

A GÉPTERVEZÉS DIGITALIZÁLÁSA

DIGITALIZATION IN THE MECHANICAL DESIGN

Dr. Piros Attila, PhD, egyetemi docens, piros.attila@gt3.bme.hu

Dr. Zwierczyk Péter, PhD, adjunktus, z.peter@gt3.bme.hu

ABSTRACT

Nowadays the digitalization changes our life. Everything becomes digital from the paperless office to the digital manufacturing. This trend changes the mechanical design as well. This paper introduces a totally digital project: the design of a fully automated bicycle rack. The experiences of this project provide good establishment for design of future product produced by future technology.

1. BEVEZETÉS

Napjainkban az élet minden területén egyre nagyobb teret nyer a digitális technika, papírmentes irodáktól a digitális gyártásig. Maga a géptervezés egy meglehetősen összetett feladat, ahol számos tudományterület módszereit kell alkalmazni [1]. Ebből kifolyólag a gépészeti tervezés teljes digitalizációját sokáig késleltette az a tény, hogy minden egyes tervezési részfolyamat eltérő megközelítést igényel így ezeket a folyamatoknak a digitalizációját is különböző módon lehet végrehajtani. A következőkben egy tipikusnak nevezhető feladatnak, egy vezértárcsás mechanizmust is tartalmazó automatizált kerékpár tárolónak (1. ábra), a példáján keresztül kerül bemutatásra a géptervezésben előforduló tevékenységek digitalizálása.



1. ábra. A tároló prototípusa

Megbízóként az IT Quality Services Kft. rendelte meg a tervezést BME Gép- és Terméktervezés Tanszékétől. A megbízás egyik lényegi eleme egy olyan zármechanizmus kialakítása volt, amely jelentősen eltér a konkurens megoldásoktól és mechanikai kialakítása miatt lehetővé teszi egy nagymértékben egyszerűsített villamos hajtás alkalmazását (2. ábra). Az elkészült zárkonstrukcióval kapcsolatos szabadalmi kérelem 2017 júliusában került benyújtásra a Szellemi Tulajdon Nemzeti Hivatalához.

2. ELŐTERVEZÉS

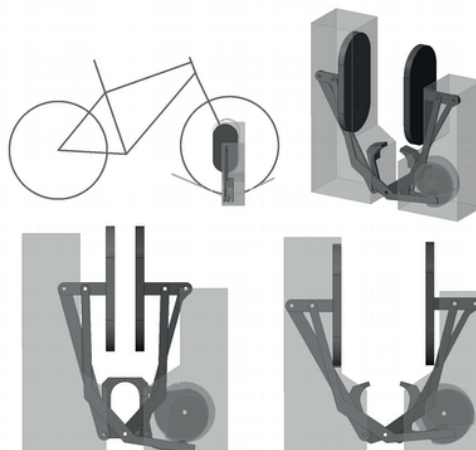
A konstrukció követelményeinek a meghatározásától a prototípus legyártásáig minden folyamat papírmentesen, teljes körű számítógépes támogatás mellett került végrehajtásra [3], a követelményrendszer felállításától az összeállítási dokumentáció elkészítéséig. A projekt első fázisában a zárszerkezet komponenseit és azoknak a működési tartományát kellett meghatározni a tárolt kerékpárok méretei alapján. Az interneten hozzáférhető

gyártói adattáblák, méretezett vázlatok és fényképek alapján készült el a számítógépes előterv (3. ábra).



2. ábra. A zárkonstrukció a kiemelt elektronikával

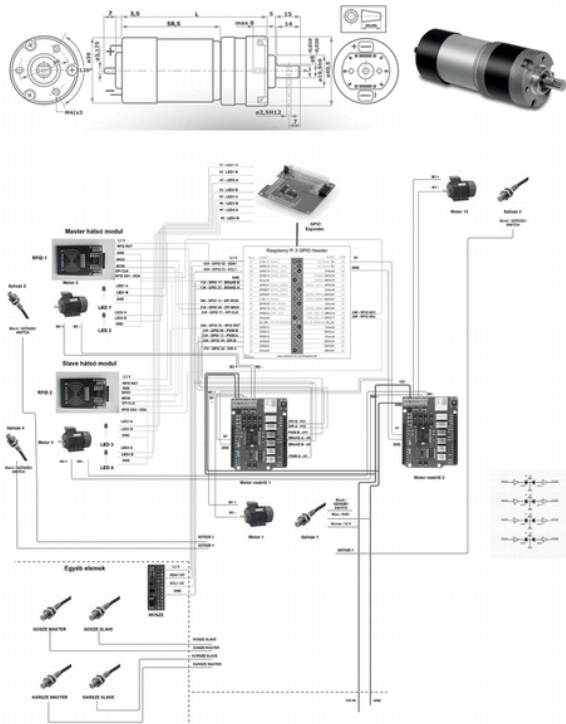
Ez az előterv az alkalmazott CAD rendszerben (PTC Creo 3) egy statikus skeleton modellként készült el. Maga a modell egy átlagos méretű kerékpár egyszerűsített vázát és a kerekeket tartalmazza. A vázlatok háttéréként gyártói katalógusképek szolgáltak, melyek rendkívül megkönnyítették az egyszerűsített geometria megrajzolását, valamint a működési és állítási tartományok meghatározását [2].



3. ábra. A tároló előterve

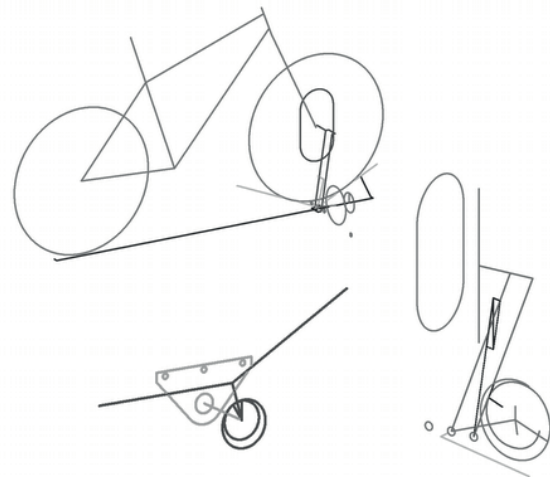
3. MECHANIZMUSOK TERVEZÉSE

A megoldandó feladatok közül kiemelkedett az egyedi zármozgató mechanizmus megtervezése. Ennek a mechanizmusnak úgy kellett biztosítani a kerékpár biztonságos rögzítését, hogy a lehetőség szerint minél egyszerűbb és olcsóbb legyen az alkalmazott villamos meghajtás. A követelményjegyzék alapján egyenáramú mikromotorokkal egybeépített bolygóműves hajtások biztosították a mechanizmus mozgását. A pozíciók érzékelését induktív szenzorok beépítésével lehetett megoldani. A speciális, kölcsönzési célokra készült kerékpárokkal (pl.: BUBI) szemben a kereskedelmi forgalomban kapható kerékpárok könnyen szétszerelhetőek, ezért azokat három ponton kell rögzíteni az eltulajdonítás megakadályozása végett, az első és hátsó keréknél, valamint a kerékpár vázájánál. Közös megegyezés alapján a három zárszerkezet mozgását két elektromos motorral kellett megoldani (4. ábra).



4. ábra. Elektronikai kapcsolási séma a 2 motorral, szenzorokkal és vezérlő mikroszámítógéppel

Ez az elv külön nehézséget okozott a kerékpár elején, mert ott az első kereket alakzárrással, míg a kerékpár villáját erőzárás alkalmazásával kellett rögzíteni. A rögzítést egy összetett vezértárcsás mechanizmus segítségével sikerült megoldani. A mechanizmusnak nemcsak a záróelemek pontos mozgását, hanem a szerkezet felfeszítését megakadályozandó önzárását is biztosítani kellett lenni. A rendelkezésre álló hely korlátozottsága miatt egy kompakt és meglehetősen komplikált megoldás született. A zárókarok mozgásának a tervezése iteratív folyamat volt, ahol minden lépésben ellenőrizni kellett a geometria önzárását is. Mindezek tervezésére és ellenőrzésére egy TOP-DOWN elven felépülő számítógépes modell készült, ahol a mechanizmus kinematikájának kialakítása egy mozgó előterv (motion skeleton) segítségével történt (5. ábra).



5. ábra. Mozgó előterv (Motion Skeleton)

A mozgó előterv segítségével elvégezhető volt a mechanizmus kinematikai szimulációja, ahol folyamatos kontroll alatt lehetett tartani a záróelemek mozgástartományait is. Mivel ehhez a szimulációhoz csak a mozgásban részt vevő, azt befolyásoló görbéket kellett felvenni [4], ezért az alapvető mozgatómechanizmust kevesebb mint egy hét alatt sikerült megtervezni. A motion skeleton technológia lehetővé tette a mozgás nyomatékszükségletének a meghatározását is. Ez a számítás is teljes számítógépes támogatással készült el. Az analitikus számítás a MathCAD szoftverben készült (6. ábra). Itt a műszaki mértékegységek támogatása mellett a geometriai méreteket közvetlenül a CAD modellből lehetett átvenni. A mechanizmus különböző pozícióiban gyorsan és hatékonyan lehetett részeredményeket kapni, mert az elemek pozíciója adaptív módon, automatikus frissítés mellett került be a számításba. Az erről a részről készült tervezési dokumentum is MathCAD-ben készült, mivel itt lehetőség van a képletek olvasható formában történő megadására és a magyarázó szöveg formázott beírására.

kar állásszöge (radiánban):

$$\alpha_{ph_G} = \frac{\alpha_{ph} \cdot \pi}{180} = 0.155$$

jobb oldali kar tömege / súlya:

$$S_G = 5.3612574 \text{ kg}$$

$$G_1 = S_G \cdot g = 52.576 \text{ N}$$

normálereő a tömegeből:

$$G_N = \sin(\alpha_{ph_G}) \cdot G_1 = 8.12 \text{ N}$$

normálereő a tárcsán a nyomatéki egyensúlyból:

$$T_N = G_N \cdot \frac{K_G}{K_T} = 25.657 \text{ N}$$

súrlódóerő a tárcsán:

$$\nu_T = 0.3$$

$$T_S = T_N \cdot \nu_T = 7.697 \text{ N}$$

nyomaték a súrlódásból (1db tárcsán):

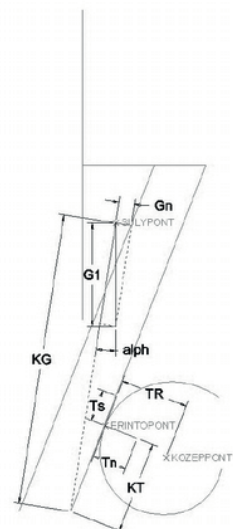
$$M_{S1} = T_S \cdot T_R = 510.103 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

számított nyomaték (2db tárcsán):

$$M_T = M_{S1} \cdot 2 = 1020.205 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

maximális nyomaték a dinamikai szimulációból:

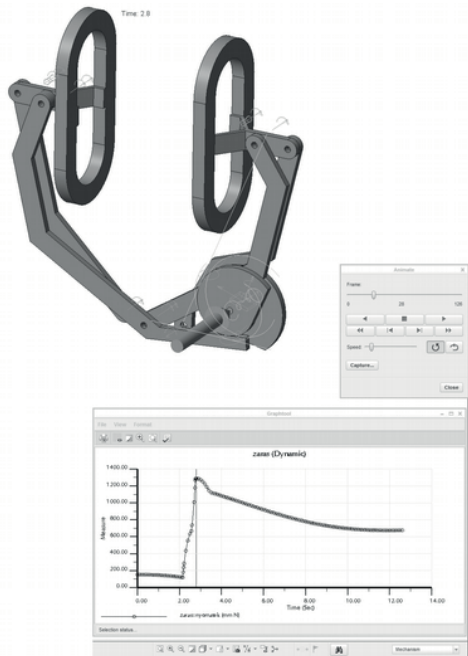
$$M_{max} = 1287 \text{ N}\cdot\text{mm}$$



6. ábra. Digitalizált analitikus számítások

Természetesen az analitikus számítások mellett numerikus szimulációk is készültek a kritikus komponensek mozgásáról (7. ábra). A szimulációkban figyelembe

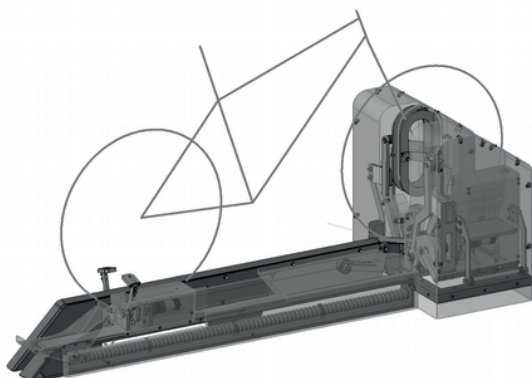
lehetett venni a kapcsolatok között fellépő súrlódási erőket is a mozgás elindulásakor és folyamatos üzemben is. A dinamikai szimuláció eredményei jól igazolták az analitikus számításokat, így nagy biztonsággal lehetett kiválasztani a mozgató motorokat. Utólag visszatekintve az analitikus számítások és dinamikai szimulációk jól visszaadták a megépített szerkezet mozgásviszonyait, hiszen a gyártási pontatlanságok ellenére is elsőre működőképes tárolószerkezetet lehetett összeszerelni.



7. ábra. Számítógépes dinamikai szimuláció

4. RÉSZLETTERVEZÉS

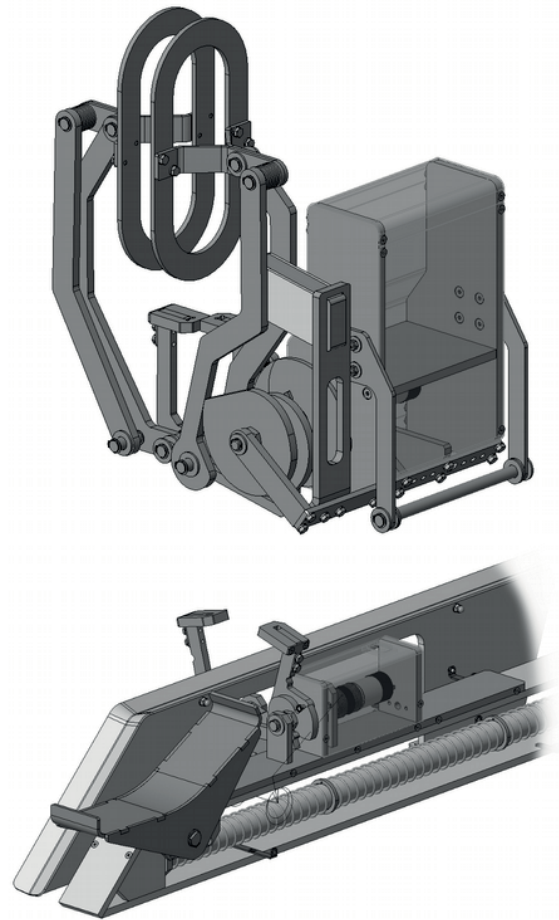
A TOP-DOWN tervezési technológia nagyban segítette a részlettervezés fázisát is. A skeleton modell alapján készültek el a szerkezet különböző részösszeállításai, ahol minden fontosabb konstrukciós és csatlakozó méret az előtervből került származtatásra (8-9. ábra). A részlettervezés során számtalan alkalommal kellett módosítani az egyes gépészeti elemek méretét a beépített elektromos komponensek változása miatt.



8. ábra. A teljes CAD modell

Ezek a módosítások sokszor több elemet is érintettek a mozgató mechanizmus pozicionálásától kezdve a burkolatig. A módosítások minden esetben az előterv szintjéről indultak ki és azután kerültek át a megfelelő részösszeállításokba. A TOP-DOWN elv következetes

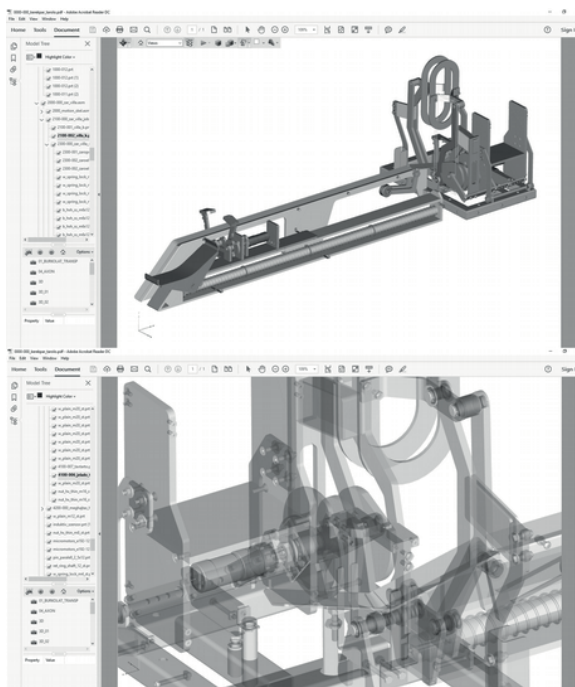
alkalmazása miatt minden változás gyorsan és zökkenőmentesen került végrehajtásra csökkentve a visszaellenőrzésre fordított időt és energiát.



9. ábra. Az első és hátsó mozgató mechanizmus

5. GYÁRTÁSI DOKUMENTÁCIÓ

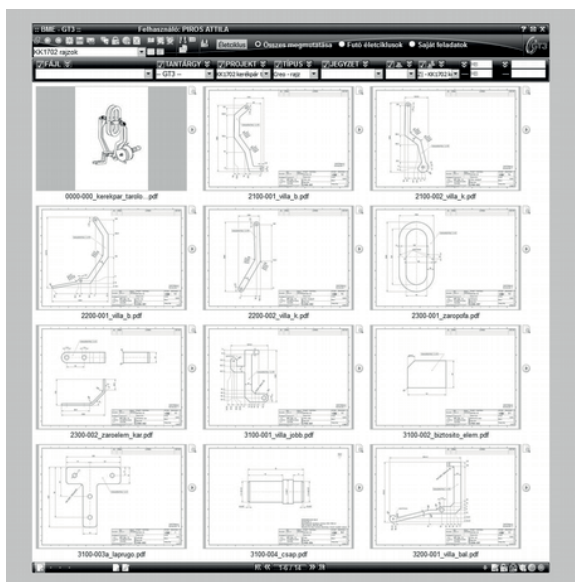
A gyártási fázishoz szükséges dokumentáció is teljesen papírmentes módon, kizárólag digitális alapokon nyugodott. Habár készültek műszaki rajzok, de azok nem kerültek kinyomtatásra, hanem PDF formátumban kerültek a megrendelőhöz. A gyártás folyamán jelentős arányban készültek olyan alkatrészek, melyekhez egyáltalán nem kért rajzot a gyártó, hanem a STEP formátumban átadott geometria alapján munkálták meg azokat. Itt nem bonyolult, szabad formájú felületek marására kell gondolni, hanem jellemzően lézerrel kivágott alkatrészek utólagos megmunkálására, egyszerű furatok, menetek készítésére. Hagyományos értelemben vett összeállítási rajz sem készült. Ehelyett a CAD modell exportálás után 3D-s PDF formátumban segítette az összeszerelést (10. ábra). Ezt a fájlt Adobe Reader szoftverrel lehet olvasni, így például az elektromos rendszer szerelését végző szakemberek is hozzáférhettek a részletes geometriához vagy megtekinthették a modell struktúráját bemutató modellfát is. Mindezeket túl PDF formátumban is el lehetett rejtetni komponenseket, meg lehetett változtatni az átlátszóságukat vagy le lehetett mérni a méreteiket.



10. ábra. 3D PDF fájl az összeszereléshez

6. ADATOK TÁROLÁSA

A vonatkozó modelleket, rajzokat és egyéb műszaki dokumentumokat egy felhő alapú dokumentum tároló rendszerből lehetett elérni megfelelő felülírás elleni védelemmel és verziókövetéssel. A rendszer ezeken felül támogatta a feltöltött fájlok előzetes, letöltés nélküli megtekintését is (11. ábra). Az automatikusan generált vagy egyedileg feltöltött előnézeti képek megkönnyítették a projekt áttekintését és egyes konkrét dokumentációk kikeresését [5].

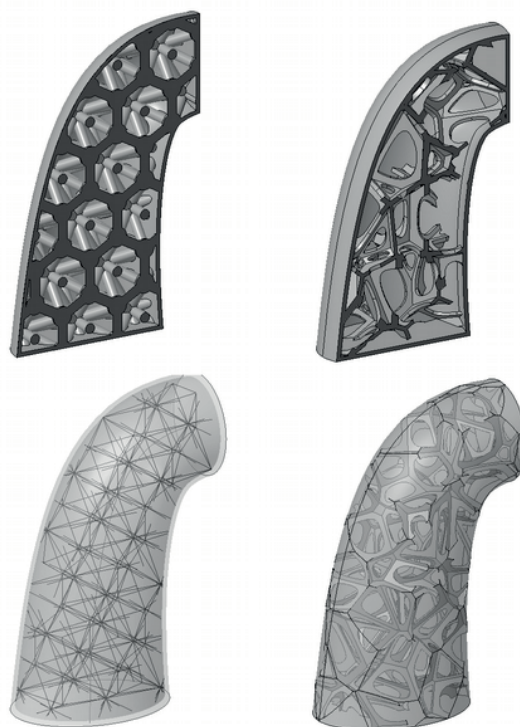


11. ábra. Adattárolás előnézeti képekkel

7. ÖSSZEFOGLALÁS ÉS KITEKINTÉS

Mindezek alapján belátható, hogy a digitalizáció elterjedése úgy mint máshol, a gépészeti tervezés napi gyakorlatában is elkerülhetetlen. Ha egy kicsit előretekintünk, akkor a jövő gyártási technológiai élükön az additív gyártással vagy a additív és hagyományos anyageltávolító technológiák keresztezésével, úgymint a 3D-s fémnyomtatással kombinált forgácsoló megmunkálás teljesen átalakítják a

gyártást. Ehhez a trendhez igazodva a gépészeti tervezésnek is igazodni kell. Már most is elérhetőek olyan eljárások a CAD rendszerekben, ahol például belső támasztó rácszatok alkalmazásával irány és terhelésfüggő szilárdsági tulajdonságok alakíthatók ki tetszőleges burkoló geometria esetén (12. ábra).



12. ábra. Belső támasztó szerkezetek kutatása, hagyományos rúdszerkezet és voronoi alapú dobozos támasztás

8. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A szerzők köszönettel tartoznak az IT Quality Services Kft. munkatársainak és a cég vezetőjének, Varga Bálintnak, a projekt során biztosított támogatásukért. Külön köszönettel tartozunk a BME Gép- és Terméktervezés Tanszék munkatársainak, név szerint Szabó Györgynek és Kopasz Istvánnak, akik a tároló dokumentálását és annak összeszerelését sokszor szabadidejük egy részének feláldozásával segítették.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Jami J. Shah, Martti Mäntylä: Parametric and Feature-Based CAD/CAM, John Wiley & Sons, 1995.
- [2] Horváth I., Juhász I.: Számítógéppel segített gépészeti tervezés I. Műszaki Könyvkiadó. Budapest. 1996.
- [3] P. Brunet, C. Hoffmann, D. Roller: CAD Tools and Algorithms for Product Design, Springer, 2013.
- [4] J. Rix, S. Haas, J. Teixeira: Virtual Prototyping, Springer, 1995
- [5] Ben Wang: Concurrent Design of Products, Manufacturing Processes and Systems, CRC Press, 1999.