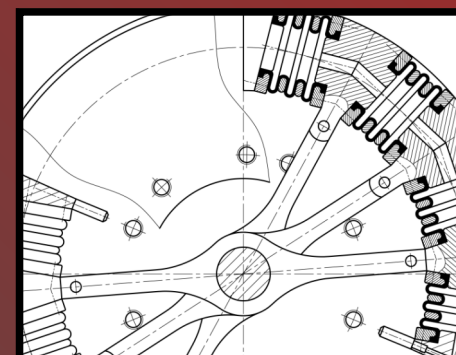
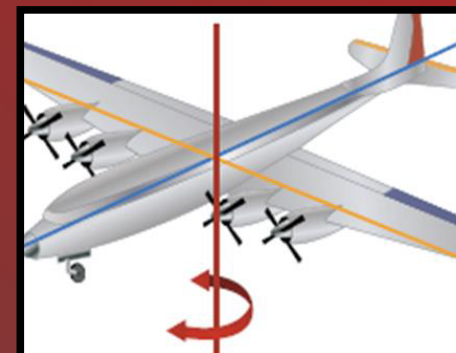
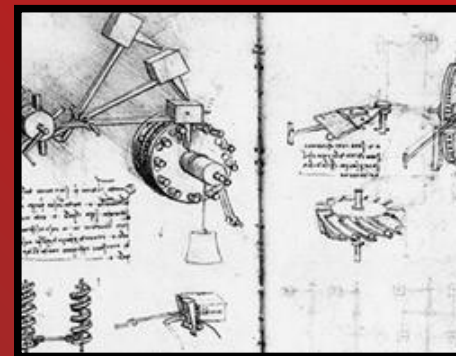


ISSN 1337-8996

DOI: <https://doi.org/10.26552/tech.J.2022.4>



ŽILINSKÁ UNIVERZITA V ŽILINE
Strojnícka
fakulta

TECHNOLÓG



Ročník 14
december 2022

4/2022

TECHNOLÓG

Vychádza spravidla dvakrát ročne. Publikuje vedecké, výskumné, odborné, teoretické práce, návody, štúdie, recenzie, informácie o spracovaní technických materiálov. Zameriava sa na uverejňovanie príspevkov aprác venujúcich sa otázkam z oblasti trieskových a beztrieskových technológií, fyzikálnych princípov nekonvenčných technológií, technologickosti konštrukcií nástrojov, ekonomike výrobného procesu, ekologizácii, spracovaniu odpadov. Takisto publikuje práce o strojoch, nástrojoch, prípravkoch a meracej technike pre oblasť mechanických technológií, výsledkoch výskumu vo sfére informačných technológií v technologickej oblasti. Uverejňuje práce o histórii a vývine mechanických technológií.

Časopis zverejňuje príspevky v jazykoch: slovenskom, českom, poľskom, ruskom, anglickom a nemeckom.

Všetky príspevky sú recenzované dvoma nezávislými recenzentmi a redakcia si vyhradzuje právo na ich redakčnú úpravu. Nepreberá sa zodpovednosť za prípadné škody spôsobené použitím úkonov, metód, produktov, ideí, návodov a pod. publikovaných autormi príspevkov.

Evidenčné číslo MK SR-2800/08, EV 10/22/EPP
ISSN 1337-8996, Online ISSN 2730-0501
Adresa redakcie:
Žilinská univerzita v Žiline, Strojnícka fakulta, Univerzitná 1, 010 26 Žilina
Telefón: 041-513 2764
e-mail: jan.moravec@fstroj.uniza.sk
Vydáva Žilinská univerzita v Žiline v EDIS-vydavateľ stve UNIZA
Univerzitná HB, 010 26 Žilina, IČO 00 397 563

šéfredaktor - editor in chief:	doc. Ing. Ján MORAVEC, PhD.
výkonný redaktor - executive editor:	doc. Ing. Ján Dižo, PhD.
redaktor - redactor:	Ing. Elena Kantoríková, PhD.
vedecký redaktor - scientific editor:	prof. Ing. Jozef PILC, CSc.

redakčná rada - editorial board:	doc. Ing. Ján MORAVEC, PhD.	(SK)
prof. Ing. Ivo SCHINDLER, CSc.	prof. Ing. Jozef PILC, CSc.	(SK)
prof. Ing. Pavol ŠVEC, CSc.	Dr.h.c. prof. Ing. Karol VASILKO, DrSc.	(SK)
doc. Ing. Petr KAWULOK, PhD.	prof. Ing. Eva TILLOVÁ, PhD.	(SK)
doc. Ing. Alexander SCHREK, PhD.	prof. Ing. Peter DEMEČ, CSc.	(SK)
doc. Ing. Jozef BÍLIK, PhD.	prof. Ing. Jan SUCHÁNEK, CSc.	(CZ)
doc. Dr. - Inž. Janusz MUSIAL	prof. Dr. Ing. Milan SÁGA	(SK)
Dipl. Ing. Eva REGER	prof. Ing. Oleksandr KRAVCHENKO, Dr.Tech.Sc.	(UA)
doc. Ing. Ľudmila DULEBOVÁ, PhD.	prof. Dr. Ing. Miroslav NESLUŠAN	(SK)
prof. Ing. Georgi KODZHASPIROV, DrSc.	prof. Ing. Danka BOLIBRUCHOVÁ, PhD.	(SK)
doc. Ing. Ján DIŽO, PhD.	prof. Ing. Emil EVIN, CSc.	(SK)
doc. Mgr. Branislav FTOREK, PhD.	prof. Ing. Alžbeta SAPIETOVÁ, PhD.	(SK)

Magazin TECHNOLOG

Publiziert werden wissenschaftliche, fachliche und Forschungsbeiträge, theoretische Abhandlungen, Anleitungen, Studien, Rezensionen, Informationen über die Bearbeitung der technischen Materialien. Der Fokus liegt auf Beiträgen und Arbeiten, die sich mit den Fragen aus dem Gebiet der Span- und Spanlosen Technologien, der physikalischen Prinzipien der unkonventionellen Technologien, der technologischen Konstruktion der Werkzeuge, der wirtschaftlichen Seite des Herstellungsprozesses, der Ökologie, so wie der Abfallverwertung befassen. Genauso werden Beiträge über Maschinen, Werkzeuge, Vorrichtungen und Messtechnik für den Bereich der mechanischen Technologien, Untersuchungsergebnisse über die Informationstechnologie im technologischen Bereich publiziert. Des weiterem werden Beiträge über die Geschichte und die Entwicklung der mechanischen Technologie veröffentlicht. Das Magazin TECHNOLOG publiziert Beiträge in folgenden Sprachen: Slowakisch, Tschechisch, Polnisch, Russisch, Englisch und Deutsch.

Alle Beiträge sind rezensiert und die Redaktion behält sich den Anspruch auf ihre Bearbeitung durch sie vor. Die Redaktion übernimmt keine Verantwortung für mögliche Schäden, die durch die Anwendung der Tätigkeiten, Methoden, Produkte, Ideen, Anleitungen etc. publiziert durch die Autoren der Beiträge verursacht werden.

Evidenznummer MK SR-2800/08.
ISSN 1337-8996
Adresse der Redaktion: Universität Žilina, Fakultät Maschinenbau, Univerzitná 1, 01026 Žilina
Telefon: +421 (0) 41-513 2764, 513 2814,
Fax: +421 (0) 41-513 1535
Email: jan.moravec@fstroj.uniza.sk

Журнал ТЕХНОЛОГ

Печатает научные, исследовательские, профессиональные, теоретичесриботы, инструкции, аналитические обзоры, рецензии, информации о переработке технических материалов. Направлен на печатаниеработ посвященных вопросам в области технологий обработки со стружкой и без,физикальных принципов нестандартных технологий, технологичности конструкции инструментов, экономики производственного процесса, экологизации, переработке отходов. Также публикует работы о машинах, инструментах, препаратах и измерительной технике для области механических технологий, езультат ах научных исследований в сфере информационных технологий в технологической области. Публикует статьи по истории и эволюции механических технологий. Хурнал публикует статьи на языках: словацком, чешском, польском, русском, английском и немецком.

Все статьи рецензируются и редакция оставляет за собой право их редакционного корректирования. Редакция не несет никакой ответственности за возможные повреждения вызванные использованием операций, методов, продуктов, идей, инструкций и т.д. в опубликованных авторами статьях.

Регистрационный номер MK SR 2800 - /08.
ISSN 1337 – 8996
Адрес редакции: Жилінська універзита, strojнічка fakulta, Univerzitná 1, 01026 Žilina
Telefón: 041-513 2764, 513 2814
Fax: 041-513 1535
e-mail: jan.moravec@fstroj.uniza.sk

OBSAH

ZOZNAM RECENZENTOV	4
EDITORÁL	5
LEONARDO DA VINCI	6
KONŠTRUKČNÝ NÁVRH RÁMU JEDNONÁPRAVOVÉHO PRÍVESU <i>Ján Dižo, Miroslav Blatnický, Vadym Ishchuk, Denis Molnár, Jakub Kurtulík</i>	10
HLBOKÉ ŤAHANIE HRUBŠÍCH PLECHOV <i>Borislav Melo</i>	14
РАСЧЕТЫ, НЕОБХОДИМЫЕ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВКИ И СОЗДАНИЯ РЕАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ПАРОВОЗА <i>Вадим Васильевич Ищук, Ян Диžo, Мирослав Блатницкий, Денис Молнар, Себастьян Солчанский</i>	18
ZLEPŠOVANIE PROCESOV POMOCOU DMAIC <i>Beáta Furmannová, Gabriela Gabajová, Marián Matys</i>	22
КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ГОРНЫХ ВЕЛОСИПЕДОВ, ЧАСТЬ 1. <i>Ян Диžo, Мирослав Блатницкий, Вадим Васильевич Ищук, Денис Молнар, Себастьян Солчанский, Борис Плайдичко</i>	26
ANALÝZA POTENCIÁLU VYUŽITIA TEPLA Z ODPADOVÝCH VÔD PRE RODINNÝ DOM NA SLOVENSKU <i>Adam Miča, Andrej Kapjor</i>	31
ORGÁNY RIADITEĽNOSTI A STABILITY LETÚNOV, 1. ČASŤ <i>Sebastián Solčanský, Ján Dižo, Miroslav Blatnický, Vadym Ishchuk</i>	36
VYSOKOPRUŽNÉ HRIADEĽOVÉ SPOJKY S NAVÍJACÍMI PRUŽINAMI <i>Peter Kaššay, Matej Urbanský</i>	41
POTENCIÁL VYUŽITIA VODÍKA V KOMBINOVANEJ VÝROBE TEPLA A ELEKTRINY <i>Michal Šrámka, Peter Ďurčanský</i>	45
ASSESSING THE INFLUENCE OF SHAPE OF THE FRONTAL AREA OF BRAKE'S FRAME ON THE MAIN STREAM OF AIRFLOW ON THE UIC TEST BENCH FOR RAIL VEHICLES' DISC BRAKES WITH CFD SIMULATION <i>Vladimír Pavelčík</i>	49
VYSOKOPRUŽNÁ PNEUMATICKÁ HRIADEĽOVÁ SPOJKA TANGENCIÁLNA <i>Matej Urbanský, Peter Kaššay</i>	53
THE USE OF 3D PRINTING FOR THE SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF INDUSTRY 4.0 <i>Marta Kasajová, Peter Bubeník, Miroslav Rakyta, Vladimíra Biňasová, Katarína Štaffenová</i>	57
RECENZIE	62
ABSTRAKTY DIZERTAČNÝCH PRÁC OBHÁJENÝCH NA STROJNÍCKEJ FAKULTE ŽILINSKEJ UNIVERZITY V ŽILINE V ROKU 2022	64

ZOZNAM RECENZENTOV PRÍSPEVKOV

doc. Ing. **Dalibor BARTA**, PhD.
doc. Ing. **Miroslav BLATNICKÝ**, PhD.
Ing. **Miloš BREZÁNI**, PhD.
doc. Ing. **Ján DIŽO**, PhD.
doc. Ing. **Patrik GRZNÁR**, PhD.
doc. Ing. **Michal HOLUBČÍK**, PhD.
prof. Ing. **Martin KRAJČOVIČ**, PhD.
doc. Ing. **Kateryna KRAVCHENKO**, PhD.
doc. Ing. **Ján MORAVEC**, PhD.
Ing. **Patrik NEMEC**, PhD.

EDITORIÁL

Motto: “Kto sa chce stať vzdelaným, musí nad zlato vážiť si knihy.”

Jan Amos Komenský

Vážení autori, čitatelia a priaznivci, tento rok začal *Technológ* vychádzať s DOI. Z toho dôvodu je možné si príspevky a potrebné informácie z publikovaných článkov vedeckého časopisu *Technológ* ľahko vyhľadať v elektronickej verzii. Takisto už toto číslo *Technológa* 4/2022 vyjde v dvoch mutáciách: tlačenej a elektronickej. Číslo ISSN tlačenej verzie je 1337-8996 a elektronická má pridelené ISSN 2730-0501. Týmto nesporne príde k skvalitneniu celého vydavateľského zámeru a takisto bolo snahou redakčného kolektívu kráčať s dobou a priniesť vylepšenie publikácie pre široké spektrum záujemcov a čitateľov. Publikované príspevky sú tak ako doteraz, podrobené odbornej kontrole a recenzované anonymne dvomi z uvedených recenzentov v každom konkrétnom čísle časopisu.

Všetkým prajem veľa zdravia a úspechov v nasledujúcom roku, ktorý je pre vedecký časopis *Technológ* už pätnástym rokom.

Ján Moravec

šéfredaktor a editor



Leonardo DA VINCI

(*15. apríl 1452, Vinci, Taliansko – † 2. máj 1519, zámok Clos Lucé, Amboise, Francúzsko)

Leonardo da Vinci, celým menom *Leonardo di ser Piero da Vinci*, (*15. apríl 1452, Vinci Taliansko – † 2. máj 1519, zámok Clos Lucé, Amboise, Francúzsko) bol taliansky renesančný architekt, hudobník, vynálezca, sochár a maliar.

Leonardo da Vinci bol archetypom renesančného človeka a ako univerzálneho génia. *Leonardo* je slávny najmä pre svoje majstrovské obrazy ako *Posledná večera* a *Mona Liza*. Tiež je známy ako tvorca mnohých vynálezov, ktoré predvídali modernú technológiu, no boli len výnimočne skonštruované počas jeho života. Navyše pomohol rozvinúť anatómiu, astronómiu a stavebníctvo.

Leonardo sa narodil v obci Vinci v Toskánsku, neďaleko mesta Empoli. Bol nemanželským synom Piera da Vinci, mladého právnik a slúžky Kateriny, sedliackeho dievčaťa narodeného vo francúzskom meste Louver.

Jeho celé meno bolo „*Leonardo di ser Piero da Vinci*“, teda „*Leonardo, syn pána Piera z Vinci*“. *Leonardo* sám jednoducho podpisoval svoje práce „*Leonardo*“ alebo „*Io, Leonardo*“ („*Ja, Leonardo*“). Mnoho autorit preto spomína jeho práce ako „od Leonarda“, a nie „od da Vinciho“. Meno svojho otca nepoužíval pravdepodobne kvôli svojmu nelegitímnemu postaveniu.

Vyrastal v rodnej dedine Vinci, kde aj v súčasnosti je možné navštíviť jeho rodný dom. Celý svoj život nejedol mäso. Keď mal 15 rokov, otec ho poslal, aby študoval umenie do Florencie. Okolo roku 1466 sa stal učňom maliara Andreu del Verrochio. Neskôr sa stal nezávislým maliarom vo Florencii.

Mnoho *Leonardových* zápiskov sa týkajú architektúry, najmä sú to plány na výstavbu katedrál. Jeho štúdie z tejto oblasti začínali dôkladným preskúmaním rôznych stavebných nástrojov a pomôcok. Ďalej pokračovali do oblasti, ktorá dovtedy nebola preskúmaná, a to skúmaním rôznych mohutností stĺpov, trámov, nosníkov a klenieb.

Expertí sa zhodujú, že väčšina jeho architektonických štúdií bola teoretických a *Leonardo* nikdy nečelil praktickým problémom vyplývajúcim zo stavby ním navrhnutých budov. Jeho poznámky o architektúre sú posudzované ako niečo, čo spadá do oblasti „ako navrhnuť konštrukciu na ozdobenie fasády budovy“ alebo „ako vyzdobiť plošinu vztýčenú pri oslavách“. Na druhej strane niektoré náčrty sú čiastočne zaujímavé svojou ambíciou zobrazit' obrovské dómy, kaplnky, štvorcestné točité schody, dvojité špirály točitých schodov, mnohoprúdové ulice pre chodcov a komerčnú dopravu. Ani jeden z týchto monumentov nebol vybudovaný, ani jeden plán sa neuskutočnil.

Ako svoju architektonickú prácu *Leonardo* prezentoval model *ideálneho mesta* pre milánskeho vládcu Ludovica Sforzu. To by si ale vyžadovalo úplne prebudovanie Milána, čo sa samozrejme nikdy nestalo. Iba málo *Leonardových* kresieb a plánov na poli architektúry uzrelo svetlo sveta. Pravdepodobne spolupracoval s Ambrogio da Cortisom a slávnym architektom Bramantem, v roku 1492, pri prestavbe trhu Vigevano a možno bol aj pri ďalších civilných projektoch. Je známe, že predložil projekt centrálnej veže Milánskej katedrály.



Obr. 1. Náčrt z Leonardovej architektonickej štúdie

Roku 1502 *Leonardo da Vinci* vytvoril kresbu visutého mosta s jediným segmentom s dĺžkou 240 m ako časť stavebného projektu pre sultána *Bajazida II.* Most mal preklenúť ústie *Bosporu* známe ako *Zlatý roh*. Nikdy nebol vybudovaný, ale *Leonardova* vízia bola vzkriesená v roku 2001, keď bol na základe jeho projektu postavený menší most v *Nórsku*. Na sklonku života pracoval na náčrtoch pre zámok *francúzskej* kráľovnej matky v *Romorantine*. Ani tie neboli realizované.

Veda a konštrukcia strojov

Možno pôsobivejšie než jeho umelecká tvorba sú jeho vedecké a konštrukčné štúdie zaznamenané v denníkoch, ktoré obsahujú asi 6000 strán poznámok a kresieb, a v ktorých sa prelína veda a umenie. Bol ľavák a počas celého života používal zrkadlové písanie, asi preto, že je ľahšie písacie brko ťahať ako tlačiť; použitím zrkadlového písania môžu ľavorukí pisatelia pero ťahať sprava doľava.

Jeho prístup k vede charakterizuje jedno: pokúšal sa porozumieť fenoménu jeho opisom a nákresmi do najmenších podrobností a nekládol pritom dôraz na pokusy alebo teoretické vysvetlenia. Počas celého života plánoval zostaviť veľkú encyklopédiu založenú na detailných kresbách všetkého. Odvtedy ako formálne zanechal štúdium *latinčiny* a *matematiky*, *Leonarda* ako vedca vtedajší učitelia väčšinou ignorovali. *Leonardo* nikdy nepublikoval ani inak nerozširoval obsah svojich denníkov. Mnoho vedcov sa ale domnieva, že *Leonardo* tak chcel urobiť a zverejniť svoje pozorovania. Tieto zápisky ostali záhadné a nezrozumiteľné až do 19. storočia a nemali vplyv na vývoj vedy a techniky. V januári 2005 bádatelia objavili tajné laboratórium, ktoré *Leonardo* používal na štúdium lietania a pri iných priekopníckych a vedeckých prácach a ktoré sa nachádza v bývalých zapečatených kláštorňoch izbách hneď vedľa *Baziliky Najsvätejšej panny (Santissima Annunziata)* priamo v srdci *Florencie*.

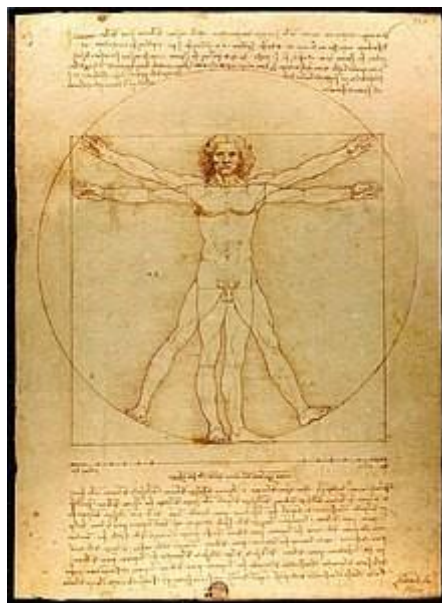
Astronómia

V astronómii *Leonardo* neuznával teóriu, že *Slnko* a *Mesiak* krúžia okolo *Zeme*, a že *Mesiak* odráža slnečné svetlo, pretože je pokrytý vodou. Zistil však vplyv *Mesiaca* na príliv a odliv.

Anatómia

Podieľal sa na pitvách a vytvoril množstvo veľmi podrobných anatomických kresieb, pričom plánoval rozsiahle práce: ľudskú a porovnávaciu anatómiu. Prišiel na spôsob ako pitvať oko, ktorý sa používal až do 19. storočia. Okolo roku 1490 vytvoril do svojho náčrtníka štúdiu *Canon of Proportions (Kánon proporcií)* podľa ideálnych proporcií mužského tela, ktoré popísal vo svojej práci rímsky architekt *Marcus Vitruvius Pollio*. Štúdia nazývaná *Homo Vitruvius (Vitruviánsky muž)* je jedna z *Leonardových* najznámejších prác.

Jeho štúdium ľudskej anatómie viedlo k návrhu prvého známeho robota v písanej histórii. Návrh, ktorý sa nazýva aj *Leonardov robot*, bol pravdepodobne nakreslený okolo roku 1495, ale objavený bol až v 50-tych rokoch 20. storočia. Nie je známe, či sa ho niekto pokúsil zostrojiť.



Obr. 2. Vitruviánsky muž

Stroje na lietanie

Leonardo, fascinovaný fenoménom lietania, vytvoril podrobné štúdie letu vtákov a plány na zostrojenie niekoľkých lietajúcich strojov, vrátane helikoptéry poháňanej štyrmi ľuďmi (ktorá by nefungovala, lebo by začala celá rotovať) a ľahkého rožala (ktoré by mohlo letieť). V jeho poznámkach sa tiež vyskytuje náčrt lietacieho stroja, pri ktorom stojí za povšimnutie pedantné prepracovanie chvostového kormidla. 3. januára 1496 neúspešne vyskúšal lietajúci stroj, ktorý sám zostrojil. Okrem konštrukcií napodobňujúcich vtáčie krídla vytvoril tiež jednu podľa netopierich krídel. Vo svojich poznámkach sa tiež zaoberal myšlienkou padáka, ktorý však rozpracoval len teoreticky. Ako pohon pre svoje lietajúce stroje často využíval ľudskú silu (napr. pedále ako na bicykli). Vynašiel anemometer na zisťovanie smeru fúkania vetra. Smerom viatia vetra sa tiež zaoberal anemoskop, ktorý však pravdepodobne zisťoval rýchlosť vetra. Inklinometer mal zasa za úlohu kontrolovať vodorovnú pozíciu pri lete.

Vojnové konštrukcie

Jeho denníky obsahujú tiež niekoľko vynálezov vojenského zamerania, ako napríklad guľomety, obrnený tank poháňaný ľuďmi alebo koňmi, či klastrovú bombu, a to aj napriek tomu, že neskoršie pokladal vojnu za najhoršiu ľudskú činnosť. Skonštruoval niečo ako bojové delo, ktoré malo možnosť nastavenia uhla a výšky, bolo pohyblivé a využiteľné v boji. Oprášil náčrty z dávneho staroveku a vylepšil baranidlo, ktoré sa dalo používať priamo na hradby miest. Jeho nápady dali základ, síce v zmenšenej podobe, dnešným zbraňam, ako sú revolvéry, či samopaly. Z ďalších stredovekých zbraní si ako inšpiráciu zobral aj kušu, ktorú však vytvoril ako zbraň hlavne na spôsobenie zmatku v nepriateľských šíkoch a dohnal ju ku gigantickým rozmerom, asi tak na šesť vozov. Vytvoril rôzne druhy projektilov, ktoré síce neboli doplnené matematickými výpočtami dráhy letu, ale už z ich tvaru bolo zrejmé, ako veľmi si *Leonardo* uvedomoval význam aerodynamiky.

Iné vynálezy

Ďalšie vynálezy zahŕňajú ponorku, zariadenie s ozubenými kolieskami, ktoré môže byť považované za prvú mechanickú kalkulačku a auto poháňané pružinovým mechanizmom. Počas svojho pobytu vo *Vatikáne* naplánoval priemyselné využitie slnečnej energie pomocou parabolických zrkadiel na zohrievanie vody. Okrem týchto vynálezov vynašiel skafander, vo svojich štúdiách ho do detailov rozpracoval, aj keď v tej dobe pozostával len zo zvona na hlavu a plávacích plutiev. Až neskôr domyslel kožený odev určený na pobyt pod vodou. Tiež skonštruoval vrtáčku, ktorá pozostávala z hlavice, kolieskového mechanizmu a kľuky, pomocou ktorej sa otáčala.

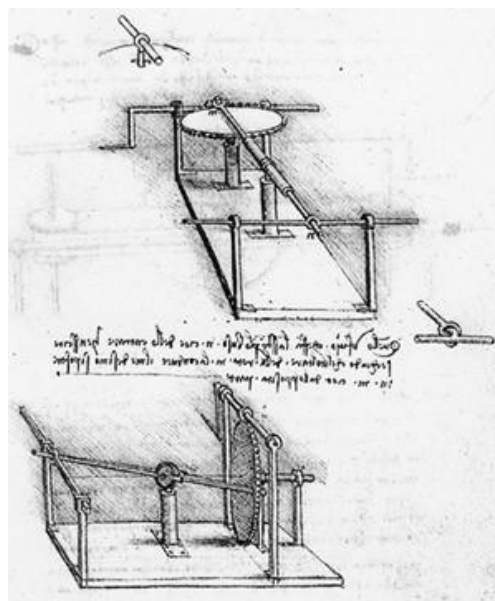
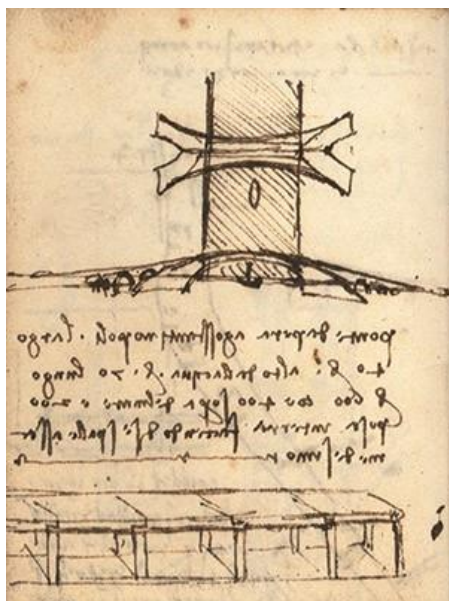
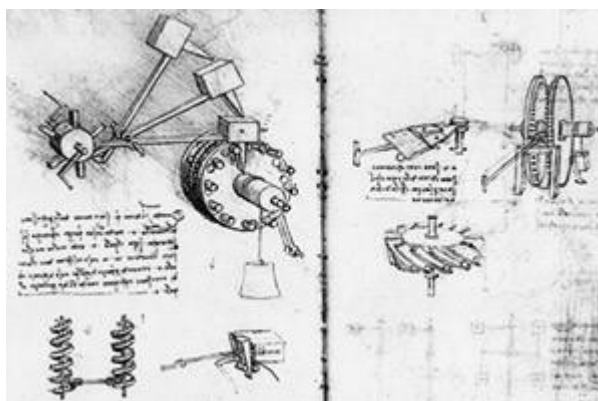
Z ďalších jeho nápadov, ktoré by našli využitie aj v dnešnej dobe, bola napríklad hydraulická píla. Mal aj svojský systém klimatizácie, ktorý mal za úlohu zabraňovať prudkým zmenám teploty, ktoré by

mali ničivý účinok na jeho laboratórium. Jednoduchým systémom skonštruoval zariadenie na meranie vlhkosti vzduchu: boli to kvázi váhy, na jednej strane mali vosk a na druhej rovnaké množstvo vlny, ktorá na rozdiel od vosku absorbuje vlhkosť. Odchýlka, ktorá vznikla vo vlhkom prostredí, keď vlna nasiakla vodou, sa prenášala na stupnicu na váhach. Zaujímavosťou je tiež napríklad jeho funkčný prístroj na výrobu lán, pričom sa kvalita lana dala regulovať.

Aj keď väčšina z *Leonardových* vynálezov nebola realizovaná, mnohé z nich boli technologicky uskutočniteľné, ako to demonštruje napríklad jeho *tank*.

Leonardo je veľmi známy vďaka svojim majstrovským obrazom ako *Posledná večera* (po taliansky *Ultima Cena* alebo *Cenacolo*, v *Miláne*), namaľovanom v roku 1498 a *Mona Liza* (tiež známa po taliansky ako *La Gioconda* alebo po francúzsky *La Joconde*, teraz v *Louvri* v *Paríži*), namaľovanom v 1503 ÷ 1506, aj keď sa polemizuje, či tento obraz namaľoval sám alebo je to dielo jedného z jeho študentov. Do dnešných čias sa zachovalo iba sedemnást jeho obrazov, ale žiadna socha.

Leonardo často plánoval veľkolepé obrazy s množstvom kresieb a náčrtov, ale tie neboli nikdy dokončené.



Obr. 3. Leonardove náčrty a poznámky z jeho denníka

Konštrukčný návrh rámu jednonápravového prívesu

Ján Dižo, doc. Ing., PhD.*

Katedra dopravnej a manipulačnej techniky, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 1, 010 26 Žilina.
E-mail: jan.dizo@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2560

Miroslav Blatnický, doc. Ing., PhD.

Katedra dopravnej a manipulačnej techniky, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 1, 010 26 Žilina.
E-mail: miroslav.blatnický@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2659

Vadym Ishchuk, Ing.

Katedra dopravnej a manipulačnej techniky, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 1, 010 26 Žilina.
E-mail: vadym.ishchuk@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2563

Denis Molnár, Ing.

Katedra dopravnej a manipulačnej techniky, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 1, 010 26 Žilina.
E-mail: denis.molnar@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2659

Ing. Jakub Kurtulík

An engineering design of a frame of a single-axle trailer

Abstract: The content of the paper presents an engineering design of a frame of a single-axle trailer, which will be towed by a tractor. The trailer will be mainly used for transportation of goods in an agriculture field, although, it can be also used for transportation of goods in forests or elsewhere. The trailer frame is designed in a Catia software. The paper includes a description of modelling of an individual components of the trailer.

ÚVOD

Traktor ako samohybný stroj sa najčastejšie používa v poľnohospodárstve alebo v lesníctve. Z pohľadu svojej konštrukcie je to masívny stroj, ktorý spoľahlivo odoláva namáhaniu, ktorému je vystavené v náročných terénnych podmienkach, v ktorých je prevádzkovaný. Traktor môže byť vybavený rôznymi nadstavbami. Okrem nich je ale veľkou výhodou traktora, že dokáže ťahať v závislosti od kategórie traktora prívesy pomerne veľkých hmotností [1]. Táto skutočnosť významne zvyšuje úžitkovú hodnotu traktora [2].

Tento príspevok prináša ukážku konštrukčného návrhu prívesu, resp. jeho rámu, za traktor. Ide o jednonápravový príves, ktorý bude vybavený vzduchotlakovou brzdovou sústavou a trojstrannou sklápacou korbou. Podľa potreby bude možné použiť aj inú ako sklápaciu nadstavbu.

Základnou konštrukčnou časťou prívesu je jeho rám. Predstavuje hlavnú nosnú časť, ktorá musí odolávať všetkým zaťaženiám, ktoré sa môžu vyskytnúť počas jeho prevádzky [3, 4].

1 TVORBA KONŠTRUKCIE RÁMU PRÍVESU

Konštrukciu trojstranného rámu tvoria dva základné rámy, a to rám podvozka a rám nadstavby.

Rám podvozka je hlavnou nosnou časťou prívesu. Sú na ňom pripevnené všetky prvky podvozka, ako náprava, brzdový systém, pripojovacia sústava ku traktor, ako aj samotná nadstavba s hydraulickým systémom na jej zdvíhanie.

Rám bude vyrobený z uzavretých a otvorených oceľových profilov podľa stanovených požiadaviek. Ide o profily vyrobené z jemnozrnnej nelegovanej ocele s označením STN EN S355J0 (resp. staré

označenie STN 11523) so zaručenou zveriteľnosťou [5]. Parametre použitého materiálu sú uvedené v tab. 1.

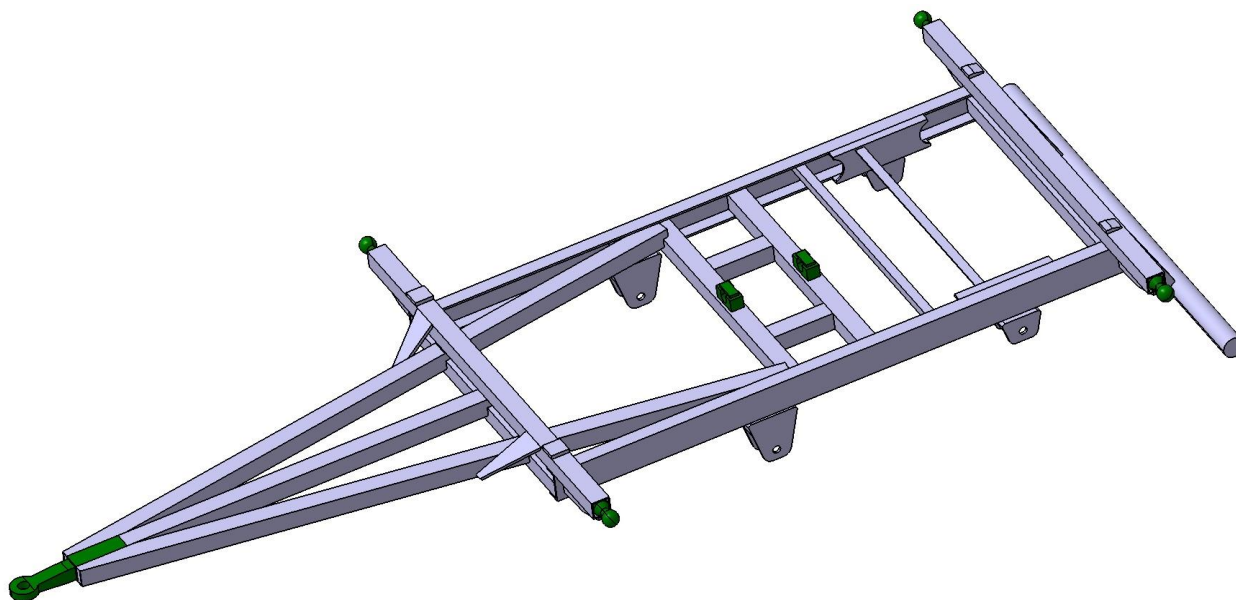
Profily sú pospájané zvarovými spojmi. Tieto spoje ako aj technológia zvarovania podliehajú normám EN ISO 3834-1 a STN EN ISO 5817 [5]. Čo sa týka kontroly zvarov, tie podliehajú nedeštruktívnym skúškam kvality, ako napr. vizuálna kontrola, magnetická skúška, prežiarenie, ak to nevyžaduje inak výkresová dokumentácia. Ďalej sa prostredníctvom vizuálnej kontroly overuje povrchová kresba zvaru, pretečenie koreňa, prevýšenie zvarového kúpeľa a pod. Po výrobe bude potrebné povrch rámu ošetriť antikoróznym náterom

V strednej časti rámu traktorového prívesu sú v priečnom smere a pozdĺžnom smere pripevnené výstuže, ktoré budú tiež vyrobené z oceľových profilov so štvorcovým prierezom s rozmermi 70x70x5 mm. Tieto priečne prvky rámu budú privarené tak, aby umožňovali montáž hydraulického valca.

Keďže ide o trojstranný sklápací príves, valec musí byť umiestnený v strednej časti, aby bolo zabezpečené jeho rovnomerné zaťaženie počas jeho prevádzky, čiže zdvíhania bez ohľadu na to, či sa bude korba vyklápať dozadu alebo na pravú, či ľavú stranu. Hydraulický valec bude pripevnený v týchto profiloch pomocou klzných lôžok a do nich bude

Tab. 1. Parametre materiálu použitého na výrobu rámu prívesu [3]

Označenie EN 10027-1	Označenie STN	Označenie EN 10027-2	Medza klzu $R_{eH \min}$ [MPa]	Medza pevnosti R_m [MPa]
S355J0	11 523	1.0553	355	470 ÷ 630



Obr. 1. Model rámu podvozka prívesu v programe Catia V5

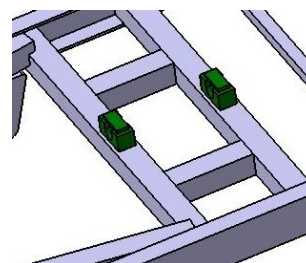
alebo nanesením zinkového povlaku v závislosti od požiadaviek zákazníka.

Pre konštrukčný návrh bol použitý softvér Catia V5. Jeho vizualizáciu je možné vidieť na obr. 1.

2 MATERIÁL POUŽITÝ PRE VÝROBU RÁMU PRÍVESU

Základný nosný prvok navrhnutého rámu prívesu sú dva pozdĺžniky vyrobené z profilu U 120. Tieto pozdĺžniky sú v prednej a zadnej časti spojené prostredníctvom uzavretého profilu so štvorcovým prierezom s rozmermi 70x70x5 mm. V spodnej časti U profilov sú pripevnené prídržné elementy, v ktorých budú primontované prvky vypruženia prívesu (prvky listových pružín).

vsadená klbová vložka valca.



Obr. 2. Miesto pripevnenia hydraulického valca

Na vrchnej strane pozdĺžnych profilov v tvare U budú privarené ešte ďalšie dva profily so štvorcovým prierezom s rozmermi 70x70x5 mm. Konce týchto profilov budú upravené pre upevnenie sklápacej korby. Toto upevnenie bude zabezpečené

pomocou guľových čapov. Teda, príves bude mať štyri guľové čapy. Do nich zapadnú polguľové uloženia rámu korby, ktoré ako celok budú umožňovať trojstranné sklápanie korby.



Obr. 3. Guľový čap pre pripevnenie sklápajúcej korby

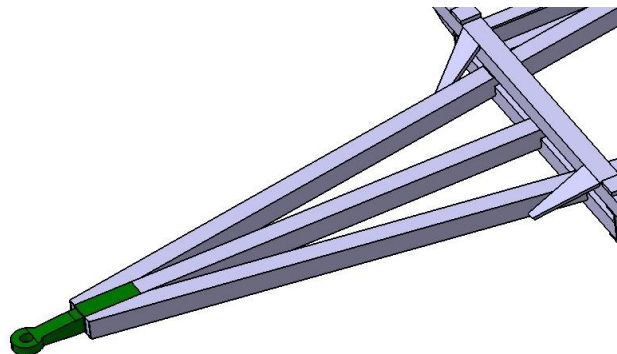
Štvorcové profily v prednej a zadnej časti rámu sú ešte pridané dodatočné oceľové prvky, a to platničky s hrúbkou 15 mm, na ktoré bude dosadať sklápacia korba prívesu. Tieto platničky zvýšia trvanlivosť a životnosť profilov práve v miestach, kde by mohlo dochádzať k ich nadmernému opotrebovaniu počas prevádzky kvôli treniu rámu korby o rám podvozka prívesu.

Zo spodnej časti štvorcových profilov sú ešte ďalej doplnené oceľové platne s hrúbkou steny 10 mm. Tieto platne majú funkciu prídavných výstuh, ktoré zvýšia tuhosť konštrukcie rámu v týchto miestach.

Ako môžeme vidieť na obr. 1, rám podvozka prívesu obsahuje ešte ďalšie oceľové prvky.

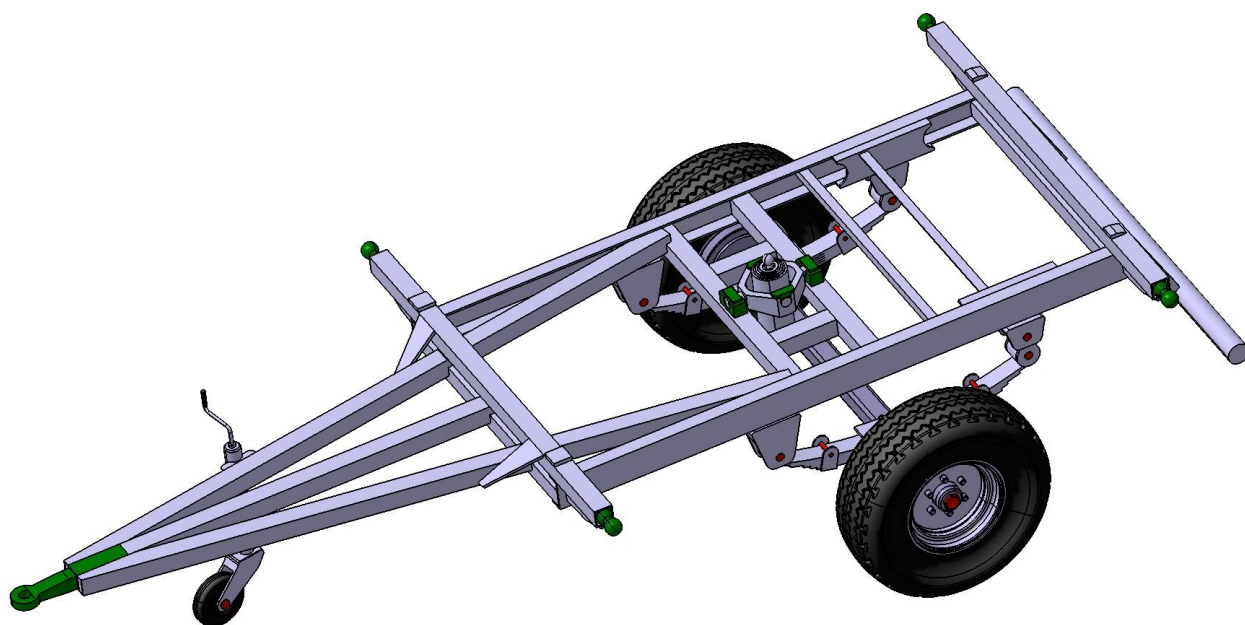
Sú to tri profily štvorcového profilu s rozmermi 70x70x5 mm privarené v prednej časti. Tieto tri profily sú usporiadané tak, že tvoria ťažné oja

stranu. Takýto „V“ tvar oja zabezpečuje dostatočnú stabilitu a tuhosť konštrukcie, najmä v prípade jazdy v náročných terénnych podmienkach. V spomínanej prednej časti je k oceľovým profilom privarené pripojovacie zariadenie, ktoré má podobu normalizovaného ťažného oka prívesu. Ťažné oja prívesu je tiež vystužené, a to prostredníctvom dvoch trojuholníkových platní s hrúbkou 10 mm.



Obr. 4. Guľový čap pre pripevnenie sklápajúcej korby

Aby bola zabezpečená bezpečnosť prevádzky navrhovaného prívesu a boli splnené normatívne požiadavky, príves je v zadnej časti vybavený nárazníkom, resp. ochranou proti podbehnutiu. Tento nárazník bude vyrobený z hrubostennej oceľovej rúry, ktorej priemer je navrhnutý na 80 mm. Tento prvok je navrhnutý a bude vyrobený v súlade s požiadavkou v rámci novely Zákona č. 106/2018 a Nariadenia EÚ č. 167/2013 [6, 7].



Obr. 5. Podvozok navrhovaného jednonápravového prívesu

prívesu. Stredový nosník je rovnobežná s pozdĺžnou osou prívesu. Ďalšie dva profily sú orientované takým spôsobom, že v prednej časti sa zbiehajú do jedného bodu a v zadnej časti oja (teda v prednej časti rámu) sú v určitej vzdialenosti na pravú a ľavú

Na obr. 5 je zobrazená ukážka podvozka navrhovaného jednonápravového sklápacieho prívesu za traktor. Na tomto modeli môžeme vidieť, že na ráme podvozka sú namontované ďalšie komponenty podvozka. Sú to náprava s vypružením,

ktoré je tvorené listovou pružnicou, ďalej prvky hydraulického systému pre zdvíhanie korby, ako aj podperné koliesko v prednej časti, ktoré umožňuje odpojenie prívesu od traktora, zabezpečenie jeho polohy v požadovanej výške, ako aj pohyb pomocou obsluhy bez potreby traktora (s obmedzenou záťažou a na rovine).

Uvažované parametre prívesu sú uvedené v tab. 2.

Tab. 2. Rozmerové parametre navrhovaného prívesu

Parameter	Rozmer [mm]
Celková dĺžka (vrátane pripájacieho zariadenia)	4480
Celková šírka	1950
Celková výška (od podložky)	
bez nadstavby	1580
s nadstavbami	1810
Výška pripájacieho zariadenia od podložky	800
Výška ložnej plochy od podložky	1020

Tab. 3. Hmotnostné parametre navrhovaného prívesu

Parameter	Hmotnosť [kg]
Celková hmotnosť prívesu	4500
Užitočná hmotnosť	3000
Pohotovostná hmotnosť	1500

Ďalšie vedecko-výskumné aktivity v tejto oblasti budú zamerané na analýzu vlastností navrhnutého prívesu týkajúcich sa jeho stability, a to ako pri jazde na rovine, tak aj pri jazde na svahu. Okrem toho bude analyzovaná aj stabilita prívesu pri vyklopení korby na maximálnu hranicu či už pri sklápaní dozadu a aj pri sklápaní na stranu. Ďalej bude vykonaná analýza štrukturálnych vlastností rámu pri špecifikovaných podmienkach zaťaženia rámu.

ZÁVER

Hlavným cieľom príspevku predstaviť konštrukčný návrh rámu prívesu za traktor. Ide o jednonápravový príves, ktorý je primárne určený do agrosektora. Rám bol navrhnutý v programe Catia V5. Prezentovaný bol 3D model rámu so základnými prvkami, ktoré musia byť súčasťou konštrukcie podvozka, základné parametre podvozka a informácie o jeho účele jeho použitia. V ďalšom príspevku bude prezentovaný konštrukčný návrh nadstavby prívesu, t. j. jeho sklopnej korby.

Podakovanie

Tento výskum podporila Kultúrna a vzdelávacia grantová agentúra MŠ SR v projekte č. KEGA 023ŽU-4/2020: „Vývoj pokročilých virtuálnych modelov na štúdium a skúmanie prevádzkových charakteristík dopravných prostriedkov.“

Tento výskum podporila Kultúrna a vzdelávacia grantová agentúra MŠ SR v projekte č. KEGA 036ŽU-4/2021: „Implementácia moderných metód počítačovej a experimentálnej analýzy vlastností komponentov vozidiel do vzdelávania konštruktérov dopravných prostriedkov budúcnosti.“

LITERATÚRA

- [1] DIŽO, J. - BLATNICKÝ, M. - ISHCHUK, V. - MOLNÁR, D. (2022): *Nákladné prívesy za traktor - koncepčné usporiadanie a ich typy*. Technológ, Vol. 14, No. 3, pp. 22-24, ISSN 1337-8996.
- [2] DIŽO, J. - BLATNICKÝ, M. - ISHCHUK, V. - MOLNÁR, D. (2022): *Nákladné prívesy za traktor – špeciálne verzie a zvláštna výbava*. Technológ, Vol. 14, No. 3, pp. 31-34, ISSN 1337-8996.
- [3] KURTULÍK, J. (2019): *Konštrukčný návrh trojstranného sklápacieho prívesu za traktor*. Diplomová práca, 28230920192010, Žilinská univerzita v Žiline.
- [4] MAJDAN, R. - TKÁČ, Z. - KOSIBA, J. - ABRAHÁM, R. - TULÍK, J. (2016): *Teória a konštrukcia traktorov*. Nitra: Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, 2016. ISBN 978-80-552-1580-8.
- [5] BAJLA, J. a kol. (2014): *Strojárske tabuľky*, SÚTN Bratislava, ISBN 978-8081-3003-94.
- [6] Zákon č. 106/2018 Z.z. o prevádzke vozidiel v cestnej premávke a o zmene a doplnení niektorých zákonov (2018): [Online], [cit. 2022-11-02]. Dostupné na internete: <https://www.slov-lex.sk/pravne-predpisy/SK/ZZ/2018/106/>
- [7] Nariadenie Európskeho parlamentu a rady (EÚ) č. 167/2013 Z.z. o schvaľovaní poľnohospodárskych a lesných vozidiel (2013): [Online], [cit. 2022-07-01]. Dostupné na internete: <https://publications.europa.eu/sk/publication-detail/-/publication/d70aa207-c878-4455-adbe-579a510d4282/language-sk>.

Hlboké ťahanie hrubších plechov

Borislav Melo, Ing., PhD.*

Viena International, spol. s r. o.

Kráčiny 2, 036 01 Martin

E-mail: melo@viena.sk

Deep drawing of thicker sheets

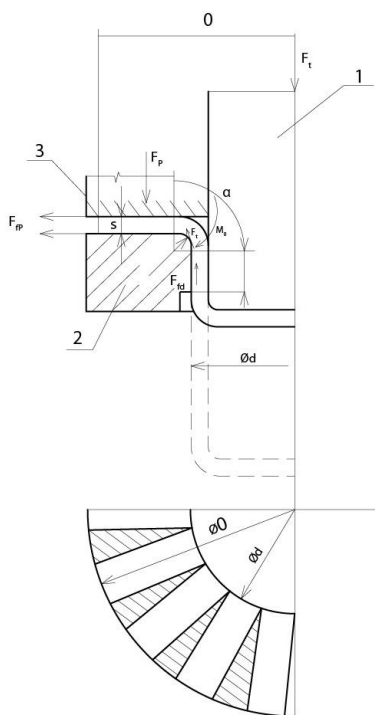
Abstract: The presented paper describes a theoretical view of deep drawing of a thicker sheet. The figures in the text illustrate an overview of this process and offer an idea of this type of sheet metal drawing. The problem of additional bending of the sheet over the edge of the line is emphasized as a fact which, in contrast to the classic deep drawing, plays a major role in this case.

ÚVOD

Všeobecne je hlboké ťahanie jednou z najdôležitejších technológií plošného tvárnenia kovov. Princíp hlbokého ťahania je podrobne opísaný napr. v zdroji [1]. Z toho dôvodu nie je na tomto mieste potrebné sa zaoberať známymi poznatkami. V nasledujúcom texte bude prebratý teoretický základ hlbokého ťahania hrubších plechov a bude poukázané na odlišnosti a vplyvy, ktoré sa vyskytujú pri takomto spôsobe spracovania a výroby nádob z plechu.

1 VŠEOBECNÝ POHĽAD

Plastická deformácia sa pri hlbokom ťahaní bez stenčenia hrúbky rozvíja zväčša v prírube a na polomere ťažnice. Táto oblasť sa nazýva oblasťou pretvorenia na rozdiel od oblasti prenosu síl, ktorú tvorí najmä dno a polomer ťažníka.



Obr. 1. Zložky sumárnej ťažnej sily pre I. ťah

Plastická deformácia pri hlbokom ťahaní z rovinného kruhového prístrihu (obr. 1) vzniká účinkom vťahovania strednej časti (časti prenosu síl) ťažníkom 1 do otvoru ťažnice 2, pričom v okrajovej časti pod pridržiavačom 3 (prírubová časť pretvorenia) vzniká za kvázi rovinného stavu napätosti plastická deformácia, ktorá postupným zužovaním mení rovinný prístrih D_0 cez okamžité priemery D pod pridržiavačom na požadovaný priemer valcovej nádoby d . To znamená, že rovinné pretvorenie je skoncentrované v prírube pod pridržiavačom. Plastická deformácia pri ťahaní bez stenčenia steny, napríklad valcovej nádoby s rovným dnom, vzniká v redukcii účinkom ťahovej sily ťažníka pri priestorovej napätosti (obr. 1). To znamená, že priestorové pretvorenie je skoncentrované do redukčnej časti ťažnice.

1.1 Hlboké ťahanie bez stenčenia hrúbky steny

Pre hlboké ťahanie bez stenčenia hrúbky v prvom ťahu je charakteristické, že v prírube pod pridržiavačom sú osové deformácie zanedbateľne malé, potom:

$$\varphi_r = -\varphi_t. \quad (1)$$

Pretože proces plastickej deformácie prebieha na úkor tangenciálneho stláčania nadbytočných plôch (šrafované trojuholníky - obr. 1), nosným celkovým logaritmickým pretvorením je:

$$\varphi_t = |-\varphi_r| = \ln \frac{d}{D_0}, \quad (2)$$
$$\varphi_r = \ln \frac{D}{d}$$

kde d je priemer výťažku (výtvarku),

D_0 je východiskový priemer prístrihu,

D je okamžitý priemer príruby predtvarku.

K tomuto pozri takisto napr. zdroje [2-9].



Obr. 2. Plechové výtázky

Na obr. 2 sú zobrazené výtázky vyrobené v experimentálnych podmienkach v laboratóriu tvárniacej techniky UNIZA SjF. Použitý materiál bol plech hrúbky 0,5 mm kvality EN Fe P01 (STN 11 321). Stroj bola trhačka ZDM 300 s max. silou 30 kN. Ťahalo sa 15 ks výtážkov a vyhodnocoval sa stav povrchu. Pribeh ťahania bol takýto: okraj plechu počas procesu výroby výtážku priliehal na ťažnicu a postupne sa vytváral tvar nádoby s kužeľovitými a nakoniec valcovitými stenami. Anizotropia plechov zapríčinila zlú výslednú kvalitu okrajov nádob. Výtázky boli značne cípovité a na ich stenách boli viditeľné stopy po nástroji. Mazanie bolo robené repkovým olejom.

2 ŤAHANIE NÁDOB Z HRUBŠIEHO PLECHU

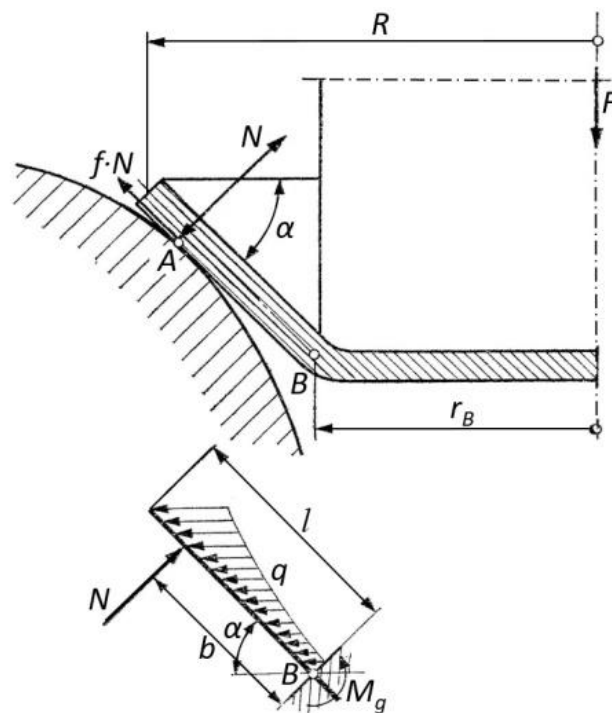
Ťahanie nádob s väčšou hrúbkou plechu v porovnaní s priemerom východiskového kotúča sa uskutočňuje odlišne ako ťahanie nádob z tenkého plechu. Pri dostatočnej hrúbke plechu nie je potrebné používať pridržiavač [10, 11]. Na druhej strane je potrebné obmedziť ohýbanie materiálu na hrane ťažnice na minimum. Preto sa na ťahanie nádob z hrubšieho plechu používajú ťažnice s obrysom podľa obr. 3.

Tvárnena nádoba nadobúda v takej ťažnici kužeľovitý tvar s postupne vzrastajúcim uhlom sklonu tvoriacej čiary až napokon po prechode cez najužšie miesto ťažnice nadobudne požadovaný valcovitý tvar. Sila ťažníka F_V v uvažovanom okamihu ťahania sa určí podobne ako pri preťahovaní. Predpokladá sa pri tom, že stena nádoby získava kužeľovitý tvar a ohyb plechu v meridiálnej rovine nastane v bode B ležiacom na zaoblenej hrane ťažníka (obr. 3).

V súlade s predošlým predpokladom sa bude uvažovať rovnaké rozloženie stredných hodnôt napätí $\bar{\sigma}_1$ a $\bar{\sigma}_2$ a v membránovej teórii polovýrobkov, čiže:

$$\begin{aligned}\bar{\sigma}_1 &= \sigma_K \cdot \left(\ln \frac{R}{r} - 1 \right), \\ \bar{\sigma}_2 &= \sigma_K \cdot \ln \frac{R}{r}\end{aligned}\quad (3)$$

kde R je vonkajší polomer kužeľa.



Obr. 3. Zaťaženie výseku kužeľovitého polovýrobku pri ťahaní plechovej nádoby

Stredné obvodové napätie $\bar{\sigma}_1$ sa v procese ťahania mení v závislosti od polomeru r . V prípade, že sa berie v úvahu pôsobenie obvodových napätí na skúmaný výsek obruby výtážku je potrebné považovať tento výsek za nosník, kde nerovnomerne rozložené zaťaženie q pozdĺž polomeru je v súhlase so závislosťou:

$$q = -s \cdot \theta \cdot \sigma_K \cdot \left(\ln \frac{R}{r} - 1 \right). \quad (4)$$

Ohybový moment v bode B (obr. 2) sa určí zo vzťahu:

$$M = \frac{R \cdot \theta \cdot s^2}{4} \cdot \left[1 - \left(\frac{\bar{\sigma}_2}{\sigma_K} \right)^2 \right] \cdot \sigma_K. \quad (5)$$

Vzťah (5) je napísaný s prihliadnutím k tomu, že

$$M = \frac{R \cdot \theta \cdot s^2}{4} \cdot \sigma_K. \text{ Do vzťahu (5) sa dosadí stredná}$$

hodnota meridiálneho napätia $\bar{\sigma}_2 = \sigma_n \cdot \ln \frac{R}{r_B}$, kde r_B

je vzdialenosť bodu B od osi súmernosti výtážku. Teda bude:

$$M = \frac{r_B \cdot \theta \cdot s^2}{4} \cdot \sigma_K \cdot \left[1 - \ln \left(\frac{R}{r_B} \right)^2 \right]. \quad (6)$$

Pôsobenie ohybového momentu v rovine kolmej k tvoriacej čiare kužeľa M_1 na rovnováhu vymedzeného elementu je zvyčajne malé a dá sa pri prvej aproximácii zanedbať. Silu, ktorá je pracovnou hranou ťažnice N vztiahnutá na jednotku uhla θ , je možné podobne ako prv vyjadriť celkovú silu F pomocou vzťahu:

$$N = \frac{F}{\cos \alpha + f \cdot \sin \alpha} \cdot \frac{\theta}{2 \cdot \pi}. \quad (7)$$

Podmienku rovnováhy momentov vzhľadom k bodu B , pôsobiacich na skúmaný výsek obruby výtlačku, možno vyjadriť nasledujúcim zápisom:

$$M + \int_{r_B}^R \frac{q \cdot dr}{\cos \alpha} \cdot (r - r_B) \cdot \operatorname{tg} \alpha - N_b = 0, \quad (8)$$

kde b je rameno sily N voči bodu B .

Ak sa dosadia do tejto rovnice skôr určené veličiny M , q , N zo vzorcov (4, 5, 8), dá sa určiť sila ťažníka F ako funkcia premenných a , b , R :

$$F = \frac{\pi}{2} \cdot r_B \cdot s \cdot \sigma_K \cdot (\cos \alpha + f \cdot \sin \alpha) \cdot \left[\frac{s}{r_B} \cdot (1 - \ln^2 \frac{R}{r_B}) + \frac{\sin \alpha}{\cos^2 \alpha} \cdot \left(\frac{R^2}{r_B^2} - 1 - 2 \cdot \ln \frac{R^2}{r_B^2} \right) \right] \cdot \frac{r_B}{b}. \quad (9)$$

Pre určenie vzťahu medzi polomerom R vonkajšej hrany kužeľa a uhlom sklonu tvoriacej čiare α sa bude predpokladať, že plocha povrchu kužeľa je počas deformácie konštantná, takže platí vzťah:

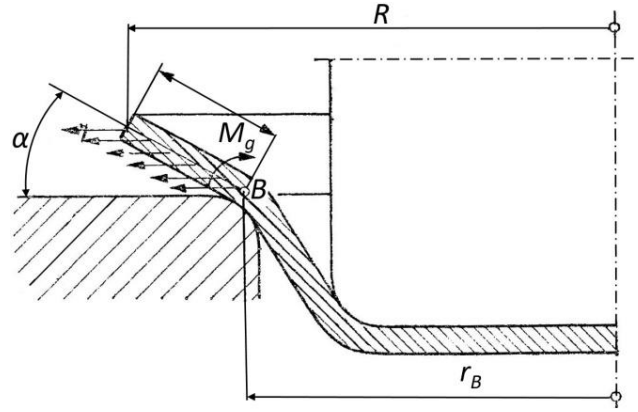
$$R_0^2 - r_B^2 = \frac{R^2 - r_B^2}{\cos \alpha}, \quad (10)$$

kde R_0 je počiatočný polomer kotúča (prístrihu). Z rovnice (11) vyplýva vzťah:

$$\frac{R}{r_B} = \sqrt{\left[\left(\frac{R_0}{r_B} \right)^2 - 1 \right] \cdot \cos \alpha + 1}, \quad (11)$$

ktorý je potrebné dosadiť do (9), aby sa získala sila F vyjadrená výhradne ako funkcia uhla α a ramena b .

Ak leží bod A , v ktorom je plech podporený ťažnicou, príliš ďaleko od okraja výtlačku, môže v bode B vzniknúť dodatočný ohyb plechu, ako je zobrazené na obr. 4. Ak je šírka polovýrobku l ležiaca na vonkajšej strane čiaru dotyku s ťažnicou malá v porovnaní s hrúbkou plechu s , potom vonkajšia časť tvárneného polovýrobku získa podobu kužeľa s uhlom sklonu tvoriacej čiare α menším než v strednej časti výtlačku (obr. 4).



Obr. 4. Ohyb obruby ťahanej nádoby na hrane ťažnice

Približnú hodnotu uhla α je možné určiť v prípade, ak dĺžka tvoriacej čiare voľnej vonkajšej steny (obruby) výtlačku je malá v porovnaní s polomerom bodu dotyku r_B . Pri takomto obmedzení je možné pre zjednodušenie zanedbať vplyv meridiálnych napätí na hodnotu ohybového momentu v bode B prijatím

výrazu $\ln \frac{R}{r_B} \approx 1$, ako aj vplyv týchto napätí na rozloženie obvodových napätí prijatím ich hodnoty $\bar{\sigma}_1 = -\sigma_K = \text{konšt.}$ Rovnica rovnováhy ohybových momentov vzhľadom k bodu B skúmaného výseku polovýrobku so stredovým uhlom θ nadobudne tvar:

$$\frac{\sigma_K \cdot S \cdot \theta \cdot l^2 \cdot \sin \alpha}{2} = \frac{r_B \cdot \theta \cdot s^2}{4} \cdot \sigma_K, \quad (12)$$

z ktorého je možné po zjednodušení určiť hodnotu $\sin \alpha$:

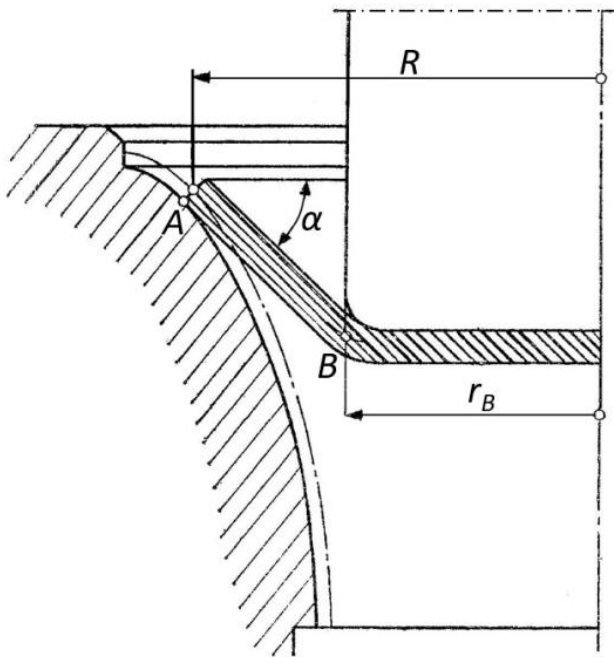
$$\sin \alpha = \frac{r_B \cdot S}{2 \cdot l^2}. \quad (13)$$

Tento vzorec sa líši od vzorca odvodeného pre preťahovanie plechu [10] iba tým, že namiesto polomeru otvoru r_0 je tu polomer ohybu plechu r_B . Prídavný ohyb plechu v bode dotyku s ťažnicou vyvoláva vzrast sily ťažníka. Pre dosiahnutie najvýhodnejších podmienok ťahania je potrebné zvoliť taký obrys pracovnej časti ťažnice, aby bod dotyku ťažnice s výtlačkom bol vždy na tej hrane výtlačku, ako je zobrazené na obr. 5.

Takouto úpravou ťažnice sa dosiahne minimálna sila potrebná na ťahanie a týmto sa znižuje na minimum tvorba vln pri ťahaní. Obrysu ťažnice vyhovuje podmienka, ktorú navrhol T. Pelczynski [1]. Obrys sa dá určiť postupným zostrojovaním radu dotyčníc k obrysu ťažnice. Uhol sklonu dotyčnice pre ľubovoľný bod R sa stanoví podľa závislosti (rov. 9), ktorá sa prepíše do tvaru:

$$\cos \alpha = \frac{R^R \cdot r_B^2}{R_0^2 - r_B^2}. \quad (14)$$

S prihliadnutím ku hrúbke plechu, bude obrysová čiara ťažnice prebiehať vo vzdialenosti $s/2$ od stredovej čiary určenej týmto spôsobom (obr. 5).



Obr. 5. Obrys ťažnice, pri ktorom je obruba nádoby v tangenciálnej polohe voči jej povrchu

Sila ťažníka F sa určí z rovnice (8), v ktorej sa ako rameno b sily N dosadí dĺžka tvoriacej čiary kužeľa:

$$b = l = \frac{R - r_b}{\cos \alpha} \quad (15)$$

Po úprave sa získa závislosť:

$$F = 2 \cdot \pi \cdot r_B \cdot s \cdot \sigma_K \cdot (\cos \alpha + f \cdot \sin \alpha) \cdot \left(A \cdot \frac{s}{r_B} + B \cdot \tan \alpha \right) \quad (16)$$

pričom A a B značia:

$$A = \frac{1 - \ln^2 \frac{R}{r_B}}{4 \cdot \left(\frac{R}{r_B} - 1 \right)}, \quad (17)$$

$$B = \frac{1}{4} \cdot \left(\frac{R}{r_B} + 1 - \frac{2 \cdot \ln \frac{R}{r_B}}{\frac{R}{r_B} - 1} \right)$$

ZÁVER

V predošlom texte bolo uvedené ako sa dá teoreticky pozerať na hlboké ťahanie nádob z hrubšieho plechu s aplikovaním potrebného matematického aparátu, ktorý detailne a podrobne opisuje celý proces. Zámerom príspevku bolo poukázať na komplikované deje, ktoré sa pri takomto spôsobe spracovania plechov vyskytujú.

LITERATÚRA

- [1] MARCINIAK, Z. - DUNCAN, J. L. - HU, S. J. (2004): *Mechanics of Sheet Metal Forming*, Butterworth-Heinemann Jordan Hill, Oxford, 211 p., ISBN 0-7506-5600-0.
- [2] HRIVŇÁK, A. - EVIN, E. - SPIŠÁK, E. (1985): *Technológia plošného tvárnenia*, Bratislava.
- [3] MORAVEC, J. (2015): *Teória tvárnenia kovov*, EDISvyd. UNIZA, Žilina, ISBN 978-80-554-1095-1.
- [4] POLLÁK, L. (1988): *Anizotropia a hlbokotlačnosť ocelových plechov*, ALFA Bratislava.
- [5] MORAVEC, J. (2004): *Hlboké ťahanie v ťažnici traktrix*, NT Žilina, ISBN 80-8070-268-3.
- [6] BOLJANOVIC, V. (2005): *Sheet Metal forming processes and die Design*. ISBN 0-8311-3182-9.
- [7] *Metal Forming, Mechanics and Metallurgy*, Cambridge: University Press. ISBN 978-1-107-00452-8.
- [8] KUNDAR, S. (2004): *Technology of Metal Forming Processes*, ISBN 978-81-203-3425-0.
- [9] LANGE, K. (2004): *Lehrbuch der Umformtechnik*. Berlin: Springer-Verlag Berlin, 496 p. ISBN 978-3540051978.
- [10] MARCINIAK, Z. (1984): *Theorie der Blechformung*. Praha: STNL
- [11] PEARCE, R. (2010): *Sheet Metal Forming*, ISBN 0-7503-0101-5.

Расчеты, необходимые для проектировки и создания реальной модели паровоза

Вадим Васильевич Ищук, Инж.*

Кафедра транспорта и подъёмно-транспортных машин, Машиностроительный факультет,
Жилинский университет в Жилине,
Универзитна 1, 010 26 Жилина.
E-mail: vadym.ishchuk@fstroj.uniza.sk, Тел.: + 421 41 513 2563

Ян Дижо, к.т.н., доц.

Кафедра транспорта и подъёмно-транспортных машин, Машиностроительный факультет,
Жилинский университет в Жилине,
Универзитна 1, 010 26 Жилина.
E-mail: jan.dizo@fstroj.uniza.sk, Тел.: + 421 41 513 2560

Мирослав Блатницкий, к.т.н., доц.

Кафедра транспорта и подъёмно-транспортных машин, Машиностроительный факультет,
Жилинский университет в Жилине,
Универзитна 1, 010 26 Жилина.
E-mail: miroslav.blatnicky@fstroj.uniza.sk, Тел.: + 421 41 513 2659

Денис Молнар, Инж.

Кафедра транспорта и подъёмно-транспортных машин, Машиностроительный факультет,
Жилинский университет в Жилине,
Универзитна 1, 010 26 Жилина.
E-mail: denis.molnar@fstroj.uniza.sk, Тел.: + 421 41 513 2659

Себастьян Солчанский, Инж.

Кафедра транспорта и подъёмно-транспортных машин, Машиностроительный факультет,
Жилинский университет в Жилине,
Универзитна 1, 010 26 Жилина.
E-mail: sebastian.solcansky@fstroj.uniza.sk, Тел.: + 421 41 513 2563

Calculations necessary to design and create a real model of a steam locomotive

Abstract: This article aims to introduce and calculate the basic parameters necessary for a model steam locomotive's proper and safe operation. The calculation of the parameters that will be presented in this article can be divided into two categories. To the first category, we can refer parameters on which the model's performance depends: torque, the minimum amount of steam needed to move the model, the efficiency of the running gear, etc. To the second category of calculations, we can refer parameters on which the safety of movement and operation of the model depends.

ВВЕДЕНИЕ

Целью данной статьи является ознакомление и расчет базовых параметров, необходимых для правильного и безопасного функционирования модели паровоза. Расчет параметров, которые будут представлены в данной статье можно разделить до двух категорий.

К первой категории можем отнести параметры от которых зависит производительность модели, а именно: крутящий момент, минимальное количество пара, которое необходимо для движения модели, мощность модели паровоза, КПД ходового механизма и др.

Ко второй категории расчетов можем отнести параметры от которых зависит безопасность движения и работы модели. В статье будет представлен расчет на изгиб оси колесной пары. Бесперебойная и безопасная работа зависит от прочности оси колесной пары. Оси являются основным несущим элементом в конструкции колесной пары и расчет напряжений в них очень важен, так как поломка оси часто становится причиной серьезной аварии. Ось должна выдерживать все виды нагрузок без пагубного воздействия на материал из которого она изготовлена. При движении локомотива на

каждую ось и особенно на ведущую ось действует целый комплекс разных нагрузок. Все силы, действующие на ось, можно разделить на две группы: вертикальные и горизонтальные. Вертикальные силы образуют группу вертикальных нагрузок: статическая нагрузка от буксового подшипника на шейку оси, вертикальная реакция на рельс и др. Горизонтальные продольные нагрузки: воздействие силы пара на поршне, инерционные силы возникающие в ходовом механизме, реакция силы тяги и тормозной силы.

Наиболее нагруженным местом на оси является шейка буксового подшипника, которая в процессе эксплуатации изнашивается и требует обточки под меньший диаметр, что приводит к увеличению нагрузки [1].

1 РАСЧЕТ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ МОДЕЛИ ПАРОВОЗА

В данном разделе показаны расчеты, необходимый в случае миниатюризации паровоза. В первой части расчетов выводятся соотношения, необходимые для аналитического расчета сил действующих на колеса, мощности, движущего момента и необходимого давления для обеспечения движения модели. Также будут представлены расчеты несущих элементов таких как шатуны и оси колесных пар.

1.1 Расчет сил действующих на колеса

Силы действующие на колеса распределяются как показано на рис. 1. Сила Q представляет собой нагрузку которая передается от оси на рельс от веса всего локомотива [2].

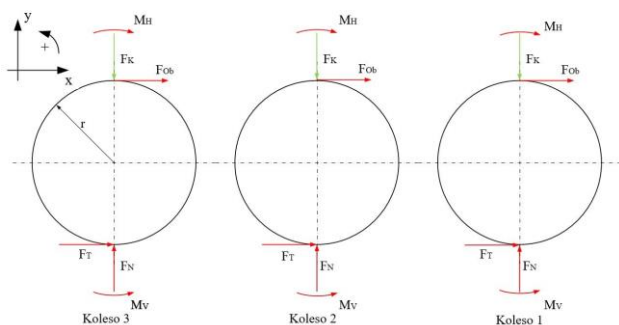


Рис. 1. Распределение сил, действующих на колеса

Общая нагрузка от оси на рельс Q а также нагрузка от оси на рельс одной колесной пары F_k определяется по формулам:

$$Q = m \cdot g, \quad (1)$$

$$F_k = \frac{Q}{3}, \quad (2)$$

где m – полная масса модели паровоза, кг,

g – ускорение свободного падения, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$.

Сила F_k вызывает противоположно направленную нормальную силу F_N , для расчета которой составляем баланс сил в направлении оси y и из которого выводим формулу:

$$\sum F_y = 0 \Rightarrow 0 = F_N - F_k, \quad (3)$$

$$F_N = F_k. \quad (4)$$

Во время движения локомотива возникает сила трения F_T и окружная сила F_O , движущий момент M и момент сопротивления качению M_C . Сила трения F_T определяется по формуле, а для окружной силы составляется уравнение баланса сил:

$$F_T = F_N \cdot f, \quad (5)$$

$$\sum F_x = 0, \Rightarrow 0 = F_T - F_O, \quad (6)$$

из которого мы можем определить:

$$F_O = F_T, \quad (7)$$

где f – коэффициент трения колес, $f = 0,14$.

Движущий момент M определяется по формуле:

$$M = F_O \cdot r_k, \quad (8)$$

где r_k – радиус колеса модели паровоза, м.

Для расчета момента сопротивления качению необходимо построить уравнение равновесного момента до точки O :

$$\sum M_O = 0 \Rightarrow 0 = F_O \cdot r - F_T \cdot r + M - M_C, \quad (9)$$

из которого мы можем определить:

$$M_C = M. \quad (10)$$

1.2 Расчет сил внутри паровой машины

В этом разделе рассчитываются силы, действующие на шатун и поршень внутри цилиндра паровой машины [3]. Также определены: минимальное давление в цилиндре p , необходимое для начала движения модели паровоза, и мощность паровой машины P . Силы распределяются так, как показано на рис. 2.

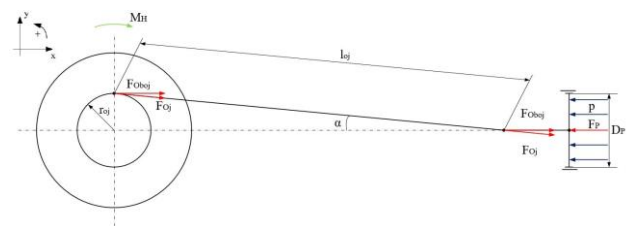


Рис. 2. Распределение сил на шатуне и в цилиндре паровой машины

Окружная сила на кривошипе F_{Ok} определяется по формуле:

$$F_{Ok} = \frac{M}{r_k}, \quad (11)$$

где r_k – длина кривошипа, м.

Для расчета максимального силового воздействия F_{Okmax} сначала определяем максимальный угол развала шатуна α относительно оси поршня по формуле:

$$\alpha = \arcsin \frac{r_k}{l_{ш}}, \quad (12)$$

где $l_{ш}$ – длина шатуна, м,

$$F_{Okmax} = \frac{F_{Ok}}{\cos(\alpha)}. \quad (13)$$

Это означает, что сила в шатуне будет меняться в зависимости от угла α , который изменяется в диапазоне от 0° до $5,41^\circ$. Если угол между шатуном и осью поршня равен 0° , то паровая машина будет находиться в мёртвой точке. Мёртвой точкой называется положение шатунного механизма при котором поршень, движущийся под давлением пара, достигнет своей нижней или верхней конечности а ось шатуна совпадет с осью кривошипа колеса. Если шатунный механизм стоящего паровоза будет находиться в мёртвой точке, то сколько бы пара не было направлено в оба цилиндра, паровоз не сдвинется с места [3].

Давление в цилиндре воздействуя на поршень в результате чего в цилиндре возникает сила F_p . Чтобы рассчитать силу F_p по формуле, необходимо определить общий КПД ходового механизма [4]:

$$\eta = \eta_{ш} \cdot \eta_{ш} \cdot \eta_n \cdot \eta_k, \quad (14)$$

где $\eta_{ш}$ – КПД шарнирного соединения, $\eta_{ш} = 0,96$,

η_n – КПД механизма направляющих поршня, $\eta_n = 0,9$,

η_k – КПД ползуна, $\eta_k = 0,9$,

$$F_p = \frac{F_{Okmax}}{\eta}. \quad (15)$$

Давление в цилиндре p определяется по формуле:

$$p = \frac{4 \cdot F_p}{\pi \cdot D^2}, \quad (16)$$

где D – диаметр цилиндра, м.

Мощность паровой машины P определяется по формуле [4]:

$$P = F_{Ok} \cdot v, \quad (17)$$

где v – скорость движения локомотива, км·час⁻¹.

2 РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ ОСЕЙ КОЛЕСНЫХ ПАР

Ось колесной пары представляет собой балку общей длиной $R = 158$ мм из профиля с круглым сечением диаметром 10 мм. Согласно рис. 3, на ось действуют силы F_A , F_B , которые возникают от общей нагрузки локомотива в месте расположения буксовых подшипников. Центры которых находятся на расстоянии друг от друга на длину $l = 105$ мм. Каждая сила удалена от концов оси на расстояние $a = 26,5$ мм.

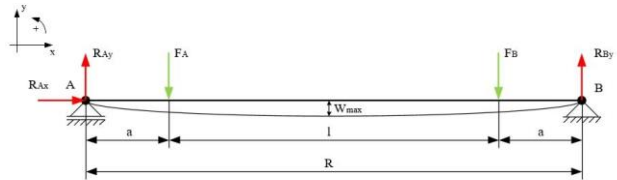


Рис. 3. Схема оси колесной пары

Силы F_A и F_B , действующие в буксовых подшипниках, одинаковы и определяются по формуле в которой общая нагрузка Q от локомотива на рельс разделяется числом буксовых узлов паровоза:

$$F_{A,B} = \frac{Q}{6}. \quad (18)$$

В местах запрессовки колес на шейках осей образуются реакции RAx , RAy , RBy . Реакцию RAx считаем нулевой, а для расчета RAy строим уравнение момента к точке B:

$$\sum M_B = 0 \Rightarrow 0 = -R_{Ay} \cdot R + F_A \cdot (l + a) + F_B \cdot a, \quad (19)$$

из которого выводим формулу:

$$R_{Ay} = \frac{F_A \cdot (l + a) + F_B \cdot a}{R}, \quad (20)$$

Ось и действующие на нее силы симметричны, поэтому можно считать, что реакция RBy равна $-RAy$.

Для расчета изгиба оси необходимо разделить ось на 3 секции, согласно рис. 4.

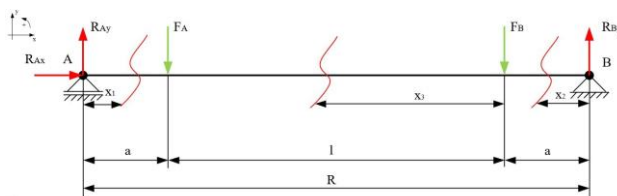


Рис. 4. Схема для вычисления изгиба оси колесной пары

Для I секции применяется следующий расчет:

$$x_1 \in (0, a) \\ M_{c1} = R_{Ay} \cdot x_1 = x_1 \frac{F_A \cdot (l + a) + F_B \cdot a}{R}, \quad (21)$$

так что для граничных положений мы можем определить величину изгибающего момента как:

$$x_1 = 0 \rightarrow M_{c1} = 0, \quad (22)$$

$$x_1 = a \rightarrow M_{c1} = R_{Ay} \cdot a. \quad (23)$$

Для II секции применяется следующий расчет:

$$x_2 \in (0, a)$$

$$M_{c2} = R_{By} \cdot x_2 = x_2 \frac{F_A \cdot (l + a) + F_B \cdot a}{R}, \quad (24)$$

так что для граничных положений мы можем определить величину изгибающего момента как:

$$x_2 = 0 \rightarrow M_{c2} = 0, \quad (25)$$

$$x_2 = a \rightarrow M_{c2} = R_{By} \cdot a. \quad (26)$$

Для III секции применяется следующий расчет:

$$x_3 \in (0, l)$$

$$M_{c3} = -F_B \cdot x_3 + R_{By} \cdot (a + l) = \quad (27)$$

$$= -F_B \cdot x_3 + (a + x_3) \frac{F_A \cdot (l + a) + F_B \cdot a}{R},$$

так что для граничных положений мы можем определить величину изгибающего момента как:

$$x_3 = 0 \rightarrow M_{c3} = R_{By} \cdot a, \quad (28)$$

$$x_3 = l \rightarrow M_{c3} = -F_B \cdot l + R_{Ay} \cdot a. \quad (29)$$

Разложение изгибающего момента оси колесной пары, вызванного нагрузкой на ось, показан на рис. 5 [5].

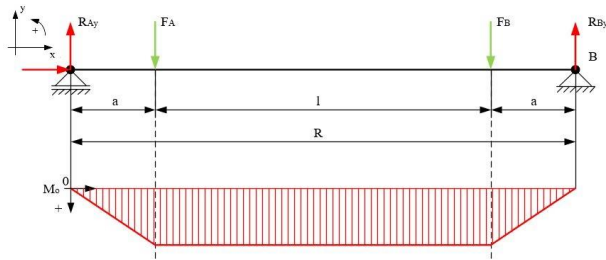


Рис. 5. Разложение изгибающего момента оси колесной пары

ВЫВОДЫ

Результатом статьи является расчет базовых параметров, необходимых для правильного и безопасного функционирования модели паровоза. Важным параметром который был рассчитан с точки зрения производительности модели было минимальное количество пара, которое после

закругления ровняется 0,2 МПа. Данный параметр важен для дальнейшего расчета минимальной толщины стенок котла а также его прочности. Кроме того был рассчитан крутящий момент, мощность модели паровоза и КПД ходового механизма, а также других сил влияющих на эти параметры. Также был произведён расчет изгиба оси колесной пары, как одного из важных параметров влияющих на безопасность движения.

Благодарность

Tento výskum podporila Kultúrna a vzdelávacia grantová agentúra MŠ SR v projekte č. KEGA 023ŽU-4/2020: „Vývoj pokročilých virtuálnych modelov na štúdium a skúmanie prevádzkových charakteristík dopravných prostriedkov.“

Tento výskum podporila Kultúrna a vzdelávacia grantová agentúra MŠ SR v projekte č. KEGA 036ŽU-4/2021: „Implementácia moderných metód počítačovej a experimentálnej analýzy vlastností komponentov vozidiel do vzdelávania konštruktérov dopravných prostriedkov budúcnosti.“

ЛИТЕРАТУРА

- [1] ISHCHUK, V. - DIŽO, J. - BLATNICKÝ, M. - MOLNÁR, D. (2022): *Návrh modelu parného rušňa*. Technológ, Vol. 14, No. 3, ISSN 1337-8996.
- [2] SYROMIATNIKOV, S. P. (1937): *Ústrojenstvo a princíp činnosti parných rušňov a technológia ich opravy*. Moskva: Tanszheldorizdat.
- [3] KALINČÁK, D. (2008): *Koľajové vozidla I*. Žilina: Žilinská univerzita v Žiline, ISBN 978-80-8070-864-1.
- [4] STRUZHENTSOV, I. M. (1935): *Парные машины парных поездов*. Moskva: Tanszheldorizdat.
- [5] BLATNICKÝ, M. (2015): *Dopravné a manipulačné zariadenia: riešené príklady*. Žilina: Žilinská univerzita v Žiline, ISBN 978-80-554-1039-5.
- [6] SÁGA, M. - VAŠKO, M. - KOPAS, P. (2015): *Pružnosť a pevnosť I*. Žilina: Žilinská univerzita v Žiline, ISBN 978-80-554-1118-7.

Zlepšovanie procesov pomocou DMAIC

Beáta Furmannová, Ing., PhD.*

Katedra priemyselného inžinierstva, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 1, 010 26 Žilina.

E-mail: beata.furmannova@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2711, Fax.: + 421 41 513 2701

Gabriela Gabajová, Ing., PhD.

Katedra priemyselného inžinierstva, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 1, 010 26 Žilina.

E-mail: gabriela.gabajova@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2731, Fax.: + 421 41 513 2701

Marián Matys, Ing.

Katedra priemyselného inžinierstva, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 1, 010 26 Žilina.

E-mail: marian.matys@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2740, Fax.: + 421 41 513 2701

Process improvement using DMAIC

Abstract: The article is focused on process improvement using the *DMAIC* method, which is used to improve, optimize and stabilize various processes and designs. The *DMAIC* improvement cycle is a fundamental tool used to manage lean projects. Each step describes what needs to be done to improve processes in the company. Practical examples of process improvement in the area of production are shown on a specific project.

ÚVOD

V posledných rokoch je na organizácie (nevýrobné spoločnosti či výrobné podniky) vyvíjaný neustály tlak na základe zvyšujúcich sa požiadaviek od zákazníkov. Táto skutočnosť núti organizácie k menším, či väčším zmenám vo svojom procese. Schopnosť neustáleho zlepšovania v rôznych oblastiach môže spôsobiť organizáciám celkovú prospernosť a úspešnosť.

Strategickým cieľom organizácie má byť neustále zlepšovanie všetkých procesov. Vedenie organizácie má priebežne usilovať o zvyšovanie efektívnosti svojich procesov bez toho, aby sa čakalo na výskyt problému, ktorý odhalí možnosti jeho zlepšovaniu. Zlepšovanie nie je činnosť náhodná, ale systematická a plánovaná [1].

Prostredníctvom inovácií, trendov a metód priemyselného inžinierstva je možné dosiahnuť zlepšenie výrobného procesu.

1 METÓDA DMAIC

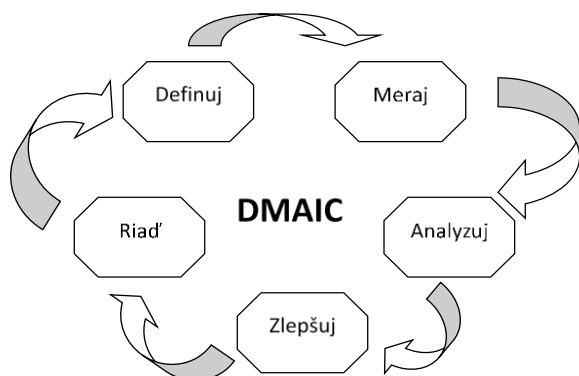
Metóda *DMAIC* je štandardizovaný model zlepšovania procesov v podniku (obr. 1). Flexibilne reaguje na neustále zmeny, vyžaduje schopnosť absorbovať a správne interpretovať široký okruh informácií. Poskytuje jednotný jazyk komunikácie všetkých priamo i nepriamo zúčastnených subjektov.

DMAIC pomáha monitorovať priebeh projektu, zjednotiť spôsob práce rôznych riešiteľov a vybrať pre danú etapu riešenia správne nástroje. Štandardizácia postupov umožňuje eliminovať typické chyby a nedostatky v riešení projektov, medzi ktoré patrí nedodržanie pôvodného účelu a zámeru projektu, snaha prejsť do etapy zlepšovania bez dôkladnej analýzy príčin problému alebo prekročenie plánovaného časového rámca projektu.

DMAIC je odvodený z prvého písmena piatich anglických slov, pričom celá metóda pozostáva z piatich nasledovných krokov [4]:

- *Definuj* = *DEFINE*,
 - definovanie problému,
 - vybranie vhodného projektu a jeho rozsahu,
 - správne zadefinovanie priority a cieľov,
 - vytvorenie riešiteľského tímu,
 - vypracovanie harmonogramu riešenia,
- *Meraj* = *MEASURE*,
 - meranie súčasnej úrovne výkonnosti procesu,
 - zozbieranie dát na validáciu a kvantifikáciu problému a príležitostí,
 - analyzovanie získaných údajov,
 - vyčlenenie faktov poskytujúcich potenciálne vysvetlenia a príčiny vzniku riešeného problému,

- *Analyzuj* = *ANALYZE*,
 - analyzovanie problému s cieľom určiť jeho hlavné príčiny,
- *Zlepšuj* = *IMPROVE*,
 - zlepšovanie procesu opatreniami zameranými na odstránenie pravých príčin problémov,
 - výber najvhodnejšieho riešenia,
 - implementácia navrhnutých zmien do praxe.
- *Riad'* = *CONTROL*,
 - monitorovanie procesu jednotlivých etáp a zavedenie kvalitnej dokumentácie na podporu nového procesu,
 - vytvorenie plánu spätnej odozvy v prípade vzniku problémov,
 - meracie práce, ktoré budú poskytovať aktuálne informácie o výsledných efektoch ako aj o vstupoch a samotnom procese.



Obr. 1. Model zlepšovania DMAIC [3]

Dôležité je vytvorenie riešiteľského tímu po zadefinovaní problému. Mal by pozostávať zo skúsených zamestnancov rôzneho pracovného zaradenia so zmyslom pre kreatívne a konštruktívne riešenie problémov. Tím zastrešuje garant projektu.

Dôležitým predpokladom efektívneho fungovania DMAIC tímu je jeho správne organizačné zabezpečenie. Kladie sa dôraz na zaškolenie a tréning. Tréning môže trvať jeden až štyri týždne, pričom je rozdelený do viacerých fáz. Časová náročnosť školení je závislá od úrovne, v ktorej sa členovia tímu nachádzajú [5].

Po úspešnom ukončení všetkých projektových prác sa DMAIC tím rozpustí a zamestnanci sa vrátia na svoje pôvodné pozície. Vzhľadom k tomu, že sa pohybujú v oblastiach, ktoré sú ovplyvnené navrhnutými zlepšeniami, naďalej prispievajú k rýchlejšiemu udomácneniu inovatívnych metód v praxi [3].

2 ZLEPŠOVANIE PROCESOV V PODNIKU

Metódu DMAIC je možné využiť na rôzne typy projektov ako zvýšenie trvanlivosti náradia,

zlepšovanie procesov vo výrobe, zefektívnenie výrobného procesu, efektívne využitie výrobných plochy, atď.

2.1 Fáza DEFINUJ

V prvej časti cyklu je dôležité zadefinovať si problém a obsah projektu, aby mohol byť projekt predstavený tímu. V prípade, že tím ešte nebol stanovený, je potrebné ho vytvoriť a v prípade potreby ho zaškoliť. Následne určiť, čo je cieľom projektu, jeho časový rozsah a hranice projektu. Potrebné informácie je vhodné spracovať do projektového listu a vypracovať časový harmonogram práce (obr. 2), v ktorom sú rozvrhnuté jednotlivé činnosti projektu.

Harmonogram projektu		Rok		Mesiac		2021				2022			
						November				December			
Názov činnosti		DMAIC - fáza				1	2	3	4	1	2	3	4
1.		D											
2.		D											
3.		D											
4.		D											
5.		M											
6.		A											
7.		A											
8.		I											
9.		I											
10.		I											
11.		I											
12.		C											
13.		C											
14.		C											

Rok		2021											
Mesiac		November				December				Január			
DMAIC - fáza		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
D													
D													
D													
D													
M													
A													
A													

Obr. 2. Ukážka časového harmonogramu projektu

Zadefinovanie rozsahu projektu patrí k najdôležitejším častiam jeho riešenia. Obsahuje všetky prvky, ktoré sa v rámci projektu riešia a prvky, ktoré sú už nad rámec daného projektu (tie, ktoré už s projektom nesúvisia). Zbytočne vynaložené výkony plytvajú časom a predlžujú jeho riešenie.

Na záver každej fázy cyklu je dôležité vykonať jej zhrnutie prostredníctvom popísania štyroch bodov: úspechy, kritické témy, ponaučenie a opatrenia. Tieto body môžeme zhrnúť do tabuľky alebo matice a výstupom je pokračovanie, resp. nepokračovanie do ďalšej fázy.

2.2 Fáza MERAJ

V druhej časti cyklu je potrebné zamerať sa na získanie potrebných informácií a údajov pre zlepšovanie procesov. Pred zberom vstupných údajov sa musia zadefinovať základné údaje a následne graficky zobrazit' súčasný stav procesu. Pomocou procesnej analýzy je možné získať potrebné dáta (obr. 3).

Názov činnosti	Druh činnosti	Trvanie činnosti [s]	Operácia	Transport	Čakanie	Kontrola	Vzdialenosť [m]
	↓	2	○	→	○	○	
	↓	4	○	→	○	○	
	↓	3	○	→	○	○	
	↓	2	○	→	○	○	
	↓	4	○	→	○	○	3,5
	↓	4	○	→	○	○	
	↓	2	○	→	○	○	
	↓	5	○	→	○	○	
	↓	4	○	→	○	○	
	↓	3	○	→	○	○	
	↓	12	○	→	○	○	
	↓	12	○	→	○	○	3,5
	↓	40	○	→	○	○	0,5
	↓	3	○	→	○	○	
	↓	3	○	→	○	○	3,5
Celkom		103					

Obr. 3. Ukážka procesnej analýzy v podniku

Prostredníctvom brainstormingu a afinitného diagramu je možné identifikovať ďalšie problémy na pracoviskách v rámci riešeného projektu. Všetky zistené problémy je potrebné riešiť v ďalšom kroku cyklu.

2.3 Fáza ANALYZUJ

Tretia časť cyklu je zameraná na hľadanie možných príčin jednotlivých problémov, ktoré boli identifikované v predchádzajúcom kroku. Vykonáva sa tu analýza údajov a procesov, hľadajú sa súvislosti medzi vstupnými, výstupnými a procesnými veličinami. Analyzujú sa úzke miesta, hľadajú sa riešenia a navrhujú sa nápravné opatrenia.

V rámci sledovaného projektu boli identifikované niektoré príčiny, ktoré sú uvedené v tab. 1.

Tab. 1. Analyzované príčiny projektu

Koreňová príčina	Nápravné opatrenie
Zastarané zariadenia	Výmena niektorých zariadení
Široké regály na materiál	Zmena nastavenia regálov
Nevyužitý priestor	Zmena layoutu
Nezaškolení zamestnanci	Školenie novoprijatých zamestnancov, prípadne preškolenie
Nedostatok zamestnancov	Zistenie faktorov spokojnosti a motivácie zamestnancov
Dokumentácia v cudzom jazyku	Preloženie dokumentácie do príslušného jazyka zamestnancov

Na uvedené koreňové príčiny boli navrhnuté nápravné opatrenia riešené v ďalšej fáze.

2.4 Fáza ZLEPŠUJ

Vo štvrtej časti cyklu sa určia riešenia, ktoré prinášajú najväčší úžitok a aplikujú sa navrhované opatrenia.

V rámci sledovaného projektu sa menilo nastavenie regálov. Pôvodné regály (obr. 4) boli veľmi široké a zaberali veľa miesta. Uložený materiál sa ťažko hľadal, nakoľko boli veľmi vysoké a hlboké.

Na obr. 5 je znázornený novo navrhnutý regál. Tento regál je znížený na komfortnejšiu výšku pre zamestnancov, upravená hĺbka regálov a v rámci

projektu bola aj prepočítaná potreba jednotlivých kusov regálov.



Obr. 4. Ukážka pôvodných regálov v podniku



Obr. 5. Ukážka nových regálov v podniku

Pri zmene nastavenia regálov došlo k ušetreniu miesta, ktoré je možné využiť na iný účel. Týmto

vznikol priestor pre naprojektovanie nového dispozičného riešenia niektorých pracovísk v podniku. Zmenou nastavenia regálov sa tiež zvýšila bezpečnosť na pracovisku, nakoľko zamestnanci nemuseli vykonávať zbytočné pohyby a hľadať materiál vo vyšších polohách, kde museli používať vyvýšený stupienok.

V projekte sa riešila aj spokojnosť a motivácia zamestnancov, pričom bol navrhnutý nový odmeňovací systém, zavedenie teambuildingov, aj rôzne školenia potrebné pri preškolení zamestnancov.

Preložením dokumentácie sa predišlo zbytočnému čakaniu na technologov a teda aj prestojom.

V závere tejto fázy sa porovná stav pred a stav po zavedení opatrení. Prípadne sa zavedú aj iné opatrenia, ktoré majú súvislosť so zistenými príčinami problémov.

2.5 Fáza RIAĎ

V piatej časti cyklu je potrebné zabezpečiť udržateľnosť navrhovaných riešení a zabezpečiť dodržiavanie zlepšeného procesu a jeho pravidelné kontrolovanie. Preto je dôležité pre vykonané zmeny zaviesť príslušné štandardy. V rámci projektu bolo navrhnuté sledovanie vybraných výrobných dát, niektoré z nich je možné vidieť v tab. 2.

Tab. 2. Sledovanie výrobných dát

Analýza	Počet
Snímka pracovného dňa	Jedenkrát mesačne
Procesná analýza	Jedenkrát za tri mesiace
Školenie novoprijatých zamestnancov	Po prijatí do zamestnania, max. do jedného mesiaca
Preškolenie zamestnancov	Každého pol roka (podľa potreby)
Sledovanie spokojnosti zákazníkov	Jedenkrát za tri mesiace

Nestačí len vytvoriť jednotlivé štandardy, potrebná je disciplína. Jednotliví pracovníci musia dodržiavať spoločne vytvorené štandardy a musia byť s nimi oboznámení. Je nutné zaviesť vytvorené štandardy do riadenej dokumentácie podniku.

V prípade vzniknutých odchýlok od stanoveného procesu je potrebné vypracovať reakčný plán a zaviesť opatrenia na odstránenie odchýlok.

V podnikoch je dôležité vytvárať a využívať nástroje, ktoré budú postupne odstraňovať jednotlivé plytvania.

V každej fáze metódy DMAIC je možné využiť rôzne nástroje priemyselného inžinierstva na základe typu riešenia projektu. Najčastejšie sú využívané metódy ako brainstorming, afinitný diagram, Ishikawov diagram, histogram, SWOT analýza, procesná analýza, riziková analýza, lean techniky,

priemyselná štatistika, regulačné diagramy a podobne. Vždy je potrebné nájsť a použiť nástroje, ktoré pomôžu vyriešiť daný problém. Niektoré z nich je možné použiť pre akýkoľvek typ projektu, iné sú špecifické len na riešenie vybraných problémov.

ZÁVER

Štíhlosť znamená urobiť v kratšom čase, s menšou prácnosťou, menšími financiami a investíciami, menšími zásobami a v menšom priestore. V podnikoch sa štíhle metódy zavádzajú všade tam, kde je to umožnené, teda v zjednodušení zložitosti produktu a výroby, znížení medzioperačných zásobníkov a skladov, či pre najjednoduchšie vykonanie výrobných procesov, materiálových a informačných tokov.

V rámci štíhlych metód je možné pri projektoch použiť metódu DMAIC pre zlepšovanie, optimalizáciu a stabilizáciu procesov v podniku. Zdokonalenie jednotlivých činností v podniku je dôležitou súčasťou konkurencieschopnosti podnikov.

PodĎakovanie

Táto práca bola podporená Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe Zmluvy č. APVV-19-0305.

LITERATÚRA

- [1] BIŇASOVÁ, V. - MIČIETA, B. - BASTIUCHENKO, V. - KASAJOVÁ, M. (2022): *The potential of industrial symbiosis*. [electronic]. InvEnt 2022: Invention for Enterprise, Žilina: Žilinská univerzita v Žiline, 16-19 s., ISBN 978-80-970974-4-8.
- [2] BURGANOVA, N. - GRZNAR, P. - MOZOL, Š. (2021): *Challenges of factory of future in the context of adaptive manufacturing*. [electronic]. InvEnt 2021: Industrial engineering – Invention for enterprise, Bielsko-Biala: Wydawnictwo Akademii Techniczno-Humanistycznej, 32-35 s., ISBN 978-83-66249-77-6.
- [3] BURIETA, J. (2020): *Lean Six Sigma*. [online]. 2020 [cit. 2022-09-21]. Dostupné z: <https://www.ipaslovakia.sk/clanok/usporu-50-268-4-eur-rok-priemerne-dosiahol-kazdy-green-belt-v-lean-six-sigma-projekte>.
- [4] NENADÁL, J. a kol. (2018): *Management kvality pro 21 století*. Praha: Management Press, 357 s. ISBN 978-80-726-1561-2.
- [5] VAVRÍK, V. a kol. (2020): *Design of Manufacturing Lines Using the Reconfigurability Principle*. [electronic]. Mathematics, 8, 1-24 s., ISSN 2227-7390.

Конструктивные особенности современных горных велосипедов, часть 1.

Ян Дижо, к.т.н., доц.*

Кафедра транспорта и подъёмно-транспортных машин, Машиностроительный факультет,
Жилинский университет в Жилине,
Универзитна 1, 010 26 Жилина.
E-mail: jan.dizo@fstroj.uniza.sk, Тел.: + 421 41 513 2560

Мирослав Блатницкий, к.т.н., доц.

Кафедра транспорта и подъёмно-транспортных машин, Машиностроительный факультет,
Жилинский университет в Жилине,
Универзитна 1, 010 26 Жилина.
E-mail: miroslav.blatnický@fstroj.uniza.sk, Тел.: + 421 41 513 2659

Вадим Васильевич Ищук, Инж.

Кафедра транспорта и подъёмно-транспортных машин, Машиностроительный факультет,
Жилинский университет в Жилине,
Универзитна 1, 010 26 Жилина.
E-mail: vadym.ishchuk@fstroj.uniza.sk, Тел.: + 421 41 513 2563

Денис Молнар, Инж.

Кафедра транспорта и подъёмно-транспортных машин, Машиностроительный факультет,
Жилинский университет в Жилине,
Универзитна 1, 010 26 Жилина.
E-mail: denis.molnar@fstroj.uniza.sk, Тел.: + 421 41 513 2659

Себастьян Солчанский, Инж.

Кафедра транспорта и подъёмно-транспортных машин, Машиностроительный факультет,
Жилинский университет в Жилине,
Универзитна 1, 010 26 Жилина.
E-mail: sebastian.solcansky@fstroj.uniza.sk, Тел.: + 421 41 513 2563

Борис Плайдичко

Кафедра транспорта и подъёмно-транспортных машин, Машиностроительный факультет,
Жилинский университет в Жилине,
Универзитна 1, 010 26 Жилина.

Design solutions of modern terrain bikes, the 1st part

Abstract: Cycling and bicycles become still more and more popular. People transport themselves to the work, to the school, to shops and other by bicycles. Bicycles represent quite effective transport means regarding to production of gas emissions, noise emissions together with better possibilities to leave them near to wanted facilities. However, bicycles are suitable for recreations. Currently, trips to nature are very popular. For safe cycling, it is appropriate to use a proper bicycle. There are terrain bicycles, which have the design customized for riding in the heavy-road conditions. This article includes an introduction to the topic of design modern terrain bicycles, their main types and description of their basic characteristics.

ВВЕДЕНИЕ

Велосипед – колесное транспортное средство (или спортивный снаряд), состоящий из рамы с последовательно закрепленными на ней двумя колесами с шинами, с передней поворотной вилкой, который приводится в движение мускульной силой велосипедиста через педали с

шатунами, от которых крутящий момент с помощью цепной передачи, передается на ведомую звезду заднего колеса от ведущей звезды.

Истоки современных горных велосипедов (*MTB - mountain bikes*) можно отнести к 1970-м годам, когда группа велосипедистов в *Марин Кантри*,

Калифорния, США, начала модифицировать и адаптировать велосипеды для езды по бездорожью. Repack - самая известная в мире серия внедорожных гонок, которая является местом рождения горного велосипеда. Первый настоящий горный велосипед был построен в 1977 году Джо Бризом, а уже через год он разработал и вручную изготовил десять велосипедов "Breezer" из никелированной стали и хромированных авиационных труб. Которые по настоящее время находятся в частных коллекциях или музеях.

В Словакии гонки на горных велосипедах начали развиваться в 1992 году, когда Милан Юрчо организовал первую гонку под названием *Liptovský pohár* (Кубок Липтова). В 1994 году Словацкая ассоциация велоспорта взяла шефство над Кубком, и на основе английских сводов был создан свод правил соревнований для внедорожных велосипедных гонок в Словакии [1].

Колеса горных велосипедов, во время езды, подвергаются широкому диапазону различных нагрузок. Самые умеренные из них возникают в радиальном направлении и определяются весом велосипедиста и неровностями поверхности, по которой движется велосипед. Функция высоты неровности поверхности включает в себя амплитуду неровности поверхности, а также длину волны неровности (L), которая затем трансформируется в угловую частоту возбуждения неровности поверхности (ω), что может быть выражено соотношением (рис. 1):

$$h(t) = h_0 \cdot \sin(\omega_t \cdot t), \quad (1)$$

где $h(t)$ – высота неровности [м],

h_0 – амплитуда неровности [м],

ω_t – угловая частота возбуждения неровности [$\text{рад} \cdot \text{с}^{-1}$],

t – время [с],

T – период [с].

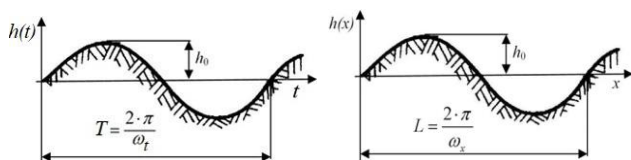


Рис. 1. Расчет высоты неровности поверхности в зависимости от времени (слева) и в зависимости от пройденного расстояния (справа)

Высота неровности местности или траектории движения велосипеда также может быть выражена в виде пройденного расстояния x (рис. 1):

$$h(x) = h_0 \cdot \sin(\omega_L \cdot x), \quad (2)$$

где $h(x)$ – высота неровности [м],

h_0 – амплитуда неровности [м],

ω_L – частота возбуждения траектории неровностей [м^{-1}],

x – пройденное расстояние [м],

L – длина волны неровности [м].

Также, дополнительные нагрузки могут возникать в поперечном направлении. Данные нагрузки воспринимаются в основном шинами велосипеда, а также телом велосипедиста. Более экстремальные нагрузки возникают при движении велосипеда по неровной местности, например, по камням, корням деревьев и т.д. Эти большие или крупные неровности больше не могут поглощаться велосипедными шинами. Чтобы избежать повреждения конструкции велосипеда, например, рамы и других элементов, горные велосипеды оснащаются системой подвески. Система подвески хардтейла состоит из передней вилки, которая обеспечивает амортизацию переднего колеса. Если речь идет про велосипед с полной подвеской, в задней части рамы устанавливается также амортизаторная пружина и демпфер, которые обеспечивают амортизацию заднего колеса. Кроме амортизатора задняя подвеска состоит из задней вращательной рамы, которая соединяет заднее колесо с амортизатором. Подвеска заднего колеса обычно представлена различными типами компоновки элементов подвески.

1 ГОРНЫЕ ВЕЛОСИПЕДЫ – СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ

Горные велосипеды, часто сокращенно называемые *MTB* (*mountain bikes*) – это массивные, прочные велосипеды, предназначенные для езды по пересеченной местности. Поскольку внедорожный велоспорт изначально развивался, в основном, в англоязычных странах, терминология названий до сих пор используется на английском языке, и не принято использовать переведённые термины. По этой причине в дальнейшем часто будет использоваться английская терминология.

1.1 Основное разделение горных велосипедов

Горные велосипеды можно разделить на следующие основные категории:

- скоростной спуск, который объединяет в себе категории фрирайд и даунхилл (*freeride, downhill*),
- кросс-кантри (*cross country*),
- эндуро (*enduro*),
- трейл (*trail*).

Велосипеды для скоростного спуска (фрирайд и даунхилл), имеют схожую геометрию и

компоненты высокой прочности, которые позволяют велосипедисту ехать в гору со сложным рельефом, а также выполнять сложные технические трюки, прыжки и быстрые спуски на пересечённой местности любой сложности. Велосипеды для фрирайда имеют более короткую колесную базу по сравнению с велосипедами для даунхилла.

Кросс-кантрийные велосипеды - это велосипеды с относительно небольшим весом, которые подходят для преодоления подъемов и спусков на более легких трассах, для поездок длящихся в течение нескольких часов.

Задняя подвеска велосипеда эндуро имеет колёсную траекторию (это точная линия, которой следует ось заднего колеса во время полного сжатия подвески) равную 160 мм и более, мощные тормоза и характерный внедорожный протектор шин. Данные особенности позволяют велосипедисту максимально контролировать управление велосипедом, особенно на крутых спусках.

Велосипед для трейлов представляет собой более мягкую версию горного велосипеда с задней подвеской, колесная траектория которой равняется примерно $120 \div 160$ мм. Шины такого велосипеда имеют более универсальный рисунок протектора, который также подходит для относительно эффективной езды по асфальтированным поверхностям [2, 3].

Основными характеристиками, определяющими принадлежность велосипеда к той или иной категории, являются длина передней вилки (величина хода) и величина угла наклона рулевой трубы, этот параметр, отражает степень наклона рулевого стакана по отношению к уровню земли (на рис. 2 изображен как $\Delta H/T$).

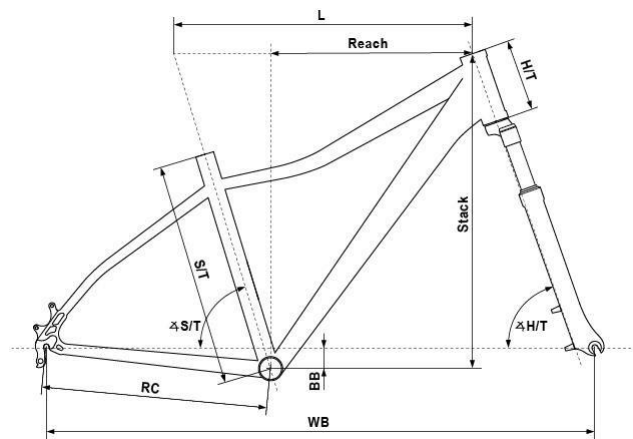


Рис. 2. Геометрия рамы велосипеда - изображение угла наклона рулевой трубы [4]

1.2 Велосипед для скоростного спуска

Типичный велосипед для скоростного спуска (фрирайд и даунхилл) имеет очень

специфическую конструкцию, которую можно отличить с первого взгляда. Большой ход передней вилки, меньший (более острый) угол наклона рулевой трубы и седла, массивная рама. Все эти критерии обеспечивают возможность максимально быстрого спуска по трассам, где есть различные прыжки, препятствия на рельефе, технические проходы, с которыми этот велосипед должен справиться. Основной упор делается на низкий центр тяжести, жесткость рамы и высокую прочность, в то время как вес не так важен. В отличие от остальных типов велосипедов, этот велосипед не подходит для длительных спусков. Они могут быть с полной подвеской (*full*), имеющие амортизацию на обоих колесах или хардтейлами (*hardtail*) без задней подвески. Ход передней вилки составляет 170 мм или более, особенно для категории скоростного спуска предпочтителен ход более 180 мм [5, 6]. Угол наклона рулевой трубы составляет от 62° до 65° [7].

Типичным представителем категории даунхильных велосипедов является *Mondraker Summit* от *Mondraker* (рис. 3).



Рис. 3. Велосипед для скоростного спуска *Mondraker Summit* [8]

1.3 Кросс-кантрийный велосипед

Велосипеды для кросс-кантри имеют характерную конструкцию, ориентированную на быструю езду в гору.



Рис. 4. Кросс-кантрийный велосипед *TREK Subcaliber 9.7* [10]

Это типичная соревновательная категория велосипедов, подходящая для веломарафонов.

Важным параметром является малый вес и высокая эффективность передачи энергии от велосипедиста к колесу. Как правило, они имеют амортизированную переднюю вилку и жесткую раму. Ход передней вилки составляет от 80 мм до 100 мм [5, 6], угол наклона рулевой трубы - от 69° до 71° (68° также используется в более новых версиях) [9].

Типичным представителем класса велосипедов для кросс-кантри является модель *Trek Supercaliber 9.7* от компании *Trek* (рис. 4).

1.4 Велосипед для трейлов

Это самый универсальный тип горного велосипеда. Назначение этих велосипедов - обеспечить максимальный комфорт для велосипедиста как при езде в гору, так и при езде по склону. Они изначально не предназначены для гонок, поскольку в категории трейл их нет. Ход передней вилки составляет от 120 до 140 мм [5, 6], что обеспечивает хорошую устойчивость и максимальную эффективность управления велосипедом. Конструкция рамы велосипеда направлена на то, чтобы вес был небольшим, а значит, велосипед был достаточно легким и комфортным в управлении. Величина угла наклона рулевой трубы варьируется от 67° до 69°, в новых стандартах также указывается 66° [7].

Типичным представителем категории трейл является велосипед *Specialized Stumpjumper* от компании *Specialized* (рис. 5).



Рис. 5. Велосипед для трейлов *Specialized Stumpjumper* [11]

1.5 Эндуро велосипед

Категория велосипедов эндуро была разработана для того, чтобы этот тип велосипеда можно было использовать в максимально возможном количестве соревновательных дисциплин. Конструкция рамы сочетает в себе элементы преимущественно даунхильных и, в меньшей степени, кросс-кантрийных велосипедов, что обеспечивает хорошую управляемость на пересеченной местности, особенно при езде по склонам с подъемами. Центр тяжести больше

смещен на заднее колесо, у него более широкий руль. Легкость и комфорт езды в гору ниже по сравнению с кросс-кантрийными велосипедами или велосипедами для трейлов. Тем не менее, эффективность езды на скоростных спусках довольно высока, поскольку такие характеристики велосипеда, как жесткость рамы, угол наклона рулевой трубы в пределах от 65° до 68° и величина хода передней вилки в пределах от 140 до 160 мм, дают возможность очень быстрой и комфортной езды на скоростном спуске [5-7].

Типичным представителем класса эндуро-байков является *Santa Cruz Nomad Xx1* от компании *Santa Cruz* (рис. 6).



Рис. 6. Эндуро велосипед *Santa Cruz Nomad Xx1* [12]

ВЫВОДЫ

В этой статье содержится основная информация о конструктивных особенностях и дизайне современных горных велосипедов. Перечислены основные типы горных велосипедов, которые используются в настоящее время и которые можно встретить при езде по пересеченной местности. Кроме того, эти велосипеды используются в спортивных целях для скоростного спуска с гор или для участия в велогонках. В следующих статьях будет описана дополнительная информация о конструкции современных горных велосипедов.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Tento výskum podporila Kultúrna a vzdelávacia grantová agentúra MŠ SR v projekte č. KEGA 023ŽU-4/2020: „Vývoj pokročilých virtuálnych modelov na štúdium a skúmanie prevádzkových charakteristik dopravných prostriedkov.“

Tento výskum podporila Kultúrna a vzdelávacia grantová agentúra MŠ SR v projekte č. KEGA 036ŽU-4/2021: „Implementácia moderných metód počítačovej a experimentálnej analýzy vlastností komponentov vozidiel do vzdelávania konštruktérov dopravných prostriedkov budúcnosti.“

ЛИТЕРАТУРА

- [1] PLAJDÍČKO, В. (2020): *Дизайн внедорожного велосипеда* (На словацком языке). Bakalárska práca, Жилинский университет в Жилине, Машиностроительный факультет, номер. 28230920201016.
- [2] ANSARI, М. - NOURIAN, R - MORTEZA, К. (2017): *Mountain bikng injuries*. Competitive Sports, Vol. 16, No. 6, pp. 408-412.
- [3] REDFIELD, R.C. - SULETA, С. (2012): *Mountain bike wheel endurance testing and modeling*. Procedia Engineering, Vol. 34, pp. 658-663.
- [4] KUBICASPORT (2020): *Велосипед Kellys Vanity 30 27,5'' 2020 – Геометрия* (На словацком языке) [онлайн]. 2020 [цит. 2020-05-29]. Доступна с: <https://kubicasport.eu/kellys-vanity-30-27.5-2020>.
- [5] MTBIKER (2018): *SR SUNTOUR 2018 - Вилы для любой местности* (На словацком языке) [онлайн]. 2020 [цит. 2020-05-27]. Доступна с: <https://www.mtbiker.sk/clanky/10227/sr-suntour-2018-vidlice-pre-kazdy-teren.html>.
- [6] HRONZA, R. (2010): *Выбираем горный велосипед Часть 2: сегодня по подвеске, ходу, тормоза и тип велосипедиста* (На чешском языке) [онлайн]. 2020 [цит. 2020-05-27]. Доступна с: https://www.idnes.cz/cestovani/nakole/vybirame-horske-kolo-2-dil-dnes-podle-odpruzeni-zdvihu-brzd-i-typu-cyklisty.A100409_141402_ig_kolo_tom.
- [7] IVO (2016): *Горный велосипед – как правильно выбрать?* (На словацком языке) [онлайн]. 2020 [цит. 2020-05-27]. Доступна с: <https://www.predaj-bicyklov.sk/horsky-bicykel-spravne-vybrat/>.
- [8] EVANS (2018): *Mondraker Summum Carbon Pro Team 2018 Mountain Bike* [онлайн]. 2020 [цит. 2020-05-27]. Доступна с: <https://www.evanscycles.com/mondraker-summum-carbon-pro-team-2018-mountain-bike-EV322117>.
- [9] VELOMET (2019): *Геометрия рамы горного велосипеда - куда они движутся?* (На словацком языке) [онлайн]. 2020 [цит. 2020-05-27]. Доступна с: <http://www.velomet.sk/novinky/geometrie-ramov-horskych-bicyklov-kam-smeruju>.
- [10] TREKBIKES (2020): *Supercaliber 9.7* [онлайн]. 2020 [цит. 2020-05-27]. Доступна с: https://www.trekbikes.com/us/en_US/bikes/mountain-bikes/cross-country-mountain-bikes/supercaliber/supercaliber-9-7/p/28588/.
- [11] LEISURELAKESBIKES (2020): *Specialized Stumpjumper COMP Carbon 12 Speed 29ER 2020 Carbon/Red* [онлайн]. 2020 [цит. 2020-05-27]. Доступна с: <https://www.leisurelakesbikes.com/311428/products/specialized-stumpjumper-comp-carbon-12-speed-29er-2020-carbonred.aspx>.
- [12] BIGBIKE (2018): *Santa Cruz Xx1 Carbon Cc Reserve 2018* [онлайн]. 2020 [цит. 2020-05-27]. Доступна с: <https://www.bigbike.sk/p/santa-cruz-nomad-xx1-carbon-cc-reserve-2018>.

Analýza potenciálu využitia tepla z odpadových vôd pre rodinný dom na Slovensku

Adam Miča, Ing.

Katedra energetickej techniky, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 1, 010 26 Žilina.
E-mail: adam.mica@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2866

Andrej Kapjor, doc. Ing., PhD.*

Katedra energetickej techniky, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 1, 010 26 Žilina.
E-mail: andrej.kapjor@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2879

Analysis of wastewater heat recovery potential for a family house in Slovakia

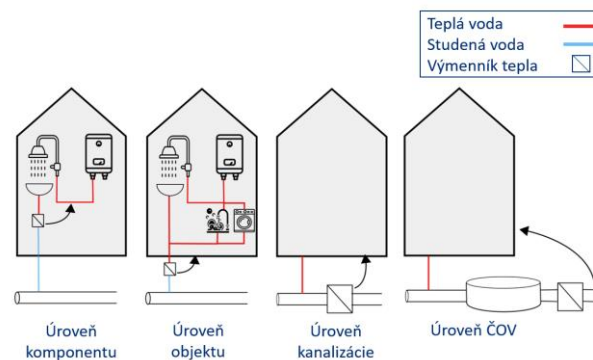
Abstract: All of us have begun to notice the effects of global warming and climate change. Moreover, the current trend in energy prices has reached a point where the concept of energy poverty is becoming more and more prevalent in society. If we want to change this situation, we need to approach energy and work with it very responsibly. That is why heat recovery within households is a key factor in improving the energy economy. Heat recovery from the exhaust air is more or less mandatory for new family houses in *Slovakia*. The energy contained in wastewater is essentially unused in *Slovakia*. In this study, we have performed an analysis of the potential of the energy contained in wastewater for a 4-member household of a family house.

ÚVOD

Cieľom *Európskej únie* je dosiahnuť neutrálnu uhlíkovú stopu, preto je potrebné zaoberať sa účinnými technológiami, ktoré nám pomôžu znížiť vplyv na životné prostredie. Cieľom *Parížskej dohody* je udržať nárast globálnej teploty výrazne pod 2 °C a usilovať sa o jej udržanie na úrovni 1,5 °C [1]. *Slovenská republika* mala v roku 2020 podiel energie z obnoviteľných zdrojov na hrubej konečnej spotrebe energie 17,3 % [2]. Vzhľadom na stanovené ciele *Európskej únie* sa využívanie obnoviteľných zdrojov stalo v posledných rokoch veľmi zaujímavým. *Európska únia* vo svojom investičnom pláne [1] vyčlenila finančné prostriedky na podporu projektov zaoberajúcich sa obnovou tepla. Zároveň v legislatívnej smernici EÚ zaradila odpadovú vodu do kategórie "energia zo životného prostredia", ktorá je za určitých podmienok definovaná ako obnoviteľný zdroj energie [3].

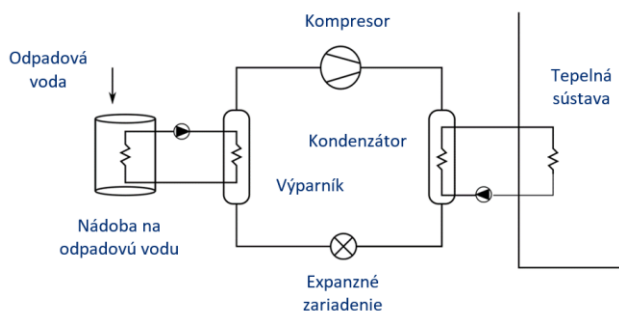
1 VYUŽITIE TEPLA Z ODPADOVEJ VODY

Existuje niekoľko spôsobov, ako môžeme získať teplo z odpadovej vody. V odbornej komunite bolo zvykom rozdeliť jednotlivé spôsoby na štyri základné úrovne, na ktorých môže fungovať spätné získavanie tepla z odpadových vôd: úroveň komponentov, úroveň budov, úroveň kanalizácie a úroveň čistiarne odpadových vôd.



Obr. 1. Potenciálne miesta na zhodnocovanie tepla z odpadových vôd [4]

Na úrovni budovy sa uvažuje o spätnom získavaní tepla zo spoločného vypúšťania odpadových vôd z jednej celej budovy. Prietok odpadovej vody a teplotné charakteristiky tohto vypúšťania závisia od typu budovy. Odpadová voda v bytových domoch si môže počas celého roka udržiavať teplotu 10 °C ÷ 25 °C. Na tejto úrovni sa na účely spätného získavania tepla odpadová voda zvyčajne zhromažďuje v zachytnej nádrži a teplo sa získava pomocou tepelného čerpadla. Na zabránenie znečistenia a zachytenie nečistôt v odpadovej vode sa používa systém zachytávania tukov. Všeobecná schéma spätného získavania tepla z odpadovej vody s tepelným čerpadlom je znázornená na obr. 2 [4].



Obr. 2. Schéma rekuperácie tepla z odpadovej vody na úrovni budovy s tepelným čerpadlom [4]

Náš koncept je určený pre rodinný dom so 4 osobami. Do nádrže na odpadovú vodu s objemom 21 m³ umiestnime kolektor, ktorý bude prepravovať nevyužitú energiu z odpadovej vody do výparníka tepelného čerpadla. Výparník s výkonom 4 kW zvýši kvalitu energie z kolektora, aby sme ju mohli použiť na ohrev teplej úžitkovej vody (TUV). Ak kolektor nebude mať potrebný výkon, spustí sa vonkajšia jednotka tepelného čerpadla, aby vyrovnala rozdiel výkonov (výkon potrebný na ohrev TUV a výkonu kolektora), takže môžeme udržiavať teplotu vody v zásobníku TUV v rozmedzí 50 °C až 60 °C.

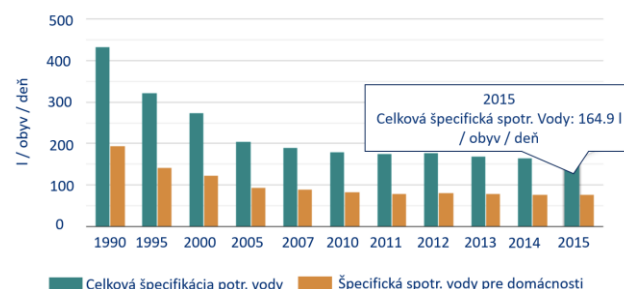
2 MODEL SPOTREBY VODY

Prvým krokom pri rekuperácii tepla je identifikácia potenciálu zdroja tepla. Podrobné informácie o teplote odpadovej vody sa v literatúre nevyskytujú. V posledných rokoch sa vo svete uskutočnilo niekoľko typov výskumov, ktorých cieľom bolo získať potrebné informácie o teplote a prietoku odpadovej vody. Cipolla a Maglionico [5] sledovali teplotu a prietok v kanalizácii v meste Bologna. Podľa ich meraní teplota nikdy neklesla pod 11 °C. K podobnému výsledku merania dospeli aj Ceconet a kol. [6], ktorí aplikovali technológie na spätné získavanie tepla z odpadových vôd v polyfunkčnom objekte v centre Brna. Vo Švédsku je teplota odpadovej vody na úrovni objektu približne 20 °C a v kanalizácii po odovzdaní tepla do prostredia (zeme) sa uvádza 8 °C až 12 °C [7]. Viaceré štúdie a experimentálne zariadenia sa však zhodujú na teplote odpadových vôd v rozmedzí 10 °C až 25 °C [4, 8].

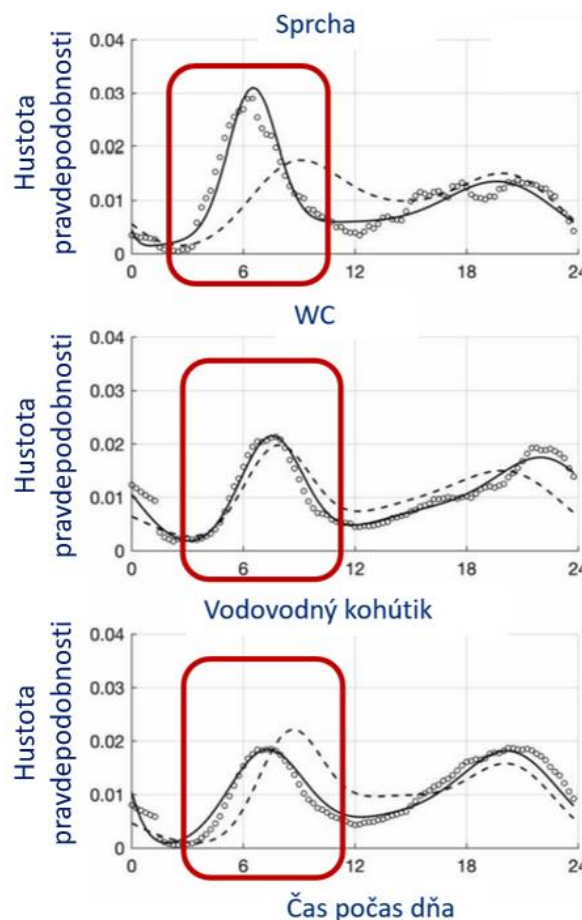
Hlavným parametrom v systéme bude spotreba a teplota vody v domácnosti. Informačný portál rezortu Ministerstva životného prostredia SR uvádza, že v roku 2015 dosiahla špecifická potreba pitnej vody dodávanej do domácností v správe Vodárenských spoločností hodnotu 77,3 l·obyv.⁻¹·deň⁻¹ [9].

Pri našom modeli spotreby vody sme vychádzali zo štúdie spoločnosti Wärff [10], kde uvádzajú dennú spotrebu vody 184 l na osobu, a zároveň sme zohľadnili aj údaje poskytnuté Ministerstvom životného prostredia (pozri obr. 3 Špecifická

spotreba vody na obyvateľa), kde spotreba vody na osobu bola 169 l na deň. Ako referenčnú hodnotu celkovej spotreby vody sme určili 175 l na osobu a deň. Pri určovaní priemernej teploty odpadovej vody sme vychádzali z výskumu [8], kde z ich meraní teplej vody (pozri obr. 5) vyplýva, že približná priemerná hodnota teplej vody je 50 °C a priemerná teplota studenej vody je 19 °C. Podľa meraní Švédskej energetickej agentúry je približne 30 % z celkovej spotreby vody teplá voda [8]. Ako referenčný pomer sme stanovili 30 % teplej vody a 70 % studenej vody z celkovej spotreby vody. Teplota teplej vody sa pohybuje od 50 °C do 60 °C v závislosti od zásobníka TUV. Teplota studenej vody bola 10 °C.



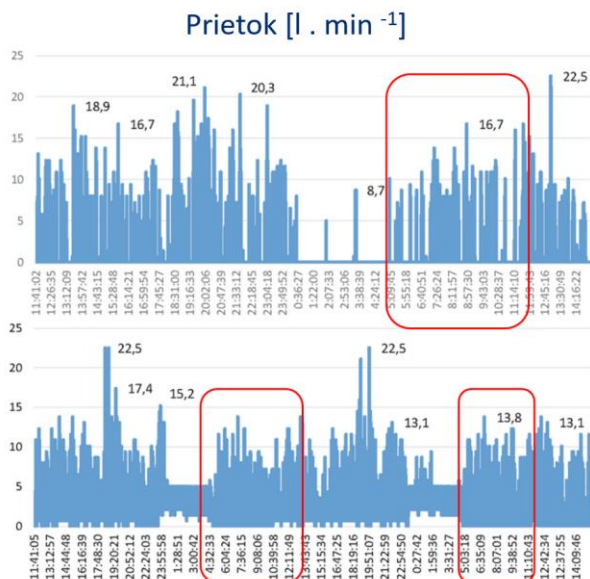
Obr. 3. Špecifická spotreba vody na obyvateľa [9]



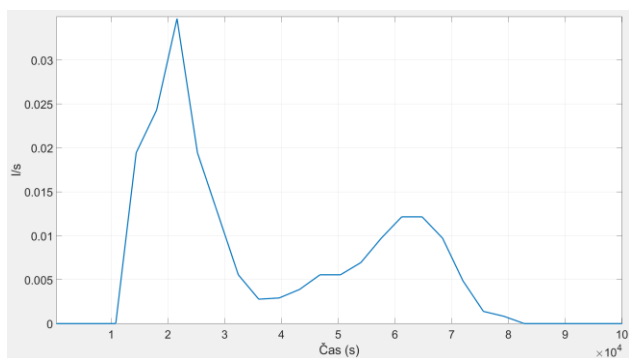
Obr. 1. Pravdepodobná spotreba vody počas dňa [10]

Model dennej spotreby vody bol založený na podobnosti grafu spotreby vody vo Švédskej energetickej agentúre [10] a meraní vykonaných v

práci [8], kde je vidieť zvýšenú spotrebu v ranných hodinách približne v intervale od 5:00 do 10:00. Následne spotreba vody počas dňa klesá až do 17:00, kedy sa spotreba vody opäť zvýši približne na 50 % v porovnaní s rannou špičkovou spotrebou.



Obr. 5. Meraný prietok teplej vody počas pracovného týždňa [8]



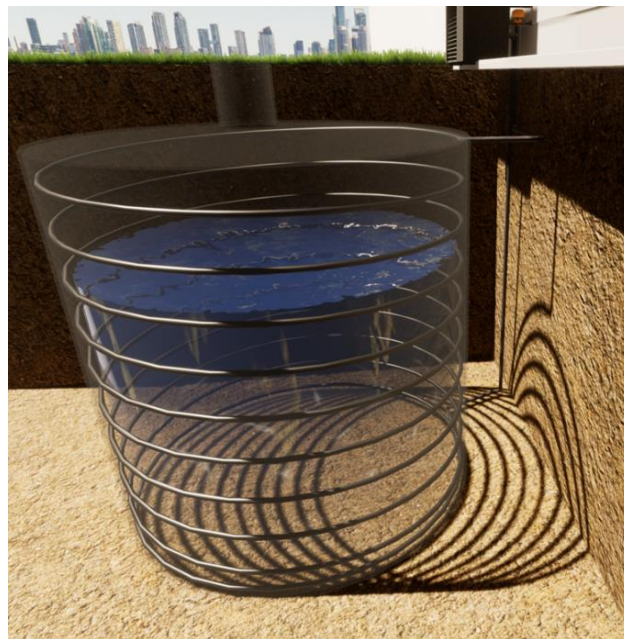
Obr. 6. Model spotreby vody počas pracovného dňa

3 KONŠTRUKCIA NÁDOBY NA ODPADOVÚ VODU

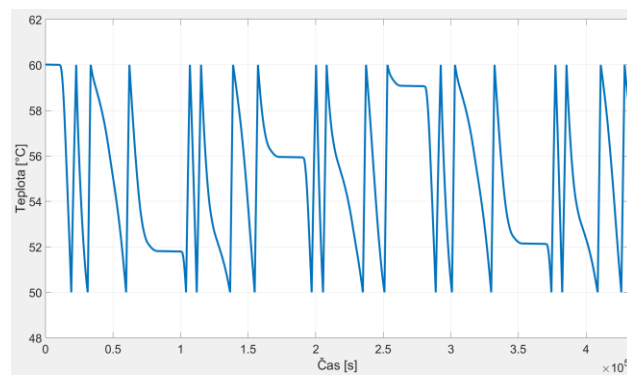
Nádrž na odpadovú vodu sme navrhli ako valec s objemom 21 m³ a rozmermi 3 m v priemere aj na výšku. Špirálovitý zberač je vybudovaný z potrubia DN 32 a bude pripojený k vnútornej stene nádrže na jej výške a obvodu. Pracovným médiom kolektora je 35 % zmes *etylénglykolu* a vody. Materiálom nádrže a kolektora je polyetylén. Kolektor má dĺžku 361 m a celkovú teplo-výmennú plochu 45,36 m².

Prvou časťou systému je zásobník TUV, v ktorom sa teplota vody pohybuje od 50 °C do 60 °C. Objem zásobníka sa udržiava v rovnováhe tak, aby sa vstup vody (10 °C) do zásobníka rovnal výstupu vody zo zásobníka. Odtok z nádrže predstavuje 30 % celkového prietoku odpadovej vody za daný čas (obr. 6).

Ďalšou časťou je nádrž na odpadovú vodu. Prívod odpadovej vody pozostáva zo zmesi studenej (70 %) a teplej (30 %) vody s prietokom podľa modelu spotreby vody v danom čase.



Obr. 7. Nádrž na odpadovú vodu s výmenníkom tepla



Obr. 8. Teplota vody v zásobníku TUV

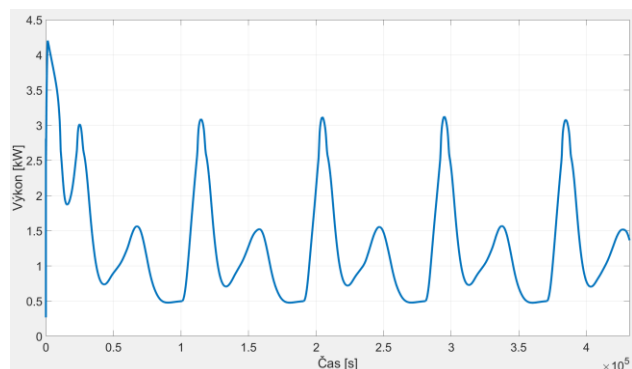
Predpoklady analýzy:

- nádrž na odpadovú vodu je umiestnená v nezamrzajúcej výške,
- voda v nádrži nebude mať viac ako 5 °C, takže teplo zo zeme sa bude prenášať len do nádrže a nie naopak,
- prenos tepla medzi okolím (zemou) sa bude riešiť ako ohrievanie nekonečného masívu,
- akumulácia tepla v stenách nádrže.

Kolektor umiestnený v nádrži na odpadovú vodu bude slúžiť ako výmenník tepla s *etylénglykolom* ako pracovným médiom. Kolektor bude prenášať energiu z odpadovej vody do pracovného média, ktoré môže byť zdrojom tepla pre výparník tepelného čerpadla. Vstupnú teplotu *etylénglykolu* sme stanovili na -5 °C (predpokladaná výstupná teplota výparníka tepelného čerpadla).

4 VÝSLEDKY

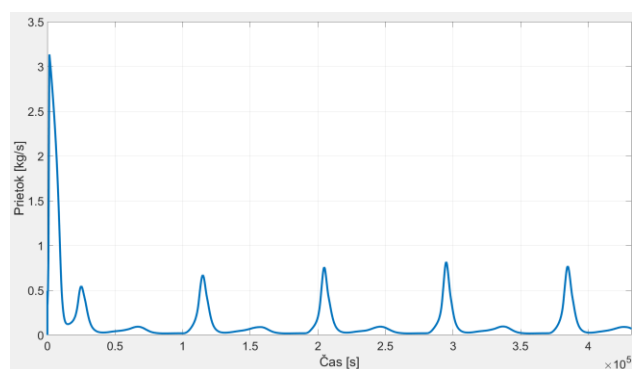
Výpočet sa vykonal v softvéri *Matlab*. Analýza sa vykonávala počas jedného pracovného týždňa. Predpokladali sme, že denná spotreba vody sa bude opakovať pre každý deň v týždni. Výpočet sa vykonal pre každú sekundu pracovného týždňa.



Obr. 9. Maximálny výkon kolektora

Na obr. 9 je vidieť maximálny výkon kolektora v nádrži. Výkon silne závisí od množstva vody pritekajúcej do nádrže (pozri obr. 6). Na začiatku výpočtu vykazuje kolektor výkon viac ako 4 kW v dôsledku počiatočného objemu 3 500 l a teploty vody 5 °C (voda v nádrži dosiahla termodynamickú rovnováhu s okolím). Následne môžeme vidieť výkon kolektora v ustálenom stave. Maximálny a minimálny výkon kolektora v ustálenom stave bol 3113 W a 475 W.

Prietok kolektora bol zvolený tak, aby kolektor dokázal prepraviť aktuálne množstvo energie v nádrži na odpadovú vodu v priebehu jednej hodiny (pozri obr. 10).

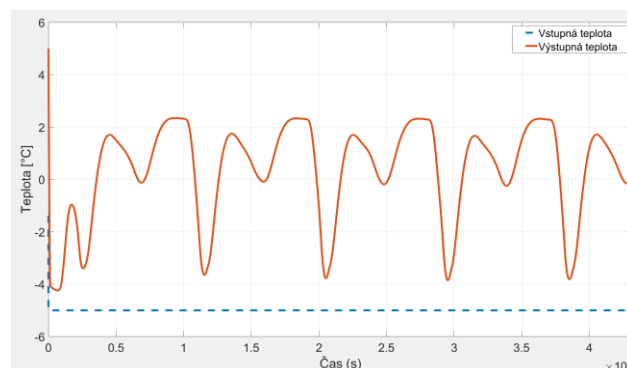


Obr. 10. Prietok kolektora

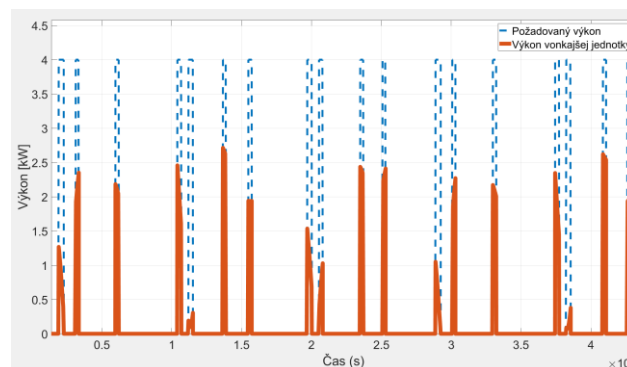
Vstupná teplota *etylénglykolu* do kolektora je -5 °C. V závislosti od výkonu kolektora sa rozdiel medzi vstupnou a výstupnou teplotou pohybuje 1 °C ÷ 7 °C. Ak sa prietok kolektorom úplne nezastaví, kolektor bude prenášať teplo vytvorené okolím nádrže (pozri obr. 11).

Na obrázku vidíme podiel výkonu vonkajšej jednotky na celkovom požadovanom výkone na prípravu TUV. Požadovaný výkon na prípravu TUV závisí od aktuálnej teploty vody v zásobníku TUV. Pokiaľ teplota vody na prípravu TUV nie je nižšia

ako 50 °C, systém nevykazuje žiadny výkon. Keď teplota TUV dosiahne 5 °C a teplo zo zásobníka sa môže dopraviť do výparníka tepelného čerpadla. Tepelné čerpadlo potom zabezpečí požadované zvýšenie kvality energie a jej dopravu do zásobníka TUV.



Obr. 11. Vstupná a výstupná teplota z kolektora



Obr. 12. Podiel potrebného výkonu z výkonom vonkajšej jednotky

ZÁVER

Ak má Európska únia dosiahnuť svoje ambiciózne environmentálne ciele, je nevyhnutné zvýšiť účinnosť využívania energie v domácnostiach. Rekuperácia tepla z odpadových vôd má veľký potenciál pri znižovaní potreby energie v domácnostiach. Umiestnením kolektora do nádrže na odpadovú vodu môžeme dodať viac ako 50 % energie potrebnej na prípravu TUV v obdobiach najväčšieho dopytu. Aby sme mohli presne určiť energetický potenciál nádrže na odpadovú vodu, musíme poznať čo najpresnejšie údaje o prietoku a teplote. Žiadna literatúra ani norma takéto informácie neobsahuje, takže v tejto oblasti je ešte potrebný ďalší výskum.

Podakovanie

Článok vznikol za podpory projektov KEGA 021ŽU-4/2021 „Premeny primárnej energie na teplo/chlad použitím termodynamických cyklov a kompresorového obehu s pracovnou látkou (chladivom) CO₂“ a KEGA 032ŽU-4/2022 „Implementácia poznatkov o moderných spôsoboch znižovania záťaže životného prostredia pri

energetickom využívaní tuhých palív a odpadov do pedagogického procesu.“

LITERATÚRA

[1] European Commission, *Investing in a climate-neutral future for the benefit of our people*, 2020.

[2] *ec.europa.eu: EU overachieves 2020 renewable energy target*, [Online], Available: shorturl.at/fgtUZ [3 March 2022], 2022.

[3] *The European Parliament and The Council, Directives on the promotion of the use of energy from renewable sources*, 2018.

[4] NAGPAL, H. - SPRIET, J. - MURALI, M.K. - MCNABOLA, A. (2021): *Heat Recovery from Wastewater - A Review of Available Resource*. *Water* 2021, Vol. 13, No. 9, pp. 1274.

[5] CIPOLLA, S.S. - MAGLIONICO, M. (2014): *Heat Recovery from Urban Wastewater: Analysis of the Variability of Flow Rate and Temperature*, *Energy and Buildings*, Vol. 69, pp. 122-130.

[6] CECCONET, D. - RAČEK, J. - CALLEGARI, A. - HLAVÍNEK, P. (2020): *Energy Recovery from Wastewater: A Study on Heating and Cooling of a Multipurpose Building with Sewage-Reclaimed Heat Energy*, *Sustainability*, Vol. 12, No. 1, pp. 107.

[7] ARNELL, M. - LUNDIN, E. - JEPSSON, U. (2017): *Sustainability Analysis for Wastewater Heat Recovery - Literature Review*, Lund University Technical Report, p. 41.

[8] KRAFČÍK, M. - PERÁČKOVÁ, J. (2018): *What are the cold and hot water flow rates in an apartment building in Bratislava?* [Online], Available: shorturl.at/A3579 [3 March 2022].

[9] *enviroportal.sk* (2016): *Specific water consumption per person*, [Online], Available: shorturl.at/bGN67 [3 March 2022].

[10] WÄRFF, C. et al. (2020): *Modelling Heat Recovery Potential from Household Wastewater*. *Water Science & Technology*, Vol. 81, No. 8, pp. 1597–1605.

Orgány riaditeľnosti a stability letúnov, 1. časť

Sebastián Solčanský, Ing.*

Katedra dopravnej a manipulačnej techniky, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina.
E-mail: sebastian.solcansky@fstroj.uniza.sk

Ján Dižo, doc. Ing., PhD.

Katedra dopravnej a manipulačnej techniky, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina.
E-mail: jan.dizo@fstroj.uniza.sk, Tel.: +421 41 513 2560

Miroslav Blatnický, doc. Ing., PhD.

Katedra dopravnej a manipulačnej techniky, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina.
E-mail: miroslav.blatnický@fstroj.uniza.sk, Tel.: +421 41 513 2659

Vadym Ishchuk, Ing.

Katedra dopravnej a manipulačnej techniky, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina.
E-mail: vadym.ishchuk@fstroj.uniza.sk, Tel.: +421 41 513 2659

Flight control and stability surfaces of planes, the 1st part

Abstract: This paper deals with flight control and stability surfaces, where is a comprehensive overview of control and stability surfaces of airplane, especially tail surfaces. These are analysed from the perspective of functions, locations and division. Also part of the paper is dedicated to definition of airplane, flight characteristics and division of aircraft into individual types.

ÚVOD

Už od počiatkov civilizácie ľudstvo sledovalo vtáky ich slobodu pohybu, rýchlosť a voľnosť. Snažili sa získať schopnosť letu. V histórii sa vyskytuje množstvo príbehov o pokusoch lietať. Od tých menej skutočných ako je príbeh o *Ikarovi* až po príbehy o krátkych letoch na šarkanoch alebo padákoch. Éra moderného letectva začína prvým letom v teplovzdušnom balóne v roku 1783. Pohyb balónu bol obmedzený len smerom nahor a nadol a tak sa začalo s vývojom riadených balónov, vzducholodí. Významný deň pre moderné letectvo je 17. decembra 1903, kedy bratia *Wrightovci* uskutočnili let na lietadle, ktoré bolo ťažšie ako vzduch a poháňané bolo motorom. Počas prvej svetovej vojny sa lietadlá stali bežnou súčasťou armád. V medzivojnovom období sa už začali využívať na prepravu osôb a nákladu a dochádzalo k budovaniu letísk. Počas druhej svetovej vojny došlo opäť k veľkému skoku v letectve. Objavili sa prvé prúdové a raketové pohony.

1 LIETADLÁ

Lietadlo definujeme ako zariadenie, ktoré je schopné lietať v atmosfére nezávisle od zemského povrchu, prepravovať na palube osoby alebo náklad, dokáže bezpečne vzlietať a pristávať a byť aspoň čiastočne riaditeľné [1].

1.1 Rozdelenie lietadiel

Medzi hlavné znaky delenia lietadiel patrí spôsob prekonávania gravitačnej sily *Zeme* a odporu vzduchu.

Podľa princípu vytvárania vztlaku:

- lietadlá ťažšie ako vzduch,
- lietadlá ľahšie ako vzduch.

Podľa princípu prekonávania odporu:

- bezmotorové lietadlá,
- motorové lietadlá.

Lietadlá je možné ďalej deliť podľa ostatných kritérií ako sú napríklad vedľajšie znaky, ktoré sú

charakteristické pre určitú skupinu lietadiel. Podľa týchto delíme lietadlá na základe:

- konštrukčných znakov,
- prevádzkových rýchlostí,
- vzletu a pristátia,
- doletu,
- účelu použitia,
- pohonu,
- používanej prevádzkovej plochy,
- vzletovej hmotnosti.

1.2 Druhy lietadiel

Letún je motorové lietadlo ťažšie ako vzduch, pri ktorom vztlak potrebný na let vyvolávajú aerodynamické sily na nosných plochách nepohyblivých proti lietadlu.

Vrtuľník je motorové rotorové lietadlo, ktorého rotor je poháňaný motorom. Ťah na dopredný let je vyvolaný zložkou aerodynamickej sily rotoru do smeru dráhy.

Vírník má na rozdiel od vrtuľníka rotor roztáčaný prúdom vzduchu. Pre vytvorenie tohto prúdu resp. doprednej rýchlosti musí byť vírník poháňaný vrtuľou alebo ťahom v lane (za vozidlom).

Premenné lietadlo je motorové lietadlo ťažšie ako vzduch, ktoré môže počas letu meniť spôsob vytvárania potrebného vztlaku.

Klzák je bezmotorové lietadlo ťažšie ako vzduch, vztlak je vyvolaný aerodynamickými silami na nosných plochách a ťah prevažne vytvorený zložkou ťažných síl klzáka do smeru dráhy.

Balón je bezmotorové lietadlo ľahšie ako vzduch. Má veľmi malú riaditeľnosť a je veľmi závislý na poveternostných podmienkach.

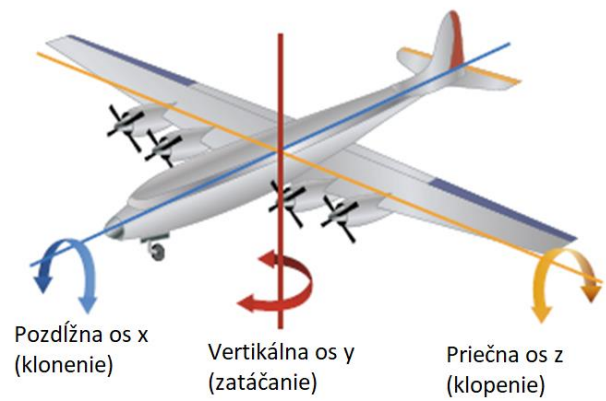
Vzducholod' je riaditeľné motorové lietadlo ľahšie ako vzduch. Dopredný ťah sa vytvára motormi poháňanými vrtuľami [2].

2 LETOVÉ VLASTNOSTI

Letové vlastnosti sú základné vlastnosti, ktoré ovplyvňujú schopnosť letu a zároveň sú dôležité aj pre bezpečnosť. Letové vlastnosti sa delia na:

- stabilitu,
- riaditeľnosť.

Stabilita lietadla je schopnosť lietadla vrátiť sa bez zásahu pilota do ustáleného pôvodného režimu letu, z ktorého bol nejakou vonkajšou silou vychýlený. Stabilitu môžeme rozdeliť na stabilitu s pevným riadením, kedy je kormidlo držané v polohe pôvodného letu a na stabilitu s voľným riadením, kedy je kormidlo voľné. Na obr. 1 sú zobrazené možné pohyby letúna a osi.



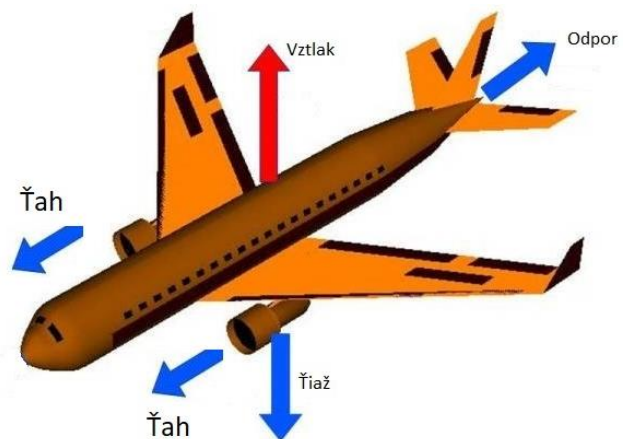
Obr. 1. Možný pohyb letúna okolo osí

Riaditeľnosť lietadla skúma správanie sa lietadla pri určitých zásahoch pilota do jeho riadenia [3]. Riaditeľnosť je potrebné ďalej deliť na základe typu letu na:

- základné prípady:
 - ovládateľnosť,
 - obratnosť,
 - vyvažiteľnosť,
 - tiaživosť.
- zvláštne prípady:
 - pri pretiahnutí,
 - vo vývrtke,
 - pri maximálnych rýchlostiach,
 - pri štarte a pristávaní,
 - pri zatáčkach,
 - pri akrobatických obratoch.

2.1 Vztlak, ťažisko a aerodynamické centrum

Vztlak je sila, ktorá pôsobí proti tiaži lietadla a drží ho vo vzduchu (obr. 2). Vztlak je vytváraný každou časťou lietadla ale najviac vztlaku sa vytvára na krídlach. Vztlak je teda mechanická aerodynamická sila, ktorá vzniká pohybom lietadla vo vzduchu. Ide o vektorovú veličinu, ktorá má svoj smer a veľkosť. Vzťah na výpočet vztlaku Y je uvedený v rovnici (1).



Obr. 2. Vztlak

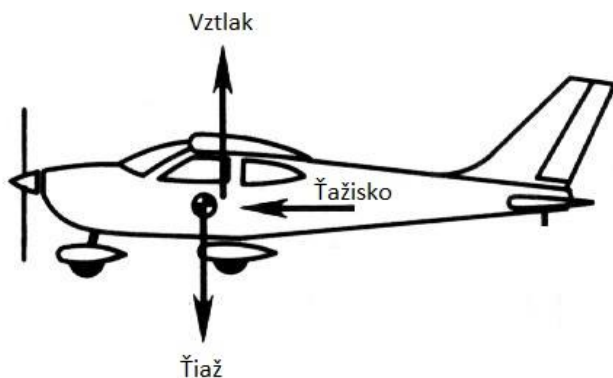
$$Y = \frac{1}{2} \cdot \rho_{VZ} \cdot v_{PV}^2 \cdot S_K \cdot C_Y, \quad (1)$$

kde ρ_{VZ} je hustota vzduchu [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$],

v_{PV} je rýchlosť prúdiaceho vzduchu [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$],

S_K je plocha krídla [m^2],

C_Y je súčiniteľ aerodynamického vztľaku [-].



Obr. 3. Ťažisko

Ťažisko lietadla (obr. 3) je myslený bod, v ktorom sa sústreďí celá hmotnosť lietadla. Ak riadiace plochy menia veľkosť generovaného vztľaku dochádza k rotácii lietadla práve okolo ťažiska. Vzťah na výpočet polohy ťažiska T lietadla je uvedený v rovnici (2).

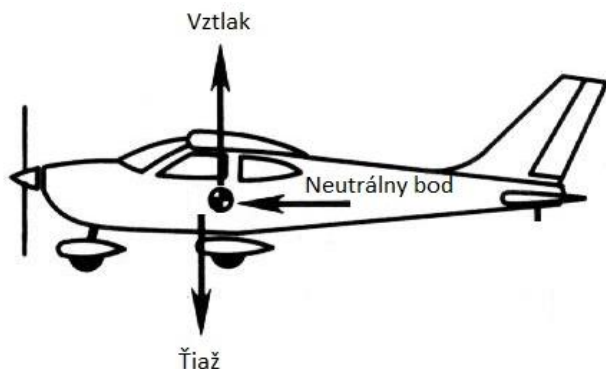
$$m_{\text{celk.}} \cdot T = \sum_{i=1}^n (m_i \cdot r_i), \quad (2)$$

kde $m_{\text{celk.}}$ Je celková hmotnosť sústavy lietadla [kg],

m_i sú hmotnosti jednotlivých uvažovaných telies lietadla [kg],

r_i sú polohy jednotlivých uvažovaných telies lietadla [m].

Aerodynamické centrum je stred profilu, krídla alebo lietadla. Je to bod, ku ktorému sú vznikajúce momenty nemenné. Aerodynamické centrum pre celé lietadlo sa nazýva aj neutrálny bod (obr. 4) [4].



Obr. 4. Neutrálny bod

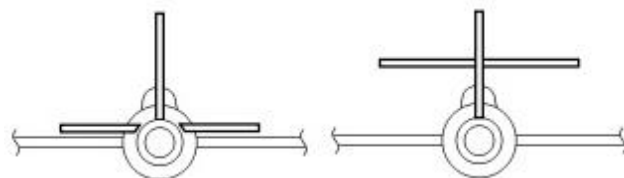
3 ORGÁNY RIADITEĽNOSTI A STABILITY

Stranová aj pozdĺžna stabilita je závislá od vzájomnej polohy neutrálneho bodu letúna a jeho ťažiska, je teda daná vzájomným nastavením krídla, trupu a chvostových plôch. Riaditeľnosť je zabezpečená pomocou zariadení, ktoré sú schopné meniť polohu neutrálneho bodu letúna, ako sú kormidlá a vyvažovacími prostriedkami.

3.1 Chvostové plochy

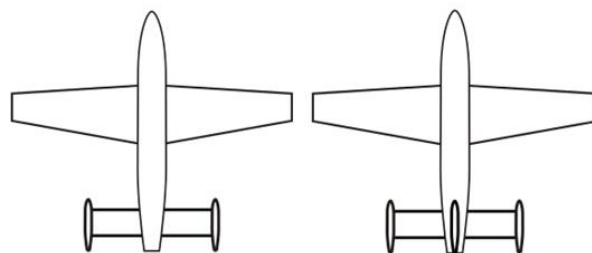
Hlavnou úlohou chvostových plôch je zabezpečiť stabilitu letúna a teda jeho priamy let. Chvostové plochy musia byť umiestené tak, aby nedochádzalo k ich kmitaniu vplyvom výtokových plynov z pohonných jednotiek. Chvostové plochy sa vyhotovujú v rôznych prevedeniach.

Klasické usporiadanie chvostových plôch je najpoužívanější typ usporiadania a je zobrazený (obr. 5). V takomto usporiadaní sa chvostové plochy delia na vertikálnu a horizontálnu plochu. Hlavnou úlohou horizontálnych chvostových plôch je zabrániť pohybu nosa smerom hore a nadol, čo sa nazýva klopenie (angl. *pitch*). Hlavnou úlohou vertikálnych chvostových plôch je zabrániť kývaniu nosu letúna zo strany na stranu, čo sa nazýva zatáčanie (angl. *yaw*).



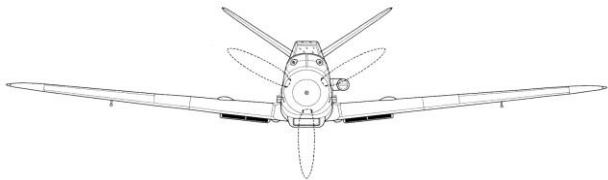
Obr. 5. Klasické usporiadanie chvostových plôch

Usporiadanie s dvomi alebo tromi zvislými plochami (obr. 6) sa využíva najmä z dôvodu zvýšenia účinnosti horizontálnych plôch, zmenšovania pôsobiacej aerodynamickej sily, vďaka čomu sa zníži krútiaci moment, ktorý pôsobí na zadnú časť letúna. Nevýhodou predstavuje zaťažovanie horizontálnej plochy na jej koncoch, čo sa prejavuje najmä na pevnostnom vyhotovení.



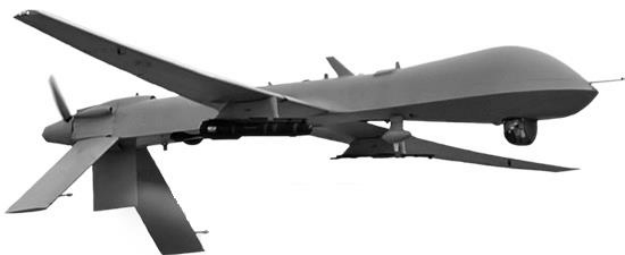
Obr. 6. Usporiadanie chvostových plôch s dvomi alebo tromi zvislými plochami

Motýlikové usporiadanie (obr. 7) nevyužíva vodorovné a zvislé chvostové plochy, ale ide o plochy, ktoré sú pod určitým uhlom priložené ku trupu letúna v jeho zadnej časti. Plocha takéhoto usporiadania je menšia, tzn. tvorí menší aerodynamický odpor a znižuje hmotnosť letúna. Nevýhodou takéhoto usporiadania je zrejmá z absencie horizontálnej a zvislej chvostovej plochy a to, že kormidlá musia zabezpečiť smerové aj pozdĺžne riadenie.



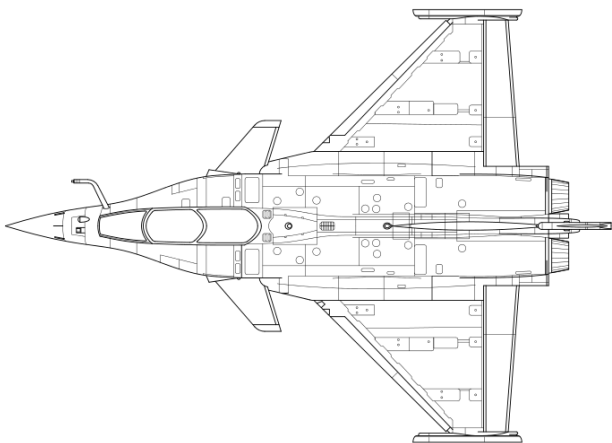
Obr. 7. Motýlikové usporiadanie chvostových plôch

Obrátené motýlikové usporiadanie je v podstate motýlikové usporiadanie, ktoré je prichytené na spodnej časti trupu letúna. Obrátené motýlikové usporiadanie (obr. 8) zdieľa mnoho plusov a mínusov motýlikovho usporiadania, ale v praxi sa nevyskytuje tak často. Nevýhodou takéhoto usporiadania je najmä redukcia schopnosti rotácie.



Obr. 8. Obrátené motýlikové usporiadanie chvostových plôch

Na rozdiel od predchádzajúcich typov usporiadaní chvostových plôch, pre ktoré bolo typické, že sa nachádzajú za ťažiskom letúna, je pre *usporiadanie typu kačica* (obr. 9) charakteristická jeho pozícia pred nosnou plochou letúna tzn. pred aerodynamickým centrom.



Obr. 9. Usporiadanie typu kačica

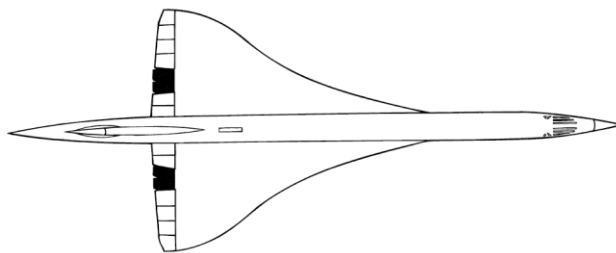
Možno ich považovať za destabilizujúce plochy pretože stabilitu pri stúpaní zabezpečuje hlavné krídlo. Využívajú sa najmä pri nadzvukových letúnoch na zlepšenie vlastností pri malých rýchlostiach a taktiež na kontrolu obtekania prúdu vzduchu okolo hlavného krídla pri nadzvukových letoch.

Usporiadanie typu Y (obr. 10) je možné považovať za variant motýlikovho usporiadania, pretože ide len o pridanú vertikálnu chvostovú plochu. Rovnako ako pri motýlikovom usporiadaní je potrebné na riadenie použiť kombináciu kormidla a výškového kormidla, v opačnom prípade by išlo v podstate o klasické usporiadanie. Avšak niekedy sa môže kormidlo umiestňovať aj na pridanú vertikálnu chvostovú plochu čím sa dosiahne zvýšenie účinnosti pohybu letúna okolo vertikálnej osi.

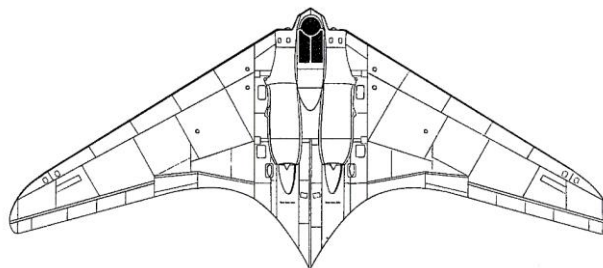


Obr. 10. Usporiadanie typu Y

Usporiadanie bez chvostovej plochy je využívané pri letúnoch, ktoré majú dostatočne vyvinuté letové vlastnosti vďaka samotnému krídlu. Takéto usporiadanie môže byť úplne bez chvostových plôch (obr. 11) alebo sa na letúni nenachádza horizontálna chvostová plocha (obr. 12). Špeciálnym prípadom usporiadania bez chvostových plôch je *samokrídlo*, kde je trup súčasťou krídel.



Obr. 11. Usporiadanie bez chvostových plôch s horizontálnou plochou



Obr. 12. Usporiadanie bez chvostových plôch (samokrídlo)

ZÁVER

Článok zhŕňa základné rozdelenie lietadiel na základe princípu prekonávania odporu a gravitácie a delí lietadlá na jednotlivé základné druhy. Sú definované základné letové vlastnosti, vztlak, ťažisko a aerodynamické centrum. Ďalej je v článku uvedené základné delenie jednej z hlavných stabilizačných a riadiacich plôch a to chvostových plôch. Je popísané umiestnenie jednotlivých chvostových plôch a ich výhody a nevýhody.

PodĎakovanie

Tento výskum podporila Kultúrna a vzdelávacia grantová agentúra MŠ SR v projekte č. KEGA 023ŽU-4/2020: „Vývoj pokročilých virtuálnych modelov na štúdium a skúmanie prevádzkových charakteristík dopravných prostriedkov.“

Tento výskum podporila Kultúrna a vzdelávacia grantová agentúra MŠ SR v projekte č. KEGA 036ŽU-4/2021: „Implementácia moderných metód počítačovej a experimentálnej analýzy vlastností komponentov vozidiel do vzdelávania konštruktérov dopravných prostriedkov budúcnosti.“

LITERATÚRA

[1] BEŇO, L. (1988): *Lietadlá*. Bratislava: Alfa.

[2] HLAVŇA, V. - GERLICI, J. - LABUDA, R. - LANG, A. (2006): *Dopravný prostriedok - teória*. Žilina: EDIS - vydavateľstvo ŽU. ISBN 80-8070-498-8.

[3] SLYŠKO, A. (1973): *Aeromechanika II: Letové vlastnosti lietadiel*. Bratislava: Alfa.

[4] NĚNIČKA, J. (2008): *Slovník vybraných pojmů*. In e-magazín Akademie letectví. vol. 2008, no. 6.

[5] FIELDING, J. P. (2017): *Introduction to Aircraft Design*. Cambridge University Press, 302 p.

[6] AMES, L. J. (2012): *Draw 50 Airplanes, Aircraft, and Spacecraft*. Watson-Guption Publications, 64 p.

[7] MEHTA, P. K. (2013): *Aircraft Basic Science*. McGraw-Hill Education – Europe, 480 p.

[8] Kolektív autorov (2016): *Učebnice pilota 2016 pro žáky a piloty všech druhů letounů a sportovních létajících zařízení, provozujících létání jako svou zájmovou činnost*. Svět křídél - nakladatelství letecké literatury, Cheb - Podhrad, 408 s., ISBN 978-80-87567-89-0.

[9] SOLČANSKÝ, S. (2018): *Orgány riaditeľnosti a stability lietadiel*. Bakalárska práca, Žilinská univerzita v Žiline, Strojnícka fakulta, č. 28030920181020.

Vysokopružné hriadeľové spojky s navíjacími pružinami

Peter Kaššay, doc. Ing., PhD.*

Katedra konštrukčného a dopravného inžinierstva, Ústav mechaniky, energetického a konštrukčného inžinierstva, Strojnícka fakulta, Technická univerzita v Košiciach, Letná 1/9, 042 00, Košice-Sever.
E-mail: peter.kassay@tuke.sk, Tel.: +421 55 602 2369

Matej Urbanský, Ing., PhD.

Katedra konštrukčného a dopravného inžinierstva, Ústav mechaniky, energetického a konštrukčného inžinierstva, Strojnícka fakulta, Technická univerzita v Košiciach, Letná 1/9, 042 00, Košice-Sever.
E-mail: matej.urbanský@tuke.sk, Tel.: +421 55 602 2368

Highly flexible spiral spring couplings

Abstract: The paper presents two newly developed flexible shaft coupling. These coupling types use spiral springs as flexible elements. The main advantage of this design is that the couplings could have large twist angle and low torsional stiffness. Another advantage is that spiral springs are made of metal and their mechanical properties change with aging, temperature and other factors less than rubber flexible elements.

ÚVOD

Pružné hriadeľové spojky sa používajú na pružný prenos krútiaceho momentu medzi hnacím a poháňaným hriadeľom [3]. Pružný prenos krútiaceho momentu krútiaceho momentu je umožnený využitím kovových alebo gumových pružných elementov [4, 5, 8, 10]. Okrem prenosu krútiaceho momentu pružné spojky zabezpečujú aj vyrovnanie radiálnych a axiálnych odchýlok polohy spájaných hriadeľov, a tiež tlmia torzné kmity a rázy [1, 2].

Dôležitým parametrom pružných hriadeľových spojok zaradených v mechanických sústavách s periodicky sa meniacim krútiacim momentom je ich dynamická torzná tuhosť, lebo ovplyvňuje vlastnú frekvenciu torzného kmitania mechanickej sústavy pohonu [9, 11]. Vo všeobecnosti platí, že so znižujúcou sa torznou tuhosťou pružnej spojky klesá hodnota vlastnej frekvencie torzného kmitania mechanickej sústavy. V prípade, ak niektorá vlastná frekvencia sústavy je rovná frekvencii niektorej harmonickej zložky budiaceho momentu, tak hovoríme že sústava je v rezonancii. Takýto stav je pre mechanickú sústavu nežiadúci, keďže pri ňom dochádza k nárastu amplitúdy prenášaného krútiaceho momentu a tým k zvýšeniu namáhania a hlučnosti mechanickej sústavy.

Pre vyladenie mechanickej sústavy z hľadiska torzného kmitania je potrebné vybrať pružnú hriadeľovú spojku s vhodnou dynamickou torznou tuhosťou tak, aby v oblasti pracovných otáčok

nedošlo k rezonancii harmonických zložiek budiaceho momentu s vlastnými frekvenciami mechanickej sústavy. Ako výhodné sa javí použiť pružnú spojku s takou nízkou torznou tuhosťou, aby podľa možnosti všetky vlastné frekvencie sústavy boli nižšie ako budiace frekvencie. V takomto prípade hovoríme, že mechanická sústava pracuje v nadkritickej oblasti. K prechodu cez rezonanciu potom dochádza iba pri rozbehu a dobehu, čo však vzhľadom na rýchlosť týchto prechodových dejov nemôže spôsobiť žiadny vážnejší problém. Preto sa zvyknú používať pružné spojky s čo najnižšou torznou tuhosťou, tzv. vysokopružné hriadeľové spojky.

Tento článok predstavuje dva nové patentované typy hriadeľových spojok: *Pružnú hriadeľovú spojku s navíjacími pružinami* [6] a *Vysokopružnú obojsmernú hriadeľovú spojku s navíjacími pružinami* [7].

1 VYSOKOPRUŽNÉ HRIADEĽOVÉ SPOJKY S NAVÍJACÍMI PRUŽINAMI

Vysokopružné hriadeľové spojky s navíjacími pružinami predstavujú nový prístup k dosiahnutiu čo najnižšej torznej tuhosti pružných hriadeľových spojok. Navíjacie pružiny sa vyrábajú v rôznych prevedeniach, buď ako pružiny s konštantnou silou, alebo ako pružiny s daným priebehom sily v závislosti na zdvihu.

Využitie kovových navíjacích pružín ako pružného elementu umožňuje dosiahnuť veľký uhol skrútenia a tým nízku torznú tuhosť. Nízka torzná tuhosť je výhodná z hľadiska vyladenia mechanickej sústavy pre prácu v nadrezonančnej oblasti ako aj k tlmeniu rázov. Tiež je možné aplikáciou vhodnej navíjacej pružiny dosiahnuť žiadaný priebeh zaťažovacej charakteristiky pružnej spojky. Keďže pri odvíjaní pružín dochádza k treniu medzi opornými plochami a vinutím pružín, tak spojka bude mať tlmiaci účinok potrebný hlavne pri rozbehu a dobehu k utlmeniu prechodového kmitania. Výhodou kovových pružných členov je aj to, že nemenia svoje vlastnosti vplyvom teploty, frekvencie kmitania ako je to u gumených pružných elementov.

Na obr. 1 je znázornená *Pružná hriadeľová spojka s navíjacími pružinami*, na obr. 2 je znázornená *Vysokopružná obojsmerná hriadeľová spojka s navíjacími pružinami* a na obr. 3 sú znázornené detaily upevnenia navíjacej pružiny a upevnenia krytu.

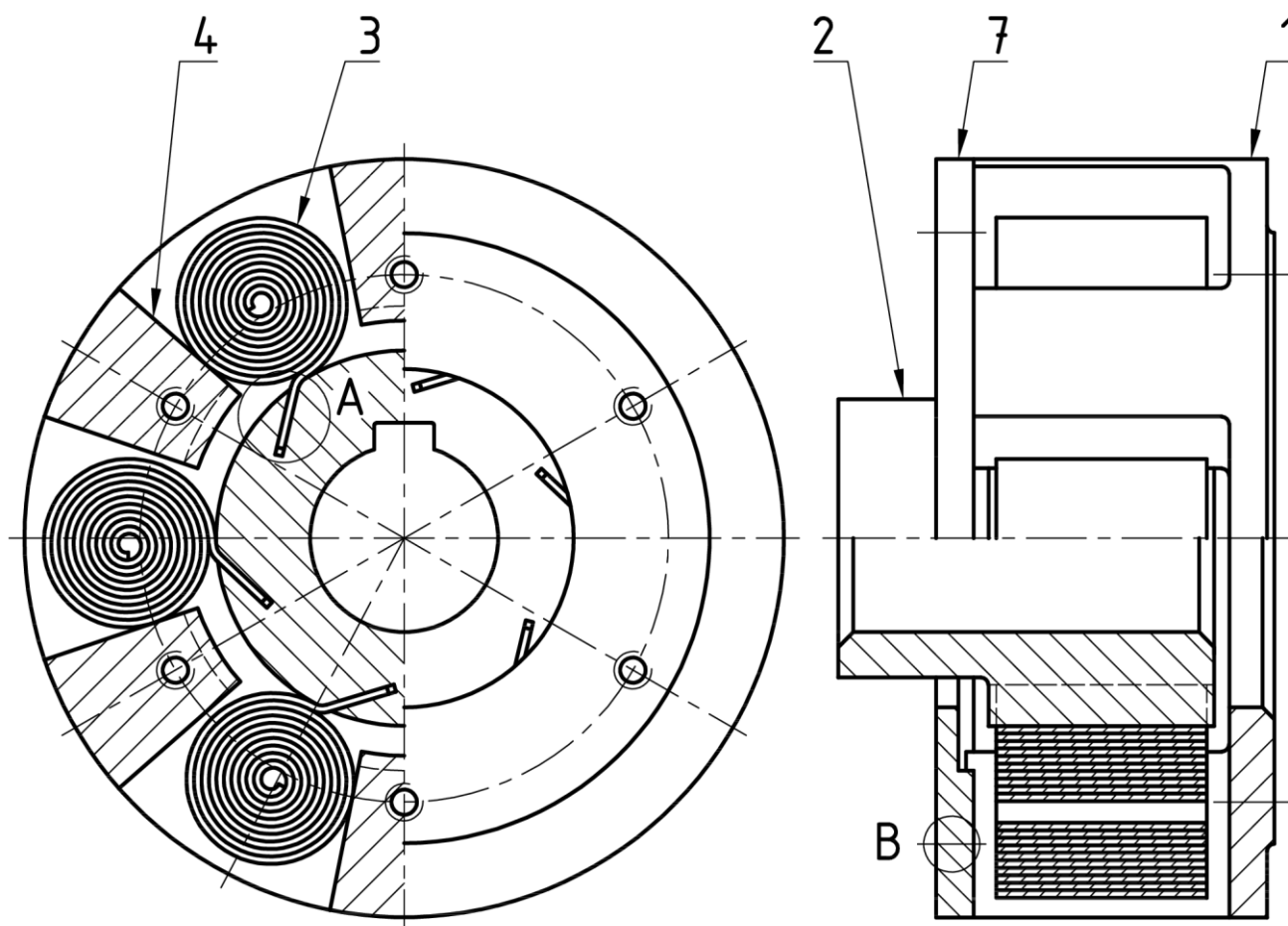
Obidve spojky (obr. 1 - obr. 3) s navíjacími pružinami sa skladajú z hnacieho kotúča 1 a hnaného kotúča 2, ktorých pružné spojenie je riešené

pomocou navíjacích pružín 3. Vinutia navíjacích pružín 3 sú vložené medzi oporné plochy 4. Konce navíjacích pružín 3 sú vložené do zárezov 5 a ich poloha je zaistená pomocou nastavovacích skrutiek 6. K čelu hnacieho kotúča 1 je pripevnený kryt 7, ktorý zabráňuje vyskočeniu vinutia navíjacích pružín 3 z priestoru medzi opornými plochami 4. Kryt 7 je ku hnaciemu kotúču 2 upevnený pomocou skrutiek 8 a podložiek 9. Krútiaci moment medzi hnacím kotúčom 1 a hnaným kotúčom 2 sa prenáša tlakom v miestach dotyku medzi opornými plochami 4 a vinutiami navíjacích pružín 3.

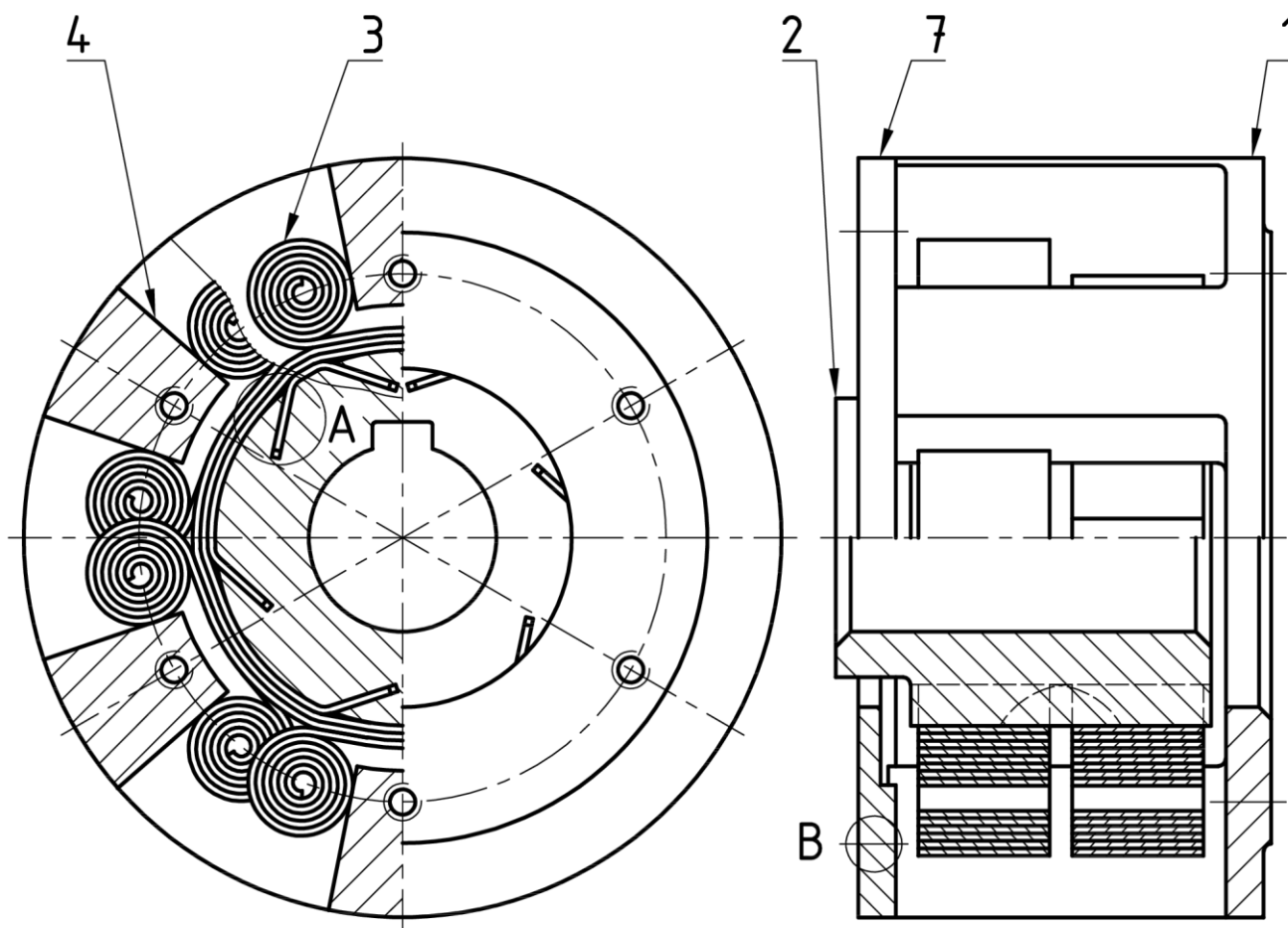
Pružná hriadeľová spojka s navíjacími pružinami (obr. 1) umožňuje pružný prenos záťažového krútiaceho momentu v jednom smere, a to v smere odvíjania vinutia navíjacích pružín 3.

Vysokopružná obojsmerná hriadeľová spojka s navíjacími pružinami (obr. 2) umožňuje pružný prenos záťažového krútiaceho momentu v oboch smeroch.

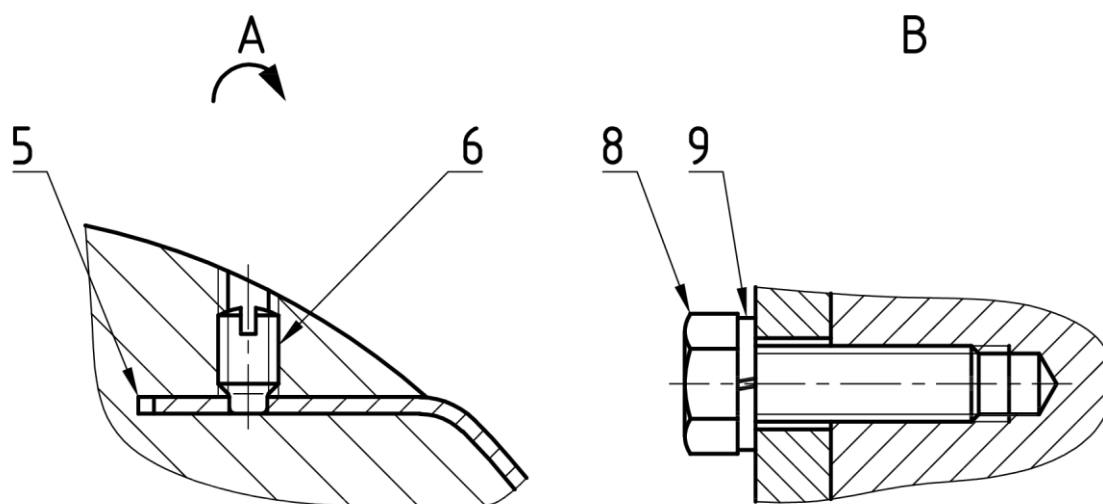
Pri skrúcaní spojok dochádza k treniu na stykovej ploche medzi vinutím navíjacích pružín 3 a opornými plochami 4.



Obr. 1. Pružná hriadeľová spojka s navíjacími pružinami [6]



Obr. 2. Vysokopružná obojsmerná hriadeľová spojka s navíjacími pružinami [7]



Obr. 3. Detail upevnenia navíjacej pružiny (A) a krytu (B) [6, 7]

ZÁVER

Vysokopružné hriadeľové spojky s navíjacími pružinami je možné aplikovať v sústavách mechanických pohonov. Navíjacie pružiny, ako pružné členy spojky, umožňujú dosiahnuť vysokú

hodnotu uhla skrútenia, nízku torznú tuhosť a dobré tlmiace vlastnosti. V neposlednom rade, kovové pružné členy nemenia svoje mechanické vlastnosti vplyvom starnutia a únavy. Hriadeľové spojky s navíjacími pružinami preto budú zvyšovať technickú

úroveň a spoľahlivosť mechanických sústav v ktorých budú zaradené.

PodĎakovanie

Príspevok bol vypracovaný v rámci riešenia grantových projektov:

KEGA 029TUKE-4/2021: „Implementácia moderných edukačných prístupov pri konštruovaní prevodových mechanizmov.“

VEGA 1/0528/20 „Riešenie nových prvkov ladenia mechanických sústav.“

LITERATÚRA

- [1] BAWORSKI, A. - CZECH, P. - GARBALA, K. - WITASZEK K. - STANIK, Z. (2017): *Selected aspects of wind energy usage in the Bialystok region*. Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport, Vol. 96, pp. 5-13. ISSN 0209-3324.
- [2] GUSTOF, P. - HORNIK, A. - CZECH, P. - JĘDRUSIK, D. (2016): *The influence of engine speed on thermal stresses of the piston*. Scientific Journal of Silesian University of Technology: Series Transport, Vol. 93, pp. 23-29, ISSN 0209-3324.
- [3] HOMIŠIN J. (2002): *Nové typy pružných hriadeľových spojok, vývoj – výskum – aplikácia*. Košice, Viena, ISBN 80-7099-834-2.
- [4] HOMIŠIN J. (2016): *Characteristics of pneumatic tuners of torsional oscillation as a result of patent activity*. Acta Mechanica et Automatica Vol. 10, No. 4 (38), pp. 316-323, ISSN 1898-4088.
- [5] HOMIŠIN J. (2018): *Contribution and perspectives of new flexible shaft coupling types – pneumatic couplings*. Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport. Vol. 99(2018), pp. 65-77, ISSN: 0209-3324.
- [6] KAŠŠAY, P. (2021): *Pružná hriadeľová spojka s navíjacími pružinami*: Patent SK 288869 B6. ÚPV SR, Banská Bystrica.

[7] KAŠŠAY, P. (2021): *Vysokopružná obojsmerná hriadeľová spojka s navíjacími pružinami*: Patent SK 288867 B6. ÚPV SR, Banská Bystrica.

[8] KAŠŠAY, P. - GREGA, R. (2018): *Pneumatická pružná hriadeľová spojka tangenciálna s osovo deformovanými elementami*: zverejnená prihláška úžitkového vzoru SK 185-2017 U1. ÚPV SR, Banská Bystrica.

[9] KRAJŇÁK, J. - MALÁKOVÁ, S. (2019) *Behaviour of change relating to the polytropic coefficient in thermodynamic processes within gaseous medium inside the shaft coupling*. Projektowanie, badania i eksploatacja: Tom 1, Bielsko-Biala, Wydawnictwo naukowe Akademii techniczno-humanistycznej w Bielsku-Białej, ISBN 978-83-66249-24-0.

[10] MEDVECKÁ-BEŇOVÁ, S. - HOMIŠIN, J. (2018) *Defining of material characteristics for flexible element in pneumatic flexible coupling*. Projektowanie, badania i eksploatacja Tom 1, Bielsko-Biala, Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej, ISBN 978-83-65182-93-7

[11] SKRZYPCZYK, P. - KALUŽA, R. - CZECH P. (2015): *Braking process of enduro and highway-tourist motorbikes*. Scientific Journal of Silesian University of Technology: Series Transport, Vol. 87, pp. 49-62, ISSN 0209-3324.

[12] NESLUŠAN, M. - MORAVEC, J. (2019): *Influence of Components Bending on the Consecutive Plasma Nitridation and Barkhausen Noise Emission*, Communications, Vol. 21, No. 1/2019, pp. 23-28, ISSN 1335 – 4205.

[13] MORAVEC, J. (2017): *Electromagnetic forming of thin-walled tubes*, METAL 2017, conference proceedings, 26th International Conference on Metallurgy and materials, May 24-26, Hotel Voronez , Brno , Czech Republic, pp. 326-331, ISBN 978-80-87294-79-6.

Potenciál využitia vodíka v kombinovanej výrobe tepla a elektriny

Michal Šrámka, Ing.

Katedra energetickej techniky, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 1, 010 26 Žilina.
E-mail: michal.sramka@fstroj.uniza.sk

Peter Ďurčanský, doc. Ing., PhD.*

Katedra energetickej techniky, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 1, 010 26 Žilina.
E-mail: peter.durcansky@fstroj.uniza.sk, Tel.: +421 41 513 2680

Potential of using hydrogen in combined heat and power

Abstract: Nowadays, when we can observe unstable energy prices, the use of cogeneration technologies seems very convenient. Using these kind of technologies could help in many different ways, such as reducing the amount of emission released while producing heat and power or even cutting costs for operation. One of the solutions appears to be *hydrogen*, which can be mixed with *natural gas* and burned together in one engine. There were more types of *hydrogen* that had to be assessed and compared in terms of emissions as well as from economic point of view, since they can differ in terms of the type of origin or how they were produced. Thus, it was found that at the current prices of used fuels, it would be economically worthwhile to use *grey* and *blue hydrogen*, and *green hydrogen* has also potential for the future, but its depended on the costs of electricity. Thus, in general *hydrogen* has the potential to slowly replace *natural gas*, but first it is necessary to figure out its more energy-efficient production, as well as its distribution.

ÚVOD

Kombinovaná výroba elektriny a tepla je v súčasnosti hojne využívaná, keď sledujeme rast cien energií či snahy o znížovanie emisií *uhlíka*. Rôzne technológie kombinovanej výroby elektriny a tepla sú v porovnaní s oddelenou výrobou preukázateľne efektívnejšie, prispievajú aj k zníženiu spotreby primárnych energetických zdrojov a v neposlednom rade sú šetrnejšie k životnému prostrediu. Jednou z technológií je spaľovací stacionárny motor využívaný ako kogeneračná jednotka, v ktorej sa ako palivo využívajú zmesi *zemného plynu* a *vodíka*. V súčasnosti sa musíme z rôznych dôvodov zaoberať alternatívami, ktoré by v budúcnosti mohli nahradiť *zemný plyn* ako jedno z tradičných palív. Dôvodov je viac, napríklad geopolitické konflikty, ale je tu aj snaha o zníženie využívania fosílnych palív, či s tým priamo súvisiaca produkcia *uhlíkových* emisií. Jednou z alternatív sa javí *vodík*, ktorý sa v tomto prípade primiešava do *zemného plynu* v rôznych koncentráciách.

1 ANALÝZA PALÍV POUŽÍVANÝCH V KOMBINOVANEJ VÝROBE ELEKTRINY A TEPLA

Tabuľka 1 porovnáva vlastnosti *zemného plynu* (ZP), *vodíka*, *vodíkom* obohateného stlačeného *zemného*

plynu (ZP + H₂, 10 % objemu *vodíka*) a *benzínu*.

Tab. 1. Vlastnosti palív

	ZP	H ₂	ZP + H ₂	Benzín
Teoretická spotreba vzduchu pri spaľovaní [m ³ ·m ⁻³]	9,43	29,53	22,8	1,76
Teplota samovznietenia [K]	813	858	825	501 ÷ 744
Teplota plameňa vo vzduchu [K]	2 148	2 318	2 210	2 470
Rýchlosť horenia [m·s ⁻¹]	0,45	3,25	1,10	0,37 ÷ 0,43
Dolná výhrevnosť [MJ·kg ⁻¹]	48	120	66	43,4

Miešanie *zemného plynu* a *vodíka* nie je priamo a vždy výhodné, pretože je potrebné optimalizovať množstvo *vodíka* podľa pracovných podmienok motora. Keď sa hladina *vodíka* zvyšuje v pevnom prevádzkovom bode motora, zvyšuje sa aj teplota vo valci, pričom sa skracuje doba spaľovania [1].

2.1 Emisné faktory najbežnejších palív

Táto podkapitola sumarizuje najčastejšie používané palivá, ktoré sa používajú v kogeneračných jednotkách, konkrétne v spaľovacích motoroch. Medzi tieto palivá môžeme zaradiť kvapalné (*benzín, nafta, LPG, vykurovacie oleje*) alebo plyné (*zemný plyn*). Ich spaľovaním získavame buď elektrickú alebo tepelnú energiu, no zároveň vznikajú aj iné produkty spaľovania, ako napríklad emisie CO_2 . Keďže je snaha tieto emisie znižovať, je potrebné vyberať palivá, ktoré ich produkujú menej. Jednotlivé zdroje znečisťovania zároveň musia spĺňať určité emisné limity určené legislatívou. Ukazovateľ, ktorý nám hovorí, koľko CO_2 vyprodukuje jednotlivé palivá pri spaľovaní, je emisný faktor, ktorý udáva, koľko kg CO_2 sa vyprodukuje pri spaľovaní napríklad 1 kg paliva, alebo pri výrobe 1 kWh energie. Tabuľka 2 sumarizuje vlastnosti vybraných palív, kde je uvedená výhrevnosť palív a ich emisné faktory CO_2 . Je zrejmé, že zo spomínaných tradičných palív má *zemný plyn* najlepšiu pozíciu z hľadiska výhrevnosti, no zároveň má aj najnižšie emisné faktory. Vyplýva to z toho, že spomedzi fosílnych palív je najefektívnejší a zároveň aj najekologickejší.

Tab. 2. Porovnanie najviac používaných palív

Fuel type	Výhrevnosť	Emisné faktory CO ₂	
		1 kWh energie	1 kg paliva
		[kWh·kg ⁻¹]	[kgCO ₂ ·kWh ⁻¹]
Zemný plyn	13,47	0,2	2,7
Benzín	12,2	0,25	3,1
Nafta	11,7	0,27	3,2
Propan butan (LPG)	12,78	0,23	2,9
Vykurovací olej	11,22	0,28	3,1
Iné olejové palivá	11,67	0,26	3,0

2.2 Zmes vodíka a zemného plynu

Spaľovacie motory na *zemný plyn* sa vyznačujú nízkou rýchlosťou spaľovania a dá sa to riešiť zvýšením intenzity prúdenia vo valci, pričom toto opatrenie vždy zvyšuje tepelné straty na stene valca a zvyšuje teplotu spaľovania ako aj emisie NO_x . Jednou z účinných metód na vyriešenie problému nízkej rýchlosti horenia *zemného plynu* je zmiešanie *zemného plynu* s palivom, ktoré má vysokú rýchlosť horenia. *Vodík* je považovaný za najlepšiu alternatívu k *zemnému plynu* kvôli jeho veľmi vysokej rýchlosti spaľovania a očakáva sa, že táto

kombinácia zlepší charakteristiky spaľovania a zníži emisie motora. Obsah *vodíka* v *zemnom plyne* sa môže pohybovať od 5 % do 30 % objemu [2].

Tab. 3. Porovnanie vlastností *zemného plynu*, *vodíka* a ich zmesí [3]

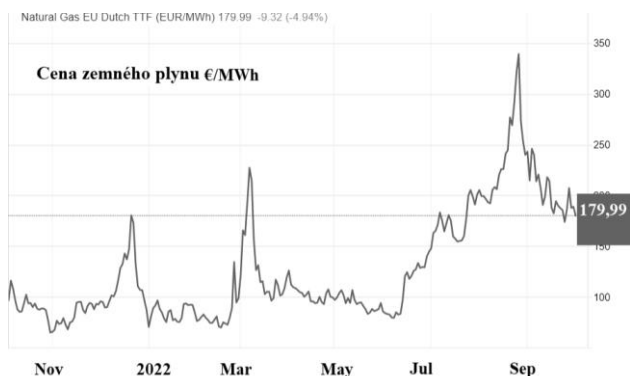
	ZP	ZP + H_2	ZP + H_2	ZP + H_2
Množstvo <i>vodíka</i> [% obj.]	0	10	20	30
Teoretická spotreba vzduchu pri spaľovaní [kg·kg ⁻¹]	17,00	17,23	17,51	17,86
Hustota (20 °C, 101 325 Pa) [kg·m ⁻³]	0,705	0,643	0,582	0,520
Dolná výhrevnosť [kJ·kg ⁻¹]	48 825	49 770	50 916	52 336
Dolná výhrevnosť [kJ·m ⁻³]	34 412	32 018	29 624	27 232

Ako je možné vidieť v tab. 3, so zvyšovaním podielu *vodíka* v *zemnom plyne* rastie spodná výhrevnosť na 1 kg paliva, no s klesajúcou hustotou klesá aj výhrevnosť zmesi na jednotku objemu.

3 EKONOMICKÉ ZHODNOTENIE PALÍV

Pre výpočet nákladov na prevádzku kogeneračnej jednotky je potrebné poznať cenu paliva. V našom prípade je to *zemný plyn* a *vodík*. Čo sa týka *zemného plynu*, je známe, že v súčasnosti je ťažké odhadnúť, akým smerom sa bude uberať. V súčasnosti sa z rôznych dôvodov hľadajú alternatívy k tomuto palivu, jedným z nich je *vodík*. Rastú aj ceny *zemného plynu* a predpokladá sa, že tento trend bude pokračovať aj v najbližších rokoch. Vývoj ceny *zemného plynu* je znázornený na grafe (obr. 1), ktorý bol získaný zo stránky tradingeconomics.com [4]. Cena plynu na trhu TTF (virtuálny obchodný uzol Title Transfer Facility v Holandsku) sa za posledné obdobie prudko mení, keď oproti minulému roku vzrástla o desiatky € za MWh. Vrchol prvého polroka dosiahol v marci 2022, kedy bola cena za 1 MWh až 230 €. V čase písania tohto článku (október 2022) sa cena mierne stabilizuje okolo 170 € za MWh, po najvyššom vrchole, ktorý sme mohli sledovať koncom *augusta*.

V prípade *vodíka* je komplikovaná aj cena, keďže sú známe rôzne spôsoby výroby *vodíka* z technologického, ekonomického, ale aj ekologického hľadiska. Keďže výrobné technológie pre niektoré druhy *vodíka* sú priamo závislé od *zemného plynu*, cena týchto druhov *vodíka* sa automaticky zmení pri zmene cien *zemného plynu*.



Obr. 1. Cena ZP [4]



Obr. 2. Druhy vodíka podľa spôsobu výroby [5]

V závislosti od výrobného procesu, zdroja a výsledných emisií skleníkových plynov sa *vodík* bežne klasifikuje takto (obr. 2), hoci táto klasifikácia je trochu zjednodušená a nie je úplná:

- *sivý vodík* sa vyrába zo *zemného plynu* parným metánovým reformovaním. Jeho cena sa mení v závislosti od ceny plynu a emisií *uhlíka*. Výsledkom tohto výrobného procesu sú emisie približne 9,3 kg CO₂ na kg *vodíka*,
- *modrý vodík* využíva rovnaké výrobné procesy ako *šedý vodík*, ale CO₂ sa zachytáva a ukladá natrvalo. Cenovo je drahší ako *sivý vodík*, ale lacnejší ako *zelený vodík*,
- *tyrkysový vodík* sa vyrába pyrolýzou *zemného plynu*, pričom vedľajším produktom je čistý *uhlík*, ktorý je možné predávať na trhu. Je stále v ranom štádiu vývoja, ale má potenciál stať sa nákladovo efektívnym procesom,
- *čistý vodík* (*obnoviteľný vodík* alebo *zelený vodík*) sa vyrába elektrolyzou vody použitím elektriny z obnoviteľných zdrojov energie. Cenovo je tento typ *vodíka* zatiaľ najdrahší. Počas procesu sa neuvolňujú žiadne skleníkové plyny.

Jednotlivé ceny spomínaných druhov *vodíka* sa môžu líšiť a v rôznych krajinách môžu byť ich rozdiely veľké. Napríklad v miestach, kde sa obnoviteľné zdroje energie využívajú na výrobu elektriny dlhodobo a prevažne, cena *zeleného vodíka* dokonca klesla pod hodnotu ceny *šedého vodíka*. Tabuľka 4 sumarizuje priemerné ceny *vodíka* za 1 kg v eurách. Tieto údaje boli použité z webovej stránky europa.eu [6]. Ako už bolo spomenuté, ceny môžu byť rôzne, a preto boli do tabuľky vložené

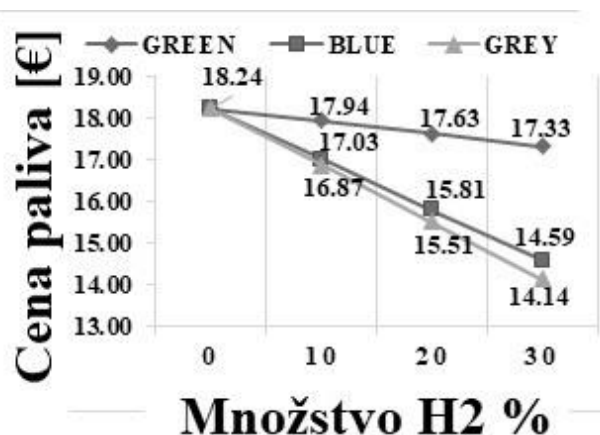
priemerné ceny, ktoré sa dali použiť na približný výpočet nákladov na prevádzku kogeneračnej jednotky. Následne je v tabuľke uvedená aj cena v eurách za MWh vyrobenej energie, keďže vieme, že z 1 kg *vodíka* vieme vyrobiť 33,33 kWh energie.

Tab. 4. Priemerné ceny *vodíka*

Druhy <i>vodíka</i>	Cena [€]	
	za kg	za MWh
<i>Sivý vodík</i>	1,5	45
<i>Modrý vodík</i>	2	60
<i>Zelený vodík</i>	5	150

3 PREVÁDZKOVÉ NÁKLADY KOGENERACNEJ JEDNOTKY

Keď sú už známe ceny paliva, spotreba kogeneračnej jednotky a príkon paliva, ktoré boli vypočítané predtým, je možné kalkulovať hodinové náklady na prevádzku. V prvom rade je potrebné určiť spotrebu paliva vyjadrenú v kW, potrebnú na prevádzku počas jednej hodiny, kedy kogeneračná jednotka dokáže vyrábať elektrinu a teplo. Bolo vypočítané, že príkon v palive tohto motora je 101,35 kW. Bolo urobené porovnanie rôzneho množstva *vodíka* zmiešaného so *zemným plynom*. Výsledky výpočtov sú znázornené na obr. 3.



Obr. 3. Ceny paliva

Po rozbere výsledkov výpočtov sa zistilo, že z ekonomického hľadiska je jednoznačne najvýhodnejší *šedý vodík*, o niečo horší je na tom *modrý vodík* a vzhľadom na stále vysokú cenu *zeleného vodíka* nie je tento typ paliva napriek tomu stojí za použitie, respektíve je zaujímavé sledovať trend zvyšovania ceny *zemného plynu*, ktorý pomáha *zelenému vodíku* byť výhodnejší. Aktuálne môžeme očakávať, že cena *zemného plynu* by mala v najbližších mesiacoch naďalej rásť. Preto sa v súčasnosti hľadajú nové riešenia a technológie, ktoré by toto fosílné palivo nahradili.

Zemný plyn je síce z pohľadu znečistenia ovzdušia a celkovej produkcie emisií pri jeho spaľovaní najvýhodnejší zo všetkých fosílnych palív, no stále

sa trend ubera smerom k znižovaniu jeho využívania. A to z rôznych dôvodov, či už ide o geopolitické konflikty alebo iné, je potrebné začať uvažovať o iných alternatívach. Ďalším z dôvodov, ktoré nás v podstate nútia znižovať využívanie *zemného plynu*, sú nové legislatívne pravidlá, nariadenia či povinnosti voči *Európskej únii*, keďže *Slovenská republika* je jej členom. Jedným z alternatívnych riešení je využitie kogeneračných technológií, ktoré preukázateľne šetria peniaze aj energiu a v neposlednom rade produkujú menšie množstvo emisií. *Zemný plyn* sa v predchádzajúcich rokoch využíval v rôznych typoch kombinovanej výroby elektriny a tepla, či už v spaľovacích motoroch, spaľovacích turbínach, palivových článkoch, alebo napríklad v paroplynových technológiách.

ZÁVER

V prípade, že musíme uvažovať o iných druhoch paliva, *vodík* sa javí ako jedna z výhodných alternatív do budúcnosti. V poslednej dobe sa táto téma objavuje čoraz viac a v najbližších mesiacoch či rokoch môžeme očakávať výrazný nárast jej výroby a využitia na energetické účely. Či je využitie *vodíka* efektívne, už teraz je o čom premýšľať, keďže jeho cena, náklady na výrobu, skladovanie a prepravu, ako aj dostupnosť nie sú ideálne. Boli spomenuté tri hlavné typy tohto paliva: *sivý*, *modrý* a *zelený vodík*. Najideálnejším riešením do budúcnosti je samozrejme používanie *zeleného vodíka*, keďže pri jeho výrobe nevznikajú takmer žiadne škodliviny. Ako však už bolo spomenuté, hlavným problémom je zatiaľ jeho cena, keďže na jeho výrobu pomocou elektrolýzy vody je potrebná elektrina, ktorá v poslednom čase tiež zdražela. Ďalším problémom môže byť, že na výrobu tejto elektriny využívanej na *zelený vodík* sú potrebné obnoviteľné zdroje. To môže byť problém pre niektoré krajiny, ako aj pre *Slovensko*, kde je využívanie týchto zdrojov limitujúce. Čo sa týka *modrého vodíka*, ten sa momentálne javí ako jedno z lepších riešení, keďže je cenovo oveľa dostupnejší a zároveň sa zachytávajú a ukládajú *uhlíkové* emisie vznikajúce pri výrobe tohto typu *vodíka*. Posledným zostáva *šedý vodík*, ktorý je jednoznačne najlacnejší

a podobne ako *modrý vodík* sa najčastejšie vyrába parným reformovaním metánu, avšak s tým rozdielom, že sa nezachytávajú žiadne *uhlíkové* emisie. Takže tento typ *vodíka* môžeme považovať za dlhodobého hľadiska za nevýhodný. Spoločnou nevýhodou všetkých druhov *vodíka* je skutočnosť, že má vysoké skladovacie náklady. Ale aj v tomto smere sa už výskum zaoberá novými technológiami skladovania *vodíka*.

Podakovanie

Článok vznikol za podpory projektov KEGA 032ŽU-4/2022 „Implementácia poznatkov o moderných spôsoboch znižovania záťaže životného prostredia pri energetickom využívaní tuhých palív a odpadov do pedagogického procesu“ a KEGA 021ŽU-4/2021 „Premeny primárnej energie na teplo/chlad použitím termodynamických cyklov a kompresorového obehu s pracovnou látkou (chladivom) CO₂.“

LITERATÚRA

- [1] COSTA - PIAZZULLO - DOLCE (2021): *Hydrogen Addition to Natural Gas in Cogeneration Engines: Optimization of Performances Through Numerical Modeling*.
- [2] CEPER (2012): *Use of Hydrogen-Methane Blends in Internal Combustion Engines. Hydrogen Energy - Challenges and Perspectives*.
- [3] CHRÍBIK - POLÓNI - LACH (2012): *Combustion engine powered by a mixture of natural gas and hydrogen. versita*.
- [4] tradingeconomics.com. EU Natural Gas (2022): *tradingeconomics.com*. [Online] [14. May 2022.] (<https://tradingeconomics.com/commodity/eu-natural-gas>).
- [5] IRENA (2020): *Green Hydrogen a Guide to Policy Making*. [Online]. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Nov/IRENA_Green_hydrogen_policy_2020.pdf. ISBN 978-92-9260-286-4
- [6] tradingeconomics.com. EU Natural Gas (2022): *tradingeconomics.com*. [Online] [14. May 2022.] (<https://tradingeconomics.com/commodity/eu-natural-gas>).

Assessing the influence of shape of the frontal area of brake's frame on the main stream of airflow on the UIC test bench for rail vehicles' disc brakes with CFD simulation

Vladimír Pavelčík, Ing., PhD.*

Department of Transport and Handling Machines, Faculty of Mechanical Engineering,
University of Žilina,
Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina, Slovak Republic.
E-mail: vladimir.pavelcik@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2660,

Abstract: This article is focused on evaluating the influence of shape of the frontal area of the *UIC* test bench's brake's frame on the passing airflow. The article consists of four main chapters. In the first one, the ventilation system of the test bench is described and the basic principles for geometry creation and simplifications are presented. The second chapter lists the *CFD* simulations settings, boundary conditions, etc. The following part contains results of all simulations together with short description of their evaluation methodology. In the conclusion, the results are summarized. Results show, that the frame diverts ca. 7 % of the mass flow away from the brake, which is fraction sufficiently small to avoid requesting changes in the design of the test bench's ventilation system.

INTRODUCTION

Testing and certification processes are essential parts of research and development of brake components for all vehicles. These tests are performed in stable and repeatable laboratory conditions, even though the real condition would provide the most accurate results from the operational point of view. Because of the environment stability in the laboratories, the tests themselves could be standardized by international organizations. For rail vehicles, the standards concerned with brake components are summarized in *UIC* leaflets.

In the leaflet *UIC* 548 [1], vital capabilities and necessities of a test bench are described in detail. Simulating real conditions of airflow around the brake is prescribed as well, where the velocity of cooling air relative to the simulated velocity of the vehicle (computed from angular velocity of the disc or the wheel) is given (Fig. 1). However, the measuring points for this velocity are not given, which leaves open space for implementing various construction solutions of ventilation systems for different test benches. In the leaflet *UIC* 543-1 [2], all of the certification testing procedures for disc brakes are described in detail.

Because of the complexity of the device, the deeper understanding of the airflow is difficult. For complex geometries, analytical solution of the *Navier-Stokes* equations is extremely complicated to obtain [3]. Experiments can become difficult (and thus expensive) because of the lack of space and is prone to measuring errors [4, 5]. However, *CFD* simulations proved themselves to be one of the most

suitable tools for such problems in many scenarios [6, 7].

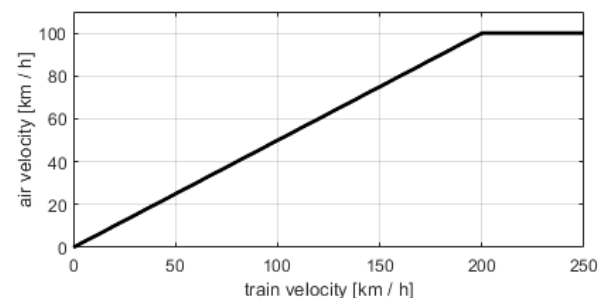


Fig. 1. Required air speed as a function of train speed

1 VENTILATION SYSTEM OF THE TEST BENCH, GEOMETRY MODEL PREPARATION

The test bench's ventilation system consists of three major parts – inlet pipe containing two fans regulated to provide airflow with parameters described in the *UIC* leaflet, outlet pipe with a fan to provide suction in order to remove products of braking (solid particles and heated air), and the braking mechanism itself between those pipes (Fig. 2).

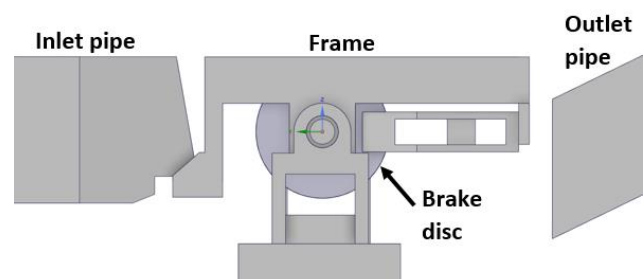


Fig. 2. Geometry of the test bench - simplified

The braking mechanism and its nearest surroundings are separated from the rest of the room by a removable cover. This cover sets the boundaries for the airflow and so sets the boundaries for *CFD* model as well.

The fluid domain is created as an enclosure with dimensions corresponding to the cover of the test bench. The braking device is then subtracted from the domain. The final shape of the test bench must be simplified for computational reasons. This means removing screws, chamfers, small radii, filling small gaps, filling frame structures, where the airflow is none or negligible, filling holes for screws, removing unnecessary small objects and further simplifying the geometry heavily in places with little to no influence on the main stream of the airflow around the test bench.

On the test bench, various brake discs can be mounted. Therefore, three types of brake discs are used and simulated - solid brake disc, ventilated brake disc with radial vanes and ventilated brake disc with ventilation bars. However, for the influence of the shape of the frontal area of the frame on the main stream of the airflow, the discs are expected to have only marginal effect.

For the simulation of rotation, the principle of sliding meshes was selected. A cylindrical domain containing the rotating object is required and must have been created by subtraction from the air domain. Dimensions of the rotating domain is selected so that it does not interfere with neither the frame nor the ground.

2 CFD SIMULATION SETUP

The mesh used for this simulation was created with *Fluent Meshing* and the simulation itself was made in *ANSYS Fluent* [8]. The final mesh was of type *poly-hexcore*, with different numbers of polyhedral inflation layers at different boundaries (disc, frame, covering). Mesh orthogonal quality was greater than 0.15. Number of elements are presented in Tab. 1.

Tab. 1 Number of elements in mesh

Simul. number	Disc type	Elements count (x10 ⁶)
1	Solid	3.1
2	Ventilated – ventilation bars	4.5
3	Ventilated – radial vanes	4.8

For the boundary conditions, the domain consists of one velocity inlet from the inlet pipe, one mass-flow outlet in the suction pipe and one pressure outlet representing the places between floor and cover, where in reality the air is able to flow in both directions.

The velocity inlet is imported into the simulation as an output profile (Fig. 3) from the separated simulation of the airflow in the inlet pipe. Because of the curvature of the inlet pipe, the airflow is neither symmetric nor stable, therefore irregularities may occur in every direction of the flow when it reaches the investigated area of the frame.

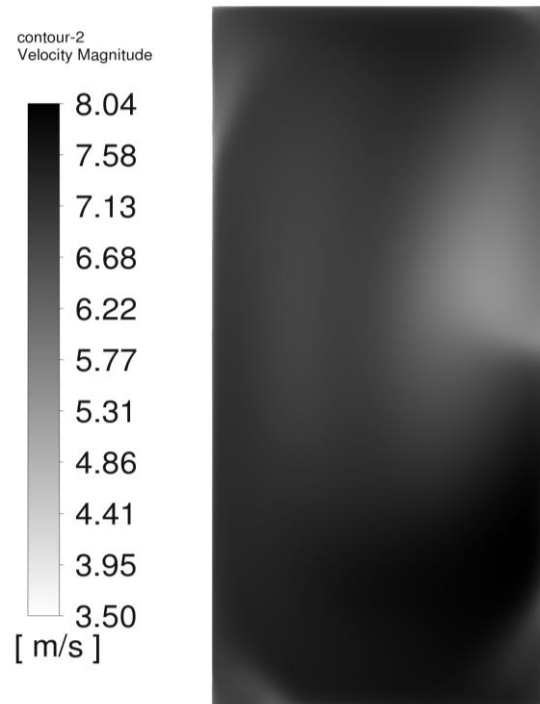


Fig. 3. Velocity profile at the outlet of the inlet pipe

The interface between steady and rotating domain is a casual interface, and the disc is represented only as a gap in the rotating domain – no heat transfer is simulated. Both steady and rotating domains' material is air with constant density (incompressible).

Tab. 2. Boundary conditions and simulation setup

Location	Boundary condition	Value
Inlet	Velocity inlet	Imported profile
Air	Density	1.225 kg·m ⁻³
Outlet pipe	Mass-flow outlet	3.6 kg·s ⁻¹
Floor – corners	Pressure outlet	0 Pa
Steady – rotating interface	Interface	-
Rotating domain	Angular velocity	357 rpm
Surfaces	Surface roughness	neglected
Location	Setting	Value
All	Turbulent model	<i>k-ω SST</i>
-	Solver	Coupled
-	Time step	0.0005 s
-	Iterations / time step	10

Only one of the most common regimes was simulated in terms of rotational velocity (coupled with corresponding air velocity). In this regime, three revolutions are simulated with time step corresponding approximately to 1 degree of rotation.

Boundary conditions are summarized in Tab. 2.

Convergence of the solution was monitored with total mass flow rate in the domain and aerodynamic drag forces of the brake disc, that can be also compared to the results of other authors for similar brake discs [9, 10].

3 RESULTS

Because of the complicated geometry, the only reasonable way to look at the flow directions and velocities in the area of interest are streamlines. The picture of streamlines is presented in Fig. 4 for the ventilated disc with ventilation bars. For the other two discs, the resulting flow in this area is very similar and the flow direction and velocity start to differ significantly at the level of brake disc.

According to the picture, some of the streamlines are diverted from the main stream either to under the frame or to the side of the frame. In the case of diverting, the air molecule is no longer in the stream approaching the brake disc and thus is not contributing to cooling of the brake disc.

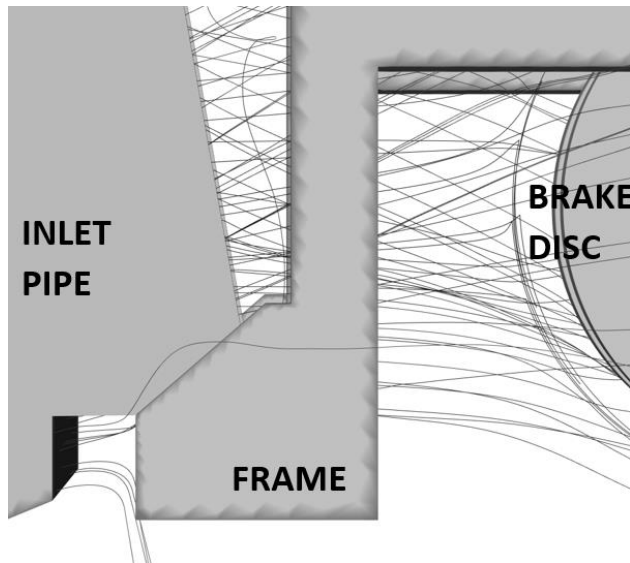


Fig. 4. Random selection 20 % of streamlines (ventilated disc with radial vanes)

To calculate the fraction of airflow diverted in such way, the streamlines were cut off after one meter after entering the domain on the velocity inlet. Their positions after this cut is presented in the Fig. 5, where points marked with circle did reach the brake disc and its nearest surroundings, those as plus sign were diverted under the frame and those as squares on either side of the frame. These streamlines represent the fraction diverted by the frame from the main stream.

To get the total mass flow the streamlines are representing, it is possible to look at the starting position of these streamlines. They are presented in the Fig. 6 for the ventilated disc with ventilation bars and in the Fig. 7 for the ventilated disc with radial vanes. From the comparison of those two pictures, it is clear that the brake disc truly has only minor effect in this case.

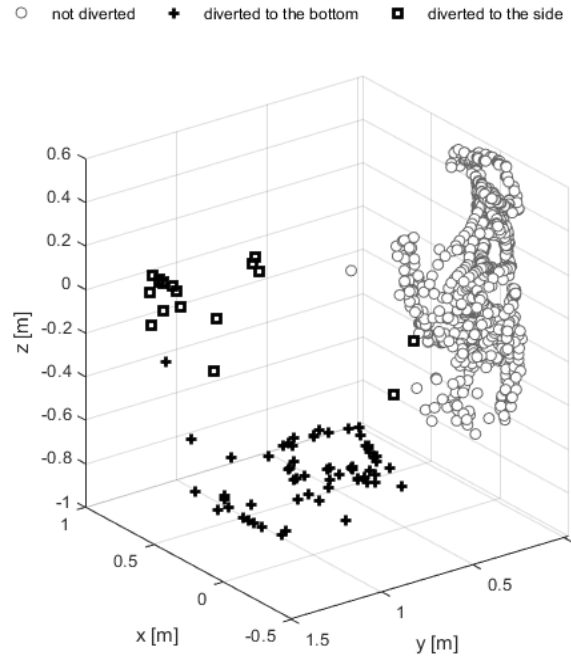


Fig. 5. Positions of virtual particles after 1 m

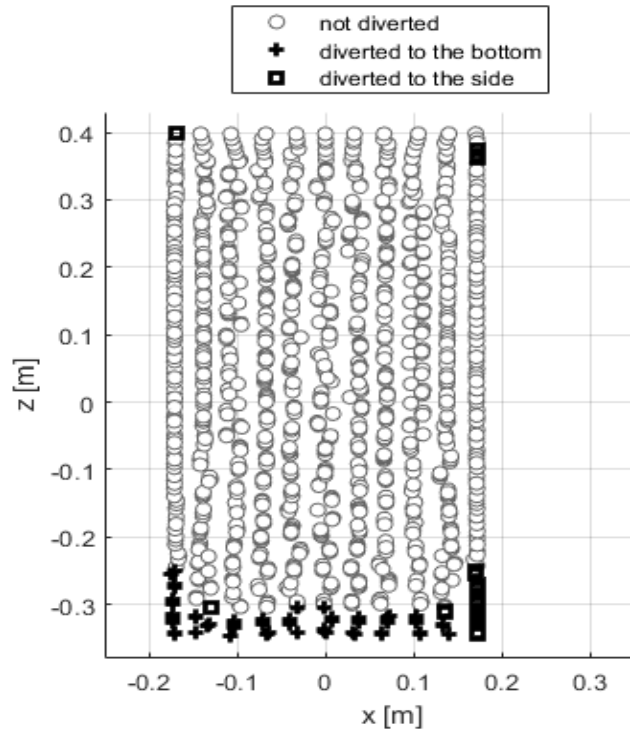


Fig. 6. Origins of streamlines - disc with ventilation bars

Calculating the number of diverted streamlines from the total of 1100 samples, the frontal area of the frame diverts ca. 8 % of the streamlines.

Each streamline represents a fraction of inlet surface. A script can be written to iterate through selected (which means diverted) streamlines' origins computing the exact area they are representing and computing average velocity of that area from the velocity profile imported as the inlet boundary condition (Fig. 3). Combining these two values for all diverted streamlines while considering the air density almost constant (incompressible flow), an assessment can be made, that the diverted airflow is roughly equal to 7 % of mass flow.

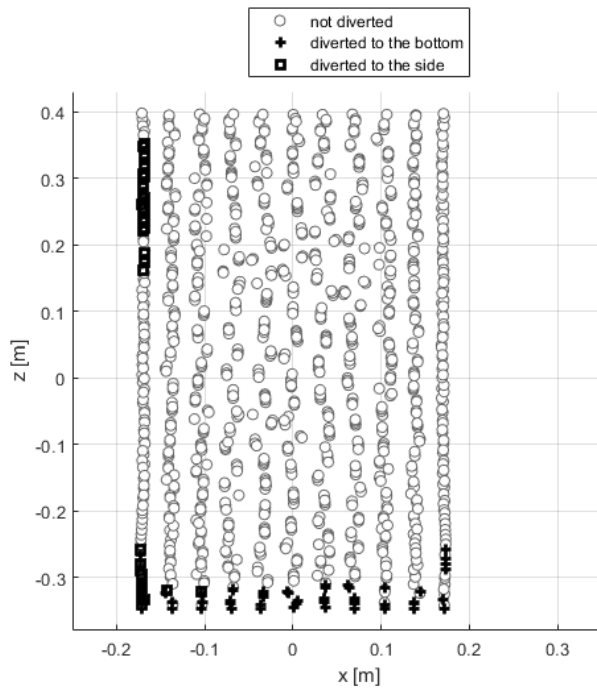


Fig. 7. Origins of streamlines - disc with radial vanes

CONCLUSION

Following important points can be concluded from the results of the simulations:

- the frontal area of the frame of the disc brake at the UIC test bench diverts ca. 7 % of the mass flow away from the brake, thus decreasing the cooling potential of the air flowing from the inlet pipe to the brake. This amount is considered small enough to avoid changes to design of the test bench components,
- the impact of the type of brake disc compared to the impact of the shape of brake's frame is minimal,
- CFD simulations provide excellent tool for observations of the airflow in such complicated geometry.

Acknowledgement

This publication was realized with the support of Slovak Research and Development Agency of the Ministry of Education, Science, Research and Sport of the Slovak Republic in Educational Grant Agency of the Ministry of Education of the Slovak Republic in the project and VEGA 1/0513/22 "Investigation of the properties of railway brake components in simulated operating conditions on a flywheel brake stand."

REFERENCES

- [1] UIC 548. *Brakes – requirements of friction test benches for the international certification of brake pads and brake blocs.*
- [2] UIC 541-3. *Brakes – Disc brakes and their applications – General conditions for the certification of brake pads.*
- [3] INCROPERA, F.P. et al. (2007): *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. USA: John Wiley & Sons, 997s, ISBN 987-0471457282.
- [4] GERLICI, J. - LACK, T. - HARUSINEC, J. (2014): Development of test stand prototype for rail vehicles brake components. In *Communications 16 (3A)*, p. 27-32, ISSN 1335-4205.
- [5] LACK, T. - GERLICI, J. (2014): *Rail vehicles brake components test bench utilization*. In *Applied mechanics and materials* 486, pp. 379-386.
- [6] ZHUOJUN, L. - JIANYONG, Z. (2014): *Conjugate heat transfer study on a ventilated disc of high-speed trains during braking*. In *Journal of mechanical science and technology*, 28/5. pp. 1887-1897. DOI: 10.1007/s12206-014-0336-7.
- [7] RAJAGOPAL, R. et al. (2014): *Numerical investigation of fluid flow and heat transfer characteristics on the aerodynamics of ventilated disc brake rotor using CFD*. In *THERMAL SCIENCE* 18/2. pp. 667-675. DOI: 10.2298/TSCI111219204R.
- [8] *Ansys Fluent Theory Guide, User's Guide.*
- [9] KRAVCHENKO, K. - HAUSER, V. - GORBUNOV, M. (2019): *Estimating the brake disc air resistance by scaled test rig and by computer simulation*. In *Transportation Research Procedia* 40, pp. 737-744, ISSN 2352-1465.
- [10] FOMINA, Y. - GERLICI, J. - KRAVCHENKO, K. (2021): *The dependence of the brake disc aerodynamic drag on the rolling stock motion speed*. In *Transportation Research Procedia* 55(2), pp. 723-730. DOI: 10.1016/j.trpro.2021.07.174, ISSN 2352-1465.

Vysokopružná pneumatická hriadeľová spojka tangenciálna

Matej Urbanský, Ing., PhD.*

Katedra konštrukčného a dopravného inžinierstva, Ústav mechaniky, energetického a konštrukčného inžinierstva, Strojnícka fakulta,
Technická univerzita v Košiciach,
Letná 1/9, 042 00, Košice-Sever.
E-mail: matej.urbansky@tuke.sk, Tel.: +421 55 602 2368

Peter Kaššay, doc. Ing., PhD.

Katedra konštrukčného a dopravného inžinierstva, Ústav mechaniky, energetického a konštrukčného inžinierstva, Strojnícka fakulta,
Technická univerzita v Košiciach,
Letná 1/9, 042 00, Košice-Sever.
E-mail: peter.kassay@tuke.sk, Tel.: +421 55 602 2369

Highly flexible pneumatic flexible shaft coupling tangential

Abstract: The optimal tuning of a mechanical system in terms of torsional dynamics is the very important function of a flexible shaft coupling, built in the system. Therefore, a flexible coupling with suitable dynamic properties has to be carefully chosen for each specific application. The main advantage of pneumatic flexible shaft couplings – torsional vibration tuners, developed at our department, is that we can easily regulate their dynamic properties, particularly their dynamic torsional stiffness during operation of a mechanical system. In order to improve our pneumatic tuners in terms of better utilization of their pneumatic flexible elements and achieving specific operational properties, a new pneumatic tuner with tangential arrangement of its pneumatic flexible elements was designed. The aim of this article is to introduce this new pneumatic tuner, protected by means of patent, namely the Highly Flexible pneumatic flexible shaft coupling tangential. Due to the reason that mentioned pneumatic tuner is not manufactured yet, this article deals mainly with principles and expected advantages of the pneumatic tuner.

ÚVOD

Pružné hriadeľové spojky sú najčastejšie používané strojové časti pre zabezpečenie pružného prenosu záťažového krútiaceho momentu a mechanickej energie v mechanických sústavách. Ich veľmi dôležitou funkciou je aj dynamické vyladenie mechanických sústav z hľadiska veľkosti torzného kmitania vhodne zvolenými dynamickými vlastnosťami, predovšetkým dynamickou torznou tuhosťou tak, aby v sústave nedochádzalo k vzniku nebezpečného nadmerného torzného kmitania [1-10]. Z hľadiska uvedeného dynamického vyladenia mechanických sústav je veľmi výhodné použitie tzv. pružných hriadeľových spojok s nízkou hodnotou pomernej torznej tuhosti, teda pomeru dynamickej torznej tuhosti k prenášanému krútiacemu momentu. Aplikáciou takýchto pružných hriadeľových spojok v mechanických sústavách je možné vysunúť rezonancie od jednotlivých harmonických zložiek budenia torzného kmitania do oblasti nízkych otáčok, ktorú je možné pri rozbehu zariadenia na pracovné otáčky rýchlo prekonať [3-7]. V súčasnej dobe sa pružné hriadeľové spojky vyrábajú s pružnými elementmi z rôznych

materiálov. Pri práci v mechanických sústavách dochádza k únave a starnutiu zvlášť gumových a plastových pružných elementov, ako aj k únave a opotrebeniu kovových pružných elementov použitej pružnej spojky. Následkom toho použitá pružná spojka stráca svoje pôvodné dynamické vlastnosti a tým aj svoju schopnosť plniť svoje dôležité funkcie v torzne kmitajúcich mechanických sústavách. Pružné hriadeľové spojky zo skupiny pneumatických pružných hriadeľových spojok, do ktorej patria napríklad spojky podľa udelených úžitkových vzorov SK 7461 Y1, SK 7460 Y1, SK 7708 Y1, SK 7448 Y1, SK 7442 Y1, SK 7440 Y1, SK 6114 Y1, SK 6112 Y1, SK 6111 Y1, SK 6110 Y1, SK 6109 Y1, SK 6104 Y1, SK 6101 Y1, SK 6100 Y1, SK 5278 Y1, SK 5277 Y1, SK 5276 Y1 a udelených patentov SK 288455 B6, SK 288443 B6, SK 288390 B6, SK 288389 B6, SK 288344 B6, SK 288341 B6, SK 288340 B6, SK 278750 B6, SK 278653 B6, SK 278273 B6, SK 278271 B6, SK 278152 B6, SK 278024 B6 sú schopné zabezpečiť pružný prenos mechanickej energie bez straty svojich charakteristických vlastností.

Z vyššie uvedených dôvodov sa javí ako výhodné vyvíjať také pružné hriadeľové spojky, ktoré by spájali výhody pneumatických pružných hriadeľových spojok a pružných spojok s nízkou hodnotou pomernej torznej tuhosti.

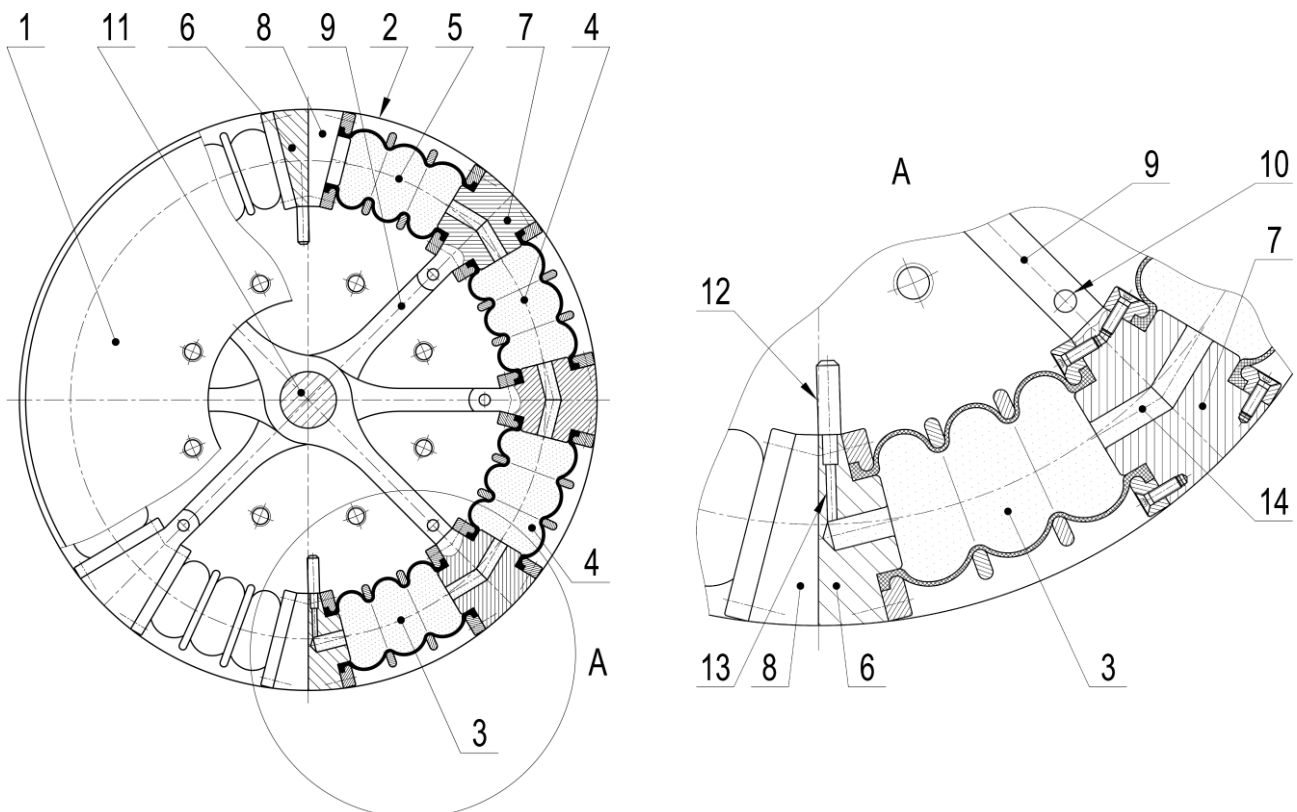
Tento článok predstavuje nový typ pneumatickej pružnej hriadeľovej spojky, t.j. *Vysokopružnú pneumatickú hriadeľovú spojku tangenciálnu* (obr. 1, obr. 2), ktorej konštrukčné riešenie je chránené udeleným patentom SK 288879 B6.

1 VYSOKOPRUŽNÁ PNEUMATICKÁ HRIADEĽOVÁ SPOJKA TANGENCIÁLNA

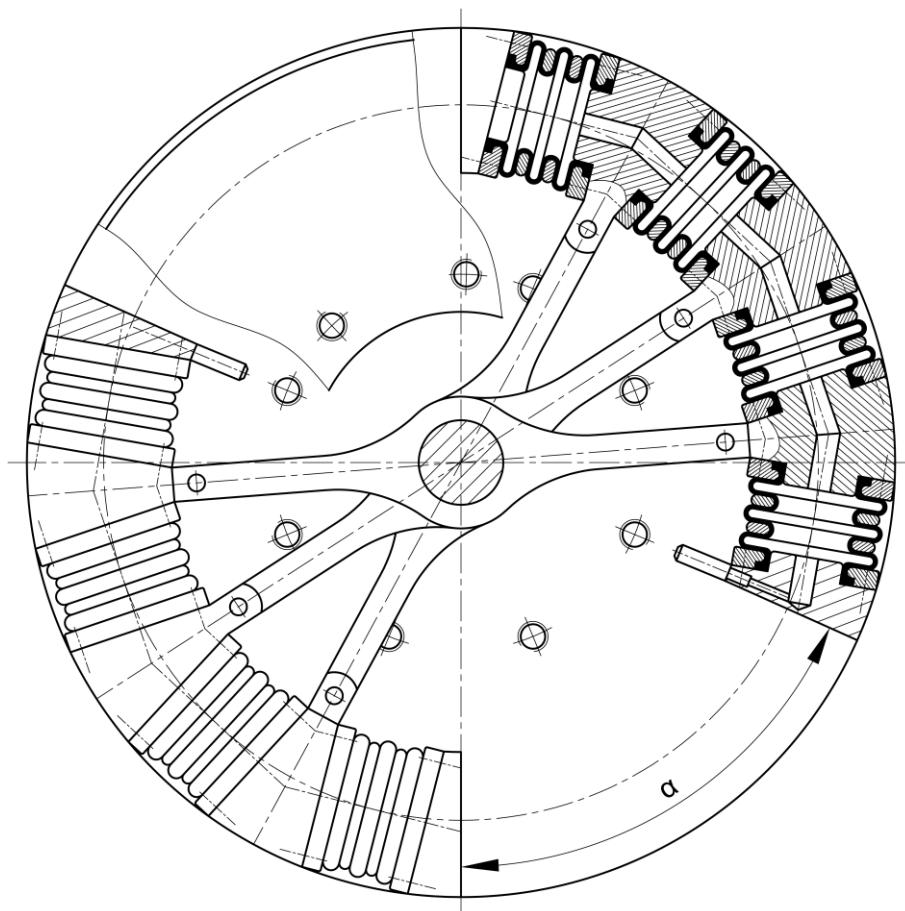
Vysokopružná pneumatická hriadeľová spojka tangenciálna (obr. 1, obr. 2) v sebe spája výhody pneumatickej pružnej hriadeľovej spojky a pružnej spojky s nízkou hodnotou pomernej torznej tuhosti. Jej podstatou je to, že záťažový krútiaci moment sa prenáša z hnacej na poháňanú časť spojky kompresným priestorom spojky, tvoreným pneumaticko-pružnými elementmi, ktoré sú plnené plynným médiom a sú rozmiestnené po obvodě spojky tangenciálne v reťazci za sebou. Zabezpečením stability tohto reťazca, vzhľadom na os rotácie spojky v radiálnom a axiálnom smere, dokážeme dosiahnuť vysoké hodnoty maximálneho uhla skrútenia danej spojky a znížiť torznú tuhosť spojky, za účelom vytvorenia pružnej spojky s nízkou hodnotou pomernej torznej tuhosti. Prenosom krútiaceho momentu kompresným priestorom danej spojky dosiahneme kompresiu plynného média

úmernú zaťaženiu, čím je práve charakterizovaný stály pružný prenos záťažového krútiaceho momentu v mechanických sústavách. Plynné médium nepodlieha únave ani starnutiu, preto spojka nestráca svoje pôvodné pozitívne charakteristické vlastnosti na rozdiel od bežne používaných materiálov pružných elementov hriadeľových spojok.

Vysokopružná pneumatická hriadeľová spojka tangenciálna (obr. 1) pozostáva z hnacieho telesa 1 a poháňaného telesa 2, medzi ktorými sú konštrukciou tangenciálneho rozmiestnenia po obvodě za sebou rozmiestnené pneumaticko-pružné elementy 3, 4, 5, vytvárajúce pružný reťazec. Pneumaticko-pružné elementy 3 sú pripevnené k oporným častiam 6 hnacieho telesa 1 a k oporným telesám 7, pneumaticko-pružné elementy 4 sú pripevnené len k oporným telesám 7, pneumaticko-pružné elementy 5 sú pripevnené k oporným častiam 8 poháňaného telesa 2 a k oporným telesám 7. Oporné telesá 7 sú súčasťou otočných plávajúcich telies 9 a sú k nim pripevnené pomocou kolíkov 10. Otočné plávajúce telesá 9 sú otočne uložené na čape 11. Čap 11 je súčasťou poháňaného telesa 2 a je s týmto telesom umiestnený súsovo. Ak sa pneumaticko-pružné elementy 3, 4, 5 hriadeľovej spojky cez ventily 12 a ventilové vedenia 13 naplnia plynným médiom na vopred stanovenú hodnotu pretlaku voči okolitej atmosfére, vzájomné dosadnutie oporných častí 6 hnacieho telesa 1 a oporných častí 8 poháňaného telesa 2 udržiava hnacie teleso 1 voči poháňanému telesu 2 v základnej polohe.



Obr. 1. Vysokopružná pneumatická hriadeľová spojka tangenciálna - v neutrálnej polohe v nezaťaženom stave



Obr. 2. Vysokopružná pneumatická hriadeľová spojka tangenciálna - pri maximálnom uhle skrútenia α

Vzájomné prepojenie pneumaticko-pružných elementov 3, 4, 5 je realizované prepojovacími kanálkami 14, vytvorenými v oporných telesách 7. Pri prenose krútiaceho momentu (obr. 2) nastáva pootočenie hnacieho telesa 1 voči poháňanému telesu 2, čím dochádza k deformácii pneumaticko-pružných elementov 3, 4, 5 hriadeľovej spojky. V dôsledku danej skutočnosti sa vytvára kompresia plynného média v týchto pneumaticko-pružných elementoch úmerná zaťaženiu, čo má za následok pružný prenos záťažového momentu v mechanických sústavách. Úlohou oporných telies 7 v spojení s otočnými plávajúcimi telesami 9 je zabezpečiť stabilitu pružného reťazca, vytvoreného z pneumaticko-pružných elementov 3, 4, 5, v radiálnom a axiálnom smere vzhľadom na os rotácie spojky.

ZÁVER

Vysokopružná pneumatická hriadeľová spojka tangenciálna je konštruovaná tak, aby v ľubovoľnej mechanickej sústave hnacieho a poháňaného stroja umožňovala stály pružný prenos záťažového krútiaceho momentu a mechanickej energie pri rôznych prevádzkových parametroch. Cieľom jej aplikácie je zvýšiť technickú úroveň a prevádzkovú spoľahlivosť strojov a zariadení. Konštrukcia spojky

sa zameriava na vytvorenie vysokopružnej spojky, teda spojky s nízkou hodnotou pomernej torznej tuhosti. Súčasným trendom v oblasti pružných hriadeľových spojok, najviac zreteľný v automobilovom priemysle, je vývoj a využitie vysokopružných spojok ako dvojhmotových zotrvačiek automobilov. Plynné médium v kompresnom priestore spojky nepodlieha únavě ani starnutiu, preto spojka ne stráca svoje pôvodné pozitívne charakteristické vlastnosti na rozdiel od bežne používaných materiálov pružných elementov hriadeľových spojok.

Podakovanie

Príspevok bol vypracovaný v rámci riešenia grantových projektov:

KEGA 029TUKE-4/2021: „Implementácia moderných edukačných prístupov pri konštruovaní prevodových mechanizmov.“

VEGA 1/0528/20 „Riešenie nových prvkov ladenia mechanických sústav.“

LITERATÚRA

[1] BAWORSKI, A. - CZECH, P. - GARBALA, K. - WITASZEK, K. - STANIK, Z. (2017): *Selected aspects of wind energy usage in the Białystok region.*

Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport, Vol. 96, pp. 5-13. ISSN 0209-3324.

[2] GUSTOF, P. - HORNIK, A. - CZECH, P. - JĘDRUSIK, D. (2016): *The influence of engine speed on thermal stresses of the piston*. Scientific Journal of Silesian University of Technology: Series Transport, Vol. 93, pp. 23-29, ISSN 0209-3324.

[3] HOMIŠIN J. (2002): *Nové typy pružných hriadelových spojok, vývoj - výskum - aplikácia*. Košice, Viena, ISBN 80-7099-834-2.

[4] HOMIŠIN J. (2016): *Characteristics of pneumatic tuners of torsional oscillation as a result of patent activity*. Acta Mechanica et Automatica Vol. 10, No. 4, pp. 316-323, ISSN 1898-4088.

[5] HOMIŠIN J. (2018): *Contribution and perspectives of new flexible shaft coupling types – pneumatic couplings*. Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport. Vol. 99, pp. 65-77, ISSN 0209-3324.

[6] KRAJŇÁK, J. - MALÁKOVÁ, S. (2019) *Behaviour of change relating to the polytropic coefficient in thermodynamic processes within gaseous medium inside the shaft coupling*. Projektowanie, badania i eksploatacja: Tom 1, Bielsko-Biała, Wydawnictwo naukowe Akademii

techniczno-humanistycznej w Bielsku-Białej, ISBN 978-83-66249-24-0.

[7] MEDVECKÁ-BEŇOVÁ, S. - HOMIŠIN, J. (2018) *Defining of material characteristics for flexible element in pneumatic flexible coupling*. Projektowanie, badania i eksploatacja Tom 1, Bielsko-Biała, Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej, ISBN 978-83-65182-93-7

[8] MORAVEC, J. (2017): *Electromagnetic forming of thin-walled tubes*. METAL 2017, conference proceedings, 26th International Conference on Metallurgy and materials, May 24-26, Hotel Voronez, Brno, Czech Republic, pp. 326-331, ISBN 978-80-87294-79-6.

[9] NESLUŠAN, M. - MORAVEC, J. (2019): *Influence of Components Bending on the Consecutive Plasma Nitridation and Barkhausen Noise Emission*. Communications, Vol. 21, No. 1, pp. 23-28, ISSN 1335-4205.

[10] SKRZYPCZYK, P. - KALUŽA, R. - CZECH P. (2015): *Braking process of enduro and highway-tourist motorbikes*. Scientific Journal of Silesian University of Technology: Series Transport, Vol. 87, pp. 49-62, ISSN 0209-3324.

The use of 3D printing for the sustainable development of Industry 4.0

Marta Kasajová, Ing., PhD.

Department of Industrial Engineering, Faculty of Mechanical Engineering,
University of Žilina,
Univerzitná 1, 010 26 Žilina.
E-mail: marta.kasajova@fstroj.uniza.sk, Tel.: +421 41 513 2707

Peter Bubeník, doc. Ing., PhD.

Department of Industrial Engineering, Faculty of Mechanical Engineering,
University of Žilina,
Univerzitná 1, 010 26 Žilina.
E-mail: peter.bubenik@fstroj.uniza.sk, Tel.: +421 41 513 2719

Miroslav Rakyta, doc. Ing., PhD.

Department of Industrial Engineering, Faculty of Mechanical Engineering,
University of Žilina,
Univerzitná 1, 010 26 Žilina.
E-mail: miroslav.rakyta@fstroj.uniza.sk, Tel.: +421 41 513 2737

Vladimíra Biňasová, Ing., PhD., DiS.*

Department of Industrial Engineering, Faculty of Mechanical Engineering,
University of Žilina,
Univerzitná 1, 010 26 Žilina.
E-mail: vladimira.binasova@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2727

Katarína Štaffenová, Ing.

Department of Industrial Engineering, Faculty of Mechanical Engineering,
University of Žilina,
Univerzitná 1, 010 26 Žilina.
E-mail: katarina.staffenova@fstroj.uniza.sk, Tel.: +421 41 513 2740

The use of 3D printing for the sustainable development of Industry 4.0

Abstract: The paper deals with the analyse of the possibilities of using 3D printing in the manufacturing industry worldwide, and we conducted a questionnaire survey focused on the possibilities of using the technology procedures of 3D printing in the manufacturing industry in Slovakia.

INTRODUCTION

Technologies, rapid progress, innovation, automation are very important from the point of view of globalization. From this point of view, the topic of using 3D printing in the manufacturing industry is very topical. The *COVID* pandemic has changed everyone's view of the future. Companies that had shortages of material during the crisis are gradually starting to use the possibilities of 3D printing in their companies.

A possible reason for the increase in interest in 3D technology is the missing components in companies, without which workers cannot continue to work and make final products [1-3]. Missing components that are not supplied by suppliers as a result of the

pandemic that has hit us can temporarily suspend the production of production lines in companies.

These missing components could be replaced through 3D printing. 3D printing objects are created using an additive process. In the process, the desired object is created by gradually applying the material layer by layer to the base plate [4, 5]. This technological process is the exact opposite of cutting, where we cut pieces using a cutter material. Unlike traditional manufacturing, 3D printing allows us to create complex shapes using a minimal amount of material [6, 7]. Additive manufacturing processes include various technologies, including 3D printing technology [8, 9]. This technology, which includes a number of methods capable of producing 3D products, uses computer software (CAD) in which

we can design products according to our own imagination. The computer hardware has the task of directing the material so that it is deposited layer by layer in the desired geometric shapes.

We define 3D printing as an additive manufacturing process in which products are produced based on a digital design. 3D printing produces a final product identical to the digital model [10, 11]. Using this technology, it is possible to produce more complex objects in less time and at lower costs. Today's, 3D printing innovations allow us to process small and specific components in detail. [12, 13]. This technology provides us with precision, speed high-quality manufactured products. Modern 3D printing provides multiple possibilities for using the remaining material, thus avoiding unnecessary losses [14, 15].

1 METHODS

The following chapter is focused on the analysis of the possibility of using 3D printing in the manufacturing industry, which was realized using:

- worldwide survey focused on 3D technologies,
- questionnaire survey focused on the possibilities of using 3D printing in the manufacturing industry (subsection 2.2) and its evaluation
- information obtained from the event - Spring roadshow of 3D printing and 3D scanning.

2.1 Worldwide survey focused on 3D technologies

In 2020, *Admasys* created an international survey aimed at the use of 3D printing in companies in the *Czech Republic, Slovakia, Hungary* and *Romania* [16]. Analyzing the survey, they found that businesses that decided to use this technology were definitely satisfied with the results. This survey also showed them a big change in the spread of 3D printing technology over the past two years in the *Czech Republic* (Fig. 1). Thanks to this company and their initiative, 3D printing has spread much more in the *Czech Republic*, even to larger one's industrial enterprises.

In the coming years, a significant increase in interest in additive technologies such as 3D printing is expected on the global market. An annual increase of 33 % is estimated, which was also confirmed by the companies involved in the *Admasys* survey. Industrial enterprises see the prospect in this field and highlight the immediate possibility of printing on demand.

We know that currently, the 3D printer is more advantageous for small-scale production. There is no need to make moulds and provide other special equipment. All necessary components can be printed

on a printer. However, this cannot be said about mass production. The potential of using 3D printing in this production is currently focused more on smaller series with restrictions or the production of prototypes.

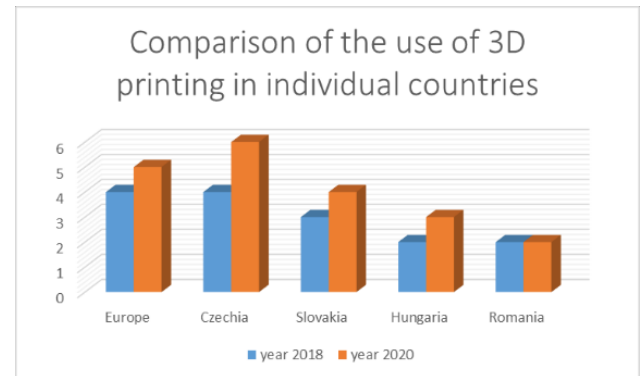


Fig. 1. Comparison of the use of 3D printing in individual countries

Automating 3D printing is not easy, despite the efforts to introduce large-volume printing into manufacturing industries, a human factor is still needed in its operation. The 3D printing production process requires manual steps such as turning on the printer, transferring files to the printer, inserting the appropriate material and finally starting. This procedure requires a lot of time but also the skills of the workers, and this causes the 3D printer not to be introduced into large-scale production.

2.2 Questionnaire survey focused on the possibilities of using 3D printing in the manufacturing industry

The subchapter contains a questionnaire survey, in which the effort was to find out information about the use of 3D printing in manufacturing companies throughout Slovakia. The questionnaire contains 14 questions, which are divided into three sections shown in Fig. 2. 60 of companies filled out the questionnaire.

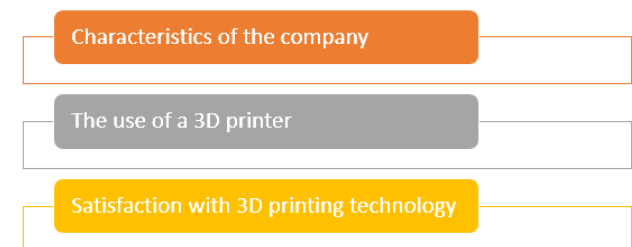


Fig. 2. Main areas of questionnaire survey

In the first section, the questions focus on the characteristics of the company. In enterprises, we asked about categorization according to the number of employees, i.e. whether they belong to the group of micro-enterprises, small enterprises, medium-sized enterprises or large enterprises. The second question refers to the type of production introduced

in the enterprise. There are options for small series, large series, custom and continuous production.

In order to be able to evaluate in which area of industrial enterprises among the respondents 3D printing technology is used, we chose as another question the area of operation of the given enterprise. The most likely industries to choose from are engineering, automotive and others. After answering these questions, the questionnaire will let us go to the second section, to questions focused on the use of the 3D printer.

Section number two contains 8 questions. As the first and key question of the entire questionnaire, we asked if the company had purchased a 3D printer. The choice was *Yes/No*. We consider this question to be crucial, because if the respondent answered negatively, the questionnaire directed him to finish, i.e. send the answers.

The second question of the 3D printer use section asks about the reason for purchasing a 3D printer, we have 5 answers to choose from, and the last one is to write a different reason than those listed in the options above. The following question does not have a choice of options, but it is necessary to add a short answer to the question of what type and brand of 3D printer the company purchased.

Another question is focused on the material used in their printer, there are four options to choose from: plastic, resin, metal, and colour 3D printing technology. Since the 3D printer has many advantages, in the following question we aimed precisely at a few of them. We asked manufacturing companies which of the advantages we listed in the options convinced them to purchase a 3D printer. If none of the options is suitable, the last option is to write your own thought. The question that is next in the sequence determines the possibilities of using 3D printing and therefore whether the company uses it for the production of spare parts, the production of prototypes or in the production of components in development and research. Of course, there is also the possibility to add your own possibility of use in their company.

Question number 11 should find out whether the costs of production using a 3D printer are lower or higher than the costs of producing the same components without the help of 3D printing, i.e. in the traditional production. The final question of this section explores the possibility of using 3D printing in corporate departments. He is trying to find out in which department of the company they see the application of 3D printing, such as the *TPV* department, production, maintenance or others. The last section, also called the Conclusion, finds out whether the companies that participated in this survey are satisfied with the purchase of a 3D

printer. He also analyses whether they want to expand 3D printing or other additive technology in their company in the future. This question should determine the interest of businesses in 3D printing and additive technologies and their expansion in the near future. The last question of the questionnaire is optional, so only those who want to fill it out. A link is written in it where we can contact their company if necessary.

2 RESULTS

Summary of the possibilities of using 3D printing from a questionnaire survey:

- according to the survey, micro-businesses use 3D printing the most in terms of business size (1 to 9 employees). This category is represented by up to 41 %. This confirms to us that, according to the number of employees, 3D printing is used the most in smaller companies,
- the questionnaire survey showed that 3D printing is primarily used for custom production. Custom production accounts for up to 48 % of responses from the questionnaire survey (Fig. 3). It is the so-called custom production. Enterprises do not produce many products but have they do the possibility to produce different variants, which is very close to 3D printing,
- the largest percentage of enterprises (Fig. 4) that participated in the survey in the field of production (activity) belongs to the engineering industry (31.33 %),
- up to 85 % of the companies surveyed have purchased a 3D printer,
- the reasons for purchasing a 3D printer were special production, i.e. the sale of the device printers, due to the variety of shapes, printing spare parts for machines and equipment, individual printing according to your own design and others,
- the most frequently purchased printer brands in the survey were *Prusa*, *Zotrax*, *Crealitiy Ender* or *Markforged*. Other brands were also mentioned here, for example, *EOS*, *HP*, *Max Micron*, *Flyingbear*, *Trilab*, *Anycubic*, *Formlabs* and more. There were several answers even such that it is their own production. One respondent stated that he printed the components on another printer and then assembled it to his liking ideas,
- according to the material point of view and the choice of filaments, most of these companies use plastic 3D printing technology (Fig. 5). The reasons are its simple operation and unnecessary processing or other processing of the component.

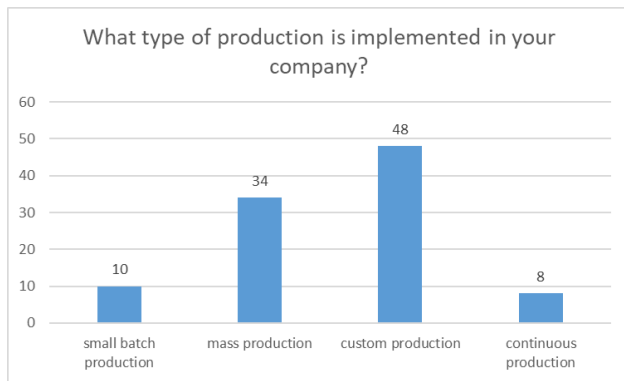


Fig. 3. The type of production

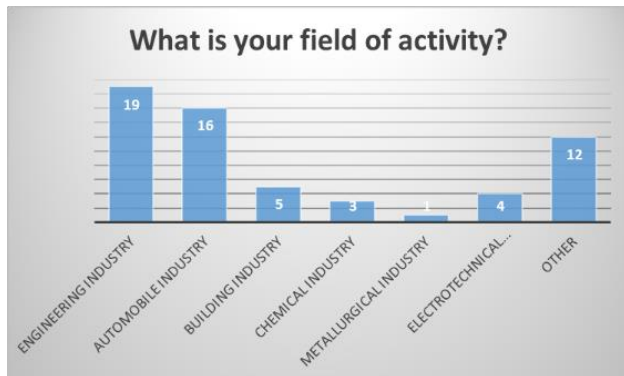


Fig. 4. Main areas of questionnaire survey

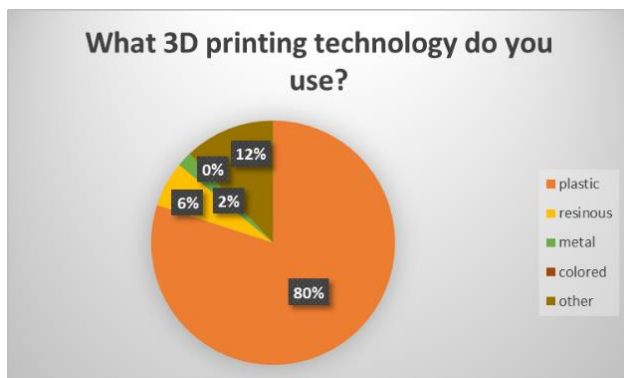


Fig. 5. Advantages of 3D printers

Low production costs have convinced businesses to buy this 3D printing technology and used it in their production (Fig. 6):

- the companies involved in the survey use 3D printing technology in the largest amount 53 % for the production of prototypes,
- when comparing the costs of traditional production and production using 3D printing, it was shown that up to 92 % of companies have lower production costs thanks to 3D printing than they had before it is using,
- by analysing the questionnaire, we obtained information that companies see the use and application of 3D printing, especially in development and research,
- the question of satisfaction with the choice and use of 3D printing evaluated up to 98 % of

success and satisfaction with its functioning and production,

- currently, 3D printing technology is not as widespread in businesses as we would like to be imagined. However, up to 90 % of companies want to continue expanding additive technology in their productions.

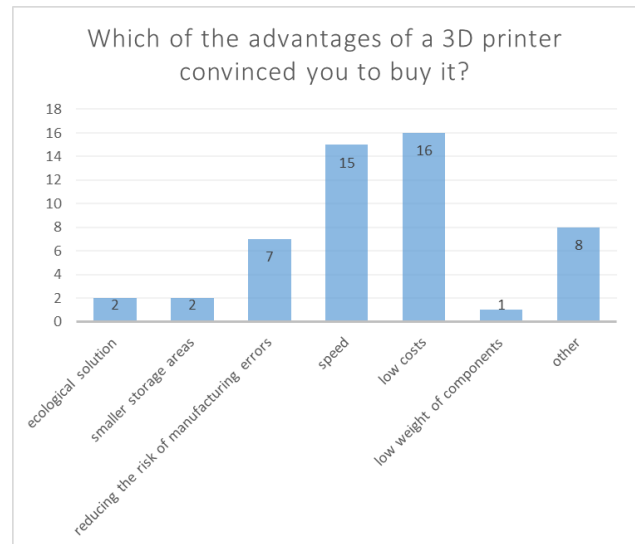


Fig. 6. Advantages of 3D printers

CONCLUSIONS

The development of 3D printing brings constant new possibilities of use in companies and helps in many types of industries. Today, it is technology at a highly professional level, which is adapted to the needs of users. People's desire for environmental friendliness is reflected in the choice of aspects such as food, waste, energy and even the choice of production technologies. One of these technologies is 3D printing, which is currently considered highly ecological.

The main goal of the contribution was to analyse the possibilities of using 3D printing in the manufacturing industry. We analysed the global situation of 3D printing in the manufacturing industries using a survey from *Admasys*. We created a questionnaire survey focused on the possibilities of using 3D printing in the manufacturing industry in *Slovakia*. The results of the conducted questionnaire survey showed in which companies and areas 3D printing is used and is widely used in practice. Thanks to participation in the event - *Spring roadshow* of 3D printing and 3D scanning, we obtained information for those interested in introducing 3D printing in their company. It discusses the current situation of 3D printing in the manufacturing industry but also focuses on its future direction and progress.

Acknowledgements

This work was supported by the Slovak Research and Development Agency under contract No. APVV-19-0305.

REFERENCES

- [1] ANTONIUK, I. - SVITEK, R. - KRAJČOVIČ, M. - FURMANNOVA, B. (2021). *Methodology of design and optimization of internal logistics in the concept of Industry 4.0*. Transportation Research Procedia, 55, 503-509.
- [2] BUBENIK, P. - CAPEK, J. - RAKYTA, M. - BINASOVA, V. - STAFFENOVA, K. (2022). *Impact of Strategy Change on Business Process Management*. Sustainability, 14(17), 11112.
- [3] BUCKOVA, M. - GASO, M. - PEKARCIKOVA, M. (2020): *Reverse logistic*. InvEnt 2020: Industrial engineering – Invention for enterprise - proceedings. Bielsko-Biala: Wydawnictwo Akademii Techniczno-Humanistycznej.
- [4] BUTT, J. (2020). *A strategic roadmap for the manufacturing industry to implement industry 4.0*. Designs, 4(2), 11.
- [5] CHOO, Y. J. - BOUDIER-REVERET, M. - CHANG, M. C. (2020). *3D printing technology applied to orthosis manufacturing: narrative review*. Annals of Palliative Medicine, 9(6), 4262-4270.
- [6] DAY, P. J. - SPEERS, S. J. (2020). *The assessment of 3D printer technology for forensic comparative analysis*. Australian Journal of Forensic Sciences, 52(5), 579-589.
- [7] FLYNT, J. (2020): *Innovative Trends and The Future of 3D Printing*. 3DInsider. <https://3dinsider.com/future-of-3d-printing/>
- [8] FORMLABS FORM 3B+ (2021): *Admasys*. <https://admasys.sk/produkty/3d-tlaciarne/3d-tlac-zo-zivic/formlabs/formlabs-form-3b/>
- [9] GRZNAR, P. - GREGOR, M. - GOLA, A. - NIELSEN, I. - Mozol, S. - Seliga, V. (2022): *Quick workplace analysis using simulation*. International Journal of Simulation Modelling (IJSIMM), 21(3).
- [10] LEE, J. Y. - AN, J. - CHUA, C. K. (2017): *Fundamentals and applications of 3D printing for novel materials*. Applied materials today, 7, 120-133.
- [11] LEE, J. - KIM, H. C. - CHOI, J. W. - LEE, I. H. (2017): *A review on 3D printed smart devices for 4D printing*. International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology, 4(3), 373-383.
- [12] LU, B. - LAN, H. - LIU, H. (2018): *Additive manufacturing frontier: 3D printing electronics*. Opto-Electronic Advances, 1(1), 170004-170004.
- [13] MANI, M. P. - SADIA, M. - JAGANATHAN, S. K. - KHUDZARI, A. Z. - SUPRIYANTO, E. - SAIDIN, S. - FAUDZI, A. A. M. (2022): *A review on 3D printing in tissue engineering applications*. Journal of Polymer Engineering, 42(3), 243-265.
- [14] RAKYTA, M. - BUBENIK, P. - BINASOVA, V. - MICIETA, B. - STAFFENOVA, K. (2022): *Advanced Logistics Strategy of a Company to Create Sustainable Development in the Industrial Area*. Sustainability, 14(19), 12659.
- [15] SUKALOVA, V. - STOFKOVA, Z. - STOFKOVA, J. (2022): *Human Resource Management in Sustainable Development*. Sustainability, 14(21), 14258.
- [16] TAN, H. W. - CHOONG, Y. Y. C. - KUO, C. N. - LOW, H. Y. - CHUA, C. K. (2022): *3D printed electronics: Processes, materials and future trends*. Progress in Materials Science, 127, 100945.

RECENZIA

Pokračujeme v informovaní o starších knihách, resp. závažných dielach z dejín techniky a to prácou od Lazara Erckera z roku 1574, ktorá vyšla v českom preklade pri príležitosti štvorstého výročia prvého vydania v roku 1974 pod názvom *Kniha o prubýřství*. Najskôr si uvedieme niekoľko faktov o autorovi knihy.

Lazar Ercker sa narodil v roku 1528 v Annaberku na saskkej strane Krušných hôr, v rodine banského podnikateľa Asmusa Erckera a jeho manželky Anny. V rokoch 1547-1548 vyštudoval matematiku a prírodné vedy na univerzite vo Wittenbergu, neskôr študoval pravdepodobne aj v Taliansku. Študijné zameranie a rodinná tradícia usmernili jeho nasledujúce profesijné uplatnenie. Spočiatku pôsobil v rodnom Sasku, najskôr bol nižším úradníkom a od roku 1555 skúšačom mincovne pri kurfirstkom dvore v Drážďanoch. Tu bolo jeho úlohou analyzovať rudy z banských revírov Annaberg, Freiberg a Schneeberg. V roku 1563 predstavil neskoršiemu vojvodovi Júliusovi svoju knihu o mincovníctve. V roku 1566 v Drážďanoch chcel kurfirstovi demonštrovať svoje poznatky skúšobnou tavbou, ktorá zásahom závistlivých kolegov nedopadla dobre a Ercker prišiel o dvorský post. Roku 1567 preto presídlil do Čiech. Prvým pôsobiskom sa mu stalo mesto Jáchymov. Odtiaľ presídlil do Kutnej Hory a potom do Prahy.

Vyčerpanie bohatších rudných ložísk a prechod na ťažbu polymetalických rúd s nižšími obsahmi striebra ho už v Sasku priviedli k rozhodnutiu venovať sa problému zvýšenia vyťažiteľnosti rúd i v teoretickej rovine. Práve pre tieto svoje znalosti bol povolaný aj do služieb českého kráľa a v marci 1568 bol ustanovený kontrolným skúšačom v Kutnej Hore. V roku 1570 bol prijatý do Českej komory, vtedajšieho centra českého hospodárskeho úradu, na riešenie naliehavých úloh banskej a mincovej správy. Cisár Maximilián II. ho potreboval hlavne ako účtovníka k pozdvihnutiu finančného hospodárstva. Počas tejto služby napísal Ercker v roku 1574 svoje hlavné dielo *Knihu o skúšobníctve*. Cisár Rudolf II. ihneď po svojom nástupe na trón Erckerovo teoretické i praktické pôsobenie plne podporil. V roku 1577 Ercker zastal na úplnej špici tuzemskej banskej hierarchie, keď sa stal najvyšším banským majstrom Českého kráľovstva. Pokúšal sa presadiť dôležité reformy v oblasti banského podnikania, technológie ťažby a spracovania rúd. V roku 1583 získal tiež úrad pražského mincmajstra a v roku 1590 sa dokonca uvažovalo o jeho menovaní najvyšším mincmajstrom, teda jednej z najdôležitejších funkcií v správe štátu. V roku 1586 ho Rudolf II. povýšil do šľachtického stavu a udelil mu erb. Počiatkom 90. rokov 16. storočia bol Lazar Ercker na vrchole síl. Na prelome rokov 1593-1594 ochorel a 6. januára 1594 zomrel.

Poznatky o spracovaní kovov si Lazar Ercker starostlivo zaznamenával. Postupne napísal niekoľko kníh o skúšobníctve (analýze rúd), z ktorých najznámejšou je nemecky písaná *Kniha o skúšaní* z roku 1573, o rok neskôr bola vydaná v Prahe tlačou. Toto Erckerovo dielo sa dočkalo pätnástich reedícií v štyroch jazykoch a až do 18. storočia slúžilo ako receptár aj ako učebnica na európskych banských učilištiach a banských akadémiách. Význam Lazara Erckera pre české baníctvo, kovohutníctvo a mincovníctvo bol nemalý. Jeho kniha o skúšobníctve z roku 1574 spolu s dielom Georgia Agricola o baníctve a hutníctve z roku 1556 prispeli k formovaniu banských vied, ktorým akurát v tej dobe boli budované základy.

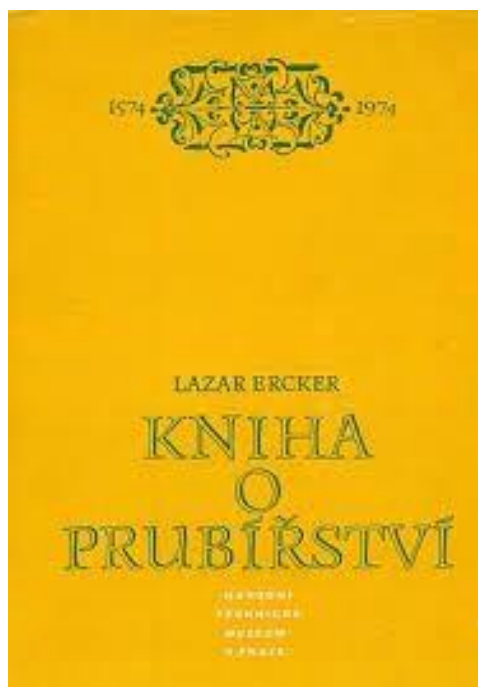
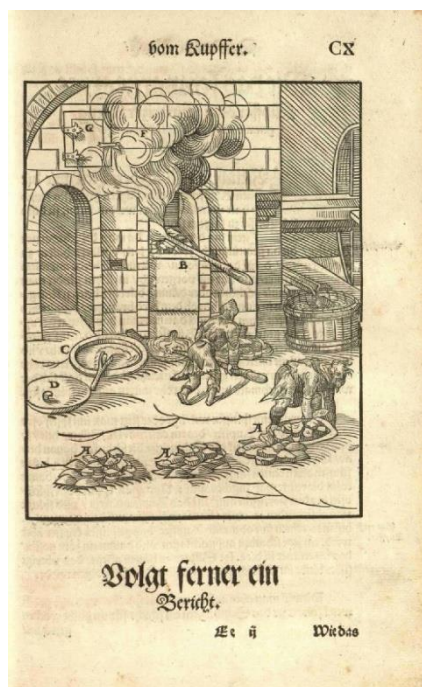
Český preklad knihy od L. Erckera má 271 strán. Preložil ho Pavel Vitouš, vydalo Národní technické muzeum v Praze v počte iba 450 výtlačkov. Ide o jednoduchú lepenú brožúru s prebalom. Na strane 4 je uvedený text v staročeskom jazyku, kde autor L. Ercker sľubuje, že knihu preloží do češtiny. Rukopis sľúbeného prekladu, ani jeho výtlačok neboli nájdené. Kniha je delená na päť kapitol (kníh) a v obsahu, ktorý je veľmi podrobný a nie je možné ho uviesť na tomto mieste, je uvedené všetko to, čo by mal dobrý skúšač kvality rúd poznať. Autor upozorňuje: „*Za prvé a především znalost kovových rud a druhů hornin, totiž tak jeden každý se má od druhého odlišovati tvarem a barvou, což se ovšem nemůže dít bez zvláštní velké pile a každodenního cvičení.*“ Pretože v tomto prehľade môžem podať iba určité fakty z knihy, tak upozorňujem na autorovu pedantnosť, ako napr. v odseku *Jak se mají zhotoviti a seřiditi dobré prubířské váhy*. Píše: „*Dej si ze starého čepele meče ukovat nebo formovat vahadélko, které má také široký, tenký jazýček a je vůbec čistě a zcela svařeno a není na něm nic křivého.*“

Podobne pokračuje: „*Seřízení prubířských vah je zvláštní umění a provést je na puibířských vahách je pravý umělecký kousek; který není znám každému, který je může udělat.*“

Pre skúšača boli potrebné znalosti najmä váhových jednotiek. V dobe autorovho pôsobenia nebola žiadna unifikácia, takže skúšač musel poznať rozličné hodnoty váhových jednotiek. Skúšobnícky centár sa delil na 100 libier (funtov) (Pfund), libra na 12 lótov, lót (Loth) na štyri kventlíky (Quint alebo Quntchen) a kventlík na štyri denáry. Kventlík zodpovedal 4,375 g. K dispozícii mal: Hornoharžský 1 centár 5 g, Freiberský centár 3,75 g. Takže sa musel každý skúšač drahých kovov a rúd veľmi dobre orientovať v spleti rozličných údajov o hmotnosti a určite mať k dispozícii prepočítavacie tabuľky.

Vedecký jazyk ako dorozumievací prostriedok má svoje zvláštnosti. Každý nový objav, najmä taký, ktorý vedie ku zmene základných princípov vedeckého nazerania, núti k vysvetleniu, ktoré väčšinou ešte nemá svoju terminológiu (nové slová, pojmy). Z toho dôvodu sa vytvárajú nové slová alebo sa dovtedajšie vedecké pojmy prispôbujú novým poznatkom. Ale aj keď sa vytvoria nové slová, je potrebné ich vyložiť a vymedziť pojmami a názvami známymi, t. j. ukázať, v čom sa pojmy vyjadrené slovami dovtedajšieho nazerania líšia od pojmov na nazeranie nového stavu. Toto je dôležité si uvedomiť práve s uvedeným dielom *L. Erckera*, ktorý položil základy novej vedy, ktorá vychádzala zo starších skúseností. Záujemcovi je iba možné toto vedecké dielo odporučiť a nech si zoberie z neho to, čo sa mu hodí, ale je potrebné všímať si spôsob uvažovania vedca žijúceho v šestnástom storočí. Ako povedal *Th. Heyerdahl*: “*Nesmejme sa z tých, čo tu boli pred nami, ešte dnes zberáme plody ich práce.*” To v plnej miere platí aj o uvedenej knihe.

Výraz *prubírství* prekladám ako skúšobníctvo, skúšanie, pretože ide o slovo prebraté z nemčiny, kde má podobu *probst*, *proben*.



Ilustrácia z Erckerovej knihy a prebal českého vydania z roku 1974

JM

ABSTRAKTY DIZERTAČNÝCH PRÁC OBHÁJENÝCH NA STROJNÍCKEJ FAKULTE ŽILINSKEJ UNIVERZITY V ŽILINE V ROKU 2022

Katedra aplikovanej mechaniky

Analýza kmitania pri diagnostických meraniach vzhľadom k zníženiu poruchovosti strojov a zníženiu počtu nepodarkov pri trieskovom obrábaní

Dizertačná práca sa zaoberá problematikou kmitania a diagnostiky obrábacích strojov pri procese obrábania. Súčasťou práce je experimentálne meranie, skladajúce sa z návrhu a vykonania merania kmitania počas technologického procesu frézovania na štyroch rozličných vzorkách. Meranie obsahuje aj vyhodnotenie zaznamenaných dát, ktoré pozostáva z porovnania veľkosti kmitania pri jednotlivých typoch a spôsobov frézovania vzoriek pomocou štatistických charakteristík premietnutých v *boxplotoch*. Meranie obsahuje spektrálnu analýzu kmitania pre vybrané vzorky, a spektrálnu analýzu nábehu a dobehu vretena stroja.

Autor: Ing. Martin Gavlas

Školiteľ: doc. Ing. Vladimír Dekýš, CSc.

3D tlač čelných ozubených kolies z polymérnych a kompozitných materiálov vystužených uhlíkovými vláknami a skúmanie ich mechanických vlastností

Práca sa zaoberá návrhom a overením metodiky 3D tlače ozubených kolies s evolventným ozubením a zhodnotením ich mechanických vlastností. V úvode je zhrnutá problematika aditívnych metód 3D tlače kompozitných materiálov. Prvá časť práce sa venuje mechanickému zaťaženiu skúšobných vzoriek z kompozitných materiálov *Onyx* a uhlíkové vlákno vytlačených na 3D tlačiarňi. Na vzorkách boli vykonané ťahové skúšky a následne boli simulované pomocou softvéru *Ansys ACP*. V ďalšej časti práce je analyzovaný postup 3D tlače ozubených kolies z materiálov *Onyx* a *Onyx* s uhlíkovým vláknom. Ozubené kolesá boli vytlačené aj z polymérnych materiálov *PLA* a *PETG*. Metódou *lock-in* termografie sme pomocou modálneho budiča silovo zaťažovali ozubené koleso, v ktorom bola registrovaná odozva na zaťaženie. Cieľom bolo na zaťažennom zube získať rozloženie prvého invariantu napätia. V softvéri *Ansys APDL* sme simulovali prípad dvoch ozubených kolies v zábere. V závere práce sme zhodnotili a porovnali výsledky experimentu a simulácie, pričom bola dosiahnutá dobrá zhoda pre materiály *PLA* a *PETG*. Pre *Onyx* a *Onyx* s uhlíkovým vláknom boli diskutované možné problémy v experimentálnej časti. Použitie *lock-in* infračervenej termografie považujeme za vhodnú experimentálnu metódu a tak isto aj simulačný model v *Ansys APDL* s využitím funkcie *Reinforcing*.

Autor: Ing. Michal Kaco

Školiteľ: doc. Ing. Vladimír Dekýš, CSc.

Katedra dopravnej a manipulačnej techniky

Zlepšovanie mechanických vlastností brzdového stavu UIC

Dizertačná práca sa zaoberá vylepšením mechanických vlastností skúšobného certifikačného stavu *UIC*. Úvod práce je venovaný teoretickej problematike mechaniky tuhých telies a kmitania. Ďalšia časť práce sa venuje definícií mechanického a meracieho reťazca skúšobného stavu z hľadiska zaznamenávania a analýzy nameraných údajov. Ďalej sa práca zaoberá stanovením ekvivalentnej torznej schémy skúšobného stavu, pre vytvorenie virtuálneho dynamického modelu, na základe ktorej sú v práci stanovené a vypočítané základné vstupné parametre a vytvorené virtuálne modely skúmaných súčastí. Pre overenie dynamického modelu bola zhotovená simulácia a verifikačné meranie, na základe ktorého bol následne dynamický model upravený. Hlavná časť práce sa zaoberá analýzou zmeny parametrov skúšobného stavu na priebeh torzného kmitania pomocou dynamického modelu a snahou o jeho

eliminovanie. Na základe vykonanej analýzy a nameraných údajov sa ďalšia časť práce zaoberá návrhom eliminátora torzných kmitov. Návrh pozostáva z konštrukcie a následného overenia únosnosti kritických komponentov. Záver práce sa zaoberá skúmaním vlastných frekvencií montážnych celkov skúšobného stavu pomocou simulačného prostredia *SolidWorks Simulation* a možnom dopade kmitania na priebeh meraných veličín. Z vykonaných simulácií je následne definovaná potreba zmeny konštrukcie vybraných celkov. Výsledkom tejto práce je komplexná analýza rozloženia mechanického reťazca skúšobného stavu na prevádzku a zaznamenávanie meraných veličín z hľadiska torzného kmitania a vlastných frekvencií. Ďalej stanovenie vhodného rozloženia skúšobného stavu z hľadiska dopadu torzných kmitov, návrh zariadenia priamej eliminácie torzných kmitov a stanovenie potreby zmeny konštrukcie vybraných montážnych celkov skúšobného stavu, ako aj stanovenie potreby nastavenia súosovosti jednotlivých komponentov pri montáži vymeniteľných súčastí stavu.

Autor: Ing. Lukáš Čajkovič

Školiteľ: prof. Dr. Ing. Juraj Gerlici

Simulácia prúdenia vzduchu pri brzdení kotúčovou brzdou

Dizertačná práca sa zaoberá problematikou aerodynamiky brzdových kotúčov. Pomocou softvéru *Ansys Fluent* boli vykonané CFD simulácie prúdenia vzduchu pre tri geometrie brzdových kotúčov: s radiálnym rebrovaním, so stĺpkovitým rebrovaním a plným. CAD modely analyzovaných kotúčov boli namodelované v softvéri *SolidWorks*. Simulácie sa vykonávali v dvoch režimoch: otáčanie kotúča v nepohyblivom vzduchu a otáčacie kotúča s vplyvom vetra. Zo simulácií boli pre každý kotúč zistené aerodynamické straty, vznikajúce počas jeho pohybu v dvoch režimoch a je predstavené ich porovnanie. Pomocou simulácií bol urobený odhad vplyvu krytu pre kotúč na veľkosť strát vetraním. Tiež boli urobené experimentálne merania aerodynamického odporu na špeciálnom skúšobnom brzdovom zariadení. Pre merania boli použité modely kotúčov zmenšené v mierke 1:3 s radiálnym rebrovaním a 1:4 s radiálnym a stĺpkovitým rebrovaním. Zmenšené modely kotúčov boli vytlačené na 3D tlačiarňi. Výsledky merania na skúšobnom zariadení sú porovnané s výsledkami simulácií pre také isté modely kotúčov. Je navrhnutý interval spoľahlivosti pre vykonanie meraní na popísanom skúšobnom stave. Je uvedený predpoklad na prepočet hodnôt aerodynamických strát zmenšeného kotúča na straty kotúča reálnej veľkosti.

Autor: Ing. Yuliia Fomina

Školiteľ: prof. Dr. Ing. Juraj Gerlici

Simulácia prúdenia vzduchu pri skúškach na brzdovom stave UIC

Doktorandská práca sa zaoberá simuláciou prúdenia vzduchu pri skúškach brzdových komponentov na brzdovom stave *UIC*. Primárnym cieľom práce je vytvorenie simulačného modelu prúdenia vzduchu a analýza výsledkov z neho získaných. V prvej časti rozoberá teoretické základy simulácií prúdenia, na ktorých sú postavené turbulentné modely využité v práci. V rešerši sú popísané princípy, ktoré boli použité v dostupnej literatúre na riešenie podobných problémov. V druhej časti je popísaná vzduchotechnika, jej komponenty a požiadavky na ňu kladené vyhláškou *UIC*. Na základe tohto popisu je vytvorený CAD model brzdového stavu, ktorý je po zjednodušení konvertovaný na model vhodný pre CFD simulácie. V tretej časti sú sumarizované simulované prípady a ich okrajové podmienky, a takisto je popísané zloženie siete. V záverečnej časti sú prezentované a diskutované výsledky simulácií, z nich niektoré sú za dobrej zhody porovnané s experimentálne zistenými hodnotami. Záver sumarizuje zistené poznatky a konštatuje úroveň naplnenia cieľov práce. Práca je využiteľná najmä pre lepšie poznanie javov súvisiacich s prúdením vzduchu pri činnosti brzdového stavu, ale aj pre pedagogické účely ako vzorový dokument pre prácu so simuláciami prúdenia.

Autor: Ing. Vladimír Pavelčík

Školiteľ: prof. Dr. Ing. Juraj Gerlici

Zlepšovanie parametrov meracieho reťazca brzdového stavu UIC

Cieľom práce je odhaliť a pokúsiť sa eliminovať vhodnými opatreniami rušivé vplyvy na snímače ktoré sa podieľajú na snímaní, riadení a vyhodnocovaní meraných veličín brzdového stavu *UIC*. Úvod práce je venovaný meraniu a vyhodnocovaniu veličín zo snímačov brzdového stavu *UIC*, následnému

nezávislému meraniu rušivých vplyvov v ich okolí. Ďalej práca pojednáva o simulačnom vyhodnocovaní vlastných frekvencií jednotlivých rámových konštrukcií ktorá je podložená experimentálnymi meraniami a modálnymi analýzami. Záver práce uvádza návrhy možných riešení odhalených nepriaznivých vlastností jednotlivých rámových konštrukcií strojových celkov.

Autor: Ing. František Pribilinec

Školiteľ: prof. Dr. Ing. Juraj Gerlici

Katedra priemyselného inžinierstva

Krátkodobé plánovanie s podporou simulácie v inteligentnej výrobe

Predložená práca je venovaná krátkodobému plánovaniu inteligentnej výroby s využitím počítačovej simulácie. V rámci dizertačnej práce je spravený komplexný prehľad metód inteligentných výrobných systémov a existujúcich metód používaných pri rozvrhovaní výroby. Nevyhnutnou súčasťou on-line rozvrhovania je aj zber dát v reálnom čase. Návrhová časť práce je venovaná tvorbe systému rozvrhovania založeného na simulácii a on-line získavaní dát. Spojenie monitorovacích systémov, optimalizačných metód a simulačných nástrojov výrazne skvalitní a urýchli samotný proces krátkodobého plánovania.

Autor: Ing. Ivan Antoniuk

Školiteľ: prof. Ing. Martin Krajčovič, PhD.

Vplyv zmeny stratégie na riadenie podnikových procesov

Predložená práca predstavuje návrh systematického postupu implementácie zmien stratégie do interných podnikových procesov pre projektovo orientovaný výrobný typ organizácie. V práci sú prezentované dôležité kroky strategického manažmentu, základné pojmy z oblasti stratégie podniku, podnikových procesov a ich analýz. Navrhnutá metodika obsahuje šesť krokov kde prebieha výber, overenie kľúčových ukazovateľov výkonnosti v jednotlivých úrovniach riadenia a kvantifikáciu dopadu zmeny stratégie. Metodika umožňuje manažmentu výber a hodnotenie procesov pre naplnenie zvolenej stratégie spoločnosti.

Autor: Ing. Juraj Čapek

Školiteľ: doc. Ing. Peter Bubeník, PhD.