

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KENDİ KENDİNE SOĞUYAN YAĞLI TRANSFORMATÖRLERDE
RADYATÖRLERİN SICAKLIK VE BASINÇ DÜŞÜMÜ HESABI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Müh. Alkım ÖZTURAN

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 7 Haziran 1994

Tezin Savunulduğu Tarih : 1 Temmuz 1994

Tez Danışmanı : Prof.Dr. Nurdan GÜZELBEYOĞLU

Diğer Jüri Üyeleri : Prof.Dr. Faik MERGEN

Prof.Dr. İlhami ÇETİN

V.G. YÜKSEK LİSANS KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

TEMMUZ 1994

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın amacı, kendi kendine soğuyan yağlı transformatörlerde, radyatörlerin, sıcaklık ve basınç düşümü hesap yönteminin teorik olarak incelenmesi ve pratikte kullanılan kısa hesapların, teoriyle olan bağlantısının kurulmasıdır. Bu amaçla örnek olarak seçilen bir transformatörde, ilk önce, pratikte kullanılan tablo ve ampirik formüllerden yararlanılarak, radyatör seçimi yapılmış; daha sonra da aynı transformatör için söz konusu teorik hesaplarla bağlantı kurulmuştur.

Tez çalışmalarım sırasında beni yönlendiren ve her türlü desteği sağlayan değerli Hocam Prof. Dr. Nurdan GÜZELBEYOĞLU'na, değerli yardımları ve katkılarından dolayı ÖZGE MÜHENDİSLİK' ten Sanayi Tesisleri konusunda faaliyet gösteren Elek. Müh. Cemal BOĞA' ya, açıklamalarıyla beni aydınlatan AEG-ETİ' den Araştırma - Geliştirme Hesap Şefi Y. Elek. Müh. Yunus SİLE' ye, ELEKTROSAN' dan Yönetim Kurulu Başkanı Y. Elek. Müh. Fevzi ÖZTÜRK' e, ABB' den Dağıtım Transformatörleri Konstrüksiyon Bölümü Müdürü Y. Elek. Müh. İlhami TUĞFAN'a, tezimin hazırlanmasında bana yardımcı olan arkadaşım Yük. Elek. Müh. Yeşim NEMLİOĞLU' na ve bilgisayar konusundaki her türlü yardımlarından dolayı arkadaşım Elek. Müh. Hamdi İNAN' a teşekkür ederim.

İstanbul 1994

Alkım Özturan

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	v
SUMMARY.....	vi
SEMBOL LİSTESİ.....	xi
BÖLÜM 1. GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2. TRANSFORMATÖRDE ÇEVREYE ISI VERME ŞEKİLLERİ VE HESAP YÖNTEMLERİ.....	5
2.1. Radyasyonla Isı Verme.....	5
2.2. Konveksiyonla Isı Verme.....	8
2.3. Radyasyonla konveksiyonun Birlikte Etkisi.....	9
2.4. Dalgalı Saçlı Kazanlar.....	10
2.5. Radyatörlü Kazanlar.....	12
BÖLÜM 3. KENDİ KENDİNE SOĞUYAN YAĞLI TRANSFORMATÖRLER.....	15
3.1. Radyatör Seçimi.....	15
3.2. Radyatörün Yerleştirilmedi.....	18
3.3. Yağ akış Yolu.....	21
3.4. Sıcaklık Eğrileri.....	23
3.5. Kazan ve Radyatör İçinde Dolaşan Yağın Basınç Değişiminin Hesabı.....	26
3.6. Akış Kütlesi, Sıcaklık artışı, ve Basınç Değişimi.....	33
3.7. Bir Radyatör Diliminin Karakteristik Değerleri ve Radyatördeki Yağın Akış Hızının Hesabı.....	42
3.8. Yağla temas Eden Yüzeylerin Isı Transfer Katsayısının ve Yüzey Sıcaklık Düşümünün Hesabı.....	46
3.9. Ortalama Eksenel Viskozite.....	58
3.10. Radyatördeki basınç Düşümünün Hesabı...	64

BÖLÜM 4. HESAP ÖRNEĞİ.....	66
4.1. Radyatör seçimi.....	66
4.2. Sıcaklık Eğrisi ve Basınç Değişiminin Hesabı.....	68
4.3. Yağın Hızının Hesabı.....	72
4.4. Radyatördeki Yüzey Sıcaklık Düşümünün Hesabı.....	72
4.5. Viskozite Hesabı.....	75
4.6. Radyatördeki Basınç Düşümünün Hesabı....	75
BÖLÜM 5. SONUÇ.....	77
KAYNAKLAR.....	79
ÖZGEÇMİŞ.....	81



ÖZET

Kendi kendine soğuyan yağlı transformatörlerde, bakır ve demir kayıpları nedeniyle oluşan ısı, yağ tarafından alınarak, kazan aracılığıyla dış ortama verilir. Ancak kazanın yeterli olmadığı durumlarda, radyatörlerden yararlanılır. Radyatörlerin çevresinde doğal dolaşımını yapan hava, transformatör yağının soğutulmasında etkili olur.

Sargılar tarafından ısıtılan yağ, sıcaklığı yüksek ve buna bağlı olarak, özgül ağırlığı düşük olduğundan, yukarıya doğru çıkar ve kazanın üst noktasından radyatörlere girer. Burda yağın sahip olduğu ısı, radrasyon ve konveksiyon yoluyla, radyatör yüzeylerinden dışarı atılır. Radyatörlerdeki dolaşımının esası, soğuyan yağın özgül ağırlığının yüksek olmasına dayanır. Bu durum yağın aşağıya doğru akarak, radyatörlerin en alt noktasında, tekrar sargılara girmesine neden olur. Yağın bu dolaşımı sırasında, radyatörlerdeki sıcak ve soğuk yağın özgül ağırlıkları arasındaki fark, yağın akış hızı ve viskozitesi, bir basınç değişimine yol açar. Yağın soğutulmasında etkili olan hava ise, radyatör yüzeylerinde bir sıcaklık düşüşüne neden olur.

Bu çalışmada yukarda bahsedilen sıcaklık ve basınç düşümü hesabı incelenmiştir. Konuya açıklık getirmesi amacıyla, söz konusu hesaplar, örnek alınan bir transformatör üzerinde uygulanmıştır. Bunun için, ilk önce pratikte kullanılan tablo ve amprik denklemlerden yararlanılarak radyatör seçimi yapılmış; daha sonra da teorik olarak, basınç ve yüzey sıcaklık düşümü hesapları yapılmıştır. Böylece teorik hesaplarla pratik uygulamalar birleştirilmiş, hem müşteri hem de üretici açısından daha yararlı bir çözüm elde edebilmek amacıyla, teorik hesaplarının da yapılması gerektiği sonucu çıkartılmıştır.

SUMMARY

TEMPERATURE AND PRESSURE DROP CALCULATION IN RADIATORS OF SELF - COOLED TRANSFORMERS

The heat is transferred out from the tank surfaces in transformers. In order to increase an amount of the heat, it should be increased the surface. So the tank surfaces is made in wave or in tube. The tank is cooled out with adding radiators, blowers and pumps.

The radiators is also used in the self - cooled transformers. They satisfy the cooling of oil which circulates into the tank and radiators by being used the cooling air.

According to the heat transfer, the relation which is between the special gravity and the temperature is that:

$$\gamma = \gamma_0 (1 - \beta\theta) \quad (1)$$

- γ : Specific gravity at $\theta^\circ\text{C}$ [N/m^3]
- γ_0 : Specific gravity at 0°C [N/m^3]
- β : Coefficient of expansion [$1/^\circ\text{C}$]
- θ : Temperature [$^\circ\text{C}$]

As to this formulation, the specific gravity is inversely proportional to the temperature.

Because of the temperature of oil which is warmed by the windings is high, its specific gravity is low. So the warmed oil flows upwards and the radiators at the top of the tank. The heat in the radiators is

transferred to the air at their circumference by convection and radiation. As result of that the oil begins to cool. When its temperature decreases, its specific gravity increases. Then it flows downwards. At the bottom of radiators, the cooled oil leaving from them enters to the windings. Thus the oil carries on circulating.

The difference between the specific gravity of hot oil and that of cold oil causes the pressure difference:

$$\Delta p = \gamma_a \beta_a + h_1 \Delta \theta_{co} + h_r (\Delta \theta_{oic} - \Delta \theta_{o-a} - 0,5 \Delta \theta_{co}) \quad (2)$$

- Δp : Pressure difference [N/m²]
- γ_a : Specific gravity where average temperature θ_{oac} of oil in radiators [N/m³]
- β_a : Coefficient of expansion at θ_{oac} [1/°C]
- h_1 : Heighth between middle level of radiator and that of winding [m]
- $\Delta \theta_{co}$: Difference between temperature θ_{oic} of oil entering to radiators and temperature θ_{ooc} of oil leaving form radiators [°C]
- h_r : Radiator length [m]
- $\Delta \theta_{oic}$: Temperature θ_{oic} of oil entering to radiators with respect to inlet temperature θ_a of cooling air [°C]
- $\Delta \theta_{o-a}$: Logarithmic mean temperature θ_{o-a} with respect to inlet temperature θ_a of cooling air [°C]

In designing transformers, the difference temperature $\Delta \theta_{wo}$ between the temperature θ_{oiw} of the entering oil and the temperature θ_{ow} of the leaving oil at the windings is reduced to smallest possible degree.

In connection with the following formulation:

$$\Delta\theta_{o-a} = \frac{\Delta\theta_{co}}{\ln \frac{1}{1 - \frac{\Delta\theta_{co}}{\Delta\theta_{oic}}}} \quad \Delta\theta_{co} \cong \Delta\theta_{wo} \quad (3)$$

The logarithmic mean temperature $\Delta\theta_{o-a}$ should be low and the pressure difference Δp should be high. That is the radiator which has low price and low weight. Because of that reason the best result obtained for a customer.

While the oil flow in the radiators, the cooling air causes the temperature drop at the radiator surfaces:

$$\Delta\theta_{os}^{1,1} = \left(\frac{A_0^{0,2} \Delta\theta_{co}^{0,2} d_{ho}^{0,5}}{0,85 \times 0,74 A_{co} g^{0,1}} \right) \left(\frac{v}{\rho \beta c} \right)^{0,1} \left(\frac{1}{\lambda^{0,7}} \right) P^{0,8} \quad (4)$$

$$A_o = s_k A$$

A_o : Total inlet - outlet area [m²]

s_k : Number of oil ducts in each radiator element

A : Cross - sectional area of each oil duct [m²]

$$d_{ho} = \frac{4A}{u} \quad (5)$$

d_{ho} : Hydrolic diameter [m]

u : Circumferance of each oil duct [m]

g : Gravity acceleration [N/kg]

v : Kinematic viscosity [m²/s]

ρ : Density [kg/m³]

β : Coefficient expansion [1/°C]

λ : Thermal conductivity [Wm⁻¹ °C⁻¹]

P : Amount of heat dissipated from radiator surfaces. [W]

The oil velocity is that:

$$w = \frac{P}{A_o \rho c \Delta\theta_{co}} \quad (6)$$

w: Oil velocity [m/s]

It can be seen that the oil velocity is inversely proportional to difference temperature $\Delta\theta_{co}$ of radiator inlet and outlet oil temperature. When the oil velocity is doubled, $\Delta\theta_{co}$ reduces at the same proportion and the surface temperature drop is decreased 88%.

When the heat dissipated of one radiator element P is doubled, the surface temperature drop is increased to 1,655 times its original.

The oil velocity and viscosity in the radiators causes the pressure drop:

$$\Delta p = C' v_{al} \left(\frac{\phi_o}{\rho_o n z} \right) + B' z^2 \left(\frac{\phi_o}{\rho_o n z} \right)^2 \quad (7)$$

$$C' = 48,5 \times 10^9 \times h_r \quad [m^{-6} kg]$$

h_r : Radiator length [m]

v_{al} : Axial average viscosity of the oil [m^2/s]

ρ_o : Mean density of oil flowing in radiators [kg/m^3]

n : Number of radiator groups mounted on a tank of a transformer

z : Number of elements which is arranged one behind another in each radiator group

$$B' = 5,63 \times 10^6 \quad [m^{-7} kg]$$

In conclusion it should be chosen radiators by being made use of diagrams and tables which is used in practice then, be checked the truth of the radiators choice by being calculated the temperature and pressure drop. Thus, as a result of the following reasons:

1) Economical problems

2) Endurance of transformers

it is obtained the best solution for both customers and producers.



SEMBOL LİSTESİ

Bu çalışmada kullanılan semboller ve bunların anlamları aşağıdaki tabloda verilmiştir:

A	: Tek bir yağ kanalının dörtte bir kesiti [m^2]
A_a	: İki radyatör dilimi arasındaki hava kanalının dörtte bir alanı [m^2]
A_c	: Isı iletim yüzeyi [m^2]
A_{ca}	: Bir radyatör diliminin hava ile temas eden yüzeyi [m^2]
A_{co}	: Yağ kanallarının toplam alanı [m^2]
A_o	: Toplam giriş çıkış alanı [m^2]
B	: Kazanın boyu [m]
B'	: Basınç düşümü katsayısı [$m^{-7} \text{ kg}$]
b	: Radyatör diliminin genişliği [m]
B_1	: Sıcaklığa bağlı faktörler bütünü
c	: Özgül ısı [$J/kg^\circ C$]
C'	: Radyatör uzunluğuna bağlı olarak, basınç düşümü katsayısı [$m^{-7} \text{ kg}$]

$C_1, C_2, C_3,$	: Katsayı
$C_4, C_5, C_6,$	
C_7	
C_s	: Mutlak siyah cismin radyasyon katsayısı [W/(m ² °K ⁴)]
C_{s1}	: Bileşke radyasyon katsayısı (Stephan-Boltzmann sabiti [W/(m ² °K ⁴)])
d_h	: Hidrolik çap [m]
d_{ha}	: İki radyatör dilimi arasındaki hava kanalının hidrolik çapı [m]
d_{ho}	: Bir yağ kanalının hidrolik çapı [m]
E	: Kazanın eni [m]
f	: Valfin kısılma miktarı
f_a	: Açınım oranı
F_k	: Konveksiyon yoluyla soğutulan üst yüzey [m ²]
F_s	: Radyasyon yüzeyi [m ²]
g	: Yerçekimi ivmesi [N/kg]
Gr_m	: Grashof sayısı
h_r	: Radyatör uzunluğu [m]
h_w	: Sargı yüksekliği [m]
k	: Sargının genişliği [mm]
K_1	: Sıcaklıktan bağımsız faktörler bütünü
k_1, k_2, k_3	: Kötüleşme faktörleri
k_T	: Sıcaklık sabiti
l	: Sargının yüksekliği [mm]

L : Katsayı
m : Kütle [kg]
m_r : Yağ ile birlikte radyatörün kütlesi [kg]
n : Radyatör grubu sayısı
Nu_m : Nusselt sayısı
o : Sargının çekirdeğe olan uzaklığı [mm]
P : Barometre basıncı [mmHg]
P : Çevreye verilen toplam ısı miktarı [W]
P_a : Radyatörün hava ile temas eden yüzeylerinden dağıtılan ısı miktarı [W]
P_{bm} : Ortalama yüzey yükü [W/m²]
P_d : Radyatörün bir diliminden çevreye verilen ısı miktarı [W/dilim]
P_k : Konveksiyon gücü [W]
P_k : Yükteki kayıplar [W]
P_{k75°} : Transformatorün 75°C' deki yükteki kayıpları [W]
P_o : Radyatörün yağ ile temas eden yüzeylerinden dağıtılan ısı miktarı [W]
P_R : Radyatörlerden çevreye verilen ısı miktarı [W]
P_R' : Seçilen radyatörün çevreye vermesi gereken ısı miktarı [W]
Pr_m : Prandtl sayısı
P_s : Radyasyon yüzeyi F_s' e dik olan radyasyon gücü [W]
p_s : Birim yüzeyden verilen ısı miktarı
P_T : Toplam kayıp [W]

- q_a : Hava ile temas eden birim yüzeyden konveksiyon ile verilen ısı miktarı [W/m^2]
 q_c : Birim yüzeyden verilen ısı miktarı [W/m^2]
 q_o : Yağ ile temas eden birim yüzeyden verilen ısı miktarı [W/m^2]
 Re_m : Reynolds sayısı
 r_k : Soğutma faktörü
 s : İki sargı arasındaki uzaklık [mm]
 s_k : Bir radyatör dilimindeki yağ kanalı sayısı
 s_r : İki radyatör diliminin merkez hatları arasındaki uzaklık [m]
 T_1 : Radyasyon ve alıcı yüzeyin mutlak sıcaklığı [$^{\circ}K$]
 T_2 :
 T_T : Yağın, transformatörün en sıcak noktasındaki değeri [$^{\circ}C$]
 u : Tek bir yağ kanalının çevresi [m]
 v : θ $^{\circ}C$ ' deki birim kütle başına hacim [m^3/kg]
 V : Hacim [m^3]
 v_{a1} : Eksenel ortalama viskozite [m^2/s]
 v_m : Kinematik viskozite [m^2/s]
 v_o : 0 $^{\circ}C$ ' deki birim kütle başına hacim [m^3/kg]
 V_o : Yağın dörtte bir akış kesiti [m^2]
 w : Yağın akış hızı [m/s]
 w_{55} : Transformatörün 55 $^{\circ}C$ ' de ısınmasına neden olan kayıp gücü [W]

- x : Yükleme faktörü
- Y : Kazanın yüksekliği [m]
- z : Bir radyatör grubundaki dilim sayısı
- Δp : Basınç değişimi [N/m^2]
- $\Delta \theta$: Soğutulan yüzeyle çevre arasındaki sıcaklık farkı [$^{\circ}C$]
- θ_a : Çevredeki havanın sıcaklığı [$^{\circ}C$]
- $\Delta \theta_a$: Radyatörün çevresindeki havanın sıcaklığı [$^{\circ}C$]
- θ_{aa} : Ortalama hava sıcaklığı [$^{\circ}C$]
- $\Delta \theta_{aa}$: Ortalama hava sıcaklığı farkı [$^{\circ}C$]
- θ_{ai} : Giriş hava sıcaklığı [$^{\circ}C$]
- θ_{ao} : Çıkış hava sıcaklığı [$^{\circ}C$]
- $\Delta \theta_{as}$: Radyatör yüzeyinde, radyatörün çevresindeki ortalama hava sıcaklığı nedeniyle oluşan yüzey sıcaklık düşüşü [$^{\circ}C$]
- $\Delta \theta_{co}$: Yağın radyatöre giriş ve çıkış sıcaklıkları arasındaki farkı [$^{\circ}C$]
- θ_c : Sargının en sıcak noktasının sıcaklığı (hot - spot) [$^{\circ}C$]
- $\Delta \theta_{mca}$: Radyatör çevresindeki havanın sıcaklığına bağlı olarak, ortalama sınır tabaka sıcaklık farkı [$^{\circ}C$]
- θ_{mwo} : Sargılardaki yağın ortalama sınır tabaka sıcaklığı [$^{\circ}C$]
- $\Delta \theta_{o-a}$: Radyatördeki yağın havaya bağlı olarak, ortalama logaritmik sıcaklık farkı [$^{\circ}C$]

- θ_{oac} : Radyatördeki yağın ortalama sıcaklığı [$^{\circ}\text{C}$]
 $\Delta\theta_{oac}$: Radyatördeki yağın, çevredeki havanın sıcaklığına bağlı olarak, ortalama sıcaklık farkı [$^{\circ}\text{C}$]
 θ_{oaw} : Yağın sargısındaki ortalama sıcaklığı [$^{\circ}\text{C}$]
 $\Delta\theta_{oaw}$: Çevredeki havanın sıcaklığına bağlı olarak, yağın sargısındaki ortalama sıcaklık farkı [$^{\circ}\text{C}$]
 θ_{oic} : Radyatöre giren yağın sıcaklığı [$^{\circ}\text{C}$]
 $\Delta\theta_{oic}$: Çevredeki havanın sıcaklığına bağlı olarak, radyatöre giren yağın sıcaklık farkı [$^{\circ}\text{C}$]
 θ_{oiw} : Yağın sargıya giriş sıcaklığı [$^{\circ}\text{C}$]
 θ_{om} : Maksimum yağ sıcaklığı [$^{\circ}\text{C}$]
 $\Delta\theta_{om}$: Çevredeki havanın sıcaklığına bağlı olarak, maksimum yağ sıcaklık farkı [$^{\circ}\text{C}$]
 θ_{ooc} : Radyatörden çıkan yağın sıcaklığı [$^{\circ}\text{C}$]
 $\Delta\theta_{ooc}$: Çevredeki havanın sıcaklığına bağlı olarak, radyatörden çıkan yağın sıcaklık farkı [$^{\circ}\text{C}$]
 $\Delta\theta_{os}$: Yağda radyatör duvarı nedeniyle oluşan yüzey sıcaklık düşüşü [$^{\circ}\text{C}$]
 θ_{ow} : Yağın sargıdan çıkış sıcaklığı [$^{\circ}\text{C}$]
 $\Delta\theta_p$: Yalıtımdaki sıcaklık düşüşü [$^{\circ}\text{C}$]
 $\Delta\theta_s$: Yalıtım yüzeyinde dolaşım yapan yağ nedeniyle oluşan sıcaklık düşüşü [$^{\circ}\text{C}$]
 θ_w : Sargının ortam üstü ortalama sıcaklığı [$^{\circ}\text{C}$]
 $\Delta\theta_w$: Çevredeki havanın sıcaklığına bağlı olarak,

- sargıdaki ortalama sıcaklık farkı [$^{\circ}\text{C}$]
- θ_{wm} : En üstteki sargı tabakasının ortalama sıcaklığı [$^{\circ}\text{C}$]
- $\Delta\theta_{w-o}$: Sargının ortalama sıcaklığı ile yağın ortalama sıcaklığı arasındaki fark [$^{\circ}\text{C}$]
- $\Delta\theta_{wo}$: Sargılardaki yağın giriş ve çıkış sıcaklıkları arasındaki fark [$^{\circ}\text{C}$]
- α : Isı transfer katsayısı [$\text{Wm}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$]
- α_k : Konveksiyon için ısı transfer katsayısı [$\text{Wm}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$]
- α_s : Radyasyon için ısı transfer katsayısı [$\text{Wm}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$]
- β : Genleşme katsayısı [$1/^{\circ}\text{C}$]
- γ : Özgül ağırlık [N/m^3]
- ε : Emisyon katsayısı
- λ : Isıl iletkenlik [$\text{Wm}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$]
- μ : Sürtünme faktörü
- ρ : Yoğunluk [kg/m^3]
- ϕ : Yağın akış kütlesi [kg/s]
- ψ_o : Bir radyatör dilimindeki yağın akış hacmi [m^3/s]

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Transformatörde zamanla değişen akı, manyetik devrede demir kayıplarını; sargılardan geçen akım ise bakır kayıplarını oluşturur. Aynı zamanda demir kayıpları boşta kayıplar; bakır kayıpları ise yükte kayıplardır. Buna bağlı olarak; toplam kayıp P_T ; boşta kayıplar P_o ; yükteki kayıplar P_K olmak üzere [1]:

$$P_T = P_o + x^2 P_K \quad (1.1)$$

x ; yükleme faktörü olup, genellikle $0 < x < 1$ değerleri arasındadır.

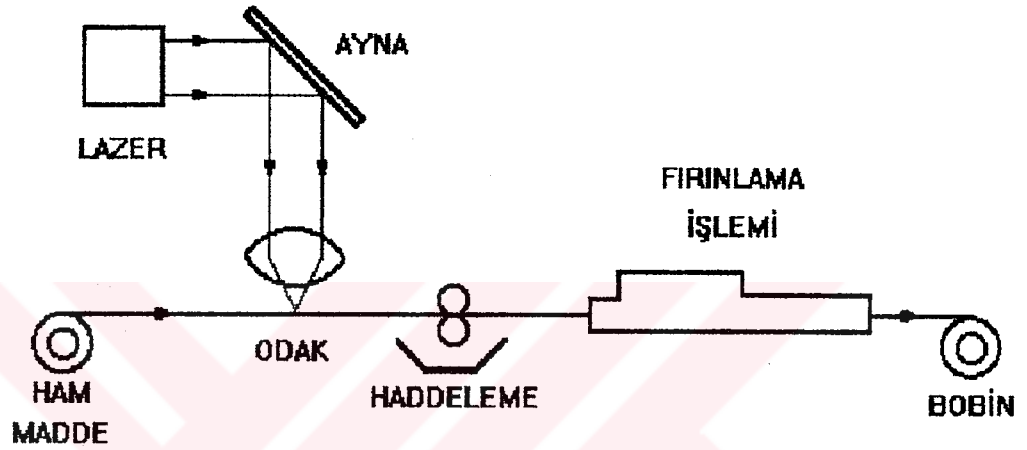
Bu kayıplar transformatörün:

- 1) Isınmasına,
- 2) Enerji kaybına,
- 3) Transformatörün veriminin düşmesine,
- 4) Transformatörün ömrünün azalmasına,
- 5) Ekonomik açıdan zarara,

neden olur [2].

Boştaki kayıpları azaltmak için, saç molekülleri, alan yönünde lazer ışınlarına tutulur. Daha sonra,

haddeden geçirilerek fırınlanır. Bu şekilde özel manyetik saçlar elde edilir. (Bkz. Şekil 1.1) Tablo 1.1 de söz konusu manyetik saçların kalınlığına bağlı olarak, 50 Hz ve 60 Hz' deki çekirdek kayıpları gösterilmiştir [3].



Şekil 1.1 Saç moleküllerinin lazer ışınlarına tutulduktan sonra, haddeleme ve fırınlama işlemleri

Tablo 1.1 Transformör saçlarının değişik endüksiyonlardaki kayıpları [3]

Saçın		50 Hz (W/kg)				60 Hz (W/lb)			
Cinsi	Kalınlığı (mm)	1.0 T	1.3 T	1.5 T	1.7 T	1.0 T	1.3T	1.5 T	1.7 T
Z	0.30	0.36	0.60	0.85	1.23	0.22	0.37	0.51	0.73
	0.27	0.34	0.58	0.80	1.18	0.21	0.34	0.47	0.69
	0.23	0.32	0.53	0.72	1.06	0.18	0.31	0.42	0.61
ZH	0.30	0.34	0.57	0.77	1.03	0.21	0.35	0.47	0.62
	0.27	0.32	0.55	0.74	1.00	0.20	0.33	0.44	0.59
	0.23	0.31	0.50	0.67	0.94	0.18	0.29	0.40	0.55
ZDKH	0.30	0.32	0.54	0.72	0.97	0.20	0.33	0.44	0.59
	0.27	0.30	0.52	0.71	0.93	0.19	0.31	0.41	0.54
	0.23	0.28	0.46	0.60	0.85	0.18	0.27	0.36	0.50

Demir ve bakır kayıpları nedeniyle oluşan ısınmayı azaltmak için ise, soğutma yöntemlerinden yararlanılır. Tablo 1.2' de yağlı transformatörler için, kullanılan soğutma yöntemleri ile bu yöntemlerin çeşitli ülkelerdeki standart gösterilişleri verilmiştir.

Tablo 1.2 Yağlı transformatörlerde soğutma yöntemleri standartları [4]

Yağlı transformatör için soğutma şekilleri	Standartlar				
	Fransa UTE	İngiltere BS	Almanya VDE	ABD ASA	IEC
Doğal yağ ve hava dolaşımı ile soğutma (Radyatörlü)	IN	ON	S	OA	ONAN
Doğal yağ dolaşımı ve cebri hava dolaşımı ile soğutma (Radyatörlü ve fanlı)	IV	OB	F	FA	ONAF
Doğal yağ ve hava dolaşımı /cebri yağ ve hava dolaşımı ile soğutma (Radyatörlü, fanlı ve pompalı)	IFV	ON/OFB	S/FU	OA/FOA	ONAN/OFAF
Cebri yağ ve hava dolaşımı ile soğutma (pompalı)	IFA	OFB	FU	FOA	OFAF
Cebri yağ ve su dolaşımı ile soğutma (pompalı)	IFE	OFW	WU	FOW	OFWF

Soğutma yöntemi seçilirken şunlar gözönünde bulundurulmalıdır:

- 1) Transformatörden atılması gereken ısı miktarı,
- 2) Varolan soğutma olanakları,
- 3) Transformatörün yerleştirileceği alan,
- 4) Ekonomik koşullar,

- 5) Transformatörün bakımı,
- 6) Kullanıcıya göre değişen özel istekler.

Transformatörden atılması gereken ısı miktarının bilinmesi şu açıdan önemlidir:

Bu değer hesaplandıktan sonra, kazandan atılan ısı miktarı ile karşılaştırılır. Eğer düz yüzeyli bir kazan, transformatörden atılması gereken ısı miktarını karşılayamıyorsa, kazan yüzeyi dalgalı ya da borulu yapılır. Dışarı verilen ısı miktarını büyütmek için radyatör kullanılır. Gerekiyorsa, radyatörün dışına fan eklenerek radyatör dışardan soğutulur [4], [5].

BÖLÜM 2

TRANSFORMATÖRLERDE ÇEVREYE ISI VERME ŞEKİLLERİ VE HESAP YÖNTEMLERİ

Transformatörlerde gerek çekirdekten, gerekse kazandan çevreye verilen ısı, üç şekilde yayılır [6]:

- 1) Kondüksiyon (Isı iletimi)
- 2) Radyasyon (Işınlama)
- 3) Konveksiyon (Isı taşınımı)

Radyatörlerde ise, radyasyon ve konveksiyon ile ısı verme söz konusudur.

2.1 Radyasyonla Isı Verme

Radyasyonla ile ısı veriş i Stephan - Boltzmann kanununa göre [7]:

$$P_s = c_{s1} \left(\frac{T_1}{100} \right)^4 \left(\frac{T_2}{100} \right) F_s \quad (2.1)$$

F_s : Radyasyon yüzeyi [m^2]

P_s : F_s ' e dik olan radyasyon gücü [W]

T_1 , : Radyasyon ve alıcı yüzeyin mutlak

T_2 sıcaklığı [$^{\circ}\text{K}$]

c_{s1} : Eileşke radyasyon katsayısı ya da
Stephan - Boltzmann sabiti [$\text{W}/(\text{m}^2 \text{ } ^{\circ}\text{K}^4)$]

Mutlak siyah cismin radyasyon
katsayısı : $c_s: 5,77 [\text{W}/(\text{m}^2 \text{ } ^{\circ}\text{K}^4)]$
Emisyon katsayısı : ε

olmak üzere:

$$c_{s1} = \varepsilon c_s \quad (2.2)$$

Çeşitli maddelerin emisyon katsayıları Tablo 2.2' de gösterilmiştir.

Tablo 2.1 Maddelerin emisyon katsayıları [8]

Madde	$\varepsilon = \frac{c_{s1}}{c_s}$
Gümüş (çok iyi parlatılmış)	0,02
Alüminyum	0,08
Bakır (hafif parlatılmış)	0,17
Pirinç (mat)	0,20,23
Dövme demir (parlatılmış)	0,29
Dövme demir (mat)	0,95
Bronz	0,8
Kağıt ve lifli izolasyon	0,9
Lak emaye	0,80,9
Aspest kağıt	0,95

Radyasyon gücü, konveksiyon yoluyla ısı verişine bağlı olarak, şu şekilde yazılabilir:

$$P_s = \alpha_s \Delta\theta F_s \quad (2.3)$$

$\Delta\theta$: Radyasyon yüzeyi ile çevre arasındaki sıcaklık farkı [$^{\circ}\text{C}$]

α_s : Isı transfer katsayısı [$\text{W}/(\text{m}^2 \text{ } ^{\circ}\text{C})$]

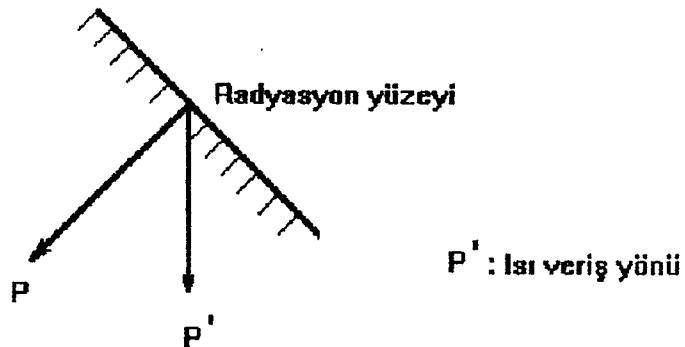
Buna göre:

$$P_s = \left[\left(\frac{T_2 + \theta}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \cdot \frac{5,3}{\Delta\theta} \cong 2,65 \sqrt[4]{\Delta\theta} \quad (2.4)$$

$$\alpha_s = 2,65 \sqrt[4]{\Delta\theta} \quad (2.5)$$

(2.4) ve (2.5) no' lu denklem çevre ısısının 20°C olduğu durumda $0^{\circ}\text{C} \leq \theta \leq 100^{\circ}\text{C}$ için geçerlidir.

Lambert kanununa göre radyasyon yüzeyinden ısı veriş yönü Şekil 1.2' de gösterilmiştir:



Şekil 1.2 Radyasyonla ısı veriş yönü

Kazan ile hava arasındaki 45°C ortalama bir ısı farkı için birim yüzeyden verilen ısı miktarı

$$p_s = \frac{P_s}{F_s} = 310 \text{ W/m}^2 \text{ dir [9].}$$

2.2 Konveksiyon ile Isı Verme

Konveksiyon yoluyla ısı veriş, sıcak yüzeyin önünden sürünerek geçen soğutucu maddenin, hava veya sıvının ısıyı alması ile olur [7].

$$P_k = \alpha_k \Delta\theta F_k \quad (2.6)$$

P_k : Konveksiyon gücü [W]

$\Delta\theta$: Soğutulan yüzeyle hava arasındaki sıcaklık farkı [$^{\circ}\text{C}$]

F_k : Konveksiyon yoluyla soğutulan üst yüzey [m^2]

α_k : Isı transfer katsayısı [$\text{W}/(\text{m}^2 \text{ } ^{\circ}\text{C})$]

Isı transfer katsayısı:

$$\alpha_k = 2,5 \sqrt[4]{\Delta\theta} \sqrt[4]{\frac{293}{T_2}} \sqrt{\frac{p}{760}} \quad (2.7)$$

T_2 : Ortamın mutlak sıcaklığı ($T_2 = 273 + \theta_2$)

p : Barometre basıncı [mmHg]

20°C ortam sıcaklığında ve $p = 760$ mm barometre seviyesinde:

$$\alpha_k = 2,5 \sqrt[4]{\Delta\theta} \quad (2.8)$$

Konveksiyon yüzeyi olarak, kazanın bütün yüzeylerinin toplamı ya da soğutma borularının toplam yüzeyi alınır.

45°C ortam sıcaklığı için, birim yüzeyden verilen ısı 290 W/m²' dir. Bu değer durgun hava, yani hava akısının, havanın ısınmasından dolayı oluşan tabii dolaşımı için geçerlidir.

2.3 Radyasyon ile Konveksiyonun Birlikte Etkisi

Transformatörde hem radyasyon hem de konveksiyon ile ısı transferi söz konusu olduğundan, çevreye verilen toplam ısı miktarı P olmak üzere [7]:

$$P = P_s + P_k = (\alpha_s F_s + \alpha_k F_k) \quad (2.9)$$

Dış ortamın 20 °C ve 760 mmHg olduğu düşünülerek, (2.5) ve (2.8) bağıntıları yerine konularak:

$$\begin{aligned} P &= F_s \left(2,5 \frac{F_k}{F_s} + 2,65 \right) (\Delta\theta)^{1,25} \\ &= 2,65 \sqrt[4]{\Delta\theta} F_s + 2,5 \sqrt[4]{\Delta\theta} F_k \\ &= F_s \left(2,65 + 2,5 \frac{F_k}{F_s} \right) \sqrt[4]{\Delta\theta} \end{aligned} \quad (2.10)$$

2.4 Dalgalı Yüzeyli Kazanlar

Denklem (2.9) kullanılarak [9]:

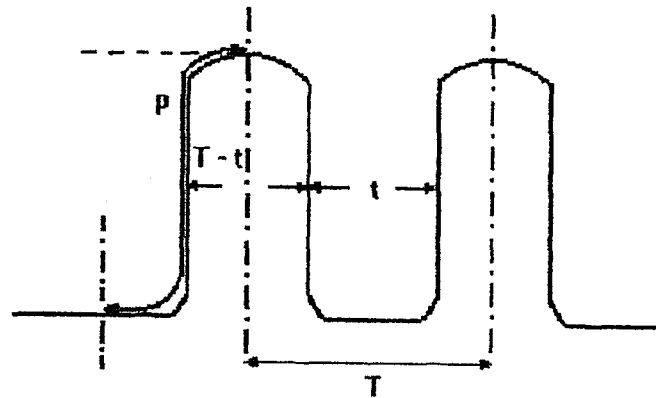
$$P = F_k \left(\alpha_s \frac{F_k}{F_s} + \alpha_k \right) \quad (2.11)$$

Şekil 1.3' den yararlanılarak, f_a açınım oranı olmak üzere:

$$f_a = \frac{F_s}{F_k} = \frac{t}{2p + (T - t)} \quad (2.12)$$

P_{Bm} ortalama yüzey yükü olmak üzere:

$$P_{Bm} = \frac{P}{F_k} = (\alpha_s f_a + \alpha_k) \quad (2.13)$$



Şekil 1.3 Dalgalı kazan yüzeyi

Çok derin dalgali kazan yüzeylerinde, F_k konveksiyon yüzeyinin tümü yerine belli miktardaki yüzdesini katmak gerekir. Bu nedenle de μ sürtünme faktörü gözönüne alınır. Bu durumda (2.13) no' lu denklem:

$$P_{Bm} = (\alpha_s f_a + \mu \alpha_k) \quad (2.14)$$

μ faktörü ampirik olup, $\frac{p}{T-t}$ oranına bağlıdır. Tablo 2.2' de $\frac{p}{T-t}$ oranına bağlı olarak değerleri gösterilmiştir.

Tablo 2.2 $\frac{p}{T-t}$ değerlerine bağlı olarak μ değerleri [9]

$\frac{p}{T-t}$	5	6	7	8	9	10	11	12
μ	0,98	0,96	0,93	0,90	0,86	0,82	0,78	0,73

2.5 Radyatörlü Kazanlar

Radyatörler tarafından kapatılmamış bütün dik yüzeyler ve kapak yüzeyleri için birim yüzeyden verilen ısı miktarı 600 W/m^2 olarak hesaplanır. Kapak yüzeyi kritik durumlarda katılmaz [7].

Radyatörler tarafından kapatılan ve konveksiyon altında kalan dik yüzeylerin ısı geçişi 350 W/m^2 olarak hesaplanır.

Radyatörlerin ısı transferi, aşağıdaki faktörler dikkate alınarak hesaplanır:

- 1) Her bir radyatör diliminin verebileceği ısı,
- 2) Radyatörler arasındaki açıklık,
- 3) Radyatörün orta noktası ile ısısının atıldığı bobinin orta noktası arasında olan açıklık,
- 4) Dilim sayısı.

Tablo 2.3' de DIN 42559' a göre yapılan 230 mm genişliğindeki radyatörlerin ısı atışı verilmiştir. Bu değerler doğal yağ ve hava dolaşımı gözönüne alınarak hesaplanmıştır.

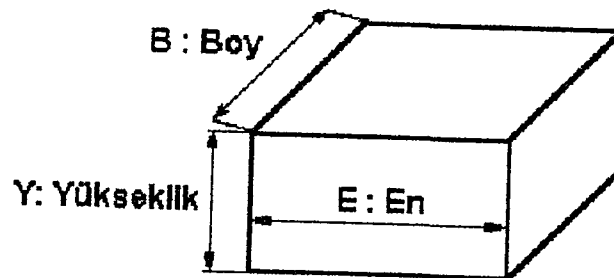
Tablo 2.3 Radyatörlere ait karakteristik değerler [7]

Radyatör boyu (mm)	Soğutma yüzeyi (m ²)	Doğal soğutma (W/dilim)	Birim yüzeyden atılan ısı (W/m ²)	Radyatör dilimin ağırlığı (kg)	Radyatör diliminin yağ hacmi	Emniyet sayısı
500	0,25	121	485	2,9	1,39	yok
600	0,30	139	463	3,4	1,56	yok
700	0,35	157	448	3,9	1,74	yok
800	0,41	178	434	4,4	1,92	yok
900	0,46	195	423	4,9	2,10	yok
1000	0,51	212	415	5,4	2,18	yok
1100	0,56	227	406	5,9	2,35	yok
1200	0,61	243	398	6,4	2,53	yok
1300	0,66	258	391	6,9	2,71	yok
1400	0,71	273	385	7,5	2,89	yok
1500	0,76	287	378	8,0	3,07	1 çift
1600	0,84	313	373	8,7	3,74	1 çift
1700	0,89	328	369	9,0	3,94	1 çift

Tablo 2.4' de radyatör dilim sayısına göre kötüleşme faktörleri, Tablo 2.5' de ise transformatör gücüne göre radyatör grupları verilmiştir. Tablo 2.5' de sözü edilen kazan boyutları, Şekil 1.4' de gösterilmiştir:

Tablo 2.4 Radyatör dilim sayısına göre kötüleşme faktörleri [7]

Rad. dil. sayısı	3	4	5	6	7	8	9	10
Faktör	1,1	1,08	1,06	1,043	1,033	1,02	1,01	1,005
Rad. dil. sayısı	11	12	13	14	15	16	17	18
Faktör	1,0	0,995	0,99	0,989	0,982	0,98	0,978	0,972



Şekil 1.4 Kazan boyutları

Tablo 2.5 Transformatör gücüne göre radyatör seçim tablosu *[7]

Güç (kVA)	Trafo ebadı (mm)	Radyatörler	Soğutma kapasitesi (W)	Yağ hacmi (dm ³)	Radyatör ağırlığı (kg)	Delik adedi ve kaynak	Soğutma yüzeyi (m ²)
250	E= 600 B=1090 Y= 820	AKGÜN 8x4x600/230	4448	50	109	ø76 16 ad. 382cm	9,6
		VESTA 10x4x500/200	4252-%4,5	52	107	ø50 20 ad. 314 cm	10,4
315	E= 600 B=1140 Y= 880	AKGÜN 8x5x600/230	5560	62,4	136	16ad. 382 cm	12,0
		VESTA 4x5x625/200 4x6x625/200	5588+-%0,5	68,2	140	16 ad. 251 cm	13,0
400	E= 620 B=1190 Y= 890	AKGÜN 5x5x600/230	6255	70,2	153	20 ad. 477 cm	13,5
		VESTA 5x4x600/230 10x5x625/200	6350+-%1	77,5	159	20 ad. 314 cm	15,5
500	E= 640 B=1210 Y= 940	AKGÜN 5x5x600/230					
		VESTA 5x6x600/230 10x60x625/200	7645 7620	85,8 93	187 191,4	20 ad. 447 cm 20 ad. 314 cm	16,5 18,6
630	E= 640 B=1350 Y=1000	AKGÜN 10x6x800/230	10680	115,2	264	20 ad. 447 cm	24,6
		VESTA 10x7x800/200	10318-%3,4	115,5	273	20 ad. 314 cm	28
800	E= 680 B=1430 Y=1050	AKGÜN 10x7x800/230	12460	134,4	318	20 ad. 447 cm	28,7
		VESTA 12x7x800/200	12373-%0,7	138,6	327,6	20 ad. 377 cm	33,6

* E: En, B: Boy, Y: Yükseklik

BÖLÜM 3

KENDİ KENDİNE SOĞUYAN YAĞLI TRANSFORMATÖRLER

Kendi kendine soğuyan yağlı transformatörlerde, her zaman dalgalı ya da borulu kazan yüzeyi, ısının atılması için yeterli olmaz. Bu nedenle, transformatör kazanına radyatörler eklenir. Radyatör tiplerinin ve sayısının belirlenmesinde bir çok faktör söz konusudur. Aşağıdaki bölümlerde bu faktörler incelenmiştir.

3.1 Radyatör Seçimi

Radyatör seçimi yapabilmek için, ilk önce transformatörün ne kadar ısındığını bulmak gerekir. Bu hesapta dikkate alınması gereken noktalar [7]:

- 1) Yağın, VDE standartlarında izin verilen sıcaklık değerini aşmaması,
 - 2) Transformatörün maksimum kayıpları,
 - 3) Sargı sıcaklığının en büyük değeri,
 - 4) İşletme yeri,
 - 5) Yerleştirme yüksekliğinin 1000 m' nin üzerinde olması,
- durumlarıdır.

VDE standartlarına göre, A sınıfı izolasyon malzemesi kullanılan transformatörlerde, ısınmanın 60°C olmasına izin verilmektedir. Ancak, 5°C' lik bir tolerans söz konusu olup, ısınmanın 55°C' yi geçmemesi gerekir. Aksi takdirde sargı sıcaklığı izin verilen değerin üzerine çıkar.

Pratikte radyatör seçimi aşağıdaki şekilde yapılmaktadır:

$$w_{55} = \left(P_o + 1,06 P_{K75^{\circ}} \right) k_T \quad (3.1)$$

$$k_T = \frac{1}{\left(\frac{T_T}{55^{\circ}\text{C}} \right)^{0,8}} \quad (3.2)$$

w_{55} : Transformatörün 55 °C' de ısınmasına neden olan kayıp gücü [W]

P_o : Transformatörün boшта kayıpları [W]

$P_{K75^{\circ}}$: Transformatörün 75°C' deki yükte kayıpları [W]

T_T : Yağın transformatörün en sıcak noktasındaki değeri [°C]

k_T : Sıcaklık sabiti

Daha sonra kazanın çevreye verdiği ısı miktarı hesaplanır. Kazanın açık yüzeylerindeki ısı atışı 600 W/m², kapalı yüzeylerindeki ısı atışı da 350 W/m² olmak üzere (Şekil 1.4'den yararlanılarak):

$$P_T = 2 [(600 \times E \times Y) + (350 \times B \times Y)] \quad (3.3)$$

P_T : Kazanın çevreye verdiği toplam ısı miktarı [W]

E : Kazanın eni [m]

Y : Kazanın yüksekliği [m]

B : Kazanın boyu [m]

Radyatörlerden çevreye verilen ısı miktarını bulmak için:

$$P_R = W_{55} - P_T \quad (3.4)$$

P_R : Radyatörlerden çevreye verilen ısı miktarı [W]

Denklem (3.4)' de bulunan değere göre, Tablo 2.3' den uygun radyatör seçilir. Seçilen radyatörün uygunluğu soğutma faktöründen yararlanarak denetlenir:

$$r_k = k_1 k_2 \frac{1 + 5k_3}{\left(\frac{n}{2}\right)} \quad (3.5)$$

r_k : Soğutma faktörü

k_1, k_2, k_3 : Kötüleşme faktörleri

n : Radyatör grup sayısı

r_k soğutma faktörüne bağlı olarak seçilen radyatörün çevreye vermesi gereken ısı miktarı P_R' hesaplanır:

$$P_R' = r_k P_d n z \quad (3.6)$$

- P_R' : Seçilen radyatörün çevreye vermesi gereken ısı miktarı [W]
 P_d : Radyatörün bir diliminden çevreye verilen ısı miktarı [W/dilim]
 n : Radyatör grup sayısı
 z : Bir radyatör grubundaki dilim sayısı

Eğer P_R' değeri, P_R değerinden büyük çıkıyorsa, radyatör seçimi doğru yapılmış demektir.

3.2 Radyatörün Yerleştirilmesi

Isı transferinden bilindiği üzere, düşey bir yüzeydeki doğal konveksiyona bağlı olarak, genleşme katsayısı:

$$\beta = \frac{1}{\theta} \frac{v - v_o}{v} \quad (3.7)$$

- β : Genleşme katsayısı [$1/^\circ\text{C}$]
 θ : Sıcaklık [$^\circ\text{C}$]
 v : θ $^\circ\text{C}$ ' deki birim kütle başına hacim [m^3/kg]
 v_o : 0 $^\circ\text{C}$ ' deki birim kütle başına hacim [m^3/kg]

$$v = \frac{V}{m} = \frac{1}{\rho} \quad (3.8)$$

- V : Hacim [m^3]
 m : Kütle [kg]
 ρ : Yoğunluk [kg/m^3]

(3.8) no' lu denklem, (3.7) no' lu denklemde yerine konulursa:

$$\beta = \frac{1}{\theta} \left(\frac{v - v_o}{v} \right) = \frac{1}{\theta} \left(\frac{\frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho_o}}{\frac{1}{\rho}} \right) = \frac{1}{\theta} \frac{\rho - \rho_o}{\rho_o} \quad (3.9)$$

$$\gamma = \rho g \quad (3.10)$$

γ : Özgül ağırlık [N/m³]

ρ : Yoğunluk [kg/m³]

g : Yerçekimi ivmesi [N/kg] ($g = 9,81$ N/kg)

Denklem (3.10), (3.9)' da yerine konulursa:

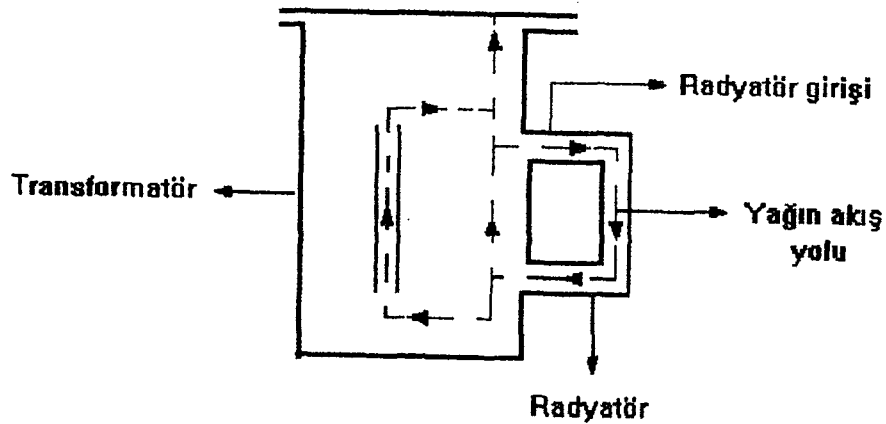
$$\beta = \frac{1}{\theta} \left(\frac{\frac{\gamma_o}{g} - \frac{\gamma}{g}}{\frac{\gamma_o}{g}} \right) = \frac{1}{\theta} \frac{\gamma_o - \gamma}{\gamma_o} = \frac{1}{\theta} \left(1 - \frac{\gamma}{\gamma_o} \right)$$

$$\gamma = \gamma_o (1 - \beta\theta) \quad (3.11)$$

Denklem (3.11)' den görüldüğü gibi, özgül ağırlık sıcaklıkla ters orantılı değişmektedir. Sıcaklık arttıkça, özgül ağırlık azalır; sıcaklık azaldıkça, özgül ağırlık artar. Bu durum transformatördeki yağın dolaşımında etkili olur. (Tablo 3.2' de sıcaklığa bağlı olarak, yoğunluk ve özgül ağırlığın değerleri verilmiştir.)

Termosifon prensibine göre, sargılar tarafından ısıtılan yağın sıcaklığı arttığı için, özgül ağırlığı düşer. Dolayısıyla yağ, sargılar arasındaki kanaldan yukarı doğru çıkar. Radyatöre giren sıcak yağ, radyatörün çevresindeki hava tarafından soğutulur. Buna bağlı olarak da sıcaklığı azalan yağın, özgül ağırlığı artar. ve yağ aşağı doğru akar. Soğutulmuş yağ radyatörden çıkarak, tekrar sargıya girer. Yağ dolaşımı bu şekilde devam eder.

Yağın dolaşım şekli, radyatörün yerleştirilmesinde etkili olur. Radyatör girişi, olabildiğince yağ yüzeyine ve kazan kapağına yakın olmalıdır. Aksi takdirde, Şekil 3.1' de görüldüğü gibi, sargılar tarafından ısıtılmış yağın özgül ağırlığı düşük olduğu için, yağ radyatör girişini geçip, yukarı doğru çıkar ve kazanın üst kısmında sıkışıp kalır [6], [10], [11], [12], [13], [14].

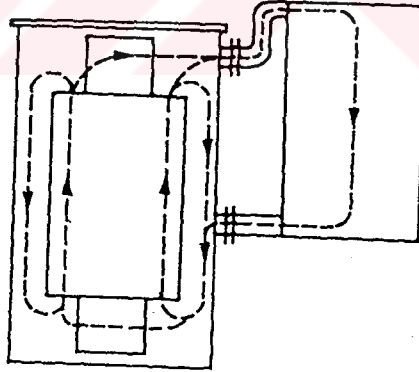


Şekil 3.1 Radyatör girişi, kazan kapağına yakın olmayan bir transformatörde yağın dolaşım yolu

3.3 Yağ Akış Yolu

Sargılar arasındaki yağ akış yolu, yatay ve dikey yağ kanallarıyla belirlenir. Dikey yağ kanallarının uygun şekilde düzenlenmesiyle, sınırlı ve tek yönlü akış, tepedeki ve dipteki sargı levha düzlemleri tarafından sınırlandırılan yağ kanallarında da elde edilebilir [15].

Şekil 3.2' de de görüldüğü gibi, ısınan yağın bir bölümü, kazan duvarları boyunca soğumaz. Bu paralel yol ihmal edilecektir. Çünkü pratikte, böyle paralel yollar boyunca dağıtılan ısı, radyatörlerin çevresine aktarılanın ancak %1 kaçına varabilir. Paralel yağ yolları, Şekil 3.2' de görülmektedir.



Şekil 3.2 Ana soğutma devresi ve yağın dolaşımı

Sargılar arasından geçen düz yağ kanallarının dört özel durumu vardır:

- 1) Akış yolu boyunca yağ, yağ yolunun birim uzunluğu başına olan, tahminen eşit ısıllı kanalların uzunlamasına iki kenarından oluşan sargılar tarafından ısıtılır.
- 2) Birbiri üzerine gelecek şekilde düzenlenmiş sargı levhaları, sıcaklığı yükseklikle artan yağ tarafından çevrelenmiştir. Bu sargı levhalarının yüzeyleri, onları çevreleyen yağın $\Delta\theta_s$ yüzey sıcaklık düşüşünü artıran sıcaklıktadır.
- 3) Sargı yalıtımı ve yağ arasındaki sınırlayıcı tabakanın ortalama sıcaklığı, sargıyı çevreleyen yağın (kanallarda akmakta olan yağın) sıcaklığından $\Delta\theta_s/2$ kadar daha büyüktür. Sınırlayıcı tabakanın yağ kütlesi, sargı boyunca olan yağın kütlesinin önemli bir kısmını temsil eder. Bu nedenle sınırlayıcı tabakanın ortalama sıcaklığı, akmakta olan yağ nedeniyle erişilen sıcaklığı, önemli bir şekilde etkiler.
- 4) Yağ akışının sınırlayıcı tabaka karakteri yerine, sargıyı terkeden yağın sıcaklığı, yağ kanallarının söz konusu düzenlemelerine ve bunların sık sık yön değiştirmesine bağlı olarak, iyi bir yaklaşıklıkla, aynı ve homojen olarak düşünülebilir.

Çekirdeğin dikey soğutma kanallarındaki yağ, iki yandaki ısınmış kanallara akar. Çekirdeğin köşelerinde ve bacalarda artan özel kayıpların çok farklı olmasına rağmen, bu kanal duvarlarının sıcaklıkları, sac düzlemine paralel iyi ısı iletkenliğine göre, akış yolu boyunca hemen hemen aynıdır. Bu akış, burdaki sınırlayıcı tabaka karakterine sahiptir.

3.4 Sıcaklık Eğrileri

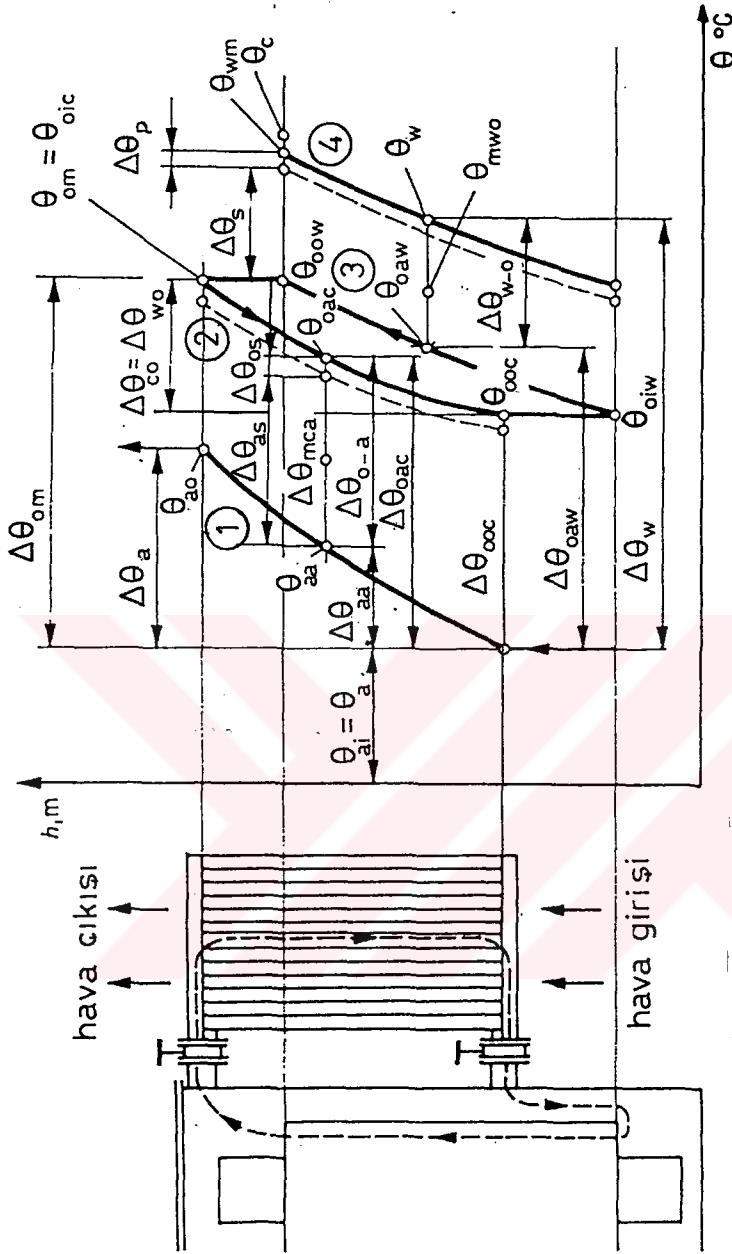
Şekil 3.3' de kendi kendine soğuyan yağlı bir transformatörde,

- 1) Kazandaki sargılar arasında ve radyatörde izlediği yola bağlı olarak yağın,
- 2) Dolaşım yapan yağ aracılığıyla soğutulan kazandaki sargıların,
- 3) Yağın radyatör çevresinde yaptığı doğal dolaşım ile soğutulmasında katkıda bulunan havanın,

çeşitli noktalardaki sıcaklıkları gösterilmiştir. Şekilde görülen sıcaklık değişimleri ise, bu üç grubun birbirlerini etkilemelerine bağlı olarak verilmiştir.

Şekil 3.3' deki sıcaklıklar, sıcaklık artışları ve sıcaklık değişimlerinin anlamları aşağıda gösterilmiştir:

- θ_{ai} : Giriş hava sıcaklığı ($\theta_{ai} = \theta_a$)
- θ_a : Çevredeki havanın sıcaklığı
- θ_{ao} : Çıkış hava sıcaklığı
- θ_{aa} : Ortalama hava sıcaklığı
- $\Delta\theta_a$: Radyatörün çevresindeki havanın sıcaklık farkı
($\Delta\theta_a = \theta_{ao} - \theta_a$)
- $\Delta\theta_{aa}$: Ortalama hava sıcaklığı farkı ($\Delta\theta_{aa} = \theta_{aa} - \theta_a$)
- θ_{ooc} : Radyatörden çıkan yağın sıcaklığı
- θ_{oac} : Radyatördeki yağın ortalama sıcaklığı
- θ_{oic} : Radyatöre giren yağın sıcaklığı



- Şekil 3.3**
- 1) Radyatör çevresindeki havanın sıcaklığının, radyatör yüksekliğinin fonksiyonu olarak değişimi
 - 2) Radyatör içindeki yağın sıcaklığının, radyatör yüksekliğinin fonksiyonu olarak değişimi
 - 3) Kazan içindeki yağın, sargı yüzeyindeki sıcaklığının, sargı yüksekliğinin fonksiyonu olarak değişimi
 - 4) Sargı ortalam üstü sıcaklığının, sargı yüksekliğinin fonksiyonu olarak değişimi

- θ_{om} : Maksimum yağ sıcaklığı ($\theta_{om} = \theta_{oic}$)
 $\Delta\theta_{om}$: Çevredeki havanın sıcaklığına bağlı olarak maksimum yağ sıcaklık farkı ($\Delta\theta_{om} = \theta_{om} - \theta_a$)
 $\Delta\theta_{co}$: Yağın radyatöre giriş ve çıkış sıcaklıkları arasındaki farkı ($\Delta\theta_{co} = \theta_{oic} - \theta_{ooc}$)
 $\Delta\theta_{as}$: Radyatör yüzeyinde, radyatörün çevresindeki ortalama hava sıcaklığı θ_{aa} nedeniyle oluşan yüzey sıcaklık düşüşü
 $\Delta\theta_{os}$: Yağda radyatör duvarı nedeniyle oluşan yüzey sıcaklık düşüşü
 $\Delta\theta_{mca}$: Radyatör çevresindeki havanın sıcaklığına bağlı olarak ortalama sınır tabaka sıcaklık farkı
 $\Delta\theta_{o-a}$: Radyatördeki yağın, havaya bağlı olarak ortalama logaritmik sıcaklık farkı
 $\Delta\theta_{oac}$: Radyatördeki yağın, çevredeki havanın sıcaklığına bağlı olarak ortalama sıcaklık farkı
 $(\Delta\theta_{oac} = \theta_{oac} - \theta_a)$
 θ_{oiw} : Yağın sargıya giriş sıcaklığı
 θ_{oaw} : Yağın sargıdaki ortalama sıcaklığı
 θ_{oow} : Yağın sargıdan çıkış sıcaklığı
 $\Delta\theta_{wo}$: Sargılardaki yağın giriş ve çıkış sıcaklıkları arasındaki fark ($\Delta\theta_{wo} = \Delta\theta_{co} = \theta_{oow} - \theta_{oiw}$)
 $\Delta\theta_s$: Yalıtım yüzeyinde dolaşım yapan yağ nedeniyle oluşan sıcaklık düşüşü
 $\Delta\theta_p$: Yalıtımdaki sıcaklık düşüşü
 θ_{mwo} : Sargılardaki yağın ortalama sınır tabaka sıcaklığı
 θ_{wm} : En üstteki sargı tabakasının ortalama sıcaklığı
 θ_c : Sargının en sıcak noktasının sıcaklığı
 (hot - spot)

- θ_w : Sargının ortam üstü ortalama sıcaklığı
 $\Delta\theta_{w-o}$: Sargının ortalama sıcaklığı ile yağın ortalama sıcaklığı arasındaki fark
 $\Delta\theta_w$: Çevredeki havanın sıcaklığına bağlı olarak sargıdaki ortalama sıcaklık farkı ($\Delta\theta_w = \theta_w - \theta_a$)

3.5 Kazan ve Radyatör İçinde Dolaşan Yağın Basınç Değişiminin Hesabı

Şekil 3.4 - a' da yağın dolaşımı kesik çizgilerle gösterilmiştir. Soğuk yağ A noktasında sargıya girer.

Sargılar arasındaki kanaldan yukarıya doğru ilerlerken, sargılar tarafından ısıtılır. B noktasında ısınmış yağ sargıları terkeder ve yukarı doğru ilerleyerek C noktasında radyatörlere girer. Radyatörlerde, radyatörlerin çevresindeki hava yardımıyla soğutulan yağ aşağıya doğru iner ve D noktasında radyatörleri terkeder. A noktasından yoluna devam ederek, dolaşımını bu şekilde sürdürür.

Şekil 3.4 - b' de görülmekte olan sıcaklıklar arasındaki bağıntılar aşağıda verilmiştir:

$$\Delta\theta_{oaw} = \theta_{oaw} - \theta_a \quad (3.12)$$

$$\Delta\theta_{oac} = \theta_{oac} - \theta_a \quad (3.13)$$

$$\Delta\theta_{o-a} = \theta_{o-a} - \theta_a \quad (3.14)$$

Literatürde $\Delta\theta_{o-a}$ ampirik olarak, aşağıdaki şekilde verilmektedir:

$$\Delta\theta_{o-a} = \frac{\Delta\theta_{co}}{\ln \frac{1}{1 - \frac{\Delta\theta_{co}}{\Delta\theta_{oic}}}} \quad (3.15)$$

Denklem (3.15)' deki $\Delta\theta_{oic}$ ve $\Delta\theta_{co}$ ' ya ait denklemler aşağıda verilmiştir:

$$\Delta\theta_{oic} = \Delta\theta_{om} = \theta_{oic} - \theta_a \quad (3.16)$$

$$\Delta\theta_{co} = \Delta\theta_{wo} = \Delta\theta_{oic} - \Delta\theta_{ooc} = \theta_{oic} - \theta_{ooc} \quad (3.17)$$

$$\Delta\theta_{ooc} = \theta_{ooc} - \theta_a \quad (3.18)$$

Yağın D noktasındaki sıcaklığı θ_{ooc} olup, A noktasındaki sıcaklığa eşittir. A noktasından itibaren yağ sargılar tarafından gittikçe ısıtıldığından, yağın sıcaklığı B noktasında θ_{oic} değerine kadar artar. Sargıları B noktasında terkeden yağ, C noktasına geldiğinde hâlâ aynı sıcaklığa sahiptir. Bu noktadan itibaren radyatöre girdiğinden, aşağıya doğru inerken sıcaklığı düşer ve D noktasında θ_{ooc} değerine sahip olur.

Şekil 3.4 - b' de görülen E noktasındaki yağın sıcaklığı θ_{oaw} olup, bu sıcaklık h_w sargı yüksekliği olmak üzere, $h_w/2'$ ye karşılık gelir. F noktasındaki yağın sıcaklığı ise θ_{o-a} 'dır.

E noktası ile F noktası arasındaki yükseklik:

$$h = h_1 + h_2 \quad (3.19)$$

kadardır.

Sargının A-B dik uzunluğu boyunca, sargının kayıplar nedeniyle oluşan P ısı miktarı yağa aktarılır. Bu ısı, özgül ısı c, yağın akış kütlesi ϕ olmak üzere, yağda $\Delta\theta_{wo}$ ' lık bir sıcaklık artışına yol açar.

$$P = c \phi \Delta\theta_{wo} \quad (3.20)$$

P : [W]

c : [J/kg°C]

ϕ : [kg/s]

$\Delta\theta_{wo}$: [°C]

P ısı miktarını eşit oranda yayabilmek için, özgül ısı c ihmal edilirse, $(\phi\Delta\theta_{wo})$ değerinin sabit olması istenir.

Şekil 3.4 - b' de θ - h koordinat sisteminde gösterilen A - B kısmı, uygulamada lineer olarak alınır. Karakteristik noktası E' dir. C - D kısmının karakteristik noktası ise, F' dir.

Daha önce Bölüm 3.2 de , yağın özgül ağırlığının sıcaklığa bağlı olduğu belirtilmişti:

$$\gamma = f(\theta) \quad (3.21)$$

Yağ aşağıya doğru akarken soğuduğu için, radyatörün her seviyesinde farklı sıcaklıklar söz konusudur. Bu sıcaklıklar için ayrı ayrı özgül ağırlığı bulmak mümkündür. Her bir seviyenin yüksekliği değiştiğine göre, özgül ağırlık, yüksekliğin de fonksiyonu olacaktır:

$$\gamma = f(h) \quad (3.22)$$

Sıcak ve soğuk yağın özgül ağırlıkları arasındaki fark, basınca neden olur. Şekil 3.4 - c' deki ABCDA alanı, bu basınçla orantılıdır. Denklem (3.22)' den yararlanılarak, basınç değişimi Δp olmak üzere:

$$\Delta p = \int \gamma (h) \quad (3.23)$$

Sıcaklık ve yüksekliğin fonksiyonu olarak basınç değişimi, denklem (3.21)' den de yararlanılarak, aşağıdaki şekilde gösterilebilir:

$$\Delta p = \gamma_k \beta_k \int \theta (h) d\theta \quad (3.24)$$

Faktör $(\gamma_k \beta_k)$, θ_{oac} radyatördeki yağın ortalama sıcaklığında, sıcaklığın her bir $^{\circ}\text{C}$ değişimi için, özgül ağırlığın değişimidir. Boyutu $\text{Nm}^{-3} \text{ } ^{\circ}\text{C}^{-1}$ dir.

$\Delta p = \gamma_k \beta_k \int \theta(h) d\theta$ olduğundan, $\Delta p'$ yi bulabilmek için, $\int \theta(h) d\theta$ ısı çevriminin alanını hesaplamak gerekir. Isı çevriminin alanını T ile gösterilecek olursa:

$$T = \int \theta(h) d\theta \quad (3.25)$$

E ve F noktaları arasındaki alandan:

$$T = (h_1 + h_2) \Delta\theta_{co} \quad (3.26)$$

Bu denklemde h_2 değerini hesaplamak gerekir. Bunun için de aşağıdaki tanım yapılır:

$$T_1 = h_r (\Delta\theta_{o-a} - \Delta\theta_{ooc}) \quad (3.27)$$

Burda h_r , radyatör uzunluğudur.

(3.17) no' lu denklem , (3.27) no' lu denklemde yerine konulursa:

$$T_1 = h_r (\Delta\theta_{o-a} + \Delta\theta_{co} - \Delta\theta_{oic}) \quad (3.28)$$

Şekil 3.4 - b' de CDGC alanını, eni θ_{co} , boyu $\left(\frac{h_r}{2} - h_2\right)$ olan dikdörtgenin alanına eşitlenirse:

$$\begin{aligned} T_1 &= \Delta\theta_{co} \left(\frac{h_r}{2} - h_2\right) \\ &= h_r (\Delta\theta_{o-a} + \Delta\theta_{co} - \Delta\theta_{oic}) \end{aligned} \quad (3.29)$$

$$\Delta\theta_{co} \frac{h_r}{2} - \Delta\theta_{co} h_2 = h_r \Delta\theta_{o-a} + h_r \Delta\theta_{co} - h_r \Delta\theta_{oic}$$

$$\frac{\Delta\theta_{co}}{\Delta\theta_{co}} h_2 = \frac{h_r \Delta\theta_{oic} - h_r \Delta\theta_{o-a} - \left(\frac{h_r}{2}\right) \Delta\theta_{co}}{\Delta\theta_{co}}$$

$$h_2 = h_r \left(\frac{\Delta\theta_{oic}}{\Delta\theta_{co}} - \frac{\Delta\theta_{o-a}}{\Delta\theta_{co}} - 0,5 \right) \quad (3.30)$$

Bu denklem, (3.26) no' lu denklemde yerine konulursa:

$$\begin{aligned} T &= (h_1 + h_2) \Delta\theta_{co} \\ &= \left[h_1 + h_r \left(\frac{\Delta\theta_{oic}}{\Delta\theta_{co}} - \frac{\Delta\theta_{o-a}}{\Delta\theta_{co}} - 0,5 \right) \right] \Delta\theta_{co} \end{aligned} \quad (3.31)$$

$$T = h_1 \Delta\theta_{co} + h_r (\Delta\theta_{oic} - \Delta\theta_{o-a} - 0,5 \Delta\theta_{co}) \quad (3.32)$$

Bu denklemden de:

$$\Delta p = \gamma_a \beta_a T \quad (3.33)$$

(3.32) no' lu denklem, (3.33)' de yerine konulursa:

$$\Delta p = \gamma_a \beta_a + h_1 \Delta\theta_{co} + h_r (\Delta\theta_{oic} - \Delta\theta_{o-a} - 0,5 \Delta\theta_{co}) \quad (3.34)$$

elde edilir.

Uygulamada basınç değişimi $\Delta p'$ nin büyük değerde olması istenir. Bunun nedeni transformatör tasarımından

kaynaklanmaktadır:

Transformatör tasarımında kuvvetler, aktif kısımlar boyunca akan yağın $\Delta\theta_{wo}$ sıcaklık farkı olabildiğince düşük kalacak şekilde hesaplanır. Burda amaç, yağın ortalama sıcaklık artışı $\Delta\theta_{oac}$ ile standartlar tarafından belirlenen yağın maksimum sıcaklık artışı arasındaki farkı en aza indirmektir. Böylece radyatörün $\Delta\theta_{o-a}$ ortalama logaritmik sıcaklık farkı azaltılabilir. Bu da daha düşük ağırlıkta ve daha ucuz radyatör demektir. Dolayısıyla $\Delta\theta_{wo}$ sıcaklık farkını küçültmek için, denklem (3.20) uyarınca, ϕ değerini yükseltmek gerekir. Yüksek ϕ değeri de, ya yağın akış kaybı azaltılarak ya da Δp değeri artırılarak sağlanabilir.

3.6 Akış Kütlesi, Sıcaklık Artışı ve Basınç Değişimi

P [W] sargıdaki kayıplar nedeniyle oluşan kayıp gücü, A_c [m²] ısı iletim yüzeyi olmak üzere:

$$q_c = \frac{P}{A_c} \quad (3.35)$$

q_c : Birim yüzeyden verilen ısı miktarı [W/m²]

Denklem (3.35) no' lu denklemde , P çekilecek olursa:

$$P = q A_c \quad (3.36)$$

(3.20) ve (3.36) no' lu denklemler birbirlerine eşitlenirse:

$$c_o \phi_o \Delta\theta_{wo} = q A_c$$

$$\Delta\theta_{wo} = \frac{q A_c}{c_o \phi_o} \quad (3.37)$$

$\frac{A_c}{c_o}$ katsayısı c_1 ile gösterilecek olursa:

$$\Delta\theta_{wo} = c_1 \frac{q}{\phi_o} \quad (3.38)$$

(3.19), (3.24) ve (3.26) no' lu denklemler kullanılarak:

$$\Delta p = h \gamma_o \beta \Delta\theta_{wo} \quad (3.39)$$

Burda da $(h \gamma_o \beta)$ sabiti c_2 ile gösterilirse:

$$\Delta p = c_2 \Delta\theta_{wo} \quad (3.40)$$

(3.38) no' lu denklem yerine konacak olursa:

$$\Delta p = c_2 c_1 \frac{q}{\phi_o}$$

$c_2.c_1$ çarpımı da c_3 ile gösterilecek olursa:

$$\Delta p = c_3 \frac{q}{\phi_o} \quad (3.41)$$

Bu basınç akan yağın hidrolik direncini yener. Düzgün akış söz konusu olmak üzere, akış kaybı sonucu oluşan basınç düşüşü: $(c_4 = c_3 \frac{q}{\phi_o^2})$

$$\Delta p = c_4 \phi_o \quad (3.42)$$

Yağ akışını bulmak için, (3.41) ve (3.42) no' lu denklemler birbirlerine eşitlenir:

$$c_3 \frac{q}{\phi_o} = c_4 \phi_o$$

Bu denklemden, ϕ_o çekilirse:

$$\phi_o^2 = \frac{c_3}{c_4} q$$

ϕ_o ' ın kare kökü alınırsa:

$$\phi_o = \sqrt{\frac{c_3}{c_4}} q$$

$c_5 = \sqrt{\frac{c_3}{c_4}}$ olmak üzere, ϕ_o 'a ait denklem aşağıdaki şekilde olur:

$$\phi_o = c_5 \sqrt{q} \quad (3.43)$$

Yağın sıcaklık artışını bulmak için, (3.43) no' lu denklemden yararlanılır:

$$\Delta\theta_{wo} = c_1 \frac{q}{\phi_o} = c_1 \frac{q}{c_5 \sqrt{q}} = \frac{c_1}{c_5} \sqrt{q}$$

$c_6 = \frac{c_1}{c_5}$ olmak üzere:

$$\Delta\theta_{wo} = c_6 \sqrt{q} \quad (3.44)$$

Yağ basıncı için:

$$\Delta p = c_2 \Delta\theta_{wo} = c_2 c_6 \sqrt{q}$$

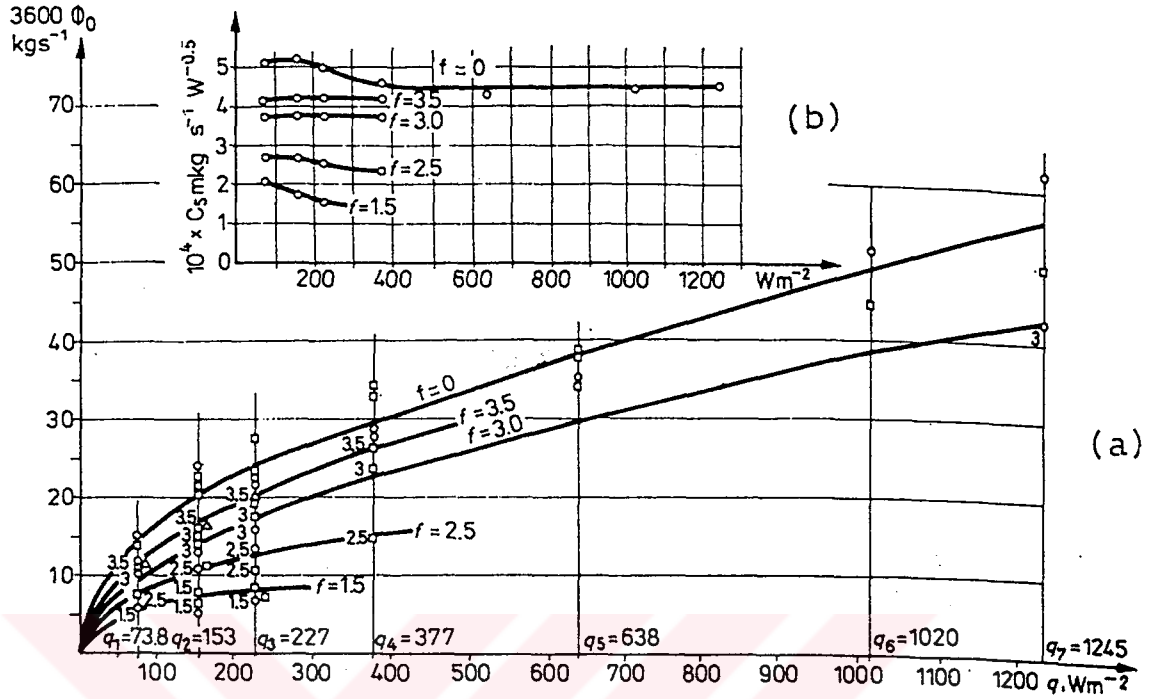
$c_7 = c_2 c_6$ olmak üzere:

$$\Delta p = c_7 \sqrt{q} \quad (3.45)$$

Şekil 3.5 - a' da $\phi_o = c_5 \sqrt{q}$ denklemine ait eğri grubu, Şekil 3.5 - b' d ise $c_5=f(q)$ denklemine ait eğri grubu görülmektedir. Ölçümler model sargı üzerinde gerçekleştirilmiştir.

Şekil 3.5' de akış devresinin direncini değiştirmek için valf anahtarı kullanılmıştır. Diyagramda parametre olarak kullanılan f , valf anahtarını el tekerleği ile döndürme sayısıdır. Yani f , valfın kısılma miktarıdır. diyagram, $c_5=f(q)$ ' ya aittir.

$c_5=f(q)$ ' ya ait diyagramdan belli bir f değeri için , çeşitli q değerlerindeki, c_5 değerleri okunur. Okunan



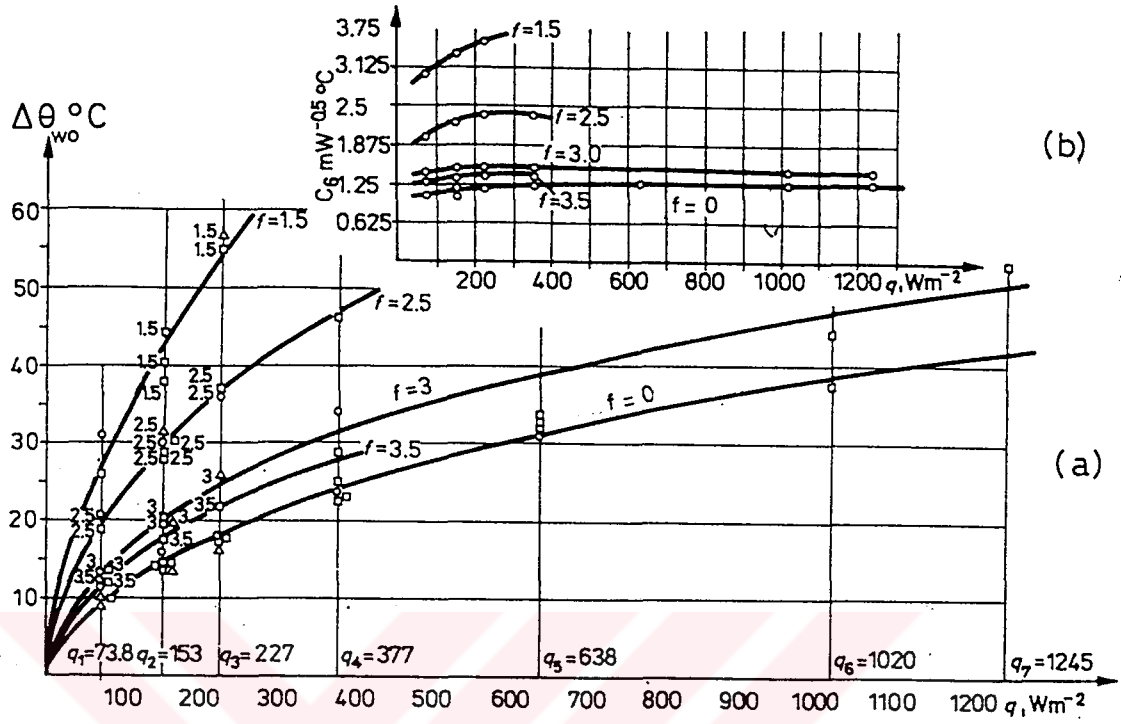
Şekil 3.5 a) $\Phi_0 = c_5 \sqrt{q}$ eğrisi b) $c_5 = f(q)$ eğrisi

konusu f değerine ait Φ_0 eğrisi bulunur. Yeni bir f değeri için, aynı işlemler tekrarlanılarak, Şekil 3.5 - a' daki eğri grubu elde edilir. Pratikte, uygun q değerleri için c_5 yaklaşık olarak sabit kabul edilebilir.

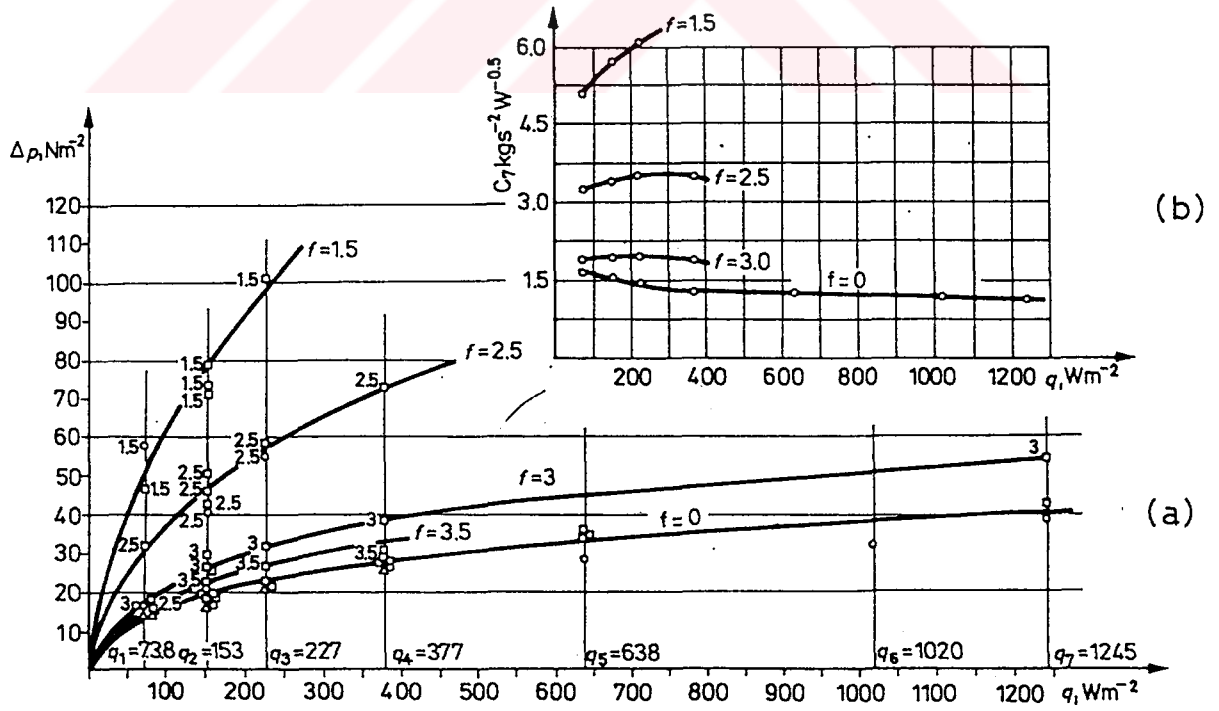
Şekil 3.6 - a' da $\Delta\theta_{w0} = c_6 \sqrt{q}$ denkleminin akış direncine, yani parametre olarak alınan valfin kısılma ölçüsüne bağlı olan diyagram gösterilmiştir.

Şekil 3.7 - a' da da yine deneysel verilere dayanan $\Delta p = c_7 \sqrt{q}$ ya ait diyagram gösterilmiştir. Burda da q' nun fonksiyonu olarak, valfin kısılma ölçüsü alınmıştır.

Söz konusu üç diyagramda da c_5 , c_6 , ve c_7 , $q = 1000 \text{ W/m}^2$ civarında sabit olarak kabul edilebilir.



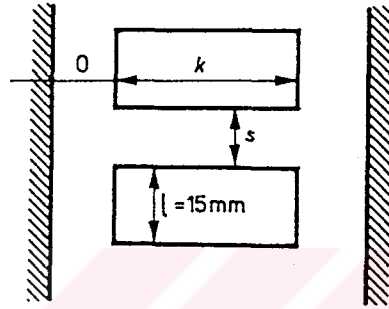
Şekil 3.6 a) $\Delta\theta_{w0} = c_6 \sqrt{q}$ eğrisi b) $c_6 = f(q)$ eğrisi



Şekil 3.7 a) $\Delta p = c_7 \sqrt{q}$ eğrisi b) $c_7 = f(q)$ eğrisi

Bu ölçümler üç farklı sargı düzenlemesi ile gerçekleştirilmiştir. (Bkz. Şekil 3.8) Diyagramlarda daire (o) ile işaretlenmiş ölçüm noktaları için sargı düzenlemesinin karakteristik boyutları:

$$s = 20\text{mm} \quad k = 50\text{ mm} \quad o = 15\text{ mm}$$



- o : Sargının çekirdeğe olan uzaklığı
- l : Sargının yüksekliği (15 mm)
- k : Sargının genişliği
- s : İki sargı arasındaki uzaklık

Şekil 3.8 Deneylerde kullanılan sargıların boyutları

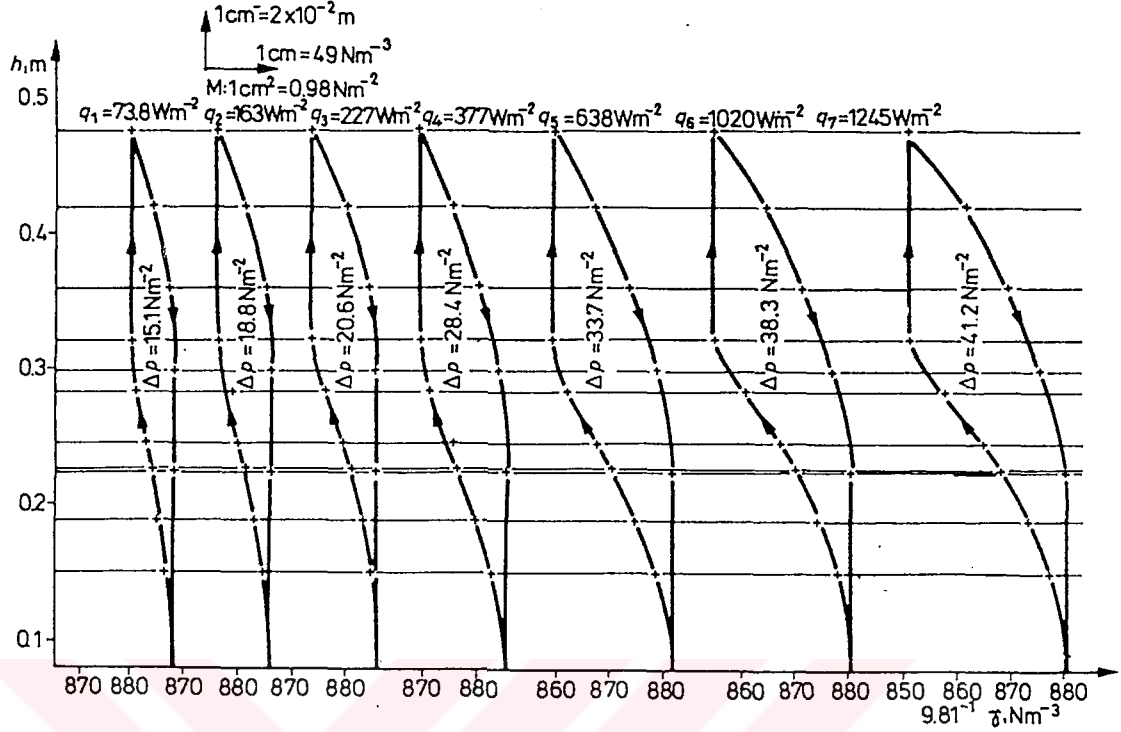
Çarpı (x) ile işaretlenmiş ölçüm noktaları için:

$$s = 4\text{ mm} \quad k = 40\text{ mm} \quad o = 5\text{ mm}$$

Üçgen (Δ) ile işaretlenmiş ölçüm noktaları için:

$$s = 10\text{ mm} \quad k = 30\text{ mm} \quad o = 10\text{ mm}$$

Şekil 3.9' da karakteristik boyutları $s = 40\text{ mm}$, $k = 40\text{ mm}$, $o = 5\text{ mm}$ olan sargı düzenlemesi için basınç alanı, birim yüzeyden verilen ısı miktarının fonksiyonu, yani $\Delta p = f(q)$ olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.9 Birim transfer alanı başına ısı akısının fonksiyonu olan basınç alanları

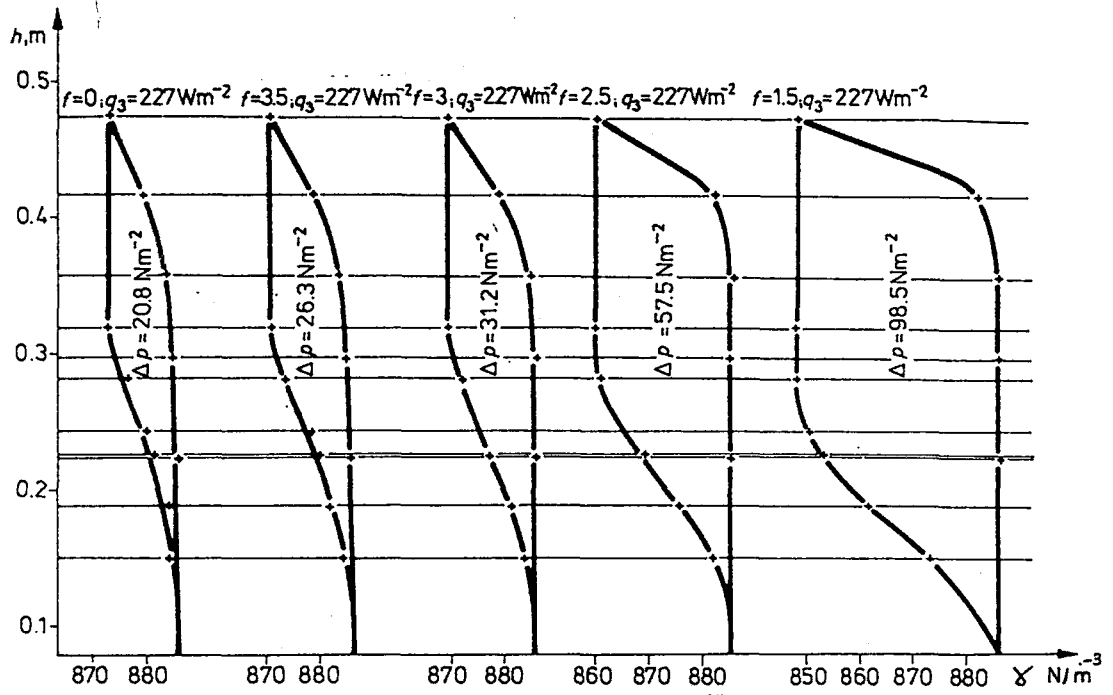
Birim yüzeyden verilen ısı miktarı değerleri:

$$q_1 = 73,8 \quad q_2 = 163 \quad q_3 = 227 \quad q_4 = 377 \quad q_5 = 638$$

$$q_6 = 1020 \quad q_7 = 1245 \quad \text{W/m}^2$$

Şekil 3.10' da basınç alanı q birim yüzeyden verilen ısı miktarı olmak üzere, $q = 227 \text{ W/m}^2$ için valfin kısılma ölçüsüne bağlı olarak gösterilmiştir.

Görüldüğü gibi akış direnci arttıkça, basınç değişimi artmaktadır. Buna bağlı olarak denklem (3.39) dolayısıyla, $\Delta\theta_{wo}$ da artmaktadır.

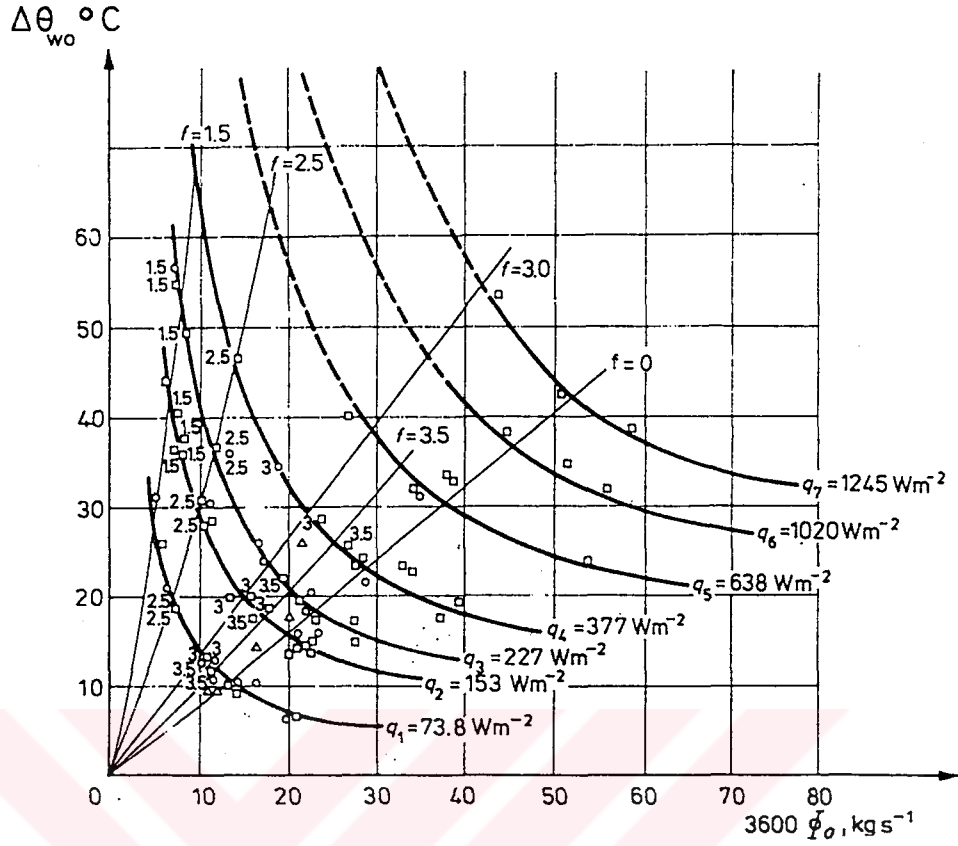


Şekil 3.10 Kısılma ölçüsünün fonksiyonu olarak basınç alanı

Şekil 3.11' de $\Delta\theta_{wo} = c_1 \frac{q}{\phi_o}$ denklemi için elde edilen deneysel sonuçlar gösterilmiştir. Çalışma noktaları q ve valfin sıkılma ölçüsü f için elde edilmiştir. Her bir çalışma noktası q =sabit ve f =sabit değerleri için çizilmiş eğrilerin kesişme noktalarıdır.

Diyagramdan da anlaşılacağı gibi, $\Delta\theta_{wo}$ değeri aslında sistemin, özellikle de radyatörün akış direncinden etkilenmektedir.

Bölüm 3.5' de anlatıldığı şekilde amaç $\Delta\theta_{wo}$ ' ı olabildiğince düşük tutmaktır. Bunun için de akış direncini azaltmak gerekir. Çünkü bu durumda ϕ_o artacak ve bu da $\Delta\theta_{wo} = c_1 \frac{q}{\phi_o}$ denklemi uyarınca $\Delta\theta_{wo}$ ' ın azalmasına yol açacaktır.



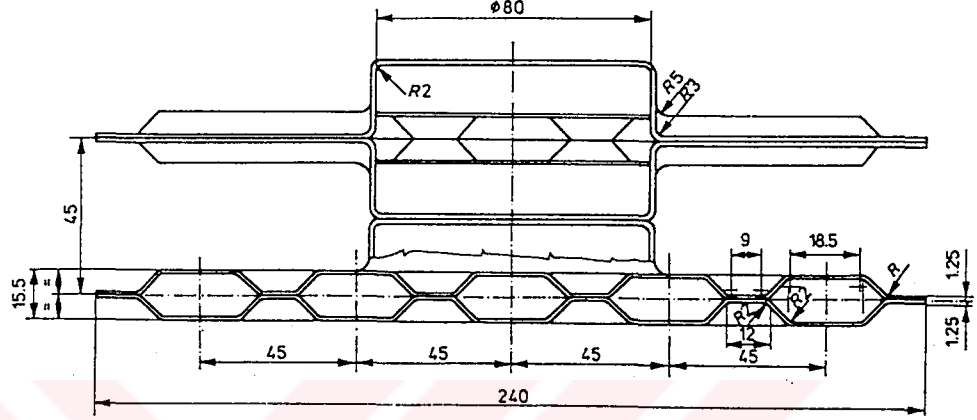
Şekil 3.11 $\Delta\theta_{w0} = c_1 \frac{q}{\phi_o}$ eğrisi

Sargıların akış direnci çok zor değiştirilebilir. Ancak çok dar kanallar ya da dar giriş yolu gibi yapısal yetersizlikler, yüksek akış direncine yol açabilir. Uygun konstrüksiyon tasarımında, sargıların akış direnci düşük bağlı değerinden dolayı ilk yaklaşımda ihmal edilebilir.

3.7 Bir Radyatör Diliminin Karakteristik Değerleri ve Radyatördeki Yağın Akış Hızının Hesabı

Bir radyatörün yüzey sıcaklık düşüşünü hesaplayabilmek için (Bkz. Bölüm 3.8) öncelikle, radyatörden akan yağın, akış hızının bulunması gerekir.

Bir radyatör diliminin iç kısmı ikizkenar yamuk şeklinde yağ kanallarından oluşur. Şekil 3.12' de beş yağ kanallı bir radyatör diliminin kesiti görülmektedir.



Şekil 3.12 Beş yağ kanallı radyatör diliminin kesiti

Buna göre toplam giriş çıkış alanları:

$$A_o = s_k A \quad (3.46)$$

A_o : Toplam giriş çıkış alanı [m^2]

s_k : Bir radyatör dilimindeki yağ kanalı sayısı

A : Tek bir yağ kanalının dörtte bir kesiti [m^2]

Hidrolik çap:

$$d_h = \frac{4A}{u} \quad (3.47)$$

d_h : Hidrolik çap [m]

u : Tek bir yağ kanalının çevresi [m]

Yağ kanallarının toplam alanı:

$$A_{co} = s_k u h_r \quad (3.48)$$

A_{co} : Yağ kanallarının toplam alanı [m^2]

İletim süresince her bir radyatör diliminden havaya aktarılan ısı miktarı:

$$P_a = q_a A_{ca} \quad (3.49)$$

P_a : Radyatörün havayla temas eden yüzeylerinden dağıtılan ısı miktarı [W]

q_a : Havayla temas eden birim yüzeyden konveksiyonla verilen ısı miktarı [W/m^2]

A_{ca} : Bir radyatör diliminin havayla temas eden yüzeyi [m^2]

P_a ile aynı miktarda ısının yağa da aktarılması gerektiğinden:

$$P_a = P_o \quad (3.50)$$

$$P_o = q_o A_{co} \quad (3.51)$$

P_o : Radyatörün yağla temas eden yüzeylerinden verilen ısı miktarı [W]

q_o : Yağla temas eden birim yüzeyden verilen ısı miktarı [W/m^2]

Denklem (3.49), (3.50) ve (3.51)' den yararlanılarak:

$$q_o A_{co} = q_a A_{ca}$$

$$q_o = \frac{A_{ca}}{A_{co}} q_a \quad (3.52)$$

Görüldüğü gibi, yağla temas eden birim yüzeyden verilen ısı miktarı q_o ve havayla temas eden birim yüzeyden verilen ısı miktarı q_a , yüzeylerle orantılıdır.

Radyatöre giren ve çıkan yağın ısısı ile çıkış yağı arasındaki fark, yağ yanı yüzeyi boyunca, radyatör duvarına ve soğutma havasına aktarılan ısı miktarına eşittir. Dolayısıyla Şekil 3.3' den de yararlanılarak:

$$\Delta\theta_{oac} = \theta_{oac} - \theta_a = \Delta\theta_{ooc} + \frac{\Delta\theta_{co}}{2}$$

$$\theta_{oac} = \theta_a + \Delta\theta_{ooc} + \frac{\Delta\theta_{co}}{2} \quad (3.53)$$

ρ [kg/m³] yağ yoğunluğu, c [J/kg°C] özgül ısı ve w [m/s] yağın akış hızı olmak üzere güç dengesinden yararlanılarak:

$$P_a = P_o = w A_o \rho c \Delta\theta_{co}$$

Buradan da gerekli yağ hızı:

$$w = \frac{P_o}{A_o \rho c \Delta\theta_{co}} \quad (3.54)$$

olarak bulunur.

Buradan da gerekli olan p ve c değerleri Tablo 3.2' den elde edilebilir. Tablo 3.3' de ise Şekil 3.13' e bağlı olarak, uzunluğu 0,915 m' den 2,44 m' ye kadar olan radyatörler için karakteristik ölçüler verilmiştir.

3.8 Yağ ile Temas Eden Yüzeylerin Isı Transfer

Katsayısının ve Yüzey Sıcaklık Düşümünün Hesabı

Yağ kanallarındaki yağın akışı, düzgün akış (laminer akış) şeklindedir. Yağ, daha önce de anlatıldığı gibi, kapalı devre eğrisinin alanı ile gösterilen basınç nedeniyle devrede korunur. Bu durumda yağ ile temas eden yüzeylerin ısı transfer katsayısı hesaplamak için aşağıdaki formülden yararlanılır:

$$Nu_m = 0,85 \times 0,74 Re_m^{0,2} (Gr \times Pr)_m^{0,2} Pr_m^{0,2} \quad (3.55)$$

Nu_m : Nusselt sayısı

Re_m : Reynolds sayısı

Gr_m : Grashof sayısı

Pr_m : Prandtl sayısı

$$Re_m = \frac{w d_{ho}}{v_m} \quad (3.56)$$

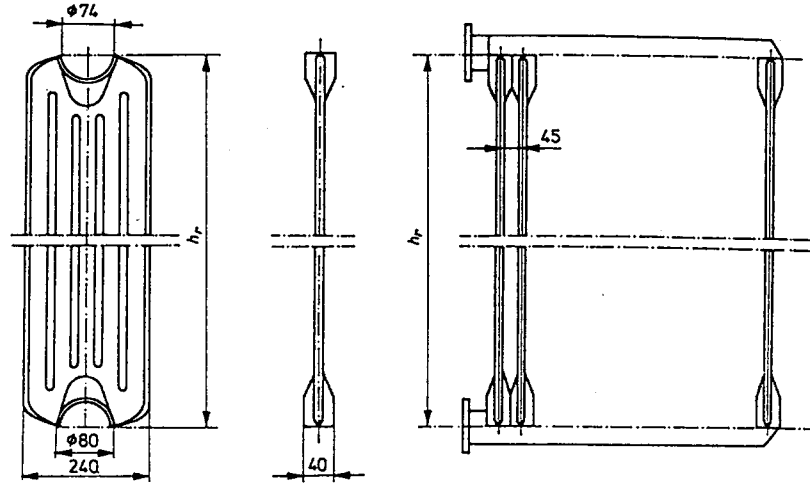
w : Yağın akış hızı [m/s]

d_{ho} : Bir yağ kanalının hidrolik çap [m]

v_m : Kinematik viskozite [m²/s]

Tablo 3.2 Transformatör yağının çeşitli sıcaklıklardaki fiziksel özellikleri

Sıcaklık θ ($^{\circ}\text{C}$)	Yoğunluk ρ (kgm^{-3})	Özgül ısı c ($\text{Wskg}^{-1}\text{C}^{-1}$)	Isıl iletkenlik λ ($\text{Wm}^{-1}\text{C}^{-1}$)	Genleşme katsayısı β (C^{-1})	Kinematik viskozite ν_m (m^2s^{-1})	Prandtl sayısı P_r
-15	902	1700	0,1341	$6,20 \times 10^{-4}$	450×10^{-6}	5130
-10	899	1720	0,1337	$6,35 \times 10^{-4}$	290×10^{-6}	3340
-5	896	1740	0,1333	$6,40 \times 10^{-4}$	180×10^{-6}	2100
0	893	1764	0,1330	$6,55 \times 10^{-4}$	120×10^{-6}	1419
5	890	1785	0,1326	$6,70 \times 10^{-4}$	85×10^{-6}	1016
10	887	1805	0,1322	$6,80 \times 10^{-4}$	62×10^{-6}	749
15	884	1825	0,1318	$6,90 \times 10^{-4}$	45×10^{-6}	549
20	882	1848	0,1314	$7,00 \times 10^{-4}$	35×10^{-6}	433
25	879	1870	0,1310	$7,15 \times 10^{-4}$	27×10^{-6}	337
30	876	1890	0,1306	$7,25 \times 10^{-4}$	21×10^{-6}	265
35	873	1910	0,1303	$7,40 \times 10^{-4}$	17×10^{-6}	217
40	870	1930	0,1299	$7,50 \times 10^{-4}$	14×10^{-6}	180
45	867	1950	0,1295	$7,65 \times 10^{-4}$	$11,5 \times 10^{-6}$	150
50	864	1975	0,1291	$7,75 \times 10^{-4}$	$9,7 \times 10^{-6}$	127
55	861	1995	0,1287	$7,80 \times 10^{-4}$	$8,2 \times 10^{-6}$	108
60	858	2015	0,1283	$7,90 \times 10^{-4}$	$7,0 \times 10^{-6}$	93,9
65	855	2040	0,1280	$7,90 \times 10^{-4}$	$6,1 \times 10^{-6}$	82,7
70	852	2060	0,1276	$7,95 \times 10^{-4}$	$5,4 \times 10^{-6}$	74
75	849	2080	0,1272	$7,95 \times 10^{-4}$	$4,7 \times 10^{-6}$	65
80	847	2100	0,1268	$7,95 \times 10^{-4}$	$4,2 \times 10^{-6}$	58,7
85	844	2120	0,1264	$8,00 \times 10^{-4}$	$3,8 \times 10^{-6}$	53,6
90	841	2140	0,1260	$8,00 \times 10^{-4}$	$3,5 \times 10^{-6}$	49,8
95	838	2160	0,1257	$8,00 \times 10^{-4}$	$3,2 \times 10^{-6}$	46
100	835	2180	0,1253	$8,00 \times 10^{-4}$	$3,0 \times 10^{-6}$	43,5



Şekil 3.13 Radyatörlerin karakteristik boyutları

Tablo 3.3 Bir radyatör diliminin hidrolik karakteristikleri *

h_r (m)	m_r (kg)	$V_o \cdot 10^{-3}$ (m ³)	$A_o \cdot 10^{-3}$ (m ²)	A_{co} (m ²)	A_{ca} (m ²)	$d_{ho} \cdot 10^{-2}$ (m)	$A_a \cdot 10^{-3}$ (m ²)	$d_{ha} \cdot 10^{-2}$ (m)	b (m)	s_r (m)
0,915	4,32	1,620		0,369	0,478					
1,190	5,60	2,107		0,480	0,622					
1,640	7,72	2,904	1,771	0,661	0,858	1,76	8,43	6,44	0,240	0,045
1,965	9,25	3,480		0,792	1,028					
2,440	11,50	4,321		0,983	1,276					

- * h_r : Radyatörün yüksekliği
 m_r : Yağla birlikte radyatörün kütlesi
 V_o : Yağın dörtte bir akış kesiti
 A_{co} : Yağ yanı konveksiyon yüzeyi
 A_{ca} : Hava yanı konveksiyon yüzeyi
 d_{ho} : Bir yağ kanalının hidrolik çapı
 A_a : İki radyatör dilimi arasındaki hava kanalının dörtte bir alanı
 d_{ha} : İki radyatör dilimi arasındaki hava kanalının hidrolik çapı
 b : Radyatör diliminin genişliği
 s_r : İki radyatör diliminin merkez hatları arasındaki uzaklık

$$Gr_m = \frac{\beta_m g d_{ho}^3 \Delta\theta_{os}}{v_m^2} \quad (3.57)$$

β_m : Genleşme katsayısı [$1/^\circ C$]

g : Yerçekimi ivmesi [N/kg]

$\Delta\theta_{os}$: Yağda radyatör duvarı nedeniyle oluşan yüzey sıcaklık düşüşü [$^\circ C$]

$$Pr_m = \frac{\rho c v_m}{\lambda_m} \quad (3.58)$$

λ_m : [$Wm^{-1} ^\circ C^{-1}$]

v_m , β_m , Pr_m , c_m , ρ_m ve λ_m değerleri θ_m ortalama sınır tabaka sıcaklığına bağlı olarak Tablo 3.2' den elde edilebilir.

$$\theta_m = \theta_{oac} - \frac{\Delta\theta_{os}}{2} \quad (3.59)$$

Isı transfer katsayısının formülü aşağıda verilmiştir:

$$\alpha = Nu_m \frac{\lambda_m}{d_{ho}} \quad (3.60)$$

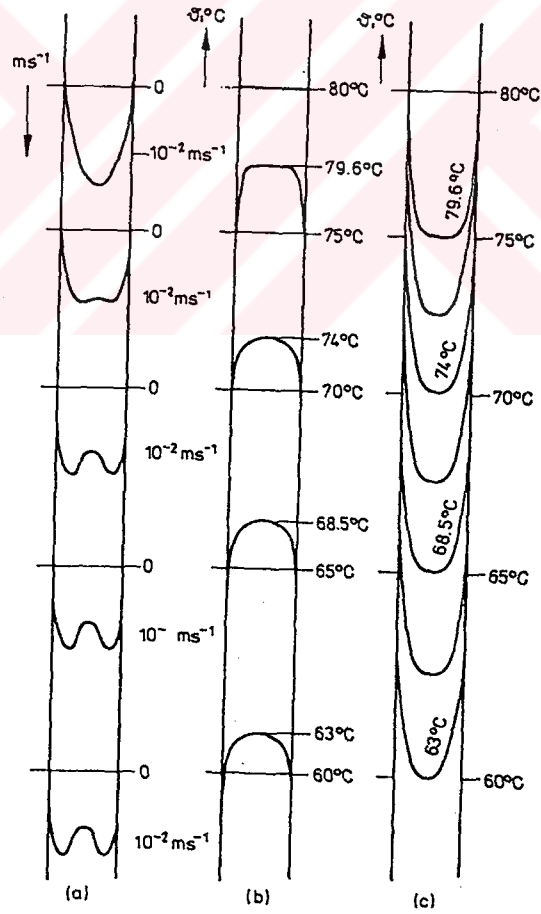
α : [$Wm^{-2} ^\circ C^{-1}$]

Böylece ısı transfer katsayısı, (3.55) no' lu denklemden bulunan Nusselt sayısı, Tablo 3.2' den ve Tablo 3.3' den okunan λ_m ve d_h değerlerinin, (3.60) no' lu denklemde yerleştirilmesiyle bulunur.

Bulunan ısı transfer katsayısı $\Delta\theta_{os}$ değeri ile çarpılarak q birim yüzeyden verilen ısı miktarı hesaplanarak, kontrol edilir.

$$q = \alpha \Delta\theta_{os} \quad (3.61)$$

$\Delta\theta_a = 20^\circ\text{C}$ $\Delta\theta_{co} = 20^\circ\text{C}$ $\Delta\theta_{oac} = 70^\circ\text{C}$ ve radyatör uzunluğu 2 m olmak üzere, doğal yağ akışlı ve doğal hava soğutmalı durum için, sıcaklık profilleri ve eş sıcaklık eğrileri Şekil 3.14' de gösterilmiştir.



Şekil 3.14 a) Akış hızları b) Sıcaklıklar c) Radyatörde soğutulmuş yağın eşsıcaklığı

Radyatörün giriş noktasında hız eğrisi paraboliktir ve sıcaklık bu noktada henüz dağılmamış olduğu için eğri, düz bir çizgi şeklindedir. Yağ aşağıya doğru akarken, hız profili sürekli değişerek, parabol şeklinden, düzensiz ikizkenar yamuk şekline dönüşür.

Sıcaklık eğrisi düzken, önce ikizkenar yamuğa, en son olarak da yarım daireye dönüşür. Eğriler çizilirken, yağın viskozitesi, viskozitenin sıcaklığa çok bağlı olduğu ve yağın zayıf ısı iletkenliği gözönüne alınmalıdır.

Yüzey sıcaklık düşüşünün hesabına gelince:

$$\begin{aligned} P_o &= q_o A_{co} = \alpha A_{co} \Delta\theta_{os} \\ &= w A_o \rho c \Delta\theta_{co} \end{aligned} \quad (3.62)$$

$$\alpha = \frac{P}{A_{co} \Delta\theta_{os}} \quad (3.63)$$

$$w = \frac{P}{A_o \rho c \Delta\theta_{co}} \quad (3.64)$$

(3.55) no' lu denklem, (3.60) no' lu denklemde yerine konulursa:

$$\alpha = Nu_m \frac{\lambda_m}{d_{ho}}$$

$$= 0,85 \times 0,74 \operatorname{Re}_m^{0,2} (\operatorname{Gr} \times \operatorname{Pr})_m^{0,1} \operatorname{Pr}_m^{0,2} \frac{\lambda_m}{d_{ho}}$$

Denklem (3.56), (3.57) ve (3.58)' den de yararlanılarak:

$$\alpha = 0,85 \times 0,74 \left(\frac{w^{0,2} d_{ho}^{0,2}}{v_m^{0,2}} \right) \left(\frac{\beta_m g d_{ho}^{0,3} \Delta\theta_{os}}{v_m^2} \right)^{0,1} \operatorname{Pr}_m^{0,3} \frac{\lambda_m}{d_{ho}}$$

$$\alpha = 0,85 \times 0,74 \left(\frac{w^{0,2}}{v_m^{0,4}} \right) d_{ho}^{-0,5} (\beta_m g \Delta\theta_{os})^{0,1} \left(\frac{\rho c v_m}{\lambda_m} \right)^{0,3} \lambda_m$$

$$\alpha = 0,85 \times 0,74 d_{ho}^{-0,5} (\rho c)^{0,3} \left(\frac{\beta g}{v} \right)^{0,1} \lambda^{0,7} w^{0,2} \Delta\theta_{os}^{0,1} \quad (3.65)$$

(3.63) no' lu denklemden:

$$\frac{P}{A_{co} \Delta\theta_{os}} = 0,85 \times 0,74 d_{ho}^{-0,5} (\rho c)^{0,3} \left(\frac{\beta g}{v} \right)^{0,1} \lambda^{0,7} w^{0,2} \Delta\theta_{os}^{0,1}$$

$$\Delta\theta_{os}^{1,1} = \frac{P}{0,85 \times 0,74 d_{ho}^{-0,5} (\rho c)^{0,3} \left(\frac{\beta g}{v} \right)^{0,1} \lambda^{0,7} w^{0,2} A_{co}} \quad (3.66)$$

(3.64) no' lu denklemden:

$$w^{0,2} = \frac{P^{0,2}}{A_o^{0,2} (\rho c)^{0,2} \Delta\theta_{co}^{0,2}}$$

$$\Delta\theta_{os}^{1,1} = \frac{1}{0,85 \times 0,74 d_{ho}^{-0,5} (\rho c)^{0,3} \left(\frac{\beta g}{v}\right)^{0,1} \lambda^{0,7} \left(\frac{P^{0,2}}{A_o^{0,2} (\rho c)^{0,2} \Delta\theta_{co}^{0,2}}\right)^{A_{co}}}$$

$$= \left(\frac{A_o^{0,2} \Delta\theta_{co}^{0,2} d_{ho}^{0,5}}{0,85 \times 0,74 A_{co} g^{0,1}}\right) \left(\frac{v}{\rho \beta c}\right)^{0,1} \left(\frac{1}{\lambda^{0,7}}\right) P^{0,8} \quad (3.67)$$

K_1 sıcaklıktan bağımsız faktörler bütünü olmak üzere:

$$K_1 = \left(\frac{A_o^{0,2} \Delta\theta_{co}^{0,2} d_{ho}^{0,5}}{0,85 \times 0,74 A_{co} g^{0,1}}\right) \quad (3.68)$$

B_1 sıcaklığı bağlı faktörler bütünü olmak üzere:

$$B_1 = \left(\frac{v}{\rho \beta c}\right)^{0,1} \left(\frac{1}{\lambda^{0,7}}\right) P^{0,8} \quad (3.69)$$

Yağla temas eden yüzeylerdeki, yüzey sıcaklık düşüşü:

$$\Delta\theta_o^{1,1} = K_1 \times B_1 \times P^{0,8} \quad (3.70)$$

$$\Delta\theta_{os} = (K_1 B_1)^{0,91} P^{0,727} \quad (3.71)$$

Tablo 3.4' de θ_m ortalama sınırlandırıcı tabaka sıcaklığının 40°C' den 100°C' ye kadar olan değerleri için, B_1 değerleri liste hâlinde verilmiştir. Tablo 3.5 ve Tablo 3.6' dan θ_m ' nin fonksiyonu olarak, her biri P ' nin iki farklı değeri için hesaplanan $\Delta\theta_{os}$ değerlerine ve

h_r' nin farklı iki değerine bağlı olarak K_1B_1 ve $(K_1B_1)^{0,91}$ değerleri yer almaktadır. Şekil 3.15-a ve b deki diyagramlar, tablodaki bilgilere dayanılarak ve $\Delta\theta_{co} = 20^\circ\text{C}$ için çizilmiştir. Şekil 3.15 - a' daki $\Delta\theta_{os}$ değeri, aynı P değerinde, Şekil 3.15 - b' deki $\Delta\theta_{os}$ değerinden daha küçüktür.

Tablo 3.4 θ_m sıcaklığına bağlı olarak, B_1 değerleri

θ_m ($^\circ\text{C}$)	B_1 ($\text{m}^{1,2} \text{ } ^\circ\text{C}^{0,9} \text{ W}^{0,8} \text{ s}^{-0,2}$)
40	0,668
50	0,645
60	0,623
70	0,610
80	0,596
90	0,587
100	0,582

Tablo 3.5 $h_r=0,915\text{m}$ boyundaki radyatörün θ_m ve $\Delta\theta_{os}$ değerine bağlı olarak, $P=100\text{ W}$ ve $P=500\text{ W}$ için K_1B_1 ve $(K_1B_1)^{0,91}$ değerleri

θ_m ($^\circ\text{C}$)	K_1B_1 ($^\circ\text{C}^{1,1} \text{ W}^{0,8}$)	$(K_1B_1)^{0,91}$ ($^\circ\text{C W}^{0,727}$)	P (W)	$\Delta\theta_{os}$ ($^\circ\text{C}$)	P (W)	$\Delta\theta_{os}$ ($^\circ\text{C}$)
40	0,1558	0,1842		5,24		16,88
50	0,1504	0,1784		5,07		16,35
60	0,1453	0,1728		4,92		15,84
70	0,1423	0,1695	100	4,82	500	15,54
80	0,1390	0,1660		4,72		15,21
90	0,1369	0,1637		4,66		15,08
100	0,1357	0,1624		4,62		14,88

Tablo 3.6 $h_r=2,44$ m boyundaki radyatörün θ_m ve $\Delta\theta_{ss}$ değerine bağlı olarak, $P=100$ W ve $P=1000$ W için K_1B_1 ve $(K_1B_1)^{0,91}$ değerleri

θ_m (°C)	K_1B_1 (°C ^{1,1} W ^{-0,9})	$(K_1B_1)^{0,91}$ (°C W ^{-0,727})	P (W)	$\Delta\theta_{ss}$ (°C)	P (W)	$\Delta\theta_{ss}$ (°C)
40	0,0585	0,0755		2,15		11,45
50	0,0565	0,0731		2,08		11,09
60	0,0545	0,0709		2,02		10,74
70	0,0534	0,0695	100	1,98	1000	10,54
80	0,0522	0,0681		1,94		10,33
90	0,0514	0,0671		1,91		10,18
100	0,0510	0,0666		1,89		10,10

(3.62) no' lu denklemden görüleceği gibi, $\Delta\theta_{ss}$, w ile ters orantılı olarak değişmektedir. Bu da P' nin aynı değerleri için, $h_r = 2,44$ m' deki yağın hızının; $h_r = 0,915$ m' deki yağın hızından:

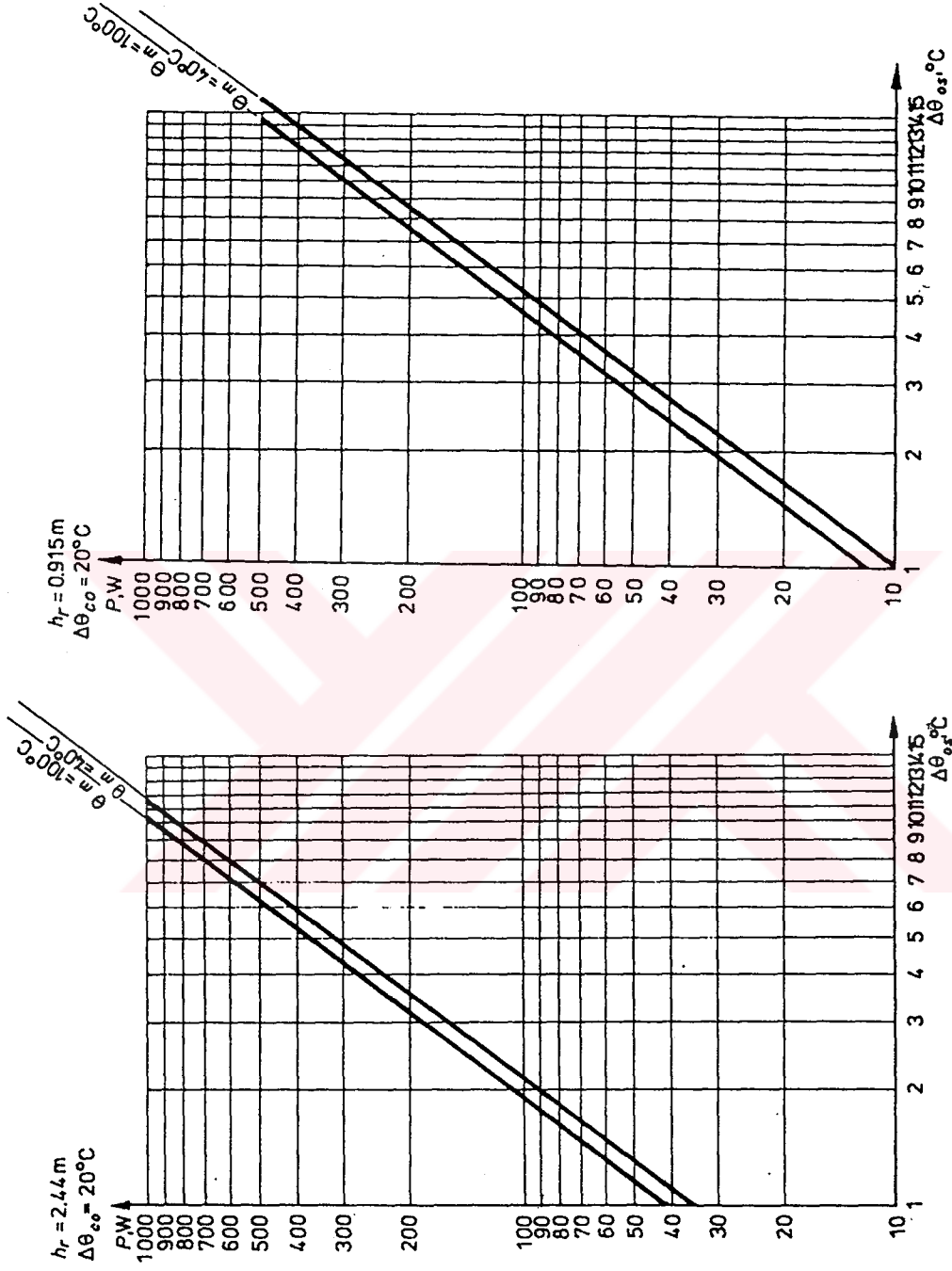
$$\frac{w_{2,44}}{w_{0,915}} = \frac{2,44}{0,915} \cong 2,67 \quad (3.72)$$

kez daha büyük olması demektir.

(3.64) no' lu denklemden:

$$w = \frac{P}{A_o \rho c \Delta\theta_{co}}$$

görüldüğü gibi, w ile $\Delta\theta_{co}$ ile ters orantılı olarak değişmektedir. Yağın hızı iki katı yapıldığında $\Delta\theta_{co}$, 20°C' den 10°C' ye düşecektir.



Şekil 3.15 Güce bağlı olarak $\Delta\theta_{co} = 20^\circ\text{C}$ olmak üzere $h_r = 0.915 \text{ m}$ ve $h_r = 2.44 \text{ m}$ radyatör boyları için, P gücüne bağlı olarak $\Delta\theta_{cs}$ yağ ile radyatör duvarı arasındaki yağ yarı yüzey sıcaklık düşüşü eğrileri

(3.67) no' lu denklemden yararlanarak, L sabit olmak üzere:

$$L = \left(\frac{A_o^{0,2} \Delta\theta_{co}^{0,2} d_{ho}^{0,5}}{0,85 \times 0,74 A_{co} g^{0,1}} \right) \left(\frac{v}{\rho \beta c} \right)^{0,1} \left(\frac{1}{\lambda^{0,7}} \right) P^{0,8} \quad (3.73)$$

Denklem (3.73)' den yararlanılarak, yüzey sıcaklık düşüşü şu şekilde yazılabilir:

$$\Delta\theta_{os}^{1,1} = L \Delta\theta_{co}^{0,2}$$

$$\Delta\theta_{os} = L \Delta\theta_{co}^{0,182} \quad (3.74)$$

O halde yağın hızı iki katına çıkarıldığında, yüzey sıcaklık düşüşü:

$$\Delta\theta'_{os} = \Delta\theta_{os} \left(\frac{10}{20} \right)^{0,182} = 0,88 \Delta\theta_{os} \quad (3.75)$$

olacaktır. Bu da yağın hızı iki katına çıktığında, yalnızca bir kaç derece olan $\Delta\theta_{os}$ değerinin %88 azalması demektir.

Bir elemanın ısı dağılımını iki katına çıkartarak, yüzey sıcaklık düşüşü:

$$\begin{aligned} \Delta\theta_{os} &= (K_1 B_1)^{0,91} P^{0,727} = (K_1 B_1)^{0,91} 2^{0,727} \\ &= 1,655 (K_1 B_1)^{0,91} \end{aligned} \quad (3.76)$$

(3.76) no' lu denkleme bağılı olarak, 1,655 katına çıkartılabilir.

3.9 Ortalama Eksenel Viskozite

Radyatörlerdeki basınç düşüşünün hesabı için, öncelikle viskozitenin hesaplanması gerekir.

h_r uzunluktaki radyatörden akan yağın ortalama viskozitesi:

$$v_{al} = \frac{1}{h_r} \int_0^{h_r} v(h) dh \quad (3.77)$$

olarak belirlenir. Bağımsız değişken h , radyatörün en yüksek noktasından ölçülen uzaklıktır. $v(h)$ fonksiyonu, yağa ve $\theta(h)$ fonksiyonuna bağlı olarak tanımlanan $v(\theta)$ ' dan oluşur:

$$v(h) = v[\theta(h)] \quad (3.78)$$

Bu durumda v , h ' nin doğrudan bir fonksiyonu değildir.

Ortalama viskozite ifadesinde, integrasyonda uzunlukla gösterilen sınırlar, sıcaklıkla değiştirilirse:

$$v_{al} = \frac{1}{h_r} \int_{\theta_{ooc}}^{\theta_{oic}} v(\theta) \frac{dh}{d\theta} d\theta \quad (3.79)$$

Bu integrali alabilmek için, ilk önce $\theta(h)$ fonksiyonunun ifadesinin bulunması gerekir. (3.20), (3.36) ve (3.61) no' lu denklemlerden yararlanılarak, aşağıdaki bağıntı yazılabilir:

$$\alpha \Delta\theta \, dh = \phi_o \, c \, d\theta \quad (3.80)$$

Bu eşitlik düzenlenecek olursa:

$$\frac{d\theta}{\Delta\theta} = \frac{\alpha}{\phi_o \, c} \, dh \quad (3.81)$$

$\frac{\alpha}{\phi_o \, c}$ katsayısı a ile gösterilirse:

$$\frac{d\theta}{\Delta\theta} = a \, dh \quad (3.82)$$

Her iki tarafın integrali alındığında:

$$\ln\Delta\theta = ah + b \quad (3.83)$$

elde edilir.

$h = 0$ iken $\Delta\theta = \Delta\theta_{oic}$ ve $h = h_r$ iken $\Delta\theta = \Delta\theta_{ooc}$ olmak üzere a ve b değerleri :

$$a = \frac{\ln \Delta\theta_{ooc} - \ln \Delta\theta_{oic}}{h_r} \quad (3.84)$$

$$b = \ln\Delta\theta_{oic} \quad (3.85)$$

olarak bulunur.

a ve b değerleri denklem (3.83)' de yerleştirilecek olursa:

$$\ln \Delta \theta = (\ln \Delta \theta_{ooc} - \ln \Delta \theta_{oic}) \frac{h}{h_r} + \ln \Delta \theta_{oic} \quad (3.86)$$

Denklem (3.18)' den:

$$\Delta \theta_{ooc} = \Delta \theta_{oic} - \Delta \theta_{co}$$

Bu ifadeden yararlanılarak, aşağıdaki şu bağıntı çıkartılabilir:

$$\begin{aligned} \ln \Delta \theta_{ooc} - \ln \Delta \theta_{oic} &= \ln \frac{\Delta \theta_{ooc}}{\Delta \theta_{oic}} = \ln \frac{\Delta \theta_{oic} - \Delta \theta_{co}}{\Delta \theta_{oic}} \\ &= \ln \left(1 - \frac{\Delta \theta_{co}}{\Delta \theta_{oic}} \right) \end{aligned} \quad (3.87)$$

Bu bağıntı (3.86) no' lu denklemde yerleştirilecek olursa:

$$\ln \Delta \theta = \ln \left(1 - \frac{\Delta \theta_{co}}{\Delta \theta_{oic}} \right) \frac{h}{h_r} + \ln \Delta \theta_{oic}$$

Her iki tarafın da doğal logaritması kaldırılıp, yeniden düzenlenecek olursa:

$$\Delta\theta = \Delta\theta_{oic} \left(1 - \frac{\Delta\theta_{co}}{\Delta\theta_{oic}}\right)^{\frac{h}{h_r}}$$

bulunur. Burdan da $\theta(h)$ ifadesi:

$$\Delta\theta = \theta - \theta_a = \Delta\theta_{oic}$$

$$\theta(h) = \theta_a + \Delta\theta_{oic} \left(1 - \frac{\Delta\theta_{co}}{\Delta\theta_{oic}}\right)^{\frac{h}{h_r}} \quad (3.88)$$

$\theta(h)$ fonksiyonunun diferansiyeli:

$$\frac{d\theta}{dh} = \Delta\theta_{oic} \frac{1}{h_r} \left[1 - \frac{\Delta\theta_{co}}{\Delta\theta_{oic}}\right]^{\frac{h}{h_r}} \ln\left(1 - \frac{\Delta\theta_{co}}{\Delta\theta_{oic}}\right) \quad (3.89)$$

(3.89) no' lu denklem (3.79) no' lu denklem yerine konulursa:

$$v_{al} = \frac{1}{h_r} \int_{\theta_{oic}}^{\theta_{oic}} v(\theta) \frac{d\theta}{\Delta\theta_{oic} \left(1 - \frac{\Delta\theta_{co}}{\Delta\theta_{oic}}\right)^{\frac{h}{h_r}} \ln\left(1 - \frac{\Delta\theta_{co}}{\Delta\theta_{oic}}\right)} \quad (3.90)$$

Denklem (3.15)' den:

$$\Delta\theta_{o-a} = \frac{\Delta\theta_{co}}{\ln \frac{1}{1 - \frac{\Delta\theta_{co}}{\Delta\theta_{oic}}}}$$

$$\frac{\Delta\theta_{co}}{\Delta\theta_{o-a}} = \ln \frac{1}{1 - \frac{\Delta\theta_{co}}{\Delta\theta_{oic}}}$$

$$\ln \left(1 - \frac{\Delta\theta_{co}}{\Delta\theta_{oic}} \right) = \frac{\Delta\theta_{co}}{\Delta\theta_{o-a}} \quad (3.91)$$

(3.80) no' lu denklemden:

$$\theta - \theta_a = \Delta\theta_{oic} \left(1 - \frac{\Delta\theta_{co}}{\Delta\theta_{oic}} \right)^{\frac{h}{h_r}} \quad (3.92)$$

(3.91), (3.92) no' lu denklemler (3.90) no' lu denklemden yerleştirilirse:

$$v_{al} = \frac{\Delta\theta_{o-a}}{\Delta\theta_{co}} \int_{\theta_{oic}}^{\theta_{oic}} \frac{v(\theta)}{\theta - \theta_a} d\theta \quad (3.93)$$

$30 < \theta < 100$ °C olmak üzere $v(\theta) = 6,3 \times 10^{-3} \theta^{-1,66}$ alınırsa:

$$v_{al} = \frac{\Delta\theta_{o-a}}{\Delta\theta_{co}} \int_{\theta_{oic}}^{\theta_{oic}} \frac{6,3 \times 10^{-3} \theta^{-1,66}}{\theta - \theta_a} d\theta$$

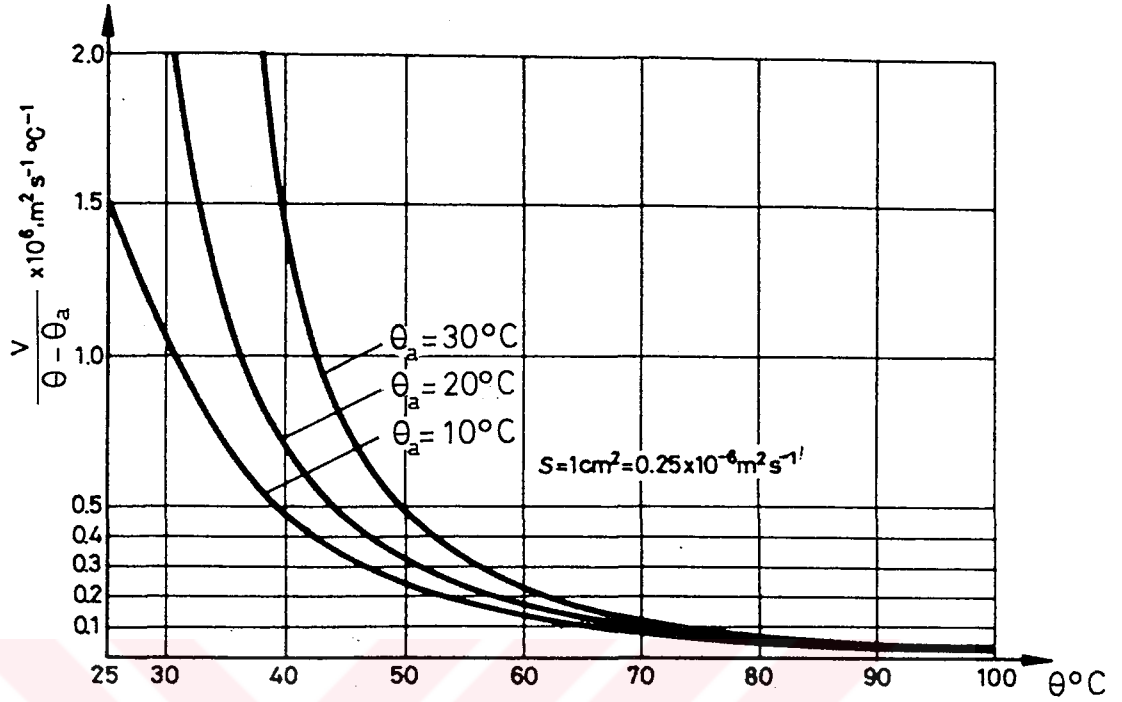
$$= \frac{6,3}{10^3} \frac{\Delta\theta_{o-a}}{\Delta\theta_{co}} \int_{\theta_{ooc}}^{\theta_{oic}} \frac{1}{\theta^{2,66} - \theta^{1,66}} d\theta \quad (3.94)$$

$6,3 \times 10^{-3}$ faktörünün boyutu $m^2s^{-1} C^{1,66}$ 'dır.

Tablo 3.7' deki değerlerden yararlanılarak, Şekil 3.16' daki diyagram çizilmiştir. Bu diyagramdan, $\frac{v(\theta)}{\theta - \theta_a}$, verilen θ_a değerleri için, θ_{ooc} ile θ_{oic} sıcaklık sınırları arasında, eğrinin altında kalan alan hesaplanarak, kolayca bulunabilir.

Tablo 3.7 θ_a 'nın üç farklı değeri için $\frac{v(\theta)}{\theta - \theta_a}$ fonksiyonunun değerleri

θ (°C)	$\frac{v(\theta)}{\theta - 10^\circ C} \times 10^6$ $m^2s^{-1}C^{-1}$	$\frac{v(\theta)}{\theta - 20^\circ C} \times 10^6$ $m^2s^{-1}C^{-1}$	$\frac{v(\theta)}{\theta - 30^\circ C} \times 10^6$ $m^2s^{-1}C^{-1}$
25	1,8	-	-
30	1,05	2,1	-
35	0,68	1,132	3,4
40	0,467	0,7	1,4
45	-	-	0,765
50	0,243	0,323	0,485
60	0,14	0,175	0,233
70	0,09	0,118	0,135
80	0,06	0,07	0,084
90	0,0437	0,05	0,0583
100	0,0333	0,0376	0,0428



Şekil 3.16 Üç farklı θ_a değeri için $\frac{v(\theta)}{\theta - \theta_a}$ fonksiyonunun değerleri

3.10 Radyatörlerdeki Basınç Düşümünün Hesabı

n , transformatör kazanına yerleştirilmiş radyatör grup sayısı; z bir gruptaki dilim sayısı; ϕ_o soğutma sistemindeki toplam yağ akış kütlesi; ρ_o radyatörlerden akmakta olan yağın ortalama yoğunluğu; v_{a1} yağın aksenal ortalama viskozitesi olmak üzere, bir radyatör dilimindeki yağın akış kütlesi:

$$\frac{\phi_o}{n z} \quad (3.95)$$

Bir radyatör diliminin yağ akış hacmi:

$$\psi_o = \frac{\phi_o}{\rho_o n z} \quad (3.96)$$

Buna bağılı olarak da basınç düşümü:

$$\begin{aligned} \Delta p_r &= C' v_{a1} \frac{\phi_o}{\rho_o n z} + B' z^2 \left(\frac{\phi_o}{\rho_o n z} \right)^2 \\ &= C' v_{a1} \psi_o + B' z^2 \psi_o^2 \end{aligned} \quad (3.97)$$

Şekil 3.13' de gösterilen radyatör tipi için ölçümlerden:

$$C' = 48,5 \times 10^9 h_r \quad (3.98)$$

bulunur. h_r radyatörün uzunluğu olup, $48,5 \times 10^9$ faktörünün boyutu $m^{-7}kg'$ dir.

$$B' = 5,63 \times 10^6 \quad m^{-7}kg \quad (3.99)$$

BÖLÜM 4

HESAP ÖRNEĞİ

4.1 Radyatör Seçimi

Aşağıda katalog değerleri ve kazan ölçüleri verilmiş olan radyatörlü kendi kendine soğuyan yağlı bir transformatör örnek alınarak, radyatör seçimi hesabı yapılmıştır (Bkz. Şekil 1.4):

1600 kVA 34,5/0,4 kV $P_o = 2600 \text{ W}$ $P_{K75^\circ} = 14900 \text{ W}$
Kazan ölçüleri: E : 680 mm B : 1550 mm Y : 1250 mm
Yağın tepe sıcaklığı: 52,5 °C

Transformatörün ısınmasını bulmak için, (3.1) ve (3.2) no' lu denklemlerden:

$$\rho_T = \frac{1}{\left(\frac{T_T}{55}\right)^{0,8}} = \frac{1}{\left(\frac{52,5}{55}\right)^{0,8}} = 1,038 \quad (4.1)$$

$$W_{55} = (P_o + 1,06 P_{K75^\circ}) \rho_T$$

$$= [2600 + (1,06 \times 14900)] \times 1,038$$

$$= 19093 \text{ W} \quad (4.2)$$

Kazanın çevreye verdiği ısı miktarı (3.3) no' lu denklemden:

$$\begin{aligned}
 P_T &= 2[(600 \times E \times Y) + (350 \times B \times Y)] \\
 &= 2[(600 \times 0,68 \times 1,25) + (350 \times 1,55 \times 1,25)] \\
 &= 2376 \text{ W} \quad (4.3)
 \end{aligned}$$

Radyatörlerden çevreye verilen ısı miktarı (3.4) no' lu denklemden:

$$P_R = w_{55} - P_T = 19093 - 2376 = 16716 \text{ W} \quad (4.4)$$

Bulunan bu değere göre Tablo 2.3' den 12 gruplu, 9 dilimli, 1000 mm uzunluğunda 230 mm genişliğindeki radyatör grubu seçilir. Yani 12 grup 9 x 1000 / 230 mm

Seçilen radyatörün uygunluğu için (3.5) no' lu denklem uyarınca soğutma faktörü hesaplanacak olursa (Fabrikadan alınan değerler uyarınca: $k_1 = 0,878$, $k_2 = 0,810$, k_3 Tablo 2.4' den 9 dilim sayısına göre : $k_3 = 1,01$) [7]:

$$\begin{aligned}
 r_k &= k_1 k_2 \frac{1 + 5k_3}{\left(\frac{n}{2}\right)} \\
 &= 0,878 \times 0,810 \frac{1 + (5 \times 1,01)}{\frac{12}{2}} = 0,746 \quad (4.5)
 \end{aligned}$$

Tablo 2.3' den $P_d = 212 \text{ W/dilim}$ olarak bulunur. Denklem (3.6)' dan soğutma faktörüne bağlı olan P_R' için:

$$\begin{aligned}
 P_R' &= r_k \times P_d \times n \times z = 0,746 \times 212 \times 12 \times 9 \\
 &= 17080 \text{ W} > 16716 \text{ W} \quad (4.6)
 \end{aligned}$$

Dolayısıyla seçilen radyatörün, soğutma için elverişli olduğu kanaatine varılır:

4.2 Sıcaklık Diyagramı ve Basınç Değişiminin Hesabı

Kazanın θ_a ortama sıcaklığında bulunduğu düşünülerek, ortam sıcaklığı ve maksimum yağ sıcaklığı (yağın radyatöre giriş sıcaklığı)

$$\theta_a = 20^\circ\text{C} \quad \theta_{oic} = 52,5^\circ\text{C}$$

Pratikte θ_{oic} ile θ_{ooc} arasındaki sıcaklık farkının, yaklaşık kazan boyuna bağlı olarak, 1/3 oranında değiştiği kabul edilmektedir. Buna göre:

$$\theta_{ooc} = 52,5 - (52,5/3) = 35^\circ\text{C} \quad (4.7)$$

(3.15), (3.16), (3.17) ve (3.18) no' lu denklemler uyarınca sıcaklıklar:

$$\Delta\theta_{oic} = \theta_{oic} - \theta_a = 52,5 - 20 = 32,5^\circ\text{C} \quad (4.8)$$

$$\Delta\theta_{ooc} = \theta_{ooc} - \theta_a = 35 - 20 = 15^\circ\text{C} \quad (4.9)$$

$$\Delta\theta_{co} = \Delta\theta_{oic} - \Delta\theta_{ooc} = 32,5 - 15 = 17,5^\circ\text{C} \quad (4.10)$$

$$\Delta\theta_{o-a} = \frac{\Delta\theta_{co}}{\ln \frac{1}{1 - \frac{\Delta\theta_{co}}{\Delta\theta_{oic}}}} = \frac{17,5}{\ln \frac{1}{1 - \frac{17,5}{32,5}}} = 22,63 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (4.11)$$

Yukarda sözü edilen sıcaklıklar Şekil 4.1' deki sıcaklık diyagramında gösterilmiştir.

(3.14) no' lu denklemden de θ_{o-a} 'yı bulabiliriz:

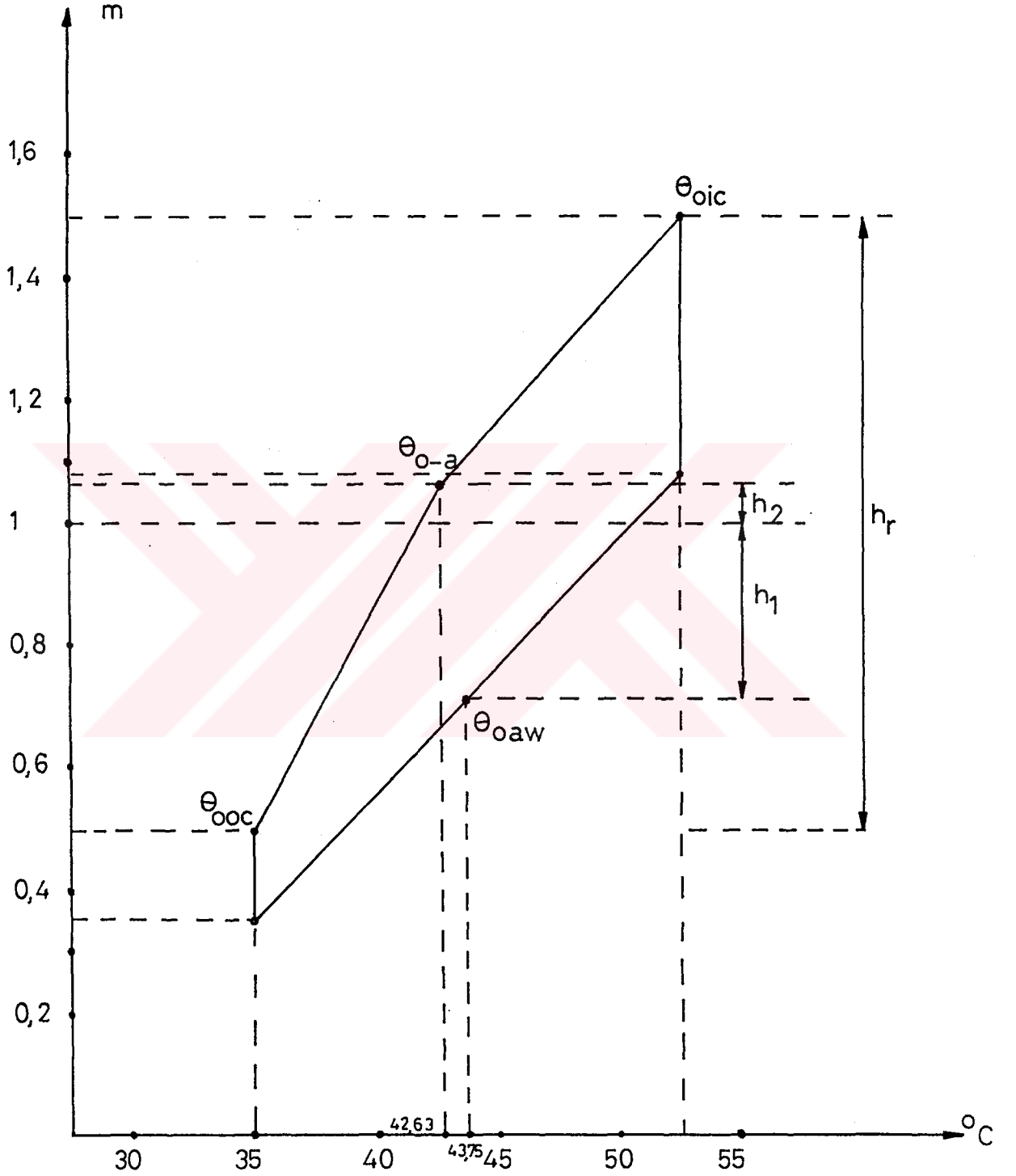
$$\begin{aligned} \Delta\theta_{o-a} &= \theta_{o-a} - \theta_a \\ \theta_{o-a} &= \Delta\theta_{o-a} + \theta_a = 22,63 + 20 \\ &= 42,63 \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned} \quad (4.12)$$

(3.30) no' lu denklemden:

$$\begin{aligned} h_2 &= h_r \left(\frac{\Delta\theta_{oic}}{\Delta\theta_{co}} - \frac{\Delta\theta_{o-a}}{\Delta\theta_{co}} - 0,5 \right) = 1 \left(\frac{32,5}{17,5} - \frac{22,63}{17,5} - 0,5 \right) \\ &= 0,064 \text{ m} \end{aligned} \quad (4.13)$$

Örnek transformatöre göre, radyatörün orta noktası ile sargının orta noktası arasındaki mesafe: $h_1 = 282,5 \text{ mm}$, sargı boyu: $h_w = 720 \text{ mm}$ olduğu gözönüne alınarak:

Denklem (3.53)' den:



Şekil 4.1 1600 kVA 34,5/0,4 kV $P_o = 2600$ W, $P_{K15} = 14900$ W olan radyatörlü, kendi kendine soğuyan yağlı transformatorün sıcaklık diyagramı

$$\begin{aligned}\theta_{oac} &= \theta_a + \Delta\theta_{ooc} + \Delta\theta_{co}/2 = 20 + 15 + (17,5/2) \\ &= 43,75^\circ\text{C}\end{aligned}\quad (4.14)$$

Böylece $\theta_{oac} = 43,75^\circ\text{C}$ bulunur (Bkz. Şekil 4.1). Bu sıcaklığa bağlı olarak, Tablo 3.2' den $\rho_{43,75} = 867,75 \text{ kg/m}^3$ ve $\beta_{43,75} = 7,6125 \cdot 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ bulunur. Denklem (3.10) kullanılarak:

$$\begin{aligned}\gamma_{43,75} &= \rho_{43,75} g = 867,75 \times 9,81 \\ &= 8512,63 \text{ N/m}^3\end{aligned}\quad (4.15)$$

Basınç değişimini bulabilmek için, denklem (3.32)' den:

$$\begin{aligned}T &= h_1 \Delta\theta_{co} + h_r (\Delta\theta_{oic} - \Delta\theta_{o-a} - 0,5 \Delta\theta_{co}) \\ &= (0,2825 \times 17,5) + 1 [32,5 - 22,63 - (0,5 \times 17,5)] \\ &= 6,06^\circ\text{C}\end{aligned}\quad (4.16)$$

Denklem (3.33)' den:

$$\begin{aligned}\Delta p &= \gamma_{43,75} \beta_{43,75} T = 8512,63 \times 7,6125 \cdot 10^{-4} \times 6,06 \\ &= 39,27 \text{ N/m}^2\end{aligned}\quad (4.17)$$

bulunur.

4.3 Yağın Hızının Hesabı

Konveksiyon yoluyla herbir radyatör diliminden dağıtılan ısı miktarı:

$$P_o = P_a = \frac{P_R'}{n \times z} = \frac{17080}{12 \times 9} = 158 \text{ W} \quad (4.18)$$

$\theta_{oac} = 43,75^\circ\text{C}$ için Tablo 3.2' den $c = 1945 \text{ Wskg}^{-1}\text{C}^{-1}$ ve Tablo 3.3' den de $A_o = 1,771 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$ bulunur. Buna göre denklem (3.54)' den:

$$w = \frac{P_o}{A_o \rho c \Delta\theta_{co}} = \frac{158}{1,771 \cdot 10^{-3} \times 867,75 \times 1945 \times 17,5}$$

$$= 0,003 \text{ m/s} \quad (4.19)$$

olarak bulunur.

4.4 Radyatördeki Yüzey Sıcaklık Düşümünün Hesabı

Yüzey sıcaklık düşümünün hesabı için, $\Delta\theta_{os}$ değeri, literatürde en küçük 2°C alınır. Yapılan hesap, q (ısı transfer katsayısı yardımı ile bulunan, birim yüzeyden verilen ısı miktarı) ve q_a (hava ile temas eden radyatör yüzeyinden verilen ısı miktarı) değerleri yardımı ile kontrol edilir. Eğer q , q_a değerinden büyük çıkıyorsa, başa dönülerek, $\Delta\theta_{os}$ değeri 1°C artırılır ve aynı işlemler tekrarlanır. Bütün bu işlemler q , q_a değerinden küçük çıkana kadar sürdürülür [15].

Burda yapılan hesaplar sonucunda $\Delta\theta_{os} = 8 \text{ } ^\circ\text{C}$ alınması gerektiği bulunmuştur.

Denklem (3.59)' dan:

$$\theta_m = \theta_{oac} - \frac{\Delta\theta_{os}}{2} = 43,75 - \frac{8}{2} = 39,75 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (4.20)$$

θ_m değerinden yararlanılarak Tablo 3.2' den:

$$\begin{aligned} v_m &= 14,15 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} & \rho &= 870,15 \text{ kg/m}^3 \\ \beta_m &= 7,495 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} & c &= 1929 \text{ Wskg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} \\ Pr_m &= 181,85 & \lambda_m &= 0,12992 \text{ Wm}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} \end{aligned}$$

$h_r = 1 \text{ m}$ için Tablo 3.3' den:

$$A_o = 1,771 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \quad A_{co} = 0,403 \text{ m}^2 \quad d_{ho} = 1,76 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

Denklem (3.56)' dan:

$$Re_m = \frac{w d_{ho}}{v_m} = \frac{0,003 \times 1,76 \cdot 10^{-2}}{14,15 \cdot 10^{-6}} = 3,731$$

$$Re_m^{0,2} = 1,3 \quad (4.21)$$

Denklem (3.57)' den:

$$\begin{aligned} Gr_m &= \frac{\beta_m g d_{ho}^3 \Delta\theta_{os}}{v_m^2} = \frac{7,495 \cdot 10^{-4} \times 9,81 \times (1,76 \cdot 10^{-2})^3 \times 8}{(14,15 \cdot 10^{-6})^2} \\ &= 1602 \quad (4.22) \end{aligned}$$

$$(Gr \times Pr)_m^{0,1} = (1602 \times 181,85)^{0,1} = 3,519 \quad (4.23)$$

Denklem (3.55)' den:

$$\begin{aligned} Nu_m &= 0,85 \cdot 0,74 \cdot Re_m^{0,2} (Gr \times Pr)_m^{0,1} \cdot Pr_m^{0,2} \\ &= 0,85 \times 0,74 \times 1,3 \times 3,519 \times (181,85)^{0,2} \\ &= 8,146 \end{aligned} \quad (4.24)$$

Denklem (3.60)' dan ısı transfer katsayısı:

$$\begin{aligned} \alpha &= Nu_m \frac{\lambda_m}{d_{ho}} = 8,146 \frac{0,12992}{1,76 \cdot 10^{-2}} \\ &= 60,103 \text{ Wm}^{-2}\text{C}^{-1} \end{aligned} \quad (4.25)$$

Kontrol için önce denklem (3.49)' den q_a bulunur.
Tablo 3.3' den $A_{ca} = 0,523 \text{ m}^2$ olduğu görülür.

$$q_a = \frac{P_a}{A_{ca}} = \frac{158}{0,523} \cong 302 \text{ W/m}^2 \quad (4.26)$$

Denklem (3.61)' den:

$$\begin{aligned} q &= \alpha \Delta\theta_{os} = 60,103 \times 8 \\ &= 480,824 < 302 \text{ W/m}^2 \end{aligned} \quad (4.27)$$

olduğundan, seçim uygundur.

4.5 Viskozite Hesabı

Şekil 16' da $\theta_a = 20^\circ\text{C}$ ' ye ait eğri için, $\theta_{ooc} = 35^\circ\text{C}$ ile $\theta_{oic} = 52,5^\circ\text{C}$ arasında kalan alan hesabından:

$$\int_{35}^{52,5} \frac{v(\theta)}{\theta - 20^\circ\text{C}} = 10,08 \times 10^{-6} \text{ m}^2\text{s}^{-1} \quad (4.28)$$

Denklem (3.94)' den:

$$\begin{aligned} v_{al} &= \frac{\Delta\theta_{o-a}}{\Delta\theta_{co}} \int_{35}^{52,5} \frac{v(\theta)}{\theta - 20} = \frac{22,63}{17,5} 10,08 \cdot 10^{-6} \\ &= 13 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} \end{aligned} \quad (4.29)$$

olarak bulunur.

4.6 Radyatördeki Basınç Düşümünün Hesabı

İlk önce denklem (3.20)' den yararlanılarak ϕ akış kütlesi bulunur. $\Delta\theta_{wo} \equiv \Delta\theta_{co} = 17,5^\circ\text{C}$ olmak üzere :

$$\begin{aligned} \phi &= \frac{P}{c \Delta\theta_{wo}} = \frac{158}{1945 \times 17,5} \\ &= 4,64 \cdot 10^{-3} \text{ kg/s} \end{aligned} \quad (4.30)$$

(3.98) no' lu denklemden:

$$C' = 48,5 \times 10^9 \text{ hr} = 48,5 \cdot 10^9 \times 1$$

$$= 48,5 \times 10^9 \text{ m}^{-7} \text{ kg} \quad (4.31)$$

(3.97) no' lu denklemden yararlanılarak (n =12 grup
z = 9 dilim):

$$\begin{aligned} \Delta p_r &= C' v_{a1} \frac{\phi_o}{\rho_o n z} + B' z^2 \left(\frac{\phi_o}{\rho_o n z} \right)^2 \\ &= 48,5 \cdot 10^9 \times 13 \cdot 10^{-6} \frac{4,64 \cdot 10^{-3}}{867,75 \times 12 \times 9} + 5,63 \cdot 10^6 \times 9^2 \times \left(\frac{4,64 \cdot 10^{-3}}{865,75 \times 12 \times 9} \right)^2 \\ &= 0,0312 \text{ N/m}^2 \quad (4.32) \end{aligned}$$

bulunur.

BÖLÜM 5

SONUÇ

Transformatörlerde kullanılan radyatörlerde, sıcaklık ve basınç düşümü hesabı:

- 1) Müşteri istekleri,
- 2) Eldeki mevcut olanaklar,
- 3) Ekonomik sorunlar,
- 4) Transformatörün uzun ömürlü olması,

açısından büyük önem taşımaktadır:

Bir transformatör tasarımıında, kuvvet hesabı yapılırken, özellikle ısınmanın en alt düzeyde olmasına dikkat edilir. Bilindiği üzere ısınma miktarı arttıkça, transformatörün yıpranma payı da artmakta, bir başka deyişle dayanıklılığı azalmaktadır. Dolayısıyla bunu önlemek için kullanılan soğutma düzeninin de fiyatı artmakta, sonuç olarak, müşteri ve imalatçı için, ekonomik açıdan büyük sorunlar ortaya çıkmaktadır.

Bütün bu sorunlar, radyatörlü kendi kendine soğuyan yağlı bir transformatörde, yağın sargıya giriş ve çıkış sıcaklıkları arasındaki fark en aza indirilerek giderilebilir. Bunun sağlanabilmesi için de, yağın kütle

akışının artırılması, dolayısıyla da, radyatördeki basınç düşümünün artırılması gerekir.

Yukarda açıklandığı gibi, transformatör tasarımında ve radyatör seçiminde bu kadar büyük önem taşıyan, sıcaklık ve basınç düşümü hesabı, pratikte yapılmamaktadır. Bu çalışmada ise, söz konusu hesapların tanıtılması hedeflenmiştir. Bu amaçla, örnek alınan bir transformatörde, ilk önce, pratikte kullanılan yöntemlerden yararlanılarak, radyatör seçimi yapılmıştır. Daha sonra seçilen radyatörlere bağlı olarak, sıcaklık ve basınç düşümü hesapları gerçekleştirilmiştir. Böylece, teorik ve pratik hesaplar birleştirilmiş, teorik hesapların sonucu olan pratik uygulamaların nereden geldiği açıklığa kavuşturulmuştur.

KAYNAKLAR

- [1] SİLE, Y., 380 kV' luk Trafolarda Alan Konsatrasyonu, Darbe Gerilimi, Dağılımı, Isınma ve Soğutma, Elektrik Mühendisliği 3. Ulusal kongresi, Cilt 3/1, İstanbul, 1989, s.146-149
- [2] ÇETİN, I., Transformatör, Kısım 1, İstanbul, 1987
- [3] Methods for Reducing Core Loss, AEG - ETİ, pp.1-9
- [4] DOBJA, J., The Cooling of Large Transformer, The Brown Boveri Review, Vol.52, No.11/2, Nov./Dec. 1965, pp.833-837
- [5] BODUROĞLU, T., Transformatörler, Cilt 1, İ.T.Ü. Kütüphanesi Sayı:1221, İstanbul, 1982
- [6] DAĞSÖZ, A.K., Isı Geçişi Transferi, İstanbul, 1990
- [7] Yağ Soğutmalı Transformatörlerde Soğutma Sisteminin Ölçülmesi, ELEKTROSAN, s.1-7
- [8] KLAMT, J., Berechnung und Bemessung Elektrischer Maschinen, Springer - Verlag, 1962
- [9] GÜZELBEYOĞLU, N., Elektrik Makinalarında Isınma ve Soğuma, Ders Notları, 1994

- [10] KAKAÇ, S., Örneklerle Isı Transferi, O.D.T.Ü., Ankara, 1970
- [11] MUUR, S., On the Modes of Oilflow in Self-Cooled Transformers and the Associated Temperature Distributions, CIGRE, Vol.2, Papers No.125, 1962
- [12] KUNES, J.J., Characteristics of Thermosiphon Flow in a Model Transformer Oil Circuit, AIEE, 77, 1958, pp.973-977
- [13] YAMAGUCHI, M., KUMASAKA, T., INUI, Y., ONO, S., The Flow Rate in a Self Cooled Transformer, IEEE, Trans. Power App. and Syst., Vol.PAS - 100, No.3, March 1981, pp.956-963
- [14] SOLLERGREN, B., Accessories and Parts for Transformers. CIGRE, Vol.2, 1966, Papers No.142, pp.28-33
- [15] KARSAI, K., KERENYI, D., KISS, L., Large Power Transformers, Elsevier, 1987

ÖZGEÇMİŞ

Alkım Özturan 1970 yılında İstanbul' da doğdu. İlköğretimine 1976 yılında, İzmit Şehit Cengiz Topel ilkokulunda başladı ve 1981 yılında Heybeliada ilkokulunda tamamladı. Aynı yıl Heybeliada Hüseyin Rahmi Gürpınar Lisesinde orta öğretimine başladı ve 1984 yılında birincilikle mezun oldu. Lise öğrenimini ise Erenköy Kız Lisesinde, ikinci olarak tamamladı.

1987 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Elektrik - Elektronik Fakültesine girdi. 1992 yılında Elektrik Mühendisliği bölümünden üçüncülükle mezun oldu. Aynı yıl İ. T. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsüne bağlı Elektrik Anabilim dalında yüksek lisans öğrenimine başladı.

İ. T. Ü. FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
DOKÜMANTASYON MERKEZİ