

# ROBOTOK MUNKATERÜLETÉNEK ÉS SZERKEZETÉNEK TERVEZÉSE, ÁTTEKINTÉS

## DESIGN OF ROBOT WORKSPACE AND STRUCTURE, A REVIEW

Bodnár Dávid\*, Jármai Károly\*\*

### ABSTRACT

*The use of robots for various tasks is growing. In order to identify possible research directions, this paper aims to review the progress achieved in the optimisation of workspace, lifetime and structure of robots in industrial or medical applications. Medical applications are considered because of the potential for improved accuracy and control and reduced invasiveness compared to traditional surgical methods. This review will form the basis for future research on the topic, identifying possible research directions using the algorithms and techniques reviewed. The focus is on workspace and structure optimisation, with an emphasis on cost-effectiveness.*

### ÖSSZEFOGLALÓ

*A robotok alkalmazása különböző feladatokra folyamatosan növekszik. A lehetséges kutatási irányok azonosítása érdekében ez a tanulmány az ipari vagy orvosi alkalmazásokban alkalmazott robotok munkaterület-, élettartam- és szerkezetoptimalálásban elért eredményeket kívánja áttekinteni. Az orvosi alkalmazásokat azért vesszük figyelembe, mert a hagyományos műtéti módszerekhez képest javítható a pontosság és az irányítás, valamint csökkenthető az invazivitás. Ez az áttekintés a témával kapcsolatos jövőbeli kutatások alapját képezi, meghatározva a lehetséges kutatási irányokat az áttekintett algoritmusok és technikák felhasználásával. A hangsúly a munkaterület- és szerkezetoptimaláson van, a költséghatékonyság szem előtt tartásával.*

### 1. SZERKEZETI TERVEZÉS ÉS OPTIMÁLÁS

A szerkezeti tervezés a robot kezdeti elrendezésétől függ. A különböző típusú robotokat gyakran különböző nevekkkel jelölik. Például Schönflies-motion [1], hibrid soros-párhuzamos [2], Tricept [3], Scara és Puma. Ezen manipulátorok széles skálájának szerkezeti tervezéséről és optimalásáról találhatunk tanulmányokat, a legelterjedtebb ipari robotkaroktól [4] az olyan speciális területeken használt robotokig, mint a minimálisan

invazív sebészet (MIS) [5] vagy a többszörös kötélhajtású űrrobotok [6].

Az evolúciós robotika is említésre méltó [7]; célja a robotok tervezési folyamatának automatizálása azáltal, hogy két fő komponensre bontja őket, egy testre, mint a hardver, és egy agyra, mint a vezérlő vagy szoftver.

Öt szabadsági fokú robotot lehet építeni az alap forgásának kombinálásával, három forgócsuklóval a karban egy forgócsuklóval a kar végénél [8].

A tervezési folyamat során strukturális optimalást alkalmaznak a kívánt tervezési célok elérése érdekében egy iteratív folyamat segítségével. Erre példa a [9] által bemutatott tervezési kihívás. Ez a cikk egy karcsú, három szabadsági fokú robotkart mutat be, amelyet szilárd hajtóanyagú rakétahajtóművek belső falának csiszolására használnak. Végeelem- és érzékenységelemzés felhasználásával szerkezetoptimalizáló alkalmazást fejlesztettek ki, 9,1%-os súlycsökkentést értek el. Az eredményeket a gyakorlati munkafolyamatok vizsgálati eredményeivel is összevetik.

Egy robot összekötő elemeinek topológia optimalása a lehető legrosszabb vagy a legnagyobb statikus terhelési feltételek kiszámításával végezhető el. Ezzel a módszerrel azonban a generált topológia nem lesz a lehető legjobb más szöghelyzetek esetén, mivel az a számításokhoz használt normalizált terheléstől függ. A [10] a statikus terhelési technikára épülő módszert javasol. Ez a megközelítés több kedvező topológiát számol ki különböző pozíciókhoz, majd a paraméterek szabványosítása és újrászámítása után több szöghelyzethez optimális könnyű topológiát kap.

A robottervezési folyamat lépései Jorge Angeles és Frank C. Park a Springer Handbook of Robotics (2008) [11] című könyvében foglaltak szerint hat szakaszból állnak:

1. A topológia meghatározása. Ez egy kinematikai lánc, amelyet a mechanikai szerkezet paraméterei adnak meg. Kiválasztjuk a robot típusát: soros, párhuzamos vagy hibrid. Az csuklók típusát is eldöntik, a leggyakrabban alkalmazott a forgó és a prizmatikus csukló.

2. Meghatározzuk a geometriai méreteket. Ez a lépés lehetővé teszi a tervező számára, hogy megkapja az ízületek jellemző paramétereit, és ez adja meg a szükséges információkat a robot munkaterületének meghatározásához is. Az ízületi elemek paraméterei is

\* mérnök, Emerson Automation FCP Kft. Eger, PhD hallgató, Miskolci Egyetem, Energetikai és Vegyipari Gépészeti Intézet

\*\* egyetemi tanár, Miskolci Egyetem, Energetikai és Vegyipari Gépészeti Intézet

ebben a lépésben szerepelnek, ami nem befolyásolja az architektúrát, de korlátozhatja a mozgási képességet, és ezzel együtt a maximálisan elérhető munkaterületet.

3. A kapcsolatok és az ízületek méretezése a statikus terhelési követelményekhez. A számítás során az erők és a nyomatékok is szerepelnek.

4. A láncszemek és csuklók méretezése a dinamikus terhelési követelményekhez. A dinamikus terhelések a mozgó ízületekből és a manipulált tárgyból származó tehetetlenségi hatások.

5. Az elasztodinamikai méretezés meghatározása. Ezt a teljes mechanikai szerkezetre vonatkozóan kell elvégezni, hogy elkerülhetők legyenek a teljesítményt csökkentő frekvenciák. A működtető elemek dinamikája ennek a méretezésnek a részét képezi.

6. Válassza ki a működtetőelemeket. Válassza ki a működtetőelemek teljesítményátvitelének módját.

Könnyen belátható, hogy ha ezeket a lépéseket követjük, és egymás után végezzük el, akkor olyan robotot tervezhetünk, amely képes a tervezett feladatok elvégzésére. Egy összetett rendszer optimalítása nehéz feladat, de a tervezési lépések egymás utáni optimalizálásával optimális tervezés érhető el. Például a robotkar egyik láncszemének optimalizálása lehetővé teszi a tervező számára, hogy kisebb motort válasszon, és így több paramétert javítson.

Természetesen a tervezési folyamat befejezése után szükség van a teljesítmény értékelésére. Ez elvégezhető akár a fent bemutatott alulról felfelé, akár az ellenkezőjét, a felülről lefelé megközelítést alkalmazva készült a terv. A felülről lefelé irányuló megközelítésben a robot már adott, és a feladat az optimális feladatelhelyezés meghatározása az adott munkaterületen. Ezt az elhelyezési döntést az adott manipulátor ügyessége korlátozza. A kezűgyesség értéke nagyobb, ha a lehetséges testtartás-variációk nagyobbak. Ez az érték a munkaterület kiválasztott pontjához van kötve [12].

## 2. MUNKATER

A munkaterület, amelyet egy robot elérhet, döntő fontosságú téma. A gyakorlatban, ha a munkaterület túl kicsi, a robot alkalmatlan a tervezett feladatra. Ha azonban a munkaterületet nem használják ki, az veszteségnek tekinthető, mert egy kisebb robot is elegendő lenne. Az egyik megközelítés az, hogy a semmiből kell kifejleszteni egy célzottan erre a célra épített robotot. A hajók kettős héjazatú szerkezetében hegesztő robotot a kinematikai változók tekintetében optimalizálni lehet, hogy a kívánt funkciókat kielégítse. A [13] című tanulmány egy feladatorientált munkaterület segítségével mutatja be a tervezési folyamatot. A szükséges forgási szöveket a hegesztés során bejárando útvonal ismeretében határozzuk meg. Ez felhasználható a kinematikai változók kiszámításához.

A mechanikai szerkezet pontos és optimális számítása kulcsfontosságú téma, mivel ez a kezdeti tervezés része, és a gyártás után a geometria véglegesnek tekinthető. A robotokat úgy tervezik és építik, hogy előre meghatározott feladatokat hajtsanak végre. A legjobb, ha ezeket a követelményeket már a magas szintű korai tervezési fázisban lefedjük, hogy garantáljuk, hogy a végső specifikáció optimális legyen az előre meghatározott pozíciók, a kívánt orientációk és a mozgékonyág szempontjából [14].

Az optimalizáláshoz számos különböző megközelítés létezik, a [15]-ben az *Escherichia coli* (*E. Coli*) baktériumok táplálékkereső viselkedésén alapuló evolúciós optimalizációs algoritmust mutatnak be. Ez az organizmus az emberi bélben van jelen, és újszerű módon keresi a tápanyagokat. Kétféle mozgástípussal rendelkezik: egy alacsony energiájú "úszás" módszerrel a kívánt cél eléréséhez és egy nagy energiájú "bukdácsló" mozgással véletlenszerű irányokban. Az utóbbi mozgás több energiába kerül, de nagyobb eséllyel talál új tápanyagfoltokat. Maga a táplálékkeresés folyamata, amely az optimalizálás módszerét adja, négy folyamatra magyarázható:

1. Kemotaxis: Ez a baktériumokra jellemző mozgás, a kis energiájú "úszás" és a nagy energiájú "bukdácsló" mozgás együttesen. Az úszás esetében a mozgás hossza előre meghatározott, a bukducslás esetében pedig a mozgás iránya és amplitúdója véletlenszerű.

2. Rajzás: Ez a viselkedés biztosítja, hogy a baktériumok a kemotaxis fázisban együtt maradjanak. Ez egy adott optimalizációs feladatra a lehető legjobb megoldás megtalálásának analógja.

3. Szaporodás: A baktériumok egy lehetséges megoldás megtalálása után két csoportra oszlanak. Az "egészségesebb" rész felváltja a másik részt. Ezt az előre meghatározott fitnessfüggvény diktálja.

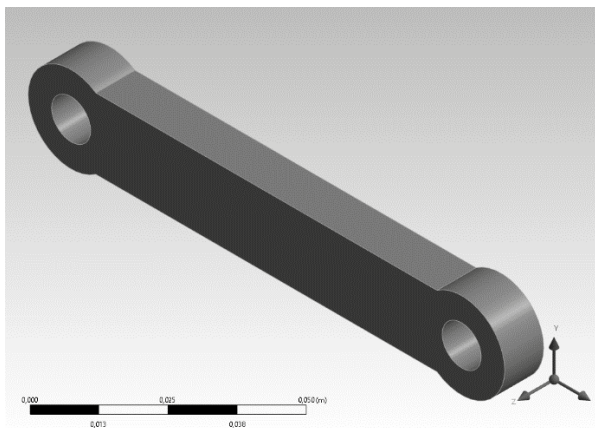
4. Elimináció és szétszóródás: Ez a lépés biztosítja, hogy a megtalált megoldás a lehető legjobb megoldás legyen. Egy előre nem látható esemény megzavarhatja az algoritmust, például egy másik kiindulási pont vizsgálata. Ez segít csökkenteni a stagnálást és kiküszöbölni a lokális optimumpont körüli lebegést.

## 3. OPTIMÁLÁS ANSYS 2022 R2-BEN

Az optimalizációs feladat az Ansys 2022 R2 Academic Version-ban rendelkezésre álló közvetlen optimalizációs módszert értékeli. A választott munkadarab egyszerű, mindkét végén rögzítési pontokkal. Ezeket parametrikusan szimmetrikusra korlátozzuk, és a munkadarab is szimmetrikus a ZX síkhoz képest, ahogy az 1. ábrán látható. A munkát a Static Structural és a Direct Optimization komponensekkel végezzük.

A modell az Ansys DesignModeler programban készült. Ez lehetővé teszi a felhasználó számára, hogy a parametrikus modellt építsen. A modellre vonatkozó valamennyi dimenzió kiválasztható az optimálás paramétereiként. Ebben a példában 5 darab paraméter lett létrehozva. Ezek a paraméterek a rögzítési pontokra, anyagvastagságra és a súlyra vonatkoznak:

1. "D18" - a rögzítőszem belső átmérője
2. "D20" - a rögzítőszem külső átmérője
3. "L23" - a gerenda magassága az Y tengelyen.
4. "E" - az alkatrész extrudálási szélessége
5. Az alkatrész tömege



1. ábra A munkadarab parametrikus modellje

A következő lépés a végelem vizsgálat beállítása, és itt a teljes deformációra került kiválasztásra. A paraméterek kijelölése után a programban automatikusan létrejön a Paraméterek sor. A Direct Optimization modul beillesztése után az eredetileg kiválasztott paraméterek jelennek meg a modulban. A célkitűzéseket és a kényszereket még be kell állítani. Két célkitűzés került optimálásra egyidejűleg. A cél a szilárd tömeg és a teljes deformáció maximumának egyidejű minimalizálása volt. A terhelést a számítások során állandó értéken tartjuk.

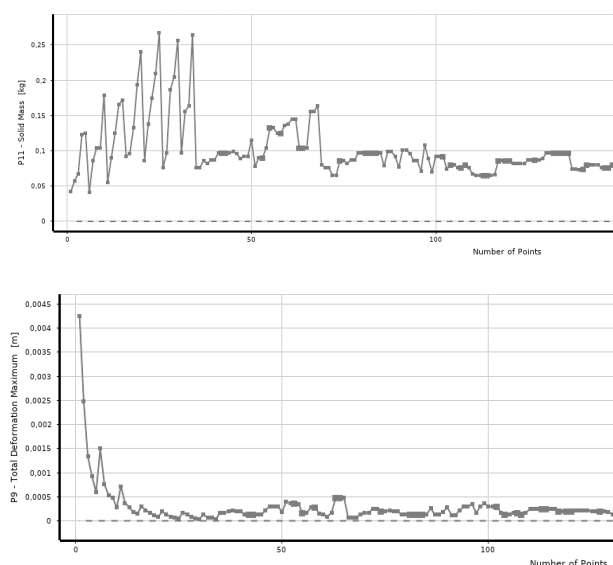
Az optimálási módszer, a program által leírtak szerint: "Az adaptív többcélú módszer a népszerű NSGA-II (Non-dominated Sorted Genetic Algorithm-II) egy változata, amely a kontrollált elitizmus koncepcióján alapul. Több célt és korlátozást támogat, és célja a globális optimum megtalálása. Folyamatos és gyártható bemeneti paraméterekre korlátozódik".

A genetikai algoritmusok alkalmazhatóak egycélú optimálási problémákra. Számos probléma esetén azonban több célfüggvény optimálására van szükség. Ezt úgy lehet megtenni, hogy a több függvényt egyetlen skalár fitnessfüggvénybe kombináljuk, amelyet az egycélú genetikai algoritmus megold. Ez az optimálás az összes célfüggvény lehetséges kompromisszumainak megtalálására irányul. Ezek általában ellentmondások. Emiatt többféle megoldás jelenik meg [16]. Az Ansys például 3 lehetséges megoldást mutat a megadott célokra.

A Kalyanmoy, Agrawal et al. által javasolt NSGA-II [17] az Ansys által használt adaptív többcélú módszer alapja. Az algoritmus egy véletlenszerűen generált pontthalmazt használ kiindulási pontként, amelyet populációnak nevezünk. E populáció első tagját összevetik az összes többi taggal, és "dominálnak" tekintik, ha a fitnessfüggvény szerint bármely más megoldás jobb. Ha ez megtörténik, ez a megoldás kikerül a populációból. Az első ellenőrzés után csak egy tag marad; ez az első megoldásjelölt. A második, véletlenszerűen mutált generáció minden egyes tagját ezzel a megoldással összevetve ellenőrzik. A harmadik generációt az előző generációk két legjobb megoldásával összevetve ellenőrzik. Ez egy ésszerű megközelítés sok lehetséges megoldás gyors kiszámításához. Ebben az esetben összesen 143 tervezési pontot generált, 34 kezdeti mintával.

A 3. ábra a Solid mass paraméter változását mutatja az optimalizáló algoritmus lefutása során. Az első pontok esetében kiszámíthatatlan változások tapasztalhatók; körülbelül 30 pontnál a változás lelassul. A többcélú optimálási módszer miatt a többi paramétert is egyszerre ellenőrzi a program. Ezért ez a paraméter nem mutat egyenes csökkenést. Az algoritmus 7 generáció után konvergált, ami az a láptelmélettel beállítást. Az alábbi ábrán a piros pontok a számítás során használt egyedi tervezési pontokat jelölik. A válaszfelület részét képező pontokra automatikusan egy további négyzetes jelölő kerül.

Egy megoldás akkor tekinthető a válaszfelület részének, ha az értékváltozás minimális a következő ponthoz képest. A 2. ábrát tekintve csak az azonos értéket követő pontokon vannak négyzetek. Az, hogy egy tervezési pont is a válaszfelület része, azt jelzi, hogy az egy lokális minimum. Az végső súlymegtakarítás 9,03%.



2. ábra A súly és teljes deformáció változása

### 3. ÖSSZEKÖZLÉS

Ebben a rövid áttekintésben a robotmanipulátorok különböző feladatokhoz való felhasználását vizsgáljuk. A lehetséges kutatási irányok a zonosítása érdekében ez a cikk áttekintette az ipari vagy orvosi alkalmazásokban használt robotok munkaterület-, élettartam- és szerkezetoptimalizálásában elért eredményeket. Az orvosi alkalmazásokra vonatkozó szakirodalom nem könnyen hozzáférhető, de az optimalizálás hasonlóan elvégezhető. A megfelelő paraméterek megválasztásával jobb pontosság és irányíthatóság érhető el. Ez az áttekintés a témával kapcsolatos jövőbeli kutatások alapját képezi, meghatározva a lehetséges kutatási irányokat az áttekintett algoritmusok és technikák felhasználásával. Egy egyszerű optimalizálási feladat bizonyítja, hogy az Ansys 2022 R2 Academic verzióban funkcionális, könnyen használható, kifejezetten az optimalizálásra vonatkozó modulok állnak rendelkezésre. A kutatás következő lépése a szerkezeti kialakítás optimalizálása, valamint a különböző gyártási módszerek és azok hatásának vizsgálata a robot könnyű gyárthatóságára, gazdaságosságára, merevségére és ügyességére.

### 4. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatást a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal - NKFIH támogatta a K 134358 számú projekt keretében.

### 5. IRODALOM

- [1] G. Wu, S. Bai, P. Hjørnet, Architecture optimisation of a parallel Schönflies-motion robot for pick-and-place applications in a predefined workspace, *Mech Mach Theory*. 106 (2016) 148–165. doi:10.1016/j.mechmachtheory.2016.09.005
- [2] Y. Zhao, J. Mei, Y. Jin, W. Niu, A new hierarchical approach for the optimal design of a 5-dof hybrid serial-parallel kinematic machine, *Mech Mach Theory*. 156 (2021) 104160. doi:10.1016/j.mechmachtheory.2020.104160
- [3] M.A. Hosseini, H.M. Daniali, Cartesian workspace optimisation of Tricept parallel manipulator with machining application, *Robotica*. 33 (2015) 1948–1957. doi:10.1017/S0263574714000861
- [4] S.A. Kouritem, M.I. Abouheaf, N. Nahas, M. Hassan, A multiobjective optimisation design of industrial robot arms, *Alexandria Engineering Journal*. 61 (2022) 12847–12867, doi:10.1016/j.aej.2022.06.052
- [5] J. Li, S. Wang, X. Wang, C. He, Optimization of a novel mechanism for a minimally invasive surgery robot., *Int J Med Robot*. 6 (2010) 83–90. doi:10.1002/res.293
- [6] J. PENG, H. WU, T. LIU, Y. HAN, Workspace, stiffness analysis and design optimisation of coupled active-passive multilink cable-driven space robots for on-orbit services, *Chinese Journal of Aeronautics*. (2022), doi:10.1016/j.cja.2022.03.001
- [7] F. van Diggelen, E. Ferrante, A.E. Eiben, Comparing lifetime learning methods for morphologically evolving robots, (2022). doi:10.48550/arXiv.2203.03967
- [8] G. Shanmugasundar, R. Sivaramakrishnan, S. Meganathan, S. Balasubramani, Structural Optimization of a Five Degrees of Freedom (T-3R-T) Robot Manipulator Using Finite Element Analysis, *Mater Today Proc*. 16 (2019) 1325–1332. doi:10.1016/j.matpr.2019.05.231
- [9] Z. Luo, X. Zhao, L. Liang, F. Wang, Structural optimisation of slender robot arm based on sensitivity analysis, *Math Probl Eng*. 2012 (2012). doi:10.1155/2012/806815
- [10] G. Lakshmi Srinivas, A. Javed, Topology optimisation of rigid-links for industrial manipulator considering dynamic loading conditions, *Mech Mach Theory*. 153 (2020) 103979. doi:10.1016/j.mechmachtheory.2020.103979
- [11] K. Siciliano, J. Angeles, F.C. Park, *Springer Handbook of Robotics*, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2008. doi:10.1007/978-3-540-30301-5
- [12] Tanev, Tanio & Stoyanov, B.. (2000). On the Performance Indexes for Robot Manipulators. *Problems of Engineering Cybernetics and Robotics*. No.49. 64-71.
- [13] D. Lee, T. Seo, J. Kim, Optimal design and workspace analysis of a mobile welding robot with a 3P3R serial manipulator, *Rob Auton Syst*. 59 (2011) 813–826. doi:10.1016/j.robot.2011.06.004
- [14] S. Patel, T. Sobh, Goal directed design of serial robotic manipulators. *Proceedings of the 2014 Zone 1 Conference of the American Society for Engineering Education*, IEEE, 2014: pp. 1–6. doi:10.1109/ASEEZone1.2014.6820684
- [15] S. Panda, D. Mishra, B.B. Biswal, Revolute manipulator workspace optimisation: A comparative study, *Applied Soft Computing Journal*. 13 (2013) 899–910. doi:10.1016/j.asoc.2012.09.009
- [16] T. Murata, H. Ishibuchi, MOGA: multiobjective genetic algorithms, in: *Proceedings of 1995 IEEE International Conference on Evolutionary Computation*, IEEE, n.d.: p. 289. doi:10.1109/ICEC.1995.489161
- [17] K. Deb, A. Pratap, S. Agarwal, T. Meyarivan, A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II, *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*. 6 (2002) 182–197. doi:10.1109/4235.996017

# CONTENTS

1. Péter Bozzay, Prof. Dr. Károly Jármai, Dr. Zoltán Virág:

## VIBRATION DAMPING MATERIAL BEHAVIOR AT LOW TEMPERATURE .....6

Vibration damping plays a vital role in cyclic loading. There are a significant number of different dampers available. Their material properties can change significantly at low temperatures. The research aims to determine the characteristic behaviors of a rubber strap with canvas linings. We determine the loss factor of the material at different temperatures between -50 C° and +20 C°—also the static and the dynamic shear modulus. We use the Brüel & Kjaer measuring devices to change the cyclic loadings and the vibration frequencies. A special refrigerator was available to provide low temperatures down to -60 C°. The measurements were made using fabric conveyor belt specimens.

2. Imre Marada, Dr. János Bihari:

## EQUIPMENT FOR THE ANALYSIS OF FAULTS OF SMALL PLASTIC GEARS .....12

In the case of small plastic gears, production volumes and manufacturing processes severely limit the number of methods that can be used to detect faults. It is therefore particularly important to understand the phenomena caused by faults that are also present, detectable, and measurable on the gear shafts. Among the rotational characteristics, the measurement of torque on the input side is a common test method for gear drives, especially for bevel gears. This method is also suitable for detecting certain faults in gearboxes with small gears and for distinguishing the effects of faults and manufacturing characteristics. In this research, we have established the basis and equipment, for a series of measurements that can be used to gather more definitive information than previously known, to understand the effects of faults in small plastic gears.

3. Tatiane Domokos, Atilla Baksa, Szabolcs Szávai:

## FLD WITH GURSON METAL FOR SIMPLE FLAT SPECIMEN .....16

In the past, the prediction of ductile damage and fracture of metal materials under complex loadings has been an important topic in industries like the metal forming industry. The GTN model is one of the most classical damage models regarding damage mechanics, which has a wide application and perfect evolution in studies of fracture of ductile metal. GTN was originated from Gurson and later enhanced by Tvergaard and Needleman. The improvement consists of inserting an equivalent void volume fraction  $f$  and two more parameters called  $q_1$  and  $q_2$  into the yield function of Gurson's model, in order to model the complete loss of load-carrying capacity at a realistic void volume fraction.

4. Máté Petrik, Betti Bolló, Károly Jármai:

## FIRE SAFETY DESIGN OF A TRUCK TANK IN A PUBLIC ROAD ACCIDENT .....20

The focus of the research is to determine the fire-resistant time of a truck tank containing different liquids in case of a public road accident. The wall material and the wall thickness of the tank have a significant effect on the fire resistance. Depending on the heat release rate, the process can be rapid. We make the calculations for the given tank dimensions and try to optimize the tank for the necessary fire resistance time R30 and R45.

The vessel on a track cannot be classified as a classic pressure vessel, even though the fluid in the cylindrical shell is already loading hydrostatic pressure on the vessel wall. This is due to the dynamic and fatigue loads resulting from the vehicle's progress. Typically, two problems can occur in the event of a fire in such a tank. When transporting a flammable liquid, the fire can cause the pressure in the vessel to increase, resulting in the vessel rupturing.

The use of safety equipment can avoid this. However, a BLEVE phenomenon may occur if the tank is left on fire for too long; on the other hand, when transporting solid granular materials, the medium is less able to dissipate heat, so the container may weaken under the weight load, which may also result in cracking. If the granular material is combustible, a more severe fire may develop.

5. Dr. János Bihari, Imre Marada:

## TESTING BOLTED CONNECTIONS IN PLASTIC PARTS MADE BY FDM PRINTING .....26

FDM and MSLA printing are no longer used as just a tool for prototyping, but many working parts can be produced using these manufacturing technologies. The mechanical properties of these type of parts depend on a number of factors and cannot be as clearly defined, for example for injection molded parts. Since components are often fastened by bolted connections, it is important to know what tightening torques and clamping forces should be used for different materials, in different planes and with different filling ratios. In this research, we aimed to find answers to the question of what clamping forces can be achieved in FDM printed parts with different designs of threaded connections.

6. Dr. Péter Bencs:

## REVIEW OF BUS COOLING SYSTEMS IN THE CONVERSION PROCESS .....30

The primary objective of this research is to investigate the cooling/heating solutions for an urban passenger bus engine cooling and battery plant (for electric drive). A general literature review was conducted to assess the thermal performance expected in a sizing process. In the context of literature, an electrical conversion was also examined to see what cooling system is used for internal combustion engines, what system is replaced and what solution is applied. In the research framework, we tried to find specific thermal performance values for a bus (urban passenger bus) defined in the assignment. The next step of the research was to explore the methods used for cooling internal combustion engines. As a final step in the literature review, the cooling and heating solutions for battery packs used in an electrical conversion were considered (maintaining the optimum temperature range of battery packs).

7. Tamás Géza Molnár, Brigitta Zsóler:

## MATERIAL TESTING OF 3D PRINTED INDUSTRIAL PLASTICS IN TECHNICAL PRACTICE .....35

Our research was made on 3D printing and the mechanical characteristics of printed plastic components, while examining opportunities for its technical applications. We used various tear test samples with different printing technologies from different stocks, making changes to the printing parameters as well. Ready ISO plastic test bodies were submitted to a tearing examination, pulled according to the 527 standards. We compared the stock result examinations, with the tear characteristics of die-cast products, which resulted on average 25-35% lower, for 3D printed samples. The productivity differences compared to diecast, has a diminished concern because of the freedom to form various shapes and prototypes using 3D printing technology, primarily in small series or merchandising test production. 3D yields a suitable solution in this case. The collected results serve as a basis for printing and modeling of planned components and its sizing.

8. Dr. Károly Jármai:

MINIMIZING THE WEIGHT, COST  
AND ENVIRONMENTAL IMPACT  
OF WELDED STEEL STRUCTURES .....46

The article describes how to calculate the environmental impact of steel structures and how different welding technologies cause environmental impacts through the formation of gases during the process. The weight or direct cost of a steel structure can be minimized by optimizing the structure.

9. Gábor Kónya, Zsolt Ferenc Kovács:

PROBLEMS OF MACHINABILITY  
OF NICKEL-BASED SUPERALLOYS .....54

In this paper, the problems of machinability of nickel-based superalloys are discussed, why machinability of these materials is so difficult, and the importance of R&D for industry. These superalloys are some of the most difficult materials to machine and are widely used as raw materials for gas turbines in the aerospace and energy industries. Based on industry experience, slot milling causes the biggest problem, tools wear quickly and breakages are common. Due to the high thermal strength and hardness, the cutting zone is subjected to high shear stresses, resulting in increased cutting forces, and cutting temperatures, which also stresses the tool edge due to extremely poor thermal conductivity of the material. In this paper, we will briefly summarize why the machinability of these materials is so difficult, and which data influences tool lifespan. Based on our research, we presented the effects of tool paths and cooling-lubricating processes on cutting tool life.

10. Seif Eddine Habbachi, Attila Baksa, Marwen Habbachi:

NUMERICAL MODELLING OF TRANSVERSE  
SPRING LEAF WITH STEEL MATERIAL .....62

Automobile suspension systems (springs, shock absorbers, linkages) are becoming more important in today's world, as they contribute to a car's handling and braking, protect the vehicle itself, and protect cargo or luggage from damage and wear. Furthermore, suspension systems have many functions, like preventing the vehicle body and frame from road shocks, giving it stability, and providing comfort as well. In the meantime, suspension equipment needs to have a lower weight, maximum deflection, low maintenance, and a low operating cost. During this work, we will focus only on the leaf spring suspension type, and more precisely, the transverse leaf spring. Our project is a numerical modelling of the transverse leaf spring, using the finite element method, in order to investigate the maximum deflection and stress distribution along a deformable body with two-common vertical and anti-metrical stiffnesses configurations and compare the results with a theoretical model and with the provided data from Iveco company to validate them. Finally, an important comparison was presented between the numerical results and the provided data. In fact, results show that the structure under the applied force was safe.

11. László Pokorádi:

UNCERTAINTY ANALYSIS OF REPAIR WORK  
ESTIMATION BY MONTE-CARLO SIMULATION .....67

Maintenance is one of the most important territories of practical engineering. From the mathematical point of view, the operation of production equipment is a discrete state space, stochastic process, without after-effects, i.e., a Markov-chain. The aim of this paper is to discuss the possibilities of using the Monte-Carlo Simulation of repairing processes, to determine necessary maintenance capacity. The proposed method can be implemented for the assessment of required maintenance capacity of a welding cell depending on allowable estimating uncertainty.

12. Aimen TANOUGAST, Krisztián HRICZÓ:

NUMERICAL SIMULATION OF NANOFUID  
FLOW THROUGH A CORRUGATED CHANNEL  
WITH VORTEX GENERATOR .....72

The radiator is an important part of the car, which cools the different parts of the vehicle by indirect heat exchange, by circulating coolant through the radiator. Heat transfer conditions are a function of the flow, geometry, and temperature characteristics. The present work concerns the numerical study of two-dimensional turbulent flow with heat transfer in a corrugated channel, with and without vortex generators, while applying Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-water nanofluid as a heat transfer liquid.

The governing equations of the flow are the continuity equation, the momentum equation, and the energy equation modeling the heat transfer. This partial differential equation system was discretized and solved using the Ansys-Fluent commercial software based on the finite volume method. The standard k-ε model was used to model turbulence.

We analyzed the effect of parameters and the vortex generators on the solutions. The obtained results were presented graphically.

13. Dávid Bodnár, Károly Jármai:

DESIGN OF ROBOT WORKSPACE  
AND STRUCTURE, A REVIEW .....78

The use of robots for various tasks is growing. In order to identify possible research directions, this paper aims to review the progress achieved in the optimization of workspace, lifetime and structure of robots in industrial or medical applications. Medical applications are considered because of the potential for improved accuracy and control and reduced invasiveness compared to traditional surgical methods. This review will form the basis for future research on the topic, identifying possible research directions using the algorithms and techniques reviewed. The focus is on workspace and structure optimization, with an emphasis on cost-effectiveness.

*The articles in the current issue of GÉP were reviewed by two professional reviewers. The reviewers were (without naming the articles):*

*Bodnár Dávid • Nagy Szilárd • Orbán Ferenc • Szirbik Sándor •  
Hanka László • Máté Márton • Tolvaş-Roşca Ferenc •  
Pokorádi László • Virág Zoltán • Koós Dániel*

# GÉP

## INFORMATIVE JOURNAL

for Technics, Enterprises, Investments, Sales, Research-Development, Market of the Scientific Society of  
Mechanical Engineering

Dr. Döbröczöni Ádám  
**President of Editorial Board**

Vesza József  
**General Editor**

Dr. Jármái Károly  
Dr. Péter József  
Dr. Szabó Szilárd  
**Deputy**

Dr. Barkóczi István  
Bányai Zoltán  
Dr. Beke János  
Dr. Bukoveczky György  
Dr. Czitán Gábor  
Dr. Danyi József  
Dr. Gáti József  
Dr. Horváth Sándor  
Dr. Illés Béla  
Dr. Kalmár Ferenc  
Dr. Orbán Ferenc  
Dr. Pálincás István  
Dr. Patkó Gyula  
Dr. Péter László  
Dr. Penninger Antal  
Dr. Szabó István  
Dr. Szántó Jenő  
Dr. Szűcs Edit  
Dr. Tímár Imre  
Dr. Tóth László

### DEAR READER,

Emerson is a global technology and software company providing innovative solutions for the world's essential industries. The Emerson factory in Eger is one of the strong pillars of both Hungarian pneumatics production and Emerson's Discrete Automation business. It has always placed great emphasis on the employment of highly qualified and talented colleagues, as this is one of the main guarantees of world-class operations. Cooperation with university students and lecturers has been the main activity of the company since its inception.

The InnoVETAS2023 conference of the Agria Conference Series, held for the seventh time this April 2023, is a fine example of the collaborative process during which Emerson Automation FCP Kft. provides university students and researchers with the opportunity to present their latest research results. In 2023, the InnoVETAS2023 conference was expanded with the 1st Emerson Technical Playground competition, which included a panel of judges and an award ceremony. In addition to the technical and scientific lectures, the equipment designed and made by the students made the event colorful.

At the plenary session of the InnoVETAS2023 conference, those interested could listen to the presentation of managing director, István Gödri, about the situation of the Eger site. He highlighted the curve of the conference's development, which enables even closer cooperation between students and Emerson. Afterwards, Stéphanie De Boissieu, Vice President of Emerson's Manufacturing Automation Strategy Business Unit, gave her opening speech. In addition to presenting Emerson and the business unit, she helped engineering students by presenting about skills and abilities valuable to companies. She pointed out the importance of „soft skills,” cooperation and language skills, in addition to engineering knowledge.

The constantly growing number of speakers and interested parties at the conference shows the worthiness and importance of the Agria Conference series among the international conferences organized in Hungary, as well as the growing demand for cooperation between education and industry.

**Dr. László Soltész**  
*Organizing committee chair*  
*Director of Product Development*  
*Emerson Factory Automation*

**Prof. Dr. László Pokorádi**  
*Founder chair*  
*Óbuda University*  
*Institute of Mechatronics and Vehicle*  
*Engineering*

Managing Editor: Vesza József. Editor's address: 3534 Miskolc, Szervezet utca 67.  
Phone: +36-30/9-450-270 • e-mail: mail@gepujsag.hu

Published by the Scientific Society of Mechanical Engineering, 1147 Budapest, Czobor u. 68., Postal address: 1371, Bp, Pf. 433  
Phone: +36-1/202-0656, Fax: +36-1/202-0252, E-mail: mail@gteportal.eu, Web: www.gteportal.eu  
Web: <http://www.gepujsag.hu> • Kereskedelmi és Hitelbank: 10200830-32310236-00000000

Publisher: Dr. Bárdos Krisztina, Managing Director  
Gazdász Nyomda Kft. 3534 Miskolc, Szervezet u. 67. Phone: +36-30/9-450-270 • e-mail: mail@gepujsag.hu

Distributed to subscribers by Magyar Posta Zrt, Postal address: 1900 Budapest

Subscription: subscription can be ordered at any Hungarian post office, from postmen, from the link: [www.posta.hu](http://www.posta.hu) WEBSHOP  
(<https://eshop.posta.hu/storefront/>), via e-mail: [hirlapelofizetes@posta.hu](mailto:hirlapelofizetes@posta.hu), by phone: +36-1/767-8262, or mail to: MP Zrt. 1900 Budapest  
Subscription: subscription can be ordered from overseas and to overseas at Batthyány Kultur-Press Kft., H-1013 Budapest, Attila út 2/A/III/14.  
T: +36 1 201 88 91, +36 1 212 53 03, E-mail: [batthyany@kultur-press.hu](mailto:batthyany@kultur-press.hu)  
Domestic subscription prices are: HUF 1,260 a single copy and HUF 2,520 a double copy.

INDEX: 25 343 ISSN 0016-8572

The published articles have been reviewed. • The publication is supported by the National Cultural Fund of Hungary

**Tekints a jövőbe!**



**IPAR NAPJAI**

10. Nemzetközi ipari szakkiallítás

**2023. május 16–19.**



## **IPAR NAPJAI** **Nemzetközi ipari szakkiallítás**

**Társrendezvény:** AUTOMOTIVE HUNGARY Nemzetközi járműipari beszállítói szakkiallítás

**Látogasson el Ön is Magyarország legnagyobb és legjelentősebb üzleti eseményére és találkozzá a iparban! Tekintse meg a széles kiállítói kínálatot, vegyen részt a szakmai programokon!**

**Helyszín:** HUNGEXPO Budapest Kongresszusi és Kiállítási Központ



Látogatók részére előzetes online regisztráció az ingyenes belépésért:  
[www.iparnapjai.hu/gte](http://www.iparnapjai.hu/gte)

Töltse le a HUNGEXPO applikációt és tájékozódjon könnyen és egyszerűen a programokról és a helyszíni tudnivalókról!

**Bővebb információ:** [www.iparnapjai.hu](http://www.iparnapjai.hu)



# Gondolkodjunk másképp **Let's Go**

Az Emersonnál az EMBER áll minden tevékenységünk középpontjában. LET'S GO! Gyere és gondolkodj velünk másképp! Keressük a lehetőségeket, tanuljunk és fejlődjünk! Toljuk ki a határokat és legyünk mi, akik tesznek a fejlődésért. Csatlakozz hozzánk, menjünk tovább együtt!

További információ az [Emerson.com/Careers](https://emerson.com/careers) oldalon.

