

YÜZEY PÜRÜZLÜLÜK PARAMETRELERİ

Yasemin USLUOĞLU, Doç. Dr. Recep Kazan

S.A.Ü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği EABD, Esentepe - Kampüs, 54100, SAKARYA

ÖZET

Teknik sistemlerin ömrü, güvenilirliği ve verimliliği sürtünme, aşınma ve yağlama problemlerinin optimal çözümlerine bağlıdır. Triboloji sürtünme-aşınma-yağlanma konularını inceleyen bir bilim dalıdır. Tekstürün incelemesinde kullanılan parametrelerin farklı özellikleri yüzeyin gerçek yapısının görülmesini sağlamaktadır.

I. STANDARTLAR

Yüzey topografyası ile ilgili problem genellikle gerçek yüzey profilinin çıkarılmasından ziyade, kullanıcıya yüzeyin durumuyla ilgili olarak anlamlı ve aynı zamanda da universal kabul edilebilirliği bulunan sayısal değerlerden oluşan bilgi sunabilmektir.

Bugün, modern yüzey tekstür analizcilerinin elinde bahsedilen özellikte bir dizi yüzey tekstür parametresi mevcuttur. Yüzey hakkında gerekli bilgiyi verebilecek parametrelerin birbirlerinden farklı avantaj ve sınırlılıkları söz konusudur. [1]

Farklı pürüzlülük karakteristiklerindeki iki ayrı yüzey ölçüldüğünde, her bir yüzey bize birbirinden farklı değerler sunmalıdır. Bu farklılığı sağlamak, yüzey pürüzlülük parametresinin görevidir. Ortaya çıkan değerler bu iki yüzey arasındaki farklılığı ortaya koyamıyorsa ölçüler veriler anlamsız olup, başka parametrelerin seçiminin gerekliliği ortaya çıkmış demektir. Bir parametre, ancak yüzey karakteristiğinin hassas olan değerini ortaya koymak amacıyla seçilir. Yüzey parametresinin seçimi, aklımızdaki bu düşünce kriterine dayalı olarak geliştirilmelidir.

P_t gibi birkaç parametre haricindeki tüm tekstür parametreleri filtrelenmiş bir yüzey profilinden

hesaplanarak ortaya koyulur. Doğru filtre parametresinin (cut off –sınır dalga boyu- λ_c) seçimi, ölçümün geçerliliği açısından önem taşır. Filtre sınır dalga boyunun uzunluğunun değiştirilmesi normal olarak ölçülen sonuçları etkileyecektir. Buna göre, seçilen pürüzlülük filtresinin değeri anlamsızdır.

Seçilen filtre dalga boyu uzunluğu tepe boşluğunun en az 2.5 katı kadar olmalıdır. Bu da, her bir dalga boyu uzunluğunda en az iki tepe ve çukurun (normalde çok daha fazla) bulunması gerekir. Dalga boyu uzunluğunun en az 5katı kadar uzunluktaki bir profil analiz edileceğinde pürüzlülük tepeleri ve çukurları itibari ile uygun bir numune kullanılmalıdır.

Profil, dalga boyu uzunluğunun 5 katı kadar bir uzunluk üzerinden değerlendirilir. Bununla birlikte, taranan toplam mesafe dalga boyu uzunluğunun 6 katı kadardır (şekil 1). 2RC profil filtresi kullanırken, pürüzlülük filtresinin profil ortalamasını bulabilmesi için ölçümün başlangıcında bir dalga boyu uzunluğu gereklidir. Bir PC filtresi kullanırken, dalga boyu uzunluğunun yarısı kadar bir uzunluk ölçülen profilin başında ve sonunda istenir. Parametre değerlendirmesinde iki uzunluk kullanılmamıştır.

Her bir metrolojinin (ölçü uzmanı) rasgele birbirinden farklı bir dalga boyu ve tarama uzunluğu kombinasyonu seçmesinin sıkıntısının aşılması için uluslararası standartlar (ISO) tarafından bazı tarama uzunlukları tavsiye edilmiştir.

Modern yüzey tekstür ölçüm ekipmanlarında hem dalga boyu uzunluğunun hem de tarama uzunluğunun tercih edilen bu değerlerin dışına çıkması mümkündür. Sıra dışı, pek rastlanmayan uygulamalarda standart tarama uzunlukları yeterli işlev görmediğinde böylesi uygulamalara başvurulabilmektedir.[2]

Yüzey Pürüzlülük Parametreleri

Tablo 1. Yüzey tekstür parametreleri ve standartları

PARAMETRE	AÇIKLAMA	STANDART
R_a	Ortalama pürüzlülük	DIN 4768, BS 1134, ISO 4287, ANSI B46.1
$R_{z(DIN)}$	Tepeden çukura ortalama pürüzlük	DIN 4768
R_{max}	Tepeden çukura maksimum yükseklik	DIN 4768
$R_{z(ISO)}$	On nokta yüksekliği	DIN 4762, ISO 4287, BS 1134
R_v	Maksimum pürüzlülük derinliği	DIN 4762, ISO 4287, BS 1134
R_q	RMS (pürüzlülüğün ölçüldüğü yüzeyin) pürüzlülük ortalaması	DIN 4762, ISO 4287
R_p	Maksimum tepe yüksekliği	DIN 4762
R_{pm}	Ortalama tepe yüksekliği	DIN 4762
R_v	Maksimum çukur derinliği	
R_{vm}	Ortalama çukur derinliği	
R_{3z}	Ortalama üçüncü en yüksek tepeden çukura yükseklik	DB 31007
R_{3zmax}	Maksimum üçüncü en yüksek tepeden çukura yükseklik	
R_k	Öz pürüzlülük yüksekliği	DIN 4776
R_{pk}	İndirgenmiş tepe yüksekliği	DIN 4776
R_{vk}	İndirgenmiş çukur derinliği	DIN 4776
M_{r1}	Tepe malzeme oranı	DIN 4776
M_{r2}	Çukur malzeme oranı	DIN 4776
W_t	Toplam dalgalılık derinliği	DIN 4774
P_t	Toplam profil derinliği	DIN 4771
N_r	Normalize edilmiş tepe sayımı	
P_c	Tepe sayımı	Euronorm 49-83E
T_{pi}	Dayanma oranı (mikro)	DIN 4762, ISO 4287, BS 1134
T_{pa}	Malzeme oranı (makro)	DIN 4762, ISO 4287, BS 1134
S_m	Ortalama tepe boşluğu	DIN 4762, ISO 4287, BS 1134
D	Tepe yoğunluğu	DIN 4762, ISO 4287
L_0	Gerçek profil uzunluğu	DIN 4762, ISO 4287
L_r	Profil uzunluk oranı	DIN 4762, ISO 4287
Δ_a	Ortalama profil eğimi	DIN 4762, ISO 4287
Δ_q	RMS (Ölçüm yüzeyi) profil eğimi	DIN 4762, ISO 4287
λ_a	Ortalama dalga uzunluğu	DIN 4762, ISO 4287
λ_q	RMS (Ölçüm yüzeyi) dalga uzunluğu	DIN 4762, ISO 4287
R	Ortalama pürüzlülük derinliği	NF E 05-015
P_t	Toplam profil derinliği	NF E 05-015
R_{max}	Maksimum pürüzlülük derinliği	NF E 05-015
W	Ortalama dalgalılık derinliği	NF E 05-015
W_{max}	Maksimum dalgalılık derinliği	NF E 05-015
W_t	Toplam dalgalılık derinliği	NF E 05-015
A_r	Pürüzlülük genişliği	NF E 05-015
A_w	Dalgalılık genişliği	NF E 05-015
S_k	Ortalama pürüzlülük büyüklüğü eğrisinin eğimi	DIN 4762, ISO 4287
K_u	Ortalama pürüzlülük büyüklüğü eğrisinin keskinliği	

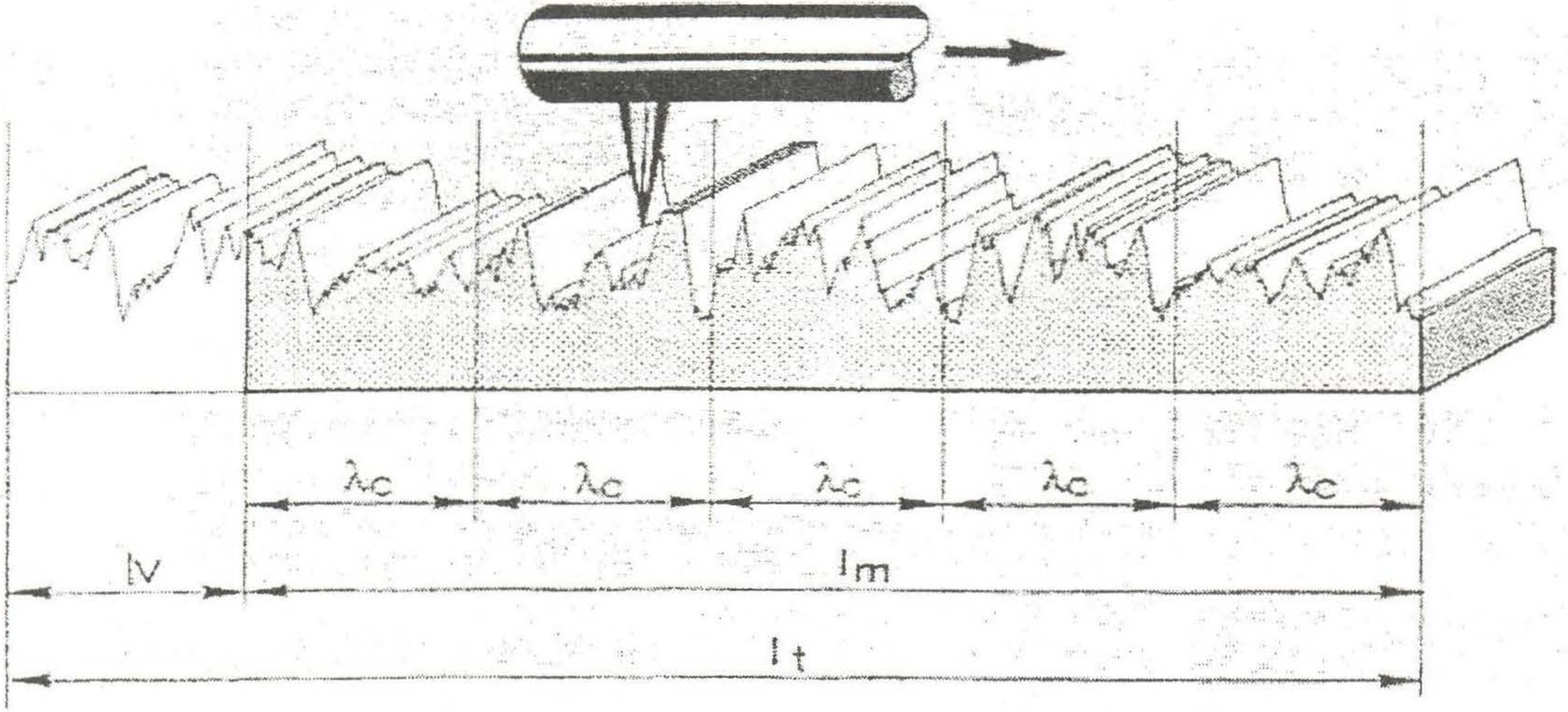
Dalga boyu uzunluğu belirli bir iş parçası yüzeyinin ölçümü için seçilir. Dalga boyu uzunluğu, pürüzlülük boşluğuna ya da beklenen pürüzlülük değerine göre seçilir. Tarama uzunluğu ise daha sonra Tablo 2'den dalga boyu uzunluğuna göre tarama uzunluğu da tespit edilir. İş parçası tam bir tarama uzunluğuna müsaade etmediğinde, belirlenen dalga boyu uzunluğu standart dışı bir tarama mesafesi ile kullanılmalıdır. [1]

Mühendislik, yüzeyler için en yaygın olarak kullanılabilen dalga boyu uzunluğu 0,8mm (0,030")

olsa da, bu durum bu uzunluğun her durum için doğru olacağı anlamına gelmez

Tablo 2. Dalga boyu uzunluğu ve tarama uzunluğu arasındaki ilişki

Dalga Boyu(λ_c)		Tarama Uzunluğu(L_r)	
mm	inch	mm	inch
0,08	0,003	0,48	0,018
0,25	0,010	1,5	0,060
0,8	0,030	4,8	0,180
2,5	0,100	15,0	0,600
8,0	0,300	48,0	1,800

Şekil 1. Tarama uzunluğunun (L_t) elemanlara ayrılması

II. PÜRÜZLÜLÜK PARAMETRELERİ

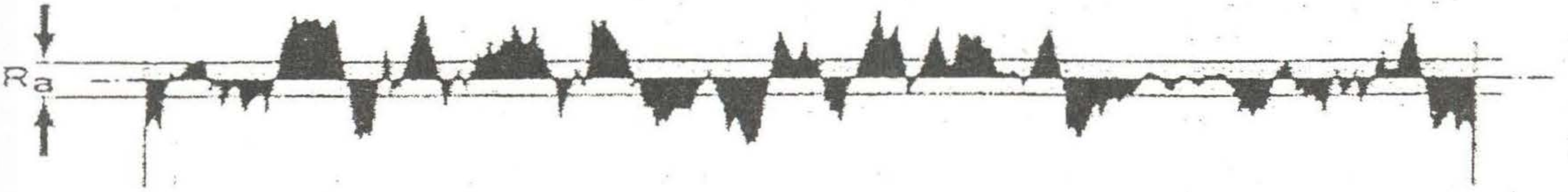
II.1 R_a (CLA, AA) – Ortalama pürüzlülük

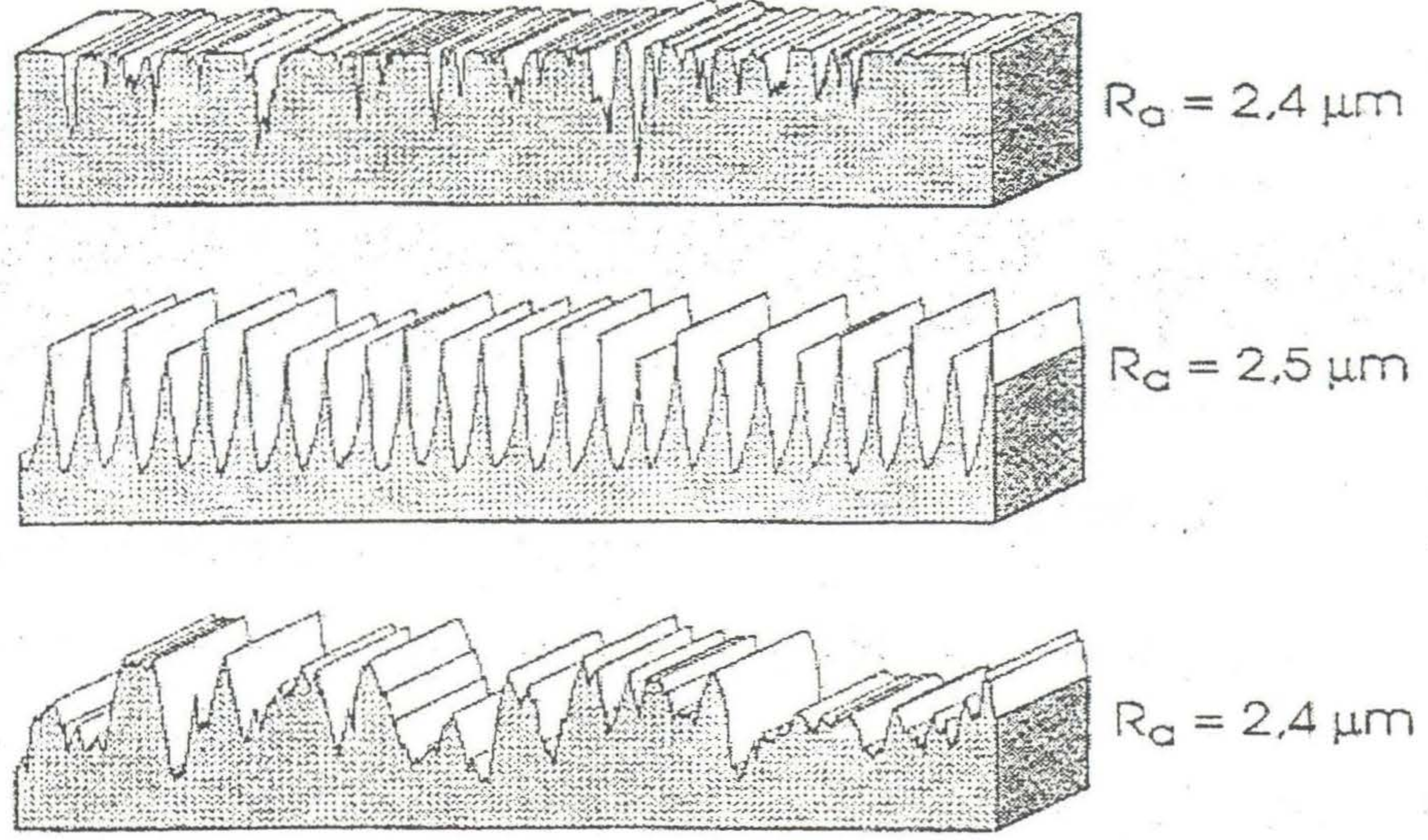
Bütün pürüzlülük parametrelerinin atası R_a 'dır. Geçmişte R_a İngiltere'de CLA (Center Line Average Merkez Doğru Ortalaması) ve Amerika'da AA (Arithmetic Average - Aritmetik Ortalama) olarak biliniyordu. R_a inç ya da mm cinsinden, mikron mertebesinde (μm , $\mu\text{inç}$) ifade edilir.

ifadeyle R_a , toplam değerlendirme uzunluğu üzerinden ortalama doğrusundan profile ortalama mesafedir. R_a , şu formülle ifade edilebilir.

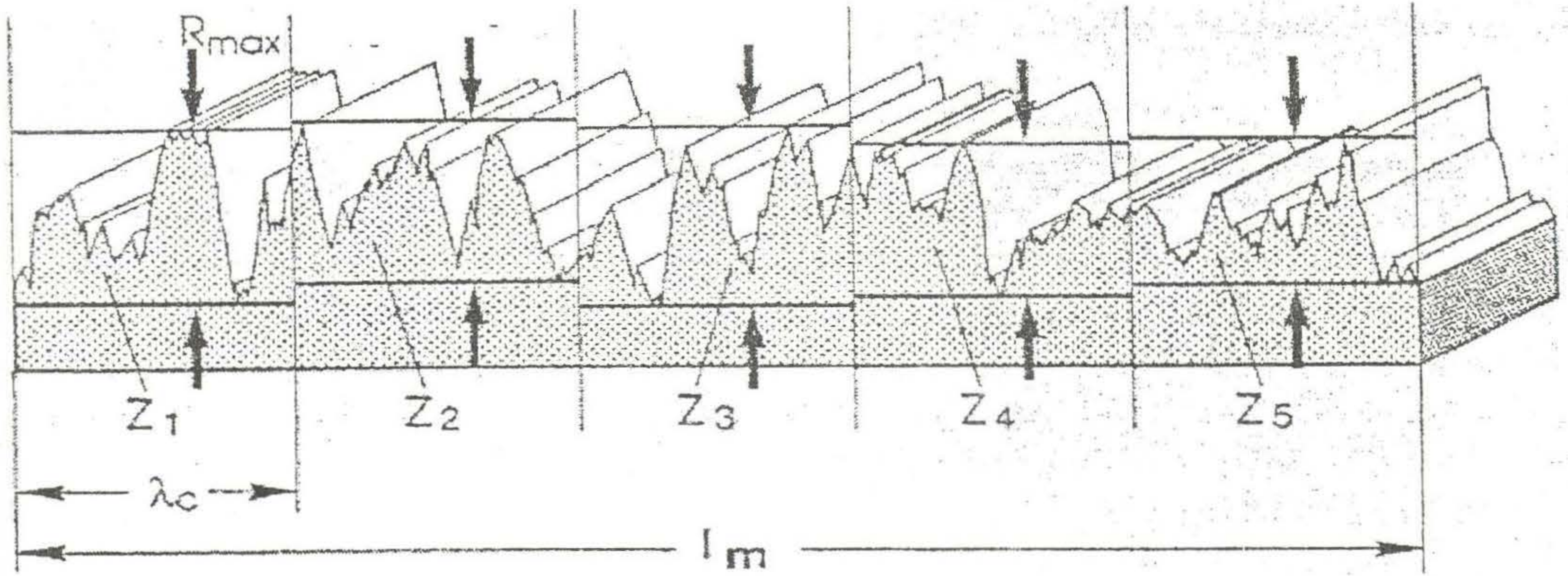
$$R_a = \frac{1}{l_m} \int_0^{l_m} |y(x)| dx$$

Şekil 2'den de görüleceği gibi, R_a değeri profilin ortalama doğrusundan ortalama sapmasıdır. Diğer bir

Şekil 2. R_a parametresinin sapmaları



Şekil 3. Farklı profiller için R_a karşılaştırması

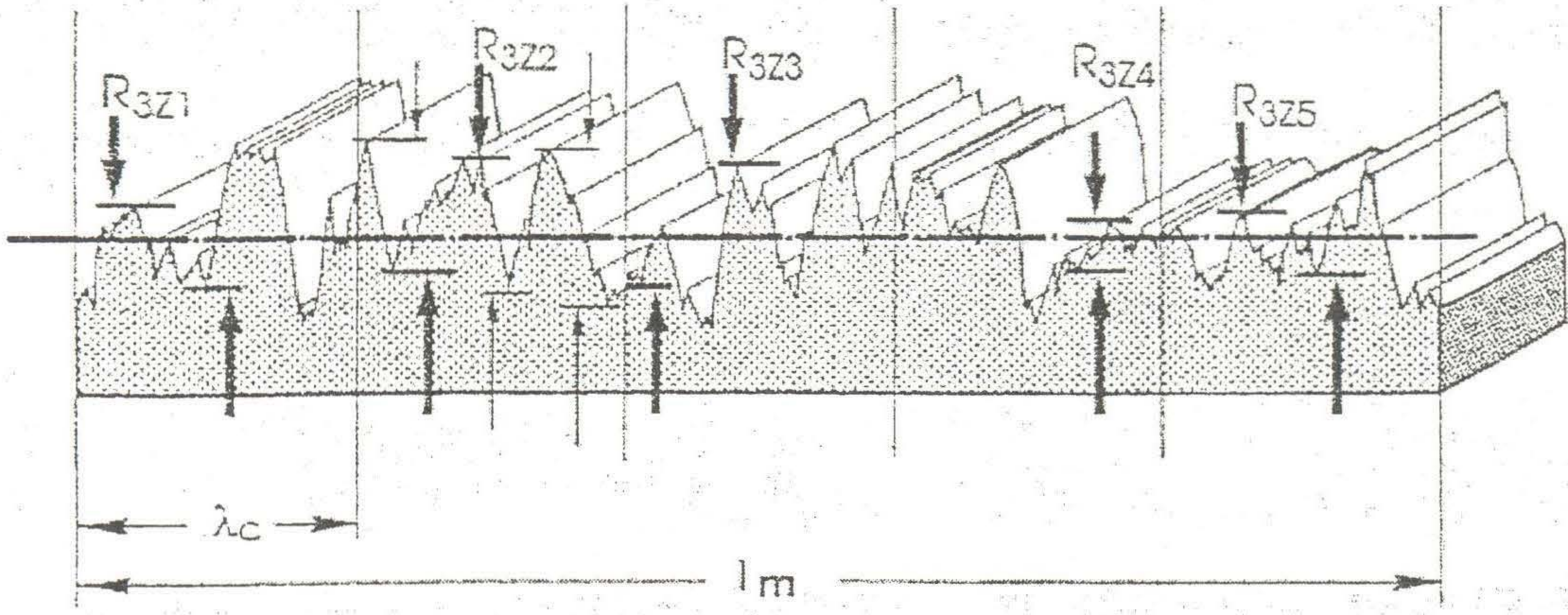


Şekil 4. $R_{z(DIN)}$ ve R_{max} parametrelerinin türetilmesi

$$R_{z(DIN)} = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 z_i$$

Maksimum profil yüksekliği incelendiği ve ortalama ile ilgilenilmediği için, R_z genellikle yüzey finişindeki değişiklere R_a 'dan daha fazla duyarlıdır. $R_{z(DIN)}$ bir üretim prosesini ortaya koyabilmek için kullanışlı bir araçtır. R_{max} , değerlendirilen profili içerisinde maksimum hata yüksekliğinin (tepeden çukura) bir göstergesidir ve böyle tek hataların müsaade edilebilir olmadığı yüzeyler için kullanışlıdır. Böyle hassas bir yüzeye bir sızdırmazlık elemanıdır, ki burada bir çizik bile performansı etkileyecektir.

$R_{z(DIN)}$ ve R_{max} parametrelerinin beraber kullanımı üretim prosesinde yüzey finişindeki değişimi takip etmek için oldukça kıymetlidir. $R_{z(DIN)}$ ve R_{max} değerleri birbirine benziyorsa düzgün bir yüzey finişine, aksi taktirde düzgün bir yüzeydeki yüzey hatasını ifade eder. [3]



Şekil 5. R_{3z} ve R_{3zmax} parametrelerinin türetilmesi

II.2 R_{3z} – Ortalama en yüksek üçüncü tepeden çukura yükseklik

R_{3zmax} – Maksimum en yüksek üçüncü tepeden çukura yükseklik

$R_{z(DIN)}$ 'in değişimi R_{3z} , sıralı 5 örnekleme uzunluğu üzerinden her bir dalga boyu uzunluğu içerisinde en alçak üçüncü çukur ile en yüksek üçüncü tepenin ortalamasıdır (Şekil 5). R_{z3max} , 5 üçüncü en yüksek tepeden çukura yüksekliğinin maksimumudur. R_{3z} , aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanır:

$$R_{3z} = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 R_{3zi}$$

Bir tepe, küçük tepelerin ihmal edilip büyük tepelerin sayıldığı yatay ve dikey kritere göre tanımlanır. R_{3z} ve R_{3zmax} 'ın hesabı, beş sıralı dalga boyu uzunluğunun her birinin içinde en azından üç tepe ve çukur mevcut olduğunda mümkündür.

R_{3z} , bir yüzey profilindeki ölçülen parçanın performansı üzerinde küçük etkisi bulunan yüksek tepeleri ve çukurları dikkate almaz. R_{3z} ve R_{3zmax} , honlanmış silindir delikleri gibi kaba yataklama ya da sızdırmazlık yüzeylerinin ölçümünde kullanılır.

R_{3z} ve $R_{3z(max)}$ herhangi bir ulusal ya da uluslararası organizasyon tarafından standartlaştırılmamıştır. Bu iki parametre bir Daimler – Benz ortak standardıdır.

II.3 $R_{z(ISO)}$ – On noktanın yüksekliği

$R_y(R_t, R_h, R_d)$ – Toplam pürüzlülük yüksekliği

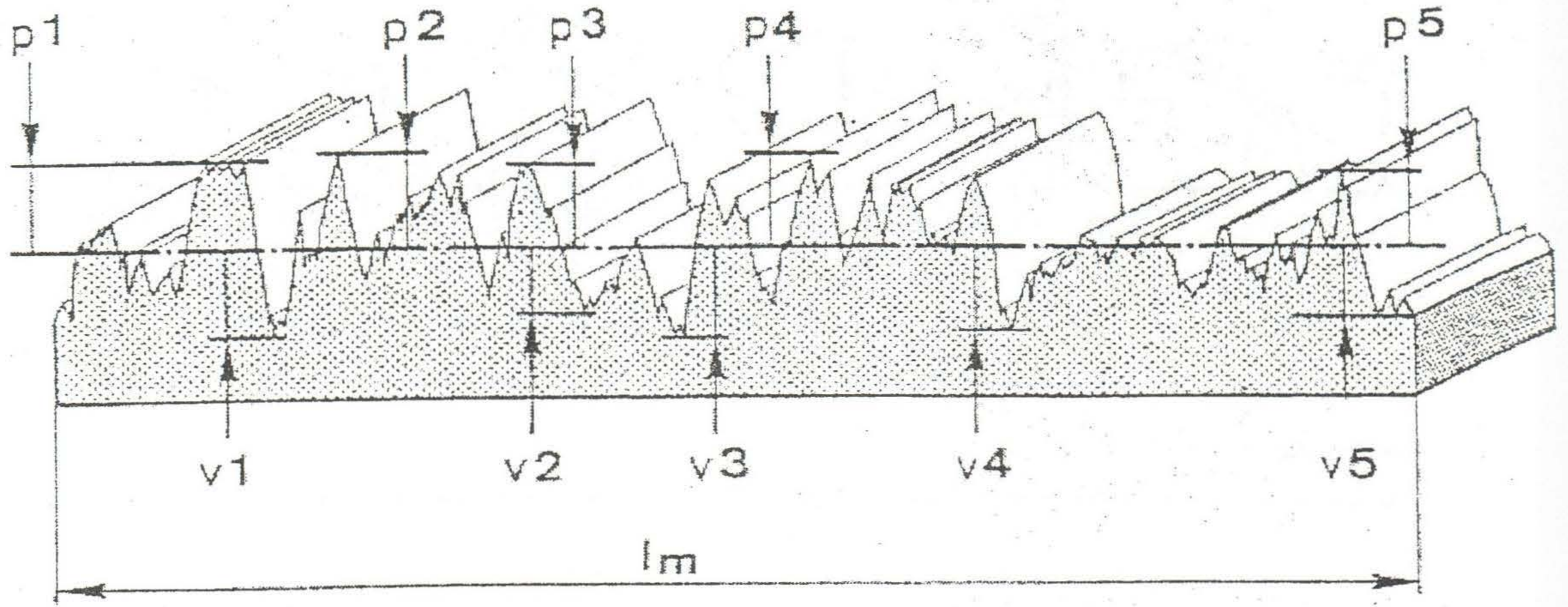
$R_{z(ISO)}$ ve R_y parametreleri DIN parametreleri olan $R_{z(DIN)}$ ve R_{max} 'a denktir. $R_{z(ISO)}$, tarama uzunluğu içerisinde 5 en yüksek tepe ve 5 en derin çukur arasındaki ortalama mesafedir (Şekil 6). R_y , taranan aralık içerisindeki en yüksek tepe ile en derin çukur arasındaki farkı verir. $R_{z(ISO)}$ şu ifade ile formüle edilebilir.

$$R_{z(ISO)} = \frac{1}{5} \left(\sum_{i=1}^5 p_i + \sum_{i=1}^5 v_i \right)$$

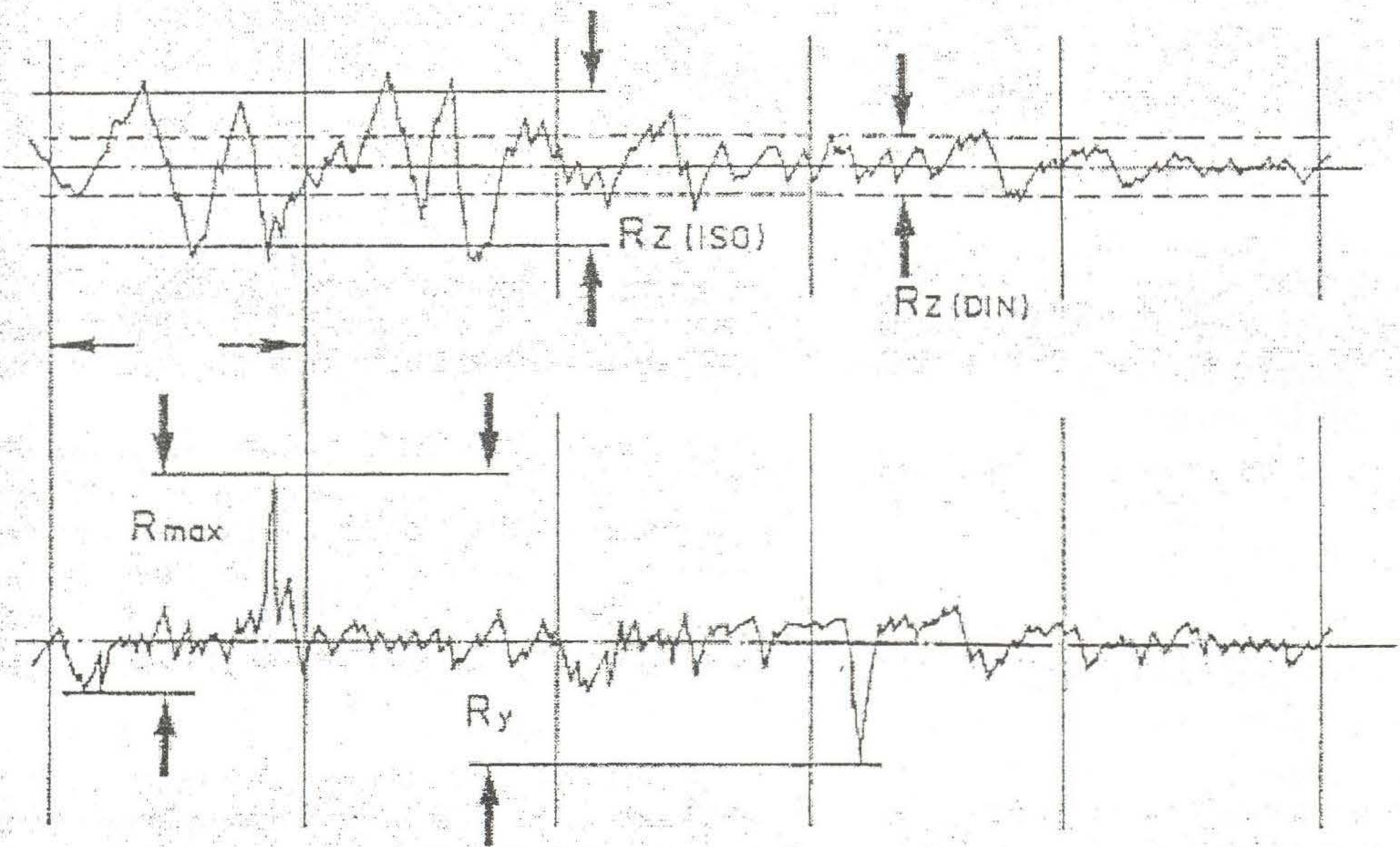
$R_{z(DIN)}$ 'den farklı olarak $R_{z(ISO)}$ 'nun hesaplanması için gerekli olan beş tepe ve çukurun konumunun tarama uzunluğunun neresinde olduğunun önemi yoktur. Kısa bir tarama alanı içerisinde hiçbir tepe ya da çukur olmayabilir, ki bu durumda $R_{z(DIN)}$ doğru biçimde değerlendirilemeyebilir. [1]

$R_{z(ISO)}$ 'nin dezavantajı, şekil 7'de gösterildiği gibi çok sayıda tepe ve çukurun kısa bir aralık içerisinde yer aldığı durumlarda ortaya çıkar. Böyle bir aralıktan, bütün yüzey için genel bir sonuç çıkarmak mümkün değildir. $R_{z(DIN)}$ 5 dalga boyu uzunluğu içerisinde değerlendirilirken $R_{z(ISO)}$ 1, 2, 3 ya da 5 dalga boyundan değerlendirilebilir.

R_y 'nin de R_{max} üzerinde avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Örneğin, Şekil 7'de olduğu gibi en yüksek tepe tarama alanının bir ucunda en derin çukur ise diğer bir ucunda olursa aradaki farkın etkisini yakalamak mümkün olmaz. Bu sınırlamalardan ötürü $R_{z(DIN)}$ ve R_{max} genellikle $R_{z(ISO)}$ ve R_y 'den daha kullanışlıdır.



Şekil 6. $R_{z(ISO)}$ ve R_v parametrelerinin türetimi



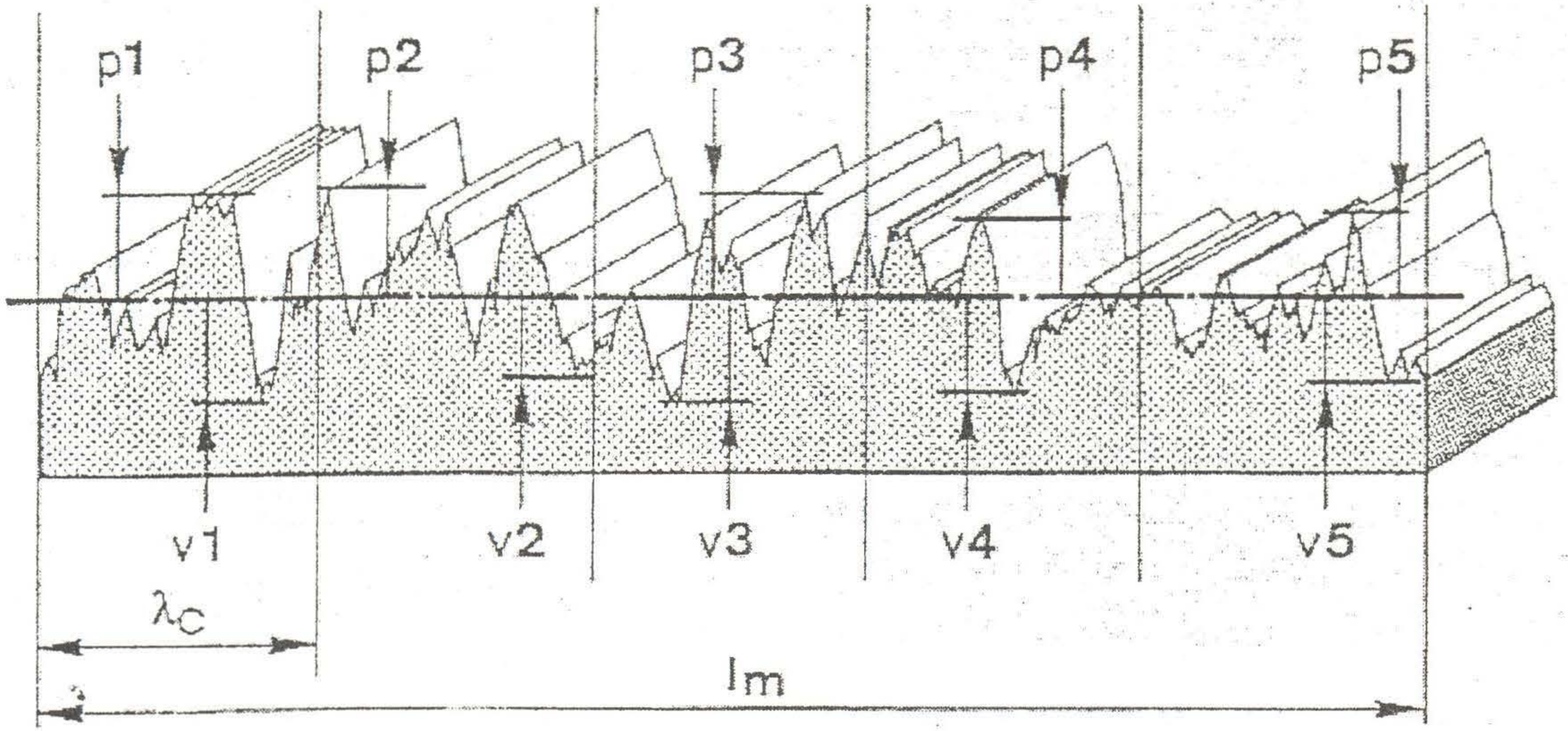
Şekil 7. Farklı profiller için $R_{z(ISO)}$, $R_{z(DIN)}$, R_{max} ve R_v parametrelerinin karşılaştırması

II.4 R_q – Karekök ortalama (RMS) profil yüksekliği

R_q , profilin pürüzlülük ortalama eksen çizgisinden sapma değerinin karesinin ortalamasının kareköküdür. R_q , aşağıdaki şu formülle ifade edilebilmektedir:

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{l_m} \int_0^{l_m} y^2(x) dx}$$

R_q parametresi tepe ve çukurlara karşı R_a 'dan daha hassastır. Bununla birlikte, yaygın kullanıma sahip değildir. Bunun sebebi de ortalama yükseklik profilinden ziyade bilhassa tepe ve çukur gibi aşırı değerleri dikkate alma eğilimidir. (Şekil 3.8)

Şekil 8. R_p , R_{pm} , R_v ve R_{vm} parametrelerinin türetilmesi

- II.5 R_{pm} – Ortalama tepe yüksekliği
 R_p – Maksimum tepe yüksekliği
 R_{vm} – Ortalama çukur derinliği
 R_v – Maksimum çukur derinliği

Şu ana kadar tarif edilen parametreler, tepeler ve çukurlar arasındaki farkı ayırt edemez. Örneğin, derin çukurlardan müteşekkil bir profil aynı büyüklükteki tepelerle oluşan bir yüzeyle aynı $R_{z(DIN)}$ değerini verir. Beş tepenin yükseklik ortalaması R_{pm} , beş çukurun derinlik ortalaması R_{vm} , en derin çukur R_v , en yüksek tepenin ortalama eksenden yüksekliği R_p 'dir. R_{pm} ve R_{vm} şu formüllerle ifade edilebilir.

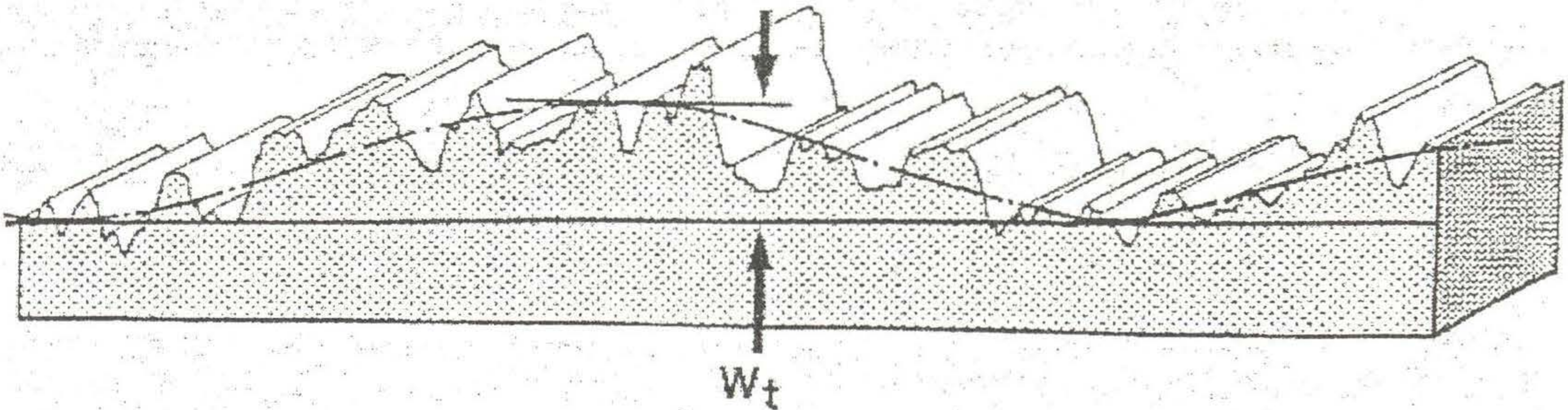
$$R_{pm} = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 p_i \quad R_{vm} = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 v_i$$

III. DALGALILIK PARAMETRELERİ

III.1 W_t – Toplam dalga yüksekliği

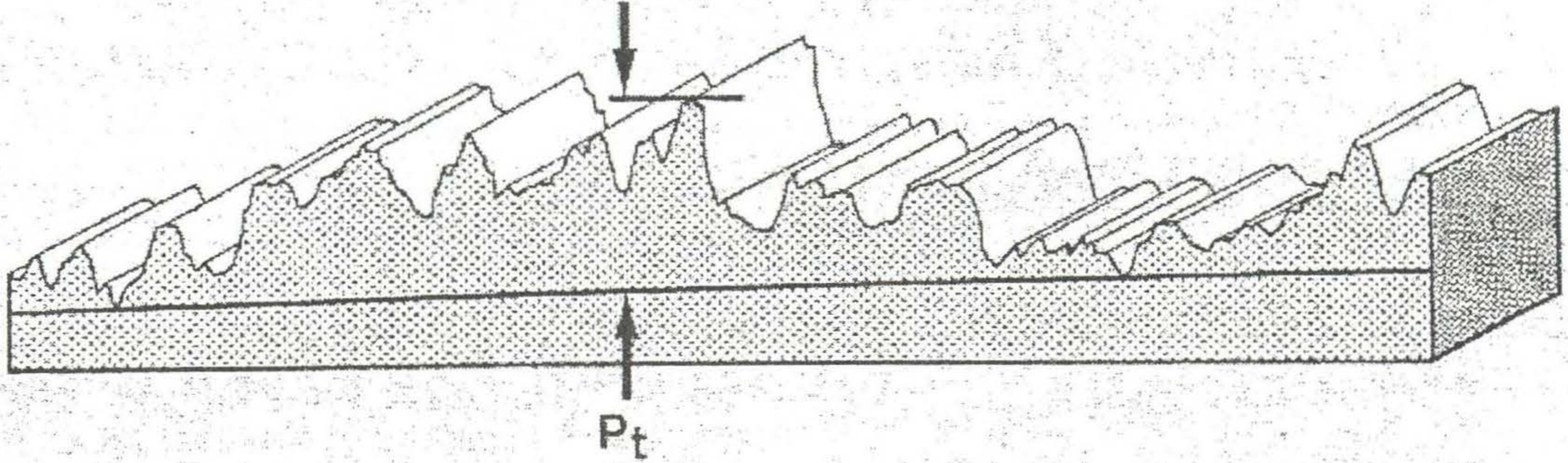
W_t parametresi R_y pürüzlülük parametresine bağlıdır. Şekil 9'da da gösterildiği gibi düzeltilmiş ve filtrelenmiş dalga profilinin tepeden çukura maksimum yüksekliğidir.

Dalgalılık profiline bağlı olarak W_t parametresinin önemli olduğu durumlara bir örnek, içten yanmalı motor silindir başlarıdır. [4]

Şekil 9. W_t parametresinin türetilmesi

IV. TOPLAM PROFİL PARAMETRELERİ

IV.1 P_t – Toplam profil yüksekliği



Şekil 10. P_t parametresinin türetilmesi

P_t , filtrelenmemiş fakat seviyelendirilmiş yüzey profilinin (Şekil 10'da görüldüğü gibi) tepeden çukura toplam yüksekliğidir. P_t parametresi, toplam pürüzlülük yüksekliği R_y ve toplam dalga yüksekliği W_t parametrelerinin toplamına eşittir.

P_t , üretilen yüzeyin nominal düz yüzeyden sapmasının ölçümüdür. P_t , çizik ya da çukurlar gibi münferit yüzey hatalarının bulunması ve sayılması için oldukça kullanışlıdır.[3]

V. SONUÇ

Yüzey pürüzlülüğü parametrelerinin oluşturulmasından maksat, yüzeyin durumunu kesin olarak karakterize edebilen sayılar elde etmek ve böylece makine bileşimini kullanacak kişinin subjektif değerlendirmeler yapmasını önlemektir. Tek bir parametre ile yüzeyi tümüyle karakterize etmek mümkün olmadığından farklı parametreler kullanılmaktadır.

Yüzey parametreleri arasında matematiksel bağıntılar mevcut değildir. Her parça ve yerine getireceği farklı görevler için farklı parametreler gereklidir. Bir yüzeyi ifade etmek için en az iki parametre kullanılmalıdır. Profilin her zaman filtresiz bir ölçümü de alınmalıdır.

KAYNAKLAR

[1] Leigh, Mummery B. Eng, Surface texture analysis the handbook, Schnurr druck, Hommewerkw Germany, 1990

[2] Williams J.A., Engineering Tribology, Oxford Science Publications, 1994

[3] Ulukan L. Makine Elemanları III, İTÜ Makine Fakültesi, 1991

[4] Moore D., Principles and Applications of Tribology, Pergamon Press, 1975