

Doktori (PhD) értekezés tézisei

# GÉPI TANULÁSI TECHNIKÁK FEJLESZTÉSE ALARM MANAGEMENTBEN

Dörgő Gyula Ádám

Pannon Egyetem  
Vegyésszmérnöki- és Anyagtudományok  
Doktori Iskola

Témavezetők:  
Prof. PALAZOGLU Ahmet  
Dr. ABONYI János



Folyamatmérnöki Intézeti Tanszék  
Veszprém  
2021.

# 1. Bevezetés és célkitűzések

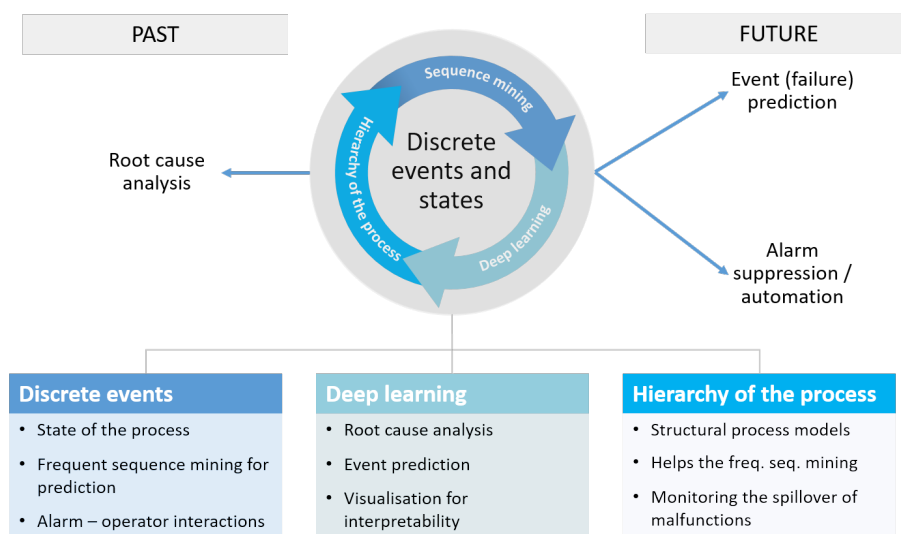
Doktori munkám motivációja új adatelemzés és gépi tanulás által vezérelt algoritmusok kifejlesztése az ipari alarm management feladatok megoldására és támogatására. A problémakör komoly kihívást jelent a mindennapi mérnöki gyakorlatban, hiszen az alarm & event-log adatbázisok elemzése komplexitásuknak köszönhetően nehezen automatizálható és így kritikus fontossága ellenére is jelentős (mérnöki) munkaigényű.

Egy folyamatirányító rendszerben vészjelzések jelennek meg, amikor egy adott folyamatváltozó átlépi a hozzárendelt vészjelzési határokat. A vészjelzéseket kezelő alarm rendszer célja az üzemeltető figyelmének átirányítása azon üzemállapotok felé, amelyek időbeni ellenőrzést vagy beavatkozást igényelnek. Ennek megfelelően az alarm management folyamata az ipari vészjelzések hatékony tervezését, megvalósítását, üzemeltetését és karbantartását jelenti.

A számítógépes folyamatirányítás megjelenését megelőzően egy új vészjelzési üzenet fizikai megvalósításához fény- vagy hangjelzés (lámpa vagy kürt) telepítésére volt szükség. A megvalósítási korlátok következtében minden vészjelzés definícióját alapos és részletes döntéshozási folyamat előzte meg. A számítógépes folyamatirányítás elterjedésével azonban az új vészjelzések definíciója csak digitálisan történik meg, mely folyamatnak nincs jelentős költségvonzata, így lehetőséget ad nagymennyiségű vészjelzés könnyű és gyors definíciójára. Ezen folyamat eredményeként robbanásszerűen megnőtt a definiált vészjelzési üzenetek száma a folyamatirányító rendszerekben, több és gyakran redundáns jelzést definiáltak egy-egy jelenség detektálására és az operátori személyzet túlterheltté vált a nagymennyiségű vészjelzések áradatától.

Az alarm management problémák megoldása során a folyamatmérnökök folyamatosan nyomon követik a vészjelzések számát és minőségét az alarm & event-log adatbázisok elemzésével, melyek a termelés közben megjelenő vészjelzéseket és operátori beavatkozásokat tartalmazzák. Az így nyert tapasztalatok segítségével rekurzív módon elemzik és finomhangolják a vészjelzési definíciókat tartalmazó adatbázisokat. Dolgozatom ezen jelentős mérnöki munkaigényű feladatok támogatására tesz javaslatot, hiszen ezen óriási méretű adatbázisok elemzése fejlett adatelemzési és gépi tanulási technikák alkalmazása nélkül nagyon időigényes probléma, amely jelentős emberi megterhelést igényel.

Az 1. ábra szemlélteti az alarm management területén elterjedt, adatalapú megoldásokkal támogatott feladatokat, amelyek fejlesztése a jelen dolgozat fő motivációja és mozgatórugója is. Feladatom középpontjában a vegyipari technológiákban előálló diszkrét események és állapotok (főként vész-



1. ábra. Az alarm management adatalapú technikákkal való támogatásának lehetőségei, disszertációm fókuszpontjainak sematikus ábrázolása.

jelzések és operátori beavatkozások) modelljének felépítése áll. A modell-építés során különböző modellezési megközelítéseket és információtartalmat alkalmazok, úgymint a diszkrét események gyakori szekvencia-alapú modellje, vagy a mélytanulási technikák manapság népszerű területe, illetve ezen elemzések párosítása a klasszikus mérnöki gyakorlatban elterjedt megoldásokkal és információforrásokkal. Az ezen adatalapú technikák alapján fejlesztett modellek segítségével számos alarm management feladat támogatható, a vészjelzési üzenetek felügyeletétől kezdve azok informatívabb újradefiniálásán keresztül a folyamat komplex állapotának leírása és a hasonló vészjelzési sorozatok azonosítása mind elvégezhető. A modellek segítségével elemezhetjük a vészjelzési szekvenciákat megjelenő eseményeket is és elvégezhetjük a technológiai folyamatok gyökérokkeresését. A jövőre vonatkozóan pedig predikciókat végezhetünk, melyek több időt biztosítanak az operátorok számára, hogy elvégezzék a szükséges beavatkozásokat és felkészüljenek vagy elkerüljék a kritikus szituációkat. Abban az esetben, ha a jövőbeli vészjelzés ismert, feltételezve, hogy nincs releváns információja az üzemeltetők számára, el is lehet nyomni, hogy feleslegesen ne terhelje az operátorokat.

## 2. Kísérleti eszközök és módszerek

Kutatásom során számos az alarm managementben új eszköztár alkalmazására tettem javaslatot:

- a multi-temporális gyakori szekvencia bányászati megoldások,
- a rekurrens mély tanulási neurális hálózatok,
- a hálózati elmélet eszköztára,
- a folyamatbányászat módszertani megközelítésének alkalmazásai.

A felsorolt módszertanok alkalmazását részletes irodalmi áttekintésekkel támasztottam alá, továbbá átfogó irodalmi áttekintést végeztem az alarm rendszerek teljesítményének mérési megközelítésére vonatkozóan is.

A felsorolt módszerek alkalmazhatóságát különféle esettanulmányokon és benchmark adatbázisokon keresztül prezentáltam:

- egy ipari hidrogén-fluoridos alkilező technológia alarm & event-log adatbázisának,
- egy vinil-acetát előállítási folyamat benchmark szimulátora által generált adatok,
- egy laboratóriumi méretű víztisztító technológia adatainak,
- és egy ipari késleltetett koksizáló üzem alarm & event-log adatbázisának elemzésével.

### 3. Tézisek

1. **Új módszertant fejlesztettem a vészjelzési üzenetek előrejelzésére, amelyben a technológia állapotát az alarm management rendszerek alarm & event-log adatbázisában rögzített események képviselik.**
  - 1.1. Gyakori szekvencia bányászati algoritmusokat és valószínűségi mértékeket használtam fel az alkalmazott működési gyakorlatok feltárására, a vészjelzések előrejelzésére és a kis információtartalmú jelzések elnyomására. [3, 4, 5, 7, 9]
  - 1.2. A folyamatok dinamikájának pontosabb leírása érdekében multi-temporális gyakori szekvencia bányászati algoritmus alkalmazását javasoltam és demonstráltam alarm managementben. [2, 3, 4]
  - 1.3. Az alarm management rendszerek széles körben használt teljesítménymutatóit hét alkalmazás-specifikus csoportba soroltam, támogatva az alarm management rendszerek karbantartását, mely előfeltétele az adatalapú technikák alkalmazásának. [1]

**2. Demonstráltam a rekurrens mélytanulási hálózatok alkalmazhatóságát az alarm & event-log adatbázisban rögzített események közötti rejtett kapcsolatok feltárására.**

- 2.1. Bemutattam hogyan alkalmazható a mélytanulás eszköztára alarm management feladatok megoldására. [2, 5, 8]
- 2.2. Bemutattam, hogy az az alarm & event-log adatbázisokban rögzített eseményeket egy rekurrens neurális hálózat bemeneteként alkalmazva az eseményeket kiváltó gyökérokok meghatározhatók. [2, 5, 8]
- 2.3. Új, vizualizáción alapuló módszertant mutattam be a rejtett üzemeltetési ismeretek kinyerésére az alarm & event-log adatbázisokban rögzített események segítségével tanított mélytanulási hálózatok struktúrájának és súlyainak vizualizációja segítségével. [2]

**3. Bemutattam, hogyan lehet a klasszikus mérnöki ismeretekkel támogatni a jól ismert adat elemzési és gépi tanulási technikákat az alarm management feladatok mélyebb támogatása érdekében.**

- 3.1. Módszertant fejlesztettem, melyben a gyakori vészjelzési szekvenciák bányászatát a technológia hierarchikus struktúrájára vonatkozó ismeretekkel kiegészítve, a vészjelzések elemzésén keresztül a meghibásodások továbbgyűrűző hatása feltárható. [4]
- 3.2. Folyamatváltozók eloszlását felhasználva döntési fa alapú módszertant javasoltam a meghibásodások típusára informatív vészjelzések definiálására. [6]

## **4. Az eredmények gyakorlati hasznosítása**

Dolgozatom áttekintette a vegyiparban jelenlévő alarm management problémákat, és új, adatalapú megközelítéseket javasolt a megoldásukra.

Az alarm management rendszerek teljesítménymutatónak kategorizálása jó alapot szolgáltat a gyakorló mérnökök számára, hogy meghatározzák milyen szempontok alapján szükséges a vészjelzési rendszerek teljesítményének monitorozása és ezt mely mérőszámok segítségével tudják hatékonyan megtenni. A teljesítménymutatók bemutatása során összehasonlítottam a MOL Csoport Dunai Finomítójának hidrogén-fluoridos alkilező üzemének alarm rendszerét az alarm racionalizálási folyamatot megelőzően és azt követően. A kutatás tapasztalataira építve a Pannon Egyetem támogatásával egy ´´proof

of concept” tanulmány keretein belül az ipari alarm rendszerek felmérésére alkalmas szoftverterméket fejlesztünk.

A gyakori szekvencia bányászaton és mélytanuláson alapuló módszereket egy laboratóriumi méretű víztisztító rendszer segítségével rögzített adatson és a MOL Csoport Dunai Finomítójának késleltetett kokszoló üzemének alarm & event-log adatbázisán teszteltem és demonstráltam a módszertanok gyakorlati alkalmazhatóságát. Ezen túlmenően a dolgozatomban bemutatott mesterséges intelligencián alapuló módszertant több ipari döntéstámogató eszközök fejlesztésére irányuló projektben is alkalmaztuk.

Természetesen, a fejlesztett eszközök és megoldások most elsődlegesen az alarm management területén alkalmazhatóak, de ezen túlmutatva, alkalmassak az operátori munka támogatására, hiszen az üzemeltetés szempontjából hasznos információk nyerhetők ki a módszertanok segítségével, valamint az üzemeltetési stratégiák elemezhetőek és minősíthetőek. A gyakori szekvencia bányászati algoritmusok tekintetében elmondhatjuk, hogy a diszkrét események elemzésének széleskörű elterjedésével párhuzamosan egyre nagyobb igény van a fejlett szekvenciabányászati technikák iránt és ezek alkalmazhatósága is igen széles kört mutat.

# Dörgő Gyula Ádám publikációi

2021

Jelenlegi h-index: 8

Jelenlegi i10-index: 4

Jelenlegi hivatkozások száma: 125

## Tézisekhez kapcsolódó publikációk

### Folyóiratcikkek

1. G. Dorgo, F. Tandari, T. Szabo, A. Palazoglu, and J. Abonyi, „Quality vs. quantity of alarm messages - how to measure the performance of an alarm system?,” *Chemical Engineering Research and Design*, vol. Accepted, 2021
2. G. Dorgo, P. Pigler, and J. Abonyi, „Understanding the importance of process alarms based on the analysis of deep recurrent neural networks trained for fault isolation,” *Journal of Chemometrics*, vol. 32, no. 4, p. e3006, 2018. e3006 cem.3006
3. G. Dorgo and J. Abonyi, „Sequence mining based alarm suppression,” *IEEE Access*, vol. 6, pp. 15365–15379, 2018
4. G. Dorgo, K. Varga, and J. Abonyi, „Hierarchical frequent sequence mining algorithm for the analysis of alarm cascades in chemical processes,” *IEEE Access*, vol. 6, pp. 50197–50216, 2018
5. G. Dorgo and J. Abonyi, „Learning and predicting operation strategies by sequence mining and deep learning,” *Computers & Chemical Engineering*, vol. 128, pp. 174–187, 2019
6. G. Dorgo, A. Palazoglu, and J. Abonyi, „Decision trees for informative process alarm definition and alarm-based fault classification,” *Process Safety and Environmental Protection*, vol. 149, pp. 312–324, 2021

### Konferencia publikációk

7. G. Dorgo, K. Varga, M. Haragovics, T. Szabo, and J. Abonyi, „Towards operator 4.0, increasing production efficiency and reducing operator workload by process mining of alarm data,” *Chemical Engineering Transactions*, vol. 70, pp. 829 – 834, 2018

8. G. Dorgo, P. Pigler, M. Haragovics, and J. Abonyi, „Learning operation strategies from alarm management systems by temporal pattern mining and deep learning,” in *28th European Symposium on Computer Aided Process Engineering* (A. Friedl, J. J. Klemeš, S. Radl, P. S. Varbanov, and T. Waldek, eds.), vol. 43 of *Computer Aided Chemical Engineering*, pp. 1003 – 1008, Elsevier, 2018
9. J. Abonyi and G. Dorgo, „Process mining in production systems,” in *2019 IEEE 23rd International Conference on Intelligent Engineering Systems (INES)*, pp. 000267–000270, 2019

## További publikációk

### Folyóiratcikkek

10. G. Dorgo, T. Kulcsar, and J. Abonyi, „Genetic programming-based symbolic regression for goal-oriented dimension reduction,” *Chemical Engineering Science*, p. 116769, 2021
11. M. Theisen, G. Dörgő, J. Abonyi, and A. Palazoglu, „Sparse pca support exploration of process structures for decentralized fault detection,” *Industrial & Engineering Chemistry Research*, vol. 0, no. 0, p. null, 0
12. L. Koók, G. Dörgő, P. Bakonyi, T. Rózsenberszki, N. Nemestóthy, K. Bélafi-Bakó, and J. Abonyi, „Directions of membrane separator development for microbial fuel cells: A retrospective analysis using frequent itemset mining and descriptive statistical approach,” *Journal of Power Sources*, vol. 478, p. 229014, 2020
13. G. Dörgő, O. Péter Hamadi, T. Varga, and J. Abonyi, „Mixtures of qsar models: Learning application domains of pk predictors,” *Journal of Chemometrics*, vol. 34, no. 4, p. e3223, 2020
14. T. Ruppert, G. Dorgo, and J. Abonyi, „Fuzzy activity time-based model predictive control of open-station assembly lines,” *Journal of Manufacturing Systems*, vol. 54, pp. 12–23, 2020
15. G. Honti, G. Dörgő, and J. Abonyi, „Review and structural analysis of system dynamics models in sustainability science,” *Journal of Cleaner Production*, vol. 240, p. 118015, 2019
16. G. Honti, G. Dörgő, and J. Abonyi, „Network analysis dataset of system dynamics models,” *Data in Brief*, vol. 27, p. 104723, 2019

17. Z. Süle, J. Baumgartner, G. Dörgő, and J. Abonyi, „P-graph-based multi-objective risk analysis and redundancy allocation in safety-critical energy systems,” *Energy*, vol. 179, pp. 989–1003, 2019
18. G. Dörgő, V. Sebestyén, and J. Abonyi, „Evaluating the interconnectedness of the sustainable development goals based on the causality analysis of sustainability indicators,” *Sustainability*, vol. 10, no. 10, 2018
19. G. Dörgő and J. Abonyi, „Hierarchical representation based constrained multi-objective evolutionary optimisation of molecular structures,” *Periodica Polytechnica Chemical Engineering*, vol. 63, no. 1, pp. 210–225, 2019
20. G. Dörgő and J. Abonyi, „Group contribution method-based multi-objective evolutionary molecular design,” *Hungarian Journal of Industry and Chemistry*, vol. 44, p. 39–49, Aug. 2016
21. D. Capári, G. Dörgő, and A. Dallos, „Comparison of the effects of thermal pretreatment, steam explosion and ultrasonic disintegration on digestibility of corn stover,” *Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems*, vol. 4, no. 2, pp. 107–126, 2016

## Konferencia publikációk

22. M. Mollaian, G. Dorgo, and A. Palazoglu, „Studying the synergy between dimension reduction and clustering methods to facilitate fault classification,” in *31th European Symposium on Computer Aided Process Engineering*, Computer Aided Chemical Engineering, Elsevier, 2021
23. G. Dorgo, M. Haragovics, and J. Abonyi, „Operating regime model based multi-objective sensor placement for data reconciliation,” in *29th European Symposium on Computer Aided Process Engineering* (A. A. Kiss, E. Zondervan, R. Lakerveld, and L. Özkan, eds.), vol. 46 of *Computer Aided Chemical Engineering*, pp. 1027–1032, Elsevier, 2019
24. G. Dorgo, G. Honti, and J. Abonyi, „Automated analysis of the interactions between sustainable development goals extracted from models and texts of sustainability science,” *Chemical Engineering Transactions*, vol. 70, pp. 781–786, Aug. 2018