

# Měření na nn vývodech distribučních transformoven

Ladislav POSPÍCHAL, Karel HODER, Antonín KUBEŠ, Jiří BABKA

## 1. Úvod

Měření v distribučních transformačních stanicích s transformací vn/nn (DTS) zahrnuje měření fázových a sdružených napětí, okamžitých fázových proudů i 1/4hodinových maxim proudů a elektrické energie. Tato měření se nejprve prováděla jednoúčelovými přístroji a následně číslicovými multifunkčními přístroji. S potřebou měření i mimo přítomnost obsluhy byly číslicové přístroje rozšiřovány o paměťové funkce. Ty umožňují následný sběr dlouhodobě zaznamenaných okamžitých i předzpracovaných dat. Pro potřeby analýz poruch nebo stížností jsou pak možná následná jednorázová vyčítání změřených dat. Standardizace v oblasti kvality napětí předpokládá měření parametrů kvality napětí i v DTS. V DTS je rovněž prostor pro měření proudových rázů a průběhů zkratových proudů, podle nichž by bylo možné modifikovat prohlídky transformátorů a dalších zařízení DTS.

S rozvojem distribuované výroby se ukazuje potřeba měření nejen na sekundárním vinutí DTS, ale i na jednotlivých vývodech s připojenými místními zdroji. Tato měření mohou mít význam jak pro ekonomická hodnocení, tak pro bezpečný provoz nn sítě. Měření na nn vývodech v moderních rozváděčích je však limitováno omezenými prostorovými možnostmi i náklady na instalaci měřících zařízení.

Uvedené skutečnosti vedly k návrhu koncepčně původního kompaktního monitoru.

## 2. Popis kompaktního monitoru MEg70

Kompaktní monitor MEg70 se vyznačuje mechanickým sdružením obvodů měřícího a komunikačního řetězce do jednotky, která se připevňuje ve vhodném místě na měřený fázový vodič. Ke kontaktu s měřeným napětím i izolovaného fázového vodiče je použit kontaktní mechanismus s výměnným hrotem, viz obr. 1. Ke zjištění správného kontaktu s měřeným vodičem slouží bezpečná zdířka, kterou lze alternativně využít k zajištění



Obr. 1. Pohled na kompaktní monitor MEg70

nému připojení měřeného napětí měřící šňůrou. Měření proudu fázového vodiče je v širokém rozsahu realizováno ohebným snímačem proudu. Pro napájení a sériovou komunikaci je monitor MEg70 vybaven dvojicí navzájem propojených čtyřpólových pružinových svorkovnic, umožňujících zřetězení více monitorů MEg70 a jejich připojení na společný napájecí zdroj i na nadřazený komunikační systém.

Kompaktní monitor MEg70 je určen k měření napětí, proudu, výkonů a energií jedné fáze a vykonává tyto měřící funkce:

- on-line měření,
- záznam časových průběhů měřených veličin,
- vyhodnocení extrémních hodnot měřených veličin,
- vyhodnocení denních diagramů proudu,
- měření elektrické energie v šesti registrech.

Je vybaven zálohovanými interními hodinami, flash pamětí pro uchovávání změřených a číslicově zpracovaných dat i sériovým rozhraním RS 485 protokolem MODBUS pro přenos dat do nadřazených měřících sítí a systémů, které je dále zpracovávají a zobrazují.

Výhodou kompaktního monitoru MEg70 je měření bez předřazených přístrojových transformátorů a dalších prvků, což výrazně snižuje náklady na instalaci a umožňuje realizaci přesného měření dle platných standardů i ve vybudovaných instalacích.

Měřené signály napětí a ohebného snímače proudu jsou vzorkovány 128krát za jednu periodu, přičemž frekvence vzorkování je řízena fázovým závěsem zavěšeným na napěťový signál.

V souladu se standardem kvality napětí vyhodnocuje MEg70 za každých deset period (0,2 s) kontinuálně bez prodlevy právě efektivní hodnoty napětí, proudu a činného výkonu. Z nich je počítán výkon zdánlivý a výkon jalový s deformačním. Interval záznamu do datové paměti je násobkem deseti periodových intervalů. Minimální interval záznamu je 1s.

Činná a jalová energie se počítají dle standardu IEC 62053-23 a podle směru a charakteru se přičítají do šesti registrů:

- $E_{P+}$  – činná energie odběr,
- $E_{P-}$  – činná energie dodávka,
- $E_{QL/P+}$  – jalová energie induktivní při odběru,
- $E_{QL/P-}$  – jalová energie induktivní při dodávce,
- $E_{QC/P+}$  – jalová energie kapacitní při odběru,
- $E_{QC/P-}$  – jalová energie kapacitní při dodávce.

Při požadavku na registraci událostí, které mohou být vyvolány jak překročením čtyř zadaných hladin na napětí, tak dvou hladin na proudu, se vyhodnocují hodnoty napětí i proudu po periodě. Také tento výpočet efektivních hodnot napětí a proudu, opakovaný po periodě se provádí kontinuálně bez mezer.

Aby se zabránilo vyčerpání datové paměti daty o informačně nevýznamných událostech na napětí, lze do jedné datové stránky, za určitou dobu zaznamenat předem definovaný maximální počet událostí. Další záznamy událostí jsou povoleny až po uplynutí zadané doby, kdy se podmínky v důsledku změn odběrů v síti změni a napětí se nenachází v okolí předdefinované hladiny události.

Při dlouhodobých měřeních se interní čas jednotlivých monitorů může významně rozejít, tento vliv lze minimalizovat synchronizací interních hodin síťovým kmitočtem, případně časovou synchronizací prostřednictvím sériové komunikace.

MEg70 umožňuje i oscilografický záznam průběhu napětí a proudu, kdy se navzorkují čtyři periody všech veličin a naměřená data jsou rozhraním RS485 odeslána nadřazenému systému.

Monitor MEG70 má pro záznam změřených dat flash paměť. Změřená data lze do paměti zapisovat v lineárním modu, tj. do zaplnění paměti nebo v modu kruhovém.

Při lineárním modu a měřicím intervalu 1 min, při záznamu průměrných hodnot  $U$  a  $I$ , záznamu maximálních hodnot  $U$  i  $I$  a minimálních hodnot  $U$  a při povolení záznamu 50 událostí za 8 hod vystačí datová paměť pro zaznamenávání po dobu delší než 6 měsíců. Pokud by nedošlo k vyčtení změřených dat v průběhu této doby, pak se při lineárním modu nová změřená a vypočtená data do paměti nezaznamenávají.

Při kruhovém modu se po vyčerpání datové paměti nejstarší data po datových stránkách postupně mažou a na jejich místo se zapisují nově změřená a vypočtená data.

## 2.1 Základní technické parametry

Měřené veličiny:

Napětí  $U$ , kategorie měření IV, přímé měření,  $U_{jm} = 230 V_{stf}$

Nejistota měření  $U$ : 0,1% z měřené hodnoty +0,1%  $U_{jm}$

Měřicí rozsah  $U$ : 5% až 150%  $U_{jm}$

Proud  $I$ , kategorie měření IV, přímé měření,  $I_{jm} = 30 A_{stf}, 100 A_{stf}, 300 A_{stf}, 1000 A_{stf}$

Nejistota měření  $I$ <sup>1)</sup>: 0,2% z měřené hodnoty +0,2%  $I_{jm}$

Měřicí rozsah  $I$ : 5% až 120%  $I_{jm}$

Činný výkon  $P$ , čtyřkvadrantové měření

Nejistota měření  $P$ <sup>1)</sup>: 0,5% z měřené hodnoty +0,5%  $I_{jm}$   
pro  $I_{jm} = 30 A_{stf}$ ,  
0,5% z měřené hodnoty +0,2%  $I_{jm}$

pro  $I_{jm} = 100 A_{stf}, 300 A_{stf}, 1000 A_{stf}$

Měřicí rozsah  $P$ :  $U = 5\%$  až 120%  $U_{jm}$ ,  $I = 5\%$  až 120%  $I_{jm}$ ,  $\cos \varphi ? 0,5$

Jalový výkon  $Q$ , čtyřkvadrantové měření

Nejistota měření  $Q$ <sup>1)</sup>: 0,5% z měřené hodnoty +0,5%  $I_{jm}$   
pro  $I_{jm} = 30 A_{stf}$ ,

0,5% z měřené hodnoty +0,2%  $I_{jm}$  pro  $I_{jm} = 100 A_{stf}, 300 A_{stf}, 1000 A_{stf}$

Měřicí rozsah  $Q$ :  $U = 5\%$  až 120%  $U_{jm}$ ,  
 $I = 5\%$  až 120%  $I_{jm}$ ,  $\cos \varphi ? 0,87$

Události na napětí: Třída S dle ČSN EN 61000-4-30, Ed. 2

Činná energie EP, dle TPM 2440-08 ČMI (ČSN EN 50470)O

Nejistota měření EP<sup>1)</sup>: Třída A pro  $I_{jm} = 100 A_{stf}, 300 A_{stf}, 1000 A_{stf}$

Jalová energie EQ, dle TPM 2440-08 ČMI (ČSN EN 62053-23)

Nejistota měření EQ<sup>1)</sup>: Třída přesnosti 2 pro  $I_{jm} = 100 A_{stf}, 300 A_{stf}, 1000 A_{stf}$

<sup>1)</sup> Vodič s měřeným proudem je uchycen v háku

### Pracovní podmínky:

Pracovní teplota: -25 °C až +60 °C

Frekvence měřených veličin: 47,4 Hz až 52,9 Hz

Napájení: 9  $V_{ss}$  až 16  $V_{ss} / 40mA$

Stupeň krytí: IP20 při s výjimkou měřicího hrotu

Kategorie měření: CAT IV

### Konstrukční údaje:

Rozměry celkem: 97,5x44x50,5 mm

Rozměry háku: 46,5x43x24 mm

Hmotnost: 135g

Max/ min O měřeného vodiče: 28/7 mm,

Max. průřez trojúhel. profilu: 240 mm<sup>2</sup>

O smyčky ohebného snímače: 55mm

O vodičů svorkovnice: 0,8 mm až 1,0 mm

Max. délka komunik. vodičů: 30 m

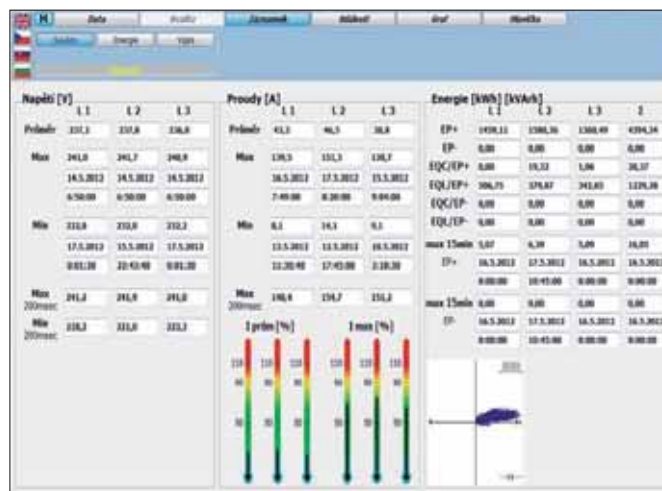
Sériové rozhraní: RS485 - 115 kBit/s, protokol MODBUS

## 3. Příklad měření

Příklad vyhodnocení změřených a vypočtených dat týdenního měření od 11. 5. do 18. 5. 2012 kompaktními monitory MEG70, instalovanými na třech fázích nn vývodu je uveden v tab. 1. Zde jsou průměrné hodnoty, maximální a minimální 10 s hodnoty napětí i proudů s časem jejich výskytu. Dále jsou v tabulce uvedeny pro napětí maximální i minimální a pro proud maximální desetiperiodové hodnoty vyhodnocené za celou dobu měření. Z rozsahu extrémních hodnot napětí a proudů lze odhadnout výkonové schopnosti nn sítě v místě instalace měření.

Průměrné a maximální proudové zatížení fází ve vztahu ke zvolenému proudovému maximu, ve vyhodnocovaném případě bylo zvoleno 200 A, je graficky znázorněno na sloupcových diagramech.

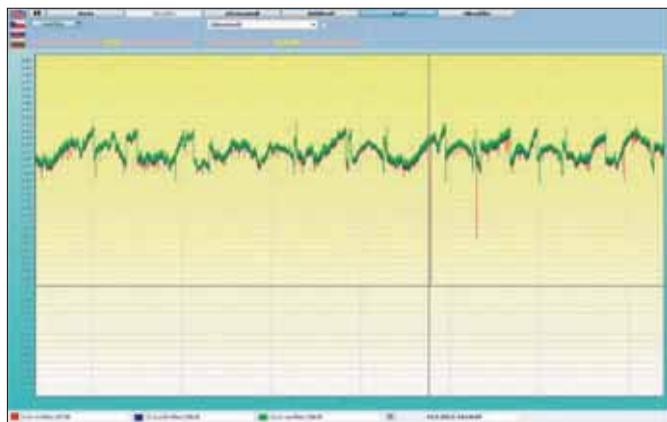
Vyhodnocení energií za celou dobu měření v šesti registrech pro každou fázi a souhrnně za vývod je uvedeno v samostatném oddíle tabulky. V místě měření byla pouze odebírána činná energie EP+, rovněž jalové energie EQL a EQC byly nenulové pouze při odběru energie činné. Převážná část jalové energie při odběru činné energie měla induktivní charakter EQL/EP+. Jsou zde rovněž 15min. maxima činných energií při odběru a dodávce včetně časových údajů jejich výskytu.



Tab. 1. Statistické vyhodnocení tří měření jednoho nn vývodu

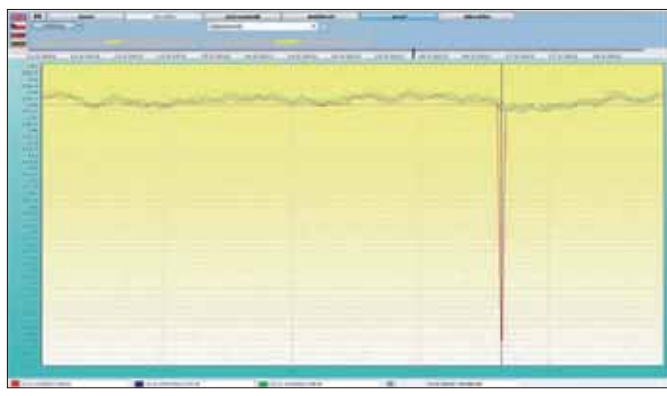
Na obr. 2 je zobrazen průběh průměrného napětí za 10s interval měření a průběhy minimálního i maximálního desetiperiodového napětí fáze L1 po celou dobu týdenního měření. Napětí se nachází ve středu dovolených tolerancí 207 V až 253 V. V průměru je nastaveno 3,1% nad jmenovitou hodnotou a z jeho malého rozptylu (necelé 2%  $U_{jm}$ ) při změně proudu z 8 A na 140 A lze odvodit, že se jedná o tvrdou síť. Měření bylo uskutečněno blízko transformovny vn/nn.

Dále jsou na souhrnném zobrazení dobře vidět stavy napětí způsobené regulací na vyšších napěťových hladinách. Jedná se o regulace při zvýšeném zatížení nebo při odtížení přenosové a distribučních sítí.



**Obr. 2.** Týdenní průběh 10 s průměrného a extrémních desetiperiodových napětí

Na souhrnném grafu jsou rovněž patrné dvě výrazné poruchy na napětí. První nastala 15. 5. 2012 v 18h48m06s a v detailu je vykreslena na **obr. 3**.



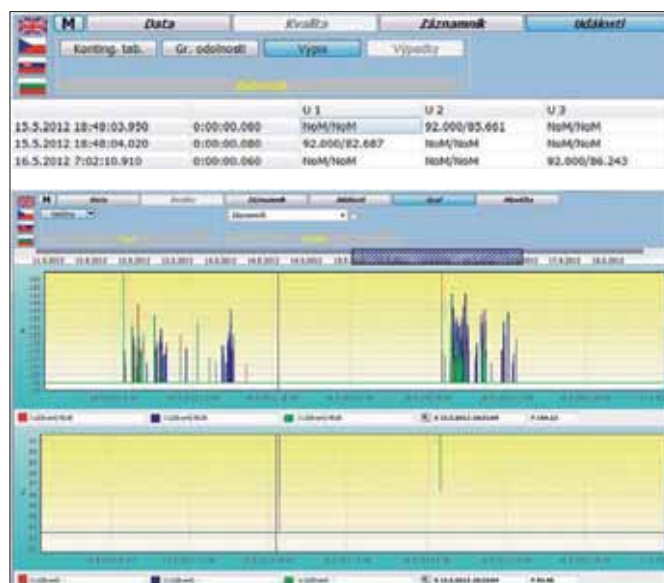
**Obr. 3.** Časový detail průměrného 10s napětí a krajních desetiperiodových napětí při události na napětí dne 15. 5. 2012 v 18h48m06s



**Obr. 4.** Časový detail průměrného 10s napětí a krajních desetiperiodových napětí při události na napětí dne 16. 5. 2012 v 7h02m19s

Druhá výrazná porucha na napětí nastala 16. 5. 2012 v 7h02m19s a je vidět na **obr. 4**. Tato porucha nastala asi 3 minuty po krátkodobé regulaci (zvýšení) napětí. Zde je patrné, že při regulaci napětí dochází ke zvýšení celého pracovního pásma napětí, zatímco při poruše způsobené zřejmě zkratem, který byl vypnut v průběhu měřeného 10s intervalu, výrazně pokleslo pouze minimální desetiperiodové napětí. Hloubka poklesu hodnoty desetiperiodového napětí je závislá na době vypínání zkratu, která je v daném případě srovnatelná s dobou trvání deseti period.

Uvedené dvě poruchy jsou zaznamenány i ve statistice událostí, kdy napětí  $U_{RMS1}$  dle ČSN EN 61000-4-30 Ed. 2 kleslo dne 15. 5. 2012 až na 85,6 %  $U_{jm}$  ve fázi L2 a ve fázi L1 na 82,7 %  $U_{jm}$ . Napětí druhé poruchy ze dne 16. 5. 2012 kleslo nejnižší ve fázi L2 na 86,2 %  $U_{jm}$ . Události na napětí a překročení zadaných hranic nadproudů (100A a 120A) jsou zobrazeny v časovém záznamu. Z něho je patrné, že překročení proudových odběrů nad 100A nastává pouze v denní době a události na napětí nejsou vyvolány nadproudy na straně nn.



**Tab. 2.** Časovým záznam událostí na napětí

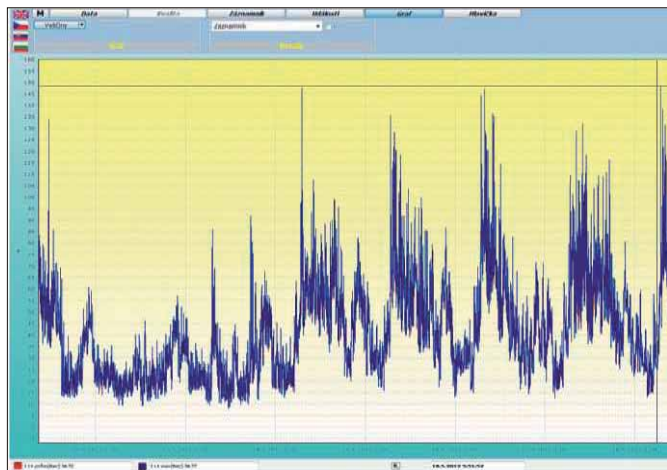
V **tab. 2** je porucha ze dne 15. 5. 2012 rozštěpena na dva poklesy. Doba trvání prvního poklesu je 60 ms, doba trvání druhého poklesu je 20 ms, přičemž prodleva mezi poklesy je 10 ms. Ve statistickém hodnocení událostí jsou pak v měřeném týdnu zaznamenány celkem tři poklesy s dobou trvání od 10 ms do 200 ms a hloubkou mezi 90 %  $U_{jm}$  a 80 %  $U_{jm}$ . Uvedené poruchy se nesmí projevit na funkci správně navržených spotřebičů. V průběhu týdenního měření nebylo na žádné fázi zaznamenáno převýšení napětí ani přerušení napětí.

Na **obr. 5** jsou zaznamenány týdenní průběhy průměrného a maximálního desetiperiodového proudu v měřicích 10s intervalech fáze L1. Jsou zde vidět zvýšené denní odběry v pracovních dnech od 14. 5. 2012 (pondělí) do 18. 5. 2012 (pátek).

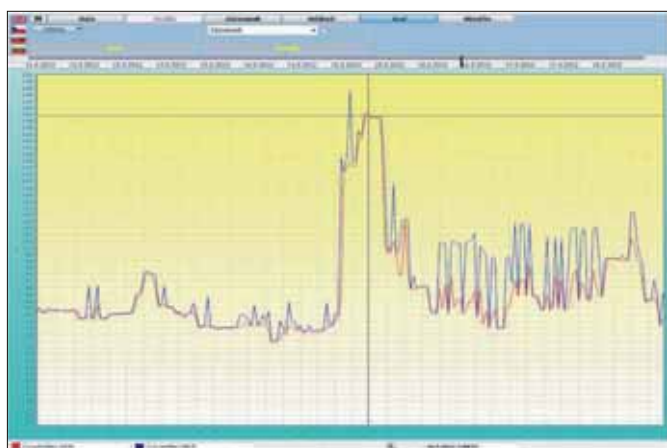
**Obr. 6** ukazuje detail maximálního průměrného 10 s proudu o velikosti 138,5 A ze dne 16. 5. 2012 v 7h49m00s. **Obr. 7** ukazuje detail záznamu maximálního desetiperiodového proudu o velikosti 148,4 A dne 18. 5. 2012 v 6h51m20s. V daném 10 s intervalu byl průměrný proud 90,0 A.

Protože popsané zvýšení desetiperiodového proudu bylo zaznamenáno převážně každé ráno pracovního dne, viz **tab. 3**,





**Obr. 5.** Týdenní průběh odebíraného proudu fáze L1



**Obr. 6.** Detail s maximálním desetiperiodovým proudem 139,5A dne 16. 5. 2012 v 7h 49m



**Obr. 7.** Detail s maximálním desetiperiodovým proudem 148,4A dne 18. 5. 2012 v 6h 51m 20s

může mít popsaný jev příčinu v zapínání spotřebiče s velkým proudovým rázem. Z analýzy dalších fázových proudů vyplývá, že se jedná o spotřebič trojfázový.

**Obr. 8** ukazuje průběh 10s průměrných činných výkonů v dopoledních hodinách pracovního dne 15. 5. 2012 (úterý) s rychlými změnami odebíraného činného výkonu ve všech třech fázích, které jsou pro místo měření charakteristické.

Den	Čas	$I_{\max 200 \text{ ms}}$	$I_{\max 200 \text{ ms} \cdot 10 \text{ s}}$
14.5.	7h07m10s	147,57 A	97,5 A
15.5.	6h43m40s	135,74 A	64,5 A
16.5.	7h00m40s	144,44 A	99,1 A
18.5.	6h51m20s	148,4 A	90,0 A

**Tab. 3.** Vyhodnocení zvýšených denních odběrů proudů



**Obr. 8.** Detail záznamu odebíraného činného výkonu dne 15. 5. 2012



**Obr. 9.** Denní diagram činných energií dne 15. 5. 2012 s překročeními zvoleného limitu 10 kWh



**Obr. 10.** Měření energií dne 15. 5. 2012

Na **obr. 9** je denní diagram 1 hodinových činných energií dne 15. 5. 2012 s vyznačením překročení přednastaveného limitu o velikosti 10 kWh. V průběhu dne 15. 5. 2012 bylo ve 1 hodinových intervalech s překročeným limitem odebráno celkem 29,5 kWh. Za celý den, viz **obr. 10**, bylo celkem odebráno 743,06 kWh činné energie, 199,52 kVAh jalové energie induktivní při odběru činné energie a 2,46 kVAh

jalové energie kapacitní při odběru činné energie.

#### 4. Závěr

Projekt kompaktního monitoru MEg70 navazuje na univerzální monitor a je orientován na snadnou a ekonomicky výhodnou montáž na vývody provozovaných DTS s nově připojenými fotovoltaickými zdroji, případně vývody s nestandardními odběry proudů. Monitor MEg70 umožňuje následná vyčítání změřených dat pro kontrolu provozu. Po rozšíření o prostředky dálkové komunikace je možné změřená data na dotaz případně i on-line přenášet na dispečinky distribučních společností. Protože monitor MEg70 je vybaven i funkcí elektroměru třídy A, je možné jej použít k dálkové kontrole odběru činné i jalové energie a zjišťování technických i netechnických ztrát.

V průmyslových podnicích je možné kompaktní monitory MEg70 použít k rozúčtování nn energií jednotlivých provozů, ke kontrole odebíraných proudů a hodnocení událostí na napětí podle standardu kvality napětí ČSN EN 50160 Ed. 3, včetně analýzy vlivů proudových rázů. MEg70 je díky sériovému rozhraní RS485 s protokolem MODBUS snadno integrovatelný do stávajících energetických informačních sítí.

Kompaktní monitor MEg70 umožňuje i přenos šifrovaných dat vyvinutých v rámci projektu MPO č. FR-TI1/075 „Aplikovaný výzkum a vývoj systémů dálkového měření kvality dodávky elektrické energie“.

**Doc. Ing. Ladislav Pospíchal, CSc.** – ve společnosti MEgA – Měřicí Energetické Aparáty, a.s., řídí a organizuje vývoj a výrobu měřicích a komunikačních zařízení pro energetiku.

**Ing. Karel Hoder** – ve společnosti MEgA – Měřicí Energetické Aparáty, a.s., pracuje na vývoji HW.

**Ing. Zdeněk Kubeš** – ve společnosti MEgA – Měřicí Energetické Aparáty, a.s., pracuje na vývoji HW.

**Ing. Jiří Babka** – ve společnosti MEgA – Měřicí Energetické Aparáty, a.s., pracuje na vývoji FW.

