

# **Praktika z biomedicínské a klinické techniky 3 - simulátory fyziologických funkcí a bezpečnost pacienta**

Ing. Jiří Hozman, Ph.D.,  
Ing. Josef Chaloupka,  
Doc. MUDr. RNDr. Petr Maršálek, Ph.D.

2008  
ČVUT v Praze  
Fakulta biomedicínského inženýrství

# Obsah

Obsah .....	1
Úvod .....	3
1. Simulátory fyziologických funkcí a parametrů, testery .....	4
1.1 EKG simulátory.....	7
1.2 EEG simulátor .....	10
1.3 Simulátor pro ověřování funkce měřičů neinvazivního krevního tlaku.....	12
1.4 Simulátor pro ověřování funkce pulzních oximetrů.....	14
1.5 Tester defibrilátorů.....	16
1.6 Digitální analyzátor obsahu kyslíku v plynech .....	19
1.7 Ultrazvukový wattmetr.....	24
2. Bezpečnost pacienta před úrazem elektrickým proudem.....	26
2.1 Účinky elektrického proudu na lidský organismus .....	26
2.1.1 Terapeutické užití elektrického proudu.....	27
2.1.2 Úraz elektrickým proudem.....	28
2.2 Nebezpečí úrazu elektrickým proudem.....	29
2.2.1 Popis souboru stavebnice INNO .....	29
2.2.2 Přetížení a jističe .....	31
2.2.3 Zkrat .....	34
2.2.4 Odpor lidského těla .....	38
2.2.5 Člověk v elektrickém obvodu .....	41
2.2.6 Nebezpečí jednopólového dotyku .....	44
2.2.7 Jednopólový dotyk přes zkrat na kostru.....	47
2.2.8 Přehlédnutá chyba .....	50
2.2.9 Ochrana izolací.....	53
2.2.10 Ochrana oddělením .....	55
2.2.11 Ochranné uzemnění.....	59
2.2.12 Ochranný kontakt v zásuvce .....	62
2.2.13 Nevýhoda ochranného uzemnění .....	65
2.2.14 Vyrovnání potenciálů .....	68
2.2.15 Proudový chránič.....	71
2.2.16 Výhoda proudového chrániče.....	75
2.2.17 Kontrola proudového chrániče .....	79
2.3 Měření unikajících proudů .....	81

2.4 Galvanické oddělení elektrických obvodů .....	90
2.4.1 Měření optronu 4N25 .....	102
2.4.2 Měření optronu 4N33 .....	106
2.4.3 Měření optronu IL300 .....	107
2.4.4 Měření parametrů izolačního zesilovače AD215 .....	111
2.4.5 Měření parametrů izolačního zesilovače ISO100 .....	116
2.4.6 Měření parametrů izolačního zesilovače ISO124 .....	123
3. Elektrické rozvody v místnostech pro lékařské účely .....	130
3.1 Úvod .....	130
3.2 Přímé elektrické nebezpečí .....	131
3.3 Nepřímé elektrické nebezpečí .....	132
3.3.1 Přerušování dodávky elektrické energie .....	132
3.3.2 Nebezpečné účinky statické elektřiny .....	133
3.3.3 Elektromagnetické rušení .....	133
3.3.4 Nouzové orientační osvětlení .....	133
3.3.5 Ochrana proti pulznímu přepětí .....	134
3.3.6 Provoz .....	134
3.4 Realizace elektrických rozvodů .....	135
3.4.1 Uvádění elektrických rozvodů do provozu .....	136
3.4.2 Elektrické rozvody v provozu .....	136
3.4.3 Předpis pro elektrické rozvody .....	137
3.4.4 Přehled požadavků na elektrické rozvody .....	138
3.4.5 Typy místností pro lékařské účely .....	144
3.5 Vnější vlivy .....	147
3.5.1 Označování vnějších vlivů .....	147
3.6 Barevný kód zásuvkových vývodů .....	148
3.7 Měření na zdravotnické izolované soustavě (ZIS-IT) .....	152
Přílohy: .....	157
P1 Třídy ochrany elektrických a elektronických zařízení .....	157
P2 Výběr nejpoužívanějších grafických značek na elektrických předmětech podle ČSN EN 60417 (01 3760) a dalších podkladů .....	157
P3 Výběr nejpoužívanějších zkratk v elektrotechnice .....	158
P4 Základní veličiny a jednotky SI .....	159
P5 Nejpoužívanější veličiny v elektrotechnice a jejich jednotky .....	159
P6 Předpony SI .....	159

# Úvod

Vážení studenti, vážení čtenáři,

dostáváte do rukou třetí z řady skript, které se věnuje problematice laboratorních cvičení v předmětu Praktika z biomedicínské a klinické techniky na Fakultě biomedicínského inženýrství ČVUT. Skripta jsou však vhodná i pro jiné předměty a to jak na FBMI ČVUT, tak i na ostatních fakultách ČVUT, ale i mimo ČVUT.

Vzhledem k výše uvedené koncepci skript, která mimo jiné velmi dobře naplňuje název skripta, ale i studijního programu a oboru, není nutné při změnách v rámci reakreditací apod. měnit zaměření a obsah skript. Skripta jsou vytvořena jako univerzální sada podkladů pro laboratorní úlohy v oblasti biomedicínské a klinické techniky a proto se mohou použít i pro praktika v rámci ostatních předmětů, např. Základy elektrofyziologie, Anatomie a fyziologie 1 a 2, Lékařské přístroje a zařízení, Praktika z návrhu a konstrukce lékařských přístrojů, Management zdravotnické techniky apod. Text však může být vhodný i jako příprava na odbornou praxi ve zdravotnickém zařízení.

Náplň problematiky je velmi široká, a proto je rozdělena do několika dílů. V tomto třetím dílu naleznete návody k praktikům z oblasti simulátorů fyziologických funkcí a z oblasti bezpečnosti pacienta (má se na mysli ochrana před úrazem elektrickým proudem). Současně s tímto dílem vychází v únoru 2008 i další díly zaměřené na terapeutickou techniku a speciální sensorovou a přístrojovou techniku.

V tomto třetím dílu byla zařazena laboratorní cvičení, která jsou typická pro oblast simulátorů fyziologických funkcí, či parametrů a bezpečnost pacienta z hlediska možného úrazu elektrickým proudem. První oblast souvisí s myšlenkou vytvořit tzv. "simulované" lůžko", kde by jednotlivé vybrané fyziologické funkce pacienta byly tvořeny uvedenými simulátory, ale přitom by bylo možné používat standardní diagnostickou lékařskou přístrojovou techniku. Tento přístup má pak výhodu v tom, že je možné vytvářet různé neobvyklé stavy a trénovat tak studenta na budoucí praxi. Druhá oblast je pak velmi úzce spojena s problematikou fyziologických účinků elektrického proudu a s různými projevy elektrického proudu v obvodech, kde je připojen pacient. S tím bezprostředně souvisí problematika měření tzv. unikajících proudů a též problematika elektrických rozvodů v místnostech pro lékařské účely. Poslední problematika, týkající se rozvodů, je velmi obsáhlá a složitá, o čemž svědčí i komplikovanost technických norem, které se touto problematikou zabývají. Proto, bude v tomto učebním textu tato problematika pojata pouze jako jistý úvod.

Laboratorní úlohy jsou pak zaměřeny do tří základních oblastí jako simulátory fyziologických funkcí a parametrů (kap. 1), bezpečnost pacienta před úrazem elektrickým proudem (kap. 2) a elektrickými rozvody v místnostech pro lékařské účely (kap. 3).

Kap. 1 obsahuje laboratorní úlohy, které využívají simulátory fyziologických funkcí a parametrů. V této kapitole se objevuje souvislost s již vydaným učebním textem Hozman, J. a kol., *Praktika z biomedicínské a klinické techniky*, Praha: Vydavatelství ČVUT, 2007. Konkrétně se jedná o laboratorní úlohu, týkající se měření na elektrokardiografu s využitím simulátoru EKG, měření na elektroencefalografu a též měření na modelu analogové části pulzního oxymetru.

Kap. 2 pak obsahuje velmi důležitou část týkající se účinků elektrického proudu na lidský organismus a dále pak laboratorní úlohy, které jsou mnohdy pouze ilustrativní, z oblasti nebezpečí úrazu elektrickým proudem. Tyto úlohy využívají přípravků stavebnice INNO společnosti NTL. V tomto souboru je i několik úloh, které se dotýkají problematiky elektrických rozvodů v místnostech pro lékařské účely a to zejména v oblasti proudových chráničů. Součástí této kapitoly je i problematika galvanického oddělení, která je v učebním textu rozebrána i po teoretické stránce, ale především byly připraveny úlohy, v rámci kterých se realizuje měření parametrů jednotlivých typů obvodů pro galvanické oddělení. V úlohách jsou záměrně použity obvody, které lze nalézt jako součást elektrických přístrojů ve zdravotnictví. Velmi podstatnou částí této kapitoly je oblast měření unikajících proudů a to jak z hlediska metodologie měření v závislosti na měřeném přístroji, tak i z hlediska vlastního měřicího přístroje. Tato část má velmi úzký vztah k technickým normám, které budou nedílnou součástí z hlediska podkladů pro laboratorní úlohy.

Kap. 3 je velmi krátkým úvodem do problematiky elektrických rozvodů v místnostech pro lékařské účely. Tato problematika vyžaduje jednak dobrou orientaci v oblasti silnoproudých rozvodů, zejména z hlediska zapojení jednotlivých rozvodných sítí, či soustav a jednak znalosti základních principů funkce jednotlivých prvků, používaných v izolovaných (IT) soustavách ve zdravotnických zařízeních. Proto bude součástí laboratorních úloh i seznámení s touto problematikou a to včetně zapojení zásuvek. Při praktických úlohách pak bude využito jednak skutečného rozvodu v laboratoři, který splňuje požadavky na elektrický rozvod v místnostech pro lékařské účely a jednak modelu takového rozvodu, na kterém bude možné ověřovat vybrané parametry některých bloků. Zvláštní pozornost je pak věnována problematice proudových chráničů, které jsou jedním z velmi důležitých bloků výše uvedených elektrických rozvodů.

Kromě výše uvedených kapitol je součástí učebního textu i několik příloh, které obsahují grafické značky na elektrických předmětech podle ČSN EN 60417 (01 3760) a dalších pokladů, zkratky používané v elektrotechnice v češtině a angličtině a veličiny a jednotky používané v elektrotechnice.

Výše uvedené laboratorní úlohy jsou specifické tím, že v mnoha případech je nutné, aby opravdu došlo ke zkratu, aby protékal vodičem proud velikosti jednotek ampérů, aby byl použit zdroj proměnného střídavého napětí (autotransformátor) připojený na rozvod 230V/50 Hz apod. Z tohoto důvodu je třeba dbát přesně pokynů uvedených v zadání úlohy a dále zásad bezpečnosti práce v elektrotechnice. Mnohé úlohy lze realizovat pouze za přítomnosti vyučujícího. Tento důležitý fakt bude vždy u dané laboratorní úlohy patřičně zdůrazněn. Je tudíž zřejmé, že i funkční zapojení vybraných úloh budou doplněna ochrannými prvky, jako jsou další proudové chrániče a oddělovací transformátory.

Vzhledem k tomu, že naší snahou je, aby tato praktika byla komplexní, a studenti si odnesli patřičné vědomosti, návyky a též dovednosti přímo ze cvičení, byla snaha uspořádat obecnou strukturu skriptu jednotně pro celý soubor těchto skript. U vybraných úloh, jsme zařadili podrobné pokyny, včetně obrazové dokumentace, a též předpřipravené tabulky a grafy pro naměřené hodnoty. U některých úloh, to však nebylo možné ani nutné. Studenti tudíž potřebují pouze uvedené skriptum, kam si zaznamenají naměřené hodnoty a současně provedou i zhodnocení celého měření. Skriptum je pak také velmi vhodné pro přípravu ke státním závěrečným zkouškám, v rámci několika tématických bloků (problémových okruhů).

Autorský kolektiv byl v případě tohoto dílu tvořen pouze dvěma hlavními autory, ale na textech, se jako poradci a spolupracovníci podíleli i další. Pro jednotlivé úlohy lze uvést následující autory: kap. 1 - simulátory fyziologických funkcí a parametrů (Ing. Jiří Hozman, Ph.D., Ing. Josef Chaloupka) - u této problematiky si dovoluujeme poděkovat firmě Medicton group s.r.o. a zvláště panu Ing. Vratislavovi Fabiánovi, za poskytnutí důležitých námětů, zkušeností, textů a vlastní dodání simulátorů, kap. 2 - bezpečnost pacienta před úrazem elektrickým proudem (Doc. MUDr. RNDr. Petr Maršálek, Ph.D. - zpracoval pouze část týkající se účinků elektrického proudu na lidský organismus, Ing. Jiří Hozman, Ph.D. zpracoval zbylou část kapitoly) - u této problematiky si dovoluujeme poděkovat ještě jednou firmě Medicton group s.r.o. a zvláště panu Ing. Vratislavovi Fabiánovi, za poskytnutí důležitých námětů, zkušeností a textů, které se týkaly měření unikajících proudů, kap. 3 - elektrické rozvody v místnostech pro lékařské účely (Ing. Jiří Hozman, Ph.D.) - zde patří poděkování společnosti ABB s.r.o. Elektro-Praga z Jablonce nad Nisou, konkrétně panu Kaplanovi, který nám poskytl katalogy, technické informace a též výukové demonstrační panely, společnosti GHV Trading z Brna, konkrétně panu Ing. Smékalovi za konzultace a

poskytnuté materiály, Ing. Zdeňku Šlégrovi a Ing. Antonínu Grošpicovi, CSc. za poskytnuté konzultace a podklady k předmětu Management zdravotnické techniky. Poděkování patří i studentům Bc. Petru Kudrnovi, Bc. Michaelu Kohoutovi a Karlu Bernáškovi za pomoc při přípravě vlastního textu, obrazové dokumentace a mnoha z výše uvedených laboratorních úloh z hlediska funkčnosti. Na konečné editaci se pak podílel Ing. Jiří Hozman, Ph.D.

Tato skripta a jejich navazující díly jsou také konkrétním vyjádřením snahy FBMI budovat kvalitní laboratorní zázemí a to jak pro studium, tak i pro výzkum. Za tímto účelem spolupracuje FBMI s mnoha externími odborníky a společnostmi. To má za cíl zavést zejména do výuky charakteristické prvky, které se vyskytují v reálné praxi. Ve výsledku to pak přispívá k větší uplatnitelnosti absolventů těchto oborů v praxi.

S tím souvisí i naše snaha podpořit toto úsilí různými projekty, kterými jsou i projekty financované z evropských strukturálních fondů EU a z rozpočtu ČR. A právě tento díl je vydán za této podpory a to formou hrazení autorských honorářů z výše uvedených projektů. V případě tohoto učebního textu se podpora z níže uvedeného ESF projektu netýká pouze vlastních autorských honorářů, ale také pořízení nezbytného technického vybavení v podobě simulátorů, jednotlivých bloků izolované soustavy - elektrického rozvodu v místnostech pro lékařské účely, přístroje pro měření unikajících proudů a též technických norem (ČSN) z oblasti zdravotnické techniky, ale i vytvoření doplňujících specializovaných textů a to *Použití technických norem ve zdravotnictví – zkušenosti autorizovaného metrologického střediska, malovýrobce a dodavatele zdravotnické techniky a Použití technických norem ve zdravotnictví – oblast zkušebnictví a působnosti EZÚ Praha.*

Závěrem nám dovoluje poděkovat všem, kteří se podíleli na přípravě skripta a vyjádřit přesvědčení, že učební text přispěje k lepšímu pochopení vyučované problematiky a též k většímu zájmu o obor, který je jistě velmi zajímavý, široký a též velmi rychle se vyvíjející.

Ing. Jiří Hozman, Ph.D.

za autorský kolektiv

V Kladně, dne 31. ledna 2008

Tento učební text vznikl za podpory projektu spolufinancovaného evropským sociálním fondem a státním rozpočtem ČR s názvem  
*Zvýšení kvality praktického vzdělání studentů studijního programu  
Biomedicínská a klinická technika*  
registrační číslo CZ.04.1.03/3.2.15.3/0444, č. j. 21318/2006-303.

