

# GÜÇ SİSTEMLERİ GÜVENİLİRLİĞİNİN MALİYET DEĞERLENDİRMESİ

Zoltem REGULY

## 1. GİRİŞ

Güç sistemlerinde güvenilirlik nesapiamalarına ilişkin çeşitli yöntemler ilgili teknik yazın içinde yayınlanmıştır. Bunlar, tüketicinin arızalar nedeniyle devre dışı olma olasılığının belirlenmesi için uygun yöntemlerdir.

Bu noktada sorun, devre dışı olmalardan doğan maliyet etkilerinin nasıl öngörüleceğidir. Bildirinin amacı, bazı yeni görüşlerle zenginleştirilen bu öngörüm (tahmin) yöntemlerinin gözden geçirilmesidir.

Sözü edilen yöntemlerin güvenilirlik kuramı temellerini özetlemek yararlı olacaktır.

## 2. GÜVENİLİRLİK KURAMI

Bir şebeke düğümü ya da elemanı "a" nın güvenilirliği, "a" düğümünün kullanılabilir (A) olduğu durumların gerçekleşme olasılığını veren

$$P(A) = R_A$$

sayısıyla anlatılır.

Bir şebeke düğümü ya da elemanı "a"nın güvenilmezliği, bazı arızalardan ( $\bar{A}$ ) dolayı "a" nın servis dışı kaldığı durumların gerçekleşme olasılığını belirleyen

$$P(\bar{A}) = Q_A$$

sayısıyla anlatılır.

İlgili yazında bu sayıların hesaplanmasına ilişkin çeşitli yöntemler verilmiştir. Aşağıda yalnız bu bildiride kullanılan yöntemler özetlenmiştir.

Q'nun devre dışı kalma sıklık ve süresine bağlı olarak hesaplanması :

$$Q_{AT_j} = P[S(T > T_j)] \quad (1)$$

Burada

$\hat{A} (T > T_j)$  : "a"nın  $T_j$ 'den daha uzun bir süre kullanılma durumu.

$Q$ 'nun devre dışı kalma süresine bağlı olarak hesaplanması

$$Q_A = P(\hat{A}) \quad (2)$$

Öngörülen değer,

$$Q_A = \frac{r \cdot k_i}{T_V} \quad (3)$$

olur. Burada

$t_{kj}$  : i'inci devre dışı kalma süresi

$T_V$  : toplam servis süresi

Beklenen değerler :

Devre dışı kalma süresinin beklenen değeri,

$$M(t_o) = r \quad (\text{saat}) \quad (4)$$

Kullanılabilme durumunun (süresinin) beklenen değeri,

$$M(t_s) = m \quad (\text{saat}) \quad (5)$$

Bir çevrimin beklenen değeri,

$$T = m + r \quad (\text{saat}) \quad (6)$$

### 3. DEVRE DIŞI KALMALARDAN DOĞAN KAYIP VE ZARARLAR

Aynı şebekeden beslenmekle birlikte farklı tüketiciler, arızalardan dolayı devre dışı olmanın süre ve sıklığına farklı duyarlılıklar gösterirler. Örneklesek,

Endüstri : Zarar ve kayıplar genellikle devre dışı olmanın süre ve sıklığına bağlıdır. Bu ilişki, sürekli ya da kesiklidir. Bu, sürenin bir uç-değeri aşması durumunda zararın ortaya çıkacağı anlamına gelir.

Ticaret : Zarar, aynı biçimde, süreye bağlıdır. Örnek : Buzdolapları, ulaşımda gecikmeler.

Trafik : Devre dışı kalmalar önemli zararlara neden olabilir. Fakat zararın maliyeti ve arıza süre ya da sıklığı arasında kesin bir ilişki bulmak çok zordur.

Sokak Aydınlatması : Sorun, trafik ile ilişkin soruna benzer.

Konutlar : Önemli ölçüde zarar ve kayıp oluşur. Fakat devre dışı kalmalar ve maliyet etkileri arasında kesin bir ilişki bulmak zordur.

Tiyatro, Hastane, Sinema vb. : Sorun, trafik ve sokak aydınlatması ile ilişkin sorunlara benzer.

Sonuç olarak kimi tüketiciler için arızalardan kaynaklanan devre dışı olma süre ya da sıklığı ile ilgili maliyetler

arasında bir ilişki bulmak olanaklıdır. Fakat bu ilişkilerin tanımlanamayacağı (bulunamayacağı) tüketiciler büyük ölçüktedir.

Karmaşık bir sistem için devre dışı kalma karakteristikleri ve ilgili maliyetler arasında genel bir ilişki bulmaya çalışmak kanımızca pratik değildir. Diğer yandan, endüstri şebekeleri örneğinde olduğu gibi bu ilişkilerin var olduğu tüketiciler için bunların bulunması olanaklı hatta gereklidir. Bildirinin bundan sonraki bölümlerinin arıza maliyetlerinin hesaplanmasına yönelik yöntemlere ayrılmasının nedeni de budur.

### 4. GÜVENİLİRLİK, DEVRE DIŞI OLMA MALİYETLERİ, YATIRIM

Yüksek güvenilirlik düzeyi, yüksek yatırım maliyetlerini ( $C_j$ ) gerektirir. İlişki şöyledir :

$$C_j = f(R) \quad (7)$$

Güvenilirlik düzeyinin yükselmesiyle birlikte devre dışı kalma maliyetlerinin ( $C_o$ ) beklenen değeri azalır :

$$M(C_j) = g(R) \quad (8)$$

Bu iki etmen zıt yönlerde etkirler. Dolayısıyla bu iki maliyet toplamının belli bir zaman aralığında bir en-küçük (minimum) değeri olması gerekir :

$$\min_{j=1}^T [C_j + M(C_o)] \quad (9)$$

Yatırım ve devre dışı kalma maliyetleri toplamının en-küçük değeri, en-iyi (optimum) güvenilirlik düzeyini belirler.

### 5. DEVRE DIŞI KALMA MALİYETLERİ İÇİN ÖNGÖRÜM YÖNTEMLERİ

#### 5.1. Enerji Yöntemi

Bu yöntem, devre dışı kalmadan doğan maliyetlerin ( $C$ ) sağlanamayan enerjinin beklenen değeri ( $M(E)$ ) ile doğru orantılı olduğunu varsayar :

$$C = a \cdot M(E) \quad (10)$$

Burada

$a$  : sağlanamayan enerjinin özgül maliyeti (Ft/kWh)

Bu özgül değer, tüketiciyi karakterize eder.  $M(E)$ 'nin değeri, Denklem 4'de verilen devre dışı kalma süresine ( $r$ ) ve bu andaki yükün beklenen değerine bağlıdır. Öngörülen değerler,  $E$  ve  $S$ 'dir :

$$S = \frac{1}{ixi} \int_0^N / S(t) dt \quad (11)$$

R ura da

$S(t)$  : zamana bağılı yük işlevi (kW)

$N$  : gözönüne alınan süre (saat).

Bir yılda devre dışı olmaların öngörülen sayısı,

$$\bar{n} = \frac{8760}{T} \text{ dir.}$$

Burada

$T$  : bir çevrimin saat cinsinden beklenen değeri.

Dolayısıyla sağlanamayan enerjinin öngörülen değeri,

$$E = \bar{n} F?$$

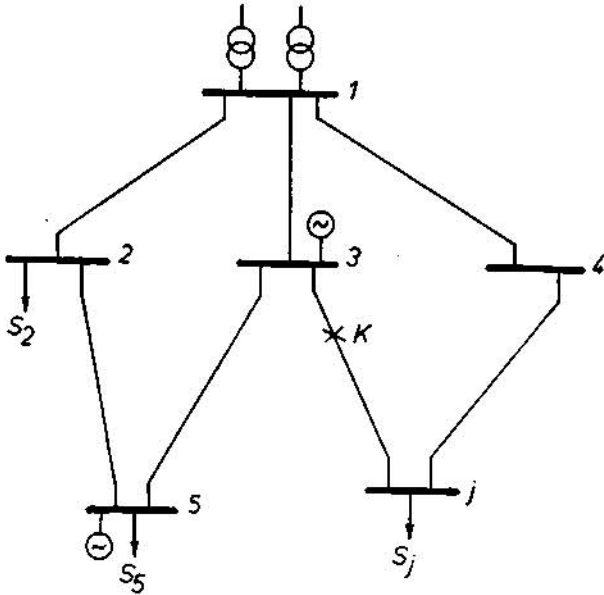
ve  $j$  yılına ilişkin maliyetin öngörülen değeri,

$$C_j = a \bar{n} \bar{r} \bar{s} \quad (\text{Ft/yıl}) \quad (12)$$

olur.

Radyal şebekelerde, tüketici için enerjinin sağlanması ya da sağlanamaması gibi sadece iki durum olduğundan bu hesaplama yeterlidir. Gözeli (ağ) şebekelerde, tüketicie enerjinin kısmi sağlanamama durumu nedeniyle hesaplama daha karmaşıktır. Bu yeni durumda yük kaybından doğan kısıtlamalar, sistemin düzenlenmesine, arızanın şebekedeki konumuna ve arızanın tepe yükte olup olmasına bağlıdır.

Örneğin, Şekil 1 de  $k$  hattında bir arıza ( $\bar{K}$ ) olduğunu düşünelim. Arızanın olasılığı  $P(K)$ 'dir. Bu şebekeden beslenen tüketicilerden herhangi birinin yük kısıtlaması ile karşılaşma durumunu araştıralım.



ŞEKİL 1 - Bir endüstriyel şebeke örneği

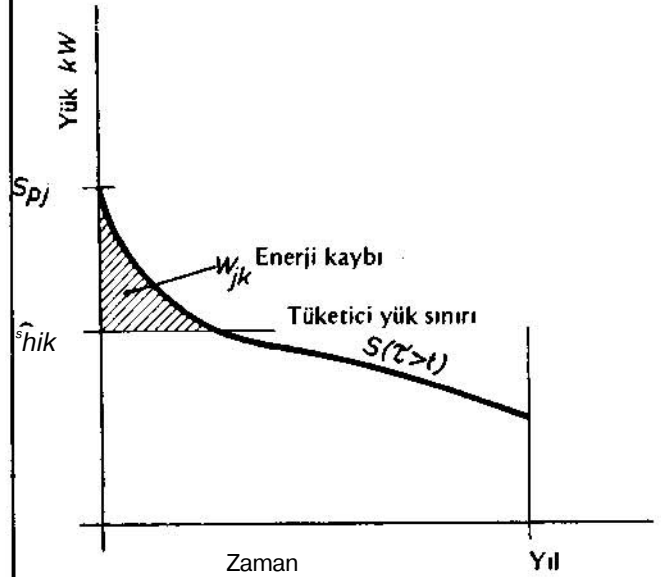
Öncelikle bir yük akışı hesabı aracılığıyla, hiçbir hattı aşırı yüklemeyen ve gerilimleri aşırı düşürmeden her tüketicinin yükünün üst sınırını bulmak gereklidir,  $j$  sayılı tüketicinin yük sınırı  $S_{pj}$  (kW) olsun. Eğer tepe yük ( $S_p$ ) tüketicinin yükünün üst sınırından büyükse,

$$S_p > S_{pj}$$

tepe yük anında yük kısıtlaması zorunludur. Kasıtlının değeri

$$S_{kj} = S_{pj} - S_{hj}$$

olacaktır. Tepe yük anı dışında kısıtlama daha azdır. Şekil 2'de verilen sistemin yük karakteristiği aracılığıyla  $S_{kj}$  gibi bir yük üst sınırı durumunda yük kısıtlamasının süresi belirlenebilir.



ŞEKİL 2 -  $k$  hattındaki arıza nedeniyle enerji kaybına uğrayan  $j$  sayılı tüketicinin yük karakteristiği (düzenlenmiş yük eğrisi)

$k$  hattının tüm yıl içinde devre dışı kaldığını varsayarsak arıza olasılığı  $P(K)$  olacaktır,  $j$  sayılı tüketicie sağlanamayan enerji ise  $\bar{W}_{kj}$ 'dir (Şekil 2).

Fakat  $P(\bar{K}) < 1$  olduğundan

$$\bar{W}_{kj} = \omega_{jk} \cdot P(\bar{K})$$

olur.

k'nın yanında daha başka hatlarında devre dışı olmaları, tüm tüketicilere yük kısıtlama zorunluluğunu getirebilir. Eş-zamanlı arızaları gözönüne almazsak, toplam enerji kaybının öngörülen değeri,

$$E = \sum_k P(\bar{K}) \cdot c_{o_{ik}}$$

olur. Burada

$P(\bar{K})$  : k hattının devre dışı olma olasılığı

$w_{jk}$  : k hattındaki arıza nedeniyle j sayılı tüketicinin enerji kaybı.

Son olarak, devre dışı kalmaların toplam maliyeti :

$$C_j = a \bar{E} \quad (Ft/y.l) \quad (13)$$

## 5.2. Yük Yöntemi

Bu yöntem, devre dışı kalmalardan doğan maliyetin (C) karşılanamayan yükün beklenen değeri (M(S)) ile doğru orantılı olduğunu varsayar :

$$C = 7 \cdot M(S) \quad (Ft/y.l) \quad (14)$$

Burada

y : sağlanamayan gücün özgül maliyeti (Ft/kW) .

Bu özgül değer, tüketiciyi karakterize eder. Denklem 11 de M(S)'in öngörülen değeri S olarak verilmiştir. Bir yıl-da devre dışı kalmaların toplam sayısı n'dir.

Dolayısıyla yük kaybı maliyeti,

$$C = r \cdot \bar{S} \cdot \bar{n} \quad (Ft/y.l) \quad (15)$$

olur. Gözeli (ağ) şebekelerde sorun, enerji yönteminde olduğu gibi daha karmaşıktır.

k sayılı hattın arıza olasılığı,

$$q_k = P(\bar{K})$$

olur. k hattı servis dışı iken j sayılı tüketicinin yük kısıtlaması ile karşılaşma olasılığı, tüketicinin yük üst sınırına ( $S_{nkj}$ ) bağlıdır.  $S_{nkj}$ , k hattı devre dışı iken j sayılı tüketiciyi sağlanabilecek en-çok (maksimum) gücü anlatır.

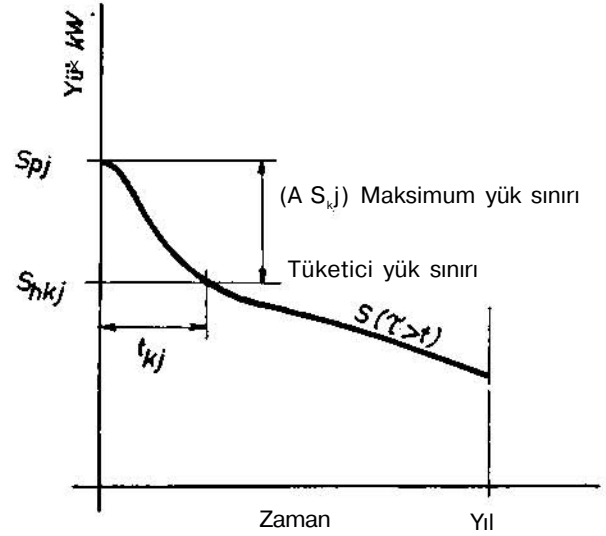
k hattı arızalı iken j sayılı tüketicinin yük kısıtlaması olayının koşullu olasılığı,

$$P[(S_j > S_{nkj}) | K]$$

olur. Burada

$S_j$  : j sayılı tüketicinin yükü.

Şekil 3 de verilen düzenlenmiş yük eğrisini gözönüne alalım, k sayılı hat arızalı olsun.  $t_{kj}$ , k hattındaki arızadan dolayı j sayılı tüketici noktasındaki yük kısıtlamasının süresini anlatır. Bu durumda sağlanabilecek en-çok güç  $S_{hkj}$  olur.



ŞEKİL 3 - k hattındaki arıza nedeniyle j sayılı tüketicide yük kısıtlaması

k hattının arızalı olduğunu varsayarak yük kısıtlamasının süresini ( $t_{kj}$ ) hesaplırsak :

$$P[(S_j > S_{nkj}) | K] = \frac{t_{kj}}{8760}$$

( $S_j > S_{nkj}$ ) olayının ve k hattında bir arızanın aynı anda gerçekleşme olasılığı,

$$P[(S_j > S_{nkj}) n_{Kj}] = \frac{t_{kj}}{8760} \cdot q_k$$

k hattındaki arızaların ortalama sayısı,

$$n_K = Q_k \cdot 365$$

k hattındaki arızalardan dolayı devre dışı kalmaların öngörülen sayısı,

$$m_k = n_K \cdot \frac{t_{kj}}{8760}$$

Yük kısıtlamasının en-çok değeri,

$$(\Delta S_{kj})_{\text{mak}} = S_{pj} - S_{hkj}$$

Burada

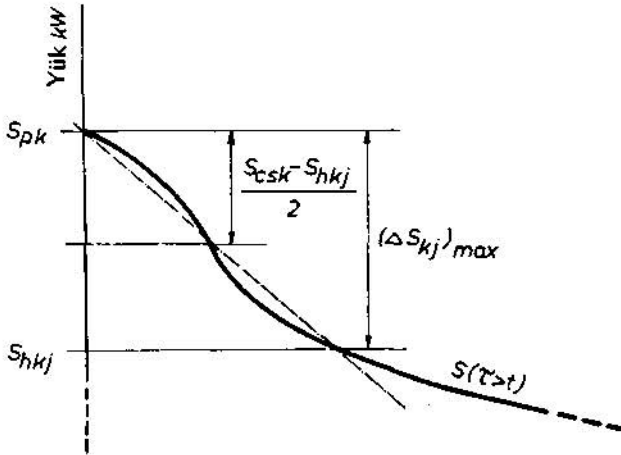
$S_{pj}$  : j sayılı tüketicinin tepe yükü (kW).

Yük kısıtlamasının ortalama değeri, düzenlenmiş yük eğrisinin biçimine (yük karakteristiğine) bağlıdır.

Yükün ( $S_{pj} - S^{\wedge}j$ ) mertebesinde doğrusal olduğunu varsayarsak (Şekil 4), yük kısıtlamasının ortalama değeri

$$\bar{\Delta S}_{kj} \approx \frac{S_{pk} - S_{hkj}}{2}$$

olur.



ŞEKİL 4 -  $S(T > t)$ 'nin bir doğru parçasına yaklaştırılması

Dolayısıyla k hattındaki arıza nedeniyle j sayılı tüketicinin yük kısıtlaması maliyeti,

$$C_{kj} = \gamma \cdot m_k \cdot \Delta \bar{S}_{kj}$$

ve tüm şebeke için toplam maliyet,

$$C_{-T} = \sum_k \sum_j m_k \cdot \Delta \bar{S}_{kj} \quad (\text{Ft/yıl}) \quad (16)$$

olur.

### 5.3. Süre - Sıklık Yöntemi

Bu yöntem, devre dışı kalma maliyetinin (C) süreye bağlı olarak kesikli biçimde (adımlar halinde) arttığını varsayar, örneğin, kimya endüstrisinde kısa süreli devre dışı olma, ürünün olağan rengini yitirmesine; daha uzunca bir kesinti, ürünün bozulmasına ve uzun süreli devre dışı kalma bir patlamaya neden olur. Devre dışı kalma maliyeti süreye bağlıdır :

Devre dışı kalma süresi  $T > T_1$  iken  $\beta_1$  Ft

Devre dışı kalma süresi  $T > T_2$  iken  $\beta_2$  Ft

.....  
.....

$\beta_1, \beta_2$  'den daha büyüktür.

$d$  ve  $\underline{I}$  vektörleri,

$$\underline{\beta} = \begin{matrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \vdots \\ \beta_n \end{matrix}, \quad \underline{I} = \begin{matrix} T_1 \\ T_2 \\ \vdots \\ T_n \end{matrix}$$

Denklem 1 de verilen ve  $T > T_g$  olan devre dışı kalmanın olasılığı,

$$Q_{AT} = P[\bar{A}(T > T_g)]$$

Vektör halinde yazarsak

$$\underline{Q}_{AT} = \begin{matrix} Q_{AT_1} \\ \vdots \\ Q_{AT_n} \end{matrix}$$

$T_g$  süreli devre dışı kalmaların beklenen değeri,

$$D_T = Q_{AT} \cdot 365$$

Vektör halinde yazılırsa

$$\underline{D}_T = \underline{Q}_{AT} \cdot 365$$

$T_g$  süreli devre dışı kalmanın maliyeti,

$$C_{T_g} = \beta_g \cdot D_{T_g}$$

ve bir yıllık devre dışı kalma maliyeti,

$$C = (\hat{a})_i \underline{D}_i \quad (\text{Ft/y.l}) \quad (17)$$

olur.

Gözeli (ağ) şebekelerde yük kısıtlaması arıza yapan hata ve arızanın süresine bağlı olarak ortaya çıkar.

Gözeli şebekeler için de arızalardan doğan devre dışı kalmaların maliyet hesaplamalarına ilişkin bir yöntem geliştirilmiş olmakla birlikte bu yöntem bildirinin kapsamı dışında kalmaktadır.

#### 5.4. Yöntemlerin Özetlenmesi

Önceki bölümlerde üç yöntem anlatılmıştır. Bunların arasında yapılacak seçim tüketicinin karakterine bağlıdır. Birkaçının birarada uygulanması da olanaklıdır.

Denklemler 12, 15, 17 de verilen basit biçimler gözönüne alınırsa,

$$C = \alpha \cdot \bar{E} + \gamma \cdot \bar{n} \cdot \bar{s} + (\beta) \cdot D_T \quad (\text{Ft/yıl})$$

#### 6. ÖZGÜL MALİYETLER

a ve y değerlerinin öngörülmesi konusunda bazı yayınlar bulunmaktadır. Bu değerler geniş bir aralıkta değişmektedir. (3'ün öngörülmesi konusunda henüz bir yayın bulunmamaktadır.

Çizelge 1 de kaynak listesinde verilen yayınlarda bulunan bazı değerler verilmektedir. Değerler, Macaristan para birimi Forint'e çevrilmiştir.

		Ft/kWh	Ft/kW
ENDÜSTRİ			
için	$C = E + nS$	5,5-10,0	1,6-13,0
ortalama			
değerler	$C = E$	8,5-32,0	—
KARMAŞIK			
ŞEBEKE			
için	$C = E + nS$	10,0-17,0	1,2-6,8
ortalama			
değerler	$C = E$	7,0 - 20,0	—

ÇİZELGE 1 - Özgül Maliyet Değerleri

Çizelge, değerlerin geniş bir aralıkta değiştiğini göstermektedir.

Bruce ve arkadaşları (5) gibi bazı yazarlara göre devre dışı kalma maliyetleri ulusal gelir düzeyinde öngörülmelidir. Lalender ve Sandström'e (1) göre kısa süreli devre dışı kalmalar otomatik yeniden - kapatma nedeniyle önemlidir. Bu konuda en ayrıntılı değerler İsveç yazınında verilmektedir. (1, 2).

Karmaşık bir şebeke ya da karmaşık endüstriyel gruplar için özgül maliyet değerleri, Sheppard'da (8) görüldüğü gibi, ancak maliyetlerin mertebesi konusunda bilgi vermektedir. Fakat tek tek endüstriyel tüketiciler ya da endüstriyel şebeke sisteminin tümü için olan değerler daha kesindir. Bu durumda devre dışı kalma maliyeti hesaplamaları güvenilirliğin en-iyilenmesini sağlayabilir.

#### 7. SONUÇ

Güvenilirlik, devre dışı kalma maliyetleri ve yatırım maliyetleri arasında ilişkiler bulunmaktadır. Bunlar arasında en çok sorun yaratanı devre dışı kalmadan doğan maliyetlerdir.

Bu bildiriye devre dışı kalmadan doğan zarar ve kayıpların hesaplanmasına yönelik üç yöntemden söz edilmiştir. Yöntemlerin genel sorunu özgül maliyet değerlerindeki belirsizliktir. Karmaşık şebekeler ve karmaşık endüstriyel gruplar için bu hesaplamaların ancak maliyetin mertebesi konusunda bilgi verebilmesi de bu nedendir.

Diğer yandan, tek tek endüstriyel ve ticari tüketiciler için doğru hesaplamalar yapılabilir. Bu durumda üretimin özgün koşullarına bağlı olarak özgül maliyet tüketici tarafından saptanabilir. Bu tüketiciler için güç sunumuna ilişkin güvenilirliğin en-iyi değerinin bulunması olanaklıdır.

#### KAYNAKLAR

1. Lalender, S., and Sandström, U., 1952, "Costs For Disturbances and their Influence on the Design of Power Systems" CIGRE 1952
2. Mattson, B., and Nuder, J., 1972, "Simplified Use of Failure Statistics For Optimizing System and Equipment Design" CIGRE 1972 31 - 06
3. Rozanov, M.I., 1974, "Nadezsnostry Elektroenergeticeszskich Szisztem" Energia, Moskva
4. Millinton, R., 1970, "Power System Reliability Evaluation" Gordon and Breach, London
5. Bruce R., Patton, A.D., Denison, D.S., 1972, "Power Reliability Costs v.s. Worth" IEEE Trans. P.A.S. 1972 p. 2204-2207
6. Kaminski, A., Kula, M., Cziemblewski, K., 1968, PSCC Proc, Roma
7. Böcher, H., Kaufman, W., 1975, Elektrizitätswirtschaft, 74. 215-220
8. Sheppard, H.J., 1968, "The Economics of Reliability of Supply - Distribution" PSCC Proc. Roma p. 248-266
9. Lalfi, L., 1965, "Determination of Consumers' Damage due to Stoppage in Electric Power Supply" Economic Commission for Europe
10. Reguly, Z., 1966, "Reliability Investigations of Electric Distribution Networks" Periodica Polytechnica, 10.
11. Reguly, Z., 1971, "A Method for Computing Radial Network System Reliability" Periodica Polytechnica, 15.