

# Opponensi vélemény

Horváth Gergely: Modellalapú elemzés és optimalizálás az ipari MDI-gyártásban című PhD értekezéséről

Horváth Gergely PhD disszertációjának műhelyvitára benyújtott változatát korábban bíráltam, valamint a vitában lehetőségem nyílt opponensként közreműködni. A doktori szabályzat vonatkozó pontja szerint a vita során felmerülő kérdéseket a szerző belátása szerint mérlegeli. Értékelésemet a jelölt megküldött válaszai, a dolgozat végleges formában benyújtott változatának újbóli elemzése, valamint a rendelkezésekre bocsátott bírálati szempontok alapján az alábbiak szerint részletezem.

## Általános értékelés

A Jelölt kutatásának kiindulópontjaként az ipari MDI gyártást választotta. A témavezetés leírása szerint „a folyamatszimulátorokkal rendszerezett technológia ismereteket alapul véve, olyan termelés/termék optimalizálási feladatok megoldása a cél, melyek a meglévő rendszer jövőbeli rugalmasságát és ezzel együtt a fenntarthatóságát növelik”<sup>ii</sup>. A témaválasztás aktualitása és társadalmi-tudományos jelentősége nem vitatható, tekintettel a világszinten továbbra is bővülő keresletre, valamint a teljes folyamat ökológiai lábnyomára. A benyújtott értekezésben a fenntarthatósági szempontok kisebb hangsúlyt kaptak, de ez egy öt éves kutatási időtávon nem felrható. Az értekezésben bemutatott területek elsősorban a technológiai rendszer mélyebb megértését szolgáló, de ezzel együtt a gyakorlatban is jobban alkalmazható eredményeket produkáló modellek felállítását mutatják be. A feladatok megoldására választott módszerek alapvetően korszerűek, egyszersmind a mesterséges intelligencia térnyerésének egyfajta mellékhatásaként jelentős további kutatási-fejlesztési potenciállal rendelkeznek.

Az értekezés alapján a Jelölt mind a laboratóriumi-félüzemi, mind üzemi léptékben elvégzett kísérletek eredményeire együttesen alapozta a saját kutatómunkáját.

A bevezetőben világosan meghatározásra kerülnek az értekezés alapjául szolgáló kutatási célok. Az értekezés szerkezeti felépítése és tagoltsága logikus, azonban a tézisek és a gyakorlati rész jobb összehangolásán kívül annak általános kohéziója a műhelyvitára benyújtott változathoz képest csak kismértékben javult, inkább átlagosnak tekinthető.

Az értekezés elméleti bevezetője megfelelő terjedelmű, bár néhány esetben a gyakorlati rész epizodikusan további fogalmakat vezet be a későbbi fejezetekben is. Az irodalmi rész kohéziója a műhelyvitát követően javult, a Jelölt figyelembe vette korábbi azon javaslatomat, mely szerint a dolgozat egységességének javítása érdekében pontosan megfogalmazza, hogy mit és milyen céllal látott érdemesnek feldolgozni. Személyesen ezt lényeges szempontnak tartom, nem érezvén létjogosultságát egy olyan irodalmi összefoglalónak, mely ki nem mondottan öncélú. Az értekezés elméleti összefoglalója megfelelő kiindulópont az olvasó számára abban az esetben is, ha nem követte nyomon szorosan a modell alapú optimalizálás fejlődését. Néhány esetben a választott kiindulópont talán lehetett volna haladóbb szintű, például a felügyelt és nem felügyelt tanítás közötti különbség ismerete külön bemutatás nélkül is elvárható az olvasótól.

Bár személyesen és egyedülként a műhelyvita során felvettem, hogy a választott módszerek közül néhány az ipari MDI gyártás folyamatának komplexitása ismeretében valószínűleg nem rendelkezik megfelelő leíró kapacitással, mely megfigyelésemet az eredmények bemutatása megerősíti (13. táblázat, 19. táblázat), a Jelölt a műhelyvita során a vele szemben elvárható

módon védte meg a választásait. Összességében a bemutatott módszerek időtállóak, több esetben önmagukban is újnak tekinthetők (29. ábra), más esetekben kapcsolódásuk az ipari MDI-gyártáshoz jelenti az új kutatási irányt.

A 4. fejezet elkerüli Haus és mtsai eredményeinek behatóbb kritikai vizsgálatát. A Jelölt a kinetikai paraméterek újraillesztésén túl – amely önmagában nem jelentene új tudományos eredményt – sikeresen továbbfejlesztette a modellt, sikeresen kapcsolva azt az MDA-szintézishez köthető aktuális szakirodalommal. Ezt vegyész-mérnöki tudományos eredményként helytállónak és elfogadhatónak tartom.

Az 5. fejezetben kiemelendő, hogy a jelölt a paramétervizsgálatok során figyelembe vett több olyan változót, melyeket a kizárólag kémiai szempontú megközelítés nem indokolna, hidat képezve e két, néha sajnálatosan elkülönülő terület között. Az alkalmazott módszerek az adathalmaz méretét ismerve körültekintően kerültek meghatározásra, a gépi tanulási modellek túltanításának elkerülésére tett kitételeket megfelelőnek tartom. Egyetértek azon következtetéssel, hogy ipari méretben egy hasonló megközelítés a járható előrejelzési út, de a 6. fejezethez hasonlóan ehhez ebben az esetben is szükséges lesz a holtidő kezelése.

A 6. fejezetben a módszerválasztás különösen indokolt, hiszen az MDI színét okozó vegyületek minőségi és mennyiségi analízise még offline módszerekkel is kihívást jelentő feladat lehet. A kiválasztott három beavatkozási módszert a paraméterek nevesítése hiányában a bírálónak nincs lehetősége fundamentálisan vizsgálni, de az alkalmazott módszerek és azok együttes alkalmazása alátámasztani látszik a Jelölt következtetéseinek helytállóságát.

A jelölésjegyzék és az egyenletek alapos átvizsgáláson estek át, tisztázva a nem egyértelmű jelöléseket és tipográfiai hibákat, az ábrák és táblázatok formázás(ának hiánya) azonban körülbelül változatlan maradt. Utóbbiak esetében a betűtípus, a fejlécek formázása és a függőleges igazítás is a várakozásokkal ellentétesen túlmutató változatossággal rendelkeznek. A jelölt kiterjedten beszél a kutatásáról többes szám első személyben.

Az összefoglaló részek csak kismértékben tekintenek ki a kutatás továbbvitelének lehetőségeire és inkább az ipari alkalmazhatóságot hangsúlyozzák.

Az értekezés 142 számozott hivatkozást tartalmaz egy egészséges korfa szerint, bizonyos esetekben visszautalva az idők próbáját kiállt alapvető eredményekre, de egyben a legújabb forrásokat is felhasználva. A hivatkozott források 76%-a 2010 vagy azutáni, 30%-a ebben az évtizedben került megjelentetésre, 35%-a kémiai-reakciókinetikai témakörben készült, 40%-a pedig a gépi tanuláshoz és a szoft szenzorokhoz kapcsolható, jól mutatva a mesterséges intelligencia térnyerését a vegyész-mérnöki tudományokban is. Utóbbi 30:40%-os arány körülbelül jól összevethető az értekezés saját tagoltságával is, ennek alapján az elérhető szakirodalom feldolgozása kiegyensúlyozott és megfelelő színvonalú.

Az irodalmi hivatkozások stílusa szabályos és egységes, bár formázásában a dolgozat többi részéről eltérnek. A hivatkozások tartalmazzák a digitális objektumazonosítókat a könnyebb navigáció érdekében. A sorrendiség megfelelő, néhány formázási hiba azonban megfigyelhető (pl.: [64]), ezen egy, a leadást megelőző utolsó lektorálási kör valószínűleg segített volna.

## Tézisek értékelése

Az értekezés három fő tézissel került benyújtásra, melyek 1-1 fő nemzetközi folyóiratban megjelent teljes terjedelmű cikkel és több konferenciakivonattal kerültek alátámasztásra. A publikációk összesített IF értéke az elvárható szintet eléri, a szabályzatban elvárt értéknek pedig többszöröse. Mindhárom folyóiratcikk a jelölt szűkebb területén Q1 és Q2 kvartilisben

jegyzett folyóirat része, de a kutatásban megvan a potenciál a későbbi szélesebb körű interdiszciplinaritás elérésére is.

A műhelyvitára bocsátott változattal összevetve a megfogalmazott tézisek száma eggyel csökkent. Ennek oka, hogy a korábbi 3. és 4. tézis összevonásra került. Ezt a döntést kutatói szemmel megalapozottnak tartom, továbbá ezáltal a kohézió is javult (a tézisek mindegyike összefüggésbe hozható az értekezés 1-1 fejezetével). A téziseket jelen formájukban elfogadom. Sajnos továbbra is fennállnak az 1. tézis esetén az összehasonlítás alapjául szolgáló modellek eredményeinek reprodukálhatóságával szemben felmerülő aggályok, ezeket az értekezés azonban megfelelő kritikával kezeli – adott esetben ez akár bátrabb is lehetett volna.

- 1. tézis: a kiterjesztett reakcióhálózat kémiai szempontból megalapozott, a bemutatott optimalizálási és identifikálási módszerrel kapott eredmények leíró hatásfoka jónak mondható.
- 2. tézis: a Jelölt a kutatása során figyelembe vett több olyan változót is, melyek inkább ipari szempontból bírnak nagyobb jelentőséggel, tehát az eredmények valóban alkalmasak lehetnek az ipari szintű termelés támogatására.
- 3. tézis: a sok esetben erősen tranzienst gyártási folyamatra rugalmasan alkalmazható szenzor kifejlesztése több szempontból is jelentős, tudományos jelentőségét pedig elsősorban az MDI színét befolyásoló kulcsparaméterek rigorózus modellezéssel alátámasztott kiválasztása adja, mely később akár visszacsatolható lehet a szint okozó kémiai folyamatok jobb megértésére is.

A csatolt téziszűzet színvonala sokat javítható lett volna néhány ábra csatolásával és egy némileg hosszabb összefoglalóval, különös tekintettel arra, hogy a szabályzat szerint az eredményeket egységes, önmagában érthető rendszerben kell bemutatni<sup>iii</sup>.

## Kérdések a szerzőhöz

- az 5. fejezetben a neuronok számának rétegenkénti változtatása egy érdeemben vizsgálható hiperparaméter lenne a neurális hálózatok összehasonlítása során?
- az 5. fejezetben bemutatott vizsgálatok – laboratóriumi léptékű kísérleti eredményekből kiindulva – nem tartalmazznak holtidő vizsgálatokat (ezt a koncepciót egyfajta továbblépésként a 6. fejezet vezeti be). Ezt szem előtt tartva, a Jelölt véleménye szerint az azonosított optimális modell struktúrák továbbvihetőek-e egy, a 6. fejezethez hasonló vizsgálatra, vagy csak a lefektetett alapelvekből kiindulva, inkább az alapoktól kellene elkezdni a probléma megoldását?
- gondolkodnak abban, hogy a 6. fejezetben a holtidő meghatározása ne előzetes lépés legyen, hanem része a modell struktúrájának? A pontos bemenő paraméterlista nem nyilvános, de létezhetnek olyan bemeneti változók, amelyből ez tanulható?
- a meghatározott (a bíráló számára nem ismert) kulcsparamétereket vissza lehetett csatolni az MDI gyártáshoz kapcsolódó a priori ismeretekhez vagy az üzemben ismert ökölszabályokhoz?
- milyen szinergiákat lát az 5. és 6. fejezetekben bemutatott eredmények között (tekintettel arra, hogy az MDA összességében egy köztitermék)?
- az értekezésben megfogalmazott alkalmazhatósági szempontok mellett milyen további kutatási irányok fogalmazhatóak meg az egyes fejezetekhez kapcsolódóan?

## Összegző javaslat

A Jelölt szakmai felkészültsége magas (2 Q1 és 1 Q2 folyóiratban megjelentetett publikáció), az értekezés tudománykommunikációs szempontból pedig önmagában alkalmas arra, hogy a kutatómunkában természetszerűleg részt nem vett bíráló számára kötelezően elvégzendő további forráskutatás igénye nélkül is teljességében bemutassa a doktori képzésben lefektetett célokhoz kapcsolódó kutatási módszereket és eredményeket.

A teljes opponensi véleményemben megfogalmazottak alapján a doktori értekezést elfogadásra javaslom és támogatom annak nyilvános vitára bocsátását.

Debrecen, 2026. április 3.

---

Dr. Till Zoltán

---

<sup>i</sup> Pannon Egyetem Doktori és Habilitációs Szabályzat 9/A. § (6)

<sup>ii</sup> Horváth Gergely témavezetési adatlap. Forrás: [doktori.hu](http://doktori.hu)

<sup>iii</sup> Pannon Egyetem Doktori és Habilitációs Szabályzat 9/A. § (5)