

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Přesné magnetické snímače a jejich aplikace

Aplikace v lékařské technice

A. Platil (ČVUT v Praze)

Tato prezentace je spolufinancována Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.



- Dva konkrétní příklady výzkumu
 - Magnetopneumografie
 - Cíle
 - Použití gradiometrů
 - Použité senzory
 - Interpretace dat
 - Další směry výzkumu
 - Měření objemu žaludku
 - Metoda měření a výsledky



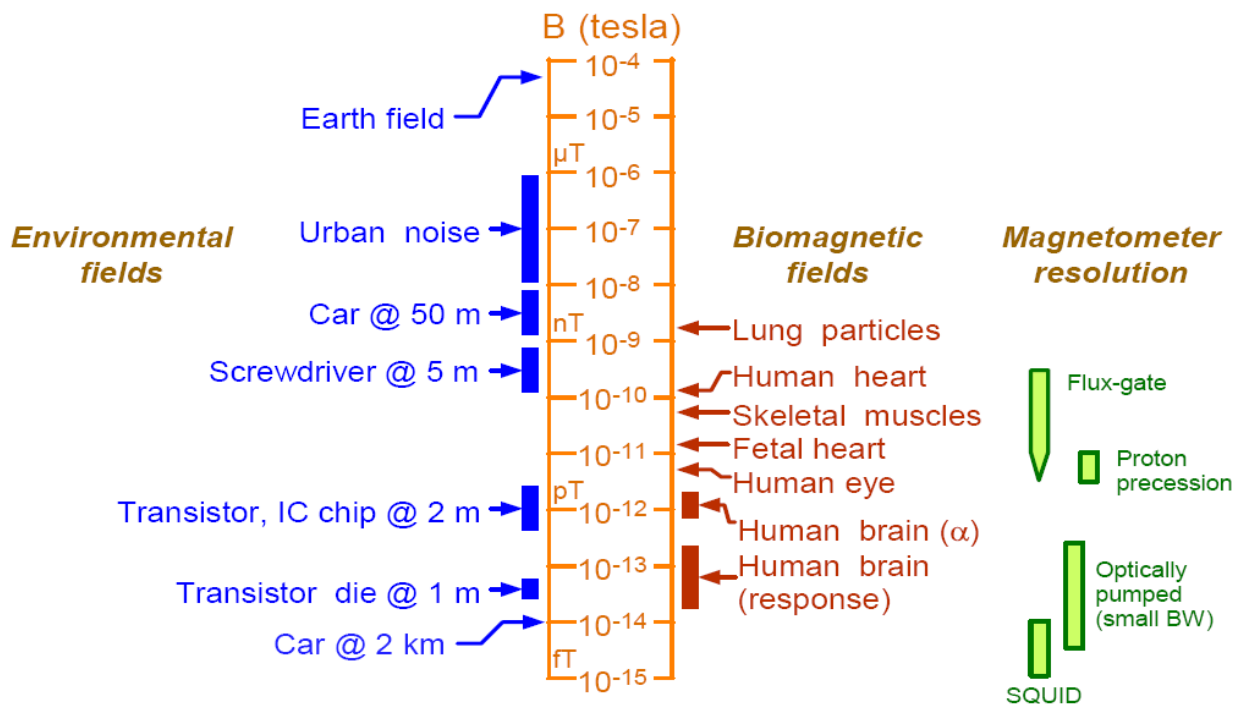
Magnetopneumografie

- Vyšetření zaprášení plic mag. prachem
- 1970s – D. Cohen (stínění + SQUID)
- Kovoprůmysl - brusiči, svářeči
- Postup:
 - Magnetizace v DC poli
 - Změření remanentního pole plic
 - Určení množství a rozmístění prachu v plicích

D. Cohen, Measurements of the magnetic fields produced by the human heart, brain and lungs, IEEE Trans. Mag., Vol. MAG-11, No. 2 (Mar. 1975), 694-700



Biomagnetická pole



Obr.: A.I. Braginski, prezentace na CNRS autumn school 2007



Magnetické pole Země

- Globálně: přibližně dipólový charakter
- Lokálně: převážně homogenní
 - Gradient $< 25\text{pT/m}$
 - Dlouhodobé variace $< 25\text{nT/rok}$
 - Variace převážně homogenní (bez gradientu)



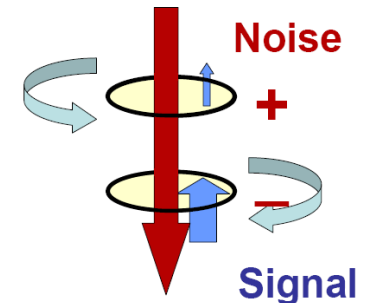
Gradient – potlačení h. rušení

Definice

x

zjednodušení (pouze vertikální složka):

$$\text{grad}B = \frac{B_z(z_2) - B_z(z_1)}{|z_2 - z_1|}$$



V našem případě:

dvě hodnoty pole změřeny nezávisle, odečteny v SW



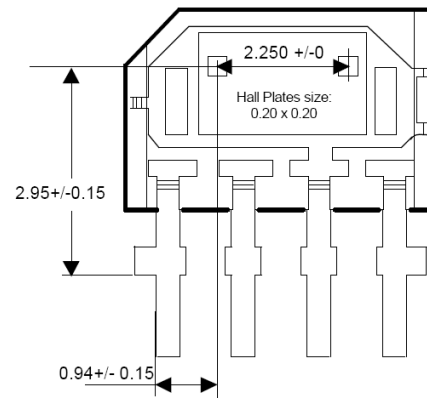
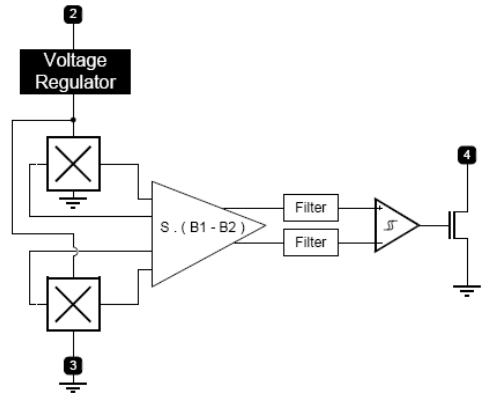
Gradiometrická základna

- Ideálně: $d \rightarrow 0$ (gradient v bodě)
x
- Ale: konečně malá úroveň šumu
+
- Vzájemné ovlivnění FG sond $\Rightarrow d_{\min} 10 \text{ cm}$
(FG se zpětnovazební kompenzací pole)
x
- single-core FG gradiometer



Jen pro ilustraci: Hallové sondy

- + miniaturní rozměry
- nízká citlivost (rozsah +/- 500mT, diff. 6mT)



Obr.: Melexis

Podobně: diferenční GMR sondy NVE (AA00x-02)



Proton/Overhauser mag.

Skalární měření

šum $0.01 \text{ nT}/\sqrt{\text{Hz}}$ @ 1Hz

Nelze v silném gradientu

Použití: archeologie,
prospekce, geologie

Obr.: GEM Systems





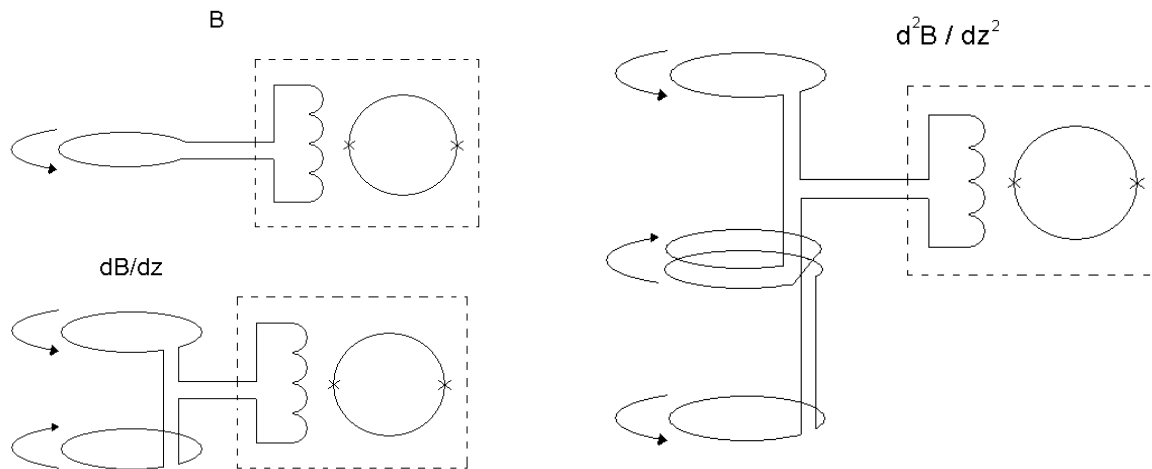
SQUID

+ Nejcitlivější používaný senzor pole

šum $1\text{fT}/\sqrt{\text{Hz}}$ @ 1Hz

Nutnost kryotechniky (4.2K nebo H-Tc 77K)

- Stíněná místnost, nebo gradiometr





Mag. stíněná místnost

DC: několik vrstev materiálu s vysokým μ (permalloy)

AC: 1-2 vrstvy s vysokou vodivostí (Al)

+ potlačení vnějšího pole 1000x i více

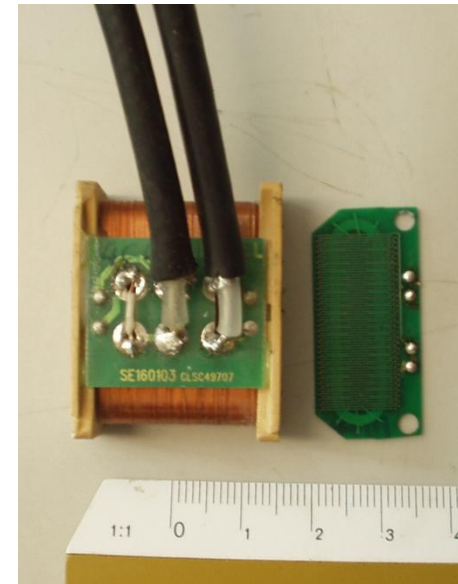
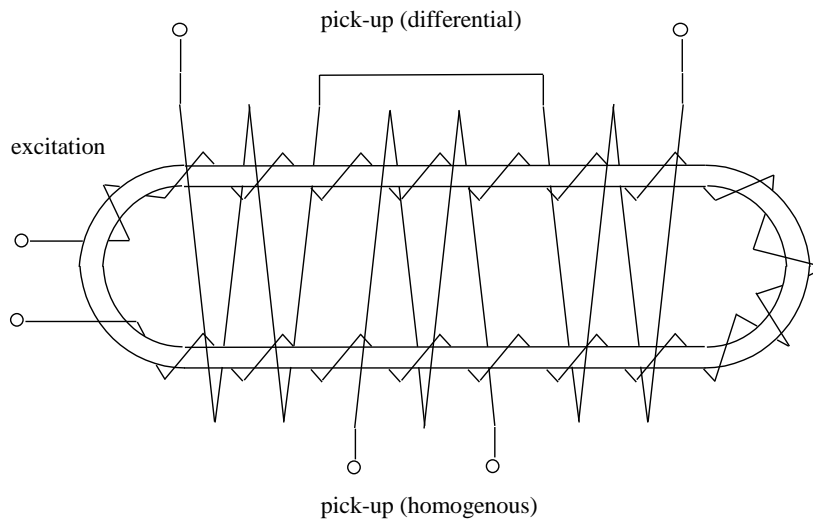
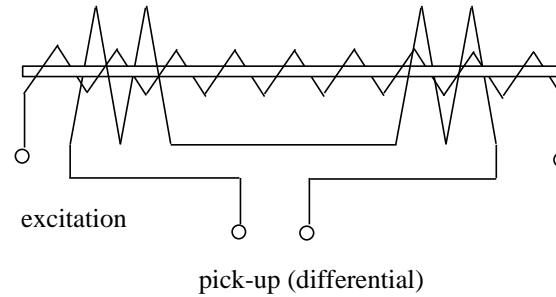
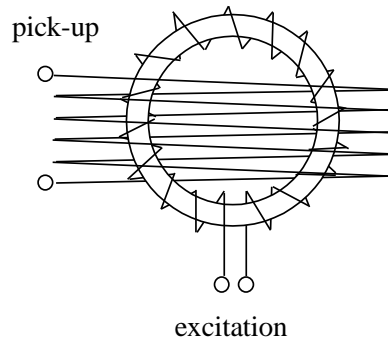
- nákladné



Obr.: Ohtama Co., Ltd.



Fluxgate sondy



25.6.2010

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ





Porovnání FG konstrukcí

Ringcore (prstencová)

+ Šum

+ Stabilní offset

+ Vyvážení

- Demagnetizace

- Citlivost

- Kolmé pole

Rod-core (tyčová)

- Šum

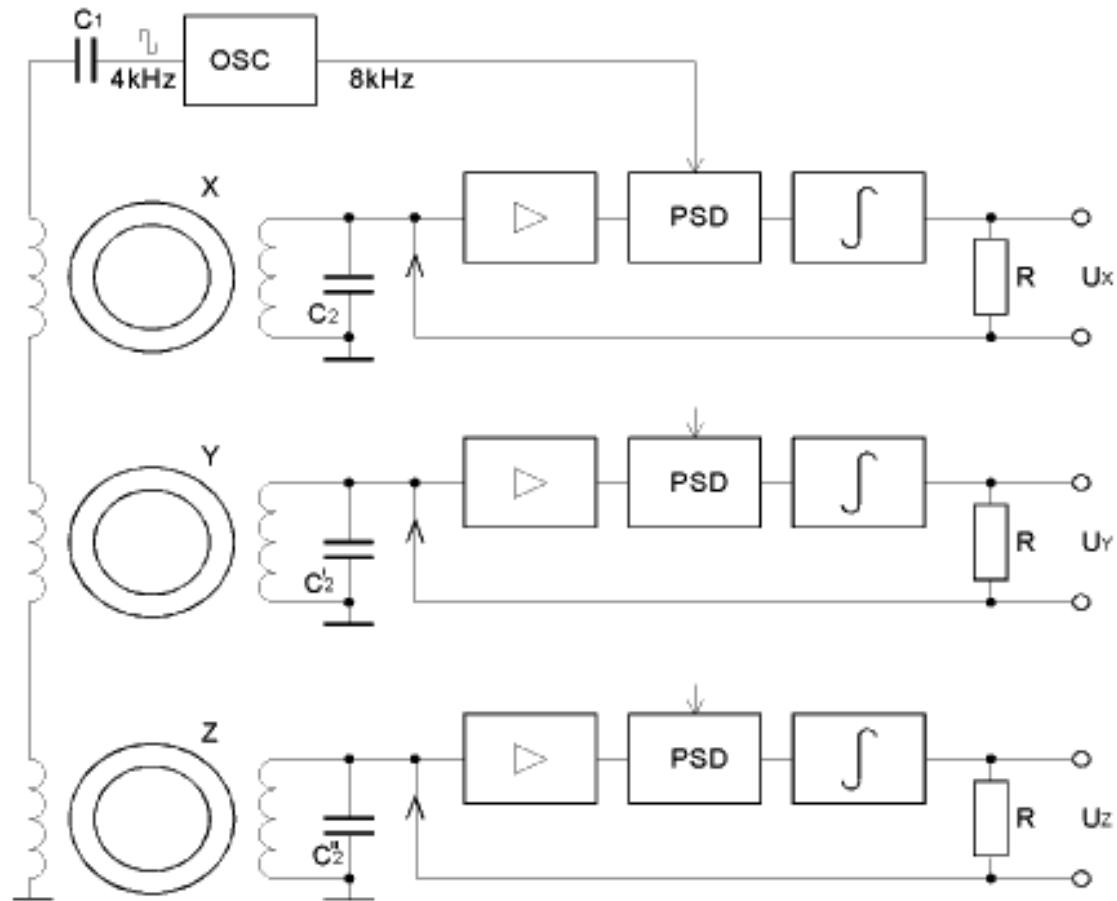
+ Demagnetizace

+ Citlivost

+ Kolmé pole



Magnetometr fluxgate



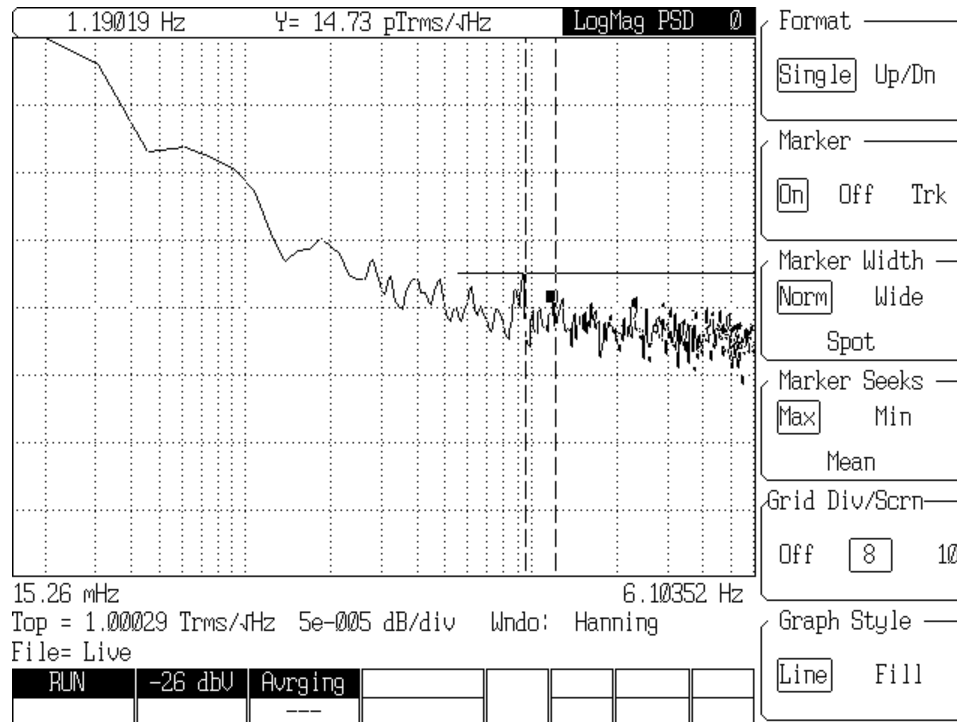
25.6.2010

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ





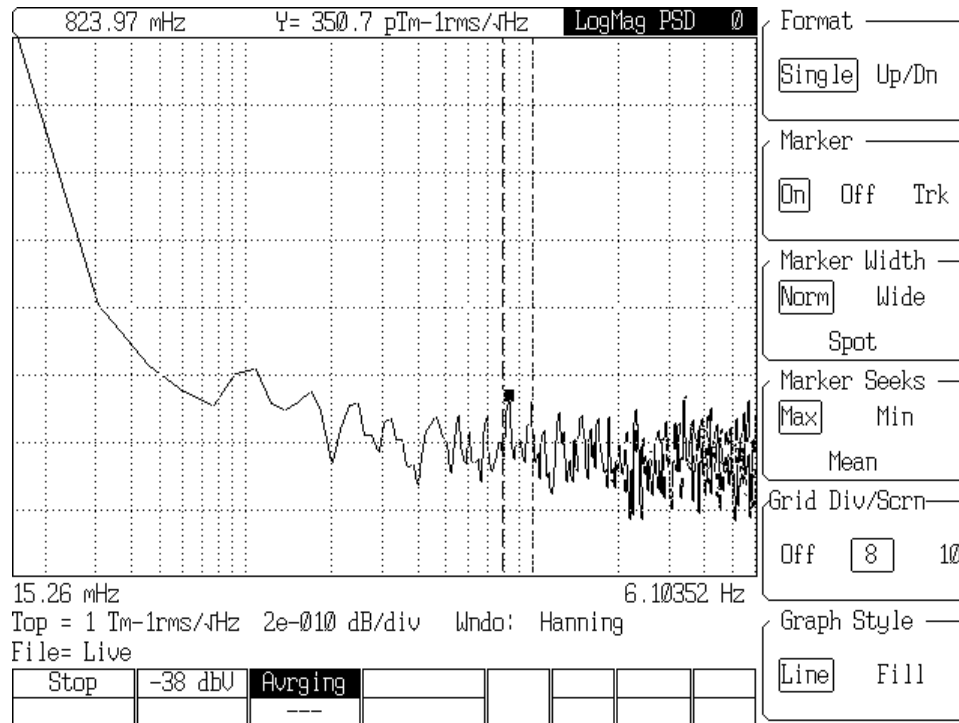
Šum fluxgate magnetometru



Spektrum šumu (PSD) prstencové fluxgate sondy v oblasti nízkých frekvencí. Šum je typu $1/f$, asi $15\text{pT}/\sqrt{\text{Hz}}$ @ 1Hz



Šum fluxgate gradiometru



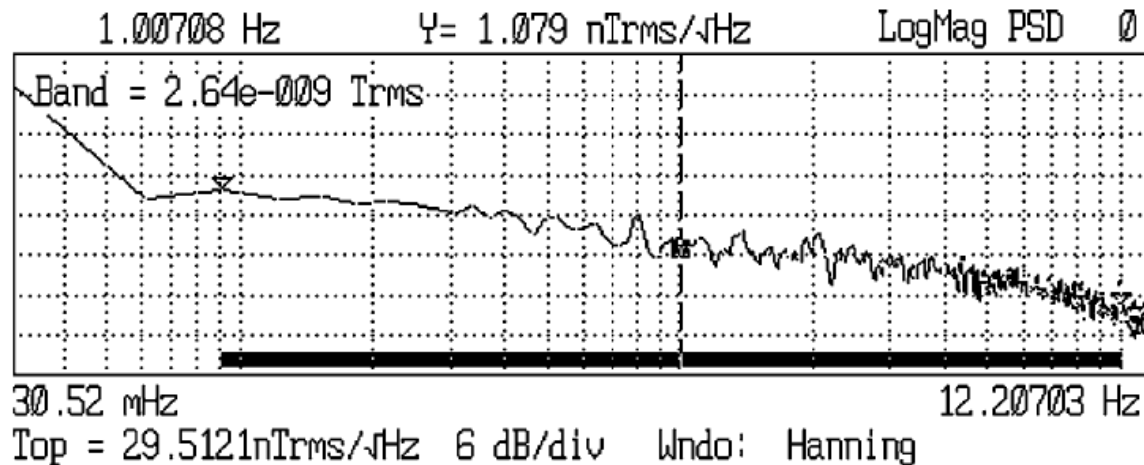
Spektrum šumu (PSD) gradientního signálu ze dvou prstencových sond, základna je 10cm, šum je 350 pT/m/sqrthz at 1Hz.



Analog vs. digital

Dosavadní výsledky výrazně lepší u analog.

- Šum analog. $15\text{pT}/\sqrt{\text{Hz}}$ @ 1Hz
- Šum digitální $1\text{nT}/\sqrt{\text{Hz}}$ @ 1Hz

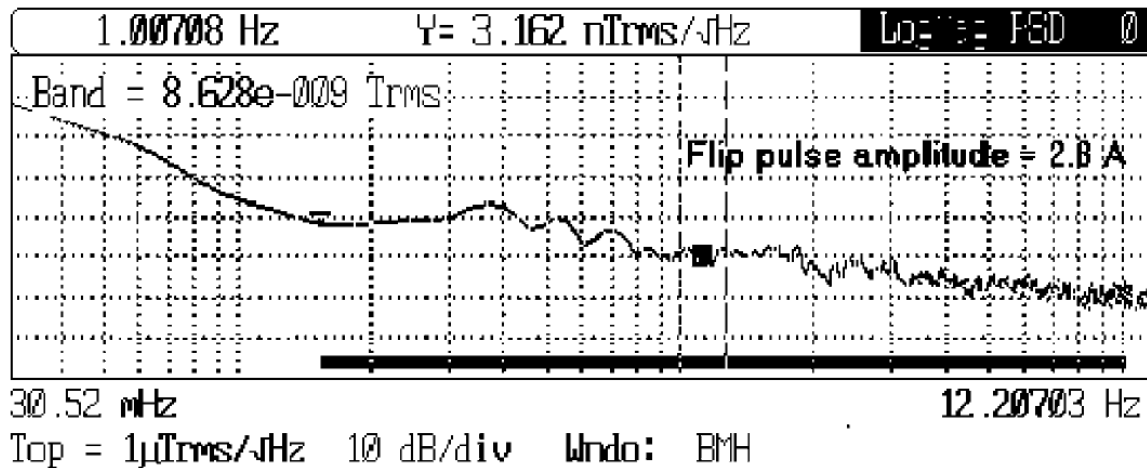


Obr.: Cerman et al.: *Sensors and Actuators A 121* (2005), 421–429



Fluxgate vs. AMR

- + AMR miniaturní (mm AMR x cm Fluxgate)
- ALE: Fluxgate stále výrazně lepší než AMR



Obr.: Vopálenký et al.: *Sensors and Actuators A 106 (2003) 38–42*



Citlivost a potlačení hom. pole

- Kalibrace v gradientním poli H. cívek

$$K_G = 17\text{mV}/(\mu\text{T}/\text{m})$$

- Potlačení homogenní odpovědi (falešný gradient způsobený hom. polem)

$$K_H = 0,035 (\text{T}/\text{m})/\text{T}$$



Magnetování subjektu



Magnetování subjektu (dobrovolníka) v DC poli
Intenzita pole asi 0.2 T (MRI 1.5T - 3T)

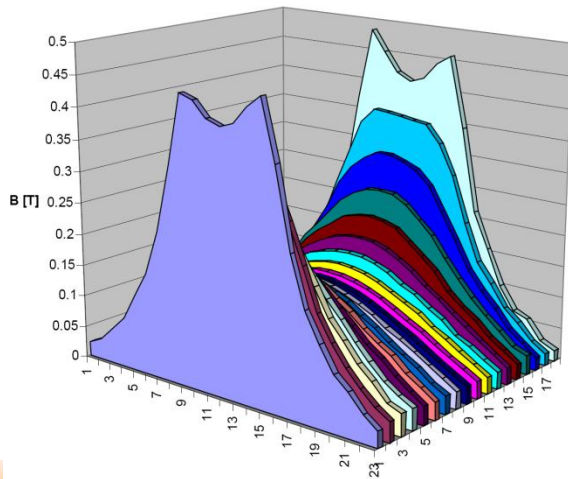
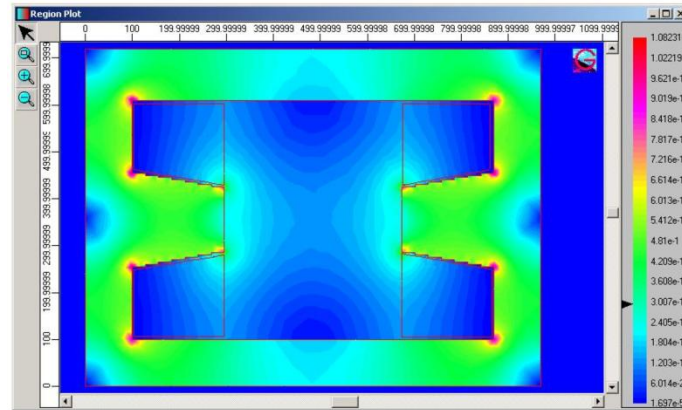
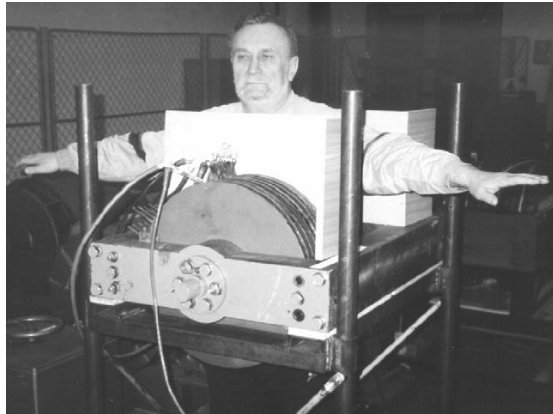
25.6.2010

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ





Magnetování subjektu



Obr.:

Tomek et al.: *Sensors and Actuators A*
132 (2006) 214–217

Hlaváček: *Bakalářská práce, ČVUT 2007*

25.6.2010

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

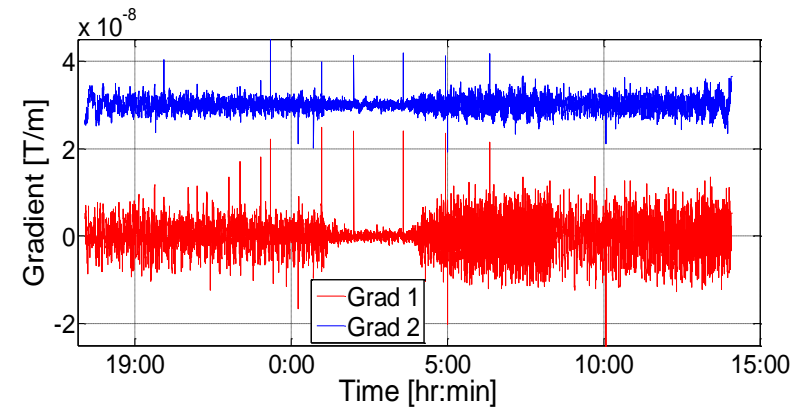




Nemagnetické lůžko



Polohovací lůžko: pohyb v X-Y rovině, magnetometr vertikálně na portálu



Obr: Tomek, Disertační práce, ČVUT v Praze 2009

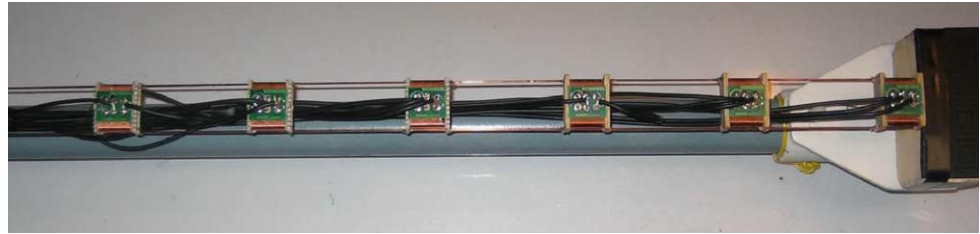
25.6.2010

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ





6-kanálový magnetometr



6-kanálový magnetometr a závěs nad lůžkem

Obr.: Tomek et al.: *IEEE Sensor J.* 2009, vol. 9, no. 4, p. 377-383.

25.6.2010

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ





Měření vs. model

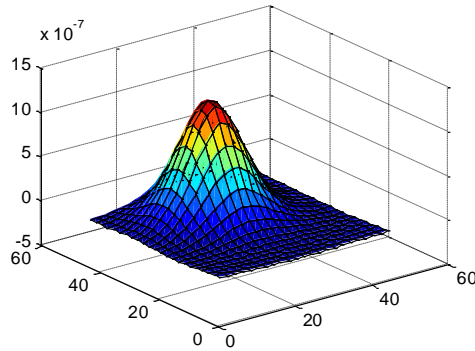


Figure 1. Modeled gradient_t, 1st-2nd sensor

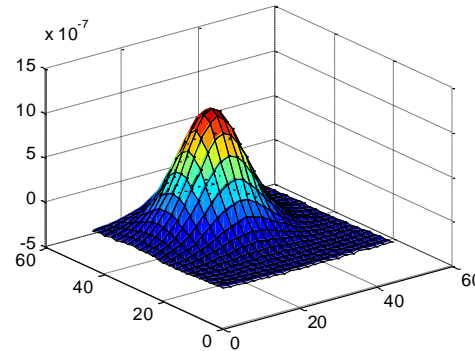


Figure 2. Measured gradient_t, closer sensor is 18 cm from the bed

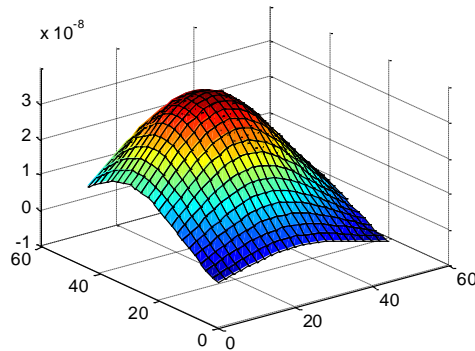


Figure 3. Modeled gradient_t, 4th - 5th sensor

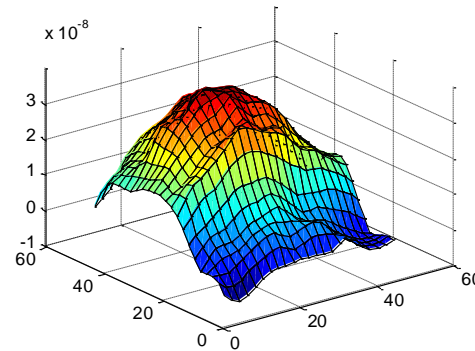
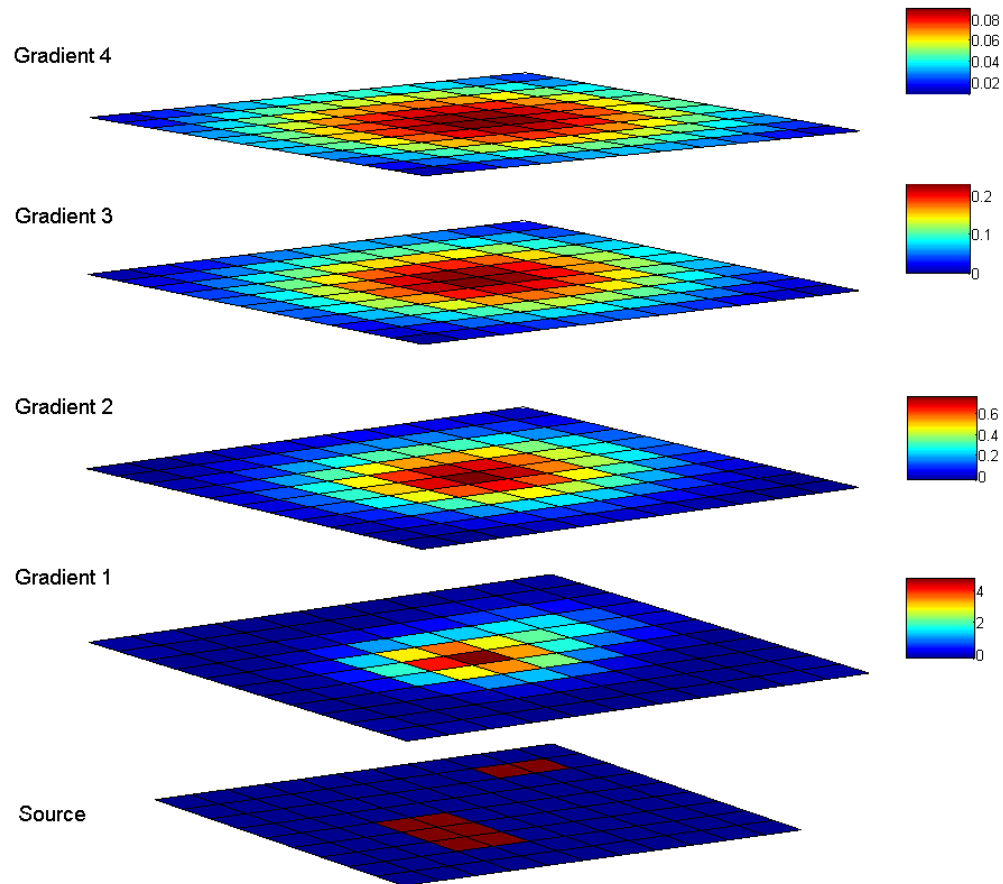


Figure 4. Measured gradient_t, closer sensor is 48 cm from the bed

Obr.: Tomek et al.: *IEEE Sensor J.* 2009, vol. 9, no. 4, p. 377-383.



Mapa gradientního pole



Obr.: Tomek, Platil: *Sensor Letters* 2009, vol. 7, no. 3, p. 423-428.

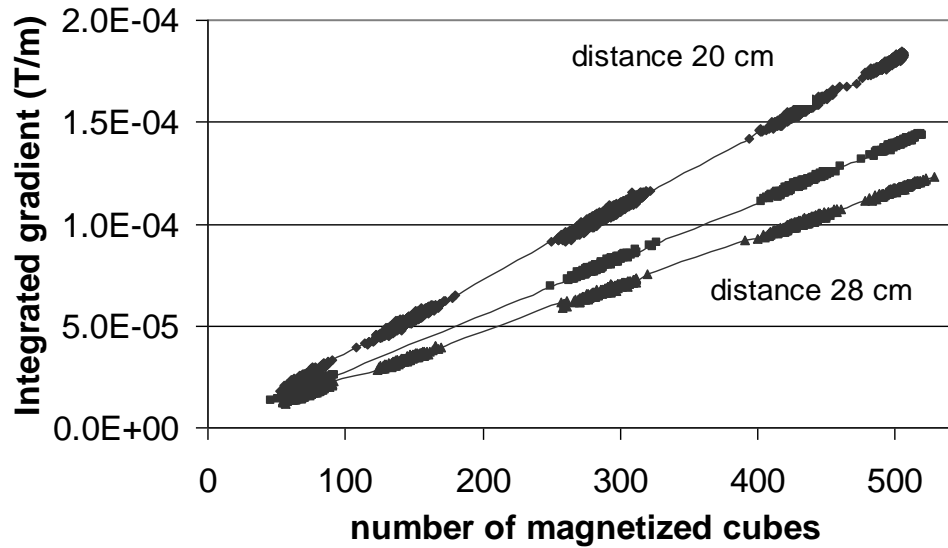
25.6.2010

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ





Interpretace dat



Obr.: Tomek, Platil: *Sensor Letters* 2009, vol. 7, no. 3, p. 423-428.

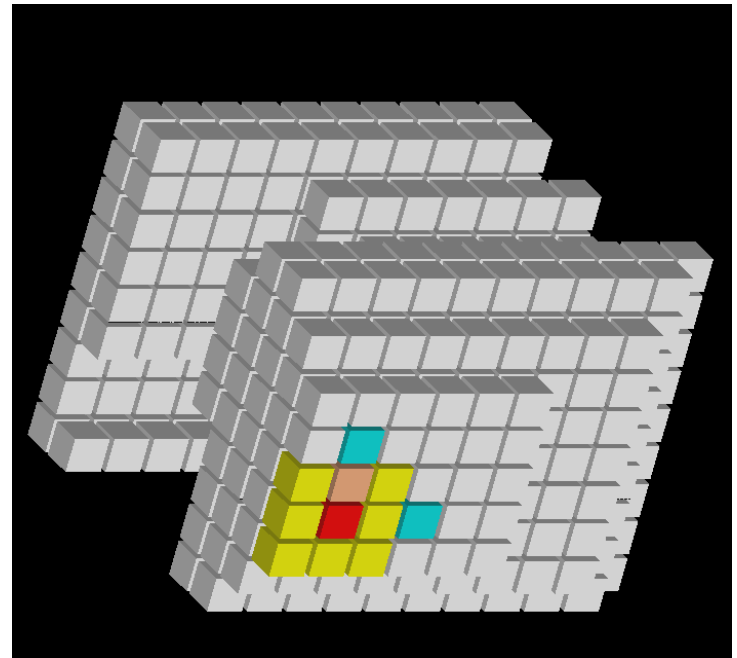
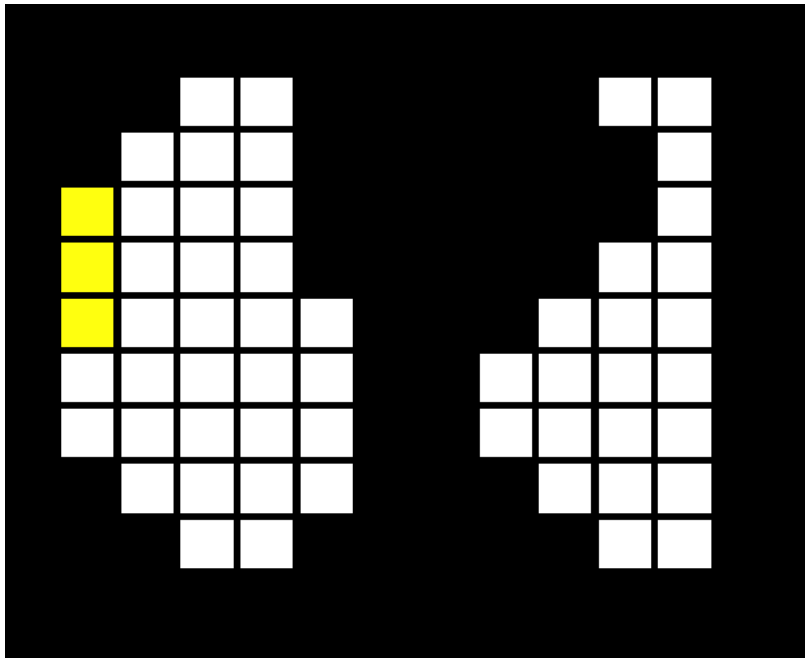
25.6.2010

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ





Diskrétní model plic



Obr.: Z. Jedlička: Diplomová práce, ČVUT v Praze 2010

25.6.2010

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



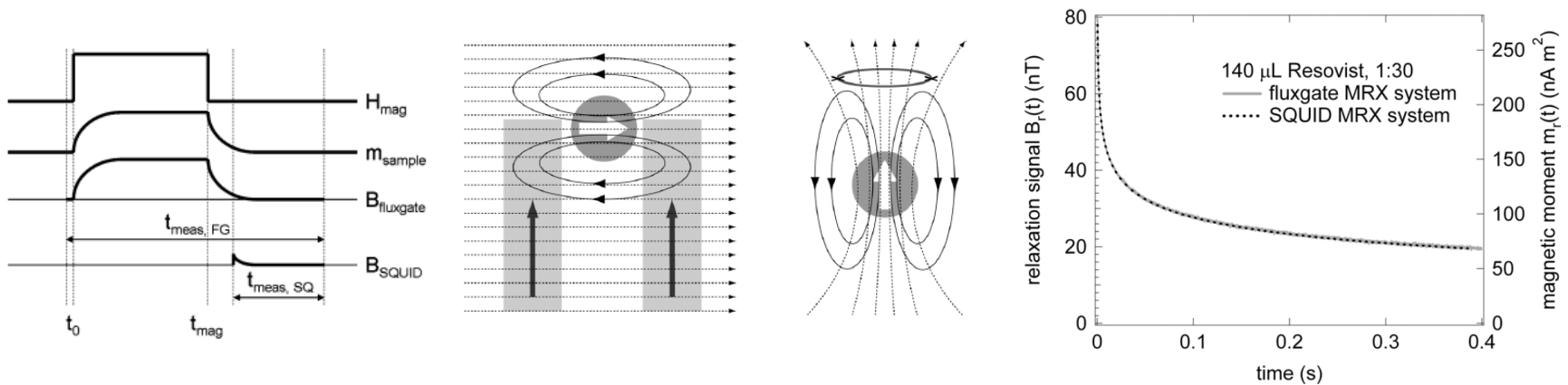


Další směry výzkumu

Mikročástice – klasická (DC) MPG

X

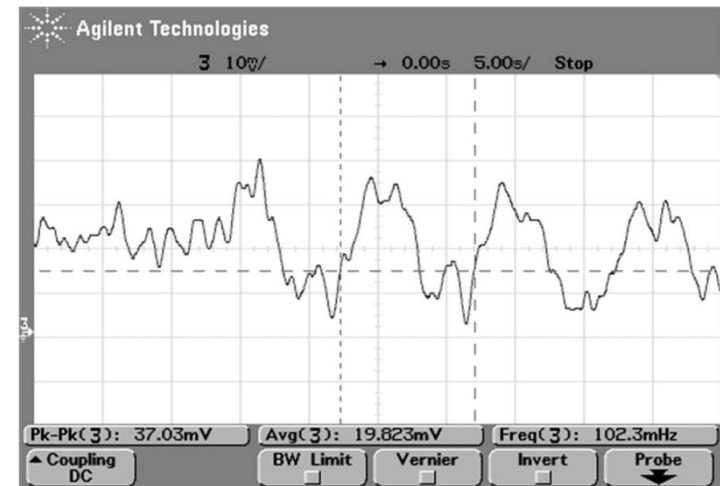
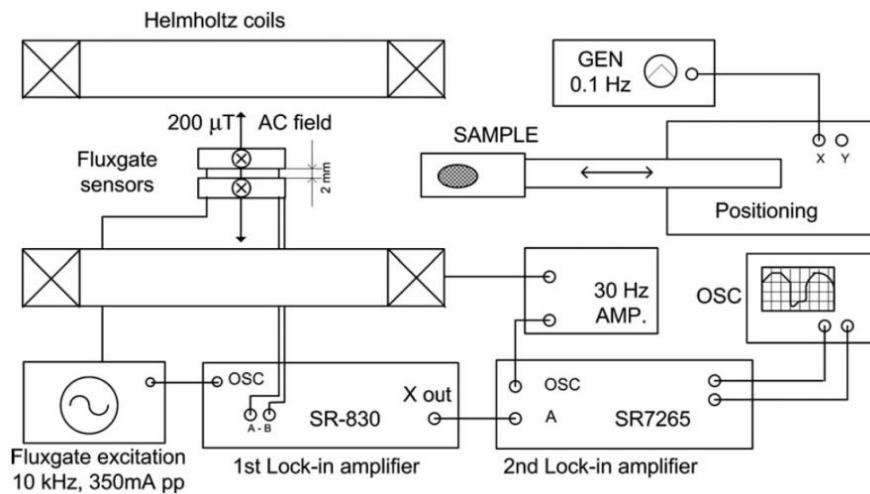
Detekce (superparamagnetických) nanočástic – AC / pulsní metody



F.Ludwig et al., *IEEE TRANS. MAG.*, VOL. 45, NO. 10, OCTOBER 2009, 4857



Detekce nanočástic



0,6ml = 10mg Endorem

Obr.: Janošek et al.: *Journal of Applied Physics* 2009, vol. 105, no. 7, p. 7E717

25.6.2010

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ





Měření objemu žaludku

(Indukční měření vzdálenosti in vivo)

25.6.2010

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



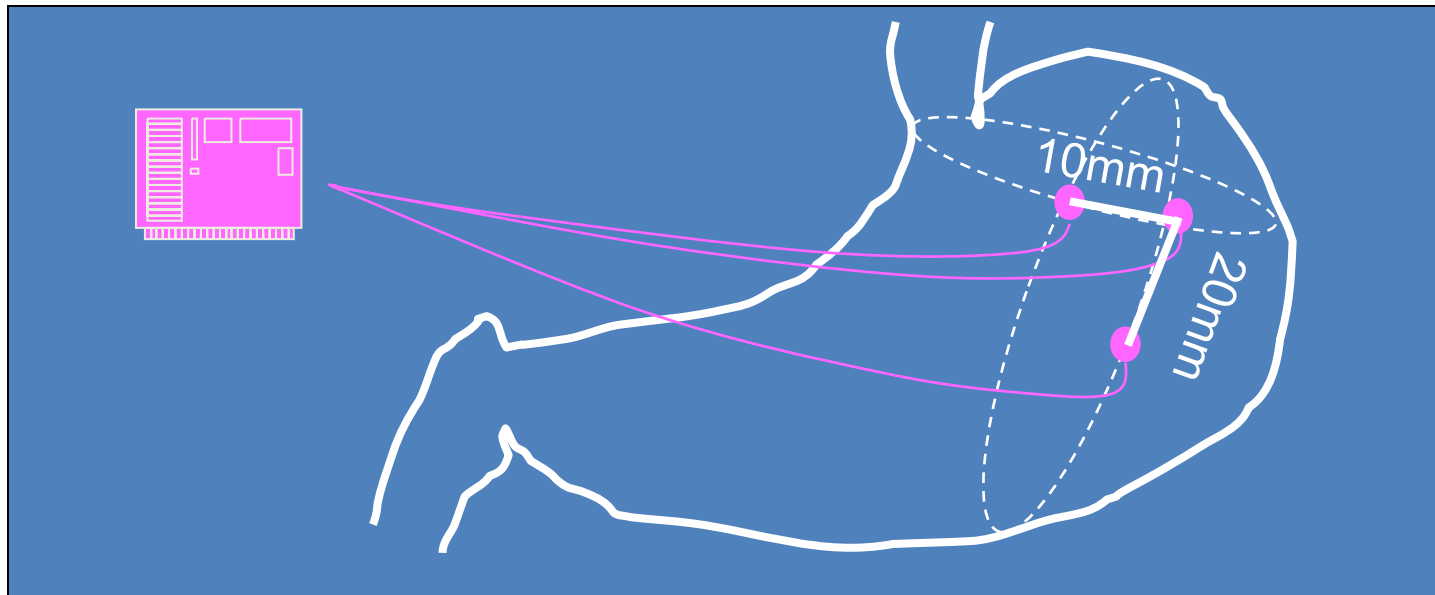


Měření objemu žaludku

- Účel: řízení stimulace žaludku „pacerem“ u morbidně obézních pacientů (USA)
- Lepší výsledky při stimulaci podle situace (namísto trvalé stimulace)
- Problém: měření objemu (vzdálenosti) in vivo
- Nelze „kontaktními“ senzory -> indukční princip



Bezkontaktní měření

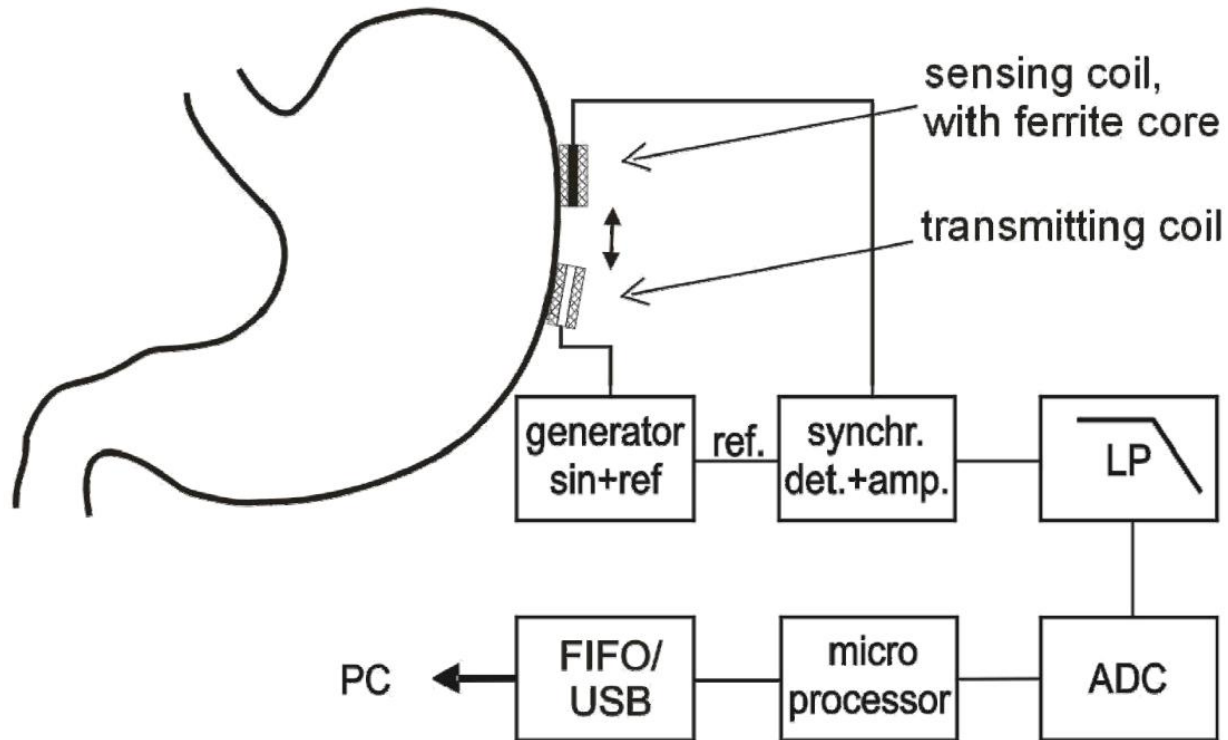


Externí elektronika + indukční senzory vzdálenosti na stěně žaludku
Vysílač-přijímač: indukované napětí \sim vzdálenost
Vzdálenost \rightarrow objem žaludku

25.6.2010

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

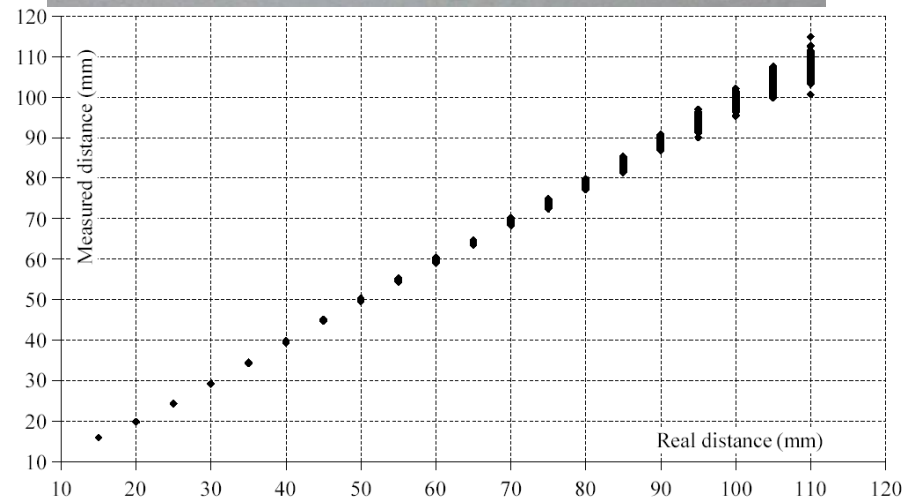
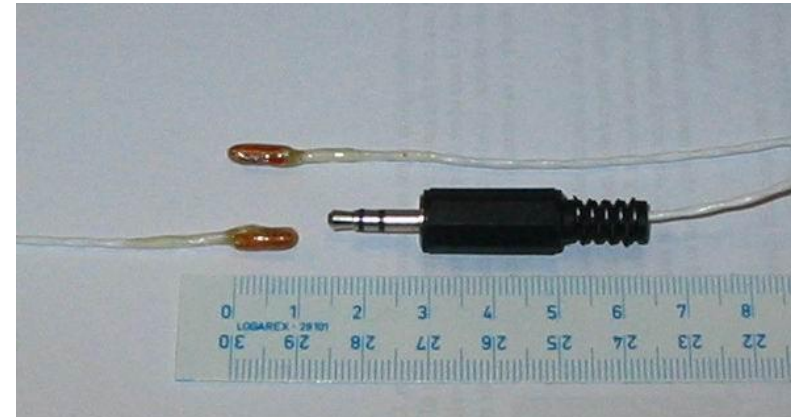
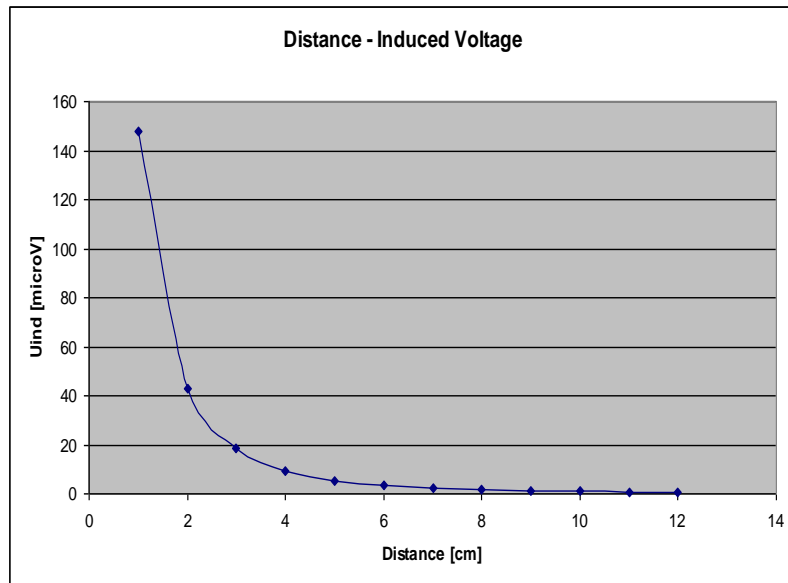
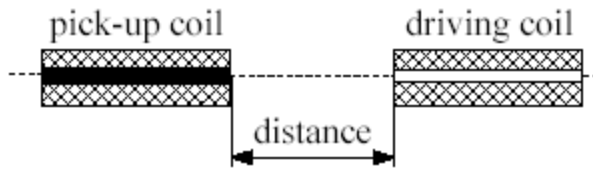




Obr: J.Tomek, Disertační práce, ČVUT v Praze 2009



Vysílač a přijímač



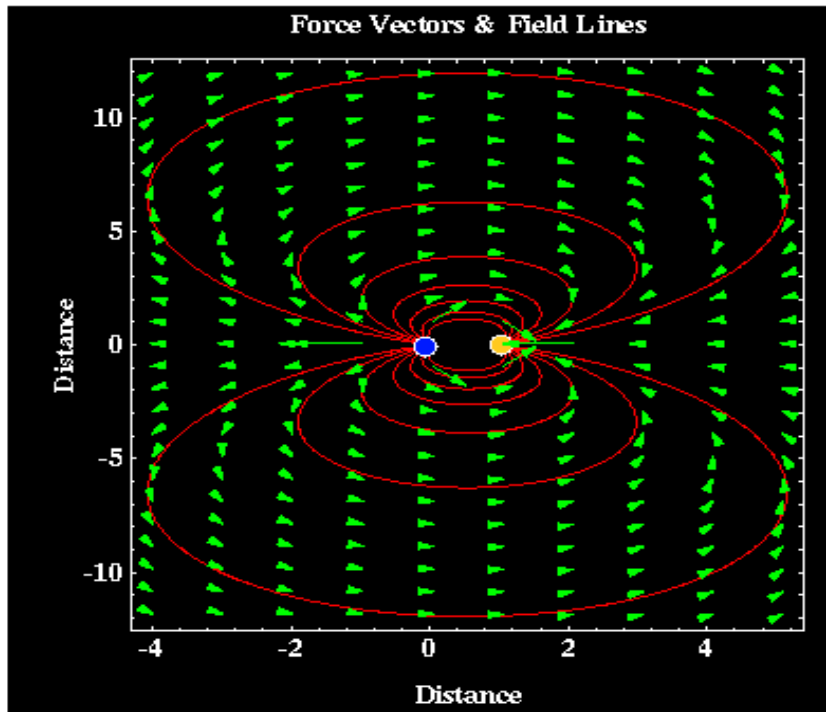
25.6.2010

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



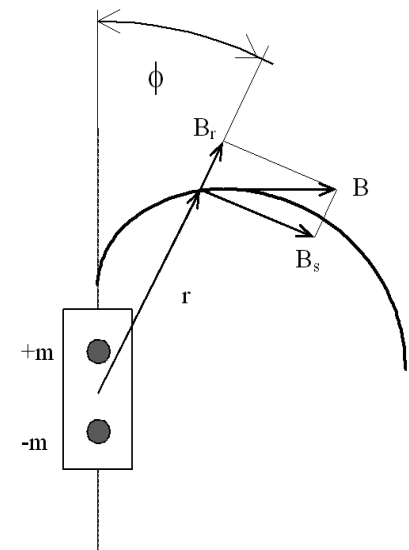


Poloha mag. dipólu



$$B_r = \frac{2}{10^7} \frac{m_m}{r^3} \cos \phi$$

$$B_s = \frac{1}{10^7} \frac{m_m}{r^3} \sin \phi$$



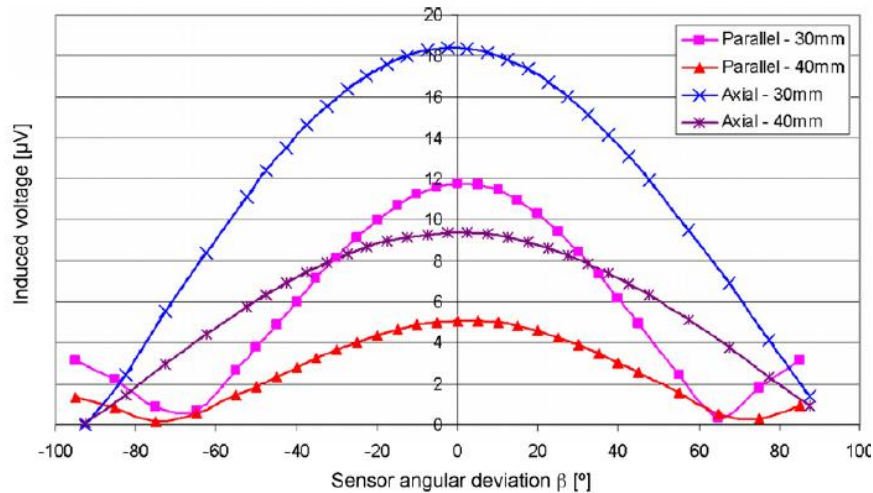
25.6.2010

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

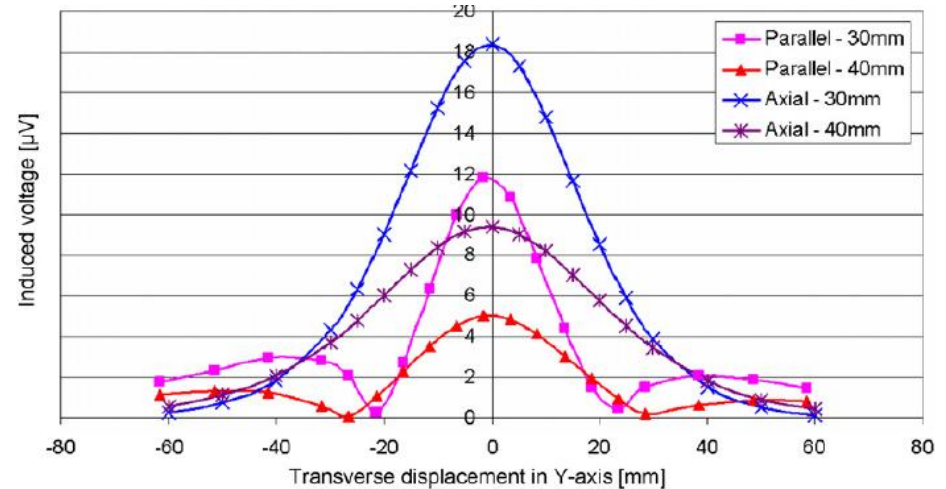




Nepříznivý vliv polohy



Vliv úhlové odchytky
(ne-koaxiální cívky)



Vliv příčné odchytky
(ne-koaxiální cívky)

Obr.: Tomek et al.: *Sensors and Actuators A 142* (2008) 34–39.

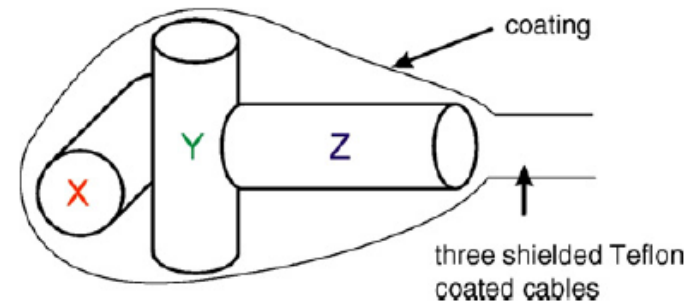
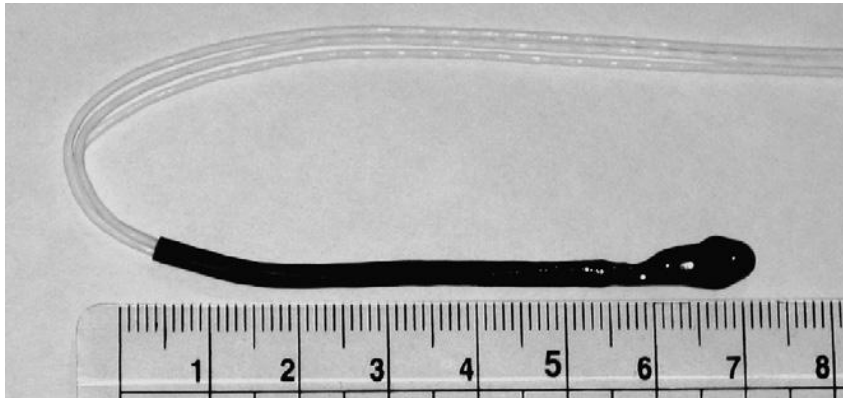
25.6.2010

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ





Tříosý přijímač



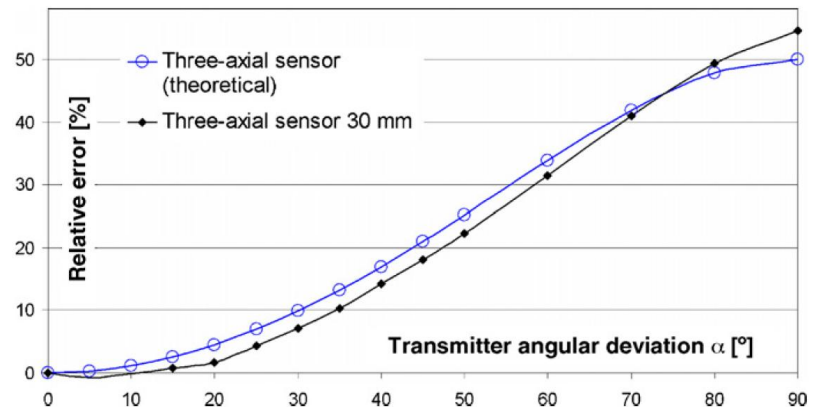
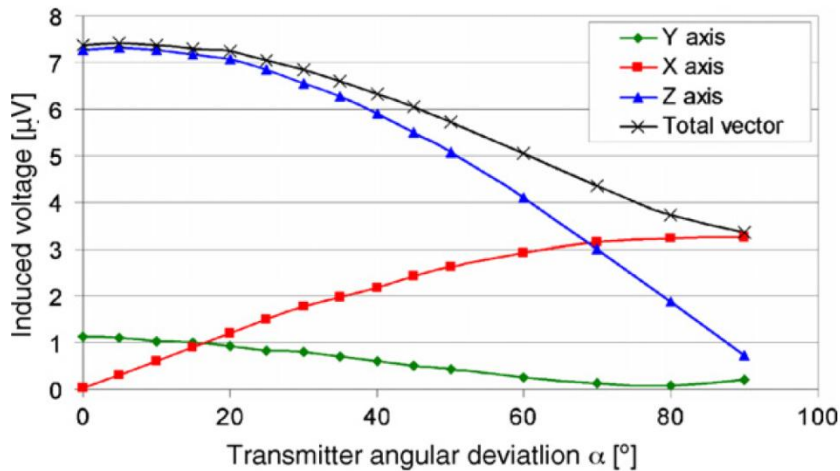
$$M = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2},$$

Obr.: Tomek et al.: *Sensors and Actuators A 142* (2008) 34–39.



Potlačení chyby (3 osy)

Tříosým měřením lze docílit snížení chyby vzdálenosti (menší závislost na koaxialitě)

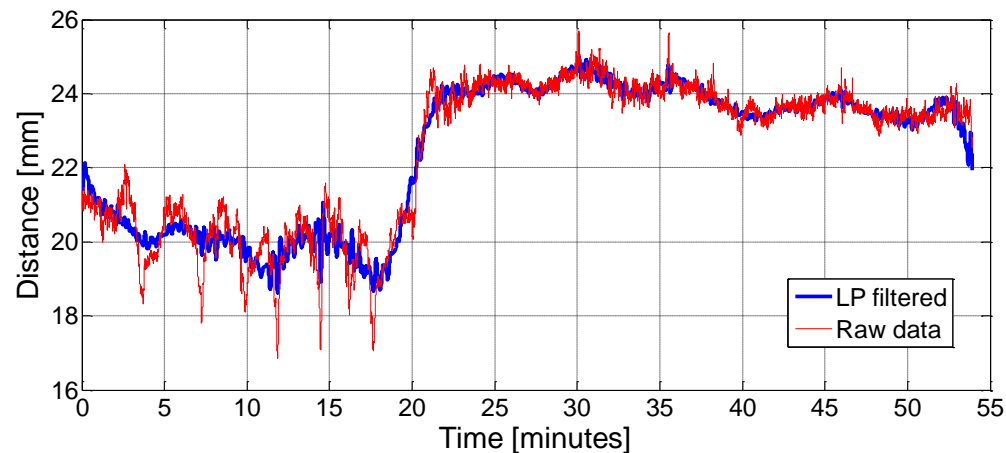


Obr.: Tomek et al.: *Sensors and Actuators A 142* (2008) 34–39.

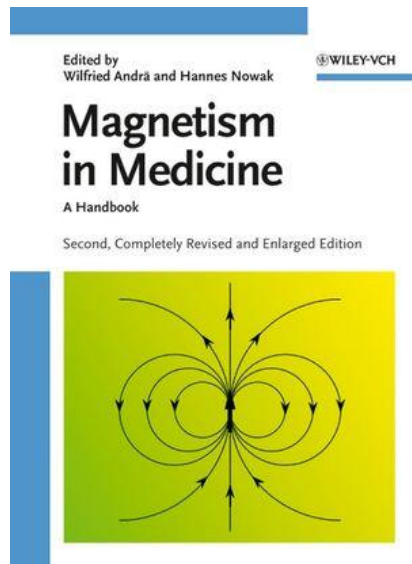


Testy in vivo

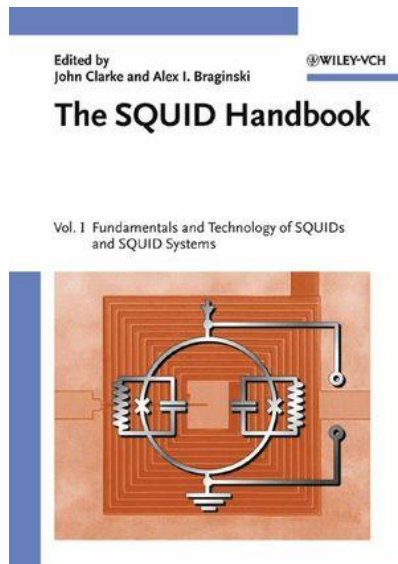
Testy in vivo na psech (Veterans' Administration Hospital in Oklahoma City)
Signál o poloze po konzumaci potravy



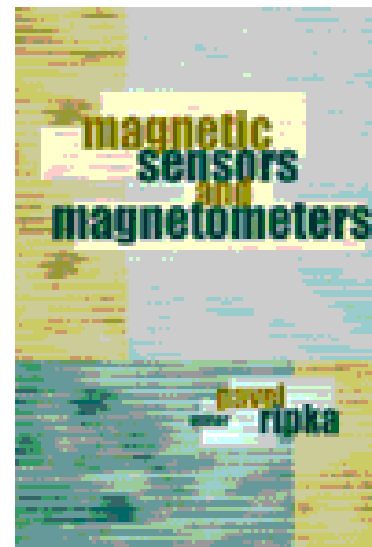
Obr: J.Tomek, Disertační práce, ČVUT v Praze 2009



Andra, Nowak (eds.)
ISBN 978-3-527-40558-9



Clarke, Braginski (eds.)
ISBN 978-3-527-40408-7



Ripka (ed.)
ISBN 978-1-58053-057-6