

## OPTIMALIZACE KONSTRUKCE HŘÍDELE S FILTRAČNÍMI DISKY NA ZÁKLADĚ MKP

Ing. Lukáš Zeizinger, Ph.D.<sup>1</sup>, Ing. Přemysl Pokorný, Ph.D.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>FSI VUT v Brně, lukas.zeizinger@vutbr.cz

<sup>2</sup>FSI VUT v Brně, pokorny.p@fme.vutbr.cz

### *Design Optimization of a Shaft with Filter Discs Based on Finite Element Analysis*

**Abstract:** *This paper focuses on the creation of a computational model of a shaft with 6–24 filtration discs based on a provided 3D CAD model and its subsequent structural analysis using the MSC Marc finite element software. Two critical areas with elevated stress levels were identified. Two optimization variants were proposed and evaluated with the aim of reducing maximum stress and extending the service life of the structure. The second variant proved to be both structurally feasible and significantly improved the mechanical performance of the assembly.*

**Key words:** *finite element analysis, MSC Marc, shaft design, structural optimization, AISI 316, stress analysis*

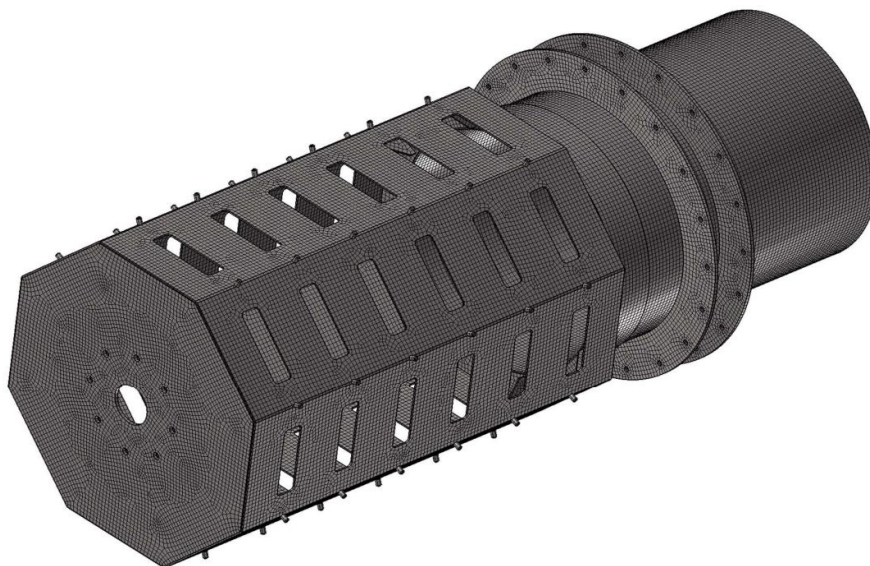
**ÚVOD** (název kapitoly velkými písmenami, dve medzery pred názvom, veľkosť 12pt, bold)

V oblasti návrhu rotačních součástí, jako jsou hřídele, je správná analýza napěťových stavů klíčová pro zajištění jejich spolehlivosti a dlouhodobé provozuschopnosti. Zejména při aplikacích, kde hřídel slouží jako nosný prvek pro více filtračních disků, dochází ke kombinaci složitých zatěžovacích stavů, jejichž vliv je nutné zohlednit již ve fázi konstrukčního návrhu. Tento článek se zabývá tvorbou a vyhodnocením výpočtového modelu hřídele s 6 až 24 filtračními disky. Výpočty byly provedeny metodou konečných prvků (MKP) ve výpočetním softwaru MSC Marc [1][2]. Na základě numerických simulací byla identifikována dvě kritická místa se zvýšeným napětím. Následně byly navrženy a vyhodnoceny dvě optimalizační varianty s cílem snížit lokální přetížení a prodloužit životnost komponenty. Studie ukazuje, jak může vhodná úprava geometrie a typu uložení významně zlepšit mechanické chování celku bez výrazného navýšení výrobních nákladů.

### **METODIKA**

Výpočtový model hřídele byl vytvořen na základě dodaného modelu. Z modelu byly odstraněny technologické prvky bez nosné funkce a jejich vliv byl nahrazen pomocí hmotových bodů, které reprezentovaly hmotnost filtračních disků. Takto zjednodušený model umožnil efektivní výpočet při zachování mechanické relevance [3]. Pro strukturální analýzu byl využit MKP software MSC Marc.

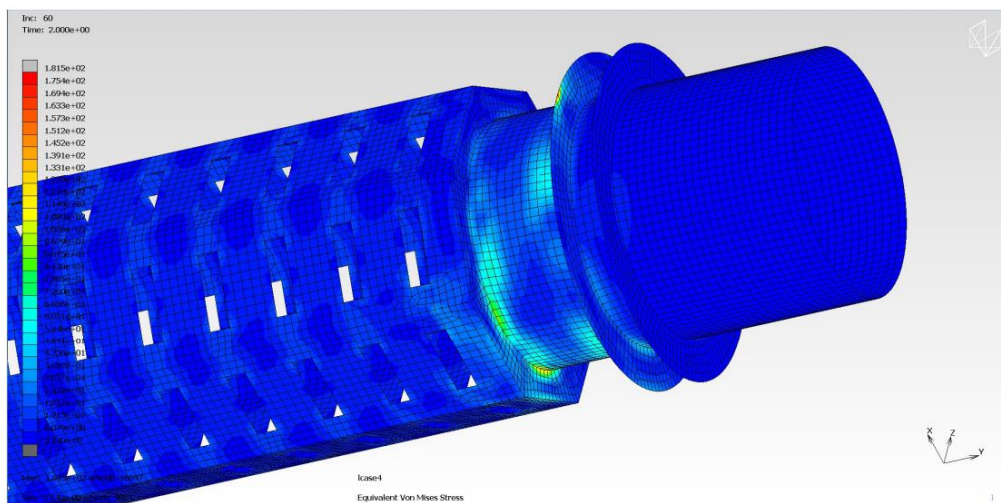
Materiálom hřídele byla nerezová ocel AISI 316 (1.4401), modelovaná jako izotropní s modulem pružnosti 210 GPa, Poissonovým číslem 0,3 a hustotou  $7\,830\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ . Výpočetní síť byla tvořena čtyřstěnnými prvky typu TET4, přičemž v oblastech s očekávanou koncentrací napětí – zejména u přechodu výtoku a u čela hřídele – byla síť cíleně zahuštěna, jak je možné vidět na obr.1. Okrajové podmínky zahrnovaly kluzné uložení s omezením v axiálním směru a zatížení gravitační silou a hmotností disků. Šroubové spoje byly modelovány jako kontaktní vazby s definovaným předpětím [4].



**Obr. 1** Základní model hřídele s 6 filtračními diský. ISO pohled.

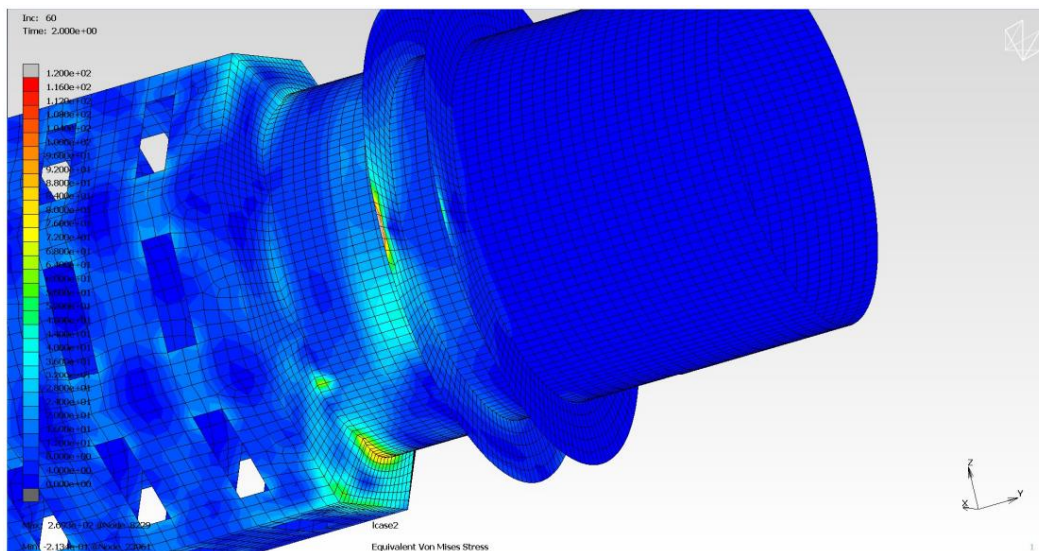
## VÝSLEDKY

Na základě numerické simulace byly u původní konstrukce hřídele identifikovány dvě kritické oblasti s koncentrací napětí. První z nich je čelo hřídele, kde dochází ke spojení s ložiskovým domkem pomocí šroubového spoje. V této oblasti bylo zaznamenáno maximální napětí přibližně 100 MPa, což odpovídá mezním hodnotám pro daný materiál při ideálních montážních podmínkách. Druhým kritickým místem byla oblast výtoku, kde simulace ukázala maximální napětí až 182 MPa, viz obr.2.

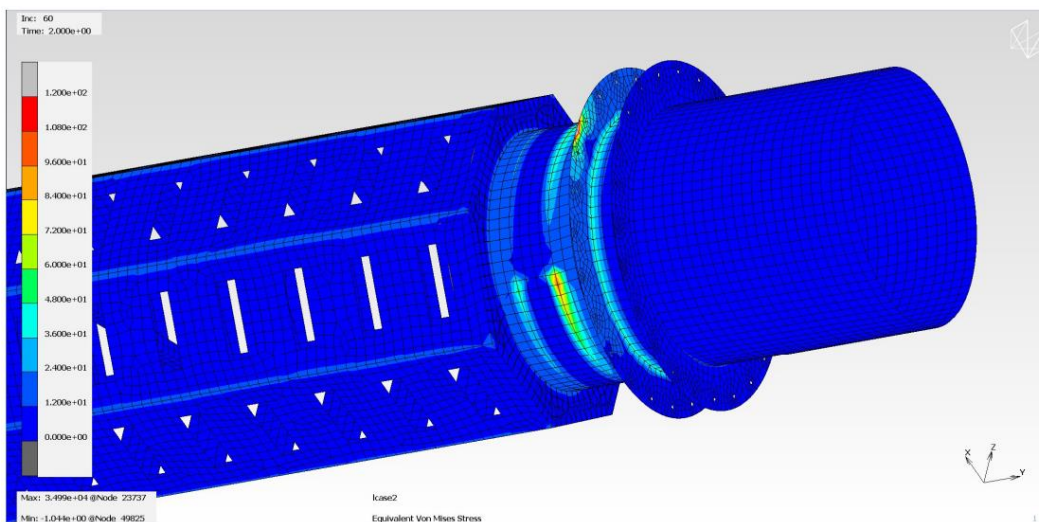


**Obr. 2** Základní model hřídele s 12 filtračními diský. ISO pohled. Napětí Von Misses, max 182 MPa.

Na základe výsledkov byly navrženy dvě konstrukční úpravy. První varianta využívá 8hranný kužel v oblasti výtoku, čímž došlo ke snížení napětí na 120 MPa, jak je možné vidět na obr.3. Druhá varianta zachovává kolmé čelo, ale zavádí zdvojené napojení mezi tělem hřídele a výtokem, čímž se podařilo napětí snížit na 135 MPa, viz obr.4.



**Obr. 3** První upravený model hřídele s 6 filtračními disky. ISO pohled. Napětí Von Misses, max 120 MPa.



**Obr. 4** Druhý upravený model hřídele s 24 filtračními disky. ISO pohled. Napětí Von Misses, max 135 MPa.

## DISKUZE

Analýza původního konstrukčního řešení potvrdila, že kritickými oblastmi hřídele jsou čelo v místě šroubového spojení a oblast výtoku. Napětí v čele dosahovalo hodnoty kolem 100 MPa, což je z hlediska použitého materiálu přijatelná hodnota – ovšem pouze za předpokladu dokonalé sousosti mezi hřídelí a ložiskem. I drobné vyosení, způsobené například výrobní odchylkou či montážní nepřesností, však může vést ke skokovému nárůstu napětí a riziku lokálního porušení. Z

tohoto dôvodu bylo navrženo jako kompenzační opatření použití naklápacího ložiskového domku, který umožňuje absorbovat malé odchylky v sousostí a tím výrazně zvyšuje provozní spolehlivost.

V oblasti výtoku bylo v původní variantě detekováno napětí až 182 MPa, což je z hlediska únavového zatížení na hranici přípustnosti. První optimalizační varianta (8hranný kužel) sice snížila napětí na velmi příznivých 120 MPa, ale byla vyhodnocena jako technologicky náročná a ekonomicky nevhodná. Druhá varianta, která využívá zesílený přechod mezi tělem hřídele a výtokem, přinesla uspokojivé snížení napětí na 135 MPa a současně byla zachována její jednoduchá výrobní realizace. Tato hodnota se nachází v doporučeném rozsahu provozního napětí pro daný typ oceli (130–150 MPa), což zajišťuje dostatečnou bezpečnost i životnost při dlouhodobém provozu.

Výsledky tak potvrzují, že kombinací vhodných konstrukčních úprav a zohledněním montážních tolerancí lze výrazně zlepšit mechanické chování komponenty bez nutnosti změny materiálu či výrazného zvýšení výrobních nákladů.

## ZÁVĚR

Numerická analýza hřídele s filtračními disky odhalila dvě konstrukčně kritická místa se zvýšeným napětím – čelo hřídele v místě šroubového spojení a oblast výtoku. V obou případech byla překročena doporučená provozní napětí nebo byly zjištěny podmínky, které by při dlouhodobém zatížení mohly vést k selhání komponenty.

Navržená konstrukční opatření, zejména použití naklápacího ložiskového domku a optimalizace přechodu výtoku pomocí zesílení, vedla ke zdatnému snížení maximálního napětí a zlepšení celkové spolehlivosti. Ze dvou testovaných variant byla zvolena druhá varianta, která při minimálních nárocích na výrobu snížila napětí na 135 MPa a byla tím pádem vyhodnocena jako optimální. Studie potvrdila, že vhodným návrhem geometrie a uložení lze výrazně prodloužit životnost mechanických komponent bez potřeby změny materiálu či zásahu do základní funkce sestavy.

## LITERATÚRA

- [1] NORATO, Julian A.; BENDSØE, Martin P.; HABER, Robert B. a TORTORELLI, Daniel A. A topological derivative method for topology optimization. *Structural and Multidisciplinary Optimization*. 2007, roč. 33, č. 4-5, s. 375-386. ISSN 1615-147X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s00158-007-0094-6>.
- [2] JÜRGEN, Branke. *Multiobjective Optimization: Interactive and Evolutionary Approaches*. Boston: Springer, 2008. ISBN 978-3540889076.
- [3] ABD ELREHIM, Mostafa Z.; EID, Mohamed A. a SAYED, Mostafa G. Structural optimization of concrete arch bridges using Genetic Algorithms. *Ain Shams Engineering Journal*. 2019. ISSN 20904479. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.asej.2019.01.005>.
- [4] BEKDAŞ, Gebrail; NIGDELI, Sinan Melih; KAYABEKIR, Aylin Ece a YANG, Xin-She. Optimization in Civil Engineering and Metaheuristic Algorithms: A Review of State-of-the-Art

Developments. *Computational Intelligence, Optimization and Inverse Problems with Applications in Engineering*. 2019, s. 111-137. ISBN 978-3-319-96432-4. Dostupné z: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-96433-1\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-319-96433-1_6).

**Pod'akovanie**

Práce autorů vznikla za podpory projektu specifického výzkumu VUT FSI-S-23-8235.