



A MAGYAR  
TUDOMÁNY  
ÜNNEPE

# Gépészmérnöki Tudományok Népszerűsítése

**Pécs, MTA PAB 2023**

Konferenciaszekció az MTA PAB Gépészeti és épületgépészeti  
Munkabizottság tagjai kutatásainak bemutatásáról

KONFERENCIAKIADVÁNY

ISBN: 978-963-626-292-1

SZERKESZTŐ:

EÖRDÖGHNÉ DR. MIKLÓS MÁRIA

HABIL. EGYETEMI DOCENS, MUNKABIZOTTSÁGI ELNÖK

**MTA** MAGYAR  
TUDOMÁNYOS  
AKADEMIA

Mottó 2023:

## **Tudomány: válaszok a globális kihívásokra**

Konferencia időpont:

2023. november 16.

Konferencia helyszín:

Magyar Tudományos Akadémia Pécsi Területi Bizottság Székháza Tigyi József terem

7624 Pécs, Jurisics M. u. 44.

## Magyar Tudomány Ünnepe 2023 Pécs

### Gépészmérnöki Tudományok Népszerűsítése Konferencia

a Pécsi Tudományegyetem Műszaki és Informatikai Kar Mérnöki és Smart Technológiák Intézet

gépészmérnök képzés oktatói és hallgatói

és az MTA PAB Gépészeti és Épületgépészeti Munkabizottság tagjai előadásában

2023. november 16.

Helyszín: Magyar Tudományos Akadémia Pécsi Területi Bizottság Székháza

Tigyi József terem

7624 Pécs, Jurisics M. u. 44.

#### Program:

- |       |  |  |
|-------|--|--|
| 13:15 | <b>Eördöghné Dr. Miklós Mária</b><br>munkabizottsági elnök | habil. egyetemi docens, MTA PAB GÉG<br>Megnyitó gondolatok                             |
| 13:20 | <b>Dr. Cakó Balázs</b><br>adjunktus                        | Innovatív, komfort alapú épülettechnikai<br>szabályozás                                |
| 13:35 | <b>Loch Gábor</b><br>tanársegéd                            | Rendhagyó épületszerkezetek épületfizikai<br>hőkomfort sajátosságai                    |
| 13:50 | <b>Lenkovics László</b><br>tanársegéd                      | Intenzív fluktuációt mutató hőkomfort<br>paraméterek hatása a várható hőérzeti értékre |
| 14:05 | <b>Lenkovics Balázs</b><br>gépészmérnök MSc hallgató       | Hőkomfort hatása a teljesítőképességre   |
| 14:20 | <b>Budulski László</b><br>tanársegéd                       | Korszerű diagnosztika az épületgépészeti<br>gyakorlatban                               |
| 14:35 | <b>Vasvári Gyula Ferenc</b><br>tanársegéd                  | Különleges anyagok és eljárások a<br>fémnyomtatásban                                   |
| 14:50 | <b>Fenyvesi Sándor</b><br>tanársegéd                       | A jövő gyártási trendje: 3D fémnyomtatott<br>alkatrészek megmunkálhatósága             |
| 15:05 | <b>Páva Ákos</b><br>gépészmérnök BSc hallgató              | Kerékpár váz élettartam növelésének<br>lehetősége                                      |
| 15:20 | <b>Dr. Háber István Ervin</b><br>adjunktus                 | Hidrogén alapú szezonális energiatárolás<br>tervezési módszertana lakóházakhoz         |
| 15:35 | <b>Eördöghné Dr. Miklós Mária</b>                          | Zárszó   |

## Tartalom

1. Előszó .....	7
<b>Innovatív, komfort alapú épülettechnikai szabályozás .....</b>	<b>9</b>
<b><i>Innovative, comfort-based building technology regulation.....</i></b>	<b>9</b>
1. Bevezetés – A komfort kutatások jelentősége .....	9
2. Hőérzetet befolyásoló tényezők .....	10
3. Szabályozástechnikai alapfogalmak és adaptációjuk a kutatáshoz .....	11
4. A hőérzet méréssel történő meghatározása .....	12
5. Eredmények, következtetések .....	14
6. Összegzés .....	15
<b>Rendhagyó épületszerkezetek épületfizikai és hőkomfort sajátosságai .....</b>	<b>16</b>
<b><i>Thermotechnical examination of heatable glazing.....</i></b>	<b>16</b>
1. Fűthető üvegezés hőtechnikai vizsgálata.....	16
1.1. Az üveg felületi hőmérséklete és a hőkomfort kapcsolata .....	16
1.2. Az üvegfelület okozta problémák kezelése.....	17
2. Korábbi kutatások eredményei.....	18
3. A végzett mérések .....	19
3.1. A mérés célja.....	19
3.2. A mérőkör felépítése .....	19
3.3. A mérőeszközök.....	19
4. Mérési eredmények.....	20
4.1. Hagyományos mérőműszerekkel kapott eredmények .....	20
4.2. Termikus mérőbábuval végzett mérések, eredmények .....	21
5. További kutatási tervek .....	22
<b>Korszerű diagnosztika az épületgépészeti gyakorlatban.....</b>	<b>23</b>
<b><i>Modern diagnostics in building engineering practice.....</i></b>	<b>23</b>
1. Bevezetés .....	23

2. A korszerű épületdiagnosztika jelentősége .....	24
3. Diagnosztizálási lehetőségek korszerű épületek esetében .....	25
4. Intelligens vagy okos szelepek, mint térfogatáram mérők .....	26
5. Intelligens vagy okos szivattyúk, mint térfogatáram mérők .....	27
6. Hőáramsűrűség mérési lehetőségei.....	28
6.1. Hőáramsűrűségmérők működése.....	29
7. Épületgépészeti rendszerek hőkamerás vizsgálata .....	30
7.1. Hőkamerák működése és használata.....	30
8. Következtetések.....	31
<b>Különleges anyagok és eljárások a fémnyomtatásban.....</b>	<b>33</b>
<b><i>Special materials and processes in metal printing .....</i></b>	<b>33</b>
1. Bevezetés.....	33
2. A fémhuzal felrakóhegesztés technológiai háttere .....	34
2.1. Technológiai eljárás .....	34
2.2. Előnyök és hátrányok .....	35
3. A fejlesztési folyamat.....	36
3.1. Kísérleti beállítások és módszerek .....	36
3.2. Eredmények és Értékelés.....	38
4. Ipari Alkalmazások.....	39
4.1. Lehetőségek és kihívások .....	39
4.2. Jövőbeli Kilátások.....	40
5. Következtetések .....	40
<b>A jövő gyártási trendje: 3D fémnyomtatott alkatrészek megmunkálhatósága..</b>	<b>41</b>
<b><i>The future manufacturing trend: machinability of 3D printed metal components</i></b>	<b>41</b>
1. Bevezetés .....	41
2. Anyagok és módszerek.....	44
2.1. Anyagok .....	44

2.1.1.	Nyomtatott anyag anyagminőségének bemutatása .....	44
2.2.	Szerszám és gép.....	45
2.3.	Felület érdesség mérő.....	45
2.4.	Hőelem és mérésadatgyűjtő.....	46
3.	Módszerek .....	46
3.1.	3D fémnyomtatás problémaköre.....	46
3.2.	Mérés hőelemekkel .....	48
3.3.	Forgácsolás.....	49
3.4.	Szoftver .....	50
3.5.	A vizsgálatok eredményei.....	51
3.6.	3D fémnyomtatott alkatrész.....	51
3.7.	Szoftver .....	53
3.8.	Forgácsolási kísérlet.....	53
4.	További feladatok.....	54
5.	Összefoglalás .....	55

## 1. Előszó

Éppen 20 éve, hogy hivatalosan is megüljük a Magyar Tudomány Ünnepét a 2003. évi XCIII. törvény alapján, amely kimondta, hogy „Az Országgyűlés a tudomány társadalomban betöltött szerepét kiemelkedően fontosnak, a tudomány művelése és fejlesztése érdekében végzett tevékenységet elismerésre és kiemelkedő támogatásra méltónak tartja. A MTA a magyar tudomány ünnepéről már 1997 óta megemlékezik, mi, a MTA Pécsi Akadémiai Bizottság Gépészeti és Épületgépészeti Munkabizottsága Pécsen 4 alkalommal mutatjuk meg, hogy mivel foglalkozunk a PTE MIK gépészmérnöki tanszékein folyó kutatásaink keretében.

Két év múlva ünnepelhetjük a Tudományünnep apropójául szolgáló eseményt, amikor 1825. november 3-án Széchenyi István birtokainak évi jövedelmét Magyar Tudós Társaság alapításának céljára felajánlotta, és ezzel lehetővé tette a Magyar Tudományos Akadémia megalapítását. A tudományos fejlődés támogatására, az eredmények társadalmisítására a jelenben, a mi eszközünk az eredményeink bemutatása, népszerűsítése, ahogyan a Konferenciánk nevében is szerepel. Bízunk benne, hogy ez az eszköz is hatékonyan segíti, hogy a tudományos eredmények mielőbb megjelenjenek a mindennapi életben, forráshatékonyabbá téve azt.

Felemelő végig tekinteni az utóbbi évek Magyar Tudomány Ünnepe rendezvénysorozat mottóin:

2019	Értékteremtő tudomány
2020	Jövőformáló tudomány
2021	Tudomány: iránytű az élhető jövőhöz
2022	Tudomány: út a világ megismeréséhez
2023	Tudomány: válaszok a globális kihívásokra

Felemelő a tudat, hogy ezeknek a szép törekvéseknek mi is tevőleges résztvevői lehetünk. Az ideai mottó a globális kihívásokat és főleg az azokra adható válaszokat helyezi a fókuszba. A globális kihívások, a megoldások keresése ezekre hagyományosan a gépészmérnöki tudományok fókuszában állnak, hiszen akár gépet, berendezést, akár rendszert tervezünk, általános gépészként vagy épületgépészként, a forráshatékonyt, mint globális célt mindig nagy fontosságúnak tekintettük. Jelenünk kihívásai a megszokott korlátok mellé újabb nehézségeket generálnak: az energiaellátás biztonsága, infláció, egyes gazdasági ágak fejlődésének megtorpanása, hogy néhányat konkrétan említsek; és még szerencsésnek mondhatjuk a helyzetünket, hogy a többfelé, a világban három helyen is dúló háború a személyes biztonságunkat nem veszélyezteti. Ebben a helyzetben megnő a jelentősége az alkalmazott tudományoknak, a gépészmérnöki tudományterületeknek is, amelyek közül többet a kollégáimmal

együtt mi is művelünk, és amibe a mai konferencia szekciónkkal egy kis betekintést szeretnénk adni az érdeklődőknek. Tudományunkkal, tudásunkkal a békés jövőnek tervezünk; olyan korszerű technológiákat tanulmányozunk, fejlesztünk és elemzünk, amikkel a növekvő elvárások forráshatékony módon elégíthetők ki, legyen szó komfortelméletről, épületdiagnosztikáról vagy 3D nyomtatásról.

A MTÜ rendezvénysorozat mottói évekre visszamenőleg motiváló gondolatokat, távlatokat fogalmaztak meg. Nekünk gépészmérnököknek lehetőségünk van arra, hogy ezeket a felhívásokat kézzel fogható valósággá teremtsük, gyakran előbb elméletben, majd – szerencsés esetben - a gyakorlat számára is. A tudomány alázatával, de a megújítás célkitűzésével közelítünk az új feladatokra, szívesen osztjuk meg egymással és külső kollégákkal a tapasztalatainkat. Fogadják tőlünk szeretettel ezek rövid összefoglalását.

A szerkesztő



# Innovatív, komfort alapú épületechnikai szabályozás

## *Innovative, comfort-based building technology regulation*

CAKÓ Balázs

Pécsi Tudományegyetem - Műszaki és Informatikai Kar, Épületgépész- és Létesítménymérnöki Tanszék  
H-7624 Pécs Boszorkány út 2., Magyarország, Baranya megye, cako.balazs@mik.pte.hu,  
<https://mik.pte.hu/>

### **Absztrakt**

Napjainkban a komfortelmélet témaköre nagy figyelmet kap. Az épületszerkezetek és az épületgépészeti rendszerek rohamos fejlődése újabb kihívásokat indukál a megfelelő komfortérzet megteremtése szempontjából, miközben az energiahordozók ára megnövekedett, ami a komfortcélok elérését megdrágította. A gazdaságosság és a hatékonyság növelésének eszköze a jól megtervezett, a fogyasztói igényekhez is igazodó szabályozás kiépítése.

### **Abstract:**

Nowadays, the topic of comfort theory is receiving a lot of attention. The rapid development of building structures and building engineering systems induces new challenges in terms of creating an adequate feeling of comfort, while the price of the energy carrier has increased, which has made the achievement of comfort goals more expensive. The means of increasing economy and efficiency is the establishment of well-planned regulations that are also adapted to consumer needs.

## **1. Bevezetés – A komfort kutatások jelentősége**

A komfort kutatások jelentőségét, a többi kutatási területtel kontextusba helyezését az 1. ábra szemlélteti. Az épületben töltött idő hosszának növekedésével a tartózkodási terek komfortjának biztosítása ugyanúgy fontos az egészségmegőrzéshez, mint a hatékony munkavégzéshez.



1. ábra: Az egyes belső terekben töltött idő aránya. Forrás: saját szerkesztés

## 2. Hőérzetet befolyásoló tényezők

A hőérzeti besorolás meghatározására több módszer ismert, melyek között a Fanger kutatásai nyomán kifejlesztett PMV-PPD módszert napjainkban több szabvány is rögzíti. A helyiségek hőérzeti besorolásának menetét az **ISO 7730 szabvány** részletezi. A számítás elvégzéséhez a következő kiinduló adatok szükségesek:

$M$  – metabolikus hőtermelés [met]

$W$  – mechanikai munka [met]

$I_{cl}$  – ruházat hőszigetelő képessége [clo]

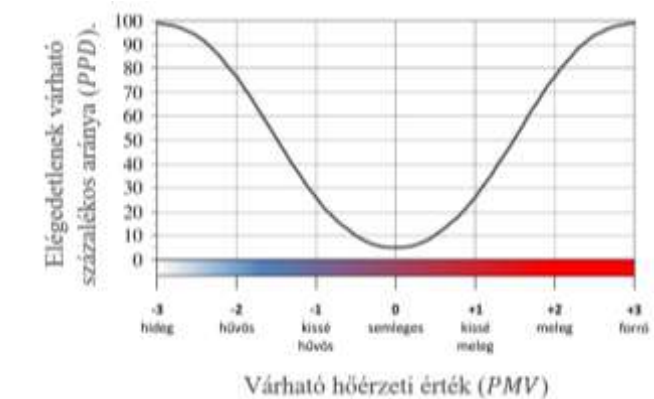
$t_i$  – belső léghőmérséklet [ $^{\circ}C$ ]

$t_r$  – közepes sugárzási hőmérséklet [ $^{\circ}C$ ]

$\phi_i$  – belső relatív páratartalom [%]

$v$  – belső légsebesség [m/s]

A PMV-PPD meghatározása figyelembe veszi a környezetből érkező hőszugárzást, a környező levegő hőmérsékletét, mozgási sebességét, annak változékonyságát (turbulencia), valamint a környezeti levegő páratartalmát. Tehát a mérés objektíven megállapítja a termikus komfortérzetet. A PMV egy nagy létszámú embercsoport átlagos termikus hőérzetét kifejező érték. A várható hőérzeti érték (PMV) alapján besorolható a vizsgált tér forró, meleg, enyhén meleg, semleges, enyhén hűvös, hűvös és hideg osztályba.



2. ábra: A várható hőérzeti érték (PMV) és a kedvezőtlen hőérzet várható százalékos valószínűségének (PPD) kapcsolata. Forrás: saját szerkesztés

### 3. Szabályozástechnikai alapfogalmak és adaptációjuk a kutatáshoz

A szabályozás az irányítás egy válfaja, amelyben a rendelkezés és a beavatkozás a **szabályozni kívánt jellemző az előírt értéktől való eltérés alapján jön létre**, s hatására ez az **eltérés csökken**. (pl.: helyiség hőmérséklet adott értéken tartása).

A beavatkozás a kívánt belső hőmérséklet és a ténylegesen mért hőmérséklet különbsége alapján jön létre. Ha a helyiség hőmérséklete alacsonyabb a kívántnál, a szelep nyit és fordítva (ld. 3. ábra).



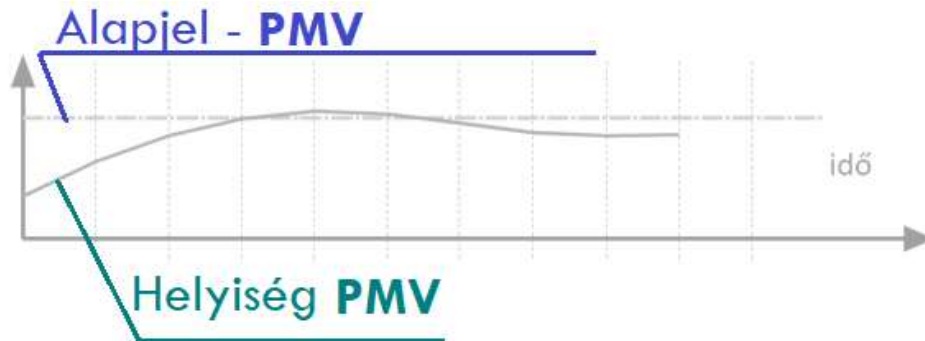
3. ábra: Belső tér hőmérsékletszabályozás elvi kapcsolása és eszközei. Forrás: saját szerkesztés

Egyszerű szabályozásnál, ideális esetben a hőmérséklet alapjelre áll be a helyiség hőmérséklete az épületgépészeti rendszerek működése hatására. A szabályozott körök tapasztalatai – holtidő, reakcióidő, esetleges lengések, stb. – alapján felmerül a kérdés: vajon a hőmérsékletre történő szabályozás a legjobb?



4. ábra: „Egyszerű” szabályozás Forrás: Vinkler Károly – Hydronic College

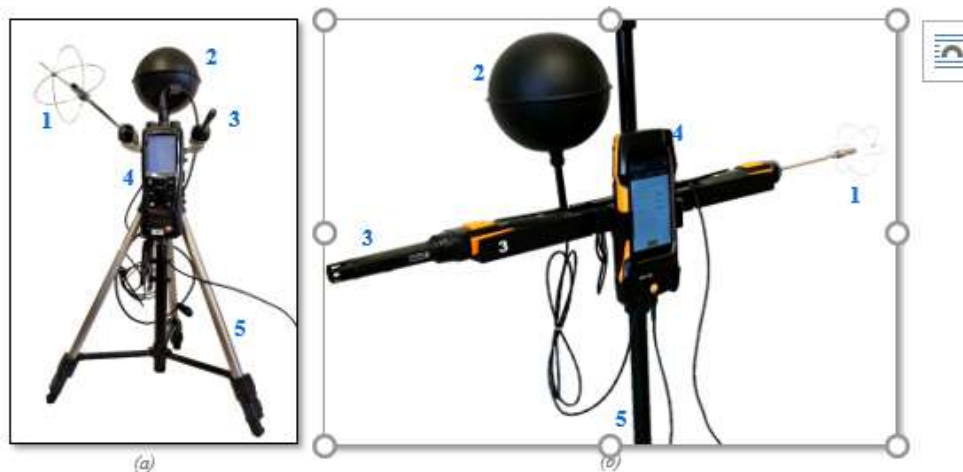
Amennyiben a felhasználók egyéni preferenciáit is figyelembe vesszük, és hőérzet alapú szabályozást valósítunk meg, úgy a komfortérzettel való elégedettség nő, kisebb energiafelhasználás mellett. Ennek elvi sémáját mutatja az 5. ábra:



5. ábra: Hőérzet alapú szabályozás. Forrás: saját szerkesztés

#### 4. A hőérzet méréssel történő meghatározása

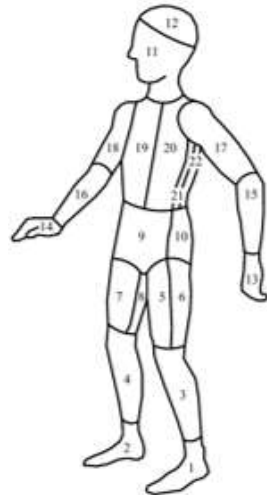
A hőkomfort tényezők (PMV és PPD) mérésére a PTE MIK laboratóriumaiban többféle eszköz is megtalálható. Az egyes önkéntes minősítési rendszerek, valamint a belső terekkel foglalkozó szabványok követelményrendszer határoznak meg a komfortterekkel szemben. A követelményeknek való megfelelés ellenőrzésének legegyszerűbb módja a kombinált mérőeszközök alkalmazása. A Pécsi Tudományegyetem Műszaki és Informatikai Karán egy TESTO 480 típusú készülék, majd a későbbiekben egy TESTO 400 típusú hőkomfort mérő állomással folyták a kutatások.



1 – Irányfüggetlen légsebességmérő, 2 – Glóbuszhőmérő, 3 – Léghőmérséklet és páratartalom érzékelő, 4 – Mérésadatgyűjtő, 5 - Állvány

6. ábra: TESTO 480 (a) és TESTO 400 (b) multifunkciós klimatechnikai mérőműszerek. Forrás: saját szerkesztés

2019 óta termikus mérőbábuval is rendelkezik a Tanszék (ld. 7. ábra).



Jel	Testrész	Felület	Jel	Testrész	Felület
1	bal lábfej	0,053	12	koponya	0,0544
2	jobb lábfej	0,053	13	bal kézfej	0,0457
3	bal lábszár	0,115	14	jobb kézfej	0,0457
4	jobb lábszár	0,115	15	bal alkar	0,042
5	bal comb elől	0,0951	16	jobb alkar	0,042
6	bal comb hátul	0,0951	17	bal felkar	0,083
7	jobb comb elől	0,0951	18	jobb felkar	0,083
8	jobb comb hátul	0,0951	19	bal mellkas	0,0894
9	medence	0,046	20	jobb mellkas	0,0894
10	fenék	0,077	21	bal hát	0,0894
11	fej	0,08	22	jobb hát	0,0894

$\Sigma=1,6728 \text{ m}^2$

7. ábra: Termikus mérőbábu megjelenése és testrészeinek felülete. Forrás: saját szerkesztés

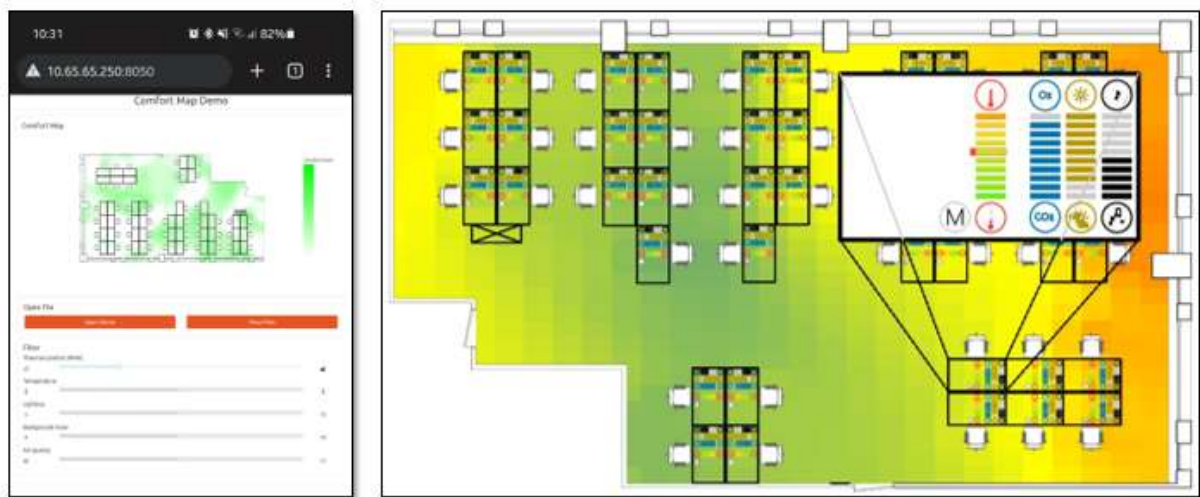
Fizikai paramétereit egy átlagos felnőtt férfi méreteivel azonosak, magassága ~1,7 m, testfelülete ~1,7 m<sup>2</sup> mely 22 önállóan szabályozható testrésze van osztva. Tömege 19 kg a könnyű kezelhetőség érdekében, a testtömeg korrekció szoftveresen állítható, mely alapállapotban 70 kg. Végtagjai (beleértve a könyök- és térd ízületeket, kéz- és lábfejeket), a törzs, a medence tájéka és feje mozgatható. Ezen tulajdonságok megkönnyítik a felöltöztetést és levétköztetést, illetve lehetőséget ad az ülő és álló pozícióban történő méréseknek. A mérőbábu az izzadás jelenségét nem szimulálja, így a száraz hőcsere vizsgálata lehetséges, viszont a légzés áramlástechnikai vizsgálataira alkalmas. A mérőbábu képes a ruházati hőszigetelőképeség mérésére, és a különböző komfort indexek, a PMV és PPD értékek meghatározására. A mérőeszközhöz tartozó szoftveres háttér gyors és átlátható kezelőfelületet biztosít a mérések lebonyolításához. A termikus mérőbábu felépítéséből adódóan jól szimulálja egy valódi embert felépítését, valósabb képet ad az egyes testrészekre meghatározott hőkomfort mutatók terén. Alkalmas az egyes testrészekre, annak felosztásának függvényében az egyes testrészekre vonatkozó konvekciós és sugárzásos hőáram meghatározására.

## 5. Eredmények, következtetések

A hőérzet méréssel történő meghatározására jellemző, hogy:

- Bonyolult mérési eljárás.
- Drága eszközökkel történik a mérés.
- Időigényes.
- A tér egy diszkrét pontjára határozza meg a hőérzetet.

Ezeket a hátrányokat tudjuk eliminálni a korábbi kutatásaim során megalkotott komforttérkép alkalmazásával (ld. 8. ábra).



8. ábra: Komforttérkép. Forrás: saját szerkesztés

A komforttérkép több módon állítható elő:

- Nagyszámú méréssel
- Kiszámú méréssel validált szimulációval
- Szimulációval
- Mérési adatok kiterjesztésével

Hőérzeti mért adatok birtokában magasabb szinten, több szempontból optimalizálható az épületgépészeti és az épületet kiszolgáló rendszerek működése, ami jelentős energiamegtakarítást eredményezhet (ld. 9. ábra).

## Okos otthon platform integráció



hass.io  
Okos otthon integráció

- Valós igény szerinti hőérzet alapú szabályozás (PMV).
- Használaton kívüli területek / térrészek temperáló fűtése.
- Automatizálási rutinok:
  - árnyékolás,
  - fűtési teljesítmény szabályozása,
  - megvilágítás szabályozása
  - stb...

→ Energiamegtakarítás (akár 20-30%)

9. ábra: Hőérzeti adatok komplex hasznosulása. Forrás: saját szerkesztés

## 6. Összegzés

A komfortkutatások a növekvő komfortigények forráshatékony kielégítését segítik elő, ehhez járul hozzá a Tanszékünkön folyó kutatómunka, amelynek egy részletét mutatja be a fenti cikk.

## Forrásjegyzék

[1]B. Cakó és mtsai., *HŐKOMFORT: MÉRÉSEK ÉS SZÁMÍTÁSOK*. Pécs: KomfortMűhely Kft, 2022. [Online]. Elérhető: <https://m2.mtmt.hu/api/publication/32800159>

[2] An Efficient Method to Compute Thermal Parameters of the Comfort Map Using a Decreased Number of Measurements. ENERGIES 14 : 18 Paper: 5632 , 14 p. (2021)



# Rendhagyó épületszerkezetek épületfizikai és hőkomfort sajátosságai

## *Thermotechnical examination of heatable glazing*

LOCH Gábor

Pécsi Tudományegyetem - Műszaki és Informatikai Kar, Épületgépész- és Létesítménymérnöki Tanszék  
H-7624 Pécs Boszorkány út 2., Magyarország, Baranya megye, loch.gabor@mik.pte.hu,  
<https://mik.pte.hu/>

**Absztrakt:** Az építészeti tervezés napjainkban szívesen alkalmazza az üvegezett homlokzatokat. Ezek újdonságai, a hagyományostól eltérő jellegzetességei az épületgépészet, komforttechnika irányában is új feladatokat fogalmaznak meg. Az új megoldások keresését segítő mérések, kutatások folynak a PTE MIK, Épületgépész- és Létesítménymérnöki Tanszékén. Ezekbe enged bepillantást a jelen írás.

**Abstract:** Today, architectural design is happy to use glazed facades. Their novelties and their different from traditional characteristics also define new tasks in the field of building engineering and comfort technology. Measurements and research to help find new solutions are ongoing at the Department of Building Mechanical and Facilities Engineering of PTE MIK. This article gives a glimpse into them.

## 1. Fűthető üvegezés hőtechnikai vizsgálata

Az építészetben előszeretettel alkalmazzák a nagyméretű üvegfelületeket, mellyel a külső- és belső tér közötti szoros kapcsolat hozható létre.

### 1.1. Az üveg felületi hőmérséklete és a hőkomfort kapcsolata.







A vizuális komfortra is pozitív hatással vannak nagy üvegfelületek, mellyel épített környezetünk értéke is növelhető.



A nagyméretű transzparens szerkezetek segítségével egyidejűleg élvezhetjük a belső terek által nyújtott komfortot és az épület környezetének látványát az időjárási körülményektől függetlenül.

## 1.2. Az üvegfelület okozta problémák kezelése

Az üveg felületi hőmérséklete 3-4°C-al alacsonyabb, mint a helyiség hőmérséklet:

Sugárzási aszimmetria

- Helyi diszkomfortot eredményez

Operatív hőmérséklet növeléséhez a léghőmérséklet növelés szükséges

- Növekszik a helyiség hővesztése a többi szerkezeten keresztül is

Felületi páralecsapódás

- Vizuális komfort romlása
- Szerkezeti károsodás

A nagy üvegfelületek azonban a szigorodó energetikai követelmények ellenére is több problémát vetnek fel. Az üvegezés belső felületi hőmérséklete alacsony külső

hőmérséklet esetén akár 3-4°C-al is alacsonyabb lehet, mint a belső léghőmérséklet, illetve a többi határoló szerkezet. Ez a hőmérsékletkülönbség sugárzási aszimmetriát, és akár felületi páralecsapódást eredményezhet. Ezek orvoslására a klasszikus épületgépészeti berendezésekkel a léghőmérséklet emelésével szokás reagálni.

**Az üveg felületi hőmérsékletének növelésével:**

**Sugárzási aszimmetria MEGSZŪNIK**

- Nincs helyi diszkomfort

**Operatív hőmérséklet OPTIMÁLIS a léghőmérséklet további növelése nélkül is**

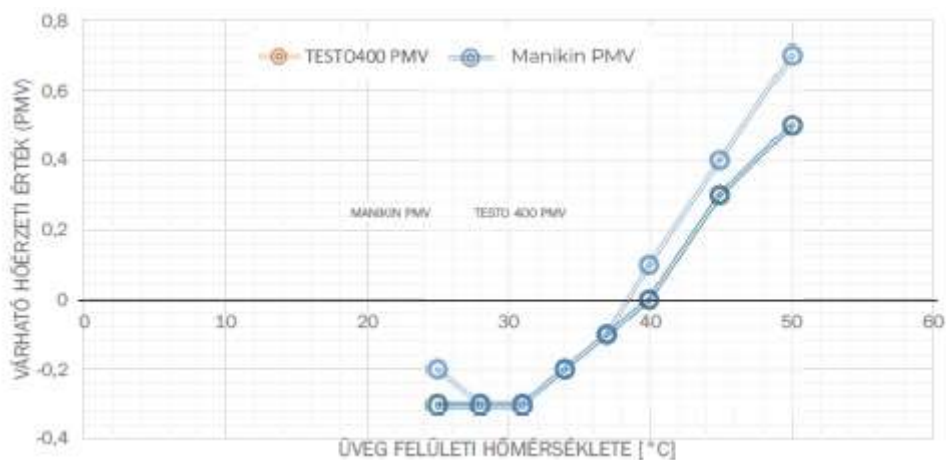
- Többi szerkezeten keresztül nem növekszik a hővesztés, csupán az üvegezésen keresztül

**Felületi páralecsapódás MEGSZŪNIK**

- Az üvegezés megőrzi a funkcióját, megfelelő vizuális komfort
- Nincs szerkezeti károsodás

A léghőmérséklet emelése helyett azonban ha közvetlen az üveg belső felületi hőmérsékletét növelnénk, megszűnnének a diszkomfortot eredményező tényezők. Erre az egyik legalkalmasabb eszköz a fűthető üvegezés alkalmazása, mely során egy villamos energiával működő fűtőfilmet hordanak fel az üveg belső szerkezetére.

## 2. Korábbi kutatások eredményei



Kollégám, Dr. Cakó Balázs korábbi kutatásai kimutatták már, hogy az üveg felületi hőmérséklete milyen kapcsolatban van a hőkomforttal, melyet a fenti ábra összegez.

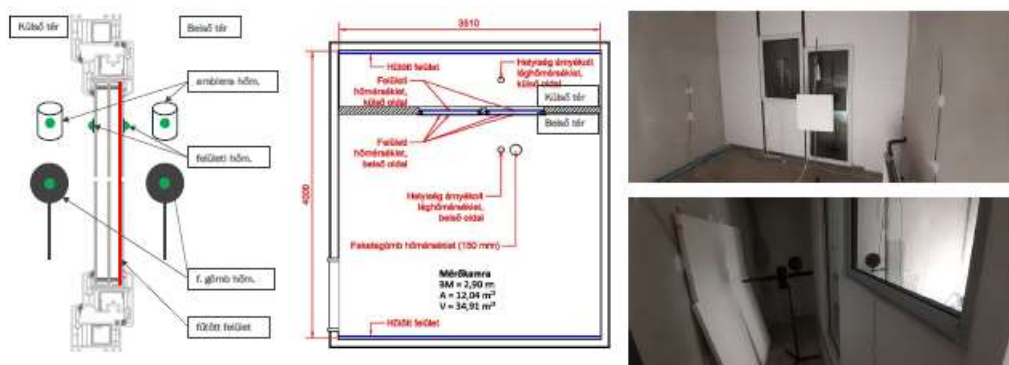
### 3. A végzett mérések

#### 3.1. A mérés célja

- Az üvegezés hőveszteségének meghatározása
- A bevezetett villamos teljesítmény megoszlása a külső és a belső tér irányában
- A külső és belső tér felé kibocsátott hősugárzás meghatározása

Az elvégzett mérés sorozat célja a PTE MIK Épületgépész és Létesítménymérnöki Tanszékének mérőkamrájába telepített fűthető üveg energetikai jellemzőinek meghatározása.

#### 3.2. A mérőkör felépítése



A mérendő ablak egy a mérés céljára épített hőszigetelő falba került elhelyezésre. A hőszigetelő fal két oldalán különböző hőmérsékleteket tudunk létrehozni a fűthető-, illetve hűthető kamrafalakkal. Esetünkben a kamrafalakat hűtöttük, mellyel a fűthető üveggel bevitt hőenergiát szállítottuk el. A mérés során rögzítve lettek a két oldalon a léghőmérsékletek, fekete gömbhőmérsékletek, és az üveg külső és belső felületi hőmérséklete.

#### 3.3. A mérőeszközök

A hőmérséklet mérésekhez Testo 400 típusú kompakt komfortmérő eszközt használtunk. Ezt követően az üvegezés két oldalán egy-egy mérés alkalmával elhelyezésre került egy termikus mérőbábu is, mellyel a hősugárzás hatását vizsgáltuk.

testo 400



Univerzális komfort-mérőműszer

- Fekete gömbhőmérő
- 150 mm, TC type K

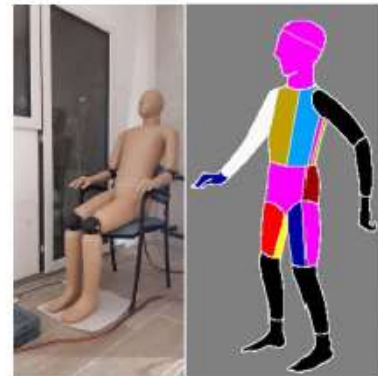


- ambiens hőmérséklet mérő



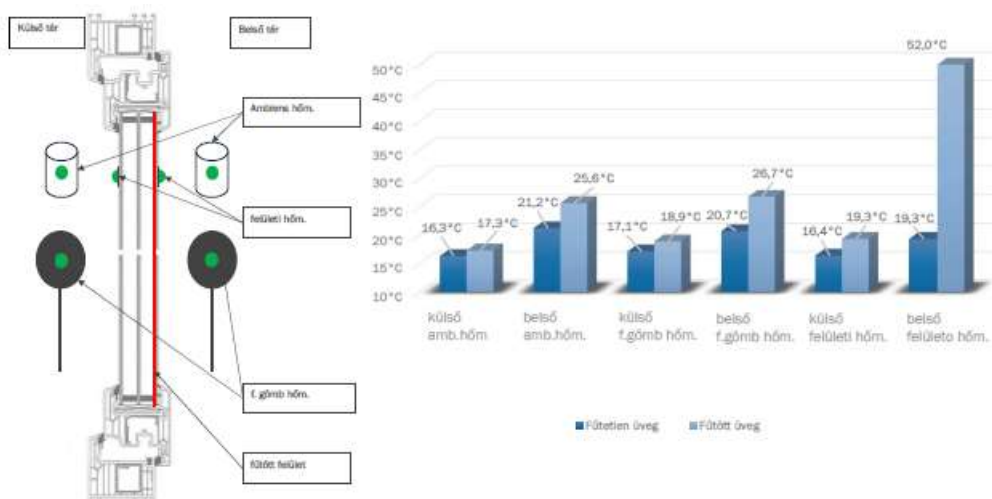
## + termikus mérőbábu

- 22 külön-külön mérhető testrész
- Mérhető bőrhőmérséklet
- Mérhető villamos teljesítmény
- 4féle üzemmód
  - No heat
  - PI
  - Locked power
  - Comfort



## 4. Mérési eredmények

### 4.1. Hagyományos mérőműszerekkel kapott eredmények



Az üvegezés két – „külső” és „belső” – oldalán végzett mérésekből látható, hogy milyen hatással van a két oldalon mért hőmérsékletekre a fűtőfilm.

#### Felületi hőmérsékletek:

A belső oldali felület – amit a fűtőfilm közvetlen melegít – hőmérséklete nagymértékben megnövekedett. Ehhez képest a külső felület hőmérséklete kismértékben növekedett csak. De így is közel 3°C-os hőmérséklet emelkedés figyelhető meg.

#### Fekete gömbhőmérséklet:

A fekete gömbhőmérővel mért értékek esetében a fűtetlen és fűtött állapot között már lényegesen kisebb különbség figyelhető meg a belső oldalon. A külső oldalon is kisebb a hőmérsékletkülönbség a fűtetlen és fűtött állapot között, mint a felületi hőmérsékletek esetében, azonban ez az 1°C-os hőmérsékletkülönbség így is érzékelhető volt.

#### Ambiens (lég-)hőmérséklet:

A mért hőmérsékletekre hatással volt a zárt mérőkamra hőmérséklet emelkedése a bekapcsolt fűtőüveg hatására, ezért a jobb összehasonlíthatóság érdekében további méréseket végeztünk el a termikus mérőbábu segítségével.

## 4.2. Termikus mérőbábuval végzett mérések, eredmények

A termikus mérőbábuval képesek vagyunk testrészenként külön-külön rögzíteni a mért „bőrhőmérsékleteket”, ami a léghőmérséklet, és a környező felületek közepes sugárzási hőmérsékletének hatásaként alakul. A mérőbábút „no heat” üzemmódban használtuk, ami azt jelenti, hogy a bábu nem került felfűtésre, csupán a felületén kialakult hőmérsékleteket rögzítettük.

### Sugárzás vizsgálata a bábu két oldalán kialakult hőmérsékletekkel:

- Üvegezés „belső” oldalán érezhető különbség
- Üvegezés „külső” oldalán kisebb különbség
- Érzékelhető mértékű hőleadás sugárzással a külső tér felé
- Számszerű értékének meghatározása további méréseket igényel

Hőmérsékletkülönbségek vizsgálata jobb- és baloldala között



A bábút először a fűtött oldalon helyeztük el úgy, hogy az üveg a bábu jobb oldalán helyezkedett el, így a bábu jobb oldalára az üveg hőszugárzása közvetlen hatott, a bábu bal oldalára viszont nem volt hatással. A mérést kikapcsolt, és felfűtött üveg esetében is elvégeztük.

Az üveg „külső” oldalán szintén elvégeztük a méréseket a bábu segítségével. Itt is a bábu jobb oldala volt az üveg irányába. A diagramból jól látható, hogy a fűtetlen állapotban a bábu jobb és baloldala között se a külső, se a belső oldalon nincs hőmérsékletkülönbség. Ebből látszódik, hogy a bábura a léghőmérsékleten kívül nincs más hatással.

Amint a fűtést bekapcsoltuk az üvegen a bábu két oldala között megjelent a hőmérsékletkülönbség. A belső oldalon ez a hőmérsékletkülönbség 1,68°C, míg a külső oldalon 0,38°C, amiből látható, hogy az üveg hőszugárzása a külső tér felé lényegesen kisebb, mint a belső tér irányába.



## 5. További kutatási tervek

- Hővesztések alakulásának meghatározása számítással, modellezéssel és méréssel
- Valós környezetben való tesztelés
- Optimális üveg felületi hőmérséklet meghatározása
- Helyiségek hővesztésére gyakorolt hatásának vizsgálata
- Igény szerinti felfűtés – jelenlétérzékelő alkalmazásának lehetősége



### Hőáramsűrűség-mérő:

További kutatási terveink között szerepel a mérések megisméltése hőáramsűrűségmérő segítségével, melytől pontos adatokat várunk a külső és a belső oldali hőleadás tekintetében. Ezek alapján meghatározható az üvegezés hővesztése a külső tér felé, melyet számításokkal is modellezni kívánunk.

### Optimális felületi hőmérséklet:

A kutatás további célja az optimális üveg felületi hőmérséklet meghatározása különböző környezeti paraméterek mellett.

### Helyiség hővesztésére gyakorolt hatása:

Az optimális üveg felületi hőmérséklet meghatározásával elkerülhető az üveg túlfűtésén keresztül a többlet hővesztés. Cél, hogy az üveg felületi hőmérsékletének emelésével a helyiségben ne kelljen a léghőmérsékletet emelni, mellyel a többi szerkezeten keresztül alacsonyabb lesz a hővesztés. Megvizsgálandó, hogy ezzel a módszerrel milyen mértékű üvegezés mellett érhető el energiamegtakarítás.

### Igény szerinti felfűtés:

A hővesztés tovább csökkenthető az üvegezésen keresztül, ha az üveget csak akkor fűtjük fel, ha arra valóban szükség van.

## Forrásjegyzék

[1] B. Cakó és mtsai., *HŐKOMFORT: MÉRÉSEK ÉS SZÁMÍTÁSOK*. Pécs: KomfortMűhely Kft, 2022. [Online]. Elérhető: <https://m2.mtmt.hu/api/publication/32800159>

[2] Grozdiics, Anett Tímea ; Girán, János ; Cakó, Balázs ; Borsos, Ágnes  
*Az irodater komfortjának vizsgálata a munkavállalók szempontjából*  
TUDÁSMENEDZSMENT 24 : 2 pp. 5-17. , 13 p. (2023)

[3] An Efficient Method to Compute Thermal Parameters of the Comfort Map Using a Decreased Number of Measurements. ENERGIES 14 : 18 Paper: 5632 , 14 p. (2021)

# Korszerű diagnosztika az épületgépészeti gyakorlatban

## *Modern diagnostics in building engineering practice*

BUDULSKI László

Pécsi Tudományegyetem Műszaki és Informatikai Kar, Épületgépész- és Létesítménymérnöki Tanszék  
H-7624 Pécs Boszorkány út 2., Magyarország, Baranya megye, budulski.laszlo@mik.pte.hu,  
<https://mik.pte.hu/>

### **Absztrakt**

A mai kor modern építményeinél nagy hangsúlyt kell fektetni a fenntartható energiatudatos üzemeltetésre és használatra, a megfelelő komfortszint vagy ipari elvárások teljesítése mellett. Adott esetben a szabályozási-, használati-, üzemi hibák kiküszöbölése, vagy az energia áramok pontos meghatározása érdekében diagnosztikai módszereket és eszközöket kell használnunk.

A modern diagnosztikai eszközök esetében lehetőség nyílik a roncsolásmentes vizsgálatokra, amelyek költség hatékony, sokrétű és gyors vizsgálatokat tesznek lehetővé. A termográfia hatékony eszköz lehet az energiatudatos üzemeltetésre és hibák kiküszöbölésére, de csak akkor, ha megfelelően alkalmazzák és értelmezik az eredményeket. Ezért szükséges gondosan megtervezni a vizsgálatokat az adott célkitűzések eléréséhez, melyek során sok használati kérdést felvet, hogy egyes kérdésekben miként lehet pontos és az adott célnak megfelelő méréseket elvégezni.

### **Abstract:**

*In today's modern buildings, great emphasis must be placed on sustainable energy-conscious operation and use, in addition to meeting the appropriate comfort level or industrial expectations. In appropriate cases, we have to use diagnostic methods and tools in order to eliminate control, use, and operational errors, or to accurately determine energy flows.*

*In the case of modern diagnostic devices, non-destructive tests are possible, which enable cost-effective, versatile and fast tests. Thermography can be an effective tool for energy-conscious operation and error elimination, but only if the results are properly applied and interpreted. Therefore, it is necessary to carefully plan the tests to achieve the given objectives, during which many questions of use are raised as to how accurate and suitable measurements can be carried out in certain questions.*

### **1. Bevezetés**

Az épületdiagnosztika kezdeti időszakában a vizsgálati módszerek elsősorban a szakemberek tapasztalatain alapultak. Az alkalmazott diagnosztikai eljárások a gyakorlatban jól bevált módszereken nyugodtak, amelyekre gyakran mondták: „Így szoktuk, ebből baj nem lehet.” Ezek a módszerek sokszor szubjektív megközelítéseken alapultak, a vizsgálatok során az épület állapotát sokszor kézi érzékeléssel, úgymond

„kézrátételes” technikával értékelték, bízva abban, hogy ez elegendő a megfelelő működés megítéléséhez.

Az épület állapotának felméréséhez hőmérséklet- és nyomásmérő eszközöket is használtak, amelyek adatai alapján a szakemberek következtetéseket vontak le és sok esetben előrejelzéseket, „jóslatokat” tettek az épület jövőbeli teljesítményére vonatkozóan. Ezek az előrejelzések azonban gyakran nem voltak kellően megalapozottak és objektív mérési adatokon nyugvóak.

Az épületdiagnosztika ezen kezdeti szakaszában a technológiai eszközök és az adatgyűjtés lehetőségei korlátozottak voltak, így a diagnosztikai folyamatok elsősorban az emberi érzékelésre és tapasztalatra épültek. Azóta a diagnosztikai technikák jelentős fejlődésen mentek keresztül, modern eszközök és objektív mérési módszerek alkalmazásával, amelyek pontosabb és megbízhatóbb eredményeket biztosítanak.



1. ábra: Egy régi hőközpont az akkori technikai feltételekkel (fotó: Baumann Mihály)

## **2. A korszerű épületdiagnosztika jelentősége**

A modern épületdiagnosztika jelentősége napjainkban egyre növekszik, különösen a bonyolult rendszerekkel és számos rendszerrel rendelkező épületek esetében. Az épületfelügyeleti rendszerek megléte alapvető elvárássá vált, hiszen ezek a rendszerek biztosítják a különböző alrendszerek közötti hatékony kommunikációt és együttműködést.



A különböző rendszerek egymásra hatása és szoros kapcsolata miatt elengedhetetlen a pontos és megbízható diagnosztikai módszerek alkalmazása.

Az épületgépészeti rendszerekkel szemben támasztott igények jelentősen megnöttek az utóbbi években. Míg korábban ezek az igények főként nagyobb létesítményekre vonatkoztak, ma már a családi házak esetében is magas szintű gépészeti elvárásokkal kell számolni. Az épületek tulajdonosai és felhasználói egyaránt elvárják, hogy az épületgépészeti rendszerek ne csak kiválóan működjenek, hanem energiatudatosan és hatékonyan üzemeljenek.

Fontos szempont, hogy a rendszerek kezelése és működtetése a felhasználók számára is egyszerűen elsajátítható legyen. Az energiatudatosság egyre inkább előtérbe kerül, különösen a magas energiaárak miatt. Ezért alapvető követelmény, hogy az épületgépészeti rendszerek kiváló hatékonysággal működjenek, minimalizálva az energiafogyasztást, miközben maximális kényelmet és teljesítményt nyújtanak.

Összességében a korszerű épületdiagnosztika nélkülözhetetlen eszközzé vált a mai építőiparban, amely biztosítja a bonyolult épületrendszerek megfelelő működését, és segít az energiahatékonyság növelésében, ezzel hozzájárulva a fenntartható és gazdaságos üzemeltetéshez.

### **3. Diagnosztizálási lehetőségek korszerű épületek esetében**

A mai modern épületek diagnosztizálására számos fejlett eszköz és módszer áll rendelkezésre, amelyek jelentősen megkönnyítik a pontos és hatékony vizsgálatokat. A korszerű térfogatáram- és hőmennyiségmérők elérhetőek és megfizethetőek, lehetővé téve a pontos adatgyűjtést és elemzést.

A szivattyúk fejlődése is jelentős előrelépést hozott; napjainkban már számos szivattyú alkalmas a térfogatáram meghatározására vagy mérésére, ami nagyban hozzájárul a rendszer hatékony működéséhez és ellenőrzéséhez. Ezen kívül a szabályozó szelepek korszerű kialakítása, beleértve a mérőcsonkos és SMART kiviteleket, további lehetőségeket biztosít a precíz szabályozásra és mérésre.

Az épületfelügyeleti rendszerek alkalmazása révén több érzékelési pont áll rendelkezésre, amelyek folyamatosan figyelik és jelentik a különböző paramétereket. Ezek a rendszerek egyre inkább SMART technológiával működnek, amely több érzékelő

jelei alapján automatikusan cselekszik, optimalizálva ezzel az épület működését és energiafelhasználását.

Továbbá, korszerű diagnosztikai mobil mérőeszközök állnak rendelkezésre, amelyek akár roncsolás és bontás nélküli diagnosztizálást is lehetővé tesznek. Ezek az eszközök gyors és pontos adatokat szolgáltatnak az épület állapotáról, lehetővé téve a problémák időbeni felismerését és megoldását.

A modern diagnosztikai eszközök és módszerek széles skálája biztosítja, hogy az épületgépészeti rendszerek hatékonyan és megbízhatóan működjenek, minimalizálva az energiafogyasztást és maximalizálva a kényelmet és a teljesítményt.

#### 4. Intelligens vagy okos szelepek, mint térfogatáram mérők

Az intelligens vagy okos szelepek számos előnyös tulajdonsággal rendelkeznek, amelyek lehetővé teszik széles körű alkalmazhatóságukat és többféle szabályozási mód beállítását. A piacon elérhető okos szabályozók, a teljesség igénye nélkül, mindegyike tartalmazza a hőmennyiségmérést is. Az alábbiakban néhány példa található a különböző gyártók intelligens szelepeire, amelyek térfogatáram méréssel is rendelkeznek:

- **IMI** 1-utú szabályozó szelepek, térfogatáram, hőmérséklet- és teljesítmény méréssel (DN20 - DN125 méretben, 0.008 - 112 m<sup>3</sup>/h, **MID/EN1434 szerint**)
- **TA-Smart szabályozó szelep** – EQM karakterisztikájú szelep
- **TA-Smart-Dp szabályozó szelep** – EQM karakterisztikájú szelep, elektronikus nyomáskülönbség stabilizálással rendelkezik [EQM – *equal percentage modified* – *egyenlőszázalékos módosítás*]
- **SIEMENS** 1 és 2-utú szabályozó szelepek, térfogatáram, hőmérséklet- és teljesítmény méréssel (DN15 - DN125 méretben, 0.45 - 120 m<sup>3</sup>/h)
- **Intelligens szabályozó szelep** – opcióként külön érzékelőkkel is képes együtt működni

(külső nyomás-különbség-érzékelő; másodlagos előremenő hőmérséklet érzékelő; külső hőmérséklet érzékelő)

- **BELIMO** 1 és 2-utú szabályozó csapok, térfogatáram, hőmérséklet- és teljesítmény méréssel

(DN15 – DN150 méretben, 1.5 - 162 m<sup>3</sup>/h, **MID/EN1434 szerint**)

- **Energy Valve szabályozó csap** – opcióként EDPV nyomásszabályozás [EDPV – electronic differential pressure valve – elektronikus nyomáskülönbség szabályozás]

Fontos megjegyezni, hogy a víz és etilén-glikol keverék használata csökkentheti a térfogatáram mérési pontosságát, ezért ilyen esetekben különös figyelmet kell fordítani a megfelelő mérési módszerek alkalmazására.

Az intelligens szelepek fejlett szabályozási képességeiknek köszönhetően jelentősen hozzájárulnak a rendszerek hatékonyságának és megbízhatóságának növeléséhez, miközben biztosítják a pontos méréseket és szabályozást a különböző alkalmazási területeken.

## **5. Intelligens vagy okos szivattyúk, mint térfogatáram mérők**

Az intelligens vagy okos szivattyúk is számos előnyös tulajdonsággal rendelkeznek, amelyek széles körű alkalmazhatóságot és többféle szabályozási mód beállítását teszik lehetővé. Ezek a szivattyúk képesek meghatározni a térfogatáramot és a hőmennyiséget, így optimalizálva a rendszer működését. Az alábbiakban néhány példa található a különböző gyártók intelligens szivattyúira, amelyek térfogatáram méréssel is rendelkeznek:

- WILO
  - **Maxo szivattyú** – hőmérséklet érzékelő csatlakozási ponttal rendelkezik (a felvett teljesítményből és a fordulatszámából meghatározza, illetve „megbecsüli” a térfogatáramot)
  - **Giga 2.0** – nyomáskülönbség- és hőmérséklet érzékelő csatlakozási pontokkal rendelkezik  
(a mért nyomáskülönbségből és a fordulatszámából határozza meg a térfogatáramot)
- GRUNDFOS
  - **Magna 3 (nedvestengelyű) és TPE3 (száraztengelyű) szivattyú** – nyomáskülönbség és hőmérséklet kombinált távadóval rendelkezik; opcionálisan még egy hőmérsékletmérő csatlakoztatható (hőmennyiségmérés, teljesítménymérés (a felvett teljesítményből, a fordulatszámából és a nyomásból meghatározza, illetve „megbecsüli” a térfogatáramot)  
Térfogatram tekintetében pontosságuk relatív 3-4%

Figyelnni kell a térfogatáram mérés meghatározás ezen esetében is, a víz és etilén-glikol keverék használata csökkentheti a térfogatáram mérési pontosságát.

Az intelligens szivattyúk fejlett szabályozási képességeik révén jelentősen hozzájárulnak a rendszerek hatékonyságának és megbízhatóságának növeléséhez. Ezek a szivattyúk nemcsak pontos méréseket biztosítanak, hanem lehetővé teszik az energiahatékony üzemeltetést is, ami különösen fontos a fenntarthatóság és a költséghatékonyság szempontjából.

## 6. Hőáramsűrűség mérési lehetőségei

Számos, különböző célra gyártott hőáramsűrűség mérésére alkalmas szenzor áll rendelkezésre, amelyek lehetővé teszik a hőáram pontos mérését különböző felületeken és környezeti viszonyok között. Ezek az érzékelők különböző specifikációkkal rendelkeznek a mérések optimalizálása érdekében:

- **Csövek és csatornák felületén keresztüli hőáram mérésére**

- Ezek a szenzorok rugalmasak, vékony rétegűek és kis hőellenállással rendelkeznek, lehetővé téve a pontos méréseket a csövek és csatornák külső felületén.

- **Sík felületen történő hőáram mérésére**

Nagy felületű, kis vastagságú és kis hőellenállású szenzorok biztosítják a megbízható hőáramsűrűség mérést sík felületeken, minimalizálva a hőveszteséget és növelve a mérés pontosságát.

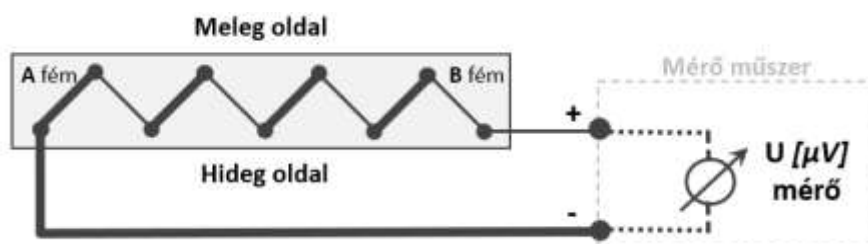
- **Ultraérzékeny ipari hőáramlás-érzékelők**

Ezek a szenzorok magas hőmérsékletű környezetben is működnek, és vízálló kivitelük révén szélsőséges ipari körülmények között is alkalmazhatók, biztosítva a precíz hőáram mérést.

A különböző típusú hőáramsűrűség mérő szenzorok széles választéka lehetővé teszi, hogy a felhasználók a speciális igényeiknek és alkalmazási területüknek megfelelően válasszanak. Az ilyen fejlett mérőeszközök használata nemcsak a pontos hőáram mérést biztosítja, hanem hozzájárul a hatékony energiagazdálkodáshoz és a rendszer optimalizálásához is, különösen ipari alkalmazásokban, ahol a hőáram precíz mérése kritikus jelentőségű.

## 6.1. Hőáramsűrűségmérők működése

A hőáramsűrűségmérők általában több hőelemet tartalmaznak, melyeknek a hőmérséklet különbség hatására indukált feszültségéből ( $U$ ) kiszámítható az érzékenység ( $S$ ) alapján a hőáram ( $q$ ), így a hőáram sűrűség számolható  $q = U / S$  [ $\text{W}/\text{m}^2$ ].



2. ábra: Hőáramsűrűségmérő elvi felépítése (saját szerk.)

## 7. Épületgépészeti rendszerek hőkamerás vizsgálata

A hőkamerás vizsgálatok az épületgépészeti rendszerek hatékony elemzésének egyik legfontosabb eszközeivé váltak. A felületi hőmérséklet és hőmérséklet-különbségek vizsgálata alapján számos következtetés vonható le, amelyek segítségével optimalizálható a rendszerek működése és csökkenthető az energiafelhasználással kapcsolatos veszteségek.

A hőkamerás vizsgálatok alkalmazhatók a következő épületgépészeti területeken:

- **Hővesztések felkutatása:** Például a csővezetékek szigetelésének ellenőrzésével kimutathatók az esetleges hővesztések.
- **Kazánok hővesztésének felülvizsgálata:** A hőkamerák segítségével a kazánok működésének hatékonysága is ellenőrizhető.
- **Felületfűtések és -hűtések ellenőrzése:** A padlófűtések és falfűtések állapotának felmérésére is kiválóan alkalmas.
- **Szivárgásvizsgálatok:** Bizonyos körülmények között a szivárgások is észlelhetők hőkamerával.
- **U-érték mérés:** Az épületek hőátbocsátási tényezőjének meghatározása is elvégezhető.
- 

### 7.1. Hőkamerák működése és használata

A termográfiai alapelvek szerint az ideális sugárzó a fekete test, de a valóságos vizsgálandó objektumok eltérhetnek ettől. A gyakorlatban használt hőkamerák a hosszuhullámú infrasugárzás intenzitását (LWIR) mérik, 8-15  $\mu\text{m}$  hullámhossztartományban. A számítások a mért felület emissziós tényezőjének ( $\epsilon$ ) és a reflektált hőmérsékletnek (RTC) figyelembevételével történnek.

Az érzékelt sugárzás, vagyis a felületi hőmérsékletet befolyásoló tényezők:

- **Emisszió ( $\epsilon$ ):** A test saját hőszugárzása.
- **Reflexió ( $\rho$ ):** A környezetből érkező és visszavert sugárzás.
- **Transzmisszió ( $\tau$ ):** A testen áthaladó sugárzás.

Az emissziós tényező meghatározása különböző módszerekkel történhet. Az egyik módszer, az úgynevezett fix emissziós felület rátéttel, ilyen például a piacon kapható fix emissziós csík.

Testo fix emissziós csík gyártói adatszolgáltatás alapján:

- Hőállóság: +250 °C-ig
- Ismert emissziós tényező:  $\varepsilon = 0,95$
- Méretek: Hossz: 10 m, szélesség: 25 mm
- Használható fényes felületekre és ismeretlen emissziós tényezőjű felületekhez.

A másik módszer, amikor táblázatok segítségével határozzuk meg, ilyen lehet az eszköz használati útmutatójában és az interneten számos anyaghoz található emissziós tényezők.

Testo  $\varepsilon$ -Matrica és  $\varepsilon$ -Assisztens

- A Testo  $\varepsilon$ -Assisztens automatikusan beállítja az emissziós tényezőt ( $\varepsilon$ ) és a reflektált hőmérsékletet (RTC).
- A felületre felragasztott Testo  $\varepsilon$ -jelölő referencia matrica segítségével a hőkamera a Testo  $\varepsilon$ -Assist funkcióval automatikusan meghatározza az emissziós tényezőt ( $\varepsilon$ ) és a reflektált hőmérsékletet (RTC).

## 8. Következtetések

A hőkamerás vizsgálatok átfogó képet adnak az épületgépészeti rendszerek állapotáról és hatékonyságáról, lehetővé téve a pontos diagnosztikát és az energiahatékonyság növelését, az energiafelhasználás mérséklését.

## Forrásjegyzék

[1]B. Cakó és mtsai., *HŐKOMFORT: MÉRÉSEK ÉS SZÁMÍTÁSOK*. Pécs: KomfortMűhely Kft, 2022. [Online]. Elérhető: <https://m2.mtmt.hu/api/publication/32800159>

[2]M. Baumann, L. Lenkovics, és L. Budulski, „REHAU új fejlesztésű felülethűtés- fűtés teljesítménymérési jegyzőkönyv.”, 2020, [Online]. Elérhető: <https://m2.mtmt.hu/api/publication/32579034>

[3]L. Budulski, Méréstechnika és épületenergetikai diagnosztika. „TANANYAGFEJLESZTÉS GYAKORLATI, MŰHELY- ÉS ESZKÖZIGÉNYES LABORATÓRIUMI KURZUSOKRA” pályázat keretén belül készített dokumentum. Pécs: Pécsi Tudományegyetem, Pollack Mihály Műszaki Kar, 2021. [Online]. Elérhető: <https://m2.mtmt.hu/api/publication/32506212>

[4]M. Eördöghné Miklós, J. A. Parrag, és L. Budulski, „Szivattyúzás energiahatékonysági vizsgálata új értelmezésű energiaparaméter felhasználásával =Investigation of Energy Efficiency of Pumping Systems by a Newly Specified Energy Parameter”, előadás XX. Nemzetközi Építéstudományi Konferencia: ÉPKO 2016 =20th International conference on civil engineering and architecture, G. Köllő, Szerk., in Nemzetközi Építéstudományi Konferencia, ISSN 1843-2123. Kolozsvár: Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság (EMT), 2016, o. 58–62. [Online]. Elérhető: <https://m2.mtmt.hu/api/publication/3098132>



# Különleges anyagok és eljárások a fémnyomtatásban

## *Special materials and processes in metal printing*

VASVÁRI Gyula Ferenc<sup>1\*</sup>, ZSEBE Tamás<sup>1</sup>, CSONKA Dávid<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Pécsi Tudományegyetem - Műszaki és Informatikai Kar, Gépészmérnöki Tanszék

\* levelező szerző: E-mail: [vasvari.gyula@mik.pte.hu](mailto:vasvari.gyula@mik.pte.hu)

### **Absztrakt**

A cikk célja a fémhuzal felrakóhegesztésen alapuló 3D fémnyomtatási technológia fejlesztésének és alkalmazásainak bemutatása. A kutatás során az eljárás technikai aspektusait, a fejlesztési folyamatot és a potenciális ipari alkalmazásokat tárgyaljuk. Az eredmények bemutatják a technológia előnyeit, valamint a további fejlesztési lehetőségeket, amelyek hozzájárulhatnak a fémalapú additív gyártás terjedéséhez és innovációjához.

**Kulcsszavak:** additív gyártás, hegesztési technológiák, fémhuzalos felrakó ívhegesztésen alapuló additív gyártás (WAAM- Wire Arc Additive Manufacturing), 3D fémnyomtatás, ipari alkalmazások, biokompatibilis fémek, titán ötvözet, korrózióálló acél

### **Abstract:**

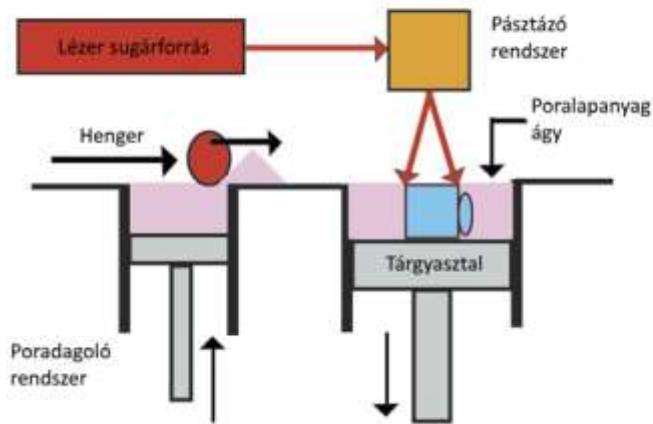
The purpose of this article is to present the development and applications of 3D metal printing technology based on metal wire welding. During the research, we discuss the technical aspects of the process, the development process and potential industrial applications. The results show the advantages of the technology as well as the further development opportunities that can contribute to the spread and innovation of metal-based additive manufacturing.

**Keywords:** additive manufacturing, welding technologies, additive manufacturing based on wire arc welding (WAAM-Wire Arc Additive Manufacturing), 3D metal printing, industrial applications, biocompatible metals, titanium alloy, corrosion-resistant steel

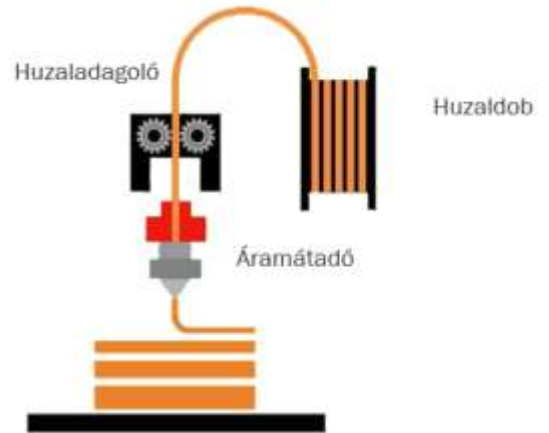
## **1. Bevezetés**

Az additív gyártás, különösen a 3D fémnyomtatás, az utóbbi évtizedekben jelentős fejlődésen ment keresztül. A fémhuzal felrakóhegesztés (Wire Arc Additive Manufacturing, WAAM) az egyik legígéretesebb eljárás a nagy térfogatú fém alkatrészek gyártásában. E technológia lehetőséget nyújt költséghatékony és nagy sebességű gyártási folyamatok megvalósítására, amelyek különösen fontosak az ipari alkalmazásokban.

- Fémporos eljárások



- Fémhuzal adagolásos technológiák

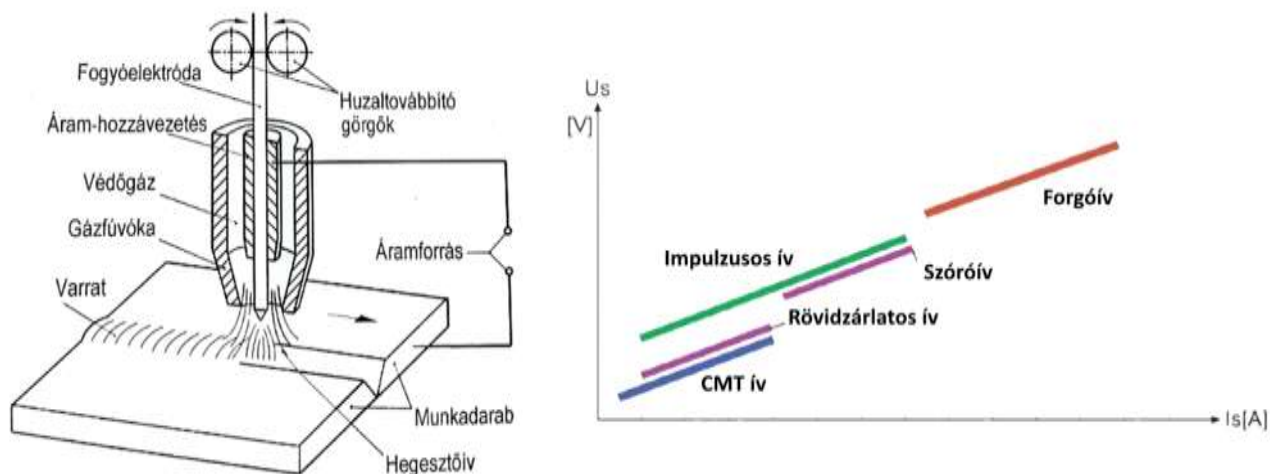


1. ábra: Additív technológiák

## 2. A fémhuzal felrakóhegesztés technológiai háttere

### 2.1. Technológiai eljárás

A fémhuzal felrakóhegesztés egy additív gyártási eljárás, amely során fémhuzalt használnak fel egy elektromos ívhegesztési folyamat keretében, hogy rétegről rétegre építsenek fel egy háromdimenziós alkatrészt. Az eljárás során a hegesztési ív folyamatosan olvasztja meg a fémhuzalt és a hegesztőfej mozgásával egyfajta felrakóhegesztési eljárásként rétegről-rétegre építjük fel a kívánt alakzatot.



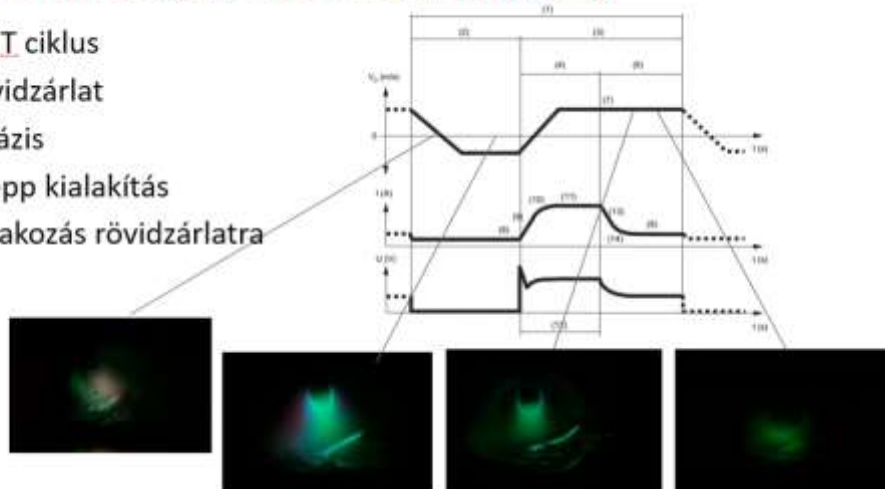
2. ábra: Ívhegesztési technológiák

## 2.2. Előnyök és hátrányok

A WAAM technológia előnyei közé tartozik a nagy alkatrészek gyors és költséghatékony előállítása, valamint a széles anyagválaszték, amelyet az eljárás támogat. A hátrányok közé tartozik a felületi minőség és a geometriai pontosság kihívása, amelyeket folyamatosan javítani kell a technológiai fejlődés érdekében. WAAM technológiát alkalmazó kísérleteink során CMT(Cold Metal Transfer) hegesztési technológiát használtunk.

### CMT technológia (Cold Metal Transfer)

1. CMT ciklus
2. Rövidzárlat
3. Ív fázis
4. Csepp kialakítás
5. Várakozás rövidzárlatra



3. ábra: CMT ciklus

### 3. A fejlesztési folyamat

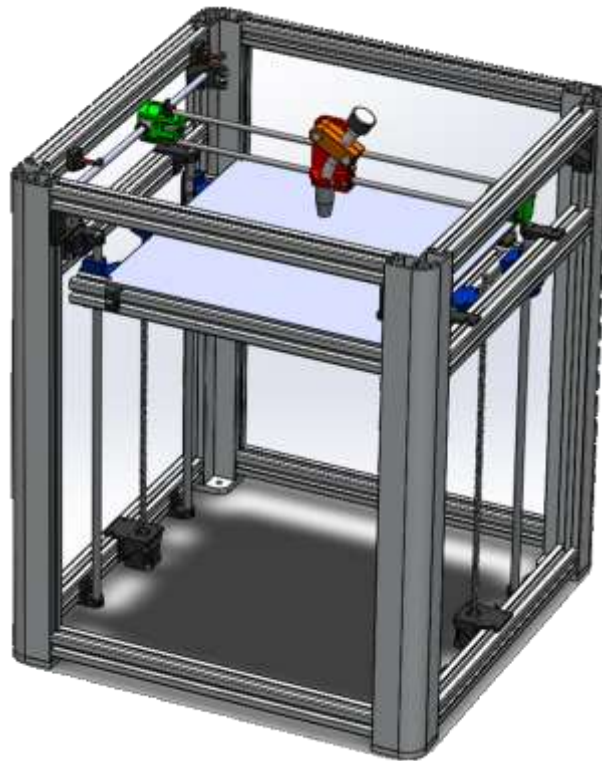
#### 3.1. Kísérleti beállítások és módszerek

Kezdeti kísérleteink során egy CO<sub>2</sub> lézerhegesztőt használtunk. Egy saját lézerhegesztésen alapuló huzal alapanyaggal felrakóhegesztést végző berendezést építettünk (WLAM- Wire and laser additive manufacturing). A lézer felrakóhegesztési technológián alapuló kísérleteink részeredményekkel jártak. Nem tudtunk magas falakat rétegről-rétegre felépíteni ezért áttértünk CMT technológia alapú WAAM technológiára.

A további kísérletek során különböző fémhuzal típusokat és hegesztési paramétereket teszteltünk, hogy meghatározzuk az optimális beállításokat a legjobb minőségű nyomatok elérésére. A kutatás során a következő tényezőket vizsgáltuk: huzal átmérője, hegesztési áram és feszültség, valamint a nyomtatási sebesség.



4. ábra: WLAM berendezés



5. ábra: CMT WAAM berendezés látványterve



6. ábra: CMT WAAM munkaállomás

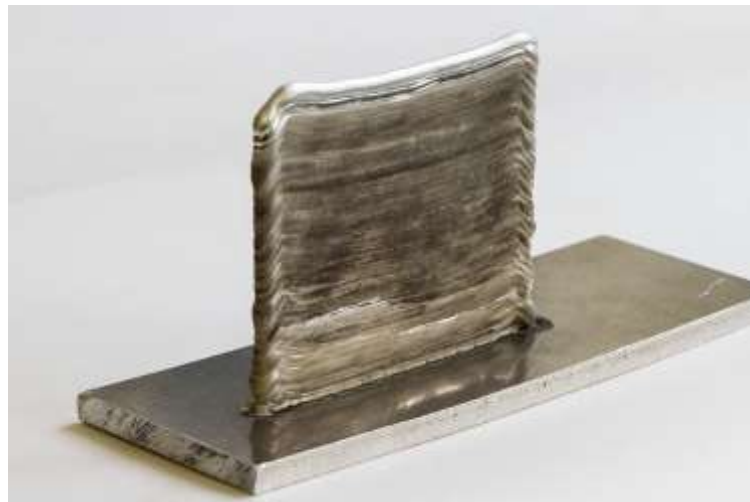
### 3.2. Eredmények és Értékelés

A kísérletek során a legjobb eredményeket akkor értük el, amikor az optimális áram- és feszültségértékeket használtuk. Az eredmények alapján a felrakott rétegek egyenletesek voltak, és a nyomtatott alkatrészek megfeleltek a kívánt geometriai és mechanikai tulajdonságoknak.



7. ábra: WLAM technológiával készült többsoros varratok keresztmetszetei

A kísérleteink során először egy alumínium ötvözettel (AlMg4,5Mn0,7) dolgoztunk. További kísérleteinket rozsdamentes acél (W.Nr.: 1.4316 (AISI 308LSi)) és titán (Ti6Al4V grade 5) ötvözetekkel végeztük.



8. ábra: CMT WAAM technológiával készült alumínium fal





9. ábra: CMT WAAM technológiával készült rozsdamentes minta



10. ábra: CMT WAAM technológiával készült Ti minta

## **4. Ipari Alkalmazások**

### **4.1. Lehetőségek és kihívások**

A WAAM technológia számos ipari alkalmazásra kínál megoldásokat, például az űriparban, a repülőgépgyártásban és a gépiparban. Az ipari felhasználás során fontos figyelembe venni a gyártási folyamatok költségeit, a termékek minőségét és a gyártási sebességet.

#### **4.2. Jövőbeli Kilátások**

A jövőbeli fejlesztések célja a technológia továbbfejlesztése a felületi minőség javítása és a gyártási sebesség növelése érdekében. Továbbá, új anyagok és technológiai újítások integrálása is várható a WAAM technológia jövőbeli fejlődésében.

#### **5. Következtetések**

A fémhuzal felrakóhegesztésen alapuló 3D fémnyomtatás egy ígéretes technológia, amely jelentős előnyöket kínál a nagy térfogatú fémalkatrészek gyártásában. A kutatás eredményei rávilágítanak arra, hogy a technológia már most is sok ipari alkalmazásra alkalmas, de további fejlesztések szükségesek ahhoz, hogy teljes mértékben kihasználhassuk a WAAM eljárás potenciálját.

#### **Köszönetnyilvánítás**

Köszönetet mondok a Pécsi Tudományegyetem Gépészmérnöki Tanszékének támogatásáért és a kutatási projekt keretében végzett munkáért. Külön köszönet illeti a Salvonski Brod-i Egyetem gépészmérnöki PhD program vezetőit és a munkacsoport tagjait az értékes hozzájárulásukért.

#### **Forrásjegyzék**

[1] F. H. Sanders, "Introduction to Additive Manufacturing Technologies," *Journal of Manufacturing Processes*, vol. 31, pp. 113-122, 2020.

[2] S. L. Wang, "Wire Arc Additive Manufacturing: A Review of Processes and Applications," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 270, pp. 217-230, 2021.

[3] J. K. Lee, "Recent Advances in Wire Arc Additive Manufacturing," *Materials Science and Engineering*, vol. 586, pp. 55-67, 2022.



## A jövő gyártási trendje: 3D fémnyomtatott alkatrészek megmunkálhatósága

### *The future manufacturing trend: machinability of 3D printed metal components*

FENYVESI Sándor<sup>1,2</sup>, Dr. KERESZTES Róbert Zsolt<sup>2</sup>, Dr. ZSIDAI László<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Pécsi Tudományegyetem, Műszaki és Informatikai Kar

<sup>2</sup>Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem Tudományegyetem, Műszaki Tudományi Doktori Iskola

#### **Absztrakt:**

A tanulmány célja a 3D nyomtatott fémalkatrészek forgácsolhatóságának vizsgálata, és ennek az előkészítési folyamatának bemutatása. A mérések előkészítése során kiemelt figyelmet kapott a hőmérséklet mérés módszerének szoftveres támogatása. A mintadarab méretének meghatározása, a hőmérsékletre vonatkozó próba mérés elvégzése és a mérés paramétereinek megállapítása fontos lépések a megfelelő forgácsolási folyamat beállításához. Az absztrakt részleteiben a kísérletek tervezésére és az eredmények értelmezésére fókuszál, hangsúlyozva a tanulmány fontosságát a fémalkatrészek gyártásában. A tanulmány összességében a további kísérletek előkészítésére összpontosít, hogy azok hatékonyan és zökkenőmentesen mehessenek végbe.

**Kulcsszavak:** 3D fémnyomtatás, fém alkatrészek forgácsolhatósága, forgácsolási hőmérséklet mérése, felületi érdesség, forgácsolási paraméterek

#### **Abstract:**

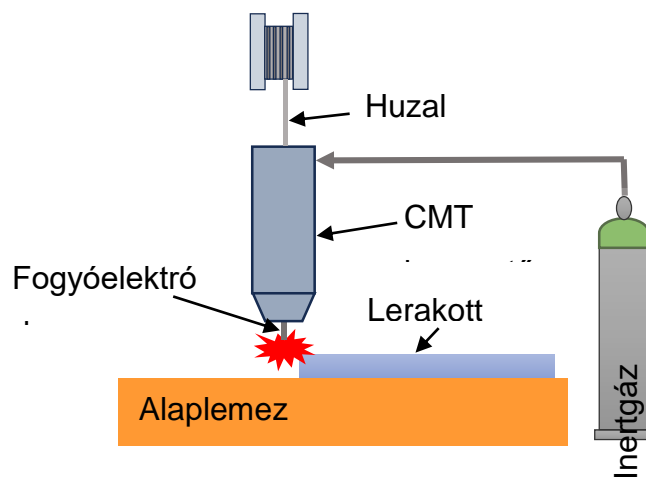
The aim of the study is to investigate the machinability of 3D printed metal components and to present the preparation process. Special attention was given to the software support of temperature measurement methods during the preparation of measurements. Determining the size of the sample, conducting test measurements related to temperature, and establishing the parameters of the measurements are important steps for setting up the appropriate machining process. The abstract focuses on the design of experiments and interpretation of results, highlighting the importance of the study in the manufacturing of metal components. Overall, the study focuses on preparing for further experiments to ensure they can be carried out efficiently and smoothly.

**Keywords:** 3D metal printing, machinability of metal parts, measurement of cutting temperature, surface roughness, cutting parameters

## **1. Bevezetés**

Az additív gyártási eljárások közül a 3D fémnyomtatás az egyik leginnovatívabb technológia, amely lehetővé teszi a bonyolult geometriájú alkatrészek hatékony és gyors

gyártását. A Direct Energy Deposition (DEP) módszer egy olyan fémnyomtatási eljárás, mely rétegről rétegre építi fel a háromdimenziós objektumokat (Johnnie Liew Zhong Li, 2019). Ennek a technológiának egyik osztálya a Wire-Arc AM (WAAM) eljárás, melynek módosított változatait is vizsgálni fogom a kutatás során. Az 1. ábra bemutatja a WAAM-CMT elvi vázlatát, mely részletezi a fémalkatrészek gyártási folyamatát.



1. ábra: WAAM-CMT technológia elvi vázlata

A Cold Metal Transfer (CMT) folyamatban a hegesztőpisztoly huzalelektrodája érintkezésbe kerül az olvadékkal, mely során a „robacter drive” szervomotorja digitális folyamatvezérléssel irányt vált. Ennek eredményeképpen elősegítik a csepp átvitelt és a huzal visszahúzását. Az áram csökkenése közel nullára történik a fém átvitel során, így hatékonyan elkerülhető a fröcskölés képződése. Az átvitel befejeződése után az ív újra kialakul és a huzalt a beállított hegesztőáram visszaáramlásával újra előre vezetik.

A 3D fémnyomtatás során a megfelelő nyomtatási paraméterek helyes beállítása elengedhetetlen a kívánt alkatrész fizikai és mechanikai tulajdonságainak hatékony befolyásolásához.

A fejlett 3D fémnyomtatás technológiájának előretörése lehetővé teszi a bonyolult és precíz alkatrészek gyártását. Az ilyen alkatrészek gyakran további megmunkálást igényelnek, például forgácsolást, hogy elérjék a kívánt végleges formát és méreteket. A forgácsolási folyamat során kiemelten fontos a megfelelő hőmérséklet fenntartása, a szerszámkopás és szerszámélettartam figyelemmel kísérése, valamint az alkatrész megfelelő méretének, alakjának és felületi érdességének elérése.

A kutatásunk során részletesen fogom elemezni és bemutatni a szoftveres megoldások eredményeit, melyek célja a 3D fémnyomtatott alkatrészek forgácsolhatóságának javítása. A törekvésünk az, hogy korszerű és hatékony módszereket alkalmazzunk a folyamatban annak érdekében, hogy a forgácsolási folyamat hatékonyabb és eredményesebb legyen.

A műszaki gyakorlatban alkalmazott forgácsolási hőmérséklet mérésének fontossága kiemelt téma a tudományos közösség számára. A termoelem használata lehetővé teszi a folyamatmonitorozást, amely elengedhetetlen a forgácsolási folyamat hatékony végrehajtásához. A kutatás során kulcsfontosságú tényezőnek tartjuk a speciális szoftver kifejlesztését, amely segíti a termoelemes mérések pontos és hatékony végrehajtását. Ennek segítségével tervezünk kísérleteket végezni a forgácsolási hőmérséklet mérésre és a mintadarabok méretéhez kapcsolódó paraméterek meghatározására. A mérések alapján nyert adatok fontosok lesznek a további forgácsolási folyamat optimalizálása és minőségjavítása szempontjából.

Az előkutatás során egy C45 anyagminőségen próbamérést végeztünk, hogy teszteljük a mérési módszert és a szükséges technikai feltételeket. A próbamérések során a forgácsolási beállítások, a hőmérséklet és a felületi érdesség összefüggéseit vizsgáltuk.

Ezen közleményben részletesen bemutatjuk a próbamérések eredményeit, a végrehajtott méréseket és azok analíziseit. Az elemzések során előzetes kutatásokra és szakértői véleményekre is hivatkozunk annak érdekében, hogy megbízható és alapos eredményeket nyújtsunk az olvasóknak. A következő fejezetekben részletesen ismertetjük a próbamérések módszereit, eredményeit és az azokból levonható következtetéseket.

## 2. Anyagok és módszerek

### 2.1. Anyagok

#### C45 acél

A kísérletek során C45 szénacélból készült köracél előgyártmányokat használtunk. Az előgyártmány 0,43-0,50% széntartalommal rendelkezik, közepes szén- és közepes szakítószilárdságú acélnak tekinthető. Ezt az anyagot gyakran alkalmazzák forgácsoló műveletek során, mivel jól forgácsolható és könnyen alakítható különböző alkatrészek és próbatestek előállítására.

A C45 acélból készült mintákat sok ipari cég felhasználja, mivel ez az anyag szabványos, kereskedelemben könnyen beszerezhető, és garantált kémiai és mechanikai tulajdonságokkal rendelkezik (A Panda, 2016). Az 1. táblázatban található a C45 acél kémiai összetétele.

#### 1. táblázat A C45 anyag kémiai összetétele (Numbers, 2024)

ISO C45 acél névleges kémiai összetétele (tömeg%)										
C	Si	Mn	S	P	Cr	Mo	Ni	Al	Cu	Fe
0,45	0,25	0,65	0,025	0,008	0,4	0,1	0,4	0,01	0,17	balance

#### 2.1.1. Nyomtatott anyag anyagminőségének bemutatása

A vizsgálat célja az AlMg4.5Mn0.7 (EN AW-5083) ötvözetből gyártott alkatrész mechanikai tulajdonságainak megállapítása, melyet 60 mm átmérőjű és 130 mm hosszú darabokon végeztünk el. Az alkatrész mechanikai jellemzőit a 2. táblázat tartalmazza.

## 2. táblázat Az EN AW-5083 anyagminőség fő jellemzői (Numbers, 2024)

EN AW-5083 anyagminőség fő jellemzői			
Anyagszám	Rövid megnevezés	Szakítószilárdság [MPa]	Folyáshatár Rp0.2 [MPa]
EN AW-5083	AlMg4,5Mn	>275	>125

Az EN AW-5083 a kutatások alapján közepes erősségű anyag, mely kiválóan ellenáll a vegyszereknek és nem keményedik. Magas polírozhatóságú és kiváló korrózióállósággal rendelkezik. Dudzik és munkatársai (Dudzik, 2011) eredményei alapján megfelelő hegeszthetőséggel rendelkezik. Zoltán Meiszterics és társai (Zoltán Meiszterics, 2019) kutatása szerint a hegesztési varratok és a hegesztési varratokból nyomtatott alkatrészek szinte azonos korrózióállósággal bírnak, mint az alapanyag. Bouhamed (Bouhamed, 2021) tanulmánya szerint korróziónak és tengervíznek ellenálló, közepes igénybevételű konstrukciókban használható, például az élelmiszer- és vegyiparban, az építőiparban, az autóiparban és a hajógyártásban.

### 2.2. Szerszám és gép

Az OPTIMUM TH4210 egytetemes esztergagépen végzett kísérletek során a gép 4,5 kW teljesítményt és 1800 fordulat/perc maximális fordulatszámot biztosított. Az előtolás tartománya 0,05 - 1,7 mm/ford. volt. A gép hűtő kenőanyag rendszerrel is rendelkezik, bár a száraz megmunkálás miatt ennek használata nem volt szükséges. A kísérletekben bevonatos SECO szerszámokat használtunk, melyek lapka CCMT09T308W-F1 TP1501 jelzéssel rendelkeztek. A szerszámtartó SECO SCLC R 1616 J09 típusú volt, melyen átalakítást végeztünk a hőelem behelyezéséhez.

### 2.3. Felület érdesség mérő

A felületi érdesség méréséhez az egyes próbadarabokon a Mitutoyo SJ-201 típusú eszközt alkalmaztunk.

## 2.4. Hőelem és mérésadatgyűjtő

A hőelemek használata fontos szerepet tölt be a kísérleti műveletek során. Grzesik (Grzesik, 2005) vizsgálatából kiderült, hogy a szerszámok és a munkadarab érintkezési felületén is csak az hőmérsékletet tudjuk precízen mérni. Ezzel szemben O'Sullivan (O'Sullivan, 2001) egy másik módszerrel, a munkadarabba helyezett hőelemekkel mérte a megmunkált felület hőmérsékletét a 6082-T6 alumínium megmunkálásakor.

### 3. táblázat K-típusú hőelem fő jellemzői (TC MérésTechnikai Kft., 2024)

Vezeték Kombináció		Termofeszültség-változás ( $\mu\text{V}/0^\circ\text{C}$ )			A Mérőpont Hozzávetőleges Használati Hőmérséklettartománya	
+ Láb	- Láb	100°C	500°C	1000°C	Állandó Használat	Rövid Idejű Használat
Nikkel - Króm Más nevé: Chromel™, Thermokanthal KP*, NiCr, T1*, Tophel™	Nikkel - Alumínium (mágneses) Más nevé: Ni-Al, Alumel™, Thermokanthal KN™, T2™, NiAl™	42	43	39	0 ... +1100°C	-180 ... +1350°C

A kísérlet során egy K-típusú hőelemet használtunk, melynek jellemzőit a 3. táblázatban mutatom be. A szenzor jeleinek feldolgozására egy Arduino Uno R3 fejlesztőpanelt és egy MAX6675 illesztőegységet használtunk. A fejlesztőpanel valós idejű mérések adatgyűjtésére alkalmas hardware, de a szoftveres környezetet specifikus feladatokhoz optimalizálni kell.

## 3. Módszerek

### 3.1. 3D fémnyomtatás problémaköre

A PTE kutatócsoportja által fejlesztett 3D fémnyomtató rendszerével eddig főként vékonyfalú alkatrészeket nyomtattak, melyek megfeleltek a mechanikai vizsgálatok követelményeinek. Azonban az alkatrészek megmunkálhatósága érdekében szükség volt a nyomtatási paraméterek finomhangolására. Az AM-ban a CMT hegesztés sikeres alkalmazása bizonyítja a módszer hatékonyságát, amely a MIG hegesztés módosított változatát foglalja magában. A rendszer ábrázolása szerepel a 2. ábrán, bemutatva a

PTE kutatócsoport által kifejlesztett 3D nyomtatót és egy kinyomtatott alkatrészt. (Vasvári Gyula Ferenc, 2021)



2. ábra: PTE Műszaki és Informatikai Karának kutatócsoportja által fejlesztett 3D fém nyomtató. (Vasvári Gyula Ferenc , 2021)

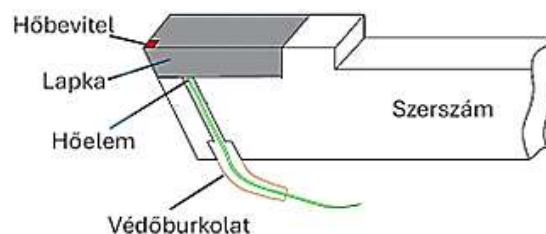
A kísérletekhez szükséges alkatrészek mérete 60 mm átmérőjű és 130 mm hosszú volt. Ennek ellenére jelentős hőtorlódás volt tapasztalható, amely befolyásolta az alkatrész ferdeségét és anyagfolytonossági hibáit. Ennek kiküszöbölése érdekében szükség volt a CMT hegesztés paramétereinek módosítására. Az áramerősség változását kontrolláltan kellett végezni, ezért az első 30 sorban 150 A, míg a továbbiakban 135 A áramerősséget alkalmaztunk a többi paraméter változatlanlansága mellett. A 3D fémnyomtatás beállításait a 4. táblázatban foglaltuk össze.

#### 4. táblázat A 3D fémnyomtatás során alkalmazott beállítások

A 3D fémnyomtatás során alkalmazott beállítások		
Jellemző	Érték	Mértékegység
Hegesztő áram	59-110	[A]
Hegesztési sebesség	6,2	[mm/min]
Argon	gáz 15	[liter/min]

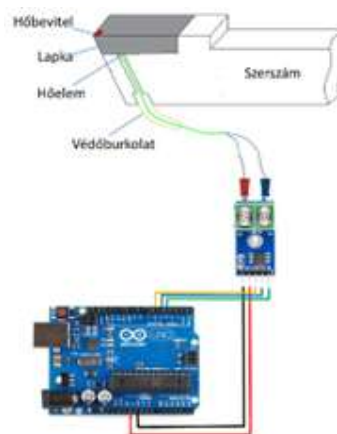
### 3.2. Mérés hőelemekkel

A kísérleti vizsgálatok során a szenzor és a K-típusú hőelem elhelyezése kritikus fontosságú a megfelelő eredmények eléréséhez. A szenzor ideális esetben a forgácsolási zóna közvetlen közelében található, míg a lapka kopásának ellenőrzése érdekében a késszárba is be kell építeni egy szenzort. A hőelem pozíciójának meghatározása kihívást jelenthet, mivel a szerszám-forgács érintkezési pontja folyamatosan változik a forgácsolás során. Ebben a tekintetben Cichosz P (Cichosz P, 2023) munkáját használtuk referenciaként. A szenzor beépítésének elvi ábrája a 3. ábrán látható.



3. ábra: Szenzor elhelyezésének elvi ábrája

Az alátétlapka alatt elhelyezett hőelem a forgácsolás pontos hőmérsékletének mérésére nem alkalmas a környezet és a lapka vesztesége miatt. Guimarães és munkatársai lapkába integrált szenzort használtak (Guimarães B, 2023), amely az én módszeremhez képest a forgácsolás hőmérsékletének pontosabb meghatározását teszi lehetővé. Így a saját kísérleteim során nem a forgácsolási hőmérséklet abszolút értékére, hanem a hőmérsékletváltozás dinamikájára összpontosítottunk. A teljes mérőrendszer hardveres összeállítása a 4. ábrán látható.



4. ábra: Mérőrendszer hardveres összeállításának elvi ábrája



A lapkák rendszeres csere és kopásának megállapítása érdekében a fent említett módszert hatékonynak találtuk. A mérésekhez K-típusú hőelemes adatgyűjtő rendszert használtunk, melynek pontossága  $\pm 2,5$  °C vagy  $\pm 1\%$  volt.

### 3.3. Forgácsolás

A forgácsolási paraméterek kiválasztása során elsődleges szempontként a szerszám gyártóinak, forgalmazóinak ajánlásait vettük figyelembe. A gyártói ajánlások alapján a C45 anyagminőséghez és a TP1501 vágóél anyagminőséghez 0,08-0,32 mm/fordulat előtolási sebesség és 94-247 m/perc vágási sebesség alkalmazása javasolt. Ezeket a paramétereket figyelembe véve határoztuk meg a technológiai adatokat, melyek alapján a 94; 113; 147 m/perc vágási sebesség és 0,08; 0,14; 0,2 mm/fordulat előtolási sebesség került meghatározásra. A forgácsolási paraméterek összefoglalását az 5. táblázat tartalmazza.

**5. táblázat A kísérletek során alkalmazott technológiai paraméterek (kivonat)**

<i>Kísérlet száma</i>	<i>Átmérő [mm]</i>	<i><math>a_p</math> [mm]</i>	<i>Fordulatszám [1/perc]</i>	<i>Vágósebesség [m/perc]</i>	<i>Előtolás [mm/ford]</i>	<i>Hőmérséklet [T]</i>	<i>Felületi érdesség [<math>\mu\text{m}</math>]</i>
1.	40	0,5	1170	147	0,35		
2.	40	0,5	900	113	0,35		
3.	40	0,5	770	97	0,35		
4.	40	0,5	1170	147	0,2		
5.	40	0,5	900	113	0,2		
6.	40	0,5	770	97	0,2		

A forgácsolási kísérletek során összesen 27 tesztet végeztünk, melyeket reprodukálhatósági céllal háromszor ismételtünk meg.

### 3.4. Szoftver

A szoftver fejlesztése során a Visual Studio IDE-t használtam, C# programnyelven és Windows Form Application formában. Az 5. ábrán bemutatott mérőrendszer egyszerűsített blokkvázlata egy K-típusú szenzorból és egy MAX6675 illesztőből áll, melyek az Arduino Uno-hoz vannak csatlakoztatva. Az USB interfész segítségével a számítógépre történik az érzékelőadatok és az azonosító adatok továbbítása, plug and play lehetőséget biztosítva a felhasználó számára.



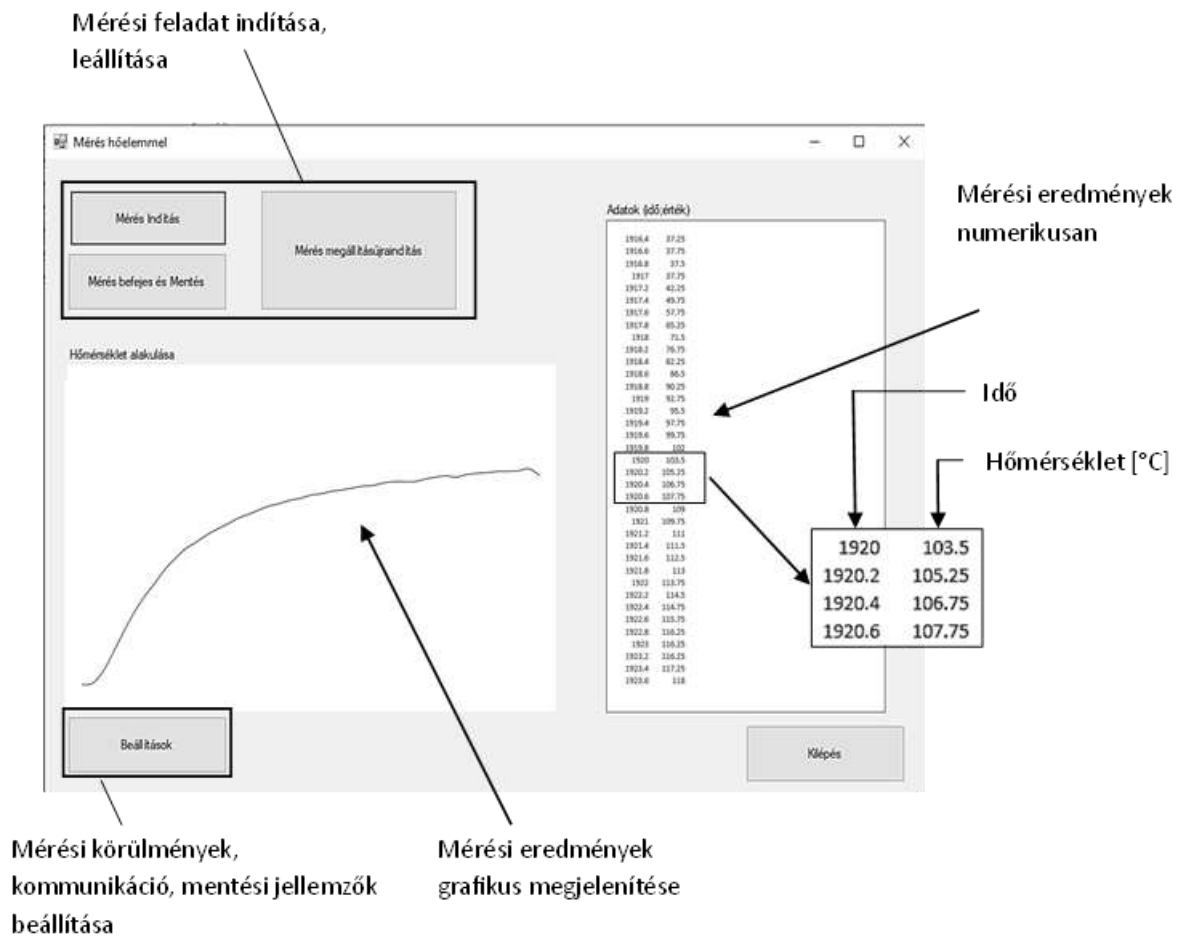
5. ábra: A mérőrendszer blokkdiagramja

A rendszerszoftver két modulra van bontva és implementálva: egy modullal a PC-n, míg a másikkal az Arduino Uno kártyán. Az együttműködés lehetővé teszi a plug-and-play koncepció megvalósítását, a vizsgált kutatási cél érdekében. A kísérlet a forgácsolási hőmérsékletmérésen alapul.

A készárba beágyazott hőelem adatait az Arduino fejlesztőpanel és egy MAX6675 interfész dolgozza fel. A mérési rendszer működtetése, valamint a kísérletek végrehajtása során szükséges beállítások és ellenőrzések elterelhetik a figyelmet a lényegesebb pontokról, ezért egy speciális szoftvert fejlesztettem, amely kifejezetten a forgácsolási hőmérsékletmérésre szolgál.

Az 6. ábrán látható szoftver egy pillanatképet mutat a felhasználónak. A felület rendkívül egyszerű és áttekinthető, egy gomb segítségével lehet indítani és leállítani a méréseket. A jobb oldalon folyamatosan frissülnek a mérés eredményei, ahol az idő és a hőmérséklet értékek találhatóak meg. A bal oldalon található ablakban a mérési eredmények grafikusan jelennek meg valós időben, hogy könnyebb legyen követni a folyamatot. A beállítások gomb lehetőséget nyújt a mérések paramétereinek finomhangolására és a fájlok mentésének beállításaira. A mérés során minden adatot CVS kiterjesztésű fájlokban tárolunk, hogy könnyebb legyen az adatok további feldolgozása. A mintavételezési idő

az egyik legfontosabb beállítási paraméter, melyet ebben a menüpontban lehet pontosítani.



1. ábra: Pillanatkép a mérőszoftver működéséről

### 3.5. A vizsgálatok eredményei

A vizsgálatieredmények összehasonlítása során fontos kiemelni, hogy azok különböző eredménytartalommal rendelkeznek. Ugyanakkor nem mindig van egyértelműen kimutatható összefüggés a különböző vizsgálatok eredményei között.

### 3.6. 3D fémnyomtatott alkatrész

A kutatás keretében a fémnyomtatott alkatrész alakjának és méretének optimalizálása érdekében különböző paraméterek módosítását végeztük el. Ezen módosítások

eredményeként sikerült létrehozni egy 60 mm átmérőjű és 130 mm magasságú próbatestet. A módosított paraméterekkel előállított próbatest fotója a 7. ábrán látható.



7. ábra: 3D fémnyomtatott próbatest

**A Hiba! A hivatkozási forrás nem található..** ábrán bemutatott próbatest jellemzőit a **Hiba! A hivatkozási forrás nem található.** tartalmazza.

#### 6. táblázat A 3D fémnyomtatott próbatest jellemzői

A 3D fémnyomtatott próbatest jellemzői		
Jellemző	Méret	Mértékegység
Magasság	130	[mm]
Átmérő	60	[mm]
Átlagos felületi érdesség	25-38	[ $\mu\text{m}$ ]

A jellemzőkön túlmenően a próbatesten több beszívódás tapasztalható, melyeket a 7. ábrán is szemléltetünk. Ezek a beszívódások nem befolyásolják a további kísérletek lefolytatását, azonban további paraméterfinomhangolásokra van szükség annak érdekében, hogy az előgyártmány felülete még jobban közelítse a névleges méretet és alakot.

A forgácsolási kísérlet próbadarabjának jelenlegi minősége megfelelő, azonban a 3D fémnyomtatás kielégítő költség-, és energiahatékonysága érdekében további kutatásokra

van szükség. Jelenleg az alkatrész befoglaló méretei megfelelőek, de az alaktűrések nem. Fontos lenne vizsgálni a nyomtatás során kialakuló hőmérsékleteloszlást, valamint a laboratórium és a nyomtató környezetében lejátszódó légmozgásokat, melyek a beszívódások okozói lehetnek.

### 3.7. Szoftver

A kezdeti kísérletek során az Arduino IDE segítségével végeztük a méréseket, a kísérlet eredményei pedig az Arduino soros portján keresztül érhetőek el a Putty szoftver segítségével. Ahhoz, hogy az adatokat megfelelően rögzítsük, azokat azonosítható formában kellett menteni. Azonban ez a folyamat lassú és bonyolult volt.

A személyi túlterhelés csökkentésére a szoftver használata mellett lehetőség nyílt a kísérlet egyszerűbb kezelésére, a mérések indítására, eredményeinek követésére és grafikus megjelenítésére, valamint az eredmények archiválására. Az igények között szerepelt az aktuális mérés azonosítójának megjelenítése a szoftver ablakában, hogy könnyebb legyen a kutatási eredmények rögzítése és értékelése.

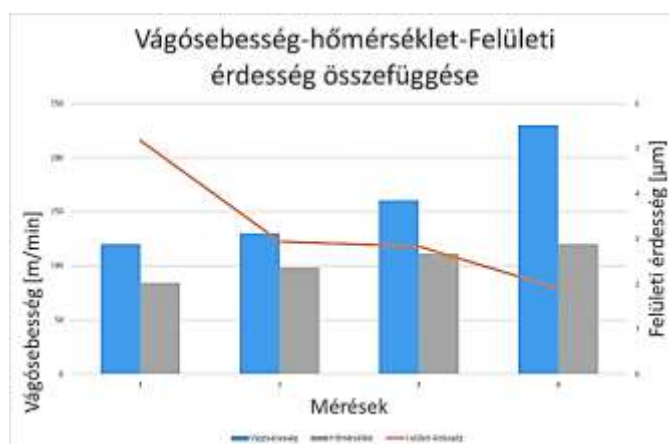
### 3.8. Forgácsolási kísérlet

Az adott forgácsolási kísérlet egyik fontos eredménye a forgácsolás folyamatában résztvevő részegységek közötti hőkiegyenlítődés idejének meghatározása volt. A hőkiegyenlítődés folyamatát ábrázoló diagram a 8. ábrán látható.



8. ábra: Hőkiegyenlítődés a forgácsolás folyamán

A forgácsolás során bekövetkező hőtermelés és hőkiegyenlítődés folyamatainak vizsgálata komplex és fontos feladat a gyártási folyamatok optimalizálása szempontjából. A vizsgálatok során megfigyeltük, hogy a hőmérséklet és a felületi érdesség értékei jelentős változásokon mennek keresztül a forgácsolósebesség függvényében. A mérések eredményeit a 9. ábra mutatja be, amelyen jól látható, hogyan változik a hőmérséklet és a felületi érdesség az egyes forgácsolósebesség értékek esetén. Az eredmények alapján megállapítható, hogy a forgácsolósebesség emelkedésével együtt emelkedik a hőmérséklet, bár nem olyan mértékben, mint ahogy a felületi érdesség változik. A hőkiegyenlítődési folyamat időtartama mintegy 5-6 másodperc, amelynek figyelembevételével optimalizálhatók a forgácsolási paraméterek a kívánt eredmények elérése érdekében.



9. ábra: Vágósebesség-hőmérséklet-Felületi érdesség összefüggése

Az ábrák alapján az 150 m/min-nél magasabb vágósebesség előnyösnek bizonyult a felületi érdesség és hőmérsékletváltozás szempontjából. Ezért javasolt a 150 m/min-nél gyorsabb vágósebesség alkalmazása a megfelelő műszaki tulajdonságok eléréséhez.

#### 4. További feladatok

A jelen tanulmányban bemutatott kutatás rávilágít arra, hogy a kidolgozott módszerek hatékonyan alkalmazhatók a kutatási területen, előkészítve a további mérési procedúrák

végrehajtását. Ezek a módszerek kialakítják az alumínium forgácsolhatóság vizsgálatának szilárd alapjait, melyek könnyedén integrálhatóak és várhatóan problémamentes működést biztosítanak a mérőberendezés részére, valamint lehetővé teszik a mérések zavartalan lefolytatását.

## 5. Összefoglalás

A kísérlet során megfigyelt tendenciák hasonlóságot mutatnak Paese és munkatársai kutatásával (Paese E, 2020). Az eredmények tendenciájának egybeesése alátámasztja a kísérlet helyességét és a mérőrendszer pontosságát. Az AlMg4.5Mn0.7 (EN AW-5083) fémnyomtatott anyagminőség alkalmazása során sikerült a kívánt méretű tárgyak létrehozása, valamint a mérőrendszer hatékony és rendeltetésszerű használata is beigazolódott.

### Köszönetnyilvánítás

Szeretném kifejezni köszönetemet Zsebe Tamásnak, valamint Dr. Csonka Dávid Cipriánnak, akik a fémnyomtatást készítették el számomra. Az általuk nyújtott segítség nélkül nem lenne lehetőségem az adott közlemény elkészítésére. Nagyon hálás vagyok a szakértelmükért és a precizitásukért.

### Forrásjegyzék

Bouhamed, A. M. (2021). Experimental and numerical methodology to characterize 5083-aluminium behavior considering non-associated plasticity model coupled with isotropic ductile damage. *International Journal of Solids and Structures*.

Cichosz P, K. P. (2023). Review of Cutting Temperature Measurement Methods. *Materials*.

Dudzik, K. (2011). Mechanical properties of 5083, 5059 and 7020 aluminium alloys and their joints welded by MIG. *Journal of KONES*, 73-77.

Grzesik, W. M. (2005). Finite element modelling of temperature distribution in the cutting zone in turning processes with differently coated tools. *ournal of Materials Processing Technology*, 1204-1211.

Guimarães B, R. J. (2023). Real-Time Cutting Temperature Measurement in Turning of AISI 1045 Steel through an Embedded Thermocouple—A Comparative Study with Infrared Thermography. *Journal of Manufacturing and Materials Processing*.

Vasvári Gyula Ferenc , D. C. (2021). CMT Additive Manufacturing Parameters Defining Aluminium Alloy Object Geometry and Mechanical Properties. *Materials*(<https://doi.org/10.3390/ma14061545>).

Korkut, I. B. (2007). Investigation of chip-back temperature during machining depending on cutting parameters. *Materials & design*.

Numbers, S. (2024, 01 2024.01.18). Retrieved from [https://www.steelnumber.com/en/steel\\_composition\\_eu.php?name\\_id=152](https://www.steelnumber.com/en/steel_composition_eu.php?name_id=152)

O'Sullivan, D. &. (2001). Temperature measurement in single point turning. *Journal of materials processing technology*. Retrieved from [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(01\)00853-6](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(01)00853-6)

Paese E, G. M. (2020). Assessment of CVD- and PVD-Coated Carbides and PVD-Coated Cermet Inserts in the Optimization of Surface Roughness in Turning of AISI 1045 Steel. *Materials*.

Seco Tools. (2024). Retrieved from <https://www.secotools.com/>

Sisodiya, M. S. (1996). Experimental Analysis of chip-back temperature during machining depending on cutting parameters. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 158-164 .

TC *Méréstechnikai Kft.*,. (2024, 01 18). Retrieved from <https://www.tckft.hu/thermocouples/type-k-thermocouple.html>

Zoltán Meiszterics, A. A. (2019). Scanning Electrochemical Microscopy (SECM) Investigation of 3D Printed Parts Produced by CMT Welding Technology. *Electroanalysis*. Retrieved from <https://doi.org/10.1002/elan.201900678>



Találkozunk 2024-ben a Magyar Tudomány Ünnepén!

