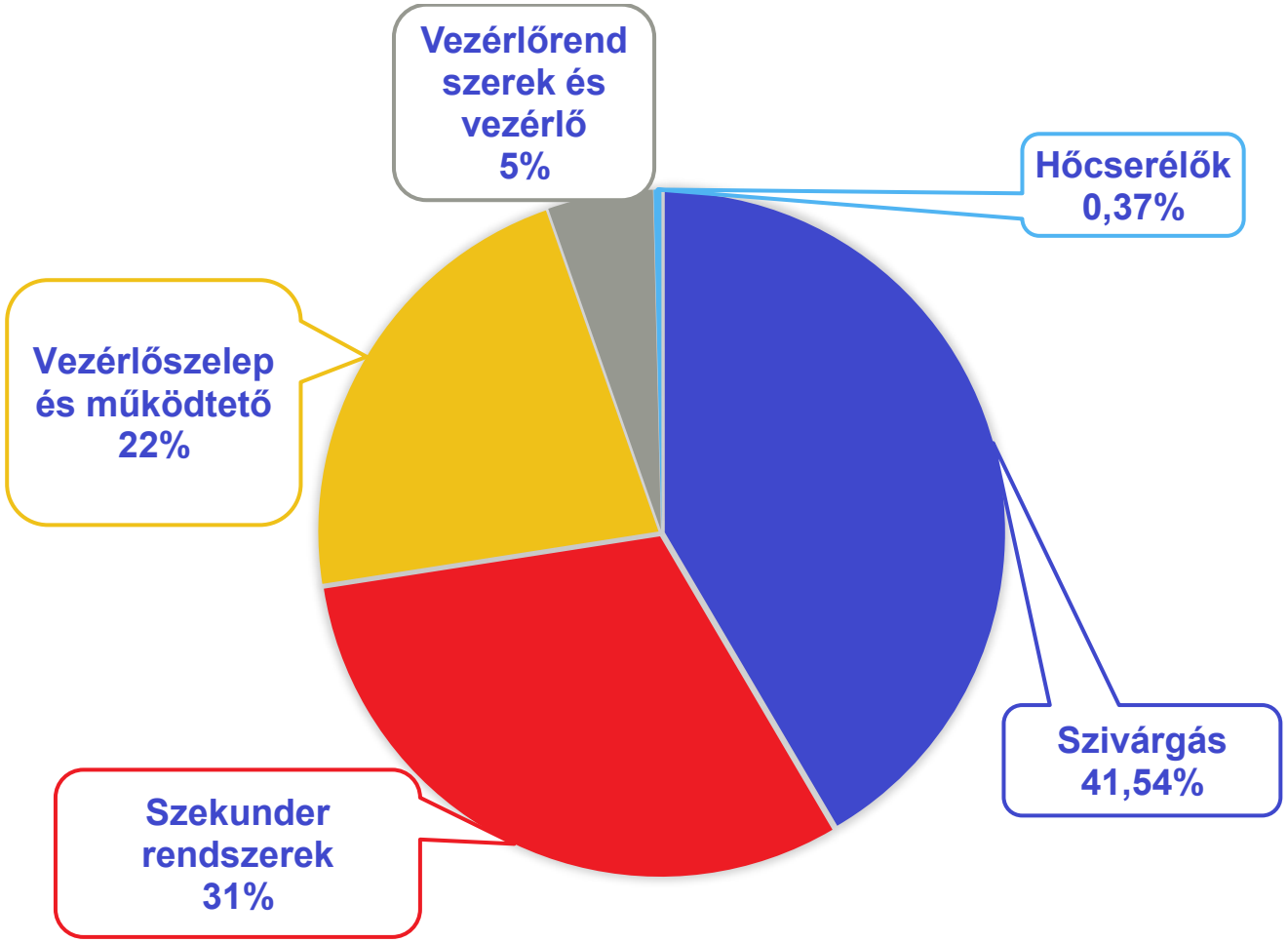
Module 5.4
Meghibásodások észlelése

SHaKE – Sharing Heat and Knowledge on Energy Communities
Erasmus+ KA220-HED Cooperation Partnerships in Higher Education
Developing institution: Mines Paris – PSL
Author: Dr. Antoine Fabre
Date: March 2026
Version 1.0



SHaKE
Sharing Knowledge on Energy Communities

1. Bevezetés



[Mansson & al, 2019]



A hőközpont csak 26%-ban működik megfelelően

[Gadd et Werner, 2015]

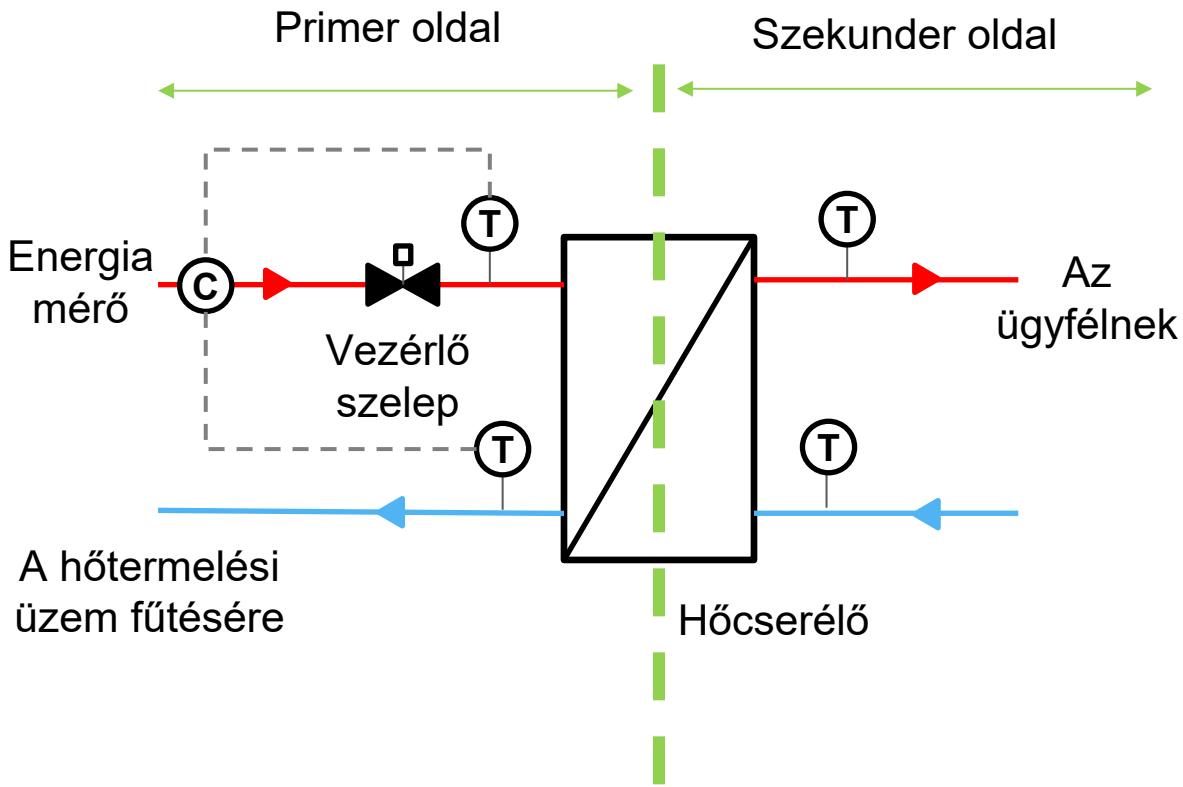


A legsúlyosabb meghibásodások a következők:

- Hibás vezérlőszelepek
- Alkalmatlan Szekunder hálózati rendszerek
- Nincs megfelelő HMV ellátási rendszer

[Zinko et Al, 2005]

2. Meghibásodások

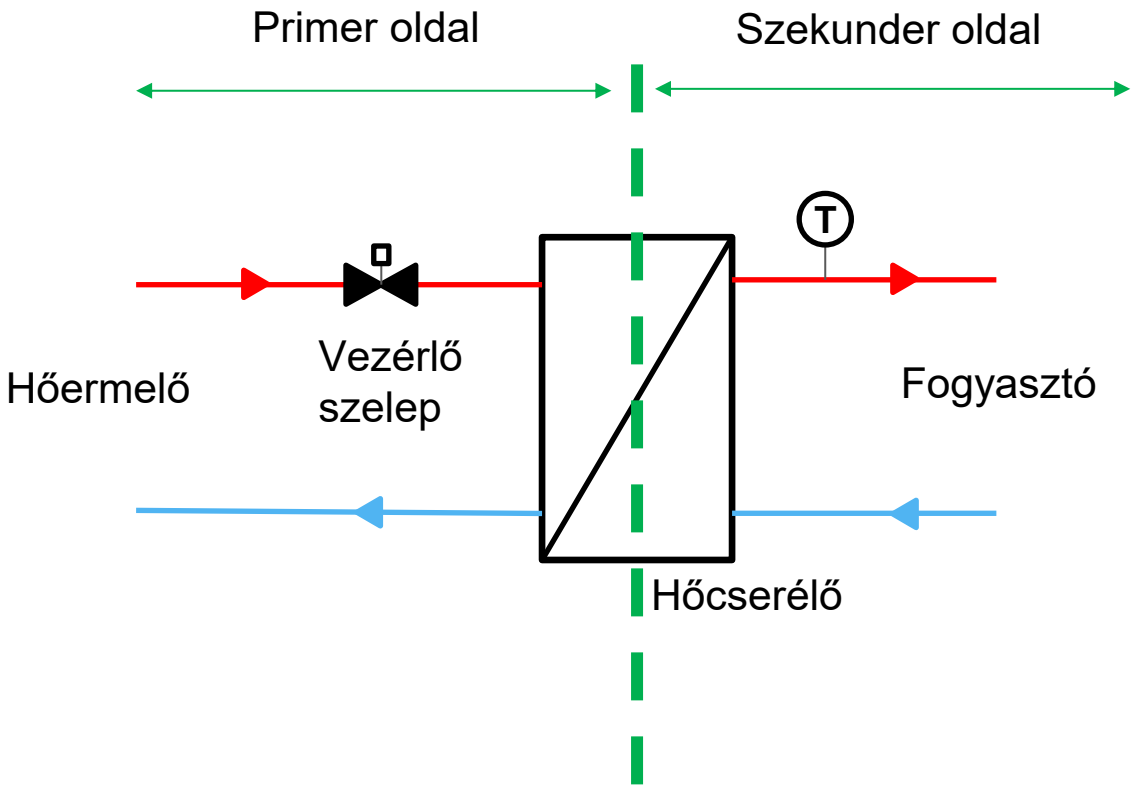


Elérhető adatok:

- Jogi:
  - Primer előremenő és visszatérő hőmérséklet
  - Szekunder előremenő hőmérséklet
  - Elsődleges tömegáramlás
  - Hőáram csere az hőközponton
- Nagyon szükség van:
  - Szekunder visszatérő hőmérséklet
  - Szekunder térfogatáram
- Hasznos:
  - visszatérő hőmérséklet minden kibocsátónál

Hogyan lehet felismerni, ha hibák vannak?

2. Meghibásodások



Az üzemeltetők által alkalmazott hibafelismerési módszerek

Havi ügyfélszámlázási adatok ellenőrzései

Minőségi index a telepítési teljesítmény alapján

A visszatérő hőmérséklet szintek elemzése

Áramlási ráták elemzése

Túlfogyasztási módszer

2. Meghibásodások

Hiba detektálása

Adatminták, amelyek nem felelnek meg a korábban meghatározott elvárt és «normális» viselkedés fogalmának

- Kivételek
- Eltérések
- A tipikus viselkedés
- Rendellenes minták

Hibafelismerés

Olyan változás egy rendszerben, amelynek következtében az már nem képes kielégítően működni és megfelelni a felhasználója igényeinek.

- Szükség korrekciós intézkedésekre
- Az okok feltárása



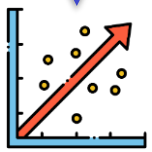
Hibák? Nem hatékony használat?
Változás a felhasználói viselkedésben?

2. Meghibásodások

Hiba detektálása



Osztályozás



Regresszió



Küszöbértékek

Hibafelismerés



Vizualizáció



Klaszterezés

Ezek az anomáliák vagy hibafelismerési módszerek külön-külön vagy kombinációban is alkalmazhatók

3. Hiba detektálása

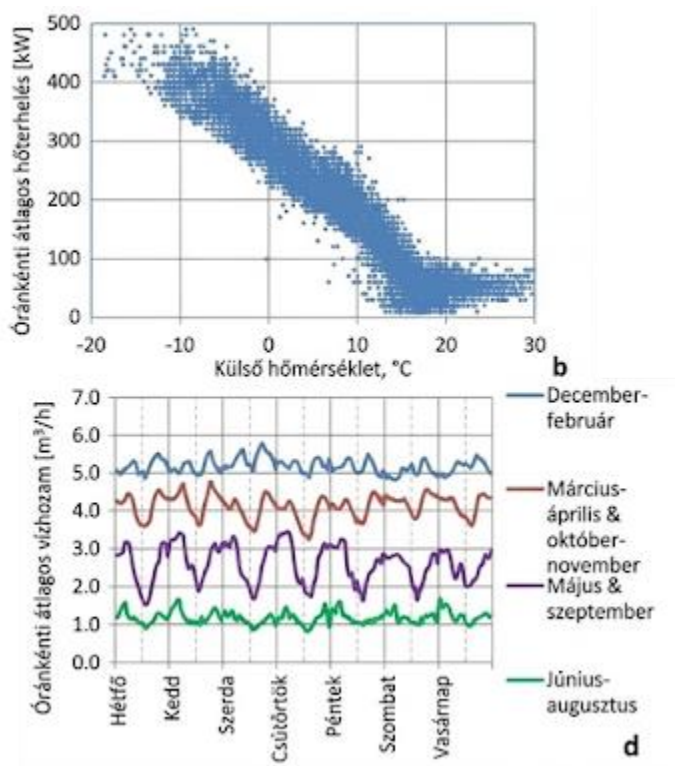


Vizualizáció és Manuális elemzés

Emberi szakértők vizualizáció segítségével vizsgálják az hőközpont méréseit vagy a származtatott mérőszámokat. Nagy rugalmasság, de szubjektív

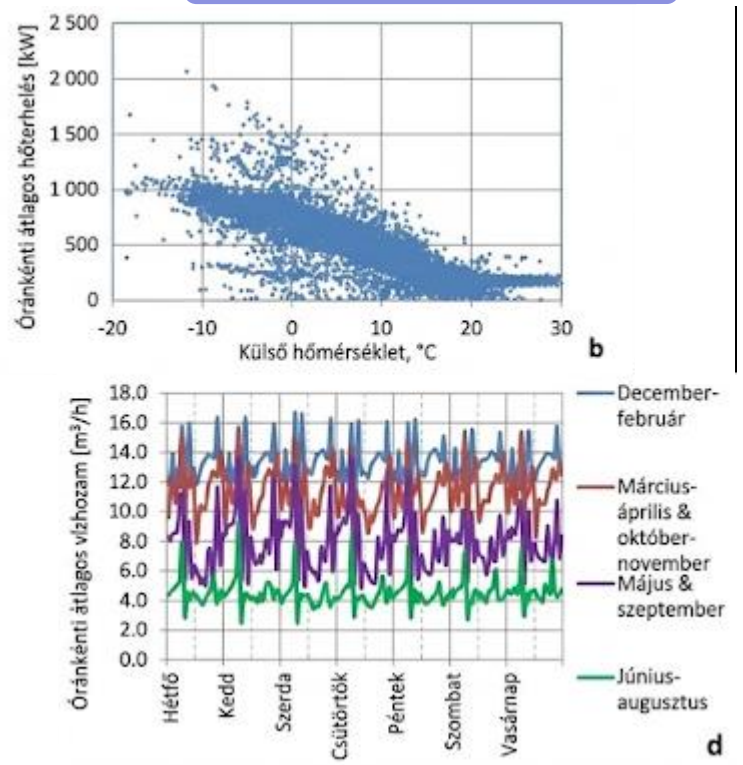
3. Hiba detektálása

Helyes viselkedés



Az hőközpont eltérő viselkedése a referencia hőközponthoz képest

Helytelen viselkedés



[Gadd & Werner, 2015]

3. Hiba detektálása

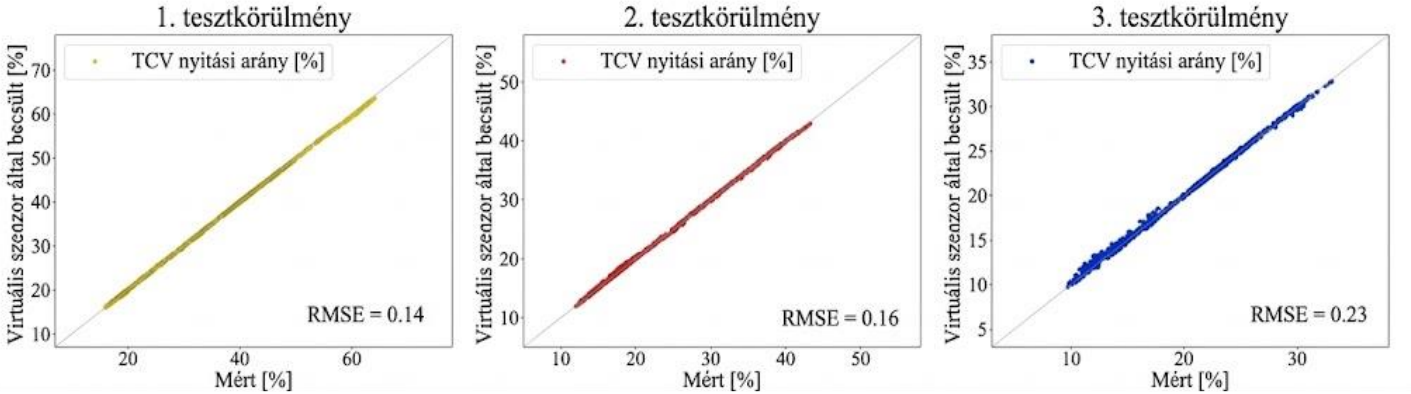


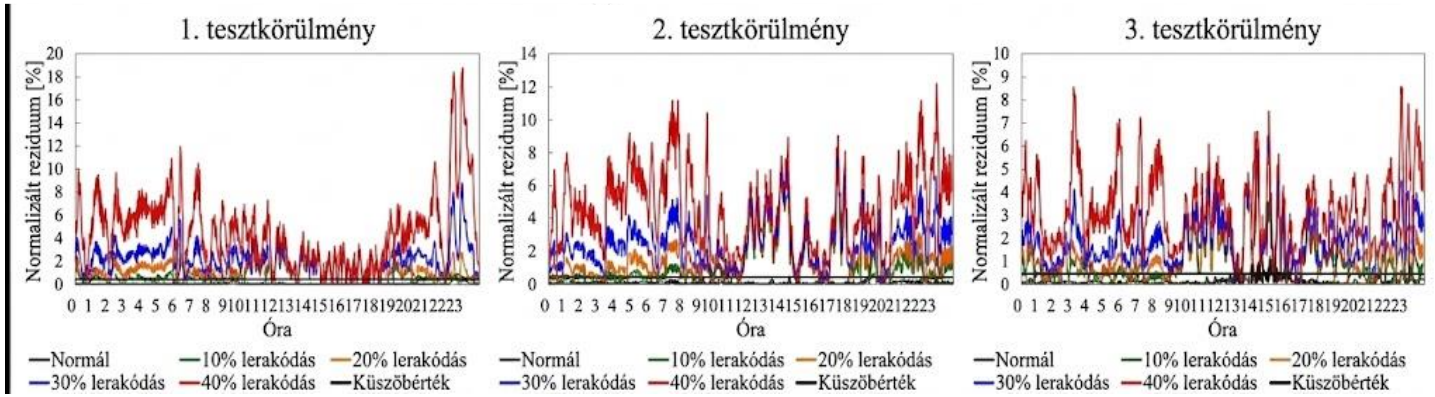
Küszöb értékek

Az hőközpont állapotának meghatározására küszöbértéket alkalmaznak. A küszöbértékeket szakértő állíthatja be manuálisan, a hibaarány vagy statisztikai elemzés alapján.

[Kim & al , 2021]

3. Hiba detektálása





Korreláció a mért és a hibamentes gépi tanulási (ML) modell által szimulált szabályozószelep-nyitás között

A szimulált és a mért szelepnyitás közötti normalizált maradékérték kiszámítása különböző lerakódási esetekre

A lerakódást akkor észleli a rendszer, ha a küszöbértéket túllépik.

A küszöbérték meghatározása a normál működés melletti téves riasztási arányon (3% alatti érték) alapul.

[Kim & al , 2021]

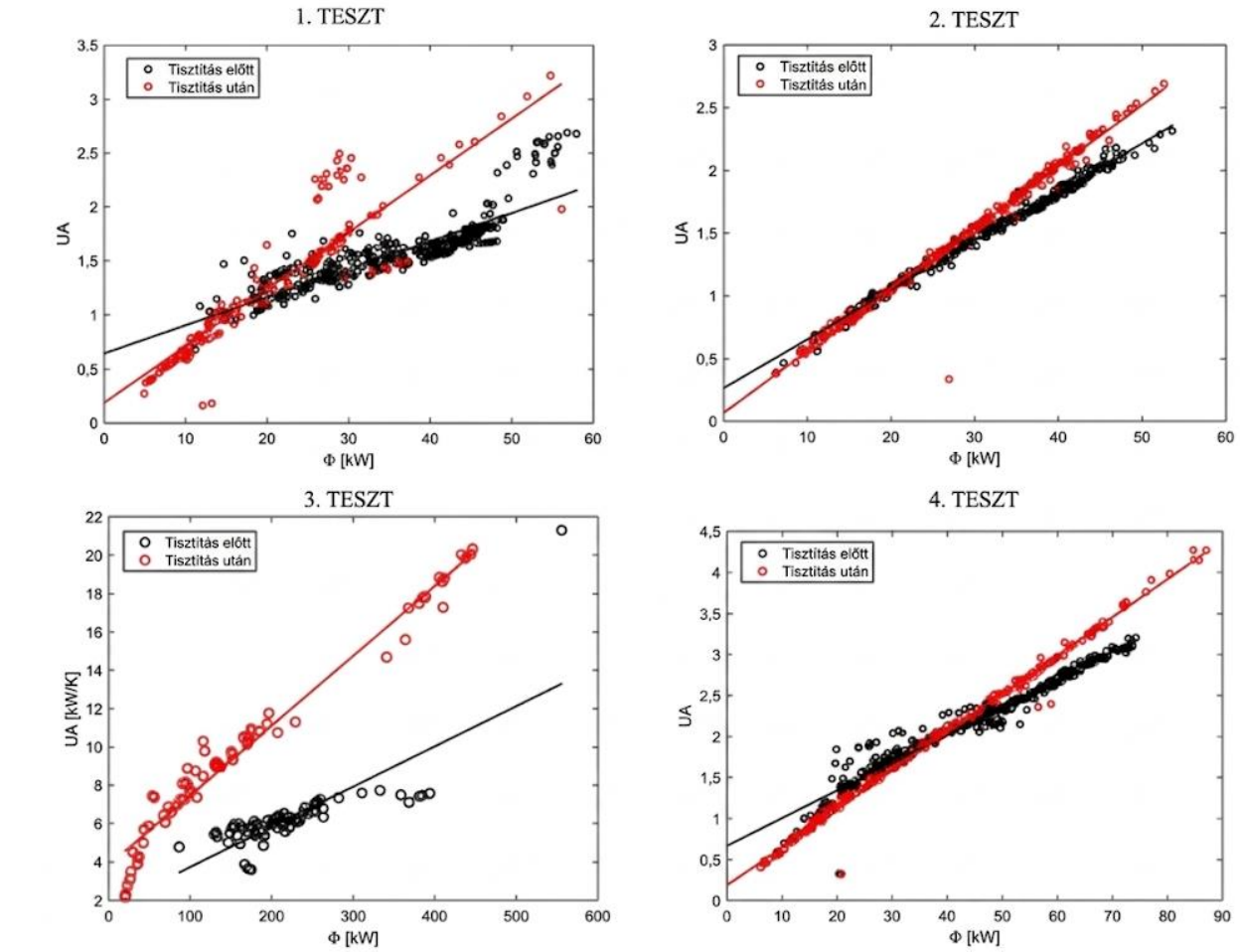
3. Hiba detektálása



Regresszió

A regresszió célja a függő változó és egy vagy több független változó közötti kapcsolat becslése. A regressziót jellemzően egy adott változó előrejelzésére, valamint az előrejelzett és a mért értékek közötti eltérés értékelésére alkalmazzák.

3. Hiba detektálása



[Guelpa & Verda , 2020]

Egy hőcserélő esetén lineáris regresszió van a cserélt energia és a globális hőátadási együttható UA között

$$UA = \frac{1}{DTLM} * \phi = \mathrm{a} * \phi$$

A hőcserélő beszennyeződése módosítja a lineáris görbe meredekségét.
Három küszöb van definiálva a lejtőváltozáson:

- <15% → Tiszta körülmények
- 15% < x < 25 % → Részben szennyeződött körülmények
- >25% → Magas szennyeződés

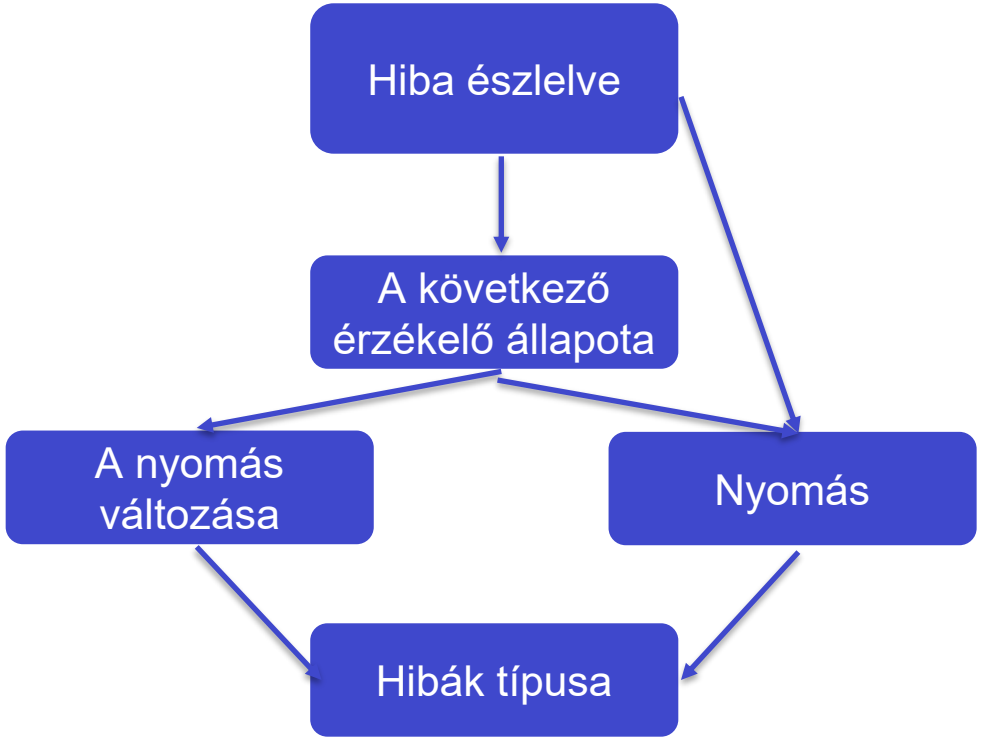
3. Hiba detektálása



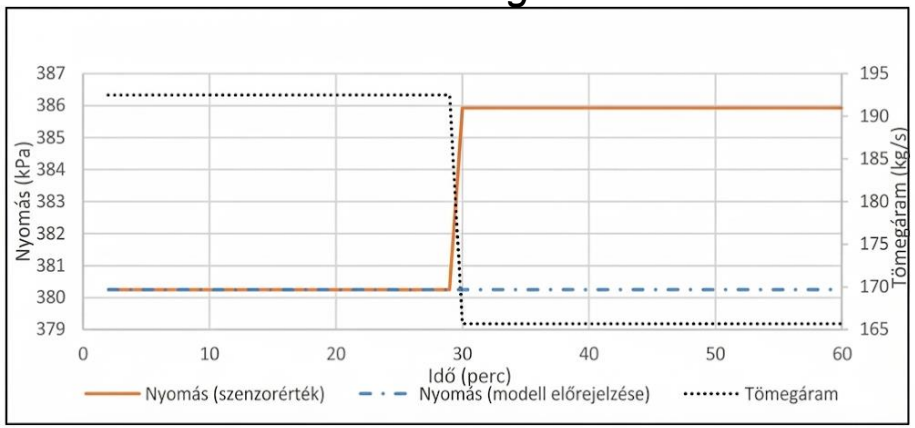
Osztályozás

Olyan gépi tanulási feladat, amelynek során egy elemet több megadott osztály (például normál működés, rendellenes működés) egyikébe sorolnak be. A regresszióval ellentétben a klasszifikátor eredménye az elem besorolása, amelyet egy egész szám jelöl.

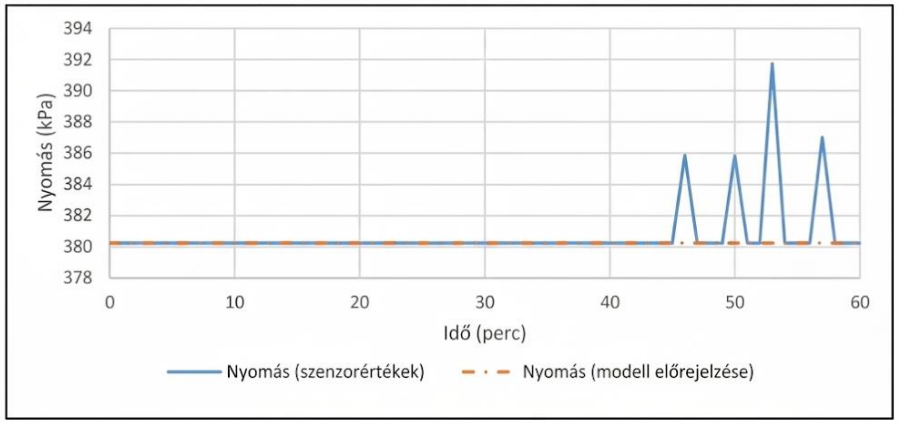
3. Hiba detektálása



Szivárgás



Érzékelőhiba



A Bayes-hálók felhasználhatóak ismert mennyiségek közötti ok-okozati összefüggések valószínűségi leírására, lehetővé téve a hibák automatikus észlelését.

Itt a csővezetékre vonatkozó nyomásmérés összehasonlítása látható.

[Zimmerman & al, 2020]

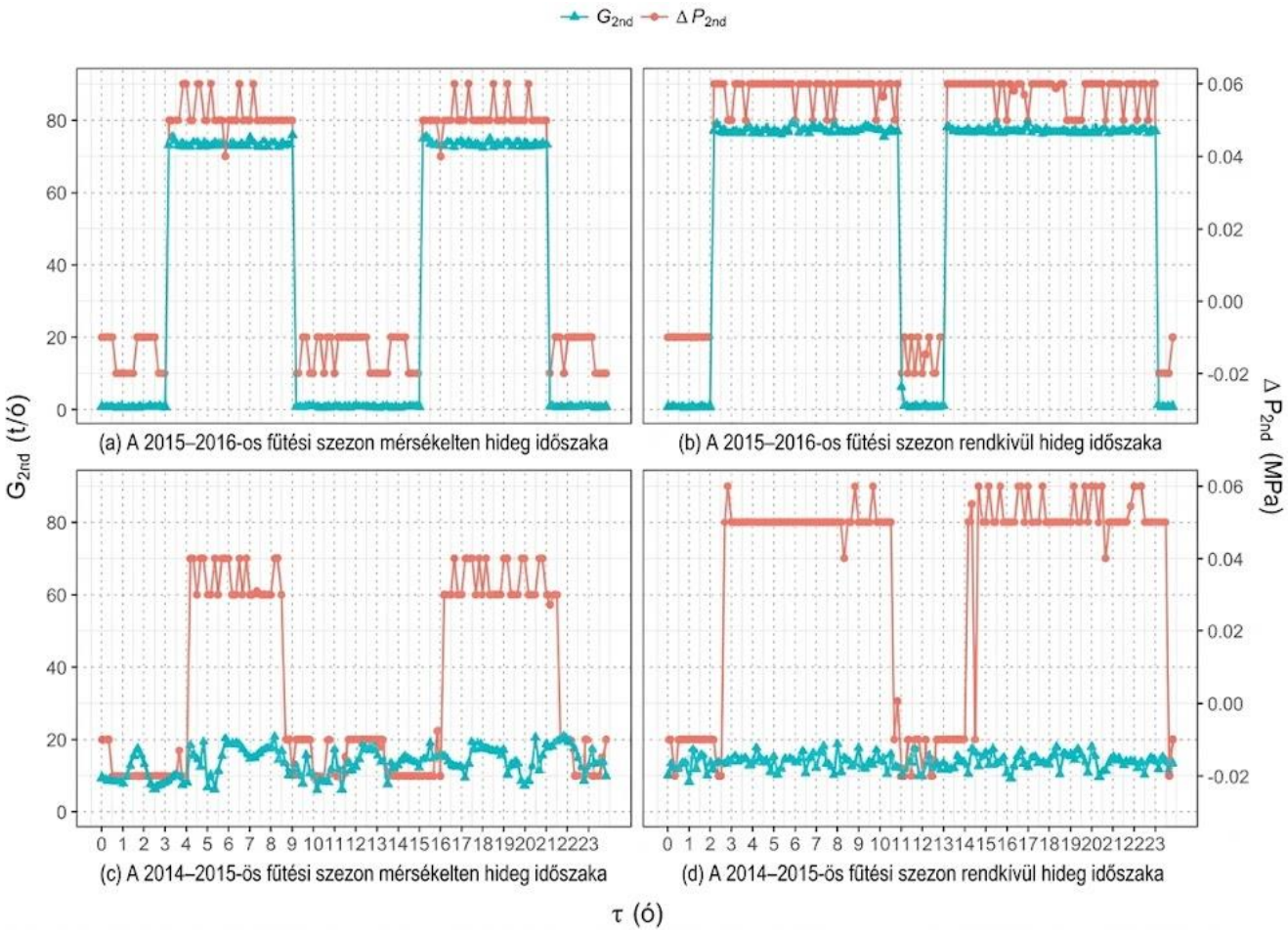
3. Hiba detektálása



Klaszterezés

A klaszterezés hasonlít a klasszifikációhoz, ám ahelyett, hogy annotált példákból tanulna, a módszer úgy csoportosítja az elemeket, hogy az azonos klaszterbe tartozók egymással több közös tulajdonsággal rendelkezzenek. Ezt követően azonosíthatók és elemezhetők a kiugró értékek, illetve a peremhelyzetű klaszterek.

3. Hiba detektálása



[Xue & al , 2017]

A klaszteranalízis azonosíthatja az évszakos és napi működési mintákat.

Különböző szabályozási stratégiákat azonosít:
A primer hőmérsékletkülönbség és a kicserélt hő közötti kapcsolat
A szekunder tömegáram és a kicserélt hő közötti kapcsolat
A szekunder tömegáram és a szekunder nyomáskülönbség közötti kapcsolat
A primer és szekunder oldalon kicserélt hő közötti kapcsolat

Ha az egyik minta nem felel meg egy klaszternek, akkor hibát észlel.

3. Hiba detektálása

Mindezek a módszerek ugyanazon a koncepción alapulnak: a mért adatok összehasonlítása egy normál műveleti adatokkal a eltérések megtalálásához

Milyen az adatok minősége?

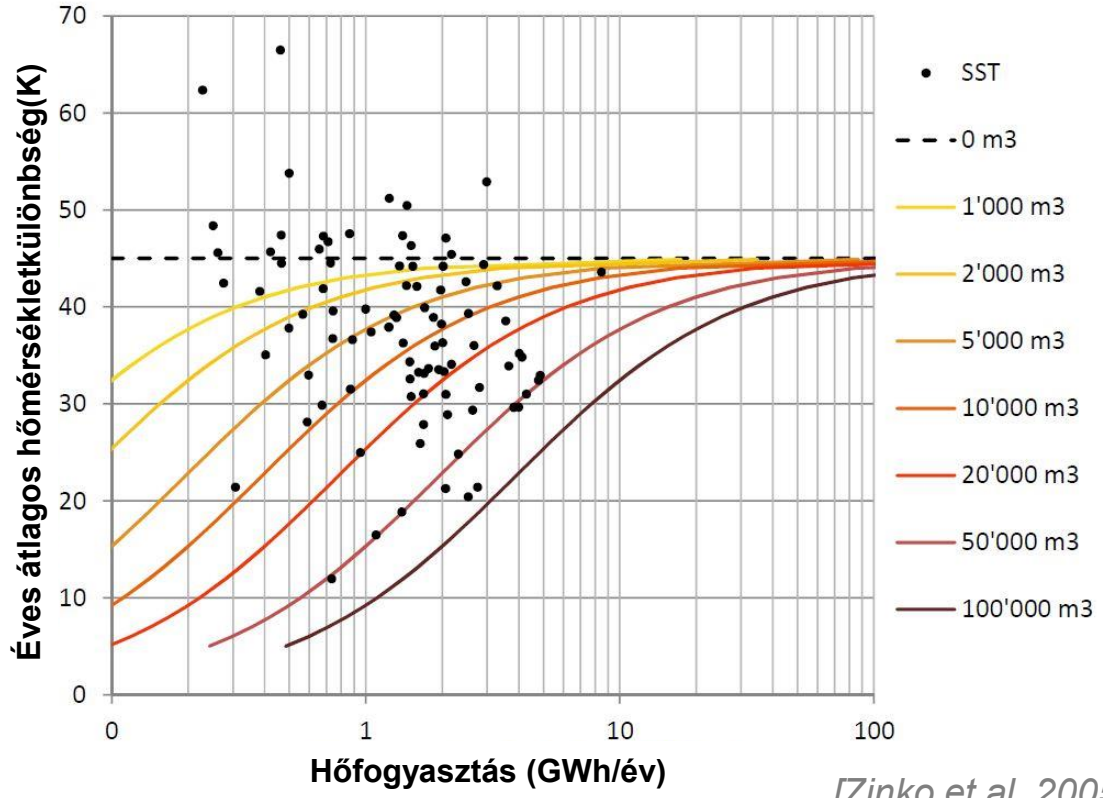
Mi a normális viselkedés??



Mi a hiba oka?

Mi a detektálási küszöb??

3. Hiba detektálása



[Zinko et al, 2005]



Kevés adatra van szükség
Prioritásként kezeled a vizsgálatot

Többletvíz módszer

$$V_{excess} = V_{mes} - V_{target}$$

$$V_{excess} = \frac{\dot{Q}_{mes}}{\rho Cp}\left(\frac{1}{T_{sup,mes} - T_{ret,mes}} - \frac{1}{T_{sup,mes} - T_{ret,target}}\right)$$

Minél nagyobb a többletáramlás mértéke, annál inkább rontja az adott hőközpont a hálózat általános teljesítményét.

A többletáramlás-alapú módszer lehetővé teszi az hőközpontok (SST) rangsorolását, és ezáltal a kiemelt vizsgálatot igénylő hőközpont kiválasztását.

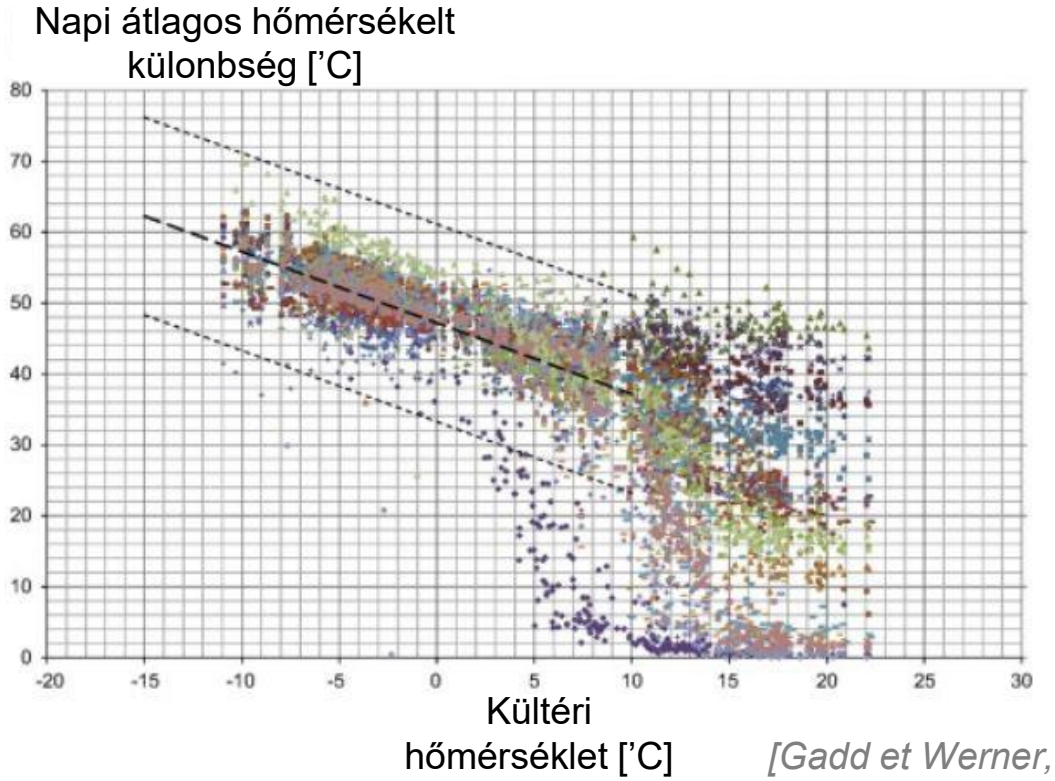


Hogyan válasszuk ki a referencia-hőmérsékletet?

Nem mindennapi használatra szánt eszköz

Fogalmunk sincs a hiba eredetéről

3. Hiba detektálása



[Gadd et Werner, 2014]

Hőjel módszer

Mérőeszközök alapján:

$$\Delta T_{prim,moy} = a\, T_{out} + b$$

$$Threshold_{high} = \Delta T_{prim,moy} = +3\,\sigma$$

$$Threshold_{high} = \Delta T_{prim,moy} = -3\,\sigma$$

Ha egy mért *Δ T_prim* áthalad egy küszöböt, anomáliát észlelnek. Ez a jelző nem működik, ha az hőközpont csak a HMV-t biztosítja



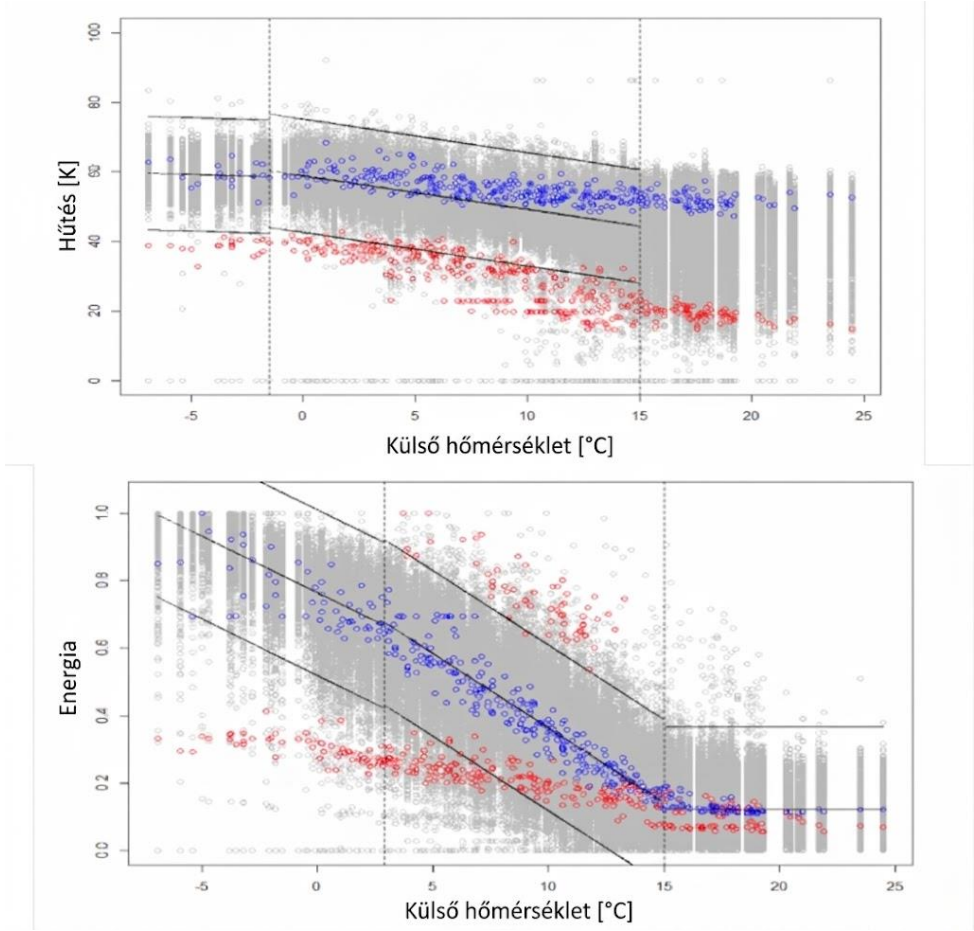
Kevés adatra van szükség
Gyors Hiba felismerése



Hogyan válasszuk ki a referenciamagatartást?

Semmilyen információ nincs a hiba eredetéről.

3. Hiba detektálása



[Manson & al, 2018]

A hőjel módszer fejlesztése:
A külső hőmérséklettől függő eltérő lineáris regresszió
A szóráson alapuló azonos küszöbérték
Új adatok felhasználása (energiaátadás és visszatérő hőmérséklet)

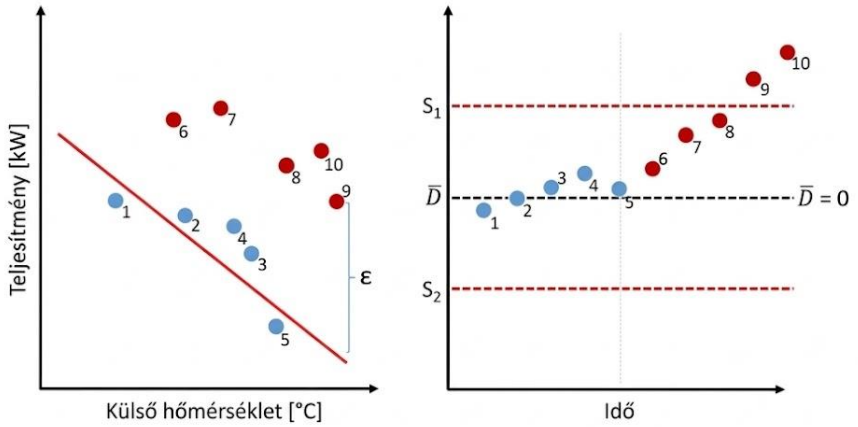


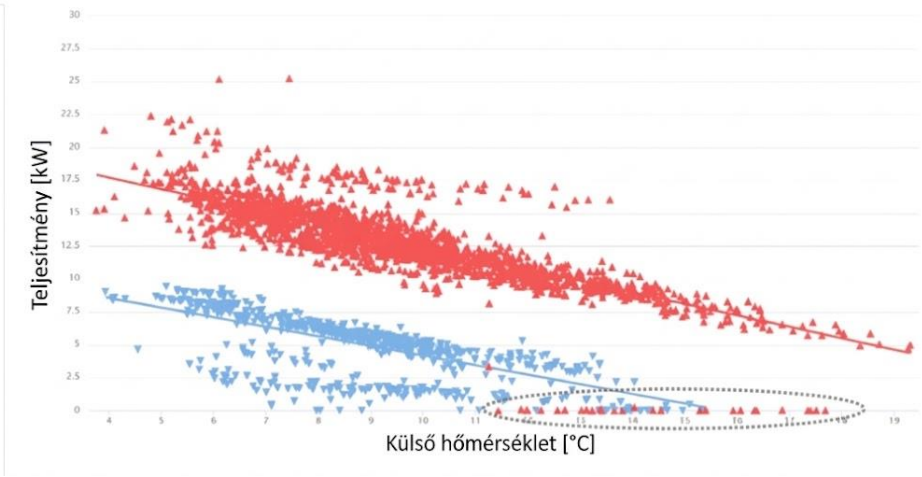
Kevés adatra van szükség
Gyors Hiba felismerése



Hogyan válasszuk ki a referenciamagatartást?
Semmilyen információ nincs a hiba eredetéről.

3. Hiba detektálása





[Theusch & al, 2021]

A hőjel módszer fejlesztése:

A különböző hőterhelési mintázatok (különböző típusú végfelhasználók) csoportosítása

Kültéri hőmérséklettől függő eltérő lineáris regressziók

A csoport alapján meghatározott adaptív küszöbérték

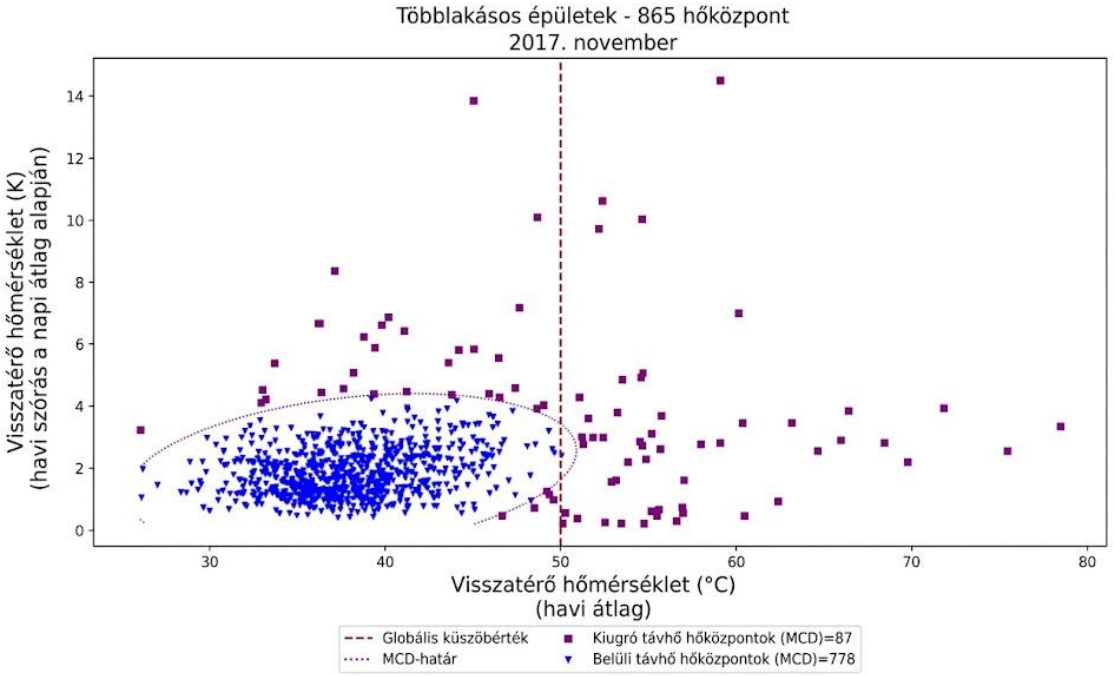


Kevés adatra van szükség
Gyors Hiba felismerése



Minőségi adatok és a végfelhasználókkal kapcsolatos ismeretek szükségessége
Semmilyen információ nincs a hiba eredetéről.

3. Hiba detektálása



A hőjel módszer fejlesztése:

A különböző hőterhelési mintázatok (különböző típusú végfelhasználók) csoportosítása

A klaszteren alapuló adaptív küszöbérték

[Farouq & al, 2020]

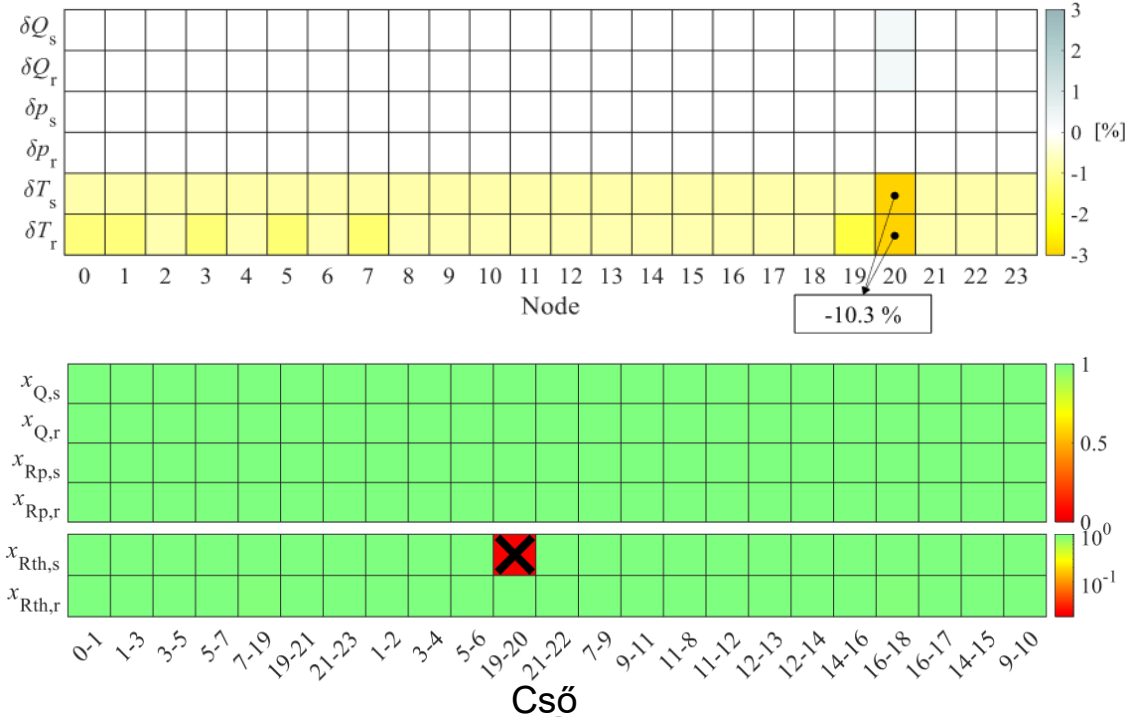


Kevés adatra van szükség
Gyors Hiba felismerése



Minőségi adatok és a végfelhasználókkal kapcsolatos ismeretek szükségessége
Semmilyen információ nincs a hiba eredetéről.

4. Hibafelismerés



[Bahlawan & al, 2022]

Összehasonlítás a mért adatok és a szimuláció adatai között. A hiba a mért és a szimulált adatok relatív különbségén keresztül elemezhető ki

$$\delta T_s = \frac{T_{s,mes} - T_{s,simu}}{T_{s,simu}}$$

A diagnózis felállítása egy optimalizálási algoritmus segítségével kiszámított mutatók alapján történik.

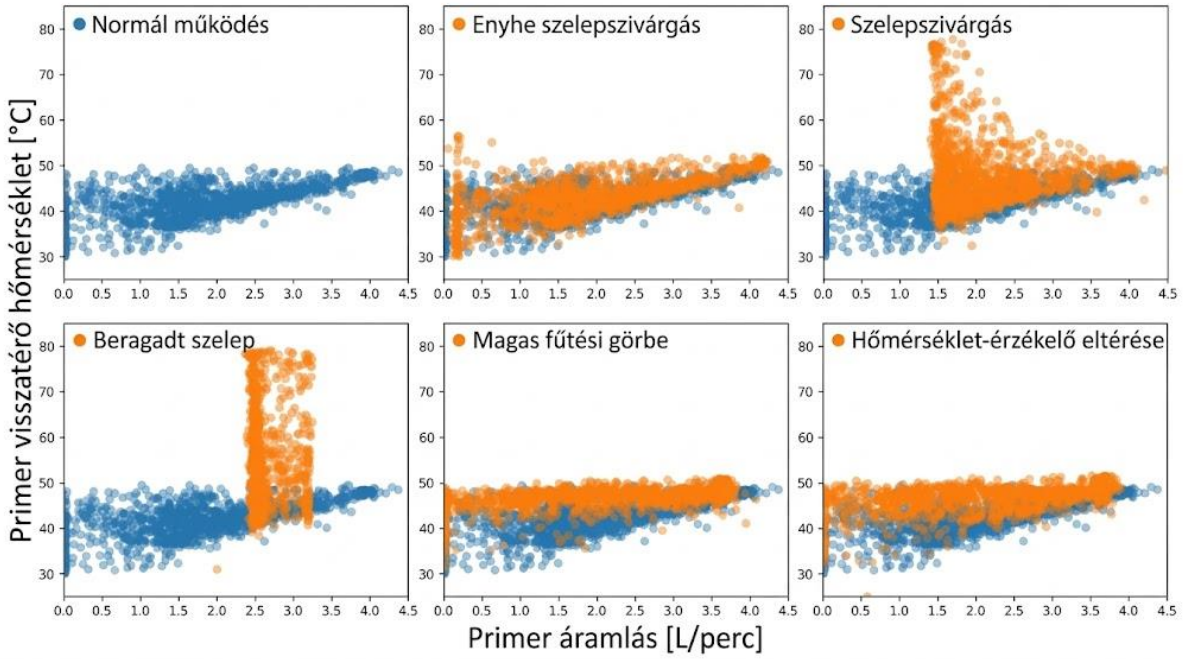


Gyors Hiba felismerése
Az Hiba diagnosztizálása



Minőségi adatok igénye
A hálózat digitális ikerpárjának szükségessége

4. Hibafelismerés



Gépi tanulási algoritmust alkalmaznak a következőkre:

A normál működési viselkedés megtanulása (laboratóriumi kísérleti adatok alapján)

Különböző hibák jellegzetes „aláírásának” (mintázat és statisztikai érték) megtanulása

[Van Dreven & al, 2024]



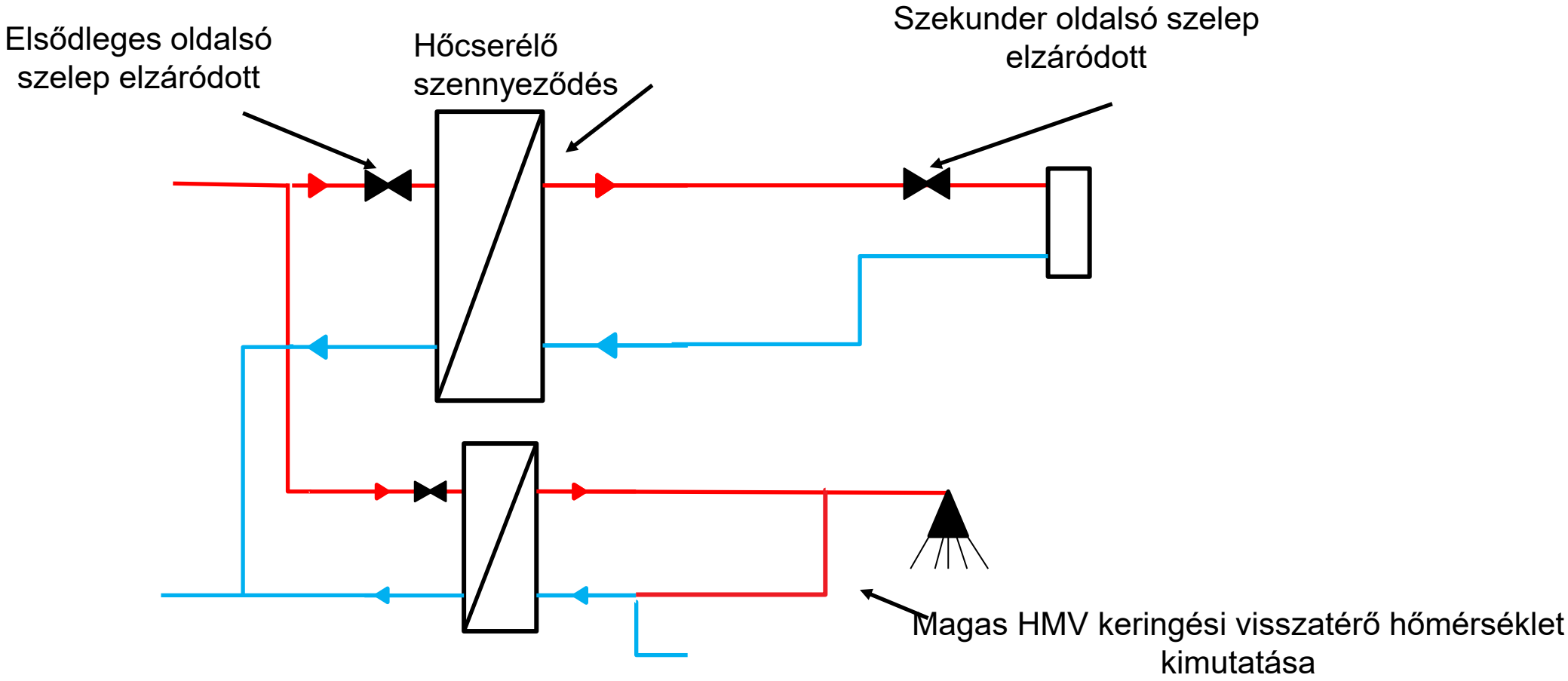
Gyors Hiba felismerése
Az Hiba diagnosztizálása



Minőségi adatok igénye
Szükség címkézett hibaadatokra

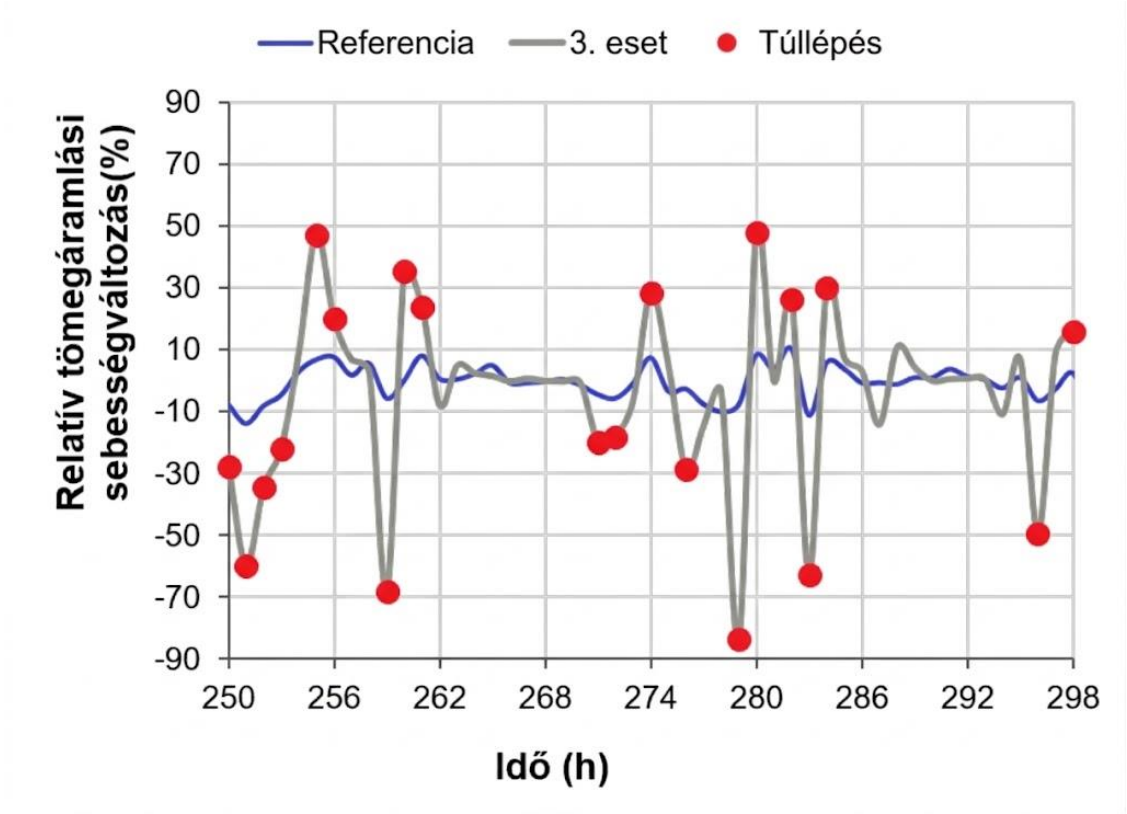
4. Hibafelismerés

Vizsgált hibák:



4. Hibafelismerés

- Elsődleges oldalsó szelep elzáródott



Megfigyelés: a tömegáram instabilitása

Javasolt mutató:

A tömegáram változásának kiszámítása

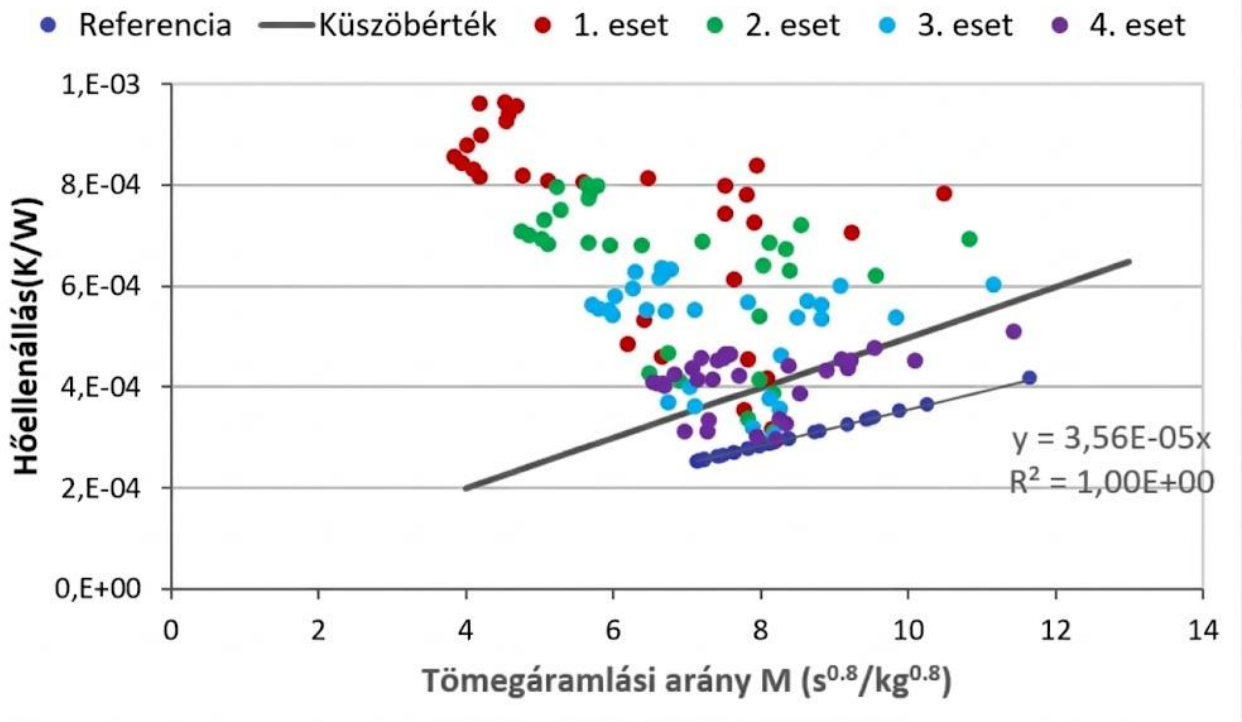
$$D_m = \frac{\dot{m}_{t+\Delta t} - \dot{m}_t}{\dot{m}_{t+\Delta t}}$$

- Kritériumok: ha napi 4 alkalommal Dm>15%-kal többet fogyasztanak, szabályozási probléma adódik

[Fabre, 2020]

4. Hibafelismerés

- A hőcserélő beszennyeződése



Megfigyelés: A hőellenállás növekedése a tömegáram arány alapján

A hőellenállás kiszámítása tisztítás után:

$$R_{HEX,szennyezés\ nélkül} = DTLM/\dot{Q}$$

$$R_{HEX,szennyezés\ nélkül} = \mathrm{A}\,\dot{M} + \mathrm{B}$$

$$\dot{M} = \frac{\dot{m}_p^{0,8} + \dot{m}_s^{0,8}}{\dot{m}_p^{0,8}\dot{m}_s^{0,8}}$$

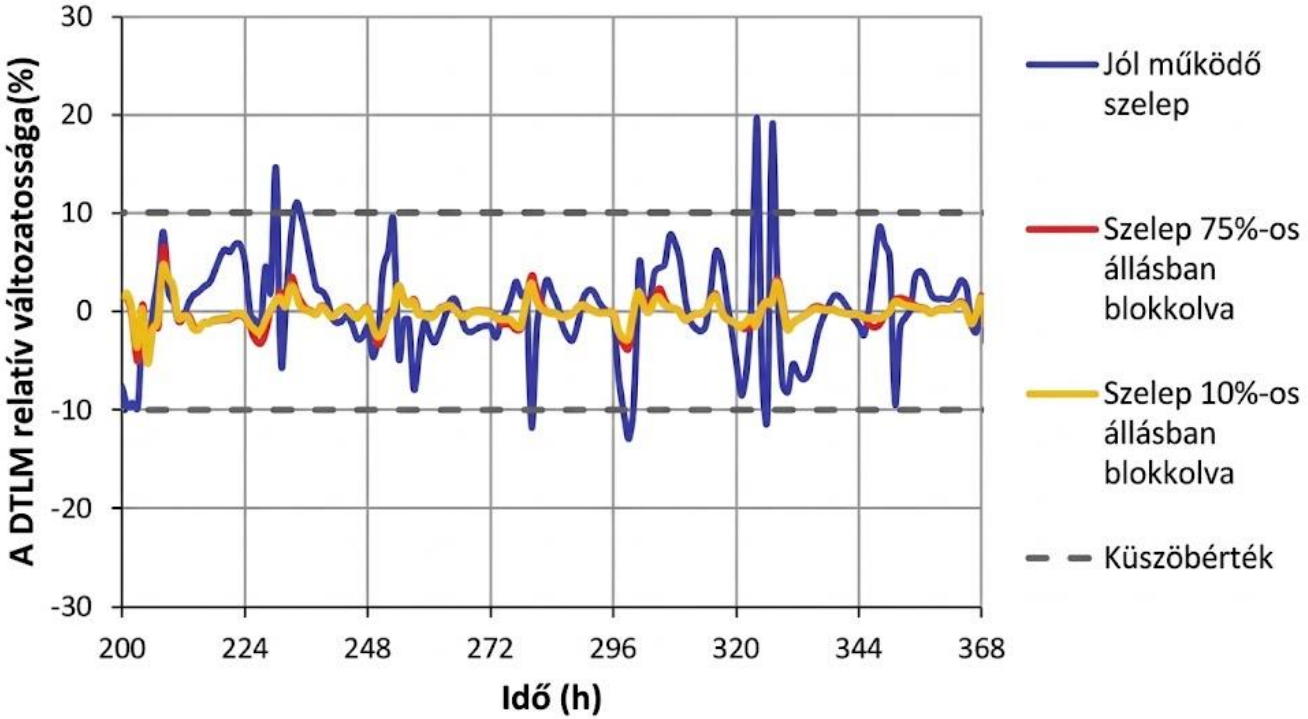
Kritériumok: egy adott $\dot{M}$ esetén, ha

$$R_{HEX} > 1{,}4\ R_{HEX,szennyezés\ nélkül}$$

[Fabre, 2020]

4. Hibafelismerés

- Szekunder oldalsó szelep elzáródott



Megfigyelés: a radiátor DTLM változatai kisimítottak

A radiátor DTLM számítása:

$$\mathrm{DTLM} = \ln\left(\frac{T_{be} - T_{belt}}{T_{kü} - T_{belt}}\right)$$

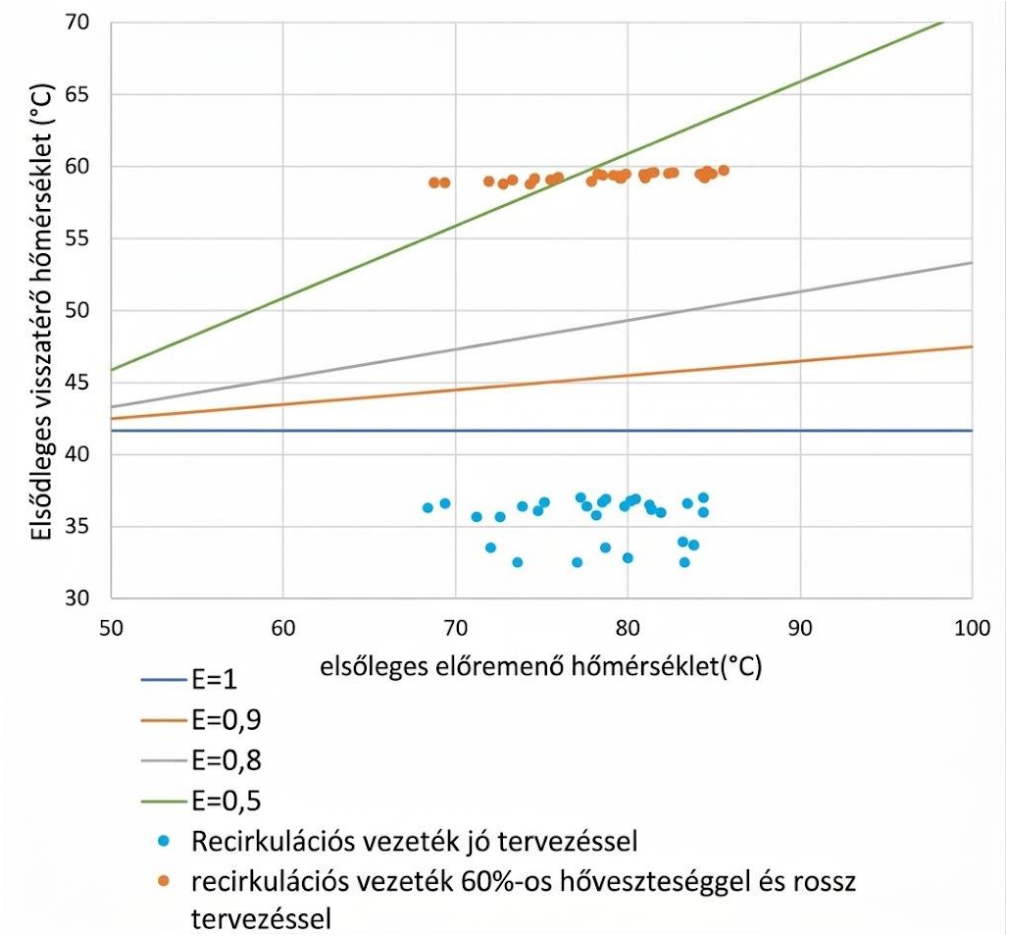
Kritériumok:
ha a DTLM relatív változása 10% <

[Fabre, 2020]

4. Hibafelismerés

- HMV visszatérő hőmérséklet

[Fabre, 2020]



Megfigyelés: a HMV Hőcserélő elsődleges oldalán a visszatérő hőmérséklet magas

Feltételezés:

$$T_{recirc} = 55°C$$

$$Tervezett\ F = \dot{m}_{recirc} / \dot{m}_{igény}$$

Számítás:

$$T_{p,ki} = (1 - E)\ T_{p,be} + \frac{E}{1 + F}\ (T_{recirc}\ F + T_{CW})$$

Kritériumok: Ábrázoljuk mindkét elsődleges oldalhőmérséklet mértékét. Ellenőrizzük, hogy a grafikonok magasabbak-e egy effektív E=0,8 szürke vonalánál.

Hivatkozások

- **S. Månsson, P. O. Johansson Kallioniemi, M. Thern, T. Van Oevelen and K. Sernhed**, "A távfűtési ügyfelek telepítéseinek hibái és azok megközelítése: Tapasztalatok a svéd közműcégektől," Energy, 180. kötet, 163-174. o., 2019
- **H. Gadd & S. Werner**, “Hibafelismerés a távfűtési hőközpontokban", Applied Energy, 51-59. o., 2015, http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.07.061

- **R. Kim, Y. Hong, Y. Choi, S. Yoon,** “Rendszerszintű szennyeződés észlelése a távolsági fűtési hőközpontok virtuális szenzor-segített épületautomatizálási rendszerrel", Energy, 227. kötet, 120-515. o., 2021, https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.120515

- **E. Guelpa & V. Verda**, "Automatikus szennyeződés észlelése a távfűtési hőközpontokban: Módszertan és tesztek", Applied Energy, 258. kötet, 114059. oldal, 2020,https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.114059

- **P. Xue, Z. Zhou, X. Fang, X. Chen, L. Liu, Y. Liu, J. Liu**, “Hibafelismerés és működés optimalizálása a távfűtési hőközpontokban adatbányászati technikák alapján", Applied Energy, 205. kötet, 926-940. o., 2017, http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.08.035

- **H. Zinko, H. Lee, B.-K. Kim, Y.-H. Kim, Y.-H. Kim, A. Loewen, A. Loewen, H. Walletun, M. Wigbels**, "A távoli fűtési rendszerek működési hőmérséklet-különbségeinek javítása," Nemzetközi Energiaügynökség. IEA DHC & CHP VII. MELLÉKLET. 2005
- **H. Gadd & S. Werner**, "Alacsony visszatérő hőmérséklet elérése távfűtési hőközpontokból," Applied energy, 136. kötet, 59-67. o., 2014, http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.09.022

Hivatkozások

- **S. Månsson, K. Davidsson, P. Lauenburg & M. Thern**, "Automatizált statisztikai módszerek a távoli fűtési ügyféltelepítések hibaészlelésére," Energies, 12. kötet, 113. o., 2018,https://doi.org/10.3390/en12010113

- **F. Theusch, P. Klein, R. Bergmann, W. Wilke, W. Bock & A. Weber**, “Hibafelismerés és állapot monitorozása a távfűtésben okos mérő adatok segítségével", PHM Társaság Európai Konferencia, 6. kötet, 11. o., 2021,https://doi.org/10.36001/phme.2021.v6i1.2786

- **S. Farouq, S. Byttner, M.-R. Bouguelia, N. Nord & H. Gadd**, "Működési szempontból sokszínű távfűtési hőközpontok nagyszabású monitorozása: Referenciacsoport-alapú megközelítés," Engineering applications of artificial intelligence, 90. oldal, 2020.https://doi.org/10.1016/j.engappai.2020.103492

- **H. Bahlawan, N. Ferraro, A. Gambarotta, E. Losi, L. Manservigi, M. Morini, C. Saletti, P. Ruggero Spina & M. Venturini**, "A távoli fűtési hálózat hibáinak észlelése és azonosítása", Energy Conversion and Management, 266. kötet, 115837. oldal, 2022, https://doi.org/10.1016/j.enconman.2022.115837

- **J. Van Dreven, V. Boeva, S. Abghari, H. Grahn, J. Al Koussa**, “Rendszerszintű adatgenerálási megközelítés intelligens hibafelismerés és diagnosztizálás céljából a körfűtésben", Energy, 307. kötet, 132711. oldal, 2024,https://doi.org/10.1016/j.energy.2024.132711

- **A. Fabre,** "Teljesítménymutatók és hibafelismerés fejlesztése a fűtési hálózatokon a menedzsment optimalizálási folyamatában", PhD értekezés, Mines Paris PSL, 2020 https://doi.org/10.70675/656cda46z6318z424bz8417za6c460641433

Thank you!

Module 5.4 – Detection of malfunctions

SHaKE – Sharing Heat and Knowledge on Energy Communities

https://www.shakeproject-dhc.eu/

Developed by Mines Paris – PSL
Antoine Fabre | antoine.fabre@minesparis.psl.eu
Pascal Stabat | pascal.stabat@minesparis.psl.eu

Co-funded by
the European Union

