

NDE 4.0 szerepe és lehetőségei

The role and potential of NDE 4.0

Szavai Szabolcs^a, Dudra Judit^b, Erdei Réka^c

^a Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közhasznú Nonprofit Kft., osztályvezető, szabolcs.szavai@bayzoltan.hu

^b Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közhasznú Nonprofit Kft., vezető kutató, judit.dudra@bayzoltan.hu

^c Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közhasznú Nonprofit Kft., tudományos munkatárs, reka.erdei@bayzoltan.hu

Kulcsszavak

NDE 4.0,
Ipar 4.0,
roncsolásmentes értékelés,
digitizáció,
automatizáció,
ipari dolgok internete (IIoT),
mesterséges intelligencia

Absztrakt

Ahogy az ipar a fokozott digitalizáció által hajtott negyedik forradalmon megy keresztül, így az NDE (Non-Destructive Evaluation) is egy új horizonton van – az NDE 4.0 az információ átláthatóságával, a technikai segítségnyújtással, a gépi intelligenciával, a decentralizált döntésekkel és még sok mással kiegészülve. A biztonság garantálása az első számú motiváció minden ellenőrzés és karbantartás vonatkozásában. Az NDE digitalizálásának célja megkérdőjelezhetetlen; lehetőséget nyújt a minőség, a sebesség és költség fejlesztésére, szemben a hagyományos szemlélettel, ahol a háromból csak kettő tud teljesülni. A folyamat az adatgyűjtéssel kezdődik – digitális iker (digital twin), digitális szálak (digital thread), dolgok ipari internete (Industrial Internet of Things) –, majd folytatódik az adatátvitelt lehetővé tevő technológiákra (5G) épülő megoldások alkalmazásával, a biztonságos tárolás felülvizsgálatával (blokklánc), fejlett IT információtechnológiákkal (felhő, mesterséges intelligencia, big data, szuperszámítógépek) és a vizualizációval (AR/VR/XR technológiák). Végül az automatizálást, adatfeldolgozást és célzott alkalmazást lehetővé tevő egyéb technológiát (automatizálás, szimuláció, digitalizálás...) tárgyalja és alkalmazza új megvilágításban az NDE4.0.

Keywords

NDE 4.0,
Industry 4.0,
Non-destructive evaluation,
digitization,
automation,
Industrial Internet of Things (IIoT),
Artificial Intelligence

Abstract

As the industry is going through the fourth revolution driven by increased digitalisation, so is NDE (Non-Destructive Evaluation) on a new horizon - NDE 4.0 with information transparency, technical assistance, machine intelligence, decentralised decision making and much more. Ensuring safety is the number one motivation for all inspection and maintenance. The aim of digitising NDE is unquestionable; it offers the opportunity to improve quality and thus safety, speed and cost, as opposed to the traditional approach where only two out of three can be met. The process starts with data collection - digital twin, digital thread, Industrial Internet of Things - and continues with the deployment of solutions based on data-enabling technologies (5G), the revision of secure storage (blockchain), advanced IT information technologies (cloud, Artificial Intelligence, big data, supercomputing) and visualisation (AR/VR/XR technologies). Finally, other technologies that enable automation, data processing and targeted applications (automation, simulation, digitisation...) will be discussed and applied in a new light in NDE4.0.

1. Bevezetés

A roncsolásmentes értékelés (Non-Destructive Evaluation - NDE) olyan technikák és módszerek összessége, amelyek segítségével a szerkezetek és anyagok állapotát, integritását, valamint hibáit roncsolásmentes módon lehet vizsgálni. Az "NDE 4.0" kifejezés a fejlett digitális technológiák és az adatvezérelt megközelítések integrálását jelenti a hagyományos NDE-gyakorlatokba. Mivel az NDE elengedhetetlen eszköze a modern iparnak, és az Ipar 4.0 forradalom nyomán megjelent NDE 4.0 a következő lépést jelenti ezen a területen, mellyel új lehetőségeket kínál a vizsgálatok hatékonyságának, megbízhatóságának és rugalmasságának növelésére.

A gyártóiparban és más műszaki területeken az anyagok és szerkezetek minőségellenőrzése, hibakeresése és élettartam-előrejelzése kritikus jelentőségű. A hagyományos, mechanikai vizsgálati módszerek hatékonyak lehetnek, de gyakran költségesek és időigényesek, továbbá jellegükből adódóan nem mindenütt alkalmazhatók. Azonban az új technológiai fejlesztések lehetővé teszik a roncsolásmentes értékelés (NDE) hatékonyabb és kifinomultabb alkalmazását. Az NDE 4.0 egy új generációs megközelítés, amely kihasználja a digitalizáció, a mesterséges intelligencia és az ipari IoT (IIoT – Industrial Internet of Things) lehetőségeit a roncsolásmentes értékelés területén. Ebben a cikkben részletesen bemutatjuk az NDE 4.0 definícióját, célját, technológiai alapjait, felhasználási eseteit és előnyeit.

2. Definíció és cél

Az NDE 4.0-t Vrana és Singh úgy definiálták, mint "kiber-fizikai roncsolásmentes rendszert (beleértve a



vizsgálatot is), amely az Ipar 4.0 digitális technológiák, hagyományos, fizikai vizsgálati módszerek és üzleti modellek összefonódásából ered; a vizsgálati teljesítőképesség, a szerkezeti megbízhatóság-elemzés és a döntéshozatal javítása a biztonság, a fenntarthatóság és a minőségbiztosítás érdekében, valamint releváns adatok biztosítása a tervezés, a gyártás, az üzemeltetés és a fenntarthatóság javításához" [1].

Az NDE és az Ipar 4.0 összekapcsolódásával az NDE 4.0 az Ipar 4.0 alapelveire és technológiáira támaszkodva fejlődött és fejlődik ki napjainkban. A NDE 4.0 egy olyan innovatív megközelítést jelent a roncsolásmentes értékelés terén, amely az ipari folyamatok digitalizációjával és automatizációjával kombinálja a hagyományos roncsolásmentes vizsgálatokat [2-4]. A fő cél az, hogy gyors, pontos és valós idejű információt nyújtson az anyagok és szerkezetek állapotáról, hibáiról és élettartamáról, továbbá a hagyományos vizsgálati módszerek hatékonyságát és pontosságát javítsa, optimalizálva ezzel az ellenőrzési folyamatokat, miközben minimalizálja az emberi beavatkozáshoz szükséges időt és az ezzel járó költségeket.

3. Technológiai alapok

A NDE 4.0 számos új lehetőséget kínál a roncsolásmentes kiértékelés terén. Az egyik alapvető technológiai alapja a szenzorok és mérőeszközök hálózatba kötése és az adatgyűjtés automatizálása. Átfogóan az NDE 4.0

- **Adatgyűjtés – digitális iker:** az adatgyűjtő egységek vezeték nélküli csatlakoztathatósága. Az összegyűjtött adatok alapján szimulációk segítségével például cselekvéseket lehet javasolni vagy döntéseket előre jelezni.
- **Az ipari dolgok internete - IIoT:** minden adat, eszköz és érzékelő itt kapcsolódik össze, és egy felhőn keresztül érhető el.
- **5G:** nagyszámú eszköz csatlakoztatását teszi lehetővé, és robusztus, valós idejű adatkapcsolatot biztosít.
- **Felhő:** Az adatok biztonságosan tárolhatók egy felhőben, majd bárhol elérhetők.
- **Mesterséges intelligencia (AI) – Big Data:** Az adatok mesterséges intelligenciával történő feldolgozása és értelmezése.
- **Blokklánc:** A blokklánc segítségével az adatokat már nem lehet észrevétlenül megváltoztatni, ami javítja a nyomonkövethetőséget és a bizalmat.
- **Vizualizáció:** AR/VR/XR technológiák.

- ✓ Azonnali jelentéskészítés és a vizsgálati eredmények valós idejű megosztása
- ✓ A vizsgálati adatokat információvá és műszaki intelligenciává alakítjuk át
- ✓ Hálózatba kapcsolt rendszerek, melyek képesek autonóm és decentralizált döntéseket hozni
- ✓ Automatizálás, szimuláció, digitalizáció
- ✓ Gyorsabb, költséghatékonyabb, biztonságosabb és megbízhatóbb vizsgálati rendszer jön létre

1. ábra: NDE 4.0 főbb technológiai eszközei

alapját az IoT (ezen belül is az IIoT) és a szenzorhálózatok képezik, amelyek lehetővé teszik a valós idejű adatgyűjtést, -feldolgozást és kommunikációt az eszközök között. A nagy adatmennyiséget a felhőalapú infrastruktúrákban tárolják és dolgozzák fel, ahol a gépi tanulási és adatelemzési algoritmusok segítségével kivonják a hasznos információkat. Az NDE 4.0 rendszerek a mesterséges intelligencia technikáit alkalmazzák a hibakereséshez és a prediktív elemzésekhez.

4. Iparági lehetőségek és felhasználási esetek

A NDE 4.0 széles körű alkalmazása lehetséges számos iparágban, beleértve az autópárt, légiipart, energetikát és a gyártóipart is, de a sort még bővíthetnénk tovább. A továbbiakban néhány fontos felhasználási példát szemléltetünk:

- **Gyártóipar:** Az NDE 4.0 lehetővé teszi a gyártóknak, hogy valós időben kövessék nyomon az alkatrészek és termékek minőségét. Autópárt területén például autóalkatrészek automatikus felületi és mélyreható vizsgálatát, és gépi látáson alapuló detektált hibák vagy anyaghiba-kockázatok automatikus kiértékelését teszi lehetővé a gyártási folyamatok során. Például az autógyártó hegesztőüzemében legyártott alkatrészek ellenállás ponthegeztés közben keletkező szikrák miatti fröccsöntési hibáinak kiszűrése felületkezelés előtti fázisban egy lehetséges irány a sok közül, mely téren az NDE 4.0 megoldást jelent.
- **Olaj- és gázipar:** Az NDE 4.0 lehetővé teszi a vezetékek, tartályok és csőrendszerek automatikus és távoli ellenőrzését, mely nagy előnyt jelenthet a hagyományos, időigényes és költséges vizsgálati módszerekkel szemben. Az IIoT és a telepített szenzorok segítségével a kritikus paraméterek (pl. hőmérséklet, nyomás, rezgések) valós időben nyomon követhetővé válnak, veszélyes vagy szűkebb területek pl. drónnal

bejárhatóak és feltérképezhetőek, így az üzemeltetők korai figyelmeztetéseket kaphatnak a kritikus eltérésekre, hibákra vonatkozóan.

- **Repülő- és űripár:** Az NDE 4.0 lehetővé teszi a repülőgépek és űrhajók szerkezeti állapotának folyamatos vizsgálatát és a hibák korai azonosítását az automatizált folyamatokkal (adatgyűjtés, elemzés) és telepített érzékelőkkel. Az NDE 4.0 segítségével gyűjtött adatokat adatgyűjtő és elemző rendszerekhez lehet továbbítani, ahol a már feltanított mesterséges intelligencia (MI) algoritmusok alkalmazásával elemezni és értékelni lehet azokat, továbbá modellek és előrejelzések készíthetők. Továbbá például, repülőgépek bevizsgálására és karbantartására szolgáló robotokat lehet alkalmazni, amelyek képesek navigálni a repülőgép belső terében, felismerni hibákat és végrehajtani a szükséges javításokat.
- **Energiaszektor:** Az NDE 4.0 segítségével az energiapari létesítmények, például a nukleáris- és szél-erőművek, továbbá olajvezetékek rendszereinek állapota folyamatosan felügyelhetővé, a lehetséges hibák előre jelezhetővé válnak. Az NDE-képességekkel felszerelt robotrendszerek hozzáférhetnek a nukleáris létesítmények nehezen megközelíthető berendezéséhez, csökkentve az emberi beavatkozás szükségeségét a veszélyes, radioaktív környezetben.

5. Előnyök

Az NDE 4.0 számos előnnyel jár az ipari vállalatok számára. Először is, lehetővé teszi a folyamatok felügyeletét és a rendellenességek gyors felismerését. Másodsor, az automatizált adatgyűjtés révén az elemzésekhez szükséges összes releváns paraméter digitalizálásra kerül (javítva ezzel a diagnosztikai pontosságot és csökkentve az emberi hibák lehetőségét), s melyekkel automatizálhatóvá válnak az elemzések. Például a statisztikai elemzés egyre

nagyobb szerepet játszik az ellenőrzésben és az integritás értékelésben, különösen az adatok rendelkezésre állásának növekedésével és a módszerek fejlődésével. Továbbá valamennyi adat valós idejű elemzésére is lehetőség van, beleértve a nagy adatelemző algoritmusok használatát is. A távoli hozzáférés (felhők és különböző platformokon át) és az adatok elemzése alapján a karbantartási munkák előre megtervezhetők, és az eszközök hatékonyabban kihasználhatók. Végül, az NDE 4.0 lehetővé teszi a dokumentáció és a nyomon követhetőség javítását, ami kulcsfontosságú a szabályozási és minőségi követelmények teljesítése szempontjából. A rendszer folyamatos visszamérést tesz lehetővé, ezáltal az erősségek és gyengeségek felderítése nagyobb hangsúlyt kaphat akár a fejlesztési, gyártási, üzemeltetési és ellenőrzési eljárásokban egyaránt.

Az NDE 4.0 további számos előnnyel jár a roncsolásmentes kiértékelés területén:

- **Költségcsökkentés:** Az automatizált folyamatok, a távoli hozzáférés és a prediktív elemzések lehetővé teszik a költségek minimalizálását, mivel csökken a manuális munka és az üzemzavarok költsége.
- **Nagyobb hatékonyság:** Valós idejű és távoli ellenőrzést biztosít, csökkentve az időigényes vizsgálatokat.
- **Jobb minőségellenőrzés:** Az automatizált rendszerek, a mesterséges intelligencia és a gépi tanuló algoritmusok pontosabb és megbízhatóbb eredményeket nyújtanak. Az NDE 4.0 lehetőséget teremt a magasabb szintű minőségellenőrzésre, amely elősegíti a hibák korai felismerését és az azonnali intézkedéseket a termelés vagy karbantartás folyamatában.
- **Megelőző karbantartás:** Az adatelemzés és a prediktív analitika révén az NDE 4.0 képes megjósolni a lehetséges meghibásodásokat és problémákat, így elősegíti a megelőző karbantartást, csökkentve a rendszerek leállásából származó kockázatokat.
- **Növelt biztonság és környezetvédelem:** Az NDE 4.0 elősegíti a korai hibafelismerést és a biztonsági problémák megelőzését, ezzel minimalizálva a balesetek és a környezeti károk kockázatát.

6. A vállalatirányítási rendszer és az NDE 4.0 kapcsolata, lehetőségei

A vállalatirányítási rendszer (VIR) és az NDE 4.0 közötti kapcsolat nem közvetlen, mivel egy szervezeten belül eltérő tartományokban és területen működnek, ám mindkettő fontos szerepet játszik a modern vállalatok működésében és hatékonyságának növelésében.

A vállalatirányítási rendszer egy olyan komplex informatikai alkalmazásrendszer, amely egy vállalat számos tevékenységét integrálja és irányítja. Központi adatbázist biztosít, és lehetővé teszi a különböző részlegek számára az információk megosztását és a hatékony együttműködést. Egy hatékony VIR segít a vállalatnak számos területen, ilyen például a pénzügy, az emberi erőforrás menedzsment, a beszerzés, az értékesítés, a gyártás és az ellátási lánc kezelése. A VIR használata lehetővé teszi az adatok gyors és hatékony kezelését, az üzleti folyamatok

optimalizálását és az üzleti döntések megalapozását, ezáltal elsődleges célja a hatékonyság javítása, a folyamatok egyszerűsítése, továbbá a döntéshozatal javítása azáltal, hogy valós idejű adatokat és betekintést nyújt a menedzsment és más érdekelt felek számára.

Míg a VIR és az NDE 4.0 különböző funkciókat lát el egy szervezeten belül, kölcsönhatásba léphetnek az adatcsere és a döntéshozatal kontextusában. Mivel az NDE 4.0 technológiák lehetővé teszik a valós idejű adatgyűjtést és -elemzést a gyártási folyamatok során, ezért egy integrált rendszer esetén ezek az adatok közvetlenül továbbíthatók a vállalatirányítási rendszerbe, amely segíti a vezetőket és döntéshozókat a hatékonyabb és pontosabb üzemeltetési vagy üzleti döntések meghozatalában. Például:

- **Adatintegráció:** Az NDE 4.0 technológiák, mint például az IIoT-érzékelők és a mesterséges intelligencia, nagy mennyiségű valós idejű adatot generálhatnak az ellenőrzési és értékelési folyamatok során. Ezek az adatok integrálhatók a vállalatirányítási rendszerbe, hogy értékes betekintést nyújthassanak a különböző részlegek, például a minőségellenőrzés, a gyártás és a karbantartás számára. A VIR rendszer központi platformként működhet ezen adatok tárolására és feldolgozására.
- **Karbantartáskezelés:** Az NDE 4.0 adatok a VIR-rendszer korábbi karbantartási rekordjaival kombinálva elősegíthetik a prediktív karbantartási stratégiákat. Az NDE adatok és a berendezések állapotával kapcsolatos információk elemzésével a szervezetek proaktívan ütemezhetik a karbantartási tevékenységeket, csökkentve az állásidőt és minimalizálva a termelési zavarokat.
- **Minőségellenőrzés:** Az NDE 4.0 technológiák döntő szerepet játszanak a termékminőség biztosításában. Az NDE ellenőrzések során keletkezett adatok felhasználhatók a VIR rendszer frissítésére, valós idejű tájékoztatást adva a termékminőségről és az esetleges hibákról. Ez az integráció gyors reagálást és korrekciós intézkedéseket tesz lehetővé bármilyen minőségi probléma esetén.
- **Supply Chain Management:** Azokban az iparágakban, ahol az NDE kulcsfontosságú a beszállítói anyagok és alkatrészek értékelésében, az NDE 4.0 adatok integrálása a vállalatirányítási rendszerbe segíthet az ellátási lánc felügyeletében és kezelésében. A gyártók nyomon követhetik és ellenőrizhetik a beszállítóktól beérkező anyagok minőségét, biztosítva a minőségi szabványoknak való megfelelést és minimalizálva a gyártási problémákat.
- **Azonnali döntések:** A valós idejű adatok alapján a VIR lehetővé teszi a vezetőknek az azonnali és adatvezérelt döntések meghozatalát a termelékenység és a hatékonyság javítása érdekében.
- **Jelentések és elemzések:** Az NDE 4.0 technológiák lehetővé teszik a VIR-ben található adatok alapján készült komplex jelentések és elemzések generálását, amelyek segítik a vezetőket a hosszú távú stratégiái

Erősségek	Gyengeségek
<ul style="list-style-type: none"> • A termékek egyénre szabhatók • Az NDT szempontjából releváns összes paraméter digitalizálva van, és minden érdekelt fél számára rendelkezésre bocsátható • Felhők és platformok állnak rendelkezésre a horizontális és vertikális információcseréhez • A nyersanyagtól a működésben lévő alkatrészekig minden feldolgozási lépés bevonása 	<ul style="list-style-type: none"> • A személy és a gépek közötti összekapcsolhatóság • A digitális kapcsolatok szabványosítása • Megfelelő képzettséggel rendelkező, rendelkezésre álló személyzet • A KKV vállalatok támogatásának hiánya • Személyi költségek és a berendezésekbe való beruházás költségei
Lehetőségek	Veszélyek
<ul style="list-style-type: none"> • A termelés növelése • Digitális kapcsolat minden belső és külső eljárásnál • Teljesen automatizált NDT rendszerek • Valamennyi adat valós idejű elemzése, beleértve a nagy adatelemző algoritmusokat is • Erősségek és gyengeségek felderítése a fejlesztési, gyártási és ellenőrzési eljárásokban • Új szolgáltatási tevékenységek a szerkezeti állapotelemzés (SHM) révén • Új képzési és oktatási feladatok 	<ul style="list-style-type: none"> • A társadalom és az egyének általi elfogadás • A munkanélküliség növekedése • A know-how potenciális elvesztése a felhők és/vagy platformok internetes összekapcsolhatósága révén a versenytársak, beszállítók és ügyfelek számára • Képzett személyzet hiánya • Hackertámadások

2. ábra: NDE 4.0 Konklúzió SWOT analízise

tervezésben és a hatékony erőforrásallokációban.

Az NDE 4.0 és a vállalatirányítási rendszer közötti összekapcsolódás a vállalati hatékonyság, versenyképesség és innováció növelésében játszik kulcsfontosságú szerepet, lehetővé téve a vállalatok számára, hogy alkalmazkodjanak és kihasználják az új technológiák által kínált előnyöket a globális piacon.

7. NDE 4.0 Konklúzió SWOT elemzése

Összefoglalva az eddigi információkat, a SWOT elemzés aspektusai alapján a 2. ábra szerinti erősségek, gyengeségek, lehetőségek és veszélyek említhetők meg az NDE 4.0 kapcsán a teljesség igénye nélkül [5]:

8. Összegzés

Az NDE 4.0 térhódítása a szemünk előtt zajlik a világban, és láthatóan forradalmasítja a roncsolásmentes ellenőrzés és értékelés területeit, új korszakot nyitva az intelligens, előrelátó és fenntarthatóbb gyártás, üzemeltetés és karbantartás terén. Mivel a digitális átalakulás mindenütt jelen van körülöttünk, és egyre nagyobb részét képezi mindennapi életünknek, így az automatizálás e forradalma mögött álló új technológiák kiváló alapot nyújtanak az NDE 4.0 elterjedésének. A folyamatosan fejlődő technológiai

megoldások és módszerek egyre szélesebb körben állnak rendelkezésre, és már most átalakítják az eszközök integritásának kezelését, beleértve az ellenőrzési teljesítményt és megbízhatóságot. Mindezekkel együtt a digitális technológiák és az automatizálás rendszerszintű integrációja olyan platformot képes létrehozni, ahol a konkrét alkalmazások fejlődhetnek, hogy megbízhatóbbá és költséghatékonyabbá tegyék az ellenőrzéseket.

Irodalomjegyzék

- [1] Ripi Singh, Johannes Vrana, Welcome to the World of NDE 4.0: Let the Journey Begin, ISBN 9798462514210, 2021.
- [2] Johannes Vrana, Nobert G. Meyendorf, Nathan Ida, Ripi Singh, Introduction to NDE 4.0, DOI: 10.1007/978-3-030-48200-8_43-1, Handbook of Nondestructive Evaluation 4.0, Springer, Cham, April 2021.
- [3] Johannes Vrana, Ripi Singh, The NDE 4.0: Key Challenges, Use cases, and Adaption, Computer Science, Corpus ID: 212737271, 2020.
- [4] Johannes Vrana, Ripi Singh, NDE 4.0 – A Design Thinking Perspective, Springer, Journal of Nondestructive Evaluation, 40(1), DOI: 10.1007/s10921-020-00735-9, 2021.
- [5] R. Link, N. Riess, NDT 4.0 – Significance and Implications to NDT – Automated Magnetic Particle Testing as an Example, 12th ECNDT, Gothenburg, Sweden, 2018.