

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

Katedra technologií a měření

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**Vliv komerčních magnetických kapalin na lidský
organismus**

Originál (kopie) zadání BP/DP

Abstrakt

Tato práce se zabývá možným vlivem magnetických kapalin na lidský organismus. Úvodní část obsahuje seznámení s magnetickými kapalinami a seznamuje s obsahem i cíly bakalářské práce. Následující kapitola se zabývá podrobnějším představením magnetických kapalin a jejich vlastností. Další kapitoly jsou věnovány výrobcům a distributorům magnetických kapalin, cenovým relacím a portfoliu kapalin dostupných na trhu. Na tyto kapitoly navazuje část práce zabývající se možnými zdravotními riziky souvisejícími se stykem člověka s těmito kapalinami, která současně obsahuje kritické hodnocení aplikací využívajících magnetickou kapalinu z hlediska možnosti kontaktu kapaliny s člověkem. Zároveň jsou zde uvedena hygienická doporučení pro práci s kapalinami.

Klíčová slova

Magnetická kapalina, magnetoreologická kapalina, ferokapalina, zdravotní rizika, biokompatibilita, hypertermie, termoablace, ochranný oděv, hygienická opatření

Abstract

This paper deals with the possible influence of magnetic fluids on the human organism. The introductory part includes familiarization with magnetic fluids and introduces the content and objectives of the bachelor thesis. The following chapter deals with the more detailed explanation of magnetic fluids and their properties. Other chapters are devoted to the manufacturers and distributors of magnetic fluids, pricing and portfolio of products on the market. Further chapters of the work addressing potential health risks associated with human contact with these liquids, which also includes a critical evaluation of applications of magnetic fluid with respect to the possibility of liquid contact with humans. This paper includes hygiene recommendations for working with liquids.

Key words

Magnetic fluid, magnetorheological fluid, ferrofluid, health risk, biocompatibility, hyperthermia, thermoablation, protective clothing, hygienic measures

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

.....
podpis

V Plzni dne 28.5.2014

Bc. Hana Fejfarová

Poděkování

Na tomto místě bych ráda poděkovala vedoucímu bakalářské práce Prof. Ing. Danielu Mayerovi, DrSc. za cenné rady a odborné vedení. Zároveň děkuji doc. Ing. Zdeňku Zlochovi, CSc. za odbornou konzultaci. V neposlední řadě bych chtěla poděkovat KTE FEL ZČU za poskytnutí zázemí k vypracování bakalářské práce.

Obsah

Obsah

OBSAH	7
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	8
1 ÚVOD	9
2 VLASTNOSTI MAGNETICKÝCH KAPALIN	11
3 ZPŮSOBY VÝROBY MAGNETICKÝCH KAPALIN	13
4 VÝROBCI A DODAVATELÉ MAGNETICKÝCH KAPALIN	14
5 VLIV KAPALIN NA ZDRAVÍ ČLOVĚKA A PŘÍPADNÁ RIZIKA	20
5.1 MOŽNÁ ZDRAVOTNÍ RIZIKA SPOJENÁ S MAGNETICKÝMI KAPALINAMI	20
5.1.1 Zdravotní rizika vyplývající z chemického složení kapalin	20
5.1.2 Zdravotní rizika související s rozměry nanočástic	26
5.2 HYGIENICKÁ DOPORUČENÍ PRO PRÁCI S MAGNETICKÝMI KAPALINAMI.....	28
5.2.1 Ochranné rukavice.....	30
5.2.2 Ochranné brýle	37
5.2.3 Ochranný respirátor	37
5.2.4 Ochranný oděv.....	38
6 APLIKACE A JEJICH ZHODNOCENÍ Z HLEDISKA MOŽNOSTI STYKU ČLOVĚKA S KAPALINOU	38
6.1 BĚŽNÉ APLIKACE	38
6.2 APLIKACE NA KTE FEL ZČU.....	43
7 ZÁVĚR	48
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	50

Seznam symbolů a zkratk

Seznam symbolů:

symbol	název veličiny	rozměr
P_v	Ztráty vířivými proudy	[W]
T_c	Curieova teplota	[°C]
μ_r	Relativní permeabilita	[-]

Seznam zkratk:

DNA	Deoxyribonukleová kyselina
FEL	Fakulta elektrotechnická
Kč	Koruna česká
KTE	Katedra teoretické elektrotechniky
PEI	Polyethylenimin
PFPE	Perfluoropolyetherový olej
UV	Ultrafialové záření
ZČU	Západočeská univerzita

1 Úvod

Magnetické kapaliny jsou v elektrotechnice již dlouho známým pojmem, který označuje suspenzi feromagnetických částic v nosné kapalině. Již v průběhu 19. století vznikly první záznamy o experimentech s těmito kapalinami. Ovšem až v první polovině 20. století (1938) byla vyvinuta kapalina, jež byla vhodná k praktickému použití, tj. byla stabilní [1, 2]. O dva roky později si americký vynálezce původem z Ukrajiny Jacob Rabinow nechal patentovat první zařízení využívající magnetickou kapalinu [1, 3]. Skutečný rozmach ve výrobě však nastal v 60. letech, kdy o specifické vlastnosti těchto kapalin projevil zájem NASA [4].

V současné době nalézají magnetické kapaliny uplatnění v řadě aplikací a jsou nadále předmětem intenzivního výzkumu. Jsou již uvedeny v praxi jako součást reproduktorů, separátorů a elektromechanických převodníků. Často pak v mnohých aplikacích zastupují funkci těsnění. Uplatňují se také jako kapalné izolanty. Velice zajímavá, avšak ne zcela stoprocentně probádaná, se jeví možnost použití těchto kapalin v medicíně (především k léčbě nádorů) [1, 4].

Právě široké možnosti dalšího výzkumu, který intenzivně probíhá například na Katedře teoretické elektrotechniky FEL ZČU, podněcují otázky týkající se zdravotních rizik při pravidelné a různorodé práci s magnetickými kapalinami. Katedra teoretické elektrotechniky se zabývá návrhy a testováním zařízení využívajících magnetické kapaliny (např. magnetoreologické brzy) a zároveň základním výzkumem jejich fyzikálních vlastností. Jedním z primárních úkolů této práce pak bylo zhodnotit rizika interakce pracovníků katedry a studentů s kapalinami včetně možných zdravotních následků z takové interakce vzešlých. A dále navrhnout vhodná hygienická opatření a zásady pro práci s magnetickými kapalinami.

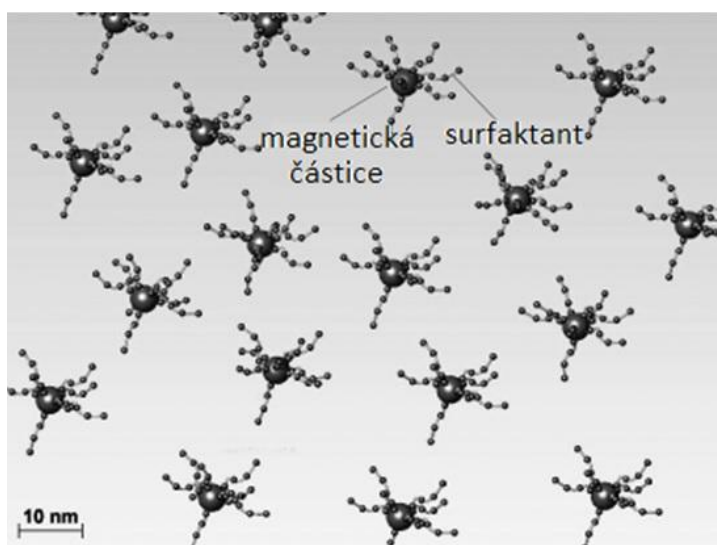
Cílů této bakalářské práce bylo tedy několik. V první řadě si práce klade za úkol seznámit čtenáře s dostupnými druhy magnetických kapalin a jejich vlastnostmi. Jak již z názvu vyplývá, práce se snaží shrnout názory na interakci člověka s magnetickými kapalinami a možná zdravotní rizika, která z toho plynou. Práce si však vzhledem k oborovému zaměření neklade za cíl sofistikovaně tato rizika posoudit, ale především vzbudit zájem odborné veřejnosti o toto téma. Zároveň si práce klade za cíl zhodnotit

technické aplikace z hlediska možnosti styku člověka s kapalinou a navrhnout zásady pro bezpečnou práci s kapalinami, včetně hygienických doporučení pro laboratoře FEL ZČU.

V první části své práce jsem se zaměřila na představení základních parametrů a vlastností magnetických kapalin. Následuje seznámení s nejvýznamnějšími výrobci, dodavateli a především produkty, se kterými se můžeme setkat na našem trhu. Na tuto kapitolu navazuje část věnovaná možným zdravotním rizikům spojeným s prací s magnetickými kapalinami a definování vhodných hygienických opatření i zásad pro bezpečnou práci s tímto materiálem. Poté následuje představení aplikací využívajících magnetické kapaliny a jejich zhodnocení z hlediska možnosti styku člověka s kapalinou. Důraz je zde kladem především na aplikace na Katedře teoretické elektrotechniky, pro kterou jsou navržena optimální hygienická doporučení pro manipulaci s magnetickými kapalinami. V závěru jsou shrnuty poznatky o magnetických kapalinách, jejich eventuálním vlivu na lidský organismus. Zároveň jsou zde definovány hygienické zásady pro práci s kapalinami a doporučena hygienická opatření pro KTE FEL ZČU.

2 Vlastnosti magnetických kapalin

Magnetické kapaliny jsou obecně tvořeny pevnými částicemi magnetických materiálů – nejčastěji Fe_2O_3 , Fe_3O_4 nebo MnFe_2O_4 , nosnou kapalinou a surfaktantem. Nosná kapalina může být tvořena minerálními či rostlinnými oleji, parafínem, petrolejem nebo také vodou. Kvůli zajištění koloidní stability kapalin, tj. aby nedocházelo ke shlukování feromagnetických částic v důsledku van der Waalsových sil, jsou pevné částice opatřeny polymerním pláštěm – surfaktantem (neboli detergentem) [1, 4, 5]. Tato povrchově aktivní látka má podobu molekulového řetězce o délce 1 – 2 nm, který je jedním koncem vázán k částici a druhým zasahuje do prostoru nosné kapaliny – viz obrázek níže [4].



Obr. 2.1 Struktura typické ferokapaliny [4]

Magnetické kapaliny dělíme dle velikosti magnetických částic na ferokapaliny a magnetoreologické kapaliny. Ferokapaliny obsahují menší částice, zhruba v rozsahu od 3 do 15 nm, a vykazují stálý magnetický dipól. Oproti tomu kapaliny magnetoreologické obsahují částice ve velikosti 1 – 20 μm . Zároveň jsou specifické tím, že u nich můžeme sledovat magnetoviskózní jev – jejich viskozita je závislá na působícím magnetickém poli [1].

Částice v magnetické kapalině si lze představit jako drobný permanentní magnet. Pokud na kapalinu nepůsobí magnetické pole, chová se navenek jako nemagnetická, protože magnetické momenty částic jsou orientované náhodně. Naopak působí – li na částice magnetické pole, začnou se polarizovat (tj. stáčet do směru magnetického pole). Kapalina je do magnetického pole vtahována ve směru jeho intenzity [4]. Magnetické kapaliny se tedy chovají jako paramagnetika (superparamagnetika). Relativní permeabilita μ_r se liší dle konkrétního druhu kapaliny, většinou nabývá hodnot od 1 do 5. Permeabilita je tedy nižší

než u pevných feromagnetických materiálů [1]. Oproti tomu Curieova teplota je u obou druhů materiálu srovnatelná – např. u běžně užívané kapaliny $T_c \approx 600 \text{ °C}$ [1], pro železo platí $T_c \approx 770 \text{ °C}$ [6]. Obecně lze říct, že magnetické kapaliny vykazují vysokou elektrickou pevnost a nízkou měrnou elektrickou vodivost [1]. Ve skutečnosti dnes existuje mnoho druhů kapalin, z nichž některé jsou nevodivé [7]. Ovšem právě zmíněná měrná elektrická vodivost značně ovlivňuje ztráty vířivými proudy P_v [W]. Nevodivé magnetické kapaliny mají ztráty vířivými proudy prakticky nulové.

Při hodnocení viskozity magnetických kapalin musíme nejprve kapaliny rozdělit do dvou skupin – na magnetoreologické a fero kapaliny. Magnetoreologické kapaliny obsahují částice ve velikosti mikrometrů, které tvoří významnou část objemu kapaliny. Působící magnetické pole tedy způsobuje značný nárůst jejich viskozity. Kapaliny pak ztrácí svoji tekutost (ztuhnou) [4]. Tento proces se označuje jako magnetoviskózní jev [1]. U fero kapalin je zhodnocení viskozity poněkud složitější. Viskozita je závislá na intenzitě magnetického pole. Některé kapaliny se však v důsledku působení střídavého pole o určité frekvenci vyznačují tzv. negativní viskozitou (jejich viskozita s rostoucí intenzitou klesá). Zároveň můžeme pozorovat teplotní závislost viskozity kapalin, s rostoucí teplotou viskozita klesá. Změny teploty přitom negativně působí na surfaktant – může dojít až k destabilizaci kapaliny, a tím ke zkrácení doby její životnosti, která se obvykle počítá na roky [4].

Jak vyplývá z předchozí části textu, magnetické vlastnosti kapaliny jsou určeny výhradně částicemi obsaženými v kapalině. Avšak chemické a mechanické vlastnosti jsou ovlivněny především nosnou kapalinou [4].

3 Způsoby výroby magnetických kapalin

Magnetické kapaliny se v přírodě nevyskytují a musí se tedy získávat synteticky. Existuje několik technologických způsobů jejich výroby, i když některé z nich jsou již zastaralé.

Nejstarší způsob přípravy magnetických kapalin je označován jako mokré mletí. Jedná se o fyzikálně – chemický postup, který probíhá v kulovém mlýnu, kdy je magnetický materiál za přítomnosti surfaktantu mechanicky rozměňován na požadovanou velikost [4, 8]. Přítomnost detergentu při mletí pak zaručuje obalení částic polymerem, a tím i koloidní stabilitu kapaliny. Nakonec přichází na řadu ještě odstředivá separace nežádoucích hrubých zrn. Tento druh výroby je však časově velmi náročný (až 1000 hodin) a dnes se už příliš nepoužívá [1, 4, 9]. Tento postup je vhodný spíše pro výrobu magnetoreologických kapalin, které obsahují větší částice než ferokapaliny (tj. v řádech μm).

Magnetické kapaliny lze vyrábět i čistě chemickými způsoby. Jedním z těchto postupů je tzv. srážecí metoda [1]. Využívá se zde chemické reakce, při které je požadovaná látka vysrážena prostřednictvím pomocné látky [9, 10]. Tato metoda je vhodná zejména k výrobě ferokapalin s obsahem nanočástic v rozmezí 3 – 20 nm. Reakce probíhá při teplotě 0 až 100 °C za přítomnosti surfaktantu.

Pokud látka není vhodná pro srážení, můžeme k výrobě použít chemickou substituci [9]. Touto metodou lze vytvořit ferokapalinu s nanočásticemi z jakékoli látky. Princip této metody spočívá v chemické reakci, při které dochází k nahrazení atomu v molekule jiným atomem či funkční skupinou.

V 70. letech byl udělen patent na přípravu magnetických kapalin mikroemulzní technikou. Tento způsob pracuje se dvěma nemísitelnými kapalinami (a detergentem), na které je působeno silou, v jejímž důsledku dojde k rozptýlení jedné kapaliny v druhé [11].

Další výrobní metoda, již lze použít, je dekompozice organických sloučenin kovů (např. oktakarbylyl dikobaltu) [9, 12]. Tento postup je založen na vaření roztoků kovů s obsahem uhlovodíků.

4 Výrobci a dodavatelé magnetických kapalin

Existuje několik předních výrobců a dodavatelů magnetických kapalin, kteří distribuují své produkty na území Evropy. Mezi nejvýznamnější dodavatele patří americká firma Ferrotec Corporation, která má řadu poboček v Evropě i Asii (pro Českou republiku relevantní především pobočka v Německu), a dále britská společnost Liquids Research Ltd. [13, 14, 15]. Výrobou kapalin se také zabývají laboratoře při Technické univerzitě v Temešváru v Rumunsku a laboratoře Ivanovské státní energetické univerzity V. I. Lenina v Rusku [1].

Tradice výroby magnetických kapalin firmy Ferrotec sahá až do 60. let 20. století, přestože současný název společnost používá teprve od roku 1995. Ferrotec je společnost s celosvětovou působností v široké škále odvětví, výrobních systémů a výrobků – od magnetických kapalin, pokrokové keramiky až po řešení vakuového pokovování [13]. Firma vytváří několik řad fero kapalin – APG řady Audio Ferrofluidu pro užití v reproduktorech, dále řady EMG (na vodní bázi, olejové bázi či v práškové podobě), které lze využít různým způsobem, například v biomedicínských aplikacích, jako spínače, snímače či solenoidy, k detekci domén nebo separaci materiálů. Řada EHF je určena primárně pro vzdělávací účely. Tyto základní produkty dále doplňují řady MSG na vodní bázi, vhodné k použití při separaci materiálů, nebo řady SMG či VSG s obsahem fluorokarbonu [14].

Společnost Liquids Research Limited byla založena roku 1990 profesorem K. O'Gradyem a doktorem S. W. Charlesem. Liquids Research Ltd., se sídlem v severním Walesu, je předním výrobcem magnetických kapalin (fero kapalin a magnetorheologických kapalin) a magnetických inkoustů. Kromě řad určených pro čistě technické aplikace (například SHG kapaliny pro těsnění, WHJ pro mokrou separaci materiálů) vytváří také kapaliny vhodné k biomedicínským aplikacím – biokompatibilní produkty [15].

Z důvodu snazší orientace a lepší přehlednosti byly zmiňované řady, včetně složení, sepsány a upraveny do následujících tabulek, které byly vytvořeny na základě překladu všech datasheetů poskytnutých výrobcem [16 - 64]. V některých případech chybí přesné označení látky, jelikož výrobci nejsou ochotni tyto informace sdělovat, respektive je poskytují

pouze ve výjimečných případech (například na vyžádání ošetřujícího lékaře po požití kapaliny nebo při dalších zdravotních obtížích).

Tab. 4.1 Kapaliny firmy Ferrotec – řada APG (Audio Ferrofluid) [16 – 33]

Kapalina	Částice	Surfaktant	Nosná kapalina	Další látky
APG 300	Fe ₂ O ₃ (1 – 5 %)	(6 – 16 %)	Uhlovodík (77 – 92 %)	Olejové přísady (1 – 2 %)
APG 500	Fe ₃ O ₄ (3 – 8 %)	(18 – 30 %)	(60 – 78 %)	Aminy (1 – 2 %)
APG 800	Fe ₃ O ₄ (2,9 – 12,6 %)	(8 – 77 %)	Uhlovodík (11 – 89 %)	Olejové přísady (< 3 %)
APG 900	Fe ₃ O ₄ (1 – 4 %)	(7 – 50 %)	(44 – 91 %)	Aminy (1 – 2 %)
APG 1000	Fe ₃ O ₄ (1 – 4 %)	(13 – 50 %)	(44 – 85 %)	Aminy (1 – 2 %)
APG 1100	Fe ₂ O ₃ (3 – 13 %)	(7 – 77 %)	Uhlovodík (11 – 89 %)	Olejové přísady (< 3 %)
APG 2100	Fe ₂ O ₃ (3 – 8 %)	(8 – 47 %)	Uhlovodík (36 – 79 %)	Olejové přísady (5 – 10 %)
APG E	Fe ₂ O ₃ (1 – 4 %)	(14 %)	Uhlovodík (80 – 91 %)	Olejové přísady (1 – 2 %)
APG J	Fe ₃ O ₄ (1 – 4 %)	(7 – 18 %)	(76 – 91 %)	Aminy (1 – 2 %)
APG L	Fe ₂ O ₃ (4 – 6 %)	(16 – 20 %)	Syntetický ester (73 – 80 %)	Olejové přísady (0 – 1 %)
APG O	Fe ₂ O ₃ (2 – 7 %)	(7 – 21 %)	Syntetický ester (71 – 81 %)	Olejové přísady (0 – 4 %)
APG O 17	Fe ₃ O ₄ (4 – 6 %)	(16 – 26 %)	(73 – 80 %)	Aminy (1 – 10 %)
APG O 27	Fe ₃ O ₄ (4 – 7 %)	(17 – 21 %)	(71 – 79 %)	Aminy (0 – 1 %)
APG O 37	Fe ₃ O ₄ (1 – 2 %)	(3 – 7 %)	(89 – 95 %)	Aminy (1 – 2 %)
APG O 47	Fe ₃ O ₄ (2 – 3 %)	(7 – 10 %)	(86 – 91 %)	Aminy (0 – 1 %)
APG O 67	Fe ₃ O ₄ (5 – 7 %)	(30 – 40 %)	(51 – 64 %)	Aminy (1 – 2 %)
APG O 87	Fe ₃ O ₄ (3 – 5 %)	(40 – 50 %)	(44 – 57 %)	Aminy (0 – 1 %)
APG S	Fe ₂ O ₃ (3 – 15 %)	(7 – 50 %)	Syntetický ester (41 – 92 %)	Olejové přísady (1 – 2 %)
APG W	Fe ₂ O ₃ (8 – 14 %)	(2 – 13 %)	Syntetický ester (68 – 90 %)	Olejové přísady (< 5 %)

Tab. 4.2 Kapaliny firmy Ferrotec – řada EMG (Ferrofluid pro další aplikace) [34 - 40]

Kapalina	Částice	Surfaktant	Nosná kapalina	Další látky
EMG 900 (olejová báze)	Fe ₃ O ₄ (3 – 15 %)	(6 – 13 %)	(55 – 91 %)	-
EMG 1200 (prášek)	Fe ₂ O ₃ (63 – 73 %)	(27 – 37 %)	-	-
EMG 1300 (prášek)	Fe ₂ O ₃ (68,4 – 76,7 %)	(23,3 – 31,6 %)	-	-
EMG 1400 (prášek)	Fe ₂ O ₃ (77 – 83 %)	(17 – 23 %)	-	-
EMG 1500 (prášek)	Fe ₂ O ₃ (71,8 – 79,2 %)	(20,8 – 28,2 %)	-	-
EMG 300 (vodní báze)	Fe ₃ O ₄ (0,4 – 1,1 %)	(0,5 – 1,5 %)	Voda (98 – 99 %)	-
EMG 800 (vodní báze)	Fe ₃ O ₄ (1 – 8 %)	(6 – 60 %)	Voda (32 – 93 %)	-

Tab.4.3 Kapaliny firmy Ferrotec – řada EHF (Ferrofluid pro vzdělávací účely) [41]

Kapalina	Částice	Surfaktant	Nosná kapalina	Další látky
EHF	Fe ₃ O ₄ (3 – 15 %)	(6 – 30 %)	Uhlovodík (55 – 91 %)	-

Tab. 4.4 Kapaliny firmy Ferrotec – řada MSG (Ferrofluid na vodní bázi) [42 - 43]

Kapalina	Částice	Surfaktant	Nosná kapalina	Další látky
MSG W11	Fe ₃ O ₄ (2,8 – 3,5 %)	(2 – 4 %)	Voda (92,5 – 95,2 %)	-
MSG W12	Fe ₃ O ₄ (2,8 – 3,5 %)	(2 – 4 %)	Voda (92,5 – 95,2 %)	-

Tab. 4.5 Kapaliny firmy Ferrotec – řada SMG [44]

Kapalina	Částice	Surfaktant	Nosná kapalina	Další látky
SMG	Fe ₃ O ₄ (2 – 3 %)	(7 – 10 %)	(86 – 91 %)	Aminy (0 – 1 %)

Tab. 4.6 Kapaliny firmy Ferrotec – řada VSG [45 - 51]

Kapalina	Částice	Surfaktant	Nosná kapalina	Další látky
VSG 300	Fe ₃ O ₄ (3 – 8 %)	(39 – 52 %)	-	Fluorokarbon (45 – 55 %)
VSG 500	Fe ₃ O ₄ (3 – 8 %)	(39 – 52 %)	-	Fluorokarbon (45 – 55 %)
VSG 900	Fe ₃ O ₄ (7 – 8 %)	(27 – 40 %)	(50 – 65 %)	Aminy (1 – 2 %)
VSG 011	Fe ₃ O ₄ (1 – 7 %)	(7 – 50 %)	(41 – 92 %)	Aminy (0 – 2 %)
VSG 203A	Fe ₃ O ₄ (7 – 8 %)	(20 – 30 %)	(60 – 72 %)	Aminy (1 – 2 %)
VSG 803	Fe ₃ O ₄ (7 – 8 %)	(27 – 40 %)	(50 – 65 %)	Aminy (1 – 2 %)
VSG Z20	Fe ₃ O ₄ (1 – 7 %)	(7 – 50 %)	(41 – 92 %)	Aminy (0 – 2 %)

Tab. 4.7 Kapaliny firmy Liquids Research Ltd – Biokompatibilní kapaliny [52 - 58]

Kapalina	Částice	Nosná kapalina	Další látky
LR Albumin	Fe ₃ O ₄ (< 10 %)	Voda (< 90 %)	Albumin + přísady (< 30 %)
LR Avidin	Fe ₃ O ₄ (< 10 %)	Voda (< 90 %)	Avidin + přísady (< 30 %)
LR Biotin	Fe ₃ O ₄ (< 10 %)	Voda (< 90 %)	Biotin + přísady (< 30 %)
LR Dextran	Fe ₃ O ₄ (< 10 %)	Voda (< 90 %)	Dextran + přísady (< 30 %)
LR PEI	Fe ₃ O ₄ (< 10 %)	Voda (< 90 %)	Polyethylenimin + přísady (< 30 %)
LR Transferin	Fe ₃ O ₄ (< 10 %)	Voda (< 90 %)	Transferin + přísady (< 30 %)
LR Chitosan	Fe ₂ O ₃ (1 %)	Voda (> 98 %)	Chitosan (< 1 %)

Tab. 4.8 Kapaliny firmy Liquids Research Ltd – Alkanové kapaliny pro mokrou separaci [59]

Kapalina	Částice	Nosná kapalina	Další látky
WHJ S1	Fe ₃ O ₄ (< 70 %)	(< 60 %)	Isoparafin + přísady (< 40 %)

Tab. 4.9 Kapaliny firmy Liquids Research Ltd – Alkanové kapaliny pro mokrou separaci [60]

Kapalina	Částice	Nosná kapalina	Další látky
WHK	Fe ₃ O ₄ (< 70 %)	Voda (< 60 %)	Přísady (< 40 %)

Tab. 4.10 Kapaliny firmy *Liquids Research Ltd* – Kapaliny pro těsnění [61 - 64]

Kapalina	Částice	Nosná kapalina	Další látky
SHAS1S2	Fe ₃ O ₄ (< 70 %)	Uhlovodík (< 60 %)	-
SHGS4SU	Fe ₃ O ₄ (< 70 %)	Uhlovodík (< 60 %)	-
SPBS26	Fe ₃ O ₄ (< 70 %)	Perfluoropolyether (< 60 %)	-
SPCS25	Fe ₃ O ₄ (< 70 %)	Perfluoropolyether (< 60 %)	-

Určení cenových relací těchto kapalin je poměrně problematické. Ani společnost Ferrotec, ani Liquids Research nezveřejňují všeobecně platný ceník – je tedy nutné výrobce kapalin kontaktovat a na ceně se s ním domluvit.

Pro přibližnou představu o cenových relacích lze uvést ceny poskytnuté Katedře teoretické elektrotechniky Fakulty elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni. Roku 2012 byl diskutován nákup kapalin od Ferrotecu: kapalina typu EHF1 – objem 1000 ml za 170 Euro, kapalina EHF3 – 1000 ml za 262 Euro [65]. O rok dříve (tj. 2011) nabídla firma Liquids Research 390 ml kapaliny WHJ S1 za 250 britských liber [66].

V České republice existuje několik dodavatelů komerčních magnetických kapalin. Jedná se především o podniky, které poskytují své služby na základě e-shopu, tj. prodeje přes internet. Mezi nejvýznamnější české distributory patří firma NEOMAG (www.neomag.cz) zabývající se prodejem magnetických materiálů, dále UNIMAGNET (www.unimagnet.cz) a firma PK chemie (www.praskovekovy.cz) se sídlem v Třebíči. Podobným způsobem funguje distribuce magnetických kapalin i v zahraničí (např. www.wondermagnet.com).

Zmíněné české podniky odebírají kapaliny výhradně od společnosti Ferrotec a prodávají je ve standardizovaných baleních – viz tabulka níže. Jedná se však především o kapaliny určené pro vzdělávací účely a k různým pokusům. Pokud tedy máme zájem o jiný druh kapaliny, je nejvhodnějším řešením kontaktovat přímo některého z výrobců (případně je možné vytvořit kapalinu svou vlastní výrobou).

Tab. 4.11 Přehled cen magnetických kapalin od českých distributorů – platný k 30. 10. 2013

Distributor	Balení	Cena včetně DPH	DPH
Neomag	Ferofluid 10 ml	300 Kč	21 %
Neomag	Ferofluid 20 ml + neodymový magnet NV079	449 Kč	21 %
Neomag	Ferofluid 50 ml + neodymový magnet NV113	952 Kč	21 %
Neomag	Ferofluid 100 ml + neodymový magnet NV155	1666 Kč	21 %
PK chemie	Ferofluid 10 ml Sada na pokusy s příslušenstvím	299 Kč	21 %
Unimagnet	Ferofluid 10 ml Sada na pokusy s příslušenstvím	240 Kč	21 %
Unimagnet	Ferofluid 25 ml Sada na pokusy s příslušenstvím	499 Kč	21 %
Unimagnet	Ferofluid 50 ml Sada na pokusy s příslušenstvím	950 Kč	21 %

5 Vliv kapalin na zdraví člověka a případná rizika

Po seznámení s magnetickými kapalinami a jejich základními vlastnostmi, složením, typy a distributory se následující pasáže zabývají vlivem magnetických kapalin na lidský organismus, možnými zdravotními riziky při práci s magnetickými kapalinami a vhodnými hygienickými opatřeními k eliminaci těchto eventuálních negativních účinků.

5.1 Možná zdravotní rizika spojená s magnetickými kapalinami

5.1.1 Zdravotní rizika vyplývající z chemického složení kapalin

Jak již bylo zmíněno v předcházejících kapitolách, existuje mnoho druhů magnetických kapalin. A přestože základ těchto magnetických materiálů bývá často stejný, chemickým složením se od sebe v menší či větší míře liší. Nejpřehlednější je tedy charakterizovat kapaliny v rámci jejich výrobních řad. I tak však tato charakteristika a následné vyhodnocení možných zdravotních rizik není snadné, jelikož výrobci neuvádějí složení kapalin s dostatečnou podrobností.

Ferrotec - řada APG

Magnetické kapaliny z řady APG obsahují oxidy železa (Fe_2O_3 a Fe_3O_4), tekuté olejové přísady, nosnou kapalinu na bázi uhlovodíku nebo syntetického esteru či minerálního oleje. Všeobecně se jedná o kapaliny tmavé barvy s nízkou rychlostí odpařování a obsahem těkavých látek menším než 1 %. Látka je chemicky stabilní, ale je nutno zabránit pyrolýze a kontaktu se silnými oxidačními činidly a vysokými teplotami. Kapaliny řady APG neobsahují žádné látky uznané jako karcinogenní [16 - 33].

Při působení vysokých teplot může dojít k vytváření a uvolňování oxidu uhelnatého a oxidů dusíku. Zároveň může vlivem vysokých teplot dojít ke vzniku kouře, par a aerosolu. Kritická hodnota koncentrace aerosolu ve vzduchu činí 5 mg na 1 m³. Přičemž inhalace par a aerosolu magnetických kapalin může mít závažné zdravotní následky [16 - 33].

Minerální oleje obsažené v kapalinách, které jsou tvořeny směsí organických látek získaných z ropy a uhelných dehtů, obsahují mutageny a genotoxické složky. Případné požití magnetické kapaliny by vyvolalo okamžitou nevolnost a zvracení. Pokud by k požití docházelo opakovaně, mohlo by následovat poškození jater a dalších orgánů. Při styku

kapaliny s pokožkou může minerální olej způsobit alergickou reakci, v případě opakovaného kontaktu i vážnější poškození kůže [67].

Kapaliny na bázi uhlovodíku jsou zpravidla látky rozpustné v tuku. Jestliže tedy dojde ke kontaktu kapaliny s pokožkou, hrozí riziko proniknutí uhlovodíku nejen do kůže, ale i lymfatického a krevního oběhu. Následky by v tom případě mohly být různorodé, ovšem nikoli smrtící [67].

Tyto magnetické kapaliny nejsou určeny pro použití v aplikacích, kde by mělo docházet ke kontaktu s lidským tělem [16 - 33]. V případě styku s pokožkou mohou způsobovat alergické reakce či jiná poškození kůže. Současně kapalina vytváří na pokožce silné znečištění, které lze i při použití standardních hygienických prostředků stěží odstranit – viz fotografie níže, kdy jsem pro ilustraci vystavila vepřovou kůži magnetické kapalině a následně ji omyla běžnými čisticími prostředky. Jestliže ke kontaktu kapaliny a pokožky dojde, je nutné postižené místo rychle a důkladně omýt. Tentýž postup je vhodný i při vniknutí kapaliny do oka. V takovém případě je však již na místě vyhledat lékařskou pomoc. Vyhledání odborné zdravotní pomoci je nezbytné také v případě inhalace par a aerosolu nebo dokonce požití kapaliny.



Obr. 5.1 Vepřová kůže znečištěná magnetickou kapalinou



Obr. 5.2 Znečištěná kůže po umytí běžnými hygienickými prostředky

Kromě rizik spojených s ohrožením zdraví člověka je nutné brát na vědomí i vliv na životní prostředí. Zásadní je zamezit eventuálnímu uniku kapalin do kanalizace a půdy [67]. Kapaliny by se měly skladovat a likvidovat jako běžné chemikálie [16 - 33].

Ferrotec – řada EHF

Kapaliny z řady EHF obsahují magnetit, olejové přísady a uhlovodíkovou nosnou kapalinu. Obsah těkavých látek se však pohybuje od 55 do 91 % (což se procentuálně shoduje s obsahem nosné kapaliny).

Vzhledem ke složení kapalin EHF zde platí stejná zdravotní rizika jako u řady APG i stejné limity [41]. S ohledem na možné zdravotní následky spojené s inhalací par a aerosolů a výrobcí udávanou stabilitou kapaliny za normálních podmínek byl uskutečněn experiment, který dokumentoval, zda se skutečně kapaliny při běžných teplotách odpařují zanedbatelnou rychlostí, a tedy při dlouhodobé práci s kapalinami inhalace jejich par.

EXPERIMENT

Aplikovala jsem ferokapalinu typu EHF do kádinky a umístila ji na váhu. Počáteční hmotnost kádinky s kapalinou byla 84 g (hmotnost kádinky 46 g). Poté byla kapalina v nádobě ponechána v místnosti s pokojovou teplotou. Po týdnu byla kádinka znovu převážena, hmotnost tentokrát klesla na 83 g. Osmnáctý den se hmotnost kádinky s kapalinou snížila na 82 g. Po odečtení neměnné hmotnosti samotné kádinky zjišťujeme, že hmotnost

kapaliny klesla z 38g na 36 g, tedy o 2 g. V procentuálním vyjádření se jedná o pokles o 5, 263 %.

Tab. 5.1 Naměřené hodnoty

Den	Váha celé kádinky [g]	Váha kapaliny [g]
1.	84	38
7.	83	37
18.	82	36

Tab. 5.2 Použité přístroje a pomůcky

Přístroj / pomůcka	Typ	Evidenční číslo
Váha	SENCOR SKS 5011YL	-
Kádinka	-	-

Tab. 5.3 Parametry prostředí během měření

Parametr	Hodnota 1. den	Hodnota 7. den	Hodnota 18. den
Teplota [°C]	21, 6	23, 3	22, 0
Vlhkost [%]	33, 5	42, 0	45, 5
Tlak [mbar]	980, 0	993, 5	981, 5

Ferrotec – řada EMG

Kapaliny řady EMG mají nosnou kapalinu buď na bázi oleje, nebo vody (případně existují i v podobě bez nosné kapaliny). Jako magnetické částice jsou využívány oxidy železa. V případě kapalin s obsahem oleje je podíl těkavých látek roven obsahu nosné kapaliny, tj. 55 až 91 %. Pro tyto kapaliny platí stejná rizika i postupy první pomoci jako u předešlých typů [34 - 40]. Největší hrozbou ze zdravotního hlediska jsou zde právě olejové složky. Kapaliny na vodní bázi jsou na rozdíl od ostatních druhů kapalin rozpustné ve vodě.

Ferrotec – řada MSG

Řada MSG zahrnuje kapaliny, které mají nosnou kapalinu tvořenu vodou a magnetické nanočástice jsou z magnetitu. I pro tuto řadu platí stejná zdravotní rizika, hygienická omezení a první pomoc jako pro předcházející řady kapalin. Samozřejmě díky nosné kapalině na vodní bázi jsou u těchto ferrokapalin eliminována možná rizika spojená s olejovými přísadami a uhlovodíkem. Jedná se o jedinou řadu společnosti Ferrotec, která je nehořlavá [42 - 43].

Ferrotec – řada VSG a SMG

Kapaliny řady VSG i SMG obsahují magnetické částice Fe_3O_4 a blíže neurčenou nosnou kapalinu. Některé kapaliny typu VSG pak mají ve svém složení ještě fluorokarbony, tj. sloučeniny fluoru a uhlíku (případně uhlovodíku). Také tyto řady jsou svými charakteristikami z hlediska možnosti zdravotního ohrožení a hygienických nároků srovnatelné s první zmiňovanou řadou APG [44 - 51]. Příliš obecné označení látky fluorokarbon neumožňuje důkladněji charakterizovat případná rizika. Pod totožným označením se vyskytují například látky vysoce inertní (fluoroalkany) i velmi reaktivní (fluoroalkeny) [68].

Liquids Research – biokompatibilní kapaliny

Biokompatibilní kapaliny výroby Liquids Research jsou založeny na vodní bázi, tj. nosnou kapalinu tvoří voda a zaujímá většinu objemu kapaliny. Nanočástice ferokapalin jsou z magnetitu (Fe_3O_4). Každá suspenze z řady biokompatibilních kapalin je obohacena o specifické aditivum (např. avidin). Všechny kapaliny tohoto typu jsou určeny výhradně pro užití in vitro.

Biokompatibilní kapalina s albuminem není klasifikována jako nebezpečná, přesto však ve větším množství či při dlouhodobějším působení může při kontaktu podráždit pokožku a oči, případně vyvolat alergickou reakci. Škodlivé je samozřejmě požití této látky. V takovém případě ale není doporučeno vyvolat zvracení [52]. Albumin obsažený v kapalině by žádné negativní účinky na organismus mít neměl – jedná se totiž o druh tělesné bílkoviny [67].

Pro kapalinu s přídavkem avidinu jsou definována obdobná rizika a stanovena shodná hygienická doporučení. Zároveň je nezbytné vyhnout se vdechování par či aerosolu – dráždí dýchací cesty [53]. Samotný avidin by neměl vykazovat nepříznivé účinky na lidské zdraví – je to také typ tělesné bílkoviny [67]. Pokud však dochází k dlouhotrvajícímu vystavení vlivu této suspenze, kapalina může vykazovat až teratogenní účinky, tj. zapříčinit vznik vrozené vývojové vady plodu [53].

Transferin je další bílkovinou, která je obsažena v jednom z typů biokompatibilních ferokapalin [67]. Charakteristika této suspenze se příliš neliší od ostatních svého druhu. Přesto sám výrobce uvádí, že by se mohlo jednat o potenciálně biologicky nebezpečný materiál [57]

Biotin, obsažený v dalším druhu biokompatibilních ferokapalin, je vitamín skupiny B a organismu je spíše prospěšný [67]. Jinak se svojí charakteristikou příliš neodlišuje od ostatních biokompatibilních kapalin. V případě vysušení kapaliny může biotin reagovat s oxidačními činidly [54].

Magnetická kapalina s dextranem také vykazuje podobné vlastnosti jako ostatní zmíněné kapaliny – může dráždit oči, pokožku i dýchací cesty. V případě požití není vhodné vyvolávat zvracení a je na místě vyhledání lékařské pomoci. Přesto je kapalina určena především k intraperitoneální aplikaci, tj. podání do břišní dutiny [55]. Dextran je polysacharid vyrábějící se ze škrobu nebo biotechnologickým procesem [67]. A přestože by tato látka neměla mít negativní vliv na lidské zdraví [67], výrobce kapaliny zmiňuje možný karcinogenní účinek při chronickém vystavení vlivu dextransu ve volné formě [55].

Dalším polysacharidem, který se objevuje v biokompatibilních kapalinách společnosti Liquids Research, je chitosan. Chitosan se řadí do skupiny heteropolysacharidů a v přírodě jej můžeme nalézt například v krunýřích živočichů. Sama o sobě by tato látka neměla být nijak škodlivá [67] - pokud nedojde ke vdechnutí ve formě suchého prášku [58]. Kapalina může při kontaktu podráždit kůži, oči i dýchací cesty. Jestliže dojde k požití ferokapaliny, doporučuje se vymytí úst a konzumace několika sklenic mléka – tedy za předpokladu, že je postižený člověk při vědomí [58].

Posledním typem biokompatibilních magnetických kapalin je suspenze s obsahem PEI (polyethylenimin). I pro tuto kapalinu platí stejné všeobecné charakteristiky jako pro ostatní biokompatibilní ferokapaliny [56]. Polyethylenimin je sice nejdřív, ale jeho toxicita není příliš výrazná [67].

Liquids Research – řada WHJ

Kapaliny řady WHJ obsahují částice magnetitu rozptýlené v isoparafínu. Tato suspenze může být dráždivá pro kůži, oči i dýchací cesty. Při práci s touto kapalinou

je doporučeno použít respirátor, který dokáže poskytnout ochranu před organickou párou. Další hygienické zásady pro práci s kapalinami, včetně první pomoci při kontaktu s nimi, jsou shodné s doporučeními pro ostatní typy kapalin [59]. Isoparafin je v podstatě minerální vosk (případně včelí), který by neměl být škodlivý pro lidské zdraví [67]. Přesto jsou vedlejší produkty rozkladu kapaliny nebezpečné (oxid uhličitý, oxid uhelnatý) [59].

Liquids Research – řada WHK

Magnetické kapaliny řady WHK jsou vytvořeny na vodní bázi. Nanočástice v suspenzi jsou tvořeny magnetitem. Také pro tyto kapaliny platí stejná všeobecná hygienická doporučení. Zvláštní opatrnosti je třeba v případě požáru, kdy se z kapaliny uvolňují silně toxické výpary. Nebezpečné jsou také produkty jejího rozkladu – zvláště oxidy uhlíku. Kapalina může způsobit silné alergické reakce při kontaktu s pokožkou [60].

Liquids Research – řady pro těsnění

Kapaliny určené k těsnění lze rozdělit na dvě skupiny. Obě skupiny shodně obsahují částice magnetitu, ale liší se v typu nosné kapaliny – ta může být buď na bázi uhlovodíku, nebo z PFPE (perfluoropolyetherový olej). Riziko spojené s uhlovodíkem bylo zmíněno již u kapalin APG – jedná se především o možnost proniknutí do kůže a dále do lymfatického systému i krevního oběhu. Zvýšenou opatrnost při manipulaci vyžaduje i PFPE [67]. Oba druhy kapalin mohou dráždit pokožku, oči a dýchací cesty. V případě požití se doporučuje zkonzumovat několik sklenic mléka a nevyvolávat zvracení. V takovém případě, stejně jako při vniku kapaliny do očí a inhalaci, je nutné vyhledat lékařskou pomoc. Doporučeno je také v okolí kapaliny nekonzumovat žádné jídlo ani nápoje. Pokud se kapalina s PFPE zahřeje na teplotu nad 200°C, začnou se uvolňovat nebezpečné sloučeniny fluoru. Nebezpečným produktem rozkladu kapalin s uhlovodíkem je oxid uhelnatý [61 - 64].

5.1.2 Zdravotní rizika související s rozměry nanočástic

Rozmach nanotechnologií a nanomateriálů je doprovázen zájmem o možná zdravotní rizika, které s sebou tyto technologie mohou přinášet. Pro materiály tvořené nanočásticemi zatím neexistují specifická legislativní omezení, v současné době pro ně platí stejná omezení jako pro chemikálie [69]. Z této skutečnosti vyplývá, že v současnosti bezpečnostní standardy nezohledňují unikátní vlastnosti nanomateriálů (např. schopnost pronikat do tkání). Jelikož zatím nemáme dostatek informací o vlivu nanočástic při dlouhodobém působení na lidský

organismus, je na místě využít princip předběžné opatrnosti a klást důraz na bezpečnostní preventivní opatření [69, 70]. Přesto je třeba si uvědomit, že lidé přicházejí do styku s nanočásticemi již od pradávna a lidský organismus disponuje několika mechanismy, jak před nimi tělo ochránit [69, 71]. Nicméně v dnešní době je tato expozice mnohem intenzivnější a v případě dlouhodobého působení nanočástic na organismus tyto ochranné mechanismy nejsou dostačující.

Existuje několik možností interakce člověka s nanočásticemi. Některé biomedicínské aplikace jsou na této interakci dokonce přímo založeny, dále je zde možnost styku při práci a manipulaci s nanomateriálem a v neposlední řadě existuje možnost proniknutí nanočástic do životního prostředí v důsledku špatného zacházení s nanomateriálem, případně nevhodnou likvidací. V případě úniku nanočástic do prostředí (např. vzduchu, půdy a vody) existuje značné riziko proniknutí částic i do potravin. [69, 70].

Při inhalaci nanočástic jsou nejhůře postiženy plíce, v nichž dochází k ukládání částic, které nezachytila nosní sliznice (tj. částice pod 10 μm). Ochranné mechanismy dýchací soustavy umožňují vyplavování nečistot z plic, ovšem pokud je tento systém přetěžován, není očista plic dostatečná a částice mohou vyvolat zánět dýchacích cest, fibrózu a výrazně zhoršit astma. Rozměry nanočástic navíc umožňují jejich průchod plicní tkání až do tělního cirkulačního systému. Odtud pak mohou putovat oběhovou soustavou a výrazně ovlivnit kardiovaskulární onemocnění (arytmie, infarkt, mrtvice), nebo se krevním oběhem dostanou k dalším orgánům, ve kterých se začnou ukládat (zejména játra, ledviny, slezina). Není vyloučena ani možnost průchodu nanočástic do centrální nervové soustavy a mozku [69 - 71]. Zkoumání a vyhodnocení chování nanočástic v organismu je však poměrně složité, protože je problematické detekovat nanočástice v tkáních a určit jejich množství [72].

Dalšími epitely, kterými mohou nanočástice projít do organismu, jsou spojivkové epitely v očích a kůže [69, 71]. Obecně by pokožka měla vytvořit účinnou bariéru proti vstupu částic do těla. Tuto ochrannou funkci však značně snižují kožní onemocnění nebo mechanická poškození (např. poranění). Velkou roli hraje také konkrétní chemické složení materiálu s nanočásticemi. [69]

Hlavním rizikovým faktorem spojeným s nanočásticemi je jejich toxicita. Tyto částice vyvolávají v buňkách oxidativní stres, v jehož důsledku může dojít nejen k vyvolání zánětu,

ale také k předčasné smrti buňky nebo poškození DNA [69, 71]. Právě zmíněný genotoxický potenciál byl již prokázán u nanočástic kovů a oxidů kovů. Proto se v rámci biomedicínských aplikací částice potahují biokompatibilní vrstvou (např. dextrans). Je ovšem otázkou, do jaké míry je toto potažení stabilní a jaký vliv mají na nanočástice trávicí enzymy a další látky v organismu. [69]

Pokud však organismus není vlivu nanočástic vystaven chronicky, nekumulují v těle a jejich odstraňování z těla je rychlejší než přísun, pak by nemělo dojít k takovému nahromadění částic, aby působily významně toxicky [69]. Výzkumy prováděné na myších nepotvrzují po aplikaci nanočástic oxidů železa nálezy degenerativních změn tkání nebo nekrózy v orgánech [73].

V případě biomedicínských aplikací (např. magnetické cílení léčiv), jsou nanočástice vpraveny přímo do těla pacienta. V současné době není chování částic při aplikaci *in vivo* ještě zcela pochopeno. Po vpravení nanočástic do cévního systému působí na částice několik sil – proudění krevní plazmy, difuzní síly a magnetický drift. Pokud se magnetická síla a síla krve vyrovnají, dojde ke vzniku tzv. hraniční vrstvy – částice se hromadí v blízkosti cévních stěn. To může mít negativní vliv nejen na léčbu samotnou, ale také na zdraví člověka. Při těchto aplikacích je tedy nutné zvolit vhodný magnet pro správné a efektivní cílení nanočástic. [74] Podrobnější informace o biomedicínských aplikacích jsou uvedeny v šesté kapitole.

5.2 Hygienická doporučení pro práci s magnetickými kapalinami

Ze zmíněných informací o možných (nejen) zdravotních rizicích zřejmě vyplývá, že je nutné stanovit hygienické zásady pro bezpečnou práci s magnetickými kapalinami. V následující části textu jsou tato pravidla definována, jsou zde navrženy vhodné hygienické pomůcky pro manipulaci s kapalinami s ohledem na jejich kvalitu i cenovou relaci.

Přestože se různé typy kapalin od sebe svým složením liší, jejich základní charakteristika a především doporučení pro vhodnou manipulaci s nimi zůstávají velmi podobná [16 - 64]. Kapaliny je třeba uchovávat v uzavřených nádobách nejlépe na tmavém

chladném místě. Rozhodně je nutné zabránit tomu, aby se dostaly do kanalizace nebo vsákly do půdy.

Při styku s pokožkou mohou mít kapaliny dráždivý účinek. Pokud by docházelo k častému a dlouhodobému působení na kůži, může dojít až k jejímu vážnému poškození. Jako většina chemikálií také kapaliny mohou vyvolat alergickou reakci, která se může projevit již při prvním kontaktu s pokožkou. Z těchto důvodů (a také s ohledem na znečištění, které kapalina způsobí) je doporučeno používat při manipulaci s kapalinou ochranné rukavice. Podrobněji se těmto hygienickým pomůckám věnují následující podkapitoly. Jestliže s kapalinou přijde do kontaktu nechráněná pokožka, je nutné ji co nejrychleji umýt a oplachovat vodou po dobu alespoň 10 minut.

Velmi dráždivý účinek mají kapaliny i na oči, pokud s nimi přijdou do styku. V tom případě je nezbytné vypláchnout oči vodou a vyhledat lékařskou pomoc. Takovým případům lze zamezit použitím ochranných brýlí. Nutnost jejich využití je vhodné zvolit s ohledem na druh a povahu práce, jakou s magnetickými kapalinami uskutečňujeme.

Nebezpečná pro lidské zdraví je inhalace par či aerosolů kapalin – obzvláště teplých a horkých. Při běžné práci s většinou kapalin by k jejich vzniku docházet nemělo, nicméně je vhodné provádět práci v místnosti s možností větrání a mít k dispozici respirátor. Pokud s kapalinami provádíme speciální druh práce, u kterých nelze přesně předvídat rizika zahřátí kapaliny, je nezbytné mít respirátor k dispozici. V případě inhalace par je nutné se co nejrychleji přemístit na čerstvý vzduch a vyhledat lékařskou pomoc.

V praxi nepravděpodobné, přesto zdravotně velmi nebezpečné, je požití některé z magnetických kapalin. V takových případech se většinou nedoporučuje vyvolávat zvracení a je na místě neodkladné vyhledání lékařské pomoci. U některých typů ferokapalin se také doporučuje konzumace mléka – za předpokladu, že je postižený při vědomí. Prevencí je v takovém případě samozřejmě pouze nepožívání magnetických kapalin.

Během práce s kapalinami je vhodné využít ochranný oděv, který nejen ochrání lidskou pokožku před vlivem kapaliny na místech, kam nezasahují rukavice (tj. mimo ruce), ale zároveň může poskytnout ochranu pro oblečení, na němž by kapalina zanechala těžko odstranitelné skvrny.

Kompletní ochranný oděv je tedy tvořen rukavicemi, ochrannými brýlemi a oděvem, případně i respirátorem, pokud to konkrétní pracovní činnost vyžaduje.

5.2.1 Ochranné rukavice

Ochranné rukavice by měly být nedílnou součástí oděvu při práci s magnetickými kapalinami. Jejich použitím zamezíme nejen možnosti podráždění pokožky a případné alergické reakce, ale i silnému znečištění kůže a nehtů, které kapalina způsobí. Jelikož právě rukavice jsou během manipulace s kapalinami nejvíce namáhanou částí pracovního oděvu, je jim v této práci věnována adekvátně velká pozornost.

V současné době máme k dispozici mnoho druhů ochranných rukavic z nejrůznějších materiálů. Abych zhodnotila, který typ rukavic je pro práci s magnetickými kapalinami nejvhodnější, rozhodla jsem se vybrat a otestovat nejběžnější pracovní rukavice. Nejprve jsem zkoumala odolnost rukavic vůči kapalině – jinými slovy jejich nepropustnost, což je naprosto zásadním parametrem při posuzování jejich využitelnosti pro práci s kapalinami. Následně jsem tutéž vlastnost ověřovala za působení stejnosměrného magnetického pole o velikosti indukce 140 mT, kterým jsem rukavice s magnetickou kapalinou zatěžovala až po dobu 48 hodin. Důležitým aspektem byla také uživatelská pohodlnost rukavic, tj. jak snadná a příjemná je při jejich nošení manipulace s kapalinou a různými pomůckami. Z hlediska komplexního posouzení rukavic bylo nezbytné zhodnotit i jejich cenové relace.

EXPERIMENT

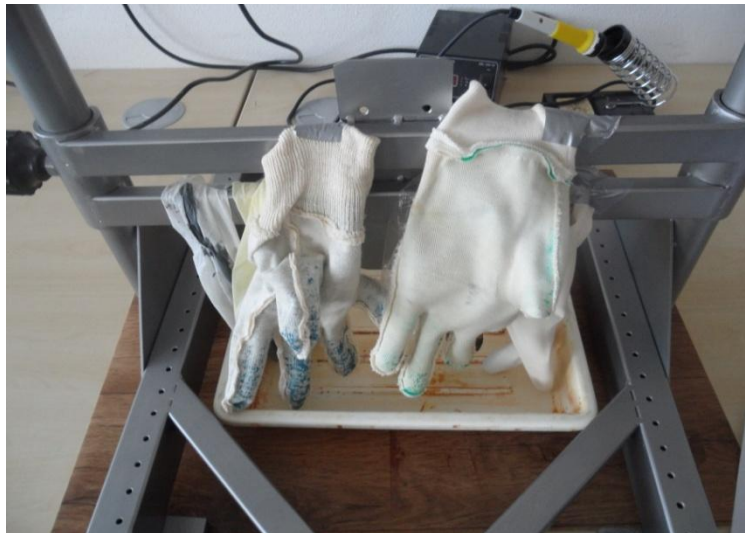
Všechny druhy rukavic jsem podrobila několika zatěžovacím testům. Nejprve jsem zkoumala jejich nepropustnost bez přítomnosti magnetického pole. Protože byla kapalina aplikována dovnitř rukavic, musela jsem je otočit naruby, aby do styku s kapalinou přišla skutečně ta část, která je k tomu určena. Poté jsem sledovala nepropustnost při zatížení magnetickým polem – nejprve krátkodobě po dobu jedné minuty, a následně dlouhodobě nepřetržitě po dobu 48 hodin.



Obr. 5.3 Zkoušení nepropustnosti rukavic



Obr. 5.4 Krátkodobé zatížení magnetickým polem



Obr. 5.5 Dlouhodobé zatížení magnetickým polem

Tab. 5.4 Použité přístroje a pomůcky

Přístroj / pomůcka	Typ	Evidenční číslo
Teslametr	Elimag MP-1	500665
Magnet	-	-

Tab. 5.5 Parametry prostředí během měření

Parametr	Hodnota
Teplota [°C]	21, 6
Vlhkost [%]	33, 5
Tlak [mbar]	980

ZHODNOCENÍ RUKAVIC

Jednorázové latexové rukavice s pudrem – vzorek 1

Prvními zkoumanými rukavicemi byly bílé latexové rukavice pro jednorázové použití. Tyto rukavice mají uvnitř vrstvu pudru, která však může být zdrojem alergických reakcí. Proto se od nich v praxi (především lékařské) spíše ustupuje a jsou nahrazovány rukavicemi bez pudru [75]. Z hlediska nepropustnosti byly však naprosto vyhovující. Magnetická kapalina neprosákla ani po dvoudenní zátěži magnetickým polem. Zároveň patří spolu s latexovými rukavicemi bez pudru k uživatelsky nejpohodlnějším z testovaných vzorků. Cena se při koupi jednoho páru rukavic pohybuje okolo 3 Kč, při zakoupení výhodnějšího balení po sto kusech se můžeme dostat až na cenu 2 Kč za pár. Případně není vyloučeno tyto rukavice, i když jsou označeny jako jednorázové, použít vícekrát.



Obr. 5.6 Latexové rukavice s pudrem – vzorek 1

Jednorázové rukavice bez pudru – vzorek 2

Tyto rukavice jsou ve všech parametrem v podstatě shodné s předešlými rukavicemi. Jejich výhodou je však právě absence pudru – a tedy eliminace možné alergické reakce.



Obr. 5.7 Latexové rukavice bez pudru – vzorek 2

Látkové pracovní rukavice – vzorek 3

Dalším zkoumaným vzorkem byly látkové pracovní rukavice typu Bullfinch od firmy Červa. Ty dle předpokladů neobstály v testu nepropustnosti a magnetická kapalina prosákla již při prvním testu bez přítomnosti magnetického pole. Bez ohledu na další parametry je lze tedy rovnou považovat za nevhodné.



Obr. 5.8 Látkové pracovní rukavice – vzorek 3

Pracovní rukavice s nitrilovým kaučukem – vzorek 4

Textilní pracovní rukavice jsou pokryty vrstvou nitrilového kaučuku, která zabraňuje prosáknutí kapalin. Kaučuk ovšem není nanesen po celé ploše rukavic, takže oblast hřbetu ruky je chráněna pouze textilií. Přestože většinová část rukavic prošla testem nepropustnosti úspěšně i za působení magnetického pole, kvůli nedostatečné ochraně celé plochy rukou nepovažují tyto rukavice za dostatečnou ochranu. Ani z hlediska uživatelského pohodlí nepokládám rukavice za vyhovující. Při jejich nošení je manipulace s předměty nesnadná, zřejmě v důsledku jejich tuhosti a mohutnosti. Cena přímo zkoušeného vzorku (rukavice Harrier od firmy Červa) se pohybuje od 16 Kč za pár.



Obr. 5.9 Rukavice s nitrilovým kaučukem – vzorek 4

Rukavice pro práci s tuky – vzorek 5

Nitrilatexové rukavice na bavlněném základě pro práci s tuky (rukavice ACN) v testu nepropustnosti překvapivě neuspěly. Přestože při základní zkoušce propustnosti (tj. bez magnetického pole) kapalinu nepropustily, během působení magnetického pole kapalina prosakovala. Po 48 hodinovém zatížení polem již bylo prosáknutí značné. Navíc, stejně jako u předchozího vzorku, nemají rukavice dostatečně chráněn hřbet ruky. Tento typ rukavic tedy vyhodnocuji jako nevhodnou ochranu pro práci s magnetickými kapalinami. Z hlediska uživatelského pohodlí se velmi blíží předchozímu vzorku. Zároveň se jedná o nejdražší rukavice ze zkoumaných vzorků – cena se pohybuje kolem 70 Kč za pár.



Obr. 5.10 Rukavice pro práci s tuky – vzorek 5

Jednorázové polyethylenové rukavice – vzorek 6

Jednorázové rukavice z polyethylenu, které jsou běžně k vidění například na čerpacích stanicích, se staly rovněž zkoumaným vzorkem. Navzdory tomu, že se jedná o rukavice z velmi snadno protržitelného materiálu, úspěšně obstály ve všech testech nepropustnosti – tekutina neprosákla ani při zatížení magnetickým polem. Přestože vzhledem k možnosti protrhnutí rukavic a také ne zcela dostatečnému uživatelskému pohodlí bych tento vzorek pro práci s magnetickými kapalinami spíše nedoporučila, rukavice obstály ve všech zatěžovacích testech a jejich cena je bezkonkurenčně nejpříznivější. Jedná se totiž o ekonomicky nejvýhodnější rukavice – balení po 100 kusech lze zakoupit již od 15 Kč.



Obr. 5.11 Polyethylenové rukavice – vzorek 6

Chemické latexové rukavice s velurem – vzorek 7

Posledním vzorkem jsou rukavice z vysoce kvalitního latexu s vnitřní velurovou vrstvou. Tyto rukavice také prošly úspěšně všemi testy nepropustnosti a vyhovují i po stránce uživatelského pohodlí. V porovnání s ostatními vyhovujícími vzorky mají ovšem lehce vyšší cenu – od 14 Kč za pár, což se ale vzhledem k možnosti opakovaného užití rukavic nejeví jako problém.



Obr. 5.12 Latexové rukavice s velurem – vzorek 7

Tab. 5.6 Vyhodnocení rukavic - přehledová tabulka

Vzorek	Nepropustnost (bez magnetického pole)	Nepropustnost (v magnetickém poli)	Pohodlí
1	✓	✓	✓
2	✓	✓	✓
3	✗	✗	✓
4	✗	✗	✗
5	✗	✗	✗
6	✓	✓	✓
7	✓	✓	✓

CELKOVÉ ZHODNOCENÍ RUKAVIC

Zatěžovacími testy prošly čtyři druhy rukavic. Jedná se o latexové jednorázové rukavice (s pudrem a bez pudru), jednorázové polyetylenové rukavice a latexové rukavice s velurem. Oba druhy latexových jednorázových rukavic výborně splňují všechny požadavky – jak na nepropustnost, tak i na uživatelské pohodlí a příznivou cenovou relaci. Rukavice s pudrem bych však vzhledem k možným zdravotním rizikům nedoporučovala. Za největší výhodu polyetylenových rukavic považuji jejich cenu (nejnižší ze všech vzorků). Ze zmíněných čtyř druhů se ale zároveň jedná o vzorek nejméně pohodlný při manipulaci

s předměty. Hlavní přínos latexových rukavic s velurem spočívá v možnosti jejich opakovaného využití. Z hygienického pohledu jsou ale spíše vhodnější rukavice jednorázové. S ohledem na všechny zmíněné aspekty považují jednorázové rukavice z latexu bez pudru za nejvhodnější pro práci s magnetickými kapalinami.

5.2.2 Ochranné brýle

Ochranné brýle jsou další důležitou součástí ochranného oděvu. Nejsou však tak namáhanou pomůckou jako rukavice, jejich hlavním významem je chránit zrak před náhodným stříknutím kapaliny do očí. Je tedy podstatné, aby byly schopny mechanicky zabránit vniku kapaliny do očí a zároveň umožňovaly nerušený výhled na prováděnou činnost. K zajištění takového stupně ochrany postačují obyčejné ochranné brýle (viz obrázek níže), které lze pořídit již od 20 Kč za kus. Takovýto základní typ brýlí je z čirého materiálu, poskytuje dostatečnou mechanickou odolnost a obsahuje UV filtry.



Obr. 5.13 Příklad postačujících ochranných brýlí [76]

5.2.3 Ochranný respirátor

Na ochranné respirátory, přestože jejich využití je spíše výjimečné, jsou naopak kladeny vysoké nároky. Musí totiž zadržet velmi malé částice. K tomuto účelu jsou nutné minimálně respirátory třídy FFP3 – ty zajišťují ochranu proti pevným malým částicím, aerosolům a olejovým mlhám [77]. Nejlevnější respirátory tohoto druhu se pohybují okolo 35 Kč (jednorázový model), ale existují i modely dražší než 1 000Kč.

5.2.4 Ochranný oděv

Ochranný oděv zabraňuje možnému styku kapaliny s pokožkou na těle a zároveň chrání oblečení před znečištěním. Dle prostředí, ve kterém se s kapalinou pracuje, a způsobu činnosti lze zvolit buď montérkový komplet, nebo ochranný plášť.

Jelikož manipulace s magnetickými kapalinami probíhá výhradně ve vnitřních prostorech, není nutné klást na montérky velké nároky z hlediska materiálu (např. na odolnost vůči povětrnostním podmínkám). Nejlevnější montérkový komplet lze sehnat přibližně od 400 Kč. Výhodou kompletu je, že zakryje celou postavu.

Druhou možností je ochranný plášť. Ten sice nezakrývá celé tělo, ale pro běžnou manipulaci s kapalinami může být dostačující. Nejlevnější textilní pláště lze zakoupit již od 165 Kč za kus, ovšem při koupi balení po 50 kusech. Nejlevnější pláště, které je možné zakoupit samostatně, se pohybují od 230 Kč za kus. Další variantou je jednorázový plášť z polyethylenu. Jeho cena se pohybuje od 20 Kč za kus.

6 Aplikace a jejich zhodnocení z hlediska možnosti styku člověka s kapalinou

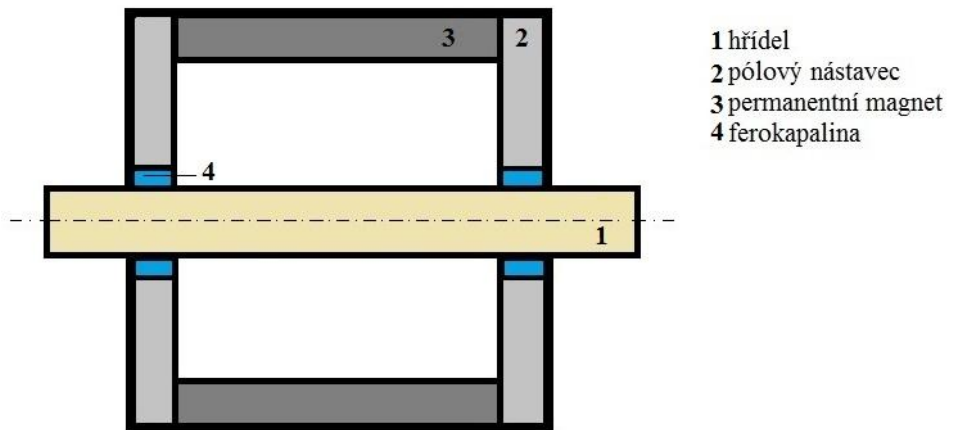
Předešlá část textu byla věnována potenciálním rizikům a zdravotním problémům spojených s magnetickými kapalinami. Následující pasáž se bude zabývat zhodnocením praktických aplikací z hlediska možnosti styku člověka s kapalinou.

6.1 Běžné aplikace

Magnetické kapaliny mohou být (a jsou) využívány v řadě praktických aplikací. Praktické uplatnění nachází jako součást reproduktorů, tlumičů, těsnění nebo separátorů [78]. Možné je také jejich využití v elektromechanických převodnicích nebo ve funkci kapalného izolantu [1]. Existuje ovšem i možnost využít potenciál magnetických kapalin v lékařské technice a biomedicínských aplikacích [1, 78, 79].

Ferohydronechanické těsnění

Ferokapalina ve funkci těsnění je aplikována do vzduchové mezery mezi pólovými nástavci a hřídelí – viz obrázek níže. Vzduchová mezera zaujímá prostor v řádech desetin milimetru.



Obr. 6.1 Schéma hřídele s ferokapalinou – překresleno na základě [78]

Kapalina je na své místo vpravována automaticky, takže nepředpokládám žádné nebezpečí interakce člověka s kapalinou. Pokud by kapalina byla aplikována ručně, bylo by vhodné použít ochranné pomůcky jako ochranný oděv a rukavice.

Ferohydraulické tlumiče

Hydraulické tlumiče s ferokapalinou disipují kinetickou energii výchylek a kmitání strojů na tepelnou energii. Tyto tlumiče jsou často součástí měřících přístrojů, praček nebo dopravních prostředků [78].

Stejně jako u ferohydronechanického těsnění se i v tomto případě nedomnívám, že by docházelo ke styku ferokapaliny s člověkem. Pokud by kapalina byla aplikována do tlumičů ručně, nikoli mechanicky, doporučovala bych použití ochranného oděvu a rukavic.

Reproduktory

Elektroakustické měniče (reproduktory) využívají magnetickou kapalinu jako chladící médium. Kapalina zde slouží především ke zlepšení chlazení cívky, která se nachází v mezeře začleněné v obvodu s permanentním magnetem. Fero kapalina je pak aplikována do mezery, v níž cívka kmitá [78].

V rámci průmyslové produkce bývá značná část výroby realizována automaticky. V takovém případě nepředpokládám přímý kontakt člověka s kapalinou. Jestliže je kapalina do zařízení vpravována ručně, považuji za nezbytné provádět práci v rukavicích a ochranném oděvu.

Biomedicínské aplikace

Aplikování magnetických kapalin v medicíně je prozatím předmětem intenzivního výzkumu, přesto je lze již dnes považovat za nový perspektivní materiál pro využití ve zdravotnictví. Kapaliny je možné použít jednak ke zlepšení funkce lékařských zařízení, ale také k samotné aplikaci in vivo v rámci léčby (např. při léčbě nádorů) [5].

K takovým aplikacím ovšem nelze využít všechny magnetické kapaliny – musí splňovat jisté požadavky. V první řadě je nutné, aby nosná tekutina byla na bázi vodného roztoku či jiné netoxické látky [1]. S tím souvisí i požadavek na netoxické biokompatibilní magnetické částice v kapalině – z tohoto hlediska jsou nejvhodnější částičky Fe_2O_3 a Fe_3O_4 [80]. U magnetických částic je zároveň významná jejich velikost. Pro využití v medicíně jsou vyhovující pouze fero kapaliny, které obsahují částice v řádu jednotek až desítek nanometrů. Nanočástice jsou menší než buňky, ale větší než organické molekuly – přibližně v rozmezí velikosti biologických makromolekul jako geny, proteiny nebo viry [5]. Malé rozměry nanočástic jsou důležité také pro zachování koloidní stability [80].

Magnetické cílení léčiv

Magnetické cílené léčiv, zejména do nádorových tkání, je jeden ze způsobů aplikace fero kapalin in vivo. Klasická chemoterapie nepřináší pouze destrukci nádoru, ale porušuje také zdravou tkáň. Tento jev patří mezi nejzávažnější vedlejší účinky chemoterapie. Magnetické kapaliny (s aktivní léčivou látkou navázanou na povrchu nanočástic) představují

možnost směřování léčiva přímo do oblasti nádoru pomocí vnějšího magnetického pole [78]. Vnější magnetické pole nasměruje látku k nádoru, kde bude kapalina držena do doby, než se chemoterapeutická látka uvolní do organismu. Při této aplikaci je vyžadována tak velká síla magnetického pole, aby byla schopna zabránit hydrodynamické unášivé síle krve v cévách a okolí tumoru [81].

Diagnostika

V diagnostice lze použít magnetické kapaliny jako kontrastní látku při vyšetřeních – především magnetické rezonanci. Principiálně by bylo možné využít kapaliny i v rámci rentgenového vyšetření tělních dutin [78], ale v současné době jsou preferovány spíše jiné diagnostické metody (např. počítačová tomografie, kolonoskopie apod.). Jako kontrastní látka pro magnetickou rezonanci byla magnetická kapalina použita například v přípravku Resovist [80]. Resovist je kontrastní látka obsahující superparamagnetické oxidy železa potažené karboxydextranem. Stejně jako ostatní látky tohoto typu může vyvolat řadu vedlejších účinků, nejčastěji nauseu a zvracení. Nelze ovšem vyloučit, že způsobí alergickou reakci či anafylaktický šok. Akutní toxicita přípravku však není prokázána, kontrastní látka by po vyšetření měla projít tzv. biotransformací, tj. splynutím železa z Resovistu s běžnou zásobou železa v organismu. Vzhledem k tomu, že látka je podávána pacientům jednorázově, nikoli pravidelně a dlouhodobě, studie zaměřeny na možné karcinogenní účinky nebyly prováděny [82].

Hypertermie a termoablace

Obě zmíněné metody se zakládají na zavedení magnetické kapaliny do nádoru a následném ohřevu ztrátami způsobenými externím střídavým polem o vysoké frekvenci (50 kHz až 1,2 MHz) [78, 83]. Ztráty vzniklé v důsledku přemagnetování nanočástic v kapalině jsou příčinou lokálního ohřevu tkáně.

Hypertermie probíhá až několik hodin při teplotě 42 °C až 45 °C. Pro efektivní poškození nádorových buněk je však potřeba ještě kombinace s ozařováním nebo chemoterapií. Z hlediska ochrany zdraví pacienta je vyvíjena snaha o dosažení co nejvyšší teploty s co nejmenším množstvím magnetických nanočástic [80]. Zároveň je důležité zvolit magnetický materiál s vhodnou T_c , která musí být těsně nad teplotou

nezbytnou pro léčbu – eliminuje se tak možnost přehřátí zdravé tkáně [78, 80]. Hypertermie ovšem může být založena i na dalších fyzikálních principech.

Termoablace funguje na podobném principu jako hypertermie, ale s tím rozdílem, že tento druh léčby má vyvolat destrukci nádoru výhradně působením tepla. Takový postup vyžaduje teplotu nejméně 50 °C při působení po dobu alespoň několika minut. Přestože tento postup se zdá velmi výhodný, jelikož umožňuje léčbu bez ozařování a chemoterapie, vyvolává obavy ze vzniku možných systémových vedlejších účinků. Jedná se především o syndrom šoku v důsledku uvolnění velkého množství nekrotické nádorové tkáně a případnou zánětlivou reakci [80]. Také termoablace může být založena na různých principech a do lékařské praxe je již zavedena například termoablace uskutečňovaná pomocí mikrovlnného záření [84].

Jak bylo zmíněno v předešlé části textu, při těchto aplikacích magnetických kapalin je vhodné použít co nejmenší množství magnetických nanočástic. Tato úvaha ovšem vede k potřebě velkého výkonu, který umožní nádorové buňky zahřát na potřebnou teplotu. Jednou z možností, jak výkon zvýšit, je použití kovových částic namísto oxidů železa. V takovém případě pak ale nastává problém s chemickou stálostí i biokompatibilitou kapaliny. Je tedy stále předmětem výzkumu, jak vytvořit vhodnou kapalinu, která bude splňovat všechny nároky pro tento druh aplikace, tj. vyhovující rozměry a koncentrace částic, dostatečné prohřátí tkáně, stálost a zdravotní nezávadnost.

Při těchto aplikacích je samozřejmě nevyhnutelný styk člověka s magnetickou kapalinou. Kapaliny určené pro tento způsob využití se však od běžných magnetických kapalin svým složením odlišují a neměly by být zdravotně závadné. Možné použití ferokapalin k léčbě nádorových onemocnění považují za inovativní a velmi užitečné. Nicméně stejně jako u většiny léčebných procedur se i v tomto případě mohou vyskytnout nežádoucí účinky a v případě zavedení těchto aplikací do lékařské praxe se některé mohou projevit až časem. Přesto pro co nejvěrnější posouzení možných zdravotních následků je nutný další výzkum ze strany odborníků, a to nejlépe interdisciplinární. Ideálně by se tento výzkum měl zabývat nejen možnými akutními nežádoucími účinky, ale také dlouhodobými – ať již možnou karcinogenitou nebo usazováním látek z kapaliny v orgánech, které zmiňují některé prameny [5].

6.2 Aplikace na KTE FEL ZČU

Katedra teoretické elektrotechniky FEL ZČU se zabývá výzkumem magnetických kapalin. Ovšem na rozdíl od běžných aplikací v elektrotechnickém průmyslu, kdy je styk člověka s kapalinou omezen na minimum, při výzkumu pracovníci katedry a studenti přicházejí do kontaktu s kapalinou neustále a dlouhodobě. Rovněž podmínky, za kterých s kapalinou pracují, jsou často velmi specifické a někdy až extrémní (např. dojde k vaření kapaliny).

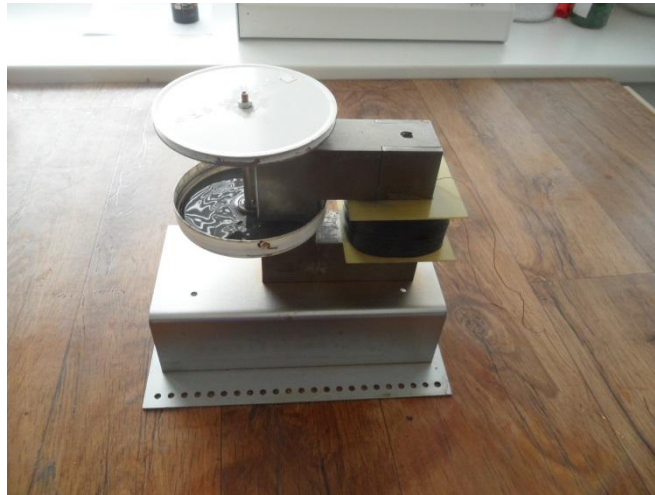
Můžeme rozlišit tři základní oblasti práce s kapalinami na KTE: navrhování a testování zařízení využívajících magnetické kapaliny, výzkum fyzikálních vlastností kapalin a výroba učebních pomůcek.

V první oblasti se využívají oba druhy magnetických kapalin (tj. fero kapaliny i magnetoreologické kapaliny). Spadají sem zařízení jako magnetoreologická brzda, ucpávky, ventily a těsnění, motory a aktuátory.

Základní výzkum se věnuje fyzikálním vlastnostem kapalin za různých podmínek. Zjišťuje se zde vliv časově proměnného magnetického pole, zkoumá se migrace kapalin v magnetickém poli a jejich dynamika nebo také tenzor permeability.

Magnetoreologická brzda

Jak je patrné z fotografie zařízení (viz níže), při práci s magnetoreologickou brzdou hrozí vystřikování kapaliny v případě rychlého točení nebo v případě velké dynamické změny magnetického pole. Také během zavádění senzorů do kapaliny a jejím doplňování je zde riziko potřísnění kapalinou.



Obr. 6.2 Magnetoreologická brzda na KTE

Při práci s tímto zařízením tedy navrhuji využít kompletní ochranný oděv (oděv, rukavice, ochranné brýle), nebo ještě lépe instalovat na zařízení ochranný kryt, čímž omezíme i znečištění pracovního prostředí.



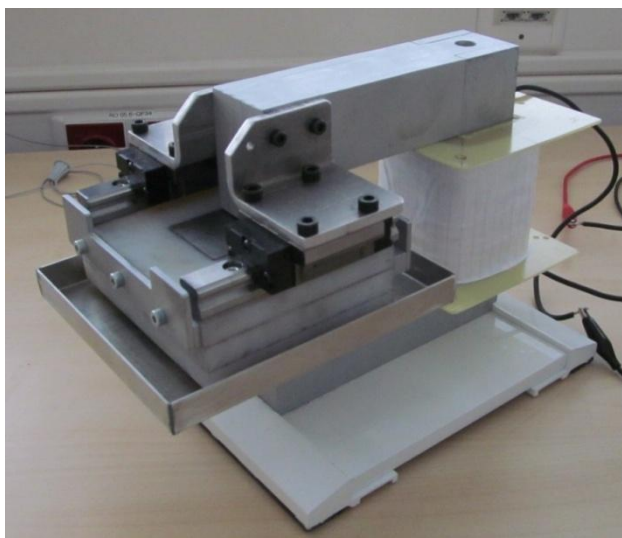
Obr. 6.3 Návrh ochranného krytu

Ucpávky a těsnění

Během práce s ucpávkami a těsněním hrozí potřísnění kapalinou. Je tedy vhodné při této činnosti užít alespoň základní ochranný oděv (tj. oděv a ochranné rukavice).

Aktuátor

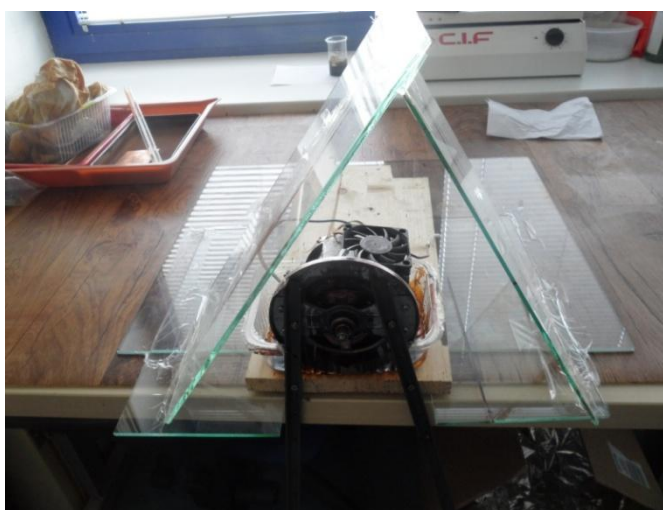
V důsledku posunů pohyblivých částí aktuátoru (viz fotografie) dochází ke stříkání kapaliny ze zařízení. Současně může dojít k potřísnění při jejím doplňování. Stejně jako v případě magnetoreologické brzdy navrhuji využít kompletní ochranný oděv a ochranný kryt.



Obr. 6.4 Model aktuátoru na KTE

Motor

Během chodu motoru také dochází ke stříkání kapaliny, a to především ve směru kolmém ke směru pohybu rotoru. Navrhují použití kompletního ochranného oděvu a vhodného krytu, který zabrání vystřikovávání kapaliny alespoň ve zmíněném směru, tj. v oblasti nejintenzivnějšího stříkání – viz fotografie níže.



Obr. 6.5 Postačující kryt motoru na KTE

Výzkum fyzikálních vlastností kapalin

Zhodnotit možnosti styku s kapalinou při jejich výzkumu je velmi složité. Všeobecně ale lze říci, že při zkoumání magnetických kapalin je toto riziko větší, než při běžné práci s nimi včetně všech dosavadních praktických aplikací na KTE. Hlavní komplikací pro zhodnocení rizik spojených s prací s kapalinou je značná nepředvídatelnost průběhu experimentů.

Příkladem této nepředvídatelnosti může být experiment pro zjištění magnetizačních vlastností ferokapaliny, při kterém byla kapalina využita jako transformátor. Do nádoby s kapalinou byla umístěna dvojice vinutí, ze znalosti napětí na primárním vinutí a změřeném indukovaném napětí na vinutí sekundárním byla dopočítána magnetizační křivka. Došlo ke vzniku ztrátového tepla a zahřátí vinutí, následkem čehož začala magnetická kapalina vařit (viz obrázek níže). Tento stav je však velmi nebezpečný, protože vzniklé výpary mohou vážně poškodit lidské zdraví.



Obr. 6.6 Vaření kapaliny během pokusu

Navrhuji proto použití kompletního ochranného oděvu (oděv, rukavice, ochranné brýle), dbát na bezpečnou práci s kapalinou (viz kapitola 5) a pracovat v místnosti, kde je možné intenzivně větrat, případně zvážit pořízení digestoře. V případě vzniku par lze využít také respirátor typu FFP3, který je dimenzován pro zachycení kapalných aerosolů (tj. částic ve velikosti 10 nm až 10 μ m [77]). Tato opatření by měla snížit riziko na minimum.

Výroba učebních pomůcek

V oblasti výroby učebních pomůcek je možnost styku s kapalinou omezena na potřísnění při aplikaci kapaliny do zařízení. Vzhledem k povaze a účelu pomůcek jsou totiž ochranná opatření pro používání zařízení již zabudována do pomůcky v rámci výroby. Při výrobě tedy doporučuji použití ochranného oděvu.



Obr. 6.7 Učební pomůcka se zabudovaným ochranným krytem

7 Závěr

Tato práce se zabývala vlivem komerčních magnetických kapalin na lidský organismus. Práce měla několik primárních cílů – představit magnetické kapaliny dostupné na trhu a seznámit s jejich vlastnostmi, shrnout názory na možná zdravotní rizika vzešlá z interakce člověka s magnetickými kapalinami, zhodnotit aplikace z hlediska možnosti styku člověka s kapalinami a navrhnout zásady pro bezpečnou práci s nimi, včetně doporučení pro laboratoře KTE FEL ZČU. Domnívám se, že se všechny vytyčené cíle podařilo v rámci této bakalářské práce naplnit.

Magnetické kapaliny jsou tvořeny suspenzí magnetických částic s povrchově aktivní látkou (surfaktantem) rozptýlených v nosné kapalině. Kapaliny jsou na základě velikosti částic děleny na ferokapaliny (částice ve velikosti nm) a magnetoreologické kapaliny (částice v řádu μm). Magnetické kapaliny nacházejí různé způsoby využití – od elektrotechniky a spotřební elektroniky, přes průmysl až po možné medicínské aplikace.

Magnetické kapaliny dostupné na trhu byly zkoumány v souvislosti s možnými zdravotními riziky. Z hlediska chemického složení jsou potenciální zdravotní rizika vždy silně závislá na konkrétním složení a typu dané kapaliny. Obecně nejproblematictější složkou kapalin jsou minerální oleje, uhlovodíková nosná kapalina a PFPE. Tyto látky mohou při styku s pokožkou vyvolat alergické reakce, podráždění a mohou vykazovat i mutagenní účinky.

Další zdravotní rizika jsou spojena s rozměry nanočástic v kapalinách. Nanočástice jsou schopny projít přes kůži, spojivkový epitel či dýchací soustavu do organismu. Do těla se však mohou dostat i perorální cestou – přenosem z rukou či v důsledku proniknutí částic do životního prostředí, tj. prostřednictvím vody, vzduchu nebo potravy. Nanočástice jsou v lidském těle schopné migrovat tkáněmi a dostat se do krevního oběhu. Částice způsobují v buňkách tzv. oxidativní stres a mohou zapříčinit předčasnou buněčnou smrt. Pokud je jich dostatečné množství (organismus nezvládá částice vylučovat), mohou se usazovat v orgánech a způsobit vážné zdravotní problémy – od zánětů až po kardiovaskulární onemocnění, vznik mutací nebo poškození DNA, případně rozvoj karcinogenity.

Lidé běžně přicházejí do styku s velkým množstvím různorodých nanočástic i chemických látek. V případě magnetických kapalin v rámci jejich běžných aplikací je tento kontakt většinou minimální. Opačně je tomu v případě osob, které pracují přímo s kapalinami, ať již v průběhu jejich výroby nebo při jejich zkoumání (např. v laboratořích KTE FEL ZČU). V takovém případě je třeba dbát na bezpečné zacházení a práci s kapalinami, obzvláště při tak různorodé a nevyzpytatelné činnosti, jakou je jejich výzkum. Případná rizika lze snížit použitím kompletního ochranného oděvu – rukavic (optimálně latexové), ochranného oděvu, brýlí a v případě nutnosti respirátoru typu FFP3. Ideálně by pracovní místnost měla mít možnost větrání nebo alespoň digestoř. Důležité je i řádné skladování magnetických kapalin, vždy pečlivě uzavírat nádoby s kapalinami a uchovávat je na temném a chladném místě. Zároveň je nutné se vyhnout hazardnímu zacházení s kapalinami a zajistit, aby nedošlo ke vzniku horkých par, které jsou velmi toxické a dráždivé.

Zatím není zcela přesně známo, jaké dopady mohou mít materiály s nanočásticemi na lidské zdraví, proto by měl být využíván princip předběžné opatrnosti a měl by být kladen důraz na správnou likvidaci toho materiálu. Přesto jsou magnetické kapaliny velmi zajímavým materiálem s velkým potenciálem do budoucna. Právě nanomateriály jsou považovány za důležité materiály pro budoucí vývoj. A jejich možný potenciál pro využití v lékařství by v budoucnosti mohl přinést zásadní průlom. Je tedy samozřejmě na místě velká opatrnost a investice do dalšího výzkumu těchto materiálů z hlediska bezpečnosti, ale nedomnívám se, že bychom je měli kvůli obavám apriori odmítat. Magnetické kapaliny mohou být potenciálně škodlivé pro lidské zdraví – stejně tak ale většina produktů lidské a průmyslové činnosti.

Domnívám se, že budoucí výzkum by se měl dále zaměřovat na zkoumání škodlivosti magnetických kapalin i ostatních materiálů obsahujících nanočástice – a to nejen z hlediska akutní toxicity, ale také s ohledem na dlouhodobé důsledky (např. při pravidelné dlouhodobé práci s magnetickými kapalinami). Tento výzkum by měl být ideálně interdisciplinární se zapojením odborníků z různých odvětví.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] POLCAR, P. *Elektromechanický systém s magnetickou kapalinou*. Plzeň, 2013. Disertační práce (Ph.D.). Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická.
- [2] ELMORE, W. C. *Phys. Rev.* 1938, č. 59, s. 309.
- [3] RABINOW, J. *Magnetic fluid clutch*. National Bureau of Standards Technical News Bull., 32(4), 1948, s. 54-60.
- [4] MAYER, D. Magnetické kapaliny a jejich použití (1. Část). *Elektro*. 2007, roč. 17, č. 3, s. 78-79.
- [5] TRAHMS, L. Biomedical Applications of Magnetic Nanoparticles. *Lect. Notes Phys.* Springer-Verlag Heidelberg, roč. 2009, č. 763, s. 327-358. DOI: 10.1007/973-3-540-85387-9_5.
- [6] KUČEROVÁ, E. *Elektrotechnické materiály*. 1. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2002. ISBN 80-7082-940-0
- [7] RAJ, K. a kol. *Electrically conductive ferrofluid compositions and method of preparing and using same*. [patent]. USA. 4604229. Uděleno 1986.
- [8] PAPELL, S. S. *Low viscosity magnetic fluid obtained by the colloidal suspension of magnetic particles* [patent]. USA. 3,215,572. Uděleno 1965.
- [9] CHARLES, S., V. The Preparation of Magnetic Fluids [online]. [cit. 2014-02-16] Dostupné z: http://pages.csam.montclair.edu/~yecko/ferro/oldpapers/DIRECTORY_LNP594/Charles_Prep.pdf
- [10] PILENI, M. P. Magnetic Fluids: Fabrication, Magnetic Properties, and Organisation of Nanocrystals. *Adv.Funct.Mater.* Wiley-VCH Verlag GmbH, 2001, roč. 11, č. 5. ISSN 1616-301X/01/0510-0323.
- [11] KHALAFALLA, S. E., REIMERS, G. W. *Magnetofluids and their manufacture*. [patent]. USA. 3,764,540. Uděleno 1973.
- [12] PAPIRER E., HORNY, P., BALARD, H., ANTHORE, R., PETIPAS, R., MARTINET, A. *The preparation of a ferrofluid by the decomposition of dicobalt octacarbonyl*. *J. Coll. Int.Sci.* 94, 1983. 207, 20.
- [13] *Ferrotec* [online]. © 2001–2014 [cit. 2013-12-20]. Dostupné z: <https://www.ferrotec.com/>
- [14] *Ferrotec: Europe* [online]. © 2001,2013 [cit. 2013-12-20]. Dostupné z: <http://www.ferrotec-europe.de/>
- [15] *Liquids Research Limited* [online]. 2011 [cit. 2014-05-20]. Dostupné z: <http://www.liquidsresearch.com>
- [16] Ferrofluid APG 300. *Material safety datasheet* [online]. 2009 [cit. 2013-11-05]. Dostupné z: <https://ferrofluid.ferrotec.com/downloads/apg300msds.pdf>
- [17] Ferrofluid APG 500. *Material safety datasheet* [online]. 2009 [cit. 2013-11-05]. Dostupné z: <http://www.ferrotec-europe.de/pdf/si/apg5xxa-en.pdf>
- [18] Ferrofluid APG 800. *Material safety datasheet* [online]. 2008 [cit. 2013-11-05]. Dostupné z: <https://ferrofluid.ferrotec.com/downloads/apg800msds.pdf>
- [19] Ferrofluid APG 900. *Material safety datasheet* [online]. 2009 [cit. 2013-11-05]. Dostupné z: <http://www.ferrotec-europe.de/pdf/si/apg9xx-en.pdf>
- [20] Ferrofluid APG 1000. *Material safety datasheet* [online]. 2009 [cit. 2013-11-05]. Dostupné z: <http://www.ferrotec-europe.de/pdf/si/apg10xx-en.pdf>
- [21] Ferrofluid APG 1100. *Material safety datasheet* [online]. 2009 [cit. 2013-11-05]. Dostupné z: <https://ferrofluid.ferrotec.com/downloads/apg1100msds.pdf>

- [22] Ferrofluid APG 2100. *Material safety datasheet* [online]. 2008 [cit. 2013-11-05]. Dostupné z: <https://ferrofluid.ferrotec.com/downloads/apg2100msds.pdf>
- [23] Ferrofluid APG E. *Material safety datasheet* [online]. 2009 [cit. 2013-11-05]. Dostupné z: <https://ferrofluid.ferrotec.com/downloads/apgEmsds.pdf>
- [24] Ferrofluid APG J. *Material safety datasheet* [online]. 2009 [cit. 2013-11-05]. Dostupné z: <http://www.ferrotec-europe.de/pdf/si/apgjxx-en.pdf>
- [25] Ferrofluid APG L. *Material safety datasheet* [online]. 2008 [cit. 2013-11-05]. Dostupné z: <https://ferrofluid.ferrotec.com/downloads/apgLmsds.pdf>
- [26] Ferrofluid APG O. *Material safety datasheet* [online]. 2008 [cit. 2013-11-05]. Dostupné z: <https://ferrofluid.ferrotec.com/downloads/apgOmsds.pdf>
- [27] Ferrofluid APG O 17. *Material safety datasheet* [online]. 2009 [cit. 2013-11-05]. Dostupné z: <http://www.ferrotec-europe.de/pdf/si/apgo17-en.pdf>
- [28] Ferrofluid APG O 27. *Material safety datasheet* [online]. 2009 [cit. 2013-11-05]. Dostupné z: <http://www.ferrotec-europe.de/pdf/si/apgo27n-en.pdf>
- [29] Ferrofluid APG O 37. *Material safety datasheet* [online]. 2009 [cit. 2013-11-05]. Dostupné z: <http://www.ferrotec-europe.de/pdf/si/apgo37-en.pdf>
- [30] Ferrofluid APG O 47. *Material safety datasheet* [online]. 2009 [cit. 2013-11-05]. Dostupné z: <http://www.ferrotec-europe.de/pdf/si/apgo47n-en.pdf>
- [31] Ferrofluid APG O 87. *Material safety datasheet* [online]. 2009 [cit. 2013-11-05]. Dostupné z: <http://www.ferrotec-europe.de/pdf/si/apgo87-en.pdf>
- [32] Ferrofluid APG S. *Material safety datasheet* [online]. 2009 [cit. 2013-11-05]. Dostupné z: <https://ferrofluid.ferrotec.com/downloads/apgSmsds.pdf>
- [33] Ferrofluid APG W. *Material safety datasheet* [online]. 2008 [cit. 2013-11-05]. Dostupné z: <https://ferrofluid.ferrotec.com/downloads/apgWmsds.pdf>
- [34] Ferrofluid EMG 900. *Material safety datasheet* [online]. 2010 [cit. 2013-11-05]. Dostupné z: <https://ferrofluid.ferrotec.com/downloads/emg900msds.pdf>
- [35] Ferrofluid EMG 1200. *Material safety datasheet* [online]. 2005 [cit. 2013-11-05]. Dostupné z: <https://ferrofluid.ferrotec.com/downloads/emg1200msds.pdf>
- [36] Ferrofluid EMG 1300. *Material safety datasheet* [online]. 2005 [cit. 2013-11-05]. Dostupné z: <https://ferrofluid.ferrotec.com/downloads/emg1300msds.pdf>
- [37] Ferrofluid EMG 1400. *Material safety datasheet* [online]. 2005 [cit. 2013-11-05]. Dostupné z: <https://ferrofluid.ferrotec.com/downloads/emg1400msds.pdf>
- [38] Ferrofluid EMG 1500. *Material safety datasheet* [online]. 2005 [cit. 2013-11-05]. Dostupné z: <https://ferrofluid.ferrotec.com/downloads/emg1500msds.pdf>
- [39] Ferrofluid EMG 300. *Material safety datasheet* [online]. 2009 [cit. 2013-11-05]. Dostupné z: <https://ferrofluid.ferrotec.com/downloads/emg300msds.pdf>
- [40] Ferrofluid EMG 800. *Material safety datasheet* [online]. 2007 [cit. 2013-11-05]. Dostupné z: <https://ferrofluid.ferrotec.com/downloads/emg800msds.pdf>
- [41] Ferrofluid EFH. *Material safety datasheet* [online]. 2009 [cit. 2013-11-05]. Dostupné z: <https://ferrofluid.ferrotec.com/downloads/efhmsds.pdf>
- [42] Ferrofluid MSGW 11. *Material safety datasheet* [online]. 2004 [cit. 2013-11-06]. Dostupné z: <http://www.ferrotec-europe.de/pdf/si/msgw11-en.pdf>
- [43] Ferrofluid MSGW 12. *Material safety datasheet* [online]. 2004 [cit. 2013-11-06]. Dostupné z: <http://www.ferrotec-europe.de/pdf/si/msgw12-en.pdf>
- [44] Ferrofluid SMG. *Material safety datasheet* [online]. 2001 [cit. 2013-11-06]. Dostupné z: <http://www.ferrotec-europe.de/pdf/si/smgxxx-en.pdf>
- [45] Ferrofluid VSG 300. *Material safety datasheet* [online]. 2009 [cit. 2013-11-06]. Dostupné z: <http://www.ferrotec-europe.de/pdf/si/vsg3xx-en.pdf>
- [46] Ferrofluid VSG 500. *Material safety datasheet* [online]. 2009 [cit. 2013-11-06]. Dostupné z: <http://www.ferrotec-europe.de/pdf/si/vsg5xx-en.pdf>

- [47] Ferrofluid VSG 900. *Material safety datasheet* [online]. 2009 [cit. 2013-11-06]. Dostupné z: <http://www.ferrotec-europe.de/pdf/si/vsg9xx-en.pdf>
- [48] Ferrofluid VSG 011. *Material safety datasheet* [online]. 2009 [cit. 2013-11-06]. Dostupné z: <http://www.ferrotec-europe.de/pdf/si/vsg011-en.pdf>
- [49] Ferrofluid VSG 203A. *Material safety datasheet* [online]. 2009 [cit. 2013-11-06]. Dostupné z: <http://www.ferrotec-europe.de/pdf/si/vsg203a-en.pdf>
- [50] Ferrofluid VSG 803. *Material safety datasheet* [online]. 2009 [cit. 2013-11-06]. Dostupné z: <http://www.ferrotec-europe.de/pdf/si/vsg803-en.pdf>
- [51] Ferrofluid VSG Z20. *Material safety datasheet* [online]. 2009 [cit. 2013-11-06]. Dostupné z: <http://www.ferrotec-europe.de/pdf/si/vsgz20-en.pdf>
- [52] Albumin. *Material safety datasheet* [online]. 2007 [cit. 2013-11-07]. Dostupné z: <http://liquidsresearch.co.uk/en-GB/healthsafety-59.aspx>
- [53] Avidin. *Material safety datasheet* [online]. 2007 [cit. 2013-11-07]. Dostupné z: <http://liquidsresearch.co.uk/en-GB/healthsafety-59.aspx>
- [54] Biotin. *Material safety datasheet* [online]. 2008 [cit. 2013-11-07]. Dostupné z: <http://liquidsresearch.co.uk/en-GB/healthsafety-59.aspx>
- [55] Dextran. *Material safety datasheet* [online]. 2009 [cit. 2013-11-07]. Dostupné z: <http://liquidsresearch.co.uk/en-GB/healthsafety-59.aspx>
- [56] PEI. *Material safety datasheet* [online]. 2008 [cit. 2013-11-07]. Dostupné z: <http://liquidsresearch.co.uk/en-GB/healthsafety-59.aspx>
- [57] Transferin. *Material safety datasheet* [online]. 2008 [cit. 2013-11-07]. Dostupné z: <http://liquidsresearch.co.uk/en-GB/healthsafety-59.aspx>
- [58] Chitosan. *Material safety datasheet* [online]. 2009 [cit. 2013-11-07]. Dostupné z: <http://liquidsresearch.co.uk/en-GB/healthsafety-59.aspx>
- [59] WHJ S1. *Material safety datasheet* [online]. 2006 [cit. 2013-11-07]. Dostupné z: <http://liquidsresearch.co.uk/en-GB/healthsafety-59.aspx>
- [60] WHK. *Material safety datasheet* [online]. 2008 [cit. 2013-11-07]. Dostupné z: <http://liquidsresearch.co.uk/en-GB/healthsafety-59.aspx>
- [61] SHAS1S2. *Material safety datasheet* [online]. 2008 [cit. 2013-11-07]. Dostupné z: <http://liquidsresearch.co.uk/en-GB/healthsafety-59.aspx>
- [62] SHGS4SU. *Material safety datasheet* [online]. 2008 [cit. 2013-11-07]. Dostupné z: <http://liquidsresearch.co.uk/en-GB/healthsafety-59.aspx>
- [63] SPBS26. *Material safety datasheet* [online]. 2008 [cit. 2013-11-07]. Dostupné z: <http://liquidsresearch.co.uk/en-GB/healthsafety-59.aspx>
- [64] SPCS25. *Material safety datasheet* [online]. 2009 [cit. 2013-11-07]. Dostupné z: <http://liquidsresearch.co.uk/en-GB/healthsafety-59.aspx>
- [65] Emailová korespondence s Petrou Antes – firma Ferrotec [online], 10. 12. 2012.
- [66] Emailová korespondence se Stephenem Wellsem – firma Liquids Research Ltd [online], 16. 9. 2011.
- [67] Doc. Ing. Zdeněk ZLOCH, CSc. – odborná konzultace (Lékařská fakulta UK v Plzni, Fakulta pedagogická ZČU) dne 25. 10. 2013.
- [68] Fluorocarbon. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. 2001- [cit. 2014-03-19]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/Fluorocarbon>
- [69] FILIPOVÁ, Z., KUKUTSCHOVÁ, J., MAŠLÁŇ, M. *Rizika nanomateriálů*. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého, 2012. 978-80-244-3201-4.
- [70] GWINN, M., VALLYATHAN, V. Nanoparticles: Health Effect – Pros and Cons. *Environ Health Perspectives*. 2006, roč. 114, č. 12, s. 1818 - 1825.
- [71] NOHAVICA, D. Rizika nanomateriálů a nanotechnologií pro lidské zdraví a životní prostředí. *Československý časopis pro fyziku*. 2011, roč. 61, č. 3 - 4, s. 220 - 227.

- [72] POLÁKOVÁ, K. Magnetické nanočástice v medicíně [online]. [cit. 2014-05-01]. Dostupné z: <http://fyzika.upol.cz/cs/system/files/download/vujtek/texty/zanam-med.pdf>
- [73] LI, J., TIAN, Y., TAO, K., WANG, G., XIA, Z. Preparation and acute toxicology of nano-magnetic ferrofluid. *Journal of Huazhong University of Science and Technology*. 2004, roč. 21, č. 1, s. 59-61.
- [74] BENI, C., BUNO, O, NACEV, A., SHAPIRO, B. The behaviors of ferro-magnetic nano-particles in and around blood vessels under applied magnetic field. *Journal of magnetism and magnetic materials*. 2011, roč. 323, č. 6, s. 651 - 668.
- [75] *Sempermed informuje* [online]. 2004 [cit. 2014-03-05]. Dostupné z: http://www.sempermed.com/fileadmin/img/sempermed/content/medical/pdf_datei/Inform_pdfs_75dpi/CZ/Cz%20_Nr.7_01.pdf
- [76] Brýle ochranné Extol Craft 97302. www.zbozi.cz [online]. © 1996 - 2014 [cit. 2014-03-20]. Dostupné z: <http://www.zbozi.cz/vyrobek/bryle-ochranne-extol-craft-97302/>
- [77] *FLOPP: Respirátory a masky* [online]. 2011 [cit. 2014-02-15]. Dostupné z: <http://respiratory-a-masky.flopp.cz/respirator-ffp3-refil-851/pp/9/89>
- [78] MAYER, D. Magnetické kapaliny a jejich použití (2. Část - dokončení). *Elektro*. 2007, roč. 17, č. 4, s. 4-8.
- [79] HERGT, R., ANDRA, W. *Magnetism in Medicine: Magnetic Hyperthermia and Thermoablation*. Wiley, 2006.
- [80] HERGT, R., DUTZ, S., MULLER, R., ZEISBERGER, M. *Magnetic particle hyperthermia: nanoparticle magnetism and materials development for cancer therapy*. *Journal of Physics: Condensed Matter*. 2006. roč. 18.
- [81] HUKÉ, B., LUECKE, M. *Magnetic properties of colloidal suspensions of interacting magnetic particles*. *Rep. Prog. Phys.*, 2004. 67 1731.
- [82] Resovist. Magnetic Resonance Imaging. [online]. 2008, [cit. 2014-01-21]. Dostupné z: http://www.mri-portal.com/kontrasty/letaky/resovist_spc.pdf
- [83] GILCHRIST, R. K., MEDAL, R., SHOREY, W. D., HANSELMAN, H.C., PARROT, J.C., TAYLOR, C.B. Selective inducting heating of lymph nodes. *Annals of Surgery*. 1957, 146-596.
- [84] *Tisková zpráva ze dne 8. 4. 2004* [online]. 2004 [cit. 2014-01-20]. Dostupné z: <http://www.fnbrno.cz/tiskova-zprava-ze-dne-8-4-2004-termoablance/t1697>