

KONTAK SICAKLIK ÖLÇÜMLERİNDE KULLANILAN TERMOMETRELER ve ÖZELLİKLERİ

Hasan Serkan Aytekin, Ahmet Turan İnce

Yeditepe Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü
26 Ağustos Yerleşimi 34755 Kayışdağı İstanbul-TÜRKİYE
Tel: 0262 578 06 88 E-Mail: hsaytekin@yeditepe.edu.tr

ÖZET

Günümüzde, endüstride sıcaklık ölçümleri için çeşitli tipte kontak termometreler sıklıkla kullanılmaktadır. En yaygın kullanım alanı bulan termometreler, endüstriyel platin direnç termometreler (Pt -100 veya RTD), ısılıçift termometreler, termistörler ve sıvılı cam termometrelerdir. Bu termometreler sıcaklık ölçümünün yapılacağı yerin şartlarına, istenen sıcaklık aralığına ve ölçümün istenen belirsizlik değerine bağlı olarak seçilerek çok çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır. Yukarıda sözü geçen termometrelerin çalışma aralıkları -200°C ile 1800°C arasındadır. Bu makalede kontak termometrelerin özellikleri ve kullanımları hakkında bilgi verilecektir.

Anahtar sözcükler: ITS-90, kontak sıcaklık ölçümü, termometre

1. GİRİŞ

Sıcaklık ölçümleri çok eski zamanlardan beri belli bir kesinlik ve tekrarlanabilirlikle yapılmak istenmiştir. Bu nedenle termodinamik kanunları ortaya konmadan çok önce, pratik kullanım için termometreler geliştirilmeye başlanmıştır. Termodinamik kanunlarının ortaya konması ile pratikteki termometrelerin ölçtüğü sıcaklık ile gerçek yani termodinamik sıcaklığın bağdaştırılması gerekmiştir. Ayrıca ölçülen sıcaklık dünyanın her yerinde aynı olmalıdır. Böylece uluslararası sıcaklık ölçeği (ITS-90) kabul edilmiş ve uygulamalarda kullanılan termometreler ile elde edilen sıcaklık ile termodinamik sıcaklık arasındaki yakın ilişki oluşturulmuştur [1]. Termometreden okunan sıcaklık ile termodinamik sıcaklık arasındaki ilişkinin belli bir doğrulukla oluşturulması ise ancak ITS-90'a izlenebilir kalibrasyon (ölçümleme) ile mümkündür.

Endüstride sıcaklık ölçümlerinin büyük bir kısmı kontak termometreler ile gerçekleştirilmektedir. Kontak termometre ile yapılan ölçümlerde de karşımıza en çok endüstriyel platin direnç termometreler, ısılıçift termometreler, termistörler ve sıvılı cam termometreler çıkmaktadır.

2. KONTAK TERMOMETRELERİN ÖZELLİKLERİ

2.1. Endüstriyel Platin Direnç Termometreler

Sıcaklık ölçümlerinde kullanılan standart platin direnç termometreler (SPRT) çok hassas ve pahalı cihazlardır. Bu nedenle endüstride kullanılmak üzere daha dayanıklı ve ucuz olacak şekilde endüstriyel platin direnç termometreler kullanıma sunulmuştur. Ancak yine de ısılıçift termometrelerden daha kırılğındırlar. Bu termometreler RTD veya Pt-100 olarak da adlandırılır çünkü, genellikle 0°C' deki nominal değerleri 100 Ω'dur. Sıcaklık aralıkları -200°C ile 850°C, belirsizlikleri ise 10 mK ile 100 mK arasındadır. Bu termometreler çeşitli biçimlerde ve büyüklüklerde çok geniş bir kullanım alanı bulmuştur. Bu termometreler endüstrinin kullanımı amacıyla daha sağlam yapılmışlar ancak buna bağlı olarak direnç değerinin zaman kararlılık belirsizliği SPRT'lere oranla daha büyük bir değere sahip olmuştur. Kararlılık değerlerindeki bu artışın nedeni, termometrede kullanılan malzemelerin termal genişleme katsayılarının platinden farklı olmasına ve yüksek sıcaklıklarda çevredeki materyallerin platinin içine girmesine (diffusion) dayanır. Genleşme sonucu olan gerilmeler (strain) tavlama sonucunda giderilebilir ancak boyutsal değişimlere hiçbir çözüm üretilememektedir. Bunlara rağmen yine de tekrarlanabilirlikleri endüstride yaygın olarak kullanılan ısılıçiftlerden çok daha iyidir. 850°C'nin üstündeki sıcaklıklarda, platinin çevresindeki materyallerden aldığı kirlilik çok büyük olduğu için kullanımı önerilmemektedir [2].

Sensör tipleri göz önüne alındığında endüstriyel platin direnç termometreler iki kısma ayrılır. Birincisi, ince platin telden yapılır, çapı 0.01 mm veya daha küçüktür. İkincisi ise platin filminden yapılır. Birinci tip termometreler gözönüne alındığında, telin tamamen gömüldüğü termometreler daha sağlam olmasına rağmen, yumuşak alumina tozuna gömülen ince platin sarmal tele sahip termometreler daha karardır. Endüstriyel platin direnç termometreler ile ölçüm yapılırken Callendar Van-Dusen denklemleri kullanılır. Bu denklemler kullanılarak multimetre yada direnç köprüsünden okunan direnç değerleri sıcaklık değerlerine çevrilir. ASTM gibi standart prosedürlerde (izlek) Callendar Van-Dusen denklemindeki katsayılar için değer verilmiştir. Bu değerler saf platin için geçerlidir. Bu nedenle kullanılan her termometrenin ölçümleme sertifikasında verilen katsayılar farklı olacaktır. Ayrıca bu termometrelerin direnç değeri 0°C'de yaklaşık 100 ohm iken 600°C'de 315 ohm değerine kadar artar. Bu artış, ölçümlerde ve hesaplamalarda göz önüne alınmalıdır [3].

Endüstriyel platin direnç termometreler ile ölçüm yapılmadan önce suyun üçlü noktası veya buz noktasında direnç değeri ölçülür ve tavlama işlemi uygulanır. Tekrar suyun üçlü noktası veya buz noktasında direnç değeri ölçülür ve iki direnç değeri arasındaki farkın 10 mK'den az olması şartı aranır. Fark, bu değerden daha büyük ise ve tavlamaya devam edilerek ölçülen direnç değerleri kararlı hale getirilir ise bu termometreler için verilen belirsizlik değerleri genişletilebilir. Ayrıca, bu termometreler ile ölçüm yaparken sıcaklık değerlerinin yüksek sıcaklıktan düşük sıcaklığa doğru yapılmasına dikkat edilmesi gerekir [4].

Direnç termometrelerin tolerans değerleri ise şu şekilde sınıflandırılır.

Tolerans Sınıfı	Tolerans (°C)	Sıcaklık Aralığı (°C)
A	$0.15 + 0.002 * t $	$-200 \leq t \leq 650$
B	$0.30 + 0.005 * t $	Üretici tarafından verilen sıcaklık aralığı

t: sıcaklık (°C)

2.2. Isılçift Termometreler

Platin direnç termometreler R ve S tipi ısılıçiftlere göre yaklaşık 40 kat daha hassas olmalarına rağmen sıcaklık ölçme aralığı ısılıçift termometrelere göre daha sınırlıdır. Bu nedenle birçok endüstriyel uygulamalarda ısılıçift sıcaklık termometreleri tercih edilmektedir. Bu termometrelerin uzun süreli kullanım dayanıklılığı, ucuz maliyetleri, sıcaklık aralığının geniş olması ve termometrelerin çıkışının voltmetre veya sayısal gösterge üzerinden alınması gibi kullanım kolaylıkları vardır. Çalışılan sıcaklığa bağlı olarak çeşitli tipte ısılıçiftler kullanılmaktadır. Endüstride en çok E, J, K, N ve T tipi temel metal ısılıçiftler kullanılır. 600°C ile 1450°C sıcaklık aralığında R ve S tip, 1700°C'ye kadar da B tip ısılıçift termometreler kullanılabilir. Belirsizlik değerleri 1100°C'ye kadar 0.2°C, 1450°C'ye kadar 1°C, daha yüksek sıcaklıklarda ise 2°C'dir. Bu belirsizlik değerleri ısılıçift termometrelerinin ölçümlerinde kullanılan metot ve cihazların belirsizliklerine bağlı olarak değişmektedir. Isılçift termometreler arasında 1000°C'ye kadar en kararlı olan Au/Pt termometredir. Kararlılığı en kötü olan ise Pt/Pd termometredir.

Isılçift termometreler farklı iki metal telin birleştirilmesiyle oluşur. Telin bir ucunun ısıtılmasıyla oluşan sıcaklık farkı nedeniyle tellerden bir akım geçecektir. Termoelektrik akım kendini elektriksel potansiyel farkı (elektro motor kuvvet-emk) olarak gösterir. Bu etki Seebeck etkisi olarak adlandırılır. Emk, değişik metallere yapılan ısılıçiftler için değişik değerlere sahiptir. Isılçift termometrelerin birleştirilmesiyle oluşturulan kaynak noktaları "ölçme noktası" ve "referans noktası" olarak adlandırılır. Referans noktanın 0°C'de izotermal bir ortamda olması buz noktası ile sağlanır.

Isılçift termometrelerini kullanırken bazı çalışma prensiplerinin iyi anlaşılması, ısılıçiftlerin yanlış kullanımını da engelleyecektir. Bunlardan en önemlisi, yüksek sıcaklıklarda kullanılan bir ısılıçifti düşük sıcaklıklarda kullanmamaktır. Ayrıca, kaynak noktasının gerilim yaratmayacağı ve gerilimin tüm ısılıçift teli boyunca üretildiği de bilinmelidir. Her ısılıçift tipi için sıcaklık değerlerine karşılık gelen emk değerleri hesaplanmıştır [5]. Ancak bu değerler referans noktası 0°C ise geçerlidir. Bu nedenle ısılıçift termometrelerin referans noktası, 0°C'ye yerleştirilmelidir. Isılçift termometrelerinin ölçümleme esnasında tekrarlanabilirliklerinin kontrol edilmesi ayrıca önem taşımaktadır. Ölçümlemesi tamamlanan ısılıçift termometreleri daha önce ölçülen sıcaklık değerlerine yakın bir değerde son bir kez daha ölçüm alınıp, ısılıçift termometreleri için kararlılık testi yapılır.

Isılçiftler kirlilik yaratan alkol, tiner gibi organik maddelerle temizlememelidir. Isılçift termometreler ile ölçüm yapılırken seramik tüp içine yerleştirilme derinlikleri ölçülerek, ısılçiftlerin fırın içinde daldırma derinlikleri hesaplanmalıdır. Ayrıca ölçümlere düşük sıcaklık değerlerinden başlanmalıdır. Isılçift türleri ve özellikleri aşağıdaki tabloda verilmiştir [6].

TABLO 1. Isılçift Termometre Tipleri ve Özellikleri

Isılçift Tipi	Malzeme	Negatif Elemanı	Pozitif Elemanı	Sıcaklık Aralığı	Özel Toleransları
S	Platin / Platin - % 10 Rodyum	Platin	Platin / % 10 Rodyum	0°C / 1600°C	± 0.6°C veya ± % 0.1
Temiz ve oksijenli ortamlarda güvenilirdir. Doğrudan metal koruma tüplerine sokulmamalıdır. Yüksek sıcaklıklardaki kararlılığı öncelikle kullanılan yalıtım ve koruma tüplerinin kalitesine bağlıdır. Koruma, yalıtım ve mekanik destek için en uygun madde yüksek saflıktaki alüminadır. Isılçift tellerinin ikisi de safsızlıklara karşı duyarlıdır.					
R	Platin / Platin - % 13 Rodyum	Platin	Platin / % 13 Rodyum	0°C / 1600°C	± 0.6°C veya ± % 0.1
Yukarda S tipi için belirtilen tüm uyarılar ve kısıtlamalar geçerlidir. R tipi ısılçiftler S tipine oranla % 12 daha fazla Seebeck katsayısına sahiptir.					
B	Platin - % 30 Rodyum / Platin - % 6 Rodyum	Platin / % 6 Rodyum	Platin / % 30 Rodyum	600°C / 1700°C	± % 0.5 (ticari) ± % 0.25 (özel)
R ve S tipine oranla daha yüksek sıcaklıklara kullanılabilir, daha kararlı ve mekanik sağlamlığı daha fazladır. Yüksek sıcaklıklarda metal koruma tüpleri kullanılmamalıdır. Yüksek saflıktaki alumina uygundur.					
E	Nikel-Krom / Bakır-Nikel	Nikel-Krom (Kromel)	Bakır-Nikel (Konstantan)	-200°C / 900°C	± % 0.5 / ± 1.7°C (0°C / 900°C) ± % 1 / ± 1.7°C (-200°C / 0°C)
Sıvı hidrojen (120.3 K) hatta sıvı helyum (4 K) sıcaklıklarında kullanılabilir. Isılçift tellerinin ikisi de homojen, nemli ortamlarda korozyona dirençli ve termal iletkenlikleri düşük olması nedeniyle düşük sıcaklık ölçümlerinde kullanılırlar. 0°C üstünde en yüksek Seebeck katsayısına sahiptir.					
J	Demir / Bakır-Nikel	Bakır-Nikel	Demir	0°C / 700°C	± % 0.75 veya ± 2.2°C
En yaygın kullanıma sahip ısılçiftlerden biridir çünkü görece yüksek Seebeck katsayısı vardır ve ucuzdur. Hassas ölçümler için uygun değildir. Çünkü değişik imalatçılardan gelen J tipi ısılçiftlerin termoelektrik çıktılarında doğrusal olmayan önemli sapmalar gösterir. Negatif elemanı (JN) konstantan T veya E tipinin negatif termoelementi ile değiştirilemez. Değişik imalatçılar tarafından üretilmiş olan JP ve JN elemanları da değiştirilemez. J tipi 0°C / 760°C arasında oksijenli, asal gaz veya vakum ortamında kullanılabilir. Nemli ortamda demir paslandığı için kırılabilir, bu yüzden 0°C'nin altında ve 760°C'nin üstünde kullanılmazlar. Doğrulukları, 900°C'nin üstüne çıktığında geri dönüşümü olmadan bozulur.					
K	Nikel-Krom \ Nikel-Alüminyum	Nikel-Alüminyum (Alumel)	Nikel-Krom (Kromel)	-40°C / 1200°C	± % 0.75 / ± 2.2°C (0°C / 1350°C) ± % 2 / ± 2.2°C (-200°C / 0°C)
Sıvı helyum sıcaklıklarına kadar kullanılabilir ancak Seebeck katsayısı 20 K altında çok düşer. Her iki termoelementi de düşük sıcaklıklarda düşük termal iletkenliğe ve korozyona karşı iyi dirence sahiptirler ama KN'nin homojenliği EN'ninki kadar iyi değildir. Hava ortamında 750 °C üstünde kullanıldığında oksidasyona uğrar buna rağmen kısa zaman için 1350 °C'ye çıkabilir ve ucuzdur. Özel toleranslar yukardaki değerlerin yarısı kadardır.					
N	Nikel-Krom-Silikon \ Nikel-Silikon-Magnezyum	Nikel-Silikon-Magnezyum (Nisil)	Nikel-Krom-Silikon (Nikrosil)	-40°C / 1200°C	± % 0.75 veya ± 2.2°C (0°C / 1200°C)
E, J ve K tiplerinden daha yüksek termoelektrik kararlılığa ve yüksek oksidasyon dayanıklılığına sahiptir. Sıvı helyum sıcaklıklarına kadar kullanılabilir. Oksijenli ve asal atmosferler en uygun kullanım ortamıdır. Yüksek sıcaklık için en iyi temel metal ısılçifttir. 870 °C ile 1180 °C arasında aynı koşullar altında K tipinden termoelektriksel olarak daha karardır. Özel toleranslar yukardaki değerlerin yarısı kadardır [7].					
T	Bakır \ Bakır-Nikel	Bakır-Nikel	Bakır	-200°C / 350°C	± % 0.75 / ± 1°C (0°C / 350°C) ± % 0.75 / ± 1.5°C (-200°C / 0°C)
En eski ve en popüler tiplerden biridir. Sıvı helyum sıcaklıklarına kadar kullanılabilirler. -200°C / 350°C arasında oksijenli, vakum ve asal atmosferlerde kullanılabilir.					

Bununla birlikte ölçümlerde kullanılan voltmetrenin özelliklerine de dikkat edilmelidir. İstenen çözünürlük değeri-ne karşılık gelen gerilim değerleri hesaplanarak uygun bir voltmetre seçilmelidir. Buna ek olarak voltmetrenin, ölçüm alınırken çok sıcak veya çok soğuk ortamlarda ya da sürekli sıcaklık değişimi olan ortamlarda olmamasına dikkat edil-melidir. Bunun nedeni ısılıft ölçüm uçlarının bu ortamlardan etkilenmesidir. Ayrıca, bakır uzatma telleri ile daha az ter-moelektrik etki yaratan pirinç giriş uçları tercih edilmelidir.

Genel olarak literatürde, ısılıft termometre ölçüm değerleri buz noktası sıcaklığı ile alüminyum donma sıcaklığı ara-lığında 8. derece polinomla ve alüminyum donma sıcaklığı ve üzerindeki sıcaklıklarda 6. derece polinom kullanı-larak interpolasyonu yapılmakta ve ara sıcaklık değerlerine karşılık gelen voltaj değerleri bu şekilde hesaplanmaktadır [8].

2.3. Termistörler

Termistörler, çeşitli metal oksitlerden yapılmış -200°C ile 300°C sıcaklık aralığında sıkça kullanılan yarı iletken se-ramik dirençlerdir. Diğer direnç termometrelerden üstünlüğü yüksek duyarlılığı olmalarıdır. Ayrıca küçük olmaları ve sı-caklığa karşı direnç değişim hızının yüksek olması en büyük avantajlarından. Termistörler diğer sıcaklık sensörleri ile karşılaştırıldığında en iyi duyarlılığa sahiptir. Bu nedenle daha çok kontrol sistemlerinde kullanılırlar [9].

Termistörler PTC (positive temperature coefficient) ve NTC (negative temperature coefficient) olarak iki kategori-ye ayrılır. Sıcaklık ölçümlerinde kullanım bakımından en uygun termistör NTC'dir.

250°C 'nin altındaki sıcaklıklar için en kararlı termistörler, mangan ve nikel/mangan ile nikel ve kobalt oksitlerin-den yapılanlardır. Bu materyallerin direnç değerleri negatif sıcaklık katsayısına sahiptir. Termistörlerin öne çıkan en önemli özellikleri çeşitli şekil ve büyüklüklerde kolayca üretilebilir olmalarıdır. Böylece özel bir ölçüm için istenilen şe-kil ve büyüklükte bir sıcaklık ölçer kolayca elde edilebilir.

Termistörlerin karakteristik şekilleri boncuk ve disklerdir. Disk şeklindeki termistörlerin, boncuk termistörlerden da-ha kötü kararlılığa sahip olmaları sadece üretim teknolojilerinden kaynaklanmaktadır. 0.07 mm çaplı boncuk tip termis-törler kolayca bulunabilmektedir. 300°C ve üzerindeki sıcaklıklar ile 20 K gibi düşük sıcaklıklarda kullanılan termistör-ler de mevcuttur.

2.4. Sıvılı Cam Termometreler

Sıvılı cam termometreler -200°C ile 600°C sıcaklık aralığında çok eski zamanlardan beri kullanılmaktadır. Bu ter-mometreler, kırılma olmasına, belirsizlik değerlerinin SPRT'ler ile karşılaştırıldığında kötü olmasına ve ölçümlerde otomasyonu sağlayamamasına rağmen popülerliğini sürdürmektedir. Ölçümlerde başka cihaz gerektirmiyor olması, ta-şıma kolaylığı, fiyatının ucuzluğu ve kullanım kolaylığı nedeniyle de birçok kullanıcı tarafından 0.5°C ve yukarısı belirsiz-lik için tercih edilmektedir.

Sıvılı cam termometrenin çalışma prensibi cam içerisinde bulunan sıvının sıcaklık ile genişmesine dayanır. Haz-ne içindeki sıvı sıcaklığı arttıkça sıvı genişip kılcal kolon üzerinde ölçülebilir bir yükseklik oluşturur. Burada genişme ile sıvının termal enerjisi mekanik enerjiye dönüştürülür.

Sıvılı cam termometreler ile iyi bir performans elde edilmek isteniyorsa çalışma aralığının -38°C ile 250°C arasın-da olmasına ve kontrol noktası olarak buz noktası değerinin bulunmasına dikkat edilmelidir. Ayrıca satın alınırken kılcal boruda ve ölçekte bozukluk olmamasına, sıvı içinde yabancı madde olmamasına, ölçeklendirmenin düzgün ve doğru ol-masına ve daldırma derinliğini belirten bir yazının olmasına dikkat edilmelidir. Ölçümler yapılırken düşük sıcaklıktan başlanmalıdır. Termometre içindeki sıvı hizası ile aynı hizadan okuma yapılmalıdır [10].

Sıvı cam termometrelerde genellikle civa veya organik sıvılar kullanılır. Ölçüm alınırken sıvıda kopukluk ol-mamasına dikkat edilmelidir. Kopukluk varsa uygun izlekler ile sıvı bir araya getirilir.

TABLO 2. Bazı Termometrik Sıvıların Genleşme Katsayıları

Termometrik Sıvılar	Genleşme Katsayısı
Cıva, Cıva-Talyum	0.00016 K ⁻¹
Galyum	0.00010 K ⁻¹
Etanol, Toluol, Pentan	0.001 K ⁻¹

İşaretleme gövde üzerine kazıma yöntemi veya baskı yöntemi ile yapılır. İşaretleme ölçeğin yanısıra daldırma bilgilerini de verir.

Genleşme çemberi termometrenin üst kısmında bulunur. Bu çember termometrenin güvenliği için yapılmaktadır. Termometre üst sıcaklık değerine yakın bir noktada kullanıldığında oluşan gaz basıncı, genleşme çemberi sayesinde azaltılır. Büzülme çemberi ise ana ölçeğin altına veya ana ölçek ile yardımcı ölçek arasına yerleştirilmiştir.

Termometre üzerinde ana ölçek ve bazen küçük yardımcı ölçekler bulunur. Büzülme çemberi kullanıldığında, buz noktası değerini ölçmek için yardımcı ölçek kullanılır.

Sıvılı cam termometrelerinin daldırma derinliklerine göre üç çeşidi vardır:

1. Kısmi daldırılmalı sıvılı cam termometreler
2. Tam - Kısmi daldırma
3. Tam daldırma

3. SONUÇ

Sıcaklık ölçümü endüstride, bilim ve teknoloji uygulamalarında ve günlük hayatta çok önemli rol oynamaktadır. Bu ölçümler ile üretilen bir ürünün kalitesi belirlenerek doğrudan ülke ekonomisine katkı sağlar. Ayrıca çok çeşitli uygulamalarda ortam sıcaklık kontrolü verimli bir işleyiş için gereklidir. Günlük yaşantımızda hava durumunu ve sıcaklığı öğrenmek rutin bir alışkanlık olmuştur. Bunlara ek olarak, birçok bilimsel ve teknolojik araştırma ve geliştirme yapılırken sıcaklık mutlaka ölçülmektedir.

Sıcaklık ölçümleri yapılırken, ölçülecek ortam veya malzeme ile termometre arasındaki uyumsuzluklardan veya her ikisinden kaynaklı hatalardan dolayı ölçümün belirsizliği istenen değerden daha fazla olabilir. Bunu engellemek için ne tip bir termometrenin kullanılacağı ve bu termometrenin dayandığı ölçüm prensibinin çok iyi anlaşılması gerekir.

Bu makalede endüstriyel uygulamalarda veya ikincil seviye laboratuvarlarda sıklıkla karşımıza çıkan dört temel termometre hakkında genel bilgi verilmiştir.

4. REFERANSLAR

- [1] H.Preston-Thomas "The International Temperature Scale of 1990 (ITS-90)" Metrologia 27, 1990, s. 3-10
- [2] T.J. Quinn, Temperature, 1983, s.233
- [3] N.M.Bass, J.J. Connolly "The Performance of Industrial Platinum Resistance Thermometers" Aust. J. Instrumentation and Control, cilt 36, 1980, s.88-90
- [4] J.J. Connolly "The Calibration Characteristics of Industrial Platinum Resistance Thermometers" Temperature, Its Measurement and Control in Science and Industry, cilt 5 , 1982, s. 815-817
- [5] "Temperature-EMF Reference Functions for the Letter-designated Thermocouple Types based on the ITS-90", National Institute of Standards and Technology Monograph 175, 1993.
- [6] L.A. Guildner, G.W. Burns "Accurate Thermocouple Thermometry" High Temperatures-High Pressures, cilt 11, 1979, s.173-192
- [7] N.A.Burley "Nicrosil and Nisil: Highly Stable Nickel-Base Alloys for Thermocouples" Temperature, Its Measurement and Control in Science and Industry, cilt 4 , 1972, s.1677-1695
- [8] G.W. Burns, D. C. Ripple, M. Battuello "Platinum versus palladium thermocouples: an emf-temperature reference function for the range 0°C to 1500°C" Metrologia, cilt 35, 1998, s.761-780
- [9] T.J. Edwards "Observations on the Stability of Thermistors" J. Sci. Instr., cilt 54, 1983, s.613-617
- [10] "Techniques of Temperature Measurement" NPL, 1996