

## STEP fájl adatainak gyártásorientált elemzése

### Manufacturing-oriented analysis of a STEP file

*PÖRDI Patrik Dominik, MSc hallgató, TANCSA Viktor, MSc hallgató,  
BERENCSI Dániel, MSc hallgató, KUTROVÁ CZ Lajos, mesteroktató*

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki Kar,  
Gyártástudomány és –technológia Tanszék, H-1111, Budapest, Műegyetem rakpart 3., Tel.: +36 1 4632641,  
E-mail: pordipatrik@gmail.com, mediforr12@gmail.com, berencsi.daniel97@gmail.com,  
kutrovacz.lajos@gpk.bme.hu, Honlap: www.manuf.bme.hu

#### Kivonat

*Egy szilárdtest háromdimenziós reprezentációjának részletes megismerése során olyan - a munkadarabot jellemző - információk nyerhetők ki, amelyek révén a gyártási folyamat tervezés bizonyos lépései automatizálhatók. Jelen cikkben bemutatott megoldási módszer segítségével az alkatrész gépi megértése algoritmizálható, azaz a gyártáshoz szükséges információk automatikusan kinyerhetők. Tekintsük a STEP fájlt, amely esetében B-rep alapú topológikus felépítésből kifolyólag, a geometriai építőelemek közötti szomszédsági viszonyból alakrajzjelölések ismerhetők fel. A szakirodalomban taglalt metódusok organizálásával, valamint mérnöki megfontolások eredményeképp előállítható algoritmus a geometriai jellemzők technológia orientált elemzésével növeli a tervezési alternatívák és gyártási jellemzők értékelésének hatékonyságát és gördülékenységét.*

**Kulcsszavak:** STEP fájl, topológikus felépítés, jellemzők automatikus kinyerése, gyártási alakrajzjelölés

#### Abstract

*Detailed understanding of the three-dimensional representation of a solid body is accompanied by information specific to the workpiece, by the means of that knowledge certain steps can be automated in manufacturing process design. This article revolves around a solution method that can be used to algorithmize the machine understanding of the part, as a result, the required information for production can be extracted automatically. Consider the STEP file, for which, due to the B-rep based topological structure, form features can be recognized from the neighborhood relationship between the geometric building blocks. Nevertheless, by organizing the methods discussed in the literature, combined with engineering considerations, an algorithm can be developed, that increases the efficiency and smoothness of the evaluation of design alternatives and manufacturing characteristics through technology-oriented analysis of geometrical features.*

**Keywords:** STEP file, topological structure, automatic feature recognition, manufacturing/form feature

## 1. BEVEZETÉS

Manapság az iparban a hatékonyság növelésének legnagyobb kihívásai közé tartozik az automatizálásban rejlő lehetőségek maximális feltérképezése. Lényegében az egyes tevékenységekre fordított idő és felesleges költségek minimalizálásáról, valamint az erőforrások megfelelő kihasználásáról van szó. A legtöbb esetben egyértelmű a feladat, azonban, hogy egy adott termékre való igény megjelenésétől eljussunk a gyártásig a különböző szakterületeken átívelő életutat kell áttekintenünk. A résztvevők közötti egyes interakciók és iterációk automatizálási szempontból jelenleg kiaknázatlan területnek tekinthetők. A célkitűzésünk a STEP fájlok részleteiben történő feldolgozása úgy, hogy megbecsülhessük a gyártási jellemzőket, ezáltal minden résztvevő által értelmezhető tudásbázist biztosítva, a termék-, gyártás-, termelés- logisztikai tervezési alternatívák automatizált összehasonlítására.

## 2. STEP FÁJLOK ÉS FELÉPÍTÉSÜK

A "Standard for Exchange of Product model data" röviden STEP, melyet az ISO-10303 szabvány rögzít, olyan semleges fájlformátum melyet az összes ma használt CAD szoftver támogat, ezzel lehetővé téve a rendszerek közötti interoperabilitást. Tehát kimondható, hogy a STEP fájlok létjogosultsága a szabványosításhoz köthető. A konkurens fájlformátumokkal ellentétben egy széleskörűen egységesített, magasabb komplexitású, számos formatervezési és gyártási jellemzőt magában hordozó fájlformátum. [1]

A STEP fájlok határolófelület-alapú, úgynevezett B-rep felépítéssel rendelkeznek, amely egy munkadarab geometriáját határaival, valamint az azok között fennálló kapcsolatokkal ír le. A határok itt egymásba ágyazottak, azaz vonatkozhatnak a munkadarab burkolófelületeire vagy ezen felületek határolóvonalaira is. [2] Viszonyukat jól felépített hierarchikus struktúra írja le, ahol a különböző entitások topológiai sorrendben követik egymást. A fájl egy magasan strukturált szövegformátum, mely a kódsorok egymásra hivatkozásával teremti meg a hierarchikus kapcsolatrendszert. Minden kódsor egy entitásnak feleltethető meg, ami ezzel egyidejűleg rendelkezik a modell rekonstrukciójához szükséges összes attribútummal is. Minden egymással kapcsolódó felület külön-külön felépíthető az őket meghatározó pontok, vonalak, görbék és görbeseregek kódolásának és hierarchiájának ismeretében, nincs egyszerűsítés, háromszögelés, vagy térhálósítás. Minden NURBS felület pontos matematikai reprezentálásához szükséges összes információt tartalmazza. Strukturált szöveg lévén ezeket az információkat legegyszerűbben reguláris kifejezésekkel bonthatjuk ki.

Tekintve, hogy a formátum legnagyobb előnye a platformok közötti átjárhatóság biztosítása, elég hamar átlépte a CAD rendszerek kereteit és megjelent CAM alkalmazásokban is. Mára a formátum olyan részletes és szerkeázó információmennyiséget tartalmaz, hogy kézzel foghatóvá válik a piaci igény az azokkal foglalkozó algoritmusokra. [3]

## 3. ALAKSAJÁTÓSSÁGOK

Amikor 3D-s geometriákról beszélünk a „features”, azaz alakajátosságok többféle módon definiálhatók, alapvetően beszélhetünk felhasználási területekhez [4], és folyamattervezéshez [5] kötött definíciókról. Esetünkben a legfontosabb értelemszerűen a magasabb rendű, a gyártástervezés tekintetében hangsúlyos gyártási alakajátosságok [5] megkeresése, valamint a geometriai jellemzők gyártástechnológiai szempontú értelmezése.

### 3.1. Alakajátosságok csoportosítása

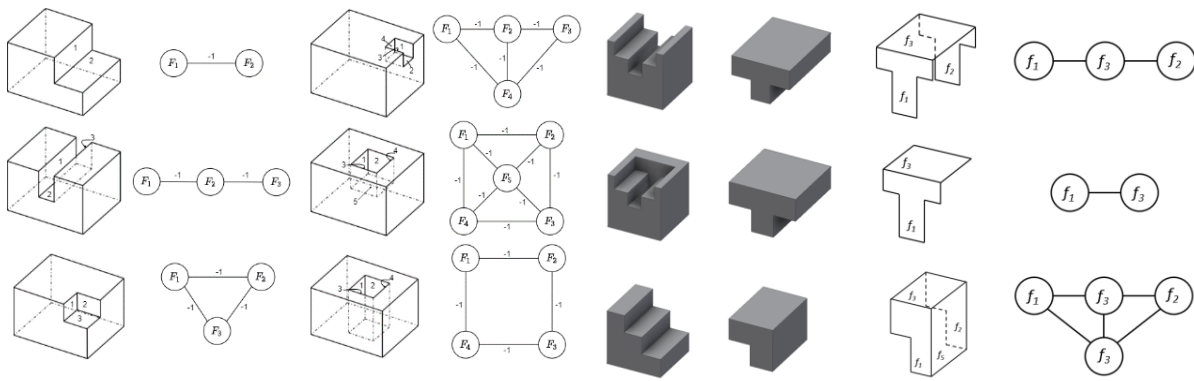
Mérnöki szemlélet szerint a gyártási alakajátosságok azaz „form features” a terméktervezés során létrejövő egymással kapcsolt felületek sorozata, amelyek létrehozása a megmunkálás célja. Négy fő típusról beszélhetünk, amelyeket behatóan vizsgálva a megmunkálási műveletek típusa meghatározható.

1. táblázat – Alakajátosságok főbb csoportjai

Belső formai (Internal form features)	A test belsejében lévő (Void form features)
Külső formai (External form features)	Összeköttetéseket módosító (Connectivity modifying)

### 3.2. Alakajátosságok automatikus felismerése

A STEP fájlok bonyolult és sokrétű felépítéssel rendelkeznek ebből kifolyólag a feldolgozásukkal foglalkozó algoritmusok is magasabb szintűek, alapvetően egymástól elkülönülő, szerkeázó megközelítések léteznek. Főbb irányzatok közé tartozik a szabály-, a szintaktikai minta-, konvex burok alapú és az egységtérfogatra bontási módszerek. [6] A prizmatikus alakzatok elemzésének egyik legelterjedtebb metodikája a gráf alapú megfeleltetés. A szomszédsági gráf (AAG) felépítésére több különböző logika létezik a szakirodalomban, de alapvető hasonlóság, hogy az alakajátosságot meghatározó felületek egymáshoz képesti viszonyát reprezentálják.



1. ábra AAG felépítése balra a) [7] jobbra b) [8] alapján

Létezik például olyan megoldás, ahol a leválasztott anyagmennyiség felületeit dolgozza fel az adott gráf (1.ábra b)) és van, ahol az alaksajátosságban szereplő felületek vannak a középpontban (1.ábra a)). A módszer másik előnye, hogy az alaksajátosságokat alkotó élekre vonatkozóan is tárolhat információt (lásd. él attribútumai).

## 4. MEGVALÓSÍTÁS

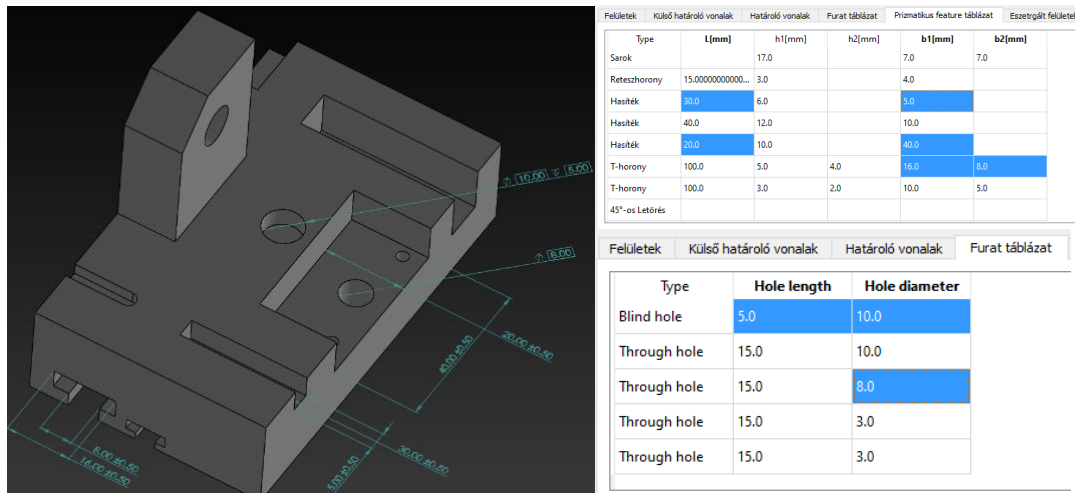
A módszerek és algoritmusok áttekintése során több olyan megfontolással találkoztunk mely jól alkalmazható bizonyos esetek és megszorítások mellett. Többször jutottunk arra a következtetésre, hogy egyes metódusoknál taglalt felvetések egy másiknál is megállhatják a helyüket, vagy éppen két különböző algoritmus részleges ötvözésével előállhatna egy jobb, sokkal általánosabb megoldás. Ezen ismeretek birtokában saját program implementálását végeztük el.

### 4.1. Implementálás

Az algoritmusunk alapját egy az AAG szomszédsági gráf módszer alapján létrehozott illeszkedési mátrix alkotja. Célunk az volt, hogy olyan szabályszerűségeket állapítsunk meg, amelyekkel nem csak az alaksajátosságokat találjuk meg, hanem az azokat alkotó éleket és felületeket is be tudjuk azonosítani, valamint detektáljuk az alaksajátosságok esetleges kapcsolódásait is. Az Joshi S., és T.C. Chang [7] által bemutatott bináris konvexitási módszert még a neutrális él bevezetésével is ki tudtuk egészíteni.

A STEP fájlok topológikus felépítésének köszönhetően az adatkinyerés a hierarchia ismeretében algoritmizálható. Első lépésként azonosítunk egy zárt burkot majd megvizsgáljuk ennek oldalait. Minden felülethez tartozik egy normális, valamint egy külső és opcionálisan egy vagy több belső határolóvonal, amelyek megléte belső formai alaksajátosságot jelent. Az oldalhatároló él mindig úgy vannak orientálva, hogy az anyag a bal oldalukon legyen. Így azok az él, amelyek külső határolásban vesznek részt az óramutató járásával ellentétesen haladnak, míg a belső határolóvonalak az óra járásával megegyezően. Ennek a struktúrának köszönhetően a furatok és zsebek megtalálhatóak. Más oldalakkal való kapcsolatukat megvizsgálva dönthető el, hogy átmenőek, vagy sem. A külső formai alaksajátosságok feltárásához, mint például a lépcső vagy a zseb, a felületek konkáv/konvex kapcsolatát kell determinálni. A felületek úgy vannak definiálva, hogy a normál vektoruk kifelé mutasson az anyagból, így az él jobb sodrását előállítva. Belátható, hogy egy élnek két (általában összekötött) különböző felülethez viszonyítva, ellentétes irányba kellene állnia. Egy él irányultsága a kezdő és végpontjából adódik. Ahhoz, hogy a tőle jobbra eső felülettel is előálljon a jobbsodrású konvenció, szükségesek az irányított él Boolean attribútumai, amelyek az irány negálására szolgálnak, így záródó élhurkot állítva elő. A programunkba egy hengeres alaksajátosságokat kezelő, szintaktikai mintára épülő algoritmus is beépítésére került, ami a normálisok irányának viszonyából tudja eldönteni, hogy átmenő/zsák furatról vagy csapról beszélünk.[9]

Az általunk kínált megoldás egy letisztult kezelőfelülettel rendelkező, a mai trendeknek megfelelően Python környezetben íródott program, mely lehetőséget biztosít a későbbi AI alapú fejlesztésekre. A leprogramozott prototípusunk az egyszerűbb alaksajátosságokat felismeri, azok méreteit, illetve a kialakításukhoz szükséges leválasztandó anyagmennyiséget is képes visszajelezni.



2. ábra Mintapélda

## 4.2. Konklúzió

A geometriai információkat és összefüggéseket gyártási idő és költségbecslés területén használtuk fel. A predikcióhoz szükségünk van gyártási paraméterekre, melyek függenek a rendelkezésre álló gyártási környezet (pl.: berendezések, szerszámok) jellemzőitől. Ehhez létrehoztunk egy komplex, felhasználó által is személyre szabható adatbázist, ahol a geometriai jellemző előállításához használatos eszközök szerepelnek a rájuk jellemző forgácsolási paraméterekkel, valamint az előállítás költségösszetevőivel. Egy alaksajátosság létrehozása annak méreteivel és rendeltetésével állítható párhuzamba, ezt kombinálva gyártástechnológiai összefüggésekkel és empirikus értékekkel egy teljesértékű tapasztalati modell áll rendelkezésünkre. Ezen modellekből a gépi fíidők részösszegei már becsülhetők, majd az adatbázisban tárolt - szintén testreszabható - normatív értékekkel applikálva elérhető a teljes normaidő, melyből az alkatrész költségvonzata kalkulálható. A gyártási idő ismeretében különböző tervezési területek megalapozott döntést hozhatnak az alternatívák közti választás során. A technológiai jellemzők azonosítása a technológia tervezés automatizálásának is utat nyithat.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A jelen publikációban megjelenő kutatások az ITM NKFIA által nyújtott TKP2020 NKA támogatásból, az NKFIH által kibocsátott támogatói okirat alapján valósultak meg (projekt azonosító: TKP2020 BME-NKA). A szerzők konferencia részvételét a BME Gépészmérnöki Kar NTP-HHTDK-21-0051 pályázata támogatta.

## IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] Jackson O'Connell: *STEP File Format (CAD) – Simply Explained*, <https://all3dp.com/2/step-file-format-simply-explained/> (Utolsó letöltés: 2022.02.25).
- [2] Bhandarkar, Mangesh P., és Rakesh Nagi: *STEP-Based Feature Extraction from STEP Geometry for Agile Manufacturing*. *Computers in Industry* 41, sz. 1 (2000. január): 3–24.
- [3] Nguyen, Jimmy: *Best STEP File to Use: AP203, AP214, and AP242*, <https://www.capvidia.com/blog/best-step-file-to-use-ap203-vs-ap214-vs-ap242> (Utolsó letöltés: 2022.02.25)
- [4] Nasr, Emad Abouel, és Ali K. Kamrani: *Computer-Based Design and Manufacturing: An Information-Based Approach*. New York: Springer, 2007.
- [5] Srivastava, Deepanshu, és Komma: *Development of STEP AP224 Extractor for Interfacing Feature Based CAPP to STEP-NC (AP238)*. *International Journal of Automation and Computing* 16, sz. 5
- [6] V.N. Malleswari, Dr. P.M. Valli, Dr. M.M.M. Sarcar: *Automatic Recognition of Machining Features Using STEP Files*. *International Journal of Engineering Research* 2, sz. 3 (2013): 11.
- [7] Joshi, S., és T.C. Chang: *Graph-Based Heuristics for Recognition of Machined Features from a 3D Solid Model*. *Computer-Aided Design* 20 (2): 58–66. (1988)
- [8] Rameshbabu, V., és M.S. Shunmugam: *Hybrid Feature Recognition Method for Setup Planning from STEP AP-203*. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* 25, sz. 2 (2009. április)
- [9] Berencsi D., Pördi P.D., Tancsa V.: *STEP fájl alapú automatikus gyártási időbecslés*, BME TDK (2021)