

A RONCSOLÁSMENTES ANYAGVIZSGÁLATOK MEGBÍZHATÓSÁGÁNAK MÉRÉSE

Egy radiográfiai körvizsgálat eredményei és tapasztalatai

Fücsök Ferenc

Budapesti Erőmű Rt

(ffucsok@bert.hu)

Christina Müller, Martina Scharmach

Bundesanstalt für Materialforschung-
und prüfung (BAM), Berlin)

(Christina.Mueller@bam.de Martina.Scharmach@bam.de)

(A cikk megjelent az ANYAGVIZSGÁLÓK LAPJA 2004. évi 1. számában.)

Összefoglalás

Az ipari roncsolásmentes vizsgáló laboratóriumokban dolgozó radiográfiai vizsgálók megbízhatóságának felmérésére a Gépipari Tudományos Egyesület Roncsolásmentes vizsgálatok Szakbizottsága körvizsgálatot szervezett. A vizsgálatban horvát, lengyel és magyar laboratóriumok vettek részt. Összesen 60 személy eredményeit értékeltük ki, köztük 2-2 lengyel és horvát résztvevőét. A körvizsgálat befejeződött, az eredményeket most mutatjuk be.

A körvizsgálat értékelésénél a Receiver Operating Characteristic, azaz a vevő működési jellemzője (karakterisztikája), röviden a ROC módszert alkalmaztuk. A ROC módszer rövid ismertetése és egy példa a cikkben megtalálható.

A körvizsgálat körülményeit a résztvevőkkel megvitatta többen közülük elmondták, hogy nem tudták pontosan követni a vizsgálat előírásait. Tudják, hogy a kisméretű hiányokat kihagyhatják a felsorolásból, mert azokat a legszigorúbb elfogadási kritériumok is megengedik. Így a leggyakorlottabb értékelők nem írták a listába a kisméretű gáz és salakzárványokat, és ezért rossz lett az ő észlelési valószínűségük. Ezért kétfajta értékelést kellett készítenünk: az összes folytonossági hiány és az MSZ EN 12517:1998 szabvány 1. elfogadási szintje feletti hibák figyelembe vételével (lásd 3. táblázat).

A vizsgálók teljesítményét a maximális működési pontjukkal, más néven munkapontjukkal mértük (lásd 8. ábra). A munkapont és az átló közötti távolság mutatja az értékelő megbízhatósági teljesítményét. A vizsgálók munkapont távolságon alapuló sorrendje a 9. és 10. ábrán látható. De a résztvevők ROC görbét is bemutatjuk a legjobb és legrosszabb eredmény között (lásd 7. ábra).

Az 1. táblázaton a magyar résztvevő laboratóriumok felsorolása, a 2. táblázaton a vizsgált próbatestek geometriai jellemzői láthatóak. Járulékos optikai denzitás mérést végeztek a résztvevők egy tesztfilmre, nyolc különböző feketedésű négyzeten. A 4. táblázatban a feketedésmérés statisztikai adatait mutatjuk be. Végül az értékelők teljesítményét összehasonlítottuk az ASME CODE XI. Appendix VIII követelményeivel. Az 5. táblázat bemutatja azoknak a vizsgálóknak a számát, akik elérték az adott arányú észlelési valószínűség követelményeit az összes hiány és a hibák értékelésénél.

1. Bevezetés

A diagnosztikai vizsgálatok megbízhatósága már évtizedek óta témája úgy a vizsgálatot végzőknek, mint a vizsgálati eredményeket felhasználó orvosoknak vagy mérnököknek. Az 1997 -ben rendezett I. Európai-Amerikai Workshopen, ami a roncsolásmentes vizsgálatok megbízhatóságával és a módszerek igazolásával foglalkozott, a résztvevők egy gyakorlati képletben állapodtak meg. Ez a modell általánosan írja le, hogy egy roncsolásmentes vizsgálati módszer megbízhatósága mitől függ: [1]

$$M = f(BA) - g(AP) - h(ET)$$

ahol

M = a roncsolásmentes vizsgálati módszer megbízhatósága,

BA = a módszer belső adottsága,

AP = az al alkalmazott paraméterek hatása,

ET = az emberi tényező hatása.

A képletben a f, g, h betűk olyan matematikai függvényeket jelentenek, amelyeket jelenleg nem tudunk pontosan leírni.

A belső adottságot (BA) általában a módszer felső határának tekintjük, amit a legkedvezőbb körülmények között, az ideálisnak tekinthető paraméterekkel elvégzett vizsgálat esetén lehet csak elérni. Ezeket a paramétereket egy feladatnál több kísérlettel lehet csak meghatározni, és esetenként nem is határozzuk meg.

Az alkalmazott paraméterek (AP) hatására a vizsgálat érzékenysége és ezzel a megbízhatósága csökken. A gyakorlatban ritkán alkalmazzuk a vizsgálat ideális paramétereit, mert vagy nem ismerjük azokat pontosan, vagy több korlátozó tényező is abba az irányba szorít bennünket, hogy engedményeket tegyünk a vizsgálat minőségének rovására.

A roncsolásmentes vizsgálatok megbízhatóságának legfontosabb, de egyben leggyorsabban változó összetevője az emberi tényező (ET). Az ember teljesítménye ezen a területen is nagyon sok tényezőtől függ, és gyorsan változhat jó és rossz irányba. Az emberi tevékenység vizsgálata minden esetben nehéz és bonyolult dolog, mivel teljesítménye számos paramétertől függ. Emellett tudja, hogy vizsgálják, ezért viselkedése bizonyos fokig eltér a szokásostól, például később érez fáradtságot.

A roncsolásmentes vizsgálatok eredményeinek megbízhatósága minden részletében erősen függ a végrehajtó személyzet munkájának minőségétől. Az ultrahangos vizsgálat megbízhatóságával foglalkozó körvizsgálat értékelésének részletei a [2] cikkben találhatóak. A radiográfiai film értékelése különösen személytől függő művelet, ezért ennek vizsgálatára érdemes volt újabb körvizsgálatot szervezni.

Ezt a körvizsgálatot a Gépipari Tudományos Egyesület Anyagvizsgáló Szakosztály Roncsolásmentes vizsgálatok Szakbizottsága 2000-2002 között szervezte. A körvizsgálatban megpróbáltuk mérni a radiográfiai film értékelésének a megbízhatóságát. Ehhez a résztvevők 38 db hegesztésről készült felvételt értékelték ki, melyeken 206 db hiány volt. Mivel a feladat csak a filmek értékelése volt, a vizsgálat az emberi tényező megbízhatóságának mérését végezte. Az értékelendő filmek digitális másolatok voltak, így minden résztvevő egyforma feladatot végzett el, azaz eredményeik közvetlenül összehasonlíthatóak.

A körvizsgálatban 22 laboratóriumból 60 személy vett részt, beleértve két-két lengyel és horvát értékelőt is. A magyar résztvevők felsorolása az 1. táblázatban látható, ahol 18 laboratórium 51 tagja számolható össze. További 5 fő egyéni szakértőként vállalta a részvételt. A táblázat felsorolásból kitűnik, hogy a laboratóriumokban néhány személy értékeli a felvételeket, ezért feltételezhető, hogy az itt következő megbízhatósági adatok a jobb értékelőkre jellemzőek.

A körvizsgálat értékelését a berlini BAM (Bundesanstalt für Materialforschung- und prüfung) VIII. 33. Roncsolásmentes Vizsgálatok Megbízhatósági Laboratóriumában Dr. rer. Nat. Christina Müller vezetésével végeztük. A körvizsgálatot az AGFA NDT az ERŐKAR valamint az Ipar Műszaki Fejlesztéséért Alapítvány szponzorálta.

Cég neve	Laboratórium	Székhelye	Résztevők száma
AGJ Aprítógépgyár Rt.	Anyagvizsgáló Laboratórium	Jászberény	2
AGMI Rt.	Roncsolásmentes vizsgáló labor	Budapest	3
ALBERA '97 Kft.	Anyagvizsgáló Laboratórium	Miskolc	1
ASG Gépgyártó Kft.	Vizsgálólaboratórium	Tatabánya	1
Csőszer Rt.	Hegesztésellenőrzési és Anyagvizsgáló Labor	Budapest	2
Daimler Chrysler Rail Systems MÁV (Hungary) Kft.	MEO Röntgen Laboratórium	Dunakeszi	1
Debreceni Egyetem Műszaki Főiskolai Kar	Általános Géptan Tsz. Anyagvizsgáló Labor	Debrecen	1
Kőolajvezetéképítő Rt.	Anyagvizsgáló laboratórium	Siófok	5
Laforex Bt.		Budapest	1
Mélyépítő Labor Kft.		Budapest	2
Nitrogénművek Rt.	Diagnosztikai labor	Pétfürdő	2
Oiltech Kft.	Anyagvizsgáló labor	Lovászi	4
Paksi Atomerőmű Rt.	Anyagvizsgáló Osztály	Paks	11
Powertest Kft.		Budapest	5
R. U. M. Testing Kft.		Budapest	1
RM TS Kemont Kft.		Tiszaújváros	3
Siemens Erőműtechnika Kft.	Anyagvizsgáló és Állapotellenőrző labor	Budapest	2
Tiszai Vegyi Kombinát Rt.	Műszaki Vizsgáló Laboratórium	Tiszaújváros	4

1. táblázat. A körvizsgálatban résztvevő magyar laboratóriumok

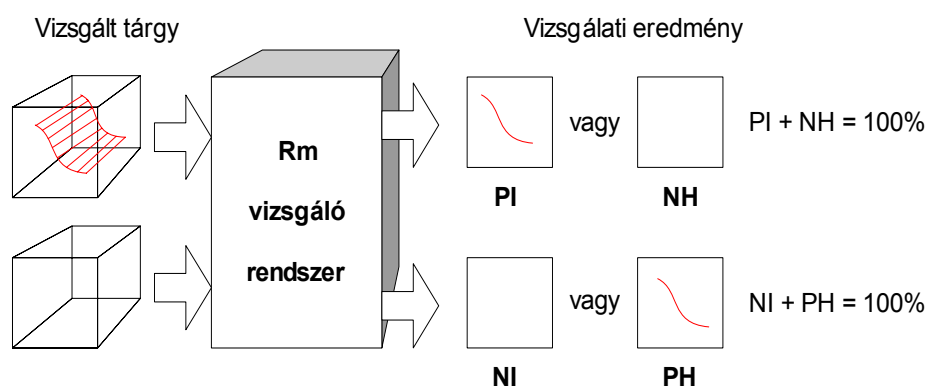
2. A megbízhatóság értékelésének módja

Az emberi értékelés megbízhatóságának számszerű vizsgálatához először a megbízhatóság definícióját kell megismerni. A ma elfogadott meghatározás szerint [2] *a roncsolásmentes vizsgálatok értékelésének megbízhatósága annak a foka, ahogy egy vizsgálórendszer képes elérni célját, figyelembe véve a hiány észlelését, jellemzését és a tévedéseket.*

Ebben a definícióban a jellemzés alatt a hiány méretének, helyének, irányának, típusának és közeli szomszédinak meghatározását értjük. Természetesen az a követelmény is fontos, hogy a vizsgált tárgy hibátlan részeit jónak minősítsük, azaz ne legyen az eredmények között téves riasztás.

A jelértékelő rendszerek megbízhatóságát a ROC módszerrel vizsgálják. Az ROC rövidítés jelentése Receiver Operating Characteristic, azaz a vevő működési jellemzője (karakterisztikája). Ezt a módszert az 1960-as években kezdték alkalmazni a radartechnikában, később az emberi érzékelések tanulmányozása és az orvosi diagnózisok területén, valamint a '80-as évektől a roncsolásmentes vizsgálatok értékelésénél is.

Az ROC módszer lényege, hogy valamilyen jel észlelésének valószínűségét a jel eltévesztésének valószínűségével együtt vizsgálja. A módszer részletes ismertetéséhez először nézzük egy roncsolásmentes diagnózist végző rendszer lehetséges eredményeit, ami az 1. ábrán látható.



PI = Pozitív Igaz indikáció (találat)

NH = Negatív Hamis indikáció

NI = Negatív Igaz indikáció

PH = Pozitív Hamis indikáció (téves riasztás)

1. ábra. A roncsolásmentes vizsgálat négy lehetséges eredménye

Mint azt az ábra bemutatja, megbízhatósági szempontból négyféle eredménye lehet egy roncsolásmentes vizsgálatnak. Ha egy vizsgált részben, nevezzük cellának, folyamatossági hiány van, azt vagy megtalálja a rendszer vagy nem. A hibátlan cellát pedig lehet helyesen hibátlanak mondani, és rossz minősítéssel hibát tartalmazónak vélni.

Az értékelés lehetséges eredményei az irodalomban szokásos elnevezésekkel:

Pozitív Igaz (PI): hiányt mutattak ki ott, ahol valóban volt hiány
(angolul: True Positive, TP)

Negatív Igaz (NI): nem mutattak ki hiányt ott, ahol valóban nem volt hiány
(angolul: True Negative, TN)

Pozitív Hamis (PH): hiányt mutattak ki ott, ahol a valóságban nem volt hiány
(angolul: False Positive FP)

Negatív Hamis (NH): nem mutattak ki hiányt ott, ahol a valóságban volt hiány
(angolul: False Negative FN)

Természetesen a pozitív igaznak és a negatív hamisnak minősített cellák összegének el kell érni az összes hiányt tartalmazó cella számát, jelöljük N1-el.

$$PI + NH = N1$$

Ugyanígy a pozitív hamisnak és negatív igaznak jelölt cellák összegének azonosnak kell lenni az összes jó cella számával, jelöljük N2-vel.

$$PH + NI = N2$$

Az észlelés valószínűségét (POD) a következő módon számítjuk:

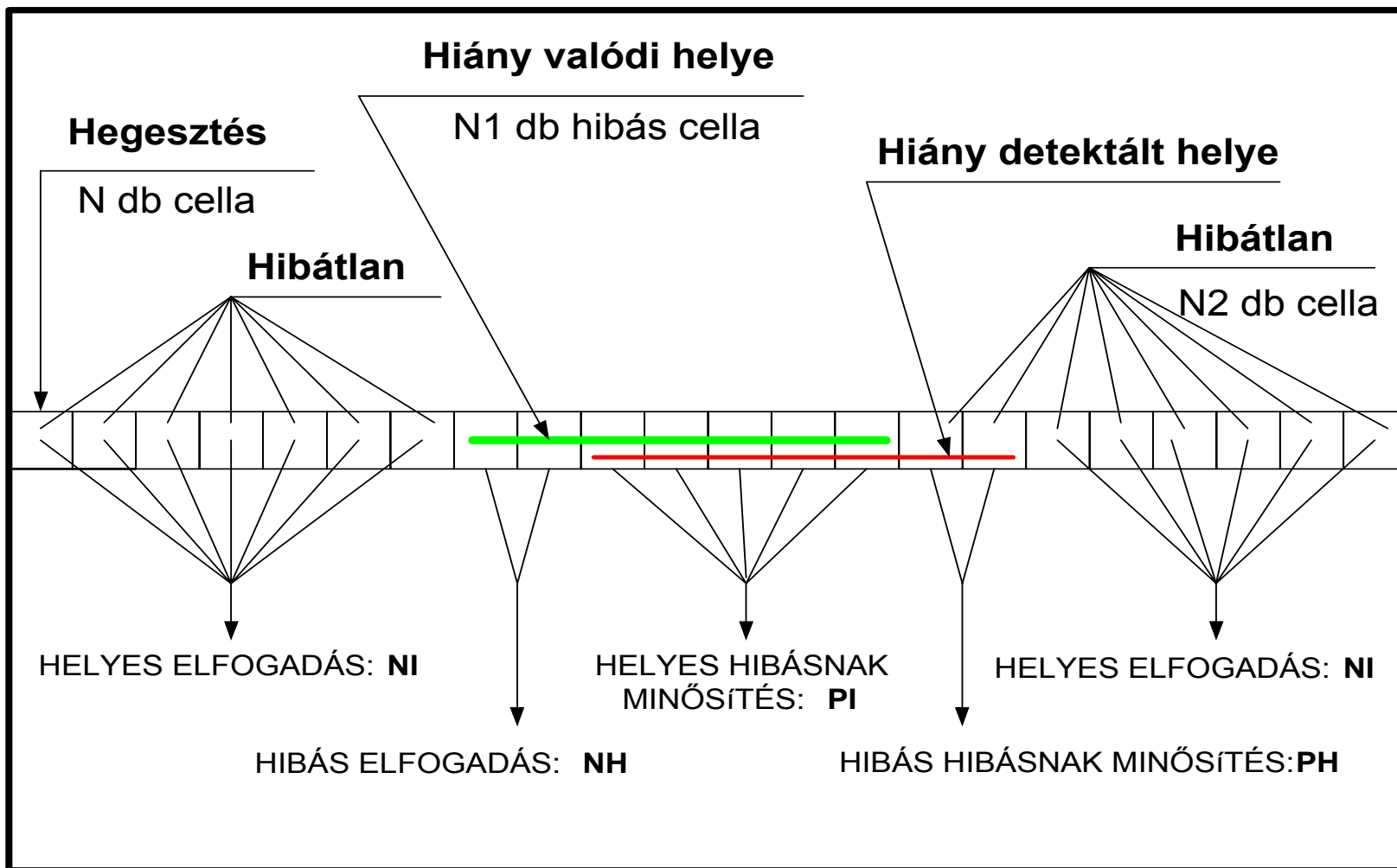
$$POD = \frac{PI}{N1} = \frac{PI}{PI+NH}$$

A fenti képletben az észlelés valószínűsége egyenlő a pozitív igaznak (megtalált hiány) minősített cellák és az összes hiányt tartalmazó cella számának arányával.

Ha a vizsgáló ott is hiányt észlelt, ahol a valóságban nincs, akkor hamis riasztást (False Alarm = FA) végez. A hamis riasztás valószínűségének (PFA) számítása:

$$PFA = \frac{PH}{N2} = \frac{PH}{PH+NI}$$

E szerint a képlet szerint a hamis riasztás valószínűsége egyenlő a pozitív hamisnak (hiányt tartalmazónak vélt, de jó) minősített cellák és az összes jó cella számának arányával. Egy mérési eredmény kiértékelése esetén tehát két valószínűségi adatot számítunk ki, melyeket egy koordináta rendszerben ábrázolunk, ez lesz az ROC diagram.



2. ábra. Egy hegesztési varrat vizsgálatának értékelése

Példa

A 2. ábrán egy hegesztést vázoltunk, amely 22 cellából áll. A hegesztésben egy 7 cella hosszú folytonossági hiány van (vastag vonallal ábrázolva), aminek a helyét az értékelő hibásan detektálta (lásd vékony vonal).

Az értékelt cellák jelölései az ábrán olvashatók:

$$\begin{aligned} N1 &= 7 \text{ db} \\ N2 &= 15 \text{ db} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PI &= 5 \text{ db} \\ PH &= 2 \text{ db} \end{aligned}$$

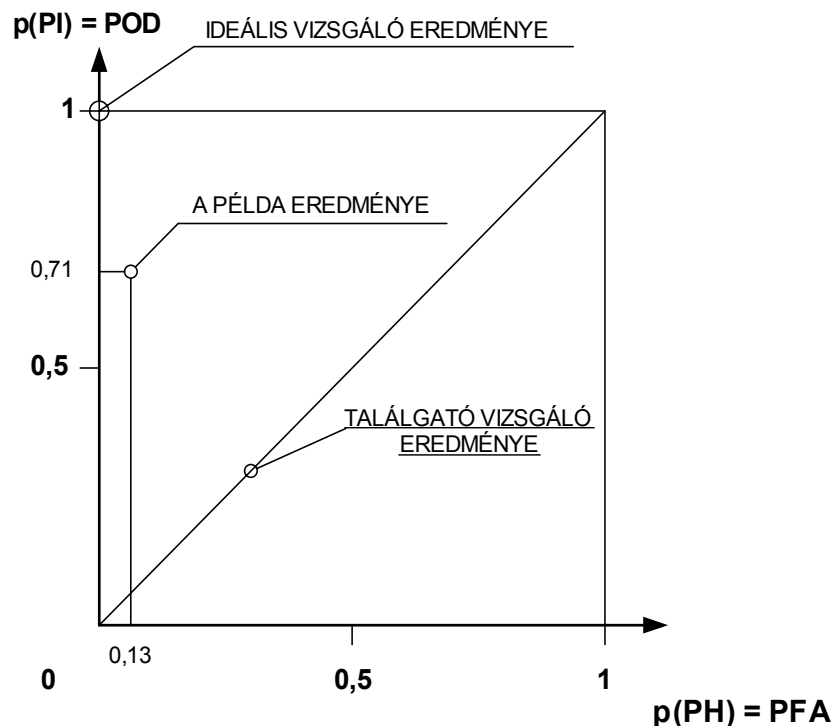
Az észlelés vagy másképpen a pozitív igaz esemény valószínűsége:

$$POD = p(PI) = \frac{PI}{N1} = \frac{5}{7} = 0,71$$

A hibás riasztás, vagyis a pozitív hamis esemény valószínűsége:

$$PFA = p(PH) = \frac{PH}{N2} = \frac{2}{15} = 0,13$$

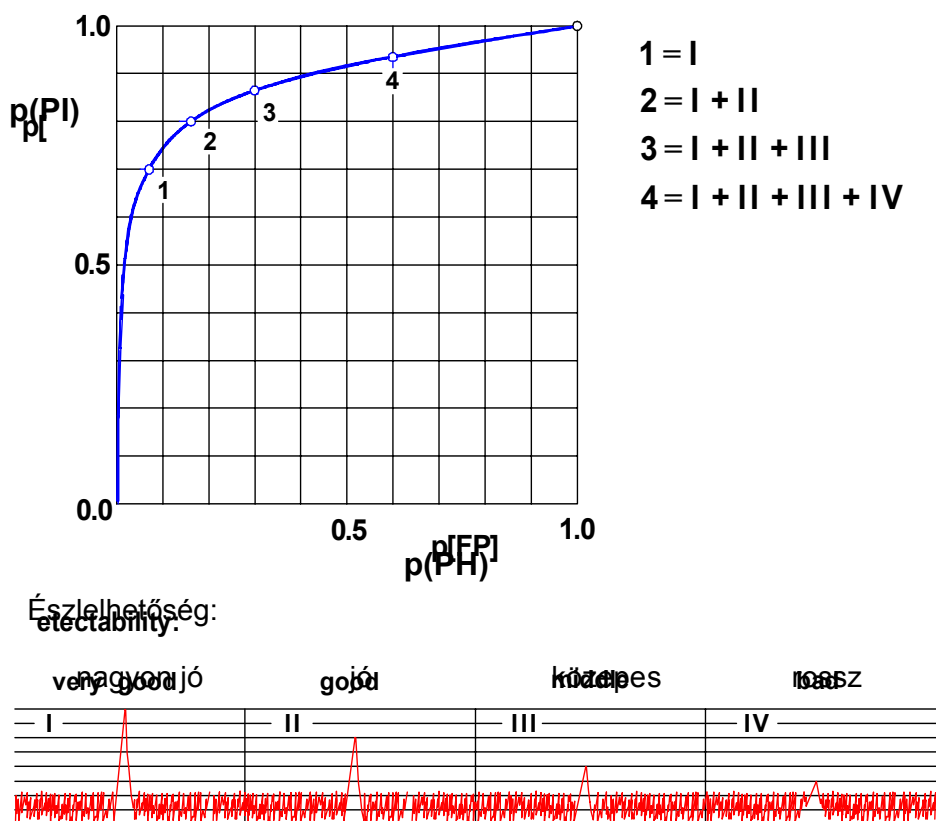
Az eredményeket a 3. ábrán ábrázoltuk, ahol az ideális és a csak találgató vizsgáló adatait is feltüntettük.



3. ábra. A hegesztési példa eredményeinek ábrázolása ROC diagramban

A ROC görbe gyakorlati meghatározása

Az ROC görbe teljes megrajzolásához több pontjára van szükség, melyeket a 4. ábrának megfelelően, a rendszer érzékenységének változtatásával tudunk meghatározni.

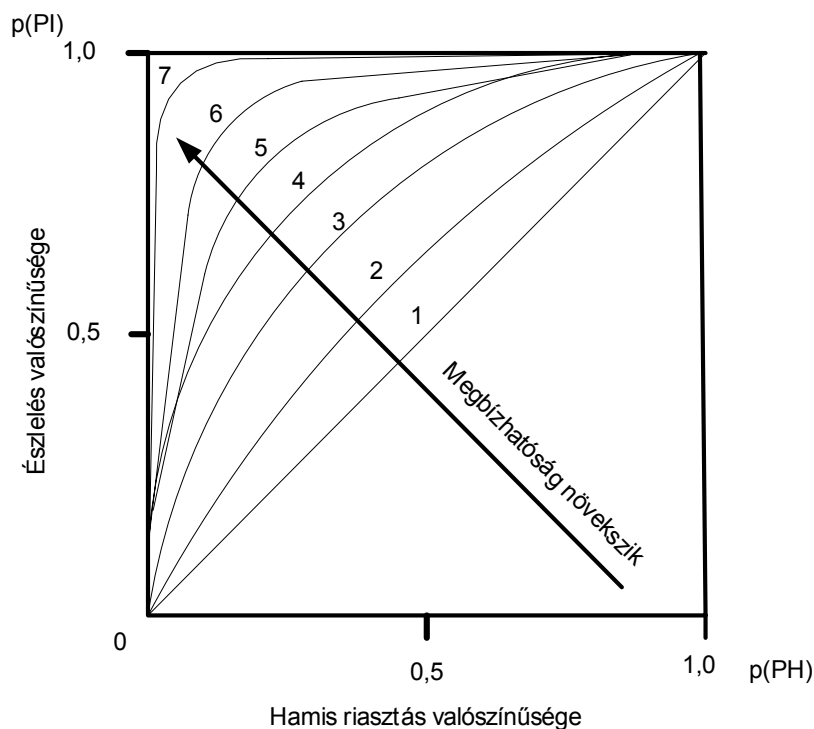


4. ábra. A ROC görbe gyakorlati meghatározása

Mint az ábrán látható, a görbe alsó részéhez a nagyobb jelek tartoznak, és ezért kisebb a hamis riasztás valószínűsége, a rendszer érzékenysége kicsi. Ha növeljük az érzékenységet, és egyre kisebb jeleket veszünk figyelembe, egyre több hiányt találhatunk meg, de ezért cserébe egyre nagyobb valószínűsége lesz a hamis riasztásnak. Az ábrán ezt az ultrahangos vizsgálat A képének változásával szemléltetjük. A radiográfiai képek értékelésénél ezt a hiányok képének láthatóságával jellemezzük, és észlelhetőségnek nevezzük. (Ezt kellett a körvizsgálat értékelésénél 1-4 számokkal jellemezni, hogy meg tudjuk határozni a vizsgálók egyéni ROC görbéjét.)

A különböző észlelhetőségűnek ítélt hiányok által meghatározott pontokat matematikai módszerekkel közelítve meg lehet határozni a teljes görbét, és meg lehet jósolni a rendszer általános teljesítményét. Előre lehet látni, mi történik, ha növeljük az érzékenységet: több hibát találunk-e vagy csak a hamis riasztások száma növekszik? A 4. ábrán látható $4 = I+II+III+IV$ pont képviseli a rendszer lehetséges legjobb teljesítményét, más elnevezéssel a munkapontot.

Ha különböző rendszereket vagy rendszer modulokat akarunk összehasonlítani, hogy melyik megbízhatósága jobb, akkor a jellemző ROC görbéket kell összehasonlítani. Könnyen belátható, hogy a meredekebb görbék jobbak, mert azonos értékű detektálási valószínűséghez kisebb hamis riasztási valószínűség tartozik. Az 5. ábrán 1-7-tel jelzett görbék növekvő megbízhatóságot mutatnak.



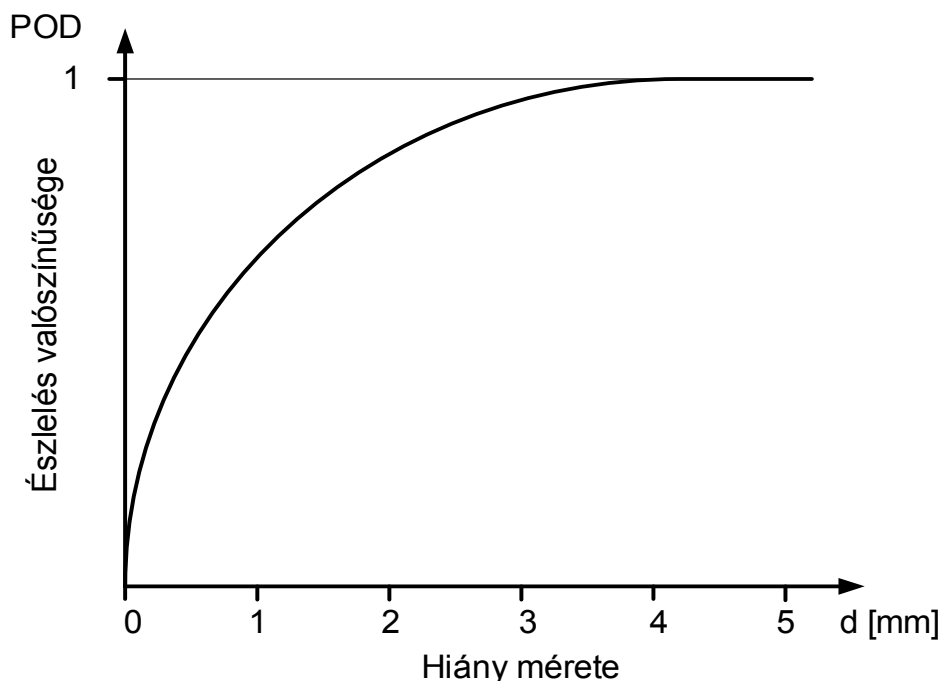
5. ábra. Különböző vizsgáló rendszerek összehasonlítása

Az ábrán 1 –el jelölt átló a találgatást jelképezi, mert például 0,5 értékű hiány észlelési valószínűséghez ugyanilyen arányú hamis riasztás tartozik. Az ideális rendszert az ábra bal felső sarkán átmenő egyenessel jellemezhetnénk, mivel az összes kimutatott hibához nem kapcsolna egyetlen hamis riasztást sem. Fentiek alapján a görbék távolsága a 45°-os, 1 jelű egyenestől jellemzi a rendszer vagy az értékelő személy megbízhatóságát. Ha egy görbe messzebb van az átlótól, akkor a görbe által jellemzett rendszer megbízhatósága jobb. Vizsgálók értékelésénél a munkapont távolsága az átlótól pontosabb jellemzést ad, ezért a továbbiakban ezt a távolságot használjuk a megbízhatóság összehasonlítására.

A POD görbe

Az egyéni teljesítmények jellemzésére az észlelés valószínűségének görbéjét (probability of detection = POD) is használhatjuk. A POD görbe a rendszer vagy az egyén észlelésének valószínűségét mutatja be a hiány méretének függvényében, mint azt a 6. ábrán látható.

A POD görbét úgy lehet meghatározni, hogy a vizsgált módszerrel különböző méretű hiányokat keresünk, és az összes ismert hiányhoz viszonyítva ábrázoljuk az észlelés arányát. Természetesen lesz olyan méretű hiány, amiből az összeset megtaláljuk. A POD görbe ennél a méretnél éri el a 1 értéket, az ábra példáján ez 4 mm körül van.



6. ábra. Az észlelés valószínűségének (POD) mérése

A filmértékelés adataival ezt a görbét nem tudtuk meghatározni, ezért a továbbiakban a résztvevők POD görbéjével nem foglalkozunk.

3. A körvizsgálat és értékelése

Mint azt már említettük, a körvizsgálat célja volt meghatározni az ipari laboratóriumokban radiográfiai filmértékeléssel foglalkozó szakemberek munkájának megbízhatóságát. Erre a célra a BAM archívumából különféle hegesztési varratok radiográfiai vizsgálatának eredményét tartalmazó filmeket választottunk ki. A filmekben szereplő munkadarabok geometriáját a 2. táblázat mutatja be.

A filmeket a legmodernebb szkennelvel digitalizáltuk. A digitális forma lehetőséget biztosított számítógéppel támogatott értékelésre, és lézernyomtatással jó minőségű másolatok készítésére. Mivel Lengyelországban és Horvátországban is volt érdeklődés a körvizsgálatban való részvételre, négy sorozat filmet másoltunk AGFA Scopix Laser filmre.

Falvastagság s [mm]	A filmek jelzése	A vizsgált darabok formája és méretei
3	70, 71, 72	Ø 27
4	97, 105	Ø 108, Ø 133
5	90, 98	Ø 220, Lemez
6	28, 29, 30, 31, 92, 93, 106	Ø 102, Ø 225, Lemez
8	66, 94, 202, 210	Ø 160, Ø 220, Ø 406
10	11, 57, 85	Ø 168, Lemez
12	21, 22, 23, 39, 40, 42, 101, 102, 211, 214	Lemez
20	12, 13, 24, 27	Lemez
28	56	Lemez
30	88	Lemez
36	107	Lemez

2. táblázat. A körvizsgálati próbatestek geometriája

A körvizsgálatban résztvevő személyeknek a következő feladatokat kellett elvégezni:

- feljegyezni az összes folytonossági hiányt,
- besorolni a hiányok észlelhetőségét 1-4 sorrendbe,
- feljegyezni a még észlelhető képminőségi jelzőszámot (IQI),
- megmérni a filmek feketedését (OD),
- megmérni nyolc különböző feketedésű négyzet optikai denzitás (OD) értékét.

A mérések elvégzéséhez kitöltési utasítást és megfelelő táblázatokat kapott minden résztvevő. A résztvevők személyének kódolására egy négyjegyű szám választását is kértük, a kód azonosítására csak a laboratórium vezetője és a vizsgált személy képes.

A választott négyjegyű kódok a körvizsgálatban ötjegyű azonosítóként szerepelnek, mert a résztvevő országokra utaló első számjeggyel egészítettük ki. Az első számjegyek jelentése:

- 1 Horvátország,
- 2 Magyarország,
- 3 Lengyelország.

Minden roncsolásmentes vizsgálat eredményének minősítéséhez szükség van a vizsgált tárgyakban lévő folytonossági hiányok típusának, helyének, méretének elegendően pontos ismertetése. Ezeket az adatokat a helyes értékeknek nevezzük. A helyes (más kifejezéssel valódi) értékek meghatározásának különféle módszerei léteznek, melyeket itt nem tartunk szükségesnek értékelni.

A körvizsgálatban résztvevő filmek helyes értékeinek meghatározását több lépcsőben végeztük el. Először a digitális formában tárolt képeket számítógépes támogatással értékeltük, majd ezt az eredményt még három fő javította.

A helyes értékek ellenőrzésében és a vizsgálandó filmek számának szűkítésében a MaRoViSz szakértői csoportja is segített. Így alakult ki, hogy az értékelendő sorozat 38 darab filmet tartalmazott. A filmekben, mint helyes értéket 206 db folytonossági hiányt rögzítettük, különféle méretben, fajtában és elhelyezkedésben. A filmekben összesen 680 db 1 cm hosszú cella szerepelt, melyekből 5 db cella technikailag értékelhetetlen volt.

A több mint kétszáz hiány feljegyzése és kiértékelése sok munkát jelentett a résztvevőknek. A nagyszámú hiányt statisztikai megfontolások indokolták. Ezzel lehetett elérni ugyanis, hogy az esetleges hibás helyes értékek ellenére is megbízható eredményt adjon a körvizsgálat. Ha például 10 db hiány helyes értéke mégis vitatható, akkor is elérjük a statisztikai elemzésekben szokásos 95%-os megbízhatósági határt. A valós munkadarabokról készült különböző minőségű radiológiai felvételek között biztosan előfordul néhány vitatható helyes érték. Ha teljesen egyértelmű, jó minőségű felvételek szerepelnének a körvizsgálatban, akkor az nem képviselné a valós körülményeket.

A körvizsgálat közben a résztvevőktől kapott vélemények szerint túl sok, apró, biztosan megengedhető hiányt kell feleslegesen feljegyezni. Volt olyan résztvevő, aki a 206 db hiányból csak 49 db-ot írt fel.

A gyakorlati körülmények jobban modellező véleményt figyelembe véve egy új értékelést is elvégeztünk. A helyes értékek és az összes résztvevő eredményei közül kiválogattuk azokat a hiányokat, amelyek az MSZ EN 12517:1998 szabvány 1. elfogadási szintje fölé esnek. A hibának minősülő hiányok minimális méretét a 2. táblázatban feltüntetett lemezzvastagságokhoz a 3. táblázat tartalmazza.

A táblázat adataival átválogattuk a vizsgálók eredményeit és a helyes értékeket. Az átválogatása után a helyes értékek 206 hiányából 72 db nagyobb a szabvány elfogadási határánál, ami 35%-a az összes hiánynak.

Személyenként értékeltük, hogy a feljegyzett folytonossági hiányok hányad része az elfogadási határ fölé eső hiba. A résztvevők eredményeinek viszonyszáma 28% és 89 % között ingadozik átlagosan 60 %. Az átválogatott eredmények alapján végzett értékelés szerint a résztvevők általában jobb megbízhatósági eredményt értek el.

Falvastagság s [mm]	Hiányok típusa az MSZ EN 26520 szerint				
	100	2011, 2013 2014 2017	2016	300 2015	3042 401 402
3	0	0.9	0.9	0.9	0
4	0	1.2	1.2	1.2	0
5	0	1.5	1.5	1.5	0
6	0	1.8	1.8	1.8	0
8	0	2.4	2	2.4	0
10	0	3	2	3.0	0
12	0	3	2	3.6	0
20	0	3	2	6	0
28	0	3	2	6	0
30	0	3	2	6	0
36	0	3	2	6	0

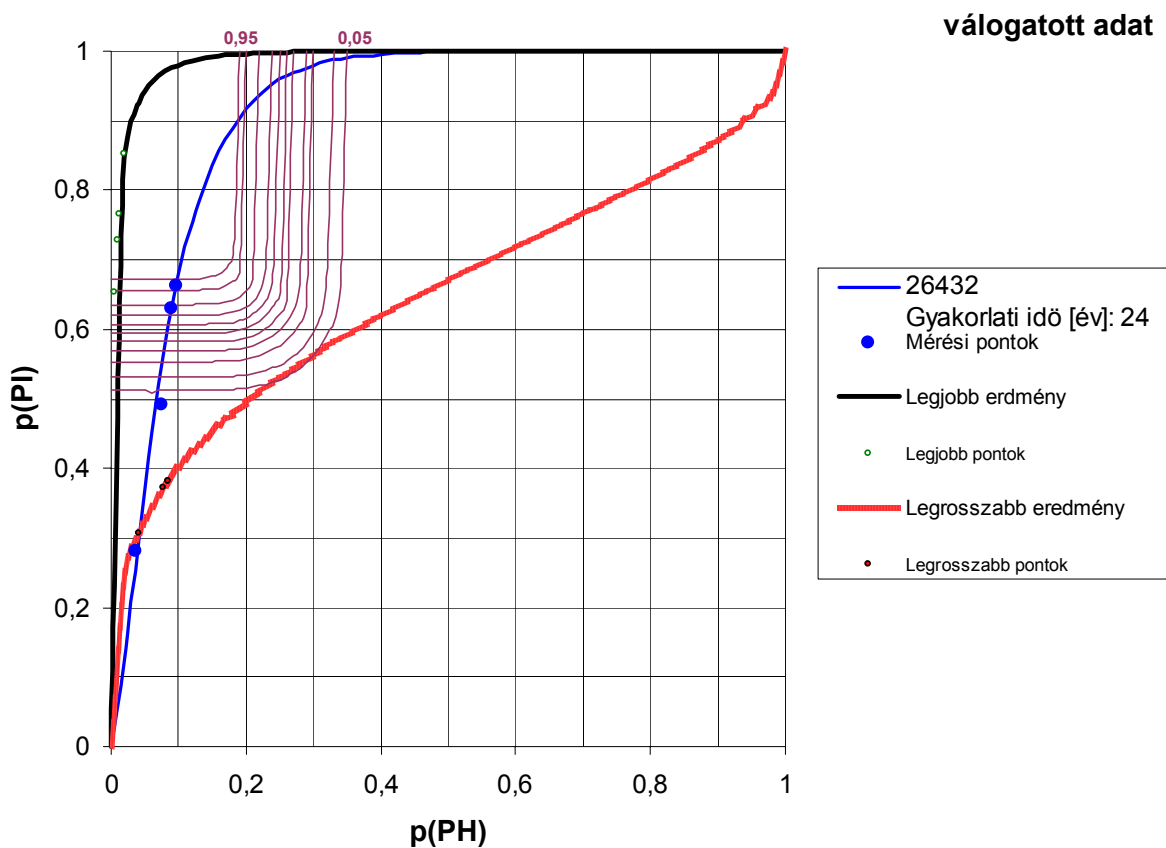
Megjegyzés: 0 - nem megengedett

3. táblázat. Elfogadási szintek az EN 12517:1998 szerint

Az egyéni eredményeket két darab ROC görbe formájában minden résztvevő megkapta. Itt egy véletlen szerűen kiválasztott vizsgáló eredményét mutatjuk be, amelyik némi eltéréssel jellemző minden résztvevőre. A 7. ábrán három görbe van a bal alsó (0,0) és a jobb felső (1,1) pontok között. Az alsó, vastag görbe a legrosszabb vizsgáló eredményét, a felső görbe a legjobb vizsgáló teljesítményét mutatja be. A köztük lévő vonal a jelmagyarázatban szereplő kóddal jelzett vizsgáló eredménye.

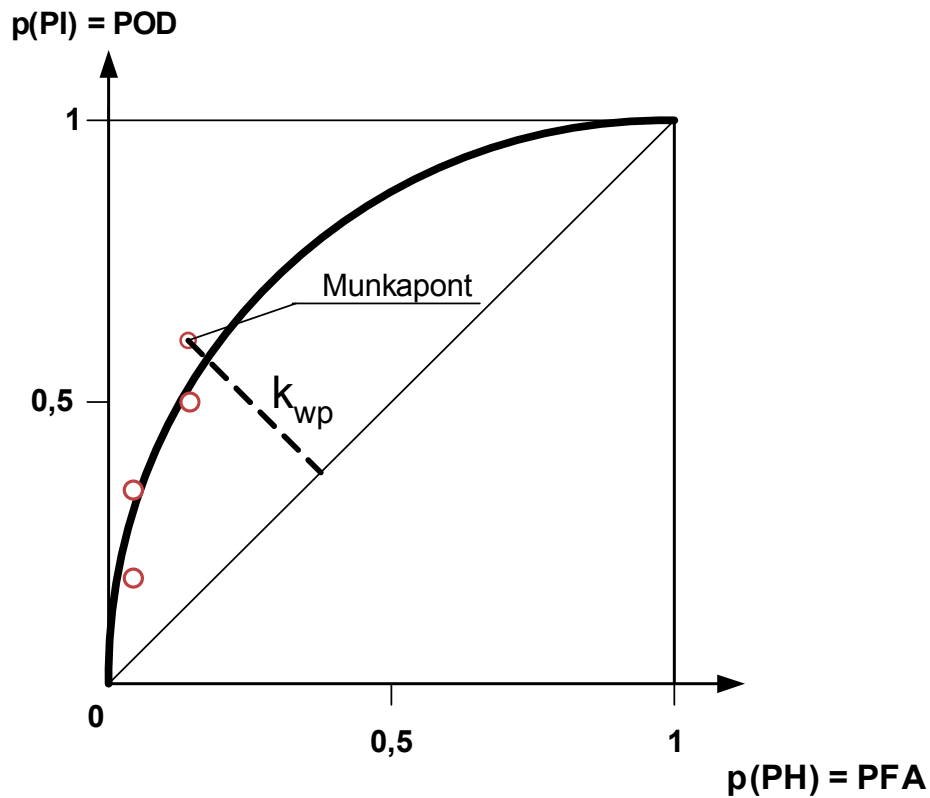
A görbékét matematikai közelítéssel meghatároztuk meg. Az értékelések eredményét a görbék közelében található négy pont képviseli, melyeket a 4. ábrán bemutatott módon határoztunk meg. A legfelső pont tartalmazza az összes adatot, amit az értékelő személy meghatározott, ez a munkapontja.

A 7. ábrán a ROC diagram bal felső részén egy görbesereg által határolt terület látható. A területen belül ábrázolt pontok eredményei megfelelnek az ASME CODE XI. Appendix VIII. előírásainak. A görbesereg a 95%-tól 5%-ig terjedő megbízhatósági határoknak megfelelő követelményeket reprezentálja. Az ábrán bemutatott 26432 kódszámú vizsgáló ROC görbéjén látható legfelső pont, a munkapont, itt a 0,9 és a 0,95 jelű határvonalak közé esik. Ez azt jelenti, hogy a vizsgáló munkájában 90 % -nál jobb valószínűséggel felel meg a fenti ASME Code követelményeinek. Az ASME CODE alkalmazása itt önkényes, mivel ez az előírásrendszer ultrahangos vizsgálat elfogadási kritériumára készült. Más követelmény azonban előírás formájában még nem jelent meg.



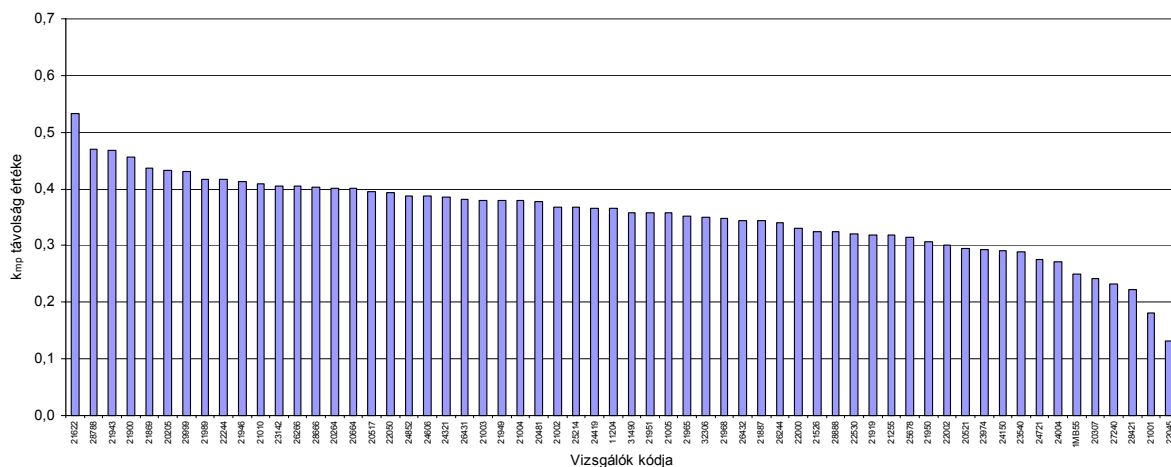
7. ábra. A 26432 kódszámú vizsgáló válogatott eredményeiből szerkesztett ROC görbe

Mint azt az 5. ábrával kapcsolatban említettük, hogy egy rendszer, vagy személy megbízhatóságának jellemzésére a munkapont átlótól mért távolságát használhatjuk. A k_{mp} távolság értelmezését a 8. ábrán mutatjuk be. Ez a pont az összes hiány figyelembe vételével meghatározott megbízhatóságot jelképezi. A különböző észlelhetőséggel számított pontokhoz matematikai módszerekkel görbéket szerkeszthetünk, melyeknek az átlótól mért távolsága eltérő, és esetleg nagyobb a munkapont távolságánál. A vizsgált személy valóságos megbízhatósági teljesítményét a munkapont jobban képviseli, mint egy módszertől függő görbe legtávolabbi pontja.



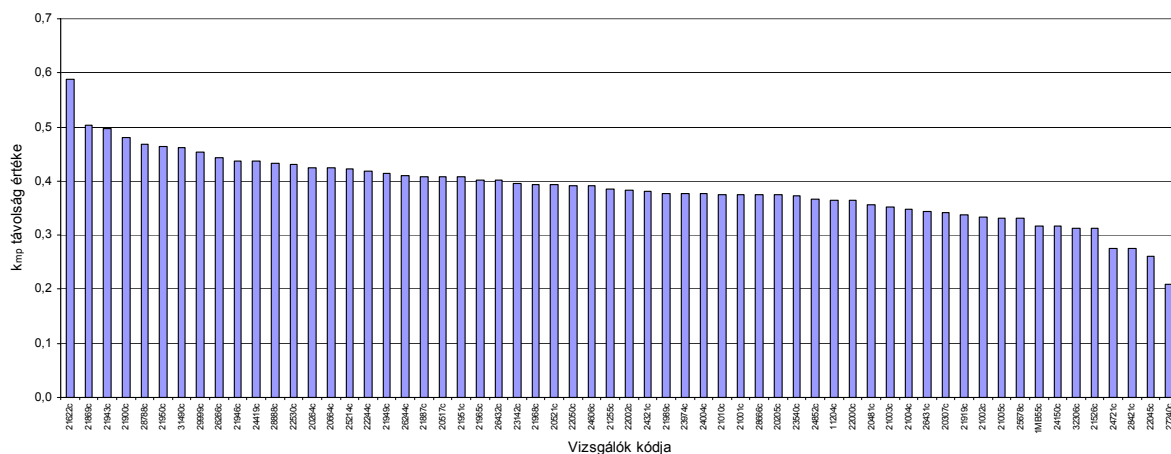
8. ábra. A munkapont távolság értelmezése

A 9. ábrán a résztvevőknek a munkapont távolságok (k_{mp}) alapján sorba rendezett eredményeit mutatjuk be, melyeket az összes adat értékelésével határoztunk meg. A k távolság maximális értéke geometriailag számítható, az átló fele, azaz 0,71. Mivel ezt az értéket senki sem érte el, kijelenthetjük, hogy a körvizsgálat minden résztvevőjének szükséges fejleszteni megbízhatóságát. Hogy a nyújtott teljesítmények mire elegendőek, annak megítélésére ma még nincs tapasztalat, csak az látszik egyértelműen, hogy a megbízhatóságon van javítani való.



9. ábra. Vizsgálók munkapontjainak távolsága az összes hiány észlelésénél

A 10. ábrán az említett 1. elfogadási szint feletti hibák értékelésének munkapont távolsági adatainak sorba rendezett értékeit mutatjuk be. Az értékek jobbák, mint az előző ábrán látott adatok, ami azt bizonyítja, hogy az értékelő radiológusok a szabványos követelmények teljesítésére nagyobb tapasztalattal rendelkeznek.



10. ábra. Vizsgálók munkapontjainak távolsága hibák észlelésénél

Egyéb értékelések

A filmekben szereplő képminőség jelzőszámának meghatározása a radiológus mindennapi feladata. Ezt a feladatot a körvizsgálat értékelésénél is el kellett végezni. Az azonos filmen meghatározott IQI jelzőszámok minimum – maximum közti változása 4, esetleg 5 értéket is elért. Ekkora eltérést az észlelt huzalok között csak

úgy lehet elképzelni, hogy az értékelő helyiségek csak mérsékeltén voltak besötétítve.

A filmekben feketedést a 60 résztvevőből 53 –an mértek. Csak remélni lehet, hogy a többi laboratóriumnak is volt denzitás mérőjük. Az azonos filmen mért OD értékek relatív szórásának maximuma egy résztvevőnél elérte a 25%-ot, de a minimum érték is több volt 15 % -nál. Ekkora szórást csak az magyarázhat, hogy a feketedés mérők kalibrálása nem megfelelő, továbbá a filmekben nem azonos helyen mértek a résztvevők.

A körvizsgálat utolsó feladata nyolc feketedés mérés volt. Az ellenőrző filmen nyolc különböző feketedésű négyzet OD értékét kellett meghatározni. A 4. táblázatban az OD értékek 53 résztvevő mérési eredményeinek átlagát mutatják. A növekvő feketedéshez csökkenő relatív szórás tartozik.

	1	2	3	4	5	6	7	8
OD átlaga	1,69	1,88	2,10	2,34	2,58	2,82	3,00	3,24
Rel. szórás %	24,20	21,64	20,15	18,50	16,84	16,89	16,50	14,37
Minimum:	0,50	0,60	0,80	1,30	1,52	1,83	2,15	2,45
Maximum:	2,80	2,94	3,22	3,60	3,94	4,32	4,65	4,86

4. táblázat. A feketedés mérés jellemzői különböző OD értékeknél

Az eltéréseket, feltételezve, hogy karbantartott feketedés mérővel rendelkeznek a laboratóriumok, a kalibrálás nem megfelelő pontossága magyarázhatja. A filmekben mért feketedések relatív szórása számértékben szinte azonosan 15 és 25% között változott az ellenőrző négyzetek szórásával. Ezek az adatok egyértelműen felhívják a figyelmet a feketedés mérők gondos kezelésére és kalibrálására.

4. Összefoglalás

A GTE által szervezett radiológiai filmértékelés körvizsgálatában 60 résztvevő értékelte ki ugyanazt a 38 db filmet. A filmekben 206 db különféle folytonossági hiány képe volt felismerhető. A hiányok között sok volt az apró, a szabványos követelményeknél lényegesen kisebb indikáció, amit a gyakorlott vizsgálók nem jegyeztek fel. Emiatt az összes folytonossági hiány figyelembe vételével elvégzett megbízhatósági értékelés rosszabb eredményeket adott a nagyobb gyakorlatú értékelőknek. Ezért új értékelést is végeztünk azokkal a hiányokkal, amelyek az MSZ EN 12517:1998 szabvány 1. elfogadási szintje fölé esnek.

A roncsolásmentes értékelést végző személyzet munkájának megbízhatósági elvárásait jelenleg csak egy előírás tartalmazza. Az ASME CODE XI. Appendix VIII. előírásai az ultrahangos vizsgálokra vonatkoznak, de ezeket a filmértékelést végzőkre is alkalmaztuk. A követelményeket a ROC diagramokra, a bal felső sarokba, határgörbék formájában rajzoltuk fel. A határok a CODE követelményeinek 5, 10, 20,80, 90, 95 % -os megvalósulási valószínűségét mutatják. Természetes, hogy a határok csak valószínűségeket mutatnak, hiszen ez egy körvizsgálat

eredményére alapuló előrejelzés, ami emberi teljesítésre vonatkozóan nem lehet teljes bizonyosságot jelentő igen-nem határ.

A vizsgálók munkájának eredményeit személyenként két darab ROC görbe mutatja be, az összes és a válogatott adat ábrája. Ezekon a diagramokon a filmértékelés megbízhatóságát a munkapont helyzete jellemzi. Összesítettük a munkapontok helyzetét az ASME CODE előírásaihoz képest, azt vizsgálva, hogy hány százalékos valószínűséggel felel meg értékelésük az ASME elvárásainak. Az összesítés eredménye az 5. táblázatban figyelhető meg.

A táblázat első sorában a határgörbék közti tartományok találhatóak, melyek a megfelelés valószínűségét mutatják. A második sor azt mutatja, hogy hány személy munkapontja jutott a nevezett tartományba, amikor az összes hiány értékelésének eredményességét vizsgáltuk. Figyeljük meg, hogy 95% -nál nagyobb valószínűséggel 15 fő, az összes résztvevő $\frac{1}{4}$ -e teljesítené az ASME elvárásait.

Valószínűségi határ [%]	<5	5 - 10	11 - 20	21 - 30	31 - 40	41 - 50	51 - 60	61 - 70	71 - 80	81 - 90	91 - 95	> 95
Összes hiány értékelése	7	2	3	2	1	1	3	7	5	9	5	15
Hibák értékelése	4	1	3	3	2	0	1	0	14	4	7	21

5. táblázat. A vizsgálók megfelelési valószínűsége az ASME előírásnak

Az 5. táblázat harmadik sorában azt találjuk, hogy hány személy munkapontja jutott a nevezett tartományba, amikor a hibák értékelésének eredményességét vizsgáltuk. Az előző sorhoz viszonyítva általában többen értek el jobb valószínűségi mutatót. A statisztikában szokásos felső 95 % -os határt 21 fő érte el vagy haladta meg. Tehát 95 % -nál nagyobb valószínűséggel 21 fő, az összes résztvevő több mint $\frac{1}{3}$ -a teljesítené az ASME elvárásait. Az eredmények ilyen szempontok szerinti minősítése nem e cikk szerzőinek feladata, de abban mindenki egyetérthet, hogy a megbízhatósági eredményeken volna javítani való.

5. Köszönetnyilvánítás

A szerzők megköszönik a támogatók és segítők biztatását és munkáját, külön is említve Gisela Malittenek és Uwe Zscherpelnek a filmdigitalizálásban nyújtott támogatását. A körvizsgálat minden résztvevőnek köszönjük munkáját, amit a filmek értékelésével töltött, és külön köszönjük, hogy a roncsolásmentes vizsgálatok megbízhatóságának fejlesztéséért tenni is volt ereje.

6. Hivatkozások

- [1] Christina Nockemann, Chris Fortunko: Conclusion of the Workshop European-American Workshop Determination of Reliability and Validation Methods of NDE. June 18-20, 1997. Berlin, Germany, Proceedings
- [2] A roncsolásmentes anyagvizsgáló személyzet megbízhatóságának mérése, 2 Anyagvizsgálók Lapja 9. évf. 2. szám 1999, 52 – 54. oldal (á. 6. t. 3. h. 6.)
- [3] Christina Müller, Matt Colins, Tom Tailor, Basic Ideas of the American-European Workshops 1997 in Berlin and 1999 in Boulder 15th WCNDT CD-ROM idn 733.