

**Eötvös Loránd Tudományegyetem  
Informatikai Kar**

**HEURISZTIKUS ELJÁRÁSOK ALKALMAZÁSA A  
CSŐDELŐREJELZÉSBEN**

**DOKTORI ÉRTEKEZÉS TÉZISEI**

**Bozsik József**

Témavezető:  
Dr. Fullér Róbert D.Sc.

INFORMATIKA DOKTORI ISKOLA  
Dr. Csuha-Varjú Erzsébet D.Sc.

Az Informatika Alapjai és Módszertana Doktori Program  
Dr. Demetrovics János D.Sc.

*Budapest, 2016*

## Bevezetés

A mai globális pénzügyi helyzetben, gondoljunk az amerikai pénzügyi válságra, kiemelten fontos szerepet tulajdonítanak a bankok és a nagyobb pénzügyintézetek – legyenek azok állami- vagy magánkézben lévők – a megbízható és pontos döntéstámogató rendszereknek. Ezen rendszerek hatékonysága a sokszínűségükben, plurális voltukban érhető tetten. Az ilyen heterogén rendszerekben különféle információkból, sokféle technológiát és elméletet felhasználva igyekeznek, egy minden szempontból kielégítő és a lehetőségekhez mérten legjobb eredményt előállítani.

A csőd-előrejelzési modell az egyik legfontosabb komponense egy komplex pénzügyi döntéstámogató rendszernek. Ez természetesen adódik abból az egyszerű tényből, hogy a pénzügyi szereplők legjobban a biztonságos és kiszámíthatóan kihelyezett hiteleket kedvelik, amelyek kis kockázattal nagy profitot jelentő befektetést ígérnek.

A csődnek nem csak gazdasági értelemben van fontos jelentősége, hanem társadalmi szinten is nagyon jelentős morális hatást fejthet ki. Egy-egy nagyobb cég csődhelyzete kihatással lehet a társadalom egy nagyobb szeletére is, tehát ennek megfelelően nem csak pénzügyi, hanem morális okok is megerősítik a csőd-előrejelzés fontosságát és létjogosultságát, nem csak a gazdasági szervezetek számára.

Ennek a megállapításnak a fényében a csőd-előrejelzési rendszerek még inkább fontosak. Természetesen ezek is több különféle elméleti megoldást realizálnak, és azok kumulatív eredményét prezentálják az egyes részeredményekkel összemérve. Mint a fundamentális közgazdaság oly sok része, úgy ez a terület is erősen támaszkodik a matematikára, és azon belül a matematikai statisztika eszköztárára. A legfontosabb csőd-előrejelzési modellekben statisztikai alapú, logisztikus regressziót és idősor-elemzést használnak.

Ezek a módszerek jól használhatóak, de mára nagyon sok új módszerrel és eszközzel bővült a gazdálkodástudomány eszköztára. Minden módszernek megvannak az előnyei és a hátrányai is, így ezek a módszerek nem versenyeznek egymással, és nem a minden szempontból legjobb módszert keressük közülük. Ezek a módszerek egymást kiegészítve és egymás mellett alkalmazva adnak jól használható és bizonyos értelemben legjobb eredményt a pénzügyi szakemberek számára.

Az értekezés célja új és újszerű mesterséges intelligencia módszerek és modellek megalkotása, és azok vizsgálata a pénzügyi csőd-előrejelzésben. Mivel a magyarországi csőd-előrejelzés egy viszonylag fiatal tudományágnak számít, így kevesen foglalkoztak még a hazai viszonyok között mesterséges intelligencián alapuló technológiák alkalmazhatóságával ezen a tárgyterületen. Ennek köszönhetően ez a terület sok

lehetőséget rejt a klasszikus és az új hibrid mesterséges intelligencia módszerek alkalmazása szempontjából.

A klasszikus közgazdasági módszerek sok esetben félkarú óriások, mert igen sok megkötést fogalmaznak meg, itt elsősorban a linearitásra és az eloszlásokra kell gondolni. Ezek a megkötések feloldhatóak a mesterséges intelligencia módszereinek felhasználásával. Többek között ezért is alkalmazhatóak sikerrel az optimalizációs feladatok megoldásában a heurisztikus módszerek.

Mindezek mellett a folytonosan változó törvényi és gazdasági környezet is indokolja az új, rugalmasan adaptálható modellek kifejlesztését. A rugalmasság és a jó adaptációs képesség fontos erénye a hibrid mesterséges intelligencia módszereknek, de nem csak ez, hanem a külföldi sikeres alkalmazások is alátámasztják a módszerek létjogosultságát.

A csődelőrejelzés megközelíthető úgy is, mint egy szegmentálási, klaszterezési, vagy klasszifikációs probléma, és az ilyen típusú feladatokra nagyon jól alkalmazhatóak a klasszikus mesterséges intelligencia módszerek, ezen belül a heurisztikus eljárások. Az ilyen módszerek körébe tartoznak többek között a neurális hálózatok, fuzzy rendszerek, döntési fák és a genetikus algoritmusok. Az egyes eljárásokat, illetve azok részeit optimalizációs feladatnak is tekinthetjük, és amennyiben mértéket tudunk adni az eljárás jóságára, úgy azokat össze tudjuk hasonlítani más módszerek eredményeivel. Az osztályozási feladatokban ez általában megtehető, és ennek alapján az új módszerek eredményeit összevethetjük más módszerek eredményeivel.

## Az értekezés tézisei

A kutatómunkám központi eredménye, hogy kidolgoztam és összefoglaltam azokat a mesterséges intelligencia módszereket, amelyek jól használható megoldást biztosítanak az értekezés lényegét képző pénzügyi csőd-előrejelzéshez. Bemutattam a módszerek hatékonysági mutatóit, és ezek alapján eszközt biztosítottam azok hatékony felhasználására. A bemutatott módszereknél törekedtem a precízen leírt eljárások bemutatása mellett az őket megalapozó kutatások eredményeinek nemzetközi viszonylatba helyezésére is. A dolgozatban a módszereket megalapozó modellek részletes bemutatására is nagy hangsúlyt fektettem.

Kutatásaim során először megvizsgáltam a hagyományos közgazdasági módszereket, amelyeket behatóbban tanulmányozva megismertem azok előnyös tulajdonságait, és feltártam azok hátrányait is, amelyek megalapozták a kutatás további irányvonalát, ahogy azt részletesen a 2. fejezetben be is mutattam. A publikált eredmények és a nemzetközi tapasztalatok megerősítettek abban, hogy a magyarországi cégek adatai alapján is lehetséges hatékony mesterséges intelligencia alapú modelleket és módszereket kidolgozni a pénzügyi csőd-előrejelzés effektív támogatására.

A kutatás további irányát először a hagyományos mesterséges intelligencia módszerek családjába tartozó eljárások adták, amelyeket a 3. fejezetben mutattam be részletesen. Szintén ebben a fejezetben részletesen bemutatam a kapcsolódó eredményeimet [1], [2], [3], [4], [5], [6]. A hibrid módszerek irányába tettem előremutató lépéseket, amelyeket a 4. fejezetben fejtettem ki részletesen, és ismertettem saját eredményeimet [7], [8], [9], [10].

---

**1. tézis:** ID3 algoritmus specializációja banki hitelbírálathoz

---

*Kidolgoztam az ID3 algoritmus banki hitelbírálathoz használható modelljét. Az eredeti ID3 módszert kiegészítettem, és a problémára specializáltam az általam implementált modellben.*

---

Ebben a tézisben a döntési fákkal végzett kutatásaim eredményeit összegzem, amelyeket a 3.1 fejezetben ismertettem. Részletesen bemutattam az általam készített modell alapját képző Hunt algoritmust, és a belőle származtatható ID3 algoritmust. A saját eredményeimet biztosító implementáció mögött a folytonos értékű változókat dinamikusan megalkotott attribútumok segítségével képeztem le a döntési fában. Az így nyert saját modellem eredményeit részletesen a 3.1.2. fejezetben közöltem, amely eredmények kiemelkedő tulajdonsága a gyors és hatékony futási idő mellett a 96%-os besorolási pontosság elérése. Ezeket az eredményeimet a 2011-ben megrendezett IEEE által is referált LINDI konferencián publikáltam [1].

---

**2. tézis:** Genetikus modell a pénzügyi csőd-előrejelzésben

---

*Genetikus algoritmusokkal végzett kutatásaim eredményeként két modellt dolgoztam ki: egy úgynevezett alap modellt és egy finomított modellt. A végleges modellben finomított keresztezést alkalmaztam további extra gének hozzáadásával, amelyről megmutattam, hogy kiemelkedő 84,5%-os besorolási pontosságra képes a diszkriminanciaanalízis 79%-os eredményével szemben.*

---

A nemzetközi szakirodalom alapján ígéretesnek mutakozó genetikus algoritmusokkal végzett kísérleteim eredményeit a 3.2 fejezetben egy alapmodell (3.2.2), majd pedig egy finomított modell (3.2.3) segítségével mutattam be. A két elkészített modell eredményeit és tapasztalatait felhasználva készítettem el a végleges modellemet, amelyben két fagyasztási lépést tartalmazó módszerhez jutottam. Megmutattam, hogy a diszkriminanciaanalízis alapú modell 79%-os besorolási pontosságával szemben 84,5%-os besorolási pontosság érhető el, ha finomított keresztezést alkalmazok extra gének hozzáadásával. A kapcsolódó eredményeket a 2010-ben megrendezett ICAI konferencián publikáltam [2].

---

### **3. tézis:** Előrecsatolt neuron hálózat alapú modell

---

*Megvizsgáltam az előrecsatolt többrétegű neuronhálózatokat, és hat különböző konfigurációjú modellt készítettem. A két rejtett réteget tartalmazó 6-5 hálózatból készített saját modellemről megmutattam, hogy jobb besorolási pontosság érhető el a segítségével, mint a hagyományos modellekkel.*

---

A nemzetközi publikációk nyomán neuron hálózatokkal kezdtem el kísérletezni. A többrétegű előrecsatolt hálózatok elméletét és a nemzetközi eredményeket a 3.3.1 és 3.3.2 fejezetekben mutattam be. Ezt követi az általam fejlesztett modellt és annak specialitásait részletesen bemutató 3.3.3 fejezet. Az eredményeimet egy összehasonlító elemzés formájában a 3.3.4 fejezet ismerteti. Megmutattam, hogy 82,7%-os besorolási pontosság érhető el előrecsatolt kétrétegű 6-5 neuron hálózat segítségével, szemben a hagyományos modell 79%-os besorolási pontosságával. Ehhez a tézishoz kapcsolódó publikációm a 2009-ben megrendezett IRFIX konferencián, majd pedig a 2010-ben megrendezett ICAI konferencián mutattam be és közöltem [3].

---

### **4. tézis:** SVM alapú modell

---

*Az SVM algoritmusát kiterjesztettem és speciális alapokra helyeztem, hogy a pénzügyi csőd-előrejelzésben hatékony és jól használható módszert hozzak létre. Megvizsgáltam és implementáltam a szekvenciális minimál optimalizáció (SMO) módszerét, és beépítettem a saját modellembé. A modell specialitásai és az implementáció egyedisége garantálta a gyors és hatékony eljárást, amelyről megmutattam, hogy Gauss kernel függvényt használva 78%-os besorolási pontosság érhető el.*

---

A neuron hálózatoknál elsajátított tapasztalatok és motiváló eredmények arra sarkalltak, hogy a további kutatások középpontjába a neuronhálózatokhoz kapcsolódó újabb módszerek kerüljenek. Ennek megfelelően szupport vektor gépekkel végzett kísérleteim eredményeit és saját egyedi megoldásaimat mutatja be a 3.4. fejezet. Megvizsgáltam és implementáltam a szekvenciális minimál optimalizáció (SMO) algoritmusát, és integráltam azt a saját modellembé. Az általam készített modell eredményeit, a konkrét implementációm segítségével mértem meg, amely specialitása a QT nyelv által biztosított signal-slot mechanizmusban nyilvánult meg. Ezt a modellt a 2011-ben Szerbiában megrendezett nemzetközi SISY konferencián mutattam be, és eredményeit az IEEE által referált konferencia publikációnkban közöltem [4].

---

## **5. tézis:** ESN alapú modell

---

*Jelentős eredményeket felmutató nemzetközi publikációk nem ismertek a visszhang hálózatok pénzügyi csőd-előrejelzésben történő alkalmazásáról, így ezen a területen úttörő munkát végeztem. Megvizsgáltam a visszhang hálózatokat, a Jordan és Elman hálózatokat, amelyek segítségével egy visszhang hálózat alapú csődelőrejelző modellt implementáltam, amelyről megmutattam, hogy Wiener-Hopf tanító algoritmussal tréningezve 71%-os besorolási pontosság érhető el.*

---

A visszhang hálózatokkal végzett kutatásaim eredményeit a 3.5 fejezetben fejtettem ki részletesen, összehasonlítva a kapott eredményeket a diszkriminanciaanalízis eredményeivel. Megvizsgáltam a Hopfield hálózatokat és az Elman, Jordan hálózatokat. Az ott szerzett tapasztalatok alapján készítettem el a visszhang hálózat alapú csődelőrejelző modelletemet. Az eredményeimet a 2012-ben Szlovákiában megrendezett nemzetközi LINDI konferencián mutattam be, és az IEEE által referált konferencia publikációban közöltem [5].

---

## **6. tézis:** SOM alapú modell

---

*A felügyelet nélküli tanítású neuron hálózatok közül, a Kohonen-féle önszerveződő térképekkel végzett kutatásaim során megmutattam azt, hogy 97%-os besorolási pontosság érhető el a SOM segítségével.*

---

Végül, de nem utolsó sorban a neuron hálókkel kapcsolatos klasszikus módszerek körét a Kohonen-féle önszerveződő térképekkel kapcsolatos eredményeimmel zárom. A felügyelet nélküli tanítási módszerrel előállítható neuron hálózat típusok közül a Kohonen-féle önszerveződő térképekkel kapcsolatos nemzetközi eredmények voltak a legbiztosabbak a pénzügyi csődelőrejelzés kapcsán, így saját kutatásaim középpontjába is ez a módszer került. A velük kapcsolatos eredményeimet részletesen a 3.6 fejezetben mutattam be, ahol a modell tanító-mintahalmazon mért 97%-os besorolási pontossága mellett, a tesztelő mintahalmazra 73,5%-os eredményt adott. Ehhez kapcsolódóan 2012-ben Szerbiában megrendezett nemzetközi SISY konferencián mutattam be az eredményeimet, amelyet az IEEE által referált publikációban ismertettem [6].

Ezek az eredmények és tapasztalatok azt mutatták számomra, és ezt a nemzetközi eredmények is tovább erősítették, hogy érdemes a klasszikus módszereket egymással egyesítve, egymás jó tulajdonságait kiemelve és azokat egyesítve új hibrid módszereken

alapuló modelleket létrehozni, azok teljesítményét és eredményeit megvizsgálni. Ennek az égisze alatt a disszertáció 4. fejezetében az úgynevezett hibrid mesterséges intelligencia módszerekkel végzett kutatásaim kaptak helyet.

---

**7. tézis:** Döntési fával kombinált neurális hálózat

---

*Kétféle döntési fa alapú hibrid módszert fejlesztettem ki és implementáltam. Az első, az úgynevezett brute force modell, amely eredményeit felhasználva készítettem el a finomított vékony modellt, amely az előbbi egy tökéletesített változata. Ezeket egymással és a klasszikus módszerek eredményeivel vetettem össze. A finomított vékony modellről megmutattam, hogy a segítségével létrehozott modell képes 83,97%-os besorolási pontosságot elérni.*

---

A 4.1 fejezetben döntési fával kombinált neurális hálózat alapú modellt mutattam be, amely eredményeit összevetettem a hagyományos módszerek eredményeivel. A kutatásom során itt két modellt építettem: az első modell eredményeit, amelyet brute force modellnek neveztem el, a 4.1.1 fejezet ismerteti részletesen, míg a második modell eredményeit, amelyre finomított vékony modellként hivatkoztam, a 4.1.2 fejezet mutatja be. A két modell – a 84,29%-os és a 83,97%-os – besorolási pontosság értékei egyaránt felülmúlják a 79%-os diszkriminanciaanalízis eredményét. Ezeket az eredményeket a 2010-ben Szegeden megrendezett CSCS konferencián mutattam be először, majd 2011-ben az Acta Periodica Polytechnika folyóiratban publikáltam [7].

---

**8. tézis:** ANFIS modell

---

*Adaptív neuronhálózat alapú fuzzy következtető rendszert fejlesztettem ki, amelyben öt rétegű hálózatot használtam fel. Megmutattam, hogy a Gauss típusú beletartozási függvény segítségével, 17 pénzügyi mutatószám felhasználásával 84%-os besorolási pontosságot adó modell készíthető.*

---

A témavezetőm, Dr. Fullér Róbert, egyik fő kutatási területének számító fuzzy rendszerekkel végeztem kutatásokat a hibrid modellek körében. Több hibrid modellt építettem, az egyik egy neuro-fuzzy rendszer, amely eredményeit a 4.2 fejezetben ismertettem részletesen. Ezeket az eredményeket a 2010-ben megrendezett nemzetközi CINTI konferencián mutattam be, és az IEEE által referált folyóirat publikációban közöltem [8].



---

**9. tézis:** FSVM modell

---

*A fuzzy SVM alapú modellről megmutattam, hogy segítségével 82% és 93% közötti besorolási pontosság érhető el Gauss típusú kernel függvénnyel. Várakozásaimmal ellentétben a polinomiális kernel függvény alapú FSVM modell csak 39%-os besorolási pontosságot ért el.*

---

Az ANFIS modell kiemelkedő eredményeinek hatására kísérleteim fókuszába egy újabb hibrid fuzzy modell került, mégpedig az FSVM. Az FSVM modell egy fuzzy szupport vektor gép alapú megközelítés, amelyet a 4.3 fejezet mutat be részletesen a kapcsolódó eredményekkel. Megmutattam, hogy az FSVM modellel 82%-os és 93%-os besorolási pontosság érhető el, amely kiemelkedő eredménynek számít. Ezeket az eredményeket a 2011-ben megrendezésre került nemzetközi CINTI konferencián mutattam be és publikáltam [9].

Hibrid Fuzzy modellekkel kapcsolatos további kutatásaink eredményét a 2012-ben megrendezett CINTI konferencián mutattuk be és publikáltuk [10].

---

## Hivatkozások

- [1] Bozsik J., Körmendi G.: Decision tree-based credit decision support system, *Logistics and Industrial Informatics (LINDI), 2011 3rd IEEE International Symposium*, (2011), 189-194.
- [2] Bozsik J.: Genetic algorithm in default forecast, *Proceedings of the 8th International Conference on Applied Informatics Eger, Hungary*, **1**, (2010), 41-51.
- [3] Bozsik J.: Artificial Neural Networks in Default Forecast, *Proceedings of the 8th International Conference on Applied Informatics Eger, Hungary*, **1** (2010), 31–39.
- [4] Bozsik J., Kozma M.: Neural network based Support Vector Machine in financial default forecast, *Intelligent Systems and Informatics (SISY), 2011 IEEE 9th International Symposium*, (2011), 163-167.
- [5] Bozsik J., Ilonczai Zs.: Echo state network-based credit rating system, *Logistics and Industrial Informatics (LINDI), 2012 4th IEEE International Symposium*, (2012), 185-190.
- [6] Bozsik J., Maksai D., Ilonczai Zs.: Creditworthiness decision-making system based on self-organising maps, *Intelligent Systems and Informatics (SISY), 2012 IEEE 10th Jubilee International Symposium*, (2012), 171-175.
- [7] Bozsik J.: Decision tree combined with neural networks for financial forecast, *Periodica Polytechnica Electrical Engineering*, **55/3-4** (2011), 95-101.
- [8] Bozsik, J: Neural fuzzy system for default forecasts, *Computational Intelligence and Informatics (CINTI), 2010 11th International Symposium*, (2010), 69-74.
- [9] Bozsik J.: Fuzzy support vector machine in credit rating systems, *Computational Intelligence and Informatics (CINTI), 2011 IEEE 12th International Symposium*, (2011), 313-318.
- [10] Bozsik J., Fullér R.: A neural fuzzy system for asset valuation, *Logistics and Industrial Informatics (LINDI), 2012 4th IEEE International Symposium*, (2012), 197-200.