

Kvalita elektrické energie - průvodce

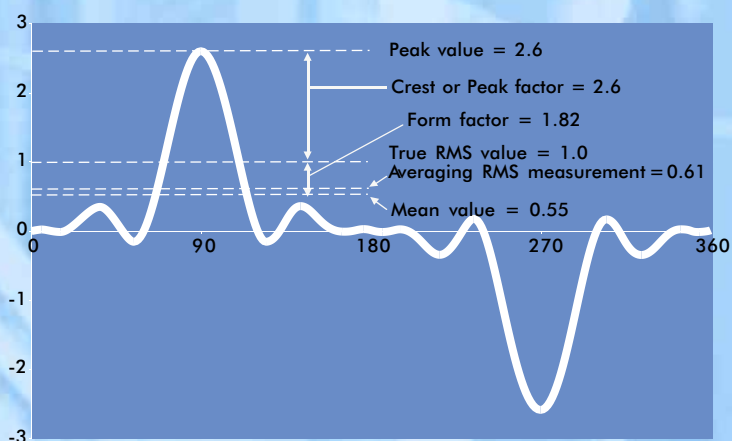


Leonardo da Vinci

Harmonické

Skutečná efektivní hodnota (true RMS)

3.2.2



HUNGARIAN COPPER
PROMOTION CENTRE



Harmonické

Harmonické

Kvalita elektrické energie průvodce

Ken West, Fluke Ltd, Velká Británie

Překlad: Josef Gavlas, Miloslav Kužela, Pavel Santarius, FEI Technická univerzita Ostrava

Hungarian Cooper Promotion Centre (HCPC)

HCPC je nezisková organizace financovaná producenty mědi a výrobci zpracovávajícími měď. Jejím cílem je podporovat používání mědi a měděných slitin a napomáhat jejich správné a účinné aplikaci. Služby HCPC, mezi něž patří i poskytování informací a technického poradenství, jsou dostupné zájemcům o využití mědi ve všech oborech. Sdružení rovněž slouží jako prostředník mezi výzkumnými organizacemi a průmyslovými uživateli a udržuje těsné styky s obdobnými středisky mědi ve světě.

Fakulta elektrotechniky a informatiky VŠB Technická univerzita Ostrava (FEI - TUO)

Fakulta elektrotechniky a informatiky zahájila svou činnost na VŠB Technické univerzitě v Ostravě od 1. ledna 1991. Fakulta zajišťuje všechny formy vysokoškolského studia (tj. bakalářské, magisterské a doktorské) ve studijním programu Elektrotechnika a informatika s ucelenou strukturou elektrotechnických oborů a inženýrské informatiky. Nedílnou součástí činnosti pedagogů na fakultě je i vědecko-výzkumná činnost, kde jedním z nosných programů je kvalita elektrické energie s hlavním zaměřením na problematiku monitorování parametrů kvality a na problematiku harmonických v elektrických sítích.

European Copper Institute (ECI)

European Copper Institute je organizací založenou podporujícími členy ICA (International Copper Association) a IWCC (International Wrought Copper Council). ECI zastupuje největší světové producenty mědi a přední evropské výrobce při propagaci mědi v Evropě. ECI, který byl založen v roce 1996, se opírá o síť deseti národních organizací (Copper Development Associations - 'CDAs') v Beneluxu, Francii, Německu, Řecku, Maďarsku, Itálii, Polsku, Skandinávii, Španělsku a Spojeném království. Navazuje na činnost sdružení Copper Products Development Association založeného v roce 1959 a INCRA (International Copper Research Association) založeného v roce 1961.

Upozornění

Obsah tohoto materiálu nemusí nutně vyjadřovat názor Evropského společenství a není pro něj ani závazný. European Copper Institute a Hungarian Cooper Promotion Centre odmítají odpovědnost za jakékoliv přímé, nepřímé či vedlejší škody, které mohou být způsobeny nesprávným využitím informací v této publikaci.

Copyright© European Copper Institute a Copper Development Association.

Česká verze byla připravena ve spolupráci HCPC a Fakulty elektrotechniky a informatiky VŠB - Technické Univerzity Ostrava.

Reprodukce je možná za předpokladu, že materiál bude otištěn v nezkrácené podobě a s uvedením zdroje.



HUNGARIAN COPPER
PROMOTION CENTRE

Hungarian Copper Promotion
Centre
Képiró u. 9
H - 1053 Budapest
Maďarsko
Tel: 00 36 1 266 4810
Tel: 00 36 1 266 4804
Email: hcpc.bp@euroweb.hu
Website: www.hcpcinfo.org



VŠB - TU Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky
17. listopadu 15
CZ 708 33 Ostrava-Poruba
Tel: +420 597324279
Tel: +420 596919597
Email: pavel.santarius@vsb.cz
Website: homen.vsb.cz/~san50/



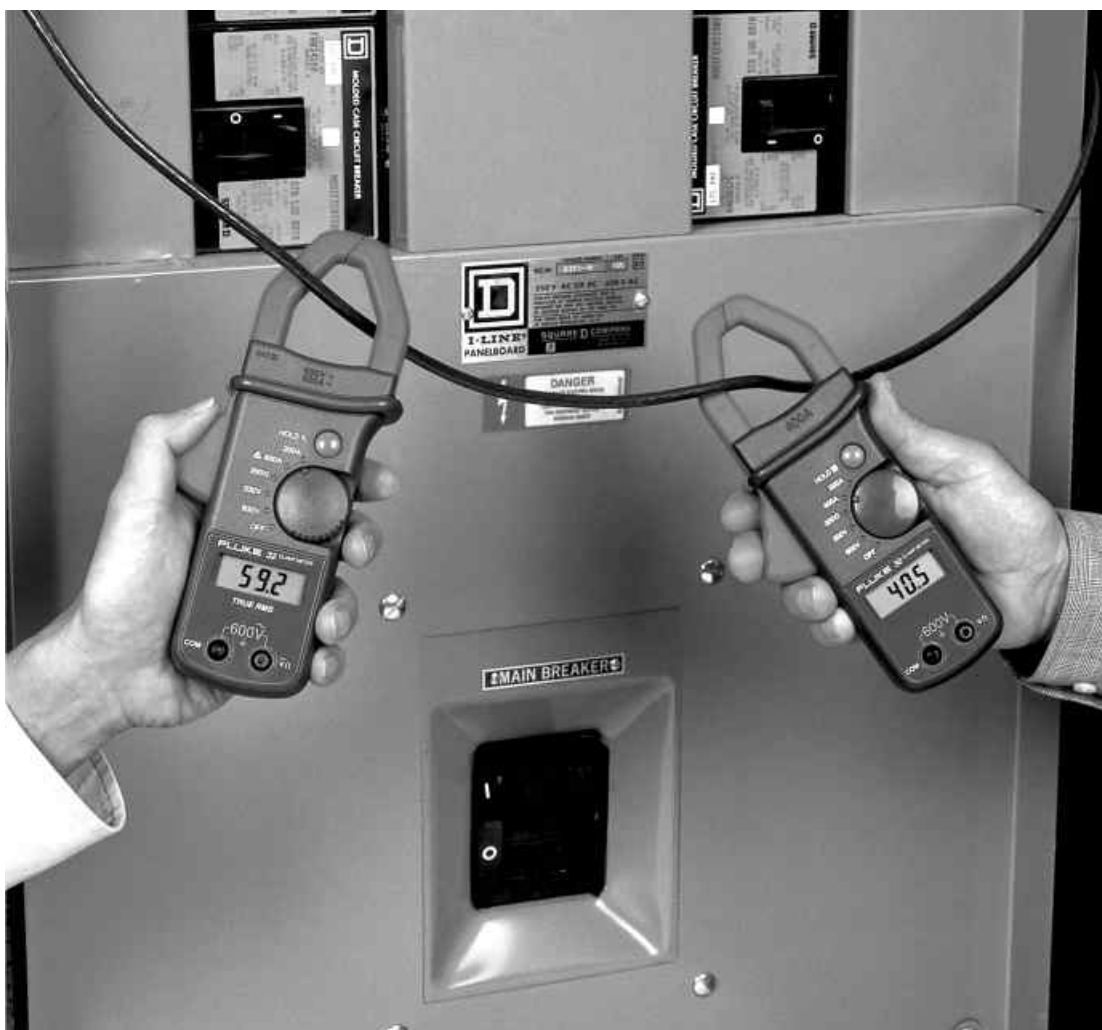
European Copper Institute
168 Avenue de Tervueren
B-1150 Brussels
Belgium
Tel: 00 32 2 777 70 70
Tel: 00 32 2 777 70 79
Email: eci@eurocopper.org
Website: www.eurocopper.org

Skutečná efektivní hodnota (true RMS) - jediné správné měření

U mnoha komerčních a průmyslových instalací se často objevuje problém nevhodného a nežádoucího vypínání jističů. Mnohdy se tyto jevy zdají být náhodné a nevysvětlitelné, ale důvod se samozřejmě vždy najde. Mají dvě hlavní příčiny. První možnou příčinou jsou nárazové zatěžovací proudy, které se objeví při zátěži vzniklé zapnutím osobního počítače nebo jiného elektronického zařízení. Tento případ bude prodiskutován v jedné z dalších částí Průvodce. Další pravděpodobnou příčinou je nepřesné měření skutečného proudu tekoucího obvodem, jinými slovy, skutečný proud je vyšší.

Chybné měření se v moderních instalacích objevuje velmi často. Ale proč vlastně, když digitální měřicí přístroje jsou tak přesné a spolehlivé? Je to proto, že mnohé měřicí přístroje nejsou vhodné pro měření zkreslených proudů, přitom je v současné době většina proudů zkreslených.

Zkreslení vzniká díky harmonickým proudům, vyvolaných nelineární zátěží, zejména elektronickými zařízeními jako jsou osobní počítače, kompaktní zářivky a regulační pohony. Jak harmonické vznikají a jaký mají efekt na elektrický systém je vysvětleno v Části 3.1 tohoto Průvodce. Obr. 3 znázorňuje typický průběh proudu odebíraného osobním počítačem. Je zjevné, že se nejedná o sinusový průběh a tedy klasické, na sinusovém průběhu založené měřicí přístroje a výpočtové metody již nedávají správné výsledky. To znamená, že když hledáme chybu v systému nebo analyzujeme energetickou soustavu, je nezbytné užít správné prostředky - prostředky, které se umí vypořádat s nesinusovými průběhy proudu a napětí.



Obr. 1 - Jeden proud - dvě hodnoty. Čemu důvěřovat? Proudová větev je protékána proudem nelineárního průběhu. Klešťový ampérmetr měřící skutečnou efektivní hodnotu (vlevo) ukazuje korektní hodnoty, klešťový ampérmetr měřící střední hodnotu, kalibrovanou pro efektivní hodnotu (vpravo), ukazuje hodnoty o 32% nižší.

Skutečná efektivní hodnota - jediné správné měření

Na obr. 1 jsou znázorněny klešťové ampérmetry na jedné větvi proudového obvodu. Obě zařízení fungují správně a jsou kalibrována podle specifikací výrobce. Zásadní rozdíl je ve způsobu jakým přístroje měří.

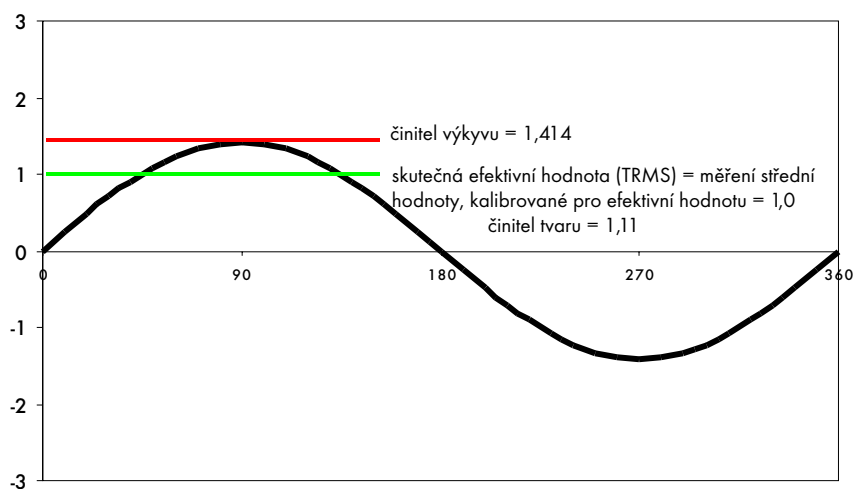
Přístroj vlevo měří skutečnou efektivní hodnotu a přístroj vpravo je kalibrován na měření podle střední hodnoty. Aby bylo možné posoudit rozdíl, je nutno vědět, co je to efektivní hodnota.

Co je efektivní hodnota?

Efektivní hodnota (RMS - Root Mean Square) je hodnota ekvivalentní stejnosměrnému proudu, který by vyvinul stejné množství tepla na konstantní odporové zátěži. Množství tepla vzniklé v odporu díky střídavému proudu je úměrné druhé mocnině střední hodnoty proudu během jedné periody. Jinými slovy, vyprodukované teplo je úměrné střední hodnotě druhé mocniny, tak jako hodnota proudu je úměrná odmocnině ze střední hodnoty druhé mocniny neboli efektivní hodnotě. (Polaritu díky druhé mocnině nemusíme brát v úvahu).

V případě čistého sinusového průběhu, jako na obr. 2, je efektivní hodnota 0,707 násobek špičkové hodnoty (jinak řečeno, špičková hodnota je efektivní hodnota násobena 1,414). Jinými slovy, máme-li efektivní hodnotu proudu s čistě sinusovým průběhem o velikosti 1A, bude špičková hodnota 1,414 A. Pokud je vypočítána pouze střední hodnota průběhu za periodu (zápornou polovinu cyklu invertujeme), střední hodnota je 0,636 násobek špičkové hodnoty, tedy 0,9 násobek efektivní hodnoty. Na obr. 2 jsou znázorněny dva důležité poměry:

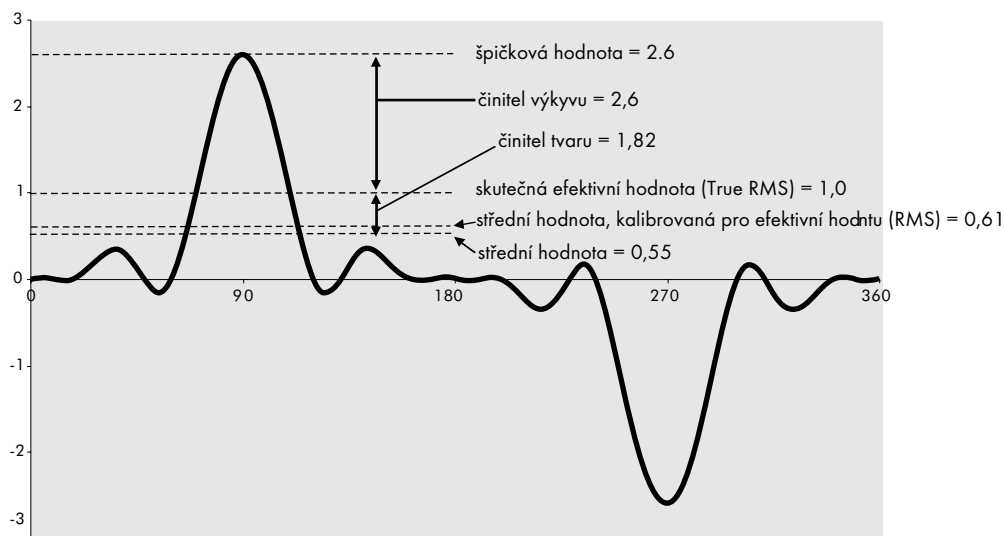
$$\begin{aligned} \text{Činitel výkyvu} &= \frac{\text{Špičková hodnota}}{\text{Efektivní hodnota}} = 1,414 & \text{Činitel tvaru} &= \frac{\text{Efektivní hodnota}}{\text{Střední hodnota}} = 1,111 \end{aligned}$$



Obr. 2 - Čistě sinusový průběh

Při měření čistě sinusového průběhu, ale pouze v tomto případě, můžeme provést jednoduché měření střední hodnoty (0,636 x špičková hodnota), vynásobit ji činitelem tvaru 1,111 (vytváří 0,707 násobek špičkové hodnoty) a výsledek nazývat efektivní hodnotou. Na tomto principu jsou založeny všechny analogové měřicí přístroje (průměrování se provádí setrvačným pohybem spirály cívky měřícího ústrojí) a všechny starší a většina současných digitálních multimetrů. Tato technika je označována jako "měření střední hodnoty, kalibrované pro efektivní hodnotu".

Problémem je, že tato technika funguje pouze pro čistě sinusové průběhy, které se v reálných podmínkách elektrických instalací nevyskytují. Na obr. 3 je typický průběh proudu odebíraného osobním počítačem. Skutečná efektivní hodnota je stále 1A, špičková hodnota je však mnohem větší - 2,6A, a střední hodnota je mnohem nižší - 0,55 A.



Obr. 3 - Typický průběh proudu odebíraného osobním počítačem





Pokud je tento průběh měřen pomocí měřicího přístroje pro "měření střední hodnoty, kalibrovaného pro efektivní hodnotu", získáme hodnotu 0,61 A, což je téměř o 40% méně než skutečná efektivní hodnota (1A). Tabulka č.1 ukazuje několik příkladů, jak dva typy měřících přístrojů reagují na různé průběhy.

Přístroj měřící skutečnou efektivní hodnotu použije druhou mocninu okamžité hodnoty proudu, vypočítá její průměr v čase a zobrazí druhou odmocninu tohoto průměru. Jestliže tento postup dokonale využijeme, získáme přesné výsledky nezávislé na tvaru průběhu měřeného signálu. Implementace však není nikdy dokonalá. Je třeba brát v úvahu tyto limitující faktory: frekvenční odezvu a činitel výkyvu.

Při práci s výkonovými systémy je obvykle postačující měřit v rozsahu do padesáté harmonické, tedy až po frekvenci 2500 Hz. Důležitý je činitel výkyvu (poměr mezi špičkovou a efektivní hodnotou); vyšší činitel výkyvu vyžaduje měřící zařízení s větším dynamickým rozsahem a tím i větší přesnost v převodních obvodech. Vyžaduje se činitel výkyvu o hodnotě nejméně tří.

Navzdory různým údajům, které měřící přístroje obou typů zobrazí při měření zkreslených proudů, v případě měření čistě sinusových průběhů budou výsledky stejné. Tento fakt nám k ničemu není. Pouze svědčí o podmínkách při kterých byly měřící přístroje kalibrovány. Každý z nich může tedy být certifikován jako kalibrovaný, ale pouze pro použití na čistě sinusových průbězích.

Přístroje měřící skutečnou efektivní hodnotu jsou k dispozici již nejméně 30 let, ale byla to specializovaná a nákladná zařízení. Pokroky v elektronice však dnes umožňují integrovat možnost měření skutečné efektivní hodnoty do mnoha příručních multimetrů. Bohužel se tato možnost u většiny výrobců vyskytuje až u produktů vyšší cenové třídy, které však přesto zůstávají dostatečně levné, aby je bylo možno zakoupit jako obvyčejné přístroje pro každého a pro každodenní použití.

Typ multimetru	Odezva na sinusový průběh	Odezva na obdélníkový průběh	Odezva na jednofázový usměrňovač	Odezva na třífázový usměrňovač
				
Reagující na střední hodnotu	Správná	10% nižší	40% nižší	5 - 30% nižší
Reagující na TRMS	Správná	Správná	Správná	Správná

Tab. 1 Porovnání měřících přístrojů reagujících na střední nebo skutečnou efektivní hodnotu (TRMS)

Důsledky snížené přesnosti měření

Limitní faktor pro většinu prvků elektrických obvodů je množství tepla, které musí být rozptýleno tak, aby nedošlo k jejich přehřátí.

Například dimenzování kabelů je dáno konkrétními podmínkami instalace (které určují jak rychle může teplo unikat) a maximální provozní teplotou. Jelikož zkreslené proudy mají vyšší efektivní hodnotu než jakou naměříme pomocí "měření střední hodnoty, kalibrované pro efektivní hodnotu", může dojít k poddimenzování kabelů, které se pak zahřívají rychleji než se předpokládalo. Výsledkem je znehodnocení izolace, předčasné poruchy a riziko požáru.

Přípojnice jsou dimenzovány na základě výpočtu poměru tepelných ztrát vlivem proudění a sálání a množství tepla získaného vlivem odporových ztrát. Teplota při které jsou si tyto hodnoty rovny, je provozní teplotou přípojnice, která je navržena tak, aby provozní teplota byla dostatečně nízká a tím se předešlo předčasnému stárnutí izolace a podpěrných materiálů. Stejně jako u kabelů, chyby při měření skutečných efektivních hodnot, povedou k vyšším provozním teplotám. Protože přípojnice jsou obvykle rozměrná zařízení, povrchový efekt je výraznější než u vodičů menších a vede k dalšímu zvyšování teploty.

Další komponenty elektrických výkonových systémů, jako pojistky a tepelné části jističů, jsou konstruovány na efektivní hodnoty proudů, protože jejich charakteristiky se vážou na rozptýl tepla. Toto je hlavní příčina nevhodného vypínání jističů - proud je vyšší než se očekávalo, takže jistič pracuje v oblasti, ve které delší činnost povede k vypnutí. Reakce jističe v této oblasti je citlivá na teplotu a může se stát nepředvídatelnou. Stejně jako u každého přerušení napájení, cena poruchy při nevhodném vypnutí jističe může být vysoká, může způsobit ztrátu dat v počítačových systémech, poruchy v procesech řízení systémů atd. Tyto případy jsou probírány v Části 2 tohoto Průvodce.

Je zřejmé, že pouze přístroje měřící skutečnou efektivní hodnotu, nám poskytnou správné údaje, pro provedení správného dimenzování kabelů, přípojníc a jističů. Důležitou otázkou je, "měří tento přístroj skutečnou efektivní hodnotu"? Pokud přístroj měří skutečnou efektivní hodnotu, je o tom obvykle zmínka v jeho technických parametrech. Ty však nemusí být vždy po ruce. Dobrou představu si lze udělat pomocí srovnání měření odebíraného proudu provedeného na nelineární zátěži jako je PC a proudu odebíraného žárovkou pomocí přístroje umožňujícího měření střední hodnoty, kalibrované pro efektivní hodnotu (obvykle nejlevnější) a přístroje umožňujícího měření skutečné efektivní hodnoty. Oba měřící přístroje by měly udávat stejnou hodnotu proudu v případě žárovky. Pokud tvoří zátěž PC, udává jeden z přístrojů výrazně (řekněme více než o 20%) vyšší hodnoty než druhý, pak se pravděpodobně jedná o měřící přístroj měřící skutečnou efektivní hodnotu. V případě, že jsou výsledky podobné, jedná se o přístroje stejného druhu.

Závěr

Měření skutečné efektivní hodnoty je nezbytné v každé instalaci, ve které se vyskytuje značný podíl nelineárních zátěží (PC, elektronické předřadníky, kompaktní svítidla, atd.). Měřící aparatury pro "měření střední hodnoty, kalibrované pro efektivní hodnotu" budou udávat hodnoty až o 40% nižší, což může u kabelů a jističů vést k jejich poddimenzování a tím k riziku poruchy a nevhodného vypínání.

Evropská střediska promoce mědi

Země Beneluxu

Copper Benelux
Avenue de Tervueren 168
B-1150 Brussels
Belgium

Tel: 00 32 2 777 7090
Fax: 00 32 2 777 9099
Email: mail@copperbenelux.org
Website: www.copperbenelux.org

Kontakt: Mr. B. Dóme - Ředitel

Francie

Centre d'Information du Cuivre et Latons
30 Avenue de Messine
F-75008 Paris

Tel: 00 33 1 42 25 25 67
Fax: 00 33 1 49 53 03 82
Email: centre@cuivre.org
Website: www.cuivre.org

Kontakt: Mr. P. Balzy - Ředitel

Německo

Deutsch Kupfer-Institut e.V.
Am Bonnhof 5
D-40474 Düsseldorf

Tel: 00 49 211 4796 300
Fax: 00 49 211 4796 310
Email: info@kupferinstitut.de
Website: www.kupferinstitut.de

Kontakt: Dr. W. Seitz - Ředitel

Řecko

Hellenic Copper Development Institute
74 L Riankour Str
GR-115 23 Athens

Tel: 00 30 1 690 4406-7
Fax: 00 30 1 690 4463
Email: info@copper.gr

Kontakt: Mr. D. Simopoulos - Ředitel

Česká republika, Maďarsko, Slovensko

Hungarian Copper Promotion Centre
Képiró u. 9
H 1053 Budapest
Maďarsko

Tel: 00 36 1 266 4810
Tel: 00 36 1 266 4804
Email: hcpc.bp@euroweb.hu
Website: www.hcpcinfo.org

Kontakt: Mr. R. Pintér - Ředitel

Itálie

Instituto Italiano del Rame
Via Corradion D'Ascaino 1
I-20142 Milano

Tel: 00 39 02 89301330
Fax: 00 39 02 89301513
Email: ist-rame@wirednet.it
Website: www.iir.it

Kontakt: Mr. V. Loconsolo - Ředitel

Polsko

Polish Copper Promotion Centre Sa
Pl. 1 Maja 1-2
Pl 50 136 Wrocław

Tel: 00 48 71 78 12 502, 78 12 383
Fax: 00 48 71 78 12 504
Email: copperpl@wroclaw.top.pl

Kontakt: Mr. P. Jurasz - Ředitel

Skandinávie

Scandinavian Copper Development Association
Kopparbergsvägen 28
S-72188 Västerås Sweden

Tel: 00 46 21 19 86 20
Fax: 00 46 21 19 80 35
Email: scda.info@outkumpu.fi
Website: www.scda.com

Kontakt: Mrs. M. Sundberg - Ředitelka

Španělsko

Centro Espanol de Informacion del Cobre
Princesa 79
E-28008 Madrid

Tel: 00 34 91 544 8451
Fax: 00 34 91 544 8884
Email: cedic@pasanet.es

Kontakt: Mr. J. R. Morales - Ředitel

Velká Británie

Copper Development Association
Verulam Industrial Estate
224 London Road
St Albans
Hertfordshire AL1 1AQ

Tel: 00 44 1727 731200
Fax: 00 44 1727 731216
Email: copperdev@compuserve.com
Website: www.cda.org.uk & www.brass.org

Kontakt: Mrs. A. Vessey - Manažerka



Ken West



HUNGARIAN COPPER PROMOTION CENTRE

Hungarian Copper Promotion
Centre
Képiró u. 9
H - 1053 Budapest
Magyarország
Tel: 00 36 1 266 4810
Tel: 00 36 1 266 4804
Email: hcpc.bp@euroweb.hu
Website: www.hcpcinfo.org



VŠB - TU Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky
17. listopadu 15
CZ 708 33 Ostrava-Poruba
Tel: +420 597324279
Tel: +420 596919597
Email: pavel.santarius@vsb.cz
Website: homen.vsb.cz/~san50/



European Copper Institute
168 Avenue de Tervueren
B-1150 Brussels
Belgium
Tel: 00 32 2 777 70 70
Tel: 00 32 2 777 70 79
Email: eci@eurocopper.org
Website: www.eurocopper.org