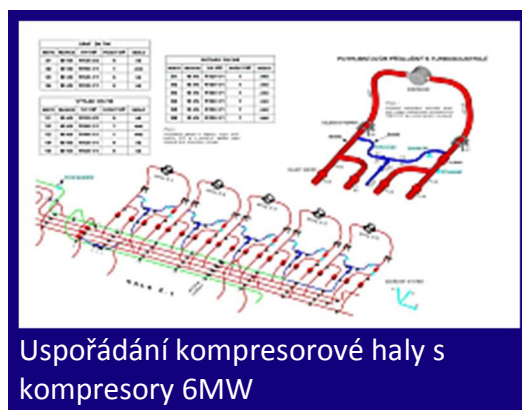


Příklady řešení dynamické stabilizace potrubní technologie na typických konstrukcích

1. Vibroizolace potrubních rozvodů na kompresních stanicích tranzitního plynovodu a podzemních zásobních plynu (PZP) v ČR, SR, D.

Na potrubní linii tranzitního plynovodu jsou periodicky rozmístěny kompresní stanice (cca po 150 km), které eliminují tlakové ztráty vzniklé při dopravě plynu v potrubí. Liniové potrubí plynovodu, které je uloženo v zásypu (dimenze DN 900 – 1200) je vyvedeno do nadzemních KS, kde se větví (z důvodu napojení na jednotlivé kompresory o výkonu 6-30 MW s různými pohony) a tvoří tzv. potrubní dvory (DN 300 – 700) a kolektory (DN 300 – 1400).



Potrubí jsou zatížena, kromě vnitřního přetlaku (7.5 MPa) a dilatací ($T=85^{\circ}\text{C}$) také vysokou úrovní vibrací, které mají svůj původ v pulsacích tlaku plynu vznikajících v kompresoru. Od roku 1994 provádí firma REDYST Vibroizolace komplexní rekonstrukce potrubí a jeho uložení u potrubních dvorů a v kolektorech postupně na všech KS v ČR a SR (1x D)

Důvody rekonstrukce potrubní technologie jsou dány:

- vysokým statickým i dynamickým zatížením a z toho vycházející i omezená životnost a tedy i spolehlivost vyžadující po více než 25 letech provozu komplexní opravu spočívající v odstranění nahromaděného provozního předpětí, opravu mnohdy již nefunkčního uložení při snížení koncentrací napjatosti novými sedlovými objímkami s opásáním a vloženými gumo-textilními pásy
- nutností provedení dynamické stabilizace potrubních rozvodů s využitím nových prostředků s tlumením provozních kmitů – instalací VIP
- oprava a následná ochrana poškozených povrchů potrubí při opravě narušených betonových pilířů a kotevních desek
- remontáž uložení potrubí tzv. komplexním postupem montáže (KPM) s měřením reakčních sil v uložení
- dodatečná výpočtová kvalifikace a provozní měření na úrovni postupů pro JE.

Ukázky provedených oprav:

Kolektor EHaly

DN 1200, 3 x R160/1. Totálně poškozené uložení.



Potrubní dvůr

DN 900, 2 x R160/1. Chybějící podepření.



Potrubní dvůr

DN 400, 2 x R120/1. Rozrušený betonový pilíř.



Kulový uzávěr

DN 300, 1 x R120/1. Dilatačně nefunkční podepření KU.



Potrubní kompenzátor

DN 900, 3 x R160/1. Podpěra bez kontaktu s potrubím.



2. Řešení pevnosti, životnosti a seismické odolnosti potrubní technologie JE-ČR, SR



Potrubní systém technické vody důležité (TVD) představuje rozsáhlou soustavu s dimenzemi od DN 250 do DN 1600. Vzhledem k důležitosti pro bezpečnost elektrárny je TVD zařazeno mezi tzv. vybraná zařízení s požadavkem seismické odolnosti. Pro zařízení této kategorie je požadován podrobný výpočet pevnosti, životnosti i kontrola odolnosti proti zemětřesení.

Firma REDYST se na řešení otázek pevnosti a seismické odolnosti TVD podílela již od fáze úvodního projektu, kdy vhodným rozčleněním potrubní soustavy na jednotlivé dílčí celky bylo v maximální možné míře využito samokompenzační schopnosti potrubního systému, což se projevilo v minimálním počtu použitých vlnovcových kompenzátorů.

Samostatnou kapitolu představuje zajištění odolnosti převážně horizontálně vedeného potrubí před zemětřesením. Původně navrhovaný způsob stabilizace pomocí nákladných viskoslumičů byl nahrazen unikátním řešením (patent č.: 273590, B. Rejent) využívající existenci definovaného tření ve styčných plochách kluzných podpěr. Základní myšlenka je, že pokud bude koeficient tření v kluzné podpěře dostatečně velký bude se při zemětřesení podpěra chovat jako pevný bod tj. nebude v ní docházet k relativnímu pohybu. Seismická odolnost bude zaručena za předpokladu, že potrubní pole mezi třecími podpěrami budou frekvenčně naladěna nad oblast seismicky významných frekvencí (nad cca 20 Hz).

Správnost tohoto přístupu byla ověřována řadou početních analýz a experimentů, které mimo jiné vedly k výběru vhodné třecí dvojice v kluzných podpěrách s (SKLOPLAST-NEREZ; $m = 0.25 \pm 0.05$) konstrukčním vymezením příčně deformovatelných částí k absorpci dilatací, tzv.: aktivní části kompenzátoru.

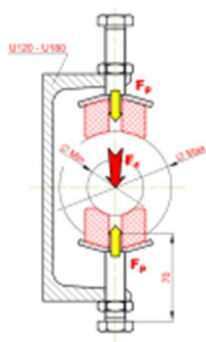


Ve firmě REDYST byl vyvinut speciální program LT – KOM, který umožňuje provedení dilatačního výpočtu s respektováním nelineárního chování potrubí s tzv. volnou hranicí (výpočet se provádí po oteplovacích krocích a v každém kroku je řešení hledáno iterativně).

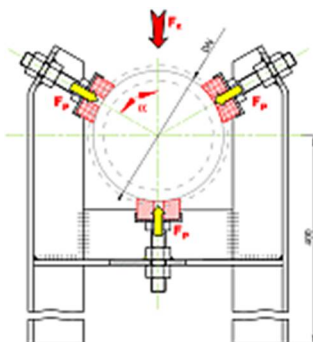
Dynamická stabilizace potrubí oleje ložisek generátoru 1000MW

V procesu najíždění generátoru docházelo k nadměrným vibracím potrubí oleje. Maxima provozní odezvy se nacházela v pásmu otáček TG $n = 1600 - 3000$ 1/min. Před stabilizací se efektivní hodnoty se pohybovaly na úrovni smluvní mezní úrovně $V_{ef} = 18$ mm/s. Po instalaci VIP a úpravou předpětí (frekvenčním laděním) došlo ke snížení na poloviční hodnotu. Použity byly konstrukce VIP se dvěma a třemi MK jak ukazuje obrázek

VIP R50/2-U



VIP R50/3-Y



Dynamická stabilizace potrubí páry generátoru 1000MW

Při uvádění JE Temelín do provozu (v r. 2001) vyskytly se u parního potrubí DN 600 hydraulické rázy vyžadující stabilizaci. Byly použity speciálně konstruované VIP R160/2-L instalované do spojovacích tyčí jednotlivých potrubí páry u regulačních armatur a dorazy omezující výkmity na přívodním potrubí z parogenerátoru. Spolu s úpravou průtočné partie regulačních armatur na vstupu do vysokotlaké části turbíny bylo dosaženo spolehlivé stabilizace.

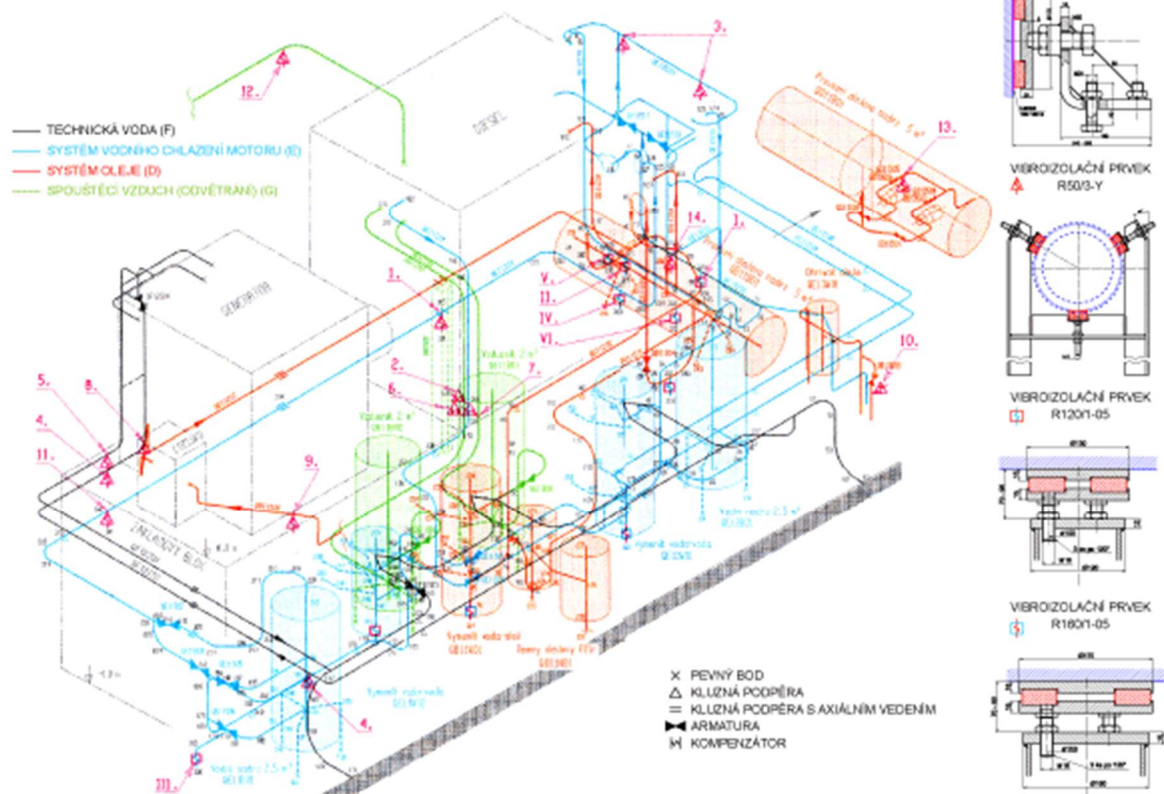


Dynamická stabilizace potrubí dieselgenerátorových stanic (DGS)

U potrubní technologie (potrubí tech. vody, chlazení, oleje, nafty, spouštěcího vzduchu a výfuku plynu) náhradních zdrojů 6MW je vyžadována dynamická stabilita zahrnující limitované provozní kmity a seismická odolnost. Po obsáhlé dynamické analýze byly instalovány různé typy VIP, které systémy stabilizovaly. Osazení VIP zachycuje obrázek. Použity byly všechny obvyklé MK (50, 120, 160).



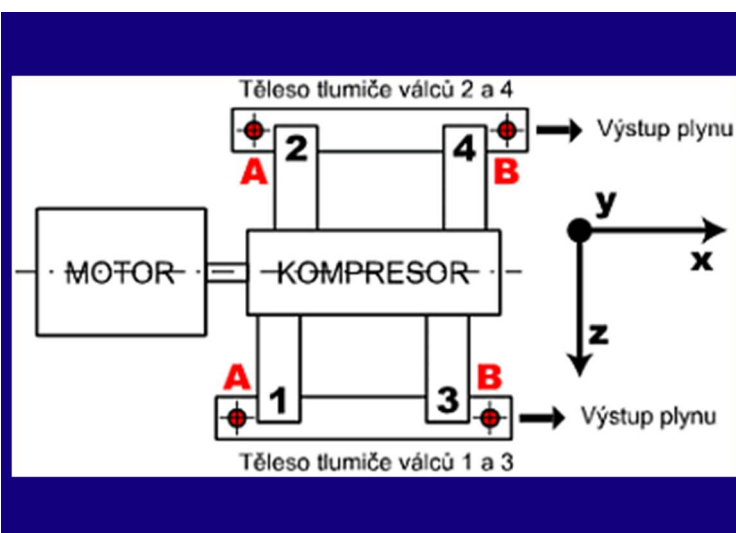
DYNAMICKÁ A ANTISEISMICKÁ STABILIZACE TECHNOLOGIE DGS JETE



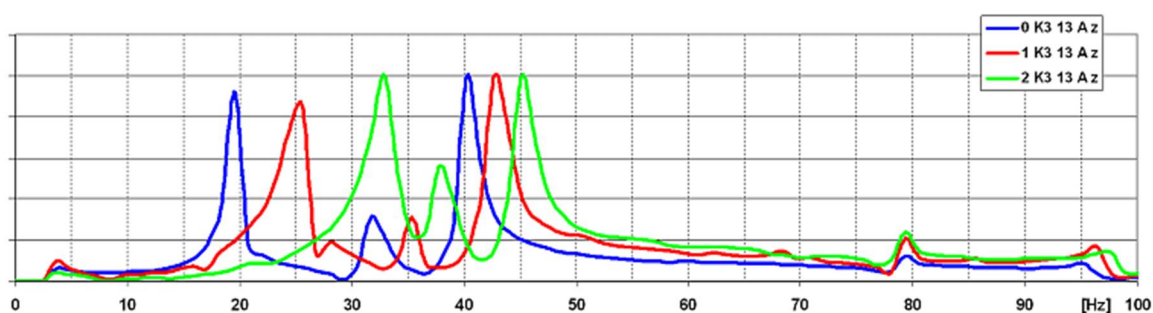
3. Proces frekvenčního ladění

Nelineární závislost $F-s$ u jednotlivých VIP je možné s výhodou použít jako prostředku k dílčímu frekvenčnímu přeladění konstrukce – uložené na VIP – z oblasti významných hodnot provozního chvění. Je to jedna z důležitých předností těchto prostředků, umožňující bez konstrukčních úprav dodatečně nebo v počáteční fázi zkušebního provozu příznivě dynamicky stabilizovat kmitající technologii. Bez hlubokých analýz tato cesta umožňuje kvantifikaci obtížně postižitelných vlivů na vlastní frekvence soustavy a tyto vlivy obejít a zohlednit frekvenčním doladěním. To je jeden z nejefektivnějších prostředků k dosažení dynamické stabilizace.

Proces stabilizace si ukážeme na jednoduché konstrukci tělesa tlumiče tlakových pulzací na výstupu z čtyřválcového pístového boxerkompresoru s pohonem elektromotorem o $n=300 \text{ 1/min}$ ($f = 5 \text{ Hz}$). FOTO ukazuje instalované VIP (4 ks/tlumič/45 st.), jako paralelně připojené nelineární tuhosti s účinkem v horizontální i vertikální rovině.



Schema soustrojí s čísly válců (1,3 a 2,4) a míst měření kmitavé odezvy na okrajích tlumičů (A, B) je na levém obrázku. Spektrum vlastních frekvencí je pro různé stavy předpětí VIP (modrá-nízké, červená-střední a zelená-vysoké) pro dominantní kmity ve směru z získané po vybuzení soustavy rázem je dole. Pro nejnižší vlastní frekvenci je možná změna $Df = 14 \text{ Hz}$, pro další dvojici vyšších tvarů kmitání pak shodně cca $Df = 5 \text{ Hz}$



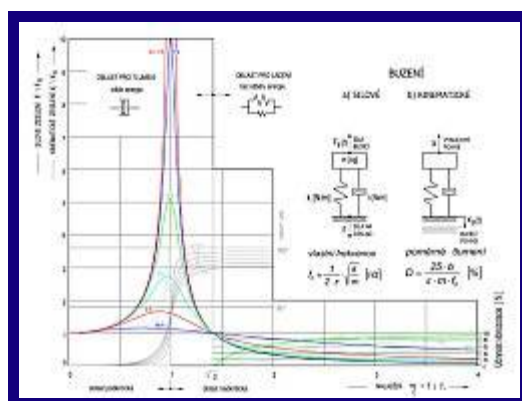
Zde je zachycena procedura provozního ladění začínající naměřenými hodnotami při stavu původním, po instalaci VIP a předběžném nastavení a konečně třetí sloupec pak ukazuje hodnoty po provozním naladění na minimální hodnoty v jednotlivých složkách kmitání (x, y, z) pro místo A, válce 1,3. Zde dosažená efektivita vibroizolace (pro mohutnost kmitání vef) je vysoká a pokles provozního chvění dosahuje 50-75%.



4. Pružné ukládání strojů

Ke snížení chvění strojů a přenosu dynamických sil do uložení se ukládají na pružné prvky vhodně frekvenčně naladěné vzhledem k provozním otáčkám. Těmto podmínkám vyhovují i metalické pružiny, které lze vhodně kombinovat do serie i natvarovat pro podmínky přenosu zatížení v příčném směru. V důsledku příznivých hodnot tlumení vyhovují i při přechodových stavech, kdy je nutné překračovat rezonanční stavy.

Uvedeme si základní informace soustředěné do grafu a vycházející z harmonicky buzené jednohmotové soustavy ukazující stupeň zesílení v závislosti na frekvenčním naladění a bezrozměrném tlumení.



Poměrné dynamické zesílení: síly působící na základ F/F_0 a výchylky při kinematickém buzení základu X/X_B

pro různou velikost tlumení D , fázový úhel mezi budícím a vynuceným účinkem; **účinnost vibroizolace** v závislosti na bezrozměrovém frekvenčním naladění jednohmotové soustavy $\eta = f/f_0$ při ustálených harmonických kmitech

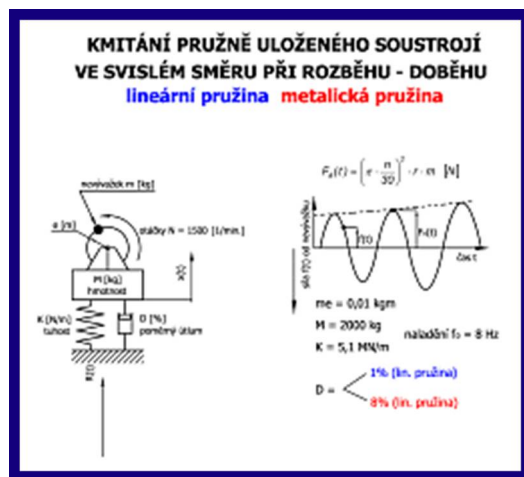
Uvedené grafické závislosti pro ten nejjednodušší kmitavý systém ukazují:

1) Charakter zesílení

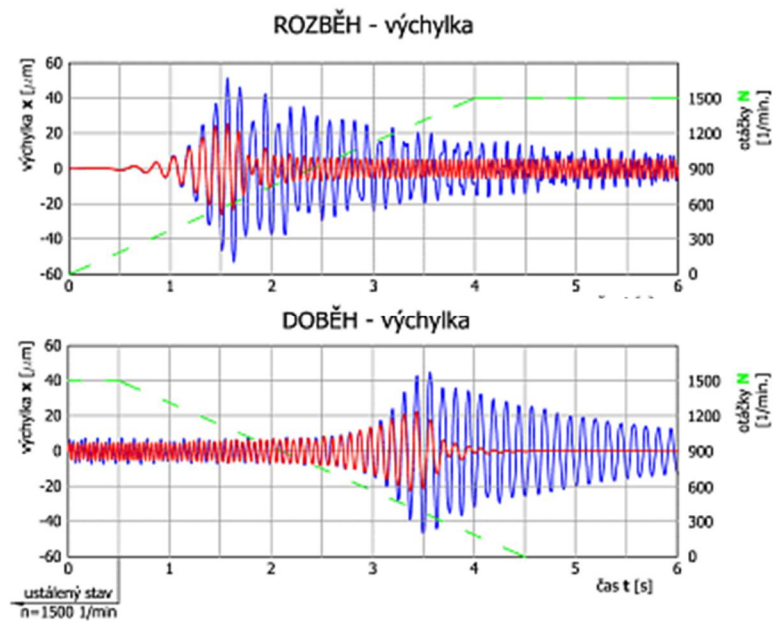
a) účinku síly do základů F/F_B (F_B je síla budící)

b) výchylky kmitající hmoty X/X_B (X_B je budící výchylka – pohyb základu) pro různé frekvenční naladění η (pro nízké tlumení a $\eta=1$ nastává stav rezonance a fázový uhel mezi buzením a odezvou se přiblíží k protifázi – 180°). Čím vyšší je frekvence buzení f oproti frekvenci vlastní f_0 , tím je odezva síly do základu (resp. vynucené výchylky hmoty) nižší (při $\eta = \sqrt{2}$ je síla budící F právě rovna síle do základu F_B , resp. vynucená výchylka X je rovna výchylce budící X_B).

2) Snížení síly F_z (vynucené výchylky **kmitající hmoty X**) v okolí rezonance ($\eta=1$) je možné dosáhnout pouze účinkem tlumení. Proto celá oblast $\eta < \sqrt{2}$ je oblastí pro tlumení, naopak oblast $\eta > \sqrt{2}$ je oblastí pro frekvenční ladění. Účinnost vibroizolace, mající smysl pouze v oblasti $\eta > \sqrt{2}$, je naopak nárůstem tlumení D ovlivňována nepříznivě.



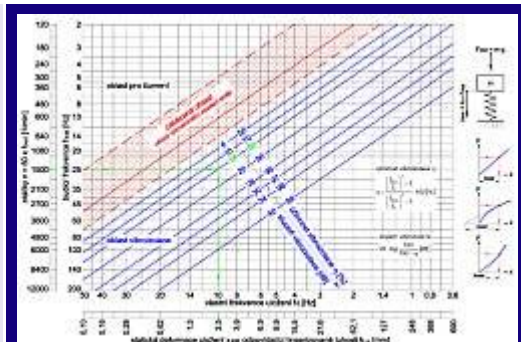
V témže duchu si uvedeme **proces rozkmitání** (rozběhu a doběhu) ve svislém směru **pro případ uložení soustrojí** na lineární pružinu (např. vinutou) a uložení na pružiny metalické.



K tomu přiložíme i grafy pro stanovení **účinnosti vibroizolace** a odezvy pro různý charakter rázu:

Účinnost vibroizolace

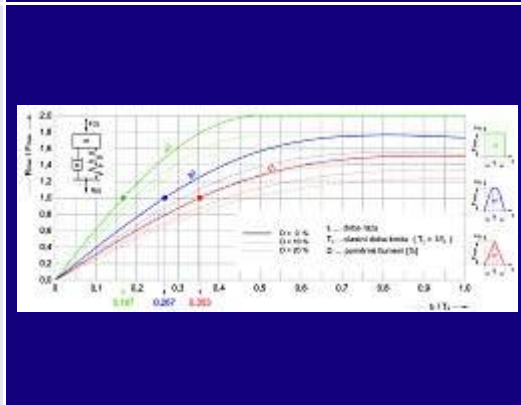
u jednohmotové soustavy **Závislost na budící a vlastní frekvenci** (Příklad: budící otáčky $n = 1500 \text{ 1/min}$, vl. frekvence $f = 10 \text{ Hz}$ účinnost $\eta = 80\%$, pokles o 14 dB, $x_{\text{stat}} = 2,5 \text{ mm}$)



Vibroizolace jednohmotové kmitavé soustavy při rázu, vliv tlumení

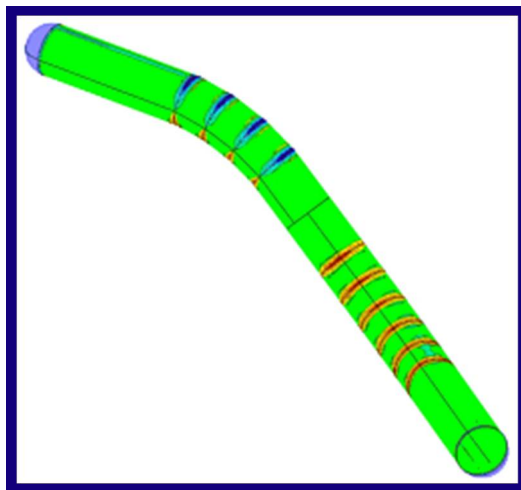
Tři charaktery F(t)

Ke snížení maxima dynamické síly do základu pod úroveň amplitudy působící síly dojde za podmínky, že doba působící síly bude činit méně než 17 % – 35 % vlastní doby kmitu (T_v), tj. účinek bude tak krátkodobý, že nedojde k rozvoji kmitu.



5. Příklady realizace pevnostních výpočtů potrubních komponent pomocí MKP

a) Přivaděč vodní elektrárny v Ugandě



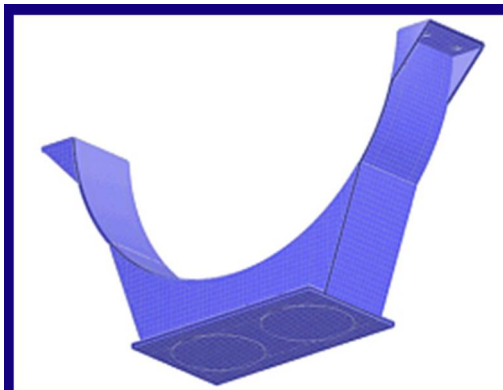
Obrázek znázorňuje pole redukovaných napětí v plášti segmentového prostorového ohybu. Jedná se o část přivaděče vody hydroelektrárny v Ugandě.

Parametry potrubí jsou:

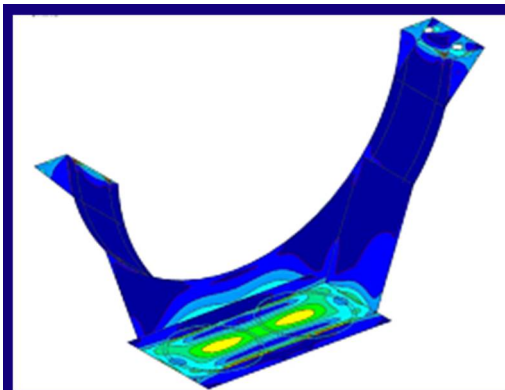
- tl. stěny 10 mm
- DN1500
- přetlak 1,5MPa

Výpočtem bylo zjištěno, že potrubní útvar vyhoví bez dalších opatření požadovanému přetlaku.

b) Pevnostní kontrola potrubního sedla REDYST DN700



počet byl proveden ve fázi konstruování sedla s cílem optimalizovat jeho geometrii pro dosažení max. tuhosti při zachování nízké hmotnosti.



Model

Pole srovnávacích napětí

c) Kontrola pevnosti a stability potrubního pláště DN 1600 v místě uložení

Jedná se o velkodimenzionální potrubí (DN1600) určené pro dopravu beztlaké vody. Cílem výpočtu bylo zkontrolovat, zda při zeslabení tloušťky stěny korozí (na 5 mm) nedojde ke zhroucení pláště v místě podpěry. Výpočet a následně experiment vedl k provedení konstrukčního opatření, kdy plášť potrubí byl vyztužen dvojicí zkružených U profilů.

