197	286
	4	199	292
LKG,F	5	61,8	97,5
	6	63,4	97,5
LKG,P	7	213	323
	8	210	315

	T/S	nárůst M
LLG,F	118/69,7	62,30%
LLG,P	292/199	46,73%
LKG,F	97,5/63,4	53,78%
LKG,P	315/210	50,00%
LLG,P/F nárůst M		
S	199/69,7	185,50%
T	292/188	55%
LKG,P/F nárůst M		
S	210/63,4	231%
T	315/97,5	223%



Měření -10°C/ II. měření		S	T
		hodnota M	hodnota M
LLG,F	1	67,7	109
	2	66,3	107
LLG,P	3	174	257
	4	173	253
LKG,F	5	57,5	84,5
	6	59	85,2
LKG,P	7	192	279
	8	189	276

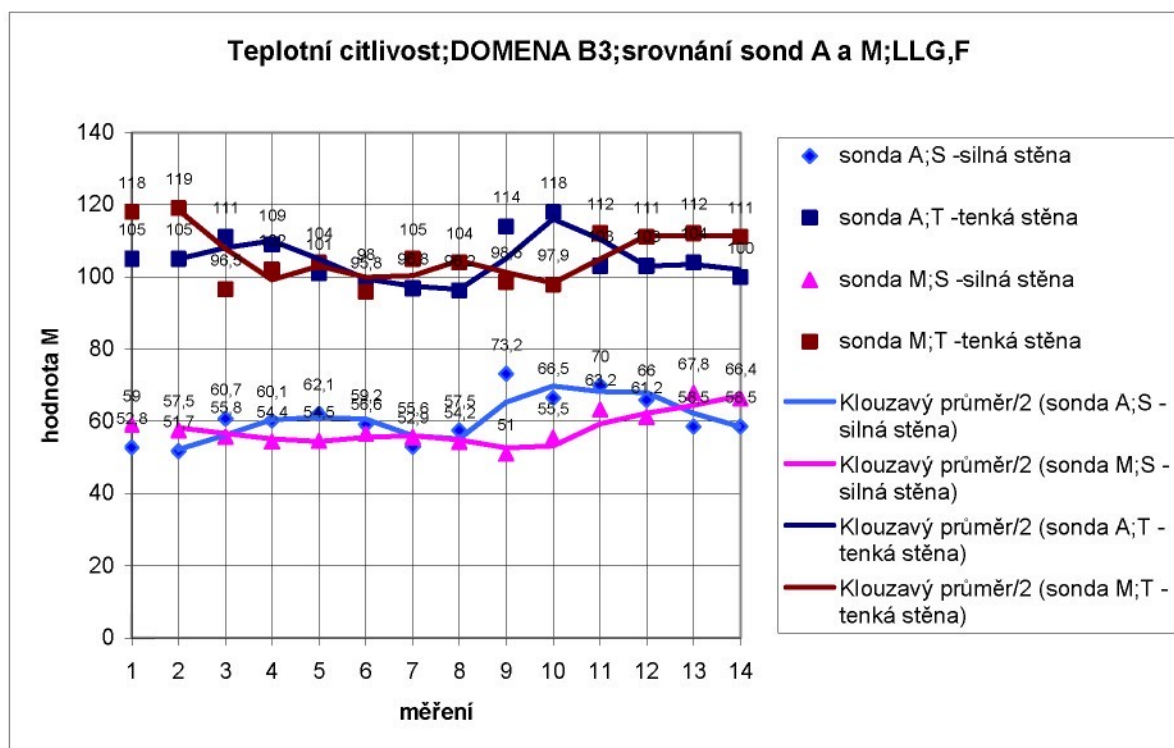
	T/S	nárůst M
LLG,F	107/66,3	61,38%
LLG,P	253/173	46,24%
LKG,F	85,2/59	44,40%
LKG,P	276/189	46,00%
	LLG,P/F	nárůst M
S	173/66,3	161,00%
T	253/107	136%
	LKG,P/F	nárůst M
S	189/59	220%
T	276/85,2	224%



Příloha 8 – srovnání sond A a M, teplotní citlivost

Měření LLG,F;s. A		S	T
měření		hodnota M	hodnota M
30°C/ I.	1	52,8	105
	2	51,7	105
30°C/ II.	3	60,7	111
	4	60,1	109
22,8°C	5	62,1	101
	6	59,2	98
21,1°C	7	52,9	96,8
	8	57,5	96,2
-3,3°C	9	73,2	114
	10	66,5	118
-10°C/ I.	11	70	103
	12	66	103
-10°C/ II.	13	58,5	104
	14	58,5	100

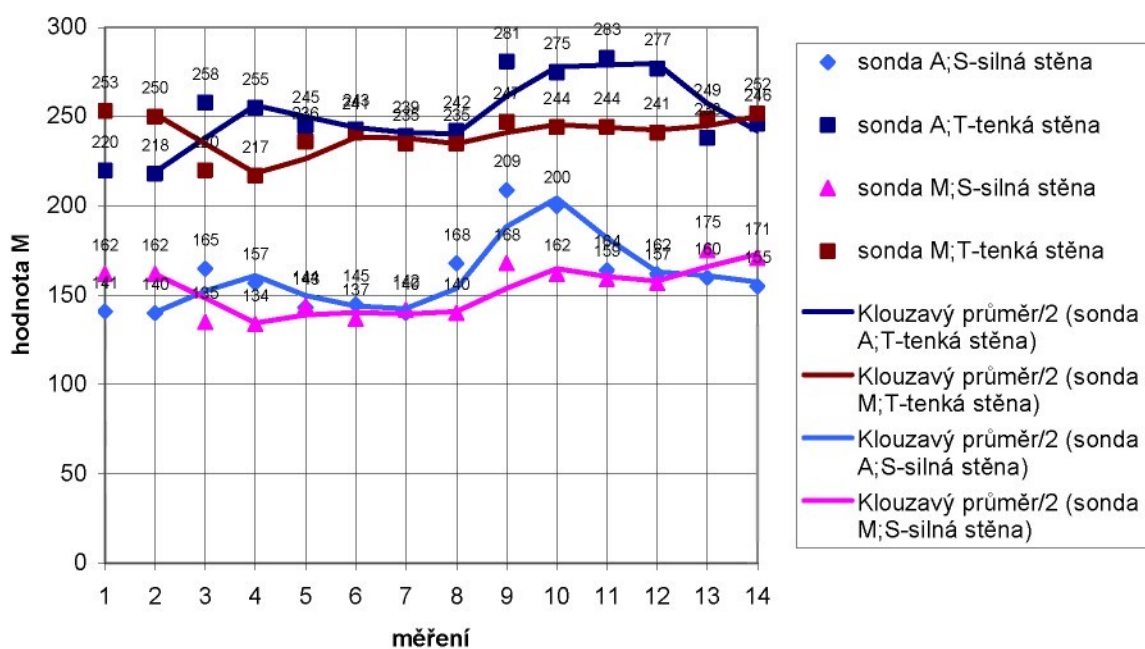
Měření LLG,F;s. M		S	T
měření		hodnota M	hodnota M
30°C/ I.	1	59	118
	2	57,5	119
30°C/ II.	3	55,8	96,5
	4	54,4	102
24°C	5	54,5	104
	6	56,6	95,8
22,4°C	7	55,6	105
	8	54,2	104
0°C	9	51	98,6
	10	55,5	97,9
-10°C/ I.	11	63,2	112
	12	61,2	111
-10°C/ II.	13	67,8	112
	14	66,4	111



Měření LLG,P;s.A		S	T
měření		hodnota M	hodnota M
30°C/ I.	1	141	220
	2	140	218
30°C/ II.	3	165	258
	4	157	255
22,8°C	5	143	245
	6	145	243
21,1°C	7	140	239
	8	168	242
-3,3°C	9	209	281
	10	200	275
-10°C/ I.	11	164	283
	12	162	277
-10°C/ II.	13	160	238
	14	155	246

Měření LLG,P;s.M		S	T
měření		hodnota M	hodnota M
30°C/ I.	1	162	253
	2	162	250
30°C/ II.	3	135	220
	4	134	217
24°C	5	144	236
	6	137	241
22,4°C	7	142	235
	8	140	235
0°C	9	168	247
	10	162	244
-10°C/ I.	11	159	244
	12	157	241
-10°C/ II.	13	175	249
	14	171	252

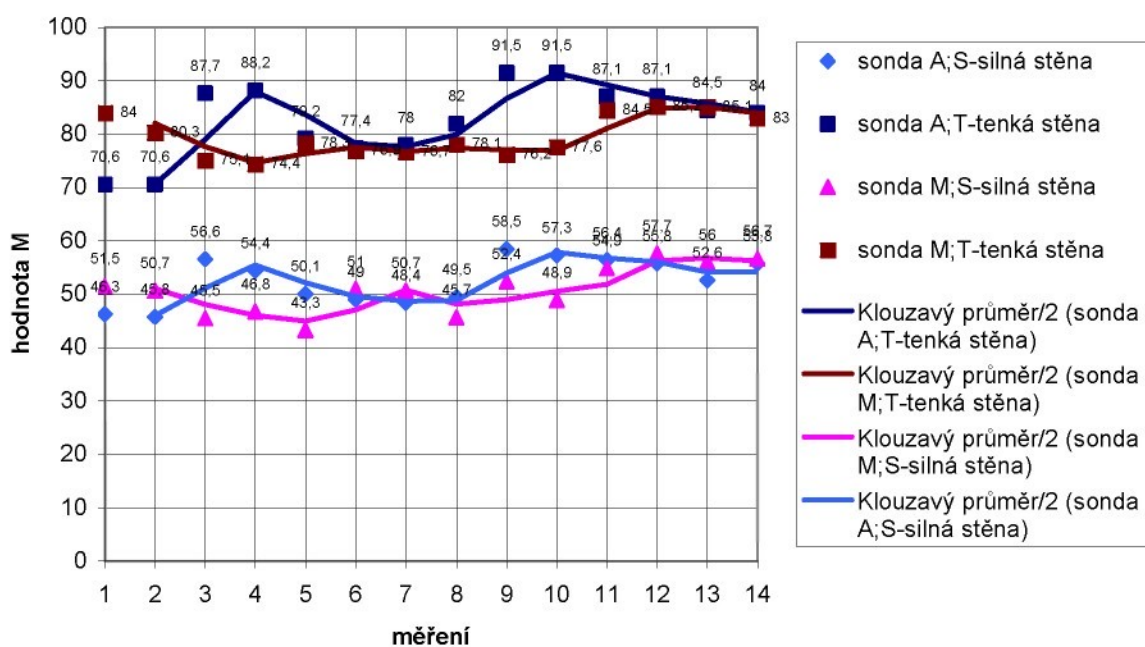
Teplotní citlivost;DOMENA B3;rovnání sond A a M;LLG,P



Měření LKG,F;s.A		S	T
měření		hodnota M	hodnota M
30°C/ I.	1	46,3	70,6
	2	45,8	70,6
30°C/ II.	3	56,6	87,7
	4	54,4	88,2
22,8°C	5	50,1	79,2
	6	49	77,4
21,1°C	7	48,4	78
	8	49,5	82
-3,3°C	9	58,5	91,5
	10	57,3	91,5
-10°C/ I.	11	56,4	87,1
	12	55,8	87,1
-10°C/ II.	13	52,6	84,5
	14	55,8	84

Měření LKG,F;s.M		S	T
měření		hodnota M	hodnota M
30°C/ I.	1	51,5	84
	2	50,7	80,3
30°C/ II.	3	45,5	75,1
	4	46,8	74,4
24°C	5	43,3	78,3
	6	51	76,9
22,4°C	7	50,7	76,7
	8	45,7	78,1
0°C	9	52,4	76,2
	10	48,9	77,6
-10°C/ I.	11	54,9	84,5
	12	57,7	85,2
-10°C/ II.	13	56	85,1
	14	56,7	83

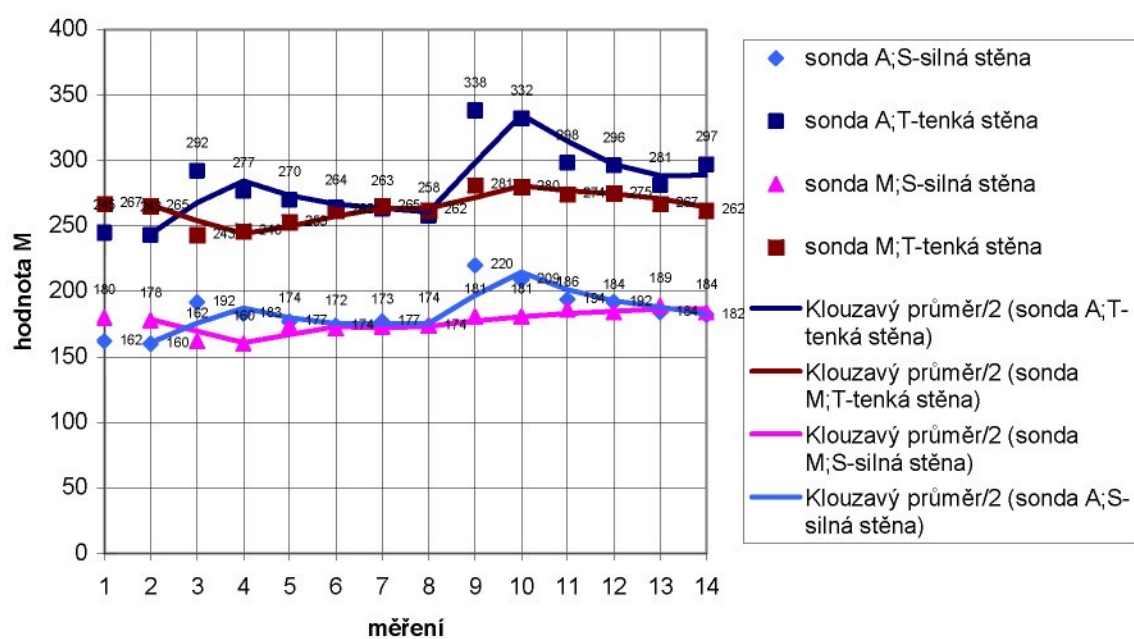
Teplotní citlivost;DOMENA B3;rovnání sond A a M;LKG,F



Měření LKG,P;s.A		S	T
měření		hodnota M	hodnota M
30°C/ I.	1	162	245
	2	160	243
30°C/ II.	3	192	292
	4	183	277
22,8°C	5	177	270
	6	174	264
21,1°C	7	177	263
	8	174	258
-3,3°C	9	220	338
	10	209	332
-10°C/ I.	11	194	298
	12	192	296
-10°C/ II.	13	184	281
	14	182	297

Měření LKG,P;s.M		S	T
měření		hodnota M	hodnota M
30°C/ I.	1	180	267
	2	178	265
30°C/ II.	3	162	243
	4	160	246
24°C	5	174	253
	6	172	262
22,4°C	7	173	265
	8	174	262
0°C	9	181	281
	10	181	280
-10°C/ I.	11	186	274
	12	184	275
-10°C/ II.	13	189	267
	14	184	262

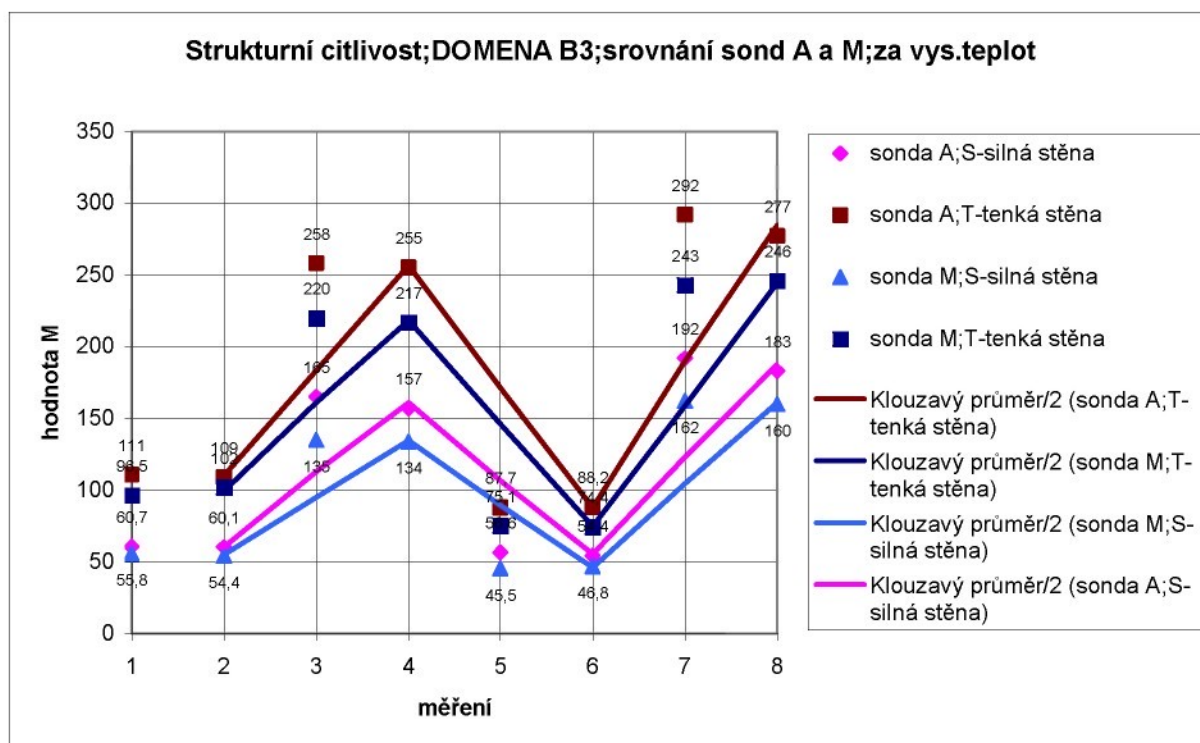
Teplotní citlivost;DOMENA B3;rovnání sond A a M;LKG,P



Příloha 9 – srovnání sond A a M, strukturní citlivost

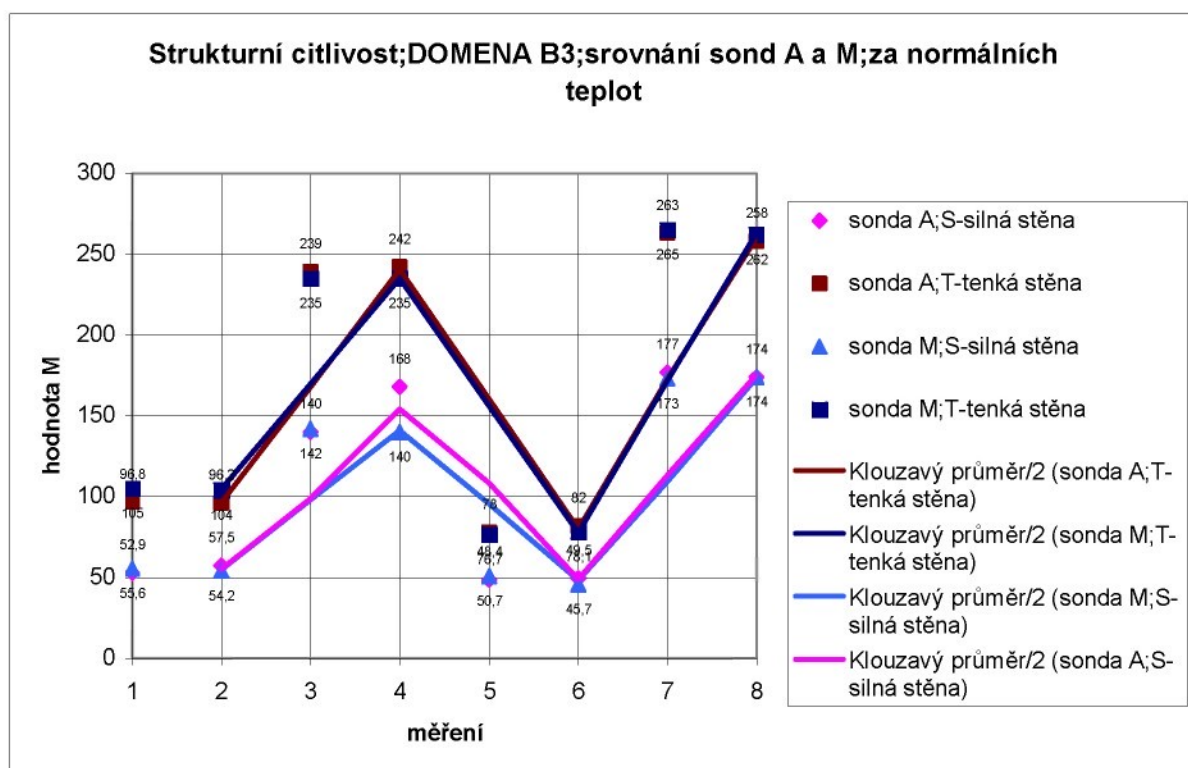
Měření 30°C/ II.		S	T
A	měření	hodnota M	hodnota M
LLG,F	1	60,7	111
	2	60,1	109
LLG,P	3	165	258
	4	157	255
LKG,F	5	56,6	87,7
	6	54,4	88,2
LKG,P	7	192	292
	8	183	277

Měření 30°C/ II.		S	T
M	měření	hodnota M	hodnota M
LLG,F	1	55,8	96,5
	2	54,4	102
LLG,P	3	135	220
	4	134	217
LKG,F	5	45,5	75,1
	6	46,8	74,4
LKG,P	7	162	243
	8	160	246



Měření 21,1°C		S T	
A	měření	hodnota M	hodnota M
LLG,F	1	52,9	96,8
	2	57,5	96,2
LLG,P	3	140	239
	4	168	242
LKG,F	5	48,4	78
	6	49,5	82
LKG,P	7	177	263
	8	174	258

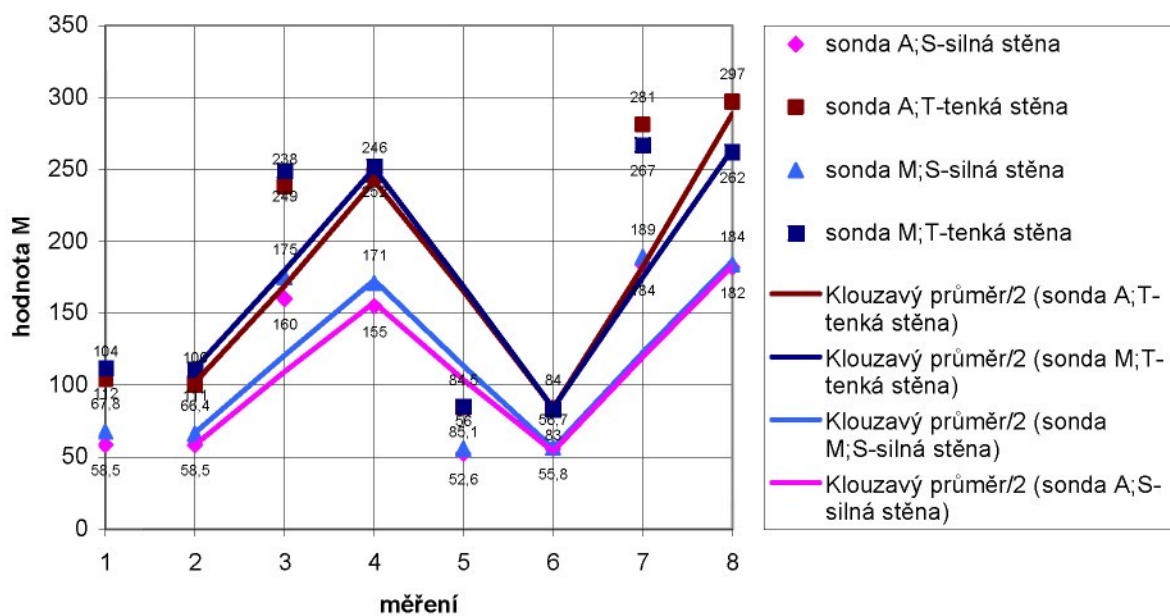
Měření 22,4°C		S T	
M	měření	hodnota M	hodnota M
LLG,F	1	55,6	105
	2	54,2	104
LLG,P	3	142	235
	4	140	235
LKG,F	5	50,7	76,7
	6	45,7	78,1
LKG,P	7	173	265
	8	174	262



Měření -10°C/ II.		S	T
A	měření	hodnota M	hodnota M
LLG,F	1	58,5	104
	2	58,5	100
LLG,P	3	160	238
	4	155	246
LKG,F	5	52,6	84,5
	6	55,8	84
LKG,P	7	184	281
	8	182	297

Měření -10°C/ II.		S	T
M	měření	hodnota M	hodnota M
LLG,F	1	67,8	112
	2	66,4	111
LLG,P	3	175	249
	4	171	252
LKG,F	5	56	85,1
	6	56,7	83
LKG,P	7	189	267
	8	184	262

Strukturní citlivost;DOMENA B3;rovnání sond A a M;za nízkých teplot



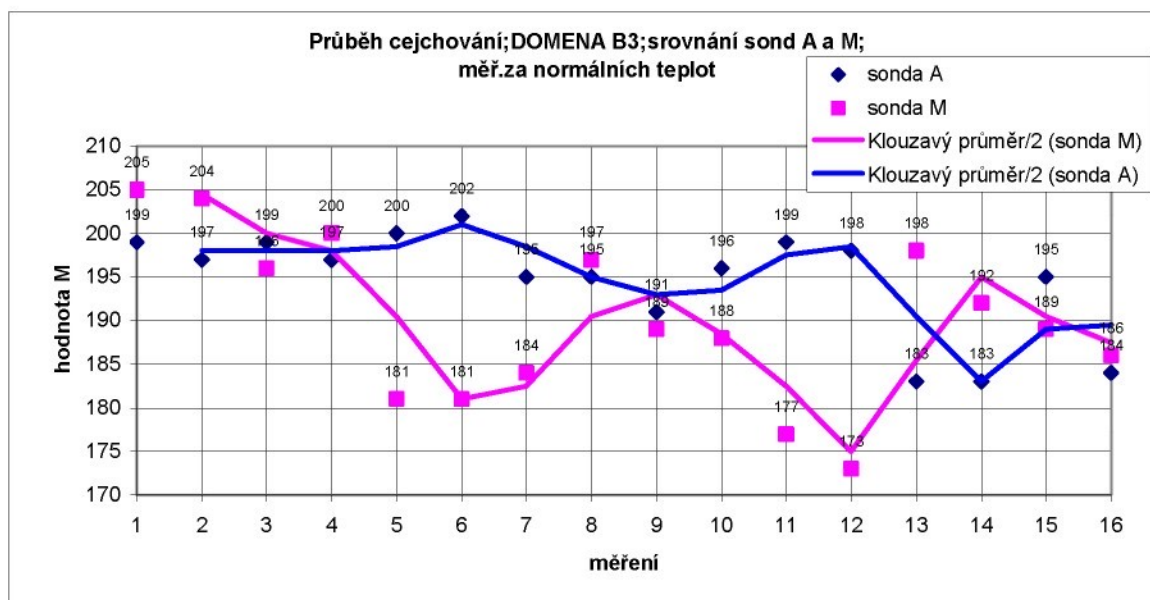
Příloha 10 – srovnání sond A a M, průběh cejchování

Průběh měření cejchu při testu za 22,4°C

A	měř	hodnota
LLG,F,S	1	199
	2	197
	3	199
	4	197
LLG,P,S	5	200
	6	202
LLG,P,T	7	195
	8	195
LKG,F,S	9	191
	10	196
LKG,F,T	11	199
	12	198
LKG,P,S	13	183
	14	183
LKG,P,T	15	195
	16	184

Průběh měření cejchu při testu za 21,1°C

M	měř	hodnota
LLG,F,S	1	205
	2	204
	3	196
	4	200
LLG,P,S	5	181
	6	181
LLG,P,T	7	184
	8	197
LKG,F,S	9	189
	10	188
LKG,F,T	11	177
	12	173
LKG,P,S	13	198
	14	192
LKG,P,T	15	189
	16	186

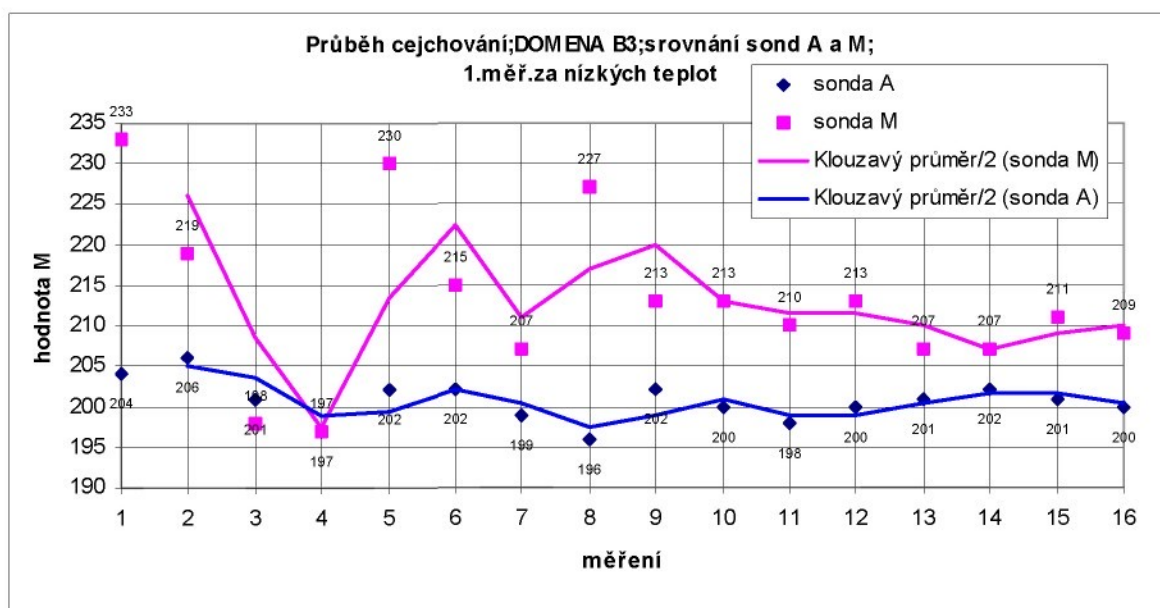


Průběh měření cejchu při 1. testu za -10°C

A	měř	hodnota
LLG,F,S	1	204
	2	206
	3	201
	4	197
LLG,F,T	5	202
	6	202
LLG,P,S	7	199
	8	196
LKG,F,S	9	202
	10	200
LKG,F,T	11	198
	12	200
LKG,P,S	13	201
	14	202
LKG,P,T	15	201
	16	200

Průběh měření cejchu při 1. testu za -10°C

M	měř	hodnota
LLG,F,S	1	233
	2	219
	3	198
	4	197
LLG,F,T	5	230
	6	215
LLG,P,S	7	207
	8	227
LKG,F,S	9	213
	10	213
LKG,F,T	11	210
	12	213
LKG,P,S	13	207
	14	207
LKG,P,T	15	211
	16	209

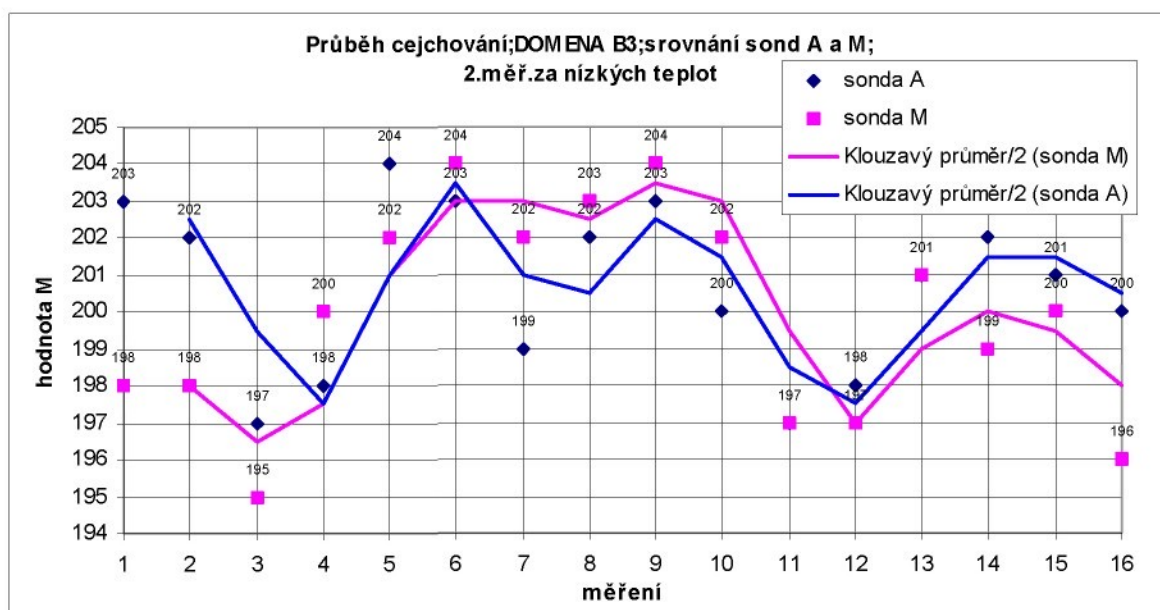


Průběh měření cejchu při 2. testu za -10°C

A	měř	hodnota
LLG,F,S	1	203
	2	202
	3	197
	4	198
LLG,F,T	5	204
	6	203
LLG,P,S	7	199
	8	202
LKG,F,S	9	203
	10	200
LKG,F,T	11	197
	12	198
LKG,P,S	13	201
	14	202
LKG,P,T	15	201
	16	200

Průběh měření cejchu při 2. testu za -10°C

M	měř	hodnota
LLG,F,S	1	198
	2	198
	3	195
	4	200
LLG,F,T	5	202
	6	204
LLG,P,S	7	202
	8	203
LKG,F,S	9	204
	10	202
LKG,F,T	11	197
	12	197
LKG,P,S	13	201
	14	199
LKG,P,T	15	200
	16	196

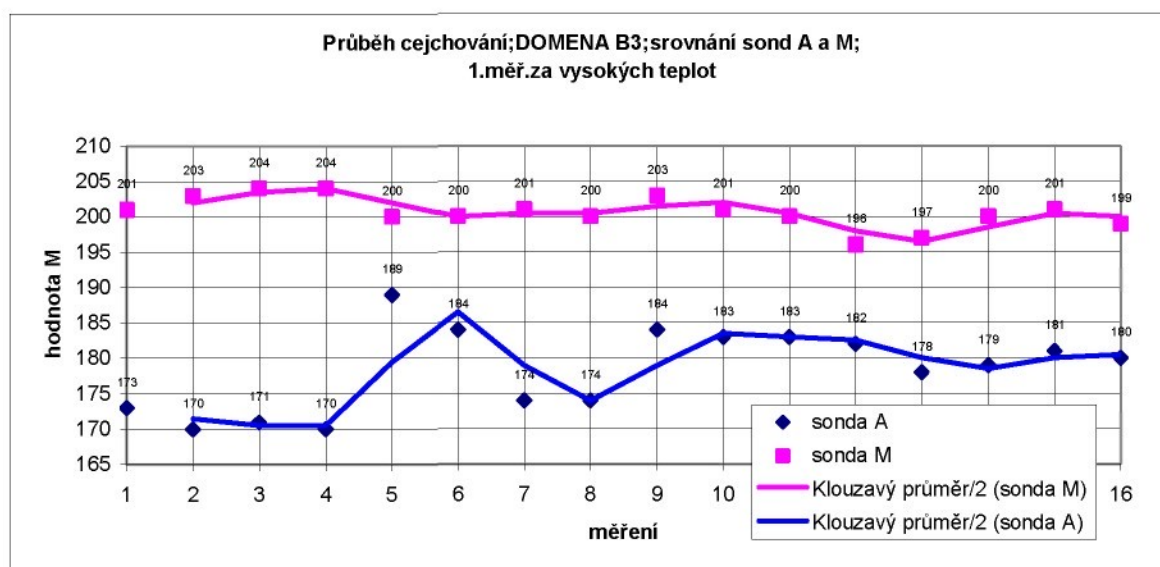


Průběh měření cejchu při 1. testu za 30°C

A	měř	hodnota
LLG,F,S	1	173
	2	170
	3	171
	4	170
LLG,F,T	5	189
	6	184
LLG,P,S	7	174
	8	174
LKG,F,S	9	184
	10	183
LKG,F,T	11	183
	12	182
LKG,P,S	13	178
	14	179
LKG,P,T	15	181
	16	180

Průběh měření cejchu při 1. testu za 30°C

M	měř	hodnota
LLG,F,S	1	201
	2	203
	3	204
	4	204
LLG,F,T	5	200
	6	200
LLG,P,S	7	201
	8	200
LKG,F,S	9	203
	10	201
LKG,F,T	11	200
	12	196
LKG,P,S	13	197
	14	200
LKG,P,T	15	201
	16	199

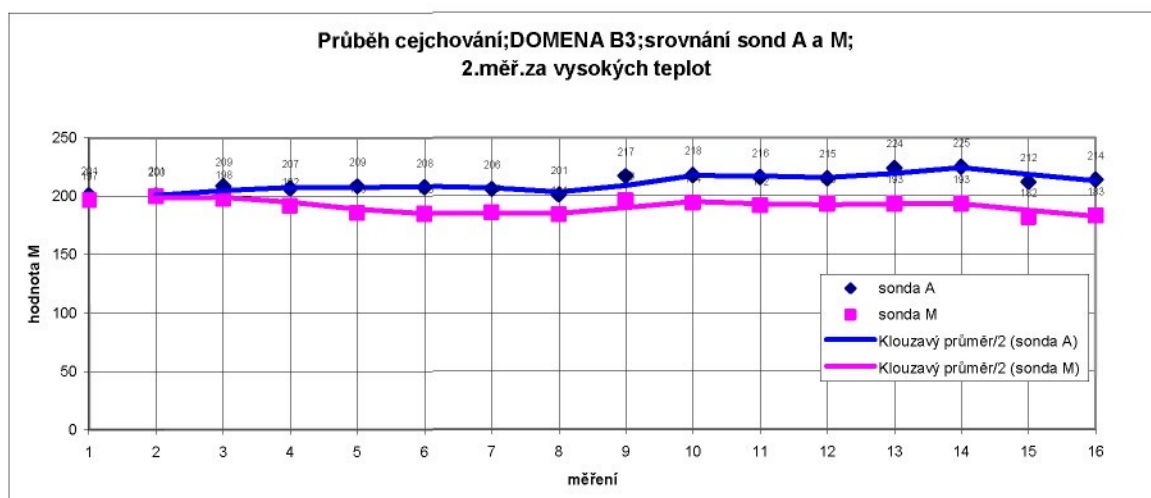


Průběh měření cejchu při 2. testu za 30°C

A	měř	hodnota
LLG,F,S	1	201
	2	201
	3	209
	4	207
	5	209
	6	208
	7	206
	8	201
LKG,F,S	9	217
	10	218
LKG,F,T	11	216
	12	215
LKG,P,S	13	224
	14	225
LKG,P,T	15	212
	16	214

Průběh měření cejchu při 2. testu za 30°C

M	měř	hodnota
LLG,F,S	1	197
	2	200
	3	198
	4	192
	5	186
	6	185
	7	186
	8	184
LKG,F,S	9	196
	10	194
LKG,F,T	11	192
	12	193
LKG,P,S	13	193
	14	193
LKG,P,T	15	182
	16	183



Prohlášení

Byla jsem seznámena s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci, nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo požadovat ode mne úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

26. května 2006

Podpis:

Zuzana Andršová

Bakalářská práce

Vliv teplot na měření magnetickým bodovým pólem



Zuzana Andršová

1. Úvod

Práce se zaměřuje na **vlivy teplot při měření magnetickým bodovým pólem**, což je jedna z nedestruktivních metod zkoušení materiálů, konkrétně při použití v ČR rozšířených strukturoskopů **DOMENA** fy Elkoso, s r.o., Brno.

Vyhodnocuje působení vysokých i nízkých teplot, **srovnává** tato měření s měřeními při standardních teplotách a při použití různých sond.

Naznačuje možná **řešení** v podobě **kompensace** těchto **vlivů** pomocí dostupných **opatření** a vymezuje **rozsah použitelnosti** zkoušených zařízení.

2. Metoda magnetického bodového pólu

Princip magnetické metody bodového pólu spočívá v tom, že **je měřena intenzita vzniklého magnetického pole těsně po předchozím zmagnetování materiálu pod příložnou sondou** měřicího přístroje.

Velikost změřené intenzity magnetického pole **souvisí se strukturou** tohoto materiálu.

Pro feromagnetické oceli a litiny jsou char.
bloky stejně orientovaných atomů – tzv.
domény (subzrna krystalické struktury).

Působením vnějšího magnetického pole se domény skokově orientují ve směru magnetického pole.

Pokud vnější magnetické **pole pomine**,
domény se vrací do původní orientace a do magneticky neutrálního stavu.

Poruchy krystalové **mřížky** (dislokace) a **překážky** (atomy uhlíku, cementit a martenzit) tomuto **návratu brání**.

Proto si **železo, obsahující karbidy nebo martenzit**, ponechá **zbytkový magnetismus** a jeví se jako permanentní magnet.

Tyto **strukturální složky**, které jsou tedy **magneticky tvrdé**, jsou i **mechanicky tvrdé**.

Metodou magnetického bodového pólu tak lze měřit u feromagnetických materiálů **tvrdost, pevnost a hloubku prokalení**.

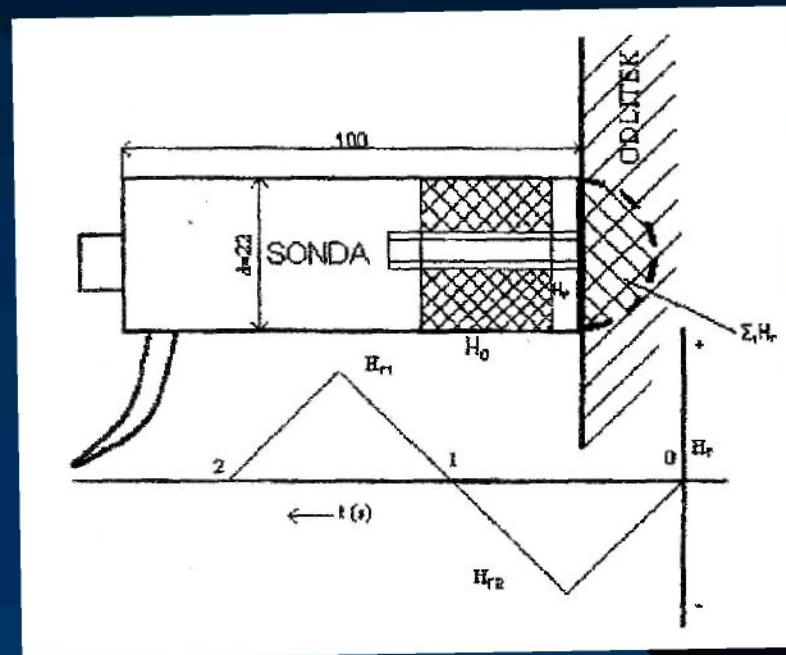
Vliv na měření má kromě teplot ještě:

- tloušťka materiálu – projevuje se zde **okrajový efekt**,
- u litin **tvar grafitu**,
- u všech materiálů **stav povrchu** (otryskat, oxidy Fe magnetické),
- **stupeň magnetizace** (s rostoucí magnetizací roste přesnost měření),
- **předchozí zmagnetování materiálu** (naměřená hodnota je po 1. magnetování vyšší).

Sonda (viz obr.1) obsahuje dva systémy:

magnetizační cívku , jež vytváří silné magnetické pole, které zmagnetuje feromagnetickou kovovou hmotu pod ní

a **snímač** intenzity slabého magnetického pole (tímto snímačem bývá Hallův snímač).



Obr.1 Sonda pro měření magnetickým bodovým pólem

Strukturoskop DOMENA (viz obr.2) je přenosný bateriový přístroj, který na jedno nabití provede cca 600 měření v běžném režimu (měření trvá asi 3 vteřiny).

Přístroj při měření ukazuje **hodnotu M [A/m] zbytkového magnetismu** feromagnetické matrice materiálu, po zadání **konstant A a B** příslušného materiálu pak **přímo tvrdost HB.**

Platí vztah: **$HB = A \cdot M + B$** .

Před měřením (souborem měření na 1 typu odlitku) se přístroj **kalibruje** pomocí **cejchovního kamene** hodnoty **M_c** , příslušného ke konkrétnímu přístroji.



Obr.2: Strukturoskop DOMENA

3. Měření

3.1 Postup měření

Jako **vzorky** byly použity 2 odlitky z litiny s lupínkovým grafitem (**LLG**) a 2 z litiny s kuličkovým grafitem (**LKG**).

Vždy jeden vzorek měl matrici feritickou (**F**) a jeden perlitickou (**P**),dosaženou TZ.

Vzorky byly ve tvaru **desek s vyfrézovanými stupni** ,k měření byla použita **vždy nejmenší a největší tloušťka**.

Tvrlosti: LLG,F – 137 HB; LLG,P – 223 HB;
LKG,F – 168 HB; LKG,P – 270 HB .

Při každém měření byla měřena **silná stěna (S)** a **tenká stěna (T)** každého vzorku, vždy **dvakrát**. Mezi tím byl **pokaždé přeměřen cejchovní kámen**.

Měření byla prováděna se **dvěma přístroji - DOMENA B2 a DOMENA B3**, ten měl navíc pro porovnání **dvě různé sondy A a M**.

Teplotní podmínky jednotlivých měření byly voleny tak, aby byly pokryty pokud možno všechny případné aplikace, **od měření na mrazu až po měření v horku** na prudkém slunci.

Každý soubor měření při nestandardní teplotě byl prováděn **dvakrát** – nejprve **s kalibrací přístroje za normální teploty** a poté **s kalibrací až po temperování** přístroje, sondy i cejchovního kamene na teplotu prostředí, resp. vzorků.

3.2 Naměřené hodnoty

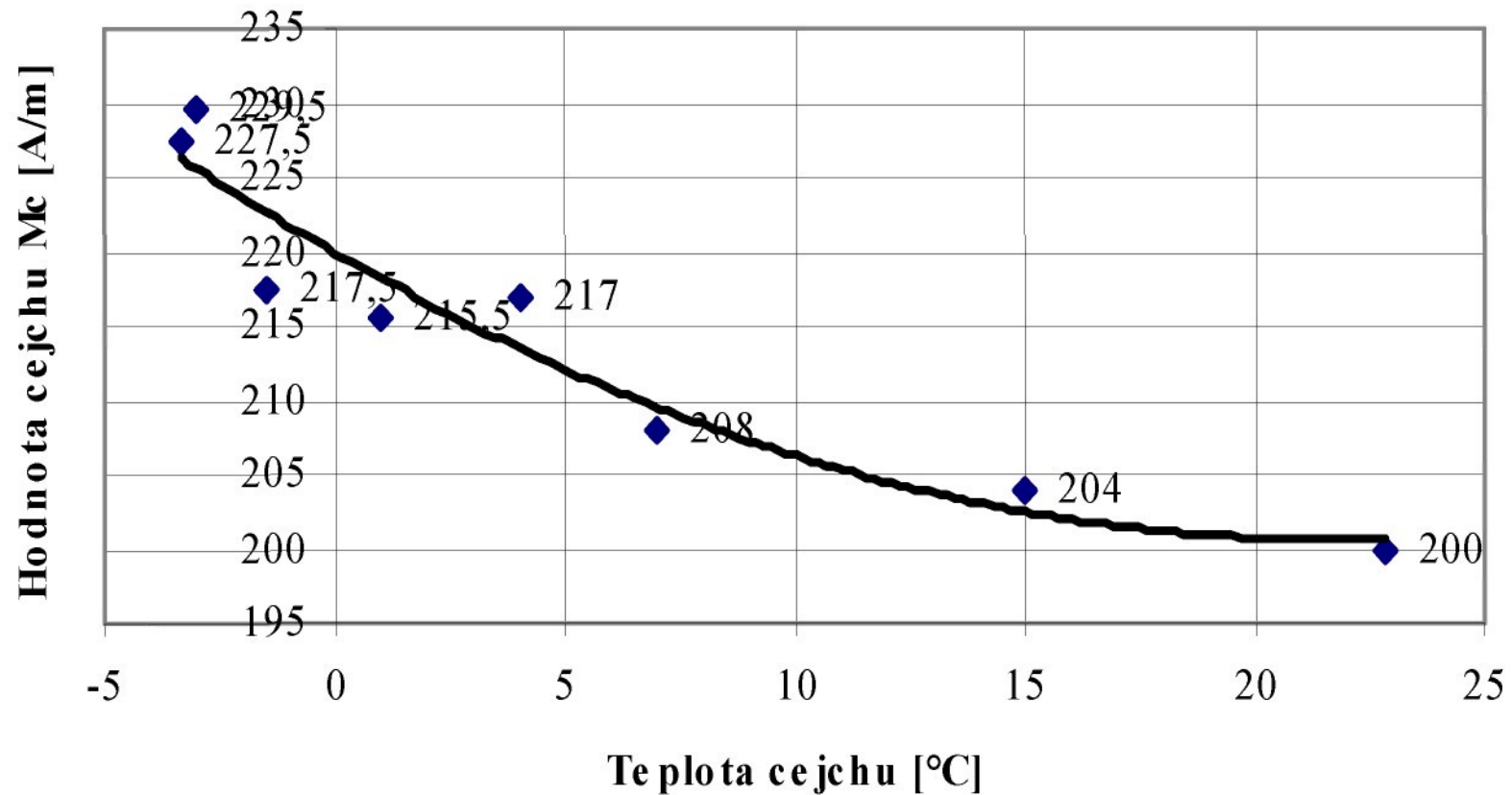
V průběhu měření bylo zjištěno, že **extrémní teploty** mají při měření **vliv pouze na sondy**, nikoliv na přístroj samotný.

Za nízkých teplot byly naměřeny **hodnoty M výrazně vyšší**, než při měření za normálních teplot (až o 35 % sonda A a 16 % sonda M DOMENY B3, 10 % sonda DOMENY B2).

Nezáleží přitom, zda je teplota hluboko nebo jen mírně pod bodem mrazu.

Růst hodnot M s klesající teplotou je dobře patrný **na průběhu temperování** (viz obr.3).

Temperování z 22,8°C na -3,3°C;
DOMENA B3, sonda A; Mc=200



Obr.3 Průběh temperování

Malý, ale nezanedbatelný **vliv** na hodnoty při měření za nízkých teplot má i **postupné ohřátí sondy od rukou v průběhu měření** (i více než 20°C).

Hodnoty, naměřené až **po kalibraci** za nízkých teplot byly **zvýšeny jen mírně** (max. o 10 % všechny sondy).

Za vysokých teplot byl zaznamenán **pokles hodnot** až o 15 % **u sondy A** (po kalibraci po temperování vzrůst max. o 9%),
mírné **kolísání hodnot u sondy M**
a **pokles hodnot** až o 7 % **u sondy DOMENY B2** (temperování před kalibrací zde nemělo vliv).

Důležitou **roli** přitom **nehraje** ani tak samotná **teplota prostředí** (cca 30°C), **jako teplota** měřených **vzorků** (40-50 °C), resp. teplota sondy, která se od nich v průběhu měření ohřívá .

Odchyly měření M při nestandardních teplotách - DOMENA B3, sonda A

Podmínky měření	LLG,F		LLG,P		LKG,F		LKG,P	
	S	T	S	T	S	T	S	T
30°C/I.	-6,4	7	-3	-25	-2,7	-8,6	-14	-21
30°C/II.	1,5	11	14	12	7,6	9	9	13
22,8°C	59,2	98	143	243	49	79,2	174	264
-10°C/I.	10,8	5	21	40	6,8	7,9	20	34
-10°C/II.	-0,7	2	12	3	3,6	5,3	8	17

I. - kalibrace za normálních teplot; II. - kalibrace po temperování S - silná stěna; T - tenká stěna

I. - kalibrace za normálních teplot; II. - kalibrace po temperování S - silná stěna; T - tenká stěna

Odchyly měření M při nestandardních teplotách - DOMENA B3, sonda M

Podmínky měření	LLG,F		LLG,P		LKG,F		LKG,P	
	S	T	S	T	S	T	S	T
30°C/I.	3	15	18	14	0,5	2	4	12
30°C/II.	1,3	-2	-9	-16	-4,2	-3,2	6	-7
24°C	54,5	104	144	236	51	78,3	174	253
-10°C/I.	13,3	8	15	8	6,7	6,9	12	22
-10°C/II.	11,9	7	27	13	5	4,7	10	9

I. - kalibrace za normálních teplot; II. - kalibrace po temperování S - silná stěna; T - tenká stěna

I. - kalibrace za normálních teplot; II. - kalibrace po temperování S - silná stěna; T - tenká stěna

Odchyly měření M při nestandardních teplotách - DOMENA B2

Podmínky měření	LLG,F		LLG,P		LKG,F		LKG,P	
	S	T	S	T	S	T	S	T
30°C/I.	-3,3	-3	-12	-1	0,1	-1,1	-10	-9
30°C/II.	0,7	-8,7	-11	-15	0,9	-1,9	-7	-9
23°C	66,6	108	168	257	56,2	85,6	188	279
-10°C/I.	5,5	12	31	35	7,2	11,9	25	36
-10°C/II.	1,1	1	5	0	11,3	-0,4	3	0

I. - kalibrace za normálních teplot; II. - kalibrace po temperování S - silná stěna T - tenká stěna

I. - kalibrace za normálních teplot; II. - kalibrace po temperování S - silná stěna T - tenká stěna

3.3 Závěr

Měření v extrémních teplotách v některých případech značně ovlivňuje výsledky.

Fyzikální příčinou by mohla být **polovodičová konstrukce Hallova snímače** v sondě (viz polovodiče mění v urč. teplotních rozmezích svůj el. odpor).

Vlivy se mění podle jednotlivých měřících **zařízení**, všeobecné trendy lze předpokládat jen zhruba. **Pro zpřesnění** měření přístroji DOMENA v nestandardních podmínkách **lze doporučit** pouze **kalibraci** přístrojů **až po** důkladném **temperování** na teplotu následného měření.