

## 5. Setkání uživatelů programu MODES ČVUT FEL Praha 28.1. 2004

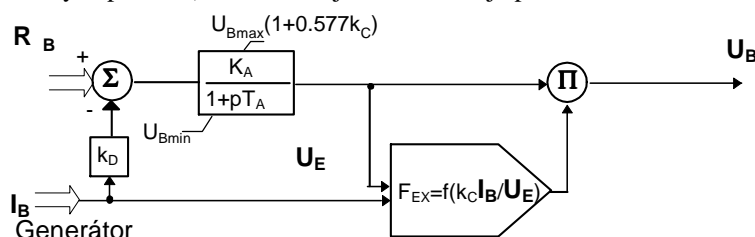
### Program

1. seznámení s inovacemi v nové verzi 2.2/8 programu MODES (budiče, větrná turbína, rozšířený model HRT, zadávání nesymetrických dat a dvouvinutových traf atd.)
2. uživatelské rozhraní MODMAN v.2.8 (integrována dokumentace, výsledky grafiky, správa dokumentů a servisních balíčků, editor chodů a modelů bloků)
3. verifikace programu
4. podpůrný program PARAMAS (výpočet parametrů modelů AM a Transf (transformace dat chodů sítě mezi formáty MODES, PSS/E a UCTE)
5. budoucí vývoj (trafa s příčnou regulací, .model WIN1 – větrná turbína s proměnnou rychlostí větru, model ELMR – asynchronní stroj s proměnným odporem zapojeným do rotorového vinutí, model obloukové pece, model FACTS)

### 1. INOVACE MODELŮ

#### 1.1. Úpravy modelů budičů

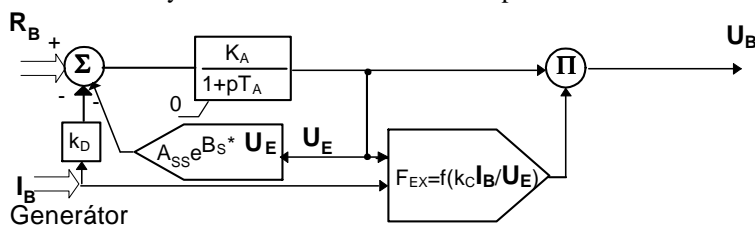
1. Jsou upraveny modely budičů-s ohledem na to, že hodnoty  $U_{Bmin}$ ,  $U_{Bmax}$  jsou získány z měření při zatíženém budiči - nejsou to hodnoty naprázdno. Na následujícím obrázku je příklad modelu střídavého budiče AC\_4:



**Obr. 1** Blokové schéma modelu střídavého budiče AC\_1 s upraveným mezním buzením

Omezení výstupu je nyní předřazeno komutační funkci a bere v úvahu komutační úbytek napětí (předpokládá se, že při měření pracoval můstek v normálním 1.režimu, kdy komutovala vždy jedna dioda)

2. Pro zlepšení kompatibility z jinými programy a pro usnadnění výměny dat bude v nové verzi programu MODES implementován nový model střídavého budiče kompatibilní s modelem AC1A podle IEEE ([4]).

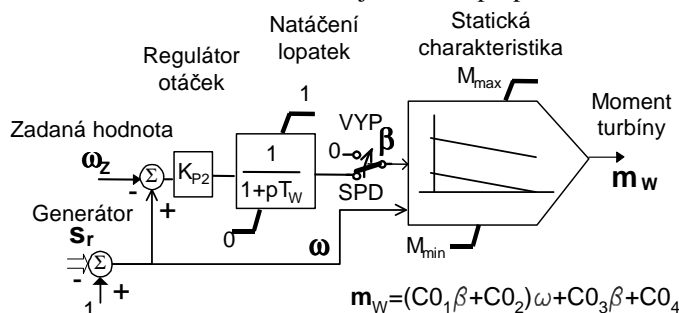


**Obr. 2** Schéma modelu střídavého budiče AC1A s respektováním sycení

Tento model respektuje sycení pomocného generátoru a neobsahuje omezení na stropní hodnotu  $U_{Bmax}$ , která je implicitně zahrnuta v parametrech sycení. Hodnota  $U_{Bmin}$  je implicitně nulová.

#### 1.2. Úpravy modelů turbín

3. Modely turbíny HYDR a STAN mohou být přepnuty do regulace otáček již ve výchozím stavu použitím klíčového slova SPD pro stav regulátoru v databázi modelů bloků (nemusí se tedy používat zásah STRC ve scénáři).
4. Je zaveden jednoduchý model větrné turbíny WIN0 pro konstantní rychlost větru – viz nový projekt WIND\_TUR. Větrná turbína je modelována statickou charakteristikou. Závislost momentového koeficientu na otáčkách a úhlu natočení lopatek je aproximována lineárně. Úhel natočení je ovládán proporcionálním regulátorem otáček se zpožděním 1.řádu.



**Obr. 3** Schéma modelu střídavého budiče AC1A s respektováním sycení

Turbína je modelována statickou charakteristikou v závislosti na poměrných otáčkách rotoru  $\omega$  (vypočítaných ze skluzu asynchronního generátoru, který má pro generátor zápornou hodnotu, na rozdíl od motoru, kde je kladný) a na natočení rotorových listů turbíny, vyjádřený poměrnou hodnotou  $\beta$ , která se mění v od 0 do 1. Při hodnotě 0 dosahuje moment turbíny největší hodnoty. Úhel natočení je ovládán proporcionálním regulátorem se zesílením  $K_{p2}$  (zadávaným v úseku typových parametrů přidavných automatik turbíny, ostatní parametry se zadávají v úseku turbín katalogu typových parametrů modelů bloků). V databázi modelů bloků se zadává regulace otáček klíčovým slovem SPD, při zadání klíčového slova VYP se proporcionální regulátor odpojí a úhel  $\beta$  má konstantní hodnoty 0. V editoru modelů bloků se režim regulace zadává výběrem v rámečku Regulace turb.

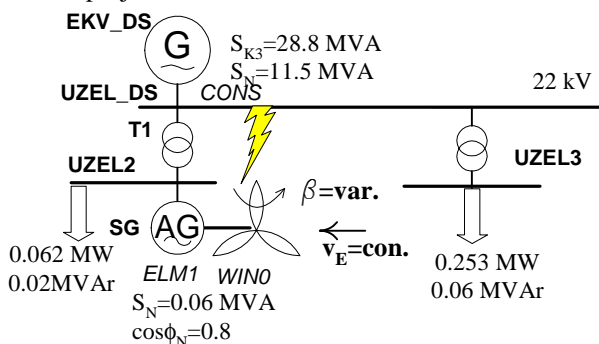
5. Pro použití s modelem větrné turbíny se zadává model asynchronního generátoru s kotvou nakrátko ELM1 (odpovídá modelu asynchronního motoru pracujícího se záporným skluzem rotoru (viz případ DISTR\_W0 v projektu WIND\_TUR. Větrná turbína musí pohánět asynchronní generátor zadávaný modelem ELM1 (jednoklecový s proměnnými parametry) nebo ELM2 (dvouklecový model). Typové parametry asynchronního generátoru se vybírají z typových parametrů asynchronních motorů. Modely ELM1/2 a WIN0 jsou spolu svázaný, takže nelze spojovat větrnou turbínu se synchronním generátorem. To je kontrolováno jak v editoru modelů bloků, tak ve vlastním programu MODES, kdy při nekompatibilitě modelů (např. model CLAS nebo PARK pro generátor ve spojení s modelem WIN0 pro turbínu). Vlastní asynchronní generátor se zadává v tabulce asynchronních strojů. Od asynchronního motoru se odlišuje tím, že má záporné hodnoty k zat a příslušné proměnné (skluz, momenty a činný příkon) mají záporné hodnoty. Dodávaný výkon uzlu (zadávaný v tabulce uzlů), do kterého je as.generátor připojen je kladný v souladu s konvencí znamének výkonů  $P_{\text{dod}}$  (kladné hodnoty pro dodávku a záporné pro odběr asynchronních motorů).
6. Je rozšířena možnost volit režim regulátoru otáček na regulaci otáček klíčovým slovem SPD (již v počátečním stavu) u modelů HYDR a STAN (vodní a standardní turbína)

### 1.3. Úpravy modelu přepínání odboček trať (HRT)

7. U modelu přepínání odboček trať (hladinový regulátor napětí HRT) je možnost zadávání charakteristiky HRTu (závislosti doby přepnutí  $T$  na velikosti konstantní regulační odchylky  $\varepsilon$ ) dána funkcí  $T = 100\varepsilon^{-\text{Exp}}$ . Typový parametr EXP se zadává v katalogu TYP\_SIT.CAT jako přidavný parametr. Pro volbu  $\text{Exp}=0$  je  $T=T_{\text{DEL}}$  a nezávisí na reg.odchylce  $\varepsilon$ . Pro volbu  $\text{Exp}=1$  se jedná o inverzní charakteristiku – doba  $T$  je nepřímo úměrná  $\varepsilon$ . Pro  $\text{Exp}=1.5$  má HRT charakteristiku modelovanou v předchozích verzích MODESu (viz případ TR\_CONST z projektu REG\_STAB)

## 2. ÚPRAVY VSTUPNÍCH DAT CHODŮ SÍTĚ

8. Jsou zavedeny uživatelská čísla oblastí – v tabulce oblastí nemusí být číslo oblastí pořadové –čísla mohou být na přeskáčku v rozsahu 1- 99
9. Při zadání nulového převodu trať  $p_t$  v tabulce bloků (standardně GEN.DAT) se jeho převod spočte automaticky podle vztahu  $U_{uv}/U_{ng}$
10. Upraveny formáty vstupních a výstupních dat pro síť nn a motory s výkony menšími než 1MW –viz následující případ DISTR\_WT z projektu WIND\_TUR



Obr. 4 Příklad as.generátoru malého výkonu poháněného větrnou turbínou vyvedeného do sítě nn

Následující výpis ukazuje tabulku uzlů s variabilním formátem podle napěťové hladiny.

Uziv.	Jmeno	Cislo	Uv	absU	argU	Podb	Qodb	Pdod	Qdod	Qkomp	Qmin	Qmax
cislo uzlu		obl.	[kV]	[kV]	[stup]	[MW]	[MVar]	[MW]	[MVA]	[MVar]	[MVar]	[MVar]
1	'UZEL_DS '	1	22.00	22.000	0.0000	0.00	0.00	0.26	0.12	0.00	-9999.0	9999.0
2	'UZEL2 '	1	0.400	0.3987	-0.0467	0.062	0.020	0.049	-0.030	0.000	0.00	0.00
3	'UZEL3 '	1	0.400	0.3961	-2.1858	0.252	0.060	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00

Za povšimnutí stojí, že na hladině nn je napětí absU vypisováno na čtyři desetinná místa (desetiny voltu), rovněž výkony jsou vypisovány s přesností na tři desetinná místa (kW).

11. Možnost zadávání parametrů netočivé složky vedení a trať přímo v tabulkách větví a trojvinutových trať (rozšířené záznamy) místo do souboru NESYM.DAT (viz případ PRIKL1-2 z projektu NESYMETR)
12. Možnost zadávání dvouvinutových trať v tabulce trojvinutových, čímž je možno při výpočtu chodu sítě i dynamice měnit převod přepínáním odboček (viz případ 2VTR-3VT z projektu 3W\_TRANS).

### 3. VYLEPŠENÍ DAŠÍCH FUNKCÍ PROGRAMU

13. Při zadávání zásahu pomocí makra ve scénáři, nemusí být čas součástí makra (zápis zásahu pomocí má pak tvar např. 20,'\$(záznam makra)', neboli za časem zásahu je zápis makra v apostrofech).
14. V dlouhodobé dynamice se do výstupního souboru SEK\_REG.ANA vypisuje hodnota neodregulované (neplánované výměny) energie v dané hodině EregH [MWh/h] a distribuční funkce rozdělení četnosti neodregulovaného (neplánovaného předávaného) výkonu během výpočtu. Lze tak posuzovat kvalitu regulačního procesu P/f.
15. Je zavedena nová proměnná PG\_OB (sumární výkon generátorů dané oblasti) a souměrné složky (zpětná a netočivá) proudů větví a napětí uzlů
16. Je zaveden nový uživatelské výstupní soubor typu pro analýzu zkratu SRA, který vypisuje parametry větví pro souslednou a netočivou složku, prvky síťové admitanční matice a zkratovou matici (viz případ PRIKL1-2 z projektu NESYMETR)

### 4. UŽIVATELSKÉ ROZHRANÍ MODMAN

MODMAN je součástí standardní dodávky balíku programů MODES a plní tyto funkce:

- A) brouzdání v uložených **projektech a případech** (kliknutím na jméno projektu/případu v Prohlížeči)
- B) správu **projektů a případů** (otevírání projektu/případu tlačítkem na liště nebo příkazy Menu **Projekt a Případ**)
- C) úpravu vstupních dat (Menu **Modifikovat** nebo tlačítka pro editory chodu a modelů, **grafiku a scénář**)
- D) spouštění MODESu, pomocných a přídatných programů z menu **Spust'** a **Nástroje** nebo tlačítka
- E) správu servisních balíčků, které aktualizují obsah balíku MODES (Menu **Soubor**)
- F) zobrazení kontextové (klávesou F1), bublinkové (při přejetí kurzorem nad prvkem rozhraní), celkové nápovědy (Menu **Nápověda**) a nápovědy Co je to? (stiskem tlačítka ? v titulku a kliknutí nad prvkem)
- G) prohlížení standardních a uživatelských výstupních souborů (Tlačítka a Menu **Hlášení, Analýza a Výsledky**) v textovém nebo grafickém režimu (pro **Výsledky**)
- H) zobrazování dokumentace pomocí stromové struktury v Prohlížeči po kliknutí na záložku **Dokumentace**.
- I) zobrazování doprovodných grafických informací
- J) přístup k dokumentům uloženým v podadresáři DOC projektového adresáře (Menu **Soubor/Dokumenty..**)
- K) zavedeny funkce hledání v textovém okně

Poslední dvě funkce jsou ve verzi 2.8 nové a řada byla podstatně vylepšena.

1. Pomocí menu **Soubor/Archiv dokumentů** je možné zobrazit přehled dokumentů uložených v podadresáři DOC jednotlivých projektových adresářů. Přehled obsahuje Název, Předmět, Komentář a jméno projektu a souboru, v kterém je dokument uložen. Informace jsou v souboru SeznamDoc.XLS uloženém v podadresáři GLOBAL.DAT/DOC. Tuto tabulku je nutno napřed naplnit informacemi, k tomu slouží makro, které je součástí souboru. Prázdná tabulka je součástí standardní dodávky a pro naplnění archivu je nutno makro nazvané Docprop spustit běžným způsobem z EXCELU. Makro prohledá všechny projekty a pokud najde v podadresáři DOC dokument WORDu, zkopíruje do tabulky následující vlastnosti dokumentu: název, předmět, kategorii, komentář a manažer a datum dokončení zadávané na kartě Vlastní. Uživatel musí pochopitelně tyto vlastnosti dokumentu definovat na kartách Souhrnné informace a Vlastní (dostupné z menu Soubor/Vlastnosti) předem. Kliknutím na název v tabulce se příslušný dokument otevře (podmínkou je mít nainstalovaný WORD).
2. Je možné otvírat i EXCELOVSKÉ tabulky uložené v podadresáři DOC otevřeného projektu (menu Soubor/Dokumenty projektu –podmínkou je mít nainstalovaný EXCEL).
3. Je možné spouštět nové nástroje – pomocné programy na výpočet parametrů modelů asynchronních motorů PARAMAS a transformační program Transf pro převod dat chodů sítě mezi formáty MODE, PSS/E a UCTE (menu **Nástroje**).
4. Jako jednopólové schémata sítě je možné zobrazovat (kromě formátů WMF a JPG) i ve formátu EMF („Enhanced Meta File“. Podmínkou je, že příslušný soubor existuje (uživatel ho musí vytvořit grafickým editorem, pojmenovat ho stejně jako příslušný chod sítě (ve tvaru &&&&N&ZT, kde &&&& je jméno chodu a N&ZT jsou varianty nasazení bloků, uzlů a větví).
5. Je zajištěn přístup do souboru MAKRA.DAT (tabulka maker) z menu **Modifikovat**
6. Přidán příkaz **Projekt/Vyčistit**, který vymaže záložní a dočasné soubory v podadresáři VST (s příponami BAK, MDB a ORG) a VYST (s příponami INI, HLA, SNP)
7. Přidáno tlačítko hledání řetězce v textovém okně (dalekohled).
8. Editor chodů sítě a modelů bloků se spouští jenom s tlačítkem lišty z menu **Modifikovat** se otevírá jen textový editor (odstraněna volba Tabulky).

#### 4.1. Úpravy Editoru chodů sítě

1. Chod sítě a inicializace dynamiky se spouští jako DLL, což umožňuje automatické (bez nutného stisknutí tlačítka Aktualizovat jako dříve) zobrazování výsledků chodu sítě (napětí a dodávky) rozšířené o toky výkonů, proudy a ztráty ve větvích (případně trojvlnuťových trasech)
2. Po inicializaci dynamiky se automaticky vypíše překročení mezí výkonu turbíny a napětí budiče. Po kliknutí na jméno uzlu/bloku se ukazatel v tabulce uzlů/bloků automaticky přemístí na záznam v tabulce uzlů/bloků -takže je možné hned opravit buď chod nebo generátor.
3. Textové okno se záznamem výsledku chodu sítě zčervená, pokud výpočet nekonverguje,
4. Vybráním jména uzlu s hlášením o degeneraci v textovém okně, přesune se na něj ukazatel v tabulce uzlů.
5. Je možné zvolit pružné meze Qmin-Qmax, které se zvětšují podle počtu iterací od 1.25 % do 20 %, nebo zrušit kontrolu Qmin-Qmax úplně, čímž nebude docházet k degeneraci napájecích uzlů na odběrové, dodávka jaloviny však může dosáhnout nerealistických hodnot.

6. Je možné zvolit proměnnou toleranci výkonové rovnováhy, která se pak lineárně zvětšuje s napětovou hladinou - zadaná přísluší nejmenší hladině.
7. Je změněn dialog pro 3v.trafa, nyní je srozumitelnější – pro usnadnění volbu uzlů připojení je možné vybrat jen uzly jedné napětové hladiny.

**Formulář zadání parametrů pro 3vin.trafa**

Pořadové číslo: 1

Jméno větve: T401\_SOK

Topologie: Primár: 400kV, Sekundár: 220kV, Terciár: 27kV

P0 [MW]: 0.36, i0 [%]: 1

Sn [MVA]: 400, Un [kV]: 400

Sn [MVA]: 159, Un [kV]: 27

Sn [MVA]: 400, Un [kV]: 220

P - T, S - T, P - S

uK [%]: 17.5, Pk [MW]: 0.234

uK [%]: 13.4, Pk [MW]: 0.277

uK [%]: 9.6, Pk [MW]: 0.377

Zadání dat nesymetrii: P00 [MW]: 0.2, i00 [%]: 1

Zapojení [0,1,2]: 1, 1, 2

Hodinový úhel [hod]: 1-2, 1-3

Výběr napětové hladiny:

380	380	380
27	27	27
220	220	220
400	400	400
110	110	110
22	22	22
15.75	15.75	15.75
10.5	10.5	10.5
15	15	15
13.8	13.8	13.8

OK, Zruš

Číslo uzlů, Jména uzlů

Přepínání odboček: Aktuální odbočka: 0, Způsob regulace: Na primáru, Na sekundáru, Na nulovém potenciálu

Změna napětí na odbočku [%]: Nahoru: 3, Dolu: 3.15

Počet odboček: 10, -10

Druh trafo: Transformátor, Autotrafo

**Obr. 5 Dialog pro zadání trojvinut'ového autotransformátoru**

Dřívější způsob zadávání vyžadoval, aby vinutí s přepínáním odboček bylo definované jako 1. Nyní se trafo definuje běžným způsobem pomocí primárního, sekundárního a terciárního vinutí (Editor provede přemístění vinutí s přepínáním odboček automaticky). V rámečku topologie se definují napětové hladiny, čímž se usnadní výběr uzlu připojeného k vinutí). Ihned po výběru uzlu se plní seznam typových dat (předem připravená typová dat trojvinut'ových transformátorů uložené v souboru TypData.dat uloženém v podadresáři CHODY. Zaškrtnutím volby Zadání dat nesymetrii se objeví rámeček s dodatečnými parametry pro výpočet nesymetrických poruch. Tyto data se uloží přímo do záznamu trafo (jedná se tak o tzv. rozšířený záznam) a není potřeba je definovat jako dříve ve zvláštním souboru NESYM.DAT.

8. Dvouvinut'ový transformátor je možno zařadit do tabulky trojvinut'ových, čímž jsou zachovány informace o odbočkách

**Formulář zadání parametrů pro větve**

Pořadové číslo: 447

Jméno větve: T139

Topologie: Počáteční: 139, Koncový uzol: 140

Pk [%]: 0.3, uk [%]: 10, i0 [%]: 0.4, Odbočka [-]: 0, Stav [0/1]: 1, Smax [MVA]: 400

Sn [MVA]: 370, Un poc. uzlu [kV]: 400, Un kon. uzlu [kV]: 20, Změna odbočky [%]: 1

Typ větve: Vedení, Trafo

Odb+ [-]: 10, Odb- [-]: 10

Zadání dat nesymetrii: Hodinový úhel [hod]: 0.0, Zapojení [0,1,-4/4]: 0.0, i00 [%]: 0.0

Štítkové údaje: Přidat do tabulky 3v.traf

Typová data: Main370\_MVA

OK, Zruš

Číslo uzlů, Jména uzlů

**Obr. 6 Dialog pro zadání dvouvinut'ového transformátoru**

Při volbě trafo je možné zadávat parametry pomocí běžných štítkových údajů. Navíc po zaškrtnutí volby Přidat do tabulky 3v.traf Editor umístí záznam do tabulky trojvinut'ových traf (číslo uzlu třetího vinutí se zadá nulové), čímž se zachovávají

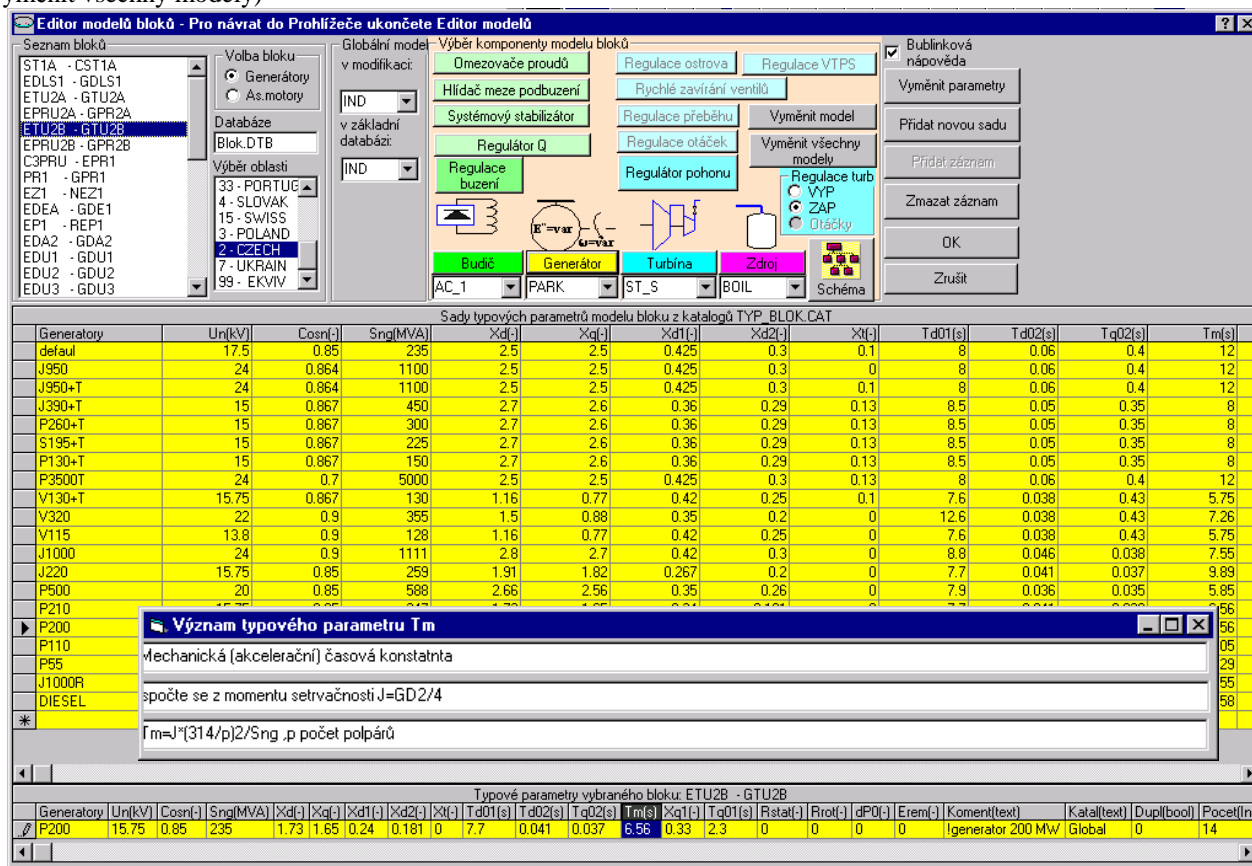
údaje o odbočkách a změnu převodu je možno provádět změnou odbočky namísto dřívějšího pracovního přepočítávání poměrného převodu. Opět je možno zvolit zadání dodatečných dat pro výpočty nesymetrií, které se uloží do rozšířeného záznamu větve. Pro odlišení od běžných data sousledné složkové soustavy jsou tyto data označeny modře.

9. V dialogu pro přidání bloku je možno definovat zdroj tvrdého napětí pomocí trojfázového zkratového výkonu SK3. Program vypočte jmenovitý výkon tak, aby blok dodal zadaný zkratový výkon (při defaultových typových parametrech generátoru).
10. Po předchozím kliknutí na některý ze záznamů příslušná tabulka zežloutne, čímž se zvýrazní, že je aktivní (má fokus), což usnadňuje např. mazání záznamů klávesou Delete.
11. Jsou přidány příkazy **Najít** a **Najít znovu** v menu **Hledání** (dostupné i klávesovými zkratkami CTRL+F a CTRL+H), který po zadání jména objektu vyhledá jeho záznam v tabulce a přesune tam ukazatel. Tabulka, kde se hledá musí být aktivní.

## 4.2. Úpravy Editoru modelů bloku

Integrovaný editor modelů bloků obsahuje tyto novinky:

1. Bloková schémata se roztahují proporcionálně na celou plochu
2. Je možné zobrazit jen generátory vybrané oblasti.
3. V rámečku Výběr komponenty modelu bloku jsou graficky zobrazeny modely přiřazené danému bloku (bez ohledu na navolené modely v padacích seznamech – kombo-boxech, změna modelu se provede až po stisknutí Vyměnit model nebo Vyměnit všechny modely)



Obr. 7 Editor modelů bloků

V rámečku Seznam bloků je možno vybrat regulační oblast jejich bloky se zobrazí v seznamu – je pak možno snáze vybírat ze seznamu. V rámečku seznam komponenty se zobrazí symboly přiřazených modelů generátoru, budiče, turbíny a zdrojem pohonného media. Je zde také volba stavu regulátoru turbíny rozšířená o možnost přepnout regulátor do režimu regulace otáček již ve výchozím stavu (volba je dostupná jen pro modely standardní a vodní turbíny). Tlačítka v rámečku jsou barevně rozlišena – po jejich stisknutí se probarví i tabulka typových parametrů.

4. Při výměně modelu tlačítkem Vyměnit model (je nutno mít vždy stisknuté tlačítko dané komponenty – budiče, generátoru, turbíny nebo zdroje, což se projeví i aktualizací tabulky typových parametrů a příslušným zbarvením) se automaticky přiřadí i odpovídající sada typových parametrů z globálního katalogu (tu je možné pak po skoku na poslední prázdný řádek tabulky typových parametrů tlačítkem Přidat novou sadu zkopírovat, editovat, přejmenovat a přiřadit zpět bloku tlačítkem Vyměnit parametry, nová sada se pak uloží do lokálního katalogu typových parametrů).
5. Po kliknutí na jméno parametru v hlavičce Typových parametrů vybraného bloku se v okně vypíše specifikace daného parametru (význam, výpočet, poznámka). Tyto údaje jsou uloženy v samostatné databázi PopisPar1.MDB v podadresáři GLOBAL.DAT/DOC (je součástí dodávky).
6. Po zobrazení blokového schématu modelu (po stisknutí tlačítka Schéma) je možno editovat parametry přímo v dolním řádku. Po opětovném stisknutí tlačítka Tabulky se opravené parametry přenesou do hlavní tabulky.
7. Změnu typových parametrů aktuálního bloku lze jednodušeji editovat přímo ve spodní jednořádkové tabulce. Současně musí být zobrazeno blokové schéma (provede se stisknutím tlačítka v rámečku Výběr komponenty modelu bloku).

## 5. VERIFIKACE PROGRAMU

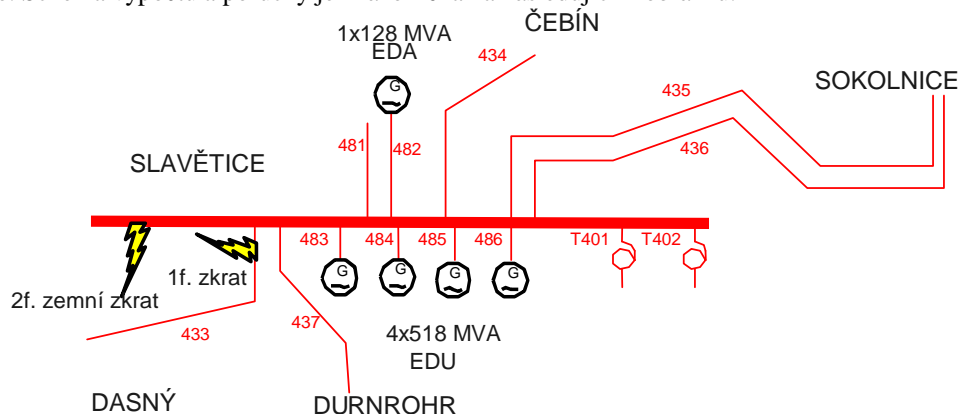
Během vývoje a praktického používání dochází k neustálému ověřování správnosti modelů a metod implementovaných v programech MODES a ZKRATY. K tomu slouží porovnání výsledků simulačních výpočtů:

- s měřeními – k publikacím uvedeným na posledním setkání od posledního se( [1]- [6]) přibýly další dvě [7]a [8]
- s výsledky v jiných programech (viz [9]- [10])
- s vypočítanými průběhy v literatuře – kromě již uvedených příkladů z [11]- [12], byly zpracovány i příklady ze skriptu Prechodné javy v ES, vydaným Technickou univerzitou v Košicích, což souvisí s tím, že ve spolupráci s touto univerzitou se připravuje nové skriptum Použití počítačů při analýze elektrických sítí, kdy budou řešené příklady pomocí programů (mimo jiných i MODESem).
- s rozбором časových průběhů skutečných poruchových a přechodných dějů v ES

Příklady porovnání výsledků simulačních výpočtů s měřeními uvádějí následující kapitoly.

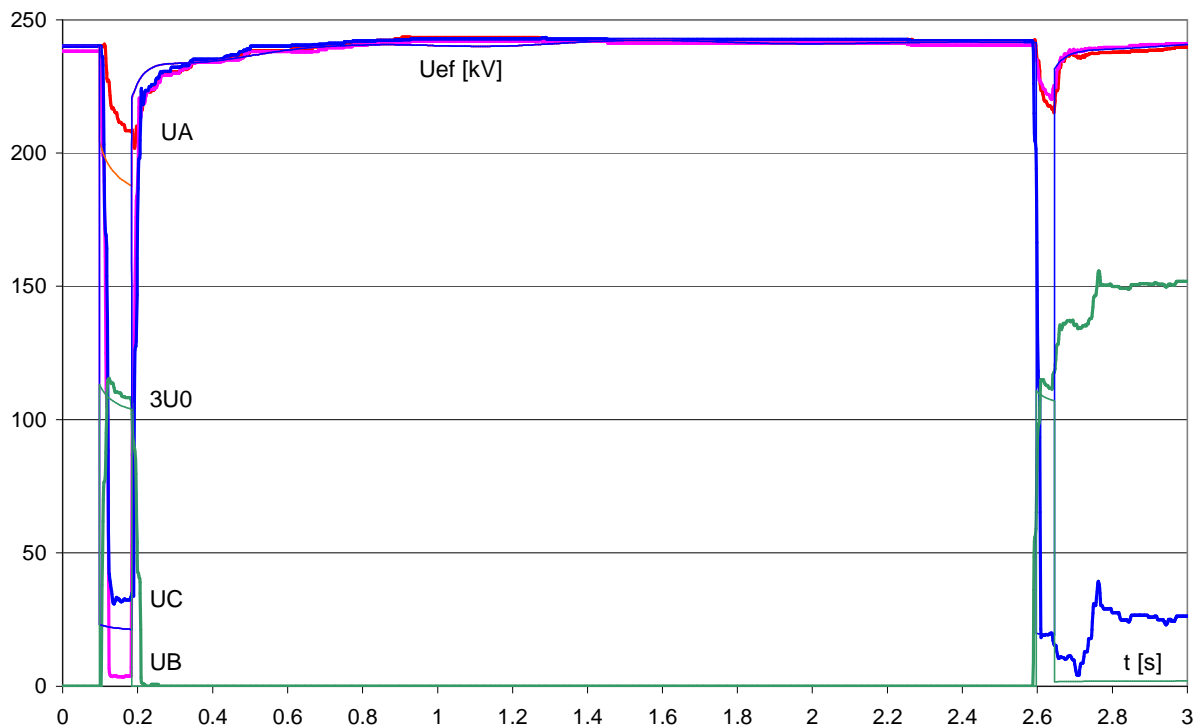
### 5.1. Porovnání výpočtu lokálních poruch –dvoufázového zemního zkratu v r. Slavětice

Náplní této kapitoly je porovnání naměřených a simulovaných průběhů proudů a napětí během poruch v r. Slavětice, ke kterým došlo 2.7.2003. Měřené průběhy byly získány z poruchových záznamů ochran v rozvodně Slavětice (tzv. osciloperturbografy) a z měřicí ústředny monitorovacího systému elektro elektrárny Dukovany (MSE). K poruchám došlo v části 400 kV r.Slavětice. Schéma výpočtu a poruchy je znázorněna na následujícím obrázku.



Obr. 8 Jednopolové schéma výpočtu

Následující obrázky ukazují porovnání měřených a simulovaných časových průběhů efektivních hodnot fázových napětí a proudů na vedení V433.

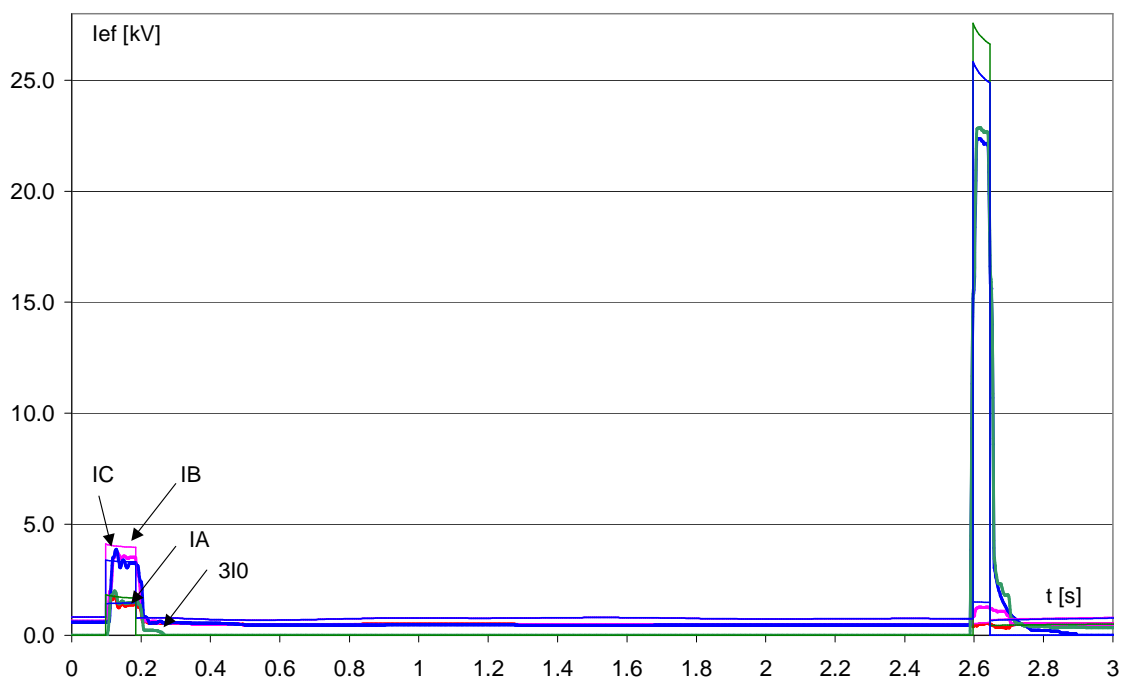


Obr. 1 Porovnání průběhů napětí v rozvodně 400 kV Slavětice

Jako nezávisle proměnná  $t$  je vynášen čas v sekundách, přičemž vznik první poruchy (dvoufázového zemního zkratu) je iniciován v čase  $t=0.1s$ . Měřené průběhy jsou kresleny tlustou čarou, simulované tenké. Napětí netočivé složky napětí  $U_0$  se získává z měření na rozpojeném vinutí do trojúhelníka (proto se jedná o trojnásobek). Během prvního zkratu neklesá napětí postižených fází až k nule, nejedná se tedy o kovový, ale obloukový zkrat.

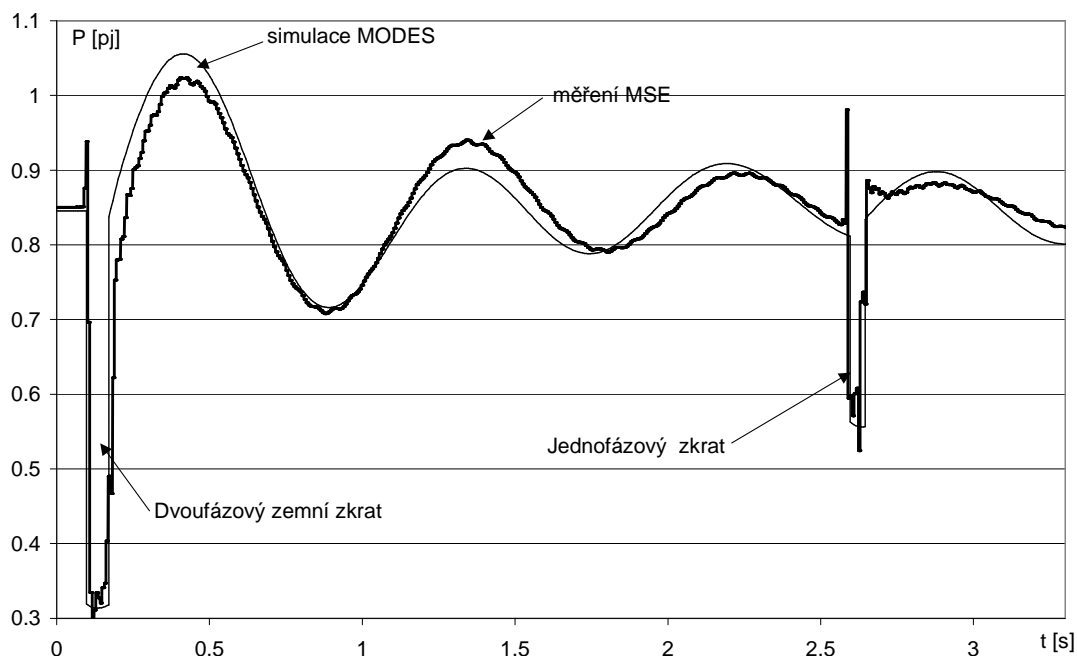
Na rozdíl od měřeného průběhu se napětí měří v rozvodně (za vypínačem), takže po odpojení fáze v čase 2.65 s se měřené a simulované průběhy napětí 3U0 a postižené fáze liší. Z obrázku je vidět dostatečná přesnost výpočtu s relativní chybou nepřesahující 10% (vztaženo k jmenovité hodnotě napětí).

Následující obrázek ukazuje příspěvky zkratového proudu z vedení V433.



**Obr. 2 Porovnání měřeného a simulovaného průběhu proudů vedení V433**

Jsou vidět příspěvky prvního dvoufázového (fáze zemního zkratu a druhého (fáze B a C) jednofázového zkratu ve fázi C. U druhého zkratu tvoří příspěvek velkou část vlastního poruchového proudu (tj. proudu, který teče mezi místem poruchy a zemí), protože místo zkratu je na vedení. Následující obrázek ukazuje jeho průběh měřený monitorovacím systémem elektrárny (MES) a vypočítaný síťovým simulátorem MODES v poměrných hodnotách vztažených na jmenovitý zdánlivý výkon generátoru.



**Obr. 3 Porovnání činného výkonu generátoru P**

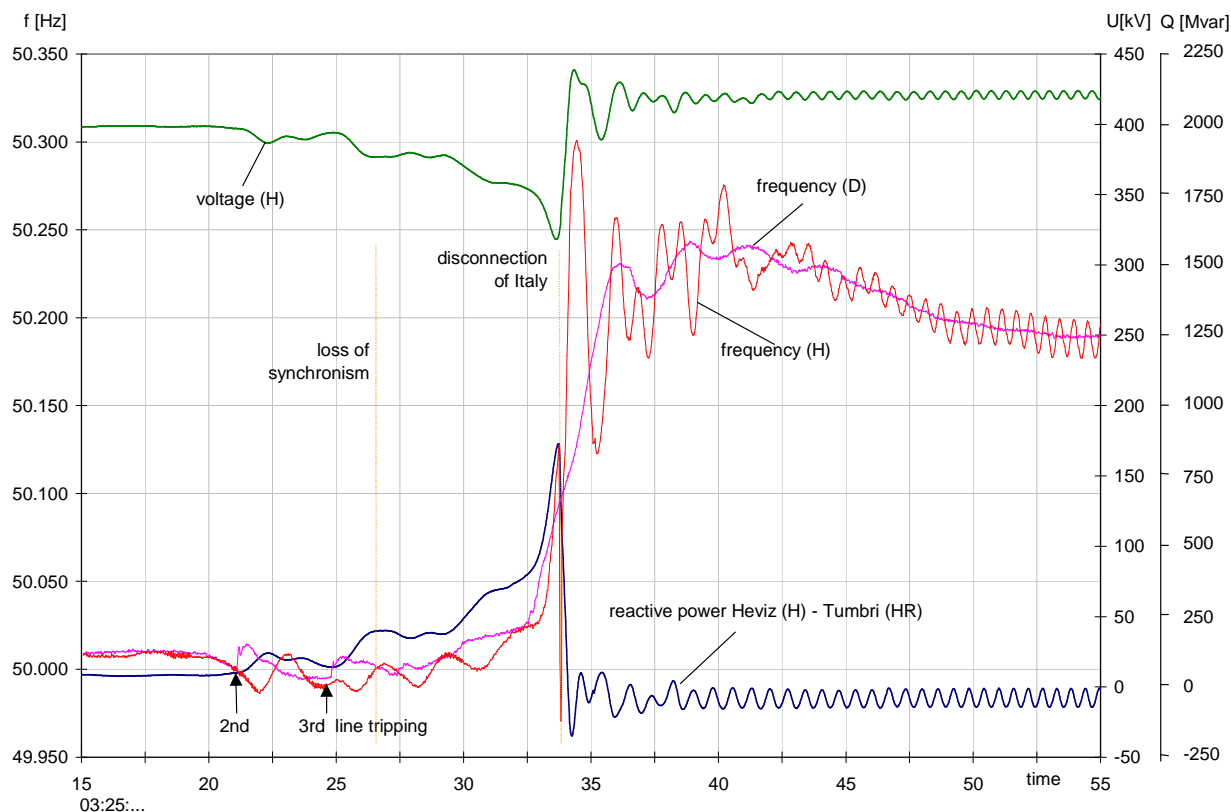
Vypočítaný průběh správně postihuje pokles výkonu při obou zkratech (kdy dochází k akceleraci stroje) i průběh po vypnutí zkratu, kdy dochází k elektromechanickým kyvům, ustalování a vtahování stroje zpátky do synchronismu.



## 5.2. Porovnání výpočtu globálních poruch – výpadek Itálie

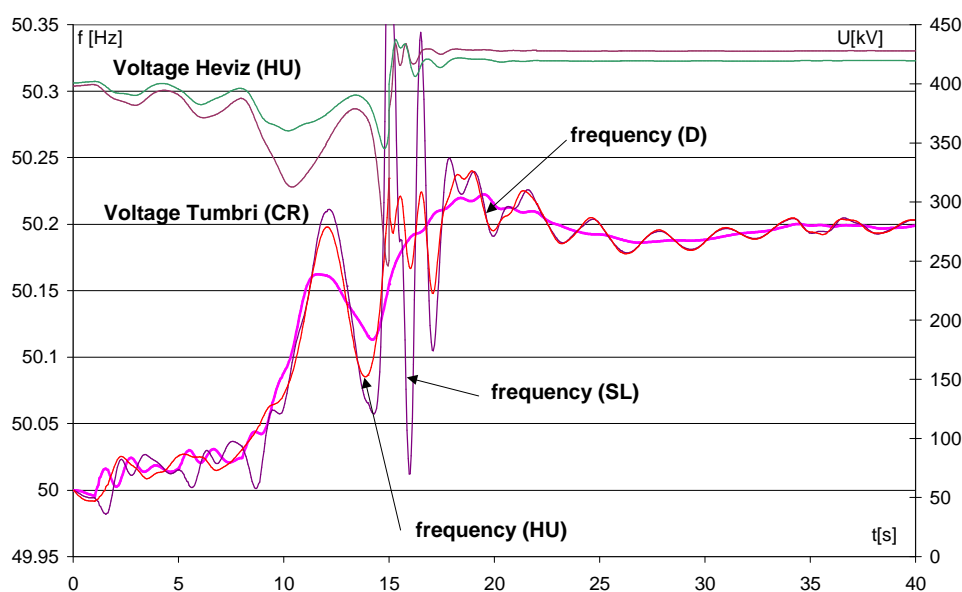
Dosud největší systémovou poruchou v historii propojení UCTE představovalo odpojení Itálie od 1. synchronní zóny 28.9.2003. Tato porucha skončila výpadkem („black-out“) Itálie a k přebytku výkonu v ostatní části UCTE kolem 6651 MW. Vlivem přebytku výkonu frekvence vybočila z pásma pro normální provoz (49.8-50.2 Hz).

Záznamy ze systému WAMS („Wide Area Monitoring System“), který provádí synchronizované měření systémových veličin ve vybraných místech propojené sítě UCTE, ukázaly problémy se stabilitou v jihovýchodní části, jak ukazuje následující obrázek z měření napětí a jalového výkonu na vedení Heváz (Maďarsko) –Tumbri (Chorvatsko).



**Obr. 4 Záznamy systému WAMS v Hevízu (Maďarsko) a Uchtelfangenu (Německo) (převzato z [13])**

Obrázek ukazuje nárůst frekvence sítě od okamžiku odpojení Itálie, které předcházela asynchronní chod částí soustavy doprovázený poklesem napětí a nárůstem toku jalového výkonu. Následující obrázek ukazuje reprodukci poruchy simulačním výpočtem MODESem.



**Obr. 5 Časové průběhy získané simulací výpadku Itálie programem MODES**

Simulace přibližně reprodukuje jak pokles napětí, tak nárůst frekvence sítě, přičemž jsou vidět i rozdíly v lokálních kyvech superponovaných na střední průběh frekvence.



## 6. POMOCNÉ PROGRAMY

Pomocné programy slouží pro přípravu vstupních dat pro výpočty chodů sítě, zkratů a dynamiky. Nový pomocný program PARAMAS slouží k výpočtu parametrů modelů asynchronních motorů. Jako vstupy slouží rozběhové charakteristiky (závislosti proudu a momentu na skluzu).

Program Transf slouží k transformaci dat pro výpočty chodů sítě ve formátech MODES, PSS/E a UCTE. Program načte data vybraného formátu, uloží je do jednotné databáze a pak převede do požadovaného formátu.

## 7. BUDOUCÍ VÝVOJ

V uživatelském rozhraní MODMAN se plánuje další zdokonalení Editoru chodů - rozšíří se grafické možnosti o sledování toků z/do uzlu a bude pokračovat snaha o integraci jednopólového schématu

Programu MODES bude vyvíjen podle potřeb uživatelů. Dají se očekávat tyto směry:

- zavedení traťové příčné regulace, model této traťové regulace není v programu MODES implementován, protože narušuje symetrii admitanční matice, na které je založen úsporný mechanismus výpočtu, po zavedení příčné regulace se musí změnit algoritmus výpočtu (zavedení bude zřejmě doprovázeno úplným přechodem z dosovské verze pod WINDOWS, který umožní využití hotových knihoven výpočtů síťových matic)
- model WIN1 –větrná turbína (VT) s proměnnou rychlostí větru, předpokládá se možnost rampové změny (lineárního nárůstu), poryvu a šumové složky simulující náhodné změny pomocí spektrální hustoty, předpokladem bude sehnat měřené průběhy z potencionálních lokalit umístění větrných turbín
- model ELMR –asynchronní stroj s proměnným odporem zapojeným do rotorového vinutí, který souvisí s předchozím modelem VT
- model synchronního stroje připojeného do sítě přes stejnosměrnou spojku, který rovněž bude používán v kombinaci s VT
- model obloukové pece vytvářený ve spolupráci s EGÚ Praha Engineering, a.s., zde se dosud nepodařilo získat uspokojivý popis závislosti proudu pece na změně napájecího napětí
- model FACTS vytvářený ve spolupráci s STÚ Bratislava.

## Literatura

- [ 1 ] K.Máslo, S.Vnouček, J.Fantík: Unit black start and power system restoration, the International Symposium MEPS'96, Wrocław 1996
- [ 2 ] K.Máslo and P.Neuman: "Power System and Power Plant Dynamic Simulation," in Proc. of the 15th IFAC World Congress, Beijing, China, 1999
- [ 3 ] K.Máslo, J.Anděl: Gas turbine model using in design of heat and power stations, IEEE Power Tech Conference, Porto, September 2001
- [ 4 ] K. Máslo: Dynamické modely pro vyšetřování přechodných dějů v ES: seminář Aktuální otázky a vybrané problémy řízení ES, Poděbrady listopad 2001
- [ 5 ] K.Máslo: Model asynchronního motoru pro dynamické výpočty, AT&P Journal č.2 a 3 /2002
- [ 6 ] Petružela I., Kurka J., Hledík J., Bíca M., Máslo K.: Provoz JE Temelín v reálné ostrovní soustavě, příspěvek na 5. Mezinárodní konferenci „Automatizace energetických procesů 2002“, Zlín 2002
- [ 7 ] K. Kósa, K. Máslo: Simulácia skratovej skúšky v sústave 400 kV ES SR v rozvodni Veľký Ďur, sborník II. vědeckého symposia, St.Lesná, září 2003
- [ 8 ] K. Máslo: Vyšetřování dynamických dějů v ES –využití síťových simulátorů, sborník 9.semináře E2003 -Simulace a dynamické modelování energetických procesů, Praha listopad 2003
- [ 9 ] Svatopluk Vnouček, Tomáš Petržílka, Karel Máslo, Pavel Vágner: Výpočet maximální doby zkratů - porovnání programů PSS/E, MODES a EMTP, Sborník konference ELEN 2002 pořádané ČVUT, Praha, září 2002
- [ 10 ] Veleoslav Mach, Karel Máslo: Porovnání elektromechanického a elektromagnetického přístupu k výpočtu nesymetrických poruch v síti, Sborník konference ELEN 2002 pořádané ČVUT, Praha, září 2002
- [ 11 ] P.M.Anderson: Analysis of faulted power system, IEEE Press, New York 1995
- [ 12 ] Z.Trojánek, M.Chladová: Přechodné jevy v ES (cvičení), Ediční středisko ČVUT, Praha 1988
- [ 13 ] Interim Report of the Investigation Committee on the 28 September 2003 Blackout in Italy, dostupná na [www.ucte.org](http://www.ucte.org)