

Experimentální Analýza Napětí 2003

SIMULACE TRATI 22 kV S PLECHOVÝMI SLOUPY ZA REÁLNÝCH PODMÍNEK A SROVNÁNÍ S EXPERIMENTEM

Jan Moravec¹, Vlastimil Vacek²

This paper deals with numerical simulation of sheet metal pole (voltage level 22 kV), which has been done for ZČE a.s. The paper includes comparison of a test performed by EGU Brno and results of computed static analyse. Upon this comparison was prepared a model of a part of 22 kV line with several poles. Numerical simulations – dynamic analysis of the model at real conditions were realised. The results were compared with experimental test again.

Keywords

FEM, DISTRIPOLE, SIMULATION, TEST, I-DEAS MS, CAD MODEL,

MKP, DISTRIPOLE, SIMULACE, TEST, I-DEAS, CAD MODEL

Úvod

Ve spojitosti s testováním použitelnosti ocelových sloupů DISTRIPOLE při výstavbě venkovního elektrického vedení, se ve spolupráci ZČE a.s. a NTC Plzeň provedly výpočty mechanického namáhání sloupů a části tratě. K výpočtům byly použity sloupy shodné s testovanými sloupky fy. EGÚ Brno a.s., DISTRIPOLE 10 m/6,5 kN, 12 m/5,4 kN a 12 m/9,9 kN. Od každého sloupu byly vždy provedeny tři výpočty. Dva výpočty byly provedeny pro reálné zatížení 0,6 m pod vrcholem sloupu. Třetí výpočet byl proveden pro srovnání s výsledky testů od fy. EGU Brno 0,1 m pod vrcholem sloupu. V návaznosti na provedené modelování a simulace plechových sloupů DISTRIPOLE od francouzského výrobce PETITJEAN a na praktické testování těchto sloupů fy. EGÚ Brno a.s., přistoupila ZČE a.s. k užití těchto sloupů na elektrické trati 22 kV Klabava – Retenice. Na vytvořené elektrické trati jsme se dále zabývali modelováním a simulací reálných provozních zatížení, ne však na celém elektrickém vedení, ale pouze na zvolené části této tratě, kde jsou nejvíce namáhané sloupky vedení. Na závěr jsou zde uvedeny některé výsledky, které jsme získali při vlastním tenzometrickém měření tohoto úseku tratě.

¹ Ing. Jan Moravec: Výzkumné centrum - Nove technologie, Západočeská Univerzita Plzeň; Univerzitní 22, 306 14 Plzeň, tel.: +420-377 634 705, e-mail: jan_moravec@email.cz

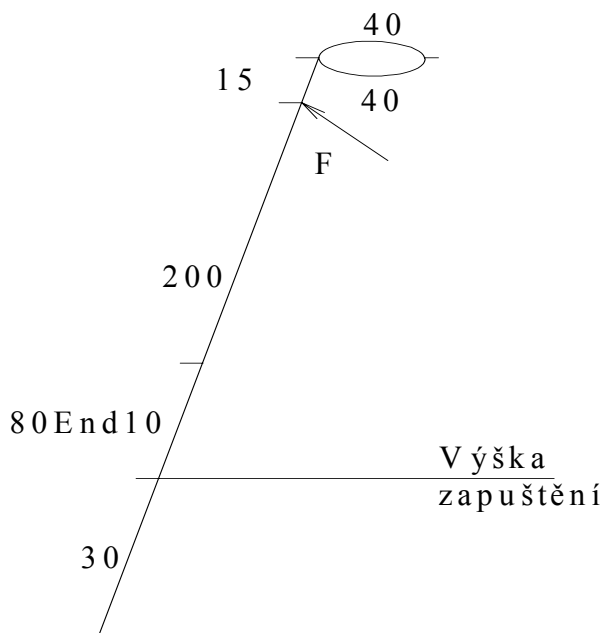
² Ing. Vlastimil Vacek, CSc.: Katedra Mechaniky, Západočeská Univerzita Plzeň; Univerzitní 22, 306 14 Plzeň, tel.: +420-377 632 303, e-mail: vacek@kme.zcu.cz

Statická analýza parametrů plechových sloupů

Popis použitého modelu

Popisované výpočty byly řešeny pomocí metody FEM (Finish Elements Method) v programu I-DEAS MS8, MS9. Výpočtový síťový model byl vytvořen z reálného parametrického počítačového modelu, který pro přesné zadání okrajových podmínek byl rozdělen 3 rovinami, 2 rovinami napříč sloupem, kde spodní část představuje pevné vetknutí sloupu do betonového základu, horní část představuje působíště zatěžovací síly, střední část je vyšetřovaná oblast namáhaná od zatěžovací síly. Poslední rovina prochází podél sloupu pro přesné zadání místa zatěžovací síly.

Pro výpočet byla použita 2D skořepinová síť, která vzhledem k velkému poměru tloušťky a výšky sloupu plně postačuje. Po prvních přibližovacích výpočtech byla navržena konečná síť, která v dostatečné přesnosti popisuje napětí a deformace v namáhané oblasti. Rozložení elementů na modelu sloupu vidíme viz. obr. 1.



Obr. 1 Model sloupu s rozvržením počtu elementů

Podmínky výpočtu

Problematika namáhání plechových sloupů byla řešena jako výpočet s lineární geometrií a pro srovnání byl dále proveden výpočet s nelineární geometrií (velké deformace), při porovnání obou výpočtů s měřením jsme dospěli k závěru že do budoucna plně postačí provádět výpočet lineární.

Z hlediska materiálu se zde pohybujeme pod mezí elasticity, kde platí Hookův zákon. Na základě platnosti tohoto zákona jsme zadávali materiálové charakteristiky jako lineární. Zadané materiálové charakteristiky sloupu jsou uvedeny viz. Tab. 1.

Vzhledem k provedenému testování sloupů, které probíhalo se zatěžovací silou umístěnou 0,1 m pod vrcholem sloupu a reálným namáháním sloupů, kde bude zatěžovací síla působit 0,6 m pod vrcholem sloupu jsme provedli dva výpočty s různým umístěním zatěžovací síly. Pro porovnání vypočtených a výrobcem dodaných hodnot byl proveden přepočet podle momentové věty.

Pro pozdější rychlý návrh projekce elektrického venkovního vedení jsme zanesli vypočtené hodnoty do grafu obr. 3.

V	Modul pružnosti v tahu, E	2,068 E5	MPa
	Poissonovo číslo, μ	0,29	-

Tab. 1 Materiálové charakteristiky použitého plechu

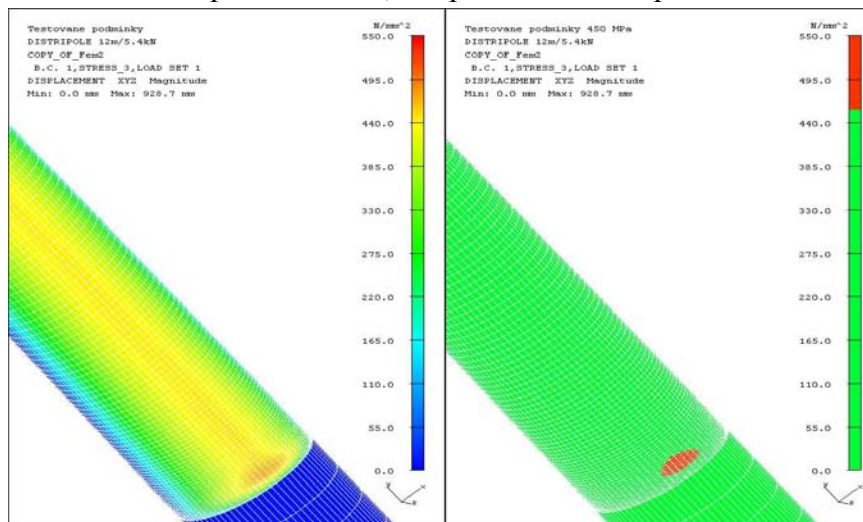
Sloup má podle výrobcem poskytnutých údajů parametry uvedené v tab. 2.

Celková délka	12	m
Hloubka založení	1,81	m
Výška nad zemí	10,19	m
Síla 0,6 m pod vrcholem	5,4	kN
Průměr paty	257	mm
Průměr hlavy	140	mm
Tloušťka plechu	2,54	mm
Deformace hlavy sloupu při síle 1 kN na hlavě	189	mm

Tab. 2 Parametry sloupu DISTRIPOLE 12 m/5,4 kN

Výsledky výpočtu namáhání sloupu při umístění zatěžovací síly 0,1 m pod vrchol sloupu jsou viz. obr. 2, tyto hodnoty jsou vypočteny pro srovnání s naměřenými testy sloupů.

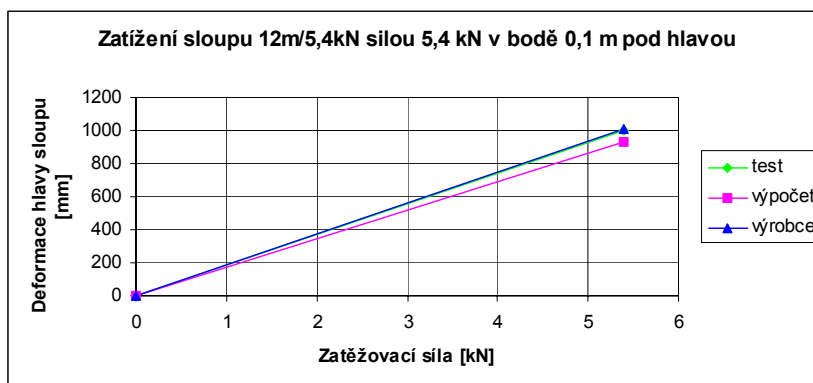
Porovnání všech hodnot pro zatížení 0,1 m pod hlavou sloupu vidíme viz. Obr. 3.



Obr. 2 Výpočet sloupu DISTRIPOLE 12 m/5,4 kN při zatížení 5,4 kN

Modelování a simulace elektrického vedení 22 kV za reálných podmínek

V návaznosti na provedené modelování a simulace plechových sloupů DISTRIPOLE od

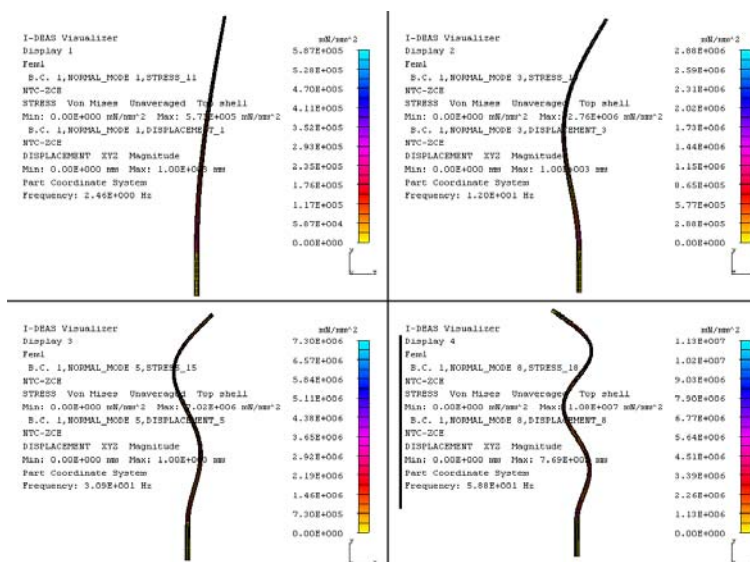


Obr. 3 Porovnání naměřených, vypočtených a dodaných hodnot pro sloup DISTRIPOLE 12 m/5,4 kN při zatížení 5,4 kN v 0,1 m pod vrcholem

francouzského výrobce PETITJEAN a na praktické testování těchto sloupů fy. EGÚ Brno, a.s. přistoupila ZČE a.s. k užití těchto sloupů na elektrické trati 22kV Klabava – Retenice. Na základě vytvořeného projektu tratě jsme se dále zabývali modelováním a simulací reálných provozních zatížení na zvolené části této tratě.

Výpočtový model a simulační podmínky

Z celkové elektrické tratě 22 kV jsme pro modelování a simulace vybraly část tratě mezi sloupy číslo 60 a 64 na výkrese, nebo též mezi sloupy číslo 11 a 15. Podle podélného profilu el. vedení jedná se zde o 3 plechové sloupy DISTRIPOLE 2x 12 m/5,4 a 1x 12 m/6,5. Výběr této části byl vhodný pro velké vzdálenosti mezi jednotlivými sloupy a terénní nerovnost, omezení na tuto část bylo hlavně z důvodů velké náročnosti na výpočetní výkon při simulacích a značně velké nároky na diskový prostor při zálohování dat. Vlastní modelování probíhalo na 3. úrovních. V prvním případě byl modelován samotný plechový sloup (všechny použité typy sloupů) na kterém byl proveden výpočet vlastních frekvencí viz. obr. 4 výsledkem jsou tvary vlastních kmitů a odpovídající frekvence. Z těchto hodnot můžeme předpokládat dynamické zatížení, které bude nejvíce omezovat životnost sloupu. Druhá etapa modelování bylo přidání konzol k sloupu a opětovného provedení výpočtů vlastních frekvencí a vlastních tvarů.



Obr. 4 Vlastní tvary a frekvence pro samotný plechový sloup DISRTIPOLE

V poslední řadě byla namodelována celá vybraná část vedení včetně vodičů. Pro toto elektrické vedení 22 kV byl použit vodič 3x 120 SAX jeho parametry najdeme viz. tab 3. Model sloupu byl tvořen 2D elementy s odpovídající tloušťkou stěny a stejnými vlastnostmi, konzola byla brána jako svařenec z 1D elementu s příslušným profilem přichyceným k sloupů nekonečně tuhým elementem po celém obvodu.

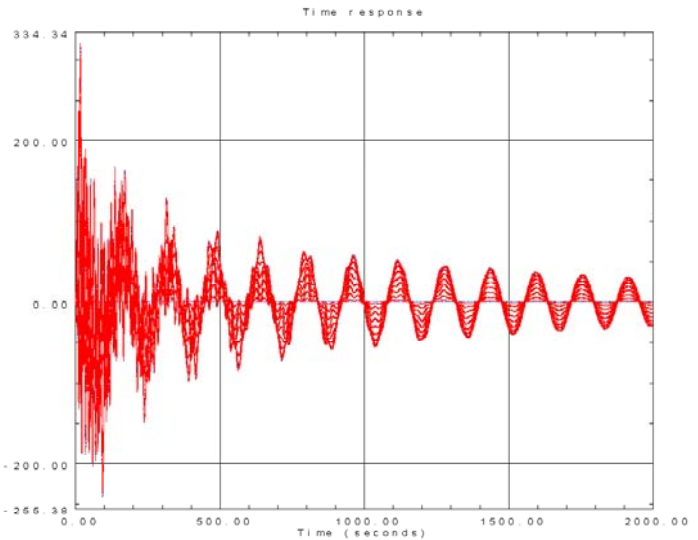
Typ vodiče	Průřez lana	Celkový průměr	Tíha	Dovolené namáhání	Zaručená únosnost	Měrná tíha	Modul pružnosti	Teplotní roztažnost
	[mm ²]	[mm]	[N/m]	[MPa]	[kN]	[N/m.mm ²]	[MPa]	[K ⁻¹].10 ⁻⁵
SAX 120	120	17,5	4,17	105,84	31,77	0,05235	72080	1,91

Tab. 3 Parametry vodiče SAX

Vedení mezi sloupy bylo tvořeno 3x 16 elementů 1D s kruhovým profilem, připojení k elektrické trati bylo přes polovinu následující vzdálenosti po 3x 8 elementů 1D s kruhovým profilem. Opět byl proveden výpočet vlastních frekvencí, výpočet ukázal že vlastní frekvence vedení jsou velmi nízké, na vlastní frekvence sloupů jsme se dostali až při výpočtu přes 200 vlastních tvarů.

Simulace dynamického buzení elektrické tratě

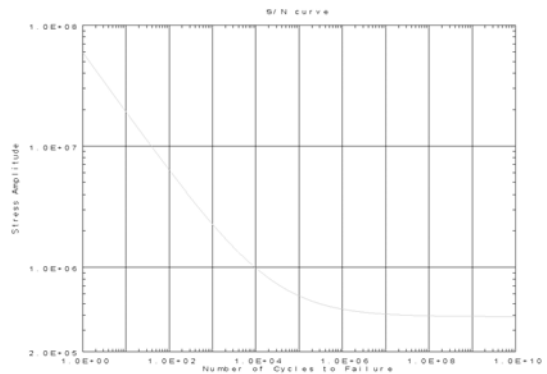
Pro kontrolu elektrického vedení s nově použitým plechovým sloupem je důležité předpovědět jak se bude chovat při opakovaném časově závislém zatížení od větru. Pro tuto simulaci jsme již provedli některé kroky, máme vlastní frekvence a tvary kmitu, také známe statické zatěžovací podmínky, ale zatížení od větru je velice nestacionárního charakteru. Výskyt a simulace všech možných druhů působení není v našich silách obsáhnout a tak jsme se soustředili na nejvíce nebezpečné situace jako je rychlá změna směru větru při maximální intenzitě a z toho plynoucí změna směru působícího tlaku. Zde jsme užívali sinusového přechodu, který měl různě dlouhý průběh. Ten byl volen od krátkých změn cca. 1 až 5 sekund až po změny, které trvaly 50 až 300 sekund. Byl počítán také různý počet opakování sinusového přechodu, od 1/2 až do 5ti cyklů. Výsledkem výpočtu je graf odezvy na zatížení, který popisuje chování části tratě (vychýlení) na čase obr. 5. Součástí těchto výsledků je také chování horní části sloupu.



Obr. 5 Výsledky dynamické simulace při sinusovém zatížení 1 cyklu délka 10 s

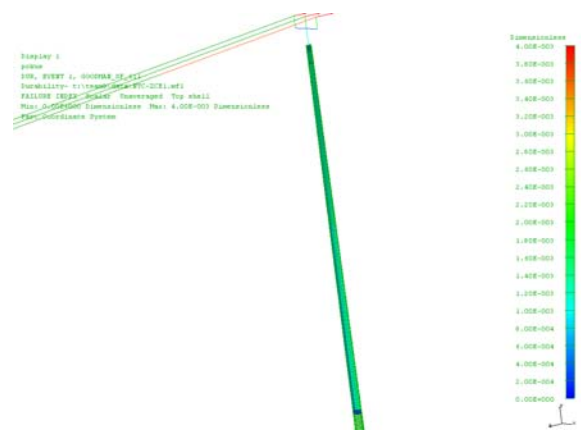
Výpočet životnosti elektrického vedení

Na základě vypočteného dynamického chování elektrického vedení můžeme provést výpočet životnosti. Tento výpočet bohužel nebude uvažovat změnu materiálových vlastností během stárnutí což v přírodních podmínkách provádí koroze a nestabilita prostředí. Tento výpočet bude proveden postupně, kdy nejdříve vypočteme bezpečnostní koeficient na základě výsledků rozhodneme kde počítat životnost a porušení materiálu. Tento výpočet používá S/N křivku materiálu dle Obr. 6. Zde vidíme závislost počtu cyklů na dosaženém napětí. Pro naši situaci jsme použili metodu pro vysokocyklickou únavu, protože se jedná o počet přesahující 10^5 cyklů



Obr. 6 S/N křivka materiálu počítané elektrické tratě

Výsledky výpočtu koeficientu bezpečnosti obr. 7 nám ukázal místa, kde je zatížení nejhorší a zda už nepřesahuje statické vlastnosti materiálu. Hodnocení výsledků: koeficient bezpečnosti menší jak 1 odpovídá, že se nacházíme v oblasti pod mezí kluzu a v jakém násobku.



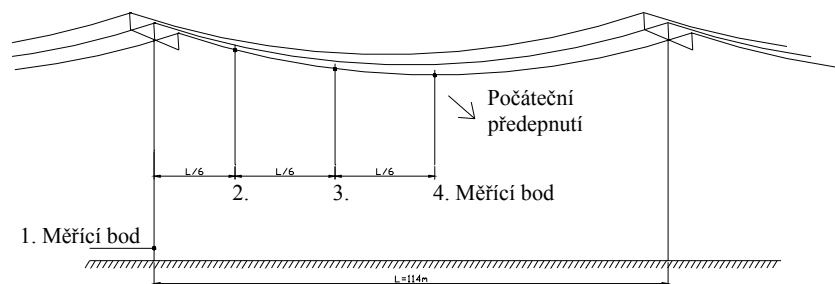
Obr. 7 Výsledky výpočtu koeficientu bezpečnosti

Z vypočtených výsledků můžeme usuzovat, že plechové sloupky DISTRIPOLE mohou být použity pro elektrické vedení 22 kV a jejich životnost bude dostačující, i za max. zatížení od normového tlaku $w_a = 485 \text{ Pa}$, pokud dynamické zatěžovací síly budou v oblastech vysokých frekvencí.

Experimentální měření sloupů DISTRIPOLE na trati 22 kV

Popis měření

Pro srovnání a naladění výpočetních modelů, které byly vytvořeny pro dynamické chování sloupů DISTRIPOLE a tratě 22 kV Klabava – Retenice, bylo dohodnuto a později realizováno experimentální



tenzometrické měření. Měření mělo ukázat vlastní frekvence a typ kmitání a jeho tlumení na zvoleném výseku elektrického vedení.

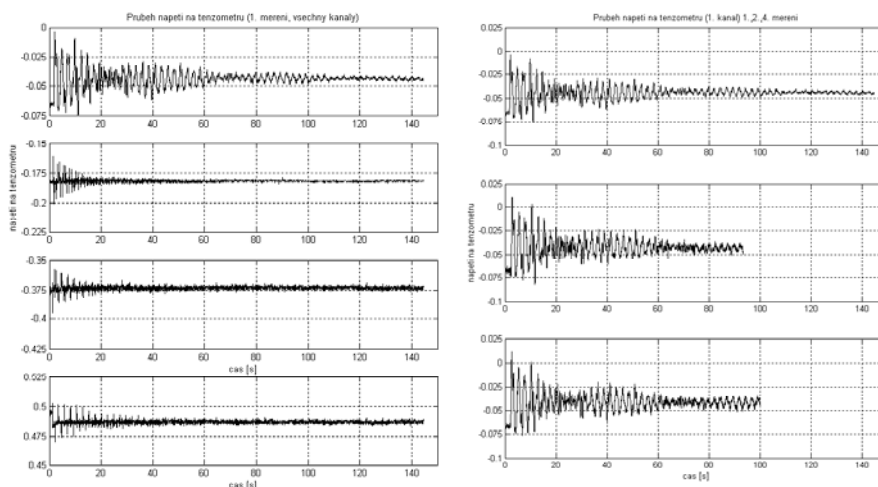
K tomuto účelu jsme

umístily podél poloviny jednoho vodiče polovodičové tenzometry, které snímali změny deformace obr. 8. Při měření jsme použili uspořádání tenzometrického polo můstku. Dále jsme předpokládali, že natočení vodiče vlivem vlastní deformace při dané délce vodiče bude zanedbatelné. Dále bylo vedení snímáno digitální kamerou, což bylo dále společně analyzováno.

Obr. 8 Náskres měřících bodu a předepínání při vlastním měření

Naměřené výsledky

Při samotném měření jsme prováděli několik různých zatěžovacích okrajových podmínek.



Obr. 9 Průběh při měření na všech měřících místech a porovnání měření na 1 tenzometru

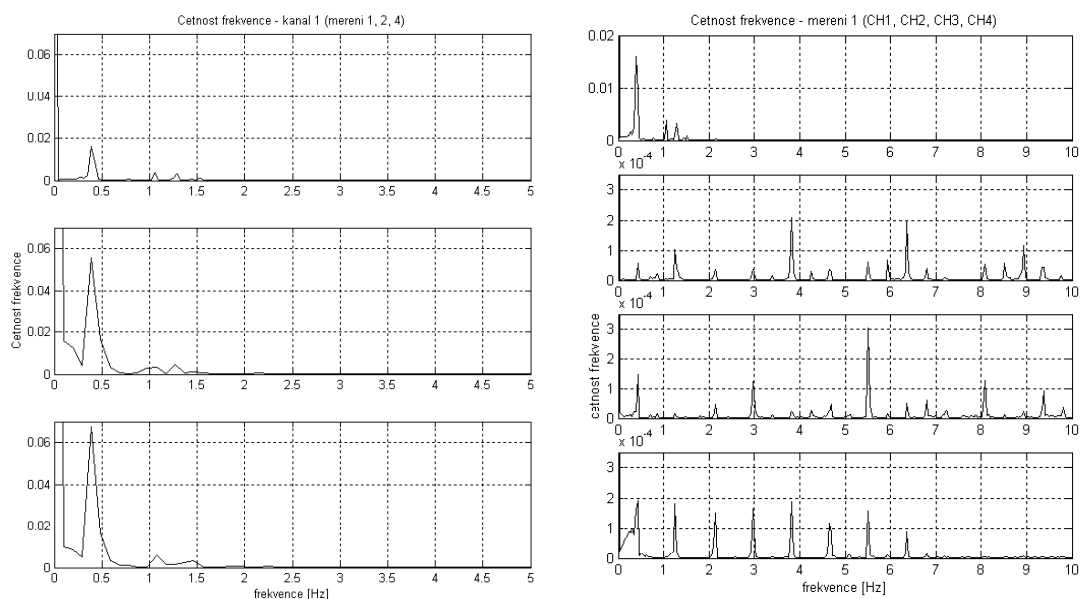
Buď jsme zatěžovali jenom jeden vodič měření 1 a 2, nebo jsme rovnoměrně rozdělili zatížení mezi všechny vodiče měření 3. Měření spočívalo v umělém předepnutí vodiče(ů) a jejich

náhlému uvolnění, uvolněný vodič se postupem času utlumil obr. 9. Bohužel při měření jsme nemohli počítat s větrem, protože dosahovaná rychlost větru byla 1 m/s.

Analýza naměřených hodnot

Z naměřených hodnot se dá udělat přes FFT rychlý přehled frekvencí obr. 10, které se budou podílet na destrukci vedení v případě, že by došlo k jejich pravidelnému cyklickému opakování. Z naměřených hodnot je patrné že první vlastní frekvence, která se zde opakuje max. 2x, nebude v grafu FFT pořádně vidět, pro tento případ by měření muselo být cyklicky buzeno, což při našem měření nebylo možné dosáhnout.

Z těchto výsledků je patrné, že i zde se vyskytuje frekvence cca 0.005 až 0.02 Hz, která nebude moc vidět na FFT analýze z důvodů nízkého opakování, ale bude mít význam při více

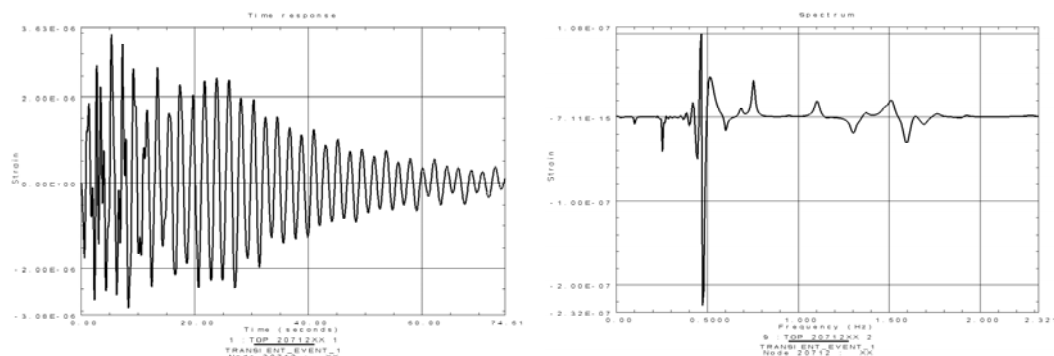


Obr. 10 FFT pro 1. měřící místo a měřeních 1,2,4 a FFT pro všechny měřící místa při 1. měření

cyklických zatíženích i malé intenzity. To bude jedna z příčin, která bude omezovat velké rozteče na zcela nechráněných úsecích elektrických tratí. Další závažné zjištění je, že tato cyklická opakování nemusí být přesně stejné frekvence. Stačí když budou v udaném rozmezí popř. stejně sfázovaná. Naopak pokud zde bude docházet k cyklickým opakováním s různým sfázováním bude výsledkem ten, že kmitání bude tlumeno.

Analýza z vypočtených výsledků

Z vypočtených výsledků jsme také provedli FFT obr. 11, zde je přesně znázorněno, které frekvence se podílejí na kmitání. Frekvence 0.5 Hz se opakuje na všech zkoumaných místech, což přesně koresponduje s měřením a dává představu, jak se může dále ubírat přídatné tlumení a jeho spektrální pole. Pro simulace skutečných mezních stavů elektrického vedení by byla potřeba přesně zadat cyklické změny větru. Rozdíl mezi měřením a výpočtem je vidět především v šumech a úplném utlumení vedení v případě měření. Důvod proč se elektrické vedení tlumilo velmi rychle je slabý vítr, který byl při měření asi 1 až 2 m/s, pro simulaci byl tento vítr na pozadí nepotřebný.



Obr. 11 Odezva a tlumení na předepnutí a FFT pro element odpovídající 1. měřicímu bodu

Závěr

Na základě vypočtených a naměřených informací bude dále upraven a testován výpočetní model. Tento model bude později možné testovat na nestandardní zatěžovací popřípadě tlumící možnosti na vedení. Dále zde může být prováděna optimalizace roztečí sloupů při určitých požadovaných podmínkách na elektrické vedení atd..

Tento článek vznikl za finančního přispění MŠMT v rámci projektu výzkumu a vývoje LN00B084.

Literatura

- [1] Moravec J.: *Statická analýza parametrů plechových sloupů vn/vvn*, výzkumná zpráva NTC 02-03/02, Plzeň 2002
- [2] Moravec J.: *Modelování a simulace elektrického vedení 22 kV za reálných podmínek*, výzkumná zpráva NTC 02-03/02, Plzeň 2002
- [3] Lehký, Zálešák, Thiel, Kváčová: *Praktická příručka pro projekci venkovních distribučních sítí NN a VN*, EGÚ, Brno 2001
- [4] Lehký, Kváčová: *Zpracování technických parametrů pro projekci ocelových sloupů DISTRIPOLE*, EGÚ, Brno 2001
- [5] Tutorials a help pro program I-DEAS MS9