

Návrh a pevnostní analýza korečku rýpadla KU300 s podporou CAD a FEM

Entwurf und Festigkeitsanalyse des Eimers des Baggers KU300 mit CAD- und FEM-Unterstützung

Der Beitrag zeigt eine der möglichen Nutzungsarten von modernen Entwicklungsmethoden und Mitteln bei der Projektierung des Eimers für den Bagger der Reihe KU300. Man kann sehen, dass die neuen Verfahren bereits in der Etappe der Projektierung der Konstruktion die schwachen Stellen des Entwurfes entdecken und dieser Entwurf so in weiteren Schritten aus verschiedenen Blickpunkten (z.B. Festigkeit, Deformation, Gewicht, Preis) optimieren können.

Design and Strength Analysis of Bucket for KU300 Excavator with CAD and FEM Support

The article shows one of the possibilities to use up-to-date development methods and means in the construction design of the bucket for the KU300 excavator. We can see that the new methods enable, in the construction design stage, to detect the design weaknesses and to optimize this design in the further steps from various aspects; e.g. strength, deflection, mass, price.

Проект и анализ прочности ковша экскаватора КУ-300 с поддержкой CAD и FEM

Статья знакомит с одним из возможных способов использования современных методов развития и средств проектирования конструкции ковша для экскаватора серии КУ-300. Видимо, что новые методы позволят еще в стадии проектирования конструкции обнаружить слабые места проекта и проект в дальнейших шагах с различных точек зрения оптимизировать, например что касается прочности, деформации, массы, цены.

Návrh a pevnostní analýza korečku rýpadla KU300 s podporou CAD a FEM

Článek ukazuje jeden z možných způsobů využití moderních vývojových metod a prostředků při návrhu konstrukce korečku pro rýpadlo řady KU300. Je vidět, že nové metody umožní již ve stadiu projekce konstrukce odhalit slabá místa návrhu a tento návrh tak v dalších krocích optimalizovat z různých hledisek; např. pevnostního, deformačního, hmotnostního, cenového.

Úvod

Na základě studie rekonstrukce špičky kolesového výložníku rýpadla KU300, kterou Výzkumný ústav pro hnědé uhlí (VÚHU) řešil v roce 2003, a na základě výsledků oponentního jednání z ledna 2004, pracovníci technického odboru VÚHU zpracovali v roce 2004, projekt nové špičky kolesového rýpadla KU300/46. Cíleným záměrem projektu bylo:

- pro možnost selektivní těžby v závalových polích snížit úhel špičky tím, že poslední ozubené kolo bude umístěno mezi těleso kola a ložisko kolesového výložníku
- převodovou skříň dimenzovat na 400 kW
- navržené korečky s hrotovými břity musí být kompatibilní se stávajícími korečky se zuby.

Při práci na projektu byly využity moderní prostředky prostorového 3D modelování (programové vybavení Inventor v.8) a strukturální analýzy (programové vybavení COSMOS/DesignStar v.4.0 a FEAT2000).

V rámci těchto prací byla a v současnosti ještě je prováděna pevnostní analýza navržené konstrukce korečku rýpadla KU 300.46 s využitím osobního počítače.

VÚHU, a.s. , respektive pracoviště jeho technického odboru bylo pro tyto účely vybaveno výpočetním **programovým balíkem COSMOS/M 2.8** firmy Structural Research and Analysis Corporation (SRAC).

Uvedený program pracuje **metodou konečných prvků (FEM)**. Využívá hraniční a polynomické varianty této metody (tzv. H-metoda, P-metoda a jejich kombinace). V rámci **pevnostní analýzy** umožňuje provádět analýzu

- ☐ statickou lineární
- ☐ statickou nelineární
- ☐ dynamickou
- ☐ frekvenční
- ☐ stabilitní

Obecné charakteristiky programu:

Široká škála konečných prvků typu

- prutové
- nosníkové
- deskové
- skořepinové
- objemové

Vytváření sítě konečných prvků

- automatické
- manuální
- parametrické

Součástí programového balíku COSMOS/M jsou programy DesignStar4.0-035/2004 a Geostar. Program DesignStar umožňuje efektivní provádění pevnostní analýzy strojních částí a jejich sestav na 3D modelech převzatých z jiných Cadovských programů - např. IDEAS, Pro Engineer, ACad, EUKLID, CATIA, Mechanical Desktop a Inventor. Právě na spolupráci **DesignStaru a Inventoru** je postavena budoucnost konstrukčních prací v technickém odboru.

Účelem analýzy bylo (v souladu s ČSN 73 0031) ověřit rozměrový a materiálový návrh korečku kola z hlediska únosnosti, použitelnosti (deformací) a dimenzování na dobu života cca 15 let. Analýza únosnosti a použitelnosti byla již provedena a bude o ní více pojednáno dále.

Analýza únosnosti a použitelnosti

Vzhledem k rozsahu článku bude dále uveden stručný výtah z práce "Pevnostní analýza tělesa kola, hřídele kola a korečku KU 300/46", zpráva VÚHU TO-078/2004.

Stručný popis navržené konstrukce kola

Ocelová konstrukce (dále jen OK) korečku sestává ze čtyř částí. Jsou to rám neboli bandáž, dva rohové břity a nádoba s lemem. Bandáž nese rohové břity. Je začepována do obvodu věnce kola rýpadla a pevně spojena s nádobou. Ta se lemem opírá o věnec kola na straně vzdálené od bandáže. Nádoba má tvar tenkostěnné kapsy a je vyrobena z válcovaného plechu a částí trubky. Jde o svařenec z oceli třídy S355 J2 G3 (ocel třídy 11 523.1). Bandáž je tvarově složitým odlitkem z ocelolitin 42 2712.5. Rovněž rohové břity jsou odlity z ocelolitin 422712.5. Všechny části korečku jsou v jeden celek spojeny svařováním.

Nosná konstrukce je zařazena do výrobní skupiny "A" dle ČSN 73 2601-88 „Provádění ocelových konstrukcí“.

Uvádíme několik hlavních parametrů projektu:

• Průměr kola s korečky	D_k	7,5 m
• Počet korečků	Z_k	13
• Počet otáček kola	n_k	$4,78 \text{ min}^{-1}$ (50120%)
• Objem výsypu	V_f	410 dm^3
• Teoretická výkonnost nakypřené horniny	Q_{th}	$1525 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$
• Výkon motorů kola	P_{ck}	365 kW
• Jmenovitá obvodová síla na kolese	F_{jm}	170 kN
• Maximální obvodová síla na kolese	F_{max}	320 kN
• Přetížitelnost		1,88 MJ
• Čelní úhel kola		70°
• Materiál korečku		ocel 42 2712.5 a 11 523.1
• Materiál unašeče		ocel 42 2709.6
• Materiál hřídele		ocel 16 431.6
• Materiál kola		ocel 11 523

Postup výpočtu

- vytvoření geometrického modelu konstrukce
- stanovení uložení ocelové konstrukce
- stanovení jednotlivých zatěžovacích stavů OK a jejich kombinací
- výpočet vnitřních sil podle teorie 1. řádu (lineární statika)
- kontrola únosnosti a použitelnosti OK

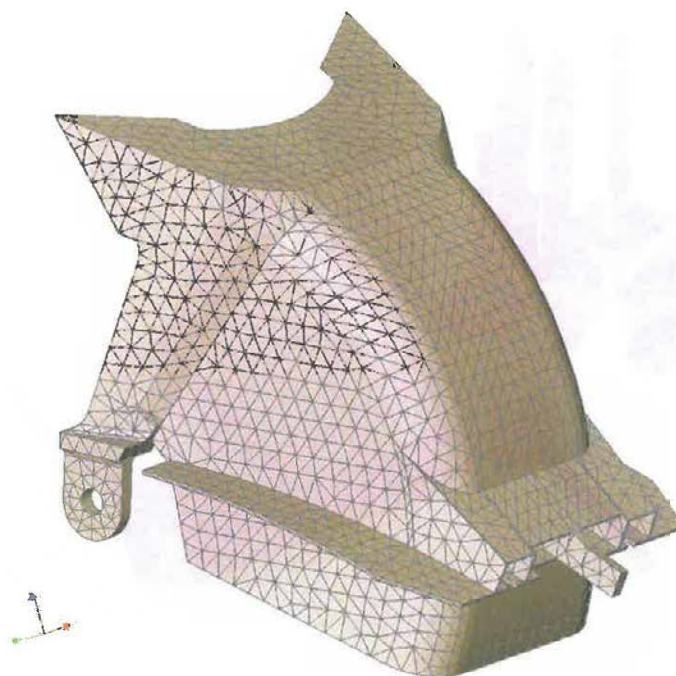
Rozměry a tvar prostorového výpočetního modelu byly převzaty z modelu vytvořeného v programu Inventor v. 8. Na modelu byla vytvořena síť konečných objemových prvků typu TETRA 10.

Začepování korečku do věnce kola je modelováno kloubovým uložením otvorů pro čepy. Zadní partie korečku je podepřena ve směru radiálním k věnci kola. Ve směru tečném k věnci kola je uložení kluzné. Zaklínování zadní partie korečku je simulováno silou 10000 N, působící na příslušnou plochu korečku ve směru radiálním věnce kola.

Koreček je v poloze čelního úhlu kola, tj. spojnice čepu korečku se středem otáčení kola svírá se svislicí úhel 70° .

Model viz následující obrázky.

Model viz následující obrázky.



Údaje o modelu korečku:

Počet uzlů		45089
Počet prvků		23372
Hmotnost korečku		402 kg
Doba výpočtu		11 min na PC-MSWidowsXP, 392MB RAM,
PII266MHz		

Zatížení ocelové konstrukce korečku

Vlastní tíha korečku

Zatížení generuje program automaticky $\approx 3,97 \text{ kN}$

Při zahrnutí dynamického účinku $\delta = \pm 0,1G$ je $\gamma_{FG} = 1,1^2 = 1,21$

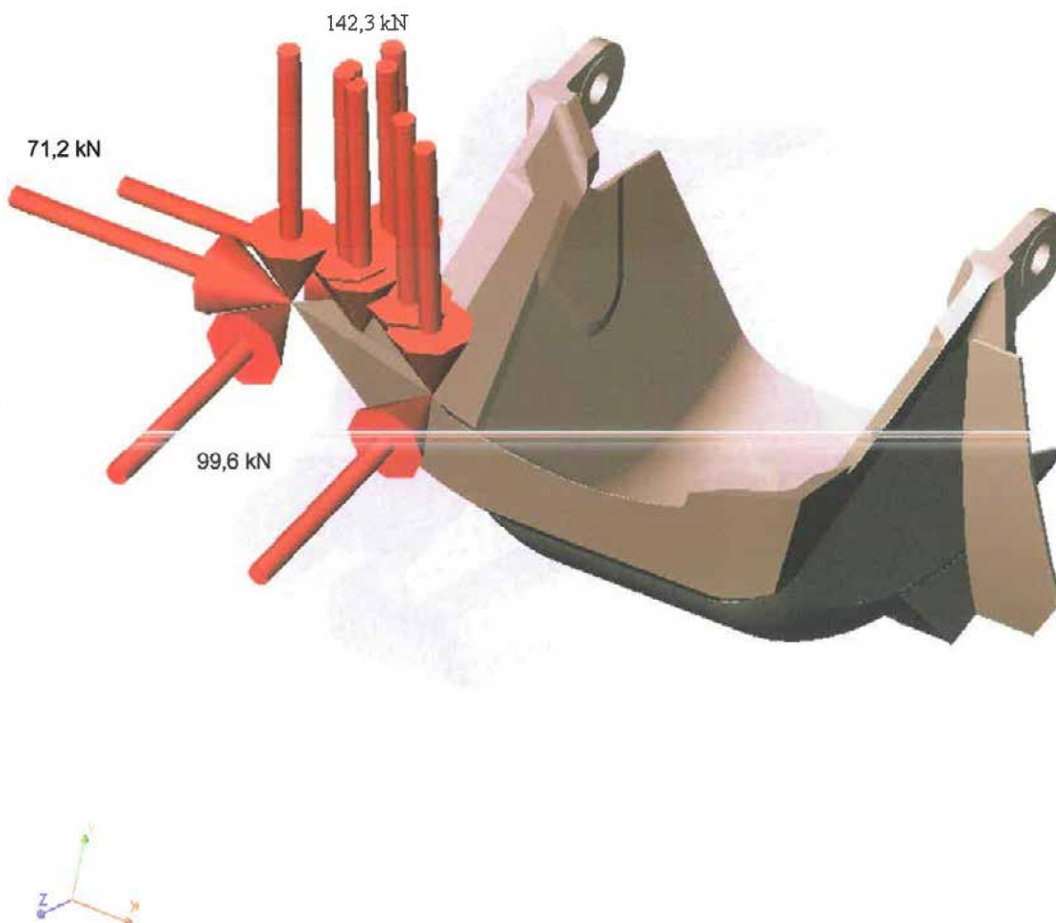
Obvodová rozpojovací síla

Součinitel spolehlivosti zatížení $\gamma_{FR} = 1,65$. Koreček přenáší 73% celkového zatížení.

Jmenovitá hodnota rozpojovací síly je stanovena z výkonu pohonu kola 365kW. Břit korečku je zatížen obvodovou rozpojovací silou 142,3 kN. Síla působí na poloměru $R = 3750 \text{ mm}$.

Na hranu břitu délky 322 mm působí 90 % síly, tj. 128,1 kN, na pokračující hranu nádoby délky 156 mm působí 10 % síly, tj. 14,2 kN.

Rozložení síly ve výpočtovém modelu je patrné z následujícího obrázku.



Obdobné je rozložení na levý břit.

Boční rozpojovací síla působící zprava

Hodnota boční složky rozpojovací síly volena dle čl. 55 normy ČSN 27 7008 ve velikosti 50 % obvodové rozpojovací síly, tj.

$$F_{\text{boční}} = 71,2 \text{ kN}$$

Na příslušnou hranu délky 322 mm levého břitu působí 80 % síly, tj. 57 kN, na pokračující hranu nádoby délky 148 mm působí 20 % síly, tj. 14,2 kN.

Součinitel spolehlivosti zatížení... $\gamma_{fR} = 1,65$

Boční rozpojovací síla působící zleva

Platí stejné zásady jako pro boční rozpojovací sílu působící zprava.

Radiální rozpojovací síla

Hodnota radiální složky rozpojovací síly volena dle normy ČSN 27 7008 ve velikosti 70 % obvodové rozpojovací síly, tj.

$$F_{\text{radiální}} = 99,6 \text{ kN}$$

Síla působí na hranu příslušného břitu (levého při působení sil zleva a pravého při působení sil zprava) ve směru radiálním k věnci kola.

Rozložení síly ve výpočtovém modelu je patrné z obrázku.

Kontrola únosnosti

Při kontrole únosnosti se ověřuje splnění podmínek prosté pevnosti a stability tvaru v oblasti pružného působení v souladu s ČSN 73 1401-98 „Navrhování ocelových konstrukcí“.

Program DesignStar umožňuje získat hodnoty efektivního napětí v modelové konstrukci dle teorie HMM (von Mises). Proto jsou podmínky pevnosti dle ČSN 73 1401-98 aplikovány způsobem dále uvedeným. To umožní přímé vyhodnocení výsledků FEM analýzy přímo v programu DesignStar.

Pro nádobu korečku platí podmínka

$$\sigma_{ef} \leq f_y / \gamma_{M0} = 295 \text{ MPa}$$

a současně

$$\sigma_{ef} \leq f_u / 1.6 / \gamma_{M0} = 276 \text{ MPa} = \sigma_{\text{Lim}}$$

$$\sigma_{ef} = \sqrt{(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \cdot \sigma_y + 3\tau^2)}$$

kde

σ_x, σ_y normálové napětí ve stěně kola

τ smykové napětí ve stěně kola

Pro bandáž korečku platí podmínka

$$\sigma_{ef} \leq f_y / \gamma_{M0} = 233 \text{ MPa} = \sigma_{\text{Lim}}$$

a současně

$$\sigma_{ef} \leq f_u / 1.6 / \gamma_{M0} = 260 \text{ MPa}$$

Pro tupé svary platí podmínka (po zjednodušení pro potřeby FEM analýzy a statický výpočet)

$$\sigma_{ef} \leq \gamma_r \cdot f_y / \gamma_{M0} = 215 \div 308 \text{ MPa}$$

a současně

$$\sigma_{ef} \leq \gamma_r \cdot f_u / 1.6 / \gamma_{M0} = 193 \div 276 \text{ MPa}$$

kde

$$\sigma_{ef} = \sqrt{(\sigma_{\perp}^2 + \sigma_{\parallel}^2 - \sigma_{\perp} \cdot \sigma_{\parallel} + 3\tau^2)}$$

a $\gamma_r = 0,7 \div 1$ dle požadavku na kvalitu provedení svaru.:

$\gamma_r = 1,00$ pro svary klasif. stupně 1 a 2 dle ČSN 05 1305

$$\sigma_{ef} \leq 276 \text{ MPa}$$

$\gamma_r = 0,85$ pro svary s plným průvarem, nekontrolované

$$\sigma_{ef} \leq 234 \text{ MPa}$$

$\gamma_r = 0,70$ pro svary tupé jednostranné bez kontroly

$$\sigma_{ef} \leq 193 \text{ MPa}$$

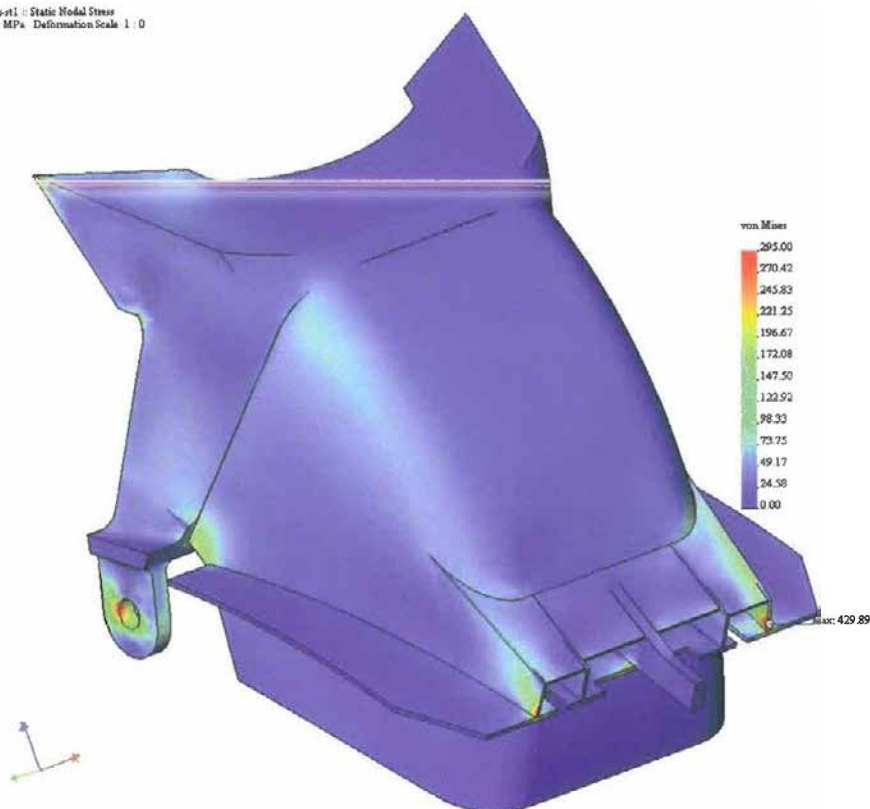
Program hodnotí výsledky výpočtu s využitím výše uvedených podmínek způsobem Design Check, jehož výsledky jsou dále pod označením FOS rovněž uvedeny.

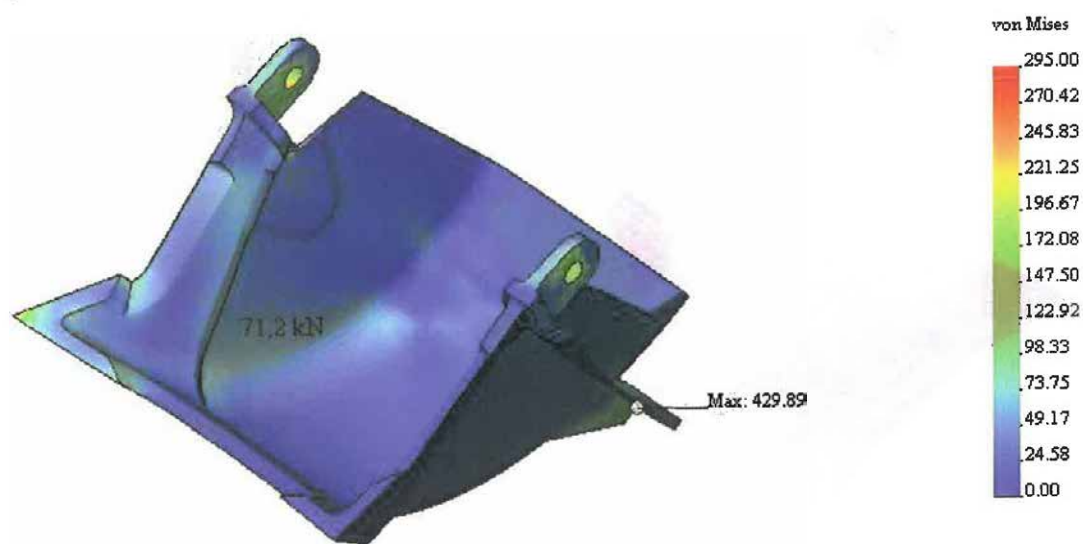
$$\text{Design Check} = \sigma_{\text{Lim}} / \sigma_{ef}$$

Výsledky výpočtu jsou graficky znázorněny formou izoploch napětí a deformace.

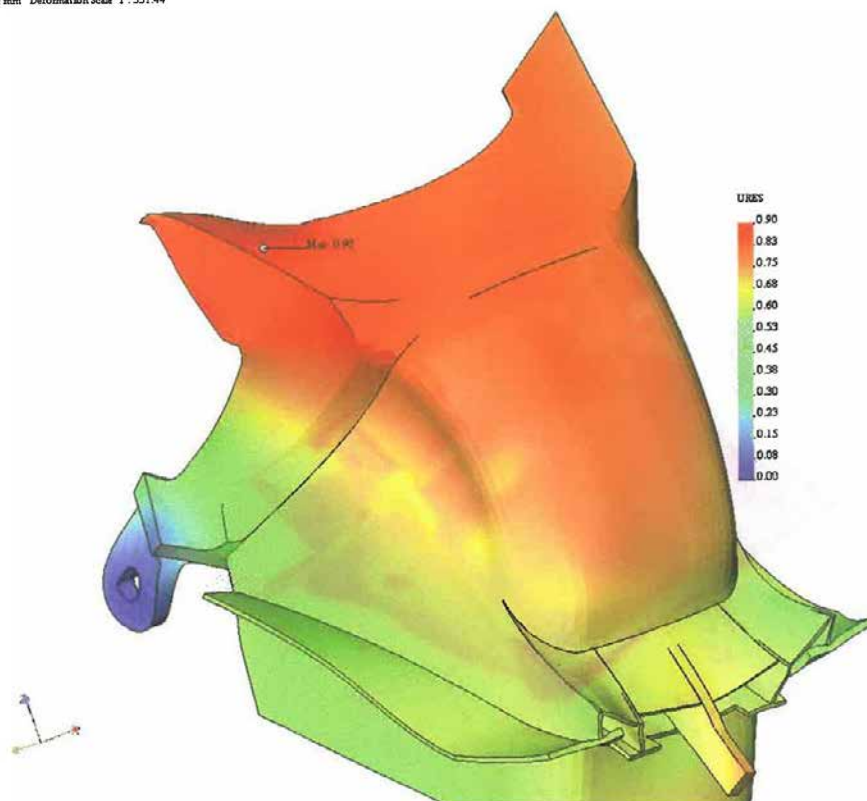
Z nich vyplývá, že konstrukce korečku je nejvíce namáhána při působení rypných sil zprava.

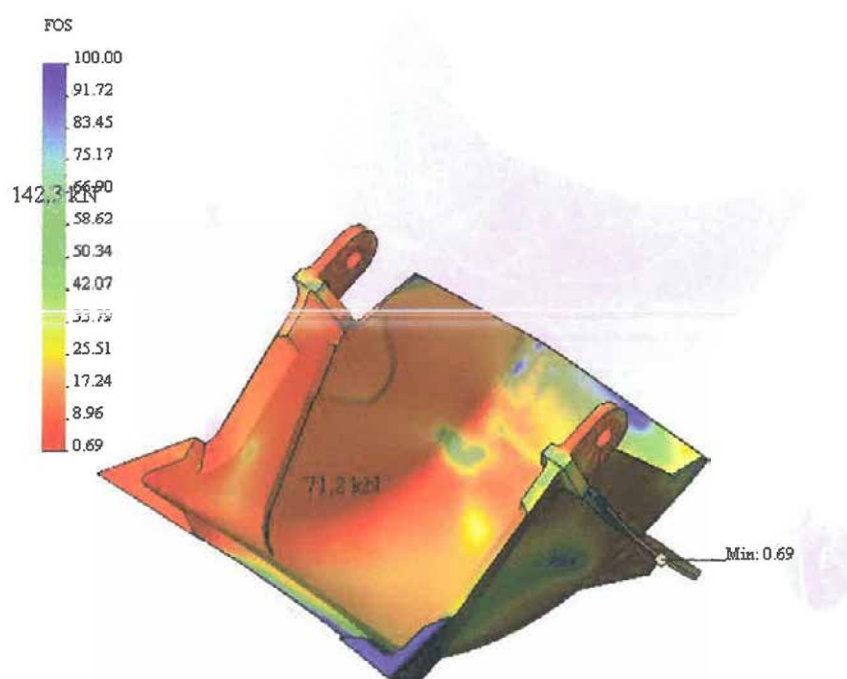
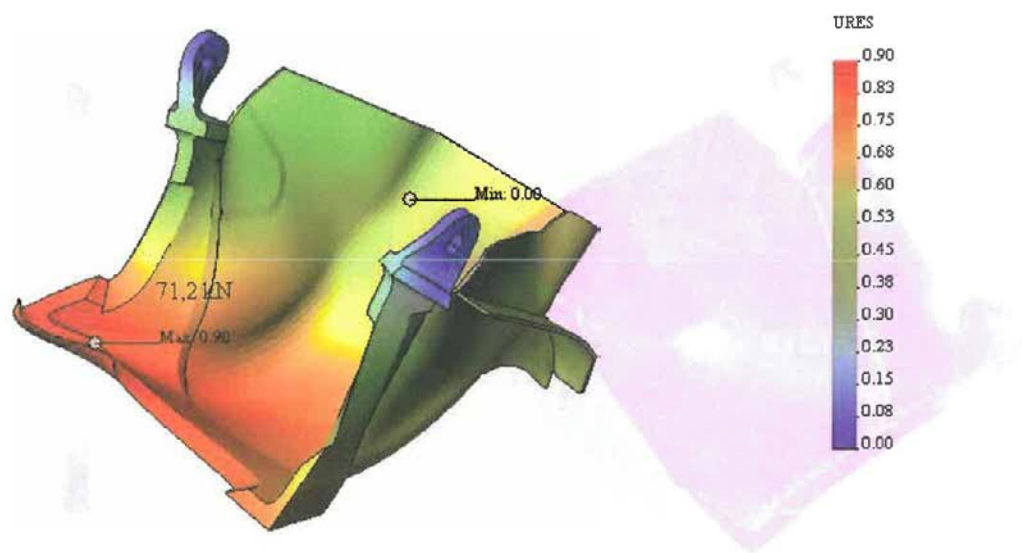
KOR-u-v11 - Static Nodal Stress
Units : MPa Deformation Scale : 1 : 0





KOR-s-11 :: Static Displacement
Units : mm Deformation Scale 1 : 351.44





Pro jednotlivé části konstrukce korečku lze konstatovat:

Bandáž

Kromě dále uvedených míst srovnávací napětí σ_{ef} [MPa] nepřekročí hodnotu 221 MPa. Oblasti zbarvené červeně vykazují lokální napětí kolem 429 MPa. Kritické oblasti jsou kolem otvoru pro začepování korečku do věnce kola. Toto v podstatě kontaktní namáhání je v reálné konstrukci zmenšeno konstrukční úpravou – zesílením tloušťky stykové plochy. V případě špiček břitů se jedná o kontaktní napětí úrovně 429 MPa, které nepřekračuje dovolenou hodnotu 1100 MPa.

Nádoba s lemem

Kromě dále uvedených míst srovnávací napětí σ_{ef} [MPa] nepřekročí hodnotu 221 MPa. Oblasti zbarvené červeně vykazují lokální napětí kolem 429 MPa. Kritickou oblastí je svarové spojení zadních výztužných žeber s lemem.

Je zřejmé, že uvedená kritická místa jsou potenciální oblastí vzniku poškození konstrukce korečku.

Koreček z hlediska únosnosti vyhovuje

Maximální deformace korečku činí 1 mm.

Koreček vyhovuje z hlediska deformace.

Koreček vyhovuje za podmínky, že spojovací tupé svary budou provedeny s plným průvarem a omezovač obvodové rypné síly na kolese bude nastaven na maximální hodnotu 320 kN.

Závěr

Cílem článku je ukázat využívání nových technologií ve VÚHU, a.s. a prezentovat jeden z možných přístupů k projektování a analýze strojních částí (celků) a k řešení technických problémů na lomových lokalitách Severních Čech. Uvedená metoda konečných prvků má svá úskalí (volba sítě prvků, volba samotných prvků, volba detailnosti modelu z hlediska požadovaných výsledků a jejich přesnosti, vhodná interpretace výsledků), ale i přednosti - zlepšená představa konstruktéra o skutečném namáhání části nebo celého strojního celku.

Použitá dokumentace

- ČSN 27 7008-89 „Navrhování ocelových konstrukcí rýpadel a zakladačů“
- ČSN 73 1401-98 „Navrhování ocelových konstrukcí“
- [1] SR&AC manuál programu COSMOS/M
- Výkresová dokumentace ke hřídeli a kolesu :
Výkres č. 0-TO-0135 "Sestava špičky rýpadla KU 300"
- 3D model kola s korečkou a hřídélí
- Statický výpočet kola rýpadla KU 800/K75 – interní práce VÚHU a zak. č.175/2002

Zdroje uvedeného příspěvku:

Autoři při tvorbě příspěvku vycházeli z výše citovaných norem a z prací technického odboru VÚHU, a.s., v období let 2000 až 2004, zejména pak ze zpráv VÚHU TO-047/2002 a TO-078/2004.