

Türk Bina Deprem Yönetmeliği Kapsamında Performansa Dayalı Tasarım Sismik Taban Yalıtımı ve PERFORM-3D ile Mühendislik Uygulamaları

Gebze Teknik Üniversitesi, 2017

Sismik Taban Yalıtımı ve Uygulamaları

İnş. Yük. Müh. Mustafa Deniz Güler

Bu eğitim sunumlarındaki birçok görsel, kaynakça bilgileri açıkça verilmemekle beraber, çeşitli kaynaklardan derlenmiştir.

Most of the visuals in this training presentation are gathered from various literature although reference information is not stated explicitly.

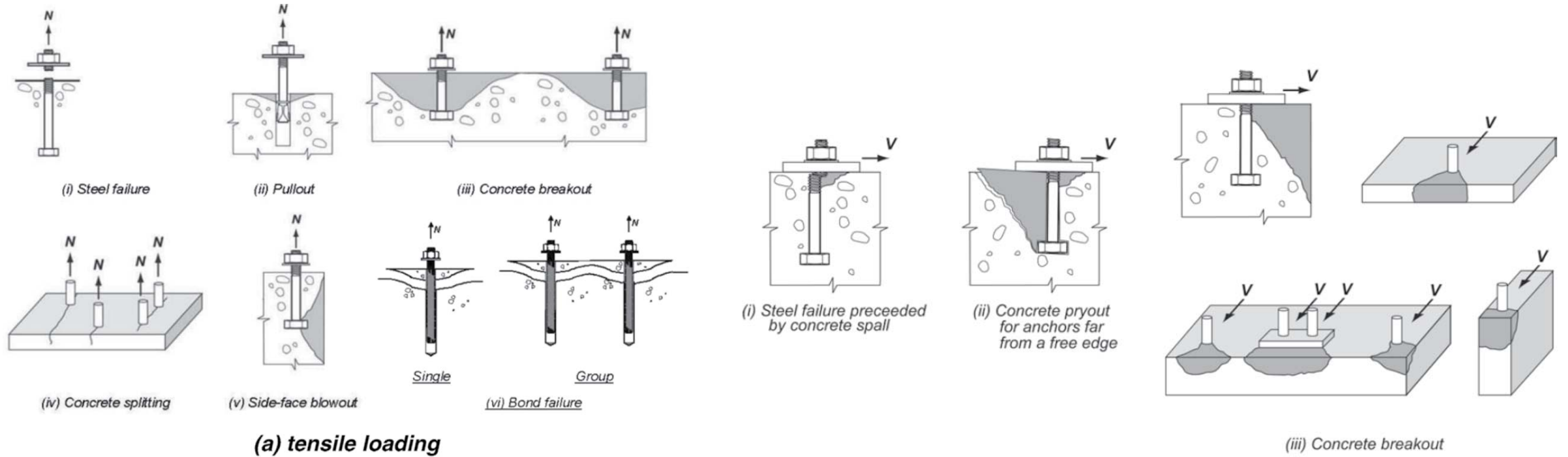
Taban Yalıtımı Uygulamaları: İçerik

- Yalıtım Düzlemi Seçim Kriterleri
 - Yalıtım Birimi Ankraj Tasarımı
 - İkinci Mertebe Etkilerini Karşılayabilecek Dayanım
 - Yalıtım Birimlerinin Altında ve Üstünde Sargılı Beton Alanı
 - Aynı Yalıtım Düzleminde Birbirinden Bağımsız Yapılar Bulunmaması
- Yalıtım Birimleri Tasarım Özellikleri Karşılaştırması
- Rezerv Kapasite
- Yalıtım Düzlemi Konfigürasyonları
- Yalıtım Birimleri Fail-Safe Mekanizmaları
- Yalıtım Birimlerinde Çekme Kuvveti ve Kalkma
- Yalıtım Birimleri Taban Plakası Tasarımları
- Yalıtım Birimleri Testleri
 - Prototip Testleri
 - Üretim Testleri
- Alt/Üst Limit Değerleri
 - Elastomer Yalıtım Birimleri
 - Çevrimsel Etkiler
 - Sıcaklık Etkileri
 - Yaşlanma
 - Yükleme Hızına Bağlı Değişiklik
 - Eksenel Yük Seviyesine Bağlı Değişim
 - Sürtünmeli Sarkaç Yalıtım Birimleri
 - Sıcaklık Etkileri
 - Sürtünmenin Yükleme Hızına Bağlı Değişimi
 - Sürtünmenin Eksenel Yüke Bağlı Değişimi
 - Yaşlanma
 - Kirlenme

Yalıtım Düzlemi Seçim Kriterleri

- Yalıtım Birimleri Ankraj Tasarımı

Ankrajların tasarımını genellikle beton göçme modları kontrol etmektedir.



Ankrajların bu tesirleri taşıyabilmesi için betonarme kesitlerde yeterli kenar mesafeleri ve/veya derinlik kriterlerinin sağlanması gerekir.

Yalıtım Düzlemi Seçim Kriterleri

- Yalıtım Birimleri Ankraj Tasarımı

İhtiyaç duyulan kenar mesafeleri ilave önlemler alınmadığı durumlarda 60 cm mertebelerinde olabilmektedir. Ankrajlar etrafında ilave donatılar kullanılarak bu mesafeler azaltılabilir.

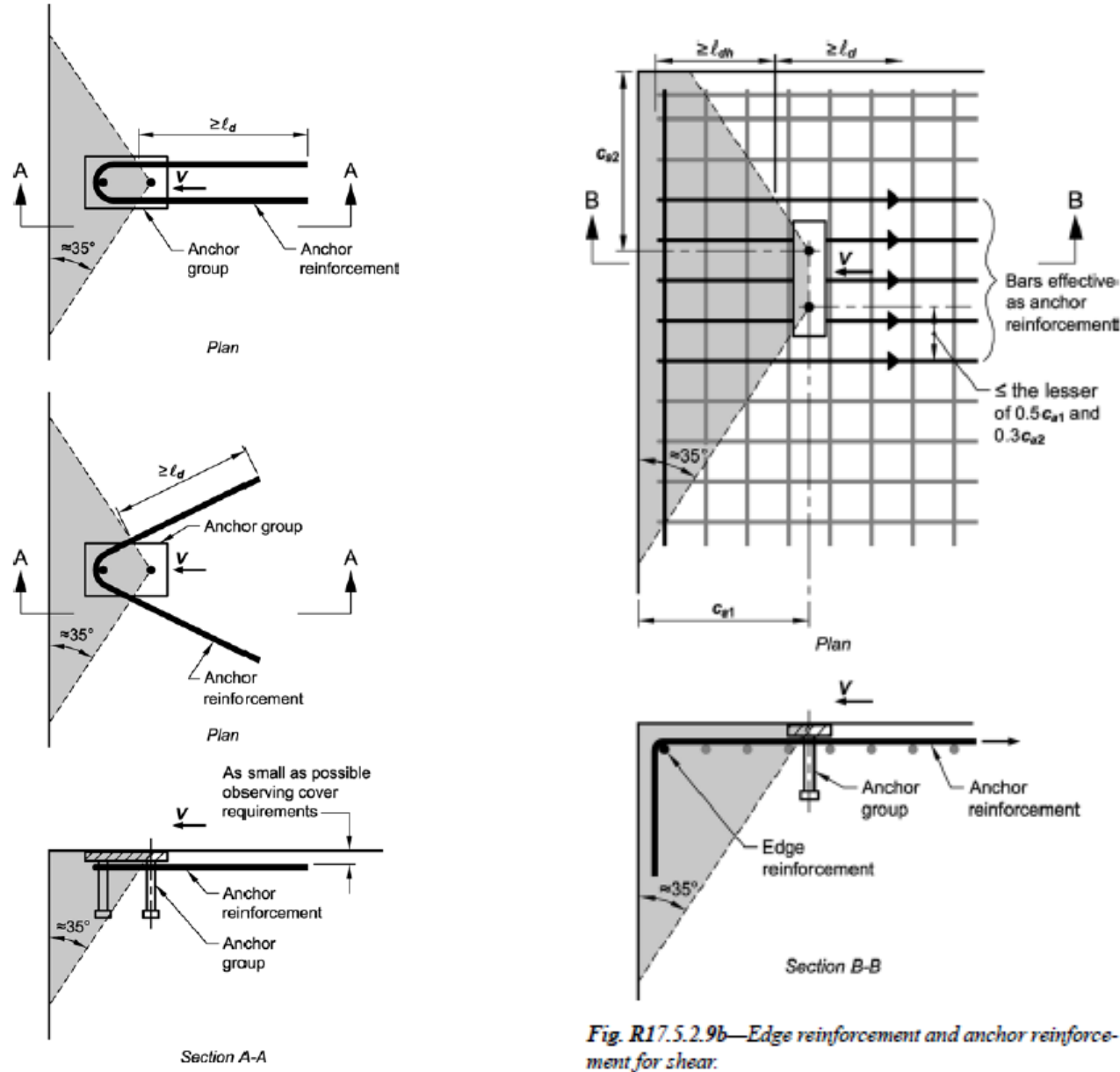


Fig. R17.5.2.9a—Hairpin anchor reinforcement for shear.

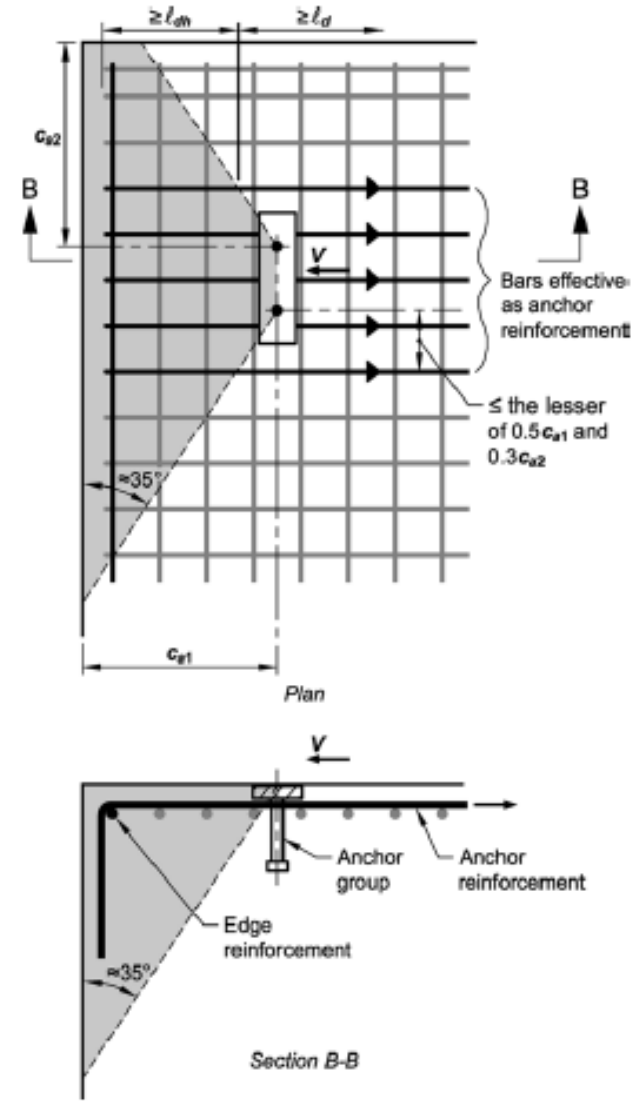
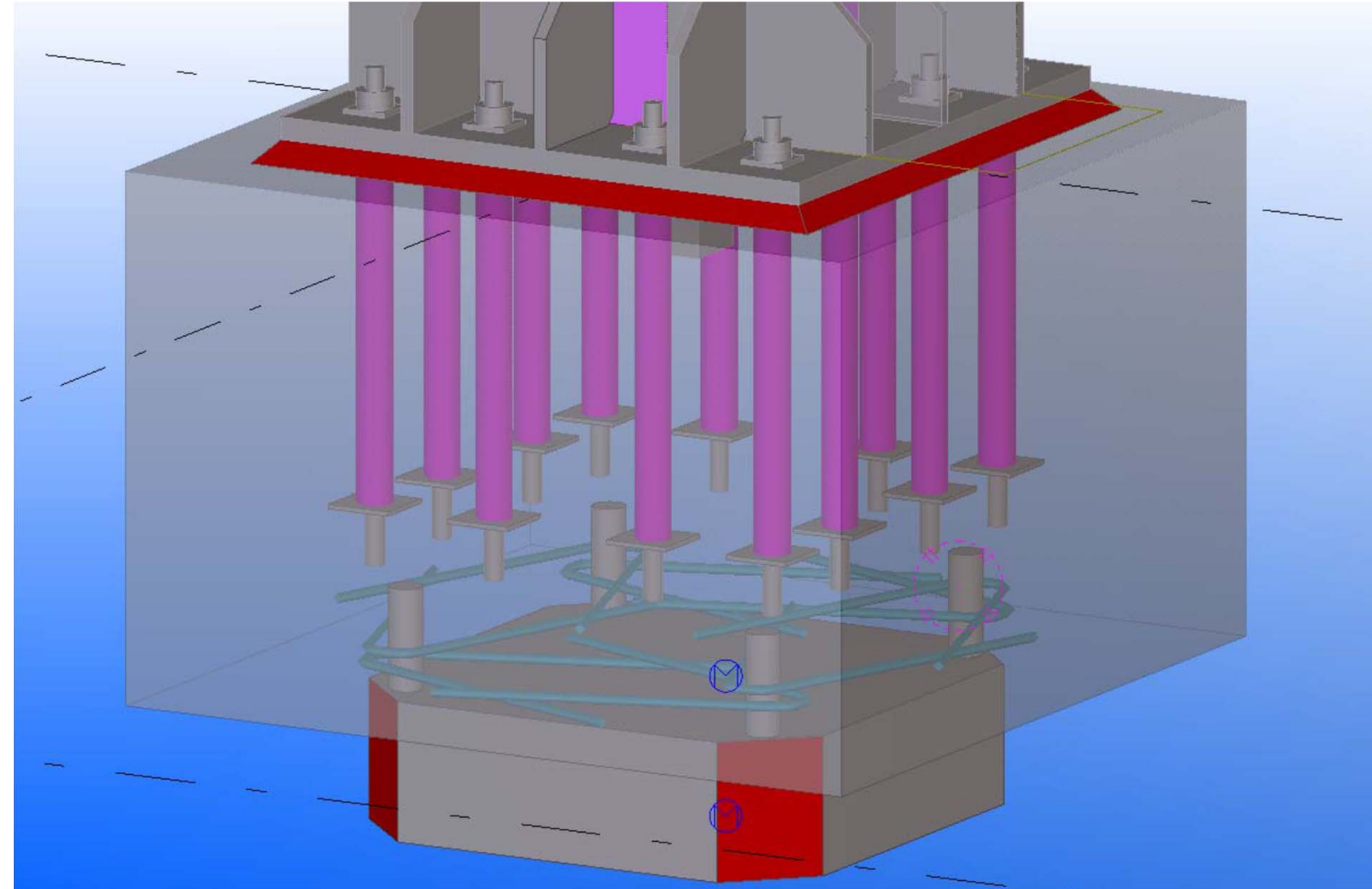


Fig. R17.5.2.9b—Edge reinforcement and anchor reinforcement for shear.



Yalıtım Düzlemi Seçim Kriterleri

- Yalıtım Birimleri Ankraj Tasarımı

Yalıtım birimlerinin montajında belirli yükseklikte grout kullanılmaktadır. Grout tabakasının yüksekliği gözetilerek ankrajlarda oluşabilecek eğilme tesirleri göz önüne alınmalıdır.



Column Bases in Shear and Normal Force, Gresnigt ve diğerleri

Yalıtım Düzlemi Seçim Kriterleri

- Yalıtım Birimleri Ankraj Tasarımı

Ankraj (ve izolatör taban plakası) Tasarım Kuvvetleri

- Analizden elde edilen kuvvetler
- Yalıtım birimi kapasitesi



Yalıtım Düzlemi Seçim Kriterleri

- İkinci Mertebe Etkilerini Karşılayabilecek Düzeyde Dayanım

Yalıtım birimlerinde oluşan ikinci mertebe etkileri nedeni ile yalıtım düzleminin bu ilave tesirleri karşılayabilecek düzeyde dayanıma sahip olması gerekmektedir.

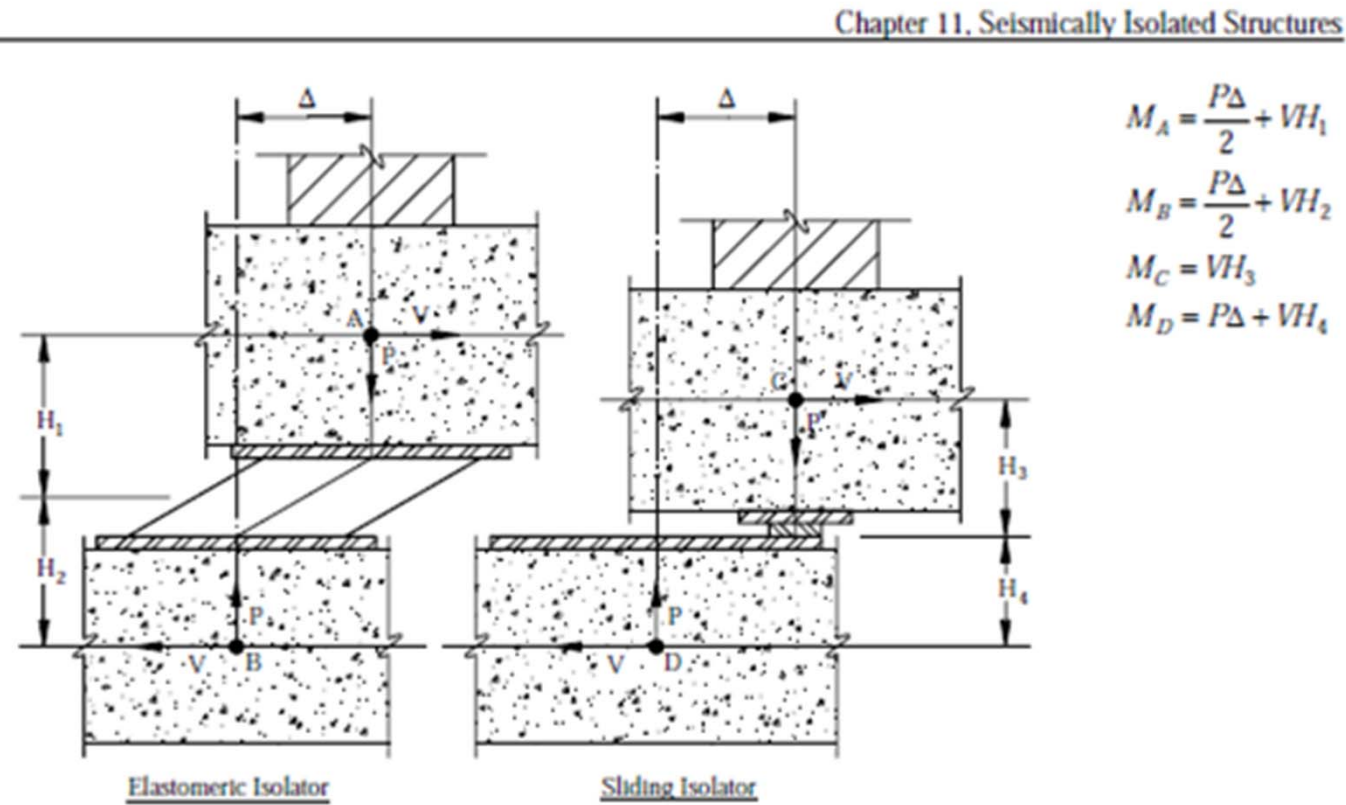


Figure 11.4-1 Moments due to horizontal shear and P-delta effects.

Örnek:

Yalıtım birimi üzerinde 4000 kN eksenel yük, 400 kN kesme, yatay deplasman 30 cm ve yalıtım birimi yüksekliği 50 cm için ve yalıtım düzlemi yüksekliği 80 cm için;

$$M_A = 4000 \times 0.30 / 2 + 400 \times (0.5 + 0.8) / 2 = 860 \text{ kNm}$$

Yalıtım Düzlemi Seçim Kriterleri

- Yalıtım Birimlerinin Altında ve Üstünde Sargılı Beton Alanı

Yalıtım birimlerine etkiyen tesirlerin karşılanabilmesi amacı ile izolatörlerin altında ve üstünde bulunan betonarme kesirlerin belirli geometrik koşulları sağlaması gerekir.

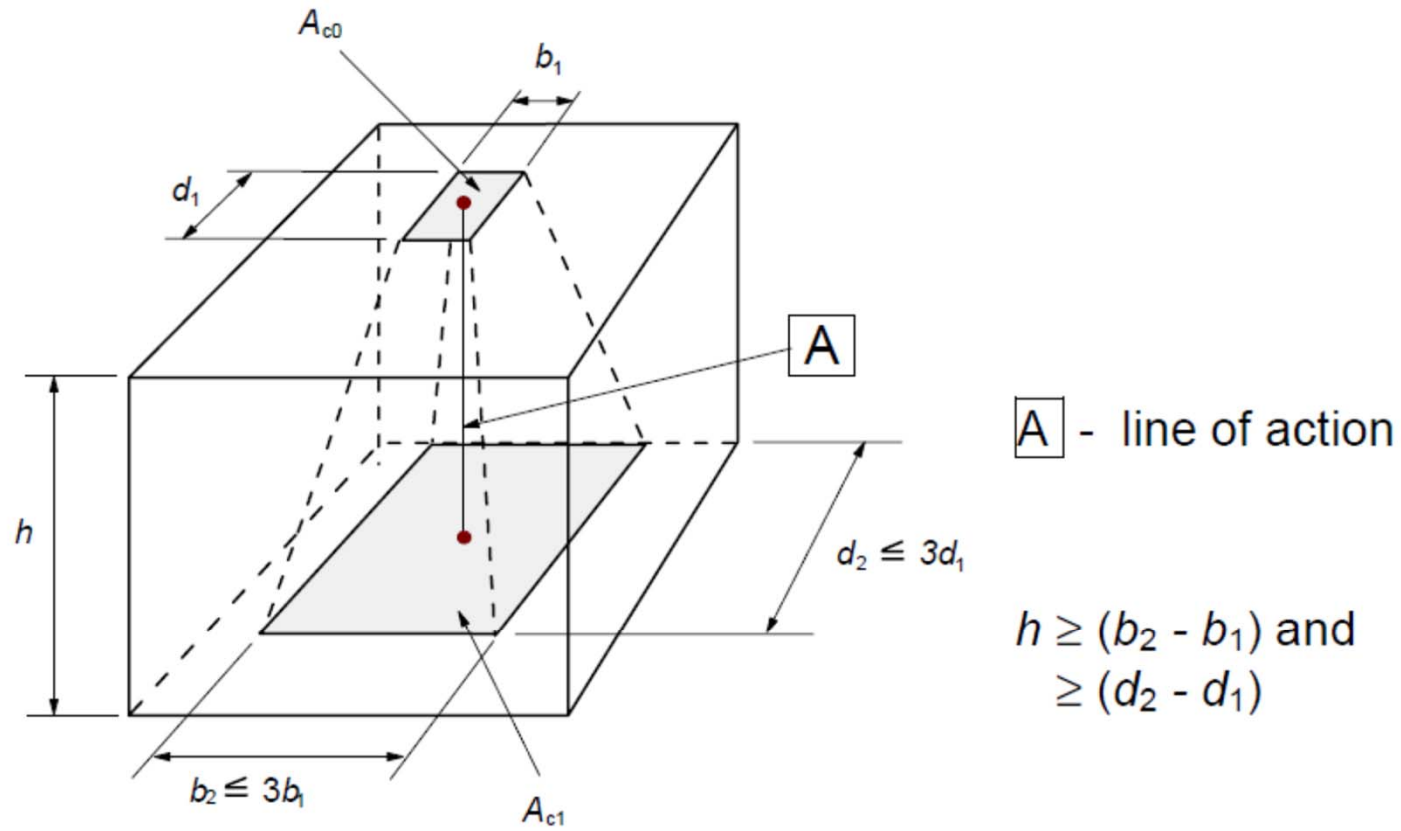


Figure 6.29: Design distribution for partially loaded areas

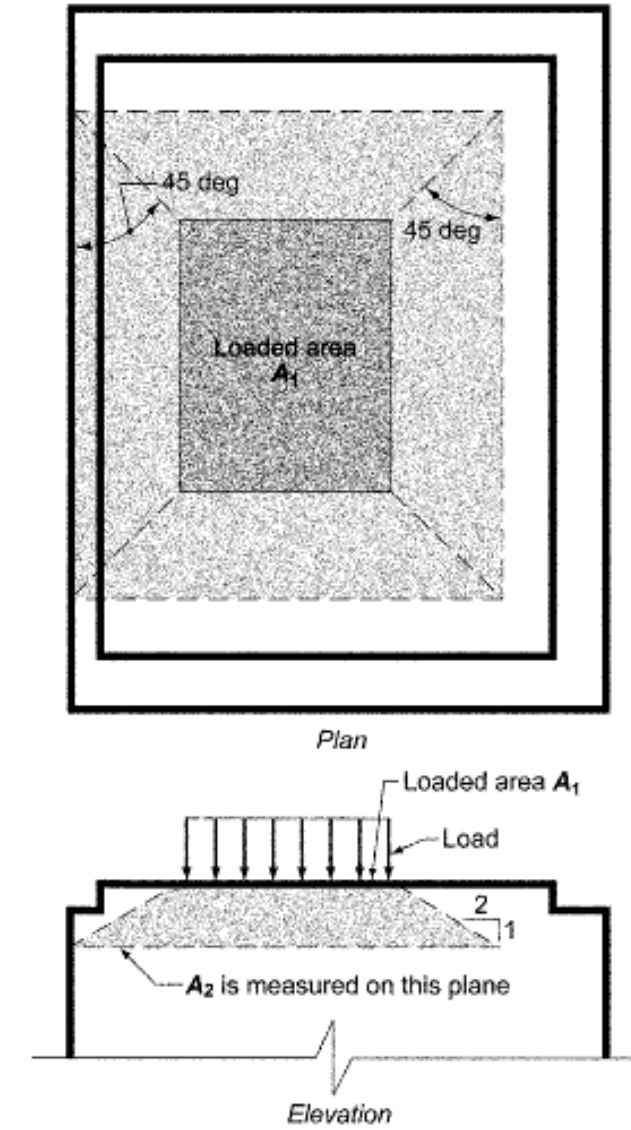


Fig. R10.14—Application of frustum to find A_2 in stepped or sloped supports.

Yalıtım Düzlemi Seçim Kriterleri

- Aynı yalıtım Düzlemi üzerinde birbirinden bağımsız yapılar bulunmaması



OK!

Yalıtım Düzlemi Seçim Kriterleri

- Aynı yalıtım Düzlemi üzerinde birbirinden bağımsız yapılar bulunmaması



Yönetmelik Mevcut Değil

Yalıtım Düzlemi Seçim Kriterleri

- Aynı yalıtım Düzlemi üzerinde birbirinden bağımsız yapılar bulunmaması

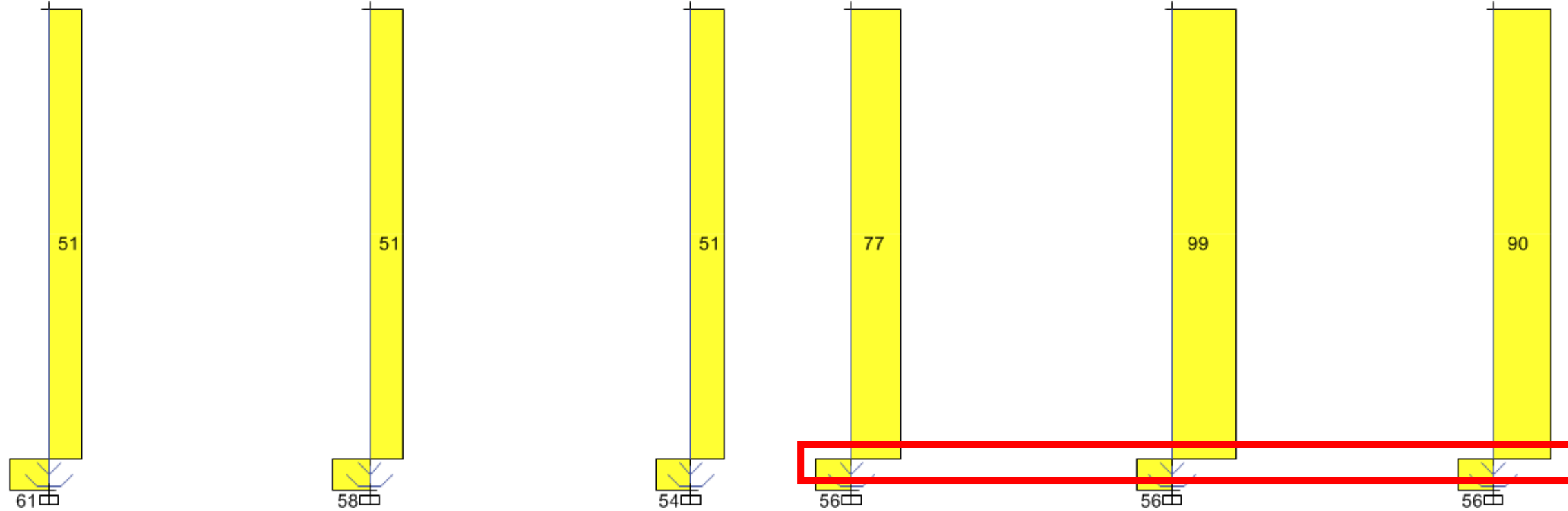
Yönetmeliklerde verilen formülasyonlar kullanılarak yapı tasarımının tamamlanabilmesi için yalıtım düzlemi üzerinde birbirinden bağımsız yapılar bulunmamalıdır.



Yalıtım Düzlemi Seçim Kriterleri

- Aynı yalıtım Düzlemi üzerinde birbirinden bağımsız yapılar bulunmaması

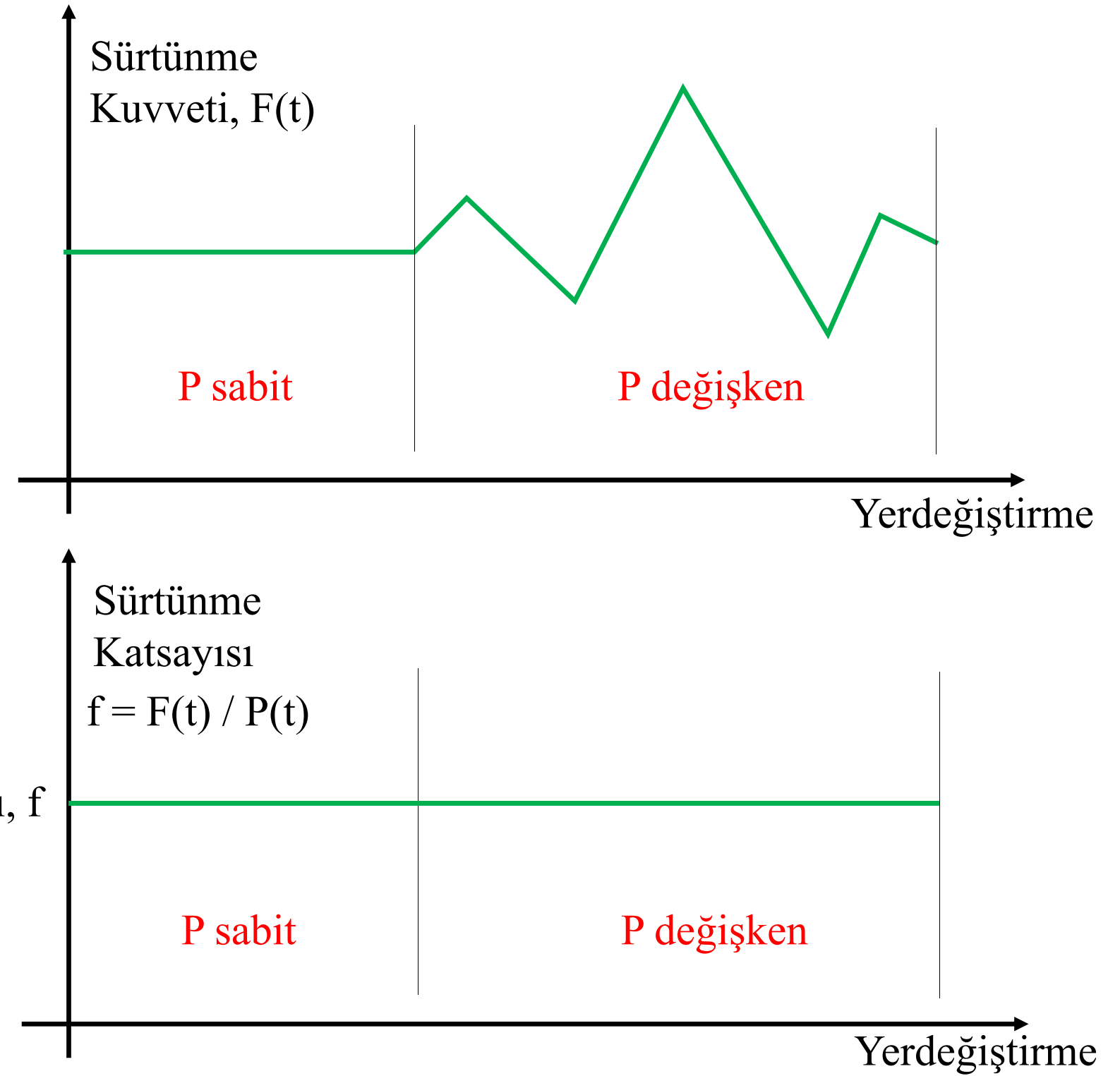
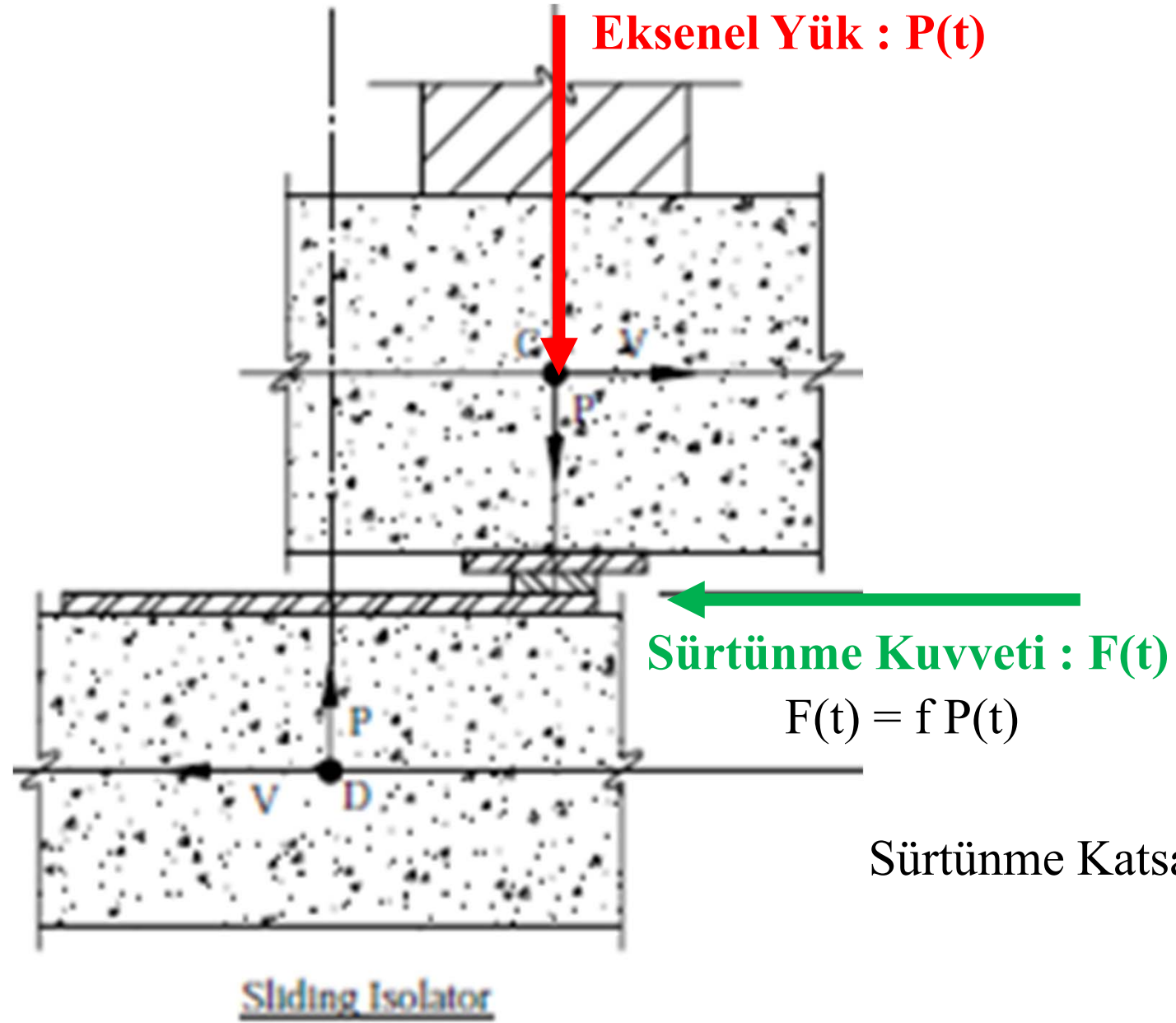
Yönetmeliklerde verilen formülasyonlar kullanılarak yapı tasarımının tamamlanabilmesi için yalıtım düzlemi üzerinde birbirinden bağımsız yapılar bulunmamalıdır.



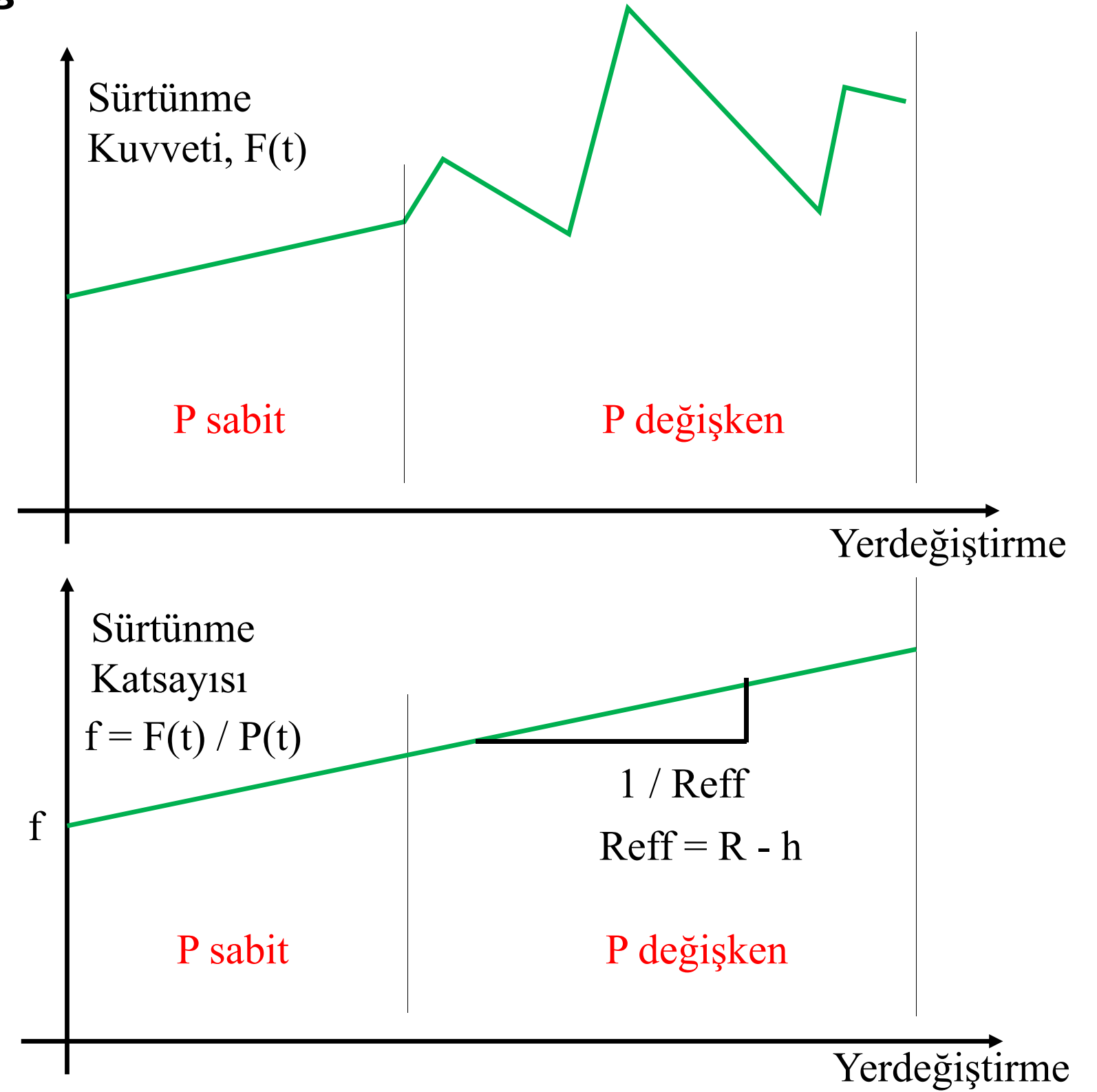
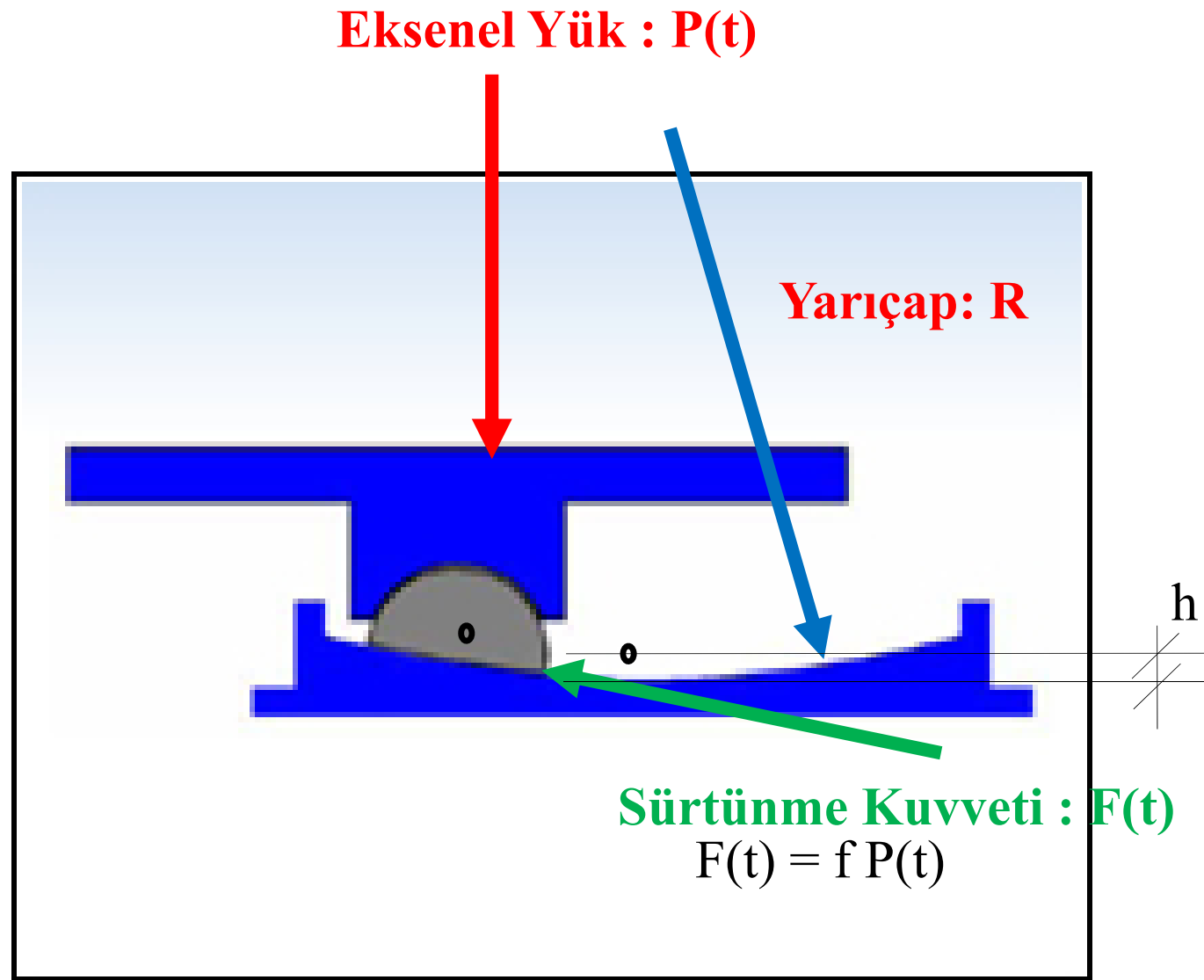
Efektif izolasyon periyodu 3.7 sn
Birbirinden bağımsız 0.5, 1 ve 1.5 sn periyotlu
çubuklar

Efektif izolasyon periyodu 3.7 sn
İzolasyon düzleminde rijit diyafram ile bağlı 0.5, 1 ve
1.5 sn periyotlu çubuklar

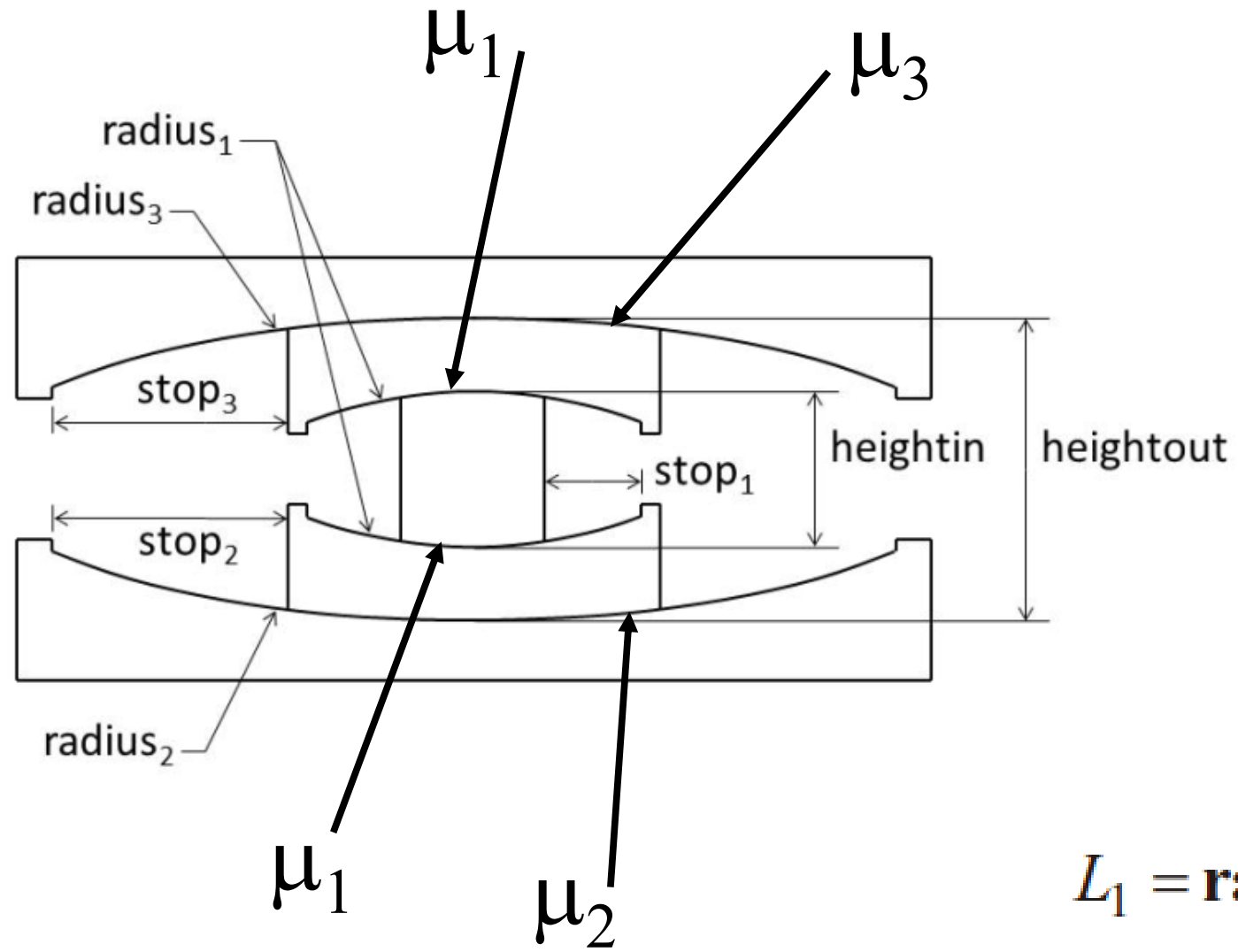
Sürtünmeye Dayalı İzolatör Davranış ve Modellemesi: Düz Mesnet



Sürtünmeye Dayalı İzolatör Davranış ve Modellemesi: Tek Pendulum



Sürtünmeye Dayalı İzolatör Davranış ve Modellemesi: Üçlü Pendulum

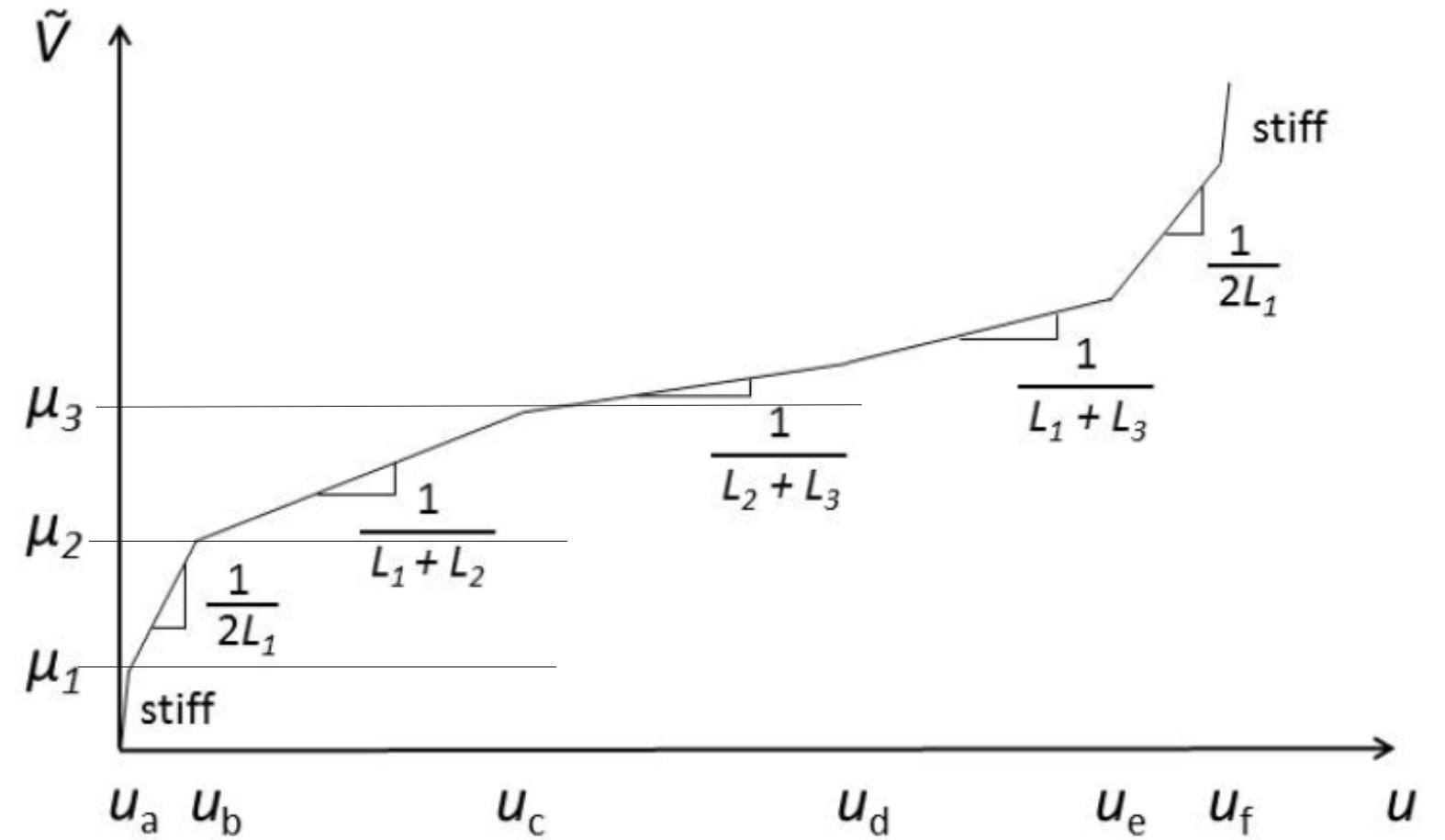


Efektif Yarıçaplar,
Reff

$$L_1 = \text{radius}_1 - 0.5 \text{ heightin}$$

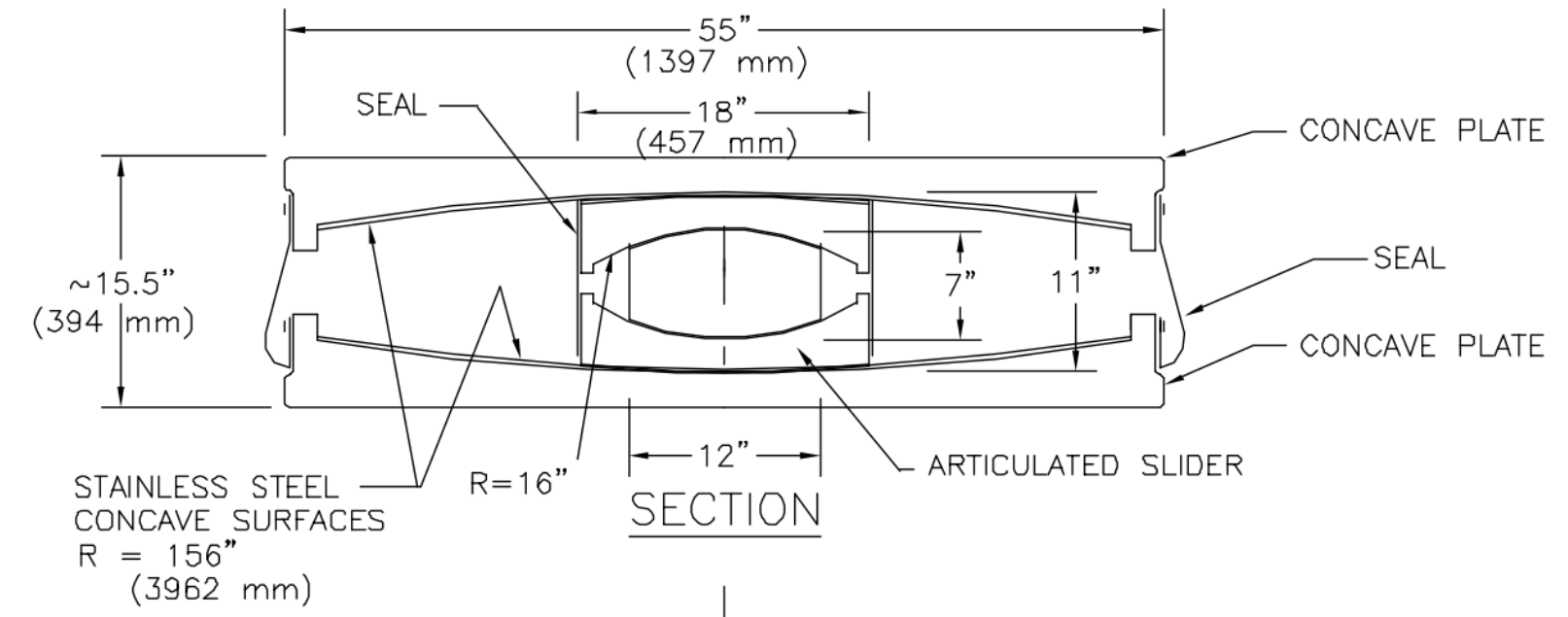
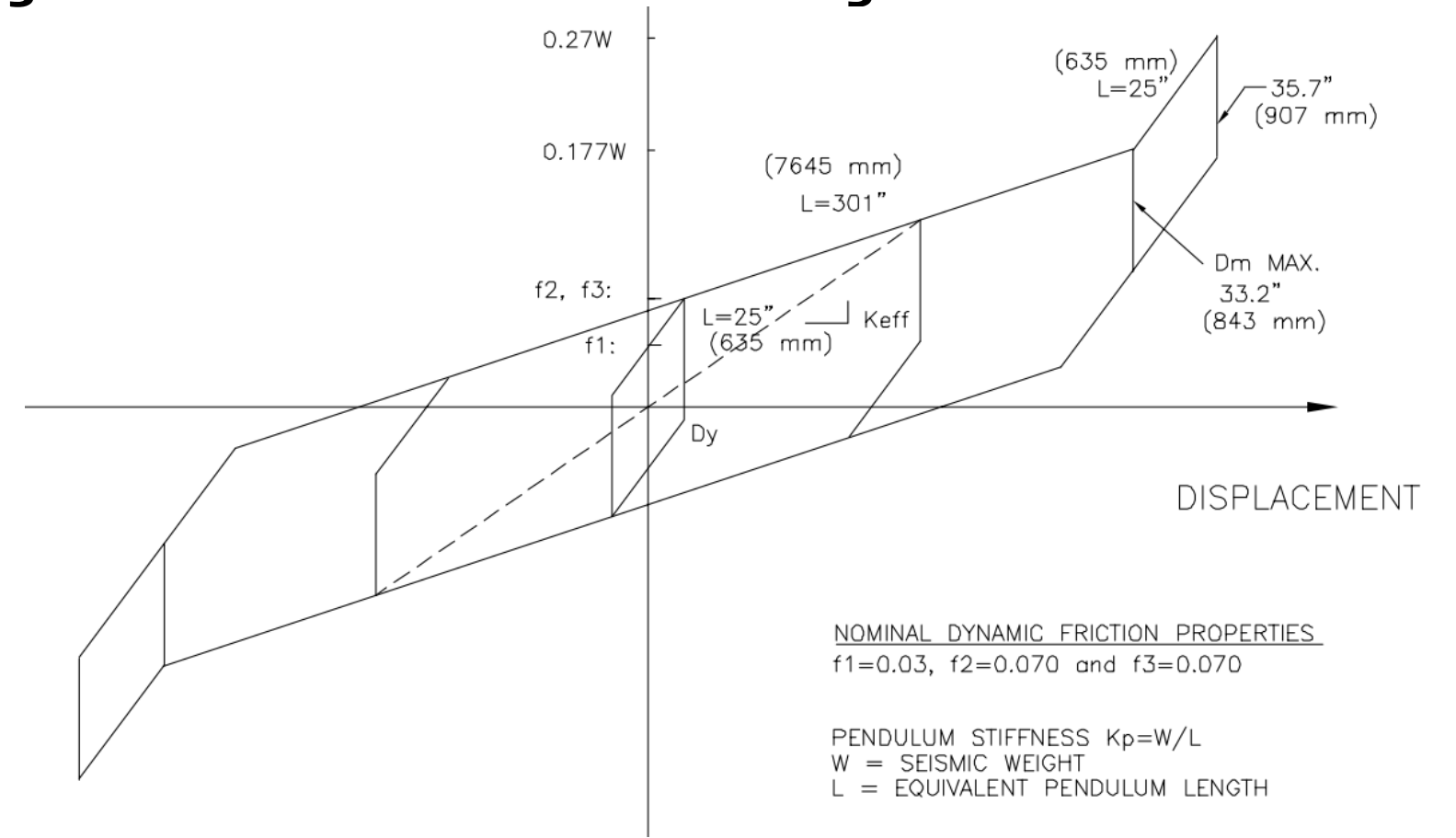
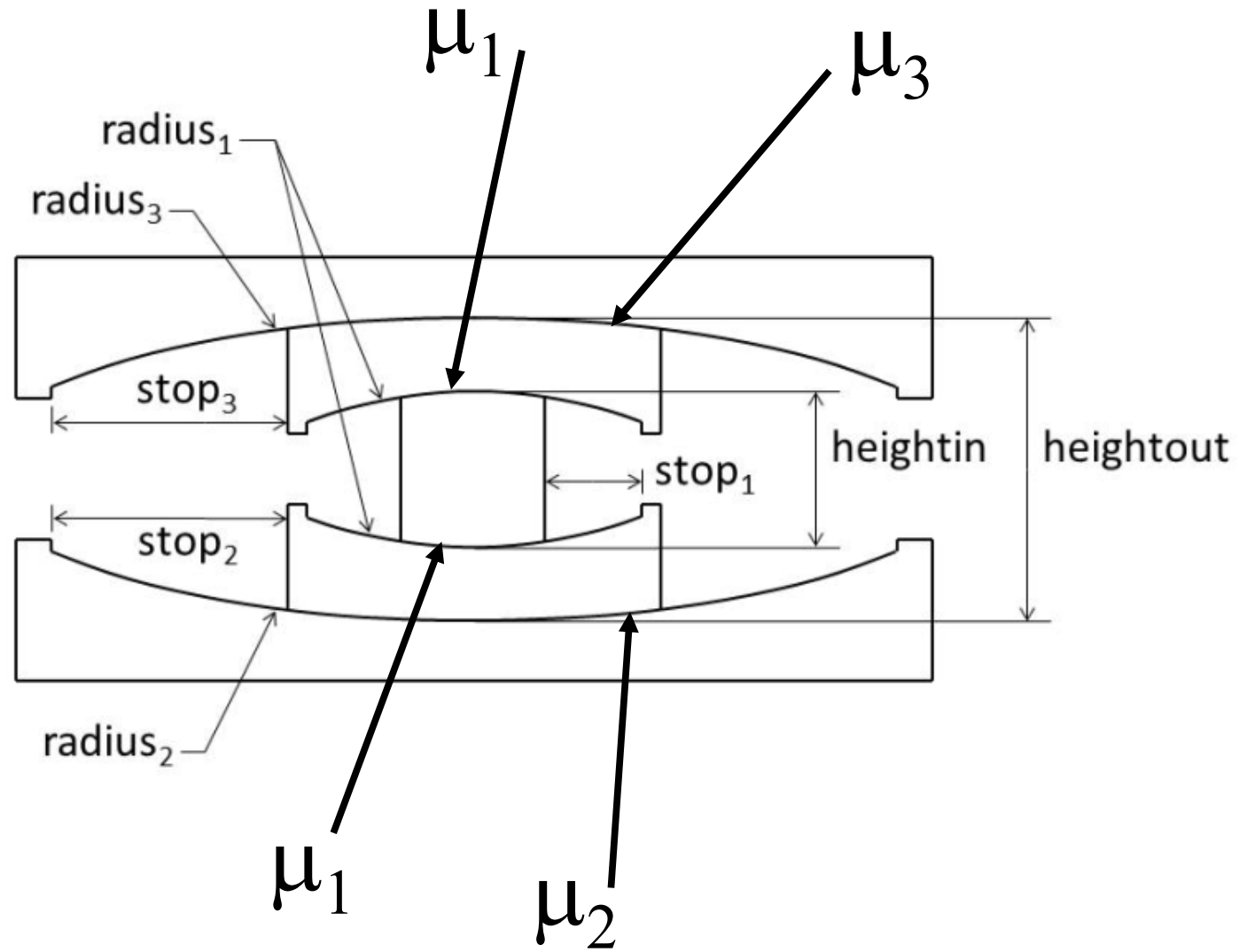
$$L_2 = \text{radius}_2 - \alpha \text{ heightout}$$

$$L_3 = \text{radius}_3 - (1 - \alpha) \text{ heightout}$$



$$\alpha = \frac{\text{radius}_2}{\text{radius}_2 + \text{radius}_3}$$

Sürtünmeye Dayalı İzolatör Davranış ve Modellemesi: Üçlü Pendulum



$$R_1 = 16 \text{ in}, \quad R_2 = R_3 = 156 \text{ in}, \quad h_{in} = 7 \text{ in}, \quad h_{out} = 11 \text{ in}$$

$$R_{1,eff} = R_1 - h_{in} / 2 = 12.5 \text{ in}$$

$$R_{2,eff} = R_2 - h_{in} / 2 = 150.5 \text{ in}$$

$$R_{3,eff} = R_3 - h_{in} / 2 = 150.5 \text{ in}$$

$$L_1 = 2 R_{1,eff} = 15 \text{ in}, \quad L_2 = 2 R_{2,eff} = 301 \text{ in},$$

Sürtünmeye Dayalı İzolatör Davranış ve Modellemesi: Üçlü Pendulum

Link/Support Directional Properties

Identification

Property Name: 00TFP Type: Triple Pendulum

Direction: U2; U3 NonLinear: Yes

Linear Properties

Effective Stiffness - U2: 5.7101 Effective Stiffness - U3: 5.7101

Effective Damping - U2: 0. Effective Damping - U3: 0.

Shear Deformation Location

Distance from End-J - U2: 7.874 Distance from End-J - U3: 7.874

Height and Symmetry of Sliding Surfaces

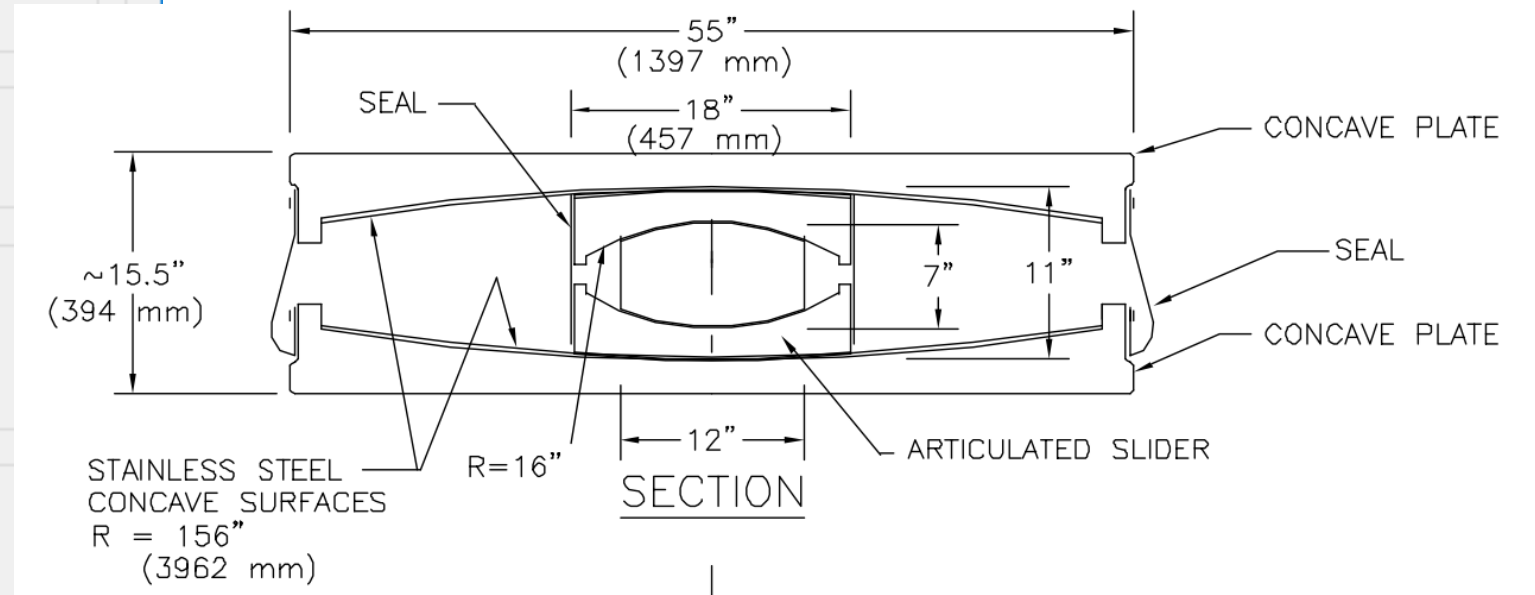
Height for Outer Surface: 11. ☒ Outer Bottom Surface is Symmetric to Outer Top Surface

Height for Inner Surface: 7. ☒ Inner Bottom Surface is Symmetric to Inner Top Surface

Nonlinear Properties for Directions U2 and U3

	Outer Top	Outer Bottom	Inner Top	Inner Bottom
Stiffness	57.1015	57.1015	57.1015	57.1015
Friction Coefficient, Slow	0.068	0.068	0.031	0.031
Friction Coefficient, Fast	0.068	0.068	0.031	0.031
Rate Parameter	0.0254	0.0254	0.0254	0.0254
Radius of Sliding Surface	155.9843	155.9843	16.	16.
Stop Distance	16.5748	16.5748	1.2598	1.2598

OK Cancel



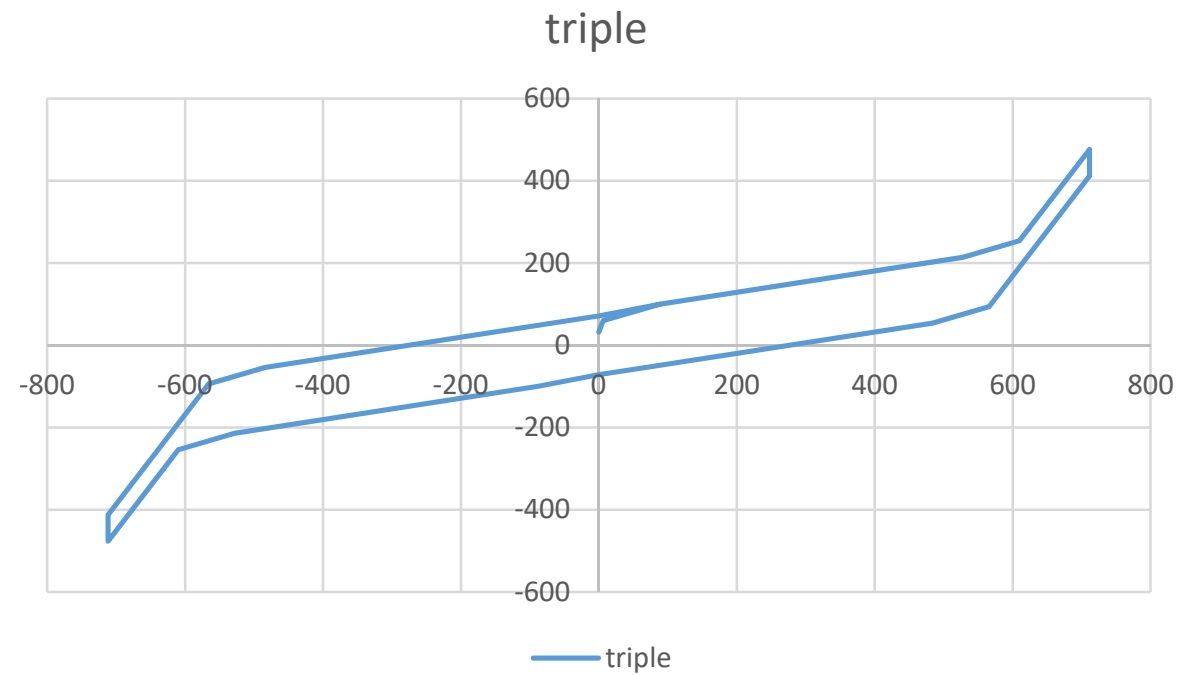
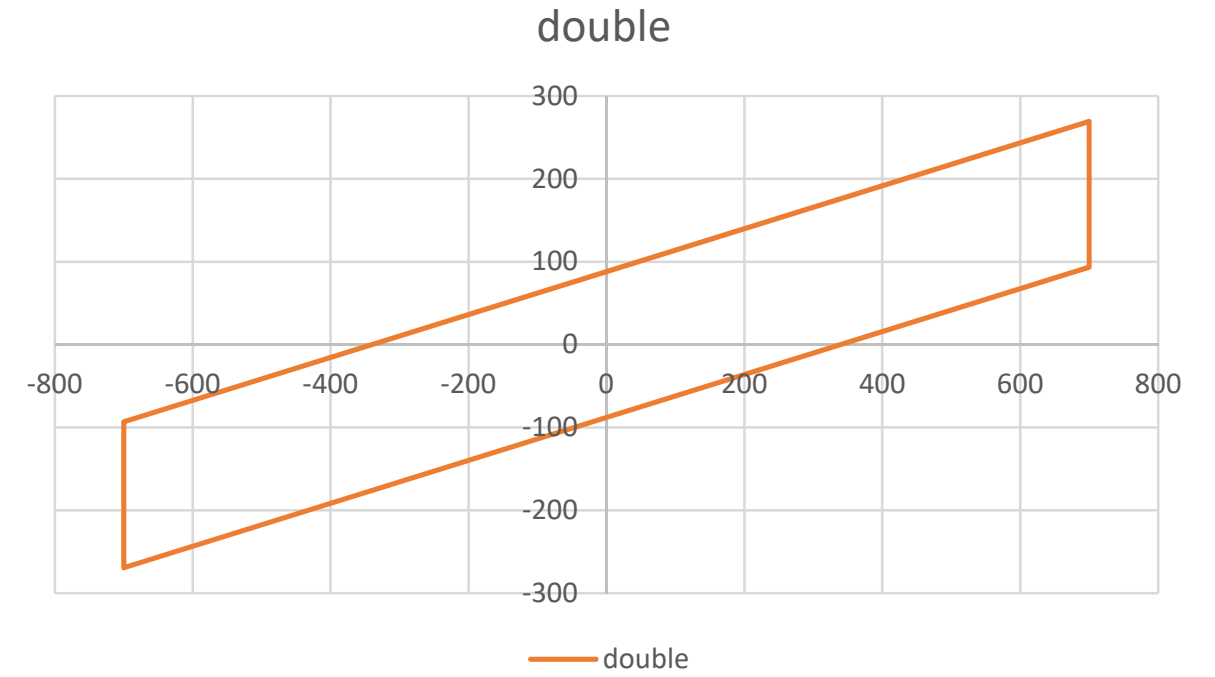
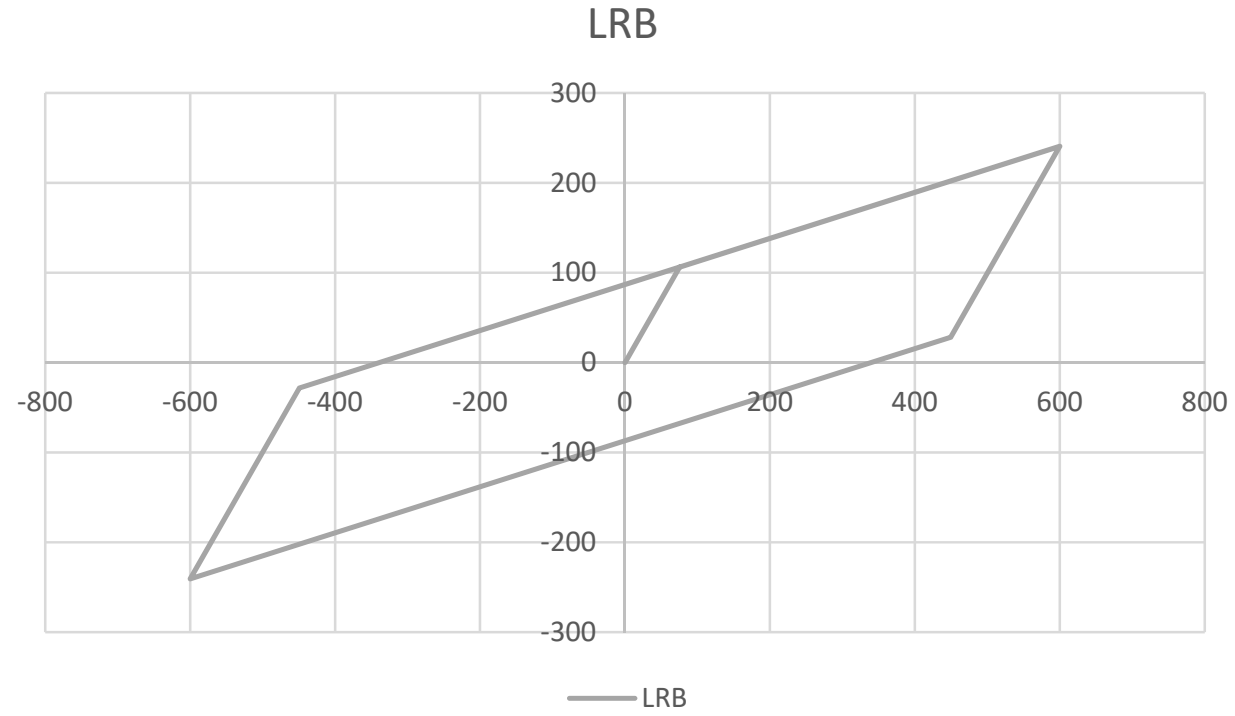
Fast Nonlinear Analyses (FNA)

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{x}}(t) + \mathbf{C}\dot{\mathbf{x}}(t) + \mathbf{K}\mathbf{x}(t) = \mathbf{F}(t)$$

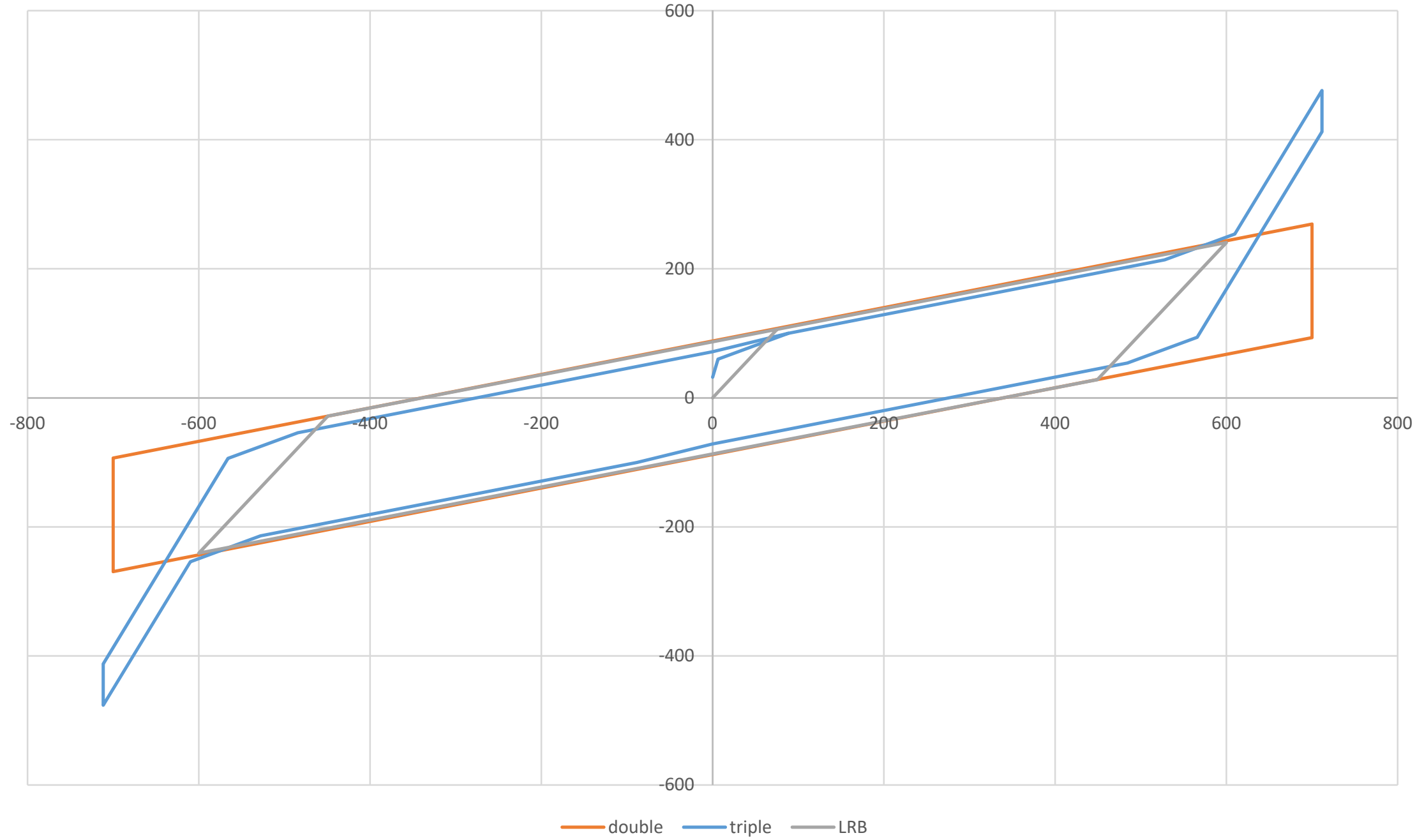
$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{x}}(t) + \mathbf{C}\dot{\mathbf{x}}(t) + \mathbf{K}\mathbf{x}(t) + \mathbf{F}_{\text{NL}}(t) = \mathbf{F}(t)$$

Yalıtım Birimleri Tasarım Özellikleri Karşılaştırması

- Sürtünmeli Sarkaç Tipi Yalıtım Birimlerinde Yatay Kuvvetler Eksenel Yüke Bağlı!

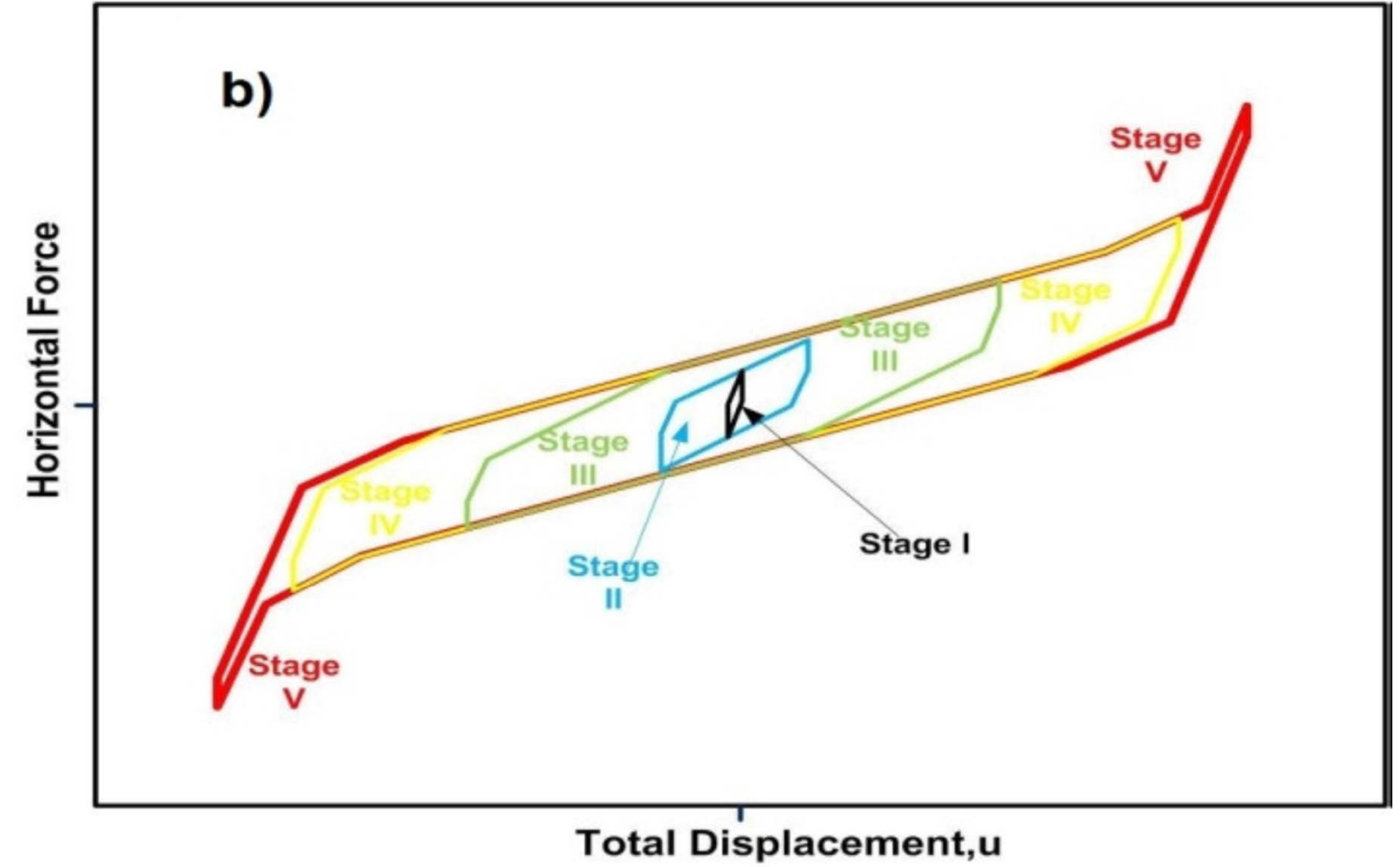
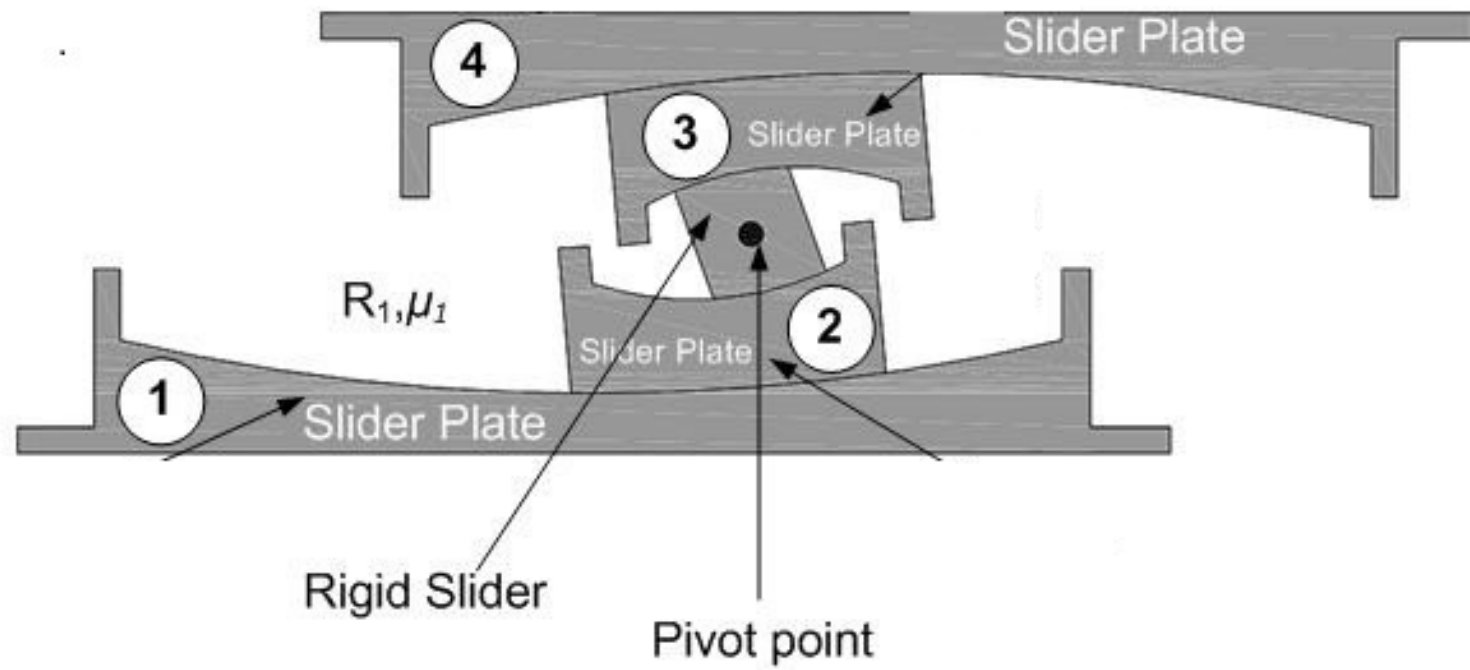


Yalıtım Birimleri Tasarım Özellikleri Karşılaştırması

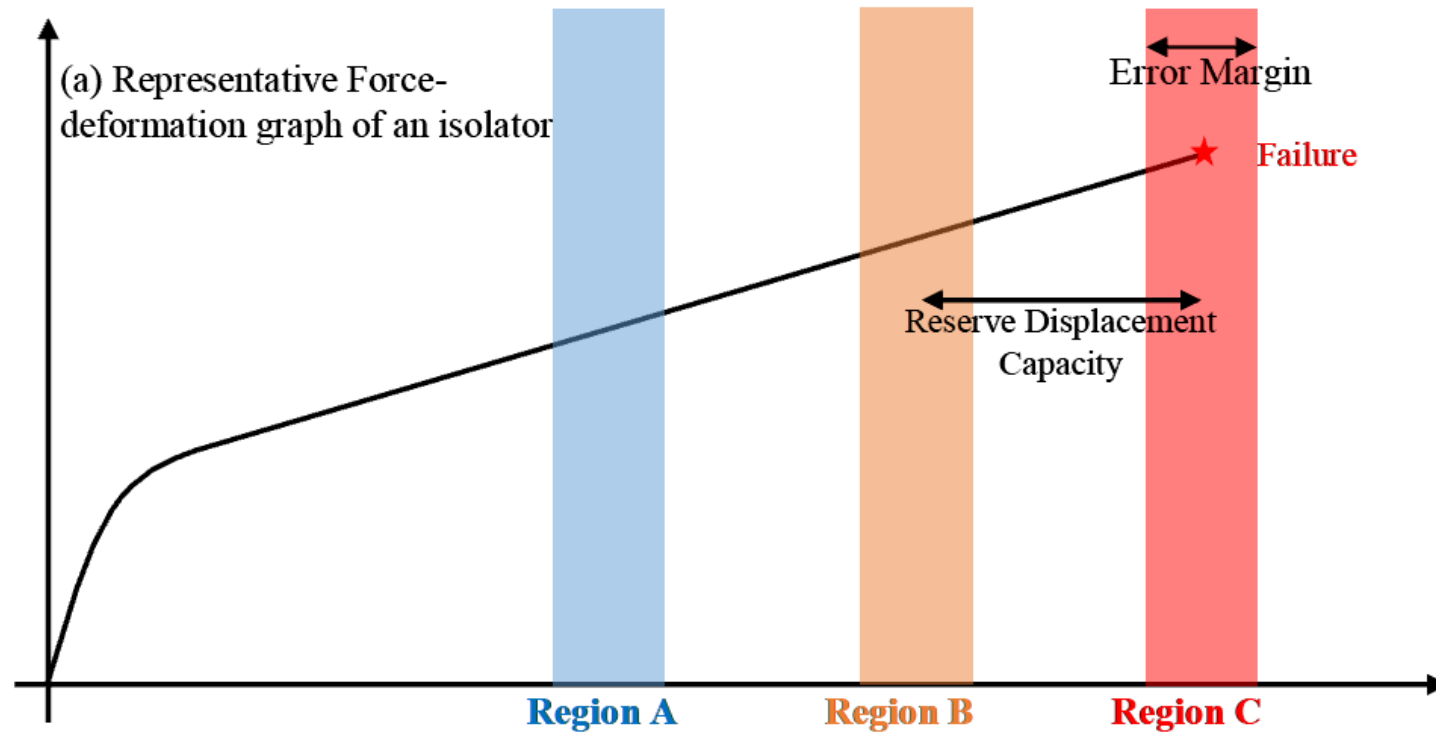


Yalıtım Birimleri Tasarım Özellikleri Karşılaştırması

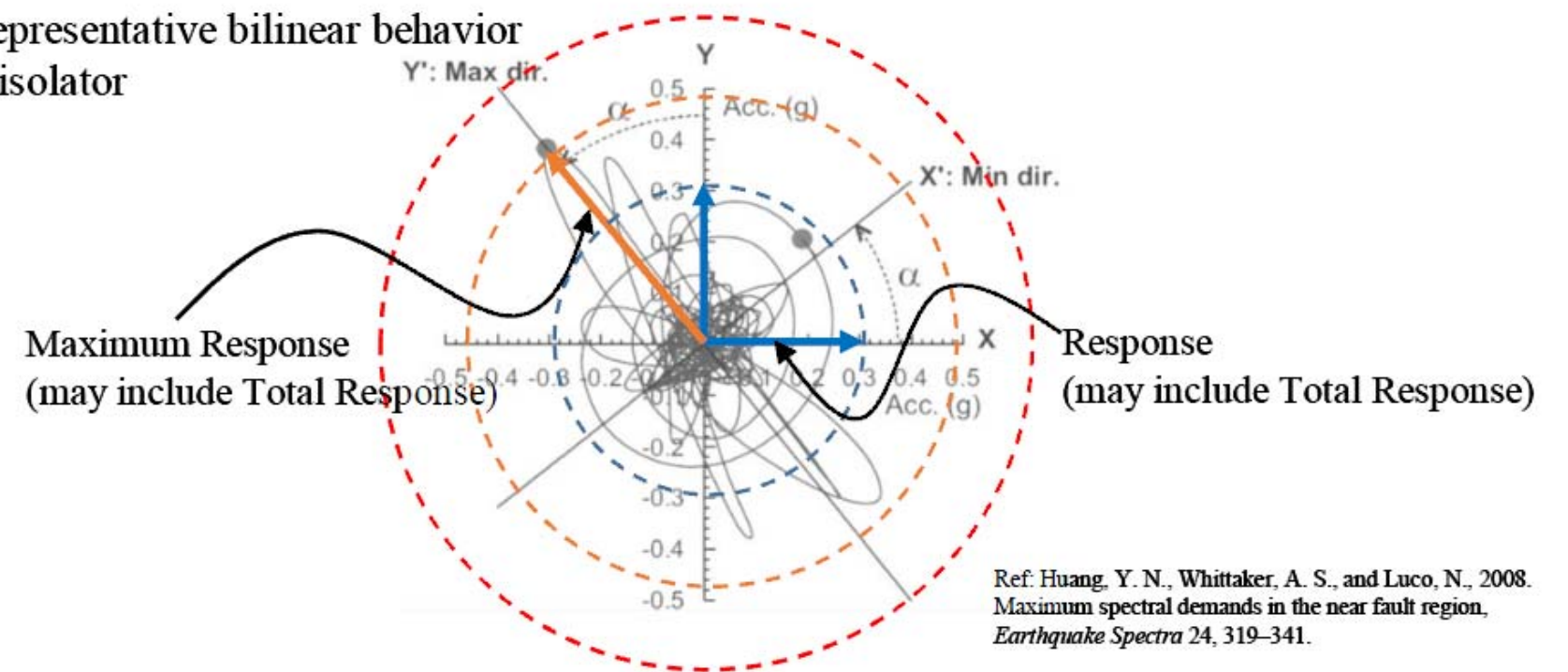
- Sürtünmeli Sarkaç Tipi Yalıtım Birimleri Çevrimsel Özellikleri



Rezerv Kapasite



(b) Representative bilinear behavior of an isolator



Rezerv Kapasite

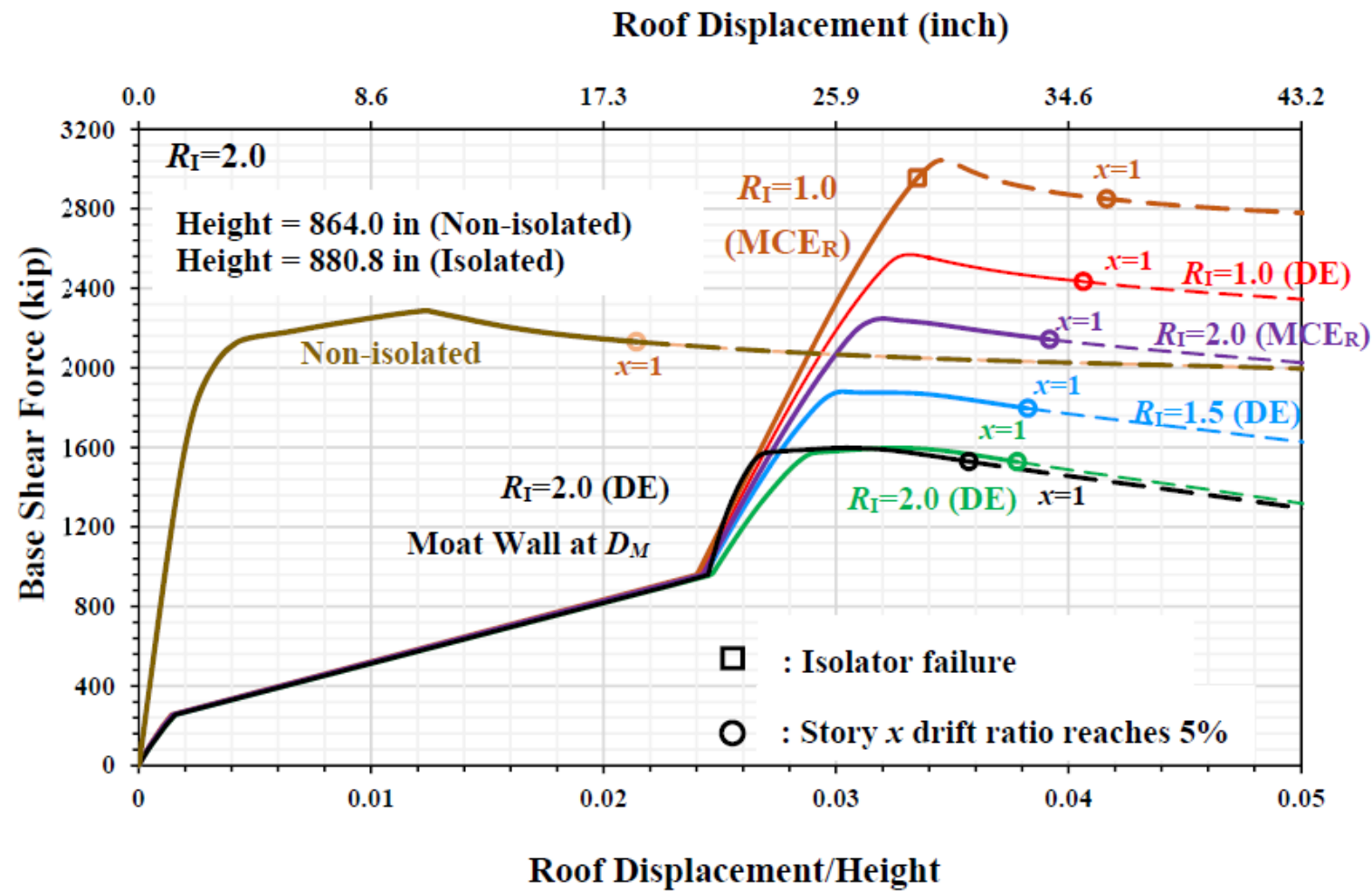


Figure 2-4 Pushover Curves of SCBF in Case of Isolator TFP-1 with $D_{Capacity}=D_M=20.4\text{in}$

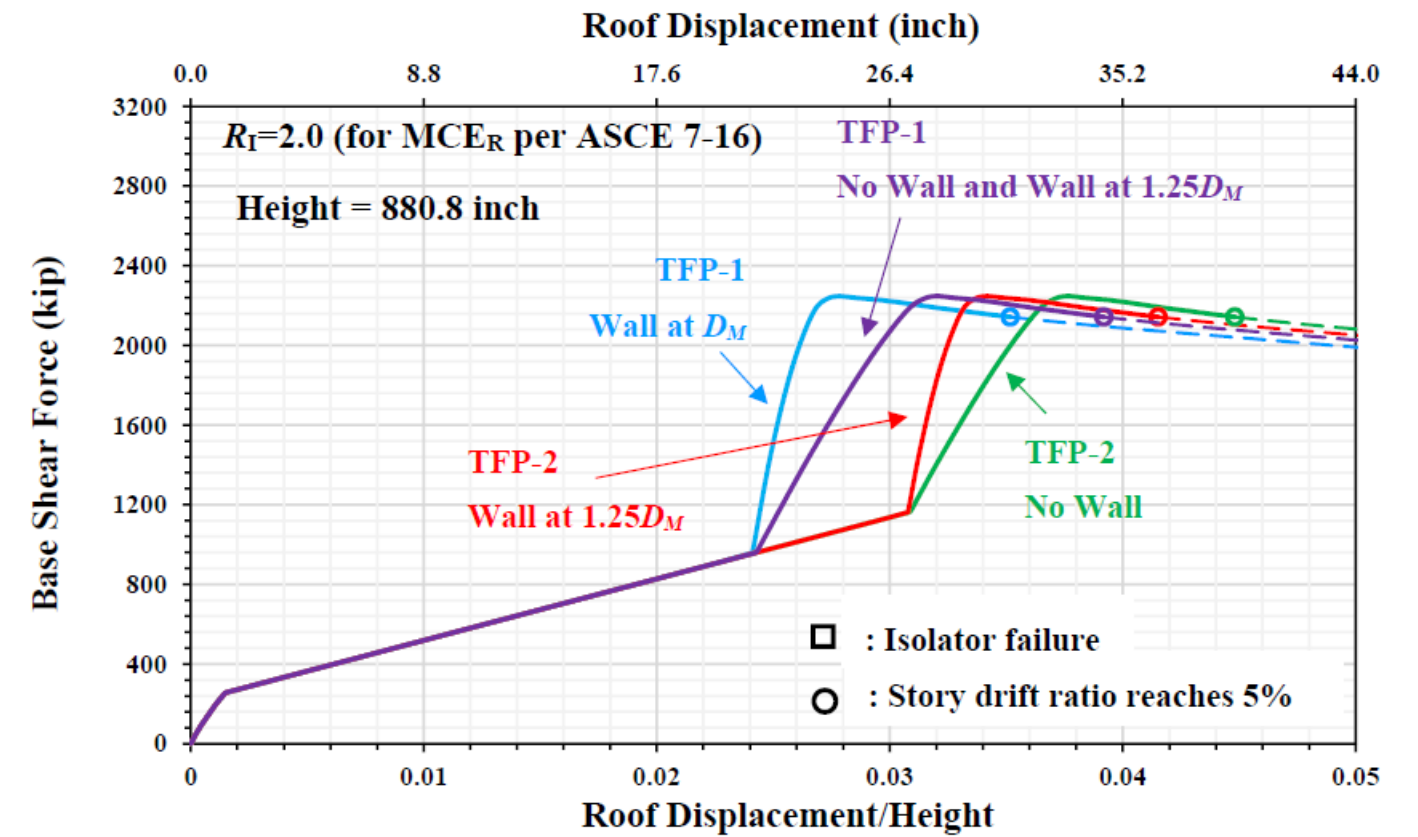


Figure 2-5 Pushover Curves of SCBF in Case of Isolators TFP-1 with $D_{Capacity}=20.4\text{in}$ ($=D_M$) and TFP-2 with $D_{Capacity}=26.1\text{in}$ ($=1.25D_M$) and Moat Walls Placed at Distances D_M and $1.25D_M$

Rezerv Kapasite

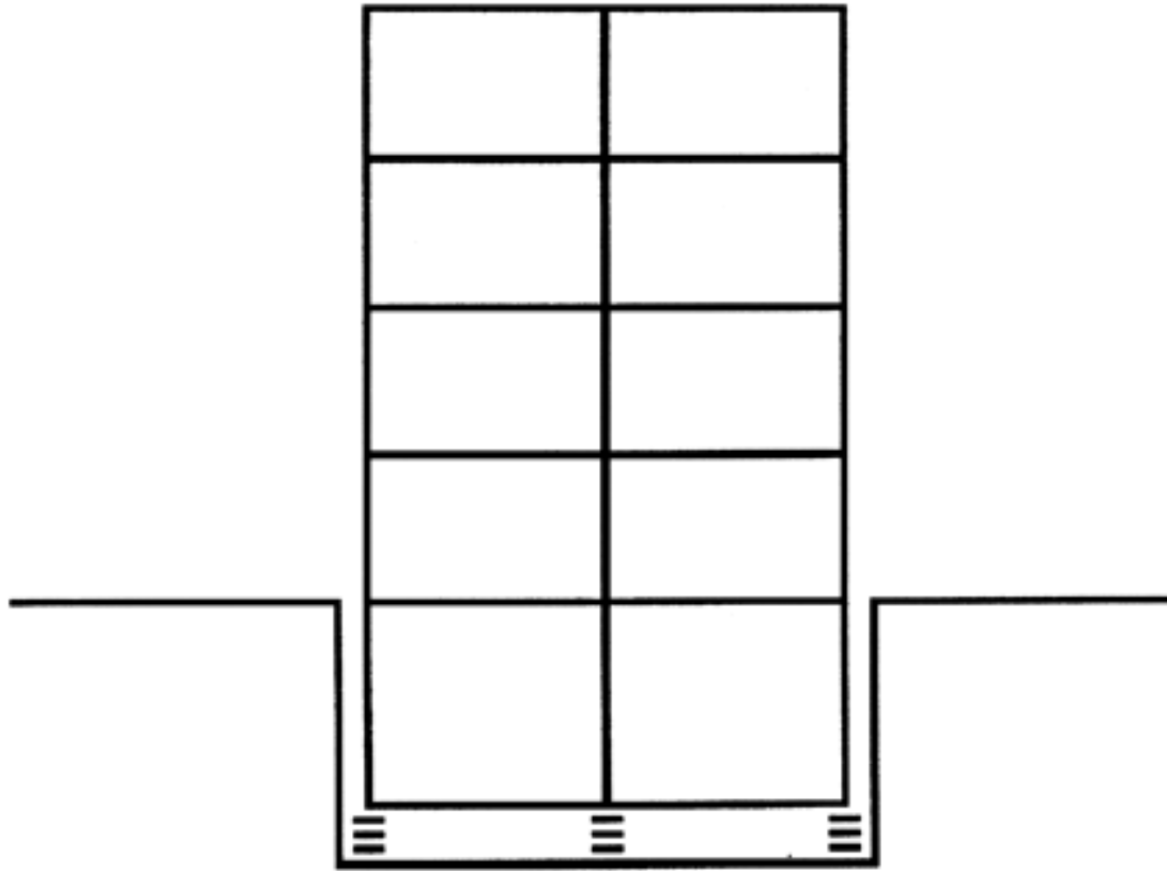
In discussing the results of Tables 4-1 and 4-2, the target reliabilities that are stipulated in Section 1.3.1.1 of ASCE 7-16 (ASCE, 2016) can be used. This requires conditional probabilities of collapse caused by the MCE_R not to exceed 10% for typical buildings of risk category I or II, 2.5% for essential buildings of risk category IV and 5% for other structures. The following are observed:

Table 4-1 Results of Collapse Fragility Analysis for Buildings with SCBF and OCBF

System		Coeffs. in Eq. (2)		$S_{aCol}(T_i)$ (g) (w/o epsilon adjustment)	$S_{aCol,adj}(T_i)$ (g) (w. epsilon adjustment)	β_{TOT} (β_{TR})	Prob. Collapse in MCE_R (%)
		c_0	c_1				
Designed per ASCE 7-10	$R_T=1.0$, TFP-1	-1.219	0.146	0.281	0.365	0.366 (0.209)	14.08
	$R_T=1.0$, TFP-2	-1.083	0.129	0.320	0.408	0.350 (0.181)	7.47
	* $R_T=1.0$, TFP-3	-0.990	0.115	0.355	0.438	0.341 (0.163)	4.52
	* $R_T=1.0$, TFP-3, Moat Wall at $1.5D_M$ (1000xstiffness)	-1.019	0.138	0.347	0.440	0.353 (0.187)	4.98
	* $R_T=1.0$, TFP-3 (Upper bound friction)	-0.551	0.156	0.557	0.729	0.391 (0.255)	1.23
	$R_T=1.5$, TFP-1	-1.241	0.121	0.271	0.344	0.352 (0.185)	17.05
	$R_T=1.5$, TFP-2	-1.138	0.109	0.307	0.375	0.343 (0.166)	10.95
	$R_T=1.5$, TFP-3	-1.056	0.097	0.331	0.400	0.339 (0.158)	7.59
	$R_T=2.0$, TFP-1	-1.262	0.123	0.275	0.338	0.348 (0.176)	18.06
	$R_T=2.0$, TFP-1, Moat Wall at D_M (50xstiffness)	-1.272	0.138	0.272	0.342	0.353 (0.187)	17.57
	$R_T=2.0$, TFP-1, Moat Wall at D_M (1000xstiffness)	-1.286	0.166	0.262	0.351	0.374 (0.224)	17.13
	$R_T=2.0$, DC-1 no restraining ring	-1.389	0.148	0.237	0.309	0.378 (0.230)	27.37
	$R_T=2.0$, DC-2 no restraining ring	-1.228	0.134	0.274	0.356	0.368 (0.213)	15.83
	$R_T=2.0$, TFP-2	-1.166	0.107	0.293	0.364	0.343 (0.166)	12.74
	$R_T=2.0$, TFP-2, Moat Wall at $1.25D_M$ (1000Xstiffness)	-1.196	0.136	0.293	0.368	0.357 (0.194)	12.99
	$R_T=2.0$, TFP-3	-1.083	0.093	0.323	0.387	0.340 (0.159)	9.09

Designed per ASCE 7-16	$R_T=1.0$, TFP-1	-1.302	0.129	0.253	0.328	0.356 (0.193)	21.09
	$R_T=1.0$, TFP-1, Moat Wall at D_M (1000xstiffness)	-1.154	0.186	0.294	0.412	0.395 (0.257)	9.60
	$R_T=1.0$, TFP-2	-1.140	0.114	0.300	0.377	0.350 (0.181)	11.13
	$R_T=1.0$, TFP-3	-1.020	0.105	0.341	0.419	0.341 (0.161)	5.87
	$R_T=1.0$, TFP-2 OCBF	-1.153	0.105	0.299	0.368	0.346 (0.173)	12.31
	$R_T=1.0$, TFP-3 OCBF	-1.060	0.088	0.332	0.393	0.333 (0.145)	7.96
	$R_T=2.0$, TFP-1	-1.215	0.139	0.279	0.362	0.357 (0.194)	13.94
	$R_T=2.0$, TFP-1, Moat Wall	-1.225	0.172	0.281	0.376	0.378	13.07

Yalıtım Düzlemi Konfigürasyonları

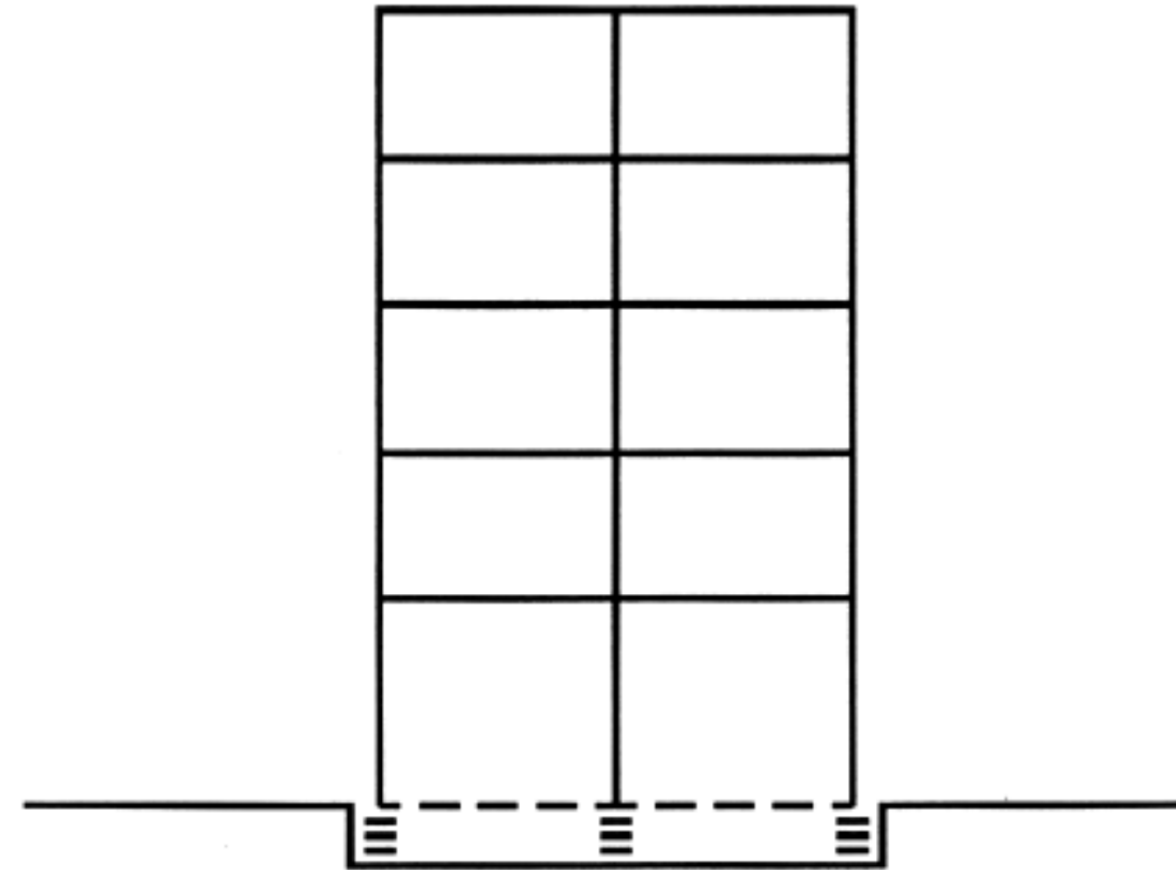


ADVANTAGES

- No special detailing required for separation of internal services such as elevator and stairways.
- No special cladding separation details.
- Base of columns connected by diaphragm at isolation level.
- Simple to incorporate back-up system for vertical loads.

DISADVANTAGES

- Added structural costs unless sub-basement required for other purposes.
- Requires a separate (independent) retaining wall.



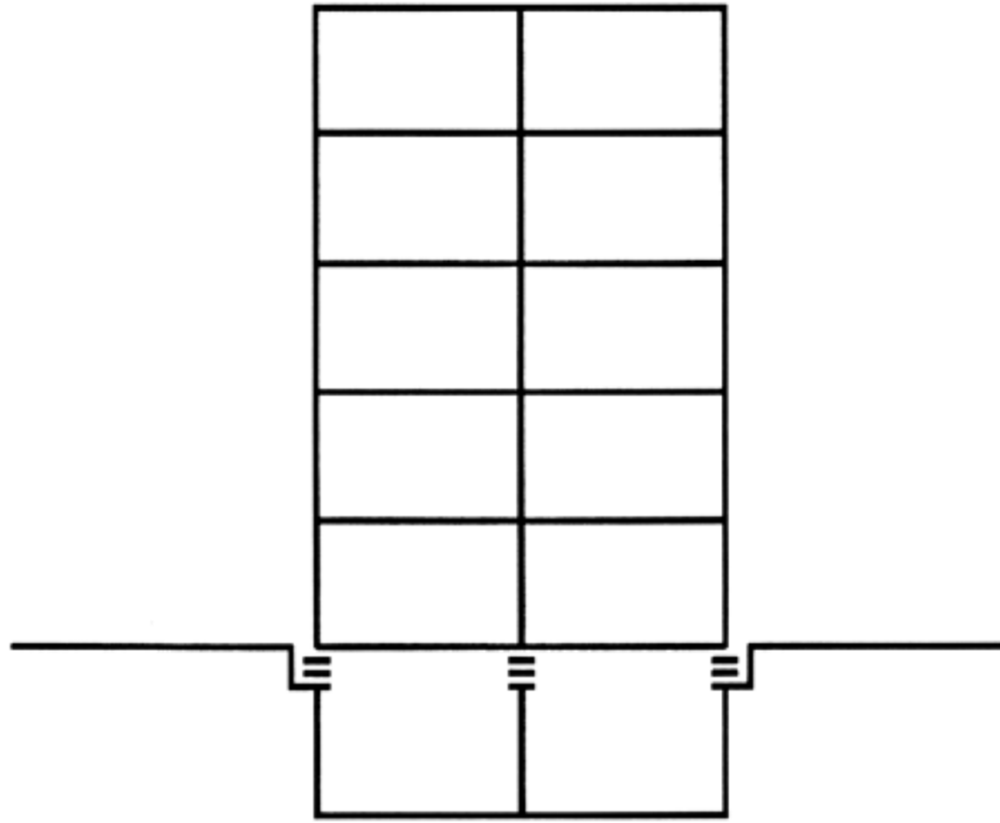
ADVANTAGES

- Minimal added structural costs.
- Separation at level of base isolation is simple to incorporate.
- Base of columns may be connected by diaphragm.
- Easy to incorporate back-up system for vertical loads.

DISADVANTAGES

- May require cantilever pit.

Yalıtım Düzlemi Konfigürasyonları

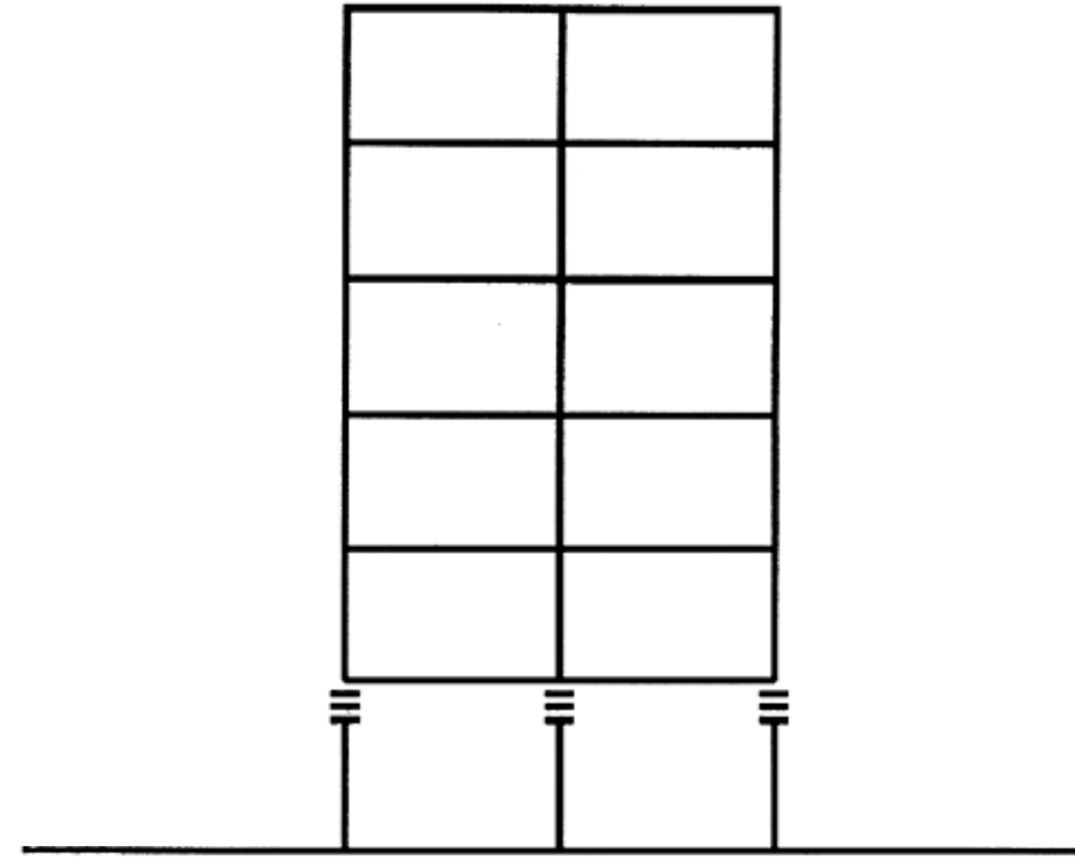


ADVANTAGES

- No Sub-basement Requirement.
- Minimal added structural costs.
- Base of columns connected by diaphragm at isolation level.
- Backup system for vertical loads provided by columns.

DISADVANTAGES

- May require cantilevered elevator shaft below first floor level.
- Special treatment required for internal stairways below first floor level.



ADVANTAGES

- Minimal added structural costs.
- Economic if first level is for parking.
- Backup system for vertical loads provided by columns.

DISADVANTAGES

- Special detail required for elevators and stairs.
- Special cladding details required if first level is not open.
- Special details required for vertical services.

Yalıtım Düzlemi Konfigürasyonları



Yalıtım Düzlemi Konfigürasyonları

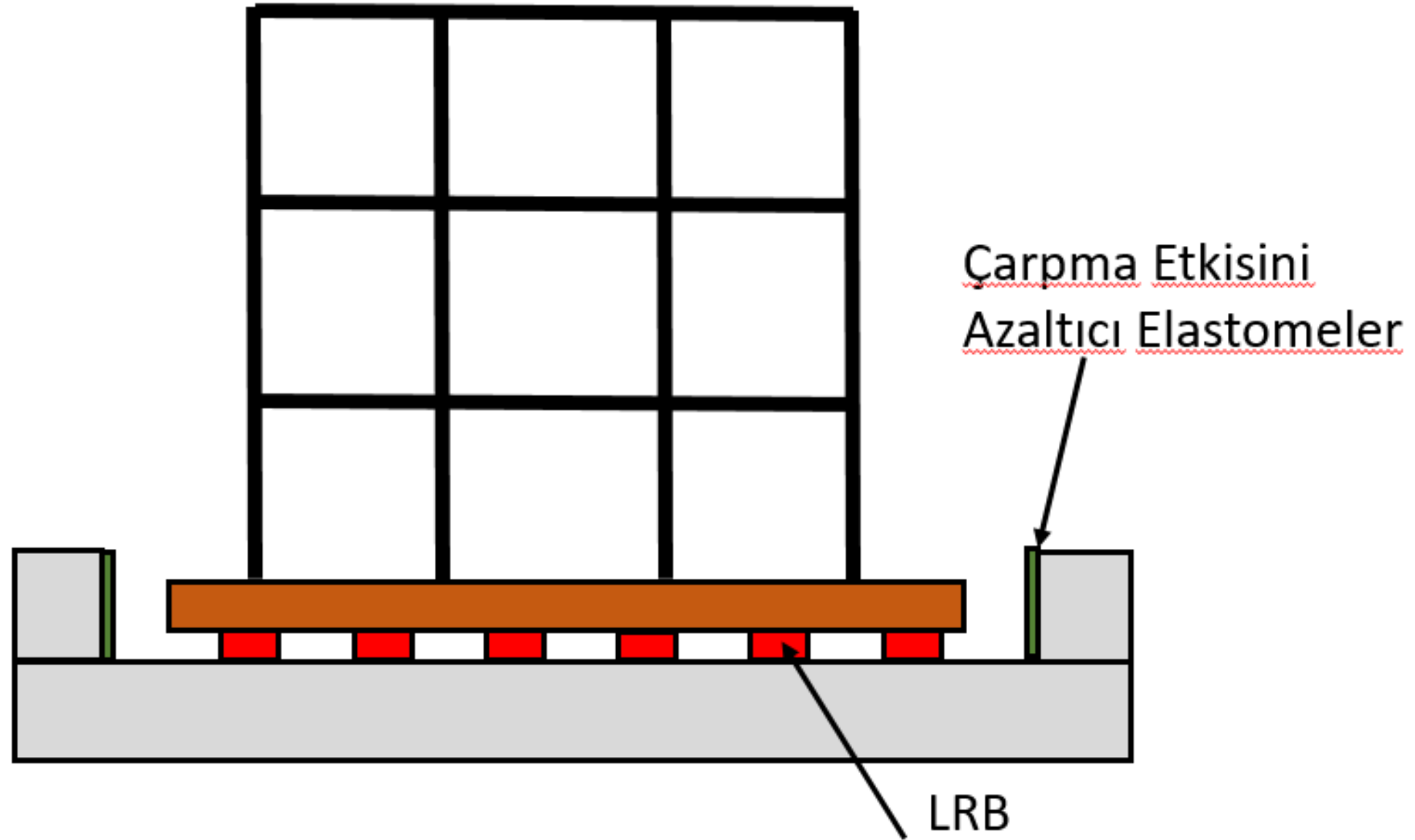


Yalıtım Düzlemi Konfigürasyonları



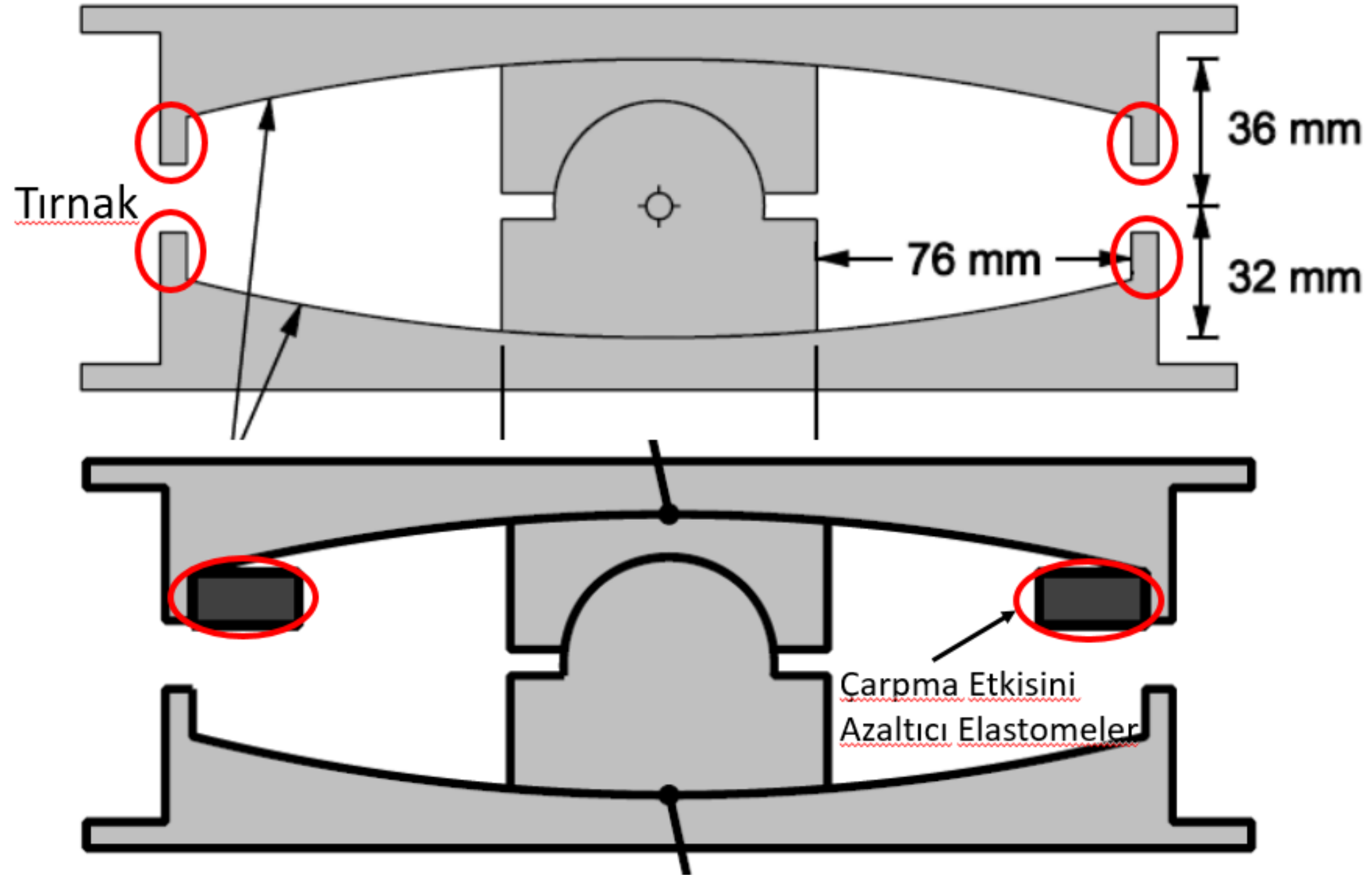
Yalıtım Sistemleri Fail Safe Mekanizmaları

- Elastomer yalıtım birimlerinde doğrudan bulunmamaktadır.



Yalıtım Sistemleri Fail Safe Mekanizmaları

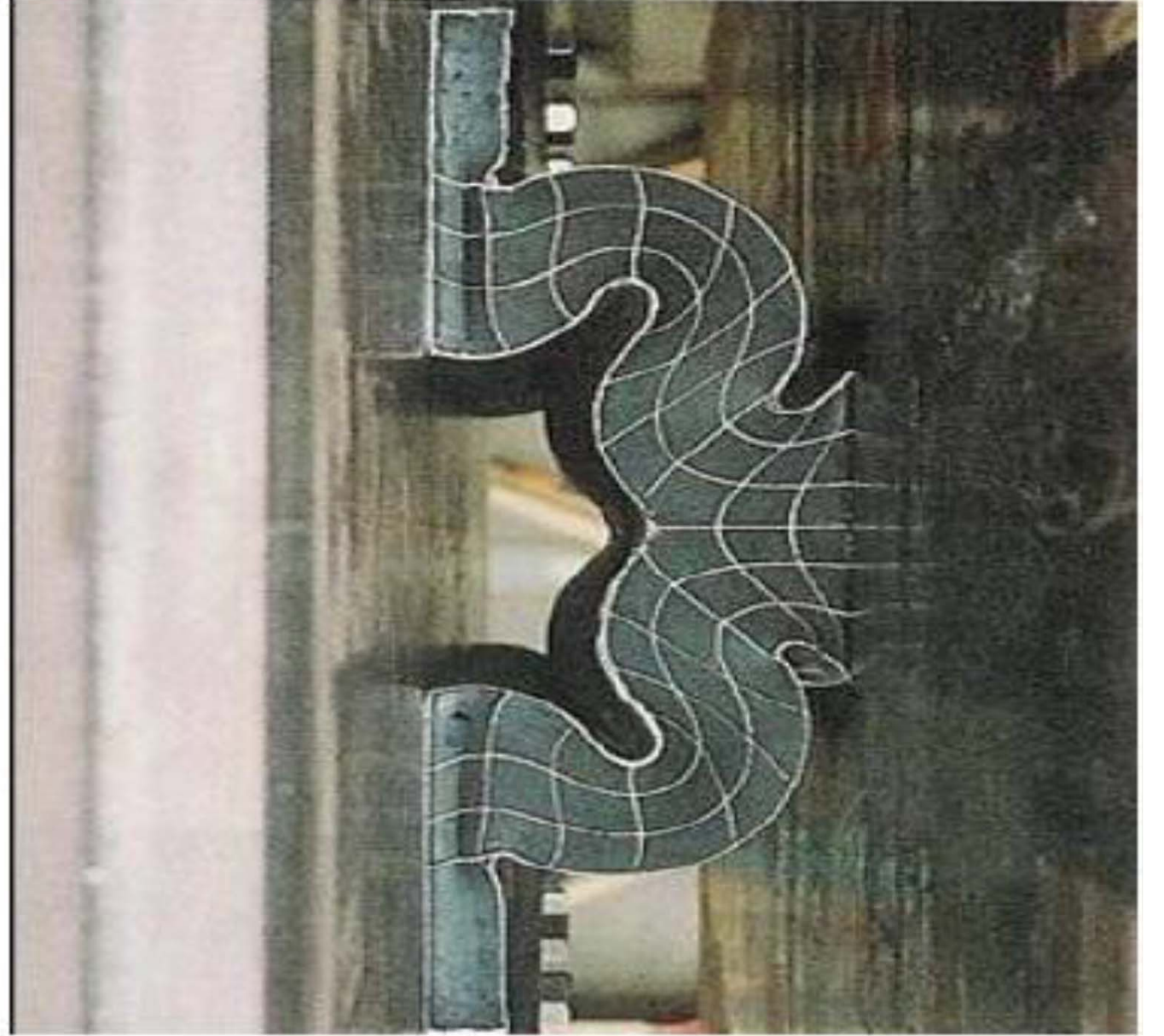
- Sürtünmeli sarkaç tip yalıtım birimlerinde doğrudan bulunabilir.



Yalıtım Sistemleri Fail Safe Mekanizmaları

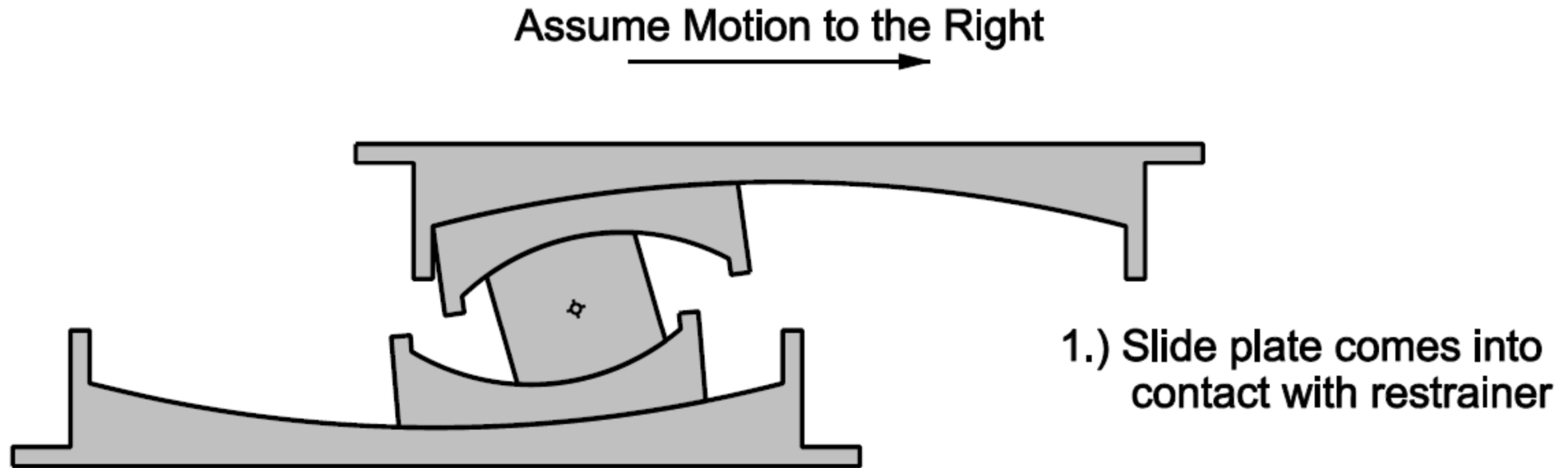


Yalıtım Sistemleri Fail Safe Mekanizmaları

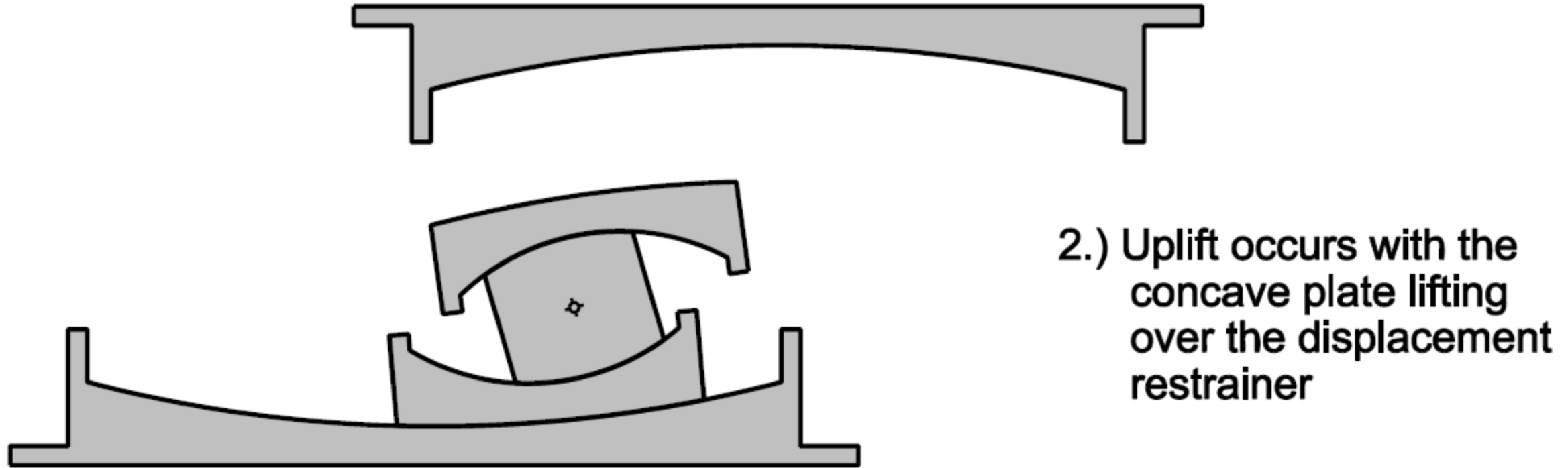


Yalıtım Birimlerinde Çekme Kuvvetleri ve Kalkma

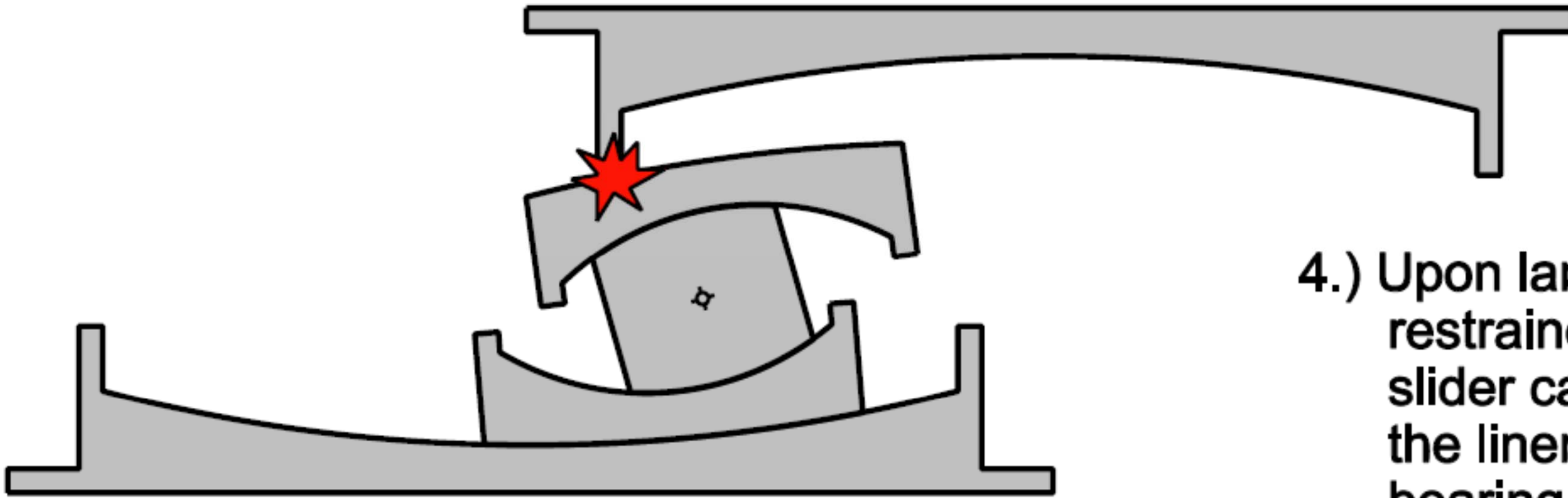
- Devrilme etkilerinin yüksek olduğu uzun yapılarda ve dikey deprem etkilerinin yüksek olduğu lokasyonlarda uplift/tension oluşabilir.
- Elastomer Tabanlı İzolatörlerde azda olsa bir çekme dayanımı mevcuttur. Yaklaşık olarak 1MPa. Deneyler ile kontrol edilmelidir.
- Sürtünmeye Dayalı İzolatörlerde çekme dayanımı yoktur ve üst bölümün upliftte geçip alt bölümü atlama şansı mevcuttur.



Yalıtım Birimlerinde Çekme Kuvvetleri ve Kalkma



Yalıtım Birimlerinde Çekme Kuvvetleri ve Kalkma

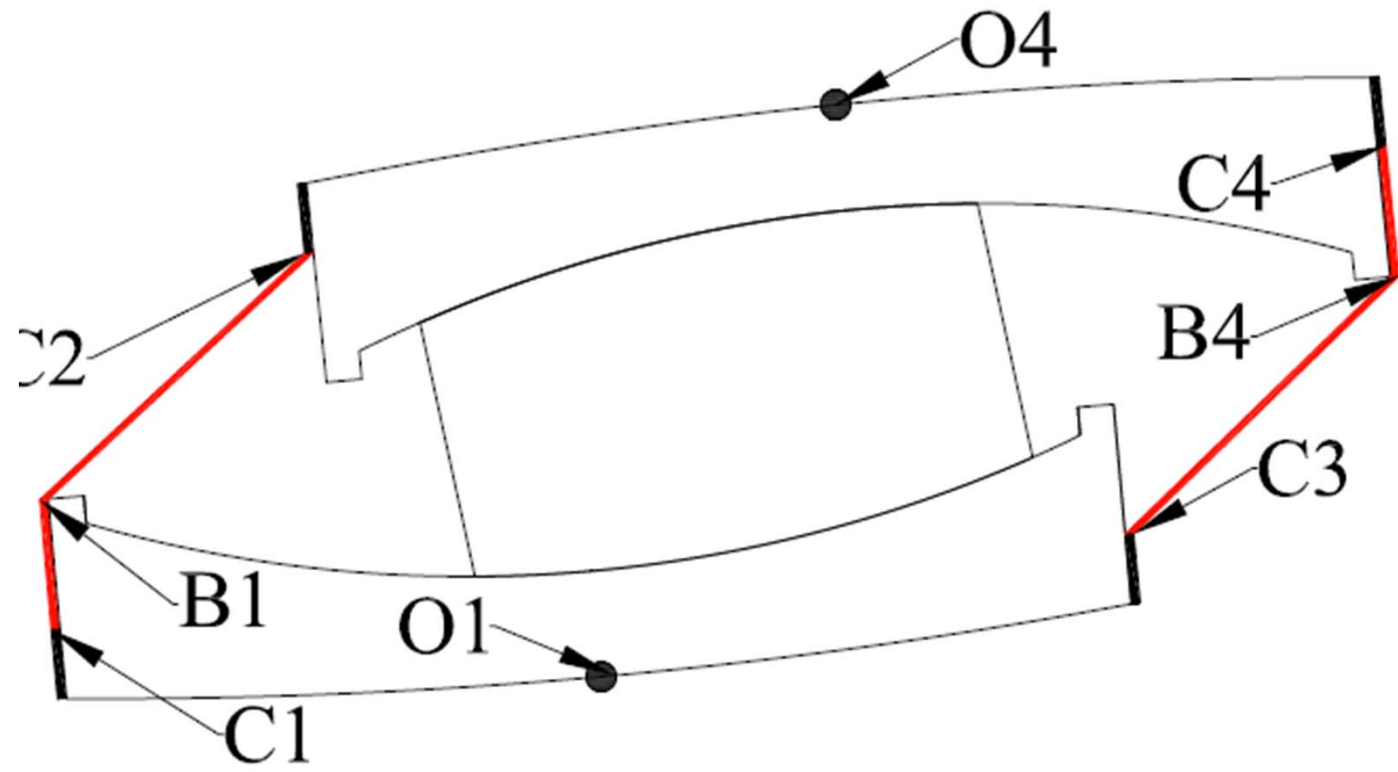


4.) Upon landing, the restrainer impacts the slider causing damage to the liner material and/or bearing components

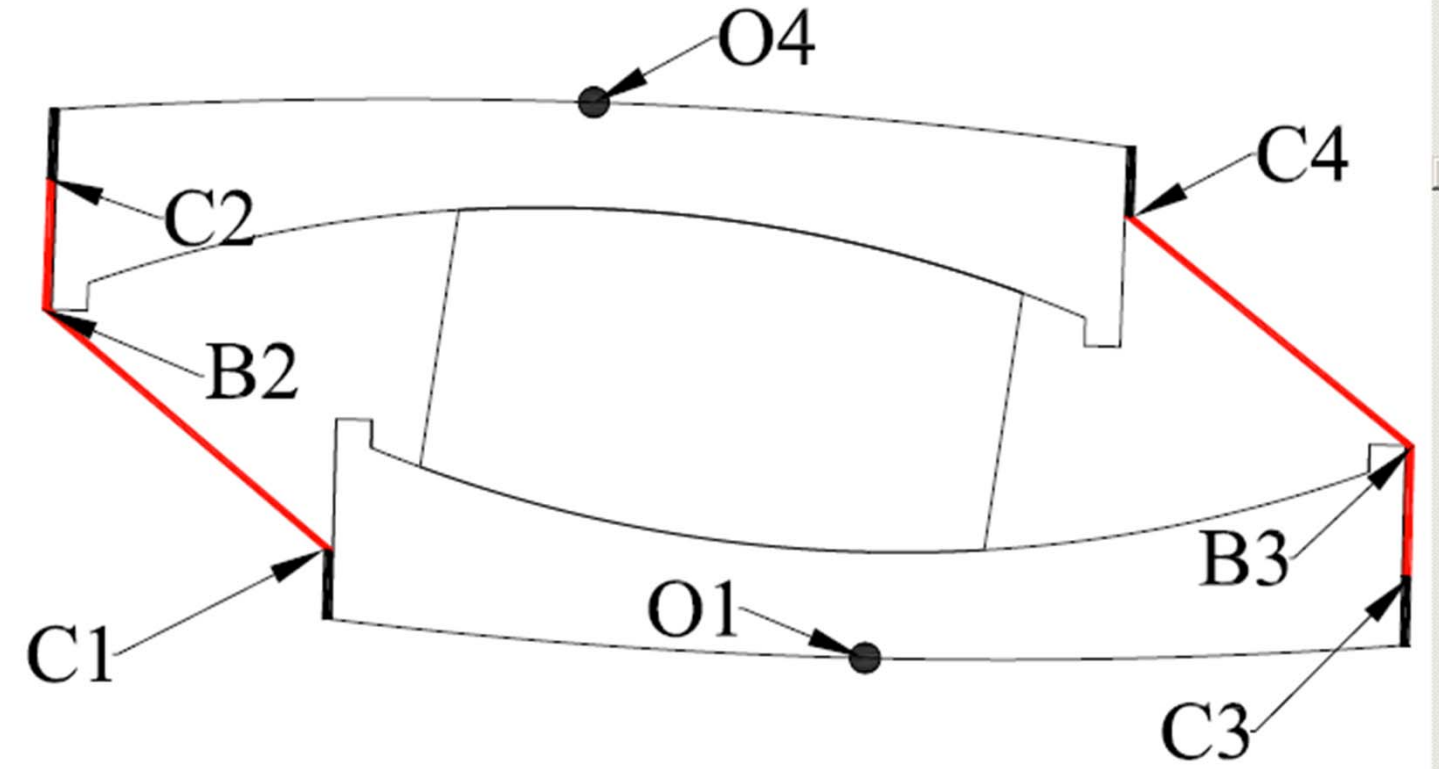
Yalıtım Birimlerinde Çekme Kuvvetleri ve Kalkma



Yalıtım Birimlerinde Çekme Kuvvetleri ve Kalkma



(b) Deformation to the right

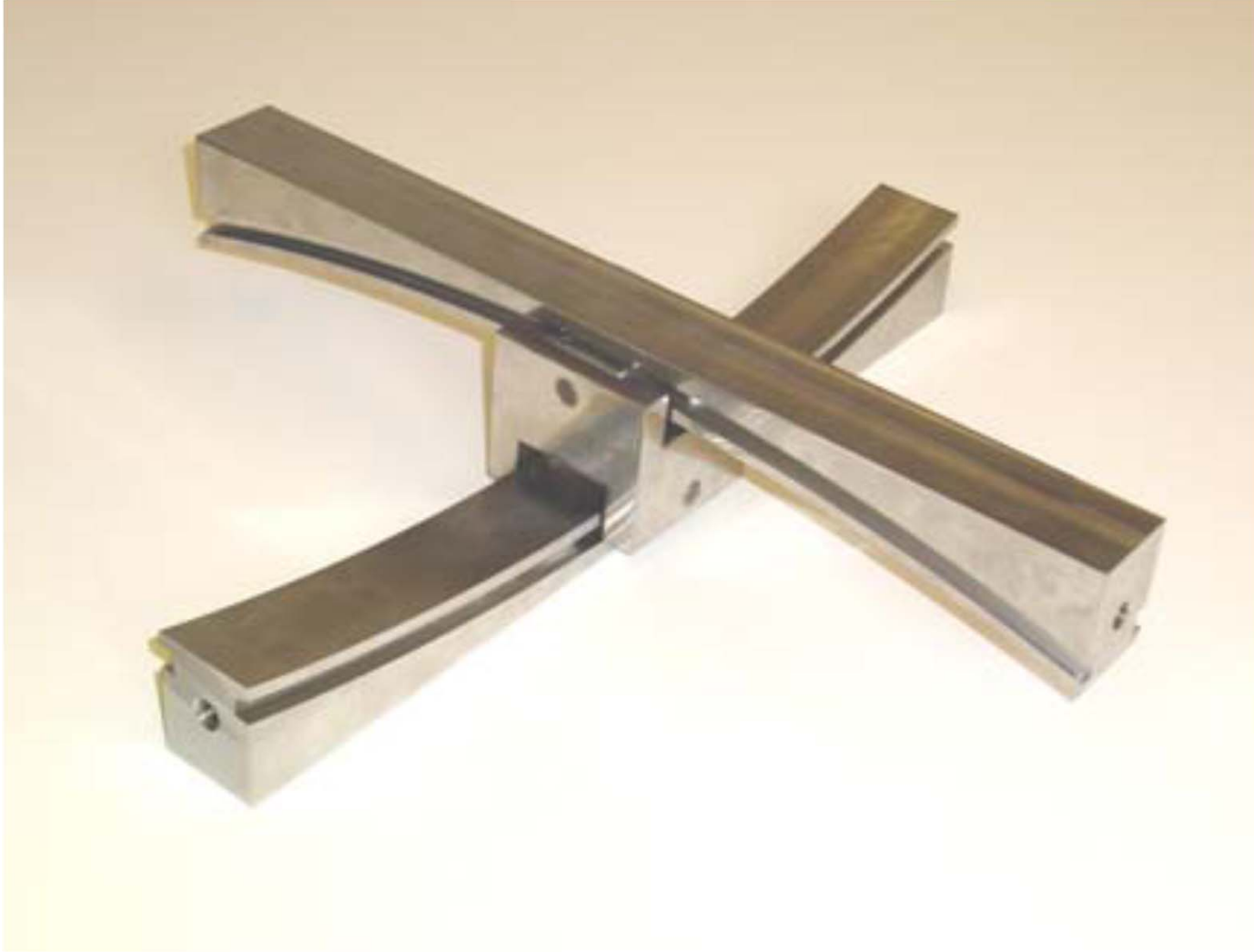


(c) Deformation to the left

Yalıtım Birimlerinde Çekme Kuvvetleri ve Kalkma

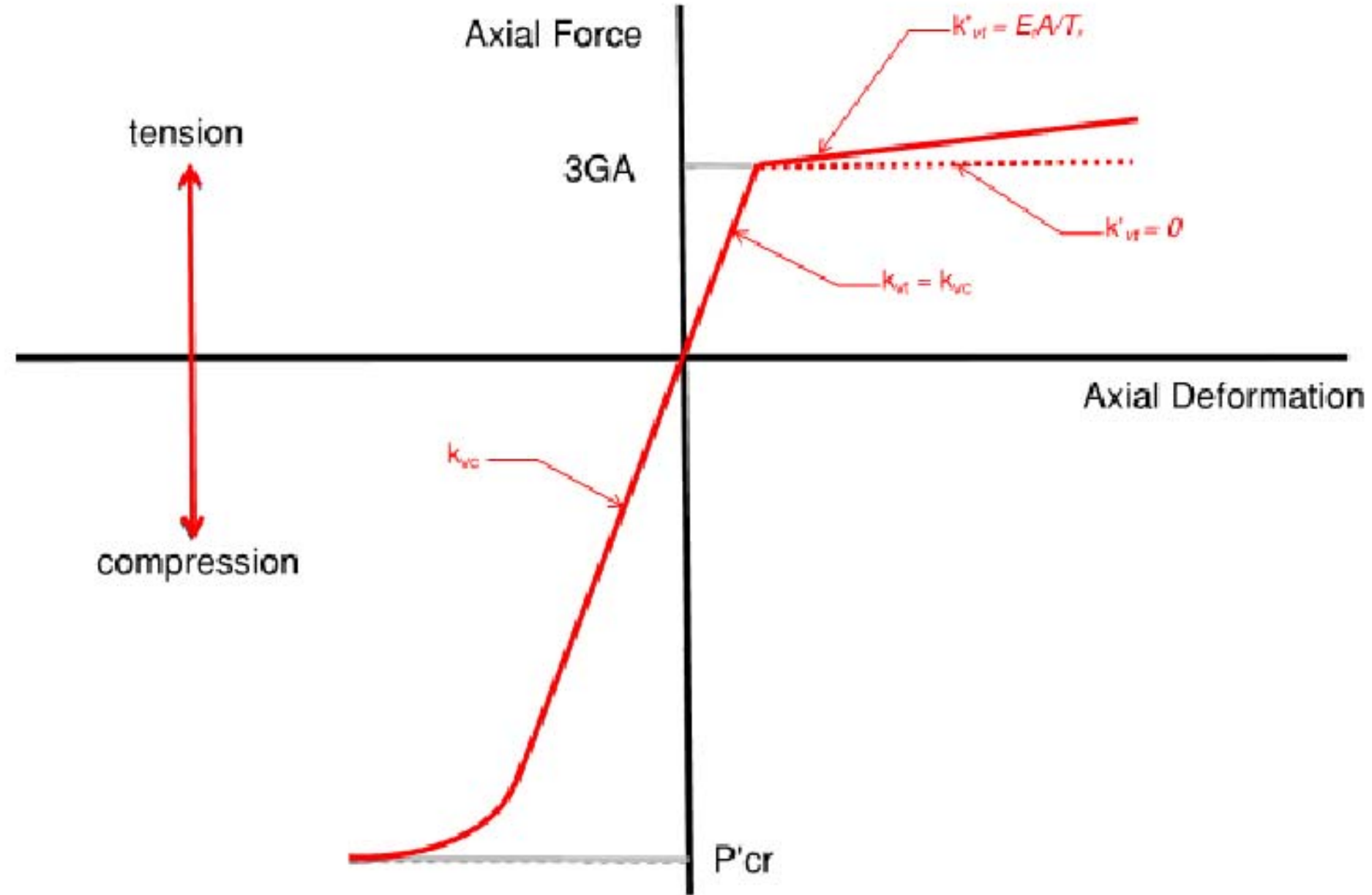


Yalıtım Birimlerinde Çekme Kuvvetleri ve Kalkma



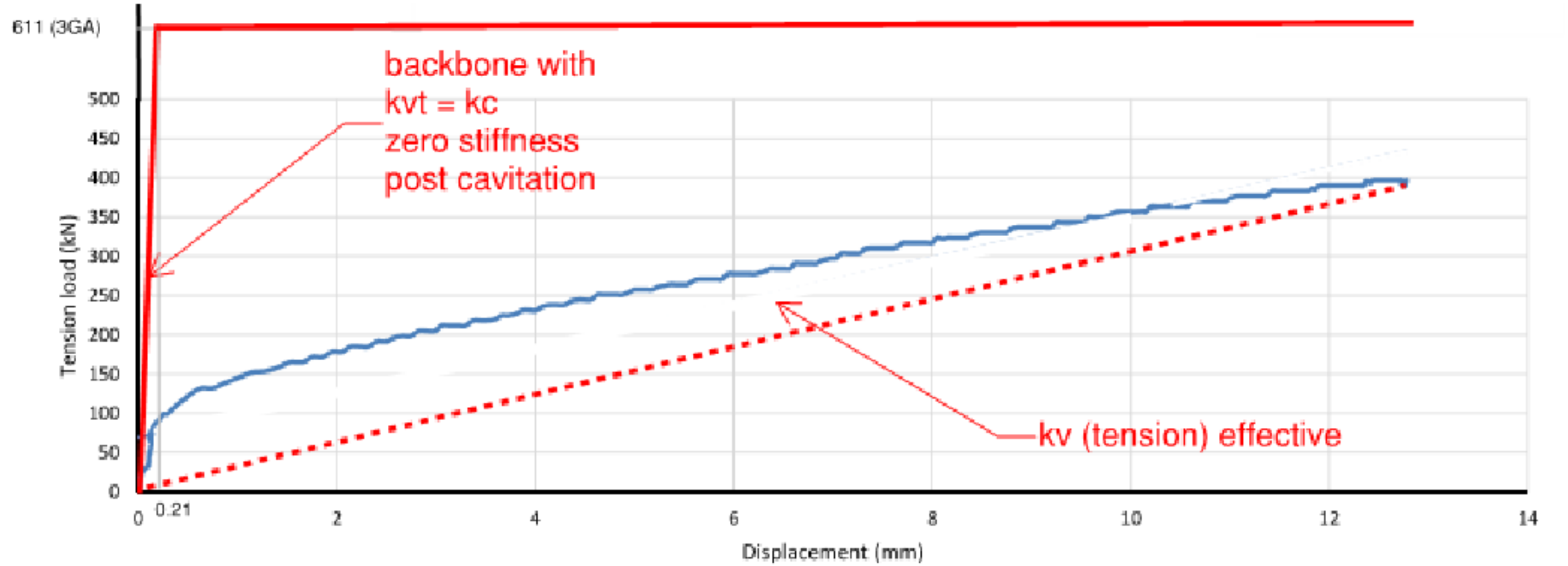
Yalıtım Birimlerinde Çekme Kuvvetleri ve Kalkma

- Elastomer Yalıtım Birimleri için Eksenel Yük Altında Davranış



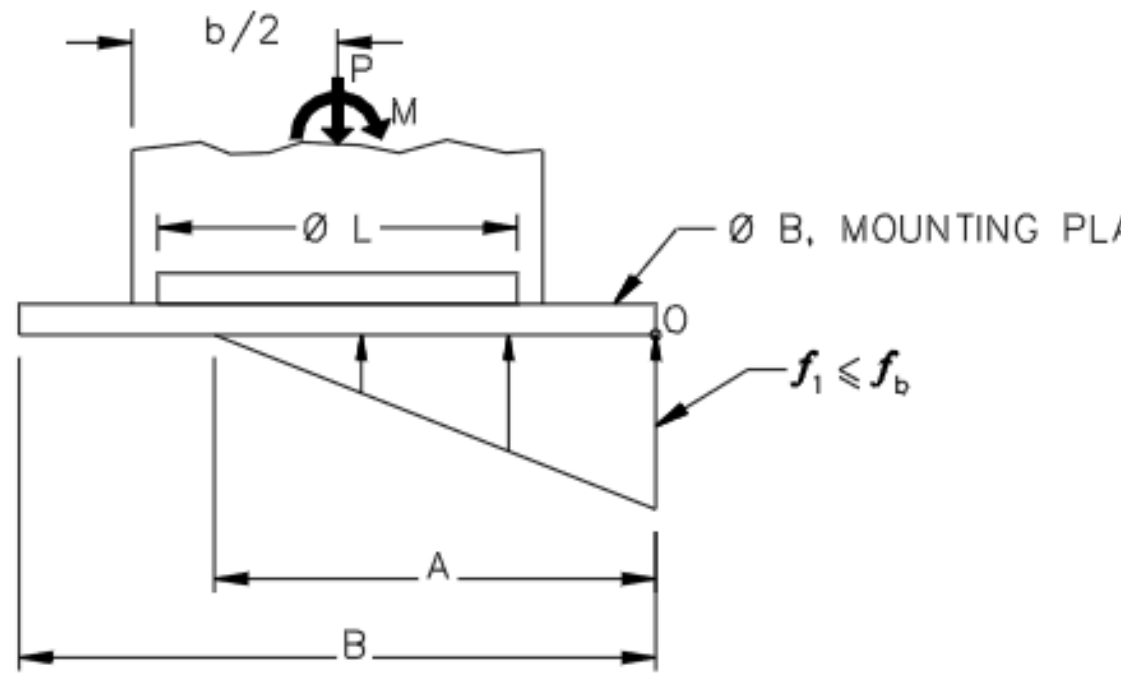
Yalıtım Birimlerinde Çekme Kuvvetleri ve Kalkma

- Elastomer Yalıtım Birimleri için Eksenel Yük Altında Davranış



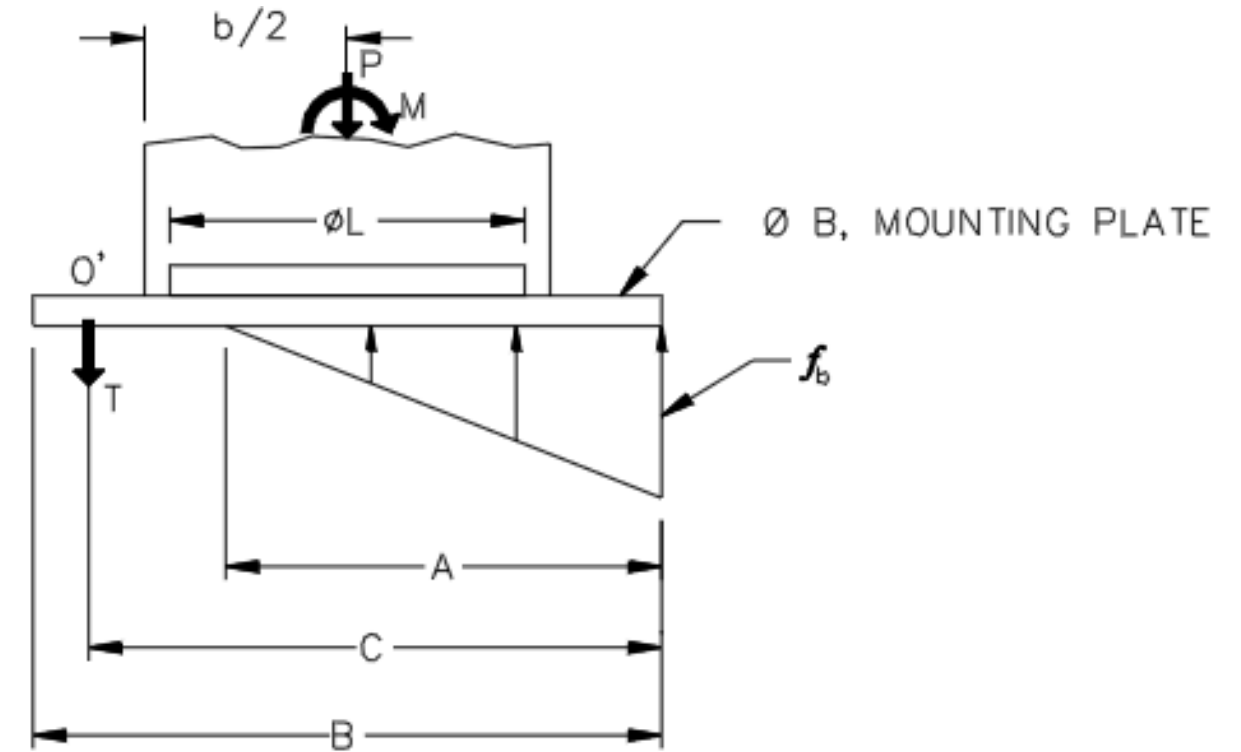
Yalıtım Birimleri Taban Plakası Tasarımı

- Elastomer Yalıtım Birimlerinde Taban Plakası Tasarımı



$$\left. \begin{aligned} P - B \cdot A \cdot f_1 / 2 &= 0 \\ M - \frac{PB}{2} + \frac{PA}{3} &= 0 \end{aligned} \right\} \begin{aligned} A &= \frac{3}{2}B - 3 \frac{M}{P} \\ f_1 &= \frac{2P}{AB} \leq f_b \end{aligned}$$

FIGURE 9-20 Free Body Diagram of End Plate without Bolt Tension



$$\left. \begin{aligned} P + T - f_b \frac{AB}{2} &= 0 \\ f_b \frac{AB}{2} \left(C - \frac{A}{3} \right) - M - P \left(C - \frac{B}{2} \right) &= 0 \end{aligned} \right\}$$

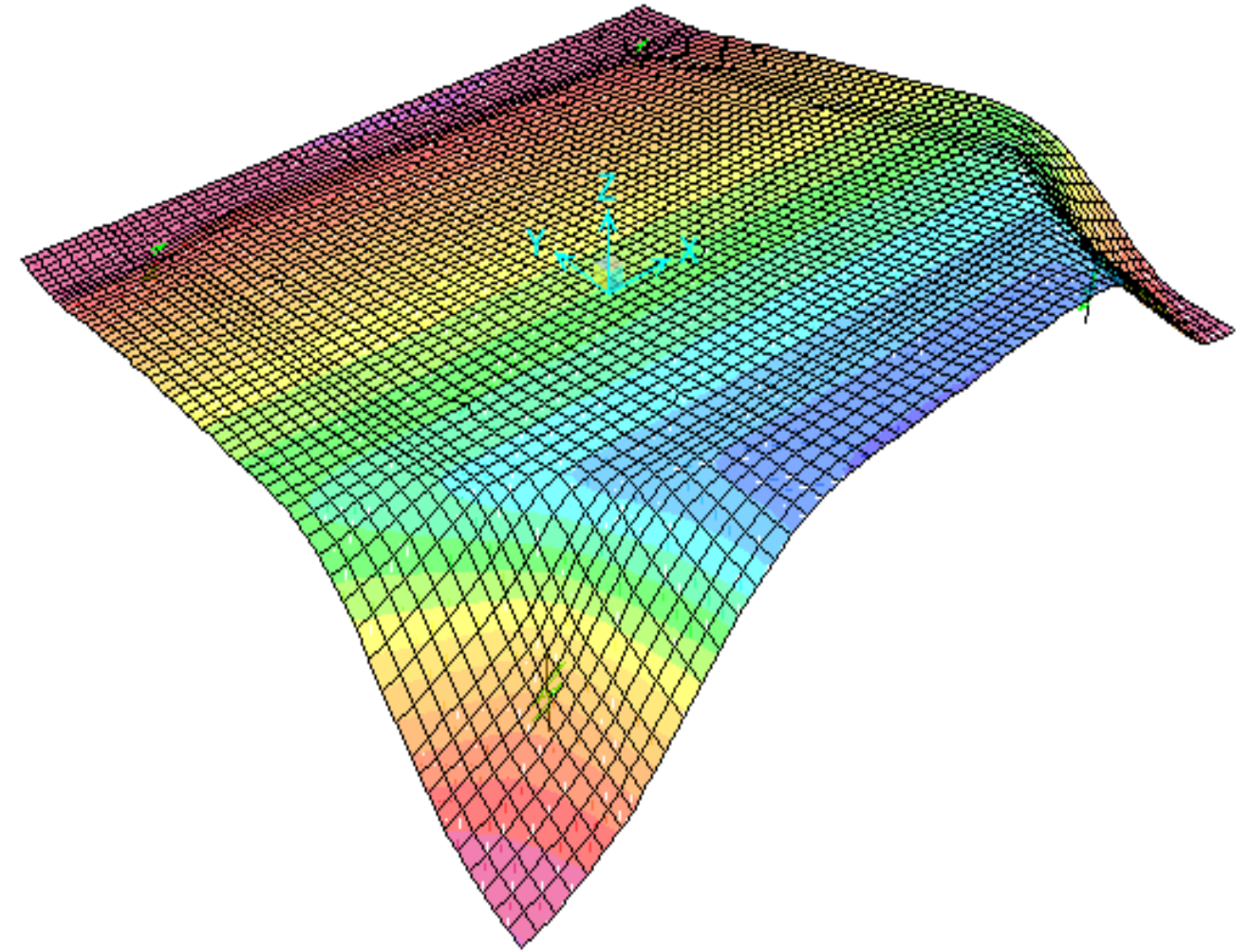
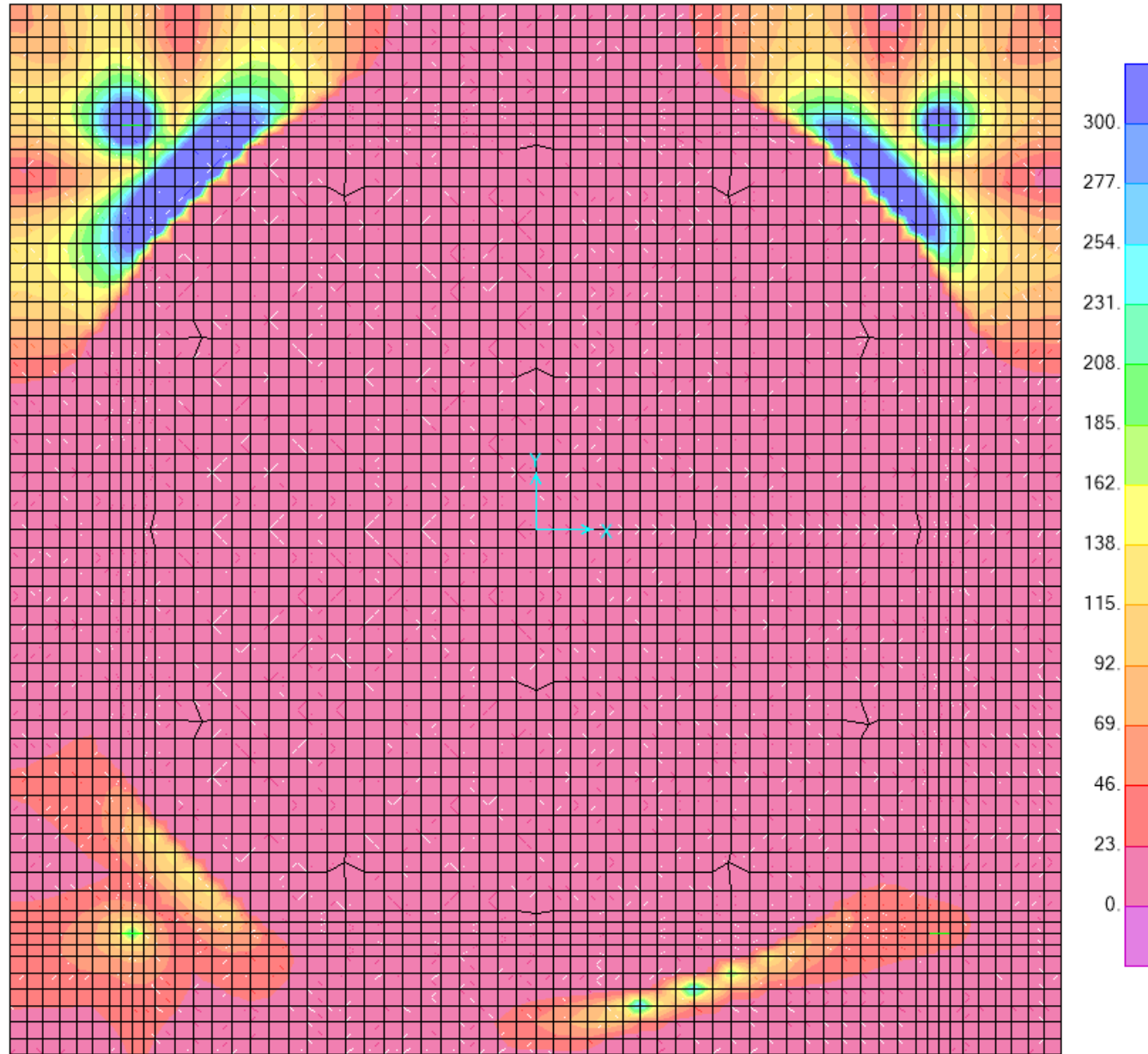
$$A^2 \left(\frac{B f_b}{6} \right) - A \left(\frac{f_b B C}{2} \right) + \left(M - PC - \frac{PB}{2} \right) = 0$$

$$T = \frac{f_b AB}{2} - P$$

FIGURE 9-21 Free Body Diagram of End Plate with Bolt Tension

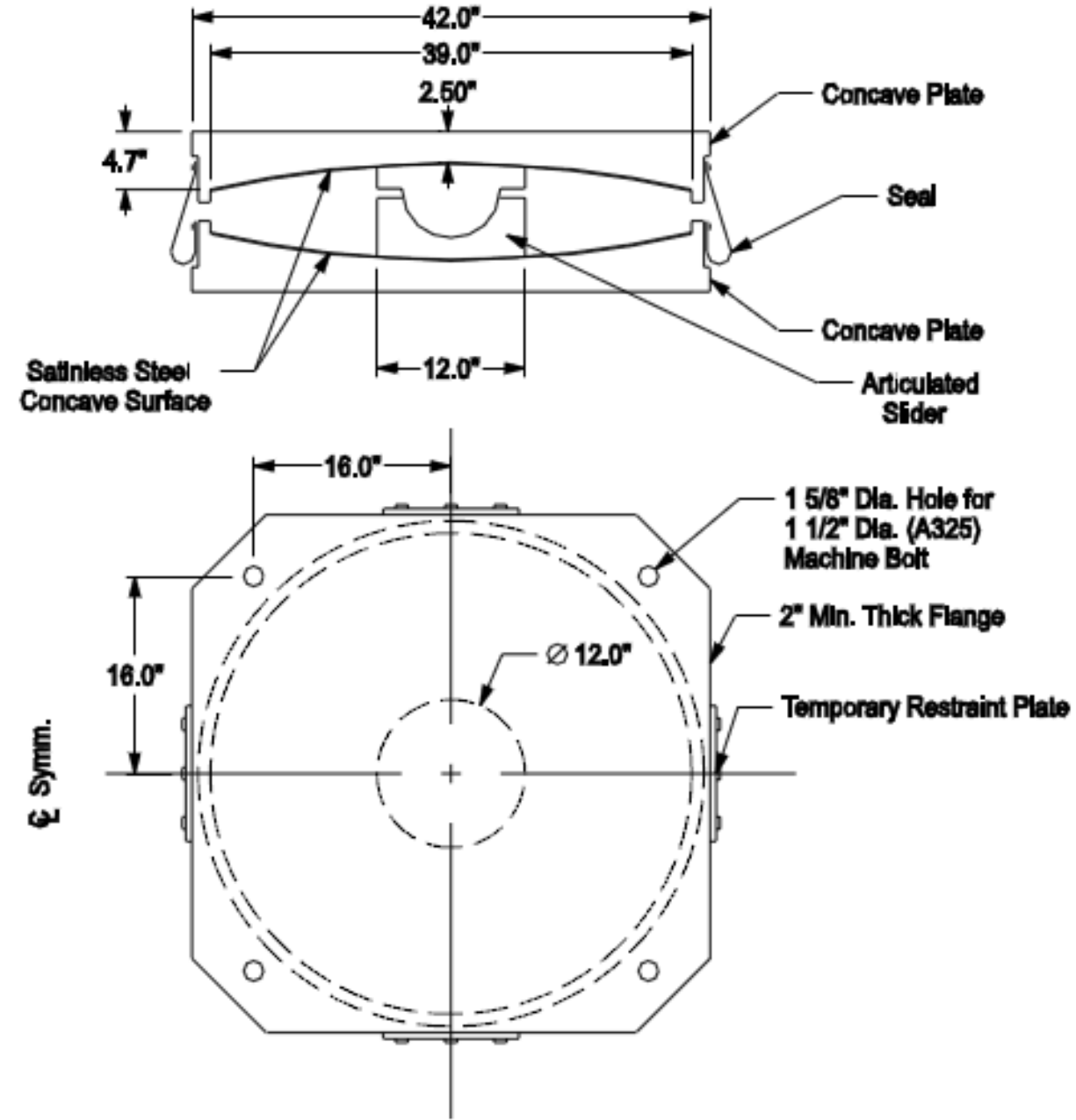
Yalıtım Birimleri Taban Plakası Tasarımı

- Elastomer Yalıtım Birimlerinde Taban Plakası Tasarımı (Sonlu Elemanlar ile)



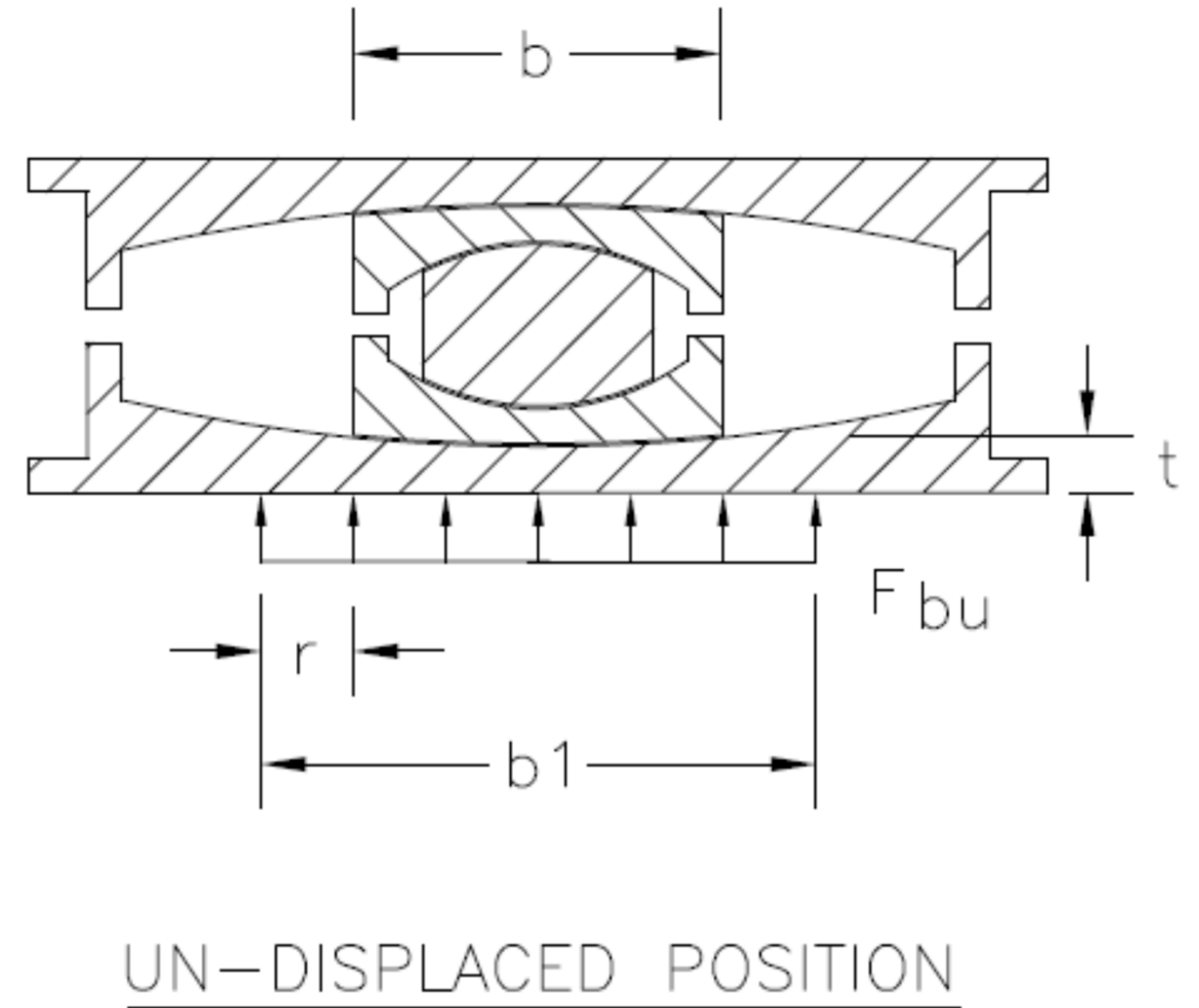
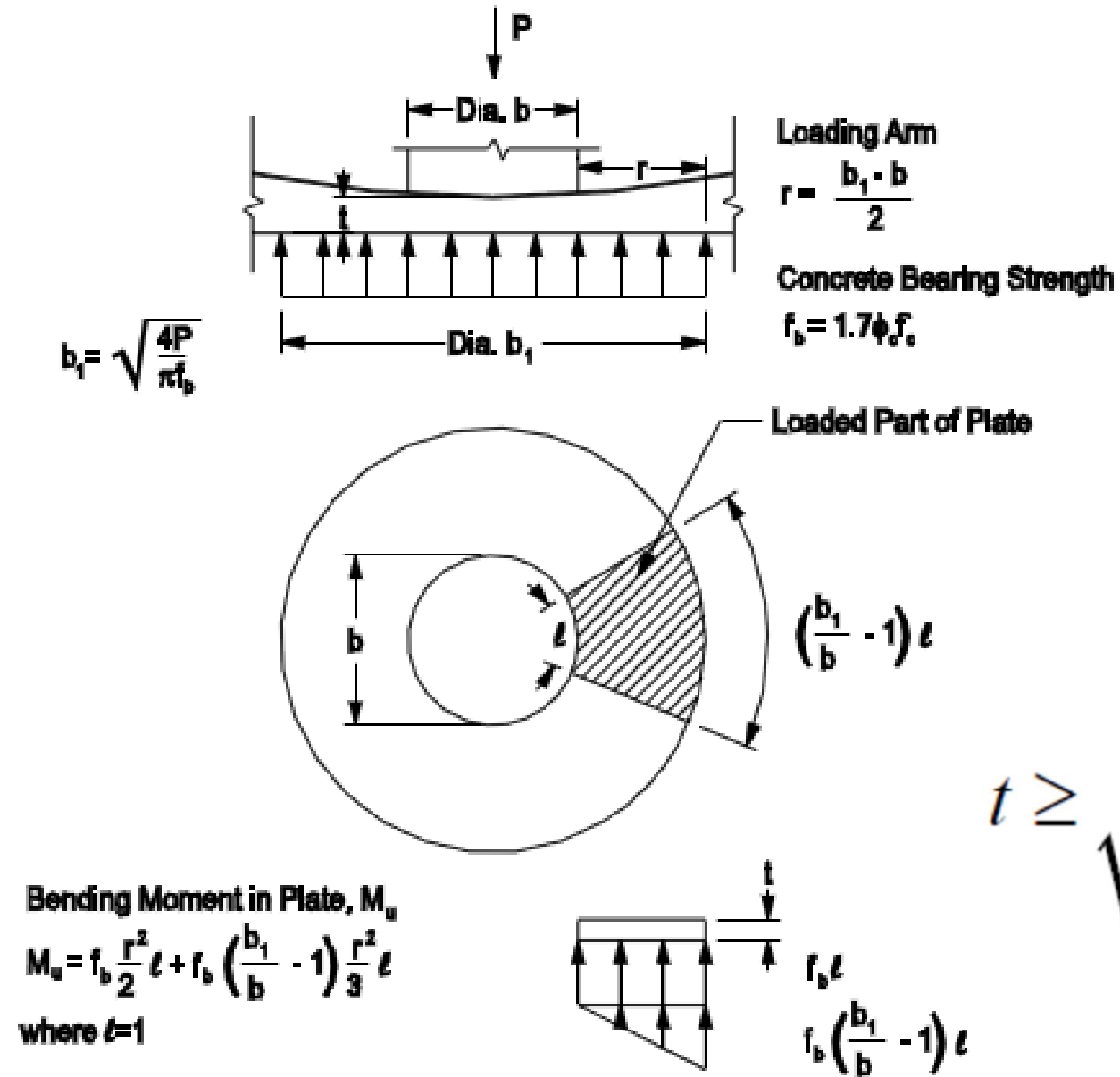
Yalıtım Birimleri Taban Plakası Tasarımı

- Sürtünmeli Sarkaç Tipi Yalıtım Birimlerinde Taban Plakası Tasarımı



Yalıtım Birimleri Taban Plakası Tasarımı

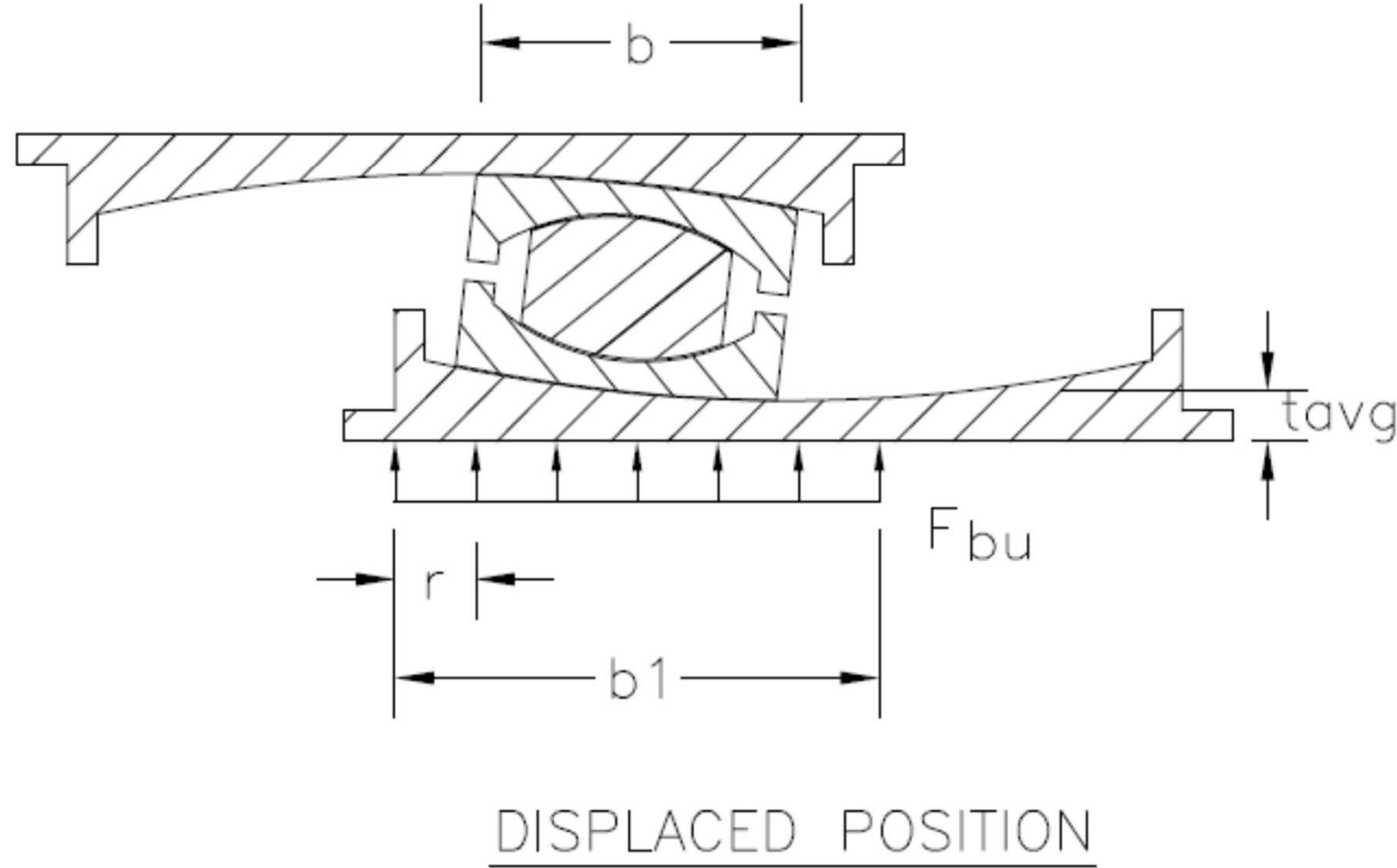
- Sürtünmeli Sarkaç Tipi Yalıtım Birimlerinde Taban Plakası Tasarımı



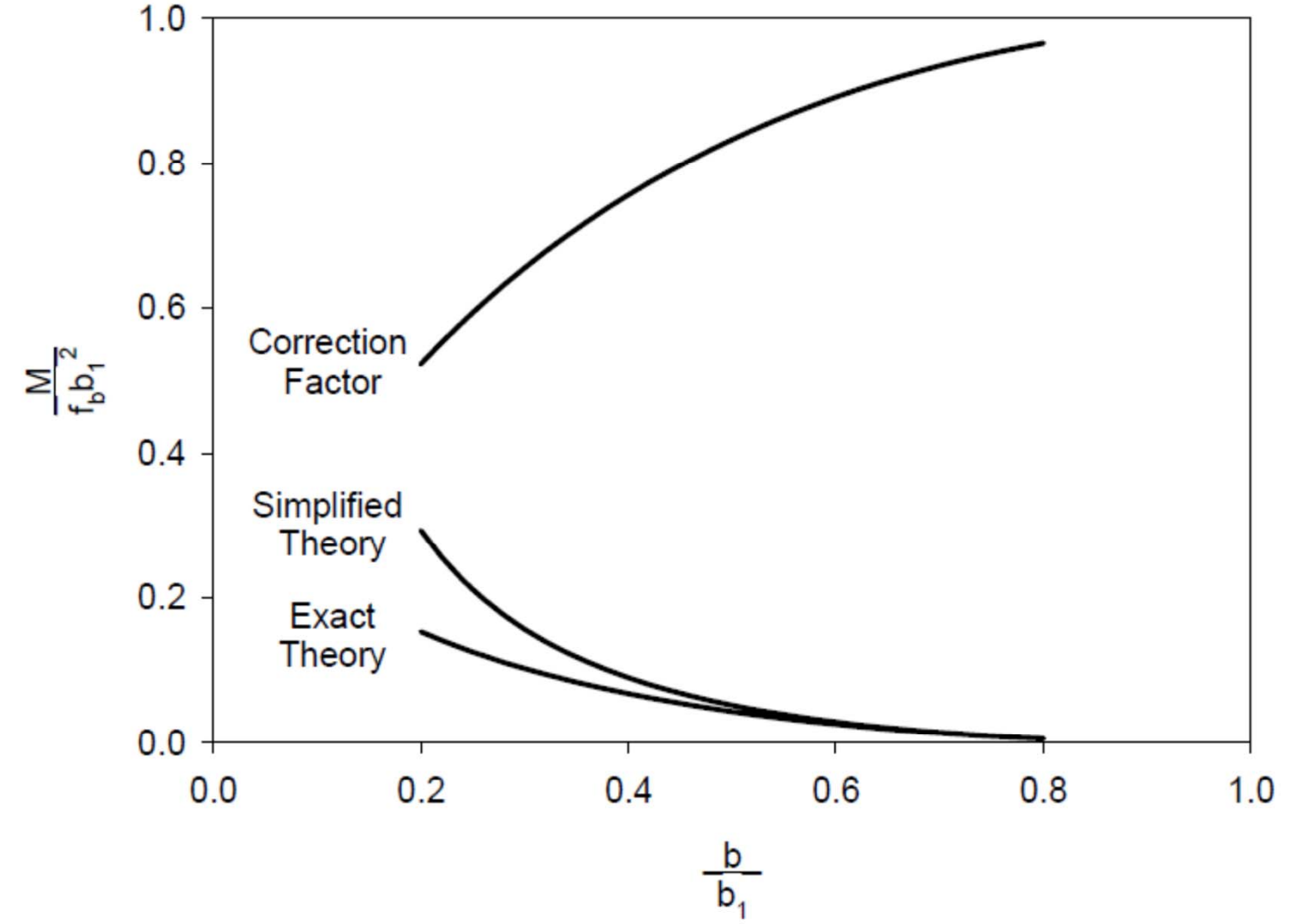
Sadece Düşey Yükler Altında

Yalıtım Birimleri Taban Plakası Tasarımı

- Sürtünmeli Sarkaç Tipi Yalıtım Birimlerinde Taban Plakası Tasarımı



Yatay Deplasman Durumunda



Düşey Deprem Etkisi

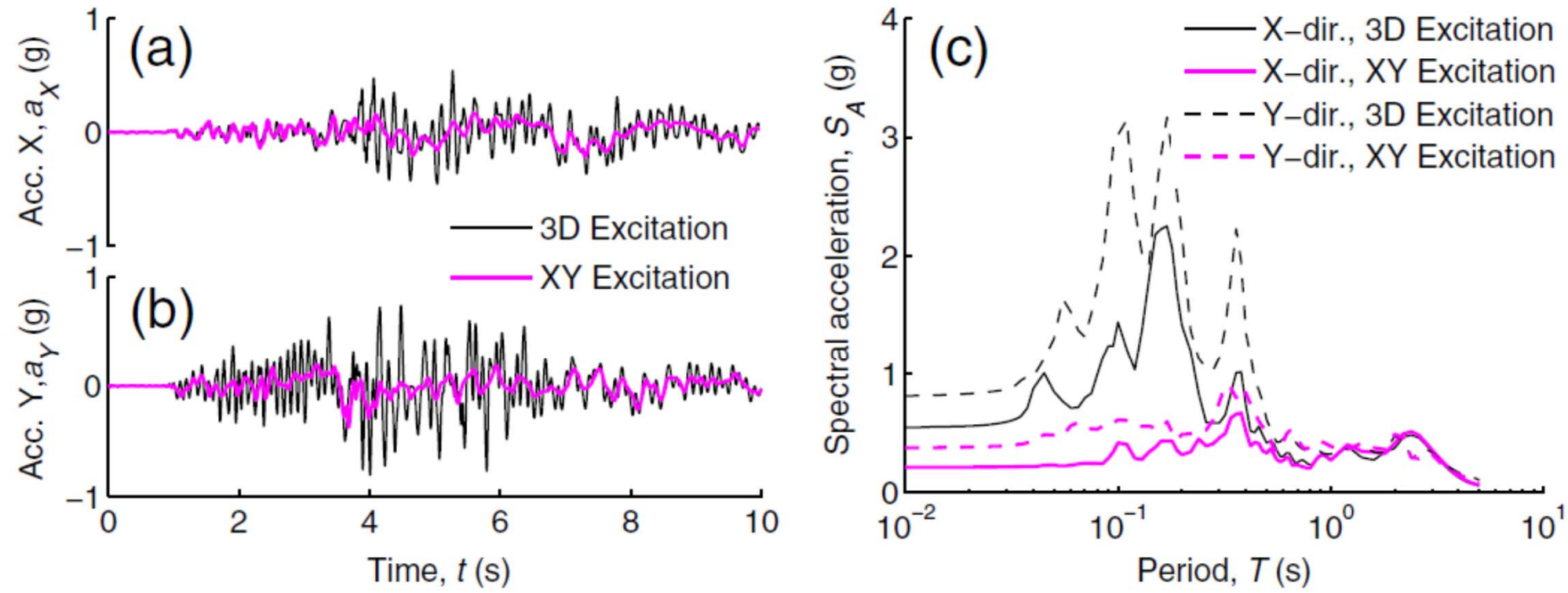


Fig. 5. (a and b) Acceleration histories; (c) response spectra of the accelerations in X and Y directions recorded at the roof due to 88 RRS: XY versus 3D excitation

Yalıtım Birimleri Deneyleri

14.15. YALITIM BİRİMİ DENEYLERİ

14.15.1. Deney Koşulları

14.15.1.1 – Yalıtım sisteminde kullanılan yalıtım birimlerinin kuvvet – yerdeğiştirme özellikleri, etkin sönüm oranları, etkin yatay ve düşey rijitlikleri ve diğer parametrelerinin belirlenmesi veya hesaplarda alınan parametrelerin kontrolü için Prototip Deneyleri, üretimdeki değişimin önceden belirlenen sınırlar içinde kaldığının teyidi için ise Üretim Kontrol Deneyleri yapılacaktır.

14.15.1.2 – Deneyler tasarım mühendisinin gözetim ve denetimi altında yapılacak ve deney sonuçları rapor ve tutanaklarla belgelenecektir.

14.15.1.3 – Aynı özellik ve boyutlara sahip yalıtım birimlerine 14.15.2’de belirtilen Prototip Deneyleri’nin uygulanmış olması durumunda bu deneylerin yeniden yapılması zorunlu değildir. Yalıtım birimlerinin bu deneyleri üretici firma tarafından belgelenecektir.

14.15.1.4 – Tasarım mühendisi prototip ve üretim deneylerinde kullanılacak olan düşey yük ve yerdeğiştirme değerlerini **Tablo 14.4** ve **Tablo 14.5**’e uygun olarak hazırlayacaktır.

Yalıtım Birimleri Deneyleri

Tablo 14.4 – Yalıtım Birimi Prototip Deneyleri

Deney No	Düşey Yük veya Yerdeğiştirme	Yatay Yerdeğiştirme / Yatay Kuvvet	Çevrim Sayısı	Deney Süresi/ Çevrim Periyodu (s)	Kabul Koşulu
1	Denk.(14.4) ile hesaplanan düşey yükün en büyük değeri	0	-	Statik (180 saniye)	a
2	Denk.(14.5) ile hesaplanan düşey yükün ortalama değeri	Yalıtım birimi başına düşen yatay rüzgâr kuvveti veya 25 mm	20	T_D	b
3	Denk.(14.5) ile hesaplanan düşey yükün ortalama değeri	$0.25D_D$ $0.50D_D$ $1.00D_D$ $1.00D_M$	3 3 3 3	T_D T_D T_D T_M	c, d
4	Denk.(14.6) ile hesaplanan düşey yükün ortalama değeri	$0.25D_D$ $0.50D_D$ $1.00D_D$ $1.00D_M$	3 3 3 3	T_D T_D T_D T_M	c, d
5	Denk.(14.8) ile hesaplanan düşey yükün ortalama değeri	$0.25D_D$ $0.50D_D$ $1.00D_D$ $1.00D_M$	3 3 3 3	T_D T_D T_D T_M	c, d
6	Denk.(14.5) ile hesaplanan düşey yükün ortalama değeri	$1.00D_{TM}$	3	T_M	c, d, e
7	Denk.(14.5) ile hesaplanan düşey yükün ortalama değeri	$1.00D_{TD}$	10	T_D	f
8	Denk.(14.7) ile hesaplanan düşey yükün en büyük değeri	$1.00D_{TM}$	Tek Yönlü İtme	-	g
9	Denk.(14.8) ile hesaplanan düşey yükün en küçük değeri	$1.00D_{TM}$	Tek Yönlü İtme	-	g
10*	Üst ve alt plakalar arasındaki en büyük düşey açılma	$1.00D_{TM}$	Tek Yönlü İtme	-	g

*Herhangi bir yükleme birleşiminde çekme gerilmesine maruz kalan veya alt ve üst plaka arasındaki basınç temasını kaybeden yalıtım birimleri için geçerlidir. Deney D_{TM} yerdeğiştirmesine ulaştıktan sonra Denk 14.7 ile elde edilen ortalama eksenel yük yüklenerek, yalıtım birimi merkez konumuna geri getirilecektir.

Tablo 14.5 – Yalıtım Birimi Üretim Kontrol Deneyleri

Deney No	Düşey Yük veya Yerdeğiştirme	Yatay Yerdeğiştirme / Yatay Kuvvet	Çevrim Sayısı	Deney süresi (s)/ Deney hızı (m/s)/ Çevrim Periyodu (s)	Kabul Koşulu
1	Denk.(14.4) ile hesaplanan düşey yükün en büyük değeri	-	-	Statik (180s)	a
2	Denk.(14.5) ile hesaplanan düşey yükün ortalama değeri	D_D	3	T_D veya $\geq 0.05m/s$	h, i

14.10.3. Yalıtım Birimi Deneylerinde Kullanılacak Yük Birleşimleri

Yalıtım birimi deneylerinde kullanılacak yüklerin hesabında **Denk.Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.)-Denk.Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.)**'de verilen yük birleşimleri dikkate alınacaktır.

$$1.4G + 1.6Q \quad (14.4)$$

$$G + 0.5Q \quad (14.5)$$

$$1.2G + 0.5Q \pm E_d \quad (14.6)$$

$$1.2G + Q \pm E_d \quad (14.7)$$

$$0.9G \pm E_d \quad (14.8)$$

Yalıtım Birimleri Deneyleri

14.15.2. Yalıtım Birimi Prototip Deneyleri

Prototip deneyleri, her bir yalıtım birimi tipi için en az 2 adet yalıtım birimine dinamik olarak uygulanacaktır. Deneylerde kullanılacak olan yerdeğiştirme ve periyot değerleri yalıtım biriminin nominal parametreleri kullanılarak belirlenecektir. Prototip deneylerinin içeriği **Tablo 14.4**'de verilmiştir.

14.15.3. Yalıtım Birimi Üretim Kontrol Deneyleri

14.15.3.1 – Üretim kontrol deneyleri, üretilen yalıtım birimlerinin rastgele seçilen %30'una uygulanacaktır. Seçilen yalıtım birimlerinden herhangi birisinin **Tablo 14.5**'de verilen kabul koşullarını sağlamaması durumunda, üretim kontrol deneyleri üretilen yalıtım birimlerinin tümüne uygulanacaktır.

14.15.3.2 – Deneylerde kullanılacak olan yerdeğiştirme ve periyot değerleri yalıtım biriminin nominal parametreleri kullanılarak belirlenecektir. Üretim kontrol deneylerinin içeriği **Tablo 14.5**'de verilmiştir. Üretim kontrol deneylerinde deney cihazının yeterli hıza sahip olmaması durumunda **Tablo 14.4**'de verilen Prototip Deney No 3 üretim kontrol deney cihazının hızında tekrarlanarak hız düzeltme katsayıları belirlenecektir. Bu durumda üretim kontrol deneylerinin düşük hızda yapılması ve sonuçların hesaplanan katsayılar ile düzeltilerek kullanılması mümkündür.

Yalıtım Birimleri Deneyleri

14.15.4. Yalıtım Birimi Kabul Koşulları

Yalıtım birimleri kabul koşulları aşağıdaki maddelerde belirtilmiştir. Tüm deneyler sırasında yalıtım birimleri kararlı kalacak ve kuvvet-yer değiştirme eğrisi daima pozitif eğime sahip olacaktır.

(a) Elastomer yalıtım birimlerinin düşey rijitliği deney elemanı üzerinde belirlenecektir. Belirlenen düşey rijitlik ile hesapta göz önüne alınan düşey rijitlik arasındaki farkın deneyden elde edilen değere oranı %15'den fazla olmayacaktır. Elastomer yalıtım biriminde veya eğri yüzeyli sürtünmeli yalıtım birimlerinin kayma yüzeylerinde kalıcı şekildeğiştirme olmayacaktır.

(b) Deney sonucunda elde edilen değerler, **14.6.1**'de verilen koşulları sağlayacaktır.

(c) Tüm yükleme ve değiştirme adımlarında, her bir çevrim için hesaplanan ikincil rijitlik değeri; tasarımda kullanılmış $\lambda_{\text{deney,alt}}$ ve $\lambda_{\text{deney,üst}}$ değerleri ile nominal ikincil rijitliğin çarpılması ile elde edilmiş alt ve üst sınırların arasında kalacaktır.

(d) Deneye tabi tutulan aynı tipten iki yalıtım birimi için her bir çevrimde hesaplanmış etkin rijitlik değerlerinin farkı ile ortalama etkin rijitlik değeri arasındaki değişim %15'in altında kalacaktır.

Yalıtım Birimleri Deneyleri

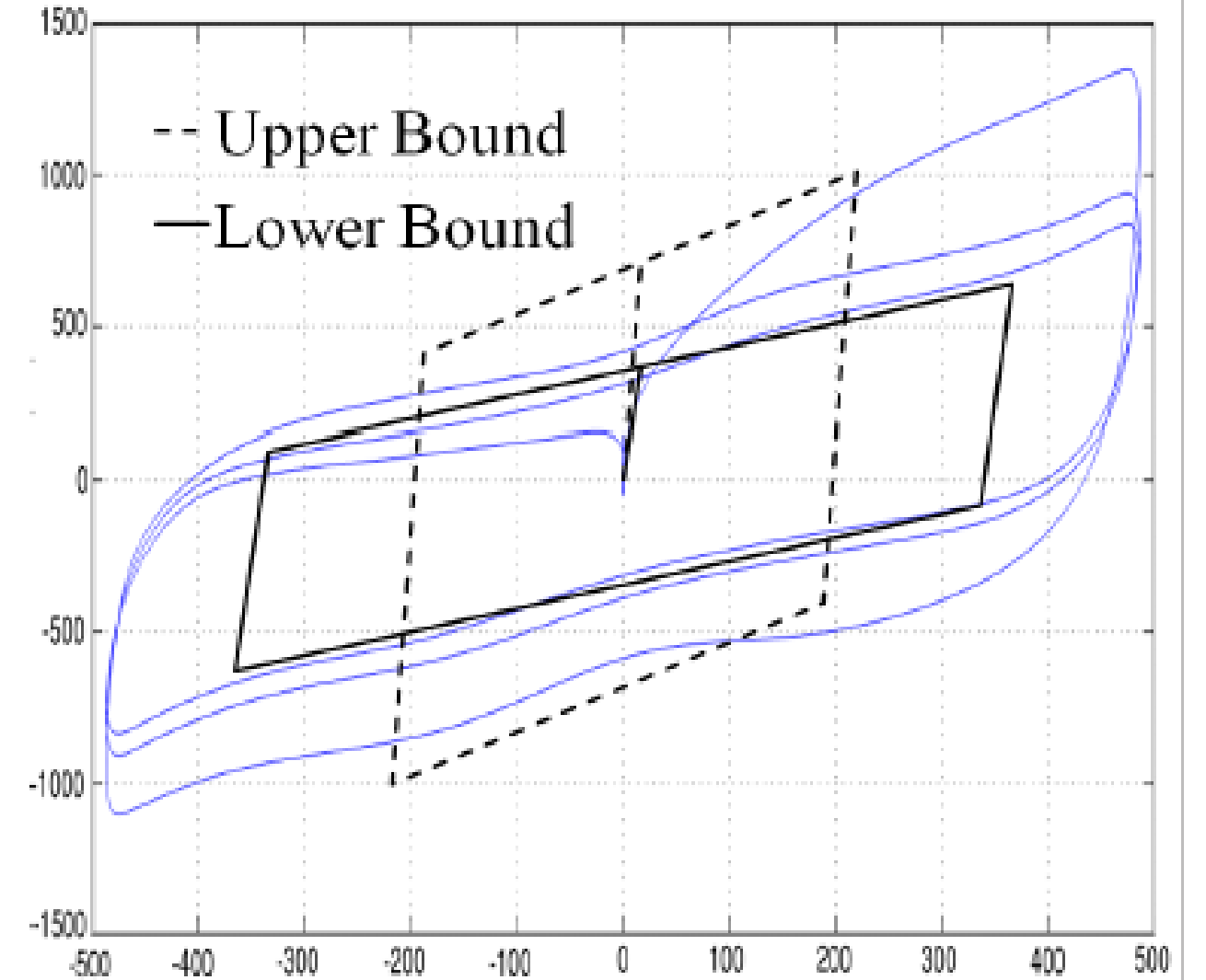
- (e) Ortalama ikincil rijitlik ve ortalama tüketilen enerji; tasarımda kullanılmış $\lambda_{\text{spek,alt}}$ ve $\lambda_{\text{spek,üst}}$ değerleri ile nominal değerlerin çarpılması ile elde edilmiş alt ve üst sınırların, +/- %5 toleransla, arasında kalacaktır.
- (f) Deneye tabi tutulan her iki yalıtım birimi için ikinci çevrimde hesaplanan etkin rijitlik ve etkin sönüm oranı: diğer tüm çevrimlerde %30'dan daha fazla değişim göstermeyecektir.
- (g) Yalıtım biriminde kalıcı olarak basınç, çekme veya yatay rijitlik kaybı meydana gelmeyecek ve yalıtım birimi kararlılığını koruyacaktır.
- (h) Her bir çevrim için hesaplanan ikincil rijitlik tasarımda kullanılmış $\lambda_{\text{deney,min}}$ ve $\lambda_{\text{deney,maks}}$ değerleri ile nominal değerin çarpılması ile elde edilmiş alt ve üst sınırların arasında kalacaktır.
- (i) Herbir üretim deneyinden elde edilen ortalama ikincil rijitlik değerlerinin en büyüğü ve en küçüğü, tasarımda kullanılmış $\lambda_{\text{spek,min}}$ ve $\lambda_{\text{spek,maks}}$ ile nominal değerin çarpılması ile elde edilmiş alt ve üst sınırların arasında kalacaktır.

14.15.5. Tasarımın Doğrulanması

14.15.5.1 – Yalıtım birimi kabul koşullarının sağlanamadığı durumlarda, alt ve üst sınır değerler gözden geçirilip değiştirilerek tüm hesaplar tekrarlanacak veya yalıtım birimi tasarımı iyileştirilecek ve binanın bu Bölümde belirtilen koşulları sağladığı gösterilecektir. Gerekmesi durumunda prototip deneyleri yeni eksenel yük ve yerdeğiştirme koşullarına göre tekrarlanacaktır.

Alt/Üst Limit Değerleri

- **Elastomer Yalıtım Birimleri**
 - Çevrimsel Etkiler (1. çevrim ve sonraki çevrimler arasındaki farklar)
 - Sıcaklık Etkileri
 - Yaşlanma
 - Kurşun Akma Dayanımında Hıza Bağlı Değişiklik (LRB)
 - Eksenel Yük Seviyesine Bağlı Değişim
- **Sürtünmeli Sarkaç Tipi Yalıtım Birimleri**
 - Sıcaklık Etkileri
 - Sürtünmenin Yatay Yükleme Hızına Bağlı Değişimi
 - Sürtünmenin Eksenel Yük Seviyesine Bağlı Değişimi
 - Yaşlanma
 - Kirlenme



Alt/Üst Limit Değerleri

- **Elastomer Yalıtım Birimleri**
 - Yaşlanma: Elastomer rijitliğinde ve akma dayanamınında 30 yıl sonra %10-%20 artış
 - Çevrimsel Sıcaklık: Çevrimler arttıkça kurşun akma dayanımı düşer. 3-4 çevrimde düşüş gözlenebilir
 - Çevresel Sıcaklık: Yüksek sıcaklıklarda elastomer daha esnektir.
 - Çevrim Sayısı: Çevrimler arttıkça, akma dayanımı ve rijitliği düşer. Beklenip tekrar yüklenirse, yüksek akma dayanımı ve rijitlik gösterip tekrar düşer. Düşük değerler nominal olarak kullanılır, yüksek ilk değerler üst limit olarak kullanılır.

Alt/Üst Limit Değerleri

- Elastomer Yalıtım Birimleri

Table 6-3. Maximum Values for Temperature λ -factors for Elastomeric Isolators ($\lambda_{\max,t}$)

Minimum Temperature For Design		Q_d			K_d		
°C	°F	HDRB-1	HDRB-2	LDRB	HDRB-1	HDRB-2	LDRB
21	70	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
0	32	1.3	1.3	1.3	1.2	1.1	1.1
-10	14	1.4	1.4	1.4	1.4	1.2	1.1
-30	-22	2.5	2.0	1.5	2.0	1.4	1.3

Note: HDRB-1 is High Damping Rubber Bearing with large difference (more than 25%) between scragged and unscragged properties
HDRB-2 is High Damping Rubber Bearing with small difference (less than or equal to 25%) between scragged and unscragged properties
LDRB is Low Damping Rubber Bearing (conventional natural rubber bearing)

Alt/Üst Limit Değerleri

- Elastomer Yalıtım Birimleri

Table 6-4. Maximum Values for Aging λ -factors for Elastomeric Isolators ($\lambda_{\max,a}$)

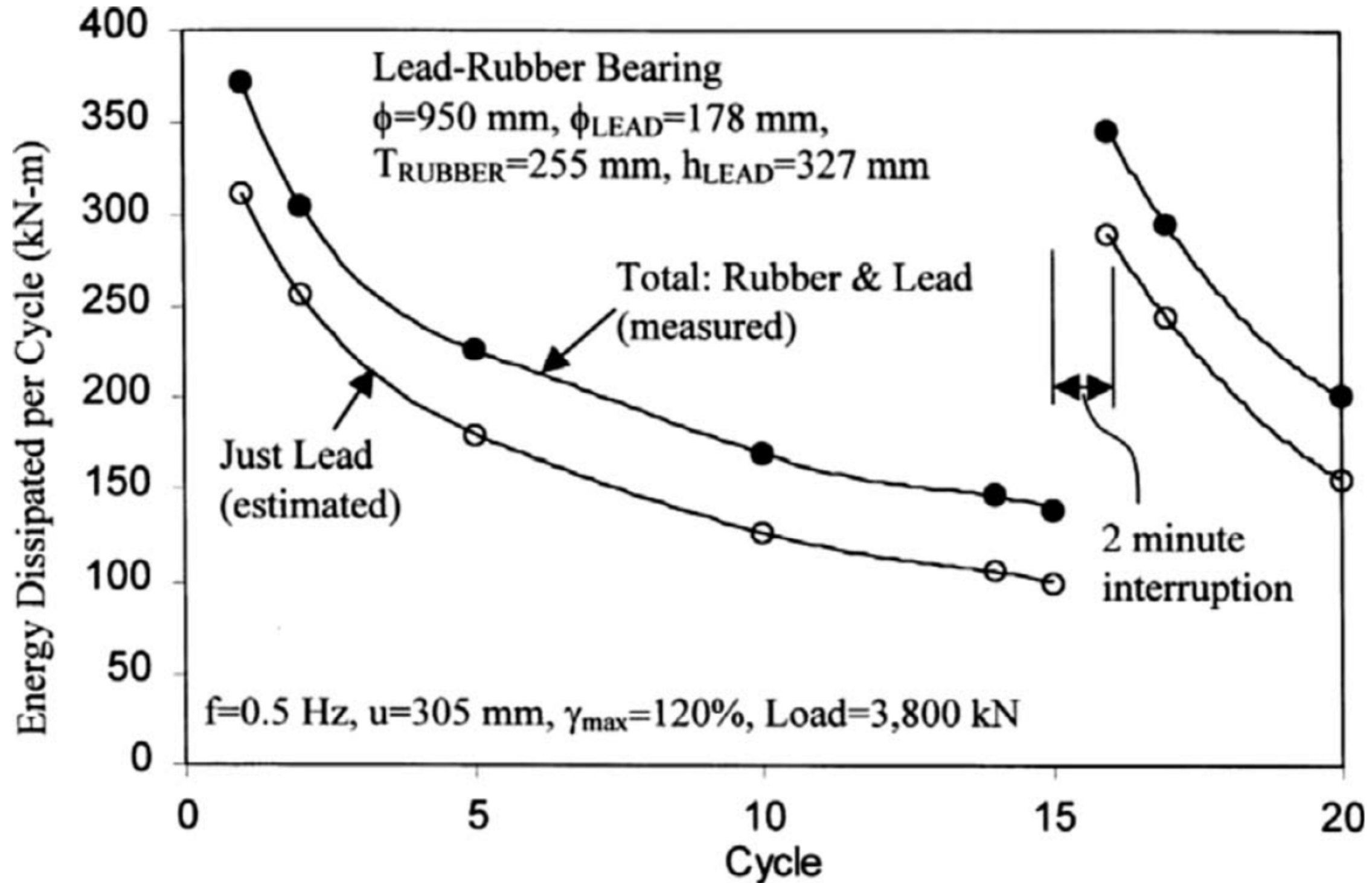
Material	K_d	Q_d
Low Damping Natural Rubber (LDRB)	1.1	1.1
High Damping Rubber with large differences ($>25\%$) between scragged and unscragged properties (HDRB-1)	1.3	1.3
High Damping Rubber with small differences ($\leq 25\%$) between scragged and unscragged properties (HDRB-2)	1.2	1.2
Lead	-	1.0
Neoprene	3.0	3.0

Table 6-5. Maximum Values for Scragging λ -factors for Elastomeric Isolators ($\lambda_{\max,scrag}$)

Material	Q_d	K_d
LDRB	1.0	1.0
HDRB-A	1.2	1.2
HDRB-B	1.5	1.8

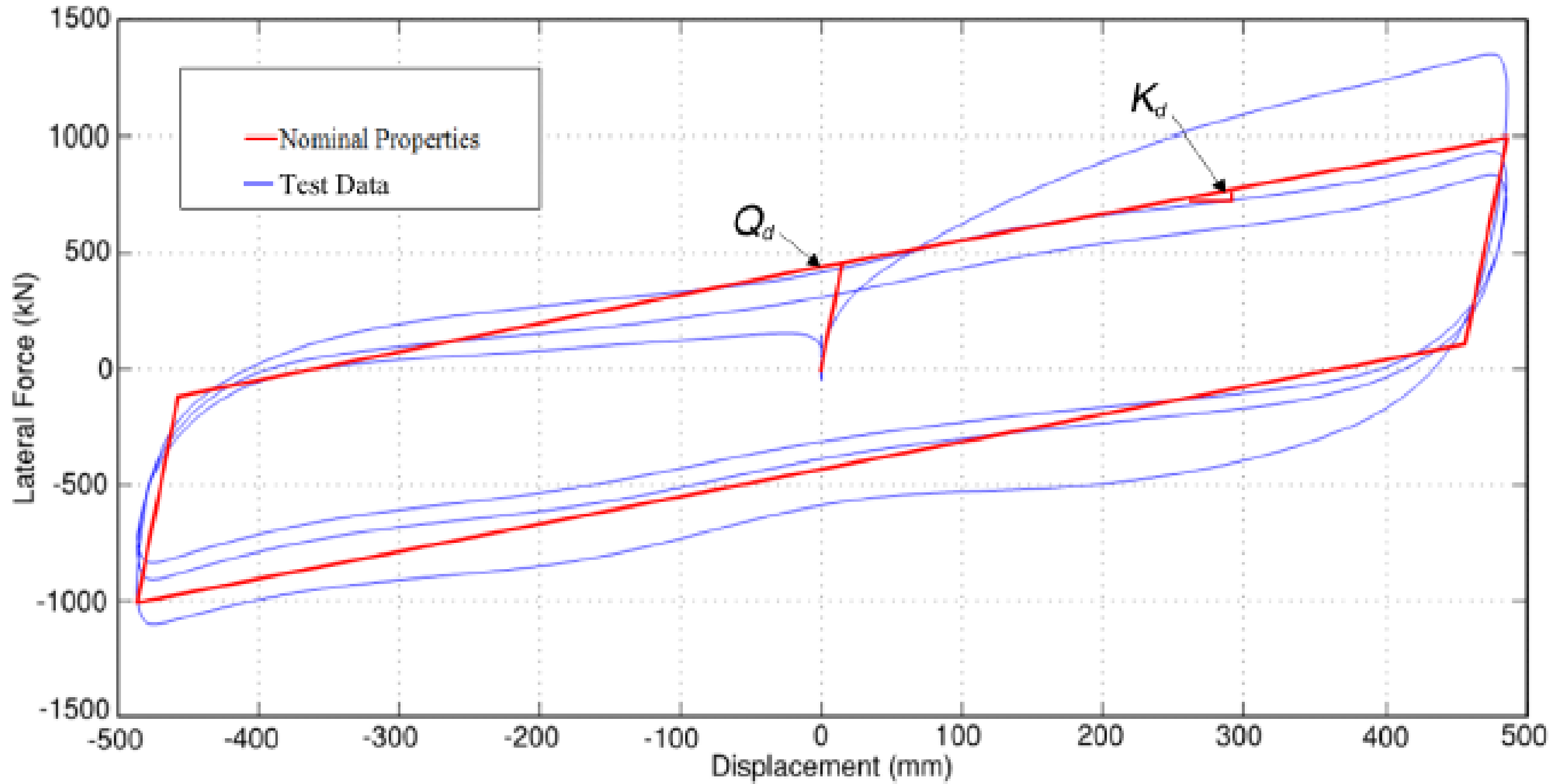
Alt/Üst Limit Değerleri

- Elastomer Yalıtım Birimleri



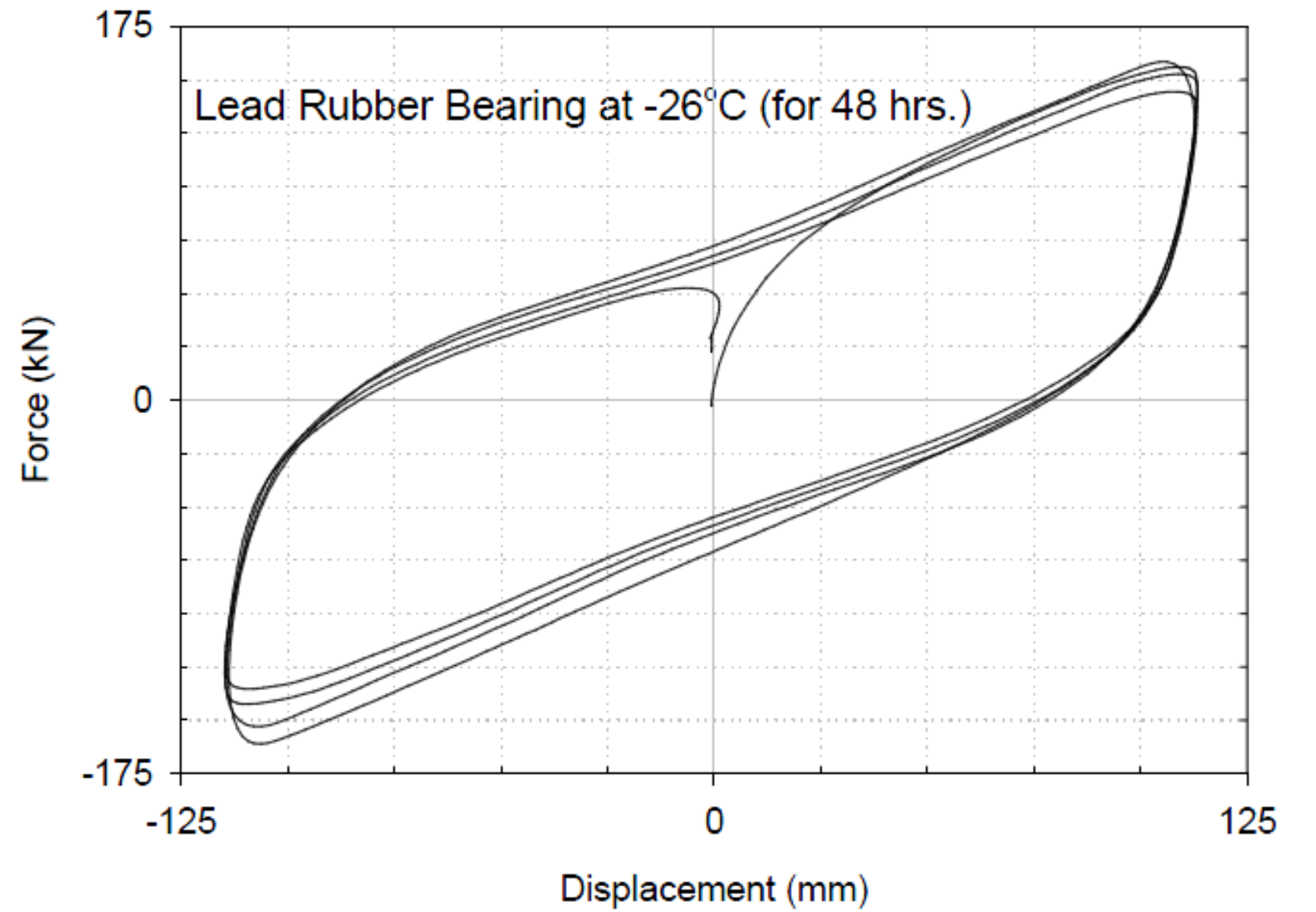
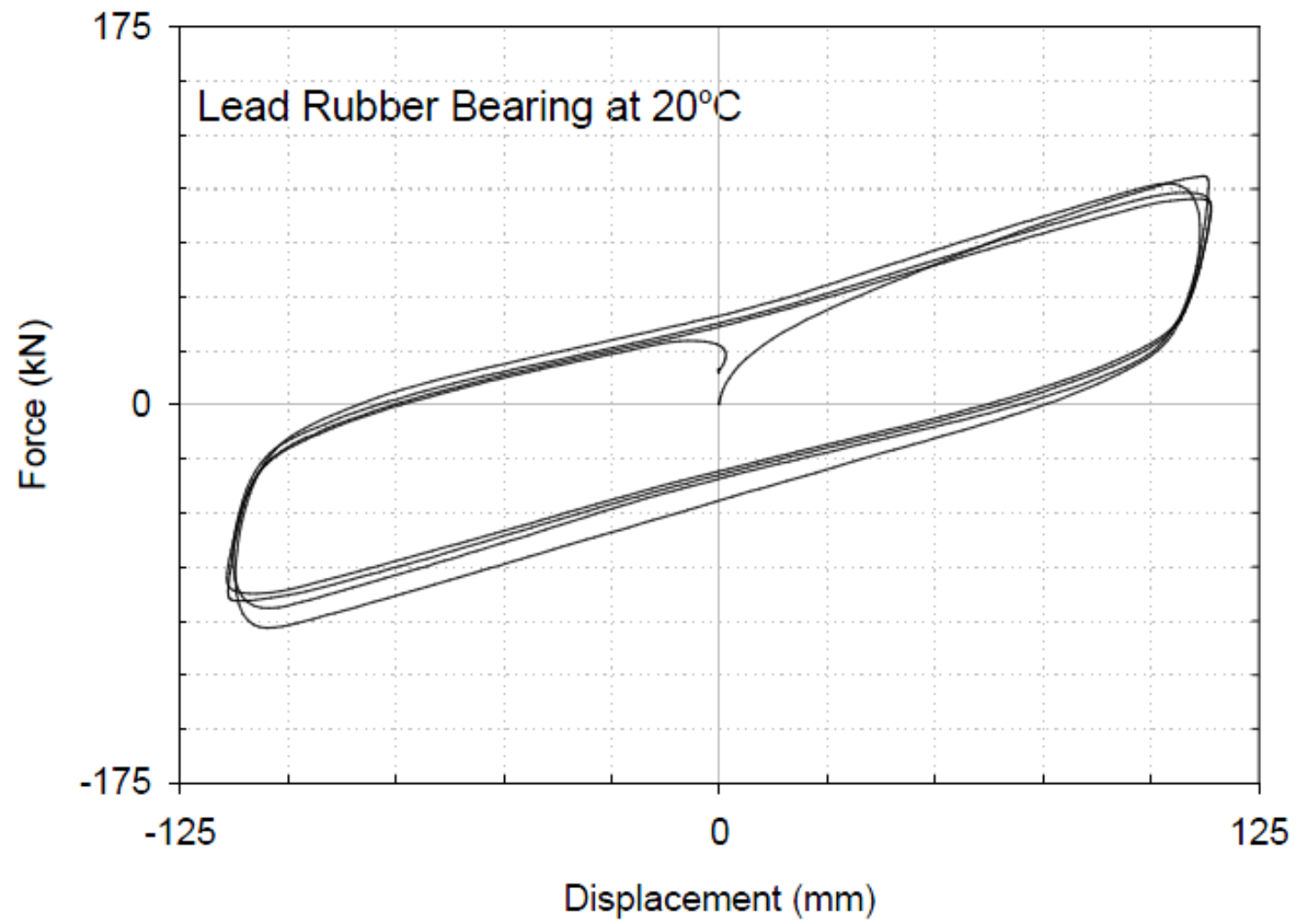
Alt/Üst Limit Değerleri (Elastomer)

- Çevrimsel Etkiler



Alt/Üst Limit Değerleri (Elastomer)

- Sıcaklık Etkileri



Alt/Üst Limit Değerleri (Elastomer)

- Yatay Yükleme Hızına Bağlı Değişim

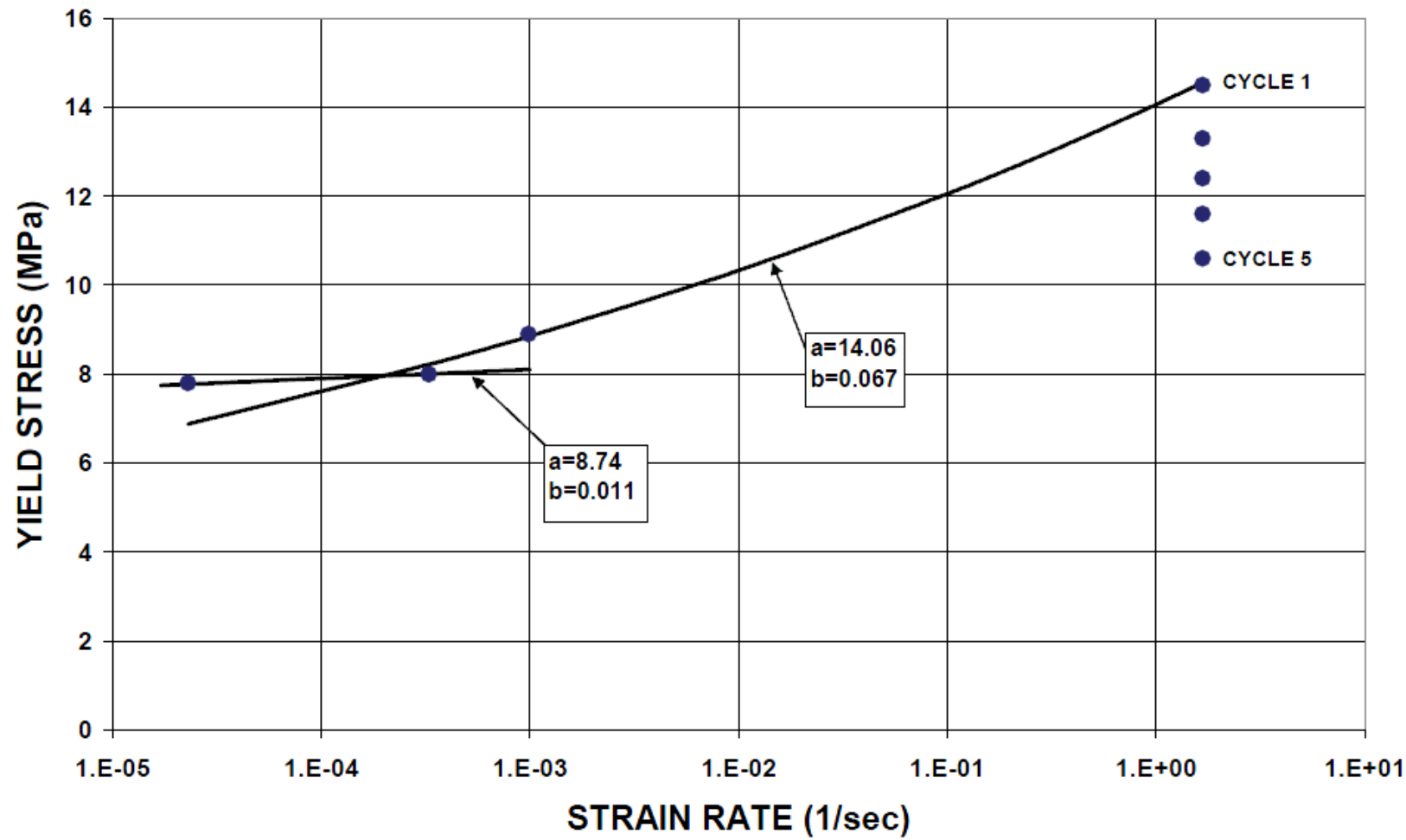


FIGURE 8-22 Effective Yield Stress of Lead as Function of Shear Strain Rate

TABLE 8-7 Effect of Velocity on Characteristic Strength of a Lead Rubber Bearing

Condition	Cycle	Peak Velocity (mm/sec)	Shear Strain Rate (sec ⁻¹)	Strength (kN)	Effective Yield Stress (MPa)
Before cumulative travel test	1	0.15	984x10 ⁻⁶	78.0	5.1
Before cumulative travel test	1	254	1.67	201.7	13.1
	2			174.4	11.4
	3			160.0	10.5
	4			147.0	9.7
	5			136.7	8.9
After cumulative travel test	1	0.00353	23x10 ⁻⁶	118.2	7.8
After cumulative travel test	1	0.05	328x10 ⁻⁶	122.3	8.0
After cumulative travel test	1	0.15	984x10 ⁻⁶	136.0	8.9
After cumulative travel test	1	254	1.67	223.0	14.5
	2			204.0	13.3
	3			189.0	12.4
	4			177.0	11.6
	5			163.0	10.6

Alt/Üst Limit Değerleri (Sürtünmeli Sarkaç)

Table 7-1. Maximum Values for Temperature λ -factors for Sliding Isolators ($\lambda_{\max,t}$)

Minimum Temperature for Design		Unlubricated PTFE	Lubricated PTFE	Bimetallic Interfaces
°C	°F			
21	70	1.0	1.0	To be established by test
0	32	1.1	1.3	
-10	14	1.2	1.5	
-30	-22	1.5	3.0	

Table 7-2. Maximum Values for Aging λ -factors for Sliding Isolators ($\lambda_{\max,a}$)¹

	Unlubricated PTFE		Lubricated PTFE		Bimetallic Interfaces ⁴	
Environment/ Condition	Sealed	Unsealed ²	Sealed	Unsealed ²	Sealed	Unsealed ²
Normal	1.1	1.2	1.3	1.4	2.0	2.2
Severe ³	1.2	1.5	1.4	1.8	2.2	2.5

Alt/Üst Limit Değerleri (Sürtünmeli Sarkaç)

Table 7-3. Maximum Values for Travel and Wear λ -factors for Sliding Isolators ($\lambda_{\max, \text{tr}}$)

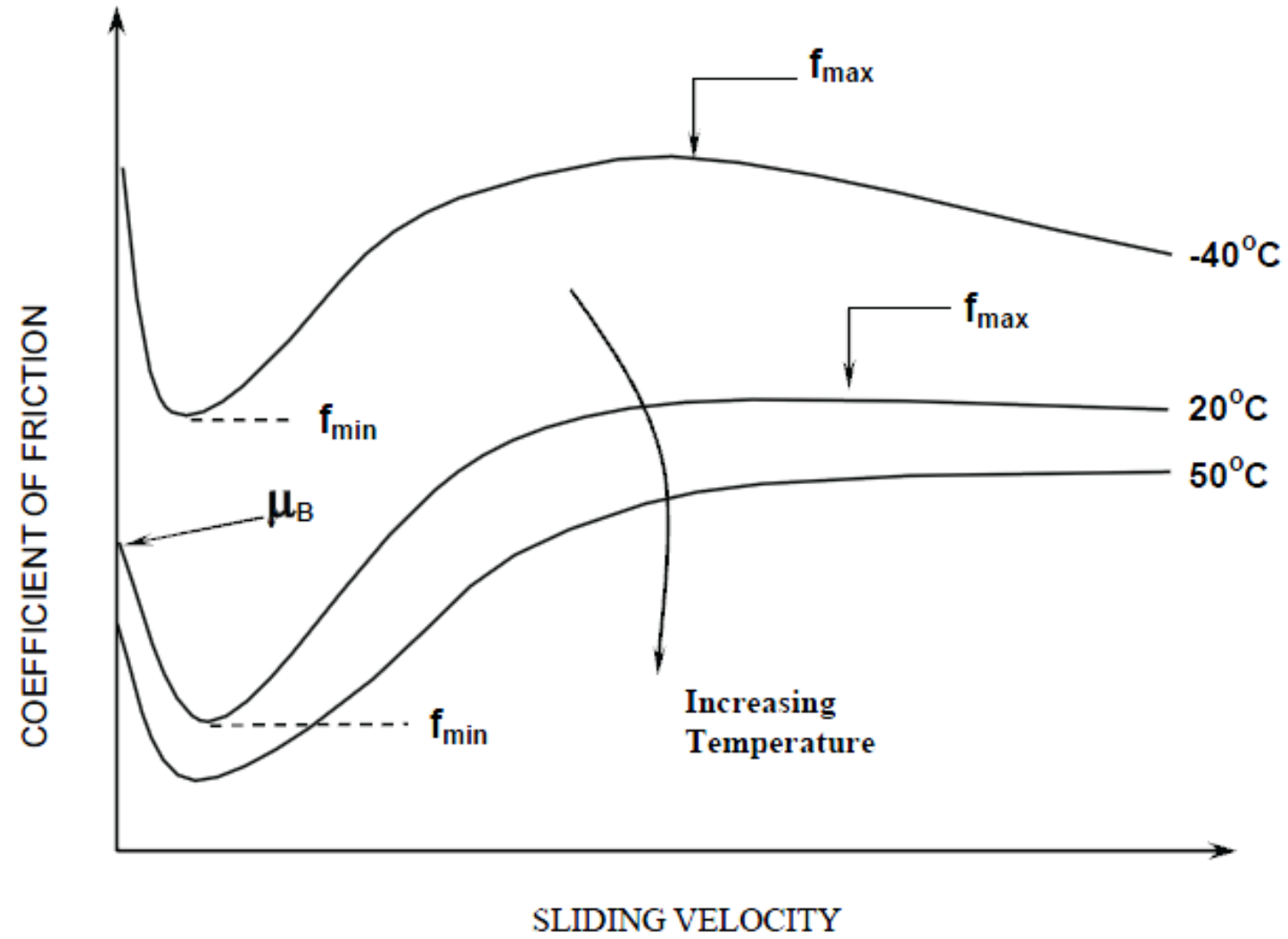
Cumulative Travel		Unlubricated PTFE	Lubricated PTFE	Bimetallic Surfaces
Ft	M			
<3300	<1005	1.0	1.0	To be established by test
≤ 6600	≤ 2010	1.2	1.0	To be established by test
>6600	>2010	To be established by test	To be established by test	To be established by test

Table 7-4. Maximum Values for Contamination λ -factors for Sliding Isolators ($\lambda_{\max, c}$)

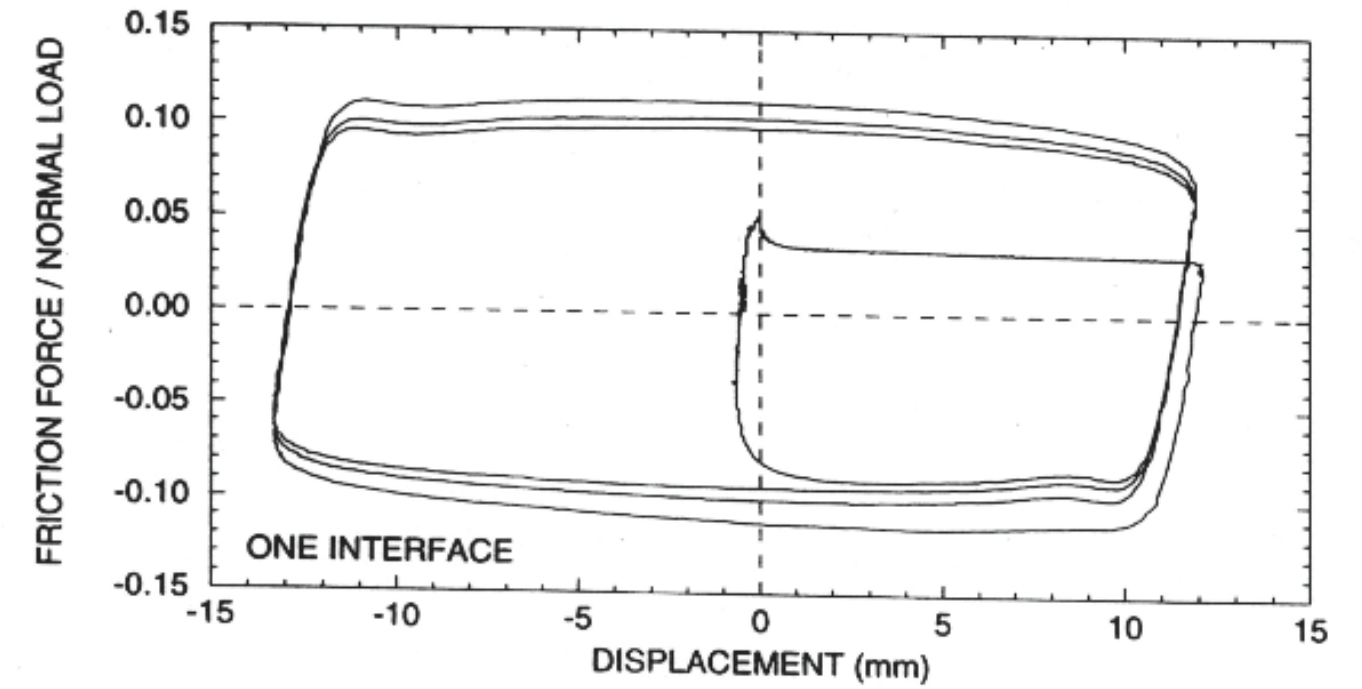
	Unlubricated PTFE	Lubricated PTFE	Bimetallic Interfaces
Sealed with stainless steel surface facing down	1.0	1.0	1.0
Sealed with stainless surface facing up ¹	1.1	1.1	1.1
Unsealed with stainless surface facing down	1.1	3.0	1.1
Unsealed with stainless surface facing up	Not allowed	Not allowed	Not allowed

Alt/Üst Limit Değerleri (Sürtünmeli Sarkaç)

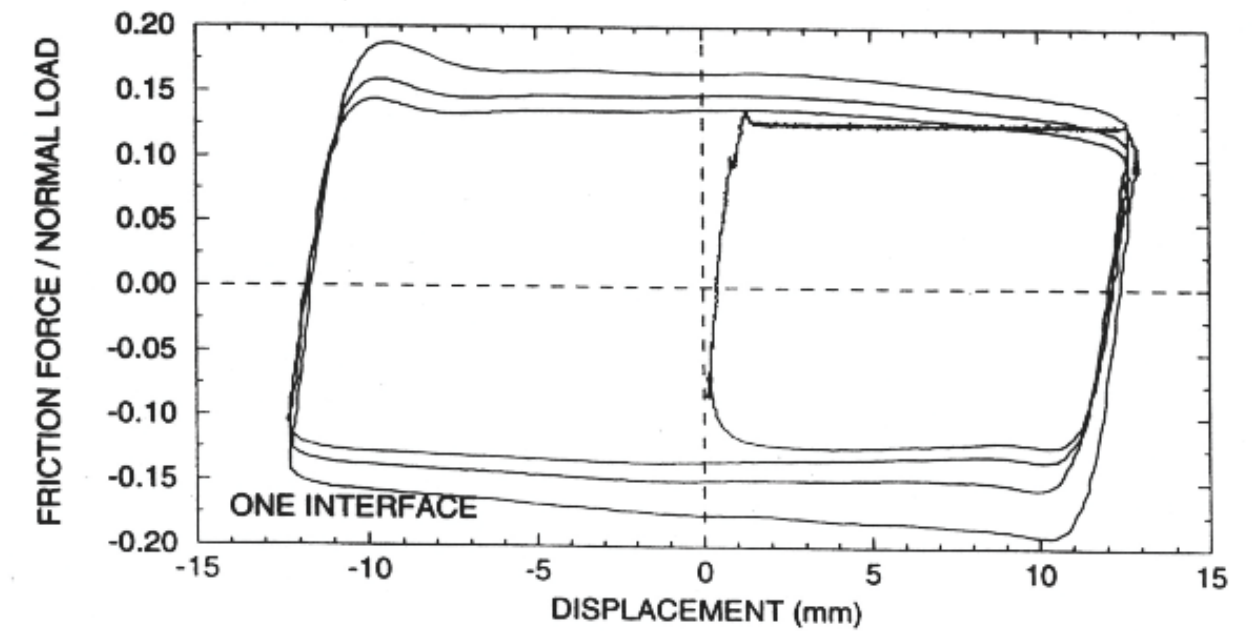
- Sıcaklık Etkileri



21°C, vel.=125mm/s, p = 21 MPa

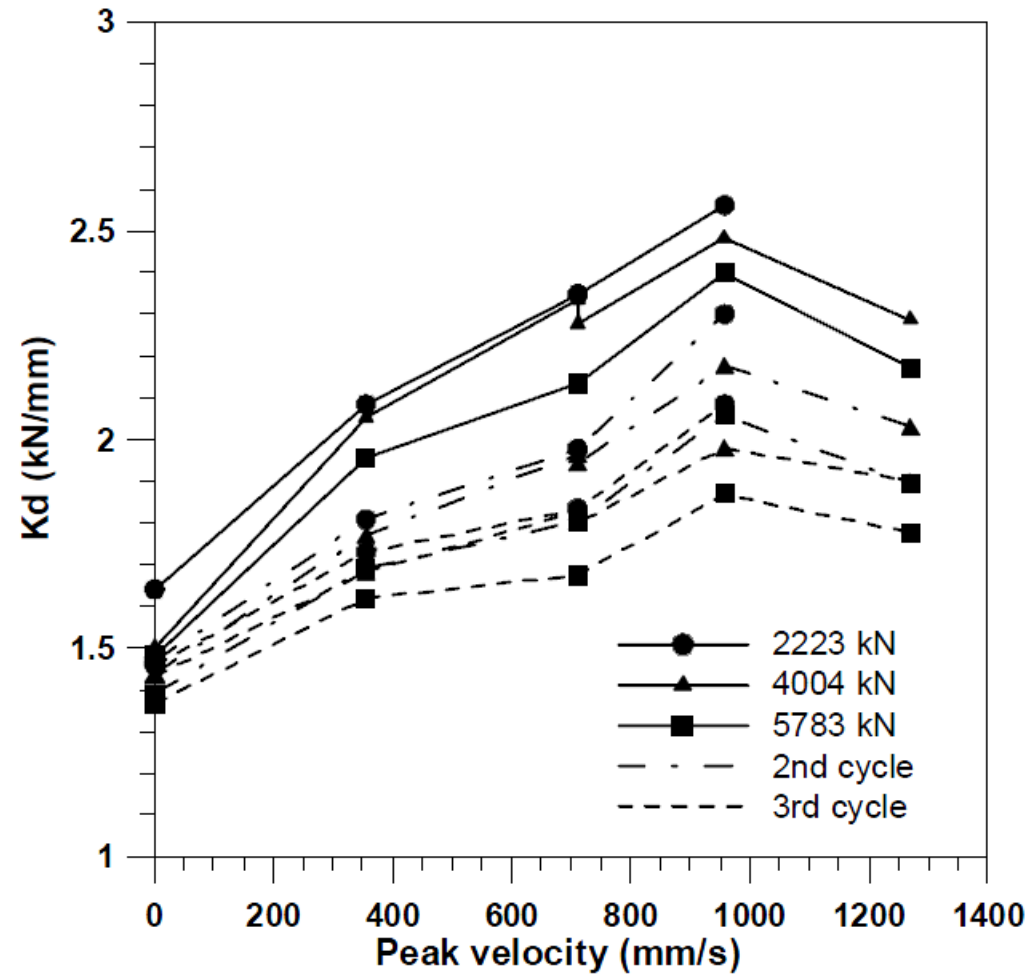


-38°C, vel.=125mm/s, p = 21 MPa



Alt/Üst Limit Değerleri (Elastomer)

- Eksenek Yük Seviyesine Bağlı Değişim



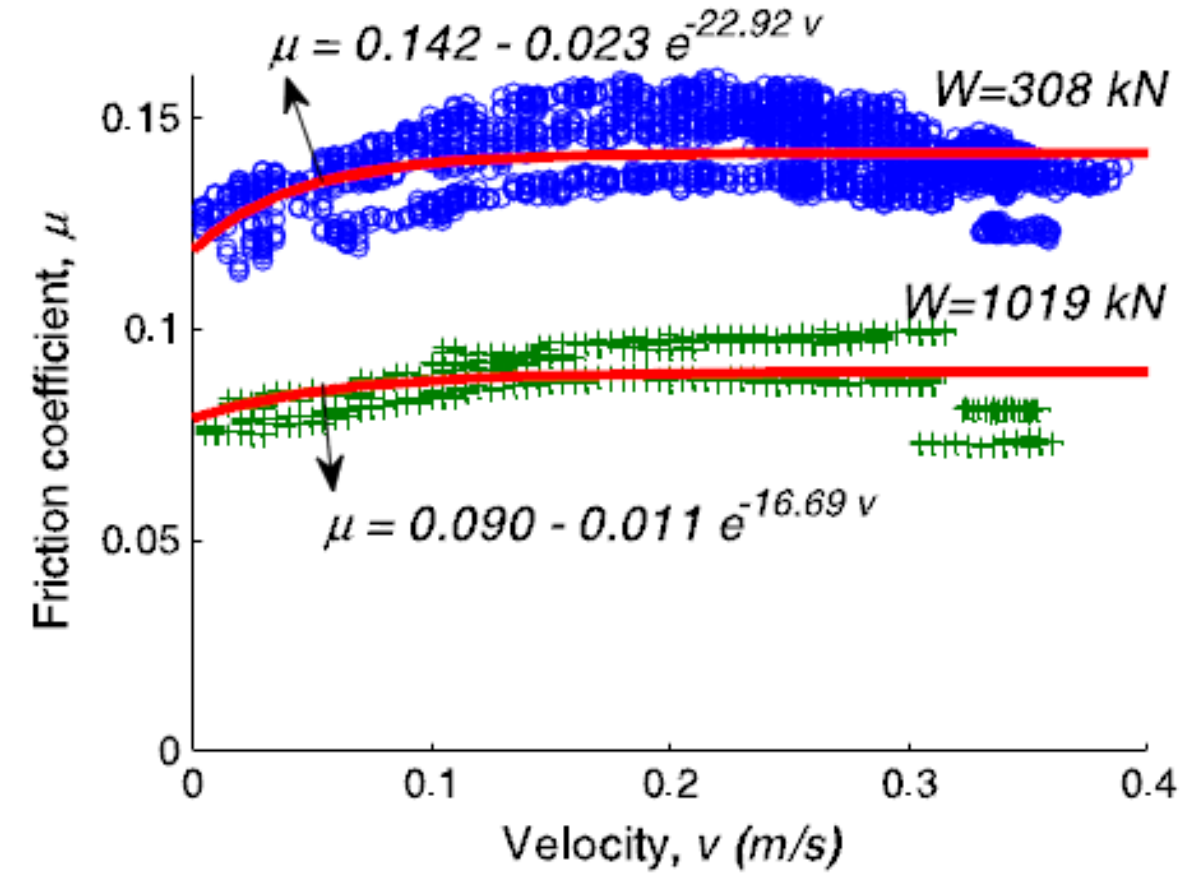
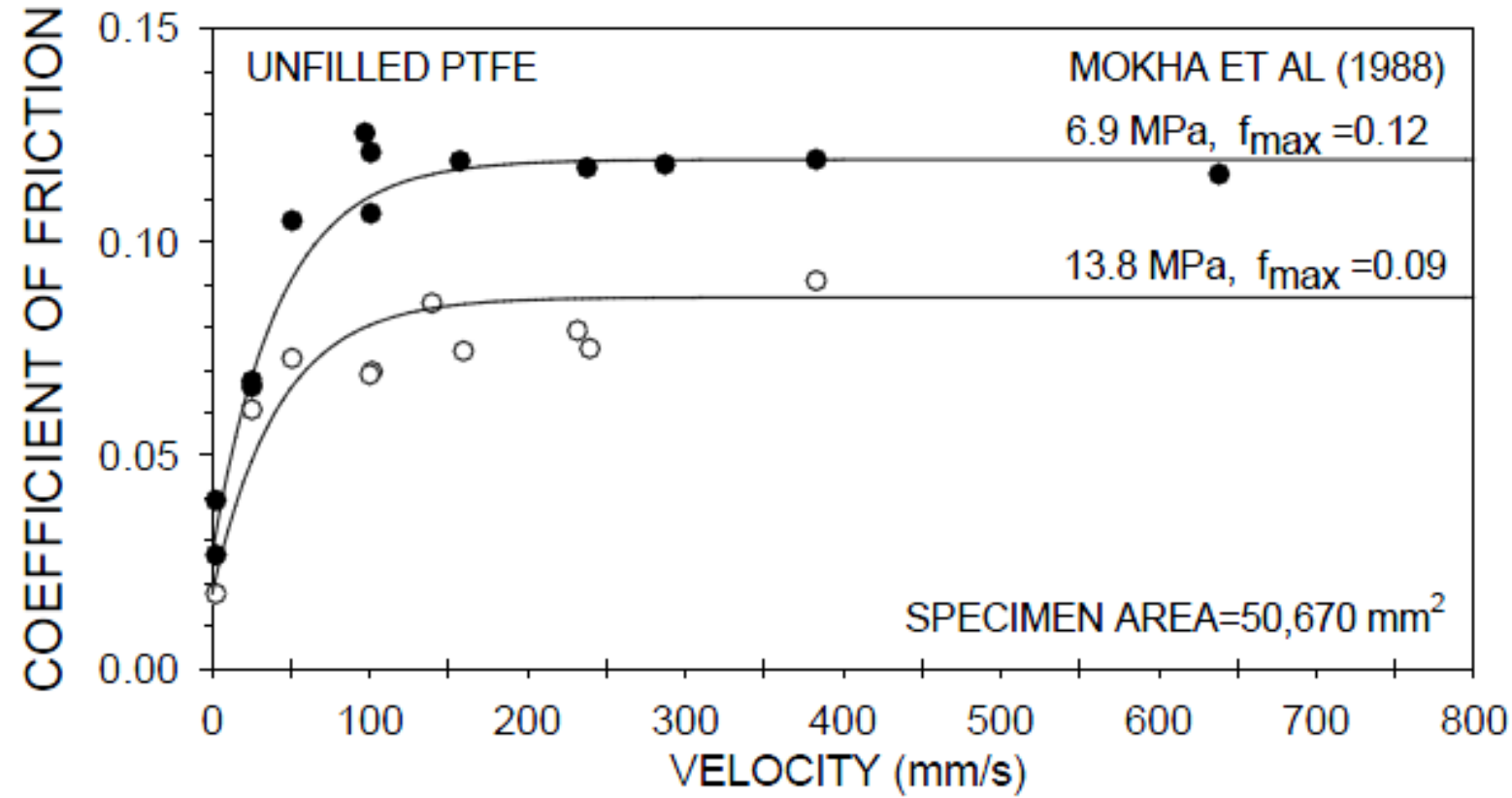
Cycle	$v = 0.762 \text{ mm/s}$	$v = 355.6 \text{ mm/s}$	$v = 711.2 \text{ mm/s}$	$v = 957.6 \text{ mm/s}$	$v = 1270 \text{ mm/s}$
1	-9.7	-6.2	-12.0	-6.6	-4.8
2	-4.8	-6.1	-15.8	-10.8	-6.9
3	-6.8	-6.5	-13.4	-10.5	-6.8

Table 5. Maximum reduction (%) of K_d due to increasing vertical load, for different test velocities and cycles

Figure 13. Post-Yield Stiffness vs Testing Speed at different Vertical Loads

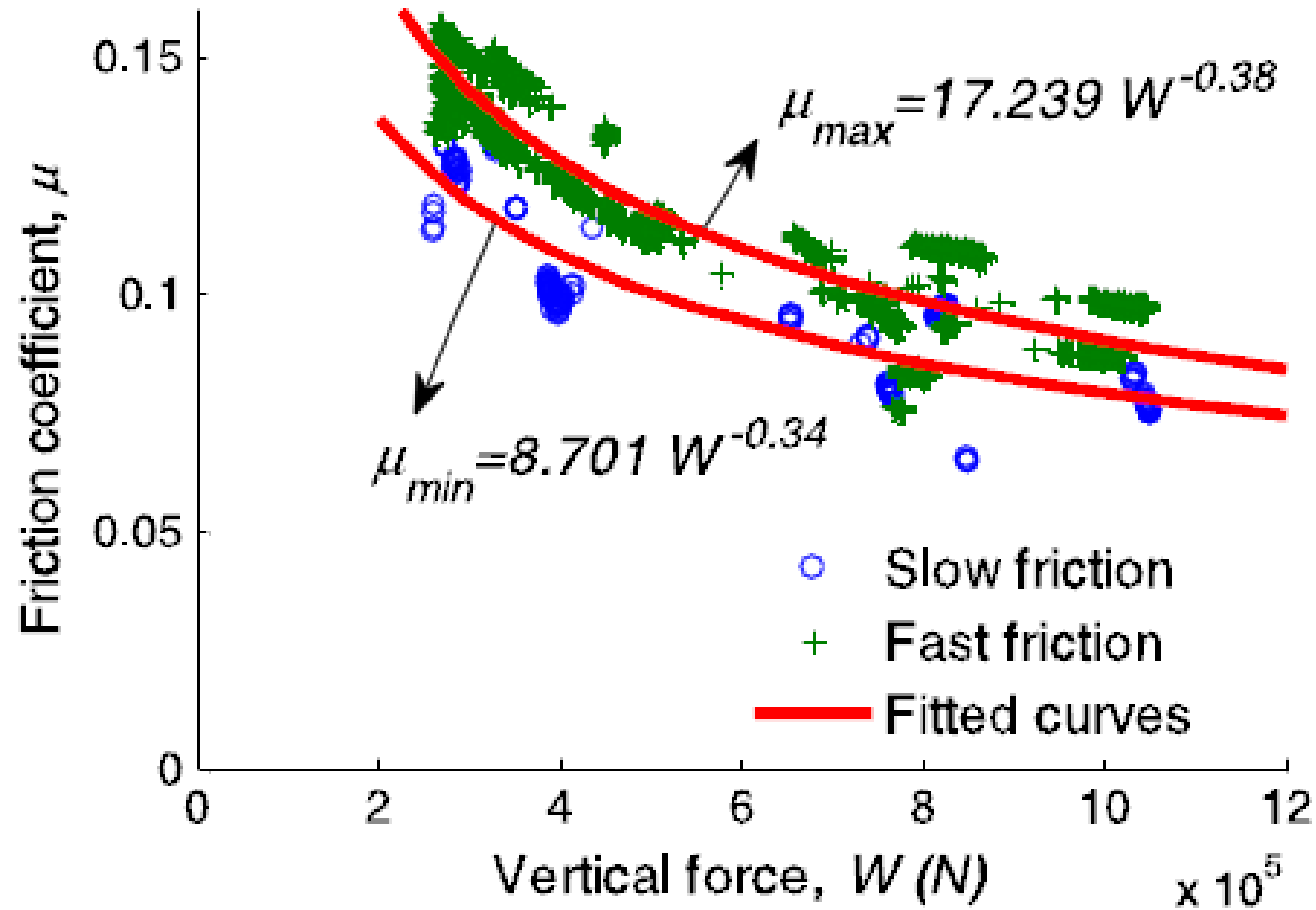
Alt/Üst Limit Değerleri (Sürtünmeli Sarkaç)

- Sürtünmenin Yatay Yükleme Hızına Bağlı Değişimi



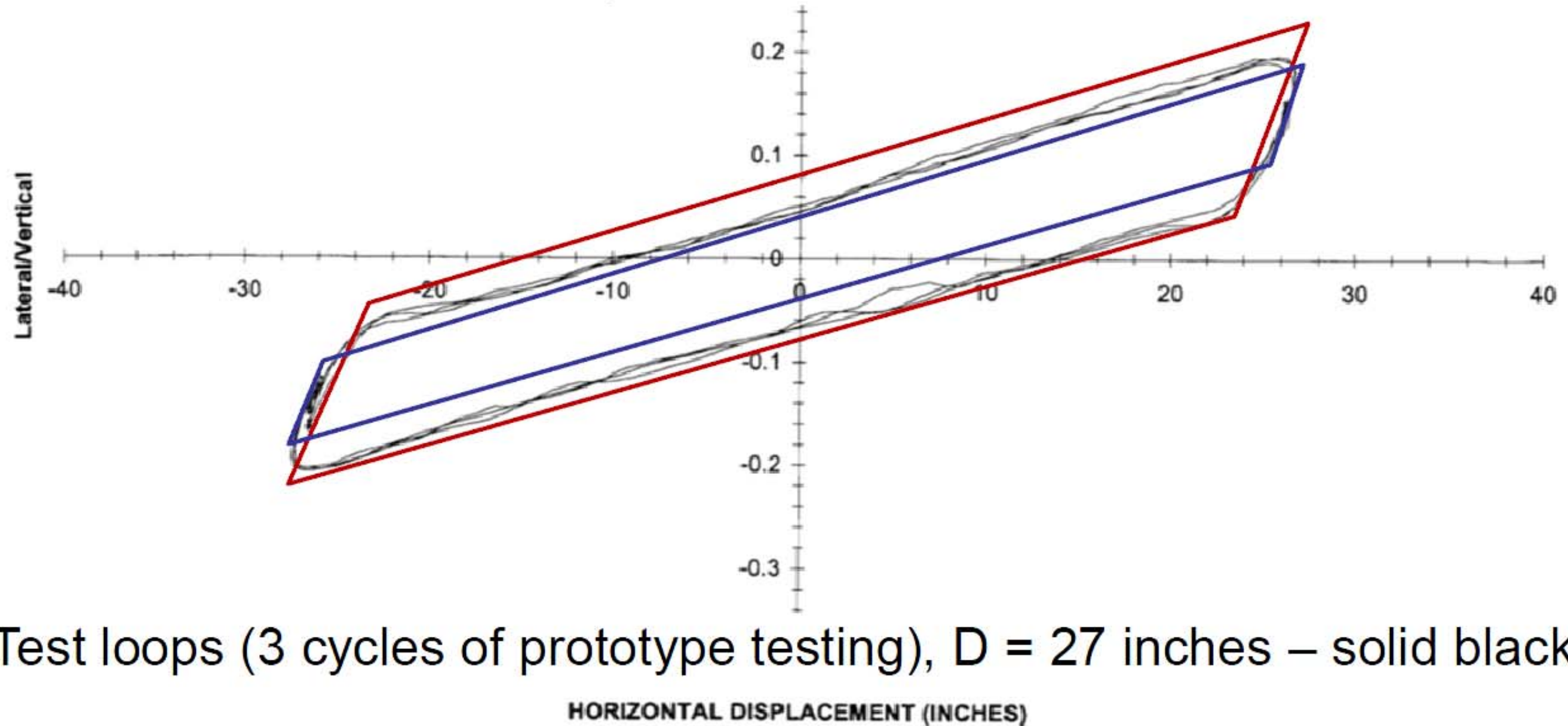
Alt/Üst Limit Değerleri (Sürtünmeli Sarkaç)

- Sürtünmenin Eksenel Yük Seviyesine Bağlı Değişimi



Alt/Üst Limit Değerleri (Sürtünmeli Sarkaç)

Upper-bound properties ($\mu_p = 0.08$), $D = 27$ inches - dashed red line
Lower-bound properties ($\mu_p = 0.04$), $D = 27$ inches – solid blue line



Test loops (3 cycles of prototype testing), $D = 27$ inches – solid black