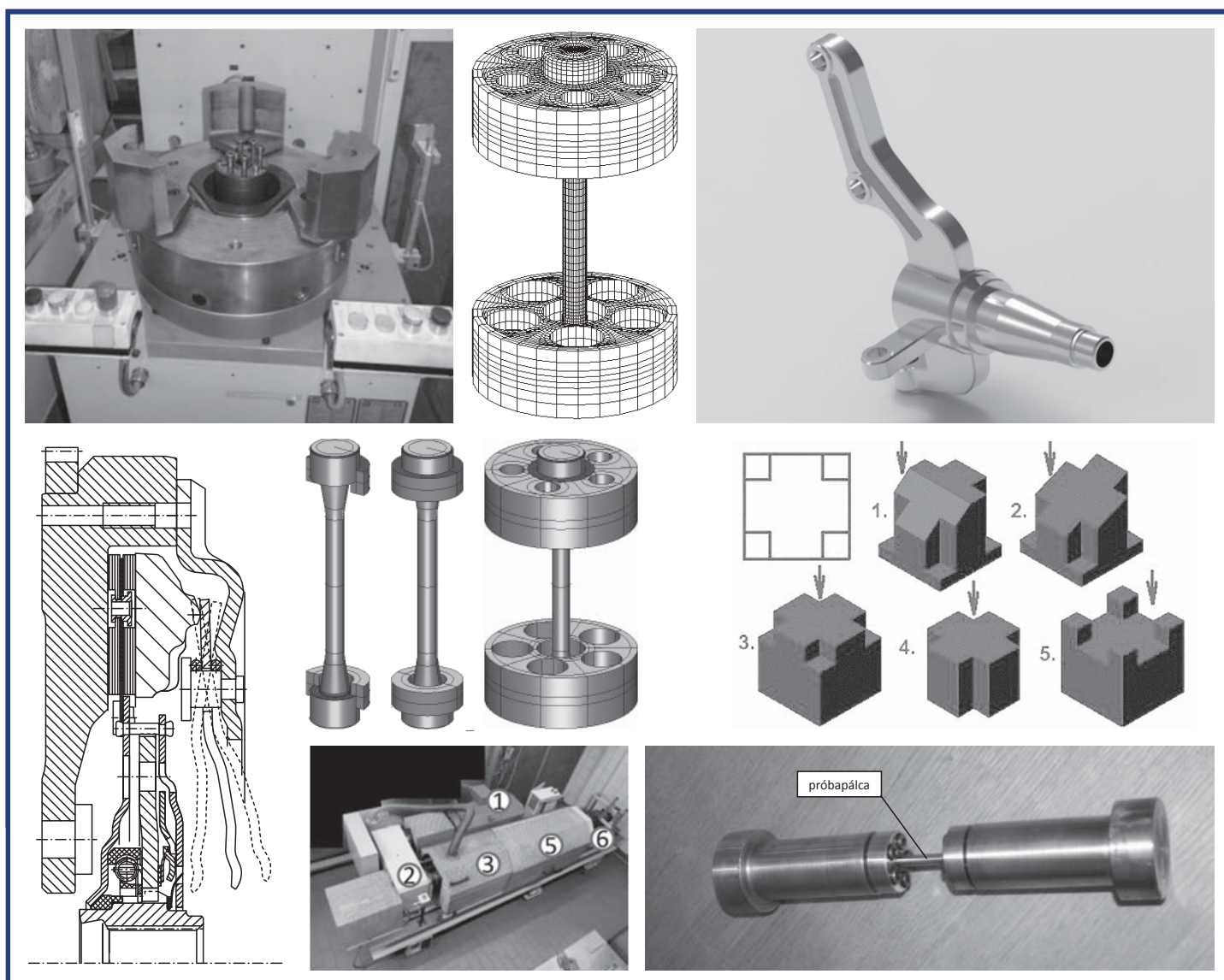


GEÉP

A GÉPIPARI TUDOMÁNYOS EGYESÜLET MŰSZAKI FOLYÓIRATA



Froweld

www.froweld.hu

Fronius

SHIFTING THE LIMITS



A TÖKÉLETES KÖTÉS MA MÁR LEHETSÉGES. MERT A TPS/i ROBOTICS TÖKÉLETESÍTI AZ INTELLIGENS FORRADALMAT.

Érdeklő?



www.tps-i.com

TPS/i Robotics - az intelligencia forradalmának csúcsa

A robotok TPS/i platformja tökéletes kapcsolatot teremt ember, gép és gyártási környezet között.

Maximális személyre szabhatóság, a számos javított részlet és az egyszerűsített interakció következtében a TPS/i új mércét állít a robohegesztés területén. Az eredmény:

/ Kiváló hegesztési minőség

/ Maximális biztonság

/ Kiemelkedő hatékonyság

Összességében a legjobb hegesztési folyamatokat biztosítja minden automatizált sorozatgyártáshoz.

GÉP

A GÉPIPARI TUDOMÁNYOS EGYESÜLET

műszaki, vállalkozási, befektetési, értékesítési, kutatás-fejlesztési, piaci információs folyóirata

SZERKESZTŐBIZOTTSÁG

Dr. Döbröczöni Ádám

elnök

Vesza József

főszerkesztő

Dr. Jármái Károly

Dr. Péter József

Dr. Szabó Szilárd

főszerkesztő-helyettesek

Dr. Barkóczi István

Bányai Zoltán

Dr. Beke János

Dr. Bercsey Tibor

Dr. Bukoveczky György

Dr. Czitán Gábor

Dr. Danyi József

Dr. Dudás Illés

Dr. Gáti József

Dr. Horváth Sándor

Dr. Illés Béla

Kármán Antal

Dr. Kalmár Ferenc

Dr. Orbán Ferenc

Dr. Pálinkás István

Dr. Patkó Gyula

Dr. Péter László

Dr. Penninger Antal

Dr. Szabó István

Dr. Szántó Jenő

Dr. Timár Imre

Dr. Tóth László

Dr. Varga Emilné Dr. Szűcs Edit

Dr. Zobory István

TISZTELT OLVASÓ!

A GÉP folyóirat számai kiterjedt áttekintést adnak a gépipar egészéről és a gazdaság számos kapcsolódó területéről. Legyen szó akár egy intézmény jubileumáról, a gépészmérnöki oktatás sarokpontjait megújító törekvésekről, valamely korábbi neves alkotó életútjáról, hagyományos eszközök új szempontok alapján történő fejlesztéséről, egy-egy vizsgálati eljárás pontosításáról, technológiai és konstrukciós újításokról, méretezési alapadatok és alapelvek finomításáról, a folyamatos költség- és súlycsökkentésről, hatásfoknövelésről, kiterjedt szempontok szerinti optimalizálásról, mindig fellelhető az alkotó emberi elme és a változó eszközrendszer együttműködéséből adódó újdonság - a testet öltött innováció. A Lap e száma is szép példája a műszaki élet sokszínűségének.

Egy területet kiragadva: - két cikk is foglalkozik a géprajzzal, tágabban a műszaki ábrázolással. A téma különlegessége e cikkekben a megközelítések „ellenpontúságában” véletlenül adódott. A hagyományos géprajz „vastörvényei” (méretek megadása, elegendő nézet és vetület az alkatrész azonosításához, technológiai előírások) mindmáig nélkülözhetetlenek a kérdéses elem „dokumentálásához”, ugyanakkor az oktatásra fordítható idő csökken, az igazán biztos eredményre vezető „learning by doing” elv pedig – a hibák és tévutak miatt - drága mulatság az idő-és anyagveszteségek (selejt) miatt. A térlátás „birtoklása” könnyebb a született tehetségek számára, mint azok számára, akiknek ezt tanulniuk és fejleszteniük kell ahhoz, hogy a szakmát művelni tudják.

Ötven évvel ezelőtt egy dízelmotor adagolószivattyújának háza sok tanulsággal szolgált – egy géprajz feladat tárgyaként – arra vonatkozóan, hogy egy szabályos és kevésbé szabályos felületekkel, csapágyazási helyekkel, csőcsatlakozásokkal „tarkított” test milyen legyen a gyárthatóság - öntés, forgácsolás – szempontjából úgy, hogy a funkciónak való megfelelés tökéletes legyen.

Sokáig a hallgatók elrettentésére szolgált néhány ökölszabály: ha csak *egy méret* is hiányzik a rajzról, avagy hiányzik *egy egyes vastagságú vonal* (él), akkor az a rajz *egyes*, ugyanis a darabot nem lehet legyártani!

Ki gondolta volna, hogy eljön az idő, amikor „*a fejlett CAM rendszerek a 3D CAD modellt veszik alapul a CNC pályák generálásához*” (Ficzere P.; Györi M.) és a 2D ábrákon, metszeteken megadott méretek okafogyottá válhatnak – mindaddig, míg jogi eljárás alanyává nem válik a tervező és gyártó (ti. miért tört el, robbant fel...).

Az viszont nem kétséges, hogy a 3D CAD modellek megalkotásához szükséges „... *szakmai tárgyakat azok a hallgatók tudják eredményesen feldolgozni, akik fejlett vizuális kognitív képességekkel rendelkeznek*” (Kovácsné Mezei G.). Szomorú következményként várható, hogy a rapid prototyping eljárással valószínűleg egy hagyományos, kedves térszemléleti fogalmat, a *bennszülött* fogalmát is át kell majd értékelni.

Kedves tudós fejlesztő mérnök Kollégák! Ne aggódjatok - Madách Imre szerint – „Végeetlen a tér, mely munkára hív!”. Vagyis lesz tere és munkája az alkotó mérnöknek!

Dr. Döbröczöni Ádám
a szerkesztőbizottság elnöke

A szerkesztésért felelős: Vesza József. A szerkesztőség címe: 3534 Miskolc, Szervezet utca 67.
Telefon/fax: 06-46/379-530, 06-30/9-450-270 • e-mail: mail@gepujsag.hu
Kiadja a Gépipari Tudományos Egyesület, 1027 Budapest, Fő u. 68. Levélcím: 1371 Bp. Pf.: 433.
Telefon: 06-1/202-0656, fax: 06-1/202-0252, e-mail: a.gaby@gteportal.eu, internet: www.gte.mtesz.hu
A GÉP folyóirat internetcíme: <http://www.gepujsag.hu>
Kereskedelmi és Hitelbank: 10200830-32310236-00000000

Felelős kiadó: Dr. Igaz Jenő ügyvezető igazgató.

Gazdász Nyomda Kft. 3534 Miskolc, Szervezet u. 67. Telefon: 06-46/379-530 • e-mail: gazdasz@chello.hu

Előfizetésben terjeszti a Magyar Posta Rt. Hírlap Üzletága 1008 Budapest, Orczy tér 1.

Előfizethető valamennyi postán, kézbesítőknél, e-mailen: hirlapelofizetes@posta.hu, faxon: 06-1/303-3440. További információ: 06-80/444-444

Egy szám ára: 1260 Ft. Dupla szám ára: 2520 Ft.

Külföldön terjeszti a Kultúra Könyv és Hírlap Külkereskedelmi Vállalat,
H-1389 Budapest, Pf. 149. és a Magyar Média, H-1392 Budapest, Pf. 272.

Előfizethető még közvetlenül a szerkesztőségben is.

INDEX: 25 343 ISSN 0016-8572

A megjelent cikkek lektoráltak.

A kiadvány a Nemzeti Kulturális Alap támogatásával jelenik meg.

TARTALOM

1. Ficzer P.; Győri M.:

A mérethálózatok átalakulása a 3D CAD modellek megjelenésével 5

A fejlett CAM rendszerek a 3D CAD modellt veszik alapul a CNC pályák generálásához, ezért egy hagyományos módon elkészített 2D műhelyrajz ma már a gyártás szempontjából sok felesleges információt tartalmaz. Egy részletes 2D rajz elkészítése akár több időt is igénybe vehet, mint magának az alkatrésznek a megtervezése.

2. Karnok D.:

Átláthatóság logisztikai hálózatokban: egy reaktív megközelítés 9

Az Európai Unió FP7-es ADVANCE projektje keretében egy új dinamikus és reaktív logisztikai rendszert fejlesztettek ki. A rendszert Nagy-Britanniában egy országos hálózatot működtető logisztikai vállalat tesztelte. Az új adatfeldolgozó algoritmusok használatával éves szinten közel félmillió fontot takarítottak meg.

3. Kovácsné Mezei G.:

A vizuális képességek fejlesztése a műszaki ábrázolás tanításában 14

A műszaki szakmák kompetenciái közül kiemelkedően fontos a térszemlélet. A szakmai tárgyakat azok a hallgatók tudják eredményesen feldolgozni, akik fejlett vizuális kognitív képességekkel rendelkeznek. A cikk összefoglalja ezen képességek rendszerét és bemutatja, hogy a műszaki ábrázolásban kialakításuk és fejlesztésük feladatai komplexen jelentkeznek.

4. Kucsera P.; Béres Zs.:

Meleg hengerállvány vastagságszabályozásának fejlesztése 21

Szerzők egy melegalakító hengerállvány automatikus vastagságszabályozó rendszerének fejlesztését mutatják be. A pontos vastagsági méret elérését a hengerállvány deformációjának és egyéb zavaró körülmények kompenzálásával oldották meg. A továbbfejlesztett rendszert a termelésbe bevezették és működési pontosságát mérésekkel igazolták.

5. Magdics G.; Kiss P.:

Súrlódó tengelykapcsolók átvihető nyomatékát befolyásoló tényezők 27

A szárazon súrlódó tengelykapcsolók a mai járművek kulcsfontosságú egységei. Tervezésük még ma is sok egyszerűsítő feltevésen alapszik. Szerző feltételezi, hogy a hő okozta deformáció miatt az egyenes nyomáseloszlás megváltozik, ami kihat a tengelykapcsoló által átvihető nyomaték nagyságára.

6. Molnárfi Z.; Simon F.; Zobory I.:

Próbapálcá és befogó készüléke együttes vizsgálata fárasztóvizsgálat előkészítésére 34

A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen kidolgozott sztochasztikus szimulációs Wöhler-görbe meghatározási módszer validálására fárasztóvizsgálatot terveztek végezni. A vizsgálat-hoz olyan speciális befogó készülékre volt szükség, amellyel elkerülhető a próbatesteken a nemkívánatos hajlítónyomaték kialakulása húzó-nyomó terheléskor.

7. Mózes A.; Drégelyi-Kiss Á.:

Dudorhegesztési folyamat többváltozós optimalizálása kísérlettervezéssel 38

Az ellenállás-dudorhegesztési folyamatot három elsőrendű folyamatparaméter (hegesztőáram, hegesztési idő és az elektróderő) befolyásolja. A létrejött kötés terhelhetőségének maximalizálása helyett szerzők három szempontú (terhelhetőség, deformáció és fröccsenés mértéke) optimalizálás mellett döntöttek.

8. Safranyik F.:

A diszkrét elemes módszer alkalmazása lengőrosták hatékonyságának vizsgálatára 44

A vibrációs rostákat széles körben alkalmazzák a mezőgazdaságban, az építőiparban és az ipar csaknem minden területén. Szerző az optimális rostálási feltételek meghatározására az analitikus megoldás helyett a diszkrét elemes módszert javasolja, amellyel a rostálás nem állandósult periódusai is kezelhetők és nagyobb számítási pontosság érhető el.

A MÉRETHÁLÓZATOK ÁTALAKULÁSA A 3D CAD MODELLEK MEGJELENÉSÉVEL

TRANSFORMATION OF DIMENSIONING DUE TO THE APPEARANCE OF 3D CAD MODELS

*Dr. Ficzere Péter**, *Győri Márk***

ABSTRACT

Modern CAM systems are based on 3D CAD models to generate tool paths, therefore the role of dimensions on 2D drafts has been decreased significantly. A traditionally part drawing contains a lot of unnecessary informations regarding of manufacturing in case of the CNC code is generated by 3D CAM systems.

Contrary to this, a drawing only with the dimensions which cannot be read by the CAD software automatically has a significantly simpler dimensioning.

In this paper we investigate a spindle with relatively complicated geometry. We show the principles of dimensioning and placing other additional informations such as surface roughness, tolerances, manufacturing and technological instructions on the traditional part drawings and which of these are needed in case we possess modelling softwares based on 3D CAD geometry.

1. BEVEZETÉS

Egy alkatrész tervezése során az ötlettől a kész termék elkészültéig számos lépésen keresztül sok feltételnek kell megfelelnünk. Az ötlet megszületését követik a megvalósíthatósági vizsgálatok, a gyárthatóság vizsgálata. Az alakadás után az alkatrészeinket az esetek többségében méreteznünk kell. A méretezés során megvizsgáljuk, hogy az alkatrészt várhatóan milyen terhelések fogják érni, milyen beépítési feltételek mellett. Természetesen a méretezés is több szinten zajlik, mind vázlat szintjén, mind a már kész rajzok alapján történő ellenőrző mechanikai számítások során. Ennél pontosabb eredményt érhetünk el az alkatrészek végelemes analízisével, ehhez azonban már szükségesek a pontos geometriai méretek [1]. Az alkatrészek valós igénybevételéről a méretezési eljárások közül a legmegbízhatóbb eredményeket a valós modelleken végzett kísérletek során kaphatjuk [2], [3].

A méretekre vonatkozó kritériumok sok esetben már az ötletek megszületése előtt, a probléma felvetésekor

adottak. Ilyen esetek azok, amikor egy újabb, továbbfejlesztett alkatrésznek, szerkezetnek egy adott helyen el kell férnie, adott helyre beépíthetőnek kell lennie.

A tervezés végső fázisaiban szükséges elkészíteni az alkatrészhez tartozó komplett műszaki dokumentációt. Ennek hangsúlyos része az ún. rajzdokumentáció. Az alkatrész egyértelmű meghatározásához nem elég az alak bemutatása, hanem méretei és az előállításához szükséges összes egyéb előírást is tartalmaznia kell a rajznak [4]. Ezeket a rajzokat műhelyrajznak, alkatrészrajznak nevezzük.

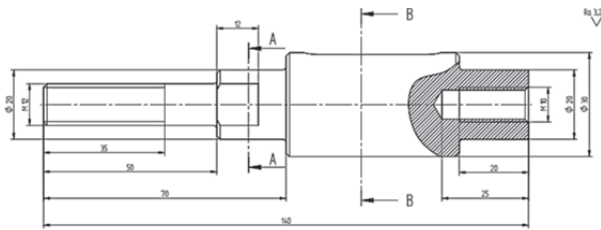
Az alkatrészrajzok esetében is igaz, hogy követelmény az egyértelműség és az egyszerűség. A rajzok készítésekor ezen követelmények eléréséhez sok szempontot kell figyelembe venni, valamint a rajzi szabványokat is be kell tartani. Bár a szabványok csak ajánlásokat tesznek, azok mellőzése többnyire az egyértelműség, érthetőség rovására megy. A rajz alapján az alkatrész geometriájának, sajátosságainak ki kell derülnie, a reprodukáláshoz pedig minden méretnek adottnak kell lennie. Az alkatrészt a megfelelő méretarányban, a szükséges és elégséges számú vetületben, metszetben ábrázoljuk. Azt, hogy hány nézet, metszet szükséges az alkatrész geometriája határozza meg. Ezeket a nézeti, metszeti képeken kell a méreteket elhelyezni. A méretek rendszerezett sokasága adja a mérethálózatot. A méretekkel, valamint a mérethálózat kialakításával kapcsolatban szintén sok előírásnak, ajánlásnak kell megfelelni. Ezek az előírások biztosítják a megfelelő átláthatóságot.

A méretekkel szemben támasztott főbb követelmények:

- A méretszám (a kiegészítő jelekkel, szimbólumokkal (\emptyset , \square) együtt) lehetőleg kényelmesen elférjen a mérethatárolók között. (Ha nincs elég hely, akkor inkább mellette. Abban az esetben, ha ott sincs hely, akkor célszerű kinagyított részletet készíteni).
- Méretvonalat semmi nem metszhet (a legkisebb méret van belül, kifelé növekszik, kívül van a legnagyobb méret (méretszintek)).

* egyetemi adjunktus, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Járműelemek és Jármű-szerkezetanalízis Tanszék

** egyetemi tanársegéd, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Járműelemek és Jármű-szerkezetanalízis Tanszék



1. ábra Mérethálózat

- Min. 8-10 mm távolság szükséges a méretvonalak között
- Rajzolvasás iránya:
 - o a rajz alulról és jobbról olvasható legyen;
 - o a méretszám a méretvonal felett minimum 1 mm-rel (nem „ül” rá a vonalra);
 - o a méretszám a méretvonalától balra (jobbról olvasva felette);
- Minden méret egyszer és csak egyszer szerepeljen a rajzon;
- Bázisméretezés (Bázis: több méret közös kiindulási síkja);
- Szimmetrikus, szabályos testek esetén természetesen a szimmetriatengelyek segítenek az adott információk megfelelő értelmezésében.

Bázisból egy rajzon több is lehet. Például az 1. ábrán látható tengely esetében a tengely két végén lévő síkok mindegyike bázis. A bázisfelületeket minden esetben úgy kell megválasztani, hogy azoktól az alkatrész különböző felületeit könnyen lehessen mérni, beméretezni. Bázisfelületet előírhatunk működés, szerelés, gyártás szempontjából fontos felületekkel, vagy a főméretek határoló vonalaival is.

A fenti felsorolásból látszik, hogy a megfelelő, mérethálózattal ellátott rajz elkészítése összetett, mérnöki gyakorlatot és gondolkodásmódot igénylő feladat, mely jelentős gyártástechnológiai ismereteket is feltételez.

A gyártás kiindulási alapja a műhelyrajz. Napjainkban a 3D CAD modellek elterjedt alkalmazása mellett egyre gyakrabban ezeket a 3D modelleket, a geometriát közvetlenül felhasználva generáljuk az adott alkatrész gyártásához szükséges CNC kódokat. Az ellenőrzések során a mérőgépek is egyre inkább az eredeti 3D CAD geometriát veszik alapul és ehhez viszonyítják a mért értékeket. Ezért – sokakban felmerült -, hogy nincs is valójában szükség a bonyolult, összetett és időigényes 2D-s rajzdokumentációra.

2. MÓDSZER

Egy 3D CAD modellekkel dolgozók körében végzett felmérés szerint jelenleg 227 mérnök (tervező-, gyártó-) közül csak egy mérnöknek nem kell 2D-s rajzdokumentációt készítenie. Tehát hiába dolgoznak a

tervezés és a gyártás során a mérnökök kizárólag testmodellekkel, a 2D-s rajzdokumentáció továbbra is elvárás, még, ha nem is feltétlenül használják. Egy másik felmérés szerint a tervezés során a mérnökök a gyártásra kész tervek, modellek, számítások elvégzésével közel azonos időt töltenek el, mint a dokumentáció elkészítésével. Ez a mérnökóradíjakat figyelembe véve jelentős többletköltséghez vezet.

Jelen tanulmányban ebből a szempontból megvizsgálunk egy viszonylag összetett geometriával rendelkező tengelycsonkot. Bemutatjuk, hogy hogyan, milyen és hány méretet, információt (értésségek, tűrések, gyártási utasítások) kell elhelyezni a hagyományos módon elkészített alkatrészarajzon, valamint mit szükséges ezek közül feltétlenül megadnunk a gyártáshoz, amennyiben rendelkezünk 3D CAD geometriával és azon alapuló gyártás-szimulációs szoftverekkel (CAM). A vizsgált tengelycsonk látható az alábbi ábrán.

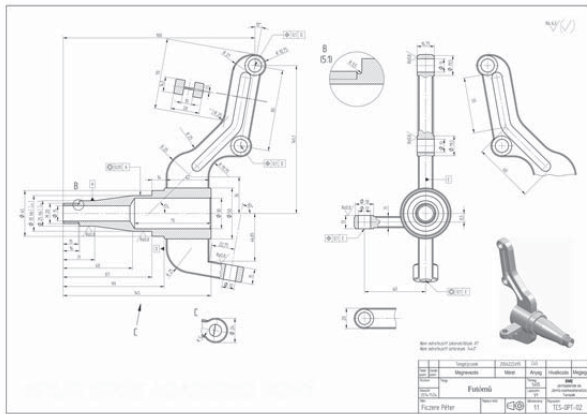


2. ábra A vizsgált alkatrész

Jól látható, hogy az adott gépjármű tengelycsonk összetett, alakját, bizonyos pontjait döntően meghatározza a futómű-geometria. Több helyen csapágyazott, kikönnnyített geometriáról beszélhetünk [5].

3. EREDMÉNYEK

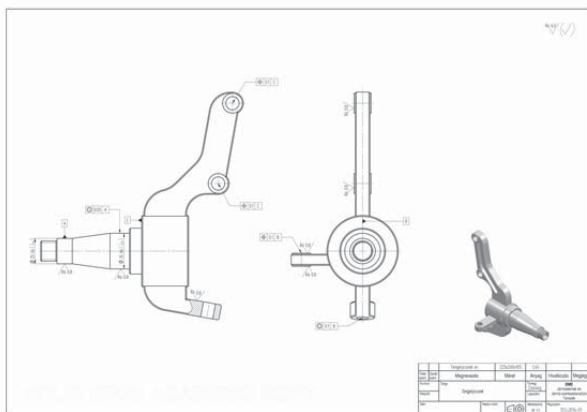
Elsőként nézzük meg, hogy néz ki a szabványok előírásainak megfelelő komplett mérethálózat (3. ábra). Már a bázisok megválasztása sem egyszerű, de sok nehézséget okoz azon előírás betartása is, miszerint méretvonalat semmi nem metszhet. Természetesen több helyes megoldás is lehetséges, így az sem nyilvánvaló első látásra, hány és milyen irányú vetületre, metszetre lesz szükség az alkatrész egzakt ábrázolásához.



3. ábra Műhelyrajz teljes méréthálóval

Látható az is, hogy sok esetben kiemelt, kinagyított részletekre van szükség. A belső részek megmutatása, metszetek, szelvények, kitérés alkalmazása is sok esetben komoly megfontolást igényel.

Ezzel szemben egy olyan rajz, melyen csak azokat a méreteket adjuk meg, amelyek a 3D CAD modellből a CAM szoftver számára automatikusan nem olvashatók ki, lényegesen egyszerűbb méréthálózattal rendelkezik. Ugyanez az alkatrész látható a 4. ábrán, a 3D CAD modellből automatikusan nem kiolvasható paraméterekkel ellátva.



4. ábra CAM számára szükséges információk a CAD geometria megléte esetén

Első látásra is szembeütő a két rajz közötti különbség. Az ábrán látható, hogy az alkatrész geometriáját meghatározó méretek - néhány kivételtől (tűrésezett méretek) eltekintve - nincsenek feltüntetve. A CAM szoftverek számára a 3D CAD geometria a bemenet, a CNC pályák generálásához szükséges kiindulási alap. A gyártási, forgácsolási paraméterek megadásához szükséges a méreteken kívül az előírt felületi minőségek és a tűrések ismerete is. Ezeket jelenleg a CAD testmodellek még nem tartalmazzák. A geometriai (névleges) méreteken túl a tűrések ismerete fontos számunkra. Pl. egy $\varnothing 50p6$ -os tűrésű méret

esetén az alapeltérés és az alsó eltérés is negatívra adódik, így a CAD geometria által átadott $\varnothing 50$ mm-re történő pályagenerálás biztosan selejtet fog eredményezni.

A tűrésosztályok, valamint az alak- és helyzetűrések ismerete szintén elengedhetetlen, hiszen ezek határozzák meg az adott méretek pontosságát, a névleges mérettől, pozíciótól való eltérés megengedett mértékét. Az előírt pontosság pedig meghatározza számunkra, hogy milyen gépen, milyen eljárással, milyen forgácsolási paraméterekkel (fogás, előtolás), milyen szerszámmal (nagyolás, simítás) tudjuk az adott alkatrészt legyártani.

A felületi minőséget szintén nem tartalmazzák a testmodellek, így azokat szintén külön elő kell írunk. Azt, hogy hol, milyen felületi érdességeket írunk elő, elsősorban a működés határozza meg, de adott esetben lehet az esztétikum is meghatározó. Olyan helyeken, ahol nincs az adott felületnek funkcionális szerepe, és nincs is szem előtt, nem érdemes előírni külön a felületekre vonatkozó előírásokat, mivel az csak a gyártási költségeket növeli. Ugyanakkor az előírt felületi érdességek meghatározzák a gyártási eljárásokat, valamint a technológiai paramétereket, így azok nem hagyhatóak el.

Egy műhelyrajz esetén természetesen nem feledkezhetünk meg az alkatrész anyagának definiálásáról sem. Ezt az adatot elvileg hozzá tudjuk rendelni a testmodellhez. A műhelyrajz készítésekor a szoftver ezt figyelembe veszi, metszetetek, kitérés készítésekor a szabványban leírt módon, az anyagnak megfelelő sraffozást fogja alkalmazni. Továbbá megfelelő beállítás esetén az anyag rovatot is automatikusan kitölti, sőt a geometria térfogathoz az anyagjellemzők segítségével egy tömegértéket is automatikusan hozzárendel. Ez főleg logisztikai, anyaggazdálkodási szempontból jelent sok segítséget. A CAM szoftverek számára fontos anyagjellemzőket (pl. forgácsolhatóság, stb.) általában a CAD rendszerekben lévő anyagjellemzők nem tartalmazzák, így azt a gyártást tervező mérnöknek ismernie kell, így az anyag rovat nem mellőzhető a műhelyrajzokról.

Fontos megjegyezni, hogy az újabb szoftverekben már létezik automatikus méretezés funkció, de nem helyettesíti a mérnököt, mert a méretezési szabályokat nem ismeri, csak a 3D geometria létrehozásánál felvett méreteket veszi át. Ugyanígy az automatikus középvonal funkcióval is spórolhatunk némi időt, de itt is elengedhetetlen az ellenőrzés.

Számszerűsítve a különbségeket a vizsgált alkatrész esetében ez azt jelenti, hogy a hagyományos módon méretezett esetben összesen 63 méretet, valamint 15 kiegészítő jelet (bázis, felületi érdességek, pozíciótűrések) kellett megfelelő rendszerben elhelyezni összesen a rajzon, ami 7 rendezett vetülettel, metszettel, kiemelt részlettel vált megvalósíthatóvá. Ezzel

szemben a gyártáshoz mindössze 2 méretre (tűrésezett méretek), és 15 kiegészítő jelre volt szükség. Ezek megadásához 2 nézet is elegendő volt.

4. ÖSSZEFOGLALÁS

Napjainkban a digitális világ töretlen fejlődésével előtérbe kerültek a digitális prototípusok [6], [7]. Egyre inkább testmodellekkel dolgoznak a fejlesztők, aminek a felhasználásával a gyártási folyamatok tervezése is egyszerűsödik, gyorsul. A fejlett CAM rendszerek a 3D CAD modellt veszik alapul a CNC pályák generálásához. Így a 2D műhelyrajzokon elhelyezett méréthálózat szerepe jelentős mértékben csökkent. Egy hagyományos módon elkészített 2D műhelyrajz ma már a gyártás szempontjából sok felesleges információt tartalmaz, amennyiben 3D CAM rendszerekkel generáljuk a gyártáshoz szükséges CNC kódot. Ezáltal a műszaki rajz alapvetésével – miszerint mindent a lehető legegyszerűbben, de egyértelműen adjunk meg – szembemegyünk, hiszen csak a gyártáshoz szükséges információk megadásával lényegesen egyszerűbb, jobban áttekinthetőbb rajzokhoz juthatunk, csökkentve ezáltal a hibalehetőségeket.

Fontos szempont az is, hogy sok esetben már a 2D műhelyrajzokra a teljes termék-életciklus során sehol nincs szükség, mégis a legtöbb helyen annak megléte elvárás. Összetettebb, bonyolult geometriával rendelkező alkatrészek esetén a 2D műhelyrajz dokumentáció egzakt elkészítése jelentős szaktudást, gyakorlatot igénylő feladat. A rajzok megfelelő elkészítése akár több időt is igénybe vehet, mint magának az alkatrésznek a megtervezése.

Bizonyos területeken tehát érdemes lenne átgondolni, valóban szükség van-e a megszokott, hagyományos 2D műhelyrajz dokumentációra.

5. IRODALOM

- [1] FICZERE P., BORBÁS L., Török Ádám, Usage of rapid prototyping in vehicle manufacturing, In: Stanislaw Borkowski, Dorota Klimecka-Tatar (szerk.), Toyotarity: Elements of the organization's mission. 225 p.
- [2] P. FICZERE, L. BORBÁS, A. TOROK, Validation of Numerically Simulated Rapid-prototype Model by Photoelastic Coating, ACTA MECHANICA SLOVACA 18:(1) pp. 14-24. (2014)
- [3] P. FICZERE, Usage of 3D printing in photostress investigation, PRODUCTION ENGINEERING ARCHIVES / ARCHIWUM INZYNIERII PRODUKCJI 7:(2) pp. 16-19. (2015)
- [4] KLEMENTIS Cs., NYOLCAS M., CSEKE J., NYITRAI J., TÖRÖK I., BÁNDY A., BARTA M., LOVAS L. (szerk.), Műszaki ábrázolás I.: egyetemi

BSc jegyzet, Budapest: Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, 2010. 203 p.

- [5] FICZERE P., TÖRÖK Á., Gépjárműalkatrészek biztonságkritikus optimalálása, A JÖVŐ JÁRMŰVE: JÁRMŰIPARI INNOVÁCIÓ 8:(3-4) pp. 66-70. (2013)
- [6] P. FICZERE, L. BORBÁS, Á. TÖRÖK, ECONOMICAL INVESTIGATION OF RAPID PROTOTYPING INTERNATIONAL JOURNAL FOR TRAFFIC AND TRANSPORT ENGINEERING 3:(3) pp. 344-350. (2013)
- [7] FICZERE P, BORBÁS L, Material law for numerical analysis of rapid prototype products, In: Francesca Cosmi, Francesco Iacoviello (szerk.), 9th Youth Symposium on Experimental Solid Mechanics (YSESM 2010). Konferencia helye, ideje: Trieste, Olaszország, 2010.07.07-2010.07.09. Trieste: Università degli Studi di Trieste, 2010. pp. 9-12., (ISBN:978-88-95940-30-4)

ÁTLÁTHATÓSÁG LOGISZTIKAI HÁLÓZATOKBAN: EGY REAKTÍV MEGKÖZELÍTÉS

TRANSPARENCY IN LOGISTICS NETWORKS: A REACTIVE APPROACH

KARNOK DÁVID^{*,**}

ABSTRACT

Hub-and-spoke logistics networks are able to fulfill requirements formerly perceived as contradicting criteria in the logistics industry, and can combine complementary competencies of participating enterprises. This, however, implies organizational heterogeneity which may hamper network wide transparency needed for improved operation. The ADVANCE project was aimed to bridge such transparency gaps by providing modeling, analysis and decision support tools to utilize the potential implicitly present in the network. A key component in this work is a data-flow framework which relies on an implementation of the reactive programming paradigm for large data throughput with efficient resource usage. Even if this common dataflow platform is available to model and handle shipping processes and operational data, much effort is required in the negotiation and matching of participants' data models, both in the flow design as well as the execution phase. The paper presents one possible approach to meeting these challenges in the case of the ADVANCE Flow Engine, namely, with the combination of a structural type-system, a type-inference algorithm and a reactive dataflow-based platform.

1. BEVEZETÉS

A múltban, kis mennyiségű – tipikusan nem teljes kamionnyi (less-than-truckload) – küldemény szállítása egyszerre gyorsan és olcsón ellentmondásos követelménynek tűnt. Az elmúlt 1–2 évtizedben egy újfajta logisztikai hálózat-szervezés bukkant fel, ami 1) lehetőséget nyújt a küldemények „átcsoportosítására” a jobb szállítójármű-kihasználás érdekében, illetve 2) lehetővé teszi a hálózati résztvevők egymást kiegészítő kompetenciáinak az egész hálózat érdekében történő kihasználását. Ebben a küllős hálózatban (hub-and-spoke) a „küllők” (melyeket **depó**knak is neveznek), jobban ismervén a helyi lehetőségeket,

kezelik a küldemények összegyűjtését és kiszállítását, míg a központi, nagy átbocsátóképességű központi raktár, vagy **hub**, végzi az átcsoportosítást és újraelosztást (1. ábra).

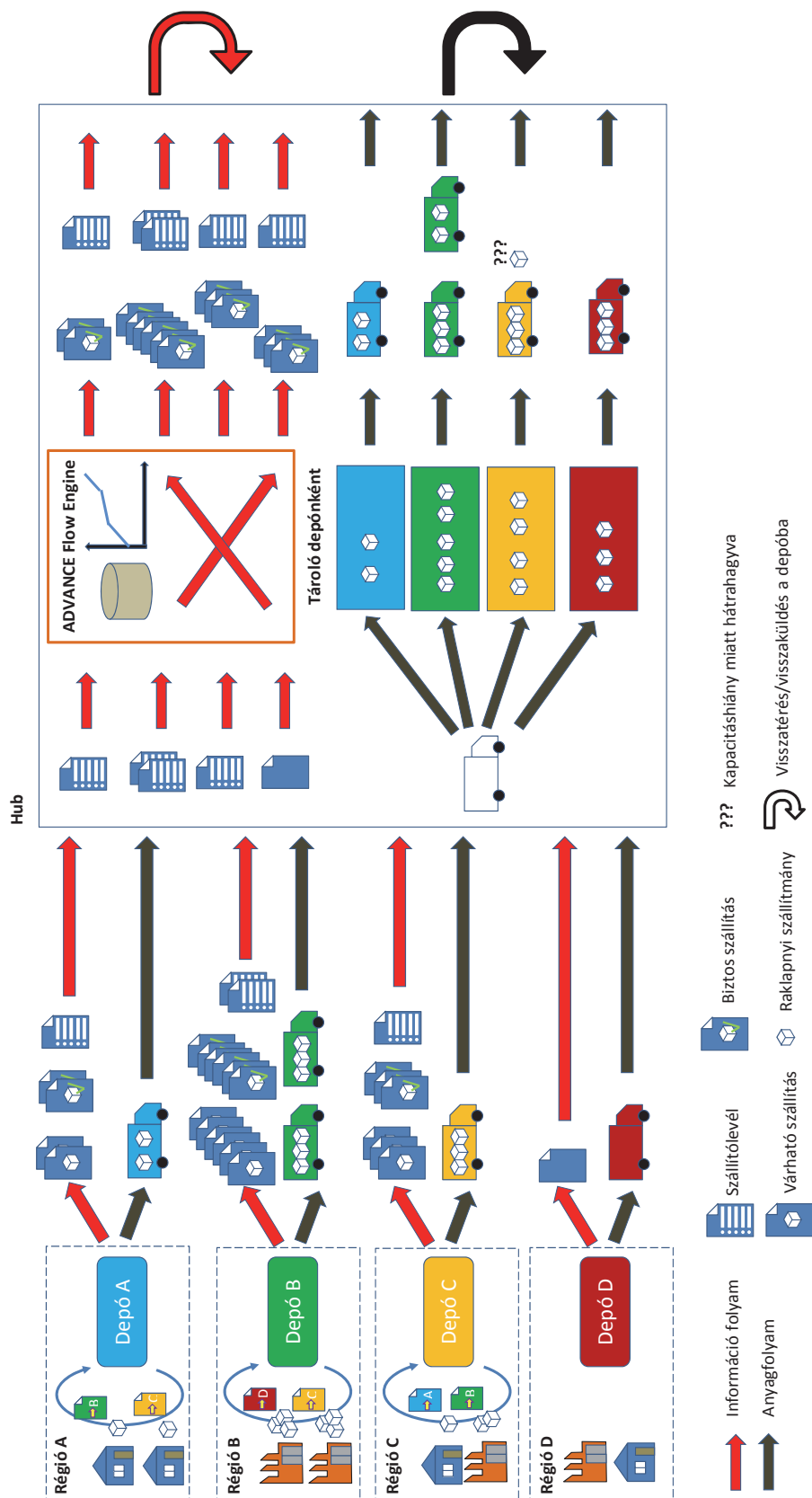
2. A HÁLÓZAT MŰKÖDÉSE

Ezek a hálózatok általában ún. franchise jelleggel működnek: a csatlakozás bizonyos feltételek elfogadása mellett lehetséges. A hálózat egészének érdekében az egyes depók pl. csak a központi hub által meghatározott vonzaskörzetből gyűjthetnek össze szállítandó csomagokat, s bár nem tilos számukra a közvetlen, hub-ot kihagyó kiszállítás, mégis gyakran valamilyen kompenzációval érdekeltté teszik a depókat a hálózaton belüli szállításra.

A depók a kiosztott vonzaskörzetekben a háztartások, üzletek és az ipar által küldött csomagokat összegyűjtik, majd tipikusan 1 m² alapterületű raklapokra osztják szét. Ezen csomagok egy vonalkódos matrikát kapnak, amin szerepel a méret, tömeg, a forrás depó, a cél hub és a kiszállító depó, valamint a feladó és a fogadó pontos címe. A vonalkódot (egyedi azonosító) a hub információs (IT) rendszerével az interneten keresztül generálják. Ennek a kódnak a megléte azonban még nem garantálja, hogy a csomag valóban a hálózaton keresztül lesz szállítva, illetve hogy ha igen, akkor még aznap útnak indul. A depók dönthetnek úgy, hogy a jobb járműkihasználás érdekében bevárnak csomagokat, vagy éppen a csomag tulajdonosai miatt inkább a hálózaton kívül, közvetlenül szállítanak ki. Miután megszületett a döntés a hálózaton belüli szállításról, a raklapok ún. elkötelezett állapotba kerülnek az IT rendszerben, majd megkezdődik a raklapok kamionokra rakodása. Ennek befejeztével elkészül a szállítólevél a kamion részletes tartalmáról, majd az útnak indul a központi hub felé (ami egyes országokban akár 5–10 órányi út is lehet.)

* doktorandusz, Budapesti Műszaki Egyetem Gépészmérnöki Kar

** Tudományos segédmunkatárs, MTA SZTAKI



1. ábra: A küllő-jellegű logisztika hálózatok anyag- és információ-folyamai.

A hub-ok a kiszolgálandó depók számától függően több, fedett raktárból állnak, ahol minden raktár ún. „sorokra” (bay) van felosztva, ami megfelel egy cél depónak. A hub-ba beérkező kamionok tartalmuk alapján akár több raktárt is megjárhatnak, ahol a róluk lerakodott raklapok a fogadó depónak megfelelő sorba kerülnek. Az üres kamionok ezután egy központi parkolóban várják meg, hogy berakodásra hívják őket abba a raktárba, ahol az ő tulajdonos depójának szánt raklapok vannak. Elvileg lehetséges lenne egy időben le- és felrakodni egy kamiont, de a biztonsági előírások és a raklap-követési követelmények mellett ez megnövekedett átrakodási idővel járhat, ami akár napi egy órás késleltetést is jelenthet. A felrakodás tényét általában kézi vonalkód-olvasóval rögzítik a hub saját IT rendszerében. A felrakodást követően újabb szállítólevél kerül kiállításra, majd a kamionok visszaindulnak a saját depójukba.

Bár hatékonyan működhetnek, az efféle hálózatoknak is vannak karakterisztikus korlátai mind a kihasználás, agilitás és kapacitáshiány-kezelés területén. A legtöbb ebből származó probléma visszavezethető az információs átláthatóság szervezeti heterogenitásból eredő hiányosságaira:

- korlátozott, eltérő gyakoriságú, időben eltolva vagy késlekedő információmegosztás,
- az üzleti információk kiszivárgásával kapcsolatos aggályok és
- egyáltalán, a motiváció hiánya a működési információk megosztásával kapcsolatban.

Elméletileg az összes, küldeményt és raklapot érintő eseményt (felrakodás, lerakodás, szállítás) lehetőség van az IT rendszerben „lejelenteni”, de a fegyelem, illetve a technológiai felkészültség depónként nagy eltéréseket mutathat.

Mivel az egyetlen kötelező esemény a vonalkód kiosztása, a hub-nak és a cél-depóknak nincs sok idejük és lehetőségük reagálni az esetleges megnövekedett csomagmennyiségre vagy éppen a kihasználatlanságra. Így könnyen előfordulhat, hogy az egyes depók nem küldenek elég kamiont a nekik szánt csomagok elszállítására, így raklapokat kell a hub-ban hagyniuk. Ilyenkor vagy kötbért kell fizetni, vagy a hub-nak kell saját költségen alkalmi kiszállítót bérelni. A megnövekedett bejövő raklapmennyiség is okozhat nehézséget, mert a raktárak is véges kapacitásúak: ilyenkor kénytelen a hub késleltetni a kamionok lerakodását, vagy egyes kamionokat átmeneti tárolónak használni.

A második lehetséges gond, hogy a lejelentés nem mindig elektronikusan, hanem pl. telefonon keresztül történik; gyakran maga a hub kérdezi le telefonon a depók állapotát és terveit.

A harmadik probléma, hogy maga az IT rendszer is korlátozott képességekkel rendelkezik, gyakran archaikus, zárt szoftver-technológiák mentén készült, így annak kibővítése, vagy a benne tárolt adatok pl. elemzés céljából történő kinyerése is gondot okozhat.

A fenti problémák egyszeri átfogó kezelése elfogadhatatlan kockázatot jelenthet az évtizedes tapasztalatokra, bejáratott folyamatok bonyolult, változásokra érzékeny egyensúlyára támaszkodó logisztikai rendszerekben, ezért új megoldások bevezetése csak inkrementális módon, a visszalépés lehetőségének fenntartásával történhet. Első lépésként kézenfekvő lehet a hálózat létező, implicit lehetőségeinek jobb kihasználása. Ekkor a hálózatban már meglévő és elérhető, de valószínűleg szegényesen szervezett adatokat és adatforrásokat új módszerekkel aknázzuk ki anélkül, hogy ez a résztvevők üzleti modelljét, működésük alapvető menetét érintené.

3. AZ ÚJ INFORMÁCIÓS RENDSZER

Az ismertetett logisztikai folyamatok támogatására szolgáló IT rendszernek az alábbi követelményeknek kell megfelelnie:

- heterogén adatforrásokból származó adatokat kell hatékonyan és kis késleltetéssel összegyűjtenie,
- nagy mennyiségű adatot kell tudnia kezelni,
- mind az emberi felhasználóknak, mind a döntéstámogató társ-rendszereknek, mind a depók esetleges saját IT rendszerével is együtt kell tudnia működni, valamint
- kellően rugalmasnak kell lennie az esetleges anyag- és információs-folyamokat érintő strukturális változások gyors lekezelésében.

Ezen követelményeknek a legtöbb jelenlegi, zárt technológiájú IT rendszer nem képes megfelelni (vagy nagyon drága felkészíteni azokat). A probléma forrása ezekben a rendszerekben az alábbi három tulajdonságra vezethető vissza:

1. A különféle depó és hub rendszerek mai értelemben véve nem-standard módon kommunikálnak egymással. Ez egyedi, nem mindig megbízható kommunikációs csatornákat jelent, ráadásul a korábban kifejlesztett rendszerekben alkalmazott, a fizikai anyagfolyam leírására szolgáló digitális adatmodell is eltérő lehet résztvevőnként.
2. Bár az információs-folyam mérete paraméterezhető ezekben az IT rendszerekben, maga az információ-áramlás szerkezete a szoftverek fejlesztésekor rögzítésre került. Ahhoz, hogy az ilyen IT rendszerekbe pl. új adatfeldolgozó lépés, új lehetséges raklap-állapotok kerülhessenek, vagy a főlegessé vált meglévő komponenseket eltávolíthassák, komoly fejlesztésekre van szükség, ami

nem biztos, hogy lehetséges, ha az eredeti rendszert fejlesztő cég, vagy az alapjául szolgáló zárt technológia manapság már nem létezik, vagy további fejlesztésre nem elérhető.

3. A rendszerek maguk egy vagy több programból állnak, amelyek ún. feldolgozó szálakra vannak bontva. Ezek a szálak felelősek pl. a résztvevő rendszerek közötti kommunikáció lebonyolításáért, a különféle számítások elvégzéséért, valamint a raklapokat érintő események adatbázisban történő rögzítéséért. Ezen műveleteket ún. blokkoló módban végzik, ami azt jelenti, hogy a program gyakorlatilag nem csinál mást, mint várakozik és eközben rendszer-erőforrásokat feleslegesen, más folyamatok rovására tart fogva. Ez különösen akkor érezhető, amikor nagy mennyiségű adatot és eseményt kell összevárnia a különféle társ-rendszerekből.

Ezen hiányosságokat kiküszöbölendő, a 2010-ben indult Európai Unió ADVANCE projekt (Advanced predictive-analysis-based decision-support engine for logistics, vagyis fejlett előrejelző- és elemző-alapú döntéstámogató motor logisztikai felhasználásra) célja volt az említett, több résztvevős küllős szerkezetű logisztikai hálózatok továbbfejlesztése. Nyílt információ-technológiai alapokon működő modellező-, optimalizáló- és előrejelző-eszközökhöz, valamint az ezekhez szükséges adatok és információk heterogén forrásokból való összegyűjtéséhez egy újszerű, reaktív koordinációs- és adatfolyam keretrendszer került megvalósítása.

Az elvégzett kutatás-fejlesztési munka az alábbi, újrafelhasználható eredményeket célozta meg:

- egy újszerű adatfolyam-keretrendszer létrehozása, ami erőforrás-hatékonyan képes modellezni a jelenlegi adatáramlás-struktúrákat és lehetőséget ad új struktúrák vagy folyamatok kipróbálására,
- egy új adatmodellezési elv definiálása, amely a heterogén adatmodellek értelmezéséhez és közös használatához, valamint automatikus helyesség-ellenőrzéshez nyújt segítséget,
- IT eszközök fejlesztése a heterogén információs folyamatok vállalatok közötti megtervezéséhez és lefektetéséhez, valamint
- fejlett modellező és előrejelző algoritmusok megvalósítása, melyek egy fejleszhető hosszútávú döntéstámogató rendszert szolgálnak ki.

A projekt keretében kifejlesztett megoldások és alkalmazásuk teljes ismertetése jelen cikk tartalmi keretein messze túlmutatna; e helyütt csupán ezek néhány fontosabb szerkezeti jegyei, algoritmusai és tulajdonságai kerülnek ismertetésre. A megvalósítás további

részleteit [1] és [2] ismerteti, ajánlott továbbá a projekt honlapján (<http://www.advance-logistics.eu>) fellelhető dokumentáció.

A raklapok, kamionok, depók és a hub tulajdonságainak és állapotának digitális leírására szolgáló adatmodelleket általában nem egységesen tervezik meg és nem mindig egységes adatformátummal való-sítják meg. Mivel az IT rendszerek csak konkrét és kompatibilis leírások megléte esetén tudnak egymással kommunikálni, definiálásra került egy újszerű, magasabb szintű adatmodell-leírás, ami képes megragadni a lehető legnagyobb közös részt a hálózatban működő különféle IT rendszerek saját adatmodell-leírásaiból, ugyanakkor átlátható módon lehetővé teszi az egyes résztvevők adatmodelljeinek ennél bővebb leírását. Ezt nevezzük adat meta-modellnek. Jellemzője, hogy a résztvevők adatmodelljeit egy közös, *strukturális leírássá* alakítja, ezáltal lehetőséget nyújtva azok dinamikus elemzésére és összehasonlítására. A közös „nyelv” megteremtése és az erre támaszkodó konverziók révén már sokkal könnyebben megvalósítható az említett heterogén rendszerek közötti kommunikáció. Megjegyzendő, hogy ezt az adat meta-modellezést általában ritkán kell elvégezni, és nem befolyásolja a napi szintű üzemelés teljesítményét.

A közös adat meta-modell leírás birtokában már lehetőség van dinamikus felépíteni az adatfeldolgozás lépéseit. Ez egy tervező-tevékenység, amihez a projekt során megvalósításra került egy újszerű keretrendszer, amiben lehetőség van grafikus felület segítségével felépíteni az adatfeldolgozás lépéseit ún. általános blokkokból. Ezen blokkok, egyfajta fekete dobozok, különféle számítási és koordinációs feladatokat képesek ellátni. Jellemzőjük, hogy rendelkezhetnek több be- és kimenettel, ahová adatfolyamokat lehet „bekötni”, gyakran adat-metamodelltól függetlenül is. Ahhoz viszont, hogy az így megtervezett adatfeldolgozó-hálózat helyesen működjön, ellenőrizni kell ezen blokkok közötti kapcsolatokat, amelyre egy új, ún. típus-inferencia algoritmus lett kifejlesztve. Ez az algoritmus képes meghatározni, hogy a tervező inkompatibilis összeköttetést hozott-e létre (pl. azzal, hogy egy szám-típusú bemenetre szöveg-típusú kapcsolatot definiált). Ezen túl meghatározza, hogy a felépítés dinamikussága miatt az egyes kapcsolatokat végeredményben milyen, minimális adat meta-modell írja le.

A megtervezett adatfeldolgozó-hálózatot ezt követően működtetni is kell, ami az elvárt teljesítmény és a rendszereken átáramló adatmennyiségek miatt nem lehet a hagyományos, ún. húzó-jellegű (pull) és várakozó módon hatékonyan végrehajtani. Ehelyett az utóbbi 5 évben felfedezett és egyre elterjedőben lévő

ún. reaktív paradigmát követve egy új, úgynevezett nyomó-jellegű (push) adat-mozgatással történő végrehajtó keretrendszer került megvalósításra, ami a megtervezett adatfeldolgozó hálózatot lefordítja a számítógép számára értelmezhető adatfolyam-gráffá, ahol a különféle feldolgozó lépések már nem várnak az adatokra, hanem *reagálnak, amint azok elérhetővé válnak*. Mivel egyszerre több, egymástól független és párhuzamosan működtethető hálózatra is szükség lehet, a megvalósított keretrendszer, amit **ADVANCE Adatfolyam-Motornak** (ADVANCE Flow Engine, lásd 1. ábra) neveztünk el, képes több, ún. *végrehajtó környezet* (realm) futtatására is. Az így működő adatfeldolgozás akár egy nagyságrenddel kisebb késleltetéssel és akár több nagyságrenddel nagyobb adatmennyiséget képes kezelni ugyanannyi idő alatt. Megjegyzendő, hogy a megoldás alapjául szolgáló reaktív szoftver-programkönyvtár az elmúlt években számtalan, független, gyakran nyílt-forrású implementációja látott napvilágot.

4. ÖSSZEFOGLALÁS, KONKLÚZIÓ

Ahhoz, hogy az ún. küllős szerkezetű logisztikai hálózatokban, napi szinten akár milliós nagyságrendű eseményt hatékonyan fel lehessen dolgozni, a klasszikus ún. várakozó és blokkolóadatfeldolgozás-megközelítés már nem elegendő. Az Európai Unió FP7-es ADVANCE projektje keretében egy új, dinamikus és reaktív keretrendszert fejlesztettünk ki a probléma kezelésére, amely a hálózatokban meglévő heterogén adatforrások egyesített értelmezését támogató új adat-metamodellből, egy ún. push-alapú reaktív adatfolyam feldolgozó keretrendszerből és a dinamikus adatfolyam-gráf helyességét ellenőrző típusinferencia algoritmusból áll.

A projekt keretében a megvalósított rendszert Nagy-Britanniában egy országos hálózatot működtető logisztikai vállalat saját folyamataira testesztelték, ahol a nagyobb átláthatóság és a konkrét körülményekhez igazított adatfeldolgozó algoritmusok éves szinten közel 500 ezer fontot takarítottak meg.

5. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A bemutatott kutatási munkát az Európai Unió FP7 keretprogramjának 257398 számú, “ADVANCE—Advanced predictive-analysis-based decision-support engine for logistics” című projektje támogatta.

6. IRODALOM

- [1] Karnok D, Kemény Zs., (2012): Definition and handling of data types in a dataflow-oriented modelling and processing environment, MITIP 2012. 14th International Conference on Modern Information Technology in the Innovation Processes of the Industrial Enterprises, ISBN: 978-963-311-373-8.
- [2] Karnok D, Kemény Zs., (2012): Framework for building and coordinating information flows in logistics networks, MITIP 2012. 14th International Conference on Modern Information Technology in the Innovation Processes of the Industrial Enterprises, ISBN: 978-963-311-373-8.

A VIZUÁLIS KÉPESSÉGEK FEJLESZTÉSE A MŰSZAKI ÁBRÁZOLÁS TANÍTÁSÁBAN

DEVELOPING VISUAL SKILLS IN TEACHING TECHNICAL DEPICTION

*Kovács Gáborné Mezei Gizella**

ABSTRACT

Technical depiction is a special subject: it needs geometrical knowledges, ability of inner vision of three-dimensional shapes, creativity to solve tasks and accuracy, moreover aesthetic demand to make drawings. At the same time, dealing with the object in a conscientious and hardworking way, geometrical knowledge is increasing, space perception and the creativity are developing while drawings are becoming more and more demanding.

In what follows, I try to summarize the explanation of draw and drawing, technical drawing and mechanical drawing, furthermore, the importance of the object and its effect on development of space perception and its reaction on drawing skills.

I show the common and special aims also the tasks of technical depiction, I outline the teachers' opportunities which they can mobilize in the interest of reaching these aims in the process of teaching-learning of the object.

I examine what kind of possibilities and tools we have to teach technical drawing and to develop the undergraduates' creative abilities.

I show an educational method which can be used in teaching-learning process of technical depiction and also its common aim, which is to raise the level of teaching beyond developing space perceptual abilities.

Last but not least, according to a questionnaire I show that although there are a lot of technical tools available, the leading and directing role of the teacher in teaching drawing is not indispensable.

1. BEVEZETÉS

A műszaki élet legfontosabb információs csatornái a műszaki rajzok. A rajz a tervezőtől a kivitelezőig, mérnöktől a szerszámkészítőig olyan információcserét tesz lehetővé, amely ezen szakmai szintek térbeli és időbeli elhatároltsága miatt verbálisan lehetetlen. Ahhoz, hogy egy konstruáló folyamatban elképzelt műszaki alkotás valóban végeredménye legyen az adott alkotásra irányuló kivitelező tevékenységnek az kell, hogy az alkotó folyamat különböző szintjein levő szakemberek „egy

nyelvet beszéljenek”. Ismerjük a műszaki rajzkészítés egyezményes szabályait és tudják azonosan értelmezni az így rögzített információt. A műszaki rajzok készítése és olvasása is magas szintű térszemléleti képességet feltételez.

2. A VIZUÁLIS-TÉRI KÉPESSÉGEK A MŰSZAKI GYAKORLATBAN

Ha a téri képességek, a térszemlélet, ill. térlátás jelenleg ismert meghatározásait megvizsgáljuk, arra a következtetésre juthatunk, hogy ezek e fogalmakat vagy túlságosan leszűkítik, vagy olyan tágan értelmezik, hogy emiatt nem használhatók.

A térszemlélet fogalmát A magyar nyelv értelmező szótára a következőképpen határozza meg: „Az a lelki képesség, tulajdonság, amelynek birtokában az ember a tárgyakat alakjuknak, kiterjedésüknek, nagyságuknak, ill. egymáshoz való térbeli viszonyuknak (egymás melletti, fölötti, alatti, mögötti elhelyezkedésüknek) megfelelően érzékeli, ill. tudja egységes összképbe állítani.” [1].

Ez a meghatározás a pedagógiában (a műszaki rajz oktatásában is! – kiemelés tőlem) kiegészül a térábrázolás konvencióira utaló, „a tárgyak kép alapján történő elképzelésére, rekonstrukciójára alkalmas térlátási képességgel” [8]. Elfogadva ezt a kiegészítést és a rajz alapján történő elképzelést reprodukciónak tekintve azt mondhatjuk, hogy a reprodukzív térszemlélet (térképzelet) mellett a műszaki életben olyan, produktív térszemléletre is szükségünk van, amely egy még nem létező tárgy, alkotás valamilyen információhordozón való megjelenítését teszi lehetővé.

A NAT definíciója szerint a „térszemlélet az én központúság és a viszonylagosság felismerése, alapvető térgeometriai gondolkodás képessége” [6]. A 3. változatban a térlátás meghatározása a következő: „síkbán, vetületekkel ábrázolt dolgok gondolati rekonstrukciója háromdimenziós alakká, térbeli viszonyokká.” [7]

Kárpáti Andrea és kutatócsoportja a térszemlélet mérésére alkalmas teszt megalkotásakor összegzi a sokféle megközelítést és „a téri képességet a téri információ feldolgozásának általános képességeként, a téri ingerek kódolásával, felidézésével, összehasonlításával és átala-

* mestertanár, Széchenyi István Egyetem Mechatronika és Gépszerkezettan Tanszék

kításával kapcsolatos, egymással összefüggő képességek soraként” határozza meg. [9]

A tárgyak műszaki ábrázolásában használt térszemlélet fogalmát nem az általános téri vizuális képesség szinonimájaként, hanem annál szűkebb értelemben, az iskolai képzés kompetenciáján belül célszerű használni. Vagyis olyan képesség- és jártasságrendszernek tekintjük, amely alkalmassá teszi az egyént a téri vizuális információk lejegyzésére (ábrázolására), a tárgyakra vonatkozó képi információk értelmezésére, a mélység- és alakviszonyok felismerésére, elképzelésére, a bennük való eligazodásra, és amely egyben az általános megismerési képességek egyik összetevője is.

A jelen faktoranalitikus kutatásai a térszemlélettel kapcsolatban több részképességre mutatnak rá. A legtöbb kutatás konzisztensen két faktort különít el, a felismerést és a manipulációt. A felismerés tulajdonképpen vizuális befogadás, amelynek célja a látvány egészének értelmezése. A manipuláció azt jelenti, hogy egy tárgy észleleti képével valamilyen képzeleti munkát végzünk. Ilyen manipulációs művelet például a testek transzformációja (forgatása, tükrözése, eltolása), a tárgyak konstruálása és az alakzatok mozgatásának elképzelése.

3. A VIZUÁLIS KÉPESSÉGEK RENDSZERE

Mindannyian rendelkezünk különféle adottságokkal. Adottságaink, külső és belső motivációnk különböző mértékben és arányban hangolnak bennünket különböző tevékenységekre. Tevékenységeink annál eredményesebbek, minél több hozzájuk szükséges jártassággal és készséggel rendelkezünk. Ugyanakkor egy adott tevékenységhez szükséges jártasságok és készségek az adott és más tevékenységekben alakulnak ki, formálódnak és fejlődnek. A tevékenységek mindig összetettek, egyszerre több készséget igényelnek és fejlesztenek.

Készségeink különböző kombinációkban különböző képességeket alkotnak. Képességeink más-más kombinációban, de ugyancsak képeznek kapcsolatokat, amit az alábbi ábra jól szemléltet:



1. ábra: Adottságaink, tevékenységeink és képességeink kapcsolata, egymásra hatása

Meg kell jegyeznünk, hogy bár közel évszázados empirikus kutatás folyik a képességek megismerése érdekében, tudományos fogalomként a „képesség” nincs nyilvántartva. Hiszen mindenki tudja, hogy mit jelent a képesség. A pszichológiai, pedagógiai szakirodalomban is köznyelvi szintű alapfogalomként szerepel. Carrol,

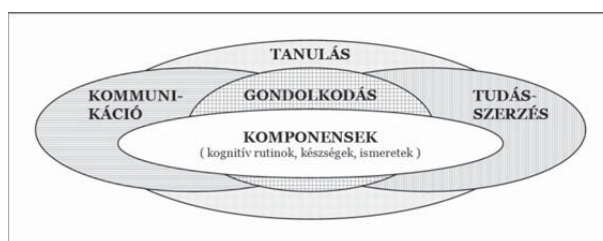
J.B. például úgy értelmezi a képességet, mint „...az egyének közötti mérhető különbséget, amely egy adott feladatsoporton belüli különböző nehézségi szintű feladatok sikeres megoldását jelenti.” [1]

A faktoranalitikus kutatások sok ezer kognitív minősített feladat elemzését végezték el. A számítások eredményeként az összetartozó feladatok faktorok alá csoportosultak. Később az így kapott faktorokat is faktoranalízis tárgyává tették, ami a faktorok hierarchikus (két-három szintű) rendszerét eredményezte. Carroll az eddig hozzáférhető hatalmas anyag alapján végezte el szintetizáló munkáját és alkotta meg az emberi értelem 3 szintű modelljét. Ennek a hierarchikus rendszernek a csúcán az úgynevezett G-faktor áll, míg a hierarchia alacsonyabb szintjein szereplő faktorok hozzá képest specifikusnak tekinthetők. (Pontosan ma sem tudjuk, hogy mi ez a G faktor. Általános szinten mindenesetre állítható, hogy mindenféle kognitív aktivitás feltétele, alapja. Ami értelmezhető úgy is, hogy a G faktor az értelem legáltalánosabb rendszere, az elsődleges és másodlagos faktorok ehhez képest specifikusak.)

Az értelem specifikus komponens-rendszerei olyan kognitív képességekként értelmezhetők, amelyek meghatározott funkciókat töltenek be, és amelyeket sajátos szerveződés, működés, viselkedés és önmódosulás, önfejlődés jellemez. A képességrendszereket felbonthatjuk komplex és egyszerű kognitív képességekre. A komplex (átfogó, másodlagos) kognitív képességek a kommunikáció, a gondolkodás, a tanulás és tudásszerzés, amelyek (ez utóbbi kivételével) megfelelnek a sok száz éves tapasztalati felismerésnek, szóhasználatnak.

A tanulás, mint komplex képesség, minden kognitív tevékenységgel kapcsolatba hozható, hiszen bármelyik kognitív tevékenység (kommunikáció, gondolkodás és tudásszerzés) legfontosabb célja a tanulás.

A kognitív kommunikatív képesség funkciója információk közlése és vétele szimbólumok által. A kommunikáció folyamatában gondolkodunk is, és ismeretszerzés, tanulás is bekövetkezhet (2. ábra):



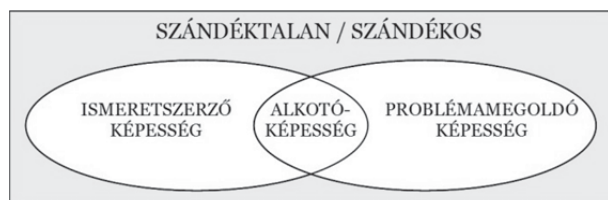
2. ábra: A kognitív képességek funkcionális rendszere és szerveződése [5]

A kognitív kommunikáció lehet vizuális vagy nyelvi kommunikáció. A vizuális kommunikációban működő sajátos vizuális kommunikációs képességek a vizuális közlemény, az ábra olvasásának és értelmezésének ké-

pessége a megismerés (befogadás) oldalán, az ábrázolás és ábraalkotás képessége az alkotás (közlés) oldalán és a mindezeket átszövő vizuális gondolkodás képessége.

Az ábraolvasás és ábrázolás egyre inkább nélkülözhetlenné válik mindenki számára. Ezekkel a képességekkel válik lehetővé, hogy ne csak a közvetlenül észlelhető dolgokról legyenek szemléletes ismereteink, hanem rendszerek láthatatlan formai sajátosságairól, térbeli viszonyairól, szerkezetéről vagy működéséről is. Az ábraolvasás és ábrázolás képessége sokféle készség, ismeret által működik. Ilyenek például: a méretlátás, térlátás, szerkezet- és dinamikalátás, vagy ezek ábrázolásban megtestesülő készségei: a méretek szerinti formaábrázolás, a térbeliség ábrázolása, a szerkezet- és dinamikaábrázolás készsége és a velük kapcsolatos ismeretek.

A tudásszerző képesség funkcióját tekintve információ-felvétellel, illetve –feltárással hoz létre új tudást úgy, mint ismeretszerző képesség, problémamegoldó képesség és alkotóképesség (3. ábra):



3. ábra: A tudásszerző képességek rendszere és szerveződése [5]

Az ismeretszerző képesség ma már nem pusztán a tanulás eszköze, hanem sajátos funkciójú önálló képesség, amelynek köszönhetően az információk szándéktalan felvétele mellett a szükséges ismeretek szándékos megkeresését, kiválasztását, felvételét is el tudjuk végezni.

A problémamegoldás képessége funkcióját tekintve olyan kognitív komponensrendszer, amelynek segítségével a hiányzó tudást próbálkozások (gondolkodás) által tárjuk fel.

Az alkotóképesség (kreativitás) funkcióját tekintve objektívált új produktum létrehozását eredményezi. Az objektívált produktum azt jelenti, hogy az alkotás eredménye tárgyiasult formában, rögzített információként létezik.

Az alkotóképesség az ismeretszerző és a problémamegoldó képesség által valósul meg a gondolkodási képesség közreműködésével.

Az emberi képességek mobilitására jellemző, hogy míg egyfelől a vizuális kommunikáció, a vizuális megismerés, a vizuális gondolkodás vagy problémamegoldás és a vizuális alkotás képessége egyenként is képességek együttese, együtt a vizuális képességstruktúra törzsét adják. Ugyanakkor más, akár vizuális, akár nem vizuális képességekkel társulva más képességstruktúrákat képeznek.

4. A VIZUÁLIS KOMMUNIKÁCIÓ KÉPESSÉGEI

Mint azt az előző pontban már tárgyaltam, a vizuális kommunikáció a vizuális megismerés, gondolkodás és alkotás (kreativitás) képességek együttesének tekinthető. Ezt a rendszert mátrixba foglalva a következő ábra mutatja:

	tapasztalati-műveleti szint	racionális-kreativitási szint
dekódolás	ábraolvasás képessége	ábraértelmezés képessége
kódolás	ábrázolás képessége	ábraalkotás képessége

4. ábra: A vizuális kommunikáció képességrendszer [2]

Az ábrán látható, hogy pl. az ábraolvasás és ábraértelmezés különböző szinteken jelenik meg a vizuális kommunikációban. Az ábraolvasás percepció, vagyis a vizuális észlelés és érzékelés képessége, az érzékszervek közvetítésével történő közvetlen tudati viszonyulás a valóság jelenségeihez. Ez a vizuális megismerés tapasztalati szintje. A percepció képességek közé sorolhatók az alak, kiterjedés, forma, szín, felület és az alak, kiterjedésbeli, formai, színbeli és felületi különbségek érzékelése-észlelése.

Az ábraértelmezés appercepció képesség, azaz vizuális gondolkodás, az alkotó látás képessége. Képzeteink segítségével alkotjuk meg a képet az optikai kép „nyersanyagából”. Ez a vizuális megismerés racionális (gondolati) szintje. Ide soroljuk a látványelemző, látványértelmező és lényegkiemelő képességet.

Az ábrázolás szerepe kettős. Elsődlegesen elősegíti a percepciók tudati feldolgozását (vizuális tanulás), másodlagosan pedig a belső képek, a vizuális gondolkodás nyersanyagainak megjelenítésében működik közre. Vagyis az első esetben úgy ábrázolunk egy tárgyat, hogy az előttünk van (primer közlés), a másodikban pedig csak egy belső képünk van, azt kell megjeleníteni (direkt közlés).

Akár a primer, akár a direkt közlésben, nyilván sajátosan strukturálódva, de együtt és egyidőben működnek a vizuális megismerési, gondolkodási és alkotó képességek és ezek részképességei [11].

A vizuális képességek összetettségükből fakadóan át-meg átszövik mindennapjainkat, és valamennyi műszaki tárgy tanulásához szükségesek. Fejlesztésük terepe azonban szinte csak a rajzoktatás. A műszaki oktatásban a rajz az alkotó gondolatok kifejezésének egyik eszköze, amely sokkal beszédesebb egy műszaki produktum bemutatásában, mintha azt nyelvi eszközökkel, verbálisan akarnánk leírni. (De igaz ez az élet más területeire is: képzeljük el például Mona Lisa mosolyát érzékletesen elmondva, vagy a Louvre-ban megtekintve.)

A fentiekből kiindulva a rajztanítás feladata rendkívül összetett. Most csak azon feladatok és célok tárgyalására szorítkozom, amelyek esetében a szemléltetés formá-

ja, a tananyag megjelenítése az eredményekben is mérhető eltérést mutat.

A rajzi megismerő képesség (alak- és formaelemzés, a tárgy szerkezetének megfigyelése) vagy a rajzi alkotó megismerő képesség (formaemlékezet, formaképzület, rajzi gondolkodás) fejlesztése a műszaki ábrázolás tanításának és tanulásának szükséges, de korántsem elégséges feladata. A megszerzett ismereteknek egyre inkább a hallgatók önálló alkotó (tervező-konstruáló) munkájában kell kiteljesedni.

Ahhoz, hogy a hallgatók egy valóságos tárgyat, alkatrészt egyértelműen tudjanak rögzíteni, fejleszteniük kell a tárgy érzékelésének, észlelésének és megfigyelésének képességét. Az alak, ill. a forma érzékelési, észlelési feladatai közé sorolhatjuk a valóságos alkatrészen vagy annak vetületein és térhatású ábráján megjelenő térelemek felismerését, kapcsolatait, a tárgy helyzetének, alakjának, arányainak, méreteinek érzékelési és észlelési képességét. A forma, a szerkezet észlelésében döntő annak tanulmányozása. Ez kétféleképpen történhet. A tárgy összefüggéseinek vagy résztulajdonságainak vizsgálatával.

A résztulajdonságok vizsgálatán a következőket értjük:

- milyen az egyes tárgyak szerkezeti felépítése (milyen geometriai formákból épül fel a tárgy: kocka, hasáb, henger, kúp, gömb; milyen pozitív és negatív formákból áll: henger=pozitív forma, furat=negatív forma);
- milyen elemekből épülnek fel az egyes formák (csúcok, élek, lapok – pont, egyenes, sík)?

Egy tárgy összefüggéseinek vizsgálatakor a részletek másodlagosak, de feltételeznünk kell, hogy a hallgatók az egyes résztulajdonságokat már észlelni tudják. A tárgy összefüggéseinek vizsgálatára két példát mutatok be:

- nézetek egyeztetése axonometrikus képükkel,
- térláttatós, vagy térhatású rajzok alkalmazása.

A rajzi megfigyelés képességének kialakítására irányuló feladatokban a valóságos tárgy, alkatrész formájának és ábrázolásának analitikus és szintetikus megfigyelési képességét kell fejleszteniük. Ide sorolhatók az ábrázolási szabályok, jelképek, jelölések felismerési képessége.

A megismerő képesség kialakításának feladata még a tárgyak ábrázolása alapján a formaemlékezet fejlesztése. A formaemlékezet fejlesztése csak a képi és logikai emlékezet fejlesztésével lehet eredményes. A metszeti ábrázolásra gondolva természetesnek vesszük, hogy a lépcsős metszet tanításának konkrét példái és azok általánosításaként kapott fogalma között szoros összefüggésnek kell lenni. Ennek hiányában a hallgató csak a példanyagot képes reprodukálni, míg egy új ábrázolási szituációban (ábraalkotás) képtelen a lépcsős metszet alkalmazására. A formaemlékezet fejlesztésére az alábbi feladattípusok szolgálnak:

- megmutatott, majd eltakart alkatrész, geometriai modell alapján végzett rajzolás;
- emlékezet alapján végzett rajzolás;
- a szerkezetek, alkatrészek rajztanulmányozása, elemzése;
- vetületek egyeztetése axonometrikus képükkel;
- vetületek készítése axonometrikus kép alapján.

A megfigyelő képesség fejlesztésének további feladatai az alkotó formaképzület és a képszerű gondolkodás kialakítása, szoros kapcsolatban a logikai gondolkodással.

A vizuális képzetekben való gondolkodás a képzetekkel végzett mentális műveleteket feltételez, amelyek közül a forgatást kell kiemelniük. Képzetben forgatni kell a tárgyat, ha annak vetületeit akarjuk elkészíteni. Forgatni kell a képsíkokat is, ha a képsíksarokba elhelyezett tárgy vetületei közötti összefüggést próbáljuk felderíteni. Nehezebb a dolgunk, ha csak a test vetületeit ismerjük, és abból kell elképzelnünk az adott tárgyat. A feladat megoldása során először kétdimenziós képzetekből próbáljuk meg felépíteni a háromdimenziós képzetet, majd ennek kivetítéseként az ábrázolási konvenciók felhasználásával elkészíteni az esetleg hiányzó harmadik képet. Ez a folyamat rajzolásban is testet ölthet, vagyis háromdimenziós képzeteket kódolhatjuk axonometrikus ábra formájában. Eközben folyamatosan korrigáljuk az elképzelt geometriai formát, ill. annak térbeli viszonyait.

A formaképzület formaemlékezeti alapokra épül, ezért annak fejlesztése szorosan összefügg a formaemlékezet fejlesztésével.

A formaképzület fejlesztésének módszerei:

- vetületek válogatása;
- új vetület készítése;
- vetületek kiegészítése;
- alkatrészejek alapján az összeszerelés utáni adatok meghatározása [10].

A vizuális vagy képszerű gondolkodás olyan kognitív képesség, amely meglévő rajzi tudásból módosult, új tudást hoz létre. Részképességei a vizuális rendszerező, konvertáló és kombinatív képesség. Fejlesztésének lehetséges módszerei:

- vetületeivel adott tárgy ábrázolása axonometriában;
- adott alkatrész funkcionális megváltoztatása (pl.: menet készítése furatba).

Mint látható ezek a fejlesztési célok konkrét feladatok, feladattípusok formájában öltenek testet, amelyeket a szemléltetés szempontjából is megvizsgálunk.

5. MEGISMERŐKÉPESSÉG ÉS SZEMLÉLTETÉS

A szakmából áttemelt valós tárgyak, makettek, működési elvet bemutató modellek, mint demonstrációs eszközök használatának a szemléltetés mellett motiváló hatása is jelentős, mivel megmutatja az elmélet és gyakorlat kapcsolatát, felvillantja a szakmai információk megszerzésének lehetőségét.

A műszaki ábrázolás rajzolás, szerkesztési feladataihoz, szemléltető eszközként leggyakrabban a táblát használjuk. A táblán való szerkesztés egyik előnye az, hogy mint demonstrációs eszköz minden teremben megtalálható. Bemutathatunk rajta kész ábrákat, vagy akár a szerkesztések folyamatát is. A szerkesztés lépéseit kiegészíthetjük szóbeli magyarázattal, ezáltal irányítva és fenntartva a hallgatók figyelmét. A táblán való szerkesztés azonban nem minden tanárnak könnyű, a körök és vonalak helyzete főként bonyolult szerkesztés esetén közelről nehezen áttekinthető, emiatt a szerkesztés könnyen elrontható. A táblai szerkesztés időigényes, ezért korlátozza a tanár-hallgató interakciókat, és a hallgatók munkájának ellenőrzését. Az egyes szerkesztési lépések elvégzése után nem ad módot a visszalépésre, újbóli bemutatásra, csak ha a szerkesztésbe beletörünk, ami újabb hibákra, félreértésekre ad lehetőséget. A táblai és a hallgató füzetébe kerülő szerkesztés vagy csak rajzolás közötti méretbeli aránytalanságok miatt nehezen áttekinthetővé válhat a munka menete, a hallgatóknak olyan érzése támadhat, hogy elrontott valamit, amivel negatívan motiváló hatást érünk el.

Írásvetítő transzparenszek használatával kiváltható a magyarázó ábrák, feladatok táblára rajzolásának ideje, így lehetővé válik a tanulók munkájának állandó megfigyelése. A kivetített képek fontos részleteire könnyen ráirányítható a tanuló figyelmé, például lézerceruza segítségével. Hátránya, hogy a szerkesztések lépéseinek bemutatására, különösen a bonyolult szerkesztéseknél, a többlapos transzparenszek nehéz kezelhetősége miatt nem alkalmas. Előnyei közé tartozik, hogy írásvetítő szinte minden teremben használható és, hogy a transzparenszek számítógép segítségével, könnyen elkészíthetők.

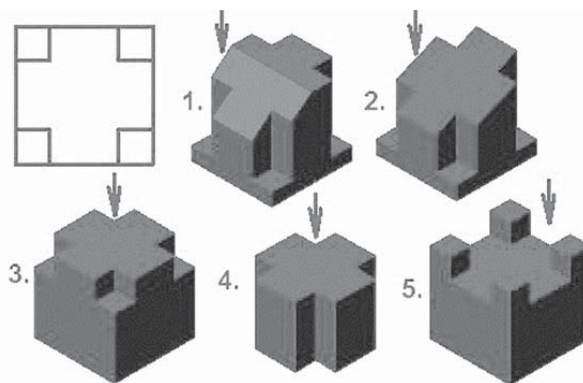
A faliképek használata széleskörű (volt) a műszaki tantárgyak, ekként a műszaki ábrázolás tanításában is. A faliképek mellett, hogy szemléletesen megmutathatnak összetett szerkezeteket, például robbantott ábrával, vagy működési elv fázisait bemutató képsorozattal, szakmai tartalommal megtöltött folyamatos jelenlétük a teremben jó hatással lehet a hallgatók hosszú távú motivációs szintjére.

Népszerű és széles körben használt szemléltető eszközök (voltak!) a modellek. A műszaki ábrázolás tantárgy egyes témaköreinek tanítása, testek síkmetszése, ábrázolás vetületekkel, felvételi vázlat készítése kézbe vett darab alapján, elképzelhetetlen lett volna nélkülük. Ma már szinte csak mint ereklyéket tudjuk megmutatni a

régi fa vagy műanyag modelleket a tanszékeken elhelyezett vitrinekben.

A modellek alkalmazásának legnagyobb előnye a valóságos tárgy valódi térben való érzékelése, észlelése. Ez az, amit semmilyen más módon nem tudunk elérni. Bár a számítógépek a „modellek modelljét” produkálni tudják, a képernyőn való megjelenítés, csak egy virtuális, háromdimenziós tünő kép. Adódik a kérdés, hogy miért mondunk le a modellek használatáról. Röviden, anyagi okok miatt. A hallgatói létszám emelkedése, a rajz-szaktermek hiánya, a modellek beszerzési, ill. elkészítési nehézségei miatt választjuk inkább a számítógépen való szemléltetést.

A számítógéppel támogatott szemléltetés, az eddig tárgyalt szemléltetőeszközök majdnem minden előnyös tulajdonságát magában hordozza. Segítségével meggyorsítható a szemléltetés, nem kell a táblára rajzolni, fóliát cserélni. A kivetített képek színesek, jó minőségűek, ezáltal magukra vonják a figyelmet. (5. ábra) Bemutatható időben változó folyamat, állókép, film, vagy írott szöveg, ráadásul olyan elrendezésben, ami a tananyag megértését segítheti. Szerkesztési feladatok szemléltetésére is alkalmas, hiszen az egyes szerkesztési lépések sorrendje előre rögzíthető olyan formában, hogy megmarad a lehetőség a visszalépésre közöttük. A szerkesztésekben megjelenő vonalszínek összekapcsolhatók a kézzel szerkesztett rajzok vonalvastagságaival; a kivetített szerkesztés pontos nagyított képe a füzetben készülő rajznak, ami visszaigazol, pozitív megerősítő hatással van a hallgatóra.



5. ábra: Tárgy axonometrikus képének és nézetének egyeztetése

Utaltam rá, hogy a vizuális képzetekkel végzett műveletek közül ki kell emelni a mentális forgatást. Szinte nincs olyan rajzi feladat, amely nélkülözni tudná ennek a képességnek a magas szintjét. Tanári munkámban azt tapasztalom, hogy az idő szűkössége miatt nem jut elég idő ennek a képességnek a fejlesztésére. A mentális forgatásban megrekedt hallgatók pedig nem szívesen foglalkoznak külön feladatok megoldásával. A kör tehát bezárulna, ha nem lennének az animációk.

6. AZ ANIMÁCIÓK

A környező valóság térbeli kiterjedését elsősorban mozgással érzékeljük. A mozgás közben szerzett tapasztalatokat látásunk fejleszti kombináló, gondolkodó térérzékké.

A térgeometria tanítását és tanulását segítő módszerünk újdonsága, hogy egy nagyon egyszerű, de nagyon látványos elemre, az előbb említett mozgásra épít. Az animációk úgy mutatnak be geometriai szerkesztéseket, hogy láttatni engedik azokat a szerkesztési „segédvonalakat”, amelyek a vetületek képzésekor csak lelki szemünk előtt, a tudatunkban jelennek meg. Az ábrázolni kívánt testek olyan hatást váltanak ki a szemlélőben, mint a valóságos térbeli tárgyak.

Ugyanazt az eredményt képesek produkálni minden egyes lejátszáskor. Az eszközt bárki használhatja, az előadások és gyakorlatok kötött keretein kívül is.

Az egyes animációk a térelemek ábrázolásától indulva bemutatják az elemi geometriai testek vetületeinek keletkezését és szerkesztését. Minden esetben láttatják a képsíksarkot, amelyben az ábrázolni kívánt tárgyat elhelyeztük. Szemléltetik a képsíkok egyesítését és megmutatják az egyes vetületek közötti összefüggéseket. Azt a tudati tevékenységet kívánják modellezni, amelyet a tárgy szemlélése közben végzünk, miközben a vetületeit próbáljuk megjeleníteni. Különösen fontosnak tartom azokat a bemutatókat, amelyek a csonkolt testek vetületeit mutatják, külön figyelmet szentelve a nem látható élek ábrázolásának és a síkmetszéssel keletkezett síkidomok valódi nagyságának. Ezek megszerkesztését transzformációval és forgatással is prezentálják.

Megmutatják a testek áthatásakor keletkező görbéket és ezek ábrázolási lehetőségeit. Teszik mindezt úgy, hogy a vetületek mellett láttatják a térhatású ábrákat is.

Előadáson a vetítést élő szóval célszerű kísérni, amelynek ritmusa szerint a bemutatás bárhol megállítható, újrajátszható és indítható.

A műszaki ábrázolás és más műszaki tárgyak sikeres elsajátításához nélkülözhetetlen geometriai alapokat a fent röviden bemutatott módon elsajátítva, tételről tételre, alkalmazásról alkalmazásra haladva, a logikát és a szemléletet párhuzamosan alkalmazó, elvont és szabatos gondolkodásmódra tehetünk szert, miközben térszemléletünk folyamatosan fejlődik.

Az animációk térszemlélet fejlesztő hatását egy felmérésem is bizonyítja. Arra a kérdésre, hogy az előadásokon és gyakorlatokon használt szemléltető eszközök közül melyikről érzik úgy, hogy leginkább segítette a tananyag elsajátítását és a feladatok megoldását, a hallgatók válasza alapján fej-fej mellett halad a tanár magyarázattal kiegészített táblai rajza és a magyarázattal kísért animációk.

Arra a kérdésre, hogy szívesen használná-e az animációkat egyéni tanuláshoz is, a hallgatók 95%-a igennel válaszolt. Ebből, szívesen használná tanári magyarázat nélkül is 50%, és szívesen használná, de tanári magyarázattal vagy más szöveges kiegészítéssel a többi hallgató.

Elgondolkodva ezeken az eredményeken magyarázatot kerestem a válaszok megoszlására. Azt gondolom, hogy Larrie Moody következő érvelése helytálló a mi esetünkben is.

Szerinte a rajzitanításban alkalmazott módszerek hatékonysága különbözik a magas és alacsony téri képességekénél. A másolás, mint a természetes rajzoktatás egyik módszere, amely folyamatos visszajelzést biztosít a munka pontosságáról, csak a magas téri képességűek számára hatékony módszer. Az alacsony téri képességűeknek úgy tűnik folyamatos, lépésről-lépésre haladó szóbeli vagy látási értelmezésekre lehet szükségük.

Ugyanezt tapasztaljuk a vetületi ábrázolás oktatásához készített animációkkal kapcsolatban is. A fejlett téri képességekkel rendelkező és magasabb vizuális tudás szinten levő hallgatók szívesen használják önálló tanulás, feladatmegoldás során tanári magyarázat nélkül is ezt a szemléltető eszközt, míg a gyengébb téri képességgel rendelkező hallgatók csak tanári vezetéssel kiegészítve. Vagyis a hallgatóknak folyamatos, lépésről-lépésre haladó szóbeli értelmezésekre van szükségük.

Bár az animációk népszerűségét alátámasztja az a tapasztalat is, miszerint az előadáson és a gyakorlaton is mindenkinek a vászonra tapad a szemé vetítés közben, mégis azt kell mondanunk, hogy a műszaki ábrázolás tanítása során a hagyományos szemléltetési módok létjogosultsága ugyanúgy fennáll, mint a technikai haladás biztosította, jóllehet könnyebben alkalmazható lehetőségek.

7. ÖSSZEFOGLALÁS

A műszaki szakmák kompetenciái közül kiemelkedően fontos a térszemlélet. A szakmai tárgyakat azok a hallgatók tudják eredményesen feldolgozni, akik fejlett vizuális kognitív képességekkel rendelkeznek. Előadásunkban összefoglaltuk ezen képességek rendszerét és bemutattuk, hogy a műszaki ábrázolásban kialakításuk és fejlesztésük feladatai komplexen jelentkeznek.

Látható, hogy a hatékony tanulás érdekében különböző megjelenési formában, nagyon sok és változatos segédanyag áll a hallgatók rendelkezésére. Mindezek mellett mégis emlékeztetnék Euklidesz híres mondására, aki I. Ptolemaiosz király kérdésére, aki azt tudakolta hogyan lehetne a geometriát könnyebben elsajátítani, ezt felelte: „A geometriához nincs királyi út!”, és még hozzátette: „Munka nélkül nincs kenyér, sem geometria!” [8]

Vagyis a geometria, és a műszaki ábrázolás is csak a saját magunk által elvégzett feladatokkal, szerkesztéssel sajátítható el! Nincs királyi út!

8. SUMMARY

Among the competences of technological professions, space perception is extremely important. Professional subjects can be done well and successfully by those students who possess developed visual cognitive skills. In the foregoing, we summarized the system of these abilities and we also showed that in technical depiction the tasks of their formation and development arise in a complex way.

We can see that in the interest of efficient learning there are a lot of different and varied auxiliary materials available for undergraduates. Beyond that, I would remind you Euclid's famous answer to the question asked by Ptolemy I Soter. He asked how geometry could be acquired easier. The answer was, „Sire, there is no Royal Road to geometry”

In other words, geometry and technical depiction can be acquired only with tasks, exercises and constructions done by ourselves. There is no Royal Road!

9. IRODALOM

- [1] A magyar nyelv értelmező szótára (1962) VI., Budapest, Akadémiai Kiadó, 640. BODOR J., BOZÓKI G., MADARASSY Z., NÁDAS I.: *Nyomástartó edények biztonságtechnikája a gyakorlatban*, Energia Iroda Mérnöki Szolgáltató Bt., Szentendre, 1993
- [2] Bálványos H., Sánta L.(2000): Vizuális megismerés, vizuális kommunikáció
- [3] Carrol, J. B. (1993): *Human Cognitive Abilities. A survey of factoranalytic studies*. Cambridge University Press, Cambridge
- [4] Moody, L.-J. (1991): Copying, naturalistic drawing and spatial aptitude. *Visual-Arts-Research*. Fal Vol 17(34, No2), 33-42. p.
- [5] Nagy József: A kognitív képességek rendszere és fejlődése. *Iskolakultúra*, 1998. 10.sz. 3-21. old.
- [6] Nemzeti Alaptanterv 2., 1996.
- [7] Nemzeti Alaptanterv 3., 1997.
- [8] Sain Márton (1986): *Nincs királyi út! Matematika-történet*, Gondolat, Budapest
- [9] Séra László, Kárpáti Andrea, Gulyás János (2002): *A térszemlélet. A vizuális-téri képességek pszichológiája, fejlődése, fejlesztése és mérése*. Comenius Bt.- Pécs
- [10] Szatmáry Béla (1994): *Fejezetek a géprajztanítás (szakrajztanítás) módszertanából*. Közread: Budapesti Műszaki Egyetem Gépészmérnöki Kar
- [11] Tóth Péter (2013): *Téri képességek fejlettségének vizsgálata szakközépiskolás tanulók körében*. In: Tóth Péter, Ósz Rita, Hajnal Andrea (szerk.). Új

kihívások a felsőoktatásban és a pedagógusképzésben: III. Trefort Ágoston Szakmai Tanárképzési Konferencia, Budapest, 2013. 11. 21. Óbudai Egyetem Trefort Ágoston Mérnökpedagógiai Központ, 2013. 71-98. old., ISBN: 978-615-5018-90-9

MELEG HENGERÁLLVÁNY VASTAGSÁGSZABÁLYOZÁSÁNAK FEJLESZTÉSE

Dr. Kucsera Péter*, Dr. Béres Zsolt **

ABSTRACT

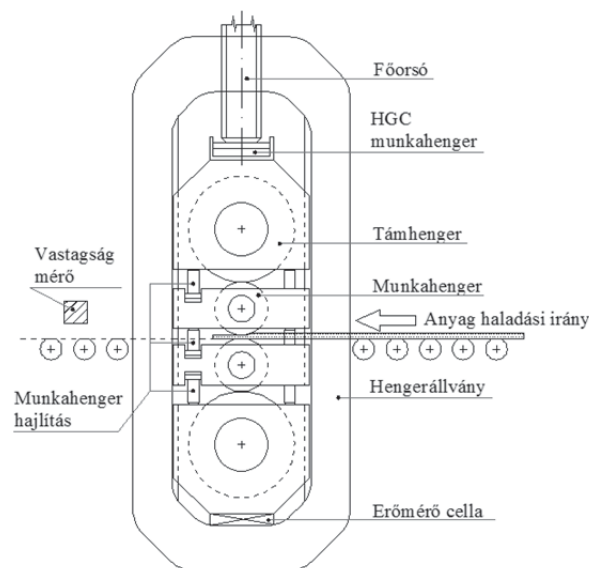
In this article the controlling algorithm development of a real hot rolling mill's automated gauge control is described. The mill stretch and other disturbances has to be compensated during the rolling process to achieve accurate thickness on the outgoing product. In this article a rolling speed dependent adaptive PI control is also described, for fine thickness control. The improved system has been validated by measurements.

1. BEVEZETÉS

Napjainkban a különböző területek (mint az ipar, vagy a mezőgazdaság...) versenyképessége nagyban függ a technológiai fejlesztésektől [1]. A fém hengerelés során egyre nagyobb elvárásokat támasztanak a pontos vastagság és méretpontosság tartására. Ha az elvárt pontosság már a meleg hengerállványon teljesíthető, hideg hengerelésre már adott esetben nincs is szükség, ezzel a hengerelt termék előállítás költségei jelentősen csökkenthetőek.

Egy tipikus reverzáló meleg hengerállvány felépítése látható az 1. ábrán. A hengerelni kívánt alumínium buga az előmelegítő kemencéből, 420-450 0C hőmérsékletre hevítve görgősoron érkezik a hengerállványra. A buga kezdeti vastagsága körülbelül 500mm. A végtermék esetén elérni kívánt vastagság jellemzően 5 és 10 milliméter között van, ahhoz, hogy ezt a vastagságot elérjék, több, fokozatos hengerelés szükséges a reverzáló hengeren egyik, majd másik irányban. A hengerelés két munkahenger segítségével történik, a munkahengerek kihajlását támhengerekkel gátolják. A maximális hengerelési erő elérheti a 30000kN-t. A hengerelési rés távolság durva beállítására a hengerállvány két oldalán található főorsók szolgálnak, ezekkel azonban nem lehetséges visszacsatolós vastagságszabályozás megvalósítása. Nagy pontosságú, visszacsatolós vastagságszabályozásra két hidraulikus szervó szolgál, melyek segítségével kis tartományban, azonban nagy sebességgel és pontossággal elvégezhető a hengerelési vastagság szabályozása. A hidraulikus szervókat és a hozzájuk kapcsolódó szabályozó és mérő rendszereket HGC (Hydraulic Gap Control) rendszereknek hívják. A HGC számára a referencia jelet

az un. AGC (Automatic Gauge Control) szolgáltatja, mely figyelembe veszi többek közt az aktuális hengerelési erő következtében fellépő hengerállvány nyúlást.



1. ábra Reverzáló meleg hengerállvány felépítése

A kilépő anyag vastagságának mérése nagy pontossággal röntgenes vastagságmérővel történik az utolsó szűrésben. A vastagságmérő konstrukciós okokból csak néhány méterre helyezhető el a munkahengerektől, így a hengerelés és a mérés közt eltelt idő jelentős holtidőként jelentkezik a szabályozás során.

A hengerelési erő erőmérő cellák segítségével mérhető, vagy a HGC munkahengereken mért nyomásból számítható. A hengerelési rés a hengerelési profilon belül eltérést mutat. Ez többek között a hengerek elhajlásának és az adott keresztmetszeten belül eltérő hőmérsékletviszonyokból adódó hőtágulásnak köszönhető. A hengerelési profil parabolikus, a középvonalban 0.2 – 1.2%-al vastagabb, mint a széleken. A csapágytökébe épített hidraulikus hengerek segítségével, hidraulikus szervókkal történő henger hajlítással a hengerelési profilban fellépő hiba részben korrigálható.

Ezen cikk a vastagságszabályozó AGC rendszerre koncentrálnak.

* adjunktus, Óbuda University, 1084 Budapest Tavaszmező utca 15-17. kucsera.pete@kvk.uni-obuda.hu

**főmérnök, Alcoa-Köfém Kft., 8000 Székesfehérvár Verseci u 1-15. zsolt.beres@alcoa.com

2. AZ AUTOMATIKUS RÉSSZABÁLYOZÓ (AGC) FELADATAI

A hengerelési pontosság az AGC minőségétől függ. Az AGC a következő feladatokat végezheti:

- Hengerállvány nyúlás kompenzáció
- Befűzési résállítás (az anyag típusok ismeretében az érkező anyag tulajdonságait figyelembe véve a rés prediktív állítása)
- Munkahenger hőtágulás kompenzáció
- Csúszócsapágy olajfilm vastagság változásának (felúszás) kompenzálása
- Munkahenger hajlítás
- Hegyezés (az anyag végeken történő elvékonyítása, a következő állványra történő befűzés megkönnyítésére)
- Henger excentricitás kompenzáció
- Prediktív vagy adaptív vastagságszabályozás
- „Lock-on” vastagság szabályozás

Az adott technológiától és az elvárásoktól függően nem minden fent említett feladat elvégzése szükséges, a kitűzött szabályozási pontosság eléréséhez. A szabályozási módszerek megfelelő kombinációjának kiválasztásánál figyelembe kell venni az adott technológia adottságait és a mérőeszközök, megvalósítható mérések tulajdonságait.

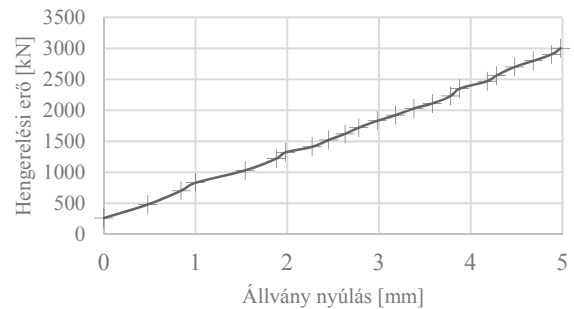
2.1. A hengerállvány rugalmasságának hatása

Ahogy a hengerelni kívánt anyag áthalad a munkahengerek között, a vastagsága lecsökken. A hengerelési erő függ a vastagságcsökkenéstől, a hengerelt anyag tulajdonságaitól, a rendszer rugalmas alakváltozásától, valamint különböző rendszer támadó zavaroktól. Mivel a hengerelési erő a hengerállványt terheli, az állvány hengerelés közben rugalmas alakváltozást szenved, azaz megnyúlik. Ezt a szabályozás során figyelmen kívül hagyva, jelentős eltérést okoz a hengerelt anyagvastagságban.

A két oldali hengerelési erők az erőmérők cellák segítségével mérhetők, vagy a HGC munkahengereken mért nyomásokból számíthatók, a mért értékek felhasználhatóak az állványnyúlás számítására. A rugalmassági együttható az adott állványra üzembe helyezés során mérhető.

Mivel a normális működés során, megengedett hengerelési erő esetén, az állvány nyúlás elérheti a néhány milliméteres értéket, a kívánt hengerelési pontosság pedig $\pm 0.1 - 0.3\text{mm}$, a rugalmassági együttható pontos mérése feltétlenül szükséges, a pontos számítások elvégezhetőségéhez. A rugalmassági együttható értéke közel konstansnak tekinthető, azonban a sok mechanikai komponensnek köszönhetően alacsony erők esetén nemlineáris viselkedést mutat [2]. A 2. ábrán saját mérésekkel kapott állvány nyúlás karakterisztika látható. A mérés a munkahengerek összenyomásával, üres állvány esetén történt, a

hidraulikus szervók segítségével, a szervók pozíció visszacsatolását használva az állványnyúlás, a hidraulikus kapszulák nyomását pedig a hengerelési erő mérésére.



2. ábra A mért állvány nyúlási karakterisztika

Hengerlés közben, a hengerelési erőből számított állvány nyúlás leggyakrabban előrevezetett zavarjel kompenzációt alkalmazva a szabályozó kimenetéhez adva kerül felhasználásra, így a hirtelen bekövetkező hengerelési erő változásokra azonnal képes a HGC reagálni [3]. Célszerű az erőmérőről érkező jel szűrése, vagy csúszó átlagolás elvégzése, mivel a mérési hibák, vagy hirtelen fellépő hengerelési erőváltozások radikális vastagságváltozást válthatnak ki a hengerelt anyagban. Szintén szükséges egy biztonsági mechanizmus, mivel az előrevezetett zavarjel kompenzáció egy pozitív visszacsatolást okoz a szabályozó körben. Ha a hengerelési erő nő, ezt az állvány nyúlás kompenzáció a hengerek összenyomásával ellensúlyozza, ez azonban további hengerelési erő növekedéshez vezet. A maximális hengerelési erő figyelembevételével, megfelelő határolók alkalmazása szükséges.

2.2 Befűzési résállítás

A terheletlen állványon nem mérhető erő, így az anyag megérkezése előtt nem végezhető el az állványnyúlással kapcsolatos számítások. Ilyen esetben a hengerelt anyag jellemzőit (ötvözet, struktúra, méret) figyelembe véve egy jósolt hengerelési erő alapján történik a nyúlás megállapítása. Ez a számítás jellemzően egy anyag jellemzőket tartalmazó adatbázis alapján, egy magasabb szintű számítógépen futó program segítségével történik.

2.3 Hengerállvány nyúlás kompenzálása

A zavarokkal nem terhelt normál hengerelés során a hengerelt anyagvastagság, hengerelési erő kapcsolata lineáris és az 1. egyenlettel fejezhető ki.

$$h_0 = S_0 + \frac{F_0}{M} \quad (1)$$

ahol az S_0 a terheletlen rés, F_0 a hengerelési erő, M a rugalmassági együttható.

A betöltés során egy referencia vastagság megállapítása szükséges, ez a 2. egyenlet alapján számítható, ahol az S a befűzés során megállapított hengerelési rés, az F pedig a jósolt erő.

$$h = S + \frac{F}{M} \quad (2)$$

A vastagság eltérés Δh a következő egyenlettel számítható:

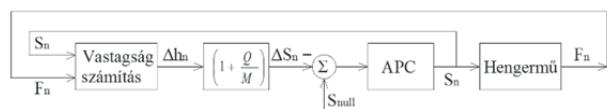
$$\Delta h_0 = h_0 - h = S_0 - S + \frac{F_0 - F}{M} \quad (3)$$

A hengerelési rés alapelj az eltérés megszüntetésére ($\Delta h = 0$):

$$\Delta S_{GM} = -\left(1 + \frac{Q}{M}\right) \cdot \Delta h = -\left(1 + \frac{Q}{M}\right) \cdot \left(S_0 - S + \frac{F_0 - F}{M}\right) \quad (4)$$

ahol Q a hengerelt szalag rugalmassági együtthatója.

Egy gyakorlatban használt AGC rendszer (BISRA AGC) felépítése látható a 3. ábrán. Az APC blokk a hidraulikus szervót jelképezi, mely tartalmazza a pozíció visszacsatolást és a pozíció szabályozót.



3. Ábra A BISRA AGC felépítése

A számítás pontosságát nagyban meghatározza a rugalmassági együttható pontos ismerete különböző munkapontokban. Ideális esetben a hengerelési erő és az állványnyúlás lineáris összefüggést mutat, és a korábban ismertetett valós karakterisztika is azt mutatja, hogy a valós rendszer a hengerelési munkatartományban (~500t hengerelési erő felett) jól közelíthető lineáris egyenlettel jelentősen eltér az ideálistól.

2.3 A munkahengerek hőtágulásának kompenzálása

A munkahengerek hőtágulása közvetlen kapcsolatban áll a hengerelési vastagsággal. A hengerelés során a hengerelt szalag deformálódik, az ilyenkor létrejövő hő az szalaghoz érintkező munkahengerekre vezetődik. Az hengerelt szalag és a munkahengerek közötti csúszás szintén hőt termel. A munkahengerek hűtése fűvókákon keresztül befecskendezett emulzió segítségével történik. A fűvókák szabályozásának segítségével a hűtési profil állítható.

Sajnos a munkahengerek hőmérséklete csak a felületükön mérhető, és ez a hőmérséklet nem feltétlenül egyezik a munkahenger teljes keresztmetszetére vetített átlaghőmérséklettel. A felületen történő hőmérsékletmérést nehezíti a hűtő emulzió jelenléte is [5].

Mivel az átlaghőmérséklet mérése közvetlenül nem lehetséges, a hengerek és a szalag közötti hőátadás matematikai modellezésével közelítik az

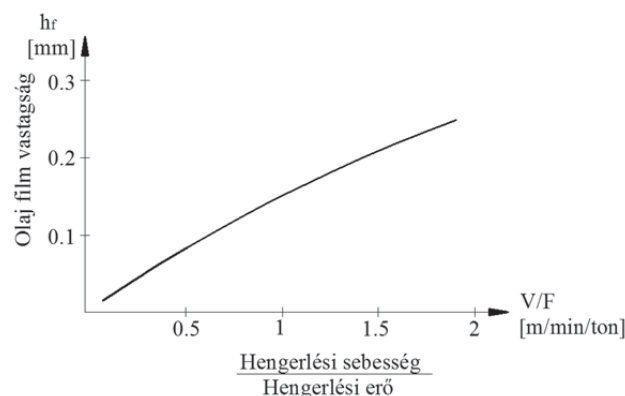
átlaghőmérsékletet és számítják a hőtágulást. A modellezés során figyelembe veszik a hengerelési sebességet, a szalagvastagságot és a szalag anyagának tulajdonságait, a hengerelési rést, az érintkezési időt és a hűtőrendszer paramétereit. A kutatások többsége egy olyan munkahenger hőmérséklet profil kidolgozására irányul, mely később alapul szolgálhat a megfelelő hűtő emulzió mennyiségének szabályozásánál [6]. Amennyiben ilyen rendszer nem kerül kialakításra, a hengerállvány kezelőnek kell, ellenőrző mérések lapján, kézzel kompenzálni a hőtágulás okozta vastagságetlérést, vagy a kilépő anyag vastagságának mérésével, vastagság szabályozással a hiba szinten kiküszöbölhető. A cikkben ismertetett rendszer esetén az utóbbi megoldás valósult meg.

2.4 Hengerek csúszócsapágyaiban lévő olajfilm vastagságváltozásának kompenzálása

A hengerművekben a nagy hengerelési erők miatt általában csúszócsapágyakat használnak a munkahengerek csapágyazására. A csapágyban található olajfilm vastagsága függ a kenőanyag viszkozitásától, a terheléstől és a csapágy fordulatszámától, azaz a hengerelési sebességtől. Különösen kritikus az olajfilm vastagság változása indításnál és nagyon alacsony sebességen történő hengerelés esetén. Alacsony sebességek esetén is megfelelő kenés biztosítására hidraulikus kenőrendszert alkalmaznak. Az olajfilm vastagsága h_f ilyenkor az 5. képlet alapján számítható.

$$h_f = \frac{a(V/F)}{(V/F) + b} \quad (5)$$

ahol V a hengerelési sebesség, F a hengerelési erő, az a és b pedig konstans értékek.



4. ábra Az olajfilm vastagsága és a hengerelési sebesség, hengerelési erő hányados közötti kapcsolat

2.5 Munkahenger hajlítás

A munkahenger hajlítás nem kapcsolódik közvetlenül a vastagság szabályozáshoz, de általában az AGC szabályozást végrehajtó PLC vagy számítógép végzi, a szevő szabályozás sebességi követelményei miatt. A hajlítás célja, a munkahengerek kihajlásának

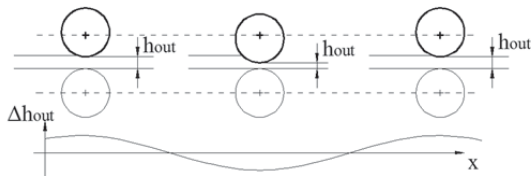
kompenzálása a munkahengerek szélein található hidraulikus aktuátorok segítségével. Hengerelés során általában a hengerelt anyag középvonalában lép fel a legnagyobb hengerelési erő, mely kompenzálás nélkül konvex parabolikus profilt eredményezne. A munkahengerek között elhelyezett hidraulikus hengerek segítségével, pozitív erő kifejtésével a profil befolyásolható.

2.6 Hegyezés

Gyakran a hengerelt végtermék további hengerelése szükséges hideg hengerállványokon. A befűzés megkönnyítése érdekében célszerű a hengerelt anyag végének elvékonyítása az utolsó meleg hengerelési szűrés során. Ezt a folyamatot hegyezésnek hívják és egy szenzor segítségével kerül aktiválásra, mely az anyag belépő oldalán, megadott távolságra érzékeli az anyag jelenlétét. Amennyiben a szenzor jelez, egy megadott sebességgel megkezdődik az anyag vastagságnak csökkentése az alapjelhez képest.

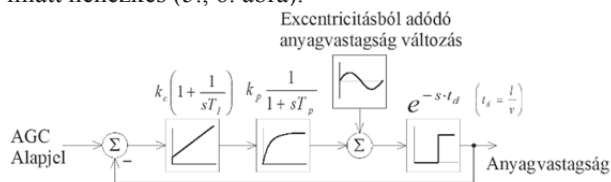
2.7 Munkahenger excentricitás kompenzálás

A munkahenger excentricitás a munkahengerek palástja és tengelye közötti távolságtól adódik [4].



5. ábra Az excentricitás hatása a hengerelési vastagságra

A munkahenger excentricitás egy periodikus vastagságingadozást okoz a hengerelt anyagvastagságban. Az eltérés mérhető a vastagságmérővel, de kiszabályozása a nagy holtidő miatt nehézkes (5., 6. ábra).



6. ábra A vastagságszabályozó kör excentricitásból adódó zavarhatás figyelembevételével

A hengerelés során nagy hő keletkezik, a munkahengerek hűtéséről emulzió gondoskodik, tehát a munkahengerek közvetlen közelében nem helyezhető el a röntgenes vastagság mérő a forró, fröcskölő emulzió és gőz jelenléte miatt. A gyakorlatban a vastagságmérőt egy kihúzható konzolon a hengerektől néhány méter távolságban helyezik el (az emulzió eltávolításáról levegővel történő lefúvatással gondoskodnak). A mérés holtideje távolságból (l) és a hengerelési sebességből (v) számítható ($t_d = l / v$). 2 m/s hengerelési sebességgel

számolva a holtidő mértéke elérheti a néhány másodpercet is, ami rendkívül megbonyolítja a szabályozást.

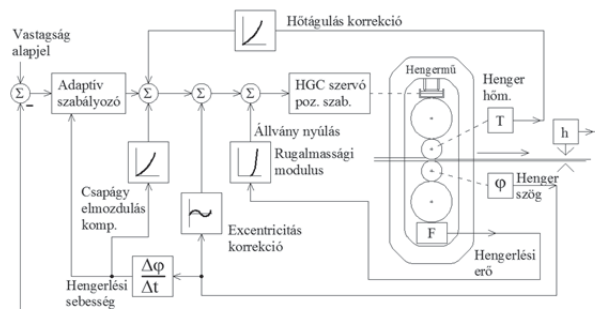
A vastagságszabályozó csak a lassú vastagságtérkések kompenzálására alkalmas, jellemzően egy PI szabályozóval valósítható meg, domináló integráló hatással. Ellenőrző jelként figyelembe vehető a mért vastagság egy munkahenger körbefordulásra vett átlaga. Az átlag képzés és a szabályozó nagy integrálási ideje lassú szabályozást eredményez, mely nem képes az excentricitásból adódó vastagság eltérések kiszabályozására.

Egy lehetséges megoldás a fent említett problémára egy kalibrációs mérés eredményeinek figyelembevétele a szabályozás során. Minden munkahenger csere után először a munkahengereket összenyomva egy adott erővel és megforgatva, mérjük a hengerekre ható erő változását és számítjuk az állvány nyúlás eltérést. Ez az érték azonos az adott munkahenger elfordulási szögre származtatott excentricitás értékével. A munkahenger elfordulási szög ismeretében ez az érték hengerelés során felhasználható kompenzálásra.

Egy másik lehetséges megoldás a hengerelés során keletkező periodikus (a hengerelési sebesség alapján számított periódusidejű) vastagságingadozás detektálása és ez alapján az excentricitás számítása és kompenzálása. A hengerek elfordulása jeladó segítségével viszonylag alacsony költséggel megvalósítható.

3. A VASTAGSÁG SZABÁLYOZÓ

Egy lehetséges HGC felépítés látható a 7. ábrán. A fent ismertetett zavarok kompenzálása előrevezetett zavarjel kompenzáció segítségével került figyelembevételre, így amennyiben például a hengerelési erő változása miatt változna az állványnyúlás, a zavarjelnek megfelelő reakció azonnal megjelenik a szabályozó kimenetén és a zavar kompenzálása azonnal megtörténik.



7. ábra A HGC felépítése

A vastagság szabályozó egy PI szabályozó, domináló integráló hatással, ahogy ez már korábban említésre került. A hengerelési technológia megközelítőleg

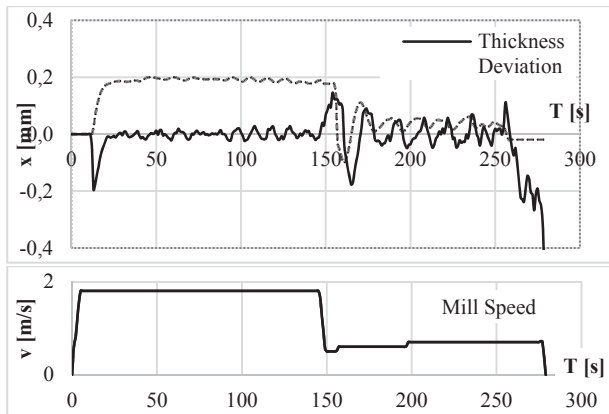
modellezhető egy egytárolós, holtidős taggal (6. egyenlet)

$$G_p(s) = k_p \frac{1}{1+sT_p} \cdot e^{-sT_d} \quad (6)$$

A szakasz szabályozhatósága jellemzően meghatározható a szakasz időállandó (T_p) és a holtidő (T_d) hányadosával. Ebben a konkrét esetben a szakasz időállandó néhány tizedmásodperc, míg a holtidő akár néhány másodperc is lehet, a szakasz szabályozhatósága ezért rendkívül rossz. A szabályozóparaméterezési ajánlások ilyen esetekben I vagy PI szabályozó alkalmazását javasolják [8]. A 9. ábrán egy olyan valós mérési eredmény látható, ahol a hengerelés során lecsökkentették a hengerelési sebességet a normál sebesség 30%-ára, ennek hatására a hagyományos PI szabályozóval történő szabályozás instabillá vált. A hengerelési sebesség változtatása hengerelés közben nem tipikus, azonban előfordulhat bizonyos technikai meghibásodások esetén. Az instabilitás oka, az hogy a hengerelési sebesség (v) és a holtidő között lineáris összefüggés van (7. egyenlet).

$$T_d = \frac{l}{v} \quad (7)$$

Az l a vastagságmérő távolsága a munkahengerektől. A hengerelési sebesség csökkenése tehát radikális holtidő növekedéshez vezet, mely a szabályozókör instabilitását okozhatja. A 8. ábrán látható periodikus lengés az instabilitás eredménye.



8. ábra AGC szabályozás instabilitása a hengerelési sebesség lecsökkenésének hatására

3.1 Adaptív PI szabályozó

Egy lehetséges megoldás a fent felvázolt problémára, adaptív PI szabályozó alkalmazása, ahol a szabályozó erősítés és az integrálási idő a hengerelési sebesség alapján kerül kiszámításra.

A konkrét programmódosítás előtt egy MATLAB szimuláció segítségével valósult meg a tervezett rendszer tesztelése. A szimulált rendszer felépítése és a szimuláció eredménye a 9. ábrán látható. Látható, hogy az adaptív szabályozó használata esetén a hengerelési

sebesség csökkentése hatására sem válik instabillá a szabályozás. A szimuláció során a mérésekkel gyűjtött adatok alapján kerültek megadásra a szabályozni kívánt szakasz paraméterei. Az adaptív szabályozó paramétereinek meghatározásához egy gyakorlatban használt formula került alkalmazásra. (8.,9. egyenlet)[10].

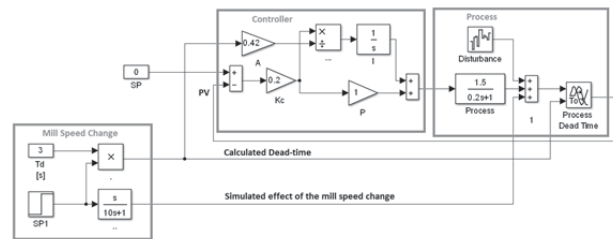
$$k_c = \frac{0.3}{k_p} \quad (8)$$

$$T_i = 0.42 \cdot T_d \quad (9)$$

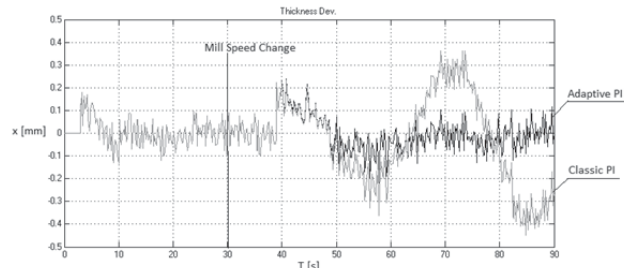
A szabályozó erősítés $K_p=1.5$ ($T_p=0.2s$) a mért szakasz átmeneti függvényről leolvasott érték. A szabályozó átviteli függvénye a 10. egyenletben látható.

$$G_c(s) = 0.2 \cdot \left(1 + \frac{1}{0.42 \cdot T_d \cdot s} \right) \quad (10)$$

A hagyományos PI szabályozó esetén $T_i=3s$, az adaptív PI esetén, a holtidő alapján került kiszámításra (9. képlet).



9. Ábra Az adaptív PI szabályozás MATLAB szimulációja



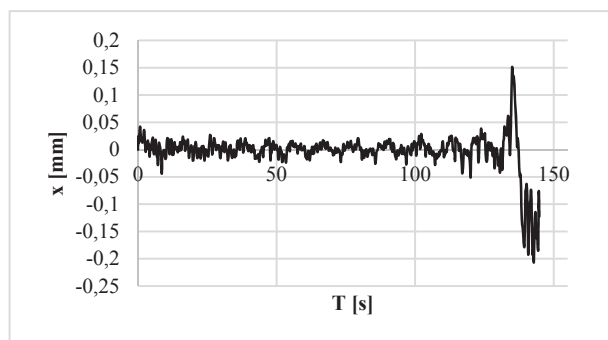
10. ábra A hagyományos és adaptív PI szabályozás dinamikusszelkedésének összehasonlítása a hengerelési sebesség megváltozásának hatására

Ahogy a 10. ábrán látható, a hagyományos PI szabályozó a hengerelési sebesség lecsökkenésének hatására instabillá válik és lengeni kezd, ám az adaptív szabályozó stabil marad.

4. EREDMÉNYEK

A 11. ábrán a mért vastagság ingadozás látható hengerállvány nyúlás kompenzáció és adaptív vastagságszabályozó alkalmazásával.

A vastagság ingadozás $\pm 0.06\text{mm}$ tartományon belül van a normál hengerelés során. A hengerelt anyag végének hőmérséklete lényegesen alacsonyabb, mivel tekerceslés során jelentős hőt ad át a tekerceselő szerkezetnek. A lehűlt vég keményebb, így a hengerelés során egy kompenzálhatatlan zavart okoznak a vastagságban. Ez a vastagságeltérés azonban csak az anyag utolsó pár méterén jelentkezik, jellemzően később ez a rész levágásra kerül.



11. ábra A mért vastagság ingadozás hengerállvány nyúlás kompenzáció és adaptív vastagságszabályozó alkalmazásával

5. ÖSSZEFOGLALÁS

A cikk egy konkrét hengerállványon, a korábban használt kompenzáció nélküli vastagságszabályozás kiváltása kerül ismertetésre. A megvalósított rendszer a mért hengerelési erő alapján a hengerállvány nyúlásának kompenzációját végzi, valamint figyelembe veszi a hengerelési sebességet, egy adaptív szabályozó segítségével stabil szabályozást képes megvalósítani minden hengerelési sebesség esetén. A fejlesztés megvalósításra került, működését mérések támasztják alá. A cikkben további fejlesztési lehetőségek is említésre kerülnek, mint például a csapágy elmozdulás vagy a munkahenger excentricitás kompenzációja.

6. IRODALOM

- [1] A. Jambor – L. J. Hubbard, Changing product structure and comparative advantage: the case of Hungarian agri-food trade. (2013, EKONOMICKY CASOPIS 61:(8) pp. 846-860.
- [2] Degarmo, E. Paul; Black, J T.; Kohser, Ronald A., *Materials and Processes in Manufacturing* (9th ed.), 2003 Wiley, ISBN 0-471-65653-4.
- [3] Ji Yafeng, ZHANG Dianhua, CHEN Shuzong, SUN Jie, LI Xu, DI Hongshuang, *Algorithm design and application of novel GMAGC based*

on mill stretch characteristic curve, Journal of Central South University March 2014, Volume 21, Issue 3, pp 942-947

- [4] Li Xua, Chen Shu-zonga, Du De-shunb, Chen Hua-xinc, Zhang Dian-huaa, *Simulation and Analyzing on Model Parameters Effect of BISRA-AGC*, 2011 International Conference on Physics Science and Technology (ICPST 2011), Volume 22, 2011, Pages 571–576
- [5] Waleed I. Hameed, Khearia A. Mohamad, *Strip Thickness Control of Cold Rolling Mill with Roll Eccentricity Compensation by Using Fuzzy Neural Network*, Engineering, 2014, 6, p.27-33 ISSN Online 1947-394X
- [6] I. Yu. Prikhod'ko, S. A. Vorobei, A. A. Sergeenko, V. V. Raznosilin, S. E. Shatokhin, *Temperature regulation of rollers in broad-strip hot-rolling mills*, Steel in Translation, February 2011, Volume 40, Issue 11, pp 985-989, ISSN 0967_0912
- [7] M. Abbaspour, , A. Saboonchi, *Work roll thermal expansion control in hot strip mill*, Applied Mathematical Modelling, Volume 32, Issue 12, December 2008, Pages 2652–2669
- [8] NIIR Board of Consultants & Engineers, *The Complete Technology Book on Hot Rolling of Steel*, NATIONAL INSTITUTE OF INDUSTRIAL RESEARCH (2010), ISBN: 8190568582
- [9] Ziegler, J. G.; Nichols, N. B. Optimum Settings for Automatic Controllers. Trans. ASME 1943, 65, 433.
- [10] J. Gerry, How to Control a Process With Long Dead Time, Control Engineering, 1998.03, ISSN 0010 8049, <http://www.controleng.com/> 2015.03.25
- [11] A. Vodencarevic, Design of PLC-based Smith Predictor for Controlling Processes with Long Dead Time, IMECS 2010, ISSN: 2078 0966

Súrlódó tengelykapcsolók átvihető nyomatékát befolyásoló tényezők

INFLUENCING FACTORS OF TORQUE TRANSMISSIBILITY IN DRY FRICTION CLUTCHES

Magdics Gábor¹, Dr. Kiss Péter²

¹PhD doktorandusz, magdics.gabor@gmail.com; ²témavezető, Szent István Egyetem, kiss.peter@gek.szie.hu

Abstract

Dry friction clutches are a key element of today's manual transmission equipped cars. Their widely used methods of dimensioning are often based on experimental values e.g. those regarding the slip safety factor to be used. Also there are many simplifications used in the formulas describing the torque transmissibility. One of these is that a uniform pressure distribution is supposed to be acting between the friction linings and the cast iron parts of the clutch mechanism and those of the flywheel. This is not the case in most real situations since frictional heat is forcing these parts to deform. In this paper a method is proposed to measure the effects of thermoelastic deformations of the iron castings so that their influence can be included into the formula describing the transmittable torque of a clutch.

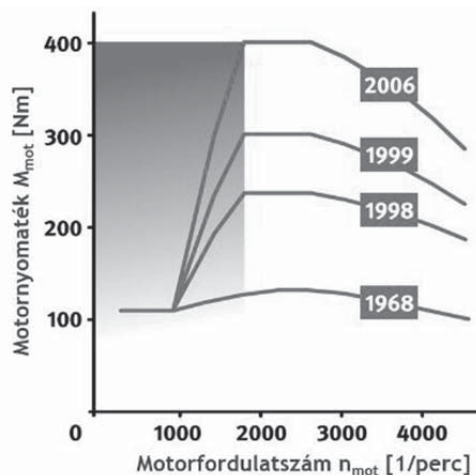
1. A téma időszerűsége és jelentősége

Napjaink gépjárműveinek döntő többségét belsőégésű motorok hajtják, kézi kapcsolású sebességváltón keresztül. Ezeknek az erőátviteli rendszereknek kulcsfontosságú eleme a tengelykapcsoló, melynek meghibásodása, vagy tervezési hiányosságai a jármű számos üzemállapotában vezethetnek problémákhoz. Az egymásnak ellentmondó célok miatt a gyakorlatban nehezen megtalálható kompromisszumokra van szükség.

Egyrészt szélsőséges hőmérsékletviszonyok között is biztosítaniuk kell a nyomatékátvitelt, ez robusztus felépítést követel meg. Tovább fokozza ezt, hogy a járműmotorok adott lökettérfogatból nyerhető nyomatéka az elmúlt évtizedek során többszöröse emelkedett, melyet M. Zink et al. [1] egy gyártó különböző évjáratú, 2000 cm³ lökettérfogatú dízelmotorjairól vizsgált (1. ábra).

A tengelykapcsolóknak ugyanakkor a jármű elindításához precízen és kényelmesen kezelhetőnek is kell lenniük. Ez nagy pontosságú, gyakran igen finom mechanikai elemeket és komplex szerkezeti felépítést eredményez. Ráadásul a járművek belső zajszintje egyre alacsonyabb lesz, az utasokat érő vibrációkat egyre inkább csökkenteni kell. Mivel a követelmények önmagukban egyre szigorúbbak, a közöttük létrejött olló is mind nehezebben hidalható át. Ez azt jelenti, hogy a növekvő nyomatékok hatékony átviteléhez egyre nagyobb és nagyobb előfeszítő erő szükséges,

ugyanakkor a járművezetők mind könnyebben működtethető szerkezeteket igényelnek.



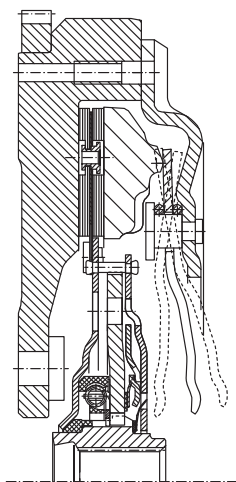
1. ábra - 2000 cm³ lökettérfogatú dízelmotorok nyomatékgörbéi [1]

Különösen nehéz a helyzet akkor, amikor a szerkezet egyenszilárdságú méretezése a cél, mert a komplexitás növekedésével az egyes alkotóelemek igénybevételei is egyre összetettebbek lesznek. Így aztán mind kevésbé állják meg a helyüket azok a tapasztalati összefüggések és határértékek, amelyeket régóta változatlan formában érvényesnek gondolunk - mondván, hogy a tengelykapcsolók működési elve az elmúlt fél évszázadban gyakorlatilag nem változott. Ezekben belül is a száraz, súrlódó tengelykapcsolók képezik a

vizsgálat tárgyát, mivel a járművek többségében ez a kivitel található meg. Szerkezetük a 2. ábrán látható.

2. Célkitűzés

A tengelykapcsoló nyomatékátviteli képességének a jelenleginél pontosabb leírásával elkerülhetővé válik a szerkezet alul- és túlméretezése. Ezzel egyrészt csökkenthető a meghibásodások esélye, másrészt javítható a jármű ergonómiája. A széles körben használt összefüggések több olyan tényezőt nem vesznek figyelembe, melyek a jármű használata során megváltozva számottevően befolyásolják a tengelykapcsoló nyomatékkapacitását. Ezek a következők:



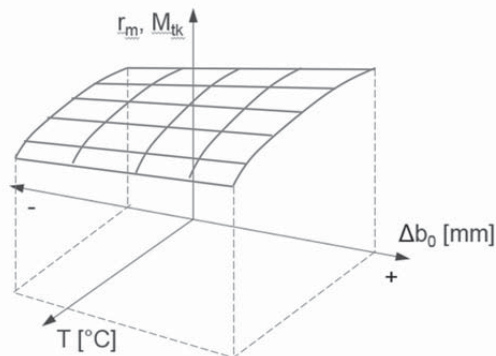
2. ábra - Egytárcsás, száraz súrlódó tengelykapcsoló szerkezete [2]

- A tengelykapcsoló csúszása közben keletkezett hő hatására a lendítőkerek és a nyomólap súrlódó felülete felmelegszik. A hőtágulás hatására belső feszültségek ébrednek, amelyek a lendítőkereket és a nyomólapot deformálják. A súrlódó felületek emiatt kúp alakot öltenek. Ezért a súrlódó felületeken létrejövő felületi nyomás nem állandó értékű, hanem a sugár függvényében változik.
- A súrlódó betétek közötti rugalmas elemek merevsége befolyásolja a kúpos súrlódó felületeken kialakuló felületi nyomást.
- A súrlódó felületek relatív sebességétől függ a súrlódási tényező. A külső és belső átmérő sebessége azonos fordulatszám mellett sem azonos, így a súrlódási tényező a sugár függvényében változik.

Célunk, hogy a tengelykapcsoló átvihető nyomatékára olyan összefüggést határozzunk meg, melynek segítségével ezek a tényezők figyelembe vehetők. Így a tengelykapcsoló méretezése típushoz és üzemeltetési

körülményekhez igazítottan, hatékonyabban végezhető el.

A fentiek értelmében ez az összefüggés a 3. ábrán látható diagramon látható függvénykapcsolat számítására alkalmas. Az ábrán r_m az egyenértékű súrlódási sugár, M_{tk} a tengelykapcsoló által átvihető nyomaték, Δb_0 a kezdeti kúposág [mm], T a súrlódó felület hőmérséklete.



3. ábra - A hőmérséklet, felületi kúposág és az átvihető nyomaték keresett összefüggése [saját forrás]

3. Méretezési megfontolások

3.1. Biztonsági tényező

Ternai Z. [3] 1972-ben még 1,5..1,8-szoros motornyomatékra való méretezést javasolt személy- és tehergépkocsik tengelykapcsolóinál. Ilosvai L. [4] 1994-ben már ennél alacsonyabb, 1,3..1,75-szörös nyomatékra való méretezést ajánl. Ez már meglehetősen közel áll a legtöbb gyártó által napjainkban alkalmazott 1,2..1,5-ös értékekhez. Az elmúlt évtizedek során tehát folyamatosan csökkent a tengelykapcsolók méretezésekor alkalmazott biztonsági tényező. Ez azonban csak részben köszönhető a méretezési módszerek fejlődésének, az esetek legnagyobb részében az egyre nagyobb mennyiségben rendelkezésre álló tapasztalati értékeknek köszönhető. A különböző alkalmazások között azonban igen nagy különbségek vannak úgy a motornyomatékok, mint a járműtömegek, vagy a használati profil tekintetében. Ezért mindenképpen célszerű lenne az átvihető nyomaték méretezése során a 2. fejezetben ismertetett paramétereket is figyelembe venni.

3.2. A nyomatékátviteli képességet leíró összefüggések

A nyomatékkapacitás általánosan használt képlete homogén felületi nyomáseloszlással számol [5], ami erősen idealizált eset:

$$T_{fc} = nR_{\mu}F_{fc} \quad (3.2.1.)$$

A csúszó tengelykapcsolóban létrejövő hőmérséklet-eloszlást T. P. Newcomb és M. El-Sherbiny már a '70-es években meglehetősen pontosan leírták úgy a

tengelyirányú, mint a radiális helyzet függvényében [6]. Eredményeiket O. I. Abdullah és J. Schlattmann pontosították, a súrlódó felületek hornyainak figyelembevételével [7]. Ugyancsak ezek a kutatók később különböző hőáramsűrűségeket szimulálva végeztek további számításokat [8]. Ezután pedig már több, egymás utáni igénybevétel szimulációjával az egyes terhelési ciklusok kezdeti hőmérsékletek befolyását is figyelembe vették [10].

Ezek a kutatások részletes eredményekkel szolgálnak a tengelykapcsolón belül kialakuló hőmérséklet-viszonyokra vonatkozóan. Nem tárgyalják viszont azt, hogy ezek miképp befolyásolják a tengelykapcsoló által átvihető nyomatékot.

A hőmérséklet- és nyomáseloszlást tárgyaló publikációk a betétek közötti kapcsolatot teljesen merevnek tekintik, elhanyagolva a betétrugózást, pedig az a felületi nyomás eloszlásának meghatározó tényezője. Ugyancsak nem található olyan közlemény, amely foglalkozna azzal, hogy a súrlódó felületek a valóságban egymással nem párhuzamosak, ami szintén számottevően befolyásolja a felületi nyomást.

A fenti vizsgálatok a súrlódó betétet vagy teljesen hőszigetelőnek tekintik, vagy nem számolnak a betéteket rögzítő szegecseken és a rugószegmenseken keresztül elvezetett hőmennyiséggel. Pontos méretezésre való törekvéskor ez nem elhanyagolható mert a szegecsek felülete az egész súrlódó felületnek akár 6%-át is kiteheti [11].

3.3. Súrlódási tényező és kopás

A tengelykapcsolók súrlódási tényező vizsgálatával foglalkozó publikációk között nem található olyan, ahol a peremfeltételek megfelelnek azoknak a körülményeknek, amelyek között a tengelykapcsoló a járműben működik.

Bár a súrlódó betét kopására vonatkozó vizsgálatok találhatók, hiányos a publikus irodalom olyan vizsgálatok tekintetében, amelyek a tengelykapcsolók elhasználódásával foglalkoznak. Ez alatt a súrlódó betétek és a rugószegmensek kapcsolódási pontján fellépő kopást, a rugók út-erő jelleggörbéinek hőmérséklet hatására bekövetkező megváltozását értem.

4. Anyag és módszer

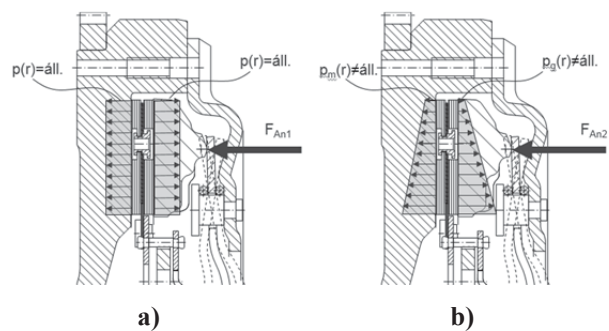
Amennyiben az általánosan használt összefüggéseknél pontosabban kívánjuk meghatározni az átvihető nyomatékot, szükséges, hogy ismerjük a felületi nyomás megoszlását a sugár mentén, és figyelembe vegyük azt az egyenértékű súrlódási sugár meghatározásakor.

Ehhez meg kell határozni, hogy mely tényezők, és hogyan befolyásolják a felületi nyomást. A peremfeltételeket eközben oly módon kell meghatározni, hogy a kapott eredmények a mindennapi körülmények között alkalmazhatók legyenek. Ezért a

vizsgálati faktorokat tapasztalat alapján vett szélsőértékek figyelembevételével kell meghatározni.

Amíg a nyomáseloszlás pontos függvényét nem ismerjük, addig a külső- és belső átmérő között lineárisan változó nyomásfüggvényt tételezünk fel. A különbség a jelenleg használatos modellhez képest a 4. ábrán látható.

A 4. a) ábrán feltételezzük, hogy a súrlódó felületek párhuzamosak, és a nyomólap valamint a lendítőkerék öntvénye tökéletesen merevek. Ekkor a tányérrugó előfeszítéséből adódó F_{An1} erő hatására egyenletesen megoszló erőrendszer jön létre a súrlódó felületeken. A 4. b) ábrán kúpos súrlódó felületeket feltételezve az F_{An2} összeszorító erő első esettel megegyező értéke esetén is másfajta megoszló erőrendszert kapunk. A tapasztalat azt mutatja, hogy az esetek nagyobb részében a súrlódó felületek külső élei a hőtágulás hatására egymástól eltávolodnak, a felületi nyomás itt lecsökken, a belső élen megnő, és a tengelykapcsoló által átvitt nyomaték lecsökken.



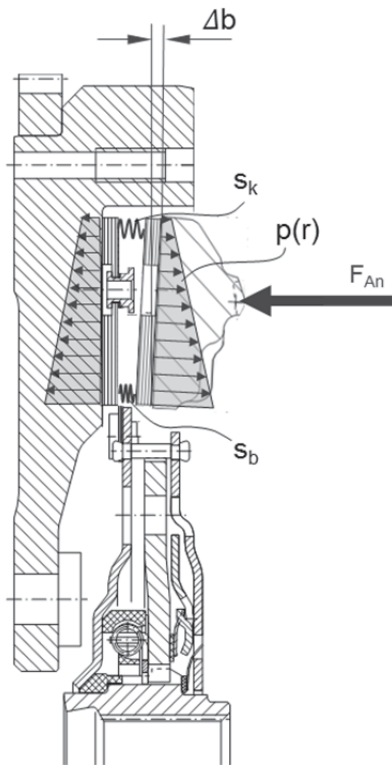
4. ábra - Nyomáseloszlás párhuzamos és kúpos súrlódó felületek között [saját forrás]

A pontos nyomáseloszlás meghatározásához használt modellben azt feltételezzük, hogy a súrlódó betéteket azok külső- és belső átmérőjén egy-egy ismert (mérhető) és állandó merevségű rugó kapcsolja össze. Ezeknek a rugóknak a merevségét ismerve már meghatározható a $p(r)$ függvény adott párhuzamossághiba (b_0) és összeszorító erő (F_{An}) esetén. Ez a helyettesítő modell látható az 5. ábrán.

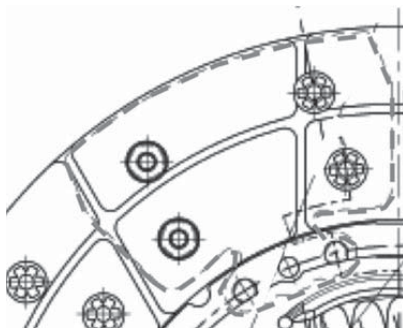
Tovább nehezíti a nyomáseloszlás pontos meghatározását, hogy a betétek közti rugalmas kapcsolatot a kerület mentén egymástól független szegmensek biztosítják, melyek a betétek hátoldalal vonalszerűen terhelik. Ezek alakja látható a 6. ábrán.

A méréshez használt berendezés egy speciálisan tengelykapcsolók vizsgálatára épített próbapad, melynek felépítése az 7. ábrán látható. A berendezés egy villanymotor segítségével felgyorsítja a megválasztható tömegű, ill. tehetetlenségi nyomatékú lendítőkeréket, ismert mennyiségű mozgási energiát közölve azzal. A vizsgált tengelykapcsoló a lendítőtömegekkel közös tengelyhez (4.) van rögzítve. A tengelykapcsoló részét képező súrlódó tárcsa egy álló

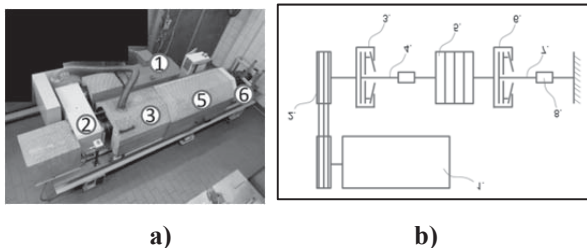
tengelyen (7.) van. Az álló tengely egy nyomaték mérőn (8.) keresztül van a berendezés vázához rögzítve.



5. ábra - A betétruhozás hatásának figyelembevételére alkalmas modell [saját forrás]



6. ábra – A súrlódó betéteket összekapcsoló rugószegmensnek [saját forrás]



7. ábra - A méréshez használt berendezés és elvi felépítése [saját forrás]

A mérés menete a következő:

- a berendezésre felszereljük a kívánt energia-bevitel létrehozására alkalmas lendítőtömegeket (5).
- a (3.) tengelykapcsolót zárjuk, a vizsgált tengelykapcsolót (6.) oldjuk.
- az (1.) villanymotorral a (2.) szíjhajtáson keresztül felgyorsítjuk a lendítőtömegeket.
- a (3.) tengelykapcsolót oldjuk, a lendítőtömegekről leválasztjuk a motort.
- a vizsgált tengelykapcsoló zárásával álló helyzetig lefékezzük a lendítőtömegeket. Eközben mérjük a tengelykapcsoló által átvitt nyomatókót a (8.) nyomatókmérővel.

Az utolsó lépés során a lendítőkerekben tárolt mozgási energia a tengelykapcsoló súrlódó felületein hővé alakul. A tengelykapcsolóval közölt energiát, ezen keresztül a létrejött hőmérséklet-emelkedést a lendítőkerek tömegének megválasztásával változtathatjuk. Mivel a súrlódó tárcsa motor felőli és sebességváltó felőli oldalán azonos a súrlódó felület nagysága, és a felületre ható összeszorító erő, ezért feltételezzük, hogy a súrlódás veszteséghője azonos arányban oszlik meg a két felület között.

Azért, hogy az eredmények minél szélesebb körben használhatóak legyenek, szükséges a mérések körülményeinek és a vizsgált tengelykapcsoló paramétereinek célszerű megválasztása.

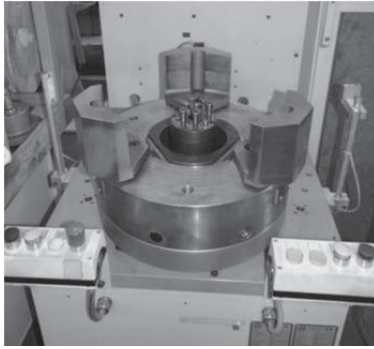
A vizsgálat menete a következő:

1. Súrlódási tényező mérése (μ).

A súrlódási tényezőt két módszerrel tervezzük megmérni:

Egyrészt a betétből vett mintákon párhuzamos felületek közé a tengelykapcsoló szorítóerejének megfelelő erővel befogva erőmérővel.

Másrészt a vizsgálandó tárcsákon, azokat sík felületű szerszámok közé befogva az elfordításhoz szükséges nyomatók mérése által. A párhuzamos felületek és a mérés statikus jellege miatt ekkor alkalmazható a 3.2.1. összefüggés a súrlódási tényező kiszámításához. A méréshez használt berendezés a 8. ábrán látható.



8. ábra - Torziós mérőpad [saját forrás]

2. Rugómerevségek mérése (s_k , s_b).

A súrlódó tárcsát körgyűrű alakú szerszámokon keresztül a külső és belső élén terhelve felvehető az összenyomás út-erő jelleggörbéje, így meghatározható a két rugómerevség.

3. Átvihető nyomaték mérése (M_0).

A tengelykapcsolóval átvihető nyomaték a 8. ábrán látható torziós mérőpad segítségével mérhető. A lendítőkereket és a rácsavarozott tengelykapcsolót befogva mérhető az a nyomaték, amellyel a tárcsa elfordul.

4. Lendítőtömeg kiválasztása a megfelelő energiamentiség beviteléhez.

5. Energia-bevitel öt ciklusban, a ciklusok során a hőmérséklet, a fordulatszám, a ciklusok között pedig az elért maximális hőmérséklet, a deformáció és az átvihető nyomaték mérése ($T(t)$, $n(t)$, T_i , Δb_i , M_i).

A hőmérséklet mérést egyidejűleg négy átmérőn tervezem elvégezni: a lehető legközelebb a külső- és a belső átmérőhöz, valamint a két átmérő közötti távolság 1/3 és 2/3 arányú részén. Ez azért szükséges, mert a nyomólap deformációja várhatóan nem tehető függővé egy adott pont hőmérsékletétől, hanem a külső és a belső átmérőkön kialakuló hőmérsékletkülönbség függvényében is változik majd.

A nyomólap deformációját mérőórával végezhetjük el, ehhez a tengelykapcsolót le kell szerelni a próbapadról. A lendítőtömeg fékezése közben a deformáció az így mérhető értéktől eltérő, és a hőmérséklet függvényében folyamatosan változik, közvetlen mérése viszont nyilvánvalóan nem lehetséges. A legtöbb információ, amit ezzel kapcsolatban kaphatunk, az energia-bevitel során létrejött deformáció értéke. Ezt a nyomólapra szerelt és a fedélen kívülre vezetett csap pozíciójának útjeladóval történő mérésével kapjuk.

6. Az 5. ciklus után a súrlódási tényező és a rugómerevségek mérése (μ , s_k , s_b).

Az egyes ciklusok között nem tudjuk mérni a s_b , s_k ill. μ értékét, mert ez egy másik próbapadon történik. Ehhez a vizsgált tengelykapcsolót le kell szerelni a berendezésről, ami miatt ezek a mérések nem a ciklus végén kialakult hőmérsékleteken történének. Ezért az elvégzett mérések alapján szükséges lehet az egyes ciklusokra érvényes μ , s_k , s_b értékek interpolációval történő számítása, amennyiben a kezdeti méréshez képest eltérést tapasztalunk. Természetesen nem lehetünk benne biztosak, hogy a hőmérséklet, ill. az energia-bevitel függvényében ezek lineárisan változnak. Az így bevitt hiba attól függ, mekkora az eltérés az energia-bevitel előtt és az 5. ciklus után mért értékek között.

7. A méréssorozat megismétlése a következő b, ill. F_{An} értékekkel.

A lendítőtömeg fékezése során mérjük a tengelykapcsoló által létrehozott fékezőnyomatékok, azaz rendelkezésünkre áll annak változása az idő függvényében. A nyomaték változását a felületi nyomás, ill. az általa meghatározott egyenértékű súrlódási sugár változására vezethetjük vissza.

Mivel a súrlódó betétek nem párhuzamos felületek közé vannak szorítva a működés során, ezért a sugár mentén nem egyenletes mértékű kopás jelentkezik. Ennek mértéke összehasonlítható az öntvények kúposságával, így számottevően befolyásolja a nyomáseloszlást. Ezért az egyes mérési sorozatok között szükséges a betét külső és belső vastagságának mérése is.

5. Eredmények

A hőmérsékletekkel egyidejűleg mérve a nyomólap deformációját és a tengelykapcsoló által átvitt nyomatékok meghatározható, hogy

- a súrlódó felületek melegedése miképp befolyásolja az öntvények deformációját,
- a keletkező párhuzamosság-hiba hatására milyen összefüggés szerint változik meg a tengelykapcsoló által átvitt nyomaték,
- ezekkel megkapjuk a 3. ábra szerinti összefüggést.
- A súrlódási tényező ismeretében kiszámítható, hogy az adott egyenértékű súrlódási sugár milyen nyomáseloszlásnak felel meg,
- a helyettesítő rugómerevségek és a számított nyomáseloszlás közötti összefüggés ismeretében pedig kifejezhető a rugómerevségek befolyása az a) és a b) összefüggésre.

6. További feladatok

Az átvihető nyomatékok leíró összefüggés további pontosítása végezhető el, ha figyelembe vesszük a

súrlódási tényező változását a sugár mentén. Annak érdekében, hogy eldönthessük, mekkora hibát okoz ennek elhanyagolása, szükséges a súrlódási tényező sebesség függvényében történő mérése különböző betétanyagoknál.

Az 5. ábrán bemutatott helyettesítő modellel még nem lehet figyelembe venni, hogy a lendkerék- és a nyomólap oldali súrlódó felületek kúposága különböző is lehet. Ennek a gyakorlati esélye nagy, hiszen a lendkerék általában jóval nehezebb (és merevebb is) a nyomólapnál. Ha feltételezzük, hogy a súrlódásból származó energiavesztés egyenletesen oszlik szét közöttük, akkor a nyomólapon nagyobb hőmérsékletre, így nagyobb deformációra is számíthatunk. Ezért várhatóan a két oldalon megfigyelhető nyomáseloszlás között is lesz különbség, amelynek igazolásához további mérésekre van szükség.

7. Összefoglalás

Napjaink motorizált járműveit leginkább belsőégésű motorok hajtják kézi kapcsolású sebességváltón keresztül. Ezek kulcsfontosságú eleme a tengelykapcsoló, melynek meghibásodása, vagy tervezési hiányosságai a jármű számos üzemállapotában okozhatnak problémát. Ahogy a járművek teljesítménye nő, és a komforttal szemben támasztott igények is egyre magasabbak, a tengelykapcsolóknak is mind ellentmondásosabb követelményeknek kell megfelelniük. A szerkezetek alulméretezése műszaki hibához, túlméretezésük pedig ergonómiai elégtelenségekhez, ill. magasabb költségekhez vezet, mindkettő kerülendő tehát. Hogy a fejlesztés során megtalálhatóvá váljék az ideális nyomatékátviteli biztonsági tényező, a jelenleginél pontosabb ismeretekre van szükség arról, hogy adott pillanatban egy tengelykapcsoló mekkora nyomatékot tud átvinni. Irodalomkutatásom során számos olyan területet találtam, melyeknek az összefüggései nem ismertek annyira, hogy ezt a pontosságot lehetővé tegyék. Ilyen a súrlódó felületeken adott hőmérséklet hatására kialakuló nyomáseloszlás, ill. ennek hatása az átvihető nyomatékra.

Az ismertetett mérésorozat segítségével ez az összefüggés határozható meg. A tengelykapcsolót adott energia-bevitellel terheljük, közben mérjük a súrlódó felülettől adott távolságban kialakuló hőmérsékletet, a súrlódó felületek deformációját és az átvitt nyomatékot. Ezek ismeretében pedig meghatározhatjuk a nyomás (feltételezeten lineárisan változó) eloszlását a radiális pozíció függvényében. Ebből később kiszámítható, hogy egy adott tengelykapcsoló átvihető nyomatéka hogy változik a hőmérséklet, ill. a súrlódó felületek kúposágának függvényében.

8. Summary

These days most of our motorized vehicles are propelled by internal combustion engines, through manual transmissions. A key element of these is the

clutch that can cause problems in different driving conditions in case of its failure, or any design related defects. There are many controversial aspects that clutch designers have to deal with. Clutches must have a robust construction in order to provide the sufficient torque capacity under the most extreme temperatures. The continuous increase of engine torques over the last decades increased this challenge further. At the same time they have to be easy to operate and provide comfortable characteristics, as well as a good NVH performance. Not only dimensioning to uniform strength, but simply to find the necessary compromises is getting harder and harder due to the above boundary conditions. The loads acting on the parts and the resulting stresses get more and more complex, so we can not settle for the accuracy provided by many experience-based methods and formulae any more – even though the basic working principle of the clutches remained unchanged in the last half of a century.

An underdimensioning of the clutch mechanism causes mechanical failure, their overdimensioning leads to insufficient ergonomics and higher costs, thus both of them must be avoided, if possible. To enable the design of clutches fitting the exact application, more detailed knowledge is needed with regard to the transmittable torque of a particular clutch under given circumstances. Through my literature research I have identified several areas where lack of knowledge and experience is preventing us to reach the desired quality of dimensioning. Such is the exact temperature distribution on the friction surfaces as well as its effect on the pressure distribution and thus on the transmittable torque of the clutch system.

Through my research I plan to create a more detailed view of the correlations between the temperature-, pressure distribution on the friction surfaces and the torque transmissibility of the clutch, thus enabling a more precise dimensioning. This would enable uniform lifetime of the clutch parts as well as less cases of overdimensioning, and thus better ergonomics.

With the presented series of measurements this correlation can be described. While applying known amount of frictional heat on the clutch, we measure the temperature at a given distance behind the friction surfaces, the deformation of the friction surfaces and the transmitted torque. Knowing these the pressure distribution can be defined as a function of the radial position. With this the transmittable torque of a given clutch can be calculated as a function of the temperature and the conicity of the friction surfaces.

Irodalom

- [1] M. Zink, M. Hausner, R. Welter, R. Shead: *Clutch and release system, 8. LuK Symposium 2006, LuK GmbH & Co. KG 2006*
- [2] LuK Kupplungs-Kurs – Einführung in die

- Kupplungstechnik für Personenkraftwagen,
Schaeffler Automotive Aftermarket GmbH & Co.
KG, 2012, 999 6001 050 2384/2.0/5.2012/BB-D
- [3] Ternai Z.: *Gépjárműszerkezetek méretezése*,
Műszaki könyvkiadó, Budapest, 1972
- [4] Ilosvai L.: *Gépjárműszerkezetek méretezése*,
Műegyetemi kiadó, Budapest, 1994
- [5] F. Vasca, L. Iannelli, A. Senatore, G. Reale:
*Torque Transmissibility Assessment for
Automotive Dry-Clutch Engagement*, *IEEE/ASME
Transactions On Mechatronics*, Vol. 16, No. 3,
2011
- [6] M. El-Sherbiny, T. P. Newcomb: *Temperature
distributions in automotive dry clutches*
Proceedings Instn Mech Engrs Vol. 190 34 – 76,
IMechE 1976
- [7] Oday I. Abdullah, J. Schlattmann: *Finite Element
Analysis for Grooved Dry Friction Clutch*,
*Advances in Mechanical Engineering and its
Applications (AMEA) Vol. 2., No. 1., 2012, ISSN
2167-6380*
- [8] O. I. Abdullah, J. Schlattmann: *Finite Element
Analysis of Temperature Field in Automotive Dry
Friction Clutch*, *Tribology in Industry Vol. 34, No.
4 (2012) 206-216*
- [9] Oday I. Abdullah, J. Schlattmann: *Contact analysis
of a dry friction clutch system*, *ISRN Mechanical
Engineering*, Volume 2013 Article ID 495918
- [10] Oday I. Abdullah, J. Schlattmann: *Effect of Band
Contact on the Temperature distribution for dry
friction clutch*, *World Academy of Science,
Engineering and Technology Vol:6 2012-09-29*
- [11] Terplán Z., Nagy G., Herczeg, I.: *Mechanikus
tengelykapcsolók*, Műszaki könyvkiadó, Budapest,
1966

PRÓBAPÁLCA ÉS BEFOGÓ KÉSZÜLÉKE EGYÜTTES VIZSGÁLATA FÁRASZTÓVIZSGÁLAT ELŐKÉSZÍTÉSÉRE

Molnárfi Zoltán, Simon Ferenc és Prof.Dr.Zobory István¹

Vasúti Járművek, Repülőgépek és Hajók Tanszék
Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
H-1111 Budapest, Műegyetem rakpart 3.

ABSTRACT

A BME Vasúti Járművek és Járműrendszer-analízis Tanszékén korábban sok éven át folytatott kutatómunka a járműépítésben szokásos ötvözetlen acélanyagok húzó-nyomó lengő igénybevételre vonatkozó Wöhler-görbéinek sztochasztikus szimulációval való meghatározását célozza az acélanyag mikro-károsodási állapotára vonatkozó szuper-röntgen képek statisztikai feldolgozásából nyert információból kiindulva [2]. A kidolgozott sztochasztikus szimulációs eljárás validálására azonos névleges méretekkel kialakított, RST 37 anyagból kimunkált próbapálcák laboratóriumi fárasztóvizsgálat sorozat kerül beindításra. A fárasztó próbák megkezdése előtt befogó szerkezetet kellett tervezni, amely elkerüli nem kívánt hajlító nyomaték kialakulását a húzó-nyomó vizsgálat alá vett próbapálcákon. A próbapálca feszültségállapotát véges elemes szoftver segítségével ellenőriztük. A befogó szerkezet első tervezési változatának ellenőrzése kimutatta, hogy esetében sajnos fellép a nem kívánt hajlító nyomaték, ezért a szerkezetet a szimmetrikus erőbevezetés biztosítására módosítani kellett.

Kulcsszavak: fárasztó vizsgálat, befogó szerkezet, végeelemes vizsgálat.

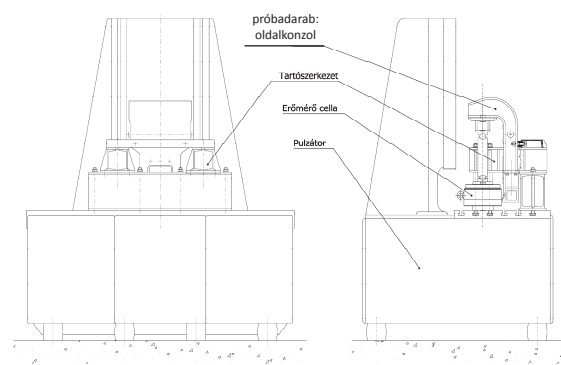
1. BEVEZETÉS

A tervezett fárasztóvizsgálat célja a korábbi kutatások során kifejlesztett sztochasztikus repedésterjedési és repedésegyesítési szimulációs modell [2] validálása. Ennek érdekében RST 37 acélból kimunkált próbapálcák kifáradási tulajdonságainak kísérleti meghatározása vált szükségessé. A fárasztóvizsgálat korábbi, részben az ELTE Általános Fizika Tanszékének laboratóriumában végzett részleges fárasztóvizsgálatunk folytatását jelenti, amelyet most a Tanszék laboratóriumában működő Schenck-gyártmányú pulzátor alkalmazásával fogunk elvégezni. A korábbi húzó-nyomó fárasztóvizsgálatok zéró középfeszültség mellett 260 MPa feszültség-amplitúdóval kerültek végrehajtásra. A következőkben a fárasztóvizsgálatokat ugyancsak zérus középfeszültséggel, azonban 220 és 240 MPa feszültség

ség amplitúdóval tervezzük. A kapott törési eredmények tapasztalati eloszlásfüggvényeit meghatározva, kiértékelhetők a vizsgált RST 37 acél közel zérus, 0,5 és közel egységnyi törési valószínűséghez tartozó tapasztalati Wöhler-görbéi.

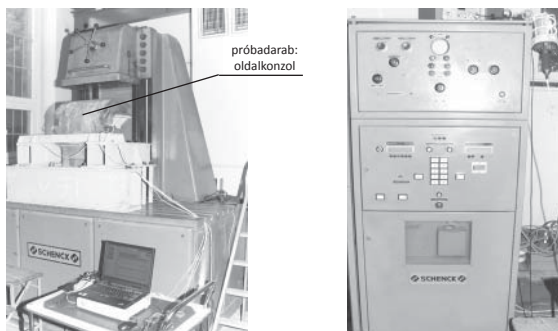
2. A BEFOGÓ SZERKEZET VIZSGÁLATA

A Tanszéken rendelkezésre álló Schenck-pulzátor próbapad rezonancia-elven működik. Az 1. ábrán ez a próbapad látható. A 2. ábra a bal oldalon a V43 sor. villamos mozdony forgóváza oldalkonzolának fárasztásához használt adaptert és a próbadarabot mutatja. A kép előterében a Spider típusú mérési adatgyűjtő és a vezérlő lap-top számítógép látható. A 2. ábra jobb oldalán a pulzátor vezérlő szekrénye található a pulzáló erő maximális és minimális erőértékeket beállító billentyűkkel és a rezonancias állapot beállítását segítő oszcilloszkóppal. A pulzátor és a vizsgálandó 6 mm átmérőjű, két végén befogásra alkalmas végekkel kialakított RST 37 anyagú próbapálcák közötti tengelyirányú húzó/nyomóerő átadást biztosító kotyogásmentes szerkezeti kapcsolatot a 3. ábra szerinti adapterpárhoz kell kialakítani. Az alsó adapter a pulzátor rázólapjához, a felső adapter pedig a pulzátor erőmérő cellájának csatlakozó lapjára van felcsavarozva.

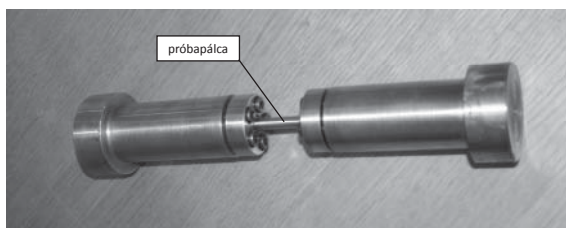


1. ábra: A Schenck gyártmányú PVT sorozatjelzésű pulzátor vasúti forgóváz oldalkonzol fárasztóvizsgálatához készült adapterrel és a próbadarabbal

¹ Molnárfi Zoltán egyetemi tanársegéd
Simon Ferenc ny.tanszéki mérnök
Prof.Dr. Zobory István professzor emeritusz

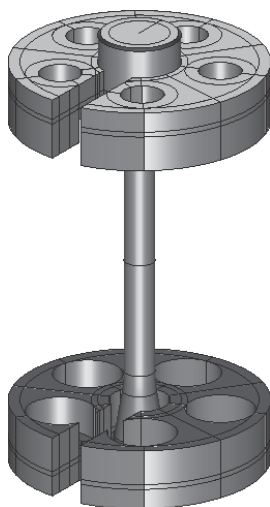


2. ábra Az elektrodinamikus pulzátor vasúti forgóváz oldalkonzol fázastóvizsgálatához készült adapterrel és a próbadarabbal (balra) és a próbapad vezérlő szekrénye (jobbra)



3. ábra: A pulzátor két peremes adaptere, melyek közé középre van bekötve a próbapálca

A kiindulási elgondolás szerint a próbapálca adapterekhez való csatlakoztatása két felmetszett tárcsával valósítható meg, melyeket 5-5 csavar rögzít a pulzátor erőátadó tárcsájához kapcsolt 3. ábra szerinti peremes adapter hengerekhez. A felmetszés azt a célt szolgálta, hogy a próbapálca középső hengeres részét egyszerűen átmozdítva a felmetszés két lapja között, egyszerűen lehessen a próbapálca hengeres fejét a tárcsában kiképzett hengeres fészekbe behelyezni (4. ábra), majd a csavarokkal a tárcsát a 3. ábra szerint az peremes adapterekhez rögzíteni. Ez a kialakítás jelentette az alapváltozatot.



4. ábra: A próbapálca befogó szerkezet alapkonstrukciója oldalról felmetszett alsó és felső leszorító gyűrűvel.

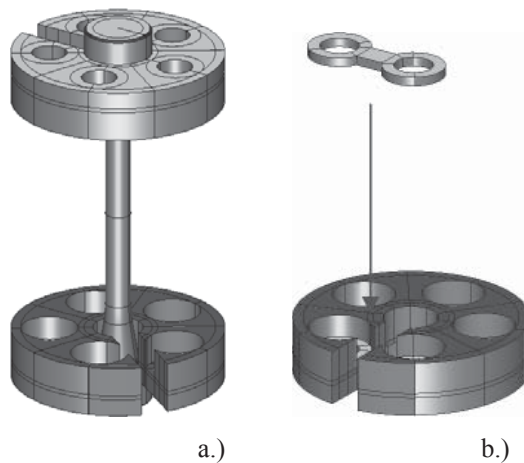
Véges elemes vizsgálatot végeztünk annak ellenőrzésére, hogy a tervezett befogó szerkezet nem okoz-e nem kívánt aszimmetriát a próbapálca fejének peremén érvényesülő nyomáseloszlásban és ebből adódóan nem lép-e fel nem kívánt hajlító nyomaték a próbapálcára. A próbapálcát a tervezett legnagyobb 240 MPa feszültséghez tartozó axiális erővel terheljük. Ennek eredménye azt mutatta, hogy a pálcafej peremén a tárcsa felmetszett voltából adódóan húzóterhelés esetében a kialakult nem egyenletes érintkezési nyomáseloszlás miatt a próbapálcára nem kívánatos hajlító nyomaték is működik, ezért az 5. ábrán bemutatott módon a próbapálcában kialakuló feszültség eloszlása nem lesz egyenletes. Nyomóterhelés esetében ilyen probléma nem lép fel, a próbapálca teljes hosszán egyenletesen megoszló feszültség adódott.



5. ábra Húzóterhelés hatására kialakuló feszültségmező az alapváltozat esetében (MPa-ban).

A húzóterhelés esetén kialakuló nem homogén feszültség eloszlás megszüntetésére több konstrukciós megoldási változat is felmerült. Ezek közül az alábbiakban három változatot mutatunk be:

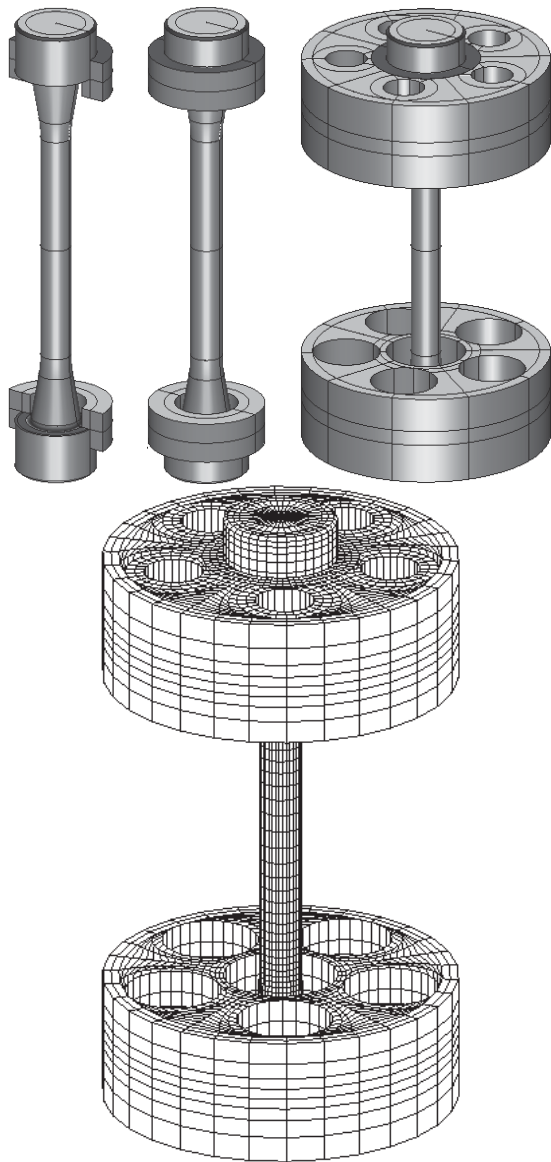
- a bemetszett tárcsa eredeti állásához képest történő elforgatása (1. a 6. ábra a.) része)
- a keletkező hajlító nyomaték kompenzálása a leszorító csavarok különböző mértékű meghúzásával
- a tárcsán található kivágás két felének összekötése egy hevederrel (több különböző vastagságú heveder vizsgálata is megtörtént (1. a 6. ábra b.) része)



6. ábra Konstruktív változatok a próbapálca-fej felfekvési nyomás egyenetlenségének kompenzálására

3. KÖRSZIMMETRIKUS FELFEKVÉSI NYOMÁS BIZTOSÍTÁSA

Mivel fent ismertetett változatok nem szolgáltatottak megfelelő megoldást, ezért a felmetszett tárcsák elképzelését elvetve felmetszés nélküli szimmetrikus tárcsákra térünk át. A próbapálca fejének befogási módjának kialakítására a motorok szelepszára és a rugótányér kapcsolatában szokásos konstrukciót követtük két behelyezett fél gyűrű alakzárásával. A próbapálca és a tárcsa közé, a próbapálca nyakára 2 egymáshoz illeszkedő félgűrűt helyezünk be, így a tárcsa furata már nagyobb lehet a próbapálca átmérőjénél, és ezért azt egyszerűen föl lehet rá húzni. Szereléskor pedig be kell helyezni a 2 félből álló gyűrűt a pálca és a tárcsa közé, és ezzel rögzíteni lehet a pálca helyzetét a tárcsa fészében, és egyben a kialakuló alakzárás megakadályozza, hogy a tárcsa tengelyirányban lecsússzon a pálcáról.



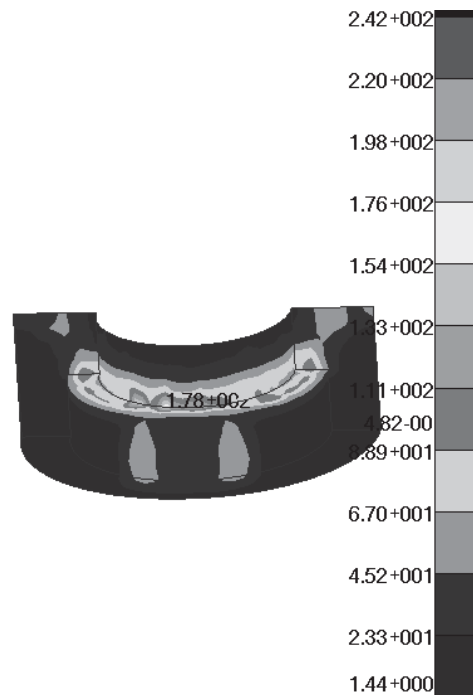
7. ábra Az új kialakítás a 2 félgűrűvel és a végeselemes háló, amellyel a vizsgálatot végeztük.

Az ilyen kialakítású próbapálca-fej bekötés esetében a szimulált húzóterhelésre kapott eredmény már megfelelőnek bizonyult, ugyanis kevesebb, mint 2 MPa eltérés adódott a névleges értéktől. Emellett a próbapálca középső keresztmetszetben a feszültségeloszlás tengelyszimmetrikus és sokkal egyenletesebb, mint korábbi változatok esetében. Ezt a 8. ábrán figyelhetjük meg, amelyen a színskála feszültség értékei úgy lettek meghatározva, hogy minél jobban kirajzolódjon a nagyfeszültségű helyek terhelés-eloszlása.



8. ábra A próbapálcán kialakuló von Mises redukált feszültség (MPa-ban)

Ellenőrizni kellett a kialakítás során, hogy ennél a kialakításnál nem fordulhat-e elő, hogy a gyűrű nagyobb terhelést kap, mint a pálca és hamarabb reped, törik. Ennek tisztázására készült a 9. ábra, ahol megfigyelhetjük, hogy a félgűrűn ébredő maximális feszültség csak 178 MPa, így alulmarad a pálca 242 MPa-os értékéhez képest. A gyűrű anyaga ennek megfelelő teherbírású C45 acél.



9. ábra: A félgűrűn kialakuló feszültségeloszlás (MPa-ban)

4. ELLENŐRZÉS KIHAJLÁSRA

A tőrést is figyelembe véve a próbapálca névleges átmérője minimum $d = 6\text{mm}$. A számításban ezt az értéket vettük figyelembe a teljes hossza mentén (ezzel a biztonság irányába tévedünk). A próbapálca teljes hossza: $l = 94\text{mm}$, a keresztmetszeti felület másodrendű nyomatéka:

$$I = \frac{d^4 \pi}{64} = 63,62\text{mm}^4.$$

Ha a valóságos próbakörülményeket figyelembe véve azt feltételezzük, hogy a próbapálca mindkét feje befogottan kapcsolódik a befogó szerkezethez, akkor az Euler-féle törőerő

$$F_t = \frac{IE\pi^2}{(l/2)^2} = 59690\text{N}$$
 nagyságúra adódik

ki. Ez az a kritikus axiális erő, amely mellett az említett befogott végék esetén a kihajlott két inflexiós ponttal bíró alak is egyensúlyi alak lehet. A tervezett fárasztóvizsgálatok során alkalmazni kívánt legnagyobb 240MPa -os feszültséghez tartozó axiális erő - a próbapálca $d=6\text{mm}$ átmérőjű hengeres részének keresztmetszeti felületét figyelembe véve -

$$F = 240 \times \frac{6^2 \pi}{4} = 6786\text{N}$$
 nagyságúra adódik

ki. A kapott értékek alapján a kihajással szembeni

biztonsági tényező nagysága: $B = \frac{F_t}{F} = 8,796$.

Ez az érték megfelelő lévén a konstrukció további változtatásától eltekintettünk.

5. A PRÓBAPÁLCA MELEGEDÉSE

Korábbi fárasztási tapasztalataink alapján a viszonylag nagy amplitúdójú terhelés miatt számítani kell arra, hogy a fárasztókísérlet alatt a próbapálca a ciklikusan bevitt energia hatására esetleg a megengedhető értékeknél jobban felmelegszik. Ez utóbbi esetben a fárasztóvizsgálat során felmerül a próbapálcát hűtésének szükségessége, amit eddigi gyakorlatunkban axiális ventilátor levegősugarával oldottunk meg. Ha ez sem segít, akkor szükséges az erő pulzálási frekvenciájának visszavétele. Ez a mérés időtartamát ugyan megnöveli, de a nem kívánt túlmelegedés miatti kihajlás-veszély kiküszöbölhető.

6. BEFEJEZŐ MEGJEGYZÉSEK

Az elvégzett elemző vizsgálatok, és a korábbi tapasztalatokat figyelembe véve a szimmetrikus félgyűrűs befogófejjel már megkezdhető a fárasztó vizsgálat, melynek eredményeiből kiértékelhető a tapasztalati a Wöhler-görbe. A próbapálcákon korábban alapos anyagvizsgálat került elvégzésre [1], így ismert a folyáshatára és a szakítószilárdsága. Ismertek továbbá szuper-röntgenes vizsgálatok alapján az egységnyi térfogatban jelen lévő mikro-károsodások számának és méretének eloszlásfüggvényei is [3]. A tervezett fá-

rasztóvizsgálatok eredményeinek ismeretében elvégezhető a vizsgált acélanyag húzó/nyomó terhelésre vonatkozó Wöhler-görbéinek a [2]-ben kidolgozott sztochasztikus szimulációs eljárással való megközelítése érdekében alkalmazandó paraméterek identifikációja. Az identifikált paraméterű Wöhler görbékkel azután már a tervezés során pontosabb kifáradási élet-tartam előrejelző számítások valósíthatók meg.

7. IRODALOM

- [1] Győri, J. – Vörös, Gy. – Zobory, I. – Békefi, E.: Anyagjellemzők a vasúti járműszerkezetekben jellegzetes RST 37 acél anyagkifáradással szembeni ellenállásának kutatásához, Vasútépítészet, 2005/3, Budapest, 2005. p.7-10.
- [2] Zobory I. – Győri J. – Békefi E. – Kovács K.: Simplified crack propagation model for stochastic simulation of the Wöhler-curves. Kutatási jelentés (OTKA), BME, Közlekedésmérnöki Kar, Vasúti Járművek Tanszék, 2004.
- [3] Zobory I. – Ungár, T. – Snigirev, A. – Győri, J. – Békefi, E.: Statistical Evaluation of Number and Dimension of Defects in Steel before and after Fatigue Test Based on X-ray Examination. Periodica Polytechnica – Transportation Engineering Vol. 34(1-2.), Budapest, 2006. p. 69-84.

DUDORHEGESZTÉSI FOLYAMAT TÖBBVÁLTOZÓS OPTIMALIZÁLÁSA KÍSÉRLETTERVEZÉSSEL

MULTI-RESPONSE OPTIMIZATION OF RESISTANCE PROJECTION WELDING PROCESS WITH DESIGN OF EXPERIMENTS

Mózes András*, Drégelyi-Kiss Ágota**

ABSTRACT

The resistance projection welding process for weld nut has several setting parameters in order to reach good quality. In this study three welding parameters were chosen, such as electrode force, welding period and welding current to examine the process. Design of experiments was prepared to optimize the conditions. The three above mentioned parameters were changed systematically with Response Surface Method, where the linear and the quadratic effects of the parameters can be estimated. During the experiments three output parameters, such as ultimate moment, weld spatter and inspection of screw were determined and optimization were performed for the resistance projection welding process of the weld nut.

A ponthegesztésből származtatott eljárás szokásosan kisebb erővel és rövidebb hegesztési ciklussal dolgozik, mint a dudor nélküli változat. A kettő közötti lényegi eltérés csak az elektródák kialakításában (lapos elektródafej) mutatkozik meg, amely azok eltérő feladatából ered. Míg ponthegesztésnél a nyomóerő átadás és árambevezetés mellett az erőkoncentráció és a megolvasztáshoz szükséges áramsűrűség biztosítás is az elektródák feladata, addig dudorhegesztésnél a nyomóerő kifejtés és az áramátadás az, amire az elektródáknak a feladata korlátozódik [1]. A bevezetett erőt és áramot az egyik munkadarabon kialakított geometria, az úgynevezett dudor koncentrálna (ebből származik az eljárás elnevezése). Az összekötendő anyagok megolvasztásához szükséges áramsűrűség az aránylag kis felületen (a dudoron) történő érintkezés eredménye, ahol az áramsűrűség mellett az érintkezési ellenállás is a kívánt értékűre megnő [1].

1. BEVEZETÉS

A sajtoló hegesztések csoportjába sorolható ellenállás-hegesztés, a hegesztés egyik legrégebbi módszere, olyan folyamatcsoport, amelynél a kohéziós kötés az erőhatás és hőhatás együttes alkalmazásával jön létre. Az ellenállás-hegesztés alapvető eljárásai a pont-, a vonal- és a tompahegesztés mellett mind nagyobb jelentőségre tesznek szert a ponthegesztésből származtatott dudorhegesztés és a vonalhegesztésből származtatott fóliás vonalhegesztés [1].

Az ellenállás-ponthegesztésnél a hegesztések számának növekedésével (a kopás következtében) fokozatosan növekvő elektródahegy méret, a varrat méretének (a csökkenő áramsűrűség következtében) és a lemezek közötti ébredő (az optimális helyi érintkezés biztosításához szükséges kellő nagyságú) nyomás csökkenéséhez vezet, ennek következtében az elektródafejet rendszeres időközönként fel kell szabályozni; további probléma, hogy a pontvarratok közötti minimális távolság, a sönt hatás miatt, kötött [2]. Tehát az adott nehézségek kiküszöbölésére fejlesztették ki a dudorhegesztést [3].

A célunk az volt, hogy minimális költséggel (kísérlettel) és idővel a lehető legtöbb információhoz jussunk a dudorhegesztés folyamatáról arra vonatkozóan, hogy az egyes hegesztéstechnológiai paramétereknek (folytonos független változók) milyen hatása van a hegesztett anyák terhelhetőségre, azok vetemedésére, valamint a hegesztés közben bekövetkező fröccsenés mértékére (függő változók).

A dudorhegesztett kötés terhelhetőségének maradéktalan, annak minden határon túlmenő maximalizálása, a komplex minőségi követelmények miatt nem megfelelő, ezért a hegesztéstechnológiai paraméterek három szempont szerinti optimalizálást tűztük ki célul.

2. ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK

2.1. Kísérletek menete

A kísérletek helyszíne a FERZOL Lemezmezmunkáló Kft. hegesztő üzeme volt. A kísérleteket az ebből a célból, az eredeti gyártmány alapanyagából (S235JR) és annak gyártástechnológiájával készített 50x50x4 mm-es lemezszerű próbatesteken végeztük el. Ezzel az volt a

* gépészmérnök, FERZOL Lemezmezmunkáló Kft.

** egyetemi docens, Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar

célunk, hogy a próbatestek felületének állapota (különböző szennyeződések, fémpor, reve) az eredeti alkatrészével kvázi azonos legyen. A kísérletek során ezekre a próbatestekre kerültek felhegesztésre az M6-os hegeszthető anyag (DIN 928), majd ezeket használtuk fel a kötés terhelhetőségének megállapítására szolgáló (roncsolásos) törőnyomatéki vizsgálatokhoz is. Az üzemben 23°C volt a vizsgálatok ideje alatt.

A kísérletsorozat végrehajtása közben fellépő fröccsenés (amely gyakorlatilag a felületi reve miatt elkerülhetetlen) szubjektív módon való osztályozását az 1. táblázatban meghatározott kategóriák szerint végeztük el. Ezzel az volt a célunk, hogy bár a kiváltó okot (a melegen hengerelt anyagminőségből adódó revés felület) nem tudjuk megszüntetni (mivel ilyen alapanyagból kéri a vevő a terméket), de az általa okozott és több szempontból is káros, balesetveszélyes fröccsenést szükséges csökkenteni.

1. táblázat: A fröccsenés kategóriáinak meghatározása

Definiált fröccsenési kategóriák	Érték
Kismértékű fröccsenés: a szikrák zöme a kezelő csuklójáig, alkarjáig terjed.	0
Közepes mértékű fröccsenés: a szikrák zöme a kezelő testvonaláig terjed.	0,5
Nagymértékű fröccsenés: a szikrák túlnyomó többsége a gépkezelőn túljut.	1

A próbatestek hegesztése után elvégeztük a hegesztett anyag M6-os menetkaliberrel történő ún. megy/nem-megy ellenőrzését is. Amelyekbe bele lehetett hajtani az idomszert, azokat 1-re értékeltük, amelyekbe nem, azokat 0-ra.

A törőnyomatéki vizsgálatot Beta 606/20 típusjelű nyomatékhatóroló kulccsal végeztük, ellenőrzési tartománya: 30-200 Nm, pontossága: ±4% közötti. A mérőeszköz, a vállalat által, nem sokkal a vizsgálatokat megelőzően volt kalibrálva. A törőnyomatéki vizsgálat módszere az volt, hogy 30 Nm-ről indulva, és 1 Nm-ként növelve a nyomatékkulcs meghúzási nyomatékát ellenőriztünk valamennyi hegesztett kötet. A varrat elszakadásakor feljegyeztük azt a beállított nyomatéki értéket, amivel aktuálisan terheltük a hegesztett próbatestet.

2.2 Kísérlettervezés módszere

A kísérlettervezés (Design of Experiment, DOE) egy hatékony eljárás a kísérletek megtervezésére és elemzésére, amely valós és objektív következtetések levonását teszi lehetővé a kapott adatok alapján [4-6].

A dudorhegesztési folyamatot (a hőbevitelt) döntő módon meghatározó (folyamatos) faktorok, vagyis a fő hegesztési paraméterek: az elektródaerő (F [kN]), a hegesztési ciklusidő (t [periódus]) és a hegesztő áram (I [kA]). Feltételeztük, hogy legfeljebb kvadratikus hatás lesz a rendszerben, ezért a nem-lineáris (kvadratikus) hatások figyelembevételéhez, közelítéséhez, és az

elvégezendő kísérletek számának mérsékléséhez a válaszfelület módszerei (Response Surface Method, RSM) közül a Box-Behnken részfaktortervet választottuk [3]. Ezzel a kísérlettervvel tehát:

- a főhatások (x_1, x_2, x_3),
 - a négyzetes hatások (x_1^2, x_2^2, x_3^2), és
 - az egyszeres kölcsönhatások ($x_1 \cdot x_2, x_1 \cdot x_3, x_2 \cdot x_3$)
- vehetők figyelembe.

A vizsgálandó matematikai modell:

$$Y = b_0 + b_1 \cdot F + b_2 \cdot t + b_3 \cdot I + b_{11} \cdot F^2 + b_{22} \cdot t^2 + b_{33} \cdot I^2 + b_{12} \cdot F \cdot t + b_{13} \cdot F \cdot I + b_{23} \cdot t \cdot I + \varepsilon \quad (1)$$

ahol b_i a regressziós modell együtthatói, Y a kimenő paraméter értéke, ε a kísérleti hiba.

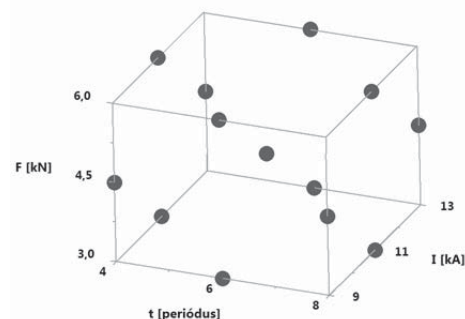
A Box-Behnken részfaktorterv alkalmazásával az előbbi válaszfüggvény becsülhető, ami egy többváltozós lineáris regressziós modell.

Minden faktort három szinten vizsgáltunk, amely azt jelenti, hogy az egyes paramétereknek csak egy magas (+1), egy közepes (0) és egy alacsony (-1) értéke lehet, és az ajánlott beállítás kerül a tervközéppontba (0). A variációs intervallum nagyságát (2. táblázat) úgy határoztuk meg, hogy a kísérleti beállítások elegendően nagy tartományt fedjenek le, a gépen kivitelezhető és sem azt, sem annak kezelőjét nem veszélyeztető hegesztést eredményezzenek. Fontos az is, hogy elegendően kis tartományt válasszunk ahhoz, hogy az alkalmazott modellnek (1. számú egyenlet) megfelelő összefüggések igazak legyenek.

2. táblázat: A faktorok beállított értékei természetes egységekben

Paraméter	(-1)	(0)	(+1)
F [kN]	3	4,5	6
t [periódus]	4	6	8
I [kA]	9	11	13

A Box-Behnken tervhez a teljes terv 27 beállításával szemben, csak az 1. ábrán látható 15 kísérleti beállítás szükséges, amelyből három a centrumponthoz (tervközéppontban) történő ismétlés. Utóbbit a modell adekvát voltának ellenőrzésére használtuk fel.



1. ábra A Box-Behnken terv kísérleti elrendezése, beállított paramétertartomány

A hatások pontosabb becsléséhez a hegesztéseket háromszor ismételtük meg, ami összesen 45 vizsgálatot jelentett. A nem kívánt hatások (például a rendszerben esetleg jelenlévő, de általunk elhanyagolt valamilyen időfüggő tényező) kiküszöbölésére a vizsgálatokat véletlenszám generátorral előállított véletlen sorrendben hajtottuk végre.

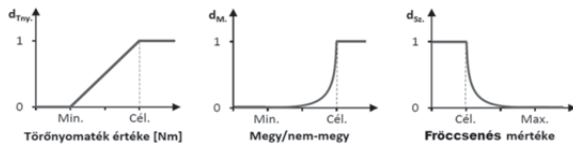
2.3 Optimalizálás módszere

Az elvárás az volt, hogy a törőnyomaték minél nagyobb legyen, de minimálisan 20 Nm (előírás szerint), az anya lássa el a funkcióját és hegesztés közben a fröccsenés a lehető legkisebb legyen. Ezen elvárások kvantifikált megfogalmazását a 3. táblázat tartalmazza.

3. táblázat: Paraméterek többváltozós optimalizálására választott célfüggvények

Függő változó	Cél	Min. érték	Max. érték	Célérték
Törőnyomaték [Nm]	Max.	36	84	84 (min. 20)
Megy/nem-megy	Max.	0	1	1
Fröccsenés	Min.	0	1	0

A 3. táblázatban megfogalmazásra került követelmények ellentmondanak egymásnak, ugyanis maximális törőnyomatéknál a megy/nem-megy minimális, a fröccsenés pedig maximális. Ahhoz, hogy a paraméterek többváltozós optimalizálást elvégezhessük, először egymással összehasonlíthatóvá kellett tennünk a 3. táblázatban lévő (különböző) függő változókat. Ezért ezek leképezésére a 2. ábrán látható kívánatossági függvényeket (desirability functions, d -függvény) vezetjük be. Az ábrán szereplő d_{Tny} , a törőnyomatékhoz tartozó-, d_M , a megy/nem-megyhez tartozó- és d_{sz} , a fröccsenés mértékéhez tartozó d -függvény. Ezek mindegyikéhez (a fuzzy logika alapján) a funkció- vagy másképpen az elvárásteljesülés mértékének függvényében egy 0 és 1 közötti kívánatossági függvényérték tartozik, ami által azok egymással már összehasonlíthatóak [5].



2. ábra Az egyes függő változók leképezésére alkalmazott, különböző súlyozású kívánatossági függvények

E d -függvények (2. ábra) geometriai átlagát véve kapjuk a funkcióteljesítés összességét (D -függvény),

ami nem más, mint az alkalmazott optimalizálási célfüggvény (D):

$$D = \sqrt[3]{d_{Tny} \cdot d_M \cdot d_{sz}} \quad (2)$$

Ennek értéke minél inkább egyhez közeli, annál inkább teljesülnek a komplex elvárások.

3. MÉRÉSI EREDMÉNYEK

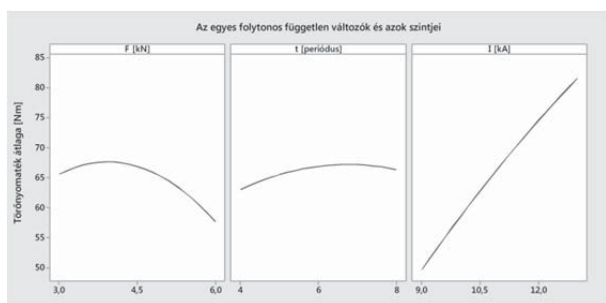
A kísérletek beállításai és a kapott eredmények a 4. táblázatban találhatóak. Látható, hogy a kísérleteket véletlenszerű sorrendben hajtottuk végre, valamint minden beállítást háromszor ismételtünk meg.

4. táblázat: Kísérleti beállítások és a mérési eredmények

Futtatási sorrend	F [kN]	t per]	I [kA]	Törőnyomaték [Nm]	Megy/nem megy	Fröccsenés
9	3	4	11	53	0	1
11	3	4	11	48	0	1
29	3	4	11	63	0	1
15	3	6	9	53	1	0,5
18	3	6	9	54	1	1
31	3	6	9	52	1	0
37	3	6	13	74	0	1
40	3	6	13	58	0	1
45	3	6	13	59	0	1
1	3	8	11	77	0	1
30	3	8	11	75	1	0,5
42	3	8	11	74	1	0
8	4,5	4	9	43	1	0,5
14	4,5	4	9	47	1	0
32	4,5	4	9	47	1	0
7	4,5	4	13	81	1	0,5
26	4,5	4	13	82	0	1
38	4,5	4	13	84	1	1
5	4,5	6	11	70	1	0
6	4,5	6	11	70	1	0
10	4,5	6	11	68	1	0,5
12	4,5	6	11	71	1	0
22	4,5	6	11	62	1	0,5
33	4,5	6	11	64	1	0,5
34	4,5	6	11	63	1	0
39	4,5	6	11	70	1	0,5
41	4,5	6	11	64	1	0
27	4,5	8	9	48	1	0
35	4,5	8	9	48	1	0
36	4,5	8	9	48	1	0
4	4,5	8	13	80	1	1
16	4,5	8	13	79	1	1
24	4,5	8	13	74	0	1
2	6	4	11	58	1	0
13	6	4	11	61	1	0
20	6	4	11	59	1	0
3	6	6	9	36	1	0
28	6	6	9	38	1	0
44	6	6	9	37	1	0
23	6	6	13	78	1	0,5
25	6	6	13	78	0	0,5
43	6	6	13	72	1	0,5
17	6	8	11	53	1	0
19	6	8	11	52	1	0
21	6	8	11	49	1	0

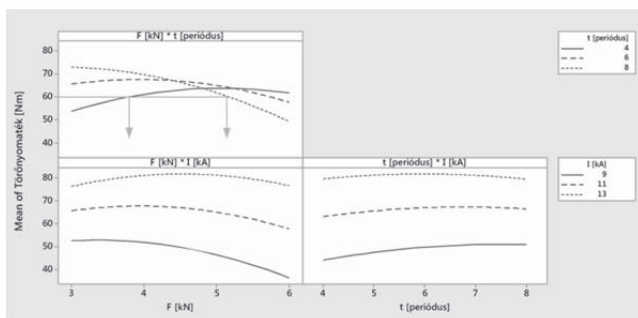
Egy faktor hatásán, annak felső és alsó szintjén mért, törőnyomaték értékének különbségét értjük. Az egyes

faktorok hatásainak ábrázolására a 3. ábrán látható főhatás-ábrák alkalmasak. A főhatás-ábrák az adott változók (F , t , I) egyes szintjein (F esetén például: 3-4,5-6 kN) mért összes kísérlet átlagértékét adja meg. Az ábra alapján megállapítható, hogy a legnagyobb hatása az áramerősség változásának van, utóbbi növelésével monoton növekszik a törőnyomaték átlaga is. Ugyanakkor egyértelműen látszik az is, hogy a második legnagyobb hatása az elektrodaerőnek van. Az áramátfolyási időtartam változtatásának hatására, a törőnyomaték átlaga csak csekély mértékben változik.



3. ábra A törőnyomaték vizsgálata során kapott főhatás-ábrák

A faktorok kölcsönhatásainak vizsgálatára (grafikus szemléltetésére) a 4. ábrán látható kölcsönhatás-ábrák alkalmasak. Abban az esetben beszélhetünk az egyes faktorok közötti kölcsönhatásról, hogyha az egyik faktor törőnyomatékra gyakorolt hatása függ a másik faktor beállított értékétől. A kölcsönhatások megismerése miatt is célszerű az optimumkeresést nem egy, hanem valamennyi faktor együttes változtatásával végezni.



4. ábra A törőnyomaték vizsgálata során kapott kölcsönhatás-ábrák

Látható a 4. ábráról, hogy az elektrodaerőnek az átlagos törőnyomatékra gyakorolt hatása valamelyest függ az áramerősség beállított értékétől (bal alsó grafikon). Ez onnan állapítható meg, hogy a hatásokat képviselő görbék nem tökéletesen párhuzamosak egymással, ezért azt mondhatjuk, hogy a két faktor között gyenge kölcsönhatás van. A hegesztési időnek az átlagos törőnyomatékra gyakorolt hatása azonos az áramerősség mindhárom szintjén, a hatásokat

reprezentáló görbék egymással gyakorlatilag párhuzamosnak tekinthetők, tehát a két faktor között nincs kölcsönhatás (jobb alsó grafikon).

Ha az elektrodaerőnek az átlagos törőnyomatékra gyakorolt hatását vizsgáljuk (4. ábra felső része) a hegesztési időtartam függvényében, akkor egyértelműen látszik, hogy az utóbbinak, az átlagos törőnyomatékra gyakorolt hatása a hegesztési idő szintjétől igen jelentősen függ. A hatásokat képviselő görbék egymást keresztezik, emiatt megállapíthatjuk, hogy a két faktor között erős kölcsönhatás van.

Mivel az egyes faktorok között szignifikáns kölcsönhatás van, így a 3. ábrán látható főhatás-ábrák nem alkalmasak messzemenő következtetések levonására.

A kísérletsorozat fontosságára mutat rá, hogyha a 4. ábrán narancssárgával jelölt 60 Nm-es átlagos törőnyomaték eléréséhez szükséges beállításokat tanulmányozzuk. Ugyanis előbbi megvalósíthatjuk egy $t = 4$ periódusú és $F = 3,8$ kN-os vagy egy $t = 8$ periódusú és $F = 5,1$ kN-os paraméterkombinációnak a beállításával is, azonos ($I = 11$ kA) áramerősség mellett. A két beállítás között mind a hegesztési idő, mind pedig az elektrodaerő tekintetében igen jelentős eltérés van, ugyanakkor a törőnyomaték szempontjából elért eredményünk megközelítőleg azonos, annak eltérése a két beállítás között mindösszesen: 0,8 kN.

4. STATISZTIKAI ÉRTÉKELÉS ÉS OPTIMALIZÁLÁS

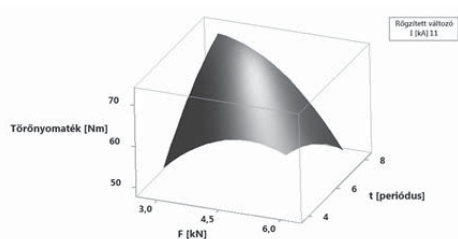
4.1 Illesztett modell

A törőnyomaték regresszióval meghatározott matematikai egyenlete az alábbi formát öltötte:

$$\hat{Z}(F, t, I) = -15,15 + 19,15 \cdot F + 24,21 \cdot t + 11,30 \cdot I - 2,345 \cdot F^2 - 0,554 \cdot t^2 - 0,314 \cdot I^2 - 2,646 \cdot F \cdot t + 1,381 \cdot F \cdot I - 0,437 \cdot t \cdot I \quad (R^2 = 95,64\%) \quad (3)$$

A 3. számú egyenlet a becsült regressziós függvény, abba F [kN] (elektrodaerő), t [periódus] (áramátfolyási időtartama) és I [kA] (hegesztő áram) paramétereket mértékegység helyesen behelyettesítve, megkapjuk a törőnyomaték várható nagyságát. A korábbi feltételezésünk, miszerint a rendszerben lesz négyzetes hatás, igaznak bizonyult a modellben szereplő négyzetes tagok és azok nem nulla együtthatói alapján. Az egyenlet grafikus szemléltetése látható az 5. ábrán.

A determinációs együttható egy 0 és 1 közötti mérőszám, ami a regressziós becslés jóságára utal, esetünkben ez 95,64%. Az egyhez közeli értéke azt jelzi, hogy a törőnyomaték varianciájának 95,64%-a magyarázható meg a regressziós modell (3. számú egyenlet).

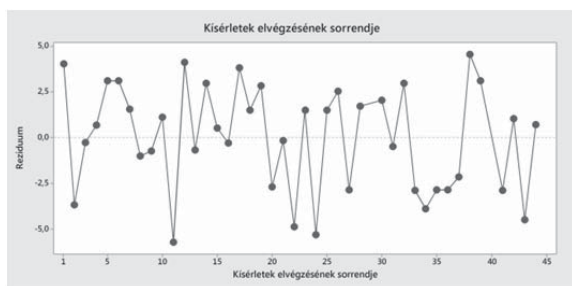


5. ábra A törőnyomaték értéke az elektródaerő és a periódus függvényében rögzített áramerősség mellett

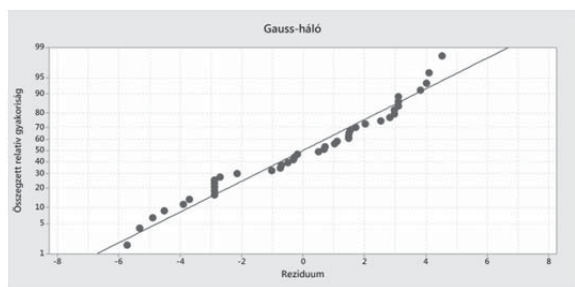
A kapott matematikai modell ismétléses szórása 3,26 Nm, mely azt jelenti, hogy a modell által becsült eredmények 95%-os valószínűséggel $\pm 6,51$ Nm-es tartományban közelítik a valódi (mért) értékeket, vagyis az ismételt hegesztések és a törőnyomatéki vizsgálatok ekkora tartományban ingadozó bizonytalanságot adnak.

4.2 Reziduumok vizsgálata

A kapott regressziós modell jóságának vizsgálata a modellel becsült és a mért (valódi) értékek közötti különbség, azaz a reziduumok vizsgálatán keresztül történik. Az illesztés akkor jó, ha a reziduumok normális eloszlásúak, véletlenszerűen ingadoznak nulla várható értékkel és a csoporton belül a szórásnégyzetek azonosnak, azaz $\varepsilon \sim N(0, \sigma^2)$.



6. ábra A reziduumok alakulása a kísérletek elvégzésének sorrendjében



7. ábra A reziduumok normalitásvizsgálata

A reziduumok szemléltetése kétféleképpen történhet: egyrészt ábrázolhatjuk azokat a kísérletek elvégzésének sorrendjében (6. ábra), másrészt a normális-eloszlás vizsgálatára alkalmas úgynevezett Gauss-hálón (7.

ábra), amely koordináta-rendszernek az a tulajdonsága, hogy a normális eloszlás eloszlásfüggvénye ebben egyenessé fajul. Az előbbi bemutató ábra alapján megállapíthatjuk, hogy a reziduumoknak nincs menete, azok semmilyen szabályosságot nem követnek.

A normális eloszlást ellenőrző valószínűségi-, vagy más néven, Gauss-hálón ábrázolt összegzett relatív gyakorisági értékek menete gyakorlatilag lineárisnak tekinthető. A törőnyomaték reziduumjai a berajzolt egyenes mentén helyezkednek el és a körül véletlenszerűen ingadoznak. A diagramon elhelyezkedő pontok között kiugró érték gyakorlatilag nincs. Tehát a reziduumok eloszlása is megfelel a kritériumoknak.

Az előbbieket alapján megfogalmazható, hogy a regressziós egyenlet jól reprezentálja a függő (törőnyomaték) és a független (F , t , I) változók közötti kapcsolatot.

4.3 Optimalizálás

A többváltozós optimalizálást a 2. ábra szerinti kívánatossági függvényeket felhasználva végeztük el. Az egyes kívánatossági függvényértékek ($d_{Tny.}$, d_M , $d_{Sz.}$) az 5. táblázatban találhatóak. Az optimalizálási célfüggvény értéke (2. egyenlet) mindezek alapján $D = 0,8314$ -re adódik, ami azt jelenti, hogy magas szinten teljesülnek a komplex elvárások.

5. táblázat: Kívánatossági célfüggvény értékek

Célfüggvények	Kívánatossági függvény értéke (d_i)	Kimeneti jellemző értéke (y_i)
Törőnyomaték	0,57469	63,6
Megy/nem-megy	1	1
Fröccsenés	1	0

Az 5. táblázatban szereplő elvárásokkal a 6. táblázatban látható paraméter-értékeket kaptuk meg, mint a többváltozós optimalizálás eredményét.

6. táblázat: Több változó szerint optimalizált hegesztési paraméterek

Paraméterek	Optimalizálással kapott paraméterek	Kezdeti, ajánlott paraméterek
F [kN]	6	4,5
t [periódus]	4	6
I [kA]	11,2	11

Az optimális paraméter-beállításokkal számolva a törőnyomaték értéke 63,6 Nm lesz, ami jóval meghaladja az elvárt, minimális 20 Nm-t.

Látható, hogy az 6. táblázatban szereplő optimális hegesztési paraméterek számottevő mértékben térnek el az ugyanazon táblázatban szereplő (gyártó által) ajánlottól. Előbbi használata mellett ugyan 1,5 kN-nal

nagyobb az elektródaerő, de közel 34%-kal kisebb hegesztési idővel, illetve kismértékű fröccsenéssel tudom a kötést elkészíteni. És gyakorlatilag biztosnak tekinthető, hogy az anya minden esetben ellátja majd a funkcióját, illetve az elért kötésszilárdság pedig meghaladja a minimálisan előírt értéket.

4.4 Konfirmálás

A konfirmálás minden bizonnyal a kísérlettervezés egyik legizgalmasabb pontja, amely során ellenőrizzük, hogy az optimalizálás során számított eredmények megfelelnek-e a valóságos környezetben is. A bemenő paramétereket optimális értékre állítva elvégeztük a próbahegesztést újra. Ezt ugyanúgy háromszor ismételtük meg, mint az eddigi összes mérést.

A 7. táblázatban a modelltől számított, és az ellenőrző kísérletek során mért mérési eredmények láthatóak. A táblázatban piros értékkel jelöltük az előbbi kettő eltérését. Az ismételt mérésekkel látszik, hogy a modell (3. egyenlet) nagyon jól leírja a törőnyomatékok, valamint a kategorikus függő változók (megy/nem-megy, fröccsenés) is adekvátak. Ebben a paraméterterben (1. ábra) a törőnyomatékok szinte tökéletesen leírja a kapott matematikai modellt, mivelhogy a számított és a mért értékek között maximálisan 2,6%-os eltérés van.

7 táblázat: A mért mérési eredmények, az ellenőrző kísérletek során

Mérés száma	Fröccsenés	Megy/nem megy	Törőnyomaték [Nm]
1.	0,5 (+0,5)	1	62 (-1,6)
2.	0	1	63 (-0,6)
3.	0	1	62 (-1,6)

5. ÖSSZEGRZÉS

A dudorhegesztési folyamat vizsgálata során három hegesztési paraméter, az elektródaerő, a hegesztési ciklusidő és a hegesztési áram értékeit változtattuk szisztematikusan a kísérlettervezés módszerével. Az elkészült dudorhegesztett kötés törőnyomaték értékére szignifikáns hatással volt a hegesztő áram mértéke. Kölcsönhatás mutatható ki az elektródaerő és a ciklusidő paraméterek között, mely szerint a törőnyomaték értékét befolyásolja, hogy adott elektródaerő mellett a periódusidő milyen értéken van.

A hegesztés minőségének vizsgálata során meghatároztuk az adott beállítások mellett fellépő fröccsenés mértékét szubjektív módon, valamint a hegesztett anyák menetkaliberrel történő ellenőrzését. Az összességében három kimeneti jellemzőre (törőnyomaték, fröccsenés mértéke és menetkaliberes

ellenőrzés) többváltozós optimalizálással meghatároztuk a dudorhegesztési folyamat paramétereinek optimális beállítását, amelyet a konfirmálási kísérletek során igazoltunk.

6. IRODALOM

- [1] BARÁNSZKY-JÓB I.: *Hegesztési kézikönyv*, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1985
- [2] IWE: *The Welding Engineer's Current Knowledge Edition 2003*, H.n.: SLV Duisburg, 2010
- [3] SZUNYOGH L.: *Hegesztés és rokon technológiák*, Gépipari Tudományos Egyesület, Budapest, 2007
- [4] MÁRKUS L.: *Az ipari kísérlettervezés statisztikai módszerei*, http://www.math.elte.hu/probability/markus/DOE_Lecture_Actual1.ppt, 2014
- [5] HORVÁTH, R., DRÉGELYI-KISS, Á.: Analysis of surface roughness of aluminum alloys fine turned: United phenomenological models and multi-performance optimization. *Measurement*, 65 (2015), pp. 181-192.
- [6] MYERS, R., MONTGOMERY, D.C., ANDERSON-COOK, C.M.: *Response surface methodology: process and product optimization using designed experiments*. John Wiley & Sons, 2009.

A DISZKRÉT ELEMES MÓDSZER ALKALMAZÁSA LENGŐROSTÁK HATÉKONYSÁGÁNAK VIZSGÁLATÁRA

APPLYING OF DISCRETE ELEMENT METHOD FOR ANALYSE EFFICIENCY OF VIBRATING SCREENS

Safranyik Ferenc*

ABSTRACT

Vibrating screens are widely used for separate or classify granular materials in agriculture, architecture and in almost all fields of industry. Main question during design process of these equipment is determination of optimal working parameters. Many analytical approaches can be found in literatures which analyze movement of single particles, but Discrete Element Method is suitable for analyze movement of large set of particles and effect of their interactions. In this paper a numerical approach for analyze efficiency of vibrating screens is presented and results of this model is compared with analytical results.

1. BEVEZETÉS

A mezőgazdaságban, bányászatban, építészetben és az ipar számos területén igen nagy jelentősége van a különböző nagyságú szemcsékből álló halmazok méret szerinti osztályozásának, tisztításának. Az ilyen műveleteket általában vibrációs rostákkal végzik, amelyek egyik elsődleges üzemviteli szempontja a szemcsék minél hatékonyabb szeparálása a lehető legkevesebb energia felhasználásával [7].

A munkavégzés jellege szerint beszélhetünk [1]:

- a szemeket méretük szerint **osztályozó**,
- és a halmazt alkotó szemcséknél kisebb méretű szennyeződések eltávolító, ún. **tisztító** rostákról.

A terménytisztító vibrációs rosták egyik legfontosabb szerkezeti eleme a rostalemez (1. ábra), amely oszcillálásával hozza mozgásba a szemcséket. A rostalemezt általában kör- vagy hosszanti lyukakkal látják el, amelyek méretét úgy választják meg, hogy a szennyező szemcsék átessenek rajtuk, a halmazt alkotó szemek viszont ne, így a szennyezők kirostálhatóak a halmazból [7]. Az energiafelhasználás csökkentése és ezzel párhuzamosan a rostálási hatékonyság növelése érdekében elengedhetetlen az optimális

lengésfrekvencia meghatározása. A rostálandó szemestermények különleges mechanikai tulajdonságából adódóan viszont ezen paraméter elméleti meghatározása a legtöbb esetben komoly feladat elé állítja a mérnököket [7].

2. A ROSTÁLÁSI FOLYAMAT LEÍRÁSA

2.1. Analitikus leírás

A szakirodalomban számos munka található a vibrációs rosták működésének és a szemcsék mozgásának analitikus leírásáról. Grozubinsky és társai [6] munkájában empirikus úton vizsgálták a rostálási hatékonyság, a működési idő és a rostalemez geometriai paramétereinek közötti kapcsolatot. Megállapításaik szerint az iparban használatos rosták hatékonysága jelenlegi formájukban nem növelhető, új konstrukciók fejlesztése elengedhetetlen. Trumic és Magdalinovic [10] dinamikát is figyelembe vevő leírásával, a szemcsék mérete és a rosta geometriai jellemzői közti kapcsolatot vezette le.

Csizmadia és társai [5] kéttömegű lengőrosták kinetikai leírása során a szemcsék rostalemezhez képesti relatív mozgását három osztályba sorolták:

- a szemcsék nyugalomban vannak,
- vagy alternáló mozgást végeznek:
 - lefelé mozognak a rostán,
 - felfelé mozognak a rostán,
 - vagy mindkét irányba mozognak a rostán.
- a szemcsék elváltnak a rostalemez felületétől (pattognak azon).

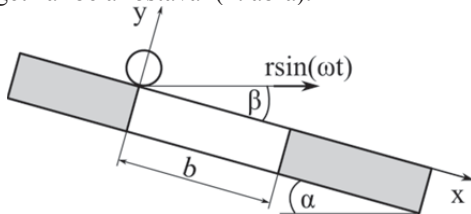
Az analitikus leírás során [5] szerint az optimális lengésfrekvencia meghatározásához az alábbi feltételeknek kell teljesülnie:

- a szemeknek csúszniuk kell a rostalemezen (azaz az elválást kerülni kell),
- a szemeknek alternáló mozgást kell végezniük a rostalemezhez képest,

* PhD hallgató, Szent István Egyetem, Mechanika és Műszaki Ábrázolás Tanszék

- optimális esetben lassú, rostalemez irányú áramlás kell kialakuljon,
- a lengés frekvenciája és amplitúdója olyan kell legyen, hogy a szemek rostához viszonyított relatív sebessége ne haladjon meg egy előre definiált értéket.

Továbbá a szerzők [5] feltételezik, hogy az α hajlásszögű rostalemez harmonikus rezgőmozgást végez az $r \sin(\omega t)$ függvény szerint, valamint a rezgés iránya β szöget zár be a rostával (1. ábra).



1. ábra A rostalemez mozgásviszonyai [5]

Az előzőekben definiált feltételek alapján egy szemcse mozgásegyenletei [5] szerint:

$$ma_x = mr\omega^2 \cos(\beta) \sin(\omega t) - mg \sin(\alpha) - \mu F_N \quad (1)$$

$$ma_y = mr\omega^2 \sin(\beta) \sin(\omega t) - mg \cos(\alpha) + F_N \quad (2)$$

A fenti egyenletek zárt alakban történő megoldás nem lehetséges, ezért a numerikus megoldás előállításához a szerzők az $X = A\omega^2/g$ mértékegység nélküli paramétert vezették be, valamint ezen kívül a rosta és a szemcsék geometriájának összevetésére szintén dimenzió nélküli állandókat használtak [5]:

- $\chi = b/r_0$, a rosta nyílásméret (b) és a szennyező szemcse sugarának (r_0) aránya.
- A $\kappa = b/A$ paraméter pedig a rosta nyílásméret és a lengésamplitúdó (A) hányadosa.

A felírt dimenzió nélküli állandókkal az egyes kísérleti beállításokhoz tartozó lengésfrekvenciákat nomogramokban ábrázolták. Az egyes kísérleti beállításokhoz tartozó lengésfrekvenciák és szemcsemozgások alapján Csizmadia és társai [5] négy csoportba sorolták a rostákat:

- Az 1. eset, amikor a szemcsék nem mozognak a rostához képest, ekkor nem alakul ki anyagáram és ebből következően nem történik rostálás.
- A 2. eset, amikor a szemcsék lefelé mozognak a rostalemezen.
- A 3. esetben mindkét irányban csúsznak a szemek a rostán, tehát **kialakul a szemcsék optimális mozgása**. A rosta üzemeltetése során ezt a zónát célszerű megközelíteni.

- A 4. esetben a szemek elválnak a rostalemeztől, ún. pattogás jön létre.

A lengőrosták üzemeltetése során célunk adott rosta- és szemcse (illetve szennyező) geometria mellett olyan működési paraméterek meghatározása, amelyekkel a szennyezők a lehető legkevesebb energia befektetéssel eltávolíthatóak a halmazból.

2.2. Numerikus leírás

Számos kutató foglalkozik a rostálási folyamat numerikus leírásával is. A legtöbben az ún. diszkrét elemes módszert (DEM) használják erre a célra, mivel ezzel a legtöbb analitikus modell hibája – vagyis hogy csak egy szemcse mozgását írják le, nem a teljes halmazt – kiküszöbölhető. A diszkrét elemes módszert a szemcsehalmazokkal kapcsolatos problémák numerikus vizsgálatára Cundall és Strack fejlesztett ki az 1970-es években [4]. A diszkrét modell használata esetén a halmazt idealizált szemcsék (diszkrét elemek) együtteseként vizsgáljuk és ezek viselkedését, a rájuk vonatkozó kinetikai alaptételek alapján egy szimulációs ciklussal modellezzük [4]. Minden diszkrét elemes modell különálló elemekből és az elemek (valamint a határoló falak) érintkezésével létrejövő kapcsolatokról áll és igazak rá az alábbi feltevések [2]:

- A halmaz egymástól egyértelműen elkülönülő (diszkrét) elemekből épül fel,
- az elemek önálló elmozdulási lehetőségekkel rendelkeznek,
- az elemek közötti kapcsolatok megszűnhetnek és új kapcsolatok is létrejöhetnek.

A diszkrét elemes modellezés első lépése az elemek geometriájának és helyének meghatározása. A vizsgálatok során a halmaz elemei nemcsak kölcsönhatásba lépnek egymással, hanem önálló szabad elmozdulásra is képesek. Elsőként az egyes szemcsékre vonatkozó mozgásegyenleteket kell felírni, majd ezekből határozható meg a teljes rendszerre vonatkozó mozgásegyenlet [2].

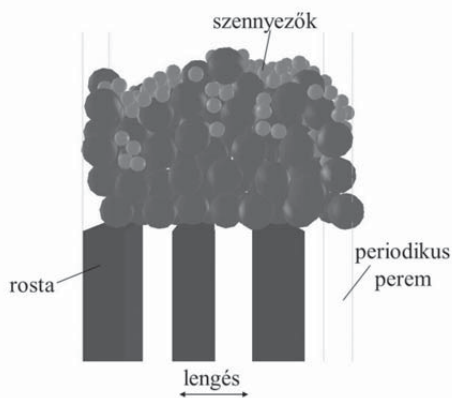
A modellezés eredménye főként a diszkrét elemek közötti kölcsönhatások mechanikai paramétereitől, azaz az adott halmazra jellemző mikromechanikai paraméterektől (pl.: a szemcsék sűrűségétől, rugalmassági modulusától, Poisson-tényezőjétől, stb.) függ [4].

Chen és Tong [3] kutatásaik során a lengéssparaméterek széles tartományában vizsgálták a rostálási hatékonyságot térbeli DEM modelljükkel. Eredményeik alapján a rosta optimális dőlésszöge – a szemcsék méretétől és fajtájától függetlenül – 45° . Zhao és társai kutatási eredményei [12] szerint a lengés amplitúdójának van a legjelentősebb hatása a szemcsék átlagos sebességére, illetve átlagos, rostától mért helyzetésre. A szerzők szerint a lengésfrekvencia és a

rosta dőlésszöge csak kis mértékben befolyásolja a szemek mozgását. Zhanfu és társai [11] a lengőrosták tervezési paramétereire vonatkozó optimalizációt végeztek diszkrét elemes modelljük felhasználásával. Ezek alapján belátható, hogy rostálási folyamat diszkrét modellezését sokféleképpen végzik a kutatók és bizonyos esetekben eltérő eredményekre is jutnak. A témában tehát sok az ellentmondás, a rostálási folyamat numerikus modellezése pedig egyelőre még nem teljesen megoldott.

3. DISZKRÉT ELEMES MODELLEZÉS

Az [5] által leírt analitikus leírás igazolásához és a 2.2 részben bemutatott modellezési nehézségek megoldásához a rostálási folyamatot újabb diszkrét elemes modelljét hoztam létre. A modellezéshez a nyílt forráskódú diszkrét elemes keretszoftvert, a Yade-t használtam [8]. A szoftver legfőbb előnye, – amellett, hogy ingyenesen használható – hogy a szimulációkat Python [9] nyelven írt programokkal irányíthatjuk. Ez nagyfokú szabadságot eredményez, mivel tetszőleges geometria és (akár szabályozott) technológiai folyamatok modellezését is lehetővé teszi. A keretszoftver parametrikus felépítése ezen kívül lehetővé teszi szinte bármilyen szimulációs paraméter lekérdezését is.



2. ábra A rostálás DEM modellje

A 2. ábrán a rostálási folyamat diszkrét elemes modellje látható. A számításgény csökkentése céljából a lengőrostának csupán egy részét modelleztem, körülötte ún. periodikus perem beállításával. Ez azt jelenti, hogy az egyik oldalfelülettel érintkező elemek „átesnek” ezen az oldalfelületen, majd a vele szembe lévő felületre helyeződnek át (miközben mozgásukat csak a többi elem változtathatja meg). Ez a módszer lehetővé teszi, hogy a teljes halmazban elhelyezkedő anyagrészeket korrekten modellezzük és a határoló falak hatását kiküszöböljük.

A diszkrét modellezést állandó $\chi \approx 6$ (a rostalemez nyílásmérete $b = 2,5$ mm a kirotálendő, gömb alakú, szennyező szemcsék sugara $r_{sz} = 0,42$ mm a halmazt alkotó gömb alakú elemek sugara pedig $r_{sz} = 1,6$ mm volt) és állandó $\kappa = b/A$ érték mellett végeztem (a lengésamplitúdó nagysága $A = 3,57$ mm volt).

A modellezéshez használt mikromechanikai paramétereket az 1. táblázatban megadottaknak megfelelően állítottam be:

1. táblázat Az elemek mikromechanikai jellemzői

	Szemcsék Rosta	
Young modulus [Pa]	$5 \cdot 10^4$	$2,1 \cdot 10^{11}$
Sűrűség [kg/m^3]	2600	7850
Poisson tényező [-]	0,7	0,33
Súrlódási tényező [-]	0,2	0,52
Gördülési ellenállás tényezője	0,001	-

A rostálási hatékonyság vizsgálatához szimuláció sorozatot készítettem a rostalemez lengésirányának változtatásával $\beta = 0^\circ$ -tól $\beta = 12^\circ$ -ig (1° -os lépéssel). Az összes lengésirány esetén $X = 0,6; 1,2; 1,8$ és $2,4$ érték mellett (ezek az előzőekben felsorolt technológiai paraméterek esetén $f = 6,46; 9,14; 11,19$ és $12,92$ Hz lengésszámot jelentenek) végeztem a számításokat, valamennyi kísérleti beállítás esetén háromszoros ismétléssel.

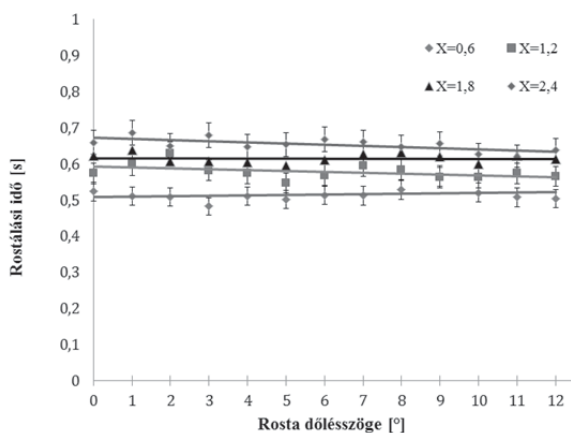
A szimulációs folyamat lépései valamennyi beállítás esetén megegyeztek:

1. A rosta felett létrehoztam a halmazt alkotó elemeket (ezek darabszáma $N_0 = \text{állandó}$).
2. Valamennyi elem lehullott a gravitáció hatására, majd meg kellett várni, míg a rendszer kvázisztatikus állapotba nem került (a halmaz teljes mozgási energiája közel nullára nem csökkent). Azon esetekben, amikor a rosta vízszintessel bezárt szöge nem nulla volt ($\beta \neq 0^\circ$) a szemcsék a periodikus perem miatt folyamatos mozgásban voltak, ezért azt az állapotot tekintetem kvázisztatikusnak, amikor az áramlás sebessége közel állandó értéket vett fel.
3. Amikor a halmaz elérte a kvázisztatikus állapotot létrehoztam a kisebb méretű szennyező elemeket (ezek darabszáma $N_1 = \text{állandó}$).
4. Ezután a szennyezők gravitáció hatására ráhullottak a halmazt alkotó elemekre, majd ismét meg kellett várni, hogy a keverék kvázisztatikus állapotba kerüljön.

- A töltési és keveredési szakasz után az eddig álló és zárt rosta lengésbe kezdett, majd kinyílt és a szennyező szemcsék áthullottak a rostán. A nyílásokon kihulló szennyezők törlődtek a szimulációból, és a folyamat során, valamennyi időlépésben meghatároztam a szennyező szemcsék pillanatnyi darabszámát.
- A rostálási folyamat addig folytatódott, amíg a szennyezők száma a kiindulási mennyiség (N_i) 10%-a alá nem csökkent. Végül valamennyi számítás során meghatároztam a halmaz „megtisztításához” szükséges időt.

4. EREDMÉNYEK, KÖVETKEZTETÉSEK

A szimulációs eredmények értékelésekor azzal a feltételezéssel éltem, hogy a működési hatékonyság fordítottan arányos a rostálás időtartamával (hiszen minél tovább szükséges a berendezés működtetése annál több az energiafogyasztás).



3. ábra Rostálási idők a dőlésszög függvényében

A 3. ábrán jól látható, hogy alacsony lengésszögű esetén ($X = 0,6; 1,2$) a rostalemez dőlésszögének növelésével csökken a rostálás hatékonysága (több idő szükséges a szennyezők eltávolításához), míg magasabb működési frekvencia esetén ($X = 1,8; 2,4$) a rosta dőlésszögének növelésével növekszik a rostálás hatékonysága is (mivel egyre kevesebb idő szükséges a szennyezők kirostálásához). Ez alapján a szimulációsorozat eredményei tehát összhangban vannak az analitikus modellel, miszerint kisebb dőlésszög esetén alacsonyabb, míg nagyobb dőlésszög esetén magasabb lengésszögű biztosítja a rosta optimális működését.

Mivel a numerikus eredmények egybevágóak az mérésekkel hitelesített analitikus modellel, a bemutatott diszkrét elemes modell **alkalmas** a rostálási folyamat leírására, illetve az optimális lengésszög meghatározására. A diszkrét modell képes kezelni a

rostálási folyamat instacioner szakaszait is (a rosta ürülése, feltöltése), illetve az analitikus modellnél nagyobb pontosságot érhetünk el alkalmazásával, mivel nemcsak egy darab szemcse mozgását írjuk le, hanem figyelembe vesszük a halmazon belül kialakuló kölcsönhatásokat is.

5. IRODALOM

- BABLENA A., KEPLER I.: *Vibrációs rosta optimális lengésszög tartományának meghatározása diszkrét elemek módszerével*, XV: Fiatal Műszakiak Tudományos Ülésszaka, Kolozsvár, 2010, 5-8. o.
- BAGI K.: *A diszkrét elemek módszere*, BME Tartószerkezetek Mechanikája Tanszék, 2007.
- CHEN Y., TONG X.: *Modeling screening efficiency with vibrational parameters based on DEM 3D simulation*, Mining Science and Technology, Vol. 20 (2010), pp. 615-620.
- CUNDALL P. A., STRACK O.D.L.: *A discrete numerical model for granular assemblies*, Geotechnique, Vol. 29 (1979), pp. 47-65
- CSIZMADIA B., HEGEDŰS A., KEPLER I.: *Analytic and discrete element optimization of a vibrating screen's mechanical parameters*, International Symposium ACMS'2011 – Timisoara, May 26, 2011, Proceedings, pp. 23-30.
- GROZUBINSKY V., SULTANOVITCH E., LIN I. J.: *Efficiency of solid particle screening as a function of screen slot size, particle size and duration of screening: The theoretical approach*, Int. J. Miner Process Vol. 52 (1998), pp. 261-272.
- HEGEDŰS A., BÍRÓ I., BRÎNDEU L., DEÁK L., ORGOVICI I.: *Some questions of the vibrational transport and sizing*, Buletinul celei de a IX-a Conferințe de Vibrații mecanice, Timisoara, 1999.
- ŠMILAUER V., CATALANO E., CHAREYRE B., DOROFENKO S., DURIEZ J., GLADKY A., KOZICKI J., MODENESE C., SCHOLTÈS L.: *Yade Documentation* (V. Šmilauer, ed.), The Yade Project, 1st ed., 2010, <http://yade-dem.org/doc/>
- SWINNEN G.: *Tanuljunk meg programozni Python nyelven*, 2005
- TRUMIC M., MAGDALINOVIC N.: *New model of screening kinetics*, Minerals Engineering, Vol. 24 (2011), pp. 42-49.
- ZHANFU L., XIN T., BI Z., XIAOYUE W.: *Modeling and parameter optimization for the design of vibrating screens*, Minerals Engineering, Vol. 83 (2015), pp. 149-155.
- ZHAO L., LIU C., YAN J.: *A virtual experiment showing single particle motion on a linearly vibrating screen-deck*, Mining Science and Technology, Vol. 20 (2010), pp. 276-280.



Nemzetközi Hegesztő Szakmérnök

szakképzettséget adó képzés indul
a MISKOLCI EGYETEMEN

NEMZETKÖZI HEGESZTŐ SZAKIRÁNYÚ TOVÁBBKÉPZÉSI SZAK keretében

A Miskolci Egyetem Gépészmérnöki és Informatikai Kara kellő számú jelentkezés esetén 2017 februárjában indítja a **25. jubileumi évfolyamát** a Nemzetközi Hegesztő Szakirányú Továbbképzési Szakán. A képzés 3 féléves, diplomatervezéssel és záróvizsgálattal végződik, amelyen a jelöltek – sikeres vizsga esetén – **nemzetközi hegesztő szakmérnök** oklevelet szerezhetnek.

A hegesztő szakmérnöki képzés tanterve és tananyaga az EWF (Európai Hegesztési Szövetség) által előírt követelményeket maradéktalanul kielégíti, ezért a résztvevők a

Nemzetközi Hegesztőmérnöki Diplomát (EWE/IWE) is megszerezhetik.

A hegesztő szakmérnök képzés célja, hogy a hegesztés és rokoneljárásai területén megfelelő mélységű szakmai, tudományos és gyakorlati ismereteket adjon a következő témakörökben:

- anyagtudomány (anyagismeret és hegeszthetőség, anyagvizsgálat)
- hegesztőeljárások és berendezések,
- hegesztett szerkezetek tervezése,
- hegesztett szerkezetek gyártása és minőségbiztosítása.

A képzés önköltséges, a tandíj félévente 350 e Ft/fő (létszámfüggő), ami magába foglalja a képzési, a gyakorlati munka, a diplomatervezés konzultálási és tananyag átadás díját. A záróvizsga és **nemzetközi** hegesztőmérnöki együttes vizsga díja várhatóan 200 e Ft/fő. A képzésben résztvevők félévenként négy alkalommal 5-5 napot töltenek az egyetemen, az első időszak várhatóan 2017. február második fele.

A képzésre a bemeneti feltétel: gépészmérnöki (főiskolai, BSc, MSc szintű) diploma és két éves gyakorlat. További információkkal az Intézet készséggel áll rendelkezésre.

A képzésre jelentkezni lehet: **Miskolci Egyetem, Felnőttképzési Regionális Központ** 3515 Miskolc-Egyetemváros, határidő: **2016. szeptember 30.**

CONTENTS

1. Ficzeré P.; Győri M.:

Transformation of dimensioning due to the appearance of 3D CAD models5

Modern CAM systems are based on 3D CAD models to generate tool paths, therefore a traditionally prepared part drawing contains a lot of unnecessary information with regard to manufacturing. Completing a detailed 2D draw can require even more time than the designing of the given part.

2. Karnok D.:

Transparency in logistics networks: a reactive approach9

In the frame of EU project of FP7 ADVANCE a new dynamic and reactive logistics system was developed. The system was tested in Great Britain by a logistics enterprise having a nationwide network. Using the new data-processing algorithms near half a million pounds were saved a year.

3. Kovácsné Mezei G.:

Developing visual skills in teaching technical depiction 14

Among the competences of technological professions, space perception is extremely important. Professional subjects can be done well and successfully by those students who possess developed visual cognitive skills. Paper summarises the system of these abilities and shows that in technical depiction the tasks of their formation and development arise in a complex way.

4. Kucséra P.; Béres Zs.:

Development of gauge control for hot rolling mills 21

Authors describe the controlling algorithm development of a real hot rolling mill's automated gauge control. The mill deformation and other disturbances has to be compensated to achieve accurate thickness. The improved system was introduced into production and its operation accuracy was validated by measurements.

5. Magdics G.; Kiss P.:

Influencing factors of torque transmissibility in dry friction clutches27

Dry friction clutches are a key element of today's manual transmission equipped vehicles. Their dimensioning is often based on simplifying assumptions. Due to the deformation caused by heat, authors suppose that the uniform pressure distribution acting between the friction linings changes, which influences the transmittable torque of the clutch.

6. Molnárfi Z.; Simon F.; Zobory I.:

Common investigation of test specimen and holder unit for preparation of fatigue test 34

To validate the stochastic-simulation method elaborated at the Budapest University of Technology and Economy for determination of S-N (Wöhler) curves fatigue test series were planned. Fatigue test required a special specimen holder, which eliminated the undesirable bending moment during push-pull loading.

7. Mózes A.; Drégelyi-Kiss Á.:

Multi-response optimization of resistance projection welding process with design of experiments 38

Resistance projection welding is governed by three principal process parameters (welding current, welding time and electrode force). Instead of the load capacity of the welded joints authors select the three-response (load capacity, expulsion and deformation) optimization method.

8. Safranyik F.:

Applying of discrete element method for analyse efficiency of vibrating screens 44

Vibrating screens are widely used in agriculture, architecture and in almost all fields of industry. Instead of the analytical solution author suggests the discrete element method for determination of optimal working parameters, which can describe the unsteady periods of screening and higher calculation accuracy can be achieved.

GÉP

INFORMATIVE JOURNAL

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

Dr. Döbröczöni Ádám

President of Editorial Board

Vesza József

General Editor

Dr. Jármái Károly

Dr. Péter József

Dr. Szabó Szilárd

Deputy

Dr. Barkóczy István

Bányai Zoltán

Dr. Beke János

Dr. Bercesy Tibor

Dr. Bukoveczky György

Dr. Czitán Gábor

Dr. Danyi József

Dr. Dudás Illés

Dr. Gáti József

Dr. Horváth Sándor

Dr. Illés Béla

Kármán Antal

Dr. Kalmár Ferenc

Dr. Orbán Ferenc

Dr. Pálincás István

Dr. Patkó Gyula

Dr. Péter László

Dr. Penninger Antal

Dr. Szabó István

Dr. Szántó Jenő

Dr. Szűcs Edit

Dr. Tímár Imre

Dr. Tóth László

Dr. Varga Emilné Dr. Szűcs Edit

Dr. Zobory István

DEAR READER,

Volumes of journal GÉP review the full engineering industry and many connecting fields of economy. Be the topic of papers even the jubilee of an institute, endeavour for development the teaching of mechanical engineers, course of life of a famous engineer, development of traditional devices on the basis of new considerations, refinement of a testing method, technological or constructional innovation, improvement of dimensioning principals and data, continuous reduction of cost and mass, increasing of a process efficiency or multi-purpose optimization, innovation originating from cooperation between the creative human brain and the changing means is always included. This volume of the Journal is one of the nice examples of the colourful technical life.

Among the papers two articles deal with the technical drawing, generally technical depiction. The speciality of this topic derived accidentally from the opposite approaches. 'Fundamental laws' of traditional technical drawing (dimension indications, sufficient views and projections to the identification the given part, technological instructions) are necessary to the 'documentation' of a given element, while the time devoting to teaching continuously decreases, and the principle 'learning by doing' is expensive due to the waste of time and the material losses (waste goods). 'Possessing' the space perception is easier for inborn talented persons, than for those who have to learn and develop it for doing their profession.

Fifty years ago a house of a Diesel injection pump as a task of technical drawing served many lessons for the following purposes: what form of a body having regular and irregular surfaces, places for bearings, pipe connections were ideal for productibility (castability, machinability) with the remained perfect functionality as well.

For a long time there were several thumb rules for deterring the students, for example if even one of the dimensions, or a thick line (edge) were missing on the drawing, then the drawing got a fail (unsatisfactory) mark, because the part can not be produced.

Who would have thought that time comes when the developed CAM systems use the 3D CAD model for generating for CNC tool paths (Ficzere P.; Györi M.) and the dimensions given on 2D views and sections become unnecessary, at least until that the designer and the manufacturer do not become subject of a legal procedure (why it is broken, why it is exploded,...)?

It is unquestionable that *those students can successfully acquire the professional subjects necessary to create 3D models, who have developed cognitive abilities* (Kovácsné Mezei G.). It is expectable as a sad sorrowful consequence that with the rapid prototyping process a traditional and a kind idea (*part born inside*) has to be reevaluated.

Dear learned developing engineer Colleagues! Do not worry! As Imre Madách said: 'Space which calls us for work is endless'. In other words there will be space and work for creative engineer.

Ádám Döbröczöni
President of Editorial Board

Managing Editor: Vesza József. Editor's address: 3534 Miskolc, Szervezet utca 67.

Postage-address: 3501. Pf. 55. Phone/fax: (+36-46) 379-530, (+36-30) 9-450-270 • e-mail: mail@gepujsag.hu

Published by the Scientific Society of Mechanical Engineering, 1027 Budapest, Fő u. 68.

Postage-address: 1371, Bp, Pf. 433

Phone: 202-0656, Fax: 202-0252, E-mail: a.gaby@gteportal.eu, Internet: www.gte.mtesz.hu

Responsible Publishere: Dr. Igaz Jenő Managing Director

<http://www.gepujsag.hu>

Printed by Gazdász Nyomda Kft. 3534 Miskolc, Szervezet u. 67.

Price per month: 1260 Ft.

Distribution in foreign countries by Kultúra Könyv és Hírlap Külkereskedelmi Vállalat H-1389
Budapest, Pf. 149. and Magyar Média H-1392 Budapest, Pf. 272.

INDEX: 25 343 ISSN 0016-8572

MEGA.PULS FOCUS

30% nagyobb termelékenység

30% kevesebb füst

30% kevesebb energia

3X30% haszon

A MEGA.PULS FOCUS

több, mint gyors!

A FOCUSzal könnyű kiváló varratokat hegeszteni.

A FOCUSzal a "betanított" hegesztők is profi munkát tudnak végezni.

**A FOCUSzal sok pénzt takaríthat meg...
De tényleg...
Rengeteg pénzt!
Nem vicc.**

A REHM MEGA.PULS FOCUS egy kincsesbánya a felhasználója számára...

... és mi segítünk ezt a bányát kiaknázni!

Rehm-Partner-Program

PROFITÁLHAT BELŐLE!

Az Ön Partnere a hegesztésben
www.rehm.hu

REHM
Hegesztéstechnika

CLOOS

Weld your way.



CLOOS GÉPEKKEL HEGESZTHET...

- minden fémes alapanyagot!
- minden anyagvastagságot
0,5 mm-től 300 mm-ig!
- innovatív hegesztési eljárásváltozatokkal!
- pontosan úgy, ahogy az igény megköveteli:
manuálisan vagy automatizálva!
- hatékonyan, gazdaságosan és egyedileg!
- sokféle kiegészítő szervízzolgáltatással!
- minden iparágban!
- világszerte!
- legnagyobb vevői elégedettséggel!
- már csaknem 100 éve!

