

A jövő járműve

JÁRMŰIPARI INNOVÁCIÓ

www.jret.sze.hu www.ejtt.bme.hu

Napenergiával hajtott jármű
Solar energy driven vehicle

Versenyautó dinamikai modellje
Vehicle dynamics model of a race car

Digitális gyár, módszerek és alkalmazások
Digital factory, methods and applications

Sűrített levegős motorfeltöltés
Compressed air charge of the engines

Járműforgalmi rendszerek
Traffic systems

FISITA
2010

The vehicle of the future
Automotive innovation

ATZ/MTZ worldwide az interneten

Az ATZ/MTZ szakmai folyóiratok szerkesztősége a 2008/1-es lapszám editorial rovatában, angolul tájékoztatta az olvasóközönséget a népszerű tudományos folyóiratokat érintő aktuális változtatásokról, „Moving into the Global Village” címmel. Az ATZ/MTZ folyóiratok fő cikkeinek angol nyelvű tömörítvényeit tartalmazó ATZ/MTZ worldwide nyomtatott változata ugyanis 2008-tól megszűnik, de on-line hozzáférhetővé tették a www.atzonline.com weboldalon, amely a jól ismert All4engineers portál utódja. A továbbiakban a főszerkesztő leveléből idézünk.

„Dear Readers,

You might be somewhat surprised that I am writing you in English this time. There's no need to worry – we will continue to publish ATZ in German, as most of our readers find it more comfortable to read articles presented in this language. I would simply like to take this opportunity to address our international readers and all those of you who work in an international environment.

ATZ and its publishing house initiated a policy of internationalization some ten years ago. Since then, ATZworldwide has provided a translation of the main articles in a text supplement. Six years ago, the publisher took the next important

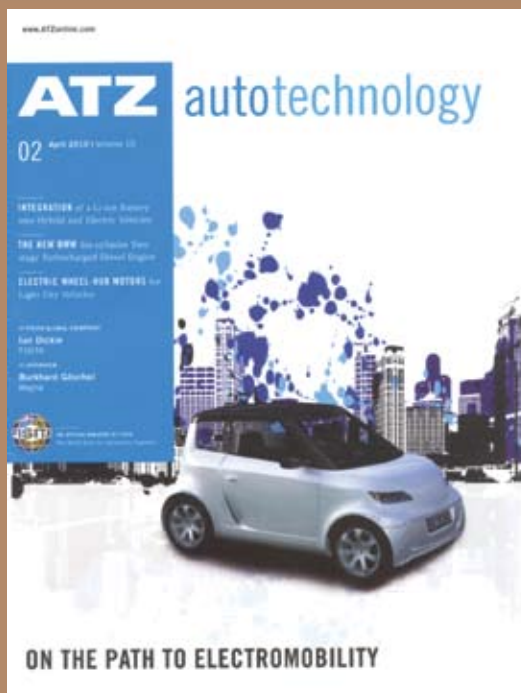
step: the launch of AutoTechnology, a global magazine that reports on developments on a highly technical level. It was not long before this magazine became the official journal of FISITA, the world body for automotive engineers.

From 2008 on we will move even further ahead: in the future, ATZworldwide will include all the pictures. And it will reach you all over the globe on the very same day it is published in Germany. How is this possible? ATZworldwide had become an electronic magazine. Subscribers also receive the FISITA magazine ATZautotechnology (formerly AutoTechnology) 10 times a year – free of charge. The new magazine will cooperate more intensively with ATZ and MTZ, will become more scientific and will appeal to more readers in the developing economies.”

A változási folyamat aktív részese csak az lehet, aki **a megfelelő tudással rendelkezik**. Az autó- és motorfejlesztés szakembereinek ezért naprakésznek kell lenniük a kutatásfejlesztés legújabb eredményeiben, tendenciáiban.

Szakkiadványainkban nemcsak tényekről és számokról olvashat, hanem aktuális kutatási eredményekről, tudományosan megalapozott szakmai ismeretekről és az ágazat aktuális híreiről. Ez a koncepció teszi a német nyelvű, de angol nyelvű kivonattal is megrendelhető ATZ és MTZ folyóiratokat olyan kiadványokká, melyekből ön naponta profitálhat. Hozzá szeretne járulni jövőnk formálásához? Örömmel tölt el bennünket, hogy segíthetünk ebben, és a megfelelő tudáselőnyt nyújthatjuk önnek.

Kérjen ingyenes próbaszámot!



További információkat a www.atzonline.com honlapon, az autóiipari mérnökök tudásportálján olvashat, ahol az ön munkáját egyedülálló on-line szakcikkarchívum is segíti.





Dr. MICHELBERGER Pál

Mérnök a XXI. században

Engineer in the 21st century

A cím igényes, a teljes 21. századot említi, azaz közel 100 évre kellene jóslanom. Az előző, a 20. század nagy részét végigéltem, közel a felét tudatosan az iparban töltöttem, de 50 év tapasztalata kevés a 100 éves jósláshoz. Ki tudta volna a 20. század első évtizedében a Wright fivérek és Bleriot repülése alapján a századvégi interkontinentális és űrrepülést megjósolni. A legragyogóbb szak-tudósok sokkal rövidebb időtávon is tévedtek előrejelzéseikben. Rutherford, az atommag felfedezője az 1930-as évek közepén kijelentette. „Aki energiaforrást vár az atomok átalakításától, az holdkóros”. Thomas Watson, az IBM megalapítója 1947-ben azt mondta, hogy egyetlen számítógép megoldhatja a világ összes tudományos problémáját, de nem látta előre a számítógépek tudományon kívüli használatosságát.

A tudomány és technológia világa a 19. században lassanként, a 20. században egyre gyorsabb ütemben megváltozott. Mi jellemzi ezeket a változásokat:

1. A kézzel fogható, érzékszerveinkkel közvetlenül érzékelhető jelenségek (pl. mechanikai mozgás, hőmérséklet, látható sugárzás stb.) helyébe a közvetlenül nem – csak hatásaiban műszereinkkel – megfigyelhető jelenségek kerülnek a tudományos vizsgálatok látókörébe (elektromosság, mag- és részecskefizika, elektromágneses sugárzás a látható tartományon kívül stb.)
2. A műszaki életben a biológiailag megszokott (közepes, emberi) mérettartományból kiléptünk és lényegesen (esetleg nagyságrendekkel) nagyobb tartományokat is vizsgálunk, ill. megvalósítunk. Ez a növekedés a geometriai és tömegméréteken kívül kiterjed az erők, sebességekre, fordulatszámra, gyorsulásokra is. Mivel a világ nem lineáris, ezért e növekedés nem írható le egyszerű arányosítással, hanem teljesen új – eddig fel sem ismert – problémákat kell megoldani (pl. egy nagy fordulatszámú belső égésű motor vezértengelyének megtervezéséhez szükséges a newtoni mechanika és a differenciálszámítás ismerete.)
3. A biológiailag megszokott, közepes mérettartományból lefelé is ki kell lépnünk, ami quantumfizikai problémák felmerüléséhez vezethet (mikrochip, nanotechnológia stb.).
4. Korábban egy-egy tudományos probléma vagy mérnöki feladat megoldásánál a lényegi kérdésre koncentrálhattunk, a mellékes kérdéseket tudatosan kizártuk. Ma előtérbe kerül a komplex, kölcsönhatásokat figyelembe vevő átfogó kutatás, átfogó megoldás keresése. Ezekben a vizsgálatokban, műszaki feladatmegoldásokban a természettudományi és műszaki szempontok mellett

This title is very demanding and mentions the 21st century which means I would need to predict for the next almost 100 years. I lived through almost the entire 20th century and consciously spent the majority of it in the industry sector but 50 years experience is not enough to predict for 100 years. Who could have predicted in the first decade of the 20th century, based on the initial flight attempts by the Wright brothers and Bleriot, the intercontinental or space flights realized at the end of century? Even the brightest professional scientists were wrong about their predictions in much shorter terms. The discoverer of atomic nucleus, Rutherford made the following statement in the mid 1930's: "Whoever expects the transformation of atomic to generate energy is moonblind". Thomas Watson, the founder of IBM stated back in 1947 that a single computer could resolve every scientific problem in the world. However, what he couldn't foresee was the usability of computers outside of the scope of science.

Science and technology slowly started to develop in the 19th century and got a jump start in the 20th. What are the attributes of these changes?

1. Phenomenons that can be directly perceived by sense organs (e.g. mechanical motions, temperature, visible radiation, etc.) have been replaced with non-observable (only by instruments) phenomena (e.g. electricity, nucleus and particular physics, electromagnetic radiation beyond visible range, etc.).
2. We have stepped out of the biologically usual (middle-sized, human) size range and started to inspect and analyze much larger (by stages) ranges. This growth, apart from geometric and mass dimension has been extended to forces, velocities, revolution number and accelerations. Since the world is not linear, it can't be defined by a simple proportioning; undiscovered, brand new problems are waiting for solution. (e.g. design of the camshaft of a high rev internal combustion engine requires the knowledge of Newton's mechanics and differential calculation.)
3. There is also a "down" direction under the biologically usual, mid-sized range to be discovered that could result in quantum physics problems (microchip, nano technology, etc.).
4. In the old times, we could focus on the substantive matter when resolving a scientific problem or an engineering task and deliberately excluded any additional questions. Today's tendency represents complex, comprehensive research covering interactions as well as comprehensive solution finding efforts. For these inspec-

tekintettel kell lenni a gazdasági, biológiai, ökológiai és társadalmi hatásokra is, sőt etikai kérdések is felmerülhetnek.

5. Kármán Tódor a 20. század első felében definiálta a tudós és mérnök fogalmát:

„a tudós próbálja megérteni azt, ami van” „a mérnök létrehozza azt, ami korábban még nem volt”.

A 21. században ez a definíció már pontatlan, a tudós és mérnök összefonódik:

„a tudós csak akkor tudja megérteni azt, ami van (a természetet), ha ehhez olyan vizsgálóeszközöket hoz létre, melyek korábban nem léteztek (pl. elektronmikroszkóp), a mérnök csak akkor tudja létrehozni a korábban nem létező gépeket, berendezéseket, ha minél alaposabban ismeri és megérti a természet törvényeit.”

Az előzőekben 5 pontban összefoglalt változásokból egyértelműen következik, hogy a 21. század mérnöke az elődeinél mélyebb és összetettebb ismeretekkel és képességekkel kell rendelkezzen, és tevékenysége sokrétűbb, mint elődeié volt. A madachi megfogalmazásban szereplő „a gép forog, az alkotó pihen” a 21. században nem elegendő. A mérnöki alkotásnak a pusztán funkcionális működésén túl gazdaságosnak, esztétikusnak, környezetkímélőnek, társadalmilag, jogilag elfogadhatónak és etikusnak is kell lennie. A gép, berendezés történetét a működési időtartományán kívül is követnünk kell az újrahasznosításig. Ezt a bonyolult, sok szempontú, szerteágazó komplex feladatot a mérnök a 20. század hagyományos eszközeivel nem tudja megoldani. Szerencsére azonban a 20. század végére kialakult az az eszköz, amivel nagy rendszerek is kezelhetők. Az informatika eszköztára teszi lehetővé az új feladatok megoldását.

A fejlődés látszólag korlátlanul tűnik. A valóságban azonban igen kemény természeti, tudományos, gazdasági, társadalmi és politikai korlátok tartják mederben a tudományos kutatást és mérnöki alkotások létrehozását.

Befejezésként – mint nyugalmazott egyetemi tanár – beszélnem kell az oktatásról és nevelésről is. A mérnökképzés krédóját egy idézettel szeretném kihangsúlyozni:

„Szükséges ezért, hogy a mérnök legyen tehetséges és kiművelt a tudományokban és művészetekben – mert sem a tehetség iskolázottság nélkül, sem az iskolázottság tehetség nélkül nem hozhat létre tökéletes alkotásokat. A mérnököknek tájékozottnak kell lennie az irodalomban, ügyesnek a rajzolásban, gyakorlottnak a geometriában, ismernie kell az optikát, tudatosan használnia kell a matematikát, tudnia kell a történelem fontosabb eseményeiről, szorgosan hallgatnia kell a filozófusokra (etikára), értenie kell a zenét és az orvosi tudományokat, legyen járatos a törvénytudók véleményében, tudjon a csillagászatról és az égitestek mozgásáról”.

Az idézetet minden idők egyik legnagyobb mérnöke, Vitruvius fogalmazta meg jó 2000 évvel ezelőtt. Zseniális gondolkodóként már akkor átlátta a mérnöki munka komplexitását, bár a feladatok végrehajtásához az eszközök (informatika) nem álltak rendelkezésre, de zseniális alkotók korlátozott eszközökkel is létrehoztak máig csodált alkotásokat.

E gondolatokkal kívánok eredményes munkát a konferencia valamennyi résztvevőjének.

tions and solutions of technological tasks, economic, biological, ecological and social impacts also need to be considered, apart from technical aspects. Moreover, ethical issues may also arise.

5. Todor Karman described the definition of a scientist and an engineer in the first half of the 20th century:

“the scientist tries to understand the existing principles, while the engineering creates something that has never been before”. This definition has become out of date and inaccurate in the 21st century as the definition of scientist and engineer is closing to each other very much.

“the scientist understands the existing principles only if inspection tools never used before are available (e.g. electron microscope) and vice versa, the engineer can build machines and equipment never used before only if he gets an in-depth knowledge about the forces of nature.”

As a consequence of the changes summarized in the 5 points above, the engineer of the 21st century has to have much deeper and more complex knowledge and capabilities as his predecessors, and his activity is much more various. What Madach said “the machine is running, the creator is having rest” is just not enough in the 21st century. Not only shall engineering work deliver functionality but it also has to be economic, aesthetic, environmental friendly, ethical as well as socially and legally acceptable. The history of the machine shall be monitored even out of its operating range until it is recycled. The engineer just can't solve this complex and multi-aspect task by the conventional tools of the 20th century. Fortunately, the end of the 20th century brought a new tool that enables its users to manage large systems. These new tasks are performed by means of Information Technology (commonly abbreviated as IT).

The development of this area seems to have infinite potential. However, in the reality, scientific researches and the creation of engineering works are strictly limited by harsh natural, scientific, economic, social and political boundaries.

Being a retired academician, I finally have to say a few words about education. Credo of engineering education can be emphasized by a quotation:

“Therefore the engineer must be talented and highly educated in the field of science and art, since neither the talent without education, nor the education without talent could deliver a perfect production. Engineers must be well informed in literature, skilful at drawing and practical in geometry, they have to be familiar with optics and consciously apply mathematics; they must know the main events in history and listen to the wise philosophers (ethics) while having a deep understanding of music, medicinal sciences and being experienced in law. They shall also have extensive knowledge about astronomy and the motion of planets, stars.”

This quotation originates from one of the most renowned engineers ever lived, Vitruvius who said this nearly 2000 years before. Being a genius theorist, he was able to see the complexity of engineering job in that early stage. Even though the appropriate tools (IT) were not available at that time, genius creators could still develop such creations with limited tools that still amaze us nowadays.

Let me take the opportunity and use these thoughts to wish every participant of the conference good luck and profitable results.

Tartalomjegyzék

3	Mérnök a XXI. században – dr. MICHELBERGER Pál
6	Elektronikus Jármű és Járműirányítási Tudásközpont
8	Napenergiával hajtott kísérleti jármű hatékonyságának növelése – LŐRINCZ Illés, SZÉNÁSY István
14	Szuperfiniselés hatására keletkező felületi hibák gömbgrafitos öntöttvas alkatrészekben – dr. CZINEGE Imre, dr. RÉTI Tamás, dr. CSIZMAZIA Ferencné
18	Sebességváltó-próbapad fejlesztése felújított hajtóművek számára – DEVECSERI Szabolcs, VARGA Zoltán PhD
22	Technológiai fejlesztés és optimalizálás többüregű kovácsolásnál végelelemes módszerrel (FEM) – TANCSICS Ferenc, GERGYE Tamás, dr. HALBRITTER Ernő
26	Digitális gyár, módszerek és alkalmazások termelési környezetben – JÓSVAI János, PERGER József
34	Vegyes autópárház műanyag hulladék újrahasznosítási lehetőségei – dr. RONKAY Ferenc György, dr. DOGOSSY Gábor
38	A gazdasági világválság hatásai a magyar járműiparra – A felmerülő problémák és kezelésük – STUKOVSKY Tamás, dr. PALKOVICS László
42	Sűrített levegős motorfeltöltés haszonjárművek számára – dr. NÉMETH Huba
49	Önerősítő mechanizmusok fejlesztése fékrendszerekhez – BALOGH Levente, dr. NÉMETH Huba
55	Versenyautó járműdinamikai modelljének kialakítása – BÁRI Gergely
63	Addicionális elkörmányzást megvalósító rendszer fejlesztése az EJTT-ben – SCHNELLBACH Ádám
66	Járműforgalmi rendszerek modellezése és irányításának kutatása – dr. PÉTER Tamás, dr. BOKOR József
73	FISITA 2010 szakmai program
74	Üzemanyag-menedzsment – Flottamenedzsment szolgáltatás a benzinköltségek optimalására – DEÁK Csaba, dr. SZALAY Zsolt, ZÖLDY Máté

Table of contents

3	Engineer in the 21st century – dr. MICHELBERGER Pál
6	Advanced Vehicles and Vehicle Control Knowledge Center
8	Increasing the efficiency of an experimental solar energy driven vehicle – LŐRINCZ Illés, SZÉNÁSY István
14	Surface defects occurring during superfinishing process of nodular cast iron components – dr. CZINEGE Imre, dr. RÉTI Tamás, dr. CSIZMAZIA Ferencné
18	Development Of A Gearbox Test Equipment For Renewed Manual Transmissions – DEVECSERI Szabolcs, VARGA Zoltán PhD
22	Technological Improvement and Optimization in Multiple-Cavity Forging Process with Finite Element Method (FEM) – TANCSICS Ferenc, GERGYE Tamás, dr. HALBRITTER Ernő
26	Digital factory, methods and applications in production environment – JÓSVAI János, PERGER József
34	Possibility of recycling of miscellaneous automotive polymer by products – dr. RONKAY Ferenc György, dr. DOGOSSY Gábor
38	Impact of the Crisis on the Hungarian Automotive Industry – Risks and Problem Handling – STUKOVSKY Tamás, dr. PALKOVICS László
42	Compressed air charge of the engines of commercial vehicles – dr. NÉMETH Huba
49	Development of self-energized mechanisms for brake systems – BALOGH Levente, dr. NÉMETH Huba
55	Development of the vehicle dynamics model of a race car – BÁRI Gergely
63	Development of a system in AVVC accomplishing additional steering – SCHNELLBACH Ádám
66	Research for the modelling and control of traffic systems – dr. PÉTER Tamás, dr. BOKOR József
73	FISITA 2010 technical visit
74	Fuel management – Fleet management services for the optimization of fuel costs – DEÁK Csaba, dr. SZALAY Zsolt, ZÖLDY Máté

ELEKTRONIKUS JÁRMŰ ÉS JÁRMŰIRÁNYÍTÁSI TUDÁSKÖZPONT

BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM

Küldetésünk a járműipari integrátori szerep, a „know-how” összegyűjtése, további tudás létrehozása és a vállalati szféra számára történő szolgáltatása, a járműelektronika és a mechatronika területén. Célunk európai szintű, integrált tudást biztosító, a versenyszférában eredményesen működő, egyetemi platformon alapuló, de a versenygazdaság szabályrendszerét értő és alkalmazó fejlesztőhellyé válás.

www.ejtt.bme.hu



ELEKTRONIKUS JÁRMŰ
ÉS JÁRMŰIRÁNYÍTÁSI
TUDÁSKÖZPONT



ADVANCED VEHICLES AND VEHICLE CONTROL KNOWLEDGE CENTER

BUDAPEST UNIVERSITY OF TECHNOLOGY AND ECONOMICS

Our objective is to attain the role of integrator in the vehicle industry, pooling know-how, generating and providing new expertise to the corporate sector in the fields of vehicle electronics and mechatronics. We aim to become a university-based development centre of European dimensions that is capable of providing integrated expertise and of operating successfully in the real economy, with understanding and routine in applying rules and practices of real economy.

info@ejjt.bme.hu



**ADVANCED VEHICLES
& VEHICLE CONTROL**
KNOWLEDGE CENTER

Napenergiával hajtott kísérleti jármű hatékonyságának növelése

Increasing the efficiency of an experimental solar energy driven vehicle

LŐRINCZ Illés

Széchenyi István Egyetem
Széchenyi István University

SZÉNÁSY István

Széchenyi István Egyetem
Széchenyi István University

Napenergiával hajtott járművet – kisautót – fejlesztett ki a SzE. A napelemcella a megújuló energiaforrások közé tartozik. Az energiafolyam elektronikai eszközöket igényel a villamos motor hajtásához, az akkumulátorok megfelelő töltéséhez és az energetikai rendszer hatékony működtetéséhez. A változó energiájú napsütés hatásainak enyhítésére a napelemcellák megfelelő terhelésének beállítása különös fontosságú feladat, amelyet a mindenkori maximális energiahozam elérésének célkitűzésével a maximális teljesítményű pontok követésére kifejlesztett eljárások (MPPT) alkalmazásával realizálhatunk. A cikk ismerteti az alkalmazott napcella energetikai sajátosságait és az MPPT-módszer rendszerbe illesztését.

A solar energy driven vehicle was developed at Szechenyi Istvan University. The basic concept was to use the most energy that is readily available in the solar form. Photovoltaic (PV) cells were used in the vehicle. PV cells convert renewable solar energy to electrical energy, dc voltage and current. Systems containing PV cells require a power electronics interface for power conditioning. Maximum power point (MPP) tracking is used in PV systems in order to achieve the maximum efficiency of the PV cell. This paper presents the maximum power point tracking (MPPT) methods, the results of the battery measurements and introduces the vehicle built at Szechenyi Istvan University.

1. BEVEZETÉS

Ma az emberiség a növekvő energiafelhasználását alapvetően még a fosszilis energiaforrásokból elégíti ki. Az elégetésükkor fejlődő CO₂ mennyisége igen jelentős, és nagyban hozzájárul a globális felmelegedéshez. Ennek felismerése előmozdította a megújuló energiaforrások alkalmazásának növelését, és az ezt megvalósító ipari termelés felfutását.

A megújuló energiaforrások jelentős kutatási területté váltak, a kutatók a különféle fosszilis alapú tüzelőanyagokkal hajtott motorok alternatív megoldásait keresik, melyek gazdaságosak, nem bocsátanak ki mérgező anyagokat, és csökkentik a kibocsátott CO₂ mennyiségét. Valamennyi lehetségesnek látszó megoldás közül a leginkább jövőbe mutatónak a villamos hajtású járművek mondhatóak.

A fajlagosan alacsony energiadotált járműveknél a magas energetikai hatékonyság, illetve hatásfok elérése kiemelkedően fontos szempont. Az összhatékonyság a rendszerelemekre (a jármű gépezeti kivitele, a villamos motorok, áramirányítók, az akkumulátorok vagy más energiatárolók) vonatkozó részhatásfokok szorzatát is tartalmazza, amelyet még befolyásol a napcellák kihasználtsági mértéke és a napsütés intenzitása. A jó kihasználtsághoz a megfelelően megválasztott kapacitású és tulajdonságú energiatároló és annak energetikai irányítása – energiamenedzsment – szintén fontos részterület. Mindezen törekvések többnyire már a Shell Eco-marathon 2008 versenyre készült autónál megmutatkoztak, és hozzájárultak a városi, napelemes kategóriában elért I. helyezéshez Nogaróban, Franciaországban. A jármű teljesítette a célokat: a közel 30 km/órás sebességhez elegendő volt a napcellákból nyert energia. Ehhez rendkívül alacsony gördülő ellenállás

1. INTRODUCTION

Humanity uses ever increasing amounts of energy. The energy used today is based on fossil fuels. The burning of fossil fuels results in an increasing amount of CO₂ in the atmosphere. The global warming effect is caused in a large part by the CO₂ emissions from conventional energy resources. These concerns have resulted in the recent remarkable growth of renewable energy industries. Furthermore, renewable energy has become a significantly important area for many researchers. Various fossil-based fuels for internal combustion engines are to be replaced with an alternative solution, that is economical and at the same time non toxic to human health and produces less amounts of CO₂.

The option that appears to be the most future-oriented amongst many feasible alternative solutions is the electric drive.

Energy efficiency is one of the most important characteristics of low energy fed vehicles. Total efficiency is the product of some partial-efficiencies and it is influenced by the solar cell and its exposure to the sun, the electric drive, the inverter of the drive, the batteries and their charging system. This is realized in a racing car participating in the Shell Eco-marathon 2008 student competition. The SZEsocar vehicle has come to the first place in the sun powered urban concept vehicle category in Nogaro, in France.

The vehicle accomplished the set goals. The solar cells, motors and their controllers performed outstandingly. The vehicle was able to drive nearly 30 km/h of speed without any kinds of energy used besides solar energy.

The organizers measured our energy balance with a "Joule meter". One of them measured the charging load on the solar cells.

járműre, kiemelkedően magas hatásfokú villamos motorokra és rendszerelemekre volt szükség.

A versenyrendezők egy-egy elektronikus Joule-méterrel mérték a napelemből érkező, és a motorok által fogyasztott energiát. Az eddig elért eredményünk 90%-os napenergiaarány volt, a nem kedvező időjárás miatt.

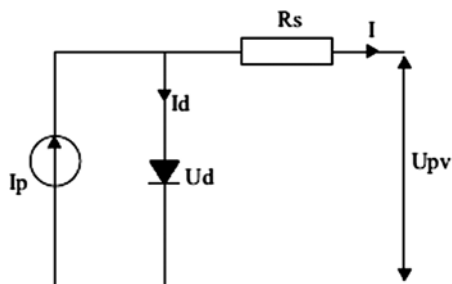
A napelemek esetleges részbeni árnyékba kerülése a sorbakapcsolt cellák összességének erőteljes teljesítménycsökkenésével jár, ennek részletes vizsgálatát is ismertetjük.

2. MAXIMÁLIS TELJESÍTMÉNYKÖVETŐ ELJÁRÁSOK (MPPT)

Az utóbbi években hasonló elv alapján számos eljárást dolgoztak ki a mindenkor legnagyobb napcella-energiaszint hasznosíthatóságára. A kivethető energia, illetve teljesítmény a cella anyagjellemzőitől, a napsugár intenzitásától és beesési szögétől, valamint a cella feszültség-áram munkapontjának beállításától függ. Az MPPT eljárások ez utóbbit kívánják optimalizálni.

2.1 A napcellamodell

Az 1. ábra a napcella villamos helyettesítő modelljét ábrázolja. Ip a napsugárzásra induló áram, mely a besugárzás mértékével arányos. A dióda a napcella p-n átmenetét reprezentálja.



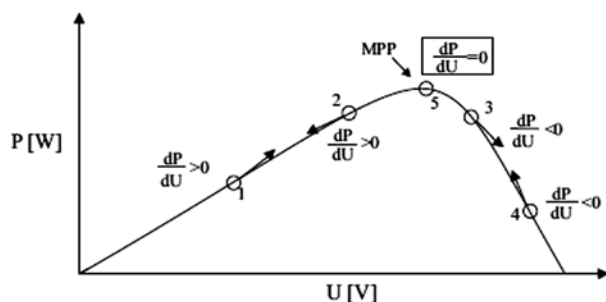
1. ábra: a napcellamodell
Figure 1: model of solar cell

A 2. ábra a hatékonyabb MPPT-eljáráshoz esetlegesen szükségessé váló boostkonvertert mutatja. A napcella és a boostkonverter jól használható matematikai modelljét Milosevic and Andersson [1] írta le. A kimeneti feszültség a boostkonverteren: (1):

$$U_{dc} = \frac{U_{pv}}{1 - D} \quad (1)$$

A boostkonverter bemeneti feszültsége Upv.

Az MPPT-eljárás elve a 3. ábrán követhető. A feszültség-teljesítmény függvény maximumán a $dP/dU=0$ eset áll fenn, ez a kívánt munkapont. Az ábrán 5 lehetséges mozdítási irány vagy eset van feltüntetve. Az 1 és 2 esetben a dP/dU derivált értéke pozitív,



3. ábra: az MPPT-eljárás elve
Figure 3: the principle of Maximum power point tracking

Another sensor measured the energy consumption of the electric motors. Our energy balance was 90 %, because the weather conditions were not favorable for our solar car.

The driving power behind the research was the fact that in the case of the SZEscar vehicle solar panels on the different sides of the vehicle were connected in series. In the case of one side or just part of one side being in shadow, resulted in significantly decreased charging capacities.

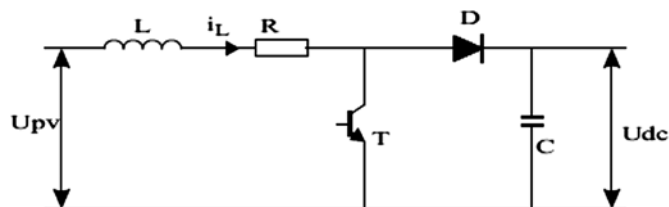
2. MAXIMUM POWER POINT TRACKING (MPPT)

Maximum power point (MPP) tracking is the technique that ensures that the PV cell gives the maximum available power under any change in irradiance level and cell temperature conditions. In other words, there is a need to track the MPP in order to maximize the power delivered to the load from the PV cell under any circumstances that causes the output voltage of the power system to lose regulation. By controlling the boost converter which is connected to the PV cell it is possible to track the MPP.

2.1 PV Cell Modeling

The equivalent circuit of a PV cell is given in Figure 1. The current source Ip is light induced current. This current is directly proportional to the irradiance. The diode represents the p-n junction of the solar cell. The resistance Rs is the series resistance that gives a more accurate shape between the MPP and the open circuit voltage. The shunt resistance in parallel with the diode can be neglected since it has a big value and has no influence for current calculation.

In order to be able to track the MPP to achieve the maximum efficiency of the PV cell a dc-dc converter is needed. A boost converter is used in this paper since it has the best efficiency for significant step up. Model of the boost converter is given in Figure 2.



2. ábra: a boostkonverter
Figure 2: model of boost converter

Applying the mathematical models of the boost converter and the PV cell like Milosevic and Andersson (1) did, the output voltage of the boost converter is given (Equation 1):

$$U_{dc} = \frac{U_{pv}}{1 - D} \quad (1)$$

The input voltage of the boost converter is Upv since this voltage is actually the output voltage of the PV cell. The output voltage of the boost converter is denoted as Udc. D is a duty cycle ratio of the transistor.

The MPP tracking method is depicted in Figure 3. It can be seen that at the MPP it is $dP/dU=0$. There are 5 possible movements of the working point. For positions 1 and 2, the derivative dP/dU has a positive value and there is a need to increase the voltage to reach the MPP. Positions 3 and 4 have negative derivatives and there is a need to decrease the voltage.

és a feszültség növelése szükséges a maximális teljesítményt jelentő MPP-pont eléréséhez. A 3 és 4 pontoknál a derivált előjele negatív, és a feszültség csökkentése szükséges.

2.2. Az MPPT-eljárások pontossága, hibái, hatékonyságuk

Amint Jantsch és mások [2] leírták, statikus és dinamikus tényezőktől függ az MPPT-eljárások eredményessége:

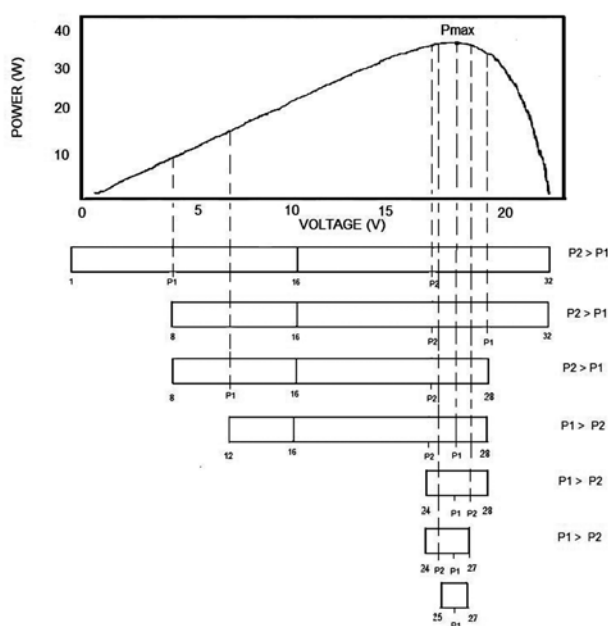
- besugárzási teljesítmény,
- feszültség (ideértve a cella hőmérsékletének hatását, és esetleges részben hibás cellák hatásait)
- a napsugárzás intenzitásának gyors változásai (felhők stb.)
- a napcella gyártási technológiája (I-V görbék alakja)
- egyebek (energiatároló töltöttségi foka, az MPPT-vel fennálló aktuális kapcsolat jellege).

Az MPPT-eljárások részleteikben különbözöek, és emiatt ugyanazon esetre más-más eredményt biztosítanak. Reprodukálható laboratóriumi eredményekhez napcella-generátort használnak, amellyel az aktuális napcellagyártmány I-V görbéi beállíthatók. Egy adott I-V görbéjű napcella szimulációja gondosan kimunkált szabályozót, illetve diódákból és ellenállásokból felépített modellt igényel.

Adott napcellákkal felépített egység szabadtéri vizsgálata különösen előnyös lehet az alkalmazott MPPT-eljárás megfelelő vizsgálatára és behangolására, elkerülhetővé teszi a napcellamodell és az MPPT-módszer esetleges együttműködési anomáliáit. A szükséges mennyiségű eredmények elérése változó időjárási feltételekkel és más-más napcellákkal történő vizsgálatok sorozatát igényli.

2.3 Selective Hopping Method (SH)

Az újabban ajánlott dinamikusnak tartott selective hopping method a Giraldo-Castañeda és mások [3] által kimunkált teljesítménygörbén alapul. Az 4. ábrán követhetően a napcella a P1, majd a P2 teljesítményi pontban terhelt. A teljesítmények összehasonlítása után, ha pl. $P1 > P2$, a görbe bal oldali tartományát figyelmen kívül hagyja, eliminálja. Ellenkezőleg, ha $P2 > P1$, a görbe jobb oldali tartományát hagyja figyelmen kívül. Az újabb teljesítményi pont felvétele után a megmaradó tartomány egyre szűkül, míg végül már csak a maximális teljesítményi pont marad meg. A 4. ábra jól érzékelteti ennek a folyamatnak a dinamikáját.



4. ábra: Selective Hopping Method
Figure 4: Selective Hopping Method

2.2 MPPT Accuracy, Error, and Efficiency

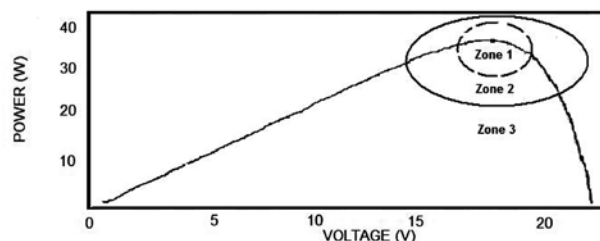
As Jantsch, et al. (2), describes it, the static and dynamic factors influencing MPPT behavior include:

- power (irradiance level),
- voltage (temperature; layout including well- or mismatched PV cells and MPPT voltage ranges),
- fluctuations (clouds),
- PV technology (I-V curve shape)
- need (battery state of charge, in case of charge controller with MPPT).

Three terms can be used to describe how well an MPPT performs. They are functions of time (even under static conditions, due to MPPT search process) and other parameters.

There are different methods to track the point of maximal power. The different methods give different result. For example to perform reproducible laboratory measurements, a PV array simulator that generates DC power with the I-V characteristics of an actual PV array is necessary. The exact simulation of such an I-V characteristic requires either a sophisticated control device or a network of diodes and resistors capable of handling large amounts of power.

Outdoor measurements have the advantage that actual MPPT behavior will be observed with the real PV array thus avoiding potentially unrealistic interactions between the MPPT and the PV array simulator. Obtaining the necessary range of parameters outdoors requires co-operative weather as well as access to a variety of PV technologies.



5. ábra: a hiszterézis elve
Figure 5: structure of hysteresis system

2.3 Selective Hopping Method (SH)

The dynamics of the newly proposed selective hopping method are based on the power curve, as seen in the study of Giraldo-Castañeda et al. (3). The photovoltaic array is loaded with load P1 and is then loaded with load P2 (see Figure 4). The power levels are compared. If P1 is greater than P2 ($P1 > P2$) the extreme left of the curve is eliminated. On the other hand, if P2 is greater than P1 ($P2 > P1$) the extreme right of the curve is eliminated. When a part of the curve is eliminated the new test point is moved between the comparative point and its extreme. For example, in Figure 5 the ($P2 > P1$), therefore the left extreme of P1 is eliminated and the point P1 is moved between the point P2 and the right extreme. This process is repeated until the maximum power point is found. Figure 4 shows the overall dynamic of the tracking sequence.

When the method finds the maximum power point, a hysteresis system begins to work. This system loads the panel with less resistance and senses the amount of power being delivered to the load. If the power delivered is less than 3% of the nominal power of the photovoltaic array, the methods remain in the same point. If the power difference is between 3% and 5% a small area is tracked and a new point is found. If the difference exceeds 5% the systems reset and new overall tracking begins. The photovoltaic module used (BP 3160) has a nominal power of 160W, where 3% and 5% are 5W and 8W, respectively. When the actual power



6. ábra: napcellakocka
Figure 6: the Solar Cube

Az MPP helyének megtalálása után egy hiszterézist tartalmazó részfolyamat kezdődik. A terhelés növelésével vizsgálja a leadott teljesítményt, s ha az csak 3%-kal nőtt, tovább nem változtat rajta. Ha a növekedés 3% és 5% közé esik, beállítja az új pontot. Ha a növekedés 5% feletti, az egész eljárást újrakezdi.

A BP 3160 típusú napcella névleges teljesítménye 160 W, ahol a 3% és 5% értékekhez 5 W és 8 W tartozik.

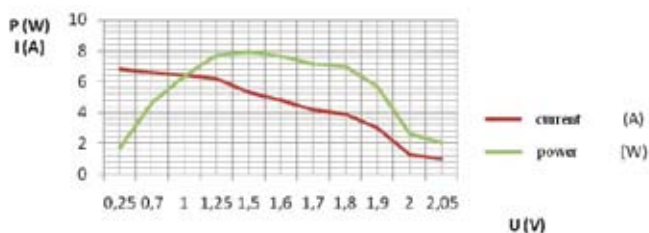
Amikor a mért aktuális teljesítmény nagyobb, mint az előzően beállított, a rendszer a terhelő-ellenállás csökkentésével növeli a leadott teljesítményt. Ez a minta ismétlődik a maximális teljesítmény megtalálásáig (5. ábra).

Az ábra szemlélteti a hiszterézis elvét is: az 1 zóna a 3% alatti változásoké, a 2 zóna a 3% és 5% közöttieké, míg a 3 zóna az eddigiek törlését (reset) és újraindítását jelenti.

Az SH-technika javításával, a zavarásérzékenység csökkentésével és a megfigyelhetőségi vizsgálat bevezetésével jött létre az IP&O-methode [3]. Azonban ennek konvergenciaideje mintegy tízszer nagyobb, mint az SH módszeré. Ez utóbbi egyik problémája viszont a gyorsan változó felhőmozgás hatásainak követhetlensége.

3. Napcellakocka módszer

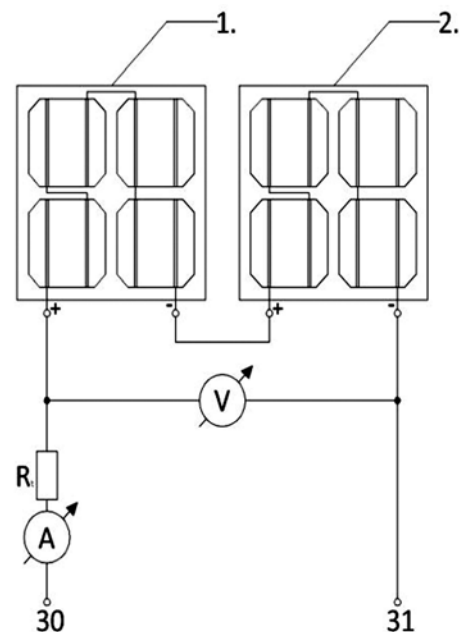
A 6. ábrán láthatóan a kocka oldalain 4-4, sorbakötött napcella van elhelyezve. Célkitűzés az optimális kimenetet adó rendszerkapcsolat meghatározása az oldalak között, tekintettel az eltérő beesési szögekre és irányultságokra. Az ábrán bemutatott helyzetben csak az 1 és 2 oldalakra esik napsugárzás, a többi árnyékban van. A napsütés intenzitása a méréskor közel 100 000 lux volt.



7. ábra: az 1. vizsgálat eredménye
Figure 7: results of test #1

sensed is greater than the previously sensed power, the system loads the panel with less resistance. This pattern is repeated until the maximum power point is found. Both tracking methods have the same hysteresis system; the only difference between them is the tracking mechanism. Fig.3 shows the general idea of a hysteresis system where Zone 1 does not perform further tracking, it is the sensing zone. Zone 2 is a small tracking zone and Zone 3 is the reset zone.

The SH technique allowed for improvement on some constraints related to the improved perturbation and observation method (IP&O) (3). SH has a convergence time at least ten times faster than IP&O and it has approximately 5% more available power. The main problem with the SH method is that a local maximum power point emerges when the solar radiation changes instantaneously. However, these severe variations are not likely to happen in normal operation.



8. ábra: két kockaoldal celláinak sorbakapcsolása
Figure 8: two panels connected in series

3. Solar cube Method

A cube of solar panels on 5 of its surface was manufactured, as Figure 6 shows it. Each panel consisted of four solar cells connected in series. The solar cube measuring method was used to determine the efficiency, the optimal positioning, and the connection mode of the different panels on each side of the cube. For example during a given test, the sun shined on side 1 and side 2 and the other panels were in shadow. The sun light intensity was about 100.000 lux.

Four different tests were made with this setup. Output current was measured as the function of panel voltage and output power was calculated. Load was varied with a potentiometer. The results of test #1 and #2 were almost identical. During these tests, panels 1 and 2 were measured separately, they were not connected. The fact that attack angle of the sun rays was 45° explains the similarities. Figure 7 shows the results of test #1.

The possible effects of two solar panels connected in series were also of interest. Tests #3 measured panels 1 and 2 connected in series (both sunstroke) and test #4 measured panels 1 (sunstroke) and 3 (in shadow) connected in series as Figure 8 shows. Figure 9 shows the results of test #3.

Négy különböző vizsgálat készült, melyeknél a kimenő áramot mértük a feszültség függvényében, és számítottuk a kimeneti teljesítményt. A terhelést ellenállás-változtatással végeztük. Az 1. és 2. vizsgálat közel azonos volt, mindkét esetben az 1 és 2 oldalak kimeneteit külön-külön mértük. A napsugárzás beesési szöge 45° volt. Az 1. vizsgálat eredményeit a 7. ábrán láthatjuk.

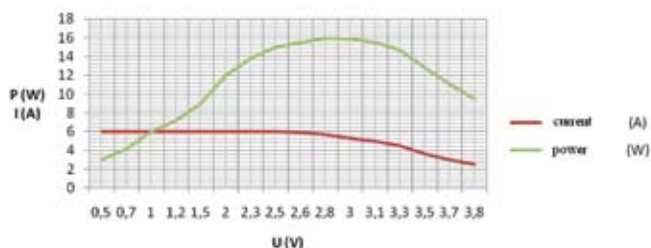
A 8. ábra a két kockaoldal celláinak sorbakapcsolását mutatja, a 3. vizsgálat folyamán, mindkét cella azonos mértékű megvilágításával.

A 4-es vizsgálat során a napcellamezők közül az 1-es teljes megvilágításban, a 3-as árnyékban volt.

A 9. ábra mutatja a 3-as vizsgálat eredményeit.

A 4-es vizsgálat eredménye a 10. ábra szerinti. A kimeneti teljesítmény nagyon alacsony volt. Ha részárnyékot idéztünk elő egy kockaoldalon, az egész oldal kimeneti teljesítménye közel zérusra esett.

A vizsgálatok eredményeként a napelemes kisautón 3 önálló napcellaegységet hoztunk létre, amelyek csak a töltésvezérlő berendezésnél találkoztak, s így lehetővé vált, hogy a 3 önálló nagy felületű energiaszolgáltató mező a mindenkor optimumot adhassa le.



9. ábra: a 2. vizsgálat eredménye

Figure 9: second measure's results depicting

4. JÁRMŰKONSTRUKCIÓ

A SZEsocar (Széchenyi University solar car) napelemes jármű 2008 tavaszán épült, képe a 11. ábrán látható. A tervezés során figyelembe vettük a Shell Eco-marathon esedékes szabályait, előírásait. A napelemes járműjellegre vonatkozóan a lehető legnagyobb számú napcella elhelyezését tartottuk szem előtt.

A napcellák energiája két BLDC-motorral hajtotta a járművet, energiatárolója kisméretű ólomakkumulátor volt. A jármű légellenállás-csökkentésére számítógépes program készült.

A fő méretekkel előírták: hosszúság 3,5 m, szélesség 1,3 m, magasság 1,0 m, tömeg max. 160 kg.

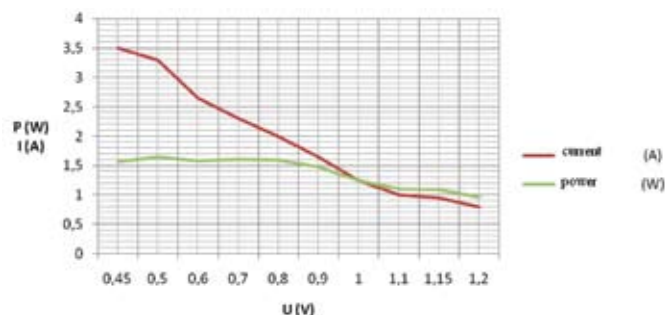
A városi kategóriának megfelelően a szokásos összes világítóeszközzel és kürttel felszerelt volt, de a fényforrások LED-del épültek, igen kis összefogyasztással.

A napelemek összfelülete $6,9 \text{ m}^2$ volt, 17%-os (max) energiahatékonyságú cellákkal, ezek voltak a kereskedelmi forgalomban elérhető legjobbak. A 3 fő ág egyenként 96 cellából állt.

5. ÖSSZEFOGLALÁS

Új napcella-vizsgálati módszer került kifejlesztésre, az ún. napcellakocka módszer, mely lehetővé tette az egyes oldalak megvilágítottság-változásainak és következményeinek gyors és helyes értékelhetőségét, és az árnyékos oldalak hatásainak számbavehetőségét.

Az ez évi új építésű napelemes versenyjármű energetikai tervezésénél és a megfelelő stratégiájú MPPT-módszer alkalmazásánál a fentieket maradéktalanul figyelembe vettük.



10. ábra: a 4. vizsgálat eredménye

Figure 10: results of Test #4

Results of test #4 were not surprising; output power was almost zero (Figure 10). The assumption was proven. If shadow falls on a part of a solar panel array connected in series the output power of the whole array decreases to close to zero. The solution was to form three parallel circuits, but individual circuit has to be on the same side of the vehicle.

4. VEHICLE CONSTRUCTION

The SZEsocar (Szechenyi University solar car) was designed and constructed, during the spring semester of 2008. Figure 11 shows the vehicle.

During the design of the vehicle components the constraints of the competition rules of Shell Eco-Marathon were carefully observed. During the design process, our goal was to form a vehicle with the largest possible surface to capture the most possible solar energy.

The solar panels are used to feed the two brushless direct-current BLDC motors that drive the rear wheels. The front wheels are steered. The shape of the vehicle was optimized with a computer program to give the smallest drag coefficient in relation to the surface area.

The length of a vehicle was 350 cm, its width 130 cm and its high 100 cm.

The weight of the vehicle, according to the rules, was not allowed to exceed 160 kg. It was necessary to make an effort to apply as light as possible materials besides keeping all the safety regulations.

The vehicle runs in the urban solar category with the vehicles that are required to have headlights, taillights, blinkers and a horn. LED lamps were used everywhere because of their smaller power consumption.

Our vehicle used a solar panel surface of $6,9 \text{ m}^2$, with 17 % efficiency. It was the best on the market and it was also accessible to us. The electrical system of the vehicle consisted of 3 parallel circuits of monocrystalline solar cells. In each single circuit 96 solar cells were connected in series, attached to the surface of the vehicle. The solar cells were used to form individual solar panels.

5. CONCLUSION

A new method of solar panel testing was developed, the Solar Cube Method. The Solar Cube Method was developed to investigate the effect of sun intensity differences on the different sides of a vehicle. The tests had proven the initial assumption. If one or only a part of a solar cell in a solar cell array connected in series is in shadow then the output power of the whole system decreases to a near zero level.

A new car is being built this year. The results of our tests will be used to optimize the utilization of available solar energy.



11. ábra: SZEsoCar
Figure 11: SZEsoCar

Irodalom

- [1] Mirjana Milosevic, Goran Andersson: Decoupling Current Control and Maximum Power Point Control in Small Power Network with Photovoltaic Source, PSCE conference Atlanta, www.eeh.ee.ethz.ch/uploads/tx.../milosevic_psce06.pdf, 2006
- [2] M. Jantsch1, M. Real, H. Häberlin, C. Whitaker, K. Kurokawa, G. Blässer, P. Kremer, C.W.G. Verhoeve: Measurement of PV maximum power point tracking performance, <ftp://ftp.ecn.nl/pub/www/library/report/1997/rx97040.pdf>, 1997
- [3] Carlos Andrés Giraldo-Castañeda and Lionel R. Orama: Selective Hopping Maximum Power Point Tracking Method for PV systems, ICSET 2008, pp. 522–526.

References

- [1] Mirjana Milosevic, Goran Andersson: Decoupling Current Control and Maximum Power Point Control in Small Power Network with Photovoltaic Source, PSCE conference Atlanta, www.eeh.ee.ethz.ch/uploads/tx.../milosevic_psce06.pdf, 2006
- [2] M. Jantsch1, M. Real, H. Häberlin, C. Whitaker, K. Kurokawa, G. Blässer, P. Kremer, C.W.G. Verhoeve: Measurement of PV maximum power point tracking performance, <ftp://ftp.ecn.nl/pub/www/library/report/1997/rx97040.pdf>, 1997
- [3] Carlos Andrés Giraldo-Castañeda and Lionel R. Orama: Selective Hopping Maximum Power Point Tracking Method for PV systems, ICSET 2008, pp.522-526.

Szuperfiniselés hatására keletkező felületi hibák gömbgrafitos öntöttvas alkatrészekben

Surface defects occurring during superfinishing process of nodular cast iron components

Dr. CZINEGE Imre
Dr. RÉTI Tamás
Dr. CSIZMAZIA Ferencné
 Széchenyi István Egyetem
 Széchenyi István University

A gömbgrafitos öntöttvas széleskörűen használt a járműiparban, mert kedvező mechanikai tulajdonságai alacsony anyag- és megmunkálási költséggel párosulnak. Az egyetlen hátránya ennek az anyagnak a heterogén struktúrából adódó inhomogén szerkezete. Ez felületi hibákat okozhat a megmunkálás során vagy azt követően is. A hibák részletes elemzése és előfordulásuk valószínűségének megítélése mikroszkópiai és sztereológiai módszerekkel valósítható meg.

Nodular cast iron is widely used in vehicle industry as it has reasonable mechanical properties which are associated with low material and machining costs. The only disadvantage of this material is coming from its heterogeneous structure. This causes surface defects during machining process and after it. Detailed analysis of these defects and the probability of their occurrence is analysed by microscopic and quantitative stereological methods.

BEVEZETÉS

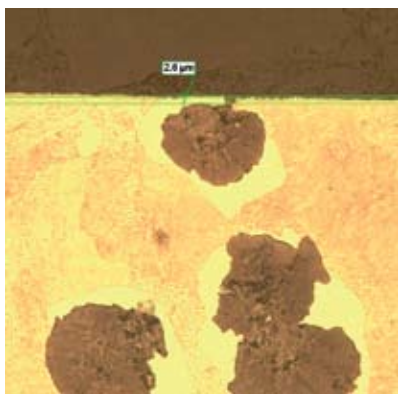
A gömbgrafitos öntöttvasat a járműiparban nagy szilárdsága, magas szívóssága, kedvező megmunkálhatósága és alacsony ára miatt elterjedten alkalmazzák, például forgattyús tengelyek, kerékcápaágházak, teherautó-tengelyek, hajtórudak, vezérmű-tengelyek anyagaként. A gömbgrafitos öntöttvas mikroszerkezete öntött állapotban ferrites vagy perlites lehet, a mátrixban gömb alakú grafitszemcsékkel. A mechanikai tulajdonságok kiválóak, az autóiparban használt alkatrészek anyagának legalább 550 MPa szakítószilárdsága, 380 MPa folyáshatára van, amely 6% nyúlással párosul. A gömbgrafitos öntöttvas kifaradási tulajdonságait általában a grafitmorfológia, a mátrix mikrostruktúrája és a szakítószilárdság befolyásolja. A kifaradási határ eléri a 270...300 MPa-t, a kifaradási arány körülbelül 0,4...0,45 azon minőségekre, melyek motoralkatrészként használatosak.

Ennek az anyagnak a bevezetése – az acélok helyett – jelentős árcsökkenést eredményez, de egyidejűleg komoly nehézségek is

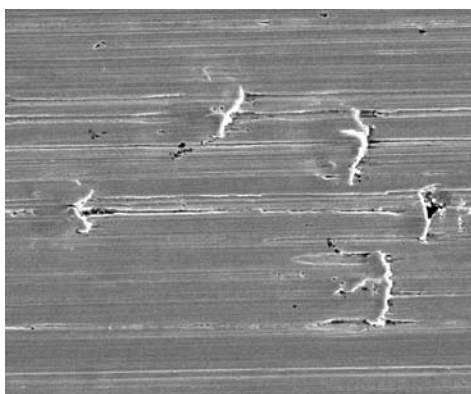
INTRODUCTION

Nodular or ductile cast iron is widely used in vehicles, because of its high strength, high toughness, good machinability, and low cost, for example as the raw material of crankshafts, front wheel spindle supports, truck axles, connecting rods, camshafts. As-cast microstructure of ductile cast iron may be ferritic or pearlitic, with spheroidal graphite particles distributed in the matrix. The mechanical properties are reasonable, the grades used for automotive components have at least 550 MPa tensile strength, 380 MPa yield strength associated with 6% elongation. The fatigue performance of ductile cast irons, in general, is influenced by graphite morphology, matrix microstructure and tensile strength. The endurance limit reaches 270...300 MPa, endurance ratio is about 0,4...0,45 for those grades which are used for engine components.

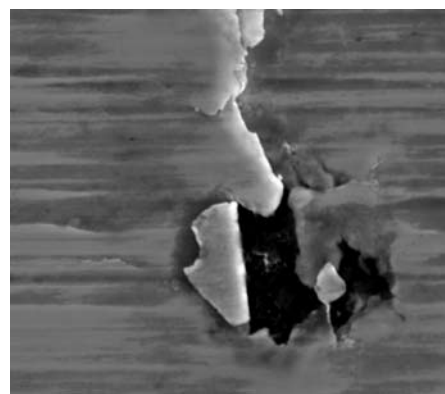
The introduction of this material - instead of steels - have brought significant cost reduction but at the same time there are significant



A gömbgrafitos öntöttvas szövetszerkezete
 Microstructure of nodular cast iron



Repedések a felületen
 Cracks on the surface



Visszahajlott fémrétegek a grafitek felett
 Bended metallic layers above graphite

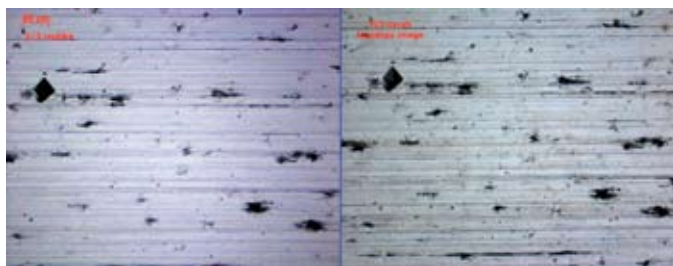
1. ábra: a gömbgrafitos öntöttvas mikroszerkezete és felületi hibái
 Figure 1: microstructure and surface defects of nodular cast iron

felmerülnek a befejező megmunkálás és a felületi tulajdonságok miatt. Ezen nehézségek oka az öntöttvas inhomogén szerkezete, mivel néhány esetben csak 1...3 μm fémes réteg található a grafit-részecske felett és ez a vékony réteg megrepedhet vagy felhajolhat a megmunkálási folyamat alatt. A problémát az 1. ábra illusztrálja. Nyilvánvaló, hogy a grafitrészecskék megjelenésének valószínűsége a felszínen vagy közvetlenül a felszín alatt a grafit méretétől és eloszlásától függ. A felületi hibák mint repedés vagy felhajlott fémes réteg a megmunkálási folyamatból, különösen a befejező műveletektől függenek.

A FELÜLETI HIBÁK JELLEMZÉSE

Két alapvető képi módszer használható a hibák detektálására, az optikai mikroszkóp és a pásztázó elektronmikroszkóp. Mindkét esetben csak roncsolásos vizsgálat használható, mert például egy forgattyús tengely felszínét a mérete és alakja miatt nem lehetséges direkt módon megfigyelni. A másik probléma az, hogy optikai mikroszkópos vizsgálatokkal a görbült felületű löketcsapok megfigyelése élességi problémákat okoz magasabb nagyítások esetében ($>500\times$). Csak az úgynevezett „topológiai képek” adnak hibátlan és éles felvételt. A pásztázó elektronmikroszkópi vizsgálatok legyőzik ezeket a nehézségeket; így tudunk szert tenni megfelelő képekre a kiértékeléshez.

Egy alternatív módszer használható a felszín direkt megfigyelése helyett, ez a replika technika. Megfelelő polimer anyagok használatával tökéletes lenyomat készíthető, amely azonos az eredeti felszínnel (lásd 2. ábra). Fő előnye ennek a módszernek az, hogy a befejező megmunkálás közvetlen minőség-ellenőrzésére alkalmas próbatetek kivétele nélkül a munkadarabból.



2. ábra: a replika és eredeti felület összehasonlítása
Figure 2: comparison of replica (left) and original (right) surface

A felületi hibák mennyiségi elemzése a repedések és a felhajlott rétegek egységnyi felületre (1 mm^2 -re) eső számával történik. Az előzetes mérések azt mutatták, hogy körülbelül 20 képet kell értékelni a hibák számának korrekt megállapításához pásztázó vagy optikai mikroszkópos képek esetében. Önműködő képelemző szoftver nem használható, a repedések és felhajlott rétegek kézi számolása ad viszonylag jó eredményt. A repedések átlagos száma 50...100 között van 1 mm^2 -re, a felhajlott rétegek száma közelítően fele az előző mennyiségnek. Ezeket a kvantitatív mérőszámokat használva a különféle befejező megmunkálások összehasonlítása lehetségessé vált. A 3. ábra mutatja két szuperfiniselési módszernek az összehasonlítását, ahol különböző szerszámozást és rezgetést alkalmaztak.

A bal oldali fotó egy hagyományos szuperfiniselési módszert mutat, a jobb oldali kép új módszerrel készült felületet ábrázol. Jól megfigyelhető, hogy az alkalmazott kétirányú rezgetéses befejező megmunkálás a felhajlott rétegeket eltünteti.

MIKROSZERKEZETI ELEMZÉSEK

Az előző képek azt mutatták, hogy a repedések megjelenésének alapvető oka a gömbgrafitos öntöttvas inhomogén szerkezete. Feltehetően, hogy a felszínen lévő hibák száma erősen függ a grafitré-

difficulties in surface finishing process and surface properties. The reasons of these difficulties occur from the inhomogeneous microstructure of cast iron, as in some cases only 1...3 μm metallic layer can be found above the graphite particles and this thin layer may crack or bend during the machining process. The problem can be illustrated on Fig. 1.

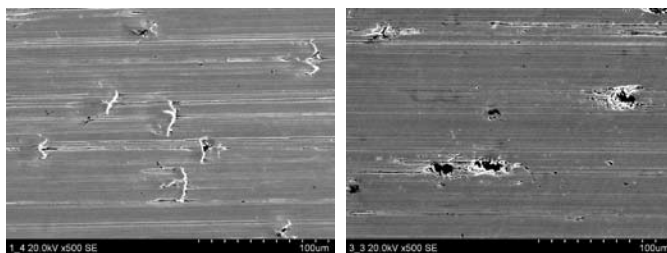
It is obvious, that the probability of the occurrence of graphite particles on the surface or directly under the surface depends on the size and distribution of graphite. The surface defects like cracks or bended metallic layers can be originated from the manufacturing process, especially from the finishing operations.

CHARACTERISATION OF SURFACE DEFECTS

Two fundamental imaging techniques can be used to detect defects, optical microscope and scanning electron microscope. In both cases only destructive test can be used because of the size and shape of a crankshaft - we can not use direct observation of the surface. The other question in connection with optical microscopic tests is that the surface is curved on pins, and this causes sharpness problems at higher magnifications ($>500\times$). Only the so called "topology images" give correct and sharp images. Scanning electron microscopic tests overcome these difficulties; we can obtain appropriate images for evaluation.

An alternative method can be used instead of direct observation of surface, this is the replica technique. Using appropriate polymeric materials perfect replica can be produced which is identical with the original surface (See Fig. 2.). The main advantage of this method is that it is appropriate for direct quality control of final machining without cutting samples from workpieces.

The quantitative characterisation of surface defects is based on the number of cracks per unit area (1 mm^2) and the number of bended layers per unit area. Preliminary measurements showed that about 20 images should be evaluated to receive correct value of defects using scanning or optical microscopic images. Automatic image analysis can not be used, manual counting of the cracks and bended layers gives relative good results. The average number of cracks is ranging between 50...100/ 1 mm^2 , the number of bended layers is about half of former figure. Using these quantitative observations the comparison of different finishing methods was possible. Fig. 3. shows the comparison of two superfinishing techniques using different tooling and vibration method.



3. ábra: finiselt felületek
Figure 3: finished surfaces

The photo on the left shows a conventional superfinishing technique while the right image illustrates the surface machined by the new method. It can be observed that using bi-directional finishing the bended layers are cleaned away.

MICROSTRUCTURAL INVESTIGATIONS

The former images showed that the fundamental reason of the occurrence of cracks on the surface is the inhomogeneous struc-

szecskék mennyiségétől és méret szerinti eloszlásától. A cikk következő részében egy sztereológiai modell kerül bemutatásra, amely lehetővé teszi a grafitrészecskék mikrostrukturális paraméterei és a befejező megmunkálás által okozott felületi hibák száma közötti összefüggés elemzését. A körvonalazott modell használatával a felület alatt bizonyos távolságra elhelyezkedő rejtett grafitrészecskék előfordulási gyakorisága előre jelezhető és technológiai javaslatok tehetők annak érdekében, hogy a felületi hibák száma csökkenthető legyen.

A szimulációs elemzést megelőzően metallográfiai vizsgálatokat végeztünk több gömbgrafitos öntöttvas próbatesten. A vizsgálatokhoz ZEISS Axio Imager A1 típusú mikroszkópot és Axio Vision 4.7. Particle Analyser szoftvert használtunk a legfontosabb grafitparaméterek meghatározására: a grafit térfogataránya V_G , az egységnyi felületre eső grafitrészecskék átlagos száma N_A , az átlagos síkbeli grafitátmérő d_A és a grafitrészecskék síkbeli méret szerinti eloszlása egy 2-D metszeten.

A síkbeli méreteloszlás és az átlagos síkbeli grafitátmérő becsléséhez az egyenértékű körátmérőt használtuk, amelyet a grafitrészecskék egyedi területéből számoltunk. Emellett a bemenő adatokat használva kiszámítottuk a grafitgömbök átlagos átmérőjét, D_V -t. Az egységnyi térfogatra eső grafitrészecskék számát, az N_V -t az $N_V = N_A/D_V$ képlettel számoltuk [1,2]. A vizsgálatunk eredményeként meghatároztuk a következő sztereológiai paramétereket: a grafittérfogataránya $V_G = 0,05 - 0,1$; a területegységre eső grafitrészecskék átlagos száma $N_A = 120-300$ [1/mm²], az átlagos síkbeli grafit átmérő $d_A = 0,015-0,021$ mm, az átlagos grafitgömbátmérő $D_V = 0,10-0,18$ mm, az egységnyi térfogatra jutó grafitrészecskék átlagos száma $N_V = 7500-24\ 000$ [1/mm³].

A SZTEREOLÓGIAI MODELL

Az alkalmazott modell és a szimulációs folyamat a következő koncepción alapul: az első lépésben elhelyezünk (generálunk) N_V véletlenszerű pontot (grafitcsírákat) egy egységnyi élhosszúságú kockában. Ez azt jelenti, hogy egy P_i ($i=1,2,\dots,N_V$) véletlenszerűen elhelyezett pont (x,y,z) koordinátáit a $[0,1]$ intervallumba eső egyenletes véletlenszerű eloszlás jellemez. Második lépésben mindegyik P_i véletlenszerű középpontot úgy tekintünk, mint a grafitgömb súlypontja. A számítógépes szimulációval végrehajtott kísérlet során azt feltételeztük, hogy a grafitátmérő, D egy véletlen változó, melyet egy 3 paraméteres Weibull-eloszlásfüggvény jellemez.

Azon célból, hogy tanulmányozzuk a grafitrészecskék előfordulását a felszínen és a felület alatt, meghatároztunk egy úgynevezett hibazónát az egységnyi kockában. Mint a 4. ábra mutatja, ez a Z_h vastagságú hibazóna tartalmaz olyan grafitrészecskéket, melyek a felületi megmunkálás során úgy tekinthetők, mint a helyi felületi hibák eredete. Hangsúlyozni kell, hogy a Z_h vastagságú hibazónát alapvetően a felszíni mikromegmunkálás határozza meg.

A 4. ábrán a T paraméter jellemzi a távolságot a grafitrészecske és a munkadarab felszíne között. A Z_h és T paraméterek alapján a grafitgömbök különböző csoportokba sorolhatók. Egy D átmérőjű

ture of nodular cast iron. It can be assumed, that the number of defects in the surface is strongly affected by the amount and size distribution of graphite particles. In the following part of this paper a stereological model will be presented which makes it possible to analyze the correspondences among microstructural parameters of graphite particles and the number of surface defects caused by final surface manufacturing. Using the model outlined the occurrence frequency of hidden graphite particles located at a given distance from surface can be predicted, and technological proposals can be made to decrease the number of possible surface defects.

Prior to our simulation experiments, we performed metallographic measurements on several ductile cast iron specimens. ZEISS Axio Imager A1 was used for measurements and Axio Vision 4.7 Particle Analyser software evaluated the most important graphite parameters: the volume fraction of graphite V_G , the average number of graphite particles per unit area N_A , the average planar graphite diameter d_A , the planar size distribution of graphite particle in a 2-D section.

Estimating the planar size distribution and the average planar graphite diameter, we used the equivalent circular diameter calculated from the individual area of the graphite particle. Additionally, using these input data, we calculated the average spherical graphite diameter D_V . The number of graphite particles in unit volume, N_V was calculated by $N_V = N_A/D_V$ [1,2]. As a result of our investigations we determined the following stereological parameters: the volume fraction of graphite $V_G = 0,05 - 0,1$ the average number of graphite particles per unit area $N_A = 120-300$ [1/mm²], the average planar graphite diameter $d_A = 0,015-0,021$ mm, the average spherical graphite diameter $D_V = 0,10-0,18$ mm, the average number of graphite particles in unit volume $N_V = 7500-24000$ [1/mm³].

THE STEREOLOGICAL MODEL

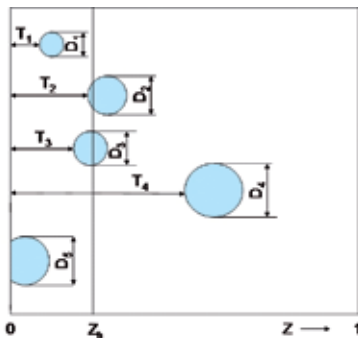
The model and the simulation process applied are based on the following concept. As a first step, we locate (generate) N_V random points (graphite nuclei) in a unit cube. This means that all coordinates $(x,y,z)_i$ of a random point P_i ($i=1,2,\dots,N_V$) are characterized by a uniform random distribution in the interval $[0,1]$. As a second step, each random nucleus P_i is considered as a gravity centre of a graphite sphere. By performing experiments with computer simulation, it was supposed that the graphite diameter D is a random variable which can be characterized by a 3-parameter Weibull distribution function.

In order to study the occurrence of graphite particles on the surface and below the surface, we defined a so-called defect zone in the unit cube. As Fig. 4 shows, this defect zone of thickness Z_h contains such graphite particles which should be taken into account during the surface manufacturing process causing local surface defects. It should be emphasized that the defect zone thickness Z_h is determined primarily by the surface micromachining process.

In Fig. 4 the parameter T stands for the distance between the graphite particle and the workpiece surface. On the basis of parameters Z_h and T , the graphite spheres can be classified into different groups. A graphite sphere with diameter D and gravity centre (x,y,z) is called a hidden graphite if the inequalities

$$T = z - D/2 > 0 \text{ and } T = z - D/2 < Z_h \quad (1)$$

hold. As can be seen in Fig. 4. graphite particles with diameters D_1 , D_2 and D_3 belong to the family of hidden graphite's, while particle with diameters D_5 belongs to the family of visible graphite nodules.



4. ábra: az egységnyi kockába eső grafitgömbök osztályozása
Figure 4: classification of graphite nodules in the unit cube

és (x, y, z) tömegközéppontú grafitgömböt akkor tekintünk rejtett grafitnak, ha a következő egyenlőtlenség teljesül:

$$T = z - D/2 > 0 \text{ és } T = z - D/2 < Z_h \quad (1)$$

Ahogy a 4. ábrán látható, a D_1 , D_2 és D_3 átmérőjű grafitrészecskék tartoznak a rejtett grafitok közé, míg a D_5 átmérőjű részecske felszíni grafitrészecskének tekinthető.

Az előbbi megfontolásokból az következik, hogy a hibazónában lévő rejtett grafitrészecskék átlagos száma N_z a következő módon számítható:

$$N_z \approx Z_h N_v = Z_h \frac{V_G}{V(D)} = Z_h \frac{N_A}{D_v} \quad (2)$$

ahol $V(D)$ az egyedi grafitgömbök átlagos átmérője. A (2) képlet az alapvető kapcsolatot írja le a modell sztereológiai paramétereit és a Z_h hibamélység között.

SZÁMÍTÓGÉPES SZIMULÁCIÓVAL VÉGREHAJTOTT KÍSÉRLETEK

Kiindulva a körvonalazott sztereológiai modellből, kísérleti futtatásokat végeztünk számítógépes szimuláció segítségével. A metallográfiai vizsgálatokon alapuló megfigyeléseinkre támaszkodva azt feltételeztük, hogy a hibazóna vastagsága, $Z_h = 0,003$ mm. A számítógépes szimuláció bemenő adatai minden esetben az egységnyi térfogatban lévő grafitrészecskék N_v száma és az eloszlásfüggvény skaláris paramétereit voltak. Mindezek a feltételezések azokra a mérésekre voltak alapozva, amelyeket 6 forgattyús tengelyen végeztünk.

KÖVETKEZTETÉSEK

A legfontosabb következtetések az alábbiakban összegezhetők:

1. A gömbgrafitos öntöttvas alkatrészek felületi hibái kvantitatív mikroszkópiai módszerekkel jellemezhetők, a repedések és felhajlott rétegek egységnyi felületre eső számának megadásával.
2. A felületi hibák kimutatására a legalkalmasabb módszer a szkennig elektronmikroszkópos vagy a topológiai optikai mikroszkópos felvételek készítése. Gyártásközi ellenőrzésre a replika technika használható.
3. A számítógépes szimulációra alapozott kvantitatív sztereológiai elemzés eredményeként megállapítható volt, hogy a hibazónában előforduló rejtett grafitok N_z száma kevesebb, mint a felületen látható grafitok számának 20%-a.
4. A befejező felületi megmunkálás technológiai paramétereit befolyásolják a hibák kialakulását. Mivel a rejtett grafitrészecskék átlagos száma (N_z) arányos a hibazóna Z_h vastagságával, az optimális megoldás a hibazóna vastagságának minimalizálása lenne a felületi megmunkálás során.
5. A grafitmorfológiát illetően két út van a rejtett grafitrészecskék okozta hibák előfordulásának minimalizálására: az egyszerűbb megoldás a teljes grafit-térfogatarány csökkentése, a másik lehetőség a grafit-méreteloszlás módosítása a grafitrészecskék átlagos átmérőjének $V(D)$ növelésével.

Irodalom

- [1] Saltikov S. A.: Stereometrische Metallographie, Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig, 1974.
- [2] Underwood E. E.: Quantitative Stereology, Addison-Wesely, Menlo-Park, 1970.

From the previous considerations it follows that the average number of hidden graphite particles N_z in the defect zone can be calculated as

$$N_z \approx Z_h N_v = Z_h \frac{V_G}{V(D)} = Z_h \frac{N_A}{D_v} \quad (2)$$

where $V(D)$ is the mean volume of individual graphite spheres. Formula (2) represents the fundamental equation describing the relationships among the stereological parameters of the model and critical depth Z_h .

EXPERIMENTS PERFORMED BY COMPUTER SIMULATION

Starting with the stereological model outlined, experiments have been performed by means of computer simulation. Taking into consideration our observations based on metallographic investigations, it was supposed that the thickness of defect zone, $Z_h = 0,003$ mm. In all cases the input data of computer simulation were the number of graphite particles in unit volume N_v and the scalar parameters of the distribution function of spherical graphite diameter. All these assumptions were based on the quantitative stereological measurements and evaluations carried on 6 different crankshafts.

CONCLUSIONS

- The most important conclusions can be summarized as follows:
1. Surface defects of nodular cast iron components can be characterized by quantitative methods using the number of cracks and bended layers per unit area.
 2. Most appropriate methods for producing appropriate images about the surface are scanning electron microscopic or topological optical microscopic images. For shop floor measurements replica technique can be used as well.
 3. As a result of quantitative stereological experiments based on computer simulation, we have found that the number of hidden graphite particles (N_z) occurring in the defect zone is less than 20% of graphite particles visible on the surface.
 4. The technological parameters of the surface finishing operations influence the defect formation as well. Since the average number N_z of hidden graphite nodules in the defect zone is proportional to the defect zone thickness Z_h , the optimal solution would be to minimize the thickness of defect zone during the surface manufacturing.
 5. Concerning the graphite morphology, there are two ways to minimize the occurrences of surface defects caused by the presence of hidden graphite particles: The simplest solution would be to decrease the total volume fraction of graphite. Another possibility is to modify the graphite size distribution by increasing the mean volume $V(D)$ of graphite nodules.

References

- [1] Saltikov S. A.: Stereometrische Metallographie, Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig, 1974.
- [2] Underwood E. E.: Quantitative Stereology, Addison-Wesely, Menlo-Park, 1970.

Sebességváltó-próbapad fejlesztése felújított hajtóművek számára

Development Of A Gearbox Test Equipment For Renewed Manual Transmissions

DEVECSERI Szabolcs
vezető gyártómérnök,
GM Powertrain – Hungary
Senior manufacturing engineer,
GM Powertrain – Hungary

VARGA Zoltán PhD
egyetemi docens,
Széchenyi István Egyetem
A. professor,
Széchenyi István University

Egy felsőoktatási intézmény és egy multinacionális autógyártó kutatás–fejlesztési együttműködésével egy a sebességváltó-felújítási folyamatban kiválóan használható sebességváltó próbapad készült el. A több mint száz kézi kapcsolású sebességváltó-típusváltozat átvételi és tartamvizsgálatára alkalmas berendezés energiatakarékos zárt szabályzású villamos rendszert alkot, amelyben a 30 kW teljesítményű próbák során csak a rendszer csekély energia-vesztéseit kell a hálózathoz betáplálni. A próbapad számítógépes vezérléssel rendelkezik, amely lehetővé teszi a sebességváltók szabványos átvételi próbáit és minősítését.

During an R&D cooperation of a university and a multinational car manufacturer a manual gearbox test bench has been developed that is exceedingly well usable at the remanufacturing of gearboxes. The test bench can be used for more than 100 variations of gearboxes at long term or at the qualifying processes. It has got a low cost closed loop energetic control, which needs only little energy supply during high power test. The test bench has got a computer control with user-friendly screens that makes it possible to qualify gearboxes by standard methods and prescriptions.

A SZÉCHENYI ISTVÁN EGYETEM ÉS A GENERAL MOTORS
POWERTRAIN – HUNGARY K+F EGYÜTTMŰKÖDÉSE

AN R&D COOPERATION BETWEEN
THE SZÉCHENYI ISTVÁN UNIVERSITY AND
THE GENERAL MOTORS POWERTRAIN - HUNGARY

A sebességváltó-felújítás jellemzői

- Megbízható gyártmány különböző típusú sebességváltókból
- Teljes körű felújítás eredeti gyári alkatrészekkel
- A legmodernebb gyártási technológia alkalmazása
- Költséghatékony és környezetbarát használtalkatrész-felhasználás
- Az új sebességváltóval azonos értékű hajtómű létrehozása
- Az összes GM sebességváltó felújíthatósága

Features of gearbox remanufacturing

- Reliable solution to renew different manual gearboxes
- Full remanufacturing with original spare parts
- Renewing with up to date technologies
- Cost efficiency and environmental protection with reusing parts
- New-equivalent cheap gearbox for the car's owner
- Various gearbox types of different GM cars

Necessity of the test equipment for gearboxes:

- Function test is one of the three quality check points
- Important because of low quantity manual production

Planned test procedure

- Gearbox test at given rotation speed and torque – standard procedure for all gearbox types
- Constant output torque at driving
- Constant input torque at retarding

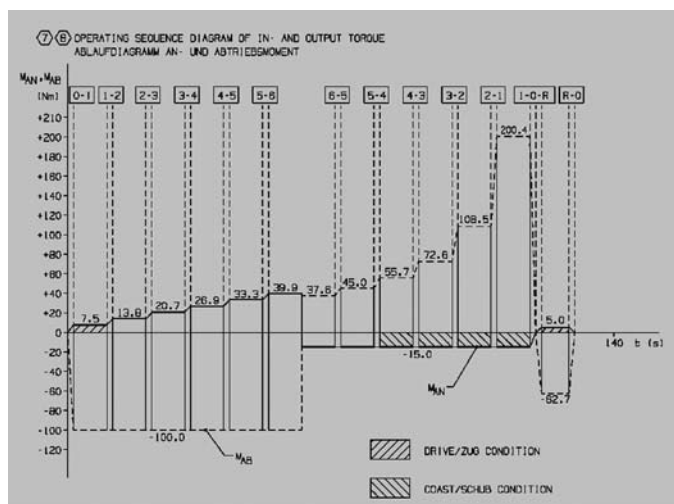
Working principle

Motor's driving and generator braking (retarding) function at all the 3 motors. Energy back supply is realized by programmable frequency converters. Closed loop torque control. Computerized automatic and manual handling.

LAYOUT OF THE TEST BENCH

Mechanical system

Rigid underframe, mounting and driving joining sets for different gearboxes, electric motor-generators and propeller shaft driving at

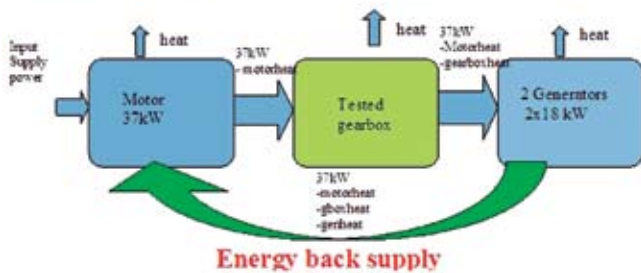


Ábra 1
Figure 1

Gearbox test bench

Cost efficient, closed loop control

37 kW Test power
360 Nm Output torque
3000 r/min Input rotation



Ábra 2
Figure 2

A sebességváltó-próbapad szükségessége

- A működési teszt a három legfontosabb átvételi követelmény egyike
- Az alacsony darabszámú gyártás minőségi végellenőrzése a próbapadon történik

Tervezett vizsgálati technológia

- Sebességváltó-vizsgálat adott fordulatszámnál és nyomatéknál
 - szabványos vizsgálati rend minden sebességváltó-típushoz
- Állandó kimenő nyomaték meghajtásnál
- Állandó behajtóoldali nyomaték motorféküzemben

Működési elv

Mindhárom motor hajtó és fékező (generátor) üzemben is dolgozhat. Szabályzott energia-visszatáplálás programozott frekvenciaváltókkal. Számítógép-vezérlésű automatikus és kézi vezérlés.

A PRÓBAPAD FELÉPÍTÉSE

Gépészeti rendszer

Merev rácsos szerkezetű alváz, csatlakozó- és meghajtóelemek a különféle sebességváltókhoz, villamos hajtó- és fékezőmotorok, kardántengelyhajtás a váltó kimenő és behajtó tengelyeinél, lineár motorral működtetett egytárcsás száraz tengelykapcsoló az indításhoz és sebességváltáshoz, kézi és automatikus fokozatkapcsoló rendszer, integrált kenőolaj-feltöltő és -leeresztő berendezés.

Elektromos rendszer

3 fázis, 50 Hz, 400 V, 3 motorgenerátor (37 kW és 2x18 kW), programozható frekvenciaváltók, kapcsolószekrény.

Jeladók

Integrált nyomaték- és fordulatszám-mérők, automatikus rávezetésű érintő hőfokadók, piezo gyorsulásmérő, biztonsági érzékelők és kapcsolók, optokapus és induktív érzékelők a fokozatkapcsoló szerkezetben.

Elektronikus vezérlőrendszer

Programozható frekvenciaváltók, LabView alapú számítógépes vezérlőprogram, félautomatikus kezelés a számítógépen billentyűzet és egér segítségével, automatikus biztonsági funkciók, vizuális műszerek a számítógépképernyőn, CAN-BUS kommunikáció a jeladók és PC között, kézi és automatikus fokozatkapcsolás, amely tartós tesztek felügyelet nélküli végrehajtását is lehetővé teszi.

the input and at the output shafts of the gearbox, a linear motor operated dry clutch for starting, idling and shifting, integrated lubrication oil filling equipment.

Electric system

3 phase, 50Hz, 400V, 3 motor-generators (37 kW and 2x 18 kW), programmable frequency converters, robust electric supply box.

Sensors

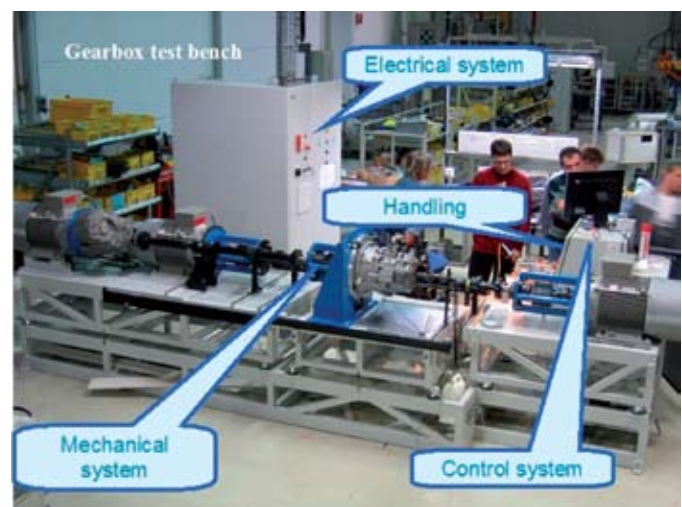
Integrated torque and rotation sensors, automatically moved heat touch sensors, piezo accelerometer, safety sensors and switches, optoelectronic and inductive sensors at shifting.

Electronic control system

Programmable frequency converters, PC software on LabView platform for controlling, semi-automatic handling on PC screen with mouse and PC keyboard, automatic safety functions, visual measuring instruments on the PC screen, CAN-BUS for sensors, manual and automatic shifting for possible long term cycle tests without supervision, optical scanning to identify the gearboxes.

Automatic shifting device

A rack-and-pinion device at the shifting wires moves the shifting axle on the gearbox with two servo motors. The control software determines the motors' movement.



Ábra 3
Figure 3

Vibration and noise analyses

One point acceleration measurement on the gearbox housing, frequency analyses, self adjusting window system to determine special faults at gears and at the bearings.

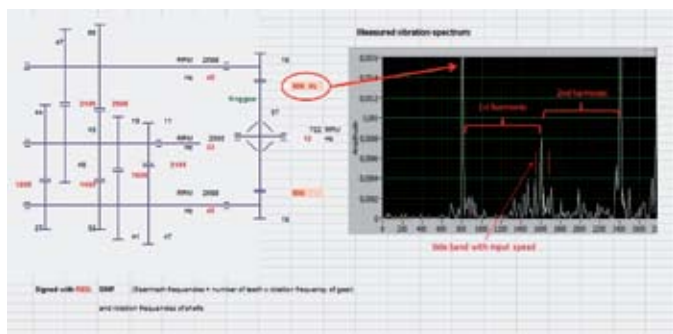
This is a new development using the experience of the test bench operation. The test control software has a vibration analyser segment, which creates a frequency spectrum from the measured and meant acceleration values. The special frequency peaks mean some typical faults at bearings and gears. A cover frame diagram (window) is drawn on the frequency spectrum which is over it. When the measured amplitude is higher than the relevant cover frame value, but still within a proportional tolerance level, the frame can grow, but if the amplitude is over the tolerance level, a warning can be seen on the screen because of the higher vibration that is not allowed. This is a vibration warning system with a self adjusting allowed limit window.

Automatikus fokozatkapcsolás

Egy fogasléc szerkezet mozgatja a kapcsoló bowdeneket két szervomotor segítségével. A motorokat a számítógépprogram vezérli.

Rezgés- és zajvizsgálat

A rezgésgyorsulást egy ponton méri a sebességváltó házán. A frekvenciaspektrumra fektetett határfüggvény segítségével határozzák meg a fogaskerekek és csapágyságok jellegzetes hibáit. A rezgéselemzés egy új fejlesztés, amely a próbapad üzemeltetési tapasztalatain alapul. A vezérlőszoftvert egy rezgéselemző modulral egészítették ki, amely a mért és átlagolt rezgésgyorsulás-időfüggvényből frekvenciaspektrumot képez. Az egyes frekvenciáknál leolvasható amplitúdók adott fogaskerekek, illetve csapágyságok hibáihoz rendelhetők. A program



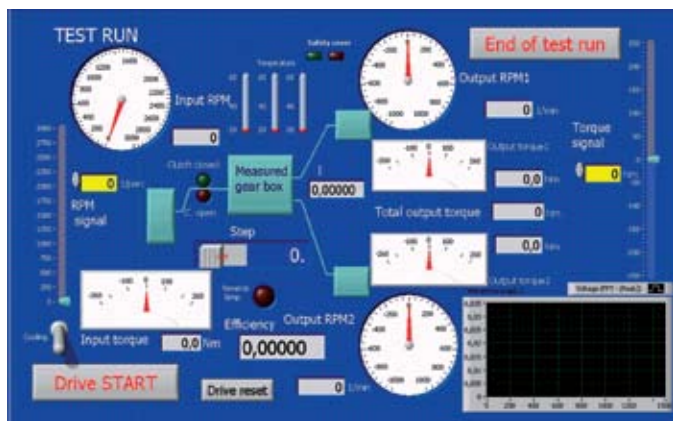
Ábra 4
Figure 4

a frekvenciafüggvény fölé egy ablakgörbét rajzol, amely egy adott százalékkal az első mért görbe felett van. Ez a keret a következő mérésnél automatikusan növekedhet, ha az eltérés nem nagyobb egy adott tűrésértéknél, illetve az operátor nem észlel rendellenes zajt. Ha azonban az amplitúdó jelentősen eltér az ablakfüggvénytől felfelé, illetve a váltó zajos, akkor a program hibajelzést ad. Ez egy öntanuló, minden váltótípusra saját referenciát képző rendszer, amely más berendezéseken is kiválóan használható.

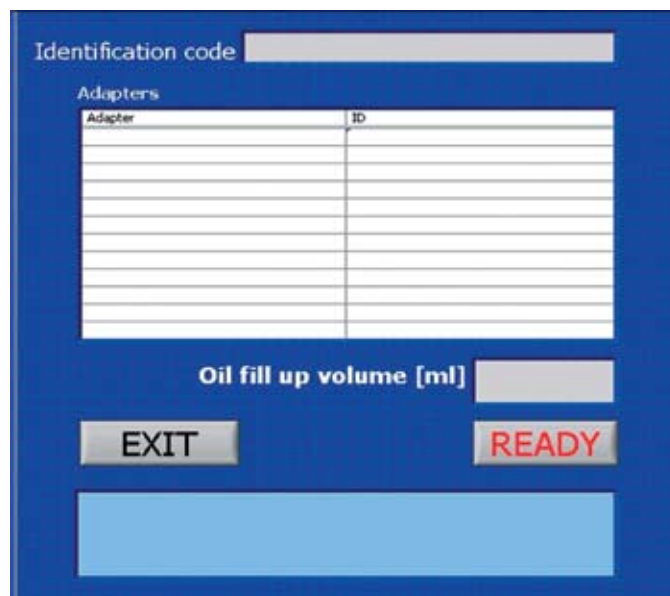
Minősítés hőfokgradiens segítségével

Az üzemeltetési tapasztalatainak a továbbfejlesztésével a váltók minősítéséhez az egyes pontokon mért hőmérséklet-növekedés sebességét is felhasználják.

Üzemmódok



Ábra 6
Figure 6



Ábra 5
Figure 5

Qualifying by temperature gradient

Using the operational experience a new method has been developed to use temperature gradient at certain points of the gearbox housing.

Operation modes

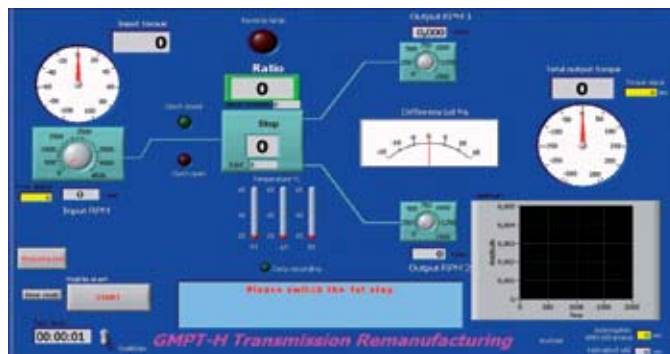
Manual shifting to qualify renewed gearboxes, automatic shifting for long-term tests.

TEST PROCEDURE

When starting the control program - the operator has to identify himself with his name and his pin code.

After entering into the program the gearbox has to be identified with a laser scanner. The software identifies the type of the gearbox, lists all the necessary mounting and driving elements (Adapters). In the background it reads in the test parameters (speed-torque time spectrum, ratios, efficiencies, allowed temperature values and gradients, vibration window, quantity of lubrication oil).

The operator selects the joining elements, mounts the gearbox on the test bench and fills the given oil quantity into the gearbox. He closes the safety cover and pushes the READY button on the screen. On the next screen he selects TEST RUN, which is necessary



Ábra 7
Figure 7

Kézi kapcsolás a felújított váltók átvételi minősítéséhez, automatikus kapcsolás a tartós tesztekhez.

A TESZTFOLYAMAT

A vezérlőprogram indítása – az operátor neve és pinkódja segítségével azonosítja magát.

A programba belépés után egy vonalkód-leolvasóval azonosítani kell a sebességváltót. A szoftver megadja a váltó típusszámát, listázza a szükséges adaptereket. A háttérben beolvassa a szükséges vizsgálati paramétereket (fordulatszám-nyomaték időfüggvény, áttételek, hatásfok, megengedett hőmérséklet- és gradiensértékek, rezgéselemzés ablakfüggvény, szükséges kenőolaj-mennyiség).

A lista alapján a kezelő kiválasztja a csatlakozó- és hajtóadaptereket, felszereli a váltót a padra. Bezárja a biztonsági rácsot, és a képernyőn benyomja a KÉSZ gombot. Ezután a megjelenő gombok közül a PRÓBAJÁRATÁST választja, amely kötelező az első vizsgálat előtt. Ebben a kézi működtetésű műveletben a pad és a sebességváltó minden funkciója kipróbálható a további biztonságos üzemeltetés érdekében.

A PRÓBAJÁRATÁS során a bemenő nyomaték, fordulatszám, a sebességi fokozat kézi vezérléssel változtatható bizonyos határok között, miközben az összes mért fizikai mennyiség (ki- és behajtónyomaték, fordulatszám, áttétel, hatásfok, hőmérsékletek, frekvenciaspektrum) a képernyőn látható. Lehetőség van a kapcsolószekrény-szellőzés ki- és bekapcsolására, és a CAN BUS rendszer programozófelületére való belépésre. Jelzőlámpák mutatják a képernyőn a tengelykapcsoló helyzetét, a biztonsági jelzőket és a hátramenetet.

Amennyiben a PRÓBAJÁRATÁS rendben lezajlott, az operátor megnyomja a „Próbajáratás” vége gombot és ezután választhat a „Kézi” és „Automatikus üzemmód” között. A motorok nyomatéka és fordulatszáma mindkét üzemmódban automatikusan vezérelt, az előre megadott nyomaték-fordulatszám időfüggvények alapján (Tervezett teszt folyamat). Kézi üzemben az operátor kézzel kapcsolja a sebességfokozatokat, miután erre a képernyőn utasítást kap.

A kezelő kézi üzemben a képernyőn ugyanazokat a mennyiségeket látja, mint a PRÓBAJÁRATÁS-nál. A mért mennyiségeket a vezérlőprogram tárolja.

Automatikus kapcsolásnál a próbapad felügyelet nélkül üzemeltethető. A fokozatkapcsolás automatikusan történik, a további funkciók a kézi vezérlés üzemmódhoz hasonlóan működnek.

Mindkét üzemmódban a teszt végén a program minősíti a sebességváltót, és amennyiben az megfelelő, a tesztnek vége, ha viszont nem, akkor a kezelő dönt, hogy újra végzi a mérést, illetve visszaküldi a váltót ellenőrzésre. A minősítést követően a vezérlőprogram jegyzőkönyvet készít, amely a sebességváltó kísérő dokumentuma.

A próbapad két éve folyamatosan üzemel a GMPT-H REMAN üzemében biztosítva a felújított sebességváltók megfelelő minőségét, bizonyítva egy hatékony kutatás–fejlesztési együttműködés eredményességét.



Ábra 8
Figure 8

at the start of the test. This step allows the operator to try every function on the test bench to avoid dangerous situations at full power mode. This is a manual test procedure.

At TEST RUN input torque, input speed, gear, clutch can be manually changed, all measured quantities can be seen on the screen (input speed and torque, output speeds torques, geometric (speed) ratio, temperatures at 3 points, efficiency, vibration amplitude frequency spectrum). It is possible to switch the ventilation of the supply box on/off and to step into the CAN BUS control program. There are signal lights on the screen to show the position of the clutch, safety cover, and reverse gear.

When there is no problem at the TEST RUN phase, the operator can push the „End of test run” button, and after that he can choose MANUAL SHIFTING or AUTOMATIC SHIFTING operation mode. At every operation mode the speed and torque control is automatic, realized by the software using a stored speed-torque time diagram (Planned test procedure). At the MANUAL SHIFTING mode the operator changes gears when he gets an order to do it.

On the screen he can see all the data listed at the TEST RUN phase. Measured quantities are stored by the control software.

In the AUTOMATIC SHIFTING mode the test bench can be operated without supervision. The gear selection is done automatically and all the functions work similarly to manual mode.

After both operation modes the software qualifies the gearbox and if it is usable, then the test is over, if it is not, the operator can repeat the test or send the gearbox to be repaired. After the qualification the control software makes a measuring protocol for the tested gearbox.

The test bench has been working continuously for two years in the GMPT-H REMAN workshop to ensure the proper quality of the renewed gearboxes showing the results of an effective research and development activity.

Technológiai fejlesztés és optimalizálás többüregű kovácsolásnál végeselemes módszerrel (FEM)

Technological Improvement and Optimization in Multiple-Cavity Forging Process with Finite Element Method (FEM)

TANCSICS Ferenc

kovács technológiai vezető
forging technology director

GERGYE Tamás

tanszéki mérnök
department designer

Dr. HALBRITTER Ernő

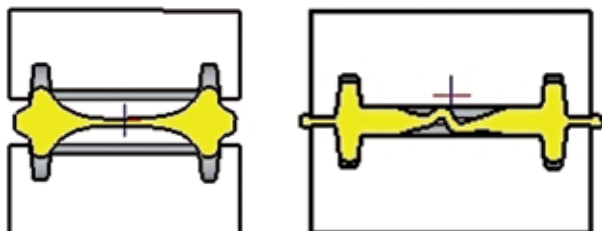
egyetemi docens
associate professor

A járműalkatrészek gyártásánál gyakran alkalmazott technológia a kovácsolás. Kovácsolással biztosítják az előgyártmány, esetenként a kész munkadarab alakját, méretét, valamint javítják a kiinduló anyag mechanikai tulajdonságát. A járműalkatrészek gyártásánál egyre nagyobb hangsúlyt kap a versenyképesség. A versenyképesség növelése gyakran csak a termék szigorúbb határidő szerinti előállításával, a minőség javításával és a gyártási költségek csökkentésével együtt érhető el. Ennek az összetett követelménynek csak a gyorsabb, pontosabb, megbízhatóbb gyártástervezéssel lehet eleget tenni. Munkánk célja egy fejlesztési példa, valamint egy optimalizálási módszer kidolgozása, az elért eredmények bemutatása a piacszerzési potenciál növelése érdekében.

Forging is a technology frequently used in production of vehicle parts. Shape and dimension of the blank and occasionally of the finished work piece are provided, and mechanical properties of the starting material are improved by forging. In production of vehicle parts competitiveness is getting more and more important. Frequently, competitiveness can only be increased by making the product to strict deadlines, by improving the quality, and by reducing the production costs. These complex requirements can only be met by quicker, more exact and more reliable production planning. Our work is aimed at setting an example for improvement as well as at elaborating an optimization method, at presenting the results gained in order to increase potential to enter the markets.

A SZÁLGYŰRÖDÉS VIZSGÁLATA

A kovácsolásnál kialakult szálalrendeződés követi az anyagáramlás irányát és jó esetben a munkadarab alakját. Fontos követelmény, hogy az igénybevétel iránya összhangban legyen a szálalrendeződéssel.

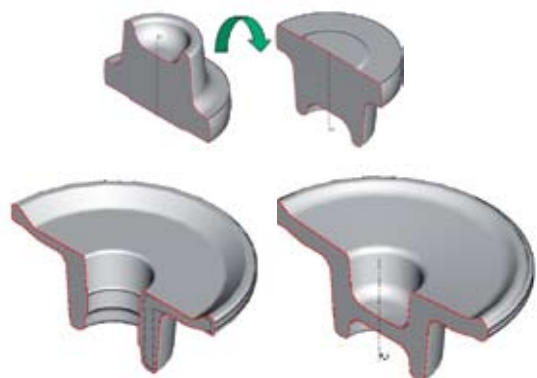


1. ábra
Figure 1

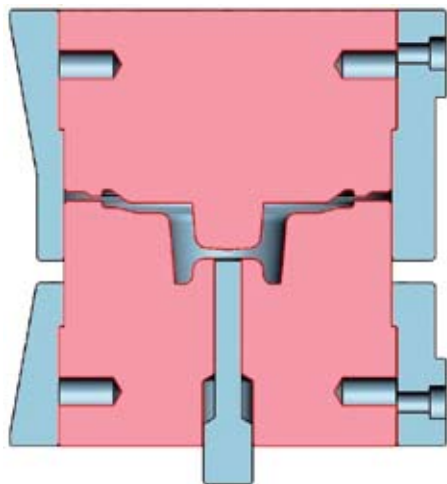
A szálgyűrődés tulajdonképpen anyagáramlási hiba. Az 1. ábráson megfigyelhető a munkadarab kihajlása, begyűrődése, az ún. rálapolás keletkezése egy rosszul tervezett súllyesztékes kovácsolásnál. Az anyagáramlási hibák felismerésében, kiküszöbölésében hatékony

INSPECTION OF GRAIN FOLDS

Grain flow produced during the forging process follows direction of material flow and, if everything goes well, the shape of the work piece. There is an important requirement: direction of loading shall be in conformity with grain flow. Actually, grain fold is an error in flow of material. The pictures in figure 1 show distortion, folding of the work piece, how the so-called lap is produced in a wrongly designed die forging. Finite element software can



2. ábra
Figure 2



3. ábra
Figure 3

segédeszköz egy végeelemes szoftver, de csak akkor, ha a szoftver használója ismeri, illetve felismeri azokat a tényezőket, amelyek az anyagáramlást befolyásolják. RÁBA Futómű Kft. kovácsüzemében a koszorúagy kovácsdarabját többüregű kovácsolással állítják elő. A munkadarab kovácsolás közbeni alakját a 2. ábrason, a készre alakító szerszám metszeti képét a 3. ábrán figyelhetjük meg. A kész kovácsdarab egyik oldalán kismértékű szálgyűrődés fordult elő (4. ábra). Megállapítható volt, hogy a mozgó szerszám alsó holtpontja előtt az anyag már mindenütt kitöltötte az üreget, de az üregkitöltést követően még számottevő anyagfelesleg távozott kedvezőtlen anyagáramlással a sorjacsatornába.

A anyagáramlási hibát részben az előalak térfogatának csökkentésével, részben a kritikus helyen a súrlódási viszonyok javításával küszöböltük ki. Az előalak méreteinek módosítását úgy kellett megoldani, hogy egy kívánt térfogatú és alakú előalakot kapjunk. Ez csak több méret módosításával volt megoldható. A végrehajtott módosítás egyszerre volt sikeres, anyag- és energiatakarékos, valamint szerszámkímélő [1].

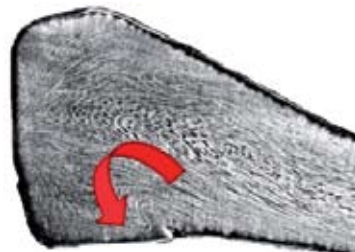
A TÉRFOGATHELYES ELŐALAK BIZTOSÍTÁSA

A többüregű sülyesztékes kovácsolásnál a készre alakító üregbe kerülő előalak befolyásolja a kész kovácsdarab szálrendeződését és ezen túlmenően az alakítás erő- és munkaszükségletét. Az előalak geometriája bizonyos korlátok között szabadon megválasztható, de a különböző megoldásoknál biztosítani kell a kiinduló térfogat állandóságát. A különböző előalakok esetén az állandó térfogatot korlátozott szélsőérték-számítással lehet biztosítani. A korlátozott szélsőérték-számításnak az alkalmazhatóságát a Pro/Engineer szoftvernél módszeresen vizsgáltuk [2]. A korlátozó feltételként megadott értéket a szoftver több méretkombináció esetén is elérheti. A lehetséges megoldások közül kell kiválasztani a szakmai szempontból a legkedvezőbbet. Gyakran előfordul például az, hogy az egyik elképzelt előalak szabályosabb, mint a másik. Itt azt értjük szabályosabbnak, amelyiknek az adott térfogat mellett a felülete kisebb. Ilyenkor korlátozó feltételként a kívánt térfogat mellett meg kell adni a módosított felület értékét is. A korlátozott optimalizálási módszert felhasználtuk a többüregű sülyesztékes kovácsolás teljes alakítási munkaszükségletének minimalizálásánál is.

AZ ALAKÍTÁS ERŐ- ÉS MUNKASZÜKSÉGLETÉNEK MINIMALIZÁLÁSA

Az elmúlt években látványosan nőtt a kovácsolt munkadarabok ára (5. ábra) [3]. A tendenciákat ismerve a versenyképesség

serve as effective means in detecting and eliminating the errors in material flow, but only if the user of the software knows and recognizes the factors that have influence on material flow. In the forging plant of RÁBA Axle Ltd. the forging of the ring gear support is made in multiple-cavity forging operation. The pictures in figure 2 show shape of the work piece during forging, while sectional view of the finishing tool is shown in figure 3.



4. ábra
Figure 4

It could be established that the material has everywhere filled up the cavity in front of the lower dead-point of the die, but after the cavity had been filled up significant excess of metal passed into the gutter with unfavourable material flow.

On one side of the finished forging there is slight grain fold (figure 4).

Error in material flow has been eliminated partly by reducing the blank volume, partly by improving the friction conditions at the critical locations. A solution had to be found to modify the blank dimensions, so that we get to a blank with the desired volume and shape. It could only be solved by changing several dimensions. The change we implemented was successful, material and energy saving as well as tool-sparing at the same time [1].

PROVIDING A BLANK IN CORRECT VOLUME

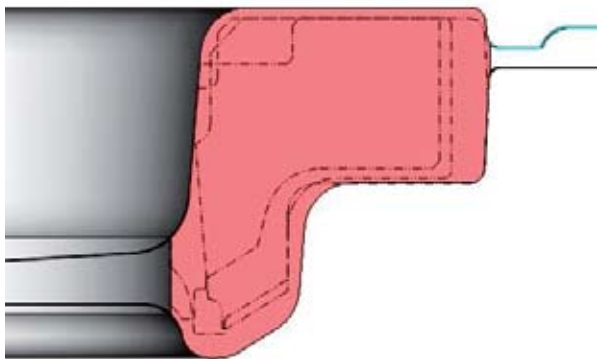
During multiple-cavity die forging process the blank to be put into the finish-forming cavity has influence on grain flow of the forging and besides, on force and work required in forming. Within certain limitations, the blank geometry can freely be selected, but consistency of the initial volume should be assured in various solutions. In case of various blanks, constant volume can be provided with limited extreme value calculation. Applicability of the limited extreme value calculation was methodically inspected with Pro/Engineer software [2]. Generally, the blank geometry is characterized by several dimensions. Out of these dimensions – based on professional aspects – we shall select those dimensions which are required to obtain various blank versions. It frequently occurs that a blank is more regular than the other one. A more regular blank is understood here whose area is less at a given volume. In such a case, the value of the modified area shall also be specified as a limiting condition beside the desired volume. This limited optimization method was also used in minimizing the total forming work required in multiple-cavity die forging.

MINIMIZING THE FORCE AND WORK REQUIRED IN FORMING

Recently, there has been a significant increase in price of the forged work pieces (figure 5) [3].

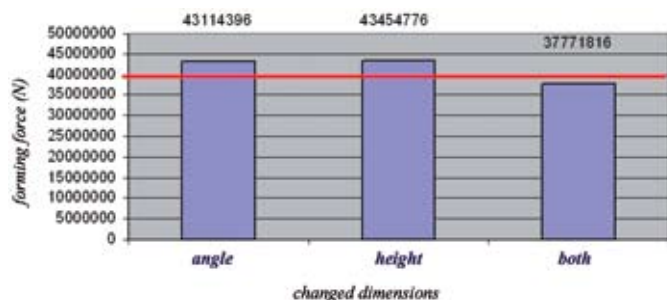
Being familiar with the trends, cost reduction is a very important task for keeping competitiveness. In multiple-cavity die forging process, beside the grain flow of the finished forging, the blank to be put into the finish-forming cavity has influence on force and work required in finish-forming and on lifetime of the die, too. During our inspections we have inspected work required in

megőrzése érdekében a költségcsökkentés fontos feladat. A többüregű sülyesztékes kovácsoláshál a készrealakító üregbe kerülő előalak a kész kovácsdarab szálrendeződésén túl befolyásolja a készrealakítás erő- és munkaszükségletét és a szerszám élettartamát is. Munkánkban a teljes alakítás munkaszükségletét a DEFORM végelelemes szoftverrel vizsgáltuk különböző előalakok mellett és az előalakok térfogatának állandóságát többváltozós korlátozott szélsőérték-számítással biztosítottuk a Pro/Engineer szoftver felhasználásával. Az alakadás fokozatosságának érdekében a korlátozott szélsőérték-számításnál figyelembe vettük a közbenső alakok felületének nagyságát is. A kidolgozott módszer alkalmazásával a peremes csomk többüregű kovácsolásánál (6. ábra) biztosítva lett az alakítás erő- és munkaszükségletének kedvező értéke és a megfelelő szálrendeződés. Ennél a feladatnál a hasonló geometriájú kovácsdarabok egységesítését is meg kellett oldani (7. ábra).



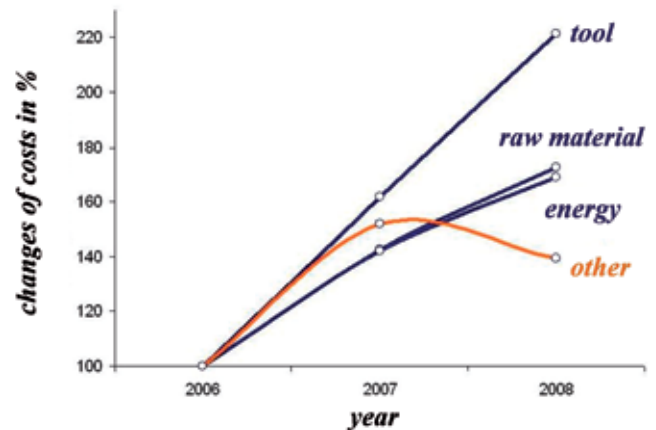
7. ábra
Figure 7

A kiinduló darabok zömítési magasságánál három méretet $H=60, 65, 70$ mm / választottunk. Az előzömített darabok a zömítés végén az előalakító üregbe kerültek. Az előalakító üregbe kerülő darabok tulajdonságai öröklődtek. Az öröklött tulajdonságok a hőmérséklet, a hálósűrűség, az anyagminőség, a peremfeltételknél előírtak és természetesen a geometria [4]. Az előalakított geometriánál is többféle változatot vizsgáltunk. A végelelemes szimuláció célja elsősorban a teljes alakítási folyamat munka- és erőszükségletének csökkentése, optimalása volt. Külön vizsgáltuk az alakítás erőszükségletét is, mert a rendelkezésre álló géppark korlátozta azt (8. ábra).



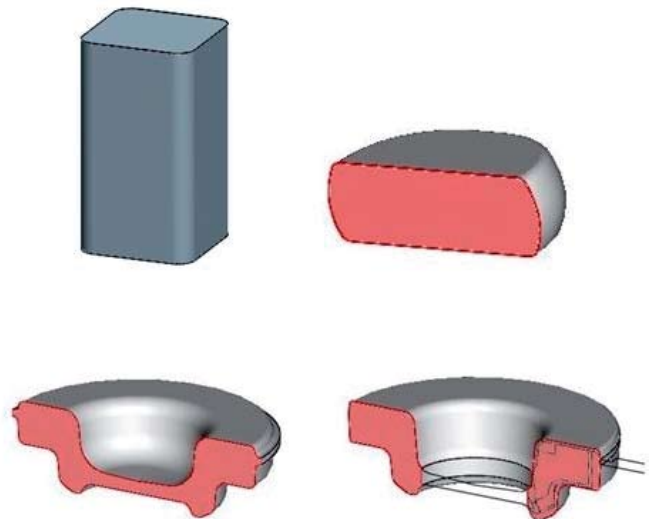
8. ábra
Figure 8

Ezeknél a vizsgálatoknál szintén a teljes alakítási folyamatot vettük alapul. Az egységesített kovácsdarab próbagyártása megtörtént.



5. ábra
Figure 5

whole forming process with DEFORM finite element software on various blanks, and constant volume of the blanks was provided with multivariable limited extreme-value calculation applying Pro/Engineer software. For gradual forming, magnitude of area of the intermediate shapes was also taken into account in limited extreme-value calculation.



6. ábra
Figure 6

While applying the elaborated method in multiple-cavity forging of the flange stub (figure 6), favourable force and work required in forming as well as proper grain flow have been provided. In this task we had to solve unification of forgings that have similar geometries (figure 7). Three dimensions ($H=60, 65, 70$ mm) were selected as upset height of the initial parts. At the end of upsetting, the pre-upset parts were put into the pre-forming cavity. Properties of the parts put into the pre-forming cavity were inherited. Inherited properties are temperature, mesh density, material grade, specifications given as boundary conditions and, of course, geometry [4]. Several versions of pre-formed geometry have been inspected. The finite element simulation was primarily aimed at reducing and optimizing the work and forming force required in the whole forming process. Force required in forming has separately been inspected as it was limited by the available machine fleet (figure 8). In these inspections, the whole forming process was taken as a basis. Trial production of unified forging has been completed.

MEGJEGYZÉS

Napjainkban az alkatrészek 3D-s geometriai modellezése és a geometriai modellek felhasználása a végeselemes vizsgálatra egyre szokásosabb. További előrelépést főleg az olyan módszerek kidolgozásával lehet biztosítani, amelyek az alkalmazott szoftverek képességeit jobban kihasználják, mintegy összegzik.

Irodalom

- [1] Halbritter E., Tisza M., Tancsics F.: Szálgűrődés vizsgálata térfogat-alakításnál végeselemes módszerrel. A jövő járműve, 2006, 3–4. szám, pp. 41–43.
- [2] Halbritter Ernő: Többváltozós optimalizálás korlátozó feltétellel a Pro/Engineer szoftver felhasználásával, Multivariate optimization problem with a constraint using the Pro/Engineer software, Műszaki Szemle – Technical Review – XV: OGÉT 2007. Kolozsvár, 38/ 2007, pp. 135–139, ISSN 1454-0746.
- [3] Halbritter Ernő, Tancsics Ferenc, Gergye Tamás: Alakváltozási munkaszükséglet optimalizálása kovácsoláskor CAD-CAE módszerekkel, A jövő járműve, 2008. no. 3–4. pp. 8–11.
- [4] Dr. Halbritter Ernő, Dr. Solecki Levente, Tancsics Ferenc: A nyomólapok felületi érdességének hatása a letapadásra, The Effect of the Pressing Plate's Surface Roughness on Sticking, Műszaki Szemle – Technical Review – Különszám 2008, pp. 155–159, ISSN 1454–0746.

SUMMARY

Recently, 3D geometrical modeling of the parts and application of geometrical models in finite element inspections are more and more frequently used. Further progress can be provided by elaborating some methods, that utilize better or sum up capabilities of the applied software.

References

- [1] Halbritter E., Tisza M., Tancsics F.: Szálgűrődés vizsgálata térfogat-alakításnál véges-elemes módszerrel. A jövő járműve, 2006, 3 – 4 szám, pp. 41-43.
- [2] Halbritter Ernő: Többváltozós optimalizálás korlátozó feltétellel a Pro/Engineer szoftver felhasználásával, Multivariate optimization problem with a constraint using the Pro/Engineer software, Műszaki Szemle – Technical Review – XV: OGÉT 2007. Kolozsvár, 38/ 2007, pp. 135 – 139, ISSN 1454-0746.
- [3] Halbritter Ernő, Tancsics Ferenc, Gergye Tamás: Alakváltozási munkaszükséglet optimalizálása kovácsoláskor CAD-CAE módszerekkel, Jövő Járműve, 2008. no. 3-4. pp. 8-11.
- [4] Dr. Halbritter Ernő, Dr. Solecki Levente, Tancsics Ferenc: A nyomólapok felületi érdességének hatása a letapadásra, The Effect of the Pressing Plate's Surface Roughness on Sticking, Műszaki Szemle – Technical Review – Különszám 2008, pp. 155-159, ISSN 1454-0746.

Digitális gyár, módszerek és alkalmazások termelési környezetben

Digital factory, methods and applications in production environment

JÓSVAI János

Széchenyi István Egyetem
Széchenyi István University

PERGER József

Audi Hungaria Motor Kft.
Audi Hungaria Motor Ltd.

A mai gazdaságban a termékek életciklusa lerövidült. Ez új kihívást jelent a gyártók számára: magas minőségű termékeket kell előállítani, a bevezetés ideje nagyon rövid, a költségeket csökkenteni kell a lehető legalacsonyabb szintre. A PLM egy mérnöki megoldás erre a kihívásra, amely lehetővé teszi a felhasználók számára, hogy elemezzék és kezeljék a termékeket a termék teljes életciklusa mentén.

In today's economy the product life cycle has been shortened. There is a new challenge for manufacturers: high quality products are to be produced, the introduction time is very short and the costs must be as low as possible. PLM is an engineering solution to address this challenge. It allows for users to analyse and manage products through the whole product lifecycle.

Egy gyártási rendszer általában nagy beruházást jelent, amely leginkább a berendezések és szoftverek üzemeltetéséből tevődik össze. Az alkotórészek integrációja időigényes, és magas költségekkel jár. Hatékony termelési rendszer tervezése során hasznos segítséget nyújt a rendszer dinamikus modelljének létrehozása. Lehetővé teszi, a „mi lenne, ha” elemzések végrehajtását, azonban a felépítés és az eredmények értelmezése során szakértőkre van szükség.

Manapság a gyártási feladat végrehajtását igen összetett tervezési folyamat előzi meg. Ennek oka a termékek változatainak nagy száma. Említhetjük példaként a jármű- vagy a motorgyártást. Ez gyakran igazán kihívó tervezési és gyártási folyamatot jelent. A digitális gyár eszközei és módszerei hasznos segítséget nyújthatnak ezen kihívások megoldásában.

A termék- és a termelési tervezés nemcsak nagyszámú befolyásoló paraméterrel rendelkezik, de ezek kombinációja számos lehetőséget és megoldandó problémát okoz. A gyakorlatban nincs elég idő a matematikai analízis manuális végrehajtására, még akkor sem, ha a megfelelő viselkedést leíró függvények rendelkezésre állnak.

A digitális gyár egy általános kifejezés a digitális modellekre és módszerekre, beleértve a szimulációt és a 3D-s megjelenítést. Ennek célja az integrált tervezés, végrehajtás és a folyamatos fejlesztés, minden gyári folyamatra és a termékhez kapcsolódó erőforrásra vonatkozóan.

A legtöbb termelési struktúrát gyártósorként hozzák létre és feladatuk, hogy különböző terméktípusok számos változatát termeljék. Ez legtöbbször nagyon bonyolult tervezést és termelés-kivitelezést jelent. A termelési program létrehozása összetett, a munkafeladatok különböző időtartamúak, és az anyagellátást, valamint a készleteket is figyelembe kell venni.

A termelési tervezésnek számos célja lehet, néhány ezek közül:

- Szállítási pontosság betartásának megfelelő feladatütemezés,
- A termékek kötegelési mennyiségeinek meghatározása,
- Kiegyensúlyozott munkaterhelés biztosítása a munkahelyeken,
- A gyártás közbeni tárolóhelyek méreteinek meghatározása,
- Átfutási idők kezelése – termékek összetettségétől függően,
- Szűk keresztmetszetek meghatározása és kezelése – amely a rendszer dinamikus viselkedése során változhat stb.

A manufacturing system is usually a large investment, it consists mostly of equipment and software to operate them. The integration of these part systems is time-consuming, and means high costs. To establish an efficient manufacturing system design the dynamic model of the organizations is useful. It makes possible to perform “what-if” analysis, but it needs experts in construction and in result analysis.

Nowadays production tasks need a very complex planning process beforehand. This is caused by the high amount of variants of one product. We can speak here about vehicle or engine production. This often is a very challenging planning and production process. The tools and methods of the digital factory can be helpful in order to solve these challenges.

Product and production planning not only have a large number of influencing parameters, but the combination of these parameters causes a lot of options and problems to solve. In practice there is not enough time to fulfil the mathematical analysis manually, even if the right behaviour functions are ready to use.

The digital factory is the generic term for an extensive network of digital models and methods, including simulation and 3D visualization. Its purpose is the integrated planning, implementation and continuous improvement in all factory processes and resources associated with the product.

This paper describes the steps of introduction of digital factory at Audi Hungaria Motor Ltd., showing examples from different fields of applications.

TECHNICAL PAPER

Today the production tasks have got a very complex planning process. This is caused by the high amount of variants of one product. We can speak here about a vehicle or engine production. Most of the production structures are established as lines and have the task to produce several product types and several variants of the products. This means a very difficult planning and execution of production. The establishment of the production program is complicated, the times of work tasks are different,

A legtöbb esetben a termelési rendszert nem integrált rendszerként kezelik. Két, esetleg három fő sorszakaszból álló rendszer tervezésekor számos befolyásoló tényező lép fel. A legfőbb kérdés, az egyes sorszakaszok együttes tervezése és kezelése, illetve a különválasztott kezelésmód alkalmazása indokolt esetben. Ha a fő ciklusidő a sorszakaszoknál jelentős eltérést mutat, indokoltá teheti a sorszakaszok eltérő módon történő tervezését és működtetését.

Ezen tulajdonságok szemléltetik a tématerület összetettségét. Ilyen komplex rendszerek tervezési feladatainak elvégzésére létezik egy lehetséges eljárás. A modellezés és dinamikus szimuláció alkalmas a legtöbb kérdés megválaszolására, és képes leképezni az adott termelési rendszer időbeli viselkedését. Ez a technika a diszkrét, eseményvezérelt szimuláció.

PROBLÉMALEÍRÁS

A vizsgált termelési rendszer egy motorszerelő sor, amelyet három egymástól elhatárolt gyártósorrész alkotott. Az egyes alrendszer között gyártásközi készlet biztosította az összeköttetést. A szimulációs feladat célja az volt, hogy különböző gyártási feladatok esetén elemezze a gyártósor kihozatali és a kihasználtság-paramétereit.

A termékösszetétel időről időre változik, ez számos hatást gyakorol és többletfeladatot jelent a modell tervezése és elkészítése során. Példaként előfordulhat valamely terméktípus gyártásának befejezése, miközben egy új típus gyártása megkezdődik a gyártósoron. Ez a jelentős adatkezeléssel járó folyamat meglehetősen nagy modellméretet okoz.

A modellezés során számos paraméterváltoztatási lehetőséget kellett beépíteni a megfelelő tervezési funkcionalitás biztosítása érdekében. A kötegelési mennyiségek megváltoztatásának lehetőségét meg kellett oldani a modellben, hogy az előre elkészített termelési programot meg lehessen változtatni, és a szimuláció során jelentősen eltérő szintű elemzést lehessen végrehajtani.

A szimuláció másik fő célja a számítással biztosítható „helyes” termelési sorrend meghatározása volt. A kézzel készített felrakási programot a szimulációs modell segítségével kell optimalizálni. Genetikai evolúciós eljárás került alkalmazásra ennek a bonyolult, nagy keresési terű feladat megoldására.

A sorkiegyenlítés tervezésének biztosítása érdekében szükség volt ezen funkció létrehozására a modellben, hogy a műveleti terhelések elosztásváltozásai tervezhetőek legyenek. Egy szerelési feladat több különböző munkahelyhez is rendelhető a gyártósoron belül. Ez egyúttal azt is eredményezi, hogy a munkahelyek műveletterheléseinek variációi nagyon nagyszámú lehetőséget biztosítanak a gyártósor konfigurációjára. A sorkiegyenlítés elsődleges célja, hogy az egyes műveleteket a megfelelő sorrendben helyezze el egymás után, és az egyes munkahelyeken megközelítőleg tartsa be a sori átlagos taktidőt. A termelési rendszer változásai esetén – terméktípus, gyártott volumen, technológiai és termelési alapidő változások – szükséges a megváltoztatott gyártósor viselkedésének előzetes kalkulációja. A különböző változtatások kihatnak a kihozatalra, az állomások kiterheltségére, és eltérő optimális termelési sorrendet eredményezhetnek.

and the material delivery on the line and the inventory has to be taken into consideration, too.

The production planning has several goals, some of them are:

- the scheduling of the tasks to ensure delivery accuracy,
- to determine the lot size of product batches,
- to ensure smoothed workloads at the workplaces,
- to determine the buffer sizes in the production line,
- to handle the lead times – depending on the complexities of the products,
- to determine and handle the bottlenecks – can change with the system dynamic behaviour, etc.

Mostly the production system is not configured as a whole integrated line. To plan a system, which is separated by buffers between two or perhaps three main lines, has a lot of influential parameters. The main question is either to plan these part lines together, or to plan the production on the lines separately because of some reasons. For example if the mean cycle time is different on the lines then this could be a reason to make the planning separately.

These properties show the complexity of this field. The influence parameters are not only a large number, but the combination of these parameters causes a lot of option and problems to solve. In practice there is not enough time to fulfil the mathematical analysis manually, even if the right behaviour functions are ready to use.

There is another possible method, which is useful to plan such complex systems. The modelling and dynamic simulation are able to answer most of the questions, and show the time dependent behaviour of the concerned production system. This modelling technique is the time discrete event controlled simulation.

This paper would like to show and describe the modelling steps of a complex production system with a lot of products and three different line parts, which are connected with buffers.

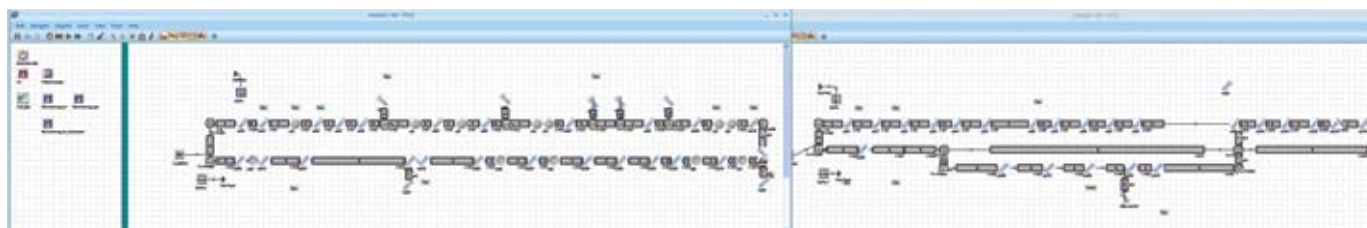
PROBLEM DEFINITION

The considered production system was an engine production line with three separated line parts. These were connected by buffers. The simulation model and study had to investigate, how the line output, usage statistics changes with the different production sequences.

The product mix changes time to time, this had many influences and plus tasks while the planning of the model. We will see how it works when a product has to be changed in the model. This could mean for instance the end of production of one product type, or new type has to be launched on the line. This data handling procedure and the amount of handled data causes a great model size.

The modelling had to consider, that a lot of flexible parameters were needed to ensure enough planning room. Lot size determination had to be fixed, that the actual pre-planned production program could be changed and set on new levels by the simulation. Another main goal was to determine the computational achievable “right” production sequence. The hand-made production program should be optimized by the simulation. A genetic evolution algorithm was used to solve this difficult problem with a large search area.

For planning the line balancing there was needed an option, to ensure handling functionality, when workload change has to be planned. The mounting tasks can be assigned to various places in



1. ábra: sorszakaszok szimulációs modellje
Figure 1: simulation models of the line parts

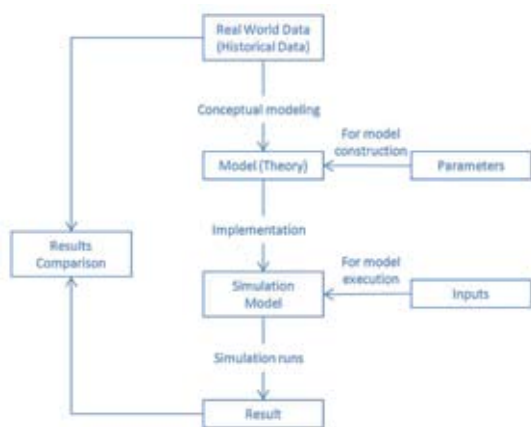
SIMULÁCIÓ ÉS ÜTEMEZÉS

A kutatási modell és szimulációs esettanulmányok között hasonlóságok és eltérések is meghatározhatóak. A szimulációs esettanulmányok célja, hogy szimulációalapú kísérletek segítségével keressek választ a kérdésekre. A társadalomtudományok esetében a kísérletezés önálló kutatási eljárás az esettanulmánytól függetlenül. A társadalomtudományi területek kutatói a megfigyelést, adatgyűjtést és az analízist alkalmazzák azon elméletek kidolgozására, amelyekkel valamely szociális jelenséget és viselkedést magyaráznak. Szimulációs elemzők megfigyelést és adatgyűjtést alkalmaznak, hogy jelen helyzetnek megfelelő modelleket hozzanak létre a gyártórendszerekről, üzemekről és szervezetekről. Az elemzők elméleteiket és módosításait ezeken a modelleken tesztelik szimulációs futtatások során a begyűjtött adatok felhasználásával. Az adatsorokat jelenlegi rendszer és jövőben kialakítandó rendszerek tesztelésére is alkalmazhatják. Tehát adatkészletek kialakíthatóak egy lehetséges jövőbeni állapot feltételeinek megfelelően, például egy gyár jövőbeni terhelésének előrejelzésére. (9)

Az irodalomban, pl. (13) a szimuláció oktatására sok esetben gyártási eseteket alkalmaznak. Az előbbi hivatkozott megközelítés az esettanulmányokat négy alapmodulba sorolja:

- Alap gyártórendszer szervezés, munkahelyek, gyártósorok és műhelyrendszerű termelés.
- Rendszerműködési stratégiák, mint például húzó-nyomó rendszerek, rugalmas gyártás, cellarendszerű gyártás, és teljes automatizáltság.
- Anyagmozgatási rendszerek mint konvektorok, automatikusan irányított anyagmozgató járművek és automata be/kitároló rendszerek.
- Ellátási lánc menedzsment, automatikus készletkezelés és irányítás, logisztika és több különböző telephellyel rendelkező készletezési rendszerek.

A szimulációs esettanulmányok problémaleírásai és céljai meghatározzák a szimuláció kivitelezésének okait. Az esettanulmányok lehetséges céljai lehetnek például egy új gyár legjobb telephelyének meghatározása, egy meglévő üzem jelenleginél jobb



2. ábra: szimulációs modellezés és a kivitelezés lépései (Shao 2008.)

Figure 2: simulation modelling and executing steps (Shao 2008.)

elrendezésének kialakítása, új gép beszerzésének hatáselemzése a kihozatalra vonatkozóan vagy alternatív ütemezési algoritmusok kiértékelése. (9)

A szimulációs kézikönyvek mindegyike tipikusan ajánl tíz – tizenkét lépésből álló folyamatot, amelyet célszerű követni a szimulációs esettanulmány kivitelezése során. Az ajánlott megközelítések legtöbbje tartalmazza az alábbi lépéseket: 1. problémameghatározás, 2. célok és teljes projektterv létrehozása, 3. modellkonceptió kidolgozása, 4. adatgyűjtés, 5. modell építése számítógépes környezetben, 6. kódverifikáció, 7. modellvalidáció, 8. kísérleti futta-

the line. This means that the variation of workloads at the stations in the line has a large number. The line balancing has the goal to put the tasks in the right order after each other and approximately hold the average cycle time at one station. In case of production changes - product type, produced volume, technological, and production base time – there was a need to pre-calculate the changed line behaviour. There are different changes in the task load of the stations, we make such influences which determine the throughput, working portion of the stations and gives different optimal sequence combination of products.

SIMULATION AND SCHEDULING

There are similarities and differences as well between general research- and simulation case studies. Simulation case studies are typically focused on finding answers to questions through simulation-based experiments. In the social science arena, experimentation is considered to be a distinct research method separate from the case study. Social science case study researchers use observation, data collection, and analysis to try to develop theories that explain social phenomena and behaviours. Simulation analysts use observation and data collection to develop “as-is” models of manufacturing systems, facilities, and organizations. The analysts test their theories and modifications to those models through simulation experiments using collected data as inputs. Data sets may be used to exercise both “as-is” and “to-be” simulation models. Data sets may also be fabricated to represent possible future “to-be” conditions, e.g., forecast workloads for a factory. (9)

In (13), teaching simulation through the use of manufacturing case studies is discussed. He organizes case studies into four modules:

- Basic manufacturing systems organizations, such as work stations, production lines, and job shops.
- System operating strategies including pull (just-in-time) versus push operations, flexible manufacturing, cellular manufacturing, and complete automation.
- Material handling mechanisms such as conveyors, automated guided vehicle systems, and automated storage/retrieval systems.
- Supply chain management including automated inventory management, logistics, and multiple locations for inventory.

Simulation case study problem formulations and objectives define the reasons for performing the simulation. Some examples of study objectives might be to evaluate the best site for a new plant, create a better layout for an existing facility, determine the impact of a proposed new machine on shop production capacity, or evaluate alternative scheduling algorithms. (9)

Simulation textbooks typically recommend that a ten to twelve step process be followed in the development of simulation case studies. The recommended approach usually involves the following steps: 1. problem formulation, 2. setting of objectives and overall project plan, 3. model conceptualization, 4. data collection, 5. model translation into computerized format, 6. code verification, 7. model validation, 8. design of experiments to be run, 9. production runs and analysis, 10. documentation and reporting, and 11. implementation (1).

WHAT IS MANUFACTURING SIMULATION?

“...the imitation of the operation of a real-world process or system over time. Simulation involves the generation of an artificial history of the system and the observation of that artificial history to draw inferences concerning the operational characteristics of the real system that is represented. Simulation is an indispensable problem-solving methodology for the solution of many real-world problems. Simulation is used to describe and analyze the behaviour of a system, ask what-if questions about the real system, and aid in the design of real systems. Both existing and conceptual systems can be modelled with simulation.” (1)

tások meghatározása, 9. futtatások végrehajtása és kiértékelése, 10. dokumentáció és jelentéskészítés, 11. megvalósítás (1).

MI A TERMELÉSSZIMULÁCIÓ?

„...valós folyamat vagy rendszer működésének imitálása adott idő-intervallumot tekintve. A szimuláció során mesterséges rendszer-történet jön létre, és ennek megfigyelése alapján következtetések vonhatóak le a leképezett valós rendszer működési karakterisztikáit illetően. A szimuláció egy elengedhetetlen problémamegoldási módszer számos valós életből származó feladatra. Szimulációval leírható és analizálható egy rendszer viselkedése, feltehetőek „Mi lenne ha?” típusú kérdések, és segítséget nyújt a valós rendszer tervezése során is. Szimuláció segítségével meglévő és elméleti rendszerek is modellezhetőek.” (1)

Termelészsizimuláció a termelőszervezet, folyamatok és rendszer viselkedésének modellezésére helyezi a hangsúlyt. Szervezetek, folyamatok és rendszerek magukban foglalnak ellátási láncokat, munkaerőt, gépet, eszközöket és információs rendszereket. A termelészsizimuláció alkalmazható például:

- Jelenlegi és jövőbeni termelés modellezésére, és támogatja a tervezést az ellátási lánc szintjétől az üzemi szintig terjedően
- Kiértékelhető új termékek gyárthatósága
- Támogatja új termékek gyártási folyamatadatainak fejlesztését és validálását
- Asszisztál új termelőrendszerek és folyamatok tervezésében
- Kiértékeli a teljes üzleti teljesítményre gyakorolt hatást
- Kiértékeli az erőforrás-hozzárendelési és ütemezési alternatívákat
- Termelési területeken, gyártósorokon és munkahelyeken belül elemzi a layoutot és az anyagáramlást
- Kapacitástervezési elemzést hajt végre
- Meghatározza a termeléshez és anyagmozgatáshoz szükséges erőforrásokat
- A termelő- és támogatóállományt tréningezi a rendszerek és folyamatok működésére
- Mérőszámok fejlesztése a várható teljesítmény és a jelenleg legjobb értékek összehasonlítására, a termelési műveletek folyamatos fejlesztésének támogatására. (8)

GENETIKUS ALGORITMUS

A genetikus algoritmus kivitelezése az első populáció kromoszómáinak létrehozásával kezdődik, legtöbbször véletlenszerűen. A populáció tagjainak kiértékelése után kiválasztásra kerülnek azon kromoszómák, amelyek jobb megoldást képviselnek a célfeladat szempontjából, ezen kromoszómák számára nagyobb esélyt biztosít az eljárás a reprodukcióra, mint azon megoldások számára, amelyek gyengébb eredményt adnak a célfeladatra.

Egy adott megoldás jósága az aktuális populációhoz viszonyítottan kerül meghatározásra. Ez a leírás szándékosan rövidített, mivel a genetikus algoritmus kifejezésnek kettős jelentése van. Szigorú értelmezés szerint a genetikus algoritmus kifejezés arra a modellre vonatkozik, amelyet John Holland (1975) és tanítványai ismertettek és vizsgáltak. A jelenleg alkalmazott elméletek is elsősorban vagy kizárólag a Holland által bevezetett modellel alkalmazzák, illetve annak variációit, mint például a kanonikus genetikus algoritmust. (Vose, 1993).

A fogalom tágabb értelemben vett alkalmazása esetén, genetikus algoritmusnak tekinthető minden olyan modell, amely szelekciós és újra kombinációs operátorokat alkalmaz, hogy a keresési térben új mintavételi pontokat határozzon meg. Számos genetikus algoritmusmodellel mutattak be a kutatók, leginkább kísérleti szempontok szerint dolgozva. Sokan a kutatók közül alkalmazásorientáltak, és a genetikus algoritmusra mint optimalizációs eszközre tekintenek. (16)

Manufacturing simulation focuses on modelling the behaviour of manufacturing organizations, processes, and systems. Organizations, processes and systems include supply chains, as well as people, machines, tools, and information systems. For example, manufacturing simulation can be used to:

- Model “as-is” and “to-be” manufacturing and support operations from the supply chain level down to the shop floor
- Evaluate the manufacturability of new product designs
- Support the development and validation of process data for new products
- Assist in the engineering of new production systems and processes
- Evaluate their impact on overall business performance
- Evaluate resource allocation and scheduling alternatives
- Analyze layouts and flow of materials within production areas, lines, and workstations
- Perform capacity planning analyses
- Determine production and material handling resource requirements
- Train production and support staff on systems and processes
- Develop metrics to allow the comparison of predicted performance against “best in class” benchmarks to support continuous improvement of manufacturing operations (8)

GENETIC ALGORITHMS

An implementation of a genetic algorithm begins with a population of (typically random) chromosomes. One then evaluates these structures and allocates reproductive opportunities in such a way that those chromosomes which represent a better solution to the target problem are given more chances to reproduce than those chromosomes which are poorer solutions.

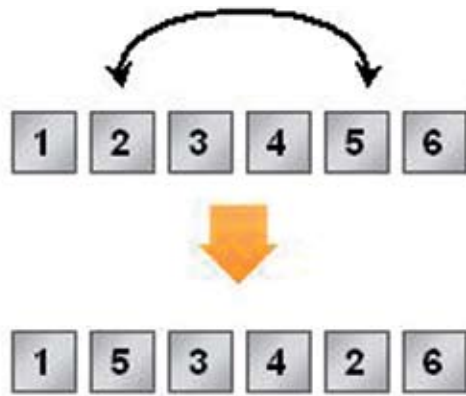
The goodness of a solution is typically defined with respect to the current population. This particular description of a genetic algorithm is intentionally abstract because in some sense, the term genetic algorithm has two meanings. In a strict interpretation, the genetic algorithm refers to a model introduced and investigated by John Holland (1975) and by students of Holland (e.g., DeJong, 1975). It is still the case that most of the existing theory for genetic algorithms applies either solely or primarily to the model introduced by Holland, as well as variations on what will be referred to in this paper as the canonical genetic algorithm. Recent theoretical advances in modelling genetic algorithms also apply primarily to the canonical genetic algorithm (Vose, 1993).

In a broader usage of the term, a genetic algorithm is any population-based model that uses selection and recombination operators to generate new sample points in a search space. Many genetic algorithm models have been introduced by researchers largely working from an experimental perspective. Many of these researchers are application oriented and are typically interested in genetic algorithms as optimization tools. (16)

The use of genetic algorithms requires five components:

1. A way of encoding solutions to the problem - fixed length string of symbols.
2. An evaluation function that returns a rating for each solution.
3. A way of initializing the population of solutions.
4. Operators that may be applied to parents when they reproduce to alter their genetic composition such as crossover (i.e. exchanging a randomly selected segment between parents), mutation (i.e. gene modification), and other domain specific operators.
5. Parameter setting for the algorithm, the operators, and so forth. (4)

The simulation model uses the genetic algorithm for a sequential task. The logic to produce a new population is shown on Figure 3. Several test runs were made in order to identify the right settings of the algorithm. The statistical operators were configured after real life data test runs, to make the algorithm converge faster.



3. ábra: sorba rendezési feladat mutációja (14)
Figure 3: mutation for a sequential task (14)

A genetikai algoritmus alkalmazásához öt komponens szükséges:

1. A probléma kódolásához megfelelő megoldás – adott hosszúságú jelölési rendszer.
2. Kiértékelési függvény, amely minden megoldás számára meghatároz egy értéket.
3. Eljárás a populációk létrehozására.
4. Operátorok, amelyek a szülők reprodukciója során biztosítják a genetikai összetétel változását, mint például a keresztezés, mutáció, ill. más területspecifikus operátorok.

5. Az algoritmus paraméter beállítása, operátorok és így tovább. (4)
A szimulációs modell a genetikai algoritmust sorba rendezési problémára alkalmazza. A *hármas ábra* mutatja az új populáció létrehozásának logikáját. Számos tesztfuttatás során kerültek meghatározásra az algoritmus beállítási paramétereit. A statisztikai operátorok valós adatokkal történt futtatások alapján kerültek beállításra, így az algoritmus gyorsabb konvergenciája érhető el. A futtatások megmutatták, hogy a populáció méretének 10-nek, a futtatott generációk számának 20-nak kell lennie. Ez lényeges feladat volt, hiszen a szimuláció futtatási idejének felső korlátja 90 perc volt.

ÜTEMEZÉS

Az ütemezés definíció szerint az a művészet, amely erőforrások és feladatok összerendelését végzi úgy, hogy biztosítsa ezen feladatok megfelelő időben történő befejezését. Az alap probléma során a kérdés, hogy a feladatok mely sorrendben vándoroljanak az erőforrások között, amely megvalósítható ütemezést jelent, és optimális a teljesítménykritérium szempontjából. A funkciók szerinti osztályozás a problémákat az alábbi kritériumok szerint kategorizálja:

1. Szükségletek generálása,
2. Folyamat komplexitása,
3. Ütemezési kritérium,
4. Paraméterek variabilitása,
5. Ütemezési környezet.

Szükségletek generálása alapján, a gyártási rendszer lehet „open shop” vagy „closed shop”. Open shop rendszerről akkor beszélünk, ha a gyártás megrendelésre történik, nincs készletfelhalmozás. Closed shop rendszerben a megrendeléseket raktárkészletről elégítik ki.

A folyamat komplexitása a megmunkálási lépések számára és a hozzájuk rendelt munkaállomásokra vonatkozik. Ezt a dimenziót az alábbiak szerint tovább bontani:

1. Egy állomásos, egy folyamatos
2. Egy állomásos, több folyamatos,
3. Több állomásos, folyamatos gyártás,
4. Több állomásos, műhely rendszerű gyártás.

Az egy állomásos, egy folyamatos és az egy állomásos, több folyamatos feladatok esetén egy művelet végrehajtására van szükség, amelyet egy vagy több erőforráson kell végrehajtani.

The runs showed at last, that the population size has to be set to 10 and the simulated generations' numbers were 20. This was a main question among others, because the simulation running time was limited up to one and half an hour.

SCHEDULING

Scheduling has been defined as the art of assigning resources to tasks in order to insure the termination of these tasks in a reasonable amount of time. The general problem is to find a sequence, in which the jobs (e.g., a basic task) pass between the resources (e.g., machines), which is a feasible schedule, and optimal with respect to some performance criterion. A functional classification scheme categorizes problems using the following dimensions:

1. Requirement generation,
2. Processing complexity,
3. Scheduling criteria,
4. Parameter variability,
5. Scheduling environment.

Based on requirements generation, a manufacturing shop can be classified as an open shop or a closed shop. An open shop is "build to order", and no inventory is stocked. In a closed shop the orders are filled from existing inventory.

Processing complexity refers to the number of processing steps and workstations associated with the production process. This dimension can be decomposed further as follows:

1. One stage, one processor
2. One stage, multiple processors,
3. Multistage, flow shop,
4. Multistage, job shop.

The one stage, one processor and one stage, multiple processors problems require one processing step that must be performed on a single resource or multiple resources respectively.

In the multistage, flow shop problem each job consists of several tasks, which require processing by distinct resources; but there is a common route for all jobs.

Finally, in the multistage, job shop situation, alternative resource sets and routes can be chosen, possibly for the same job, allowing the production of different part types.

The third dimension, scheduling criteria, states the desired objectives to be met. They are numerous, complex, and often conflicting. Some commonly used scheduling criteria include the following:

1. Minimize total tardiness,
2. Minimize the number of late jobs,
3. Maximize system/resource utilization,
4. Minimize in-process inventory,
5. Balance resource usage,
6. Maximize production rate.

The fourth dimension, parameters variability, indicates the degree of uncertainty of the various parameters of the scheduling problem. If the degree of uncertainty is insignificant, the scheduling problem could be called deterministic. For example, the expected processing time is six hours, and the variance is one minute. Otherwise, the scheduling problem could be called stochastic.

The last dimension, scheduling environment, defined the scheduling problem as static or dynamic. Scheduling problems in which the number of jobs to be considered and their ready times are available are called static. On the other hand, scheduling problems in which the number of jobs and related characteristics change over time are called dynamic. (5)

According to the previous classification the modelled system can be classified as:

- Open shop
- Multistage, flow shop
- The processing times are treated as deterministic
- Job characteristic is dynamic

A több állomásos, folyamatos gyártási probléma esetén minden feladat több műveletből áll, amelyeket különálló erőforrások hajtanak végre; de minden feladat azonos útvonalon halad végig. Végül a több állomásos, műhely rendszerű gyártás esetén, eltérő erőforrás-kombinációk és útvonalak határozhatóak meg, akár ugyanazon feladat számára is, lehetővé téve különböző alkatrészek gyártását.

A harmadik dimenzió, az ütemezési kritérium határozza meg az elérni kívánt célokat. Számos cél lehetséges, összetettek, és gyakran egymásnak ellentmondóak. Néhány gyakran alkalmazott ütemezési kritérium:

1. Összesített késés minimalizálása,
2. Késő munkák számának minimalizálása,
3. Rendszer/erőforrás kihasználtság maximalizálása,
4. Termelési közi készletek minimalizálása,
5. Erőforrás-kihasználtság kiegyenlítése,
6. Termelékenység maximalizálása.

A negyedik dimenzió, a paraméterek variabilitása, érzékelteti a számos paraméterből adódó bizonytalanságot az ütemezési feladat szempontjából. Ha a bizonytalansági fok elhanyagolható, az ütemezési probléma determinisztikusnak tekinthető. Például a becsült gyártási idő hat óra és a variancia egy perc. Eltérő esetben az ütemezési feladat sztochasztikusnak tekinthető.

Az utolsó dimenzió, az ütemezési környezet, az ütemezési problémát statikusként vagy dinamikusként határozhatja meg. Másként fogalmazva, azon ütemezési feladatok, amelyekben a feladatok száma és a hozzájuk tartozó karakterisztikák változnak, dinamikusként nevezzük. (5)

Az előző osztályozás szerint a modellezett rendszer az alábbiak szerint jellemezhető:

- Open shop
- Több állomásos, folyamatos gyártás
- A műveleti idők determinisztikusnak tekinthetőek
- A feladatok karakterisztikája dinamikussá.

MODELLEZÉS ÉS SZIMULÁCIÓS FUTTATÁSOK

A modell tervezési eszköz, amely számos termelés-tervezési kérdés megválaszolására alkalmas. A modell létrehozása és felépítése a valós rendszer fizikai paraméterei alapján történik. A modellezés iterációs lépései összetettek voltak, mivel a termékek szerelési idejeit kezelni kellett. A valós rendszerből átvett szerelési idők a modellen belül kerültek szűrésre és feldolgozásra.

MODELLÉPÍTÉS

A Plant Simulation program számos előre definiált elemet biztosít az anyagáram és termelési logika modellezésére. Öt nagy elemcsoport emelhető ki az eszközkészletből:

- Anyagáram objektumok: állandó folyamatok és erőforrások leképezésére szolgáló objektumok, amelyek a mozgó elemeket feldolgozzák.
- Mozgó elemek: mozgó anyag, munkaerő és járművek leképezésére szolgáló objektumok.
- Információs objektumok: adatok rögzítésére, feldolgozására és elosztására szolgáló elemek.
- Vezérlőelemek: a logikai működés kezeléséhez elengedhetetlen alapelemek.
- Megjelenítő és kezelői felület objektumok: a felhasználó számára megjelenítendő információk és a kommunikációt biztosító elemek.

A Plant Simulation programozási nyelve a SimTalk; speciálisan erre a programkörnyezetre fejlesztett programozási nyelv. A programkód elemek a modellek dinamikus irányítására és szabályzására szolgálnak, a modellező által készített programkód elemek a szimuláció során kerülnek futtatásra, valahányszor meghívásra kerülnek.

MODELING AND SIMULATION RUNS

This model is a planning tool which is able to answer several questions of the complex production planning. The creation of the model followed the physical parameters of the real system. The iteration process of the modelling was difficult because it had to handle the product mounting time. The mounting times were gained from the real production system, but the collection and filtering was made inside the simulation model, to prepare the data ready for production inside the simulation.

MODEL BUILDING

Plant Simulation provides a number of predefined objects for simulating the material flow and logic in a manufacturing environment. There are five types of main object groups from Plant Simulation:

- Material flow objects: Objects used to represent stationary processes and resources that process moving objects.
- Moving objects: Objects used to represent mobile material, people and vehicles in the simulation model and that are processed by material flow objects. Moving objects are more commonly referred to as MUs.
- Information flow objects: Objects used to record information and distribute information among objects in the model.
- Control objects: Objects inherently necessary for controlling the logic and functionality of the simulation model.
- Display and User interface objects: Objects used to display and communicate information to the user and to prompt the user to provide inputs at any time during a simulation run.

SimTalk is the programming language of Plant Simulation; it was specifically developed for application in Plant Simulation models. The Method objects are used to dynamically control and manipulate models. SimTalk programs are written inside method objects and executed every time the method is called during a simulation run. The logical structure of the model was created on basis of Plant Simulation provided level structure. So it was a "simple" planning step to divide the model into specified functional levels. Different folders and frames are used in order to implement the line structure, the data handling for manufacturing programs and the basic data for the manufactured products. However, the scheduling of the production program has its own separate level.

The data input and output of the model work with the Excel Interface of Plant Simulation. Users can manipulate the parameter settings and see the results of the simulation runs on this easy way independently from Plant Simulation – no special simulation knowledge is asked.

User interface has been implemented for the model in order to handle the simulation model and the several built-in functions, which are to test the simulated line behaviour. This handling tool, which is shown on Figure 4, helps the manufacturing engineer to plan tasks and solve rescheduling problems on the line.

MODEL VALIDATION AND VERIFICATION

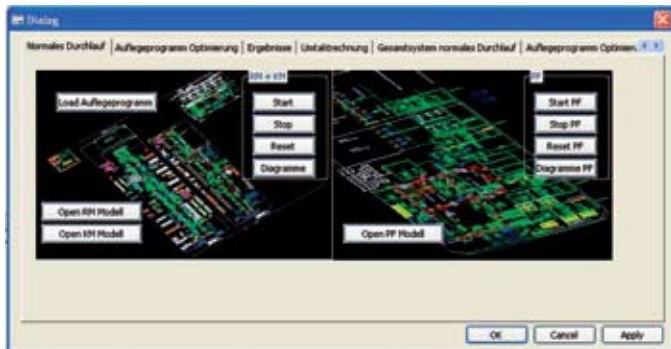
Validation and verification of the model is formulated as follows: Model validation: process of demonstrating that a model and its behaviour are suitable representations of the real system and its behaviour w.r.t. intended purpose of model application.

Model verification: process of demonstrating that a model is correctly represented and was transformed correctly from one representation form into another, w.r.t. transformation and representation rules, requirements, and constraints. (7)

There are many techniques to validate and verify the model. The physical environment has high influence on the method which is adaptable to verify and validate the model. In this particular case together with experts from the enterprise a structured

A modell adatkommunikációja Excel alapon történik. A paraméter-beállítások megváltoztatását a felhasználó speciális szimulációs ismeretek nélkül is végrehajthatja, és a szimulációs eredményeket is értelmezheti.

Felhasználói kezelőfelület készült a modellhez, hogy a szimuláció kezelését biztosítsa, és a kialakított számos funkció átláthatóan kezelhetővé váljék. Ez a kezelőeszköz támogatja a termelés-tervező mérnököt, művelettervezési és ütemezési feladatai során. Ld. 4. ábra.



4. ábra: felhasználói kezelőfelület
Figure 4: user interface

SZIMULÁCIÓS FUTTATÁSOK ÉS EREDMÉNYEK

A szimuláció mindennapos használatát számos beállítási lehetőség biztosítja. Többek között sorsebesség, az egyes sorszakaszokon futó paletták száma, kötegelési mennyiségkorlátok és napi termelési program generálási funkció.

A szimulációs modell lehetővé teszi a rendszerelemekről információk gyűjtését, például műveleti idők, leterheltség, várakozási idő stb. Ld. 5. ábra. Nemcsak a munkahelyek megfigyelésére van mód, hanem a rendszerterhelés különböző verzióinak tesztelésére is lehetőség nyílik.

A szimulációs tesztfuttatások a gyártási adatok alapján az alábbi fontos eredményeket mutatták:

- A szimulációs modell napi használatra alkalmas.
- A nagyobb hatékonyság érdekében 2-3 napos futtatási intervallum ajánlott az ütemezési probléma esetén.
- Az átfutási idő 1–10%-os csökkentésére alkalmas, amely a termékösszetétel függvénye.

A szimulációs modell építés és a tesztfuttatások a vállalatnál bizonyítják, hogy a technika alkalmas a termelés-tervezési feladatok ellátására. A modell és a sor kapcsolata alapján a valós adatok közvetlen felhasználása még javítható. Amennyiben ennek továbbfejlesztése megtörténhet, az újraütemezés és a szimulációs eszköz tervező alkalmazásból termelésirányítási eszközzé válhat.

ÖSSZEFOGLALÁS

A cikk a szimulációs technika termelés-ütemezésben történő alkalmazásával foglalkozik egy termelésorientált vállalat gyártási folyamat-tervezési és irányítási példáján keresztül a járműgyártási szakterületen. Egy gyártósor szimulációs modellje és létrehozási folyamata kerül bemutatásra.

A cikk a szimuláció és ütemezés kérdéseit taglalja, segítséget adva a fizikai rendszer és a szimulációs feladat osztályozásában.

A legfontosabb előnyöket a szimulációs futtatások eredményei támasztják alá.

walkthrough was possible to use for this system model. For special throughput data of the line it was possible to make historical data validation.

SIMULATION RUNS AND RESULTS

The regular use of the simulation was secured with the several setting function, among them the line speed, the different value setting of the palettes on the separated lines, lot size limitations, and daily production program definition function.

With the simulation model it is possible to gain information about the system elements, for example how they are working in time, their occupation and empty time – waiting, etc. (Figure 5). Not only the elements can be obtained, but also the different working scenarios of the planned system load are about to be tested.

The simulation test runs with manufacturing data brought the following most important results:

- The simulation model is capable for everyday usage.
- To bring more efficiency 2-3 days are to be handled with the rescheduling algorithm.
- It is able to reduce lead time with 1-10%, this depends on product mixtures.

The simulation model building and the test runs at the enterprise show that the simulation technique is suitable for the manufacturing planning. The model and the line connection mean in this case that the real data application could be made much better. This depends on both sides; the model structure has to be modified if the physical system is able to give over real time data. In this matter the rescheduling and the simulation tool could be not only the planning tool, but also it would be the production control tool.

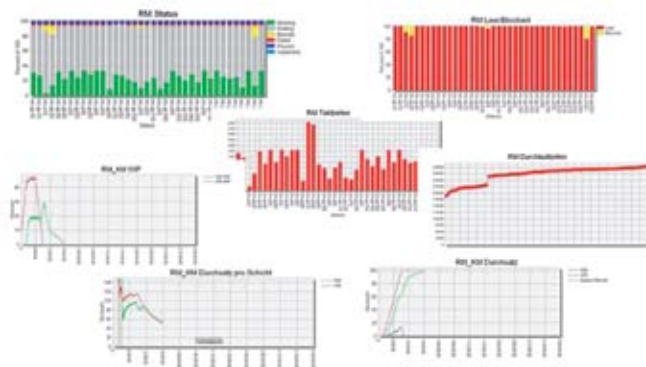
CONCLUSIONS

The paper focuses on the applicability of simulation technology in production schedule of a production oriented firm and on the possibilities of planning and controlling the manufacturing process with simulation method in the automotive industry. A simulation model for manufacturing line planning and its establishment process is presented.

The paper discusses the questions of simulation and scheduling problems, these questions help to classify the physical system and the simulated problem.

Model validation and verification are taken into consideration after the presentation of the implemented genetic algorithm for production sequence optimization.

The most important benefits were highlighted based on the results of simulation runs.



5. ábra: a modellezett termelési rendszer kiértékelő diagramjai
Figure 5: evaluation diagrams of the modelled production system

Irodalom

- [1] Edited by: Jerry Banks, „Handbook of simulation, Principles, Methodology, Advances, Application and Practice“, Atlanta: JohnWiley & Sons Inc., 1998
- [2] Gudehus T., „Logistik Grundlagen Strategien Anwendungen“, Berlin: Springer, 1999
- [3] Hopp, W. J., Spearman, M.L., „Factory Physics“, Boston: McGraw-Hill, 2008
- [4] Jones, A., Riddick, F., Rabelo, L., „Development of a Predictive-Reactive Scheduler Using Genetic Algorithms and Simulation-based Scheduling Software“ National Institute of Standards and Technology, Ohio University, 1996, Available from: <http://www.nist.gov> [accessed 18 May 2009]
- [5] Jones, A., Rabelo, L., „Survey of Job Shop Scheduling Techniques“, National Institute of Standards and Technology, California Polytechnic State University, 1998, Available from: <http://www.nist.gov> [accessed 18 May 2009]
- [6] Kuhn A., Tempelmeier H., Arnold D., Isermann H., „Handbuch Logistik“, Berlin: Springer. 2002
- [7] Rabe, M., Spieckermann, S., Wenzel, S., „Verifikation und Validierung für die Simulation in Produktion und Logistik“, Berlin: Springer, 2008
- [8] McLean, C., Leong, S., „The Role of Simulation in Strategic Manufacturing“, Manufacturing Simulation and Modeling Group National Institute of Standards and Technology, 2002, Available from: <http://www.nist.gov> [accessed 18 May 2009]
- [9] McLean, C., Shao, G., „Generic Case Studies for Manufacturing Simulation Applications“, National Institute of Standards and Technology, 2003, Available from: <http://www.nist.gov> [accessed 18 May 2009]
- [10] Pfeiffer, A., „Novel Methods for Decision Support in Production Planning and Control“, Thesis (PhD), Budapest University of Technology and Economics, 2007
- [11] Schönsleben, P., „Integrales Logistikmanagement, Operations and Supply Chain Management in umfassenden Wertschöpfungsnetzwerken“, Berlin: Springer, 2007
- [12] Shao, G., McLean, C., Brodsky, A., Amman, P., „Parameter Validation Using Constraint Optimization for Modeling and Simulation, Manufacturing Simulation and Modeling Group, National Institute of Standards and Technology, 2008, Available from: <http://www.nist.gov> [accessed 18 May 2009]
- [13] Standridge, C., „Teaching Simulation Using Case Studies“, Proceedings of the 32nd on Winter Simulation Conference, pp. 1630–1634. December 10–13, Orlando, (Florida, USA). 2000
- [14] Tecnomatix Technologies Ltd., „Tecnomatix Plant Simulation Help“, 2006
- [15] Vollmann, T. E., Berry, W. L., Whybark, D.C., Jacobs, F.R. „Manufacturing Planning and Control Systems for Supply Chain Management“, New York: McGraw-Hill, 2005
- [16] Whitley, D., „A Genetic Algorithm Tutorial“, Statistics and Computing Vol. 4: 65–85. 1995

References

- [1] Edited by: Jerry Banks, „Handbook of simulation, Principles, Methodology, Advances, Application and Practice“, Atlanta: JohnWiley & Sons Inc., 1998
- [2] Gudehus T., „Logistik Grundlagen Strategien Anwendungen“, Berlin : Springer, 1999
- [3] Hopp, W. J., Spearman, M.L., „Factory Physics“, Boston : McGraw-Hill, 2008
- [4] Jones, A., Riddick, F., Rabelo, L., „Development of a Predictive-Reactive Scheduler Using Genetic Algorithms and Simulation-based Scheduling Software“ National Institute of Standards and Technology, Ohio University, 1996, Available from: <http://www.nist.gov> [accessed 18 May 2009]
- [5] Jones, A., Rabelo, L., „Survey of Job Shop Scheduling Techniques“, National Institute of Standards and Technology, California Polytechnic State University, 1998, Available from: <http://www.nist.gov> [accessed 18 May 2009]
- [6] Kuhn A., Tempelmeier H., Arnold D., Isermann H., „Handbuch Logistik“, Berlin : Springer. 2002
- [7] Rabe, M., Spieckermann, S., Wenzel, S., „Verifikation und Validierung für die Simulation in Produktion und Logistik“, Berlin:Springer, 2008
- [8] McLean, C., Leong, S., „The Role of Simulation in Strategic Manufacturing“, Manufacturing Simulation and Modeling Group National Institute of Standards and Technology, 2002, Available from: <http://www.nist.gov> [accessed 18 May 2009]
- [9] McLean, C., Shao, G., „Generic Case Studies for Manufacturing Simulation Applications“, National Institute of Standards and Technology, 2003, Available from: <http://www.nist.gov> [accessed 18 May 2009]
- [10] Pfeiffer, A., „Novel Methods for Decision Support in Production Planning and Control“, Thesis (PhD), Budapest University of Technology and Economics, 2007
- [11] Schönsleben, P., „Integrales Logistikmanagement, Operations and Supply Chain Management in umfassenden Wertschöpfungsnetzwerken“, Berlin : Springer, 2007
- [12] Shao, G., McLean, C., Brodsky, A., Amman, P., „Parameter Validation Using Constraint Optimization for Modeling and Simulation, Manufacturing Simulation and Modeling Group, National Institute of Standards and Technology, 2008, Available from: <http://www.nist.gov> [accessed 18 May 2009]
- [13] Standridge, C., „Teaching Simulation Using Case Studies“, Proceedings of the 32nd on Winter Simulation Conference, pp. 1630-1634. December 10-13, Orlando, (Florida, USA). 2000
- [14] Tecnomatix Technologies Ltd., „Tecnomatix Plant Simulation Help“, 2006
- [15] Vollmann, T.E., Berry, W. L., Whybark, D.C., Jacobs, F.R. „Manufacturing Planning and Control Systems for Supply Chain Management“, New York : McGraw-Hill, 2005
- [16] Whitley, D., „A Genetic Algorithm Tutorial“, Statistics and Computing Vol. 4:65-85. 1995

Vegyes autóipari műanyag hulladék újrahasznosítási lehetőségei

Possibility of recycling of miscellaneous automotive polymer by products

Dr. RONKAY Ferenc György
egyetemi adjunktus,
Budapesti Műszaki és
Gazdaságtudományi Egyetem
senior lecturer,
Budapest University of
Technology and Economics

Dr. DOGOSSY Gábor
egyetemi adjunktus,
Széchenyi István Egyetem
senior lecturer,
Széchenyi István University

A szigorodó környezetvédelmi előírások arra kényszerítik az autógyártókat, hogy egyre nagyobb mennyiségben alkalmazzanak újrahasznosított alapanyagokat. Az autóbontókban alkalmazott shredder azonban egyben darálja le a gépjárműveket. A kijövő vegyes műanyag hulladékok válogatása elsősorban sűrűségkülönbséggel lehetséges. Cikkünk az egyik – főként poliolefinet tartalmazó – könnyűfrakció alkalmazhatóságát vizsgálja.

The European environmental acts encourage and force the producers of vehicle to apply more quantity of recycled materials. The shredder which use in wrecker is crushed the vehicle in one piece. Sorting of the coming out mixed polymer byproduct is possible only with help density different. The aim of the present study is to investigate the applicability of that fraction which contains mainly polyolefin.

BEVEZETÉS

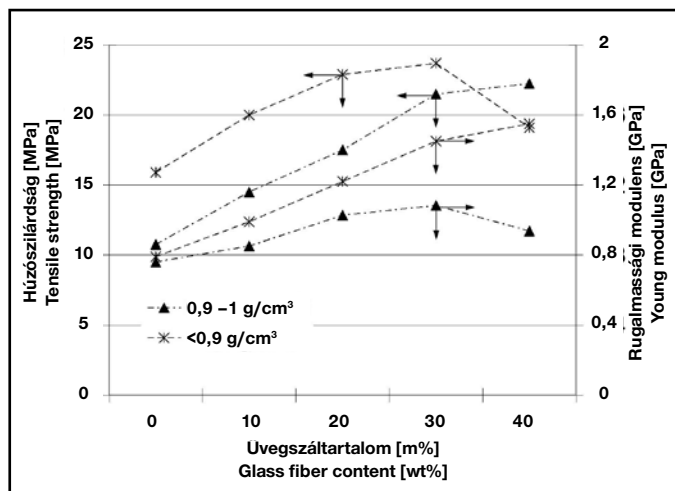
Ma Magyarországon évente mintegy 100–120 ezer roncsautó keletkezik, amelyből a fémrészek hasznosításra kerülnek, míg a „problémás” frakciók – így pl. kevert műanyag, gumi, üveg, textil stb. hulladékok – ma többségében lerakóban végzik. Ez közel 50 ezer tonna hazai lerakást jelent. Bár ezt a mennyiséget számos nemzetközi és hazai jogszabály csökkenteni kívánja, az igazi átörést eredményező technikai, technológiai háttér eddig nem született meg [1]. Kézenfekvő megoldásnak tűnik az autóroncokból származó hulladékokat ugyanebbe az iparágba visszaforgatni, ezáltal zárttá alakítani az alkatrészek életciklusát, ehhez azonban számos – a vegyes műanyag hulladék tulajdonságaiból fakadó – problémát kell megoldani. Jelenleg a nagyobb autógyártók már használnak másodlagos műanyagokat néhány alkatrész gyártá-

INTRODUCTION

Nowadays in Hungary autoscrap is arisen around 100-120 thousand a year in which the metal parts are recovered, while the "problematic" groups - such as mixed polymer, rubber, glass or textile byproducts - is majority arrived at landfill. This is meaning about 50 thousand tons dumping. Although a lot of international and domestic law has to reduce this volume, the real breakthrough leading to technical and technological background has not been revealed [1]. It seems obvious solution that waste which derived from autoscrap to rewind in the same industry, thereby the lifecycle of the parts will be closed. To catch it we need to solve a lot of problem which arise from mixed polymer byproducts properties. Currently, the major car manufacturers have already used some of the secondary polymers in the manufacture of products, however only the relative homogeneous byproducts blend into the original granules. In recent years, the experiments of recycling of the painted polymer parts are also provided positive results [2]. In the manufacture of the new type of Ford Focus more than 300 parts made from recycled polymers, for example, the heating/air conditioning housing at 25%, the bumpers at 20% or battery trays from 50% recycled polymers [3]. The Renault models apply recycled polymers too, for example blister under the car body, external accessories, interior covers, boot carpets and other blankets are made. Some models include up to 35 kg components made from recycled polymer [4]. Honda has set up a bumper collection network, which covers several continents. The collected bumpers - nearly 60 tons per year - were crushed, washed, and granulated to manufacture new vehicle components. This European program is planned to extend the additional components (e.g. battery box, blankets of retarding of splashing, or fender panels etc) [5]. In the joint development project Toyota and DuPont reached to recover and recycle the recovered PA-6 which is the raw material of air breather. During the experiment they compared the properties of the air breathers from the new PA-6 with recycled PA-6 compound



1. ábra: Opel Vectra típusú személygépjárműben felhasznált műanyagok elhelyezkedése [8]
Figure 1: recycled parts in Opel Vectra [8]



2. ábra: húzószilárdság és Young modulus változása az üvegszáltartalom függvényében
Figure 2: the change of tensile strength and Young's modulus function of glass fiber content

sánál, ennek során azonban csupán a relatív homogén, egyenmő hulladékot keverik hozzá az eredeti granulátumhoz. Az elmúlt években a lakkozott műanyag alkatrészek újrahasznosítására irányuló kísérletek is kedvező eredményekkel szolgáltak [2]. Az új típusú Ford Focus gyártása során több mint 300 alkatrész készült újrahasznosított műanyagból, például a fűtés/légkondicionáló burkolata 25%-ban, a lökhárítók 20%-ban, az akkumulátortálca pedig 50%-ban újrahasznosított műanyagból készült [3]. A Renault modelljeibe is kerül újrahasznosított műanyag, amelyből például a kocsiszekrény alatti áramvonalas burkolatok, külső tartozékok, belső burkolatok, a csomagtartó szőnyege és egyéb borítások készülnek. Egyes modellek akár 35 kg újrahasznosított műanyagból készült alkatrészt is tartalmaznak [4]. A Honda felállított egy lökhárító-begyűjtő hálózatot, amely több kontinensre is kiterjed. Az évente közel 60 tonnányi begyűjtött lökhárítót darálják, mossák, majd regnálólják, és új gépjármű-alkatrészeket gyártanak. Ezt az európai programot tervezik kiterjeszteni további alkatrészekre (pl. akkumulátordoboz, fröcskölésgátló burkolat, belső sárvédődob stb.) [5]. A Toyota és a DuPont közös fejlesztési projekt keretében elérték, hogy a roncsautókból visszagyűjtött levegőbeszívó csomók alapanyagául szolgáló PA-6 típusú anyagot képesek visszanyerni, újrafeldolgozni és hasznosítani. A kísérlet során összehasonlították az új PA-6-ból készült és az újrafelhasznált PA-6 kompaundból előállított levegőbeszívó csomk tulajdonságait. A vizsgálat eredménye szerint a 100%-ban újrahasznosított alapanyagból készült termék geometriája, húzószilárdsága és ütésállósága is az elfogadott paramétereken belül voltak [6]. A Volkswagen néhány motortípusánál használt újrahasznosított műanyagból készült hengerfejbortót. Az új hengerfejbortó nemcsak környezetbarát, de a torzulásra is kevésbé hajlamos, ezáltal szivárgásmentes [7]. Az Opelnél több mint 90-féle újrahasznosított műanyagot használnak fel a gyártás során. A másodlagos nyersanyagból készült alkatrészeknek ugyanazon műszaki specifikációnak kell megfelelnie, alacsonyabb előállítási költség mellett. Ha ezek teljesülnek, akkor az újrahasznosítható anyagokat részesítik előnyben, amennyiben ez nem megy a minőség rovására [8].

A KÍSÉRLETEKHEZ HASZNÁLT ANYAGOK ÉS BERENDEZÉSEK

Miután a shredder megőrli az autóröncsokat, első lépésben száraz és nedves porleválasztó választja le a porformájú részeket. Ezt követően a mágnesdob segítségével lehet kinyerni a shredder fő termékét, a mágnesvasat. A nem mágnesezhető hulladékot egy örvényáramú szeparátor választja szét nem vas fémekre és nem fémekre. Az utóbbi frakció (amelyben elsősorban műanyag,

ones. The investigation showed that the geometry, tensile strength and impact resistance of the products which made from 100% recycled material are within the accepted parameters [6]. Volkswagen uses recycled polymers in cover of cylinder head in different engine type. The new cylinder head cover is not only environmentally friendly but it is also less prone to distortions, thereby it is leak-proof [7]. The Opel uses more than 90 kinds of recycled polymers in the manufacturing process (Fig. 1.). The components which made from secondary raw material must be adapted to the same technical specifications with lower production cost. If these are adapted, then the manufacturer advantage preference the recyclable materials, if it does not go to the detriment of quality [8].

MATERIALS AND METHODS

After the shredder is crushed the autoscraps, the first step dry and wet cyclone is separated the dust shaped parts. Subsequently, with help the magnetic drum the magnetic iron can be obtained as the main product of the shredder. The non-magnetic waste is separated with help of an eddy-current separator the non-ferrous metals and the non-metallic materials. The latter fraction (which mainly polymer, printed circuit board, rubber, textiles and ceramics) is the raw material for experiments, after crushing, cleaning and classifying according to density. On the basis of preliminary experiments the mixed polymer waste which density has below 0.9 g/cm³ and between 0.9 and 1 g/cm³ appears most suitable for recycling. The lower-density fraction contains about two third parts of polypropylene (PP) and one third parts polyethylene (PE), while the main components of the higher-density fraction is acrylonitrile-butadiene-styrene (ABS) and PP, but it contains minor amounts of polystyrene (PS) and PE also. In the nature of the waste the composition of the fractions are minor variations [9]. The potential options to increase the mechanical properties of the waste materials are the short fiber reinforcements. During our work 2200 DS-13P type glass fiber was used with 13 µm diameter and 4 mm length for 10, 20, 30 and 40 by weight ratio. The glass fibers were coated with silane-based surface treatment agent, which helps to coupling to polyolefin in principal. Before the production of specimens the homogenization and the compounding of glass fiber were performed with helps of a Brabender Plastic-Corder 835 200-type internal mixer at 190°C processing temperature for 5 minutes, with 15 rev/min speeds. The homogenized polymer mixtures were pressed 4 mm thick sheets in a Collin P200-type temperature-controlled presses, these are cut from the 10 mm wide specimens. The tensile tests were carried out at room temperature in a Zwick Z020 universal tensile machine in 10 mm/min tensile speed, with 50 mm clamping length.



3. ábra: a tervezett és a legyártott ingás ütőmű
Figure 3: the planned and produced impact testing machine

nyáklap, gumi, textil és kerámia található) szolgál a kísérletek alapanyagául, megfelelő aprítás, tisztítás és sűrűség szerint történő osztályozást követően.

Előkísérletek alapján $0,9 \text{ g/cm}^3$ alatti és $0,9\text{--}1 \text{ g/cm}^3$ közötti sűrűségű vegyes műanyag hulladék tűnik újrafeldolgozásra leginkább alkalmasnak. A kisebb sűrűségű frakcióban mintegy 2/3 részben polipropilént (PP) és 1/3 részben polietilént (PE) tartalmaz, míg a nagyobb sűrűségű frakció fő összetevői az akrilnitril-butadién-sztirol (ABS) és PP, de tartalmaz csekély mennyiségű polisztirolt (PS) és PE-t is. A hulladék jellegéből adódóan a frakciók összetétele enyhe ingadozást mutat [9]. A hulladéktulajdonságainak növelésére potenciális lehetőség a rövid üvegszálak erősítés. Munkánk során DS 2200-13P típusú, $13 \mu\text{m}$ átmérőjű és 4 mm hosszúságú üvegszálakat használtunk 10, 20, 30 és 40 tömegszázalék arányban. Az üvegszálak szilánbázisú felületkezelő szerrel voltak bevonva, amely leginkább a poliolefinhez való kapcsolódást segíti.

A próbatestek gyártása előtt a homogenizálást és az üvegszál bekeverését Brabender Plastic-Corder 835 200 típusú belső keverőben 190°C -os feldolgozási hőmérsékleten, 5 percen keresztül, 15 fordulat/perc sebességgel hajtottuk végre. A homogenizált polimerkeverékekből Collin P200E típusú temperálható présgépen készítettünk 4 mm vastag lapokat, ezekből vágtuk ki a 10 mm széles próbatesteket. A szakítóvizsgálatokat szobahőmérsékleten, a Zwick Z020 univerzális szakítógépen hajtottuk végre, 10 mm/perc szakítási sebességgel és 50 mm-es befogási hosszal.

KÍSÉRLETI EREDMÉNYEK

Alapanyag-minősítés

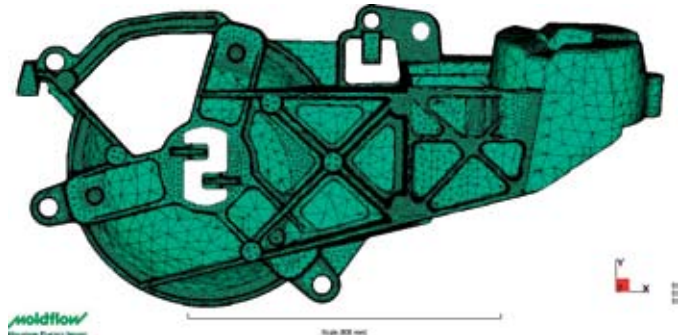
A szakítóvizsgálatok eredményeit a 2. ábrán foglaltuk össze. Megállapítható, hogy a $0,9 \text{ g/cm}^3$ alatti sűrűségfrakcióból készített próbatestek nagyobb húzószilárdsággal rendelkeznek a $0,9\text{--}1 \text{ g/cm}^3$ sűrűségű anyagnál. Ennek oka a frakciót alkotó kevesebb és kompatibilisebb összetevő, valamint az ebből következően homogénebb szerkezet. Az üvegszálak erősítés is az alacsonyabb sűrűségű hulladékfrakciót erősíti hatékonyabban, köszönhetően a nagyobb poliolefin-tartalomnak. A $0,9\text{--}1 \text{ g/cm}^3$ közötti hulladékfrakcióban a szálak az ABS- és a PS-alkotókhoz nem tudnak megfelelő erősséggel kapcsolódni, ezért a készített kompozitanyag is kisebb teherbírással lesz. A legnagyobb erősítést 30%-os üvegszáltartalomnál érték el, ezután már csökkenést tapasztaltunk a szilárdságban, amit a szálak nem megfelelő eloszlása okoz. A modulusváltozás az üvegszáltartalom növekedésével párhuzamosan nő mindkét sűrűségfrakció esetén, a $0,9 \text{ g/cm}^3$ alatti sűrűségfrakció esetében kissé nagyobb mértékben.

Szerkezetminősítés

Alapanyagváltás esetén – legyen az olcsóbb vagy részben újrahasznosított – nem elegendő csak az alapanyag tulajdonságait vizsgálni, hanem a kész szerkezetet is validálni kell. Ezt részben a különböző időjárás-állósági vizsgálatokkal (só-köd kamra, esőztető-kamra, porkamra stb.), részben pedig dinamikus vizsgálatokkal lehet végrehajtani. Ez utóbbi vizsgálathoz – az SMR Hungary Automotive Technology Bt.-vel közösen – fejlesztettünk és legyártottunk egy ingás ütművet (3. ábra), amely a külső visszapillantó tükrök ütközés közbeni viselkedését modellezi. A tervezés során természetesen figyelembe vettük az ECE-R 46-os szabvány ajánlásait is.

Hasznosítás

A korábban már említett felhasználási területeken kívül, az üvegszállal történő erősítésnek köszönhetően, lehetőség van emelt szintű újrahasznosításra is. Erre nagyon jó példa a külső visszapillantó tükrök tükrőlába, illetve tükrőtartója. Néhány évvel ezelőtt ezeket minden autógyártó alumíniumból készítette, addig ma már új autók tervezése esetén üvegszálak kompozitot használnak. A



4. ábra: az eredeti és a modellezett Opel Zafira tükrőtartó
Figure 4: the original and the modeled mirror keeper of Opel Zafira

RESULTS AND DISCUSSIONS

Validation of raw materials

The tensile results summarized in Fig. 2. We concluded that the specimens which made from the lower density fraction (under 0.9 g/cm^3) have greater tensile strength like the material which density is between 0.9 and 1 g/cm^3 . Reason of this the less and more compatible components and consequently more homogeneous structure. The fiber reinforcements are effectively increased the lower density waste, which owing to higher polyolefin content. In the waste fraction which density is between 0.9 and 1 g/cm^3 the interfacial adhesion is not satisfactory between the fibers and ABS and PS components, so the prepared composite materials have smaller load-capacity. The greatest reinforcing was achieved in the 30% glass fiber content; hence we have seen to decrease the strength until increase the fiber content, which cause is the not appropriate distribution of the fibers. The change of modulus increases together with the glass fiber content increasing in both density fractions, in case of under the 0.9 g/cm^3 density the increasing has slightly higher rate.

Validation of structures

Case of material change - whether it is cheaper or partially recycled – it is not enough to examine the properties of the raw material, but the end-product is had to validate too. This can be carried out partly the different weather resistance testing (salt spray chamber, raining chamber, dust chamber etc) and partly dynamic test. Unto dynamic test we – with the SMR Hungary Automotive Technology Bt – developed and produced an impact-testing machine (Figure 3), which is modeled the behavior of rear-view mirror under crashing. During the construction we attended to recommendations of the ECE-R 46 standard of course.

Application

Besides the previously mentioned application the recycled materials, owing to glass fiber reinforcement, are applicable to upcycling. A very good example for this is mirror foot and mirror keeper of the external rear-view mirror. A few years ago, they are all made from

meglévő és nagy sorozatban gyártott termékek esetében is átérnek a kompozitra, hiszen ennek gyártási költsége és tömege kisebb, míg használhatósága nem rosszabb az alumíniuménál. A Széchenyi István Egyetem, az SMR Hungaryval közösen több termék alapanyagváltását készítette elő, a Moldflow fröccsöntési szimulációs szoftver segítségével (4. ábra) [10].

ÖSSZEFOGLALÁS

A gépjárművek jogszabályokban előírt nagyarányú újrahasznosításához elengedhetetlen a műanyag alkatrészek egyre szélesebb körű bevonása a reciklási folyamatba. A sokféle műanyagból készülő kis tömegű alkatrészek miatt a műanyag hulladék kinyerése csak a shredderezési eljárás végén gazdaságos. Ekkor viszont az anyagfajtánkénti szétválogatás már nem megoldható, így sűrűség szerint válogatott hulladékból dolgoztunk. Megállapítottuk, hogy 30%-os üvegszálas erősítés a $0,9 \text{ g/cm}^3$ alatti frakció húzószilárdságát 50%-kal, húzó rugalmassági modulusát 100%-kal képes erősíteni, így az anyag alkalmassá válhat autóiipari alkatrészek, mint például külső visszapillantó tükör tükörtartójának gyártására. Erre természetesen csak akkor van lehetőség, ha a késztermék megfelel mind az időjárás-állósági, mind az ingás ütműves teszteken is.

A cikk megjelenését a Nemzeti Fejlesztési Ügynökség (GOP-1.1.2-07/1-2008-0003), a Nemzeti Kutatási és Technológiai Hivatal (OM-00151/2008 és OM-00266/2008), az Országos Tudományos Kutatási Alap (OTKA PD 72722) és a Magyar Tudományos Akadémia Bolyai János Kutatási Ösztöndíja támogatta.

Irodalom

- [1] Újsághy Zs.–Lukács P., IFFK-Konferencia 2009. szeptember 3–5.
- [2] Dogossy G.–Ódor Z. – Rácz, I.–Andersen E., A jövő járműve, 1 (3–4), 38–40. (2006)
- [3] www.ford.hu/ford/kornyezet
- [4] Renault sajtóközlemény, 2007. május 14.
- [5] Honda Environmental Annual Report 2009, www.environment.honda-eu.com
- [6] Toyota European Sustainability Report 2009
- [7] www.unixtrade.hu/17-18532.php (2010. 03. 08.)
- [8] www.opel.hu
- [9] Bodzay B.–Toldy A., BRAMAT 2009, Brassó, Románia, 2009
- [10] Ódor Z.–Kocziha Z.–Dogossy, G.–Morauszki T, A jövő járműve 2 (3–4), 27–29 (2007)

aluminum, now the manufacturers use glass fiber reinforcement composites when they design a new car. In case of the existing and the large series of products the manufacturers change over to composite because it has lower cost and lower weight, while the utility is not worse than aluminum. Széchenyi István University in cooperation with the SMR Hungary was prepared the possibility of exchange of raw materials case of a lot of product with help Moldflow injection molding simulation software (Figure 4) [10].

SUMMARY

The large scale recycling of the motor vehicle, which is required in the law, is essential to apply more amounts of polymer parts in the recycling process. Due to the variety of the low weight polymer parts the extraction of the plastic waste is economical only after shredder processing. By this time But then the material class sorting is no longer possible, so we worked with density sorting waste. We found that the 30% of fiber reinforcing of the fraction under 0.9 g/cm^3 density increase the tensile strength by 50% and the tensile modulus by 100%, so the material may be suitable to manufacture automotive components such as mirror keeper of rear-view mirror. Of course this is only possible if the final product meets both the weather resistance tests, and the impact tests.

The publishing of this paper was supported by the National Development Agency (GOP-1.1.2-07/1-2008-0003), the National Office for Research and Development (OM-00151/2008 and OM-00278/2008), the Hungarian Scientific Research Fund (OTKA PD 72722), and the János Bolyai Scholarship of the Hungarian Academy of Science.

References

- [1] Újsághy Zs.–Lukács P, IFFK-Konferencia 2009. September 3-5
- [2] Dogossy G.–Ódor Z–Rácz I–Andersen E, A jövő járműve, 1 (3-4), 38-40 (2006)
- [3] www.ford.hu/ford/kornyezet
- [4] Renault release, 2007. May 14.
- [5] Honda Environmental Annual Report 2009, www.environment.honda-eu.com
- [6] Toyota European Sustainability Report 2009
- [7] www.unixtrade.hu/17-18532.php (2010.03.08)
- [8] www.opel.hu
- [9] Bodzay B–Toldy A, BRAMAT 2009, Brassó, Románia, 2009
- [10] Ódor Z–Kocziha Z–Dogossy G–Morauszki T, A jövő járműve 2 (3-4), 27-29 (2007)

jén. Az úttörők a Suzuki és az Opel voltak, őket követte az Audi, és napjainkban a Mercedes-Benz. A neves márkák megjelenése ellenére mégis a magyarországi autóipar megmaradt beszállító jellegűnek. Az olyan világméretű járműipari beszállítók mögött, mint a Bosch, a Thyssen Krupp, a Knorr Bremse stb... (lásd az 1. ábrát) a vállalatok többsége magyar kézben lévő kis- és közepes vállalat korlátozott beszállítói teljesítménnyel. Ezek a vállalatok általában nem széles piacra termelnek, hanem jelentős mértékben a multikra vannak utalva, mind a kutatás-fejlesztésben, mind a kapacitásuk megfelelő kihasználásában.

Korábban említettük, Magyarország vonzó célpont volt a nemzetközi cégek számára a könnyen elérhető, magasan képzett, és az európai viszonyokhoz képest határozottan alacsonyabb fizetésért munkára kapható dolgozókért. Az 1990-es évekre kialakult infrastruktúra csakúgy vonzó volt a külföldi (járműipari) tőke számára, mint a politikai stabilitás. A második hullámban ide telepített kutató- és fejlesztőközpontok számára még mindig vonzó volt az ár-értékben kiemelkedő magyar szaktudás. Az alacsony költségek mellett sokat nyomott a latban az ide települő vállalatoknak a szellemi szabadalmak védelme, ellentétben néhány ázsiai országgal (Kína, India), ahol még a helyi konkurenciával is meggyűlt a multik baja.

A járműipar fontos szerepet játszik Magyarország gazdaságában, a 2007-es adatok alapján az éves GDP 3,1%-át adta. Ez az adat a 27 EU-tagállam közül a 3. legmagasabb érték arányaiban, Németország és Csehország végzett az élen, egyaránt 3,7–3,7%-kal, az éves GDP-jükhöz viszonyítva. Ekkor a magyar járműipar a teljes hazai export 17,8%-át állította elő, és a kutatási-fejlesztési kiadásoknak is több mint 60%-át realizálta. Amint azt a járműipari multinacionális cégek döntései bizonyítják, Magyarország a mai napig vonzó célja a további befektetéseknek, legyen szó akár gyártásról, akár kutatás-fejlesztésről!

A VÁLSÁG HATÁSAI ÉS A REAKCIÓK

2008-ban több évnyi folyamatos és jövedelmező növekedés után, a járműipar egy olyan globális válságba került, amihez hasonló az elmúlt évtizedekben nem fordult elő. Több ezer ember veszítette el a munkáját, és vállalatok százainak kellett anyagi problémákkal szembenéznie. A válságból való kiutat a gyártóknak és a beszállítóknak közösen kellett, illetve kell megtalálniuk, együttműködve átszervezni működésüket, hogy túlélhessék a válságot, hiszen kölcsönösen egymásra vannak utalva. A járműipari szereplőknek a következő kihívásokkal kellett szembenézniük:

- A válság akut kezelése, amibe beletartoznak a pénzügyi megszorítások, leépítések; az árak és a partneri viszonyok felülvizsgálata.
- A termékek fejlesztése, a vevői igények kielégítése, illetve a környezeti elvárásoknak való fokozott megfelelés.
- A kormányzati előírások változatlan színvonalú teljesítése a biztonsági és kibocsátási feltételek tekintetében, amelyek válságtól függetlenül változatlanok maradtak.

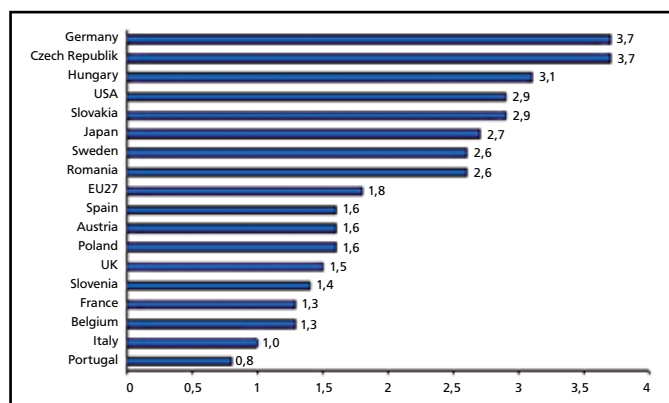
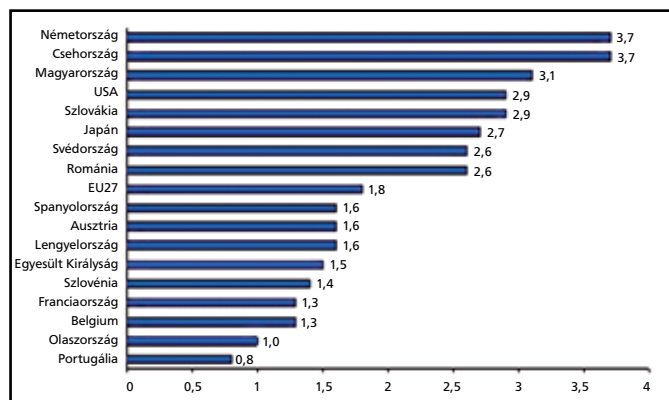
Ez egy olyan összetett kihívás, ahol nincs és nem is lehet egyetemes, tökéletes megoldás. Fokozottan igaz ez a veszélyeztetett kis- és középvállalatok számára, amelyek még mindig a fejlődés útját járják. Több magyarországi járműipari vállalat vezetőivel készített interjú tanulságait foglaljuk össze a következő pár pontban a válság kezelésével kapcsolatban.

A DIREKT MUNKAERŐ OPTIMALIZÁLÁSA

Ha a gyártás volumene zuhan, akkor a legelső teendő hozzáigazítani a dolgozók létszámát a megváltozott igényekhez. A leépítés nem népszerű döntés, de sajnos ilyen esetekben szükséges, és elkerülhetetlen, de fontos, hogy a vállalat a szükséges leépítések során is megőrizze tehetségeit, és ezek az elbocsátások a lehető legkevesebb

useful skills, which helps to develop the ideas into reality in the new R&D centers. Besides the lower costs a very important factor is the safety of the IP and relocated technology to Hungary compared to countries in Asia (China, India) with strong local competitor.

The automotive industry plays a major role in the economy: 3,1% of Hungary's annual GDP in 2007, which was the 3rd biggest amount among the EU members, Germany and the Czech Republic owned the 1st place with 3,7-3,7% each. 17,8% of the total export is generated by the automotive industry, and over 60% of total direct R&D expenditure was realized in the automotive sector. As the recent decisions of global companies have proven, Hungary remains an attractive target for further investment both in production and also R&D.



2. ábra: a világ járműipari GDP-hozzájárulása, a GDP százalékában, 2007
Figure 2: automotive industry's rate in the countries' annual GDP, 2007

IMPACT OF THE CRISIS - REACTIONS

In 2008, after years of constant and profitable growth, the automotive industry suffered a crisis, which was the heaviest in couple of decades. Thousands of people lost their jobs, and hundreds of companies are struggling against their financial problems. Suppliers and manufacturers have to cooperate in order to restructure their operations to be able to survive the crisis. The members of the automotive industry have to face a lot of challenges at the same time:

- They must handle the crisis, which means financial tightening, increasing prices, more difficult relationship between partners
- They have to develop their products in order to meet consumers demands, environmental requirements after the crisis,
- They have to meet the governmental requirements including the safety and emission rules, green policy, which were not changed.

It is a complex challenge, where there is no perfect solution, especially not in case of the vulnerable SMEs still being on development path. After interviewing some executive officers in the automotive industry of Hungary from different companies, some of their approach to how to handle the problem is summarized here.

tudásvesztéssel járjanak a vállalat számára! Az előzőeket szem előtt tartva megfontolandó először a lízing munkaerő csökkentését végrehajtani, valamint azokat a dolgozókat kiválasztani, akik már közelítenek a nyugdíjhoz, és amennyiben lehetséges, kordvezményes nyugdíjat igényelni számukra. Az aktuális kormányok szerepe nagyon fontos, hiszen a magyar rendszer például lehetővé teszi a vállalatok számára, hogy megpályázzák a 4 napos munkahét intézményét. Ez hasonló a német „Kurzarbeit”-hoz, lényege, hogy a pályázat elnyerése esetén a kormány vállalja a dolgozók fizetése 20%-ának kifizetését, és csak heti 4 napot kell dolgozniuk. A motivációs problémák elkerülése végett jó megoldás a hét 5. napján oktatást tartani a dolgozóknak, ezzel is fejlesztve szakmai kompetenciáikat. Bizonyos vállalatok a legnagyobb rendelés-visszaesés idején a dolgozóikat egy egész hetes (fizetett) szabadságra küldték, a támogatási szabályok ezt is lehetővé tették.

A következő ábra egy magyar haszonjármű-ipari vállalat teljes munkaidős foglalkoztatottságát (FTE) mutatja be 2007 és 2010 között, ezzel is szemléltetve a munkaerő iránti keresletet.

Az ábrán jól látható, hogy a válság első jelei 2008 második negyedéve után jelentkeztek. Az első negyedévek rendszerint magasabbak, mint a többi negyedéves periódus, ennek az oka a járműipari szezonális jelleg. A téli időszakban több új járművet vásárolnak vagy rendelnek új alkatrészeket a már meglévő haszonjárművekbe, hiszen télen az időjárási körülmények sokkal rosszabb hatással vannak rájuk, és a közlekedési viszonyok is romlanak. Természetesen a 2010. év harmadik és negyedik negyedéve csak becslés. A fenti 4 éves periódus alatt a legmagasabb dolgozói létszám 607, míg a legalacsonyabb 305 fő volt. A dolgozók átlagos száma 2007-ben 565, 2008-ban 563, 2009-ben 348 és 2010-ben (a becslés adatok felhasználásával) körülbelül 394 fő lesz. Ha megvizsgáljuk az adatokat, akkor könnyen észrevehetjük, hogy gyakorlatilag 2008 első negyedévében szinte pontosan kétszer annyi dolgozót foglalkoztattak, mint 2009 harmadik negyedévében, amikor a válság a legsúlyosabb volt. Az előzőekben említett megoldásokkal a vállalatok megmenthetik legjobb dolgozóikat, és amint a pénzügyi helyzet konszolidálódik, lassan visszavehetik korábbi alkalmazottaikat, kezdetben mint lízingelt munkaerőt, majd ha minden akadály elhárult, a korábbi teljes munkaidős foglalkoztatásba is visszatérhetnek, csakúgy, mint a világválság előtt.

TEHETSÉGEK MEGŐRZÉSE A KUTATÁS-FEJLESZTÉS TERÜLETÉN, AVAGY AZ EGYETEMEKSEL VALÓ EGYÜTTMŰKÖDÉS MEGERŐSÍTÉSE

A válság hatásai nemcsak a fix, a termelés volumenétől függő költségekben jelentkeztek, hanem az indirekt költségekben is, mint az adminisztráció és a kutatás-fejlesztés. Nem egy bölcs, viszont igen kockázatos lépés a K+F-re fordítható összeg csökkentése, de néha meg kell hozni ezt a fájdalmas döntést is. Ennek nem kívánt következménye, hogy a vállalat pont abból a képességéből veszít, amellyel képes a válság utáni megváltozott vevői igényeknek megfelelni. Ebben a szektorban is kulcskérdés a tehetségek, a kreativitás védelme, talán még inkább, mint a termék-előállítás területén. A lehetőségek tárháza széles, de a csökkentett munkalehetőségek nem éppen vonzóak a magasan képzett és motivált kutatási-fejlesztési szakembereknek. Ezek helyett olyan megoldást kell találni, amely magában hordozza a fejlődés komoly szakmai potenciálját, de mégis csökkenthetőek a vállalat költségei. A magyar kormány kidolgozott egy lehetőséget a Nemzeti Kutatási Tanáccsal közösen, és felkínálta azoknak a vállalatoknak, amelyeknek csökkenteniük kellett a K+F kapacitásukat is. A javaslat lényege, hogy amennyiben egy egyetem, egy állami kutatóintézet vagy egy kkv alkalmaz egy olyan mérnököt, akit egy nagyobb vállalat kutatás-fejlesztés részlegéről bocsátottak el a válság miatt, és alkalmazza őt a saját kutatásai projektjeiben, abban az esetben a kormány teljes mértékben finanszírozza a vele kapcsolatos személyi költségeket 2

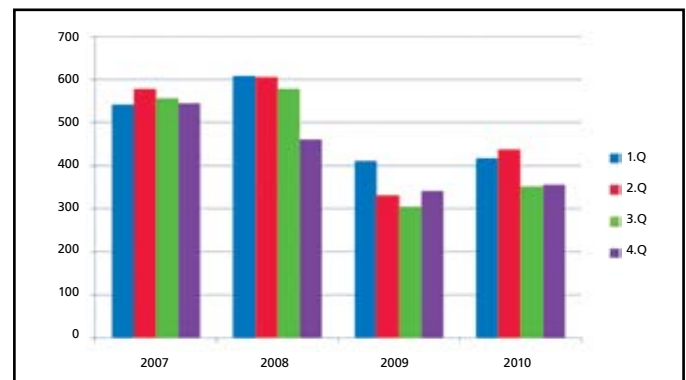
OPTIMIZATION OF DIRECT WORKING FORCE

When the production volume drops, the very first reaction is the adjustment of the direct labour force to the modified volume. The reduction is not liked, but necessary action, however the companies followed the “reduce but save the talents” approach, i.e. the laying-off process should be done at the lowest possible loss of know-how. Under this approach it is a good idea to lower the amount of the leasing workers, and look for those workers, who are nearing the pensioning age, and ask for them - if it is possible - earlier retirement. The role of government is very important. The Hungarian administration made funds available for the financing of 4 day long working weeks. It is similar to the German “Kurzarbeit”. If the company applies for this governmental support, and win it, the Hungarian government pays 20% of the worker’s salary, and they have to work just 4 days a week. In order not to lose motivation of people and utilize the “freed-up” time, on the 5th day, there will be education at each company, developing the workers’ skills in different fields. Some companies also sent their whole labour force on a holiday for a week, in order to save time, when there was hardly nothing to work with. As an example of a certain company from the automotive branch the picture shows the dynamics of demanded work force in Full Time Equivalent (FTE) between 2007 and 2010.

First of all, one can see that the recession came after the 2nd quarter of 2008. The 1st quarters are usually bigger than the others in each year, it is because of the seasonal speciality of the automotive industry. This means, that more people buy new vehicles, or need new accessory parts or component parts for their trucks in the “winter quarter”. Note, that the 3rd and 4th quarters of 2010 are just expected data. During this 4 year period, the highest FTE was 607, and the lowest was 305 workers. The average amount of the FTE labour force was 565 in ’07; 563 in ’08; 348 in ’09 and in 2010 (with the expected half year) the approximately amount is 394 workers. If we take a look at the data, it is easy to realize, that there was just about 2 times more FTE workers in the 1st quarter of 2008, than in the 3rd quarter of 2009, the deepest point of the company. With the tools mentioned above, the company saved the very best workers, and after the financial situation started to strengthen, they took them back, firstly as a leasing worker, than back to the original working role, what they had previously done.

SAVING TALENTS IN THE R&D – STRENGTHENING CO-OPERATION WITH UNIVERSITIES

The crisis has impact not only on the direct (production volume dependant) costs, but also on the indirect costs (such as sales, administration, R&D). Although it is not wise to reduce the R&D force during such a crisis, since it lowers the company’s flexibility to react to customer demands after the crisis, but sometime it has



3. ábra: egy magyar haszonjármű-ipari vállalat FTE változása 2007 és 2010 között
Figure 3: a Hungarian CV company's demanded work force in FTE between 2007 and 2010

évre. Amennyiben egy egyetem köt egy fejlesztési szerződést a korábbi K+F munkatárssal, és ennek szellemi termékeit eladja a korábbi munkaadójának, az együttműködés még gyümölcsözőbb lehet. Sok vállalat élt ezzel a lehetőséggel, megőrizve ilyen formában szellemi tőkéjét. A megoldás várható hatásai a következők: az egyetemek és az állami kutatóintézetek gyakorlati és elméleti tapasztalata gyarapszik, a korábbi fejlesztők továbbra is dolgozhatnak saját munkaterületükön, a kooperáció és a tudástranszfer az oktatás és a vállalati szféra között tovább erősödik!

ÖSSZEFOGLALÁS

Mindenekelőtt nem szabad a vállalatoknak az első jobb eredmény hatására elhinni, hogy vége a válságnak. A mostani jobb mutatószámok mögött ott rejtőzik a járműipari szezonális, ami a realitáshoz jobb értékeket generál. A teljes beszállítói hálózatot érdemes áttekinteni. Fontos szempont lesz, hogy a legfontosabb alkatrészek beszállítása ne csak egy beszállítótól függjön, mivel annak a válság következményeképpen bekövetkező tönkremenetele okán hónapokba telne új alkatrészt gyártatni mással. Ugyanez fordítva is igaz, egy beszállítói cég lehetőleg ne csak egy vállalatnak állítson elő terméket, mert amennyiben a válság nehézségei miatt pont az ő termékeit nem gyártja, nem számíthat más bevételi forrásra. Leépítések esetén mindig őrizze meg vállalata igazi értékeit, az elbocsátásokat kezdje a lízingelt munkaerőnél, és amennyiben lehetséges, a nyugdíjhoz közeli korúaknak próbáljon meg korkedvezményes nyugdíjat igényelni. Törekedjen szorosabb viszonyra a felsőoktatási intézményekkel, így a leendő dolgozók jobb minőségű oktatásban részesülhetnek, míg a vállalat magasabbban képzett, és a leendő munkájukban jobban elmélyült munkaerőt kaphat. Végül, de nem utolsósorban, keresse az állami segítségnyújtás lehetőségeit, és pályázzon a jobb feltételekért!

to be made. Again, the basic principle "save talents" should be followed here even more than in case of direct labour. The pool of opportunities is wide, the "short working regime" however would not be proposed for highly qualified and motivated R&D people. Instead, a solution should be chosen which keeps the high pace of development, but the costs for the company will be reduced. The Hungarian government elaborated a solution through the national research council, and offered to the companies who should have laid-off R&D capacity as well. The essential part of the proposal is that if a university, state-owned research institute or SME employees an engineer was laid-off by larger company in the field of R&D, and uses him/her for developing its own expertise, the government fully reimburses 2 years of personal costs. If the university makes a development contract with the former employer for this time, and sells the activities to the company, the application is even more favorable. Several companies used this opportunity. The expected effects: the industrial expertise level at the university will be increased, people will be kept in a certain field, co-operation between the university and industry will be strengthened.

SUMMARY

First of all, companies should not believe, that the current crisis is over, even though the key numbers are slowly increasing, because of the automotive industry's seasonality. The supplier system and connections are in need of a full recheck. Make sure your company did not let just one supplier to be the only one to produce the most important accessory part. Production can not stop because of the bankruptcy of even one supplier. To prepare e.g. a metal component part for production takes months. In the case of redundancy, always save your talents and funds shall be kept for R&D researches, in order to be able to meet the consumers' and the market's demands. Possible governmental help is always welcomed, be prepared to look after them.

Sűrített levegős motorfeltöltés haszonjárművek számára

Compressed air charge of the engines of commercial vehicles

Dr. NÉMETH Huba

Knorr-Bremse R&D Center
Budapest

Belső égésű motorok sűrített levegős feltöltésével kapcsolatos törekvések már régóta ismeretesek, azonban ezek a próbálkozások eddig nem jártak sikerrel, mert az alkalmazott komponensek túl lassúak voltak. Ennek következményeképp nagy volt a sűrített levegő fogyasztásának mértéke, amelyet a sorozatgyártásban található kompresszorok nem tudtak kielégíteni. Az utóbbi évek fejlődésének eredményeképpen két jelentős technológia az (1) elektromos vezérlésű dízelbefecskendező rendszerek, pl. common rail befecskendezőrendszerek és a (2) nagy dinamikájú elektromosan irányított sűrített levegős haszonjármű-fékkomponensek segítségével sikerült kifejleszteni egy sorozatgyártású komponenseken alapuló sűrített levegős motorfeltöltő rendszert, amely a motor feltöltő ágába szerelhető és jelentős javulást hoz a turbótöltött haszonjármű-dízelmotorok dinamikájában. A minimalizált sűrített levegő ellátása pedig optimalizált, szintén sorozatkivitelén alapuló légellátó rendszer segítségével megoldható.

Efforts to improve the dynamic response of supercharged internal combustion engines by adding compressed air are well known. These efforts exhibited however no success, since the response of the applied components was too slow. This resulted in a large demand of additional compressed air, which the serial production compressors could not deliver. By an advantageous combination of two parallel technical developments within the last years: (1) Electronic Diesel injection systems at commercial vehicles, e.g. Common Rail, (2) High dynamic electrically controlled components within the air brake systems of commercial vehicles, it was possible to develop a system, based on serial production parts, which could be installed into the engine charge air system and provides a significant improvement to the response and the acceleration of the engine and the vehicle. The minimized additional compressed air can be provided by an optimised serial production compressed air system.

BEVEZETÉS

Az autóiipari fejlesztések állandó nyomás alatt állnak, részben a hatósági emissziós előírások, részben pedig az egyre fokozódó tüzelőanyagfogyasztás-csökkentési elvárások miatt, amelyek csak magas technológiai színvonallal és tudással valósíthatók meg. Ezek a kihívások tovább bővülnek a piacok eltérő regionális elvárásai és az egyre emelkedő energiaárak miatt.

A fejlesztések fő mozgatója, így a fogyasztás csökkentése és az egyre szigorúbb kipufogógáz-előírások teljesítése. Ez különösen igaz a haszonjármű-szektorra, ahol a hatékonyság mindig is a legfontosabb szempont volt.

Ennek megfelelően a jövő haszonjárműve amellyel, hogy teljesíti az új emissziós előírásokat, magasabb hatásfokot, tehát alacsonyabb tüzelőanyag-fogyasztást fog felmutatni, úgy, hogy a járművek mobilitása elérje legalább a mai szintet, vagy tovább növekedjen.

A jövőbeli CO₂-kibocsátások teljesítéséhez egy hatékony módszer az ún. downsizing elv. Azonban ez a motor feltöltőnyomásának

INTRODUCTION

Developments in the automotive industry are constantly kept under pressure due to statutory emission regulations and the increasing demand for the reduction of fuel consumption that can only be accomplished with high technology standard and confident technological knowledge. These challenges are further extended by the various expectations of markets and the ever increasing energy prices.

The main motivators of developments are the efforts to reduce fuel consumption and to comply with the emission requirements that are getting stricter. This particularly includes the commercial vehicle's sector where the efficiency has always been the first and foremost aspect.

Accordingly, commercial vehicles in the future will not only meet the new emission requirements but will also achieve better efficiency resulting in lower fuel consumption with the mobility of vehicles reaching or exceeding today's standard expectations.

The so called downsizing principle is an effective way to reduce

további emelését igényli, hogy elkerüljük a motor nyomatékának vagy a teljesítményének csökkenését.

A motor feltöltésére egy kompakt és költséghatékony módszer a turbófeltöltés. Azonban ez magasabb feltöltőnyomások esetén tovább növekvő késedelemmel reagál a terhelés növelésekor. Ezt a késedelmi időt nevezzük turbókésedelemnek, vagy „turbólyuknak”.

Ez a késedelem jelentősen rontja a jármű vezethetőségét, különösen elindulásnál, fokozatváltásnál, előzésnél, illetve emelkedőn való gyorsítás esetén, amely részben ellensúlyozható gyakoribb fokozatváltással, illetve kuplungcsúsztatással.

A tüzelőanyag-fogyasztás csökkentése mellett további indokok szolgálnak a feltöltőnyomás emelése érdekében. Erre jó példa, hogy a következő generációs emissziós előírások (Euro 6 vagy EPA 10) nem, vagy csak nagyon nehezen teljesíthetők nagy terhelés, vagy teljes terhelés esetén is működő kipufogógáz-visszevezetéssel a NO_x -emisszió csökkentése érdekében.

A fenti eljárások további jelentős feltöltőnyomás-növelést igényelnek, amely a motor dinamikus reakcióját jelentősen rontja. Így új módszerek szükségesek a motordinamika jelentős javítása érdekében.

Ezen cikk tárgya egy, a fenti problémát orvosló, újonnan kifejlesztett rendszer, melynek kereskedelmi neve Pneumatic Booster System (PBS), azaz sűrített levegős feltöltés rásegítő rendszer. Ez kompressziógyújtású motorok dinamikájában jelentős javulást tesz lehetővé, különösen haszongépjárművek és buszok esetében, ahol a szükséges sűrített levegős infrastruktúra eleve rendelkezésre áll [1, 2, 5–9].

KONCEPCIÓS FEJLESZTÉS

A koncepcionálás során a fő cél a motor alacsony fordulatszáma esetén jelentkező alacsony töltési fokának sűrített levegő befúvásával való jelentős növelése volt, amikor a turbófeltöltő ezt a feladatot még nem tudja ellátni.

A megnövelt levegőtölthez magasabb tüzelőanyag-dózis adagolható, így a motor nyomatéka azonnal növelhető, valamint egyidejűleg a turbófeltöltő turbinája számára elérhető kipufogógáz-entalpia is jelentősen megemelkedik, ami a feltöltőnek egy gyors fordulatszám-növekedést tesz lehetővé. Ezáltal a turbófeltöltő rövid sűrített levegős befúvás után újra átveheti a feltöltés feladatát. A befúvás alatt gyorsan növekvő tüzelőanyag-dózisok csupán a modern, elektromosan vezérelt befecskendezőrendszerekkel (pl. common rail) való-síthatók meg.

A feltöltőrendszer fejlesztése során a fő követelmények a sűrített levegő hatékony, alacsony mennyiségű felhasználása, magas megbízhatósági szint, és a rendszer különböző motorokra való egyszerű applikálhatósága voltak. Ebből kifolyólag a sűrített levegő közvetlenül a hengerbe való befúvásának módját figyelmen kívül hagytuk a motor hengerfejének jelentős változtatási igénye miatt, holott elvileg ez biztosítaná a sűrített levegő leghatékonyabb kihasználását.

Az alapötlet így a sűrített levegő a motor szívószelepeihez minél közelebbi bejuttatása volt. Ezáltal kisebb térfogatokat kell feltölteni, valamint a cél a motor nyomatékának proaktív növelése volt (a változó geometriájú turbinával rendelkező feltöltővel szemben, ami csupán reaktív viselkedésű).

Továbbá a befúvás minél nagyobb mértékben kell hogy gyorsítsa a feltöltőt, így csökkenthető a levegőfogyasztás mértéke. Különböző megoldási elvek értékelése folytán az 1. ábrán látható felépítés biztosította a legjobb megoldást a fenti követelményekre. A különböző koncepciók ellenőrzése motorszimulációkkal és dinamikus fékpadi mérésekkel történt [3]. A szimulációk hullámjelenség alapú 1 dimenziós transziens motormodellek formájában készültek el [4].

CO_2 emissions in the future. However, it requires bigger charging pressure in the engine to prevent the engine's torque or performance from reducing. Turbocharging is a compact and cost effective way to supercharge the engine. Though it responds to the increase of loading with additional delay when higher supercharger pressure values are applied. This delay is called turbo delay or "turbo lag" as more commonly used. This delay significantly deteriorates the vehicle's drivability, particularly at starting, shifting, overtaking manoeuvres and throttling on inclination. This phenomenon can be partly compensated with more frequent shifting or "sliding" the clutch.

Besides the reduction of fuel consumption, there are other reasons for increasing the supercharging pressure. A good example is that next generation emission regulations (Euro 6 or EPA 10) cannot be satisfied (or are very difficult to satisfy) with exhaust recirculation operating at heavy or full load to reduce NO_x emissions.

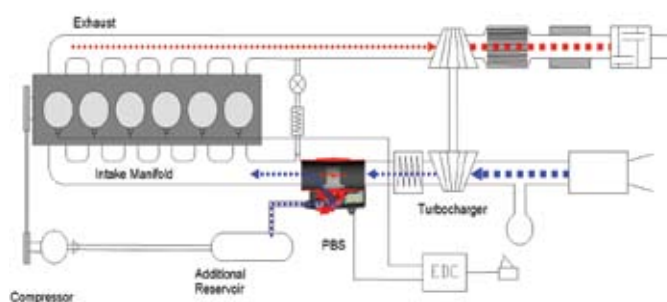
The above mentioned procedures require a significant amount of additional supercharging pressure that, in turns, considerably deteriorates the dynamics response of the engine. Therefore, new methods need to be found for remarkably improving engine dynamics.

This article presents a revolutionary system that rectifies the above mentioned problem and is called PBS (Pneumatic Booster System). This provides significantly better results in the dynamics of supercharged engines in particular the commercial vehicles and buses where the pneumatic infrastructure is basically available [1, 2, 5-9].

CONCEPTION DEVELOPMENT

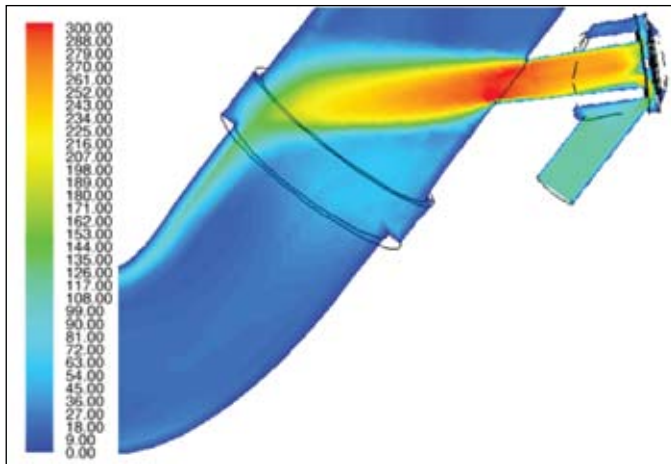
The main purpose of conceptioning is to significantly increase the low charge rate of the engine at low revolution number by the injection of compressed air when the turbo charger is not yet capable of performing the same task. Higher fuel dose can be added to the increased air charge thus the engine's torque can be immediately increased. At the same time, the exhaust emission enthalpy available for the turbine of the turbo charger is also increased that gives the charger a rapid increase in the revolution number. The turbo charger can take over the task of charging after this short compressed air injection period. Such fuel dosages to be rapidly increased during the injection require modern systems with electronic injection control (e.g. Common Rail).

The core requirements during the development of the charging system included the efficient and low usage of compressed air, achieving high reliability and simple applicability of the system into different types of engine. Consequently, we have ignored



1. ábra: a sűrített levegő szívósőbe való bejuttatásának vázlata

Figure 1: draft of the method the compressed air gets into the suction pipe



2. ábra: a levegő sebességének eloszlása a szívócsőben a sűrített levegő befúvása során
Figure 2: distribution of the speed of the air in the suction pipe after the compressed air is injected in

A kiválasztott koncepció esetén a sűrített levegőt a motor szívó oldalán a levegőhűtő után juttatjuk be, amely a befúvás alatt a motor negatív töltetseremunkája révén is biztosít tovább teljesítménynövekedést a gyorsítás során.

A sűrített levegős befúvóegység (PBS) moduláris kialakítású, azaz a motor szívócsőve és a feltöltő levegőhűtője közé beépíthető egység. A modul fő elemei az elektromosan kényszer-működtetett visszaáramlás-gátló pillangószelep, valamint egy vagy több sűrített levegős befúvószelep, amelyeket egy külön sűrített levegős tartályból táplálunk.

Normál motorüzem esetén, amikor nincs szükség jelentős gyorsításra a motor által igényelt levegőt a turbófeltöltő kompresszora szállítja, a PBS pillangószelepe teljesen nyitott állapotban van, a befúvószelep pedig zárva van.

A motornak nagy dinamikájú gyorsításakor, amikor a turbófeltöltő nem tudja ellátni a motort megfelelő levegőtöltettel, a pillangószelep lezár, mialatt a levegőbefúvó-szelep a szükséges mértékben kinyit és feltölti a motort, ezáltal felgyorsítva a turbófeltöltőt is.

A bemutatott koncepció a levegőfogyasztás szempontjából is optimális, mivel a zárt pillangószelep esetén a turbófeltöltő kompresszorának tömegárama, így teljesítményfelvétele lecsökken, ezzel elősegítve a gyors felfutást és a rövid levegőbefúvást.

Ebben a gyorsan működő visszaáramlás-gátló pillangószelepnek is jelentős szerepe van, mivel így a befúvott levegőnek csak elhanyagolható része jut ki a levegőszűrő felé a szabadba.

A SŰRÍTETT LEVEGŐ BEFÚVÁSA

A sűrített levegő bejuttatását biztosító szelep feladata a levegő mennyiségének megfelelő adagolása. Ez magas dinamikai követelményeket támaszt a szelep kialakításával szemben, hogy a befúvott mennyiséget rugalmasan módosíthassuk a motor igénye szerint.

Mivel a haszonjárművek sűrített levegős rendszereiben a tápnyomás rendszerint 8–13 bar, ezért a szelepnek viszonylag nagy keresztmetszettel kell rendelkeznie, egyidejűleg viszont nagyon gyors kapcsolási időt kell hogy biztosítson. Erre a célra membrános szelepkialakítás került kifejlesztésre, amelyet mágnesszelep vezérel.

A szelep kialakításakor nagy figyelmet kapott az áramlás eloszlása a szívócsőben, amely megfelelő kialakítása révén

the possibility of injecting the compressed air directly into the cylinder because of the significant variability demand of the cylinder head when this could be the very best way to utilize the efficiency of compressed air.

Therefore, the basic idea was to get the compressed as close to the suction valves as possible. This would result in smaller displacement to be charged up as well as the proactive extension of the engine's torque (over the charger with variable geometric turbine that has "only" reactive behaviour). Additionally, the injection shall accelerate the charger as much as possible reducing the amount of compressed air to be used.

After evaluating different solution principles, the structure shown in Figure 1 provided the best solution for the requirements specified above. Various concepts were tested with engine simulations and dynamic test stand measurements [3]. Simulations were performed in the form of wave phenomenon-based one-dimension transient engine models [4].

For the selected concept, the compressed air is brought into the system on the suction side of the engine (after the air cooler) that provides additional performance boost during the acceleration by the engine's negative charge-exchange work.

The PBS has a modular structure which means that it can be installed between the engine's suction pipe and the charger's air cooler. Primary units of the module are the electronic forced draught diverter bypass valve and one or more compressed air inlet valve supplied from a separate compressed air tank.

During normal operation of the engine, when no significant acceleration is needed, the air required by the engine is supplied by the turbo charger compressor. In this case, the bypass valve of the PBS is fully open while the air inlet valve is closed. When the engine needs to response to heavy acceleration, the turbo charger is incapable of supplying sufficient air charge to the engine which in turn results in the bypass valve to close while the air inlet valve opens up and charges the engine accelerating the turbo charger, too.

The presented concept is optimal from air consumption aspects as well as the turbo charger compressor's mass flow rate and thus its performance demand reduces, when the bypass valve is closed, promoting fast running-up and short air injection.

This is also significantly supported by the fast operating draught diverter bypass valve as the injected air loses only a negligible fraction released to the environment through the air filter.

INJECTION OF THE COMPRESSED AIR

The task of the valve ensuring the inlet of compressed air is adjusting the proper dosage of air. This sets high dynamic requirements for the valve's construction as the injected volume of air should be dynamically variable depending on the engine's demand.

As the supply pressure in the commercial vehicles' pneumatic systems is normally between 8 and 13 bars, the valve has to have relatively large cross-section and shall provide very short switching time, at the same time. This is accomplished by membranous valve construction with magnetic valve control.

Proper distribution of the flow in the suction pipe was a high priority during the development of the valve which, if properly constructed, can lead to the reduction of fluctuation of charge rate between the cylinders. Since the flow is close to the sonic speed during the injection, the inlet of air directly into the suction pipe would cause large fluctuation between the cylinders; hence the injection of air onto the opposite wall delivers much better results (Figure 2).

csökkenthető az egyes hengerek között jelentkező töltési fok ingadozása. Mivel a befúvánál nagyjából hangsebességű az áramlás, ezért egy a szívócsőbe közvetlen bevezetés jelentős hengerenkénti ingadozásokat okozott volna, így a szembe levő falra való befúvással jóval előnyösebb eredmények érhetők el (2. ábra).

ELEKTRONIKUS VEZÉRLŐEGYSÉG

A befúvás és a pillangószelep dinamikus működését egy integrált elektronikus vezérlőegység végzi, amely csupán az elektromos tápellátáshoz és a jármű erőátviteli CAN-kommunikációs vonalához kapcsolódik.

A benne található nyomtatott áramkört tartalmazza a mért jelek kondicionálásához szükséges kapcsolásokat, teljesítményelektronikát a mágnesszelepek és a pillangószelep motorjához, valamint a kommunikációs illesztést.

A pillangószelep két oldalán levő nyomásokat integrált nyomás-szenzor érzékeli. A motor pozícióját szintén a motorba épített érintkezésmentes helyzetérzékelő méri.



3. ábra: PBS feltöltőmodulok, balról a nehéz kategóriák számára, jobbról a könnyebb járműkategóriák részére
Figure 3: PBS charging modules for heavy categories on the left and lighter vehicles on the right side

MODULKONCEPCIÓ

A PBS modulméretei úgy lettek kialakítva, hogy lehetőleg széles motorméret-tartományt átfedjenek, így egy adott méretű modul egy teljes járműkategóriában alkalmazható, csupán paramétermódosítás révén. Ezért elegendő két különböző modulméret a használt járművek és buszok motorjainak teljes lefedésére (3. ábra).

A modulok fő méreteit a pillangószelep és a befúvószelepek méretei határozzák meg elsősorban, valamint ezek befolyásolják a szükséges beavatkozók méreteit is. A vezérlőelektronika egységesen használható a különböző modulokban.

TELJESÍTMÉNY

A dinamikus viselkedés értékelésére egységugrastesztek szolgálnak, amelyeket többek között egy Euro 6-os nehéz kategóriás teherautó prototípusmotorján is elvégeztünk. A motor kétlépcsős turbófeltöltést tartalmaz a teljes terhelés melletti kipufogógáz-visszavezetés miatt, valamint nyomástárolós befecskendező-rendszert.

A 4. ábrán a motor 1000 1/min fordulaton melletti teljes gázadásra adott egységugrás-terhelés válasza látható.

Mivel a motor feltöltőnyomása a 0 s-tól kiadott sűrített levegős

ELECTRONIC CONTROL UNIT

Dynamic operation of the injection and the bypass valve is performed by an integrated electronic control unit that only connects to the electric power supply and the vehicle's transfer CAN communication line.

The printed circuit unit therein contains the connections required for the conditioning of measured signals, performance electronics for the engine of the magnetic valves and the bypass valve as well as the communication alignment.

Pressure alongside the bypass valve is sensed by an integrated pressure sensor. The engine position is also determined by the built-in touch-free positioning sensor.

MODULE CONCEPT

Modular sizes of the PBS unit have been developed in a way so they cover a wide range of engine size thus a specific sized module can be adopted in a full vehicle category through change of parameter only. This makes two different sizes of module sufficient for the full cover of the commercial vehicle and bus palette (Figure 3).

Main dimensions of the module are primarily determined by the dimensions of the bypass valve and the air inlet valve and the same determine also the dimensions of the actuating units. The control electronics can be used unified in the different modules.

PERFORMANCE

We have been using unit step tests to evaluate the dynamic behaviour on the prototype engine of a Euro 6 heavy category truck, amongst others. The engine includes a two-stage turbo charging due to the exhaust recirculation at full load as well as pressure holding injection system.

Figure 4 shows the unit step loading response to full throttle at 1000 rpm.

As the engine's supercharging pressure is immediately increased due to the compressed air injection from 0 second, the fuel dosage is less restricted by the smoke limiter and increases resulting in the engine's effective mean pressure and torque to reach 90% of the maximum value after 0,3s (compared to the original 4 seconds). This is more than a 3,5 second improvement demonstrating the dynamic reaction of a conventional suction engine. The specific consumption of the engine is also significantly reduced due to the increase in the air excess.

EMISSION

Since PBS influences the engine's air excess and the volume of exhaust gas to be recirculated, it also affects the emission values of the engine.

NOx emission is primarily influenced by the injected air temperature as well as the volume of air excess and exhaust gas recirculation (EGR). The air excess can be increased during the PBS intervention by adjusting the settings of the smoke limiter. At the same time, the EGR volume can also be increased during acceleration since transients are realized in the suction and exhaust system faster (Figure 5). Beyond that, the temperature of inlet air directed into the engine during the injection also drops thus the above mentioned factors cause the NOx emission to decrease despite of the increased air excess.

Since the volume of air excess is directly affecting the carbon deposit and smoke emission, this is significantly reduced (around 40%) by the increased air excess realized during acceleration (Figure 6).

befúvás révén azonnal megemelkedik, a tüzelőanyag-dózist a füstkorlátozó kevésbé korlátozza, így az megemelkedik, aminek eredményeképp a motor effektív középnyomása és a nyomatéka 0,3 s után eléri a maximális érték 90%-át, szemben az eredeti 4 s-mal szemben, ami több mint 3,5 s javulást jelent, ezzel egy szívómotorszerű dinamikus reakciót kölcsönözve a motornak. A motor fajlagos fogyasztása szintén jelentősen csökken ezalatt, ami a légfelesleg növekedésének köszönhető.

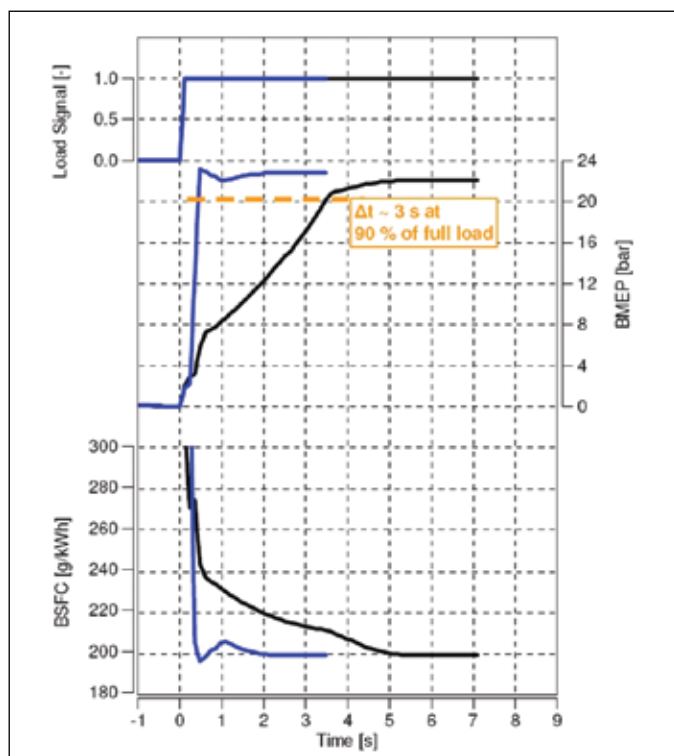
KÁROSANYAG-KIBOCSÁTÁS

Mivel a PBS befolyásolja a motor légfeleslegét és a visszavezetett kipufogógáz mennyiségét, ezért befolyással van a motor károsanyag-kibocsátására is.

A NO_x -kibocsátást elsősorban a beszívott levegő hőmérséklete, a légfelesleg és a visszavezetett kipufogógáz (EGR) mennyisége befolyásolja. A PBS-beavatkozás során a légfelesleg növelhető a füstkorlátozó beállításának megfelelően. Ezzel egyidejűleg az EGR mennyisége korábban megnövelhető a gyorsítás alatt, mivel a szívó- és kipufogórendszerben a transziensek gyorsabban lezajlanak (5. ábra). Ezen túl a befúvás alatt a motorba jutó levegő hőmérséklete is alacsonyabb lesz, így a fenti tényezők a megnövekedett légfelesleg ellenére a NO_x -kibocsátás csökkenését okozzák.

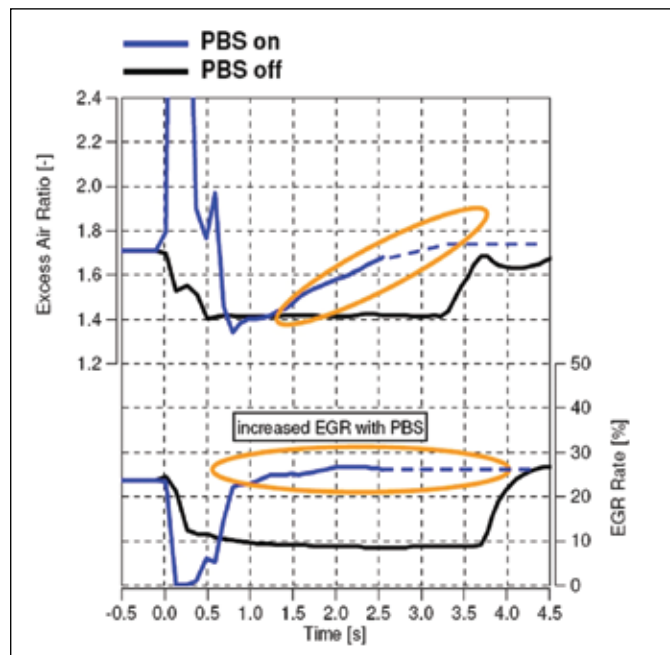
Mivel a légfelesleg közvetlen befolyással van a korom- és füstki-bocsátásra, ezért a gyorsítás során megnövekedett légfelesleg ezt nagymértékben, kb. 40%-kal csökkenti (6. ábra).

Összefoglalva a tranizensek során a PBS hatására a legfontosabb káros anyagok kibocsátása jelentősen csökken a megnövekedett dinamikus motorteljesítmény ellenére.



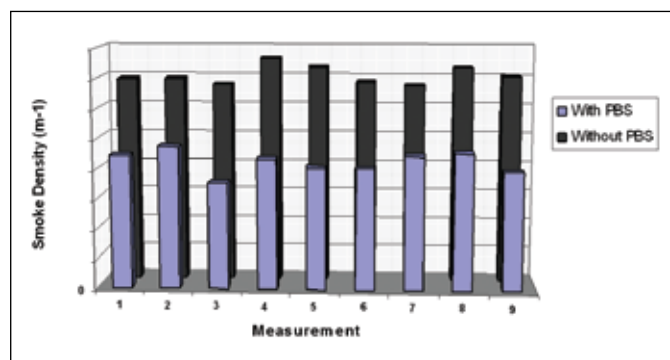
4. ábra: egységugrás válasz 1000 1/min esetén, gázpedál helyzete, az effektív középnyomás és a fajlagos fogyasztás alakulása

Figure 4: unit step response at 1000 rpm, position of the throttle pedal, development of the effective mean pressure and specific consumption



5. ábra: a légfelesleg tényező és a kipufogógáz visszavezetésének részaránya az egységugrás-gyorsítás során

Figure 5: ratio of air excess factor and EGR during the unit step acceleration



6. ábra: a koromkibocsátás különböző teljes gázadással gyorsítások során

Figure 6: carbon deposit emission at different full throttle accelerations

Conclusively, emission of the main exhaust gases significantly decreases during the transients due to the PBS despite of the growth in the engine performance.

FUEL CONSUMPTION

The increase in the vehicle's compressed air consumption naturally causes the power consumption of the compressor to increase too representing about 3-5% of the engine performance. Accordingly, we would expect the fuel consumption to increase. However, fuel consumption is also affected by other factors. The significantly improved engine dynamics enable the vehicle to be driven at low rev speed and thereby, drivers prefer low engine revs, automatically adapting to the new conditions. It results in lower fuel consumption of the engine despite of better acceleration of the vehicle. This factor provides a particularly large potential for automatic gear transmission systems. The other reason for the reduction of fuel consumption is the reduced specific consumption as seen in Figure 4.

Consequently, the above mentioned factors caused a normal city bus to consume 2% less fuel on the route and complete the route

TÜZELŐANYAG-FOGYASZTÁS

A jármű sűrítettlevegő-fogyasztásának növekedése természetesen maga után vonja a kompresszor teljesítményfelvételének növekedését is, amely a motor teljesítményének nagyjából 3–5%-a. Ennek megfelelően fogyasztásnövekedést várnánk.

Azonban további tényezők is befolyásolják a tüzelőanyag-fogyasztást. A jelentősen javult motordinamika lehetővé teszi a jármű vezetését alacsonyabb fordulaton is, így a sofőrök automatikusan adaptálódva kisebb motorfordulatokat részesítenek előnyben. Ezért a motor fogyasztása csökken, annak ellenére, hogy a jármű gyorsulása javul. Ez a tényező automatizált sebességváltó esetén különösen nagy potenciált biztosít. A fogyasztás csökkenésének másik oka a 4. ábrán bemutatott fajlagos fogyasztás csökkenése.

A fentiek eredményeképp egy városi busznál mért útvonalfogyasztás 2%-kal csökkent, miközben a vonali ciklusidő 3%-kal csökkent a jobb gyorsulások miatt (7. ábra).

Általánosságban elmondható, hogy a rendszer 2–4%-os fogyasztáscsökkentést tesz lehetővé.

ÖSSZEFOGLALÁS

A tüzelőanyag-fogyasztás és károsanyag-kibocsátás csökkentésére való törekvések további intézkedések nélkül a járműdinamika jelentős romlását okozhatják. Ennek kiküszöbölésére a sűrített levegő befúvása egy attraktív alternatívát jelent.

Az újonnan kifejlesztett Pneumatic Booster System (PBS) alkalmazása a következő előnyöket nyújtja:

- Jelentős javulás a motor dinamikus válaszában (a turbókéselelem megszüntetése)
- A downsizing-elv támogatása
- Megnövekedett vezetési komfort a fokozatváltások számának csökkenése miatt
- Jobb elindulási képességek, különösen emelkedőn
- Tüzelőanyag-fogyasztás csökkenése a fordulatszám csökkenési lehetősége és a fajlagos fogyasztás javulása révén
- Előnyösebb károsanyag-kibocsátás, különösen a korom, CO és NO_x esetében.

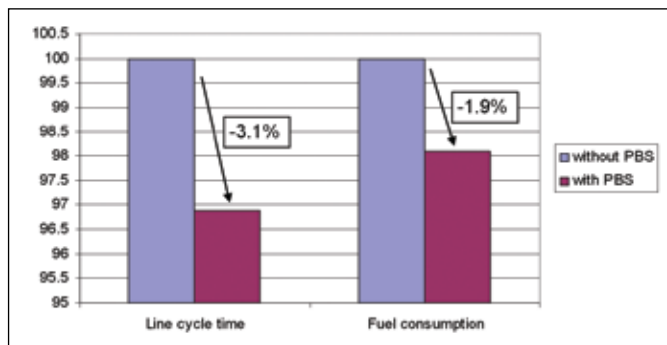
A fenti előnyök sikeres megvalósíthatóságát igazolja több tucat fékpadi, haszonjárművön és buszon elvégzett kísérlet.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A szerző és projekt résztvevői köszönetüket fejezik ki a BME EJT 4.3-as projekt keretében kapott támogatásért.

Irodalom

- [1] Hitziger, H., Gerum, E. (2004) Verfahren und Vorrichtung zum Steigern eines Drehmomentes einer Hubkolben-Verbrennungskraftmaschine, ins besonders eines Motors in Diesel- Ausführung; Offenlegungsschrift DE 10 2004 047975.5.
- [2] Németh, H., Gerum, E. (2005) Device for supplying fresh air to a turbocharged piston internal combustion engine and method for operating the same; Offenlegungsschrift WO2006089779.
- [3] Flierl, R., Weiske, S. (2005) Bericht 05, Turboaufladung mit Druckluftunterstützung, VKM, TU Kaiserslautern, 2005.
- [4] Németh, H., Kristóf, G., Szente, V., Palkovics L. (2006) Advanced CFD Simulation of a Compressed Air Injection Module; Conference on Modelling Fluid Flow (CMFF'06), The 13th International Conference on Fluid Flow Technologies Budapest, Hungary, September 6-9, 2006.



7. ábra: városi busz vonali ciklusidejének és tüzelőanyag-fogyasztásának változása
Figure 7: change of cycle schedule and fuel consumption of a city bus

ahead of the schedule by 3% due to better acceleration dynamics (Figure 7).

In general, this system provides the facility of decreasing fuel consumption by 2–4%.

SUMMARY

The efforts made to reduce fuel consumption and harmful exhaust gas emission may lead to significant deterioration of the vehicle's dynamic characteristics. Compressed air injection, however, represents an attractive solution for this problem.

Using the revolutionary PBS (Pneumatic Booster System) has delivered the following benefits:

- Considerable improvement of the engine's dynamic response time (elimination of turbo lag)
- Supporting the downsizing principle
- Increased driving comfort due to the reduced number of shifting
- Better starting capabilities particularly on inclination
- Reduction of fuel consumption due to the facility to decrease rev speed and improve specific consumption
- Better emission values with respect to carbon deposit, CO and NO_x gases

Successful accomplishment of the above mentioned benefits is justified by dozens of test stand experiments and tests performed on commercial vehicles and buses.

ACKNOWLEDGEMENTS

The author and the participants of the project are thankful for all the assistance given within the framework of BME AVVC 4.3 project.

References

- [1] Hitziger, H., Gerum, E. (2004) Verfahren und Vorrichtung zum Steigern eines Drehmomentes einer Hubkolben-Verbrennungskraftmaschine, ins besonders eines Motors in Diesel- Ausführung; Offenlegungsschrift DE 10 2004 047975.5.
- [2] Németh, H., Gerum, E. (2005) Device for supplying fresh air to a turbocharged piston internal combustion engine and method for operating the same; Offenlegungsschrift WO2006089779.
- [3] Flierl, R., Weiske, S. (2005) Bericht 05, Turboaufladung mit Druckluftunterstützung, VKM, TU Kaiserslautern, 2005.
- [4] Németh, H., Kristóf, G., Szente, V., Palkovics L. (2006) Advanced CFD Simulation of a Compressed Air Injection Module; Conference on Modelling Fluid Flow (CMFF'06), The 13th International Conference on Fluid Flow Technologies Budapest, Hungary, September 6-9, 2006.

- [5] Németh, H., Ailer, P. (2006) Turbo lag reduction for improving commercial vehicle dynamics; 10th Mini Conference on Vehicle System Dynamics, Identification and Anomalies, Budapest, November 6-8, 2006.
- [6] Németh, H., Ailer P., Palkovics, L. (2007) Diesel Engine Response Improvement by Compressed Air Charging; 11th EAEC Congress, Budapest, Hungary, May 30 - June 1, 2007.
- [7] Németh, H. (2007) Aufladung mit Luftunterstützung an NFZ-Motoren, 1er MTZ Konferenz, Ladungswechsel im Verbrennungsmotor, Stuttgart, 9-11. November 2007.
- [8] Németh, H., Palkovics, L., Hitziger, H., Gerum, E., Flierl, R. (2008) PBS, Ein neuer Ansatz zur Verbesserung des Drehmoment-verhaltens aufgeladener Dieselmotoren durch Lufteinblasen; Internationales Wiener Motorensymposium 2008, Wien, Österreich, 24-25. April 2008
- [9] Marx, M., Németh, H., Gerum, E. (2009) Improving the Torque Behaviour of Turbocharged Diesel Engines by Injecting Compressed Air / Verbesserung des Drehmomentverhaltens aufgeladener Dieselmotoren, durch Drucklufteinblasung, MTZ - Motortechnische Zeitschrift, Wiesbaden, Deutschland, 2009-6, 70. Jahrgang, pp. 472-479.
- [5] Németh, H., Ailer, P. (2006) Turbo lag reduction for improving commercial vehicle dynamics; 10th Mini Conference on Vehicle System Dynamics, Identification and Anomalies, Budapest, November 6-8, 2006.
- [6] Németh, H., Ailer P., Palkovics, L. (2007) Diesel Engine Response Improvement by Compressed Air Charging; 11th EAEC Congress, Budapest, Hungary, May 30 - June 1, 2007.
- [7] Németh, H. (2007) Aufladung mit Luftunterstützung an NFZ-Motoren, 1er MTZ Konferenz, Ladungswechsel im Verbrennungsmotor, Stuttgart, 9-11. November 2007.
- [8] Németh, H., Palkovics, L., Hitziger, H., Gerum, E., Flierl, R. (2008) PBS, Ein neuer Ansatz zur Verbesserung des Drehmomentverhaltens aufgeladener Dieselmotoren durch Lufteinblasen; Internationales Wiener Motorensymposium 2008, Wien, Österreich, 24-25. April 2008
- [9] Marx, M., Németh, H., Gerum, E. (2009) Improving the Torque Behaviour of Turbocharged Diesel Engines by Injecting Compressed Air / Verbesserung des Drehmomentverhaltens aufgeladener Dieselmotoren, durch Drucklufteinblasung, MTZ - Motortechnische Zeitschrift, Wiesbaden, Deutschland, 2009-6, 70. Jahrgang, pp. 472-479.

Önerősítő mechanizmusok fejlesztése fékrendszerekhez

Development of self-energized mechanisms for brake systems

BALOGH Levente

Knorr-Bremse R&D Center
Budapest

Dr. NÉMETH Huba

Knorr-Bremse R&D Center
Budapest

Az Elektronikus Jármű és Járműirányítási Tudásközpont egyik megvalósíthatósági tanulmánya-ként folytatott projekt 3 éves fejlesztési ideje alatt több koncepció szerinti önerősítő elektromechanikus kerékfék-prototípus került megvalósításra. E folyamat mentén elkészült a rendszer szimulációja, a fékmechanizmus és az integrált elektronikai komponensek. A rendszerhez szabályzó készült, melynek tesztelése mind szimulációs, mind pedig valós környezetben megtörtént.

During the development of an Advanced Vehicle and Vehicle dynamic Control knowledge Center feasibility study, the prototypes of the self-energised electro-mechanic brake wheel-end have been realised based on several concepts. It means that the system simulation, the brake mechanism and the integrated electrical components have been prepared. A controller has been built up for the system which has been tested and verified both in software and hardware in the loop environment.

BEVEZETÉS

Az elektronikai rendszerek terjedése gépjárműveinkben egyértelmű tendencia napjainkban. Mindezt a biztonság növelése és a járműrendszerek méretének és költségeinek csökkentése indokolja. Ugyanakkor a fékrendszerek esetében a hidraulikus vagy pneumatikus működtetés elektronikus rendszerrel való kiváltása problémát jelenthet a nagy energiaszükséglet miatt. További kérdések merülnek fel, mint a 42 V-os elektromos hálózat, magas áramszükséglet, elektromágneses sugárzás. Tipikusan a fékrendszer az egyik fő terület, ahol hangsúlyosan jelennek meg az újabb alkalmazások.

A beavatkozási erő csökkentésének egyik lehetősége az önerősítő hatás beépítése a fékrendszerekbe. Az önerősítő fékrendszer vizsgálatához egy – a súrlódási viselkedést részletesen leíró – mechanikai modell megalkotása szükséges. Az eredmények figyelembevételével a megvalósítható konstrukció kiválasztása és a prototípus megtervezése lehet a következő lépés. Majd pedig a prototípuson végzett mérések segítségével validált modell alapján a szabályzót kell megtervezni. Végül a rendszer két szinten verifikálható:

The expansion of electronic systems in vehicles is a clear trend and tendency nowadays. This is a result of the efforts to improve safety and reduce the size and costs of vehicle systems. On the other side, the replacement of hydraulic or pneumatic operation with electronic system can cause problems in brake systems due to the large energy demand. Further questions and issues arise like 42V electricity, high voltage demand and electromagnetic radiation, just to mention some of them. Brake systems are typically one of the main areas where new applications are significantly emphasized.

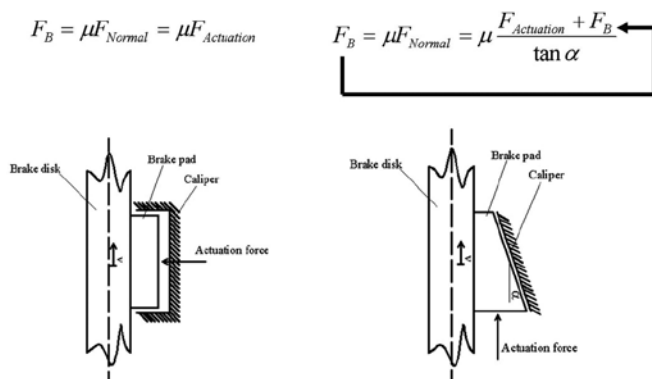
Integrating the self-energized effect into the brake systems is an effective way to reduce the intervention force. The inspection of the self-energized brake systems requires the creation of a mechanical model that defines the frictional behaviour in details. The results then can be used as a next step to select the feasible construction and design the prototype. After that, the controller has to be designed using the model validated by the measurements made on the prototype. Finally, the system can be validated on two levels:

- Software simulation performed on the sample and its environment
- Directly on the prototype sample simulating its environment

CONCEPT

The wedge, as a simple machine was already popular back in the ancient times. Using the wedge, we can transform a light-force work realized on long distance into short-distance but heavy-force work activity. The special thing about wedges is their self-locking tendency used in threaded spindles that is basically proportional to the tangent of the wedge's angle and the frictional co-efficient of the surfaces sliding on each other.

For disc brake systems, the motional energy of the disc and the transmitted units shall be converted into frictional energy using a force diagonal to the motion. Taking these conditions into consideration, wedge can be considered a possible solution for



1. ábra: a hagyományos és az önerősített ékfék működése

Figure 1: operation of the conventional and self-energized brake system

- A mintát és környezetét szoftveresen szimulálva
- A prototípus mintán, annak környezetét szimulálva.

KONCEPCIÓ

Az ék már az ősidőkben ismertté vált mint egyszerű gép. Segítségével egy nagy úton megvalósult kis erejű munkát rövid, nagy erejű munkavégzéssé transzformálhatunk. Különös érdekessége a menetes orsóknál is kihasznált önzárási hajlam, amely alapvetően az ék szögének tangense és az egymáson elcsúszó felületek súrlódási együtthatója aránya szerint alakul.

Tárcsafékek esetében a tárcsa – valamint az általa közvetített további elemek – mozgási energiáját kell egy, a mozgásra merőleges irányú erővel súrlódási energiává alakítani. Figyelembe véve ezeket a kondíciókat, az ék számításba jöhet mint lehetséges megoldás a feladat megvalósítására. Az 1. ábra a konvencionális és az önerősített fék működését mutatja be. Jól kivehető, hogy ez utóbbi esetében a tárcsát összeszorító erő nagy része – az ék segítségével – magából a fékező súrlódó erőből keletkezik. Mindez azt jelenti, hogy az eldisszipálendő mozgási energiát használjuk fel fékezési energiaként.

A konstrukció szempontjából két fontos területet kell figyelembe venni, melyeknek döntő hatása van a mechanizmus működésére. Egyrészt az önerősítés mértékét meghatározó ékszög kiválasztásakor kell az egyes – 1. táblázatban foglalt – hatások optimuma szerint eljárni. [1]

Másrészről a kisebb energiaigényű, szabályozó beavatkozás irányítottasága eredményez viselkedésbeli eltéréseket, ahogy a 2. táblázat is mutatja.

Szempont	Nyomó-húzó elv	Tisztán nyomó elv
Ékszög	A súrlódási együttható arkusztangense	Nagyobb, mint a súrlódási együttható arkusztangense
Energiaigény	Alacsony	Magas
Önoldási hajlam	Külön mechanizmussal biztosítható	Biztosított
Stabilitás	Kicsi	Nagy
Érzékenység beavatkozó holtjátékra	Nagy	Kicsi
Érzékenység a beavatkozó hatásokra	Nagy	Kicsi

1. táblázat: az önerősítés elvi megvalósításának hatásai

Szempont	Tárcsával párhuzamos	Ékkel párhuzamos	Tárcsára merőleges
Irányíthatóság	Teljes	Teljes	Részleges
Belső súrlódás	Nagy	Közepes	Kicsi
Önoldási hajlam	Kicsi	Nagyobb	Legnagyobb
A beavatkozás iránya a tárcsaforgás irányától	Függ	Függ	Nem függ
Fékerő álló tárcsánál	Kicsi	Közepes	Nagy
Érzékenység a beavatkozó hatásokra	Közepes	Kicsi	Nagy

2. táblázat: a beavatkozás irányítottaságának hatásai

Condition	Push-pull principle	Push only principle
Wedge angle	A súrlódási együttható arkusztangense nagyobb, mint a súrlódási együttható arkusztangense***	
Energy demand	Low	High
Tendency to self-release	Provided by a separate mechanism	Provided
Stability	Low	High
Sensitivity to intervention backlash	High	Low
Sensitivity to intervention efficiency	High	Low

Table 1: the impacts of the theoretical accomplishment of self-energization

the accomplishment of the task. *Figure 1* shows the operation of the conventional and self-energized brake system. It can be easily observed that, in the latter case, the majority of force squeezing the disc (by the wedge) is formed from the braking frictional force itself. This, in turn, means that we use the dissipated movement energy as the braking energy.

Two important areas for the construction have to be taken into account that have a deciding influence on the operation of the mechanism. First, when selecting the wedge angle determining the amount of self-energization, the optimum of each impact shown in *Table 1* has to be considered. [1]

Secondly, the directivity of controlling intervention with lower energy demand results in deviation in the behaviour as seen in *Table 2*.

Condition	Parallel to disc	Parallel to wedge	Diagonal to disc
Controllability	Full	Full	Part
Internal friction	Large	Medium	Small
Tendency to self-release	Low	Larger	Largest
Direction of the intervention is dependent on the rotating direction of the disc	Yes	Yes	No
Braking force with stationary disc	Low	Medium	High
Sensitivity to the intervention efficiency	Medium	Small	Large

Table 2: the impacts of directivity of the intervention

SIMULATION MODEL

System components can be easily defined in the appropriate Matlab/Simulink simulation environment using the dynamic equations of the self-energized mechanism. Definition of the equations as well as the implementation method is shown in *Figure 2* through the wedge as a component.

After the EMB model (A), containing the sensors and actuating units, is implemented, it shall be connected to the regulator (B) using the pre-defined connection points (interface).

SZIMULÁCIÓS MODELL

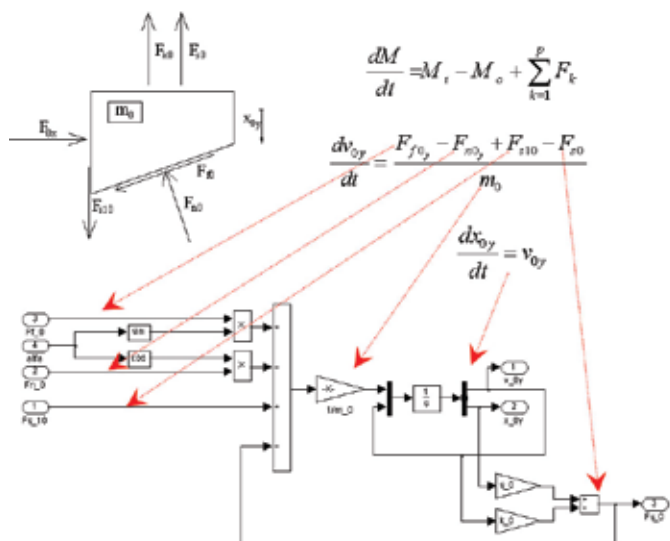
Az öngerősítő mechanizmus dinamikai egyenleteinek felhasználásával a rendszer komponensei könnyen leírhatóak az erre alkalmas Matlab/Simulink szimulációs környezetben. Az egyenletek felírását és az implementáció metódusát a 2. ábra az ék mint komponens példáján mutatja be.

A szenzorokat és beavatkozókat tartalmazó EMB modell (A) implementálása után, azt a szabályzóval (B) kell összekötni az előre definiált csatlakozási pontok (interfész) segítségével.

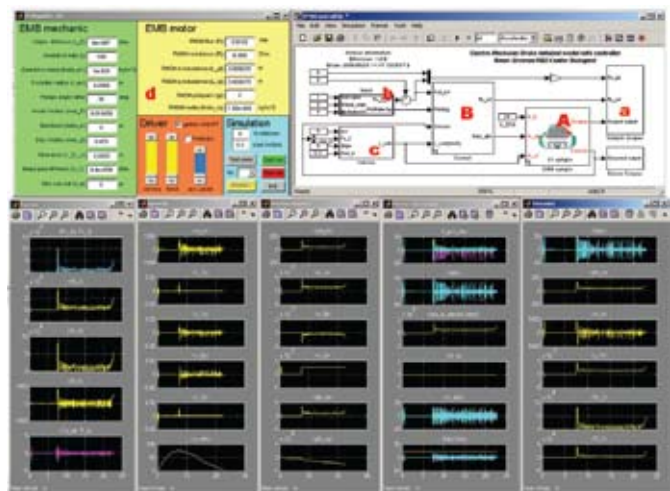
Hogy igazán hasznos eszközt készítsünk, néhány kiegészítő blokkot is szükséges lehet az eddigiekhez adni:

- Az eredmények megjelenítésére diagramokat csatlakoztathatunk a külső és belső változókhoz (a)
- Az időben lefutó kívánt fékerőfüggvényt elő kell állítani az erre alkalmas jelgeneráló blokkban (b)
- A teljesebb környezeti visszahatás érdekében egy egyszerű járműmodell segítségével állítható elő a keréksebesség (c)
- A bemenetek és a paraméterek a grafikus kezelői felületen keresztül módosíthatóak (d)

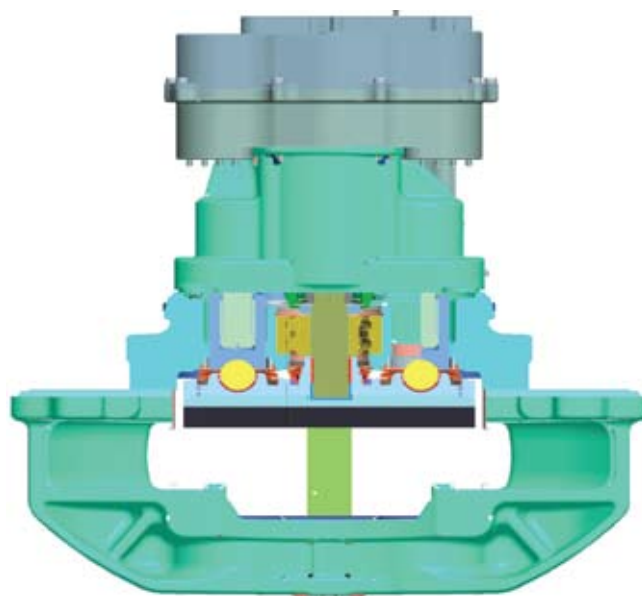
A felépített szimuláció a 3. ábrán látható.



2. ábra: a szimulációs modell felépítése
Figure 2: structure of the simulation model



3. ábra: az önerősítő fék szimulációja
Figure 3: simulation of the self-energized brake system



4. ábra: az önerősítő fék prototípusa
Figure 4: prototype of the self-energized brake

In order to build a really useful and efficient tool, there might be some other supplementary blocks to be added:

- Diagrams can be assigned to external and internal variables to visually display results (a)
- The desired brake force - time function shall be generated in the corresponding signal generating block (b)
- Wheel speed can be generated by a simple vehicle model to provide more complete environmental feedback (c)
- Inputs and parameters can be adjusted in the graphical user interface (d)

The built simulation is shown in *Figure 3*.

PROTOTYPE

After inspecting some of the concepts, we decided to realize the eccentric-driven concept [2]. This concept does not include the emergency self-release mechanism. Wedge angle is determined to be 26° . It means that the brake is released (at least in part) if the energy supply is discontinued. The supplementary functions and design tasks are as follows:

- Automatic re-adjuster with the drive switchable from the crank to the spindle through a mechanic clutch
- Divided drive unit transferred to both the cam and the spindles with electro-mechanic clutch
- Parking brake function achieved through spindles
- Integrated epicyclic gear, engine and end stage electronics in the calliper Compact casing for mountability to the vehicle, external control.

Design of the prototype is shown in *Figure 4*.

Two versions have been built for the spindles that can be mounted on the vehicle's left or right side according to the driving direction. These two separate versions are important because of the rotating direction of the cam and the spindles shall be synchronized with the driving direction of the vehicle.

The electric engine is integrated in the calliper. This actuating unit is a brushless, consistent magnetic-induced synchronous machine with high energy density and magnetic flux. Brushes are replaced with an encoder for the electronic commutation.

Néhány koncepció vizsgálata után az excentrikusan hajtott koncepció [2] került megvalósításra. Ez a koncepció nem tartalmaz vészönoldó mechanizmust, az ékszög 26°. Ez azt jelenti, hogy a fék oldódik – legalábbis részlegesen – amennyiben az energiaellátás megszűnik. A kiegészítő funkciók és tervezési feladatok a következők:

- Automatikus utánállító, melynél a hajtás – mechanikus kuplunggal – kapcsolható át a forgattyúról az orsóra
- Osztott hajtómű elektromechanikus tengelykapcsolóval kapcsolva mind az excenter, mind az orsók számára
- Orsókön keresztül megvalósított parkolófék funkció
- Integrált bolygómű, motor- és végfok-elektronika a féknyeregben. Járműre szerelhetőséget biztosító kompakt tokozás, külső szabályzás.

A prototípus terv a 4. ábrán látható.

Az orsók tekintetében két verzió készült el, melyek a menetirány szerint bal és jobb oldalra szerelhetőek a járművön. E két külön verzió azért szükséges, hogy az excenter és az orsók forgási iránya szinkronban legyen a jármű előrehaladásának irányával.

Az elektromos motor integrálva van a féknyeregben. Ez a beavatkozó egy kefe nélküli, állandó mágneses gerjesztésű szinkrongép, melyre nagy energiasűrűség és mágneses fluxus jellemző. Az elektronikus kommutáláshoz a kékétet enkóder helyettesíti.

SZABÁLYZÓ

Három kontroll stratégiát vizsgáltunk meg a szabályozási cél szempontjából. A feladat és a megvalósíthatóság figyelembevételével a kiválasztott metódus a következő kritériumok szerint került meghatározásra:

- Alkalmazhatóság nemlineáris rendszerekre
- A szabályzónak robusztusnak kell lennie a modell bizonytalanságaira és paraméterváltozásaira
- Alacsony számítási igény.

PID: Ezt a kontrollt lineáris rendszerekre alkalmazzák. Nemlineáris esetben a robusztusság nem garantált. Ezzel szemben a számítási igénye alacsonyabb más lineáris és nemlineáris szabályzókhoz képest.

LQ szervo: az LQ szervo egy kiegészített változata az LQ (Lineáris négyzetes) kontrollnak. Ez a szabályzó a be- és kimenő energia minimuma alapján ad optimális visszacsatolást, így a bemeneti energiát kell figyelembe venni a tervezés során. Az LQ szervo alkalmas speciális nemlineáris és robusztus lineáris modellekhez. Számítási igénye a PID-val hasonló mértékű. Ugyanakkor a nem mért állapotok meghatározásához szükséges becslők jelentősen megnövelik a számítási igényt.

SMC: A csúszó mód szabályzó a rendszer mozgását robusztussá teszi még változó paraméterek, nem modellezett dinamikák és külső zavarások mellett is. Ráadásul a technológia hatékony szabályozást tesz lehetővé lineáris és nemlineáris rendszerekre. Másik megkülönböztető jegye a modell rangjának csökkenthetősége, mely lehetőséget ad az egyszerűsítésre és szétcsatolásra. A számítási igény azonban nagyobb, mint az előző esetekben.

Összefoglalva a csúszó mód szabályzást választottuk, mivel biztosítja a robusztusságot, kezeli a nemlinearitásokat, és elfogadható a számítási igénye.

A paraméterérzékenységen túl a rendszer hibrid viselkedésének kezelése is a szabályzó feladata. Azonban a következő (1) és (2) szerinti egyszerűsítést alkalmazva, a pofa felfektetés alatti pozíciószabályozás és a tárcsa érintése utáni erőszabályozás megvalósítható ugyanazon SMC-kivitelezéssel.

We inspected three controlling strategies with respect to the regulation target. The chosen method has been determined according to the following criteria with consideration of the task and the feasibility.

- Applicability to nonlinear systems
- The regulator shall be robust on the uncertainties and parameter changes of the model
- Low calculation demand

PID: This control is used in linear systems. Robustness is not guaranteed with nonlinear systems. On the other hand, its calculation demand is lower than other linear and nonlinear regulators.

LQ servo: LQ Servo is a completed version of the LQ (Linear Quadratic) control. This regulator gives optimal feedback based on the incoming and outgoing energy minimum, and therefore the input energy shall be considered when performing the design. The LQ Servo is suitable for both special nonlinear and robust linear models. Its calculation demand is similar to that of the PID. However, the estimators required for the determination of non-measured statuses significantly increase the demand for calculation.

SMC: Sliding mode regulators make the motion of the system robust even if parameters are varying, dynamics are not modelled and external disturbance occurs. Moreover, the technology allows for the application of effective regulation for linear and nonlinear systems. The other distinctive feature is the reducibility of the model's rank providing the facility of simplification and disintegration. However, the calculation demand is larger than in the previous cases.

Conclusively, we have chose the sliding mode regulation as it ensures robustness, handles nonlinearities and sets acceptable calculation demands.

Management of the system's hybrid behaviour, apart from parameter sensitivity, is also the task of the regulator. However, using the following simplifications (1) and (2), position control under the bearing area of brake shoes and the force regulation after the touch of the disc can be accomplished with the same SMC configuration.

$$\dot{F}_{n2} = \frac{d}{dt} \left(s_0 \left(\frac{h}{2 \cdot j \cdot \pi} x_a - x_{2yc} \right) \right) = \frac{s_0 \cdot h}{2 \cdot j \cdot \pi} \dot{x}_a = \frac{s_0 \cdot h}{2 \cdot j \cdot \pi} \cdot v_a = C \cdot v_a \quad (1)$$

$$\ddot{F}_{n2} = \frac{s_0 \cdot h}{2 \cdot j \cdot \pi} \ddot{x}_a = \frac{s_0 \cdot h}{2 \cdot j \cdot \pi} \cdot \dot{v}_a = \frac{s_0 \cdot h}{2 \cdot j \cdot \pi} \cdot (f(x) + g(x) \cdot u) = C \cdot (f(x) + g(x) \cdot u) \quad (2)$$

Stability can be ensured by selecting the appropriate sliding surface. The rule is that the parameter of equation (3) shall be negative.

$$\sigma = \dot{F}_{n2} + a \cdot (F_{n2d} - F_{n2}) \quad (3)$$

The gradient of the regulated variable will follow the prescribed curve with the proper determination of the parameter, as seen in Figure 5. This curve is the function of difference of the desired and actual value of the regulated variable.

VERIFICATION TESTS

We tested the prototype of self-energized brake on two types of test stand. We used a so called cyclo stand for the adjustment of

$$\dot{F}_{n2} = \frac{d}{dt} \left(s_0 \left(\frac{h}{2 \cdot j \cdot \pi} x_a - x_{2yc} \right) \right) = \frac{s_0 \cdot h}{2 \cdot j \cdot \pi} \dot{x}_a =$$

$$\frac{s_0 \cdot h}{2 \cdot j \cdot \pi} \cdot v_a = C \cdot v_a \quad (1)$$

$$\ddot{F}_{n2} = \frac{s_0 \cdot h}{2 \cdot j \cdot \pi} \ddot{x}_a = \frac{s_0 \cdot h}{2 \cdot j \cdot \pi} \cdot \dot{v}_a = \frac{s_0 \cdot h}{2 \cdot j \cdot \pi} \cdot (f(x) + g(x) \cdot u) =$$

$$C \cdot (f(x) + g(x) \cdot u) \quad (2)$$

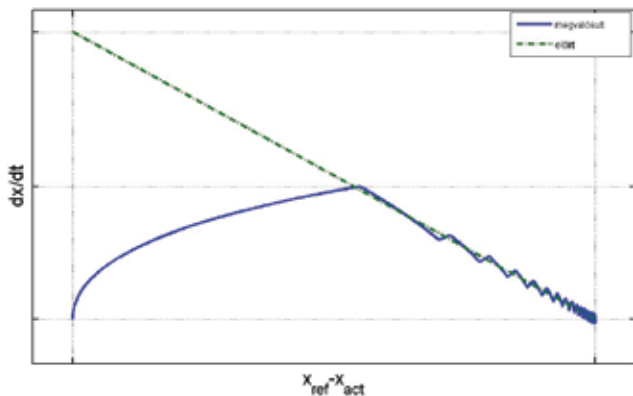
A stabilitás a helyes csúszófelület kiválasztásával biztosítható. A szabály, hogy a (3) egyenlet a paraméterének negatívnak kell lennie.

$$\sigma = \dot{F}_{n2} + a \cdot (F_{n2d} - F_{n2}) \quad (3)$$

Az a paraméter helyes meghatározásával [3] a szabályozott változó gradiense az előírt görbét fogja követni, ahogy az 5. ábra is mutatja. Ez a görbe a szabályozott változó kívánt és az aktuális értékek különbségének függvénye.

VERIFIKÁCIÓS TESZTEK

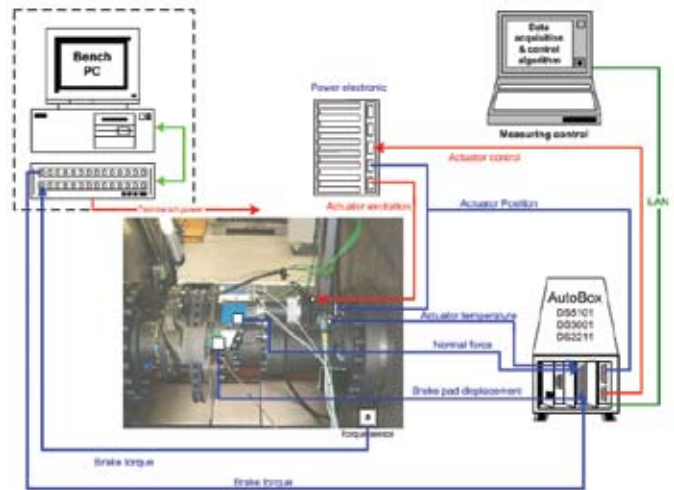
Az önerősítő fékprototípust kétféle tesztpadon teszteltük. A szabályzó beállításához és a hosszabb idejű fékezésekhez egy ún. cyclo padot használtunk, amely nagyobb nyomatékot biztosít a féknyomaték maximumánál, de alacsony sebesség mellett. A dinamikus tesztekhez lendkerekes fékpadra telepítettük a mintát. Az integrált szenzorokon kívül a féknyomatékot, kiegészítő elmozdulásokat és hőmérsékleteket mértünk. Az adatgyűjtés és a szabályzó gyors szabályzó implementálása dSpace AutoBox segítségével valósult meg. A mérőrendszer a 6. ábrán látható.



5. ábra: a sebesség trajektória futása a csúszófelületen
Figure 5: trajectory run of the speed on sliding surface

	Légfék	Önerősítő fék
Felfektetési idő	166%	233%
Erőfelfutás 90%-ra	288%	84,6%
Erőlefutás 10%-ra	307%	56,5%
Irányváltási idő	70%	140%
Pontosság	13,6%	7,1%
Energiafogyasztás	100%	9,3%

3. táblázat: a hagyományos és az önerősítő fék összehasonlítása



6. ábra: mérőrendszer
Figure 6: measurement system

the regulator and long brake distances. This stand provides larger torque at the maximum braking torque at low speed. The sample was installed on a flywheel test stand for performing the dynamic tests. Measurements included the integrated sensors, braking torque, auxiliary motions and the temperature. Data collection and the fast regulating implementation of the regulator were performed by the dSpace AutoBox. The measurement system is shown in Figure 6.

	Air brake	Self-energized brake
Seating time	166%	233%
Force increase to 90%	288%	84,6%
Force decrease to 10%	307%	56,5%
Time of direction change	70%	140%
Accuracy	13,6%	7,1%
Energy consumption	100%	9,3%

Table 3: comparison of the conventional and self-energized brake system

Table 3 compares the conventional brake to the self-energized brake. We normalized the first 4 values to the specifications, the fifth value to the desired force and the last one to the pneumatic system. It can be easily observed that the electro-mechanic drive performs worse in the acceleration phases (seating, direction change). This is caused by the inertia of the moving components that is relatively large compared to the forces applied on them. On the other side, constant gradient can be maintained on constant-speed stages with the self-energized brake. This explains rapid force increases and decreases. The speed does not decrease due to the increased loading because it is compensated by the self-energization phenomenon.

The advanced accuracy is caused by the integrated electronics, signal processing and dynamometer sensors. Also, good accuracy and continuously variable intervention of the electric engine are also great benefits in terms of the accuracy.

Last but not least, the expected energy reduction can be proven easily with comparing the energy consumption of the two systems in the last row. Although the electro-mechanic brake uses a significant amount of energy even during the release of the brake, this energy is far less than those measured with conventional callipers.

A 3. táblázat a hagyományos és az önerősítő fék összehasonlítását mutatja. Az első 4 értéket a specifikációhoz, az ötödiket a kívánt erőhöz, míg az utolsót a pneumatikus rendszerhez normáltuk. Jól látható, hogy az elektromechanikus hajtás rosszabb a gyorsítási fázisokban (felfektetés, irányváltás). Ez a mozgó komponensek rájuk ható erőhöz képest relatív nagy tehetlensége miatt adódik így.

Ugyanakkor az állandó sebességű részeken konstans gradiens biztosítható az önerősített fékkel. Ez magyarázza a gyors erőfelfutást és -lefutást. A sebesség azért nem csökken a növekvő terhelés hatására, mert az önerősítési jelenség kompenzálja azt. A megnövekedett pontosság az integrált elektronikának, jelfeldolgozásnak és az erőmérő szenzoroknak köszönhető. Ugyanakkor az elektromos motor nagy pontossága és fokozatmentes beavatkozása is előny a pontosság szempontjából.

Végül a várt beavatkozási energiacsökkentés könnyen bizonyítható, ha két rendszer energiafogyasztását összehasonlítjuk az utolsó sorban. Noha az elektromechanikus fék relatív jelentős energiát használ fel a fék oldása alatt is, ez az energia messze alacsonyabb, mint a hagyományos féknyereg esetében.

A 7. ábra az előbb említett karakterisztikus különbségeket emeli ki.

ÖSSZEFOGLALÁS

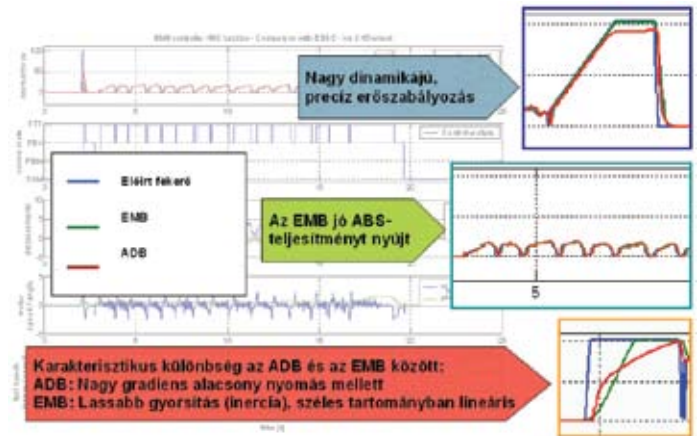
Az Elektronikus Jármű és Járműirányítási Tudásközpont önerősítő fék projektjének három éve alatt a definiált célokat elértük. A teória várt előnyei bizonyítást nyertek, és megállapítható, hogy az ehhez hasonló elektromechanikus fékek a jövő fékrendszer fejlesztésének irányába mutatnak. Noha a prototípusnak vannak hátrányos tulajdonságai a hagyományos rendszerhez képest, a jövőbeli fejlesztések bizonyára megoldják ezeket is. Számítani lehet arra, hogy az önerősítő fék sorozatgyártási technológiája elkészül arra az időre, amikor az alkalmazáshoz szükséges redundáns elektromos energiaellátás kifejlesztésre kerül a teherautó-gyártásban.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A szerzők és projekt résztvevői köszönetüket fejezik ki a BME EJJT 4.5-ös projekt keretében kapott támogatásért.

Irodalom

- [1] H. Hartmann, M. Schautt, A. Pascucci, and B. Gombert: eBrake – the mechatronic wedge brake In: SAE Paper 2002-01-2582
- [2] J. Baumgartner, M. Seidenschwang, D. Bieker and D. Ganzhorn: Scheibenbremse in selbstverstärkender Bauart und Ansteuerungsverfahren für eine selbstverstärkende Bremse DE102005030617 A1, 2006
- [3] Slotine, J.J.E., and W. Li: Applied Nonlinear Control In: Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1991



7. ábra: a hagyományos és az önerősítő fék összehasonlítása

Figure 7: comparison of the conventional and self-energized brake system

Figure 7 emphasizes the above mentioned characteristic difference.

SUMMARY

We have achieved the defined targets during the three years spent on the accomplishment of the self-energized brake project managed by the Advanced Vehicle and Vehicle dynamic Control knowledge Center. The expected benefits of the theory have been justified and it is ascertainable that similar electro-mechanic brake systems show the path toward the development of future brake systems. Even though the prototype has some disadvantages over the conventional brake system, future development must resolve these issues. It is expected that the technology for manufacturing self-energized brake systems in series will have been completed by the time the corresponding redundant electricity supply is implemented in the truck manufacturing industry.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors and the participants of the project are thankful for all the assistance given within the framework of BME AVVC 4.5 project.

References

- [1] H. Hartmann, M. Schautt, A. Pascucci, and B. Gombert: eBrake – the mechatronic wedge brake In: SAE Paper 2002-01-2582
- [2] J. Baumgartner, M. Seidenschwang, D. Bieker and D. Ganzhorn: Scheibenbremse in selbstverstärkender Bauart und Ansteuerungsverfahren für eine selbstverstärkende Bremse DE102005030617 A1, 2006
- [3] Slotine, J.J.E., and W. Li: Applied Nonlinear Control In: Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1991

Versenyautó járműdinamikai modelljének kialakítása

Development of the vehicle dynamics model of a race car

BÁRI Gergely
PhD-hallgató,
Budapesti Műszaki és
Gazdaságtudományi
Egyetem,
PhD student,
Budapest University
of Technology and
Economics

Korábbi cikkekben már megtörtént a Formula Student versenyautókkal kapcsolatos követelmények bemutatása [3], és bemutattuk a jármű futóművének tervezési alapjait [4], míg egy további munka a motor szívórendszerének az átalakításával foglalkozott [5], bemutatva a használt szimulációs módszereket és azok validációját. E cikk keretében célunk, hogy a versenyautó tervezésekor készített szimulációs környezetet ismertessük, melynek segítségével értékes információkhoz juthattunk a jármű dinamikai viselkedésével kapcsolatban.

The requirements, and the design method of the Formula Student car were presented in previous papers [3],[4]. The intake system design and the validation of the simulations were also described previously in [5]. The purpose of this paper is to show the simulation environment created by the Formula Student team, and draw picture about the reasons behind the choices what we made.

BEVEZETÉS

Napjainkban a számítástechnika olyan fejlettségi szintet ért el, hogy még az egyszerűbb személyi számítógépeken is rendkívül összetett számítások végrehajtása vált lehetővé. Ennek következményeként manapság még a legegyszerűbb alkatrészek tervezésekor is rengeteg szimulációt végezhetünk, nem beszélve olyan összetett feladatokról, melyeket egy versenyautó fejlesztése igényel. Szinte minden jelenség mélyrehatóan modellezhető és vizsgálható, legyen szó hőtani, mechanikai, áramlási problémákról, vagy akár ezek kombinációjáról. Több százezer szabadságfokú rendszerek is analízálhatók, teljes járművek építhetők fel a virtuális világban. Már szinte minden jelenség szimulálható, így napjaink egyik trendje, hogy egyre hangsúlyosabbá válnak a szimulációk kiértékelését segítő eszközök, és igazi értéké az válik, hogy a virtuális tesztek során kapott adattömegből hogyan lehet minél értékesebb, szemléletesebb információkat nyerni. Cikkünkben a versenyautó modellezésével kapcsolatos igények bemutatása után áttekintjük néhány, a piacon elérhető járműszimulátor tulajdonságait, valamint azt, hogy miért alkalmas vagy épp alkalmatlan az adott szoftver az igényeink kielégítésére. Ezután az általunk készített járműmodell bemutatása következik, melyet az eredmények kiértékelési lehetőségeinek bemutatása követ. Röviden bemutatásra kerülnek azok az eljárások, amelyek a szimuláció során kapott adatok hatékony feldolgozását segítik.

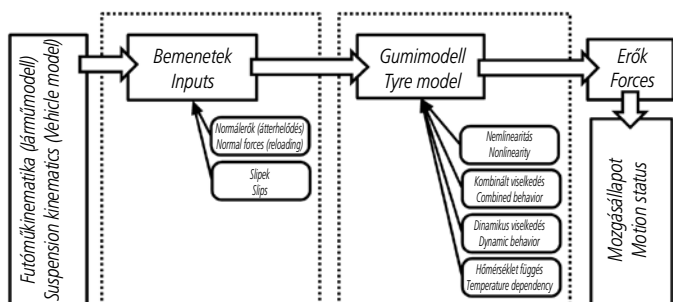
INTRODUCTION

Nowadays, Information Technology has reached a development level where the simplest computer is already capable of performing extremely complex calculations. Consequently, several simulation facilities are available for the design of the simplest parts not to mention the complex "corker" ones such as the development of a race car. Almost all phenomena can be analyzed and inspected in depth, should it be a thermodynamic, mechanical or flowing problem or any combination of them. Systems with several hundred thousand degrees of freedom can be analyzed and complete vehicles can be built in the virtual world. There is hardly a phenomenon that cannot be simulated in software environment and assessment tools supporting simulation become more and more popular nowadays. The most precious aspect is how to gain more valuable and illustrative information from the data set obtained during virtual tests. After introducing the usual demands for race car modelling, we will take an overview of some of the commercially available vehicle simulators and the reason why these simulators are suitable or unsuitable to satisfy our demands. Next topic is the introduction of the vehicle model prepared by us followed by the presentation of opportunities for evaluating the results. Last but not least, we will briefly present the procedures that assist in the processing of data obtained during simulations.

REQUIREMENTS SET FOR THE SIMULATION ENVIRONMENT

In our case, the most important aim is to accurately model the dynamic characteristics of the vehicle. The factors required to achieve the above mentioned target is shown in Figure 1.

By saying accurate dynamic behaviour of the vehicle, it means that we would like to get the most realistic motion status in real time. Consequently, to get an accurate view of the motion status, first we have to accurately determined the forces applied to the vehicle. In this case, majority of the forces apply directly through the tires (aerodynamics is negligible with Formula Student cars due to the low speed) meaning that we can get a real picture of them only if we get into further details concerning the tyre model. Besides the exact definition of forces, inertia and other parameters of the developed model also have to be taken into account, of course.



1. ábra: a pontos modell összetevői
Figure 1: components of the accurate model

A SZIMULÁCIÓS KÖRNYEZETTEL SZEMBEN TÁMASZTOTT IGÉNYEK

Esetünkben legfőbb célként a jármű dinamikai viselkedésének pontos modellezését jelölhetjük meg. Az ennek eléréséhez szükséges tényezőket az 1. ábra mutatja.

A jármű pontos dinamikai viselkedése alatt azt értjük, hogy minden időpillanatban a valóságoshoz leginkább közelítő mozgásállapotot szeretnénk kapni. Ahhoz pedig, hogy pontos mozgásállapotot kapjunk, első lépésben alapvetően a járműre ható erőknek kell pontosnak lenniük. Esetünkben ezen erők főként a gumiabroncs által közvetített erők (az aerodinamika a Formula Student autók kis sebessége miatt elhanyagolható), ami azt jelenti, hogy ahhoz, hogy ezek a lehető legvalóságosabbak legyenek, igen részletes gumimodellre van szükségünk. Természetesen az erőhatások pontos leírása mellett a kialakított modell tehetetlenségi és egyéb paramétereiről sem szabad elfeledkeznünk, azonban járműszimulációk esetén ezeknél jóval kritikusabb az út-kerék kapcsolat adekvát leírása, a megfelelő gumimodell kialakítása.

A GUMIMODELLEL KAPCSOLATOS IGÉNYEK

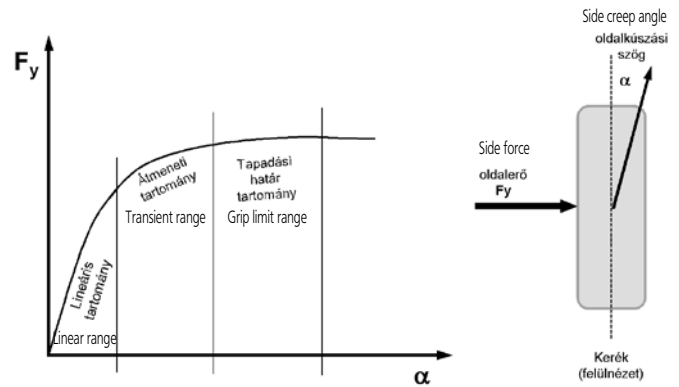
Versenyautóról lévén szó, a jármű üzemszerű működése során annak szinte mindig a gumiabroncs tapadási határán kell üzemelnie (2. ábra). Amennyiben helyes modellt szeretnénk, természetesen muszáj nemlineáris gumimodellt használnunk, amely ebben a tartományban is helyesen kezeli az abroncs viselkedését.

Ugyancsak különösen fontos a gumiabroncs viselkedésének helyes modellezése kombinált slipek, azaz egyszerre jelentkező hossz- és keresztirányú erők esetén. Ennek oka, hogy a versenyautó egyik legfontosabb tulajdonsága, hogy mennyire könnyen tudja a pilótája végigvezetni a tapadási határon, kombinált oldal- és hosszirányú gyorsulás esetén. Ilyen eset például a kanyarba való befékezés vagy épp a kigyorsítás. A 3. ábra egy versenyautó kanyarbemenetkor való fékezését mutatja. Ez a kanyar kezdeti szakasza, amely során a pilóta a tiszta fékezésből (maximális hosszirányú gyorsulás) a tiszta kanyarodásba (maximális oldalgyorsulás) vezeti az autót. Az ábra függőleges tengelyén a hossz-, míg a vízszintes tengelyén a keresztirányú gyorsulás található. A kék és a piros görbe két különböző viselkedésű autót és pilótát jelez. Jól látható, hogy a kék görbe mennyivel jobban „behorpad” az átmeneti tartományban, azaz ilyenkor kisebb a jármű eredő gyorsulása, ami az abroncsok maximális tapadásának rosszabb kihasználására utal.

Ha tehát a szimulációk során a járműnek ezekben a kulcsfontosságú helyzetekben való viselkedését is vizsgálni szeretnénk, muszáj a gumik kombinált viselkedését helyesen kezelő modellt használnunk. Egy további érdekes kérdés, hogy szükség van-e dinamikus gumimodellre, amely kezeli az abroncs tranziens viselkedését is, vagy elégséges statikus gumimodellt használnunk. Általánosságban elmondható, hogy kb. 8 Hz alatti manővereknél elégséges a statikus gumimodell, mivel a tranziensek általában ennél gyorsabban zajlanak le az abroncsban és hatásuk csak e frekvencia felett válik naggyá. Esetünkben ezzel a feltételezéssel élhetünk, mivel a futómű sajátfrekvenciája 2 Hz körüli, és a pilóta által szolgáltatott bemenetek (kormányzás, pedálok kezelése) is általában a 8 Hz-es határ alatt maradnak. Érdekességként megjegyezzük, hogy merevebb, nagyobb sajátfrekvenciájú futóművel rendelkező versenyautók esetén (pl. Forma-1) már elengedhetetlen a dinamikus gumimodellek alkalmazása. Ugyancsak fontos jelenség a versenyautók világában a hőmérsékletfüggő gumimodellek alkalmazása, hiszen a közúti autók gumiabroncsaival ellentétben, itt az abroncsok ideális hőmérsékleten való működése kritikus kérdés.

NORMÁLÉRKÉP ÉS SLIPEK

Amennyiben sikerül megfelelő gumimodellt találnunk, a következő fontos lépés, hogy a modell számára helyes bemeneteket adjunk



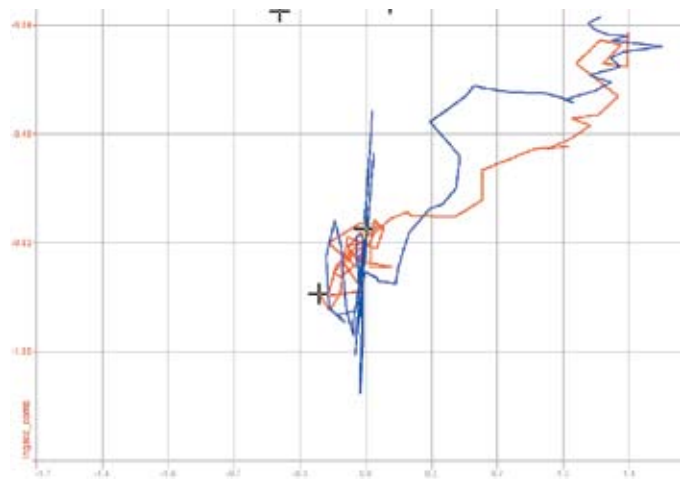
2. ábra: slipgörbe tartományai
Figure 2: ranges of slip curve

However, the most critical aspects for vehicle simulation are still the adequate definition of tyre-road relation and the development of an appropriate tyre model.

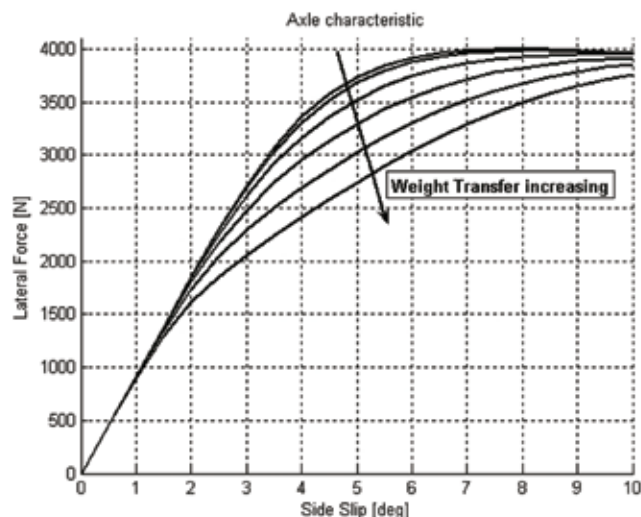
REQUIREMENTS FOR THE TYRE MODEL

Being a race car, it always has to perform and operate at the gripping limit of its tires (Figure 2). In order to build a proper model, we certainly need to use a non-linear tyre model that can adequately manage the tyre behaviour even in this range.

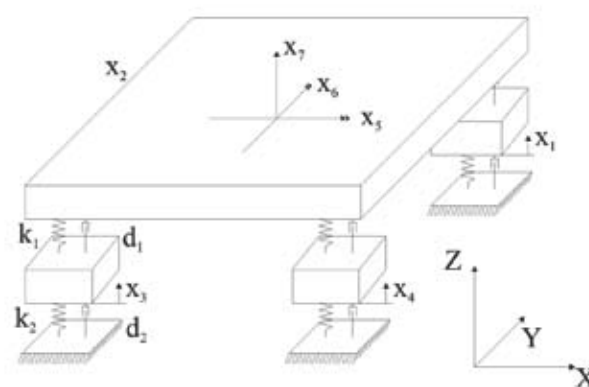
Accurate modelling of the tyre behaviour is also important with combined slips meaning that longitude and cross directional forces apply at the same time. The reason being is one of the most important features of the race car whether how easy it is for the driver to run the care through the grip limit when combined side and longitude directional acceleration apply. For example, it can be braking or acceleration in a turn. Figure 3 shows how a race car is braking when reaching the corner entry. This is the initial stage of the corner when the driver transmits clear brake (maximum longitude acceleration) into clear turning (maximum lateral acceleration). Vertical axis of the diagram shows the longitudinal acceleration while the horizontal axis shows the cross directional acceleration. The blue and red curves indicate two different types of driver and car. It can be observed how much heavier the blue curve “dents” in the transient range meaning that a slower overall acceleration of the vehicle indicates bad utilization of the maximum tyre grip.



3. ábra: „G-G” diagram
Figure 3: “G-G” diagram



4. ábra: a tengelykarakterisztika alakulása növekvő átterhelődéssel
Figure 4: development of shaft characteristics with increasing re-loading



5. ábra: lengéskényelmi modell
Figure 5: vibration comfort model

meg. Az általunk használt modellben a fontosabb bemenetek az abroncs kúszási állapota, a kerék dőlése és a kereket terhelő normálerő, míg a kimenetet a keréktalppontban ébredő erők, nyomatékok képezik. A normálerő fontossága nyilvánvaló, hiszen a kereket az úthoz szorító erő nagyban meghatározza az abroncs által átvihető hossz- és keresztirányú erőket. Kicsit másképp tekintve ez azt jelenti, hogy a járműmodellnek pontosan, valósághűen kell kezelnie a jármű mozgása során kialakuló átterhelődéseket. A jármű egyes tengelyein kialakuló átterhelődések hatásának részletes bemutatása [2]-ben és [6]-ban található, itt pusztán tényként közöljük, hogy egy adott tengelyen a növekvő átterhelődés csökkenti az átvihető oldalerő nagyságát. Az átterhelődés tengelykarakterisztikára gyakorolt hatását a 4. ábra mutatja.

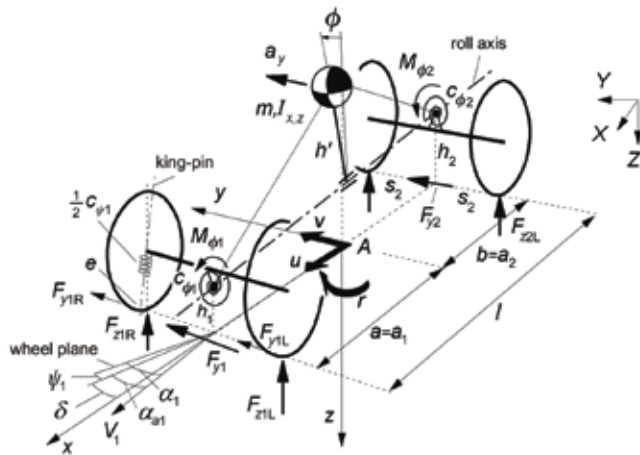
Jól látható, hogy az átterhelődés hatása különösen a tapadási határ közelében jelentős. Ez azért fontos, mert mint azt már említettük, a versenyautó nagyrészt ebben a tartományban üzemel. Egy másik fontos jelenség, hogy e tartományban a görbék meredeksége erősen csökken. Ez azt jelenti, hogy a kormányzással szinte minimális kontroll marad a pilóta számára, hiszen hiába változtatjuk meg az elkormányzási szög révén az első tengely kerekeinek oldalkúszását, ehhez csak csekély oldalerő-változás fog társulni a görbék kis meredeksége miatt. Jól leírja ezt a helyzetet a versenyzők által használt kifejezés is, miszerint „bedobják” az autót a kanyarba, azaz, amikor a kormányzáson keresztül ténylegesen irányítani tudják a járművet, az a forduló kezdeti, tranzien szakasza. A kanyar nagy részében már inkább csak a gázpedálon és az átterhelődéseken keresztül tudják befolyásolni a jármű viselkedését. Hogyan is lehet az átterhelődéseket befolyásolni a kanyarodás során? Bár azt az átterhelődést, ami összesen a belső két kerékről a külső két kerékre kanyarodáskor áthelyeződik nem tudjuk befolyásolni, de azt, hogy ebből mennyi megy az első és mennyi a hátsó tengelyen, azt igen. Ez a versenyautó futóművének egyik legfontosabb feladata, azaz, hogy hogyan képes minden üzemállapotnak megfelelően elosztani az átterhelődéseket, meghatározni a keréktalpponti normálerőket az egyes kerekek között. E tekintetben alapvető szerepük van a futómű rugalmas elemeinek (rugók, stabilizátorok) és a lengéscsillapítóknak, valamint a futómű kinematikai kialakításának, a momentáncentrumok és a bólintási centrumok helyzetének. Mindezek azért fontosak, mert mutatják, hogy az alkalmazott járműmodellnek helyesen kell kezelnie nemcsak a futómű rugalmas elemeit, hanem a futómű geometriai kialakítása miatt kialakuló átterhelődéseket is.

Therefore, if we wish to examine the vehicle's behaviour in this important situation, we need to use a model that adequately manages the combined behaviour of tyres. An additional question is whether there is a need for a dynamic tyre model capable of handling transient behaviour of the tyre, or it is sufficient to use the static tyre model. Generally, the static tyre model is sufficient for manoeuvres under 8 Hz since transients are realized in tyres above this frequency where their impact becomes significant. We can follow this assumption in our case as the own frequency of the suspension is around 2 Hz while driver inputs (steering, handling of pedals) usually stay under the 8 Hz limit. An interesting note is that the use of dynamic tyre model is essential for race cars having harder suspension with bigger own frequency (e.g. Formula 1 cars). Another important phenomenon is the application of speed-dependent tyre model in the world of racing as the operation of tyres at the appropriate temperature is a key factor opposite to the tyres of common daily cars.

NORMAL FORCES AND SLIPS

Once we have found the appropriate tyre model, it is essential to make sure that the inputs we add to the model are correct and accurate. In our model, major inputs include the sliding status of the tyre, camber and the normal force applying to the wheel while output is represented by the forces and torques formed on the tyre's foot. The importance of normal force is quite evident as the force pressurizing the wheels to the road determines the longitudinal and cross directional forces realized by the tyres. In other words, the vehicle model has to accurately and realistically manage the re-loading conditions generated during the motion of the vehicle. In-depth description of the re-loading conditions generated at each shaft of the vehicle can be found at 0. As a matter of fact, the bigger the re-loading on a particular shaft, the smaller the transmittable lateral force. The impact of re-loading made on the shaft characteristics is shown in Figure 4.

It can be easily spotted that the impact of re-loading becomes significant close to the grip limit. As we have mentioned it, it is important because that is the range the race car normally operates in. Another important phenomenon is that the gradient of slope in this range strongly drops. It means that the steering manoeuvre leaves minimal control for the driver since it is pointless to change the lateral sliding of front shaft wheels through the steering angle, it will only be accompanied with negligible change of lateral force due to the low gradient of slope of the curves. This situation is well described by the terminology “putting the car into the corner” used by drivers meaning that they can effectively control the vehicle through steering at the initial, transient stage



6. ábra: kétnyomú modell
Figure 6: two-lane model

TOVÁBBI KRITÉRIUMOK

A gumimodell fontos bemenetei a normálerőn kívül a hossz- és keresztirányú slipek, valamint a kerékdőlés is. Nyilvánvalóan, amennyiben helyes keréktalpponti erőket akarunk kapni, ezen értékeknek is helyesen kell megjeleníteniük. Ez szintén a futómű-kinematika és a hajtáslánc adekvát leírását igényli, pontosabban annak helyes modellezését, hogy a hajtásnak és a fékezésnek, illetve a kasztni mozgásának függvényében az egyes kerekek el kormányzási szöge és az úthoz viszonyított dőlése hogyan változik. [4]-ben az említett jelenségek hatásairól részletesebb leírás található, számunkra jelenleg fontos annak belátása, hogy a futómű és a hajtáslánc modelljének a lehető legrészletesebbnek és mechanikai értelemben korrektnek kell lennie ahhoz, hogy a fent említett jelenségek hatásait vizsgálhassuk.

MODELLALKOTÁS

A fenti megfontolások alapján több lehetőség is kínálkozik egy összetettebb járműmodell kialakítására.

Lengéskényelmi modell

A lengéskényelmi vizsgálatok egyik alapvető modelljét mutatja az 5. ábra.

A fenti modell alapvetően az útegyenetlenségek gerjesztési hatásainak vizsgálatára alkalmas. Míg közúti járművek esetén ezek főként lengéskényelmi vizsgálatokat takarnak, addig a versenysportban e vizsgálatok célja inkább a keréktalpponti erő minél állandóbb értéken tartásához szükséges paraméterek beállítása. Tehát e modell segítségével a lengéscsillapítóknak, rugóknak és egyéb paramétereknek a keréktalpponti normálerő szórására való hatását vizsgálhatjuk. A modell – céljából adódóan – nyilvánvalóan nem kezeli a futóműrudazat kinematikai hatását, azaz a futómű mozgása során kialakuló kerékdőlés-, nyomtáv- és összetartás-változást. Ez a probléma azonban elég jól megoldható és a modell kiterjeszthető, ha bizonyos előre definiált függvény szerint esetleg táblázatos formában (Look-up-table) megadjuk, hogy az említett paraméterek a kerékkasztnihoz képest történő elmozdulásának függvényében hogyan változnak. A modell egyik nagy problémája az, hogy sajnos ilyen módon sem teszi lehetővé a momentáncentrum vándorlásának leírását, ami pedig nagyon erőteljesen hat mind a karosszéria mozgására, mind pedig az áterhelődésekre, és mint azt már említettük, különösképp ez utóbbinak nagy szerepe van a jármű viselkedésében, így ennek

of the corner. Drivers can only use, however, the throttle pedal and re-loading conditions throughout further stages of the corner to influence the vehicle's dynamics. So how can you make an impact on re-loading conditions when absolving a corner? Even though re-loading that is re-positioned in the corner from the internal two tires to the external two tires cannot be influenced, it is still possible to affect the amount directed to the front and rear shaft. It is basically one of the most important tasks of the suspension of a race car to find the proper way of distributing re-loading conditions in line with every operational status and to determine tyre foot normal forces between the tires. With respect to this, flexible units of the suspension (springs, stabilizers), the anti-rolling system as well as the kinematic configuration of the axle and the position of momentary centre and pitching centre are all playing a significant role. These are important to see that the applied vehicle model has to manage correctly the re-loading conditions caused by not only the flexible units of the suspension but also the geometrical construction design of the axis.

ADDITIONAL CRITERIA

Major inputs of the tyre model, besides normal forces, include longitudinal and cross directional slips and the camber. In order to get accurate tyre foot forces, we certainly have to get these values correctly. This also requires adequate description, more precisely accurate modelling of the running gear kinematics and the power train as well as the process how the steering angle of each wheel is changed depending on the motion of the drive, brake and chassis relative to the gradient of slope to the road. More detailed description about the impacts of the above mentioned phenomenon can be found in 0. What's important for us now is to acknowledge that the running gear and power train model has to be as detailed as possible and mechanically correct in order for us to be able to inspect the impact of the above mentioned phenomenon.

BUILDING THE MODEL

According to the above mentioned considerations, we had several options to build a relative complex vehicle model.

Vibration comfort model

Figure 5 shows one of the essential models of vibration comfort tests.

The model introduced above is basically suitable for the analysis of inductive impacts generated by road unevenness. While these are primary used for vibration comfort analysis in commercially available vehicles, the purpose of these tests in racing is rather adjusting the parameters required to keep the tyre foot force at a consistent level as much as possible. Therefore, we can use this model to analyze the impact of dampers, springs and other parameters on the deviation of tyre foot normal force. The model, by its nature, does not handle the kinematic effects of the shaft rod, more precisely the change of camber, wheel distance and cohesion generated during the motion of the running gear. This problem can be easily solved and the model can be extended if we specify, in the form of a particular pre-defined function or in tabular form, how the mentioned parameters change relative to the motion of the wheel compared to the chassis. One of the problems with this model is it is not suitable for the definition of movement of the momentary centre in this form which has a significant impact on the motion of the chassis and the re-loading conditions and, as we have mentioned earlier, the latter one, in particular, has a key role in determining the vehicle's behaviour and ignoring it would be a huge mistake. Finally, we mention that in case we decide to go for this model, we will still need to build two separate models or

Szoftver	Modell	Környezet	Gumimodell
CarMaker	Lengéskényelmi (???)	önálló, Simulink	saját
CarSim	???	önálló, Simulink	???
VehDyna	Lengéskényelmi (???)	Simulink	???
ChassisSim	Kétnyomú (???)	önálló	saját
ADAMS	Többtest	önálló	TM Easy, MF-Tyre
Simpack	Többtest	önálló, Simulink	
SimMechanics	Többtest	Simulink	

1. táblázat: néhány járműszimulációs szoftver

SW	Model	Environment	Tyre model
CarMaker	Vibration comfort (???)	single, Simulink	Own
CarSim	???	single, Simulink	???
VehDyna	Vibration comfort (???)	Simulink	???
ChassisSim	Two-lane (???)	single	Own
ADAMS	Multi-chassis	single	TM Easy, MF-Tyre
Simpack	Multi-chassis	single, Simulink	
SimMechanics	Multi-chassis	single, Simulink	

Table 1: some examples of vehicle simulation software products

elhanyagolásával nagy hibát vétünk. Végül megemlítjük, hogy amennyiben ilyen modell alkalmazása mellett döntünk, a kinematikát leíró függvény vagy táblázat előállításához akkor is szükség van egy külön modellre, vagy valós járművön végzett mérésekre, így összesen két modellt kell használnunk, aminél egyszerűbb lehet, ha egy összetettebbet készítünk.

Egyszerű kétnyomú modell

Míg az előző pontban ismertetett modell főként lengéstani vizsgálatokra volt alkalmas, addig ebben az esetben a jármű dinamikai tulajdonságainak, főként a saját kormányzotttsági viselkedésének vizsgálatára van lehetőségünk.

E modell előnye az előzővel szemben, hogy a már említett „táblázatos” módszerrel a momentáncentrum vándorlása is kezelhetővé válik. Fontos azonban hangsúlyoznunk, hogy ez még mindig nem a mechanikai értelemben vett legkorrektebb megoldást adja, valamint ebben az esetben is szükség van valamiféle kinematikai modellre, amellyel az említett függvénykapcsolatot, táblázatot előállítjuk. Az eddigiekből jól látszik, hogy a legmegfelelőbb megoldást egy korrekt, többtestdinamikát használó modell jelentené, amelyben a kinematika és annak a járműdinamikára való hatása együtt jelentkezik. Összefoglalva tehát, a fenti két modell legfőbb problémája, hogy bár a futómű-kinematika kerékslipekre gyakorolt hatását tudják kezelni, a momentáncentrum vándorlásának az átterhelődésekre gyakorolt hatását nem. Ez utóbbi pedig – mint arról már szó volt – a folyamatosan a tapadási határ közelében üzemelő versenyautók esetén nagyon fontos.

JÁRMŰSZIMULÁCIÓS SZOFTVEREK

Az 1. táblázat néhány, a piacon megtalálható szoftver számunkra fontos tulajdonságait tartalmazza. A legnagyobb és elterjedten használt járműszimulációs szoftverek legfőbb problémája, hogy nem minden esetben ismerhető részletesen a mögöttes járműmodell.

Ugyan minden fontosabb szoftver kezeli a futómű kinematikai kialakításából adódó jelenségeket és a rugalmas ágyazások hatását, de az, hogy ez pontosan hogyan történik, általában nehezen megállapítható. Mivel az előbbieken leírtak alapján jól látható, hogy számunkra muszáj a futóműrudazat, a váz és a futómű csatlakozásában ébredő erőknél és a momentáncentrum vándorlásának pontos modellezése, így a járműmodell megalkotásakor

perform measurements on real vehicles for the preparation of the kinematics description function or table. It ultimately means that we would need to use two models leading us to the conclusion that it is easier and simpler to build one complex model.

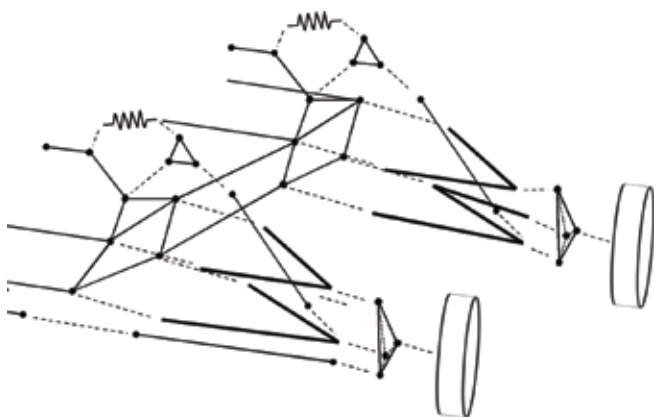
Simple two-lane model

While the model described in the previous paragraph is primarily suitable for vibration theory tests, now we have the opportunity to test the vehicle's distinctive dynamic characteristics, in particular the self-steering behaviour.

The advantage of this model over the previous one is that the movement of momentary centre becomes manageable using the mentioned “tabular” method. It is important, however, to emphasize that this one is still not the best mechanical solution and that we will still need some kind of kinematic model to prepare the above mentioned function relationship or table. All of that discussed so far greatly shows that the perfect solution would be a correct model using multiple body dynamics that has the kinematics and its impact on the vehicle dynamics combined in one. Summarizing, main problem of the two models discussed above is that even though we can manage the impact of running gear kinematics on wheel slips, the impact of movement of momentary centre on the re-loading conditions is still out of our hands. And this latter one, as we have stated earlier, is a key factor for race cars that are consistently operated close to the grip limit.

VEHICLE SIMULATION SOFTWARE

Table 1 contains the important characteristics of some of the commercially available software products. The main problem with the most popular and well known vehicle simulation software products is that majority of the times we can't get insight to the background vehicle model supporting the software. Although all remarkable software products are suitable for handling phenomena arising from the kinematic construction of the running gear as well as the impact of flexible seating, their background supporting method or technology is usually unknown. Since the above mentioned conditions obviously show that we need to accurately model the movement of the momentary centre and



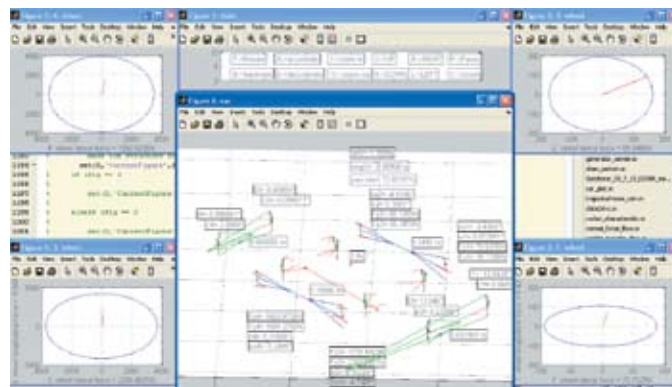
7. ábra: a járműmodell felépítése
Figure 7: structure of the vehicle model

egy többtestdinamikát használó programkörnyezet használata mellett döntöttünk.

A JÁRMŰMODELL KIALAKÍTÁSA

A modellalkotáshoz a Simulink programkörnyezet SimMechanics toolbox-át használtuk. Ennek legfőbb oka az volt, hogy a Matlab/Simulink környezet egy jól ismert, széles körben elterjedt programcsomag. A modell alapvetően 30 merev testből áll, melyek a futóműrudazat, a rugózás és a kormányrendszer főbb elemeit és a kerekeket reprezentálják. A SimMechanics modell megalkotása során ezeken koordináta-rendszereket helyeztünk el, majd közöttük ideális kényszereket, valamint erőket definiáltunk. A járműmodell felépítését a 7. ábra mutatja.

A modellben minden lengőkar külön merev testnek van modellezve, melyek gömbcsuklós kényszerrel csatlakoznak a vázhoz és a tengelycsomokhoz. A rugózási rendszer modellezéséhez olyan modellt alakítottunk ki, melynek segítségével könnyen szimulálhatóak a rugóstag fizikai korlátai (gumiütközők ki- és berugózás határolására), a rugó előfeszítése, valamint a rugó és a lengéscsillapító nemlineáris karakterisztikája is. A rugózási rendszerben ugyancsak külön merev testeket képviselnek a himbák és a nyomórudak is. A himba vázhoz való csatlakozása egy előre meghatározott tengely körüli elfordulás engedélyezésével van megadva, mely tengely merőleges a tengelycsomk alsó lengőkaron való bekötése, a rugóstag vázhoz való csatlakozási pontja és a himba forgáspontja által meghatározott síkra, és átmegy a himba forgáspontján. Ezen sík meghatározása azért fontos, mert amennyiben a nyomórúd és a himba teljes egészében ebben a síkban helyezkedik el, a rugózás során ébredő erők, himba terhelése viszonylag kedvező lesz. A tengelycsomk a lengőkarokhoz és a kormányösszekötőhöz ugyancsak gömbcsuklós kapcsolattal csatlakozik, míg a kerék és a tengelycsomk között egy adott tengely körüli forgás van engedélyezve. A kerék és a gumibroncs modellezésére a TNO Automotive által készített MF-Tyre gumimodellt használtuk. E modell tökéletesen illeszkedik a SimMechanics környezetbe és mechanikailag korrektül modellezi a kerék mint forgó tömeg mozgását. A hozzá illesztett gumimodell statikus és a hőmérsékletfüggést nem modellezi, azonban jól parameterezhető, és a számunkra igazán fontos jelenségeket is kezeli. A modellalkotás kapcsán általában egy nagy probléma, hogy a modellt hogyan paraméterezzük fel. Esetünkben az MF-Tyre gumimodell pontos beállításához is közel 100 paraméter szükséges. Köszönhetően a Formula Student-sorozatot támogató cégeknek, ezen paraméterek a legtöbb olyan gumibroncsról rendelkezésre állnak, amelyek a sorozatban használhatók, így ez az általában nehezen, költségesen megoldható probléma



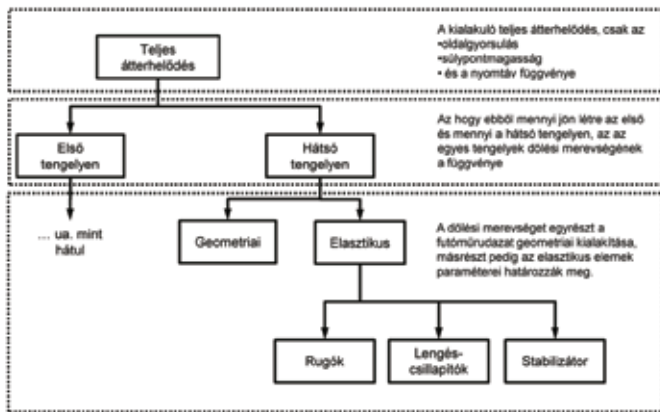
8. ábra: a járműmozgás kiértékelése
Figure 8: evaluation of the vehicle's motion

the forces applying at the connecting points of the shaft rod, the body and the running gear, and therefore we have made the decision on a software environment that uses multi-chassis dynamics.

DEVELOPMENT OF THE VEHICLE MODEL

We used the SimMechanics toolbox of Simulink software environment to build our model. The reason being is that Matlab/Simulink environment is a well known and popular software kit. The model basically comprises 30 rigid bodies representing the core elements of the shaft rod, steering system and springs as well as the wheels. When creating the SimMechanics model, we put coordinate system on these elements and defined ideal constraints and force between them. Structure of the vehicle model is shown in Figure 7.

Each swipe in the model is modelled as a separate rigid body connected to the frame and the shaft end by ball-type joint. For the modelling of the spring system, we have developed a model that enables easy simulation of the physical limits of the spring unit (for the limitation of in and out springing of rubber bumpers), prestressing of the spring as well as the nonlinear characteristics of the spring and the damper. Levers and pressure rods also represent separate rigid bodies in the spring system. Connection of the lever to the frame is specified by enabling a pre-defined axis rotation. This axis is diagonal to the plain determined by the connection of shaft end at the rocker, the connection point of the spring unit to the frame and the rotating point of the lever. It crosses the rotating point of the lever. Determination of this plain is important because if the pressure rod and the lever is located in this plain in full, the forces arising from springing and the load of the lever will be relatively favourable. The shaft end also connects to the rockers and the steering cross rod through ball-type joint while the rotation between the wheel and the shaft end is provided around a specific axis. We used TNO Automotive's MF-Tyre model to model the wheels and tires. This model perfectly fits in the SimMechanics environment and (mechanically) correctly models the motion of wheel as rotating mass. The assigned tyre model is static and thereby, does not model temperature dependency. However, it is well parameterizable and suitable for handling phenomena that are extremely important for us. Parameterizing the model is usually a difficult task when building a new model. In this case, the accurate setup of MF-Tyre tyre model requires the adjustment of nearly 100 parameters. Thank to the companies sponsoring the Formula Student series, these parameters are available from majority of the tires used in the series, and therefore, this problem that usually takes much effort and money



9. ábra: az átterhelődés megoszlása
Figure 9: Distribution or re-loading

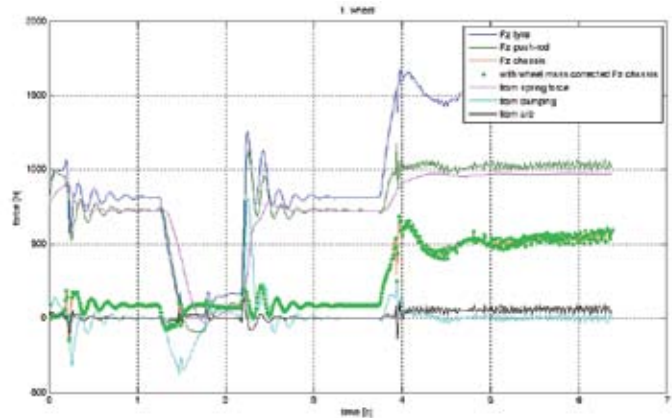
nem okoz gondot. A modell megalkotása után a legkritikusabb pont, hogy hogyan értékeljük ki azt a rengeteg adatot, amit a szimulációk szolgáltatnak, hogyan jutunk a lehető legtöbb információhoz. A kiértékelő algoritmusokat egy következő cikkben részletesen ismertetni fogjuk, most csak a fontosabbak kerülnek bemutatásra.

A KEREKÉK KÜSZÁSI ÁLLAPOTA

Fontos tudni, hogy milyen keréktalpponti erők ébrednek, és hogy ezek hogyan viszonyulnak az adott pillanatban maximálisan átvihető erőkhöz. Ebből látható például, hogy ha egy adott kerék éppen nagyobb oldalkúszást is „elbírna”, és így növelhető lenne az átvihető oldalero (ami természetesen a kanyarsebesség növelését jelentené), vagy épp túlságosan nagy oldalkúszás mellett üzemel, ami pedig túlzott gumikopást vagy túlmelegedést okoz, így annak csökkentése lenne kívánatos. Ezen információkat nagyon hasznosan tudjuk felhasználni a futómű kinematikai kialakításához, például a ki-be rugózás közbeni önkormányzási karakterisztika beállításához.

A 8. ábra az egyik kiértékelő képernyőkiosztást mutatja. Jól látható a négy keréktalpponti erő a kép négy sarkán látható diagramon. Piros vonal jelzi az adott pillanatban aktuális keréktalpponti erőket, míg a kék ellipszisek a maximálisan átvihető erő határát mutatják. Az ábra közepén látható ablakban a futómű kinematikai kialakítása, annak fontos paraméterei láthatók. Itt követhetők nyomon a momentáncentrumok vándorlásai, a kerekek elkormányzási szögei, a kerékslípek és a kerékdőlések, hogy csak a legfontosabbakat említsük. Mint arról már szó volt, versenyautók esetén, mivel azok különösen sokat üzemelnek a tapadási határ közelében, ugyancsak kritikus, hogy mennyi információt tudunk szerezni a keréktalpponti normálerőről, azaz az átterhelődésekről. A versenyautó futóművének a kerekek minden szituációnak megfelelő slipen tartása mellett a másik igen fontos feladata, hogy hogyan „osztja szét” a kanyar egyes fázisaiban az átterhelődéseket. Az általunk készített részletes modell lehetővé teszi, hogy ennek kapcsán is információt szerezhessünk. Az átterhelődések csoportosítását a 9. ábra mutatja.

A teljes átterhelődés „összetétele”, az, hogy mennyi ebből a geometriai és a rugalmas, azon belül mennyi, ami a lengéscsillapítók és mennyi, ami a rugók miatt jön létre, folyamatosan, a kanyar során, pillanatról pillanatra változik. Legkönnyebben érthető például a lengéscsillapító és a rugók hatása, ugyanis, míg a lengéscsillapítók főként transziensek során, kanyarba történő befékezéskor vagy kigyorsításkor (amikor a karosszériának dőlési sebessége van) hatnak az átterhelődésekre, addig a rugók főként akkor, amikor a kaszni már bizonyos szögben be van



10. ábra: a keréktalpponti normálerő összetevői
Figure 10: Components of the tyre foot normal forces

was now solved easily. The most critical point after the model has been created is to specify the method of evaluating the countless data sets obtained from the simulations and getting as much important information as possible. Evaluating algorithms are described in more details in a separate article. Now, we will discuss the most important ones.

SLIDING STATUS OF THE WHEELS

It is important to know what tyre foot forces apply and how they relate to the maximum transmittable forces at the specific moment. This will show if a particular wheel could resist even higher lateral sliding that would, of course, result in higher corner speed or if the wheel is operating with too much lateral sliding which in turn causes excessive tyre wearing or overheating which are supposed to be reduced. This information can be effectively used to develop the kinematic characteristics of the running gear such as the adjustment of self-steering characteristics during in and out springing.

Figure 8 shows one of the evaluating screen displays. The four tyre foot force can be easily spotted in the four corners of the diagram. The red line indicates the current tyre foot force while blue ellipses represent the maximum transmittable force limits. The middle of the figure shows the kinematic structure and main parameters of the running gear. That is where the creeping of momentary centres, the steering angle of wheels, the wheel slips and cambers (just to mention the main ones) can be tracked. As we have stated earlier, race cars normally operate close to the grip limit of tires and hence it is critical how much information we can obtain about the tyre foot forces (re-loading conditions). Running gear of the race car has another important task, besides keeping the wheels on slip under any situation, of determining the method of distributing re-loading conditions throughout each phase of the corner. The in-depth model we prepared allows the acquisition of information regarding this matter. The grouping of re-loading conditions is illustrated in Figure 9.

“Composition” of the entire re-loading, how much is the geometric and the flexible loading and also what fraction is caused by the dampers and the springs is continuously changing throughout the corner from moment to moment. The most easy to understand is the effect of the damper and the springs, for example, since the dampers mainly affect the re-loading conditions in the transient ranges, when braking ahead of the corners or accelerating out of the corner (when the chassis has a sloping speed), whereas the springs apply their effects when the chassis is already tilted by a specific angle (e.g. consistent

dőlve, azaz állandósult állapotú kanyarvételkor. A kiértékelő rész egyik igen hasznos funkciója tehát, hogy meg tudjuk állapítani a keréktalpponti normálerő, és így az átterhelődések „összetételét” (10. ábra).

ÖSSZEFOGLALÁS

A cikkben a versenyautó modellezésével kapcsolatos igények bemutatása során részletesen ismertettük azokat a kritériumokat, amelyek a járműdinamikai szimulációk szempontjából meghatározóak. Elsőként a járművet mozgató erők nagy részét közvetítő gumiabroncsokkal foglalkoztunk, majd a keréktalpponti normálerők szempontjából érdekes futóműmodellekkel kapcsolatos kritériumokat tekintettük át. Megvizsgáltunk néhány, a járművek modellezésére használható lehetőséget, valamint szó esett a piacon elérhető járműszimulátorok fontosabb tulajdonságairól. Ezután a készített járműmodell bemutatása következett, melyet az eredmények kiértékelési lehetőségeinek leírása követett. Ennek keretében röviden szó esett azokról a módszerekről is, amelyek a szimuláció során keletkező adatok minél hatékonyabb feldolgozását szolgálták, különös tekintettel a kerekek kúszási állapotára és az átterhelődések megoszlásának vizsgálatára.

Irodalom

- [1] Hans B. Pacejka, Tire and Vehicle Dynamics (Hardcover) p.627 Society of Automotive Engineers Inc (October 2002) ISBN-10: 0768011264 ISBN-13: 978-0768011265
- [2] Milliken, W. F., Milliken, D. L. Race Car Vehicle Dynamics (Hardcover) p. 993, SAE International (August 1995), ISBN-10: 1560915269 ISBN-13: 978-1560915263
- [3] Dóra, Sz., Csuzi, T., Bakó, Cs., Forsthofer, F., Csütörtöki, T.: Formula Student versenyautó futóművének tervezési alapjai, A jövő járműve, 2008: (1–2) pp. 59–63.
- [4] Bári, G.: Formula Student versenyautó futóművének tervezési alapjai, A jövő járműve, 2008: (3–4)
- [5] Dudás, Z.: Formula Student versenyautó négyhengeres benzinmotorjának modellezése és optimalizálása, A jövő járműve, 2008: (3–4)
- [6] Bári, G.: Application of Active Anti Roll Bar System for Enhancing Yaw Stability, FISITA 2008 World Automotive Congress

status during turning). So, one of the useful functions of the evaluating stage is that we can determine the “compound” of tyre foot forces and hence the “compound” of re-loading conditions (Figure 10).

SUMMARY

This article introduces the demands for race car modelling including such criteria that have deciding importance in terms of determination of the vehicle's dynamic characteristics. We started with the discussion of tyres intermediating majority of the forces moving the vehicle followed by an overview of the running gear model criteria that are important with respect to the tyre foot normal forces. We inspected some options that can be used for vehicle modelling and discussed the main features of commercially available vehicle simulators. Next topic was the introduction of the vehicle model prepared by us followed by the presentation of opportunities for evaluating the results. This included a brief description about the methods that can be used to effectively process the information obtained from the simulations, in particular those regarding the sliding status of wheels and the inspection of distribution of re-loading conditions.

References

- [1] Hans B. Pacejka, Tire and Vehicle Dynamics (Hardcover) p.627 Society of Automotive Engineers Inc (October 2002) ISBN-10: 0768011264 ISBN-13: 978-0768011265
- [2] Milliken, W. F., Milliken, D. L. Race Car Vehicle Dynamics (Hardcover) p. 993, SAE International (August 1995), ISBN-10: 1560915269 ISBN-13: 978-1560915263
- [3] Dóra, Sz., Csuzi, T., Bakó, Cs., Forsthofer, F., Csütörtöki, T.: Formula Student versenyautó futóművének tervezési alapjai, A jövő járműve, 2008:(1-2) pp. 59-63.
- [4] Bári, G.: Formula Student versenyautó futóművének tervezési alapjai, A jövő járműve, 2008:(3-4)
- [5] Dudás, Z.: Formula Student versenyautó négyhengeres benzinmotorjának modellezése és optimalizálása, A jövő járműve, 2008:(3-4)
- [6] Bári, G.: Application of Active Anti Roll Bar System for Enhancing Yaw Stability, FISITA 2008 World Automotive Congress

Addicionális elkormányzást megvalósító rendszer fejlesztése az EJJT-ben

Development of a system in AVVC accomplishing additional steering

SCHNELLBACH Ádám

Thyssenkrupp Presta
Hungary Kft.

Thyssenkrupp Presta
Hungary Ltd.

A cikk tárgya az elektromos kormányrendszerek egyik legígéretesebb típusa, valamint az EJJT-n belüli fejlesztés fázisai és eredményei.

The subject of the article is one of the most promising type of the electrical steering systems and the phases and results of the EJJT's research.

A PROJEKT CÉLJA

Napjaink hidraulikus, ill. elektrohidraulikus kormányrendszerei elérték határaikat. Az elektronikus nyomásvezérlés révén elért új funkciók (mint pl. sebességfüggő rásegítés) már a legvégső elérhető eredmények voltak. Ennek a menetbiztonság iránti növekvő igénynek és az erősödő környezettudatosságnak köszönhetjük, hogy a múlt század végén kezdtek megjelenni az elektronikus kormányrendszerek.

E cikk tárgyát képező rendszer ötlete abból az igényből született, hogy a Steer-by-Wire (mechanikus kapcsolat nélküli) kormányrendszerek funkcionalitását nyújthassuk a törvény által engedélyezett kereteken belül. A cél tehát a vezetőtől független szögbeavatkozást megvalósító kormányrendszer, amely nem nélkülözi a kormánykerék és a jármű kerekei közötti mechanikus kapcsolatot. Ez a rendszer az addicionális elkormányzást megvalósító rendszer, a SIA (Superimposed Angle Actuator).

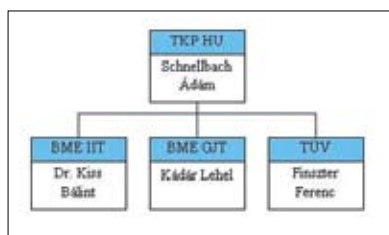
A PROJEKT RÉSZTVEVŐI

A projekt sikerességéhez több szervezet járult hozzá. A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem két, jelentős ipari kapcsolatokkal rendelkező tanszéke (Gépjárművek Tanszék – GJT és Irányítástechnika és Informatika Tanszék – IIT), és a projektet felügyelő cég (Thyssenkrupp Presta Hungary – TKP HU) mellett a TÜV-Nord Kft. (TÜV) vett részt a rendszer kidolgozásában, tesztelésében és minősítésében.

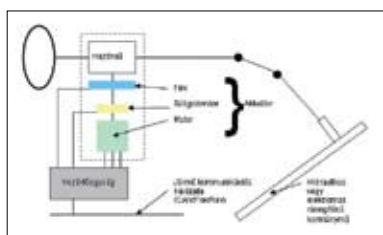
A szervezeti felépítést az alábbi ábra mutatja.

A RENDSZER FELÉPÍTÉSE

A rendszer felépítése látható az alábbi ábrán:



1. ábra: a projekt szervezeti felépítése
Figure 1: organizational structure of the project



2. ábra: a rendszer felépítése
Figure 2: system structure

PURPOSE OF THE PROJECT

Today's hydraulic and electro hydraulic steering systems have reached their boundaries. The new functions achieved by electronic pressure control, such as the speed-dependent assistance, seemed to be the ultimate attainable results. The implementation of electronic steering systems at the end of the past century was due to this fact, amongst others, as well as the increasing demands for the improvement of driving safety and the growing environment consciousness.

The idea of the system representing the subject matter of this article came from the demand of being able to provide the functionality of Steer-by-wire steering systems (without mechanical connection) within the statutory boundaries permitted by the law. The ultimate objective is to build a steering system that accomplishes angle actuation independent of the driver with the steering wheel mechanically connected to the tires of the vehicle. This system provides the facility of accomplishing additional steering and is called SIA (Superimposed Angle Actuator).

PARTICIPANTS OF THE PROJECT

Several organizations contributed to the success of the project. Two department of the Budapest University of Technology and Economics having significant industrial relations (Department of Vehicles (GJT) and Department of Control Engineering and Information Technology (IIT)) as well as the project supervising company (Thyssenkrupp Presta Hungary - TKP HU) and TÜV-Nord Kft. (TÜV) contributed to the development, testing and qualification of the system. The organizational structure is shown in the following figure.

SYSTEM STRUCTURE

The structure of the system is illustrated in the figure below.

As you can see it, the system comprises the following primary units:

- Drive unit: Wave drive enabling the additional angle
- Brake: Consistent magnetic brake ensuring mechanical connection even if the system is off
- Angle sensor: It measures the angle position of the engine shaft and is an important unit of the control loop
- Engine: The angle position of the engine shaft is to determine the additional angle
- Control unit: It calculates and controls the engine's

Amint az látható, a rendszer főbb elemei a következők:

- Hajtómű: hullámhajtómű, ez teszi lehetővé az addicionális szöget.
- Fék: állandómágneses fék, biztosítja a mechanikus kapcsolatot kikapcsolt rendszer esetén is.
- Szögsszenzor: a motor tengelyének szöghelyzetét méri, a szabályozási hurok fontos eleme.
- Motor: a motor tengelyének szöghelyzete határozza meg az addicionális szöget.
- Vezérlőegység: a járműhálózatról és a szögsszenzortól begyűjtött jelek alapján kiszámítja és vezérli a motor fázisáramait és a féket.

A hajtómű, a fék, a szenzor és a motor egy kompakt egységet képez (lásd a 3. ábrát), amit aktuátornak nevezünk.

Ez a kompakt felépítés teszi lehetővé a kormányoszlopba való integrálást, ami alapvető követelmény. Így mind a helyszükségletet, mind az ütközési biztonságot szem előtt tartó felépítést célozhatunk meg.

A RENDSZER MŰKÖDÉSI ELVE

A rendszer lelke a hajtómű, amely az alábbi egyenletet valósítja meg:

$$\varphi_{col} = \frac{i}{i+1} \varphi_{stw} + \frac{1}{i+1} \varphi_{mot} \quad (1),$$

ahol:

φ_{col} – az oszlop szöghelyzete (továbbiakban oszlopszög)

φ_{stw} – a kormánykerék szöghelyzete (továbbiakban kormánysszög)

φ_{mot} – a motor szöghelyzete (továbbiakban motorszög)

i – a hajtómű áttétele ($i=50$ a jelenlegi rendszerben)

Amint az az (1) egyenletben látható, az oszlopszöget a vezető által közvetlenül befolyásolt kormánysszög mellett a motorszög határozza meg. Ezzel tudjuk a vezetőtől független szögbeavatkozást elérni. Ugyanebből az egyenletből látszik az is, hogy a feladat lelke a motorszög szabályozása.

FUNKCIONALITÁSOK

A rendszer potenciális funkcionalitásait az (1) egyenlet által leírt tulajdonsága teszi lehetővé. Ezek a főbb funkciók az alábbiak:

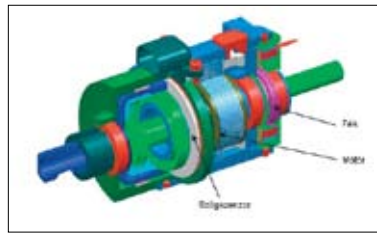
- Járműsebesség-függő áttétel: kisebb sebességeknél nagyobb áttétel a közvetlen kormányzási érzet és a nagyobb dinamika miatt; nagyobb sebességnél kisebb áttétel a nyugodtabb egyenesfutásért.
- Több áttétel-jellegmező közti váltás: a modern autókban a felüggesztésre és a motorvezérlő elektronikára ható Sport-Normal-Comfort kapcsoló választhat akár több karakterisztika között is.
- ESP-beavatkozási lehetőség: a fékalapú menetstabilizáló rendszereket kiegészítheti kormányalapú beavatkozás.
- Sávkövetés
- Automatikus / félautomatikus parkolás.

BIZTONSÁGI KOCKÁZATOK

Mivel kormányrendszerrel van szó, a biztonsági kockázatok és így a biztonsági követelmények nagyon magasak. A biztonságot szavatoló algoritmusokat a TKP HU a TÜV előírásvizsgálata alapján dolgozta ki és tesztelte le. A projekt utolsó évének feladata a biztonsági minősítő vizsgálatok kidolgozása.

A rendszer sajátossága és fő funkciója (a vezetőtől független szögbeavatkozás) miatt az önkormányzás (self-steering) nevű hiba nevezhető meg legkritikusabb kockázatként.

Emellett természetesen kritikus a mechanikus kapcsolat minden körülmények közötti biztosítása, amit a motor tengelyére ható fék szavatol.



3. ábra: SIA-aktuátor
Figure 3: SIA Actuator

phase currents and the brake according to the signals collected from the vehicle network and the angle sensor

The drive unit, brake, sensor and engine add up to a compact unit (see Figure 3) called the actuator.

This compact structure allows the system to be integrated in the steering column which is an essential requirement. This gives us the ability to set the target for building a structure that focuses on space demand and collision safety.

THE OPERATION PRINCIPLE OF THE SYSTEM

The soul of the system is the drive unit that realizes the following equation:

$$\varphi_{col} = \frac{i}{i+1} \varphi_{stw} + \frac{1}{i+1} \varphi_{mot} \quad (1),$$

where:

φ_{col} is the angle position of the column (hereinafter referred to as: column angle)

φ_{stw} is the angle position of the steering wheel (hereinafter referred to as: steering angle)

φ_{mot} is the angle position of the engine (hereinafter referred to as: engine angle)

i is the gear ratio of the drive unit ($i=50$ in the current system)

As you can see it from Equation 1, the column angle is determined by the steering angle directly influenced by the driver along with the engine angle. This can be used to achieve driver-independent angle manipulation. The same equation shows that the core of the task is the control of the engine angle.

FUNCTIONS

The potential functionalities of the system are provided by the characteristic of the system defined in Equation (1). These primary functions include the following:

- Vehicle speed-specific gear: Large gear ratio at low speed for direct steering perception and better dynamics; small gear ratio at high speed for more balanced straight running stability.
- Switching over multiple gear ratio characteristic fields: Modern cars enable their drivers to toggle between characteristics using the Sport-Normal-Comfort switch that controls the engine-control electronics and the suspension of the vehicle.
- ESP intervention facility: brake-based stabilizer systems can be completed with steering stabilizer intervention.
- Lane tracking
- Automatic / Semi-automatic parking manoeuvring

SAFETY RISKS

Speaking about a steering mechanism, it is understood that safety risks and hence safety requirements are very high. Safety algorithms have been developed and tested by TKP HU based on the regulation inspection of TÜV. The main task remaining for the last year of the project is to establish the safety qualification tests.

Due to nature and main function of the system (driver-independent angle manipulation), the most critical risk is considered to be the error called self-steering.

Apart from that, ensuring the mechanical connection under any circumstances is certainly a critical point, too. It is provided by the brake applying to the engine shaft.

A KÖVETELMÉNYEK FELMÉRÉSE

A projektet a rendszerrel szemben támasztott követelmények összegyűjtésével kezdtük, a projektben részt vevő partnerekkel együttműködve. A felmérés kiterjedt a rendszer mechanikai, elektromos és funkcionális tulajdonságaira, melyeket a résztvevők szakterületének megfelelő részekre bontottuk.

MECHANIKAI TERVEZÉS

A mechanikai tervezést a TKP HU mérnökei végezték. Az évek alatt összesen 5 aktuátorgeneráció látta meg a napvilágot. A változások a mechanikai elrendezést, a szenzorkoncepciót és a fékkoncepciót érintették. Az optimalizáció célja a helyszükséglet és a működés közben fellépő zaj csökkentése volt.

SZABÁLYZÓTERVEZÉS

A fő funkció teljesítményét leginkább befolyásoló pozíciószabályzás a TKP HU és az IIT közös munkájának az eredménye. A fejlesztés korai szakaszának legnagyobb feladata a hullámhajtómű mechanikai modelljének megalkotása volt. Olyan modellt kellett alkotni, amely mind a szabályzást, mind a paraméter-identifikációt könnyen lehetővé tette. Ezt követően az egyes szabályozási struktúrák és tervezési módszerek kutatása, implementálása, tesztelése és összehasonlítása következett. Természetesen a vevői visszajelzések és a fejlesztési prototípusokkal szerzett tapasztalatok is felhasználásra kerültek.

ALGORITMUSOK KIDOLGOZÁSA

A kormányzási algoritmusok kidolgozását a TKP HU és a GJT közösen végezte. Az algoritmusok részletes kidolgozása a vevői követelmények és járműves mérések tapasztalatai alapján történt.

SZOFTVERFEJLESZTÉS

A szoftverfejlesztés egy már meglévő platformapplikáció (moduláris architektúra, az alkalmazásspecifikus részek külön önálló egységet képeznek) architektúráján alapult, amit mind funkcionális, mind biztonsági szempontokat figyelembe véve fejlesztettek tovább a TKP HU fejlesztői. A szoftver is számos verziót látott meg, többek között a vezérlőegység generációváltásai miatt.

TESZTELÉSI ÉS FEJLESZTÉSI KÖRNYEZETEK

A fejlesztés során alapvetően három környezetben vizsgáltuk a rendszer működését.

- Szimulációs környezetben, ahol gyorsan, kis költséggel és kockázattal próbálhatók ki az új algoritmusok.
- Próbadpadon, ahol szintén kis költséggel és kis kockázattal tesztelhetők az új algoritmusok, viszont egy nagy lépéssel közelebb a valós körülményekhez.
- Járműben, ahol már a teljes rendszer viselkedése felmérhető.

KÖVETKEZŐ LÉPÉSEK

A projekt az EJIT keretein belül már a végéhez közelít, de a fejlesztés természetesen nem áll meg. A következő nagy lépés az egyéb járműdinamikai rendszerekkel való integrálás, ami lehetővé teszi a rendszerben rejlő lehetőségek még nagyobb fokú kiaknázását.

ASSESSMENT OF THE REQUIREMENTS

We started the project with collecting the requirements set for the system in cooperation with the participating partners. The assessment included the mechanical, electronic and functional characteristics of the system sorted by the field of expertise of our partners.

MECHANICAL DESIGN

Mechanical design was performed by the engineers of TKP HU. A total of 5 actuator generations have been developed throughout the years. The changes affected the mechanical layout, the sensor concept and the brake concept. Purpose of the optimization was to reduce the space demand and the operational noise.

CONTROLLING DESIGN

The position controlling primarily affecting the performance of the core function is the result of the cooperation of TKP HU and IIT. In the early stage of the development, the biggest task was to build the mechanical model of the wave drive. We had to build a model that enabled both control and parameter identification. It was followed by the research, implementation, testing and comparing of each controlling structure and design method. Certainly, customer feedback and the experiences gained from development prototypes were also used up.

DEVELOPMENT OF ALGORITHMS

Development of the steering algorithms was jointly performed by TKP HU and GJT. In-depth development of the algorithms was based on customer demands and the experiences from vehicle measurements.

SOFTWARE DEVELOPMENT

Software development was based on an existing platform application architecture (modular architecture, application-specific components form a separate unit) that was further developed by the developers of TKP HU considering both functional and safety aspects. The software was also running through several versions due to the new generations of the control unit, amongst others.

TESTING AND DEVELOPMENT ENVIRONMENTS

We basically used three environments to test the operation of the system during the development.

- Simulation environment: new algorithms can be tried at low cost with minimal risk.
- Test-bench: new algorithms can also be tried at low cost with minimal risk but much closer to real conditions.
- In-vehicle testing: the entire behaviour of the system can be observed and analyzed.

NEXT STEPS

The project is really closing to the end within the framework of AVVC but the development won't stop, of course. The next large step is to integrate the system into other vehicle dynamics systems allowing for the exploitation of further potentials of the system.

Járműforgalmi rendszerek modellezése és irányításának kutatása

Research for the modelling and control of traffic systems

Dr. PÉTER Tamás

Budapesti Műszaki és
Gazdaságtudományi Egyetem,
Budapest University
of Technology and Economics

Dr. BOKOR József

akadémikus, MTA SZTAKI
academician, MTA SZTAKI

A cikk rámutat a hazai közlekedés fejlesztésének kiemelt jelentőségére a 2007–2013 közötti időszakban. A témakörben áttekintést ad a BME EJJT-ben 2005-ben elindított kutatási munkákról. Bemutat egy ígéretes kutatási irányt, amely nemlineáris matematikai hálózati modellt alkalmaz a nagyméretű közlekedési hálózatok modellezésére.

The document demonstrates the significance of the development of home transportation in the 2007–2013 period. It also takes a short review of the researches started under the BME EJJT in 2005. The document also introduces a new line of study, which uses nonlinear mathematical network model for simulating huge transportation networks.

1. BEVEZETÉS

Az EU a 2007–2013 közötti időszakban prioritásként kezeli a közút- és vasútfejlesztést. Magyarország a II. Nemzeti Fejlesztési Terv keretében várhatóan mintegy 600 milliárd forintot költ a közösségi közlekedés fejlesztésére. A 2007–2013 között felhasználható európai uniós támogatás nagyságrendekkel több a 2004–2006 között elkülönített összegnél. 600 milliárd forintból megvalósulhat Budapest és a legnagyobb magyar városok komplex közösségi közlekedésfejlesztése, amely gyorsabb és kényelmesebb utazáshoz, a forgalmas utak tehermentesítéséhez vezet (MTI–2006. JAN. 17.).

2. KUTATÁSI TERÜLETEINK

A BME EJJT a témakör jelentőségét tekintve fontos feladatának tekint a közúti járműforgalmi rendszerek modellezése és irányítása témában az intenzív K+F munkákat, ezért az elmúlt évben az alábbi területeken indította el kutatásait: **I. A becslési eljárások elmélete és elvi módszerei.** Célja a nehezen vagy egyáltalán nem mérhető forgalmi paraméterek meghatározása. Az eredmények olyan döntések meghozatalánál hasznosíthatók, amelyek elősegítik a járműforgalom gyors és balesetmentes lefolyását. Ismertté teszik a „honnan-hová?” „milyen útvonalon?” forgalmi adatokat. A közlekedési részrendszer vizsgálatánál, ha ismerjük a több irányból beáramló és több irány felé kiáramló járművek számát, akkor becsülhető az, hogy valamely bemenet esetén a kiáramló járművek milyen irányokban távoznak (OD-matrix). Alkalmazása az autópálya-szakaszoknál a felhajtó és lehajtó ágaknál, körforgalomnál, ill. kereszteződésnél és városi forgalmi részrendszereknél hasznos. **II. A közúti közlekedés forgalmi paramétereinek a mérése, a mérés helyettesítése becsléssel.** A kutatás célja a közúti forgalom mérésénél továbbfejleszthető eljárások kiértékelése és a hatékony, automatikus forgalomszámláló rendszerek felépítése. Meghatározza azokat a közúti forgalmi paramétereket, amelyeknek mérése/becslése a feladat (pl. q: forgalom nagyság [Járműdb/idegys], d: forgalom sűrűség [Járműhossz x db/hosszegys], v: sebesség, tk: követési idő, hk: követési táv). Alkalmazása a műholdas helymeghatározás alapú forgalom méréseknél, továbbá

1. INTRODUCTION

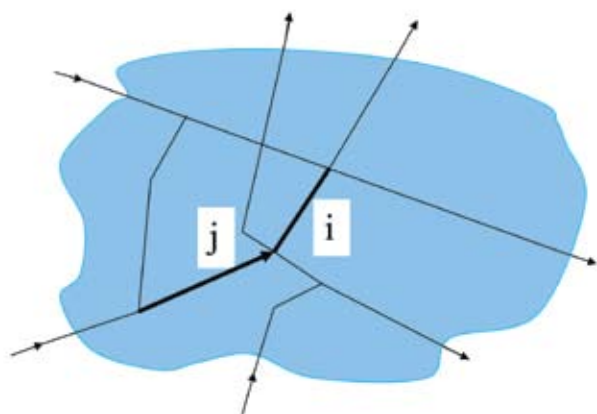
The European Union puts high priority on the development of public roads and railway lines during the 2007–2013 period. Hungary is expected to be granted about HUF 600 billion within the framework of the Second National Development Plan which we can spend on improving our community transportation facilities. The EU support to be used between 2007 and 2013 significantly exceeds the funds isolated from 2004 to 2006. The HUF 600 billion support is enough to accomplish the complex community transportation development of Budapest and the major cities of Hungary resulting in faster and more comfortable travelling as well as the relief of load of heavy-traffic public roads (MTI (Hungarian News Agency) – Jan 17, 2006).

2. RESEARCH AREAS

With respect to the significance of this topic, BME EJJT considers an important task to conduct intensive R+D projects in the field of modelling and controlling public road traffic systems, and therefore it commenced research projects last year in the following areas: **I. The theory and theoretical methods of estimation procedures.** The purpose of these procedures is to identify hard-to-count or uncountable traffic parameters. The results can be used to make decisions that promote fast and accident-free vehicle traffic. These results also reveal traffic details such as “from-to” and “on what route”. If the number of vehicles incoming from multiple directions and outgoing to multiple directions is known, the inspection of the transportation sub-system leads to the estimation of outgoing directions of vehicles assigned to particular incoming directions. (OD-matrix). The application of such details can be useful for the inspection of motorway exits and entries, roundabouts, junctions and city traffic sub-systems. **II. Measurement of traffic parameters of the public road transportation; substituting measurement with estimation.** The purpose of the research is to evaluate the developable procedures of traffic count on public road and to build effective automatic traffic count systems. It de-

olyan videós forgalmelmérésnél jelentős, amely alapján szinte minden, a forgalom lefolyására jellemző adat meghatározható a képmátrix-analízissel. **III. A közúti közlekedésben jelenleg használt modellcsoportok (közlekedési) elmélete.** A kutatási munka a közúti közlekedési modellcsoportokat vizsgálja a forgalom tervezésének szimulációs eszközökkel történő végrehajtása szempontjából. A saját szoftver kifejlesztését az indokolja, hogy a különféle más szoftverek által használt forgalmi modellek többnyire nem, vagy csak részben hozzáférhetők és direkt módon nem használhatóak a kutatásaink támogatására, továbbá igen csekély programozással bírnak. Eredménye saját mikroszkopikus modell megalkotásánál, a járművek és vezetőik viselkedésének vizsgálatánál fontos. Alkalmazása a szabadáramlási modellek; járműkövetési modellek; sávváltási modellek; objektumtól (lámpáktól, tábláktól) függő döntési modelleknél történik. **IV. A közúti közlekedésben használatos egyéb modellcsoportok elmélete szabad áramlási viszonyoknál.** A kutatás célja modellosztályok vizsgálata a közúti közlekedési rendszerek irányításához és a mesterséges intelligencia alkalmazását javasolja a további vizsgálatokhoz. Értékeli az ágensalapú modellezés lehetőségeit és a több ágensből álló rendszerek kapcsolatba lépését. Alkalmazása a kooperáló közúti kereszteződésekénél fontos. **V. A közlekedésmérnöki gyakorlatban a hálózatok leírására jelenleg használt modellek áttekintése.** Célja speciális makroszimulációs program kifejlesztése a nagyméretű közlekedési hálózatok modellezésére. Az útszakaszokon szimulációt hajt végre és magában hordozza a többsávos szimuláció lehetőségét is. A modellt generáló program „Térképfelvitel” ablakkal indít és itt lehet megadni az úthálózat gráfját, a szakaszok forgalmi adatait. Ezt követi a szimulációs rész. Alkalmazása szakértői rendszerként történik, a nagyméretű közlekedési hálózatok szűk keresztmetszeteinek meghatározására, ill. az áttervezések hatásainak elemzésére. **VI. A diszkrét eseményű dinamikus rendszereket leíró eljárások elmélete.** A kutatás a közlekedési hálózatok működésének leírására irányul a diszkrét eseményű rendszerek elméletének alkalmazásával. Az eredmények elsősorban az automaták és Petri-hálók alkalmazási területein jelentkeznek és a közlekedési csomópontok és az ezeket összekötő úthálózatok modellezési technikáihoz kapcsolódnak, továbbá új programfejlesztési lehetőségeket biztosítanak. **VII. A közúti közlekedési modellek paramétereinek vizsgálata a szabályozás szempontjából.** A kutatások a közúti közlekedési rendszereknél felvett/mért paraméterek változásának a rendszerek tulajdonságaira gyakorolt hatását elemzik. Az előállított érzékenységi értékek alapján lehet kiválasztani azokat a paramétereket, amelyeknek a pontos ismerete kiemelt feladat. Az alkalmazási elemzés alapja egy szabad áramlású autópálya-rendszer vizsgálata. A rendszer modellezése MATLAB Simulink-programmal

termines the public road traffic parameters whose measurement/estimation is the task itself. (e.g. q : traffic volume [pcs of vehicle/time unit], d : traffic density [veh. lgth x pcs/lgth unit], v : velocity (speed), tk : time interval, hk : distance interval). It can be used for satellite positioning-based traffic count and such video-based traffic count that allows the identification of almost all traffic details by the image matrix analysis. **III. The (transportation) theory of model groups currently used in public road transportation.** The research project inspects the public road transportation model groups with respect to the traffic planning performed by simulation tools. The development of our own software is justified by the fact that the majority of other traffic models used by different software products are not, or just partly accessible and cannot be directly used to assist our research projects. Additionally, their programmability is very poor. It can be used to create our own microscopic model and to examine the behaviour of vehicles and their drivers. Its application area includes free-flow models, vehicle tracking models, lane-changing models and decision models subject to objects (traffic lights, signs). **IV. The theory of other model groups used in public road transportation when free-flow conditions are provided.** The purpose of the research is to inspect model classes for public road traffic control purposes. It recommends the application of artificial intelligence for all other inspections. It evaluates the opportunities of agent-based modelling and the interlinking of multi-agent systems. It can be used for cooperating public road junctions. **V. Review of models currently used for network definition in the traffic engineering practice.** The purpose of this research is to develop a macro-simulation programme for the modelling of large transportation networks. It performs simulation on the road stages and includes the facility of multi-lane simulation. The model-generating program starts up with an “Add Map” window enabling to specify the road network graph and traffic details of each stage. This is followed by the simulation part. It is used as an expertise system allowing for the identification of the narrow cross-sections of large transportation networks and the analysis of the impacts of re-plannings. **VI. The theory of procedures defining dynamic systems with discrete event.** The research focuses on the definition of operation of transportation networks using the theory of systems with discrete events. The results mainly appear in the application areas of automats and Petri nets and are related to the modelling techniques of transportation junctions and the connecting road networks. Additionally, they provide new program development facilities. **VII. The inspection of parameters of public road transportation models in terms of traffic control.** The research projects analyse the impacts of the change in adopted/measured parameters from the public road transportation systems on the characteristics of systems. The generated sensitivity values can be used to select the parameters of which exact identification is a high priority task. The basis of the application analysis is the inspection of a free-flow motorway system. The system was modelled by the MATLAB Simulink software. Accuracy of the model has also been verified by the data collected from national motorways. **VIII. Theory and methodologies of control strategies and procedures derived from control engineering with respect to the special demands of public road transportation.** This research project focuses on the overview of control engineering strategies based on the special demands of public road transportation systems. Their results are adopted in the field of controlling motorways, motorway networks and traffic junctions in cities. This job serves as a fundament for controlling tasks to be accom-



1. ábra: a j -ik szakasz dolgozik az i -ik szakaszra
Figure 1: stage j works for stage i

történt. A modell helyességét a hazai autópályákról begyűjtött adatok alapján is ellenőrizték. **VIII. Az irányítástechnikából ismert irányítási stratégiák, eljárások elmélete és módszerei, tekintettel a közúti közlekedés speciális igényeire.** A kutatás az irányítástechnikai stratégiák áttekintésére irányul a közúti közlekedési rendszerek speciális igényei alapján. Eredményei az autópálya és autópálya-hálózatok szabályozása és a városi közlekedési csomópontok szabályozási területein mutatkoznak. A munka alapját képezi a későbbi konkrét közlekedési rendszereknél megvalósítandó szabályozási feladatoknak. **IX. Autópálya-forgalom és járműirányítások.** Célja az autópálya-forgalom-irányítás és járművek mikromodelljén alapuló járműirányítási módszerek kidolgozása. Eredményei az autópálya-forgalom irányításához kapcsolódó dinamikus modellek leírásánál jelentkeznek. Korszerű irányítástechnikai módszereket alkalmaz korszerű optimumkereső eljárások kidolgozásával. Alkalmazása az autópálya-forgalom-irányításnál, automatikus ütközésmentes pályatervezésnél és pályakövetés megvalósításánál fontos. **X. Városi forgalomirányítási stratégiák korszerű megközelítési módszerei.** A kutatás áttekinti a létező jelzőlámpás irányítási rendszerek tulajdonságait és vizsgálja a problémakör játékelméleti, mesterséges intelligencia módszereken alapuló megközelítését. Javaslatokat ad olyan forgalomirányítási algoritmusokra, amelyek játékelméleti problémának tekinthetők és az egyes kereszteződések töltik be a játékos szerepét. Minden játékos igyekszik a megfelelő zöld jelzés kialakításával a saját költségét minimalizálni, amely leginkább a hozzá csatlakozó útszakaszok tehermentesítéséből áll. A játékosok döntéseiben megjelenít egy globális költséget is. (Amely az egész úthálózat optimumtól való távolságát fejezi ki.) Alkalmazása Matlab környezetben kerül realizálásra és ezt a modellt használják fel a forgalomirányításra javasolt játékelméleti algoritmusok is.

3. A NEMLINEÁRIS HÁLÓZATI MODELL KAPCSOLATI MÁTRIXAI

Tekintsük az n útszakaszból álló közlekedési hálózati modellünket, amely a közúti/városi közlekedési rendszer, egy zárt görbével körülhatárolt tartományát vizsgálja (1. ábra). Ebben a tartományban a térkép alapján beszámozzunk minden figyelembe veendő útszakaszt és parkolót. A gráf éleinek beszámozása, geometriai és kapcsolati adatainak rögzítése egérművelettel történik és ezek az adatok egy fájlba kerülnek. Egyúttal automatikusan kiszámoljuk a szakaszok hosszát és a szakaszokon maximálisan megjeleníthető járműszámokat, egységjárműre számítva. (A parkolóknál a maximális járműszámokat megadjuk.) A hálózati matematikai modell megalkotásához alapvető fontossággal bír a hálózatot definiáló kapcsolati mátrixok megadása. A modellünk három kapcsolati mátrixot alkalmaz. Ezek közül tekintjük először a belső hálózati kapcsolati mátrix felépítését.

3.1. A BELSŐ HÁLÓZATI KAPCSOLATI MÁTRIX

A kapcsolati mátrix felépítése oszloponként történik: végigmegyünk minden j szakaszon és a j oszlop minden olyan i -ik sorába beírjuk a K_{ij} kapcsolati függvényt ($i \neq j, 1 \leq i, j \leq n$), ahol a gráf felépítésénél nemzérus kapcsolati kód adódott (2. ábra). A kapcsolati mátrix K_{ij} kapcsolati függvényénél figyelembe kell venni minden, a forgalmi rend kialakításánál meghatározott szabályozási kapcsolati jellemzőt (pl. lámpa vagy lámpa nélküli, útszakasz-parkoló stb. kapcsolatokat), ezeket írjuk le a $k_{ij}(t)$ függvénnyel. Ezen kívül figyelembe kell venni, hogy a forgalom létrejöttékor fellépnek belső szabályozási automatizmusok is! Modellünkben, a forgalom sűrűségétől függő belső szabályozásokat vettük figyelembe az $S_i(t)$, $E_j(t)$ és $v_{ij}(t)$ függvények alkalmazásával. Tehát a K_{ij} -t négy tényező határozza meg. A $k_{ij}(t)$ függvény értéke, ha lámpa van, az 1,0 értéket veszi fel, a lámpa állapota szerint. Ha állandó lámpa nélküli kapcsolat van és a j szakasz csak i -re dolgozik, akkor 1 konstans az értéke, ha nincs geometriai kapcsolat a két szakasz között, akkor 0

$$\mathbf{K} = \begin{bmatrix} \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \end{bmatrix}$$

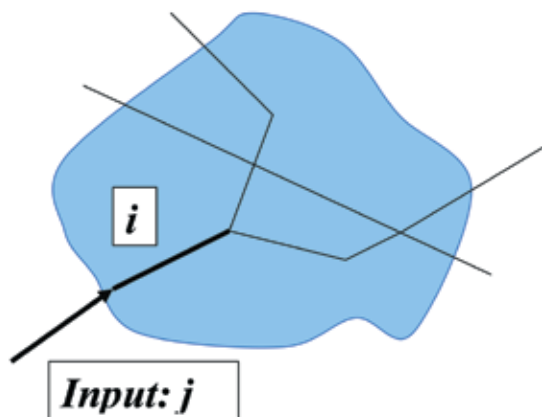
j-ik szakasz kapcsolata (j)

i-ik szakasszal....(i)

$K_{ij} = k_{ij}(t) S_i(t) E_j(t) v_{ij}(t) \dots$

2. ábra: a belső hálózati kapcsolat mátrix

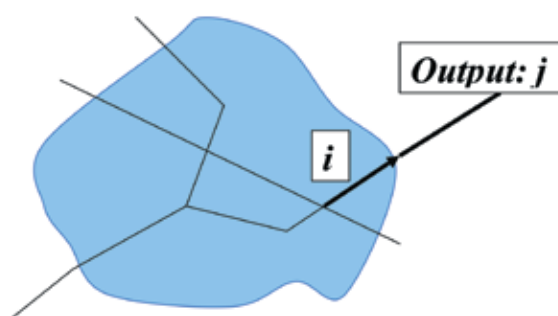
Figure 2: the internal network connection matrix



3. ábra: a j-ik inputszakasz dolgozik az i-ik szakaszra

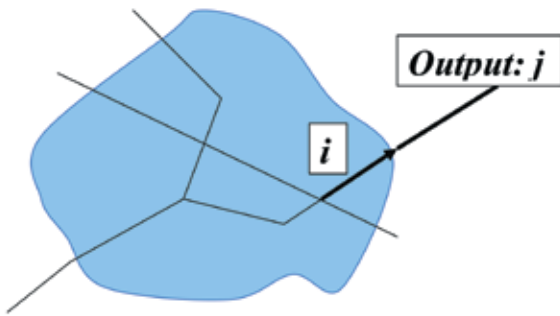
Figure 3: input stage j works for stage i

plished in specific transportation systems in the future. **IX. Motorway traffic and vehicle controls.** The purpose of this research project is to develop vehicle controlling methods based on the micro models of traffic and vehicle control. The results are adopted in the definition of dynamic models relating to the traffic control of motorways. It uses cutting edge control engineering methods combined with the development of modern optimizing procedures. The application area includes the traffic control of motorways, automatic collision-free trajectory planning and tracking functions. **X. The modern approaching methods of municipal traffic control strategies.** The research gives an overview of the characteristics of the existing traffic light control systems and inspects the game theory and artificial intelligence approach of the subject matter. It provides recommendations on traffic control algorithms that can be considered game theory problems with each junctions functioning as a player. Each player is trying to optimize its costs through with development of appropriate green signals that is primarily achieved through



4. ábra: az input kapcsolati mátrix

Figure 4: the input connection matrix



5. ábra: az i -ik szakasz dolgozik a j -ik output szakaszra
Figure 5: stage i works for output stage j

konstans. Ha a j -ik szakasz több szakaszra dolgozik lámpa nélkül, akkor $0 < \alpha_{ij} < 1$ elosztási arányt vesz fel, ahol egy oszlopban $\sum_{(j)} \alpha_{ij} = 1$. Ha a kapcsolatot zavarják, pl. keresztező járművek, gyalogosok vagy baleset, akkor $0 < \beta_{ij} < 1$ zavarási tényező értéket vesz fel. Ha a kapcsolatot segítik, pl. másik irányt keresztező járművek vagy rendőr, akkor $1 + \beta_{ij}$ rásegítési tényező értéket vesz fel. Ha egyszerre van jelen elosztás és zavarás, ill. elosztás és rásegítés is, akkor $\alpha_{ij} \beta_{ij}$ ill. $\alpha_{ij} (1 + \beta_{ij})$ szorzat lép fel. Az α_{ij} és β_{ij} általában konstans értékek, de a modell finomítása során lehetnek $\alpha_{ij} = \alpha_{ij}(t)$, $\beta_{ij} = \beta_{ij}(t)$ időtől függő függvények is. Végül a parkoló és útszakasz kapcsolatát $v_{ij} = v_{ij}(t)$, függvénnyel adjuk meg. Az $S_i(t)$ automatikus belső önszabályozási függvény 1,0 értéket vesz fel. Kapcsolat engedélyezése, ha az i -ik szakasz sűrűsége $s_i(t)$ kisebb, mint 1, egyébként 0. Az $E_j(t)$ automatikus belső önszabályozási függvény 1,0 értéket vesz fel. Kapcsolat tiltása, ha a j -ik szakasz sűrűsége $s_j(t)$ kisebb, mint 0, egyébként 1. $v_{ij}(t)$ A j -ik szakaszból i -ik szakaszra történő áthaladás sebessége, amely a csatlakozó szakaszok sűrűségeinek függvénye, $v_{ij}(t) = f(s_i(t), s_j(t))$. K_{ij} kapcsolati függvényt, a j -ik oszlopban szereplő K_{ij} függvények összegének ellentettje adja, mivel minden realizált átadás esetén a j -ik szakaszból elvonás történik. Az inputok és outputok kapcsolatát, praktikus okok miatt célszerű külön kezelni a hálózat belső kapcsolataitól. Tekintsük először az inputok hálózati kapcsolatát (3. ábra).

3.2. AZ INPUT KAPCSOLATI MÁTRIX

A térkép alapján beszámolunk minden figyelembe veendő input szakaszról. Ezek rendje: $j=1,2,3, \dots, n_{inp}$. A kapcsolati mátrix felépítése szintén oszloponként történik: végigmegyünk minden j input szakaszon és a j oszlop minden olyan i -ik sorába beírjuk a K_{ij}^{inp} kapcsolati függvényt, ahol a gráf felépítésénél nemzérus kapcsolati kód adódott (4. ábra). Az n szakaszból álló hálózathál: $1 \leq i \leq n$, $1 \leq j \leq n_{inp}$. $K_{ij}^{inp}(t)$, ha lámpa van, az 1,0 értéket veszi fel a lámpa állapota szerint. Ha állandó lámpa nélküli kapcsolat van és a j inputszakasz csak i -re dolgozik, akkor 1 konstans az értéke, ha nincs geometriai kapcsolat a két szakasz között, akkor 0 konstans értéket vesz fel. Ha a j -ik inputszakasz több szakaszra dolgozik, akkor $0 < \alpha_{ij} < 1$ elosztási arányt vesz fel. $\sum_{(j)} \alpha_{ij} = 1$. Ha a kapcsolatot zavarják pl. keresztező járművek, gyalogos forgalom vagy baleset, akkor $0 < \beta_{ij} < 1$ zavarási tényező értéket vesz fel. Ha a kapcsolatot segítik pl. másik irányt keresztező járművek vagy rendőr, akkor $1 + \beta_{ij}$ rásegítési tényező értéket vesz fel. Ha egyszerre van jelen elosztás és zavarás, ill. elosztás és rásegítés is, akkor $\alpha_{ij} \beta_{ij}$ ill. $\alpha_{ij} (1 + \beta_{ij})$ szorzat lép fel. $S_i(t)$ Automatikus belső önszabályozó függvény 1,0 értéket vesz fel. Kapcsolat engedélyezése, ha az i -ik szakasz sűrűsége $s_i(t)$ kisebb, mint 1, egyébként letilt és 0 értéket vesz fel. $v_{ij}(t)$ A j -ik inputszakaszból i -ik szakaszra történő áthaladás sebessége, amely a két csatlakozó szakasz sűrűségei által determinált függvény, $v_{ij}(t) = f(s_i(t), s_j^{inp}(t))$. Az $s_j^{inp}(t)$ sűrűséget gerjesztő függvény.

the load-relief of connecting road stages. It also shows a global cost through the decisions of the players. (This cost indicates the distance of the entire road network from the optimum). It is applied in the Matlab environment and the same model is used by the game theory algorithms recommended for traffic control purposes.

3. CONNECTION MATRIXES OF THE NONLINEAR NETWORK MODEL

Let's have a look at our transportation network model, comprising n road stages, that inspects a range of the public road/municipal traffic system delimited by a closed loop (Figure 1). We take this range and numerate each road stage and parking area to be considered therein. Numeration of the edges of the graph as well as the registration of geometrical and connection data are made by mouse operation. After that, the generated data is saved in a file. At the same time, the length of stages and the maximum number of vehicles that can be displayed on each stage are also calculated, broken down to vehicle units. (Maximum number of vehicles is provided for parking areas.) Determination of the connection matrixes defining the network has a significant role in the establishment of the mathematical network model. Our model includes three connection matrixes. First, let's have a look at the structure of the internal network connection matrix.

3.1. THE INTERNAL NETWORK CONNECTION MATRIX

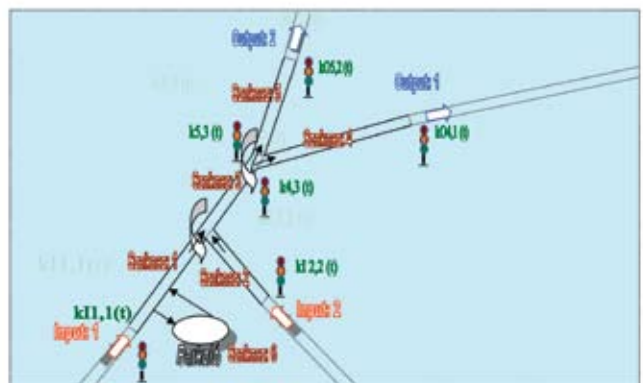
The connection matrix is structured by columns: we go through each stage "j" and insert the K_{ij} connectivity function into every "i" row of column "j" ($i \neq j$, $1 \leq i, j \leq n$) where there is a non-zero connectivity code is given for the graph's structure (Figure 2). Each and every controlling connection attribute (e.g. with or without traffic light, road stage - parking area, etc. connections) determined during the development of the traffic order has to be taken into account for the K_{ij} connectivity function of the

$$K_{ij}^{outp} = \begin{bmatrix} \dots & K_{ij}^{outp} = k_{ij}^{outp}(t) E_i(t) v_{ij}(t) \dots \end{bmatrix}$$

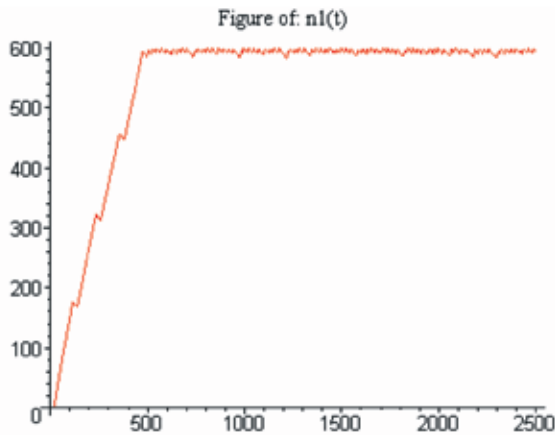
j-ik output kapcsolata (j)

i-ik szakasszal... (i)

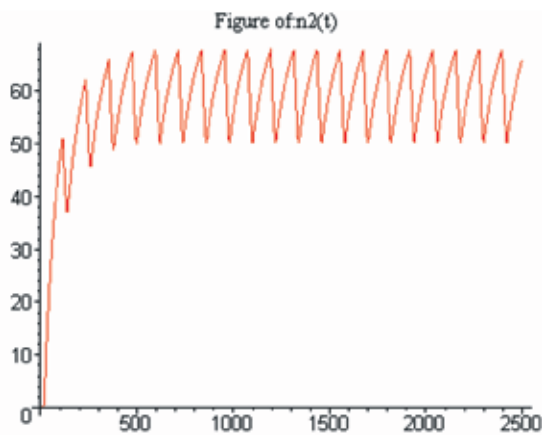
6. ábra: az output kapcsolati mátrix
Figure 6: the output connection matrix



7. ábra: hálózati mintamodell
Figure 7: network sample model



8. ábra: járműszámok az 1-es szakaszon
Figure 8: vehicle numbers on stage 1



9. ábra: járműszámok a 2-es szakaszon
Figure 9: vehicle numbers on stage 2

Tekintsük ezt követően az outputok kapcsolatát (5. ábra).

3.3. AZ OUTPUT KAPCSOLATI MÁTRIX

Szintén a térkép alapján beszámozunk minden figyelembe veendő output szakaszt. Ezek rendre: $j=1,2,3, \dots, n_{\text{outp}}$. A kapcsolati mátrix felépítése szintén oszloponként történik: végigmegyünk minden j output szakaszon és a j oszlop minden olyan i -ik sorába beírjuk a K_{ij}^{outp} kapcsolati függvényt, ahol a gráf felépítésénél nemzérus kapcsolati kód adódott. Ahol n szakaszból álló hálózatról: $1 \leq i \leq n$; $1 \leq j \leq n_{\text{outp}}$. A $k_{ij}^{\text{outp}}(t)$ függvényre vonatkozó leírás azonos az inputoknál megadott kapcsolati függvényre. Az $E_i(t)$ automatikus belső önszabályozó függvény 1,0 értéket vesz fel. Kapcsolat engedélyezése, ha az i -ik szakasz sűrűsége $s_i(t)$ nagyobb, mint 0, egyébként letilt. $v_{ij}(t)$ Az i -ik szakaszból j -ik output szakaszra történő áthaladás sebessége, amely a két csatlakozó szakasz sűrűségei által determinált függvény, $v_{ij}(t) = f(s_i(t), s_j^{\text{outp}}(t))$ $s_j^{\text{outp}}(t)$ sűrűséget gerjesztő függvény.

4. NEMLINEÁRIS HÁLÓZATI MODELL A NAGYMÉRETŰ KÖZLEKEDÉSI HÁLÓZATOK MODELLEZÉSÉRE

Tekintsük a hálózatot t időpontban és vizsgáljuk a $t+\Delta t$ időpontban kialakult helyzetet. Egymáshoz csatlakozó szakaszokon Δt időtartam alatt a v_{ij} sebességgel átáramló járművek $\Delta l = v_{ij} \Delta t$ úthosszat tesznek meg. 100%-os járműsűrűség esetén és h várható (átlagos) járműhossz érték mellett a Δn átadott járműszám: $\Delta n = \Delta l/h = v_{ij} \Delta t/h$. Természetesen a j szakaszból való átadott járműszámot befolyásolja a j szakaszon mérhető s_j járműsűrűség értéke is, így: $\Delta n = s_j$

connection matrix. These attributes are defined with the $k_{ij}(t)$ function. The internal controlling automatisms activated during the generation of the traffic also need to be considered!

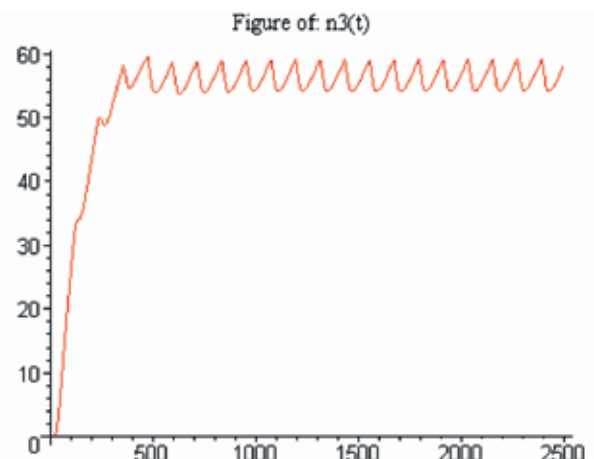
In our model, we used traffic density-dependent internal regulations through the application of $S_i(t)$, $E_i(t)$ and $v_{ij}(t)$ functions. Therefore, K_{ij} is defined by four factors. The value of $k_{ij}(t)$ function is 1,0 if a traffic lamp is present according to the status of the lamp. If there is a permanent connection without lamp and stage j works only for stage i , it has the constant value of 1; on the contrary, if there is no geometrical connection between the two stages, the value is a constant zero. If stage j works for multiple stages with no lamp present, then it takes the distribution ratio $0 < \alpha_{ij} < 1$ where in a column $\sum_{(i)} \alpha_{ij} = 1$. If the connection is disturbed by intersecting vehicles, pedestrians or an accident, for example, then it takes the disturbance factor $0 < \beta_{ij} < 1$. If the connection is supported by vehicles or a policeman intersecting the other direction, then it takes the supporting factor $1 + \beta_{ij}$. If, at the same time, distribution and disturbance or distribution and support are present, then the product $\alpha_{ij} \beta_{ij}$ or $\alpha_{ij} (1 + \beta_{ij})$ respectively, will be applied. α_{ij} and β_{ij} are usually constant values; however, there might be $\alpha_{ij} = \alpha_{ij}(t)$, $\beta_{ij} = \beta_{ij}(t)$ time-dependent functions as well through the fine tuning of the model.

At last, we define the connection of the road stage and the parking area with the $\gamma_{ij} = \gamma_{ij}(t)$ function. $S_i(t)$ is an automatic self-regulating function with a value of 1,0. If the density of stage $i = s_i(t)$ is less than 1, the connection is established, otherwise the value is zero. $E_i(t)$ is an automatic self-regulating function with a value of 1,0. If the density of stage $j = s_j(t)$ is less than 0, the connection is aborted, otherwise the value is 1. $v_{ij}(t)$ It is the velocity of passing through from stage j to stage i . That is, the function of densities of the connecting stages, $v_{ij}(t) = f(s_i(t), s_j(t))$.

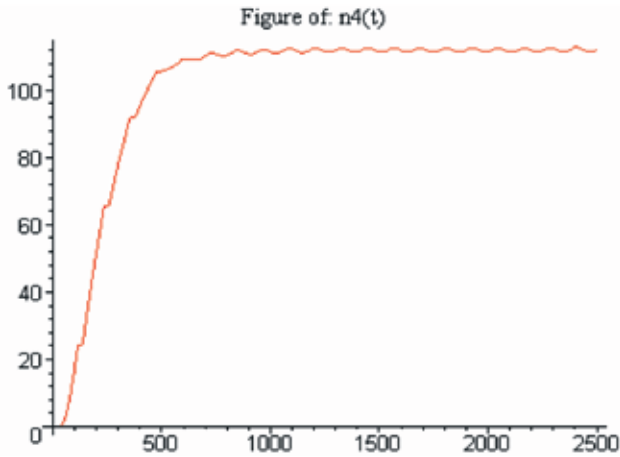
The K_{ij} connectivity function is calculated from the opposite of the sum of K_{ij} functions in column j , as all realized passes involve an abstraction from stage j . For practical considerations, the connection of inputs and outputs is recommended to be handled separately from the internal connections of the network. First, let's see the network connection of the inputs in Figure 3.

3.2. THE INPUT CONNECTION MATRIX

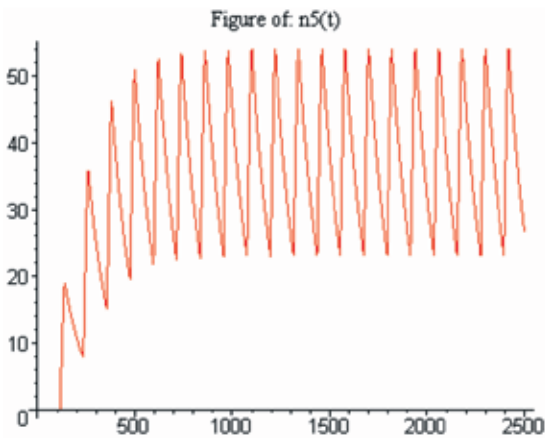
As the initial step, each stage to be considered shall be numerated based on the map. That is: $j=1,2,3, \dots, n_{\text{inp}}$. The connection



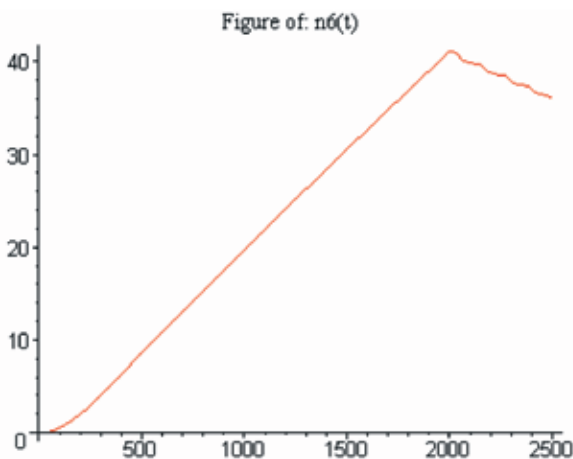
10. ábra: járműszámok a 3-as szakaszon
Figure 10: vehicle numbers on stage 3



11. ábra: járműszámok a 4-es szakaszon
Figure 11: vehicle numbers on stage 4



12. ábra: járműszámok az 5-ös szakaszon
Figure 12: vehicle numbers on stage 5



13. ábra: járműszámok a parkolóban
Figure 13: vehicle numbers in the parking area

$v_{ij} \Delta t/h$. Ez alapján a hálózat egyes szakaszain tartózkodó járművek számát $t+\Delta t$ időpontban az alábbi (1) egyenletrendszer írja le:

$$\begin{aligned} \underline{N}_{(n \times 1)}(t+\Delta t) &= \underline{N}_{(n \times 1)}(t) + \underline{K}_{(n \times n)}[k_{ij}(t) S_i(t) E_j(t) v_{ij}(t)] \underline{N}_{(n \times 1)}^a[s_j(t)] \\ \Delta t/h + \underline{K}_{(n \times n_{inp})}^{\text{inp}}[k_{ij}^{\text{inp}}(t) S_i(t) v_{ij}(t)] \underline{N}_{(n_{inp} \times 1)}^{\text{inp}}[s_j^{\text{inp}}(t)] \Delta t/h - \\ \underline{K}_{(n \times n_{outp})}^{\text{outp}}[k_{ij}^{\text{outp}}(t) E_i(t) v_{ij}(t)] \underline{N}_{(n_{outp} \times 1)}^{\text{outp}}[s_j^{\text{outp}}(t)] \Delta t/h \end{aligned} \quad (1)$$

matrix is also structured by columns: as we go through each input stage "j", we insert the K_{ij}^{inp} connectivity function into every "i" row of column "j", where there is a non-zero connectivity code is given for the graph's structure (Figure 4).

For the network comprising n stages: $1 \leq i \leq n$; $1 \leq j \leq n_{\text{inp}}$. The value of $k_{ij}^{\text{inp}}(t)$ function is 1,0 if a traffic lamp is present according to the status of the lamp. If there is a permanent connection without lamp and the input stage j works only for stage i , it has the constant value of 1; on the contrary, if there is no geometrical connection between the two stages, the value is constantly zero. If input stage j works for multiple stages, then it takes the distribution ratio $0 < \alpha_{ij} < 1$. $\sum_{(i)} \alpha_{ij} = 1$. If the connection is disturbed by intersecting vehicles, pedestrians or an accident, for example, then it takes the disturbance factor $0 < \beta_{ij} < 1$. If the connection is supported by vehicles or a policeman intersecting the other direction, then it takes the supporting factor $1 + \beta_{ij}$. If, at the same time, distribution and disturbance or distribution and support are present, then the product $\alpha_{ij} \beta_{ij}$ or $\alpha_{ij} (1 + \beta_{ij})$ respectively, will be applied. $S_i(t)$ is an automatic self-regulating function with a value of 1,0. If the density of stage $i = s_i(t)$ is less than 1, the connection is established, otherwise the value is zero and the connection is aborted. $v_{ij}(t)$ It is the velocity of passing through from input stage j to stage i . That is, the function determined by the densities of the two connecting stages, $v_{ij}(t) = f(s_i(t), s_j^{\text{inp}}(t))$. The density of $s_j^{\text{inp}}(t)$ is an inductive function. Then, let's have a look at the output connections in Figure 5.

3.3. THE OUTPUT CONNECTION MATRIX

The same way as performed above, each output stage to be considered shall be numerated based on the map. That is: $j=1,2,3, \dots, n_{\text{outp}}$. The connection matrix is also structured by columns: as we go through each output stage "j", we insert the K_{ij}^{outp} connectivity function into every "i" row of column "j", where there is a non-zero connectivity code is given for the graph's structure. For the network comprising n stages: $1 \leq i \leq n$; $1 \leq j \leq n_{\text{outp}}$. The definition concerning the $k_{ij}^{\text{outp}}(t)$ function is the same as the one specified for input connectivity functions. $E_i(t)$ is an automatic internal self-regulating function with a value of 1,0. If the density of stage $i = s_i(t)$ is more than 0, the connection is established, otherwise the value is zero and the connection is aborted. $v_{ij}(t)$ It is the velocity of passing through from stage i to output stage j . That is, the function determined by the densities of the two connecting stages, $v_{ij}(t) = f(s_i(t), s_j^{\text{outp}}(t))$. The density of $s_j^{\text{outp}}(t)$ is an inductive function.

4. NON-LINEAR NETWORK MODEL USED FOR THE MODELLING OF LARGE TRANSPORTATION NETWORKS

Let's take the network at t time and examine the situation generated at $t+\Delta t$ time. The vehicles passing through the connecting stages with v_{ij} speed under Δt duration accomplish a stage with a length of $\Delta l = v_{ij} \Delta t$. If vehicle density is 100% and the expected (average) vehicle length is indicated with "h", the number of passed vehicles Δn : $\Delta n = \Delta l/h = v_{ij} \Delta t/h$. Certainly, the effective number of vehicles passed from stage j is influenced by the vehicle density measured on stage j (s_j), therefore: $\Delta n = s_j v_{ij} \Delta t/h$. Therefore, the number of vehicles present on each stage of the network at $t+\Delta t$ time is defined by the following equation system (1):

$$\begin{aligned} \underline{N}_{(n \times 1)}(t+\Delta t) &= \underline{N}_{(n \times 1)}(t) + \underline{K}_{(n \times n)}[k_{ij}(t) S_i(t) E_j(t) v_{ij}(t)] \underline{N}_{(n \times 1)}^a[s_j(t)] \\ \Delta t/h + \underline{K}_{(n \times n_{inp})}^{\text{inp}}[k_{ij}^{\text{inp}}(t) S_i(t) v_{ij}(t)] \underline{N}_{(n_{inp} \times 1)}^{\text{inp}}[s_j^{\text{inp}}(t)] \Delta t/h - \\ \underline{K}_{(n \times n_{outp})}^{\text{outp}}[k_{ij}^{\text{outp}}(t) E_i(t) v_{ij}(t)] \underline{N}_{(n_{outp} \times 1)}^{\text{outp}}[s_j^{\text{outp}}(t)] \Delta t/h \end{aligned} \quad (1)$$

$\underline{N}_{(n \times 1)}^a [s_j(t)] \Delta t/h$, $\underline{N}_{(n \times 1)}^{inp} [s_j^{inp}(t)] \Delta t/h$ a j -ik szakaszcól, 1 m/s sebesség mellett átdott járműszámokat tartalmazó vektorok, $\underline{N}_{(n \times 1)}^{outp} [s_j^{outp}(t)] \Delta t/h$ pedig, az i -ik szakaszcól, 1 m/s sebesség mellett kiáramló járműszámokat tartalmazó vektorok. A fenti egyenlet differenciaegyenletként nagyméretű nemlineáris hálózatok szimulációs vizsgálatára alkalmazható.

Írjuk fel végül a hálózat matematikai modelljét. Mivel $\underline{N}^a$, $\underline{N}^{inp}$ és $\underline{N}^{outp}$ vektorok koordinátafüggvényei a szakaszokon fellépő forgalomsűrűség-függvények, ezt a matematikai modellben az alábbi átjelölésekkel fejezzük ki:

$$\underline{N}^a = \underline{s}[s_j(t)], \underline{N}^{inp} = \underline{s}^{inp}[s_j^{inp}(t)] \text{ és } \underline{N}^{outp} = \underline{s}^{outp}[s_j^{outp}(t)]. \quad (2)$$

Mivel egy i -ik szakaszon (amelynek hossza l_i) a járműsűrűség $s_i(t) = N_i(t)h/l_i$, ezért az $\underline{N}$ vektor koordináta-függvényeinél alkalmazzuk az $N_i(t) = l_i s_i(t)/h$ átszámítást, ezáltal:

$$\underline{N}_{(n \times 1)}(t+\Delta t) - \underline{N}_{(n \times 1)}(t) = \underline{L}_{(n \times n)} ((\underline{s}_{(n \times 1)}(t+\Delta t) - \underline{s}_{(n \times 1)}(t))/h), \quad (3)$$

ahol:

$\underline{L}_{(n \times n)}$, a szakaszok hosszát tartalmazó diagonális mátrix.

A szakaszokon időben kialakuló járműsűrűség-függvények t -szerint differenciálható függvények (mivel a járművek áramlási sebessége a szakaszokon t -szerint differenciálható függvények és a járműsűrűségre felírt, sebességtől függő analitikusan megadott függvények a sebesség szerint szintén differenciálható függvények), ezért a differenciaegyenlet mindkét oldalát $h/\Delta t$ -vel szorozva létezik az alábbi határérték:

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} (\underline{s}_{(n \times 1)}(t+\Delta t) - \underline{s}_{(n \times 1)}(t))/\Delta t = \underline{s}'(t) \quad (4)$$

$\Delta t \rightarrow 0$

Rendezve az (1) differenciaegyenletet és $\Delta t \rightarrow 0$ határátmenetet alkalmazva, a szakaszok sűrűségére az alábbi elsőrendű nemlineáris mátrix differenciálegyenlet-rendszert kapjuk:

$$\begin{aligned} \underline{L}_{(n \times n)} \underline{s}'_{(n \times 1)}(t) = & \underline{K}_{(n \times n)} [\underline{k}_{ij}(t) S_i(t) E_j(t) f(s_i(t), s_j(t))] \underline{s}_{(n \times 1)} [s_j(t)] \\ & + \underline{K}_{(n \times n \times n \times n)}^{inp} [k_{ij}^{inp}(t) S_i(t) f(s_i(t), s_j(t))] \underline{s}_{(n \times 1)}^{inp} [s_j^{inp}(t)] - \\ & - \underline{K}_{(n \times n \times n \times n)}^{outp} [k_{ij}^{outp}(t) E_i(t) f(s_i(t), s_j(t))] \underline{s}_{(n \times 1)}^{outp} [s_j^{outp}(t)]. \end{aligned} \quad (5)$$

Tehát a nemlineáris közlekedési hálózati rendszer $\underline{s}$ állapotjellemző vektorára az alábbi tömörebb alakú differenciálegyenlet-rendszer adódott:

$$\underline{s}'_{(n \times 1)} = \underline{L}_{(n \times n)}^{-1} [\underline{K}_{(n \times n)} \underline{s}_{(n \times 1)} + \underline{K}_{(n \times n \times n \times n)}^{inp} \underline{s}_{(n \times 1)}^{inp} - \underline{K}_{(n \times n \times n \times n)}^{outp} \underline{s}_{(n \times 1)}^{outp}]. \quad (6)$$

Ahol: $\underline{K}$, $\underline{K}^{inp}$ és $\underline{K}^{outp}$ kapcsolási mátrixok elemei a kapcsolási függvényeket és a sűrűségi állapotoktól függő függvényeket tartalmazzák.

5. EGY HÁLÓZATI MODELL ÉS NÉHÁNY SZIMULÁCIÓS EREDMÉNY

Az (1) és (5) egyenletrendszerek alapján, automatikus modell-generáló komputeralgebrai (MAPLE) programot fejlesztettünk ki a közúti hálózatok modellezésére. Ezzel kapcsolatban tekintsünk

$\underline{N}_{(n \times 1)}^a [s_j(t)] \Delta t/h$, $\underline{N}_{(n \times 1)}^{inp} [s_j^{inp}(t)] \Delta t/h$ shows the vectors including the number of vehicles passed from stage j with a velocity of 1m/s, while $\underline{N}_{(n \times 1)}^{outp} [s_j^{outp}(t)] \Delta t/h$ shows the vectors including the number of vehicles outgoing from stage i with a velocity of 1m/s.

The above described equation can be used as a differential equation for the simulation inspection of large nonlinear networks. At last, let's define the mathematical model of the network. As the coordinate functions of $\underline{N}^a$, $\underline{N}^{inp}$ and $\underline{N}^{outp}$ vectors are the traffic density functions applying to each stage, these are indicated as follows in the mathematical model:

$$\underline{N}^a = \underline{s}[s_j(t)], \underline{N}^{inp} = \underline{s}^{inp}[s_j^{inp}(t)] \text{ and } \underline{N}^{outp} = \underline{s}^{outp}[s_j^{outp}(t)]. \quad (2)$$

As the vehicle density on stage i (whose length is indicated with l_i) is $s_i(t) = N_i(t)h/l_i$, we use the re-calculation $N_i(t) = l_i s_i(t)/h$ for the coordinate functions of vector $\underline{N}$, therefore:

$$\underline{N}_{(n \times 1)}(t+\Delta t) - \underline{N}_{(n \times 1)}(t) = \underline{L}_{(n \times n)} ((\underline{s}_{(n \times 1)}(t+\Delta t) - \underline{s}_{(n \times 1)}(t))/h), \quad (3)$$

where: $\underline{L}_{(n \times n)}$ is the diagonal matrix containing the length of each stage.

The vehicle density functions developed overtime on the stages are functions differentiable by t (as the passing velocity of vehicles is a function differentiable by t and velocity-dependent, analytically specified functions defined for the vehicle density are also functions differentiable by velocity), therefore we get the following limit value with multiplying both sides of the differential equation by $h/\Delta t$:

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} (\underline{s}_{(n \times 1)}(t+\Delta t) - \underline{s}_{(n \times 1)}(t))/\Delta t = \underline{s}'(t) \quad (4)$$

$\Delta t \rightarrow 0$

By settling the differential equation (1) and using the limit margin $\Delta t \rightarrow 0$, we get the following first order nonlinear matrix differential equation system for the density of stages:

$$\begin{aligned} \underline{L}_{(n \times n)} \underline{s}'_{(n \times 1)}(t) = & \underline{K}_{(n \times n)} [\underline{k}_{ij}(t) S_i(t) E_j(t) f(s_i(t), s_j(t))] \underline{s}_{(n \times 1)} [s_j(t)] \\ & + \underline{K}_{(n \times n \times n \times n)}^{inp} [k_{ij}^{inp}(t) S_i(t) f(s_i(t), s_j(t))] \underline{s}_{(n \times 1)}^{inp} [s_j^{inp}(t)] - \\ & - \underline{K}_{(n \times n \times n \times n)}^{outp} [k_{ij}^{outp}(t) E_i(t) f(s_i(t), s_j(t))] \underline{s}_{(n \times 1)}^{outp} [s_j^{outp}(t)]. \end{aligned} \quad (5)$$

Therefore, we get the following brief differential equation system for the $\underline{s}$ status attribute vector of the nonlinear transportation network system:

$$\underline{s}'_{(n \times 1)} = \underline{L}_{(n \times n)}^{-1} [\underline{K}_{(n \times n)} \underline{s}_{(n \times 1)} + \underline{K}_{(n \times n \times n \times n)}^{inp} \underline{s}_{(n \times 1)}^{inp} - \underline{K}_{(n \times n \times n \times n)}^{outp} \underline{s}_{(n \times 1)}^{outp}]. \quad (6)$$

where: the elements of $\underline{K}$, $\underline{K}^{inp}$ and $\underline{K}^{outp}$ connection matrixes contain the connectivity functions and the functions dependent of the density status.

5. SAMPLE FOR THE NETWORK MODEL AND SOME SIMULATION RESULTS

Using the equation systems (1) and (5), we have developed an automatic model-generating computer algebraic (MAPLE) program to model public road networks. Accordingly, let's have a look at some of the calculation results for the sample network model seen in Figure 7. The model, in the synchronized phase,

meg néhány számítási eredményt, a (7. ábra) látható hálózati mintamodellre. A modell összehangolt fázisban lámpákat működtet mindkét bemeneten és mindkét kimeneten, ezen kívül a 3-as szakaszból a 4-re, ill. 5-re történő átmenetekenél. Keresztező zavarást tételeztünk fel az 1-es szakasznak a 3-as szakaszra, és a 3-as szakasznak a 4 és 5-re történő átadásánál. A modellben parkoló is működik, ezt jelöltük a 6-os szakasszal. Kezdeti értéként minden szakaszon 0 járműsűrűséget tételeztünk fel. Jól látható, hogy az útszakaszokon az input és output folyamatok által átáramló járművek és a rendszer belső működése stacioner egyensúlyi állapotot alakított ki. Ezt és a lámpák periodikus működésének hatását szemléltetik a szimulált modell által nyert járműszámok a (8–13. ábrákon), ahol az időt sec-ban tüntettük fel.

Irodalom

- [1] Markos Papageorgiou, Concise Encyclopedia of Traffic and Transportation Systems. Pergamon Press, 1991.
[2] Péter T., Intelligens közlekedési rendszerek és járműkontroll. Előírások a közlekedés biztonságának növelésére. Magyar Mérnökakadémia Symposium Bp. 2005. pp 1–465.

operates traffic lights through both inputs and both outputs as well as on the transitions from stage 3 to stage 4 and 5. We assumed an intersecting disturbance at the transition of stage 1 to stage 3 and stage 3 to stage 4 and 5. The model includes a car park area indicated as stage 6. We set the initial vehicle density value to zero for each stage. It can be seen that the vehicles passing through the road stage by the input and output processes and the internal operation of the system generated a stationary balance status. This status and the impact of the periodic operation of the traffic lamps are illustrated in Figure 8 to 13 by the vehicle numbers obtained from the simulated model, where the time is expressed in second.

References

- [1] Markos Papageorgiou, Concise Encyclopedia of Traffic and Transportation Systems. Pergamon Press, 1991.
[2] Péter T., Intelligens közlekedési rendszerek és járműkontroll. Előírások a közlekedés biztonságának növelésére. Magyar Mérnökakadémia Symposium Bp. 2005. pp 1–465.



FISITA 2010 SZAKMAI PROGRAM, JÚNIUS 3., CSÜTÖRTÖK, 14.00

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem (BME) és Elektronikus Jármű és Járműirányítási Tudásközpont (EJTT)

A BME Közép-Európa egyik legnagyobb műszaki felsőoktatási intézménye. Az oktatás egyik szerves része az autópipari mérnökképzés. Új együttműködési lehetőségként a BME – ahogy más egyetem is – ún. tudásközpontokat szervezett az ipar szereplőinek szoros együttműködésével. Az EJTT főként a következő kutatási programokkal foglalkozik: Jármű és környezet kapcsolata (jármű-infrastruktúra és jármű-jármű kommunikáció), járműszintű irányítás, intelligens aktuátorok, platform rendszerek és megoldások.

A program a kiállítás területén kezdődik:

- 14.00 Student Bay járművek
- 14.30 EJTT-kiállítás
- 15.00 Rövid séta a BME J épületébe
- 15.15 BME- és EJTT-bemutató: dr. Szalay Zsolt
 - Oktatás a Gépjárművek Tanszéken
 - Kutatási területek, projektek ismertetése
- 16.00 Bemutató

FISITA 2010 TECHNICAL VISIT, THURSDAY, 3 JUNE, 14.00

Budapest University of Technology and Economics (BUTE) and Advanced Vehicle and Vehicle Control Knowledge Center (AVVC)

BUTE is one of Central Europe's largest higher education technology facilities. One of the areas of education is automotive engineering. As a new form of co-operation with the industry BUTE - as well as other universities - organized knowledge centers. AVVC deals mainly with the following groups: Control of Vehicle Groups (based on vehicle to infrastructure and vehicle to vehicle communication), Control on Vehicle Level, Intelligent Actuators, Platform Systems and Solutions.

The program starts at the Exhibition:

- 14.00 Visit of Student Bay
- 14.30 Visit of AVVC exhibition
- 15.00 Short walk to the BUTE&AVVC
- 15.15 BUTE&AVVC presentation by Dr. Zsolt Szalay
 - Education at the Dept. of Automobile Engineering
 - Introduction of research programs
- 16.00 Demonstration

Üzemanyag-menedzsment – flottamenedzsment szolgáltatás a benzinköltségek optimalizására

Fuel management – Fleet management services for the optimization of fuel costs

DEÁK Csaba
Dr. SZALAY Zsolt
ZÖLDY Máté

Budapesti Műszaki és
Gazdaságtudományi Egyetem,
Budapest University
of Technology and Economics

A gépjárműflotta tüzelőanyag-fogyasztásával kapcsolatos költségek a fuvarozóvállalatok összköltségeinek akár a harmadát is kitehetik. Optimális szinten tartásuk emiatt gazdasági szempontból különösen fontos. A BME EJJT 1.3 projektben futó kutatások egyik kiemelt területe a valós tüzelőanyag-fogyasztás mérése és dokumentálása a flottaüzemeltető felé. A fejlesztett megoldások segítségével lehetségessé válik a jármű fogyasztásának akár folyamatos nyomon követése, az illetéktelen cselekmények detektálása és idő, illetve hely szerinti kiszűrése. Ezek a megoldások a flotta üzemeltetője számára a járművek fogyasztásának a valós szintre csökkenését és ezzel költségmegtakarítást jelentenek.

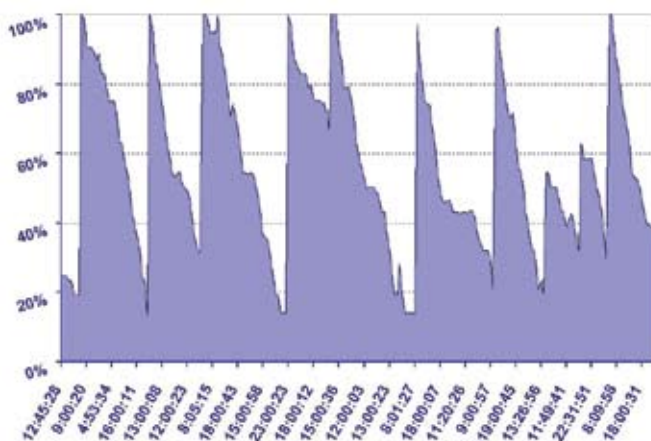
Vehicle fuel consumption costs could reach one third of the total costs of the fleet operator. The optimization of this cost factor is therefore extremely important. The BUTE AVVC 1.3 project focuses on the measurement of the real fuel consumption and its documentation to the fleet operator. The fuel consumption of the vehicle could be followed online with the investigated methods, and the unauthorized fuel exceptions and manipulation can be detected by location and time. The application of these solutions could result in the decrease of fuel consumption thus decrease in the operation costs.

A járműflotta folyamatos költségei közül az egyik legjelentősebb a tüzelőanyag-felhasználás költsége. Ennek csökkentése és optimalizálása a vállalat hatékony működéséhez nagyban hozzájárulhat. Az Elektronikus Jármű és Járműirányítási Tudásközpont 1.3. Flottamenedzsment projektjének egyik kutatási és fejlesztési területe az optimális tüzelőanyag-felhasználás megszervezése és koordinálása flottamenedzsment rendszerek segítségével. Ezzel a modern, hatékony informatikai megoldásokat kínáló rendszerrel optimalizálhatók a valós igények szintjén a vállalat motorhajtóanyaggal kapcsolatos kiadásai.

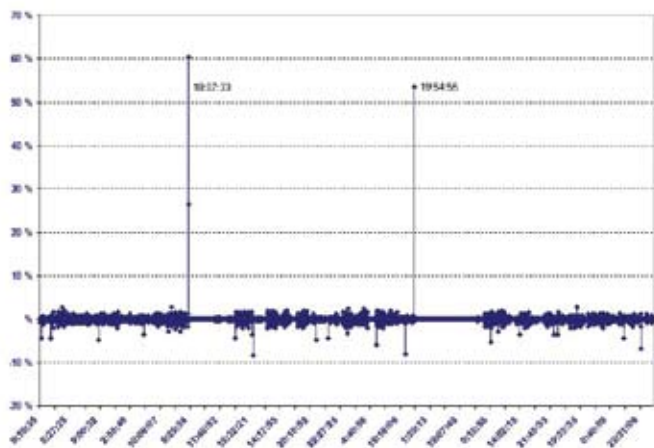
A gépjárművek tüzelőanyag-fogyasztása a motorfordulatszám, a járműsebesség, a megtett út és a tankolások idejének és a tankolt mennyiség ismeretében előre számítható és jól nyo-

One of the most significant continuous costs arising with vehicle fleets is the costs of fuel consumption. The reduction and optimization of these costs can greatly contribute to the economic and effective operation of a company. One of the research and development areas of the 1.3 Fleet Management project initiated by the Electronic Vehicle and Vehicle Control Knowledge Centre is the organization and coordination of optimal fuel consumption using fleet management systems. This system representing modern and effective IT solutions can be used to optimize the company's fuel expenditures at the level of real demands.

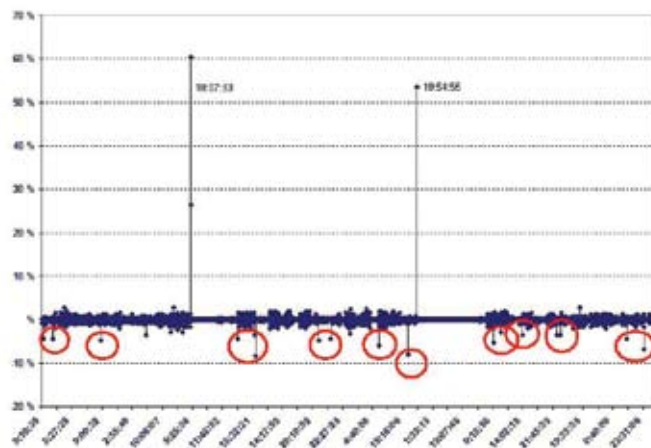
The fuel consumption of vehicles can be accurately predicted and easily tracked if the engine revolution number, vehicle speed, completed route, time of fill ups and filled fuel volume are all known parameters. There might be a certain amount of uncertainty in these calculations due to the dynamic movement of vehicles, the varying terrain conditions, various consignment load and the uneven traffic distribution. However, the fuel consumption curve normally looks like the one seen in *Figure 1*. Sometimes vehicles are fully filled up with fuel before driver changes and therefore, they get over-filled. When over-filling the vehicle, the amount of fuel in the tank exceeds the maximum level of the fuel indicator meaning that the display shows the maximum level of the fuel indicator instead of the real fuel level present in the tank. This represents a huge problem if you wish to use the fill up list to monitor the exact volume of each fill up. Another type of problem is when drivers always fill up small amount of fuel resulting in the vehicle consistently running on high fuel that arise further questions. What justifies such frequent fill ups? Why is the fuel tank constantly full? Running on full tank has an adverse effect on the fuel consumption as the vehicle needs to carry the weight of the fuel



1. ábra: az üzemanyagtank szintje az idő függvényében
Figure 1: the level of fuel tank in relation to the time



2. ábra: az üzemanyagtank szintjének változása az idő függvényében
Figure 2: the change in the level of fuel tank in relation to the time

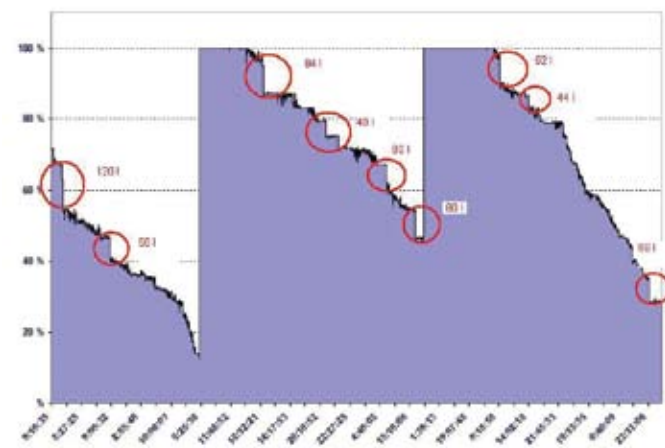


3. ábra: üzemanyag-kivétel a tankszintváltozás grafikonján
Figure 3: fuel exceptions on the graph of tank level change

mon követhető. A járművek dinamikus mozgása, a változó terepviszonyok, az eltérő rakományterhelés és a forgalom nem egyenletes eloszlása miatt a számításokban bizonyos méretű bizonytalanság található, azonban a fogyasztási görbék jellege jellemzően az 1. ábra szerint alakul.

Általánosan előfordul, hogy a gépjárművet, a vezetőváltásokot megelőző tankolások során teljesen teletankolják, és ezáltal túltankolják. A túltankolás során a tankban lévő üzemanyag-mennyiség több, mint az üzemanyagszint-jelző maximuma, ezért ezekben az esetekben a kijelzőn nem a valós értéket látjuk, hanem az üzemanyagszint-jelző maximumát. Ez probléma abban az esetben, ha a tankolási listán pontosan látni szeretnénk a tankolt mennyiséget. A másik gyakran előforduló jelenség, hogy a gépjárművek gyakran tankolnak kis mennyiséget, ezért gyakorlatilag állandóan teljes tankkal közlekednek, ami további kérdéseket vet fel. Mi indokolja a gyakori tankolásokat? Miért van állandóan tele a tank? A teljes tankkal való közlekedés a fogyasztásra hátrányos, mert a gépjárműnek a teljes üzemanyag tömegét mint extra tömeget is szállítani kell. A gyakori kis mennyiségű tankolások pedig kiesést okoznak az üzemidőben. A következőkben gyakorlati mérési eredmények segítségével mutatjuk be a flottamenedzsment rendszert mint a tüzelőanyagszint nyomon követését elősegítő megoldást. Ez lehetővé teszi a rendellenes folyamatok feltárását, így az illetéktelen tüzelőanyag-kivét felderítését, s ezek számának csökkentésével a flotta üzemeltetési költségeinek a minimálását.

Az 1. ábra egy jármű tüzelőanyagszint – idő függvényét mutatja. Az ábra az üzemanyagtank szintjét ábrázolja a teszt során



4. ábra: üzemanyagkivételek az üzemanyagtankszint grafikonján
Figure 4: fuel exceptions on the graph of fuel tank level

too, as an extra weight. Also, frequent fill ups cause loss in the operational time.

We will use the following practical measurement results to demonstrate the fleet management system as a technical solution supporting the traceability of fuel level. This, in turn, allows for the exploration of irregular procedures thus unauthorized fuel exceptions can be revealed and the operating costs of the fleet can be minimized.

Figure 1 shows the fuel level – time function of a vehicle. The figure illustrates the fuel tank level throughout the test period.

1. táblázat: tankolási lista

Table 1: fill up list

Dátum/ Date	Km-óra állás/ Speedometer	Tankban lévő üzemanyag/ Fuel in tank	Elfogyasztott üzemanyag/ Fuel consumed	Fogyasztás/ Consumption	Tankolt Mennyiség/ Fill up qty ¹	Tankolások között megtett távolság/ Length of route between fill ups
17:46	365 835 km	396 l			264 l	
18:05	365 835 km	1 000 l	1 l		724 l	0 km
19:52	368 093 km	1 000 l	617 l	27,3 l/100km	736 l	2 258 km

¹ A tankolt mennyiség, a jelentős túltankolhatóság miatt csak becslést ért. A tankolt mennyiség a becslést túltankolt mennyiséggel kompenzál.

¹ Filled up quantity is an estimate due to the potential significant over-fillability. The filled up quantity is compensated by the estimated over-filled volume.

The figure greatly shows the time of fill ups (jump-wise ascents) and the gradient of slope of the "peaks" which is proportional to the fuel consumption: the higher the gradient of the slope, the bigger the fuel consumption. Fuel consumption of the vehicle is also influenced by, amongst others, the driving style of the driver, loading status of the vehicle and the road conditions.

Figure 2 does not show the absolute fuel tank levels but highlights fill up events and possible fuel exceptions through the changes in the fuel level. The diagram gives an accurate overview of the time and volume of fill up events. Watching the fill up list (see below) in conjunction with the diagram illustrates the fill up events even better. If the size of the fuel tank is known (1000 litres), the filled up and used up volume of fuel can be ascertained accurately. Possible anomalies can be immediately filtered by the fill up list and the related invoices.

The presented two-week period (14 days) shows only two fill up events. The interesting thing is that two fill ups occurred

eltelt idő alatt. Az ábrán jól láthatóak a tankolási időpontok (ugrásszerű feljutások), illetve jól megfigyelhető a „hegycsúcsok” lefutásának meredeksége, amely az üzemanyag-felhasználással arányos: minél meredekebb, annál nagyobb az üzemanyag-felhasználás. A gépjármű üzemanyag-fogyasztását befolyásolja egyebek mellett a járművezető vezetési stílusa, a gépjármű terheltségi állapota és az útviszonyok is.

A 2. ábrán az üzemanyagtank abszolút szintje ugyan nem látható, azonban az üzemanyagszint változása még kiemeltebben mutatja a tankolási eseményeket, illetve az esetleges tankból történő üzemanyag-kivételt. A diagramon jól nyomon követhető a tankolások időpontja, illetve mennyisége. A diagramot kiegészítve a tankolásokat talán még jobban szemlélteti, ha a tankolási listát vizsgáljuk (alább). Az üzemanyagtartály méretének ismerete mellett (1000 liter) megállapítható a tankolt, illetve a felhasznált üzemanyag-mennyiség. A tankolási lista és a számlák ismeretében az esetleges anomáliák azonnal kiszűrhetők. A bemutatott kéthetes időszak alatt (14 nap) összesen két tankolás figyelhető meg. Érdekes, hogy az első napon két tankolás is történt, az első tankolás során körülbelül 200 liter üzemanyag került a tankba, majd 20 perccel később a járművet tele tankolták. A kevés számú tankolás miatt az elfogyasztott és tankolt mennyiség nem összehasonlítható, az elemzés elvégzéséhez több tankolási esemény lenne szükséges.

Az üzemanyagtank-szint adataiban számos esetben figyelhetünk meg indokolatlanul nagy változást. A legalább 4%-os változásokat a 3–4. ábrán bejelöltük. A flottamenedzsment adatgyűjtő rendszer a jelenlegi kiépítésében 1 percenként tárol, így a 4% üzemanyag-változás azt jelenti, hogy 1 perc alatt közel 40 literes változás történt az üzemanyagtankszintben. Nyilvánvalóan a tankban levő üzemanyag menet közbeni természetes mozgása is indikál üzemanyagszint-változást, de ezek általában 1% körüliek, illetve időben átlagolva kiegyenlítődnek, emiatt tekinthetők a 4%-os vagy a feletti maradandó változások rendellenesnek.

A pozitív irányú változás a legtöbb esetben tankolásra utal, ezeket a pontokat a 3. ábrán feltüntettük, míg a negatív irányú változások utalhatnak az üzemanyag kivételére is.

Az ábrákon piros kör jelöli azokat a pontokat, ahol nagyobb arányú negatív irányú üzemanyagtankszint-változás történt. A táblázat az események megjelölése mellett számszerűleg is tartalmazza az üzemanyagtankszint csökkenésének mértékét. Tekintettel az üzemanyagtankszint csökkenésének jellegére, érdemes azokat, illetve környezetüket részletesebben megvizsgálni.

Ahhoz, hogy a gépjármű adataiban jelentkező anomáliákat, rendellenes jelenséget jobban megérthessük, érdemes megvizsgálnunk, mi történik üzemszerű állapotban. Ezeket az alábbi táblázatok tartalmazzák

2. táblázat: gépjárműadatok, a gépjármű álló helyzetéről

Table 2: vehicle details about the stationary status of the vehicle

Dátum/ Date	Km-óra állás/ Speedometer	Befecskendezett üzemanyag/ Injected volume of fuel	Tankszint/ Fuel tank level
19:30	369,193.5 km	109,033.5 l	78,8%
19:31	369,193.5 km	109,033.5 l	78,8%
19:32	369,193.5 km	109,033.5 l	78,8%
19:33	369,193.5 km	109,033.5 l	78,8%
19:34	369,193.5 km	109,033.5 l	78,8%
19:35	369,193.5 km	109,033.5 l	78,8%
19:36	369,193.5 km	109,033.5 l	78,8%

A 2. táblázat egy álló helyzetben lévő gépjármű adatait tartalmazza. Megfigyelhető, hogy ebben az esetben sem az üzemanyag-tankszint-érték, sem a befecskendezett üzemanyag-mennyiség nem változik, ugyanakkor a rákapcsolt gyújtás miatt az adatok percenkénti tárolásuk.

on Day 1; the first fill up involved about 200 litres of fuel while 20 minutes later, the vehicle was filled up to full. The consumed and filled quantity of fuel is incomparable due to the low number of fill ups. More fill up events would be required to perform the analysis.

Details of the fuel tank level show some unreasonably large deviations. Deviations exceeding 4% are shown in Figure 3-4. The data collection system of the fleet, in its current configuration, performs the registration every minute. This means that a 4% deviation is the result of a 40-litre change in the fuel tank level under just one minute. Certainly, the natural movement of fuel in the fuel tank induces some change in the fuel level, but these changes do not normally exceed 1%. Additionally, these changes are compensated and completed over time thus a deviation equal to or more than 4% is considered irregular.

Majority of the times, positive changes refer to fill up events (these points are shown in Figure 3), whereas negative changes may even indicate fuel exception.

There is a red circle assigned to such points in the figure where a larger amount of negative change occurred in the fuel tank level. Apart from the visual indication, the table also contains numeric values for the reduction of the fuel tank level. Considering the nature of reduction of the fuel tank level, it might be worth to get into further details regarding their circumstances.

It is also worth to examine what is happening during effective operation to have a better understanding of the anomalies and irregularities occurring with the vehicle's details. These are included in the following tables.

Table 2 shows the details of a stationary vehicle. It can be observed that neither the fuel tank level, nor the injected volume of fuel changes in this case; however details are registered every minute due to the activated ignition.

The table contains the details of a moving vehicle. It shows the completed number of kilometres, the injected volume of fuel and the continuous change in the fuel tank level. The increase in the number of completed kilometres and the injected volume of fuel is strongly monotonic, while the status of the fuel tank level shows some deviation due to the sensitivity of the fuel sensor. The measured fuel volume may also be influenced by external factors. For example, when driving on a hill, the inclined status of the fuel tank may result in the display of a different value than running on horizontal terrain, or the change in temperature between day and night may also cause the values to differ from each other. It is important to mention that even though the values of the fuel tank level show some deviation, it shall be within a 1% range if the sampling process takes place on a one-minute basis. Larger deviation (5%) cannot be considered, under any circumstances, the consequence of standard operation.

4. táblázat: gépjárműadatok a gépjármű esti leállítására, majd másnapi indulása esetén

Table 4: vehicle details recorded when the vehicle is stopped in the evening and re-started in the morning the other day

Dátum/ Date	Km-óra állás/ Speedometer	Befecskendezett üzemanyag/ Injected volume of fuel	Tankszint/ Fuel tank level
20:32	365,124.4 km	107,831.5 l	36,0%
20:33	365,124.4 km	107,831.5 l	36,0%
20:34	365,124.4 km	107,831.5 l	35,6%
02:48	365,124.4 km	107,831.5 l	36,0%
02:49	365,124.4 km	107,832.0 l	36,0%

Table 4 shows the stop of the vehicle in the evening and re-start in the morning the other day. The details exactly reveal

3. táblázat: gépjárműadatok a gépjármű mozgása esetén
Table 3: vehicle details when the vehicle is in movement

Dátum/ Date	Km-óra állás/ Speedometer	Befecskendezett üzemanyag/ Injected volume of fuel	Tankszint/ Fuel tank level
04:11	365,234.0 km	107,868.5 l	35,2%
04:12	365,235.5 km	107,869.0 l	34,8%
04:13	365,236.9 km	107,869.5 l	34,8%
04:14	365,238.4 km	107,870.5 l	34,8%
04:15	365,239.8 km	107,871.5 l	34,4%
04:16	365,241.3 km	107,872.0 l	34,4%
04:17	365,242.8 km	107,872.5 l	34,4%
04:18	365,244.2 km	107,873.0 l	35,2%

A táblázat egy mozgó gépjármű adatait tartalmazza, megfigyelhető a megtett kilométer és a befecskendezett üzemanyag, valamint az üzemanyagtankszint folyamatos változása. A megtett kilométer és a befecskendezett üzemanyag-mennyiség szigorúan monoton növekszik, míg az üzemanyagtank-szint állapotában némi szórás tapasztalhatunk, ami a szenzor érzékenységből következik. A mért üzemanyag-mennyiség változhat külső tényezők hatására is. Például lejtőn felfelé, mikor a tank döntve van, más értéket mutathat, mint vízszintes terepen vagy akár a hőmérséklet-különbségből is adódhat eltérés a nappali és esti mérés esetén. Fontos megjegyezni, hogy bár az üzemanyag-tankszint értékeiben szórás található, egyperces mintavétel esetén az értékek minimálisan 1%-on belül változnak. A nagy arányú változás (5%), semmiképp nem üzemszerű működés következménye.

A 4. táblázat egy esti megállást és egy másnapi indulást tartalmaz. Az adatokból pontosan látható a gyújtás levételének időpontja (20:34) és a másnapi elindulás, a gyújtásráadás időpontja (02:48). Ideális esetben a gyújtáslevételhez és gyújtásráadáshoz tartozó összes adat meg kell hogy egyezzenek – mint ahogy ez az adatokon is látszik –, hiszen a gépjármű használaton kívül volt. Az időbeni ugrást pedig a gyújtás hiánya okozza, a flottamenedzsment adatgyűjtő rendszer ezen típusa csak abban az esetben tárol, amennyiben a gyújtás is megtalálható.

Az 5. táblázat tartalmazza az ábrán megjelölt néhány pont, illetve környezetük adatait. A táblázatban látható az események ideje, a kilométeróra-állása, a befecskendezett üzemanyag mennyisége, valamint az üzemanyagtank-szint állása és annak változása is. A táblázat ezen kívül tartalmazza a két mintavétel között befecskendezett üzemanyag-változást, illetve a megtett kilométert. Ideális esetben a befecskendezett üzemanyag és a tankszint változása arányban áll egymással. A táblázatban az adatokat időrendi sorrendben tüntettük fel, ahol a táblázat első oszlopa tartalmazza a diagramon is jelölt sorszámokat. Amint az a táblázat adataiból látható, a vizsgált időszakban három üzemanyag-kivétel volt észlelhető. A gépjármű a táblázatban szereplő időszak alatt folyamatosan állt. A befecskendezett üzemanyag mennyisége nulla liter, ennek ellenére az üzemanyagtank-szint három lépcsőfokban kb. 120 literrel csökkent.

A flottamenedzsment adatgyűjtő rendszer a vizsgált kiépítettségben 1 percenként tárol, ez azt jelenti, hogy a jármű mozgása pontosan nyomon követhető. A jelölt események érdekessége, hogy míg az üzemanyagtank-szint jelentősen csökkent, addig a kilométerállás alapján a jármű nem mozdult el és a motorvezérlő által sem történt üzemanyag-befecskendezés, tehát semmi nem indokolja az üzemanyagtankszint ilyen arányú csökkenését. Ezekben az esetekben szinte minden alkalommal megfigyelhető, hogy az üzemanyagtankszint-csökkenés a gyújtás levétele és ráadása között eltelt időben történik meg. Ezek az események semmiképpen sem tekinthetők üzemszerű működés következményének, jellegüket tekintve üzemanyag-kivételre utalnak.

5. táblázat: üzemanyagkivételek és környezetük
Table 5: fuel exceptions and their environment

Dátum/ Date	Km-óra állás/ Speedometer	Befecskendezett üzemanyag/ Injected volume of fuel	Tankszint/ Fuel tank level	Üzemanyag- tankszint-változá- sa/ Change in the fuel tank level [%]	Üzemanyag- tankszint-változá- sa/ Change in the fuel tank level [l]	Megtett út/ Completed route	Üzem- anyag/ Fuel
13:02	364,408.6 km	107,614.0 l	67,2%	0,0%	0 l		
13:35	364,408.6 km	107,614.0 l	62,8%	-4,4%	44 l	0,0 km	0,0 l
13:36	364,408.6 km	107,614.0 l	62,8%	0,0%	0 l	0,0 km	0,0 l
13:37	364,408.6 km	107,614.0 l	62,8%	0,0%	0 l	0,0 km	0,0 l
21:22	364,408.6 km	107,614.0 l	58,4%	-4,4%	44 l	0,0 km	0,0 l
22:38	364,408.6 km	107,614.0 l	58,4%	0,0%	0 l	0,0 km	0,0 l
22:39	364,408.6 km	107,614.0 l	58,4%	0,0%	0 l	0,0 km	0,0 l
04:35	364,408.6 km	107,614.0 l	54,0%	-4,4%	44 l	0,0 km	0,0 l
04:36	364,408.6 km	107,614.0 l	54,4%	0,4%	4 l	0,0 km	0,0 l

the time of switching off the ignition (20.34) and the time of switching on the ignition in the morning the next day (02.48). All details recorded at the time of switching off and switching on the ignition should perfectly match (as seen in the table), as the vehicle was out of operation during that period. The skip of time interval is caused by the lack of ignition, since this type of the data collection system of the fleet management registers details only when the ignition is on.

Table 5 shows the details of the points marked in the figure and their environment. The table includes the time of events, the status of the speedometer, the injected volume of fuel, the position of the fuel tank level and its change, respectively. The table also presents the change in the injected volume of fuel between two sampling as well as the number of completed kilometres. The injected volume of fuel and the change in the fuel level should ideally be proportional to each other. The table shows the details in chronological order with the first column indicating the numbers marked on the diagram. As you can see it from the details in the table, three fuel exceptions could be observed during the inspected period. The vehicle was consistently stopped during the period indicated in the table. The injected volume of fuel is zero litres. Despite of that, the fuel tank level dropped by around 120 litres in three steps.

The data collection system of the fleet management registers the vehicle details in one-minute intervals meaning that the position of the vehicle is continuously traceable. The interesting thing about the marked events is that while the fuel tank level significantly dropped, the vehicle was not running a single meter according to the speedometer and no fuel injection was performed by the engine control. Consequently, there is no justified reason for such a large amount of decrease in the fuel tank level. Majority of the times in these cases, it can be observed that the reduction of the fuel tank level occurs during the period between switching off and switching on the ignition of the vehicle. These events cannot be considered, under any circumstances, the consequence of standard operation. Moreover, these refer to fuel exceptions by their nature.

SUMMARY

According to the presented real measurement results, 9 critical events occurred during the inspected two-week period concerning the change in the fuel tank level adding up to

ÖSSZEFOGLALÁS

A bemutatott valós mérési eredmények tanúsága szerint a vizsgált 2 hetes időszak alatt az üzemanyagtankszint változásában 9 kritikus esemény történt, amely során összesen közel kb. 400 literrel csökkent az üzemanyagtartályban található tüzelőanyag mennyisége. A jelenség bizonyíthatóan nem üzemszerű és többszöri üzemanyagkivételre utal. Az eredmények alapján belső vizsgálat indult a gépjármű üzemanyag-elszámolására és tankolásaira vonatkozóan, hogy megállapítsák azok mennyiben támasztják alá a mérések során megállapított – amúgy kiváló – kb. 30 liter/100 km-es fogyasztási értéket. Az eredmények igazolják, hogy a flottamenedzsment adatgyűjtő rendszer használatával folyamatosan nyomon lehet követni a gépjármű üzemi paramétereit, kontrollálni lehet a járművet. A folyamatos kontroll fenntartásával megbízhatóan csökkenthetőek a nem tervezett járulékos költségek, hiszen a túlzott üzemanyag-fogyasztás vagy az esetleges üzemanyagkivételek egyszerűen és megbízhatóan kiszűrhetőek. A bemutatott eset sajnos nem egyedi, ugyanakkor rámutat arra is, hogy egy flottamenedzsment adatgyűjtő rendszer milyen rövid idő alatt megtérülő beruházás lehet egy flottatulajdonos számára.

around 400 litres reduction of fuel measured in the fuel tank. This phenomenon is proven to be out of the scope of standard operation and refers the unauthorized fuel exceptions. The results lead to an internal audit initiated concerning the fill up events and fuel settlement of the vehicle in order to establish whether or not they justify the fuel consumption of the vehicle calculated by the measurements (30 litres / 100 km). The results justify that the data collection system of the fleet management can be used to continuously trace the operating parameters of the vehicle and to keep the vehicle under control. Maintaining this continuous control is a reliable way to reduce unexpected extra costs as the excessive fuel consumption and possible fuel exceptions can simply and reliably be filtered and monitored. This case represented in this document is unfortunately quite frequent nowadays but it greatly shows how quick this investment of purchasing a fleet management data collection system can return for the fleet owners.

IMPRESSZUM/IMPRINT

A jövő járműve • Járműipari innováció
The vehicle of the future • Automotive innovation

FISITA 2010 különszám • Alapítva: 2006 • HU ISSN 1788-2699
FISITA 2010 special edition • Established: 2006 • HU ISSN 1788-2699

ALAPÍTÓK/FOUNDERS:



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem – Elektronikus Jármű és Járműirányítási Tudásközpont (EJT)
Budapest University of Technology and Economics (BME) – Advanced Vehicles & Vehicle Control Knowledge Center
H-1111 Budapest, Stoczek utca 6., J épület 516. • Tel.: +36-1/463-1753 • Fax: +36-1/463-3255 • E-mail: info@ejt.bme.hu

Széchenyi István Egyetem – Járműipari Regionális Egyetemi Tudásközpont (JRET)
Széchenyi István University – Regional University Knowledge Centre for Vehicle Industry
H-9026 Győr, Egyetem tér 1. • Tel.: +36-96/618-680 • Fax: +36-96/613-681 • E-mail: jret@sze.hu

X-Meditor Lapkiadó, Oktatás- és Rendezvényszervező Kft. – X-Meditor Publisher, Education and Event Organizer Ltd.
H-9023 Győr, Csaba u. 21. • H-9002 Győr, Pf. 156 • Tel.: +36-96/618-062 • Fax: +36-96/618-063 • E-mail: nszi@xmeditor.hu

KIADÓ/EDITORIAL OFFICE:

X-Meditor Lapkiadó, Oktatás- és Rendezvényszervező Kft. • Felelős kiadó: PINTÉR-PÉNTEK Imre
X-Meditor Publisher, Education and Event Organizer Ltd. • Editor-in-charge: PINTÉR-PÉNTEK Imre

SZERKESZTŐSÉG/EDITORIAL STAFF:

X-Meditor Kft. Autóinformatika üzletág
X-Meditor Ltd., Automotive information provider branch
Felelős szerkesztő/Editor-in-chief: dr. NAGYSZOKOLYAI Iván • Tel.: +36-96/618-062 • E-mail: nszi@xmeditor.hu
Szerkesztő/Editor: ONÓDI Gábor • Tel.: +36-96/618-083 • E-mail: at@xmeditor.hu

A SZERKESZTŐBIZOTTSÁG TAGJAI/MEMBERS OF THE ADVISORY BOARD:



Dr. BERCSEY
Tibor



Dr. BOKOR
József



Dr. CZIGÁNY
Tibor



Dr. CZINEGE
Imre



Dr. KARDOS
Károly



Dr. KEVICZKY
László



LEPŠÉNYI
István



Dr. MICHELBERGER
Pál



Dr. NÁDAI
László



Dr. PALKOVICS
László



Dr. RÉTI
Tamás



Dr. STUKOVSKY
Zsolt



SZILASI Péter
Tamás



Dr. TISZA
Miklós

NYOMDAI ELŐÁLLÍTÁS/PRINTING:

Palatia Nyomda és Kiadó Kft. – Palatia Printing Company
H-9026 Győr, Viza utca 4.

PÉLDÁNYSZÁM/CIRCULATION: 1200



A projekt a Nemzeti Kutatási és Technológiai Hivatal támogatásával valósult meg.



Established by the support of the National Office for Research and Technology.



Automobiles and Sustainable Mobility



FISITA

2010

World Automotive Congress

30 May – 4 June, Budapest, Hungary

Budapest, 30 May – 4 June 2010



www.fisita2010.com