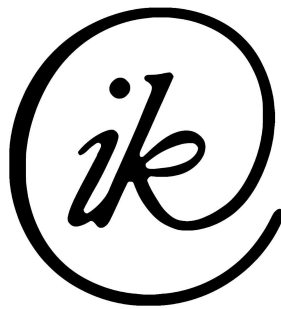
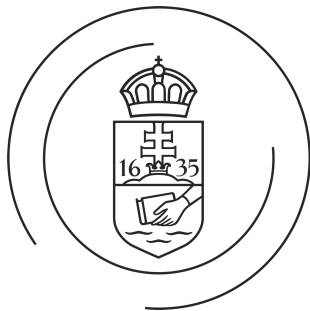


HORVÁTH MILÁN  
DIPLOMAMUNKA

**EÖTVÖS LORÁND TUDOMÁNYEGYETEM**

INFORMATIKAI KAR

SAVARIA MŰSZAKI INTÉZET



DIPLOMAMUNKÁK

EÖTVÖS LORÁND TUDOMÁNYEGYETEM  
INFORMATIKAI KAR  
SAVARIA MŰSZAKI INTÉZET

Horváth Milán  
DIPLOMAMUNKA

Diplomamunka

Konzulens:

*Bátorfi János György*

egyetemi tanársegéd, okleveles gépészmérnök

Témavezető:

*Prof. Dr.Sidor Jurij*

egyetemi tanár, professzor a műszaki tudományok te

Szombathely, 2025.

## **ZÁRADÉK**

Ez a diplomamunka elzártan kezelendő és őrzendő, a hozzáférése a vonatkozó szabályok szerint korlátozott, a diplomamunka tartalmát csak az arra feljogosított személyek ismerhetik.

A korlátozott hozzáférés időtartamának lejártáig az arra feljogosítottakon kívül csak a korlátozást kérelmező személy vagy gazdálkodó szervezet írásos engedélyével rendelkező személy nyerhet betekintést a diplomamunka tartalmába.

A hozzáférés korlátozása és a zárt kezelés 2034 január 31. napján ér véget.

Szombathely, 2024. 01. 31.

Placeholder for feladatkiras.pdf

# NYILATKOZATOK

## *Nyilatkozat az önálló munkáról*

Alulírott, *Horváth Milán* (MYQGQ0), az Eötvös Loránd Tudományegyetem hallgatója, büntetőjogi és fegyelmi felelősségem tudatában kijelentem és sajátkezű aláírással igazolom, hogy ezt a diplomamunkát meg nem engedett segítség nélkül, saját magam készítettem, és diplomamunkámban csak a megadott forrásokat használtam fel. Minden olyan részt, melyet szó szerint vagy azonos értelemben, de átfogalmazva más forrásból átvettem, egyértelműen, a hatályos előírásoknak megfelelően, a forrás megadásával megjelöltem.

Ennek a diplomamunkának önálló, eredeti szerzője vagyok, ez az önálló szellemi alkotás jogtisztaság szempontjából megfelel az „Eötvös Loránd Tudományegyetem Szervezeti és Működési Szabályzata, II. kötet, Hallgatói Követelményrendszer. Módosításokkal egybeszerkesztett változat [2017. szeptember 1.]” c. szabályzat 74/A–74/C. §-aiban foglalt rendelkezéseknek.

Szombathely, 2025. október 6.

---

*hallgató*

# Tartalomjegyzék

<b>Előszó</b>	<b>viii</b>
<b>Jelölések jegyzéke</b>	<b>ix</b>
<b>1. Bevezetés</b>	<b>1</b>
<b>2. Irodalmi áttekintés</b>	<b>3</b>
2.1. Képlékeny alakítás elméleti alapjai . . . . .	4
2.1.1. Rugalmas és képlékeny alakváltozás . . . . .	4
2.1.2. Feszültség-alakváltozás kapcsolata, szakítódiaagram . . . . .	4
2.2. Mikroszerkezettől a tervezésig . . . . .	4
2.3. Lemezek képlékeny anizotrópiája . . . . .	4
2.3.1. Az anizotrópia . . . . .	4
2.3.2. Lankford-tényező . . . . .	4
2.3.3. Csúcsosodás, az anizotrópia közvetlen hatása . . . . .	4
2.3.4. Ideális mélyhúzható lemez . . . . .	4
2.4. A mélyhúzás technológiája . . . . .	4
2.4.1. A mélyhúzás alapelvei, fázisai . . . . .	4
2.4.2. Meghatározó technológiai paraméterek . . . . .	4
2.4.3. A mélyhúzás tipikus hibái és azok okai . . . . .	4
2.4.4. A mélyhúzás, mint egyensúlyi folyamat . . . . .	4
2.5. Mélyhúzó szerszámok tervezése . . . . .	4
2.5.1. A szerszám felépítése . . . . .	4
2.5.2. A szerszámgeometria szerepe . . . . .	4
2.5.3. Technológiai erők számítása . . . . .	4

2.6. Végelem módszer . . . . .	4
2.6.1. Végelem módszer alapelvei . . . . .	4
2.6.2. Mélyhúzási folyamat szimulációja VEM-mel . . . . .	4
2.6.3. Anyagmodellek . . . . .	4
<b>3. Anyagok és módszerek</b>	<b>5</b>
<b>4. Szerszámkialakítás</b>	<b>6</b>
<b>5. Mérési eredmények értékelése</b>	<b>7</b>
<b>6. Összefoglalás</b>	<b>8</b>



# Előszó

Már a középiskolás éveim során érdeklődtem a 3D tervezés, a CAD-CAM világa felé. Gépi forgácsoló szakmámból kifolyólag elég régóta körülvesz engem a gépészeti világ és akkor jött a gondolat, mi lenne ha jelentkeznék egyetemre. Életem egyik legjobb döntése volt a gépészmérnöki képzés elkezdése. Rengeteg új információval gazdagodtam, sokkal jobban el tudtam mélyülni a CAD-CAM rendszerekben, valamint megismerkedtem számomra addig teljesen ismeretlen módszerekkel. Az egyik ilyen volt a végeselem analízis. Ez a terület tetszett meg a legjobban a képzés során, rengeteg lehetőség rejlik benne. A diplomamunka téma kiválasztásánál számomra fontos volt, hogy a CAD-CAM, valamint a végeselem analízis szerepet kapjanak az elkészítés során.

~ ~ ~

## *Köszönetnyilvánítás*

*Elsőként szeretném megköszönni a TDK Hungary Components Kft.-nek, hogy a gépészmérnöki képzésem alatt biztosítottak számomra duális gyakorlati helyet, valamint hogy támogatták a diplomamunkám minőségi elkészültét. Szeretném megköszönni az Eurosolid Zrt.-nek, hogy biztosították számomra a Solidworks 2022 Student Edition CAD szoftvert, amellyel a modelleket készítettem el.*

Szombathely, 2025. október 6.

*Horváth Milán*

# Jelölések

A táblázatban a többször előforduló jelölések magyar és angol nyelvű elnevezése, valamint a fizikai mennyiségek esetén annak mértékegysége található. Az egyes mennyiségek jelölése – ahol lehetséges – megegyezik hazai és a nemzetközi szakirodalomban elfogadott jelölésekkel. A ritkán alkalmazott jelölések magyarázata első előfordulási helyükénél található.

## *Latin betűk*

Jelölés	Megnevezés, megjegyzés, érték	Mértékegység
$E$	Rugalmassági modulusz	GPa
$F$	erő	N
$S$	keresztmetszet	mm <sup>2</sup>

## *Görög betűk*

Jelölés	Megnevezés, megjegyzés, érték	Mértékegység
$\varepsilon$	alakváltozás	1
$\sigma$	feszültség	MPa

## *Indexek, kitevők*

Jelölés	Megnevezés, értelmezés
$e$	elem
max	maximális érték

# 1. fejezet

## Bevezetés

A mélyhúzás a lemezalakítás egyik legösszetettebb és legszélesebb körben alkalmazott technológiája, amelynek során síklemezből háromdimenziós, üreges alkatrészeket állítanak elő. A folyamat sikerességét döntően befolyásolja a lemezanyag anizotróp viselkedése, amely a gyártási folyamat során – különösen a hengerelés következtében – kialakuló preferált kristályorientációból (textúra) ered. Az anyag irányított mechanikai tulajdonságai közvetlenül hatnak az alakíthatóságra, a fülképződésre és a végtermék minőségére.

Az anizotrópia mértékét a Lankford-paraméterrel ( $r$ -érték) jellemezzük, amely a vastagságirányú és szélességirányú alakváltozás arányát fejezi ki egytengelyű húzás során. Wu et al. (2023) kísérleti vizsgálatai rozsdamentes acél hengermélyhúzása során kimutatták, hogy az  $r_{90}$  értéke 29-48%-kal járul hozzá az aljzati visszarugózáshoz, míg az  $r_{45}$  és  $r_0$  értékek másodlagos jelentőségűek. A síkanizotrópia ( $\Delta r$ ), amely a különböző irányokban mért  $r$ -értékek közötti eltéréseket számszerűsíti, közvetlenül felelős a fülképződés mértékéért és mintázataért.

A képlékeny alakítás során fellépő anizotróp viselkedés pontos modellezése kritikus fontosságú a szerszámtervezésben és a folyamatoptimalizálásban. A hagyományos izotróp folyási kritériumok (von Mises, Tresca) nem képesek megfelelően leírni a lemezanyagok irányított tulajdonságait. Az elmúlt évtizedekben számos anizotróp folyási kritérium került kifejlesztésre – a klasszikus Hill'48 modellről (Hill, 1948) a fejlett Barlat-család kritériumaikig (Yld2000-2d, Yld2004-18p) –, amelyek fokozatosan javuló pontossággal írják le a valós anyagviselkedést (Chen et al., 2023).

Jelen irodalmi áttekintés célja, hogy átfogó képet nyújtson a mélyhúzás folyamatáról, a lemezanyagok anizotróp viselkedésének fizikai hátteréről, a szerszámtervezés alapelveiről, valamint a modern végeelem-módszer (VEM) alkalmazásáról. Külön hangsúlyt helyezünk az anyagfüggő viselkedésre és a kristályszerkezet szerepére, mivel

ezek az alapvető tényezők határozzák meg a mélyhúzhatóságot és az ipari folyamatok megbízhatóságát.

## **2. fejezet**

# Irodalmi áttekintés

## 2.1. Képlékeny alakítás elméleti alapjai

*2.1.1. Rugalmas és képlékeny alakváltozás*

*2.1.2. Feszültség-alakváltozás kapcsolata, szakítódiagram*

## 2.2. Mikroszerkezettől a tervezésig

## 2.3. Lemezek képlékeny anizotrópiája

*2.3.1. Az anizotrópia*

*2.3.2. Lankford-tényező*

*2.3.3. Csúcsosodás, az anizotrópia közvetlen hatása*

*2.3.4. Ideális mélyhúzzható lemez*

## 2.4. A mélyhúzás technológiája

*2.4.1. A mélyhúzás alapelvei, fázisai*

*2.4.2. Meghatározó technológiai paraméterek*

*2.4.3. A mélyhúzás tipikus hibái és azok okai*

*2.4.4. A mélyhúzás, mint egyensúlyi folyamat*

## 2.5. Mélyhúzó szerszámok tervezése

*2.5.1. A szerszám felépítése*

*2.5.2. A szerszámgeometria szerepe*

## **3. fejezet**

### **Anyagok és módszerek**

## **4. fejezet**

### **Szerszámkialakítás**



## **5. fejezet**

### **Mérési eredmények értékelése**

## **6. fejezet**

### **Összefoglalás**

## **Melléklet A**

## **Melléklet B**