

פיתוח והערכה של מערכת הבדיקה האולטראסונית לצינורות פוליאתילן

**DEVELOPMENT AND  
ASSESSMENT OF ULTRASONIC INSPECTION SYSTEM FOR  
POLYETHYLENE PIPES**

**Malcolm Spicer**

TWI Ltd

Granta Park, Great Abington, Cambridge

CB21 6AL, UK

Tel: +44 1223 899000

**Email: malcolm.spicer@twi.co.uk**

**תקציר:**

האגודה האמריקאית של מהנדסי המכונות (ASME) מפתחת תקנון (755-N) לשימוש תשתיות מערכת צינורות פוליאתילן (PE) בתחנות כוח גרעיניות. עם זאת, הוועדה לפיקוח גרעיני של ארצות הברית (NRC) לא אישרה את התקנון בשל מספר חששות; אחת מהן היא העדר שיטות בדיקה לא הרסניות (NDE) לבדיקות ריתוכים בצנרת PE.

במאמר מתואר תהליך פיתוחו של מערכת הבדיקה האולטראסונית והנהלים לבדיקת המחברים והריתוכים בצנרת פוליאתילן בקטרים חיצוניים שבין 125 מ"מ עד 1000 מ"מ.

המערכת כוללת תוכנה וחומרה שפותחו במיוחד לבדיקות ריתוכים בצנרת פוליאתילן.

המערכת נבדקה על ידי מספר ארגונים והתוצאות של הניסויים יוצגו בהמשך.

לצד פיתוח מערכת הבדיקה, בוצעה תכנית עבודה גדולה לפיתוח קריטריונים לפגמים קבילים בריתוכי צנרת PE.

נחקרו סוגי הפגמים שכללו זיהומים מחלקיקים זעירים, פגמים בפני שטח וריתוכים קרים. חומרת הפגמים לפי גודלם ורמות הזיהום, נקבעו על בסיס בדיקות רבות של ריתוכי צינורות PE בטווח הארוך והקצר.

**מבוא:**

צינורות פוליאתילן (PE) הינם בעלי יתרונות משמעותיים על פני חומרים אחרים כגון: ברזל, פלדה ובטון, להובלת נוזלים כמו גז טבעי ומים. הם לא מחלידים, בעלי חיי שירות ארוכים, זולים יותר בהתקנה בשל משקלם הקל וגמישותם, ושיעורי הדליפה נמוכים משמעותית בשל הריתוך בכול ההיקף.

עם זאת, השימוש בהם בסביבות בהן הבטיחות קריטית מאוד, כגון צנרת לקירור מים בתחנות כוח גרעיניות [1], מוגבלות בהיעדר שיטת NDE אמינה.

נערכו מספר מחקרים לפיתוח שיטות NDE לשני סוגי הריתוכים: ריתוך פנים (BF) [2-6] וריתוך אלקטרופיז'ן (EF) [7-9]. עם זאת, אלה הוגבלו לטווח צר במידות הצנרת ו/או לא כללו קריטריונים לפגמים קבילים. מאמר זה מתאר את ההתקדמות בפיתוח של מערכת בדיקה אולטראסאונד שהוצגה לראשונה בכנס PVP 2012 [10].

### **תהליך ריתוך הפנים:**

ריתוך פנים (BF), משמש עבור ריתוך צינורות פוליאתילן (PE) בדרך כלל בקטרים בין 2000-50 מ"מ. בשיטה זו משתמשים במשטח מתכת חם, הקרוי גם: גוף חימום וצלחת חימום, לחמם ולהמיס את קצות צינורות הפוליאתילן. לאחר שהקצוות נמסו מספיק מוציאים את הגוף חימום והצינורות מובאים יחד אחד מול השני תחת לחץ בכדי ליצור את הריתוך.

### **תהליך ריתוך האלקטרו-פיז'ן:**

בריתוך אלקטרו-פיז'ן (EF), דוחפים את קצות הצינורות לתוך מצמד (איור 2), המכיל בתוכו סליל חימום. הזרם עובר דרך הסליל, אשר מחמם וממיס את החלק הפנימי של המחבר ואת השכבה החיצונית של הצינור שהושחל לתוך המחבר ליצירת ריתוך.

### **פרויקט ה-TESTPEP:**

בפרויקט ה-TESTPEP במימון-אירופאי מעורבים בה כ-17 ארגונים משבע מדינות אירופאיות. זהו פרויקט בן שלוש שנים, שהחל בפברואר 2010, והערך הכולל של הפרויקט הוא כ-3.5 מיליון אירו. מטרתו היה לעצב, לייצור ולתת תוקף למערכת הבדיקה האולטראסונית שניתן לבדוק בה ריתוכי BF ו EF בצינורות PE בשטח קשה ובתפעול פשוט. הרעיון הוא מכשיר קופסה שחורה, שמחובר ישירות לסורק, עם חיבור אתרנט (Ethernet) פשוט להורדת הנתונים שנשמרו. במקביל, משמעותם של כמות וגודל הפגמים תקבע ביחס לדרישות העבודה, אשר יושג בבדיקות מכאניות ארוכות טווח של ריתוכים המכילים פגמים ידועים, והשוואתם לתוצאות עם ריתוכים ללא פגמים. הפרויקט חולק למספר תחומי עבודות טכניות לפי המפרט הבא:

- חומרים
  - שני החומרים PE100 ו PE80
- מידות צנרת
  - 180mm SDR 17
  - 225mm SDR 11
  - 355mm SDR11
  - 450mm SDR 17
  - 710mm SDR 17
- סוגי פגמים
  - זיהום חלקיקים זעירים (אבק)
  - זיהום חלקיקים גס (חול, חצץ)
  - פגמים בפני שטח הצינור (טביעות אצבע, שמנים וגריז, טיפות גשם)
  - ריתוכים קרים

- צינור שלא הושחל עד הסוף במחבר בריתוך EF
- מרחק עבודה מינימלי סביב המחבר
  - 200מ"מ

### ייצור מחברים לריתוך

מספר ריתוכים המכילים סימולציות של סוגי פגם המוגדרים במפרט, נעשו לחומרי פוליאיתילן, וגם כן סוגי מחברים וצינורות בגדלים שונים המוגדרים במפרט. מאחר שבשביל הערכת ה NDE והקריטריונים המקובלים, יש צורך לדעת את הגודל ו/או הכמות של כול פגם, מרבית הפגמים שנבחרו היו סימולציה של פגמים אמיתיים שעשויים להיתקל בהם בשטח:

- טלק מקרוני (גודל החלקיקים  $>45\mu\text{m}$ ) - כדי לדמות זיהום חלקיקים זעירים.
- סוגי חול סיליקה (גודל החלקיקים 150 -  $300\mu\text{m}$ ) - כדי לדמות זיהום חלקיקים גסים.
- דסקיות אלומיניום ( $25\mu\text{m}$  עובי, קוטר 1-50mm) - כדי לדמות פגמים בפני שטח.

השתמשו בדסקיות אלומיניום כיוון שהעבודה הקודמת הראתה כי עבור NDE אולטראסוני, הדסקיות היו סימולציה טובה לפגמים בפני השטח [2]. פותח תהליך להחדרת פגמים בפני השטח של הריתוכים שמאפשר שחזור הבדיקה [10]. לדוגמה, כדי להציג רמה אחידה של זיהום חלקיקים גסים שניתן לשחזור פותחה מיטת חול שיוצרת תרחיף בכדי שתהיה שכבה ברמה קבועה מראש של חול סיליקה על קצה הצינור לפני הריתוך (איור 4 ו 5).

### פיתוח השיטות של NDE:

שיטות הבדיקה האולטראסונית הלא הורסות של NDE פותחו לזיהוי פגמים בצינורות מחומרי PE ובגדלים שונים שמוגדרים במפרט, כולל תכנון וייצור הגששים והראשים שמותאמים למערך הבדיקה האולטראסונית. הוחלט על מאפייני חומרי ה-PE [10,11], כמו כן על השיטות להתגבר על מהירות הולכת נמוכה (velocity) והניחות (attenuative) שמאפיינים את החומרים. בנוסף לעבודה זו, מפותחת תוכנה לזיהוי פגמים באופן אוטומטי שתאפשר למערכת הבדיקה לקבוע את חומרת הפגם ולספק אינדיקציה בצורת עבר/לא עבר. עבור בדיקת ריתוכי ה-EF, האתגר היה להשיג כושר אבחנה טוב ומספק כדי לבדוק את אזור הריתוך מעבר לסלילי החימום. מכיוון שהנחתת האולטראסאונד עולה במהירות עם התדר בחומרי פוליאיתילן [10] הפתרון הכי טוב זה להתפשר; התדר חייב להיות נמוך מספיק כדי שגל הקול יעבור את המרחק הנדרש, אבל גבוה מספיק כדי להשיג את הרזולוציה המתאימה. זה דורש בחירת פרמטרים של גששי המערך בזהירות. הגישה הייתה להשתמש בסריקה ליניארית רגילה הממוקדת באזור המרוחק (איור 6), באמצעות טריז מים חדיש עם בד אטום השומר על המים בתוך הטריז ביעילות (איור 7).

תוך שימוש בטכניקה שכבר פותחה בפרויקט [10] נבדקו מגוון רחב של ריתוכי EF אשר הניבו תוצאות מעודדות.

באיורים 8, 9 ו-10 ניתן לראות סדרת תמונות של ריתוכי EF בצינור 180 מ"מ פוליאיתילן. איור 8 מראה חיבור טוב ללא פגמים ניכרים. איור 9 מראה מחבר עם דסקת אלומיניום בגודל 8 מ"מ ואיור 10 מראה מחבר עם דסקת אלומיניום בגודל 2 מ"מ כדי להוכיח כי חוסר ריתוך של 2 מ"מ ניתן לזיהוי בקלות. כמו כן הסימן מהקצה העליון של HAZ (אזור מושפע מחום) מוצג באיור 8 למרות שלא כל כך ברור באיורים 9 ו 10. תכונה זאת יכולה לשמש לזיהוי ריתוכים קרים [8, 10]. בנוסף לכך, ניתן לראות את האות מפני שטח הפנימיים בבירור. איורים 11 ו-12 מראים ריתוך טוב וריתוך קר בהתאמה בצינור 450 מ"מ בריתוך EF. ההבדל נמדד במרחק של סימן ה-HAZ מהחוסים כמו האיור

הנ"ל. כמו כן ניתן לראות באיור 12 כי ישנם מקומות שלא מחוברים וישנו העדר ריתוך בממשק. סיכום של מידות הצינורות שרוטכו ב-EF וסוגי הפגמים שנבדקו עד כה מוצגים בטבלה 1.

ריתוכי BF דורשים שימוש באולטרסאונד משופע ושילוב של 4 טכניקות שונות על מנת להשיג כיסוי מלא של אזור הריתוך: טנדם עצמי, הד-דופק סקטוריאלי, גל זחילה ו-TOFD (Self-tandem, Sector pulse-echo, creeping wave, time-of-flight diffraction TOFD) (איור 13). באמצעות שלוש מתוך ארבע הטכניקות שפותחו בפרויקט [10] ומוצגות בתרשים 13 נבדקו מגוון חיבורים של צינורות בריתוך BF והניבו תוצאות מעודדות. הטכניקה שעדיין לא אומצה היא טכניקת ה-TOFD.

טכניקת הטנדם העצמי (Self-tandem) משתמש בחצי ממרכיבי המערך לשידור ובחצי השני לקבלה. הטכניקה היא טובה לאיתור פגמים בפני שטח אך הכיסוי מוגבל לאזור הקרוב לפני שטח הפנימיים.

טכניקת הד-דופק סקטוריאלי (Sector pulse-echo) משתמשת בכול האלמנטים במערך כדי ליצור צמצם שאוסף את הקרן על פני טווח זוויות. השיטה נותנת מבט כולל על הריתוך ומכסה את רוב אזורי הריתוך למעט כמה מילימטרים הקרובים לפני שטח החיצוניים. טכניקת גל זחילה (Creeping wave) מכסה את האזור הקרוב לפני שטח החיצוניים של הריתוך, שזהו החלק של הריתוך שלא מכוסה בשתי הטכניקות הקודמות. התצורה של טכניקת הגל זחילה משתמש בסריקה בזווית גבוהה, היוצר גלי דחיסה המתפשטים מיד מתחת לשטח הבדיקה, בכדי לזהות פגמים בפני השטח. הטכניקה TOFD (time-of-flight diffraction), מכסה את כול אזור הריתוך ומשתמש בעקיפה קדימה כדי לזהות פגמים אנכיים.

התצורה שתשמש בפרויקט הזה היא טכניקת pitch-catch שמשתמשת בשתי סריקות ערוצים, כאשר שני הגששים משתמשים בצמצם גדול לשדר ולקבל קרנות המכסות את הריתוך כולו. שוב, השתמשו בטרזים עם פתחי מים. הזווית של הטרז היתה מותאמת כדי למזער את הניתובים האלקטרוניים על ידי האלמנטים של הגשש (איור 14). איור זה מציג שני גששים BF בתצורת TOFD. עבור שלוש הטכניקות האחרות רק גשש אחד נדרש.

השיטה שמראה את ההבטחה הגדולה ביותר בזמן בדיקת ריתוכי ה-BF היא בדיקת הד-הדופק הסקטוריאלי.

איורים 15, 16 ו-17 מראים סדרת תמונות של ריתוכי BF בצינור 355 מ"מ פוליאתילן. איור 15 מראה חיבור טוב ללא פגמים ניכרים. איור 16 מראה חיבור עם דיסקת אלומיניום 8 מ"מ. ואיור 17 מראה ריתוך עם דיסקת אלומיניום 4 מ"מ להדגים שחוסר ריתוך של 4 מ"מ ניתן לגילוי ללא קושי. הסריקה הסקטוריאליות הראתה גם כמה אזורים חשודים עם רמת רעש גבוהה. אלה הם סימנים פנימיים מגוף טריז המים והעבודה הבאה היא להסיר את האותות ההם. איור 18 מציג את סריקות B-scans ממוזגות של הד-דופק סקטוריאלי וסריקת טנדם עצמי בצינור 355 מ"מ המכילה דסקיות אלומיניום.

סיכום של ריתוכי BF, מידות הצינורות וסוגי פגמים שנבדקו נכון להיום מוצג בטבלה 2

תוכנת זיהוי הפגמים האוטומטית (ADR) שפותחה עבור בדיקות הריתוך של ה-EF עשתה התקדמות טובה. וקיימים שלושה שלבים עיקריים באלגוריתם:

- זיהוי האזורים המתאימים לחוטי החימום (איור 19)
- קביעת קו החוטים (איור 20)
- קביעת מפת הפגמים (איור 21)

### פיתוח הקריטריונים לאישור

הריתוכים אשר נבדקו בפרויקט נבדקים באופן מכני באמצעות בדיקות לטווח קצר וארוך.

התוצאות של בדיקות אלה ינותחו עבור כל אחד מסוגי הפגם השונים, ביחס לתוצאות של בדיקות ריתוכים שאינם מכילים פגמים.

רמות זיהום החלקיקים ייקבעו באמצעות טכניקות ניתוח פני שטח של אזור הריתוך. גרפים של גודל פגמים/רמת זיהום חלקיקים לעומת ביצועים מכאניים יתווספו על מנת לחשב את גודל/רמות קריטיות של הפגמים שיפגעו בשלמות הריתוך, עבור כול חומר, ומידות שונות של הצינורות [10].

הבדיקות המכניות אשר ישמשו להעריך את שלמות ריתוך המחברים הם:

- ריתוכי פנים (BF):
  - בדיקת מתיחה מותנית ל- EN 12814-7 [12]
  - בדיקת השחלה למחברים לפי EN 12814-3 [13]
  - מבחן מתיחה לצינור שלם עם חריץ [14]
- ריתוכי אלקטרו-פיוז'ן (EF):
  - מבחן בדיקה לפי EN 12814-4 [15]
  - בדיקת קילוף לפי ISO 13955 [16]
  - בדיקת השחלה למחברים לפי נספח C של EN 12814-3
  - בדיקת לחץ הידרוסטטית כמפורט ב BS EN 12201-3 [17]
  - מבחן מתיחה לצינור שלם עם חריץ

איור 22 מציג דוגמה של בדיקת מתיחה מריתוך BF ואיור 23 מציג את התוצאה אחרי מתיחת צינור PE 225 מ"מ; בריתוך שאין בו פגם אזור הריתוך נמתח עד לכשל הצינור (איור 23 א), ואילו בריתוך צינור עם זיהום גדול של טלק הכשל הוא פריך (איור 23 ב). איור 24 מציג דוגמאות קילוף מריתוך EF של צינור 225 מ"מ. איור 24 מראה את פני שטח המחבר שאינו מכיל פגמים וקריעת המשטח מעל סלילי החימום. איור 24 ב מציג משטח שעבר ריתוך קר, וממשק הריתוך מתקלף בשבר פריך.

### פיתוח מכשיר NDE

גלאי הפגמים האולטראסוני החדש שתוכנן עם היכולת לפעול בסביבה קשה (איור 25). פותח בפרויקט זה אב טיפוס של מערך בדיקה אולטראסונית לבדיקות לא הורסות עם מערכות קבלת נתונים וניתוחם ותכנון מקיף של האלקטרוניקה לשליטה בגלים האולטראסוניים ועיבוד הנתונים שמתקבלים במכשיר. בבוא העת יבצע היישום במכשיר אלגוריתמים של ADR.

המכשיר שמוצג באיור 25, כולל את התכונות הבאות:

- חומרה UT משולבת עם לוח PC
- גישה מרחוק לתוכנה (Wi-Fi או Ethernet)
- ערוצי 64X64 PA
- 4 ערוצים קונבנציונליים
- מארז קומפקטי עם הגנה IP67 נגד מים
- זכרון SSD לאחסון נתונים (100GB)
- 2 סוללות נשלפות המאפשרות הפעלה רציפה עד 4 שעות.
- משקל : 5 ק"ג
- מידות: 100 x 240 x 320 מ"מ

### פיתוח מערכת הסריקה:

תוכננה ויוצרה מערכת סריקה גמישה שמאפשרת סיבוב מלא של 360° סביב שני סוגי הריתוכים BF ו EF בצינורות במידות 90 מ"מ עד 1000 מ"מ (איור 26). המערכת כוללת משטח שמוחזק במקום

מסביב לצינור על ידי מנגנון התאמה ומספר חוליות. המשטח מכיל מקודד וגם תמיכה לגששים המחברים בשביל ריתוכי EF I BF.

### הרכבה ובדיקה של מערכת אב טיפוס מלא

מערכת NDE מלאה, כוללת מכשיר, גששים ומערכת סריקה שנאספו ונבחנו במספר ניסויים בכדי להעריך את הרגישות וקלות השימוש. ניסוי אחד בוצע על מספר ריתוכי EF אשר נחתכו מהצינורות והמערכת לא הייתה שמישה. למרות זאת, בתפעול ידני של הגשש (איור 27), נבדקו המחברים בהצלחה והתוצאות היו אופייניות, הציגו חלל מסביב לאחד החוטים, שמוצג באיור 28. בניסוי אחר, מבחר קטן של מחברים המיועדים לתעשיית ייצור החשמל הבריטי נבדקו על ידי מערכת זו במקביל למערכת PAUT שפותחה על ידי התעשייה. רק סימן אחד קטן זוהה במחבר אחד, בשתי המערכות (איור 29). מחבר זה עדיין נמצאת במעקב מתמשך בכדי לקבוע מה גורם האינדיקציה בעתיד. ניסויי שדה נוספים מתוכננים בהתקנות תשתיות צנרת בוויילס ובאנגליה.

### העבודה שנותרה:

להלן תמצית המלאכה שנותרה בפרויקט.

- השלמת ייצור ריתוכי EF-I BF המכילים פגמים מלאכותיים.
- להשלים את הבדיקות של הריתוכים שמכילים את הפגמים המלאכותיים על מנת לקבוע את גבולות של מידות הצינורות שניתנים לגילוי.
- להשלים את הבדיקות המכאניות של הריתוכים המכילים פגמים מלאכותיים על מנת לקבוע את גודל הפגם ורמות זיהום הקריטיים לאיכות הצינור.
- ייצור מכשיר ה-NDE החדש.
- לסיים את הפיתוח של תוכנת זיהוי הפגמים שיקבע את חומרת הפגמים באופן אוטומטי.
- להמשיך בבחינת אב הטיפוס מערכת ה-NDE ולבצע ניסויים בשטח.

### הצהרות

המחקר שמוביל לתוצאות אלו קיבל מימון מתוכנית המסגרת השביעית של האיחוד האירופאי המנוהלת על ידי [PF7/2007-2013] REA-Research Executive Agency במסגרת הסכם המענק [243791-2].

הפרויקט מורכב מאיגוד של הפדרציה האירופית לריתוך (EWF), האגודה הספרדית לבדיקות לא הורסות (AEND), השמה בשטח וטכנולוגיות קשורות (SMART Group), גילדת תעשיות הצנרת, האיגוד האיטלקי לבדיקות ללא הרס (AIPnD), (M2M, Vermon, Plasflow, Isotest Engineering, British Energy, E.ON Ruhrgas, Hessel Ingenieurtechnik, Kaunas University of Technology, TWI-I Consorzio Catania Ricerche).

המידע במסמך זה מסופק כפי שהוא ולא ניתנת ערבות או אחריות כי המידע מתאים לכל מטרה מסוימת. המשתמש במידע על אחריותו בלבד.

### מקורות

1. ASME, 2008, *ASME Boiler and Pressure Vessel Code Case N-755*, American Society of Mechanical Engineers, New York.

2. Munns, I.J., and Georgiou, G.A., 1999, "Ultrasonic and radiographic NDT of butt fusion welded polyethylene pipes", *Insight*, 41(5), British Institute of Non-Destructive Testing, Northampton, UK.
3. Troughton, M.J., 2001, "Welding with integrated non-destructive examination of polyethylene pipes", *Plastics Pipes XI Conference*, Institute of Materials, London.
4. Messer, B., Yarmuch, M., and den Boer, P., 2003, "Novel high resolution defect detection for thermoplastic butt welds", *Pipeline and Gas Journal*, March, Oildom Publishing Company of Texas, Houston.
5. Crawford, S.L., Doctor, S.R., Cinson, A.D., Cumblidge, S.E., and Anderson, M.T., 2009, "Preliminary assessment of NDE methods on inspection of HDPE butt fusion piping joints for lack of fusion", PVP2009-77958, *ASME 2009 Pressure Vessels and Piping Conference*, ASME, New York.
6. Frederick, C., Porter, A., and Zimmerman, D., 2009, "High-density polyethylene piping butt-fusion joint examination using ultrasonic phased array", PVP2009-77783, *ASME 2009 Pressure Vessels and Piping Conference*, ASME, New York.
7. Shin, H.J., Jang, Y.H., Kwon, J.R., and Lee, E.J., 2004, "Nondestructive testing of fusion joints of polyethylene piping by real time ultrasonic imaging", *Plastics Pipes XII Conference*, Plastics Pipes Conferences Association.
8. Bird, C., Caravaca, D., and Raude, A., 2006, "The inspection of cold welds in electrofusion joints", *Plastics Pipes XIII Conference*, Plastics Pipes Conferences Association.
9. Caravaca, D.S., Bird, C., and Kleiner, D., 2007, "Ultrasonic phased array inspection of electrofusion joints in polyethylene pipes", *Insight*, 49(2), British Institute of Non-Destructive Testing, Northampton, UK.
10. Troughton, M., Spicer, M., and Hagglund, F., 2012, "Development of Ultrasonic Phased Array Inspection of Polyethylene Pipe Joints", PVP2012-78860, *ASME 2013 Pressure Vessels & Piping Conference*, ASME, Toronto.
11. Mazeika, L., Sliteris, R., and Vladisauskas, A., 2010, "Measurement of velocity and attenuation for ultrasonic longitudinal waves in the polyethylene samples", *Ultragarsas*, 65(4), Kaunas University of Technology, Kaunas, Lithuania.
12. BS EN 12814-7, 2002, "Testing of welded joints of thermoplastics semi-finished products – Part 7: Tensile test with a waisted test specimen", British Standards Institution, London, UK.
13. BS EN 12814-3, 2000, "Testing of welded joints of thermoplastic semi-finished products – Part 3: Tensile creep test", British Standards Institution, London, UK.
14. Brown, C.I., and Troughton, M.J., 2004, "Qualifying longterm performance of butt fusion welds in PE pipes from short-term tests", *Plastics Pipes XII Conference*, Plastics Pipes Conferences Association.

15. BS EN 12814-4, 2001, "Testing of welded joints of thermoplastic semi-finished products – Part 4: Peel test", British Standards Institution, London, UK.
16. ISO 13955, 1997, "Plastics pipe and fittings – Crushing decohesion test for polyethylene (PE) electrofusion assemblies, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
17. BS EN 12201-3, 2003, "Plastics piping systems for water supply – Polyethylene (PE) – Part 3: Fittings", British Standards Institution, London, UK.