

A roncsolásmentes anyagvizsgáló személyzet megbízhatóságának mérése, 2.

Fücsök Ferenc*

Bevezetés

A roncsolásmentes vizsgálatok megbízhatósága már évtizedek óta téma mind a vizsgálatot végzőknek, mind a vizsgálati eredményeket felhasználó szakembereknek. Az elmúlt években ezen a területen is jelentős fejlődés tapasztalható, egyre több cikk és tanulmány jelenik meg, amelyek különböző gyakorlati szempontok alapján értelmezik az elméleti megállapításokat. A fejlődés jelentős állomása volt az 1997. június 18-20. között Berlinben rendezett Európai-Amerikai Workshop, amit a roncsolásmentes vizsgálatok megbízhatóságának vizsgálatáról és a módszerek igazolásáról rendeztek.

Ezen a rendezvényen a résztvevők egy gyakorlati képletben, jobb kifejezéssel élve egy modellben állapodtak meg. Ez a modell általánosan írja le egy roncsolásmentes vizsgálati módszer megbízhatóságát: [1]

$$M = f(BA) - g(AP) - h(ET) \quad (1)$$

ahol

M = a roncsolásmentes vizsgálati módszer megbízhatósága,

BA = a módszer belső adottsága,

AP = az alkalmazott paraméterek hatása,

ET = az emberi tényező hatása.

A képletben az f, g, h betűk olyan matematikai függvényeket jelentenek, amelyeket jelenleg nehéz vagy lehetetlen pontosan leírni.

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

Az alkalmazott paraméterek (AP) hatására a vizsgálat érzékenysége és ezzel a hatékonysága 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 minőség rovására.

A roncsolásmentes vizsgálatok megbízhatóságának legfontosabb, de egyben leggyengébb és legjobban változó összetevője az emberi tényező (ET). Az ember teljesítménye ezen a területen is nagyon sok tényezőtől függ, és nagyon gyorsan változhat jó és rossz irányba. Több különböző kísérletet végeztek az elmúlt években a célból, hogy a körülmények függvényében mérjék a roncsolásmentes vizsgálatok megbízhatóságának változását [2]. Az említett cikk ismerteti egy vizsgálat eredményét, ahol egy megfelelően kialakított laboratóriumban dolgoztatták az anyagvizsgálókat és változtatták a megvilágítást, a zajt, a légnedvességet, a munkaidő hosszát stb. Az eredményeket minden gyakorló anyagvizsgáló meg tudja jósolni.

Számos módszer létezik a roncsolásmentes vizsgálati módszerek megbízhatóságának mérésére és értékelésére. Hasonló módszereket alkalmaztunk a vizsgálószemélyzet megbízhatóságának mérésére is, bár a személyek vizsgálatának van néhány különleges jellemzője. Az emberek tudják, hogy őket vizsgálják, gondolkodnak a saját munkájukról és a teljesítményük nagyon változó. Ezért nagyon nehéz az emberek megbízhatóságát értékelni, amikor roncsolásmentes vizsgálatokat végeznek, de még nehezebb ezt a megbízhatóságot fejleszteni.

Egy akkreditált ipari laboratóriumnak szükséges, hogy mérje a vizsgálók megbízhatóságát, hogy bizonyítsa a vizsgálatok és a labor teljesítményét, ezzel növelje megbízói bizalmát. Emellett azonban az is szükséges, hogy a résztvevők értsék, mi az eredménye a vizsgálatoknak. Ehhez nem kell megtanulni a megbízhatósággal kapcsolatos bonyolult matematikai kifejezéseket. Elég, ha az egészséges versenyszellem alapján érdekli a résztvevőket, ki a jobb szakmailag a csapatban.

Az említett célok elérésére legjobb módszer, hogy időről időre laboratóriumban belül és laboratóriumok között körvizsgálatokat szervezünk, értékeljük azokat, és a résztvevőknek részletesen megmagyarázzuk az eredményeket.

Ilyen vizsgálatok összehasonlításokra alkalmasak, abszolút mércét nem lehet felállítani. Még nem halmozódott fel annyi adat, hogy érdemjegyet lehessen adni egy bizonyos teljesítményért.

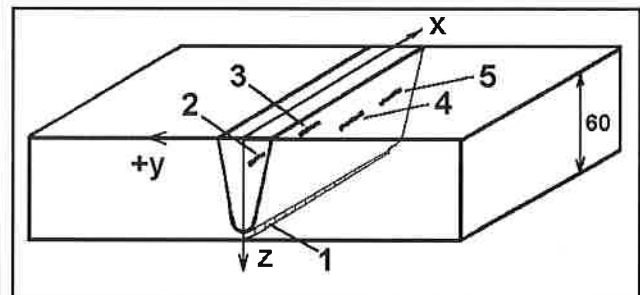
Egy körvizsgálat eredményei

Az Erőkar Rt. Anyagvizsgáló és Állapotellenőrző Laboratóriuma 1997-ben egy ultrahangos körvizsgálatot szervezett a TINCA PLUS program keretében, melyben 8 laboratóriumból 24 vizsgáló vett részt.

A körvizsgálatban résztvevő laboratóriumok:

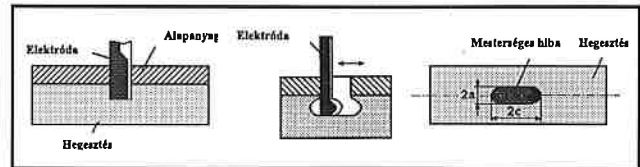
AGMI Rt. (Bp.)	1 fő
Erőkar Rt. (Bp.)	8 fő
MBVTI Kft. (Bp.)	1 fő
Metalcontrol Kft. (Miskolc)	2 fő
Powertest Kft. (Bp.)	1 fő
P.A. Rt. (Paks)	9 fő
R.U.M. Testing Bt. (Bp.)	1 fő
Acélszerkezeti és Gépgyártó Kft. (Tatabánya)	1 fő

A vizsgálandó próbatestet a német Fraunhofer Institutban készítették és 7. 1. jellel kódolták. A 60 mm vastag hegesztési varrat négy mesterséges hiányt és egy természetes gyökhibát tartalmazott, vázlatát az 1. ábrán mutatjuk be.



1. ábra. A 7.1. jelű próbatest vázlata

A 2. ábrán látható a mesterséges hibák előállításának módszere. A térfogati hibák üregeit szikraforgácsolással állították elő, ami egy jó és pontos módszer az előírt méretű üregek kimunkálására.



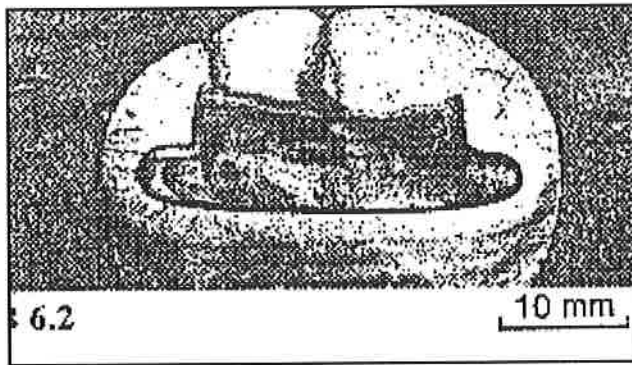
2. ábra. Mesterséges hibák gyártása

A hibák valódi formáját a 3. ábra mutatja be. A fotót a 6. 2. jelű, hasonló kialakítású próbatest törési felületéről készítették.

A próbatestet az önkéntes vizsgálatok egy szigorú technológia előírásai alapján vizsgálták. A regisztrációs határ Ø 3 mm-es lapos fenekű hengeres furat volt, a vizsgálatot 2 MHz frekvenciájú 45°, 60° és 70°-os besugárzási szöggel, négy irányból kellett elvégezni. Ezt a feladatot a vizsgálók döntő többsége nyolc órai, vagy több munkával tudta elvégezni.

A 24 vizsgáló négy irányból, három besugárzási szöggel elvégzett méréseinek átlaga az 1. táblázatban, az eredmények korrigált szórása a

* Budapesti Erőmű Rt.



3. ábra. A mesterséges hiba valódi alakja

2. táblázatban látható. A 3. táblázat a mesterséges hibák koordinátáinak tervezett értékeit mutatja. Mivel az 1. jelű gyökhibát nem tervezték, a táblázat első sora üres.

1. táblázat. A hibák mért koordinátáinak átlaga

Hiba sor	Reflektor kezdete [mm]	Reflektor hossza [mm]	y [mm]	z [mm]	3 mm KTR +dB	KTR [mm]
1	1.12	289.79	0.17	58.73	13.24	6.60
2	42.27	13.62	7.74	31.40	3.83	3.73
3	133.76	21.59	8.03	31.04	4.40	3.87
4	233.76	26.14	-2.10	31.36	5.83	4.23
5	325.40	44.76	-2.22	31.37	7.10	4.53

2. táblázat. A mért koordináták korrigált szórása

Hiba sor	Reflektor kezdete [mm]	Reflektor hossza [mm]	y [mm]	z [mm]	3 mm KTR +dB	KTR [mm]
1	5.51	42.15	3.63	3.61	3.84	1.51
2	5.43	6.48	3.66	5.73	3.08	0.70
3	5.21	6.50	3.71	5.55	2.84	0.72
4	8.63	7.88	6.73	3.26	3.24	0.84
5	7.52	11.71	6.75	3.42	2.97	0.85

3. táblázat. A koordináták helyes értékei

Hiba sor	Reflektor kezdete [mm]	Reflektor hossza [mm]	y [mm]	z [mm]	Hiba kódja
1	-	-	-	-	-
2	45	15	-	31,5	B 7.1
3	133	30	-	31,5	B 7.2
4	245	15	-	30	KB 7.1
5	343	30	-	30	KB 7.2

A körvizsgálat értékelése

A vizsgálószemélyzet megbízhatóságának elemzéséhez szükség van a mért koordináták helyes értékeire. (A "helyes érték" egy mennyiség megnevezésének valódi értéke. Definíciója szerint a helyes érték valamely meghatározott mennyiségének tulajdonított olyan érték, amely az alkalmazás céljának megfelelő bizonytalanságú [3].)

A hegesztett próbatétel ultrahangos vizsgálatának helyes értékei lehetnek:

- minden egyes koordináta mérési eredményeinek átlaga (1. táblázat);
- ha a gyártás elegendően pontos, akkor a tervezési adatok (3. táblázat);
- nagy pontosságú, automatikus ultrahangos vizsgálat eredménye;
- a próbatétel szétbontása után mért koordináta adatok.

A tervezett koordináta adatok ellenőrzése az elmúlt év végén kezdődött. Mivel a bemutatott 7.1. jelű munkadarabból törésmechanikai

próbatételeket vágta ki, nem volt lehetőség az összes méret ellenőrzésére. Eddig csak a B. 7.2. jelű hiba hosszúságának ellenőrzése történt meg, amit 29,81 mm-nek mértek. A táblázatban látható 30 mm-hez képest az eltérés kevesebb, mint 0,2 mm, ezért a 3. táblázat adatait a helyes értéknek tekintettük. A résztvevők megbízhatóságának meghatározásához helyes értékek a tervezési adatokat használtuk fel.

A megbízhatósági értékeléshez három különböző módszert használtunk fel. Mindegyik módszernek van előnye és hátránya, ezeket is részletezni fogjuk a következőkben.

Az alkalmazott értékelési módszerek:

- statisztikai folyamatellenőrzés (SPC = Statistical Process Control),
- tapasztalati POD értékelés (POD = Probability of Detection),
- finomított POD értékelés.

Az SPC értékelés

A minőségbiztosításban többféle alkalmazási területe van a statisztikai folyamat szabályozásnak. A roncsolásmentes vizsgálati módszerek és a vizsgálószemélyzet értékelésére McEvans és szerzőtársai [4] ajánlották először.

Ebben a megoldásban a megbízhatóságot, mint egy jel/zaj viszonyt számítjuk, és decibelben fejezzük ki. A decibel skála ismerős lehet az ultrahangos vizsgálatnak, hiszen minden nap használja. Ebben az értékelésben a helyes érték a jel, a mérési hibája pedig a zaj. A számítási módszer:

$$J/Z = -10 \log (\Delta) [dB] \quad (2)$$

$$\Delta = (1/n) \sum (x_i - V)^2$$

ahol:

J/Z = a jel/zaj viszony dB-ben,

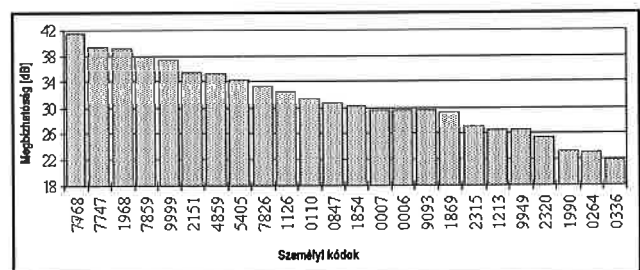
Δ = négyzetes középeltérés,

n = a mérések száma,

x_i = a mért érték,

V = helyes érték.

A körvizsgálatban résztvevő vizsgálatok megbízhatóságának sorrendje dB-ben kifejezve a 4. ábrán látható. Az oszlopdiagram függőleges tengelyén a (2) képlettel számított megbízhatóságot ábrázoltuk, a személyeket az általuk választott kóddal rejtjeleztük. Az értékelésnek ez a módja gyors és érthető, és addig jól használható, ameddig az összes hibát minden résztvevő megtalálta. Körvizsgálatunk résztvevői közül többen egyes hibákat nem észleltek, vagy csak bizonyos besugárzási szöggel találtak meg azokat. A hibák koordinátájának helyére ekkor 0 került és emiatt a dB-ben kifejezett érték kisebb lett, a képletben szereplő négyzetre emelés és negatív előjel miatt. Ezzel a módszerrel a vizsgáló megbízhatóságát alábecsültük.



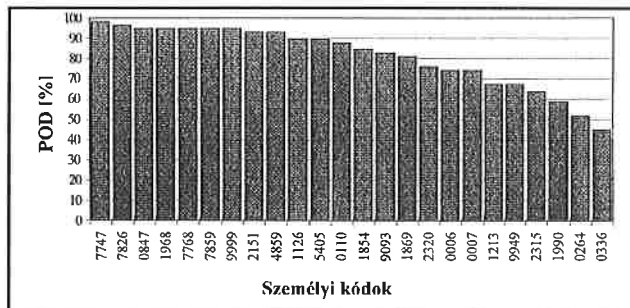
4. ábra. A mérési pontossággal kifejezett megbízhatóság

Az értékelési módszer másik hátránya is kiderült. Ha a hiányzó x_i koordináta relatív értéke nagyobb (pl. 4. reflektor), nagyobb hatása lesz az eredményre, mint a kisebb relatív értékű koordináta hiányának (pl. 2. reflektor). Ha tehát a példának választott egyforma reflektorok közül egy résztvevő a 2. jelű reflektort nem veszi észre, kisebb mértékben romlik az eredménye, mint ha a 4. jelű reflektort téveszti el. Megpróbáltuk kijavítani a módszer hibáját azzal, hogy ha hiányzott egy x_i adat, akkor az $(x_i - V)$ kifejezést helyettesítettük 0-val. Azonban kiderült, hogy ez a 0 „ajándék” a hibázó vizsgálónak, mert így ha valaki többet hibázott, magasabb dB értéket ért el.

A fenti módszerrel értékelt megbízhatóság csak az x_i koordináták mérési pontosságát jellemzi. Nem tartalmaz információt a nem detektált hibákról, tehát a vizsgáló megbízhatóságának csak az egyik oldalát, a mérési pontosságot mutatja be.

Tapasztalati POD értékelés

A POD az észlelés valószínűségének (Probability of Detection) mérőszáma. Tapasztalati értéke azt mutatja meg, hogy az összes folytonossági hiányból hány százalékot derített fel a vizsgáló. A 7. 1. képszámmal próbatesten 4 irányból 3 vizsgálófejjel 5 db hibát lehetett felderíteni, azaz összesen 60 reflektort kellett a vizsgálati jegyzőkönyvben feltüntetni. Mint az 5. ábrán látszik, ez senkinek sem sikerült, az ismétlődő feladatokat sem tudták teljes biztonsággal megoldani. Feltehetőleg a hosszú és unalmas munka okozhatta a hibák eltévesztését. Mint ahogy ez magyarázza a sorban hátul állók 50 % körüli teljesítését is.



5. ábra. Az észlelés valószínűségével kifejezett megbízhatóság

Ha összehasonlítjuk a 4. és 5. ábrán szereplő személyi kódok sorrendjét, kiderül, hogy nagy eltérés van a vizsgálók teljesítményében, ha a hibamentességet (akkurátusság) és a pontosságot (precizitás) külön-külön vizsgáljuk. Ez az összehasonlítás egyben az értékelési módszerek kritikája is, hiszen különválasztja a megbízhatóság két elemét, a hibamentességet és a pontosságot. További finomítást kell végezni az értékelési módszeren, ha a két jellemzőt egyidejűleg akarjuk vizsgálni.

A finomított POD értékelés

Ha végiggondoljuk egy roncsolásmentes vizsgálat folyamatát, kiderül, hogy négyféle eredménye lehet:

Pozitív igaz (PI): hiba volt kimutatva ott, ahol valóban volt hiba,
Negatív igaz (NI): nem volt hiba kimutatva ott, ahol valóban nem volt hiba,

Pozitív hamis (PH): hiba volt kimutatva ott, ahol valóban nem volt hiba,
Negatív hamis (NH): nem volt hiba kimutatva ott, ahol valóban volt hiba.

A megbízhatóság értékelésénél szokásos megoldás, hogy a hegesztést teljes hosszában cellákra osztják és azt vizsgálják, hogy a cellába esett-e hiba, vagy sem. A mi hegesztésünket 2 cm hosszú cellákra osztottuk. Könnyű belátni, hogy a vizsgálat négyfajta végeredménye közti kapcsolat, ha cellaszámban van kifejezve, akkor a következő lehet [4]:
 $PI + NH = N1$ A hibát tartalmazó összes cella száma,
 $PH + NI = N2$ A hibátlan cellák száma.

Az észlelés valószínűségét (POD), vagy más megfogalmazásban a pozitív igaz valószínűségét számíthatjuk a következő módon:

$$p(PI) = POD = PI/(PI + NH) = PI/N1 \quad (3)$$

A (3) formula szerint az észlelés valószínűsége egyenlő a pozitív igaznak minősített cellák számának és az összes, hibát tartalmazó cellák számának arányával.

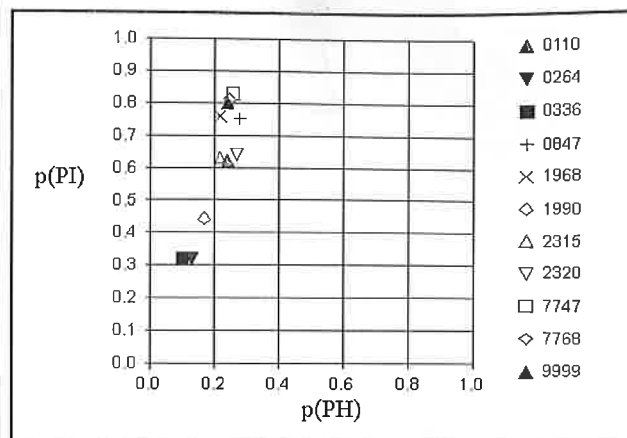
Ha a vizsgáló ott is hibát észlel, ahol az a valóságban nincs, akkor hamis riasztást végez. A hamis riasztás valószínűsége (PFA) ugyancsak jellemzője a roncsolásmentes vizsgálatnak, ezért ezt is számítani kell. Más megfogalmazásban ez a pozitív hamis valószínűsége. Számítása:

$$p(PH) = PFA = PH/(PH + NI) = PH/N2 \quad (4)$$

A (4) képlet szerint a hamis riasztás valószínűsége egyenlő a pozitív hamisnak minősített cellák számának és az összes, hibátlan cella számának arányával.

A 6. ábra mutatja be az észlelés valószínűségének diagramját, ahol a $p(PI)$ értékét a hamis riasztás valószínűségének függvényében ábrázoltuk. Az ábrán egy pont egy vizsgáló teljesítményét jelképezi. Áttekinthető módon nem lehetett mind a 24 fő eredményét ábrázolni, ezért csak 9, véletlenszerűen kiválasztott vizsgáló teljesítményét mutatjuk be. A teljesítmények ábrázolásának ez a módja pontos, mert tartalmazza a pontosságot és a hibamentességet is. Nehéz azonban azt meghatározni, hogy kinek jobb a teljesítménye. A legjobb teljesítményt ezen az ábrán a nulla hamis riasztás és az észlelés valószínűségének legnagyobb érté-

ke, azaz a diagram bal felső sarka mutatja. Az ettől a ponttól való távolság növekedésével arányosan csökken a vizsgáló teljesítménye, és ha a pontja a 45°-os egyenesre esik, akkor már csak találgatott.



6. ábra. Jellegzetes POD diagram

Megbízhatósági tapasztalatok

Jelenleg még nincs elegendő tapasztalat arra nézve, hogy egy vizsgálótól egy adott módszer esetén milyen teljesítmény várható el. Az elfogadási szintnek ezen az ábrán egy terület felelne meg. Az eddig felhalmozott tapasztalatok szerint a diagram a vizsgálók teljesítményének az összehasonlítására alkalmas, és segítségével meghatározható, hogy ki a jó és kinek kell gyakorlatokkal fejleszteni a megbízhatóságát.

Az elfogadási szintek meghatározására követendő példa lehet az ASME Code XI. kötetének VIII. függelékében meghatározott elvárások. Mivel ezek az elvárások függenek a vizsgálati módszertől, a feladattól, a munkakörülményektől, az adott iparág elvárásaitól, a gyártási folyamatok ellenőrzöttségétől és a tervezők méretezési módszereitől is, a korrekt meghatározásokhoz még sok tapasztalatot kell összegyűjteni.

A körvizsgálat megvalósításának feltételeihez is gyűjthetünk tapasztalatokat. Kiderült, hogy a vizsgálók egy része unalmasnak találta ugyanazt a munkadarabot többször átvizsgálni, feltételezve, hogy csak mesterséges térfogatos hibákat tartalmaz. Az unalmas, egy teljes napig tartó munka nem adott számunkra új tapasztalatot és hasznosítható tudást. Ugyanakkor az eredményért nem kell a szokásos mértékben felelősséget vállalni.

A próbatest kialakítása, hogy csak két különböző hosszúságú térfogatos hiányt tartalmazott, nem tette lehetővé a POD görbe felvételét. Ehhez különböző nagyságú hibák és hibátlan darabok is kellenek volna, valódi hiányokkal. Ilyen feladat nagyobb kihívást jelentene és tanulságos lenne a résztvevőknek is.

Köszönetnyilvánítás

A körvizsgálatot a Fraunhofer Institut für Werkstoffmechanik és a Bay Zoltán Intézet közötti, FD-127 számú együttműködés keretében szerveztük, amit Dr. S.G. Banel és Prof. Dr. Tóth László vezettek.

A mérési eredmények értékelését segítette a berlini Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) VIII. 33. a Roncsolásmentes vizsgálatok megbízhatósági laboratóriuma, Dr. rer. Nat. Christina Nockemann vezetésével.

A szerző köszönetét fejezi ki az említett laborok dolgozóinak önzetlen segítségért.

Irodalomjegyzék

- [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] R. Murgatroyd, S. Crutzen: Human Reliability in Inspection, Final report on Action 7 in the PISC III. Programme
- [3] Fücsök Ferenc: A roncsolásmentes anyagvizsgáló személyzet megbízhatóságának mérése, Anyagvizsgálók Lapja, 7. évf. 1-2. szám 1977.
- [4] W. McEwan, N. Belavendram, M. Abou-Alt: Practical Guide to Statistical Process Control in NDT, The British Journal of NDT Vol. 34 No. 4. April 1992. pp. 183-189.
- [5] C. Nockemann, G.-R. Tillack, H. Wessel, C. Hobbs, V. Konchina: Performance Demonstration in NDT by Statistical Methods: ROC and POD for Ultrasonic and Radiographic Testing. 6th ECNDT 1994. Nice, France. Proceedings pp. 37-44.
- [6] Boiler and Pressure Vessel Code Section XI. Appendix VIII. Performance Demonstration for Ultrasonic Examination Systems 1992. pp. 351-371.