

**SMALL, spol. s r. o, Korunovační 905/9, Praha 7**  
**Geodetické středisko energetiky**



**S R N Í 2 0 0 9**

**PRODLUŽOVÁNÍ ŽIVOTNOSTI KOMPONENT  
ENERGETICKÝCH ZAŘÍZENÍ**

# Prodlužování životnosti komponent energetických zařízení elen.

Vážené dámy, vážení pánové,

na závěr 1. konference jsem zde přednesl příspěvek na téma „Sledování vývoje deformací systému základ-turbosoustrojí“ pomocí geodetických metod měření. V uvedeném příspěvku byla popsána hlavně metoda měření vývoje deformace systému základ-turbosoustrojí, charakteristika přesnosti tohoto měření a způsob vyhodnocení výsledků měření jak z hlediska geodetického, tak i strojního a stavebního. Vznik deformace základu a osy rotace turbosoustrojí byl jen stručně naznačen. Proto si dnes dovoluji o některých poznátcích ze sledování vývoje deformací systémů Z-TG říci několik doplňujících slov. Nejdříve úvod do problematiky, nebo-li trochu teorie.

## **Deformace základů TG.**

Vlivů, které ovlivňují vývoj deformací systému Z-TG a chování jednotlivých komponent základů, je mnoho a lze je rozdělit do dvou skupin. Jednak jde o :

1. statické přetvoření základu, které probíhá v čase i když blok není provozován (nevratné deformace – vyčerpání tolerancí dle ČSN 73 1020 v Ø za 6 roků) a
2. změny způsobené provozem turbosoustrojí (převážně vratné deformace).

Statické přetvoření základu vzniká :

- a) nerovnoměrným sedáním základu,
- b) dotvarováním betonu,
- c) vlivem zatížení apod.

Deformace základu vznikající z provozních příčin jsou způsobeny :

- d) změnami teplotního pole systému Z-TG během provozu,
- e) druhotným zatížením od potrubí, kondenzátorů, zatížení kroučícím momentem
- f) dynamickými účinky,
- g) podélným nebo příčným umístěním turbosoustrojí v objektu strojovny,
- h) vlivem podmínek dané lokality, např. geotechnickými poruchami a dalšími méně či více významnými vlivy, např. montážními nepřesnostmi.

Všechny tyto změny mají, mj., vliv na vyrovnaní osy turbosoustrojí.

## **Deformace osy rotace turbosoustrojí.**

Hřídelová soustava turbosoustrojí a vyrovnaní rotorů do tzv. průhybovky je popsána v příspěvku uvedeném na 1. konferenci, ale jen zjednodušeně.

Deformace uložení stroje, které vedou k odchylkám od nastavené osy rotace do průhybovky, nejsou jediným problémem, spojeným s deformacemi základu. U velkých strojů, kde je uložení rotujících dílů turbosoustrojí a jejich statorových částí provedeno odděleně, se přenáší rozdílné posuny základu do vzájemné polohy rotor-stator, označované jako centricita. Vyčerpání radiálních vůlí pak způsobuje provozní problémy, které se často projevují vibracemi, a které mohou přerůst až v havárii stroje. V lehčích případech dochází k opotřebení zatěsnění stroje a ke zhoršování účinnosti. Nadměrná opotřebení pak snižují životnost dílů, případně celého stroje.

Navíc v době oprav nebo dlouhodobých odstávek dochází k odlehčení a zpětným časově závislým deformacím, které komplikují správné vyrovnaní soustrojí.

Jak už bylo uvedeno v příspěvku na 1. konferenci, deformace základového systému spojená se změnou výšek ložisek není, kromě porušení centricity, bezprostřední příčinou zvýšených vibrací. Změna osy rotace však přináší změny v zatížení radiálních ložisek, což již může různými mechanismy ke zvýšeným vibracím vést. Kromě toho odchylky osy rotace od výpočtové průhybovky vyvolávají u rotorů s pevnými spojkami nežádoucí přídavná střídavá ohybová namáhání.

Přípustnost deformace osy rotace je tedy dána dovolenou úrovní přídavných ohybových namáhání s ohledem na vysokou bezpečnost proti poškození únavou a dovolenou limitovanou změnou zatížení ložisek.

Deformace HZD a uložení stroje nesmí také vést k vyčerpání radiálních vůlí uvnitř stroje. Dojde-li k nežádoucí kumulaci deformace základu a provozní deformace stroje, může nastat vážná kolise.

Dnes bych chtěl uvést některé poznatky o charakteru vývoje deformací různých typů základů na konkrétních příkladech ze sledování vývoje deformací systémů Z-TG.

### **Deformace základu a osy rotace turbosoustrojí vznikající v čase vlivem statického přetvoření.**

Při energetickém spouštění bloku 1000MW došlo k havárii turbíny a značnému poškození NT rotoru. Montáž turbosoustrojí byla dokončena v 2/1996 a následně byly realizovány různé zkoušky. V průběhu těchto zkoušek bylo vyrovnání rotorů na předepsané hodnoty prováděno pomocí změn podložek na pružném uložení. Tento postup sice udržel osu rotace v přípustných mezích, ale vážně byla porušena centricita nezávisle uložených NT dílů. Ty jsou uloženy na podélnících, zatím co ložiskové stojany na příčnících. Příčiny deformace podélníků a příčníků mají odlišný původ. Na levé straně jsou v HZD uložena potrubí od separátorů. I při dobré izolaci a dostatečných a volných dilatačních spárách teplo od tohoto potrubí způsobuje průhyb podélníků za provozu směrem nahoru.

TG byl až do energetického spouštění v 9/2000 v klidu. V této době se vyvinula deformace horní základové desky (HZD) statického charakteru jak ukazuje obr. č.1. Ta byla následně zvětšena vlivem provozních podmínek probíhajícího energetického spouštění. Uvážíme-li i velikost průhybu příčníků, které v tu dobu dosahovaly 2-4 mm, a podélníků, dostaneme obrázek o tvaru deformace osy rotace. Tu jsme neměli příležitost změřit. Výsledkem vývoje deformace základu bylo poškození NT rotoru a hřídelového těsnění uvnitř NT dílu. Porucha vedla k úpravám stroje, doplnění měření uvnitř stroje a důslednému sledování deformací HZD metodou velmi přesné nivelace (VPN).

Je dost i kvalifikovaných pracovníků, kteří si myslí, že tak robustní základ je natolik tuhý, že žádná významnější deformace nemůže nastat. Pro představu jakou deformaci HZD tohoto bloku způsobí zátěž vodou v kondenzátoru a parním prostoru je znázorněno na obr. č. 1. Stav byl zaznamenán jen několik hodin po napuštění kondenzátoru vodou.

**Příklad vývoje deformace HZD bloku 200MW způsobený postupným přitěžováním základu v průběhu rekonstrukce bloku je na obr. č. 2.** Tvar deformace byl zaznamenán krátce po dokončení montáže jednotlivých dílů turbíny. Již při tomto měření se značně odchyluje tvar podélné osy HZD a osy rotace TG. S přibývajícím časem se velikost této deformace samozřejmě postupně zvětšuje.

### **Deformace vznikající vlivem provozních podmínek na různých typech základů.**

Deformace vzniklé vlivem provozu jsou podstatně větší než deformace způsobené statickým přetvořením základu ( $\varnothing$  3x). Tomu odpovídá i podíl na opotřebení TG, navíc umocněný počtem startů v průběhu roku.

Příklad korelace deformace systému Z-TG o výkonu 200 MW, kterých je v ČR nejvíce je uveden na obr. č.3a,b. Jedná se o klasické základy, tj. železobetonovou rámovou konstrukci, kde HZD je z prefabrikovaných dílů, nebo z monolitických železobetonových základových desek a ocelových sloupů v později stavěných elektrárnách.

Konstrukční uspořádání turbinových těles a ložiskových stojanů je řešeno tak, aby nedocházelo k porušování koncentrické polohy rotor-stator jednotlivých těles turbíny. Turbosoustrojí je však uloženo na základu, který se za provozu, díky podstatné změně teplotních a dalších podmínek, deformuje. Deformace základu se projevují nestejným svislým posunem ložiskových stojanů a negativně se podílí na změně tvaru osy rotace TG. Jednotlivé dílčí deformace HZD a vlivy se superponují a korelují s deformacemi rotační osy.

Na vývoj deformace tohoto typu základu má největší vliv uspořádání turbosoustrojí a související technologie v prostoru strojovny – obr. 3c. Je to příčné uložení TG, kdy ze strany VT dílu jsou základ a sloupy ohříván od sousední kotelny a zároveň u budiče ochlazován od vnějšího pláště strojovny, zejména když si personál zpřijemňuje pobyt ve strojovně otvíráním oken a nebo navíc je-li orientace TG J-S. Dalším zdrojem vzniku deformace základu je umístění turbonapáječky vedle VT dílu TG. Náklony a průhyby příčniců (obr. 3d) způsobují deformaci osy rotace jak v horizontálním směru (obr. 3e), tak vertikálním směru (obr. 3a).

### **Deformace vzniklé např. rozdílným způsobem údržby, montážními chybami apod.**

Využívání poznatků z výstupů měření vývoje deformací systémů Z-TG, prováděného pomocí geodetických metod měření, je uvedeno na příkladu dvou elektráren se stejným typem základů i technologie. Rozdíl těchto dvou lokalit je jen v geologickém podloží s nepatrným rozdílem vlivu na velikost deformace základu.

Na obr. č. 4 je znázorněn rozdíl ve velikosti deformací osy rotace v případě realizace nápravných opatření prováděných systematicky s využíváním výsledků měření vývoje deformací systémů Z-TG (např. vyrovnání rotorové soustavy s ohledem na provozní stav deformace HZD, umožnění potřebné teplotní dilatace kondenzátorů ve vertikálním směru, ale i řízené větrání strojovny apod.) a setrvalého stavu s konzervativním přístupem, kdy se zejména nebere v úvahu deformovaný stav HZD za provozu. Díky velkým bezpečnostním rezervám vyrobených soustrojí zřejmě při jinak normálních provozních podmínkách k havárii nedojde. Nicméně při kumulaci dalších nepříznivých provozních vlivů poškození rotorové soustavy, dokonce ani vážná havárie, vyloučeny nejsou.

Příkladem montážní chyby způsobující deformaci osy rotace turbosoustrojí může být příklad jiného bloku, a to 1000MW – obr. 5. Společné výstupní potrubí z VT dílu je tzv. pevným bodem fixováno proti horizontálním posuvům. V tomto případě však byla znemožněna teplotní dilatace tohoto potrubí ve vertikálním směru. Jak se tato chyba projevila na deformaci rotorové soustavy je znázorněno na obr. 5.

Důsledky vývoje deformací základu TG na osu rotace lze vhodným nápravným opatřením eliminovat. Takovým opatřením lze dosáhnout toho, že turbosoustrojí pracuje za vhodnějších podmínek, které mohou významným způsobem přispět ke snížení nákladů na údržbu a zároveň prodloužit periodu oprav a životnost zařízení. Měření vývoje deformací systémů Z-TG tomu může podstatným způsobem přispět, jak potvrzuje obr. 7 a 8 v následujícím odstavci.

### **Příklad využití výsledků sledování vývoje deformací systémů Z-TG,**

jak je uplatňován v provozu pro blok 1000MW. Požadavek na uvedený způsob přerovnění rotorové soustavy byl vyvolán postupným dotvarováním HZD a možnostmi opravy centricity průtočné části stroje.

Pro přerovnění osy rotace turbosoustrojí se používají trojí informace : výsledky měření metodou VPN v průběhu setrvalého provozu a po odstavení turbíny pro výměnu paliva (studený stav se zatížením provozními hmotami, odaretováno), výsledky háčkování spojek ve stejném termínu a záznamy spodních vůlí mezi NT rotory a RK od snižování výkonu po studený stav. V rámci vyhodnocení se porovnávají změny od poslední opravy a navrhuje přerovnění (pokud je potřebné) tak, aby byly zajištěny vyhovující spodní vůle v NT dílech a vyrovnání osy respektovalo dříve změřené změny mezi studeným a teplým stavem.

Důležitým principem tohoto způsobu oprav vyrovnání osy rotace s respektováním požadavků centricity je optimalizace vyrovnání pro provoz. Deformace HZD vznikne vždy – je třeba s ní počítat a „naučit se s ní žít“.

Průměrný rozdílný tvar horní základové desky mezi studeným stavem a provozním ustáleným stavem je možné zjistit buď velmi přesnou nivelací, nebo i výpočtem. Výpočet provozní defor-

mace je na modelu základu sice možný, ale velmi nejistý zejména s ohledem na určení teplotního pole.

Při využívání výsledků sledování vývoje deformací na provozovaných blocích jiných elektráren se musí uvedené skutečnosti posuzovat individuálně. A to proto, že se tvar deformace základu, a tím i osy rotace turbosoustrojí, mezi studeným a provozním stavem značně liší. To však není na překážku využívání obdobného postupu při vyrovnávání osy rotace TG na kterémkoliv typu soustrojí a konstrukci základu – viz obr. 4, kde je vyjádřen postup dvou elektráren.

### **Deformace jiných komponent elektráren (stavebních objektů).**

Příčinou deformací stavebních objektů jsou obvykle geologické, geotechnické aj. vlivy, ale také např. kolísání hladiny podzemní vody, zatížení okolními objekty a deponiemi, provozem na komunikacích apod.

V obr. č. 6 je uveden příklad deformace základů chladicích věží (CHV). Zřejmě geotechnická porucha vyvolává zvláštní charakter sedání základu, že to může ohrozit spolehlivost jejího provozu.

Životnost CHV je ohrožena i z jiných důvodů. Např. jen teplotní dilatace v intervalu léto–zima dosahuje na jejich poloměru změnu  $\pm 5 - 8$  mm, na obvodu to potom je  $\pm 3 - 4,5$  cm. Připočteme-li vliv provozu CHV na deformaci pláště CHV, dostaneme se na hodnoty značně vyšší. Tyto změny tvaru obvodu CHV způsobuje trhliny, následně korozi výztuže a spolu s deformací jejich základů je ohrožována i jejich životnost.

### **Závěr.**

Všechny uvedené příklady mohou inspirovat k přijímání opatření, která podpoří prodloužení životnosti různých komponent, hlavně technologického charakteru, instalovaných v elektrárnách. Má-li sledování vývoje deformací systémů Z-TG dobře sloužit spolehlivému provozu, musí být prováděno v rámci preventivních kontrol zařízení. A to proto, že deformace základu, a tím i turbosoustrojí se s časem stále zvětšuje, nelze sledování jejího vývoje provádět jen nahodile nebo až při odstraňování poruchy.

Zkvalitnění činnosti na tomto úseku by prospělo realizovat také novelizaci technických předpisů, např. ČSN 73 1020 – navrhování základů točivých strojů, nebo přepracovaný metodický návod na sledování vývoje deformací systémů Z-TG.

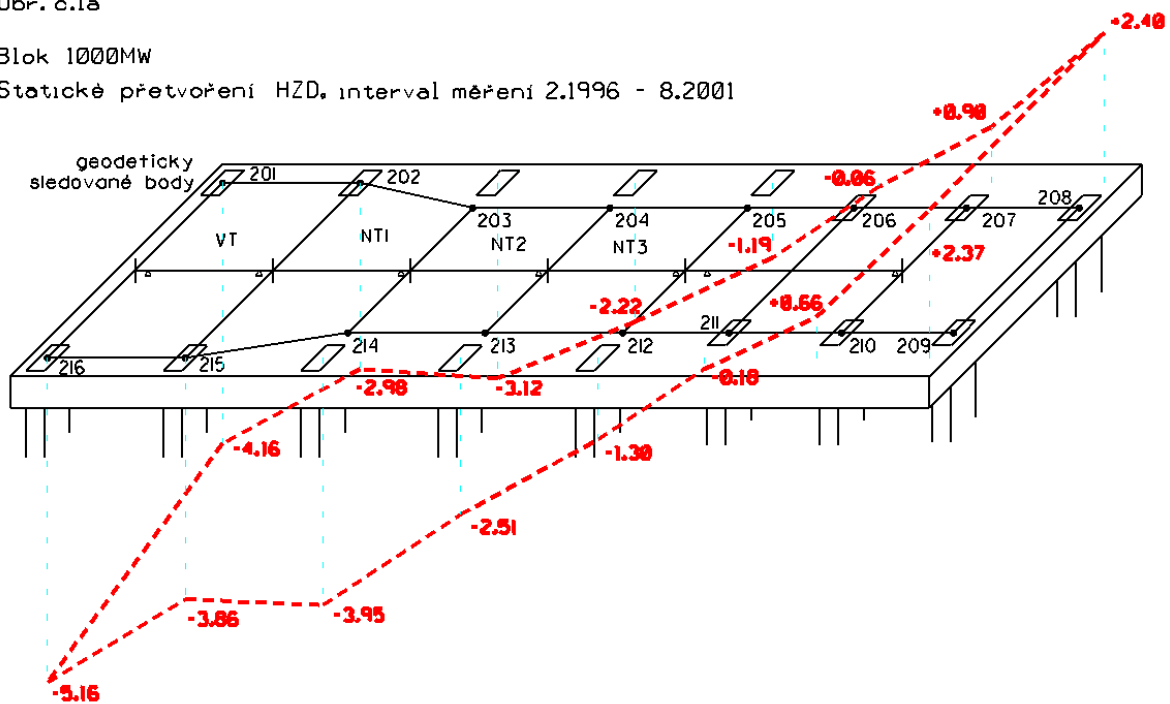
Neméně zajímavé jsou i zkušenosti z měření deformací těles turbin a centricity při zkušebních montážích. Bude-li organizační výbor příští konference příznivě nakloněn a bude-li mě dopřáno potřebné zdraví, rád vás příště seznámím s těmito výsledky měření.

Děkuji za vaši pozornost a přeji úspěchy ve vašem snažení ve prospěch prodloužení životnosti komponent energetických zařízení v elektrárnách i stálé zdraví.

Obr. č.1a

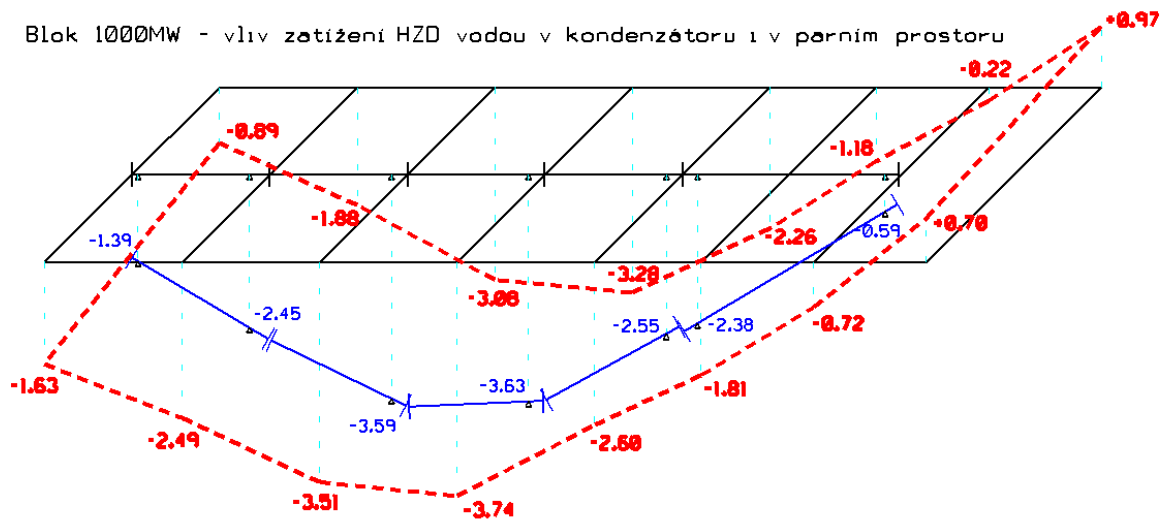
Blok 1000MW

Statické přetvoření HZD, interval měření 2.1996 - 8.2001



Obr. č.1b

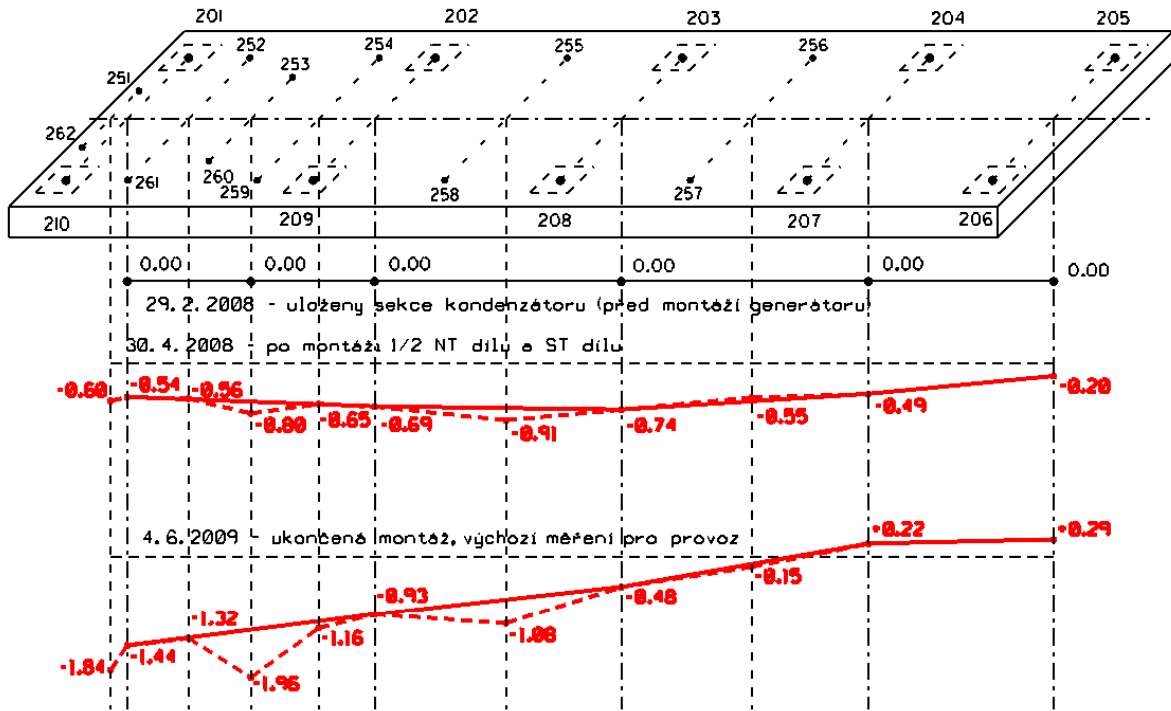
Blok 1000MW - vliv zatížení HZD vodou v kondenzátoru i v párním prostoru



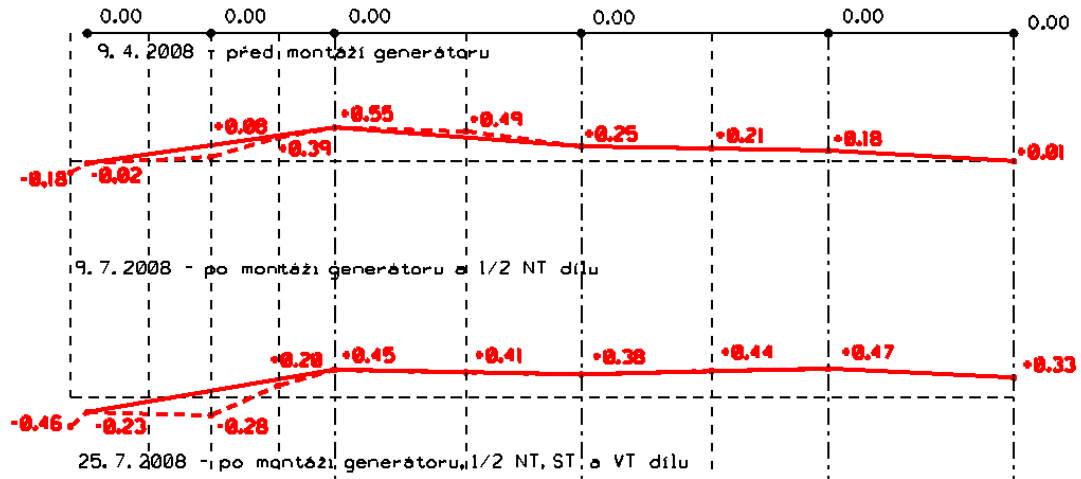
Obr.č.2

Blok 200MW - vliv přitěžování na deformaci základu v průběhu rekonstrukce

Blok A

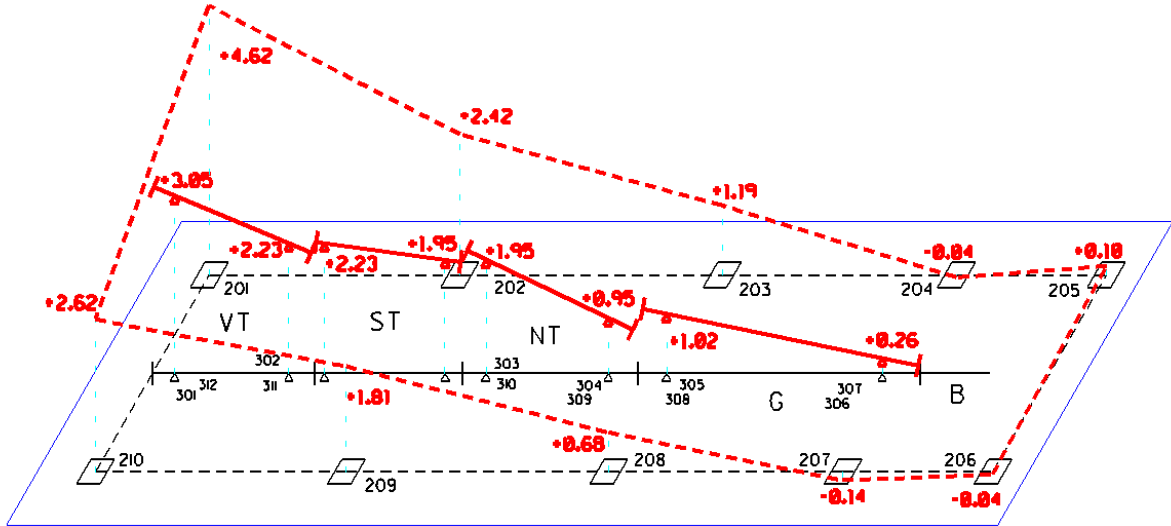


Blok B



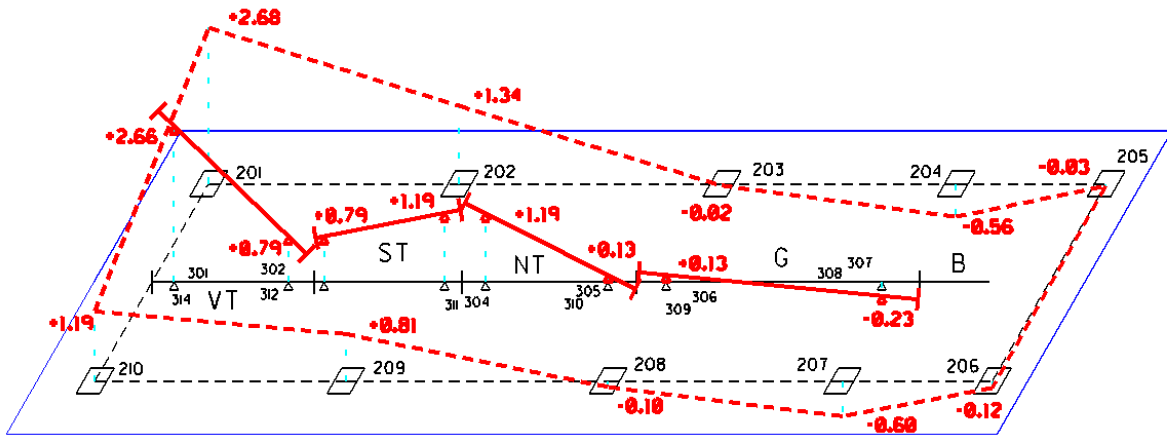
Obr.č.3a

Blok 200MW - základ tvoří žel. bet. konstrukce s ocelovými sloupy



Obr.č.3b

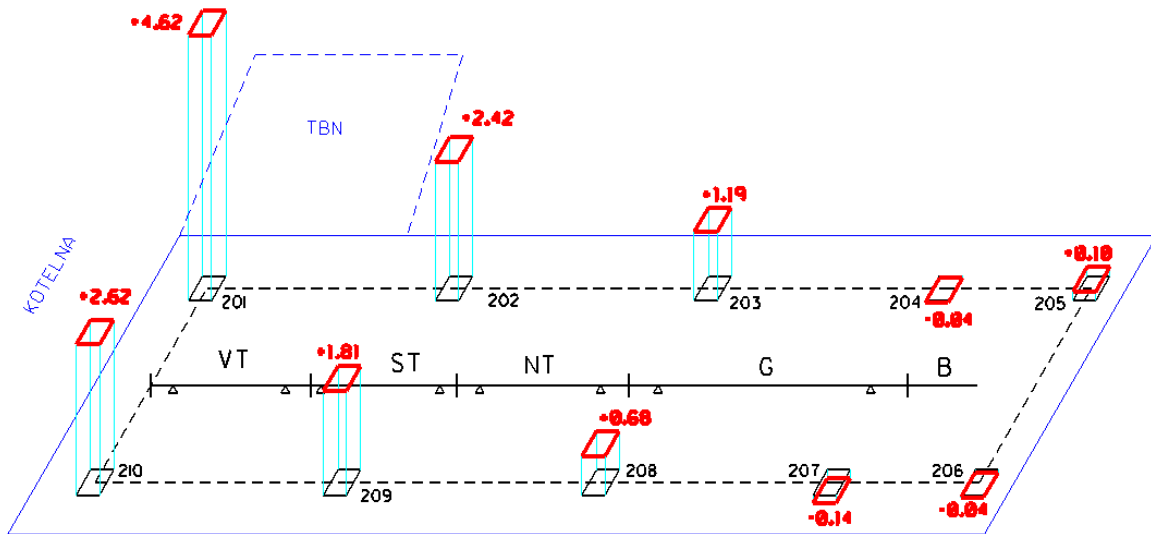
Blok 200MW - základ z prefabrikovaných dílů





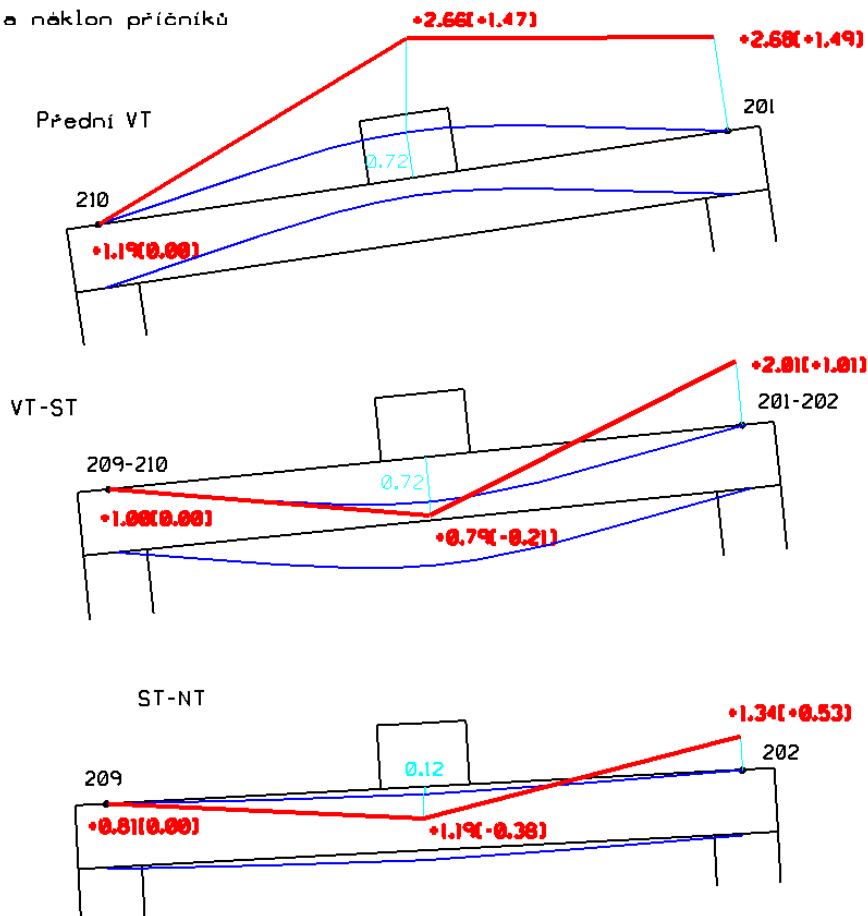
Obr. č. 3c

Blok 200MW - základ tvoří žel. bet. konstrukce s ocelovými sloupy  
 Dilatace sloupů vlivem změněného teplotního pole systému Z-TG



Obr. č. 3d

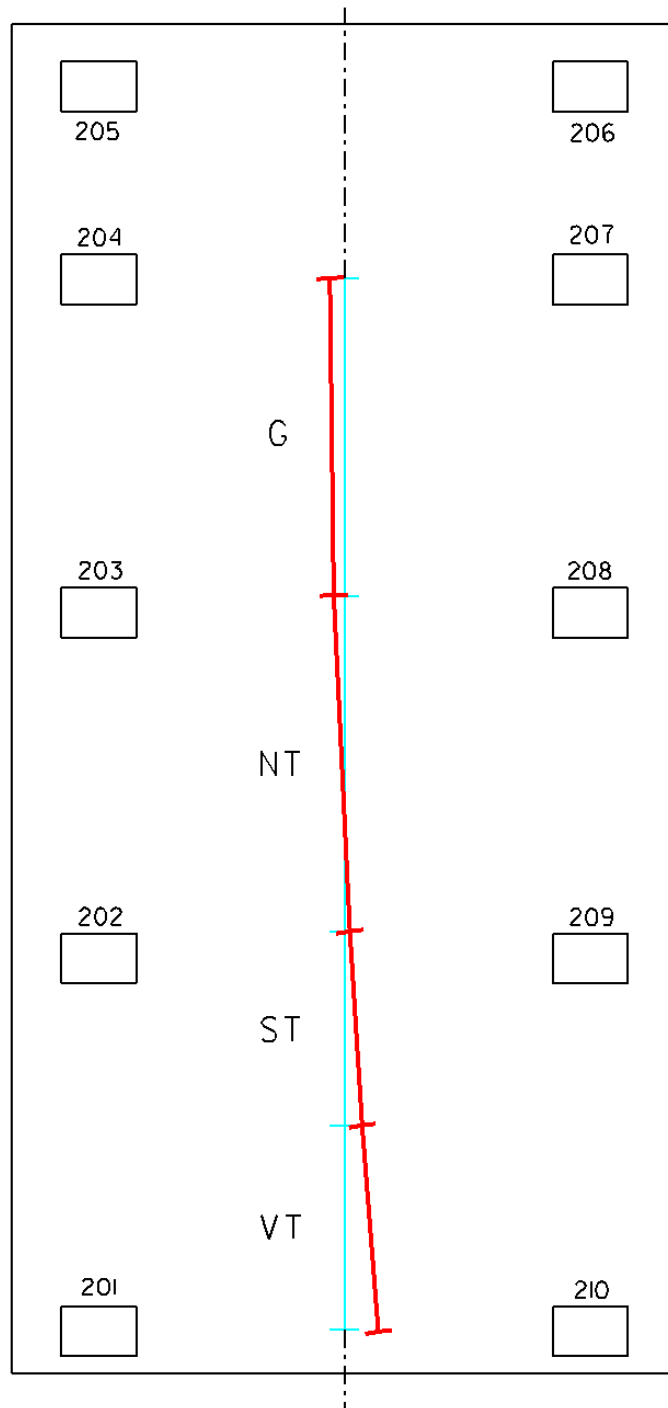
Blok 200MW - základ z prefabrikovaných dílů  
 Průhyb a náklon příčníků



Obr. č.3e

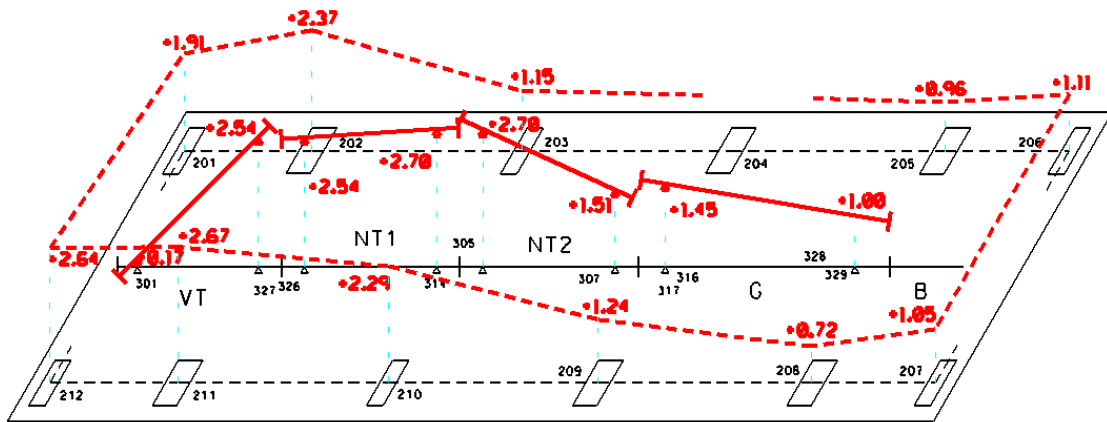
Blok 200MW

Horizontální posuny osy rotační za provozu

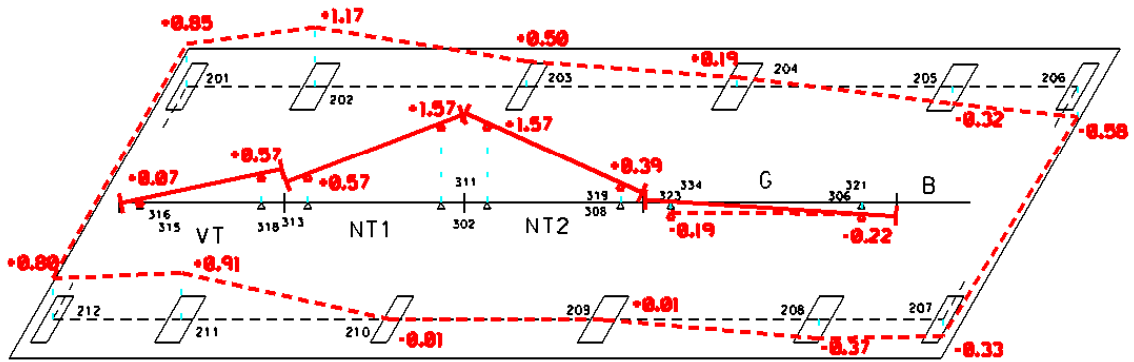


Obr.č.4a,b

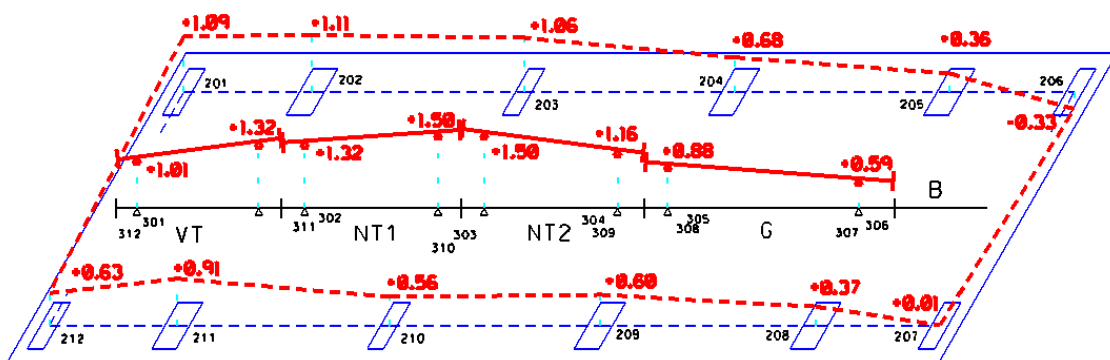
Blok 220MW - Korelace deformace HZD a osy rotace - za provozu  
Elektrárna č.1



Elektrárna č.1



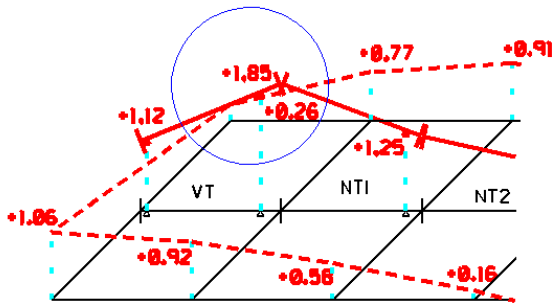
Elektrárna č.2



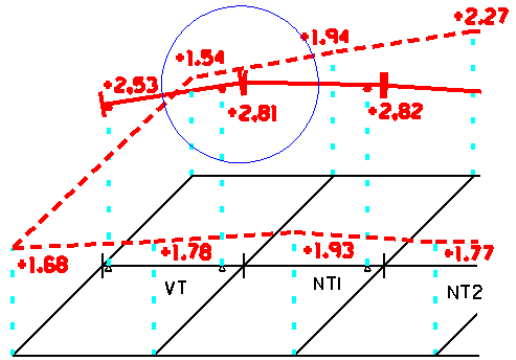
Měřítko svislých posunů 10:1, hodnoty uvedeny v milimetrech

Obr. č.5

Blok 1000MW  
2.2005 - montážní chyba před opravou



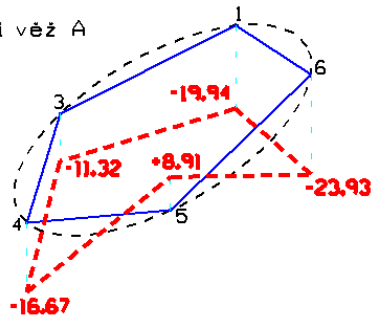
2.2006 - po opravě montážní chyby



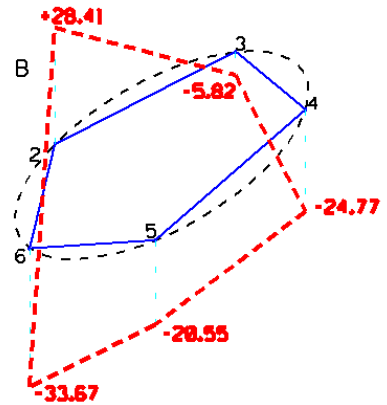
Obr. č.6

Vliv geotechnické poruchy na svislé posuny základů

Chladičí věž A



Chladičí věž B



Hodnoty posunů udány v milimetrech

Obr. č.7

Blok 1000MW

Korelace deformace HZD a osy rotace

