

TEKRARLI YÜKLEME ALTINDAKİ KATKILI ASFALT BETONUNUN SÜNME ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Dokuz Eylül Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi
İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ulaştırma Anabilim Dalı

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

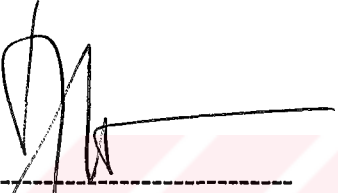
Anıl ÖCAL

109671 109671

Temmuz, 2001
İZMİR

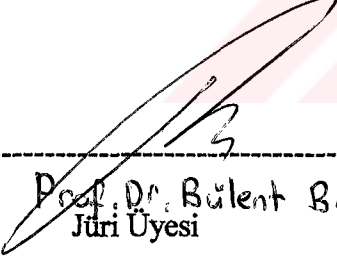
Yüksek Lisans Tezi Sınav Sonuç Formu

Anıl ÖCAL, tarafından Prof.Dr Mehmet ULUÇAYLI yönetiminde hazırlanan "Tekrarlı Yükleme Altındaki Katkılı Asfalt Betonunun Sünme Özelliklerinin Belirlenmesi" başlıklı tez tarafımızdan okunmuş ,kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.



Prof.Dr.Mehmet ULUÇAYLI
Yönetici

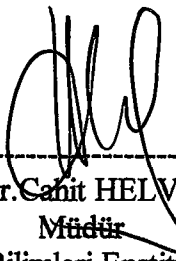
T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ



Prof. Dr. Bülent BARADAN
Jüri Üyesi



Prof. Dr. Tefik AKSOY
Jüri Üyesi



Prof.Dr.Cahit HELVACI
Müdür
Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü Ulaştırma Anabilim Dalı'nda yüksek lisans tez çalışması olarak sunulan bu çalışmayı yöneten, ilgi ve değerli bilgilerinden yararlandığım;

Ulaştırma Anabilim Dalı Başkanı Prof.Dr.Mehmet ULUÇAYLI'ya, bu çalışmada yardımlarını esirgemeyen Arş.Gör.Serhan TANYEL'e, ayrıca Arş.Gör.Ali TOPAL ve Arş.Gör.Burak ŞENGÖZ'e en derin teşekkürlerimi sunarım.

Temmuz 2001,İzmir

Anıl ÖCAL

ÖZET

Son 30 yılda, artan trafik yoğunluğu, dingil yükleri ve lastik basıncılarının yanı sıra yetersiz derecede bakım sonucu, klasik asfalt betonuyla inşa edilen yollarda beklenenden daha hızlı bozulmalar görülmektedir. Yollardaki bozulma işaretleri tekerlek izi oluşumu, çatlaklar, yüzeyde malzeme kaybı ve cilalanmadır. Tekrarlı yükleme altındaki bitümlü karışımların kalıcı deformasyonu nedeni ile oluşan tekerlek izi, esnek üstyapuların hizmet ömürlerinin öngörülenden kısa olmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle esnek üstyapı dizaynı sırasında bitümlü karışımların sünme davranışının gözönüne alınması büyük önem taşımaktadır. Tekerlek izi derinliğinin tahmini için, bitümlü karışımların sünme davranışını etkileyen faktörlerin birbirleriyle olan ilişkilerinin daha iyi anlaşılması gerekmektedir.

Tekerlek izi oluşumunun ve çatlakların önlenmesi ya da geciktirilmesi için bağlayıcı olarak modifiye bitüm ya da katkı kullanımı gittikçe yaygınlaşmaktadır.

Bu çalışmada karışımın modifikasyonu için kullanılan plastomerlerin katkı oranlarındaki değişimin asfalt betonunun sünme davranışına etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bunun için standart bir aşınma tabakası karışımı seçilmiş ve UMATTA Test Ekipmanı kullanılarak bu karışımın tekrarlı yük altında sünme davranışı incelenmiştir.

Bu çalışma kapsamında 75 darbeye sıkıştırılmış toplam 30 Marshall numunesi kullanılmış ve bunların 15 'i stabilite ve akma testlerinde, 15 'i de sünme deneylerinde kullanılmıştır. Sünme deneyinde laboratuvarda hazırlanan Marshall numuneleri sabit sıcaklıkta (50 °C) ve sabit yük altında (500 kPa) test edilmiştir.

Katkı oranları değişen numunelere sabit yük altında, sabit yükleme ve dinlenme zamanları uygulanmıştır. Agreganın ağırlığına %0.4, %0.5, %0.6 ve %0.7 termoplastik katkı oranlarında, her oran için 3 numune hazırlanmıştır. Ayrıca hazırlanan 3 katkısız numune ile de elde edilen sonuçların karşılaştırılması amaçlanmıştır. Katkı oranlarındaki değişimin asfalt betonunun sünme davranışına etkisi, sünme grafikleri üzerinde yapılan incelemelerle değerlendirilmiştir.

3 'ü katkısız olan 15 numune için de stabilite ve akma deneyleri yapılmış, katkı oranlarındaki değişimin stabilite ve akma değerlerine etkisi incelenmiştir.

Çalışma boyunca tek tip katkı kullanılmış, tüm katkılı numuneler plastomer tipi granüle polyolefin kullanılarak hazırlanmıştır.

Deney sonuçlarının değerlendirilmesinden, katkı kullanımının kalıcı deformasyonları ortalama %25 azalttığı görülmüştür. Ancak katkı kullanımının esneklik modülü(resilient modulus)'ne olan etkisi hakkında anlamlı bir sonuca varılamamıştır.

Polyolefin katkılı asfalt beton numunelerin stabilitesi katkısız numunelere oranla ortalama % 20 daha fazla çıkmıştır. Maksimum stabilite değerlerine %0.6 katkı oranında ulaşılmıştır.

ABSTRACT

Since about three decades, because of constantly increasing traffic volumes, axle loads, tire pressures and often inadequate maintenance more failures than anticipated occur on highway flexible pavements. The most common failures on pavements are rutting, cracking, stripping and polishing on the surface. Rutting which occurs because of permanent deformation of bituminous hot mixes under repeated loading shortens the service life of flexible pavements. Therefore, creep behavior of bituminous mixes should be taken into consideration while designing a paving mixture. Likewise, in order to estimate the rut depth the relationship among the factors which affect the creep behavior should be well understood.

To prevent or delay rutting and cracking the use of polymer modified bitumen or additives in hot mix asphalts (HMA) is constantly increasing.

In this study, different additive contents were used in the same dense graded asphalt concrete to investigate the creep behavior of the mixture. For this purpose a standard wearing course mixture was chosen and UMATTA test equipment was employed.

30 Marshall specimens compacted with 75 blows were prepared. 15 of them were used in stability and flow tests and the rest were used in repeated load creep test.

In creep tests, Marshall specimens were tested at constant temperature (50 °C) and constant pressure (500 kPa). Specimens with different additive contents are tested under constant pressure with constant loading – rest times. (1 sec.)

Specimens had 0.4%, 0.5%, 0.6% and 0.7% additive contents by weight of aggregate. For each additive content 3 specimens were tested. One of the objectives

was to compare the creep behavior of specimens with and without additive. Only one type of additive (poliolofine) was used.

By the evaluation of the results, it was observed that the use of additive decreased the permanent strain by 25 % on average. However the use of the additive hasn't given significant results for the change of resilient modulus.

By the evaluation of the results, it was observed that the use of additive increased the stability values by 20 % on average. Maximum stability values are to be seen at 0.6 % additive content.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İçindekiler	VI
Tablo listesi	VIII
Şekil listesi	IX

Bölüm Bir GİRİŞ

1-1 Genel Bilgiler	1
1-2 Tekerlek İzi Oluşumu	2
1-3 Çalışmanın Amacı	4

Bölüm İki BİTÜMLÜ KARIŞIMLARDA SERTLİK VE SÜNME

2-1 Sertlik	5
2-1-1 Bitüm	5
2-1-2 Karışım	7
2-2 Karışımlarda Sünme Özelliği	12
2-3 Esneklik modülü	16
2-3-1 AASHTO 93 Dizayn Metodunda Esneklik Modülü	17

Bölüm Üç MALZEME VE KARIŞIM ÖZELLİKLERİ

3-1 Agregası	23
3-2 Bitüm	24
3-3 Karışım	26
3-4 Optimum Bitüm Miktarının Tayini	26
3-5 Katkı	27

Bölüm Dört KATKILAR VE KARIŞIM MODİFİKASYONU

4-1 Genel Bilgiler	30
4-2 Polimerlerin Sınıflandırılması	31
4-3 Modifikasyonun Amaçları	34
4-4 Modifikasyon Yöntemleri	35
4-5 Katkılar ve Kullanım Alanları	36

Bölüm Beş
LABORATUVAR ÇALIŞMASI VE EKİPMANI

5-1 Numune Hazırlanması	39
5-2 Deney Ekipmanı	45
5-3 Tekrarlı Yük Altında Asfalt Sünme Deneyi	47
5-3-1 Deney Kullanım Parametreleri	48
5-3-2 Deneyin Başlatılması	50
5-3-3 Veri Hesaplaması	54

Bölüm Altı
DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

6-1 Test Koşulları	55
6-2 Stabilité	56
6-3 Esneklik Modülü	57
6-4 Kalıcı Birim Deformasyon	58

Bölüm Yedi
SONUÇLAR VE ÖNERİLER

7. Sonuçlar ve Öneriler	62
-------------------------	----

KAYNAKLAR

Kaynaklar

- Ek -A
- Ek- B
- Ek- C
- Ek- D
- Ek- E

TABLO LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 2-1 AASHTO 93 ' te LBR ile Esneklik Modülü Arası Geçiş	18
Tablo 2-2 AASHTO 93'te Üstyapı sayısı (SN _R) tayini	20
Tablo 2-3 AASHTO 93 'te Üstyapı sayısı tayini	21
Tablo 2-4 AASHTO 93'te Üstyapı sayısı tayini	22
Tablo 3-1 Agregada Fiziksel Özellikleri	23
Tablo 3-2 Bitüm Fiziksel Özellikleri	24
Tablo 3-3 Agregada Gradasyon ve Şartname Limitleri	26
Tablo 3-4 Polyolefin Fiziksel özellikleri	28
Tablo 4-1 Polimerlerin Sınıflandırılması	32
Tablo 5-1 Stabilite ve Akma Deneğinde Kullanılan Katkılı ve Katkısız Numuneler İçin Marshall Deney Formu	42
Tablo 5-2 Sünme Deneğinde Kullanılan Numuneler İçin Deney Formu	43
Tablo 5-3 Yollar Fenni Şartnamesi Asfalt Beton Karışım Dizayn Kriterleri	44
Tablo 6-1 N= 500 ve N= 1000 Vuruş Sonrası Tüm Numunelerde Kalıcı Şekil Değişimleri ve Grup Ortalamaları	59

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 2-1 Heukelom Bitümlü Karışım Sertlik Nomografi	9
Şekil 2-2 Modifiye McLeod Analizinde PI tayini	10
Şekil 2-3 McLeod Bitüm Sertlik Nomografi	11
Şekil 2-4 McLeod Baz Sıcaklık Nomografi	12
Şekil 2-5 Tekrarlı Yükleme Altında Asfalt Betonunun Sünme Davranışı	14
Şekil 3-1 Agrega Dane Çapı Dağılım Grafiği	25
Şekil 5-1 UMATTA Test makinesi	45
Şekil 5-2 Makine Kalibrasyonu	46
Şekil 5-3 Tekrarlı Yük Asfalt Sünme Deney Düzeneği	46
Şekil 5-4 UMAT Yazılım Ana Menüsi	51
Şekil 5-5 UMAT Setup Alt Menüleri	51
Şekil 5-6 Test Tipi Seçimine Olanak Sağlayan Test Menüsi	52
Şekil 5-7 Deney Koşullarının Girildiği Tekrarlı Yük Sünme Deneyi Edit Menüsi	52
Şekil 5-8 LVDT'lerin Doğru Yerleşimi	53
Şekil 5-9 LVDT'lerin Hatalı Yerleşimi	53
Şekil 6-1 Tekrarlı Yük Asfalt Sünme Deneyi $\epsilon - t$ Grafiği	56
Şekil 6-2 Numune Stabilité Değerlerinin Grup Ortalamaları	57
Şekil 6-3 N=500 Vuruş Sonrası Numunelerde Oluşan Kalıcı Deformasyonların Grup Ortalamaları	60
Şekil 6-4 N=1000 Vuruş Sonrası Numunelerde Oluşan Kalıcı Deformasyonların Grup Ortalamaları	60

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

1-1 Genel Bilgiler

Bitümlü karışımların yüke olan tepkisi doğrudan viskoelastik bir malzeme olan bitümün davranışı ile ilgilidir. Viskoelastik malzemeler yüksek yükleme hızlarında (hızlı taşıtlar) daha ziyade elastik davranış ve yüksek mukavemet gösterirler. Düşük yükleme hızlarında (yavaş veya duran taşıtlar) viskoz davranış ve düşük mukavemet gösterirler. Orta hızlarda ise ortak elastik ve viskoz davranış sergilerler.

Bitüm aynı zamanda termoplastik özelliklerinden dolayı yüksek sıcaklıklarda düşük mekanik mukavemet, düşük sıcaklıklarda ise yüksek mukavemet gösterir. Bitümlü tabakalarda oluşan deformasyonlar büyük ölçüde bitümün ve karışımın bu reolojik özelliklerine bağlıdır.

Üstyapı dizayn metodlarının çoğu esasında esnek kaplamalarda hizmet ömrü boyunca yorulma çatlağı görülmeyeceği prensibine dayanır. Ancak aşırı kalıcı deformasyon nedeniyle, esnek üstyapıların çoğunda onarım ihtiyacı doğmaktadır. Kalıcı deformasyonun bir sebebi de tekrarlı trafik yükleri altında asfalt aşınma tabakalarının sünmesidir. Bu çalışma esasen, düşük hızlarda yada durağan yüklemelerde ortaya çıkan bitümlü karışımların sünme davranışları üzerinde odaklanmıştır.

Taşıtların bir fonksiyonu olan yükleme sürelerinin bitümlü karışımların yüke olan tepkileri üzerinde doğrudan etkisi olmaktadır. Fiziksel olarak sünme

davranışı kendisini sonuçta tekerlek izi olarak göstermekte ve genelde trafik akışının yüksek ve hızın düşük olduğu yollarda görülmektedir.(Uluğtekin,1999-2)

Asfalt karışımlarının performansını etkileyen bazı faktörler şunlardır:

- agrega gradasyonu ve kalitesi,
- bağlayıcı özellikleri,
- sıkışma derecesi,
- bağlayıcı film tabakası kalınlığı,
- servis sıcaklığı aralığı,
- trafik yükleri,
- trafik hızı

Artan trafik yükleri karşısında klasik asfalt betonunun yetersiz kalmasıyla mühendis ve araştırmacılar karışım modifikasyonun da aralarında olduğu bazı konularda araştırmalarını artırmışlardır. Katkı ilavesiyle karışım modifikasyonu ya da plentte modifikasyon çok yeni bir konu olmasa da ,karayollarında üstyapı inşaatlarında giderek artan şekilde uygulanmaya başlamıştır.

1-2 Tekerlek İzi oluşumu : (Rutting)

Tekerlek izi (oluklanma) , kabaca ; asfalt beton kaplamaların tekerleklerin geçtiği kısımlarında oluşan uzunlamasına oturmalar (longitudinal depressions) olarak tanımlanabilir. Pek çok üstyapı dizayn metodu için yapısal performansın değerlendirilmesinde ana kriterdir. Diğer tip kalıcı deformasyonlar üstesinden çok daha kolay gelinir olup ,büyük ölçüde malzeme özelliklerine ya da malzemelerin üstyapı bünyesinde birbirlerine tesirlerine bağlıdır. (Uluğtekin,1999-2)

Üstyapı malzemelerinde tekerlek izi oluşumuna yardım eden iki ana mekanizma:

- Yoğunlaşma (layer densification)
- Kayma deformasyonu (Plastik akma)'dur.

Ancak karayollarında oluşan tekerlek izi ve oluklar şeklindeki bu tür kalıcı deformasyona çoğunlukla plastik akma neden olur.

Artan büyüklük ve tekrarlardaki yükler ,artan lastik basınçları ,üstyapılarda tekerlek izi problemini daha ciddi bir sorun haline getirmiştir. Son 20-30 yılda yapılan araştırmalar, tekerlek izi oluşumuna hassasiyetin malzemenin şu özellikleriyle bağlantılı olabildiğini göstermiştir: fazla bitüm içeriği,fazla ince agrega,yüksek yüzdelerde doğal kum, yuvarlaklaşmış agrega tanecikleri, karışım yada granüller malzemedeki izin verilenden fazla nem , sıcaklığa hassas asfalt çimentosu.

Tekerlek izi(oluklanma) oluşumunu etkileyen diğer ana faktörler: sıcaklık,yüklemenin hız (süre),büyüklük ve tekrarı'dır. Yollarda oluşan bozulmaların % 70 'i yaz aylarında tekerlek izi oluşumu şeklindeki bozulmalardır.(Uluçaylı,1999-Ders notları)

Tekerlek izi oluşumu , yolu kullananlar için de ciddi bir güvenlik meselesidir. Su tekerlek izlerinde biriktiğinde,su yastığı (hydroplaning) olayı için potansiyel oluşturur. Su yastığı olayı , kaplama ile lastik arasında ince bir su tabakası oluşması ve bunun neticesinde lastiğin yüzeyle temasını kaybetmesidir. Bu olay direksiyon hakimiyetinin kaybedilmesiyle sonuçlanabilir. Aynı şekilde şerit değiştirme durumunda da aynı sorun yaşanabilmektedir.(Archilla&Madanat,2000-291)

Tekerlek izi oluşumu , üstyapı üzerinde oluşan plastik şekil değişimlerinin üst üste binmesinin (accumulation) sonucudur.

Karışımların tekerlek izi oluşumuna karşı dayanımları yoğurmalı prestren (Gyratory Shear Press) elde edilen eğriden kabaca öngörülebilmektedir. Ancak oluklanma laboratuvarındaki Tekerlek İzi Deneyi (Rutting test) ile tayin edilebilmektedir.

Çeşitli sayı ve tekraralarda yük ve gerilme durumunda oluşan plastik şekil değişimi birikimi ile bağlantılı birçok model kullanılmaktadır. Ancak literatürdeki en yaygın model :

$$\epsilon_p = a N^b \quad (1.1) \quad \text{şeklindedir.}$$

ϵ_p : kalıcı veya plastik şekil değişimi

N : gerilme uygulama sayısı

a,b : Uygulanan gerilmenin ve malzeme karakteristiklerinin fonksiyonu olan parametreler.

1-3 Çalışmanın Amacı

Bu çalışma kapsamında polimer esaslı katkı ve katkı oranlarındaki değişimin asfalt betonunun sünme davranışı üzerindeki etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Tekrarlı yük etkisi altındaki katkısız asfalt beton numunelerde oluşan kalıcı birim deformasyonların, katkı ilavesiyle ne şekilde değişeceğini belirlemek için çalışılmıştır. Ayrıca asfalt karışımlarının esneklik modülü (resilient modulus) ile çalışma genişletilmiştir.

Net bir sonuca varabilmek için sıcaklık ve yükleme koşulları tüm deneylerde sabit tutulmuş, testler boyunca toplam 40 kadar asfalt beton numune ile çalışılmıştır. Bunların 10 kadarı tutarsız sonuç vermeleri nedeniyle elenmiş yada makinenin kalibrasyonu ve çalışmasının gözlenmesi esnasında harcanmıştır.

Bir kısım numune üzerinde de stabilite ve akma deneyleri yapılmış, polimer esaslı katkı ve katkı oranlarındaki değişimin etkisi gözlenmeye çalışılmıştır.

BÖLÜM İKİ

BİTÜMLÜ KARIŞIMLARDA SERTLİK VE SÜNME

2.1 Sertlik (Stiffness)

2-1-1 Bitüm:

Tek eksenli sabit gerilmeye maruz bırakılan bir bitüm numunesi için sertlik; uygulanan gerilmenin, kümülatif yada toplam şekil değişimine oranı olarak tanımlanabilir. Genelde şu koşullara bağlıdır:

- a-)Yükleme yöntemi,
- b-)Yükleme süresi ve sıklığı (tekerrür),
- c-)Sıcaklık,

1936'da Pfeiffer ve Van Doormal Penetrasyon İndeksi adı verilen ve bitümün sıcaklık değişimlerine karşı hassasiyetini gösteren bir parametre geliştirdiler. Penetrasyon değeri ve sıcaklığın yarı logaritmik ölçekte çizilmesiyle şu şekilde formüle edilebilecek, hemen hemen bir doğru oluştuğunu gördüler: (Witczak&Yoder,1975-380)

$$\log(\text{pen})=AT+K \quad (2.1)$$

pen: bitümün T °C'de penetrasyonu

A : bitümün sıcaklık hassasiyetini karakterize eden parametre

K : T=0 için penetrasyon

Doğru eğiminin üzerinde çalışılan bitüm için sıcaklık hassasiyetini temsil ettiğini öne sürdüler.

$$A = [\log 800 - \log(\text{pen})] / (T_{R,B} - T) \quad (2.2)$$

T° : testin yürütüldüğü sıcaklık

800 : yumuşama noktasındaki bitüm penetrasyonu

$T_{R,B}$: bitümün halka ve bilye yöntemiyle yumuşama noktası (°C)

En son şekliyle penetrasyon indeksi : (PI)

$$\frac{\text{Log}800 - \text{Log}T}{T_{R,B} - T} = \frac{(20 - PI)}{(10 + PI)} \cdot \frac{1}{50} \quad (2.3)$$

Yukarıdaki denklemler $T_{R,B}$ yumuşama noktasında, asfalt penetrasyonunun yaklaşık 800 olduğu varsayımına dayanmaktadır. PI 'nin küçük değerleri yüksek sıcaklık hassasiyetini göstermektedir.

1950'lerin başlarında rijitlik modülünün (stiffness) tayini için Van Der Poel tarafından bir nomograf hazırlandı. Nomograftan bitüm sertliğinin tayini için aşağıdakilere ek olarak yükleme süreleri veya sıklığı gerekiyordu.

- Halka ve Bilye yumuşama noktası ($T_{R,B}$)
- Penetrasyon indeksi (PI)
- Bitüm sıcaklığı (T_B)

Kısa yükleme sürelerinde tamamıyla elastik davranış görülerek eğriler yatay oluşmakta, halbuki uzun yükleme sürelerinde viskoz davranış görülüp eğriler düz (log ölçeklerde -1 eğimde) oluşmaktadır.

Ara yükleme sürelerinde hem elastik, hem viskoz deformasyondan dolayı önemli şekil değiştirmelerle beraber visko elastik davranış görülmektedir.

2-1-2 Karışım

Van Der Poel sertlik kavramını bitümlü karışımlar için genişlettiğinde, sertliğin sadece karışımı oluşturan bitüm ve agrega kısmının hacminin fonksiyonu olduğunu belirtti. Bunu takiben, **Heukelom** ve **Klomp** bitümlü karışımların sertliğinin tayini için aşağıdaki bağıntıyı kurdular:

(Witczak&Yoder,1975-385)

$$S_{mix} / S_{bit} = [1 + (2.5/n) [C_v / (1 - C_v)]]^n \quad (2.4)$$

S_{mix} = karışımın sertliği

S_{bit} = bitümün sertliği

C_v = agreganın hacim konsantrasyonu

$$C_v = \text{Agrega Hacmi} / (\text{Bitüm} + \text{Agrega}) \text{ hacmi} \quad (2.5)$$

ve

$$n = 0.83 \log [(4 \cdot 10)^{10} / S_{bit}] \quad (2.6)$$

(2.4) denklemi %3 civarında hava boşluğu içeren ve C_v değerleri 0.7-0.9 arasında değişen ,iyi sıkıştırılmış karışımların statik ve dinamik testlerle yüklenmesinden elde edilen bilgilerin analizinde kullanılır. Hava boşluk oranı daha fazla olan karışımlar için denklem (2.4) 'te C_v yerine, agrega hacim konsantrasyonunun modifiye edilmiş C_v^* değeri kullanılır.

$$C_v^* = C_v / (1 + V_a \cdot 0.03) \quad (2.7)$$

Burada;

V_a : Hava boşluk kısmının hacmi

C_v^* : Düzeltilmiş agrega hacim konsantrasyonu

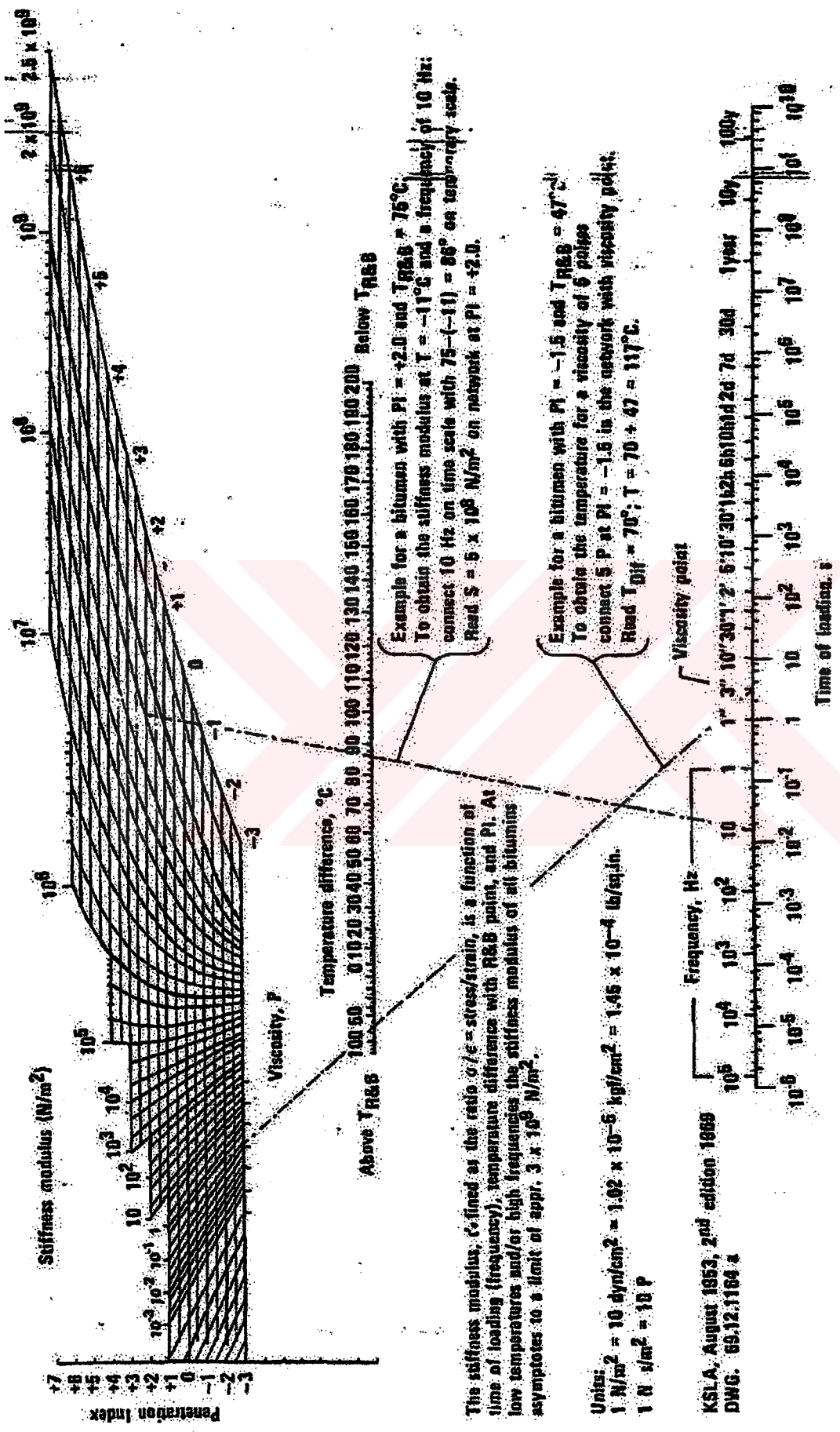
Bitüm sertliğinin yüksek değerleri için ($S_{bit} = 1\text{Gpa}$), bitüm elastik katı gibi davranmaktadır.

Heukelom'un Van der Poel'in nomografını biraz revize ederek yayınladığı nomografi Şekil 2-1 de verilmektedir. (Witczak&Yoder,1975-271)

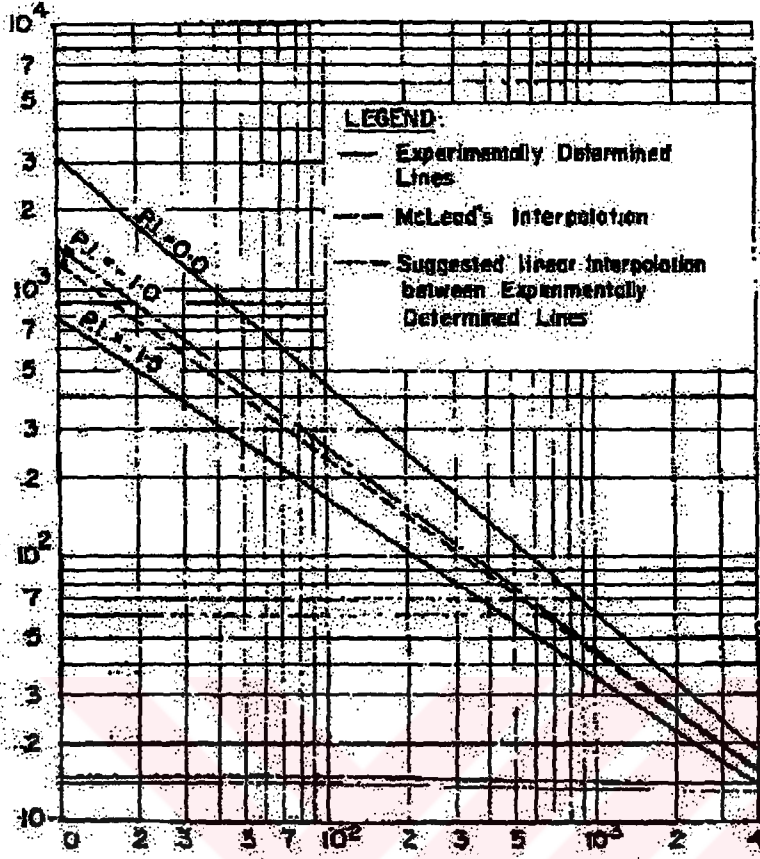
Görüldüğü üzere, bitüm sertliği S_b ; yükleme süresi s , $T_{dif} = (T_{R,B}-T)$ ve PI 'nin fonksiyonudur. Böylelikle verilen bir sıcaklık için S_b değeri nomografıtan bulunduktan sonra , karışım sertliği olan S_m (2.4) denkleminde elde edilebilir.

Bitüm sertliği S_b , asfalt çimentosunun karakteristiği için önemli bir gösterge olduğundan, verilen düşük bir sıcaklık için bitüm yada karışım sertliği için limitler koyarak enine çatlamların önüne geçilmesi mümkündür

Mc Leod, tahmin edilen minimum sıcaklık için 20000 sn yükleme süresinde eğer karışım sertliği S_m $1*10^6$ psi 'dan küçükse çatlamların oluşmayacağı sonucuna vardı. Analizinde , PI ve S_b değerlerinin bulunması için biraz daha modifiye edilmiş bir prosedür kullandı. Şekil 2-2 de Mc Leod'un analizlerinde PI 'nin tayini için kullandığı, penetrasyon (77 °F) ve kinematik viskoziteye (275 °F) bağlı grafik görülmektedir.



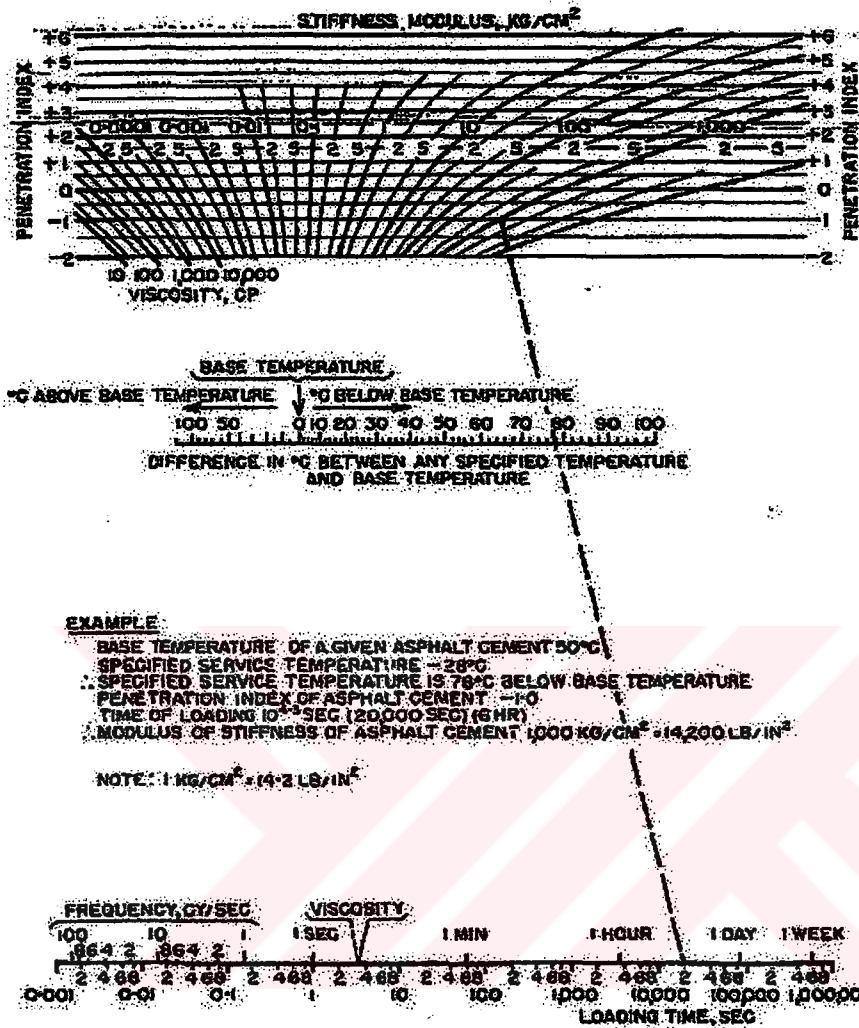
Şekil 2-1 Heukelom Sertlik Nomografi (Witczak & Yoder, 1975-271)



Şekil 2-2 Modifiye McLeod analizinde PI tayini
(Witczak&Yoder,1975-394)

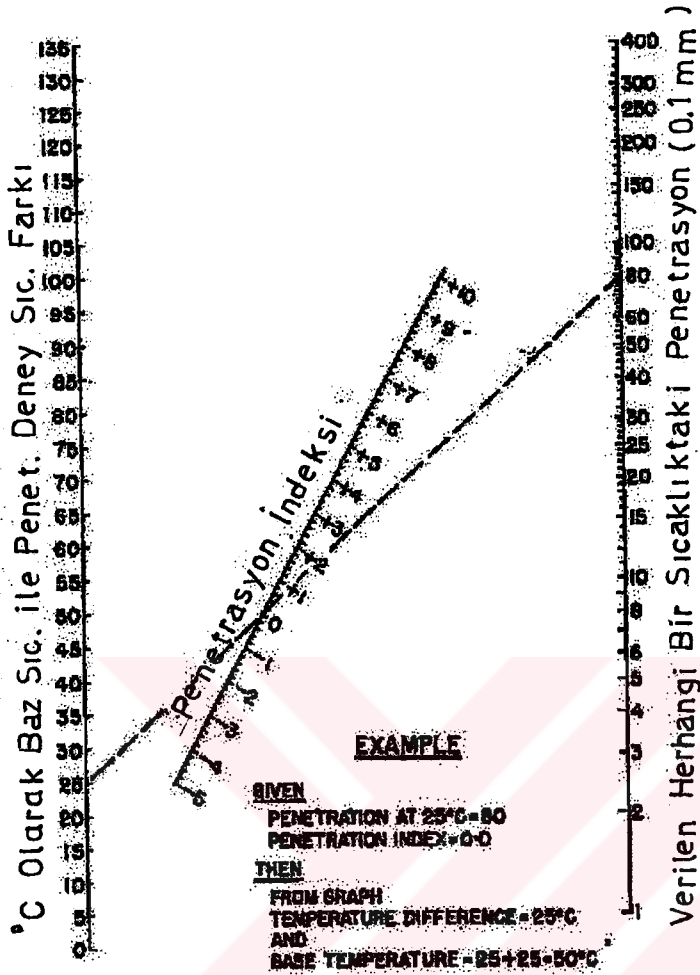
Heukelom sertlik nomografını modifiye eden McLeod'un S_b 'nin tayini için kullandığı nomografi ise Şekil 2-3 ' de verilmektedir. Şekil 2- 3 de ayrıca düşük sıcaklık çatlaklarının önlenmesi için McLeod tarafından önerilen max. karışım sertlikleri görülebilmektedir.

McLeod halka ve bilye yumuşama noktası sıcaklığı yerine, Şekil 2-4'ten bulunan bir baz sıcaklık (base temperature) kullanmayı uygun görmüştür. Karışım sertliğinin tayininde ise Heukelom'un da kullandığı (2.4) denklemini kullanmıştır



Min Temp. at 2-inch Depth (°F)	S ₂₈ Stiffness Modulus (psi)	
	Cracking Expected	Cracking Eliminated
-40	1,100,000	500,000
-25	700,000	300,000
-10	400,000	200,000
+10	100,000	30,000

Şekil 2-3 McLeod tarafından S_b tayininde kullanılan nomograf (Witczak&Yoder,1975-395)



Şekil 2-4 McLeod'un Baz Sıcaklık tayininde kullandığı nomograf
 (Witczak&Yoder,1975-396)

2-2 . Karışımlarda Sünme özelliği:

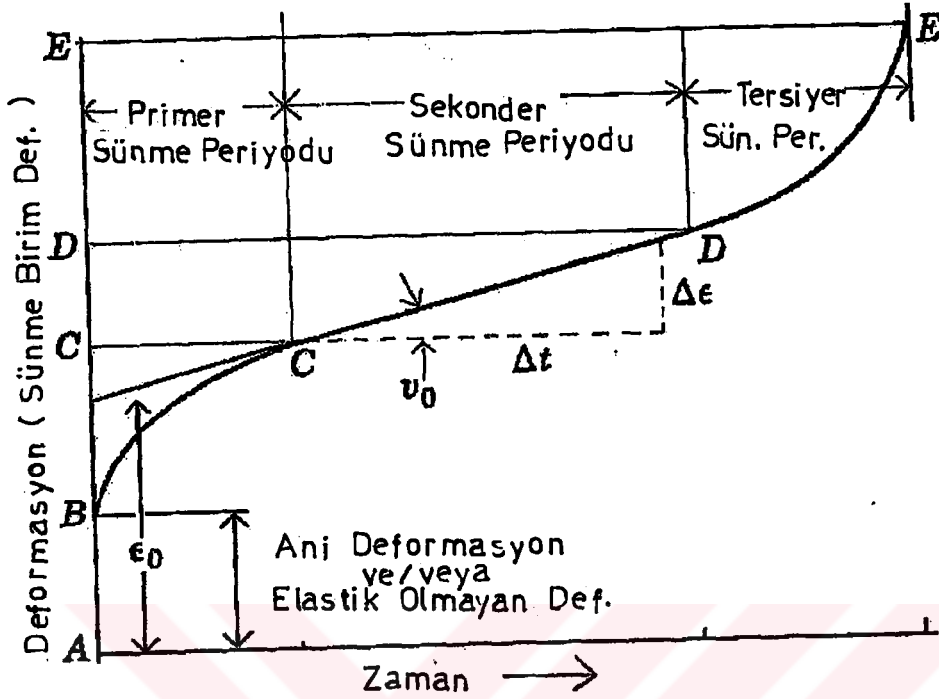
Sünme, pek çok malzemede belirli bir gerilme ve sıcaklık aralıklarında oluşan yavaş deformasyona verilen isimdir. Yada yüke maruz bırakılan viskoelastik malzemenin zamana bağlı deformasyonu olarak tanımlanabilir. (Hult,1966-1)

Trafik yükü altında esnek kaplamaların yüzeyinde oluşan tekerlek izi, özellikle ağır taşıt trafiğinin yoğun ve hızın düşük olduğu kesimlerde (rampalar, kavşaklar, v.b)

kaplama ömrünü kısaltmaktadır. Tekerlek izi teşekkülü çoğunlukla taban zemini kalıcı deformasyonunun yüzeye yansması ile oluşmakta ise de, yaz aylarında sıcaklığın yüksek olduğu yerlerde asfalt betonunun deformasyonu sonucu da gözlenmektedir. Bu sebeple asfalt betonunun nisbeten yüksek sıcaklık altındaki sünme davranışının bilinmesi önem taşımaktadır.

Daha önce de belirtildiği gibi asfalt betonunun sünme davranışını etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. Karışım ile ilgili olanlar; agrega ve bitüm özellikleri, agrega gradasyonu, ince agreganın köşeliliği, bitüm oranı, hava boşluğu oranı ve karışımın modifikasyonu söz konusu ise katkı oranıdır. Dış etkenler olarak; yükleme türü ve sıcaklık iki önemli etkendir. Sünme davranışı genellikle statik yük altında incelenmekte ise de, karayolu açısından taşıt trafiğini temsil eden dinamik yükleme altındaki sünme davranışı daha gerçekçi olmaktadır. Asfalt betonunun tekrarlı yük altında sünme davranışının incelenmesi laboratuvarında üç eksenli veya tek eksenli yükleme ile yapılabilmektedir. (Uluğtekin,1999-12)

Sünme modelleri genellikle zaman-birim deformasyon ilişkisini vermektedir. Sabit yük altındaki sünme ilişkisi, yük seviyesine, sıcaklığa ve malzeme özelliklerine göre farklılıklar göstermektedir. Tekrarlı yükleme testlerinde ise, yük seviyesi ile birlikte, her bir yükleme zamanı ve yüklemeler arasındaki dinlenme süresi, yüklemeyi karakterize eden ilave parametreler olarak alınmaktadır. Şekil 2-5 'de asfalt betonunun tekrarlı yükleme altında sünme davranışının genel görüntüsü verilmektedir.(Uluğtekin,1999-14)



Şekil 2-5 Tekrarlı Yükleme Altında Asfalt Betonunun Sünme Davranışı
(Uluğtekin,1999-16)

Şekilden de görüleceği üzere sünme davranışını 3 aşamada değerlendirmek uygun olacaktır. Yükün uygulanmasıyla beraber ani bir deformasyon oluşacak, bunu ilk aşama olarak değerlendirilebilecek hızlı sünme takip edecektir. İkinci aşamada sabit hızla artan deformasyon oluşmakta ve bunu malzemenin tamamen bozulmasına kadar ulaşan, artan plastik deformasyonların görüldüğü üçüncü aşama takip etmektedir.

1 - Ani deformasyon : (Instantaneous deformation)

Yükün uygulanmasıyla oluşan, zamandan bağımsız, ani deformasyondur. Bu aşamada yükün kaldırılması halinde deformasyonun bir kısmı aniden geri dönecektir. Ancak geri dönen bu deformasyonun yükün uygulanmasıyla oluşan ani deformasyona eşit olması şart değildir.

2- Birincil (Primer) sünme periyodu : (primary creep)

Yük kaldırılmazsa malzeme azalan oranda deforme olmaya devam eder. Bu deformasyon karakteristiği Kelvin modeli ile açıklanabilir. Bu aşamadaki deformasyonun geri dönen ve dönmeyen kısımları vardır.

3- İkincil sünme periyodu : (Secondary creep)

Bu bölgede deformasyonun eğimi doğrusal olup, bu aşamada oluşan deformasyon geri dönüşümsüzdür.

4- Üçüncül sünme periyodu : (Tertiary creep)

Bu aşama malzemede oluşan plastik deformasyonları simgeler. Bu aşamada deformasyon hızlandırılmış bir artış oranına sahiptir.

Sünme davranışı birçok matematiksel modelle izah edilmeye çalışılmaktadır. Sünme eğrisinin 3 aşamasının birbirinden farklı olması özelliğinden hareket edilerek, her aşamanın ayrı modellenmesi mümkün olmaktadır. Genellikle, ikinci aşama bitmeden deformasyon kullanılabilir limitlerin üzerinde bir değere ulaşmaktadır. Bu sebeple çalışmalar birinci ve ikinci aşamanın modellenmesi üzerinde yoğunlaşmaktadır. Malzemenin tamamen deforme olmasına kadar artan bir hızla ulaşan üçüncü aşama çoğunlukla incelenmemektedir. İlk hızlı sünme aşaması için zamana bağlı olarak aşağıdaki basit model yeterli olmaktadır:

$$\epsilon = \alpha.t^\beta \quad (2-1)$$

ϵ : Kalıcı deformasyon (%)

t : zaman (saniye)

α, β : model parametreleri

İkinci aşamanın izahı ise, uygun deformasyon hızının (eğimin) belirlenmesini gerektiren lineer model ile mümkün olabilmektedir.

2-3 Esneklik Modülü : (Resilient Modulus)

Esneklik modülü (Resilient modulus) M_r , tekrarlı aksenal deviatör gerilmenin (σ_d), geri dönebilen (elastik-resilyant) aksenal şekil değişimine (ϵ_r) oranı olarak tanımlanabilir. (Witczak&Yoder,1975-262)

$$M_r = \sigma_d / \epsilon_r$$

Kohezyonlu malzemedan granüler malzemelere kadar tüm tip üstyapı malzemeleri için esneklik modülü tayini yapılabilmektedir. Esneklik modülünü etkileyen iki önemli faktör : Gerilme düzeyi ve sıcaklıktır. Gerilme düzeyi arttıkça, esneklik modülü de artmaktadır. Esneklik modülü değerleri sıcaklık ile de büyük oranda değişmektedir.

Üstyapı dizaynında gerek karışımın esneklik modülü gerekse yol temelinde kullanılan granüler malzemenin esneklik modülü önem taşımaktadır. Trafik yükleri altında granüler üstyapı tabakaları zamana bağlı non-lineer elastoplastik davranış göstermektedir. Non-lineer davranışın gösterilmesi için elastisite modülü kavramı yerine resilyant (esneklik modülü) kavramı kullanılmaya başlanmıştır. (Lekarp&Isacsson&Dawson,2000-75)

Trafik yükleri altında granüler bir tabakanın deformasyonu iki kısımdan oluşur: resilyant (esnek) ve kalıcı. Bir üstyapı granüler temelinde bağlayıcı malzeme bulunmadığından plastik şekil değişimlerinin birikmesi ile ilgili olan teker izi oluşumu tek önemli bozulma şeklidir. Ancak üst tabakaların inşası ve bir miktar trafik yükünün uygulanmasıyla, kalıcı deformasyonların artışı ,resilyant deformasyonlardaki artış yanında çok küçük kalmaktadır. Böylelikle granüler

tabaka üzerine inşa edilen üstyapının davranışı için resilyant şekil değişimleri daha çok dikkate alınmalıdır. (Karaşahin&Dawson,1994-1827)

Granüler malzemeler için esneklik modülü aynı zamanda ince agrega oranı, nem oranı, agrega tipi ve agrega tanelerinin şekli, yükleme süresi ve sıklığı ile de yakından ilgilidir. İnce agrega oranı arttıkça, esneklik modülünün azaldığı bildirilmiştir.

Son yıllarda Avustralya 'da asfalt numunelerin esneklik modülü üzerinde çalışmalar yapılmış olup, asfalt numunelerin esneklik modülünün büyük ölçüde hava boşluk oranı ve filler miktarına bağlı olduğu saptanmıştır. Pratikte hava boşluğunun %4-8 arasındaki değerleri için esneklik modülü %33 oranında artmıştır. Filler oranında %1.5'lik bir değişim ise esneklik modülünde 1000 MPa değişime neden olmuştur. (Oliver&Alderson&Tredrea&Karim,1995-3)

2-3-1 AASHTO 93 dizayn metodunda esneklik modülü

AASHTO 93 dizayn metodunda sadece granüler malzeme için esneklik modülünden (M_r) bahsedilmektedir. Esneklik modülünün üstyapı dizayn yaklaşımlarına uyarlanması için önceleri malzemenin CBR (California Bearing Ratio)'ı ile M_r arasında ilişki kurulmaya çalışılmıştır. Bu ilişkilerden bazıları: (Matthew&Witczak&Qi&Mirza,1995-273)

* Heukelom and Foster (1960): $M_r = 1.500 \text{ CBR}$

* USACE-Green ve Hall (1975): $M_r = 5.409 \text{ CBR}^{0.711}$ şeklindedir.

Ancak AASHTO 93 dizayn metodunda M_r 'ın tayini için Dizayn Kireçtaşı Taşıma Oranı -Design Limerock Bearing Ratio (LBR) ve Dynaflect test yönteminden yararlanılmaktadır. Esneklik modülü (M_r), yol taban zeminin mukavemetini karakterize eder. (AASHTO Üstyapı Dizayn Klavuzu,1993-5.1.0)

AASHTO 93 'te LBR ile esneklik modülü arasında geçiş sağlanabilmektedir.
(Tablo 2-1)

Tablo 2-1 LBR ile Esneklik modülü arasındaki bağıntı

<u>Kireçtaşı Taşıma Oranı (LBR)</u>	<u>Resilyant modülü (M_r) -MPa</u>
10	30
12	35
14	39
16	43
18	47
20	51
22	54
24	58
26	61
28	65
30	68
32	72
34	75

Malzemenin esneklik modülü (M_r), Eşdeğer Tek Dingil Yüktü ($ESAL_D$) bilindiği takdirde, seçilen güvenilirlik faktörlerine (%R) göre gerekli Üstyapı Sayısı (Structural number) $-SN_R$ tayini Tablo 2-2, 2-3, 2-4'ten görüldüğü üzere yapılabilmektedir.

Örneğin aşağıdaki verilere göre Üstyapı sayısı (SN_R) tayini yapılması gerektiğini düşünelim:

- $ESAL_D = 4\ 900\ 000$ (Planlama ofisinden)
- $M_r = 98$ MPa
- % R = 90%

ESAL_D için 5 000 000 ve M_r için 100 MPa değerleri kullanılarak (en yakın tablo değerlerine yuvarlanır) Tablo 2-2'ye giriş yapılırsa $SN_R = 3.53$ olarak tayin edilebilmektedir.

AASHTO 93 metodunda dizayn esneklik modülünün de tarifi yapılmıştır. Dizayn esneklik modülü (M_r), dizayn limitleri içerisinde dizayn kullanışlı (pratik) en zayıf alanı temsil etmektedir.

Tablo 2-2 Üstyapı Sayısı (SN_R) tayininde kullanılan tablo (AASHTO 93)

GEREKLİ YAPISAL SAYI (SN_R)
90% GÜVENİLİRLİK (R%)
ESNEKLİK MODÜL (M_R) ARALIĞI 30-100 MPa

ESAL ₅	Resilient Modulus (M _R), MPa														
	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
100 000	2.93	2.76	2.62	2.51	2.41	2.32	2.24	2.17	2.11	2.06	2.00	1.96	1.91	1.87	1.83
150 000	3.14	2.95	2.81	2.68	2.58	2.48	2.40	2.33	2.26	2.20	2.15	2.10	2.05	2.01	1.97
200 000	3.29	3.10	2.94	2.81	2.70	2.60	2.52	2.44	2.37	2.31	2.25	2.20	2.15	2.11	2.06
250 000	3.41	3.22	3.05	2.92	2.80	2.70	2.61	2.53	2.46	2.40	2.34	2.28	2.23	2.19	2.14
300 000	3.51	3.31	3.15	3.01	2.89	2.79	2.69	2.61	2.54	2.47	2.41	2.35	2.30	2.26	2.21
350 000	3.60	3.40	3.23	3.09	2.96	2.86	2.76	2.68	2.60	2.54	2.47	2.42	2.36	2.31	2.27
400 000	3.68	3.47	3.30	3.16	3.03	2.92	2.83	2.74	2.66	2.59	2.53	2.47	2.42	2.37	2.32
450 000	3.75	3.54	3.37	3.22	3.09	2.98	2.88	2.79	2.71	2.64	2.58	2.52	2.46	2.41	2.37
500 000	3.82	3.60	3.43	3.27	3.15	3.03	2.93	2.84	2.76	2.69	2.62	2.56	2.51	2.46	2.41
600 000	3.89	3.67	3.49	3.32	3.19	3.07	2.97	2.88	2.80	2.72	2.65	2.59	2.54	2.49	2.44
700 000	4.03	3.80	3.62	3.46	3.32	3.21	3.10	3.01	2.92	2.85	2.78	2.71	2.65	2.60	2.55
800 000	4.11	3.89	3.70	3.54	3.40	3.28	3.17	3.07	2.99	2.91	2.84	2.77	2.71	2.66	2.60
900 000	4.19	3.96	3.77	3.61	3.47	3.34	3.23	3.13	3.05	2.97	2.89	2.83	2.77	2.71	2.66
1 000 000	4.26	4.03	3.83	3.67	3.53	3.40	3.29	3.19	3.10	3.02	2.94	2.88	2.81	2.76	2.70
1 500 000	4.53	4.29	4.09	3.91	3.76	3.63	3.52	3.41	3.31	3.23	3.15	3.08	3.01	2.95	2.89
2 000 000	4.72	4.48	4.27	4.10	3.94	3.80	3.68	3.57	3.48	3.39	3.30	3.23	3.16	3.09	3.03
2 500 000	4.88	4.63	4.42	4.24	4.08	3.94	3.82	3.71	3.60	3.51	3.43	3.35	3.28	3.21	3.15
3 000 000	5.01	4.76	4.54	4.36	4.20	4.06	3.93	3.82	3.71	3.62	3.53	3.45	3.38	3.31	3.24
3 500 000	5.12	4.86	4.65	4.46	4.30	4.16	4.03	3.91	3.80	3.71	3.62	3.54	3.46	3.39	3.33
4 000 000	5.22	4.96	4.74	4.55	4.39	4.24	4.11	3.99	3.89	3.79	3.70	3.62	3.54	3.47	3.40
4 500 000	5.30	5.04	4.82	4.63	4.47	4.32	4.19	4.07	3.96	3.86	3.77	3.68	3.61	3.53	3.47
5 000 000	5.38	5.12	4.90	4.71	4.54	4.39	4.26	4.14	4.03	3.93	3.83	3.75	3.67	3.60	3.53
6 000 000	5.52	5.25	5.03	4.83	4.66	4.51	4.38	4.26	4.14	4.04	3.95	3.86	3.78	3.70	3.63
7 000 000	5.64	5.37	5.14	4.94	4.77	4.62	4.48	4.36	4.24	4.14	4.04	3.96	3.87	3.80	3.72
8 000 000	5.74	5.47	5.24	5.04	4.86	4.71	4.57	4.45	4.33	4.23	4.13	4.04	3.96	3.88	3.80
9 000 000	5.83	5.55	5.32	5.12	4.95	4.79	4.65	4.52	4.41	4.30	4.21	4.11	4.03	3.95	3.88
10 000 000	5.91	5.63	5.40	5.20	5.02	4.87	4.72	4.60	4.48	4.37	4.27	4.18	4.10	4.02	3.94
15 000 000	6.24	5.95	5.71	5.50	5.32	5.16	5.01	4.88	4.76	4.65	4.54	4.45	4.36	4.28	4.20
20 000 000	6.47	6.18	5.93	5.72	5.53	5.37	5.22	5.08	4.96	4.85	4.74	4.65	4.55	4.47	4.39
25 000 000	6.66	6.36	6.11	5.89	5.70	5.53	5.38	5.25	5.12	5.01	4.90	4.80	4.71	4.62	4.54
30 000 000	6.82	6.51	6.26	6.04	5.84	5.67	5.52	5.38	5.25	5.14	5.03	4.93	4.83	4.75	4.66
35 000 000	6.95	6.64	6.38	6.16	5.97	5.79	5.64	5.50	5.37	5.25	5.14	5.04	4.94	4.85	4.77
40 000 000	7.07	6.76	6.49	6.27	6.07	5.90	5.74	5.60	5.47	5.35	5.24	5.13	5.04	4.95	4.87
45 000 000	7.18	6.86	6.59	6.37	6.17	5.99	5.83	5.69	5.56	5.43	5.32	5.22	5.12	5.03	4.95
50 000 000	7.27	6.95	6.68	6.45	6.25	6.07	5.91	5.77	5.64	5.51	5.40	5.30	5.20	5.11	5.02
60 000 000	7.44	7.11	6.84	6.61	6.40	6.22	6.06	5.91	5.78	5.65	5.54	5.43	5.33	5.24	5.16
70 000 000	7.58	7.25	6.98	6.74	6.53	6.35	6.18	6.03	5.90	5.77	5.66	5.55	5.45	5.36	5.27
80 000 000	7.71	7.37	7.09	6.85	6.64	6.46	6.29	6.14	6.00	5.88	5.76	5.65	5.55	5.45	5.37
90 000 000	7.82	7.48	7.20	6.96	6.74	6.56	6.39	6.23	6.10	5.97	5.85	5.74	5.64	5.54	5.45
100 000 000	7.92	7.58	7.29	7.05	6.83	6.64	6.47	6.32	6.18	6.05	5.93	5.82	5.72	5.62	5.53

Tablo 2-3 Üstyapı Sayısı (SN_R) tayininde kullanılan tablo (AASHTO 93)

GEREKLİ YAPISAL SAYI (SN_R)
90% GÜVENİLİRLİK (R%)
ESNEKLİK MODÜL (M_R) ARALIĞI 100-300 MPa

ESAL ₆	Resilient Modulus (M _R), MPa															
	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	225	250	275	300	
100 000	1.83	1.77	1.70	1.65	1.60	1.55	1.51	1.47	1.44	1.41	1.37	1.30	1.24	1.19	1.14	
150 000	1.97	1.89	1.83	1.77	1.72	1.67	1.63	1.59	1.55	1.51	1.48	1.41	1.35	1.29	1.24	
200 000	2.06	1.99	1.92	1.86	1.81	1.76	1.71	1.67	1.63	1.60	1.56	1.49	1.42	1.36	1.31	
350 000	2.14	2.07	2.00	1.93	1.88	1.83	1.78	1.74	1.70	1.66	1.63	1.55	1.48	1.42	1.37	
400 000	2.21	2.13	2.05	1.99	1.94	1.88	1.84	1.79	1.75	1.71	1.68	1.60	1.53	1.47	1.42	
450 000	2.27	2.19	2.11	2.05	1.99	1.94	1.89	1.84	1.80	1.76	1.72	1.64	1.57	1.51	1.46	
500 000	2.32	2.24	2.16	2.09	2.03	1.98	1.93	1.88	1.84	1.80	1.77	1.68	1.61	1.55	1.49	
550 000	2.37	2.28	2.20	2.14	2.08	2.02	1.97	1.92	1.88	1.84	1.80	1.72	1.65	1.58	1.53	
600 000	2.41	2.32	2.24	2.17	2.11	2.06	2.00	1.96	1.91	1.87	1.83	1.75	1.68	1.61	1.55	
650 000	2.44	2.35	2.27	2.21	2.15	2.10	2.04	1.99	1.95	1.91	1.87	1.80	1.73	1.66	1.61	
700 000	2.55	2.45	2.37	2.30	2.24	2.18	2.12	2.07	2.03	1.98	1.94	1.85	1.78	1.71	1.65	
800 000	2.59	2.51	2.43	2.35	2.29	2.23	2.17	2.12	2.07	2.03	1.99	1.90	1.82	1.75	1.69	
900 000	2.56	2.56	2.48	2.40	2.33	2.27	2.21	2.16	2.11	2.07	2.03	1.94	1.86	1.79	1.73	
1 000 000	2.70	2.60	2.52	2.44	2.37	2.31	2.25	2.20	2.15	2.11	2.07	1.97	1.89	1.82	1.76	
1 500 000	2.89	2.79	2.69	2.61	2.54	2.47	2.41	2.36	2.30	2.26	2.21	2.11	2.03	1.95	1.89	
2 000 000	3.03	2.92	2.83	2.74	2.66	2.59	2.53	2.47	2.42	2.37	2.32	2.22	2.13	2.05	1.98	
2 500 000	3.15	3.03	2.93	2.84	2.76	2.69	2.63	2.56	2.51	2.46	2.41	2.30	2.21	2.13	2.06	
3 000 000	3.24	3.13	3.02	2.93	2.85	2.77	2.71	2.64	2.59	2.53	2.48	2.37	2.28	2.19	2.12	
3 500 000	3.33	3.21	3.10	3.01	2.92	2.85	2.78	2.71	2.65	2.60	2.55	2.43	2.34	2.25	2.18	
4 000 000	3.40	3.28	3.17	3.07	2.99	2.91	2.84	2.77	2.71	2.66	2.60	2.49	2.39	2.30	2.23	
4 500 000	3.47	3.34	3.23	3.13	3.05	2.97	2.89	2.83	2.77	2.71	2.66	2.54	2.44	2.35	2.27	
5 000 000	3.53	3.40	3.29	3.19	3.10	3.02	2.95	2.88	2.81	2.76	2.70	2.58	2.43	2.39	2.31	
6 000 000	3.63	3.50	3.39	3.29	3.20	3.11	3.04	2.97	2.90	2.84	2.79	2.66	2.56	2.46	2.38	
7 000 000	3.72	3.59	3.48	3.37	3.28	3.19	3.11	3.04	2.96	2.91	2.86	2.73	2.62	2.53	2.27	
8 000 000	3.80	3.67	3.55	3.45	3.35	3.26	3.18	3.11	3.04	2.98	2.92	2.79	2.68	2.58	2.50	
9 000 000	3.89	3.74	3.62	3.51	3.42	3.33	3.25	3.17	3.10	3.04	2.98	2.85	2.73	2.64	2.55	
10 000 000	3.94	3.81	3.68	3.58	3.48	3.39	3.30	3.23	3.16	3.09	3.03	2.90	2.78	2.68	2.59	
15 000 000	4.20	4.06	3.93	3.82	3.71	3.62	3.53	3.45	3.38	3.31	3.24	3.10	2.98	2.87	2.77	
20 000 000	4.39	4.24	4.11	4.00	3.89	3.79	3.70	3.62	3.54	3.47	3.40	3.25	3.12	3.01	2.91	
25 000 000	4.54	4.39	4.26	4.14	4.03	3.93	3.83	3.75	3.67	3.60	3.53	3.37	3.24	3.12	3.02	
30 000 000	4.60	4.51	4.36	4.26	4.14	4.04	3.95	3.86	3.78	3.70	3.63	3.47	3.34	3.22	3.11	
35 000 000	4.77	4.62	4.48	4.36	4.24	4.14	4.04	3.96	3.87	3.80	3.72	3.56	3.42	3.30	3.19	
40 000 000	4.87	4.71	4.57	4.45	4.33	4.23	4.13	4.04	3.96	3.88	3.81	3.64	3.50	3.37	3.26	
45 000 000	4.95	4.79	4.65	4.53	4.41	4.30	4.21	4.12	4.03	3.95	3.88	3.71	3.57	3.44	3.33	
50 000 000	5.02	4.87	4.73	4.60	4.48	4.37	4.28	4.18	4.10	4.02	3.94	3.77	3.63	3.50	3.39	
60 000 000	5.16	5.00	4.85	4.72	4.60	4.50	4.40	4.30	4.22	4.13	4.06	3.89	3.74	3.61	3.49	
70 000 000	5.27	5.11	4.96	4.83	4.71	4.60	4.50	4.40	4.32	4.23	4.16	3.98	3.83	3.70	3.58	
80 000 000	5.37	5.20	5.05	4.92	4.80	4.69	4.59	4.49	4.41	4.32	4.24	4.07	3.91	3.78	3.66	
90 000 000	5.45	5.29	5.14	5.01	4.89	4.77	4.67	4.57	4.48	4.40	4.32	4.14	3.99	3.85	3.73	
100 000 000	5.53	5.37	5.22	5.08	4.96	4.85	4.74	4.65	4.56	4.47	4.39	4.31	4.05	3.91	3.79	

Tablo 2-4 Üstyapı Sayısı (SN_R) tayininde kullanılan tablo (AASHTO 93)

GEREKLİ YAPISAL SAYI (SN _R)	
90% GÜVENİLİRLİK (R%)	
ESNEKLİK MODÜL (M _R) ARALIĞI 300-600 MPa	
ESAL _R	Resilient Modulus (M _R), MPa
	300 325 350 375 400 425 450 475 500 525 550 575 600 625
100 000	1.14 1.10 1.06 1.03 0.99 0.96 0.94 0.91 0.89 0.86 0.84 0.82 0.80 0.78 0.77
150 000	1.24 1.20 1.15 1.12 1.08 1.05 1.02 1.00 0.97 0.95 0.92 0.90 0.88 0.86 0.85
200 000	1.31 1.26 1.22 1.18 1.15 1.12 1.09 1.06 1.03 1.01 0.98 0.96 0.94 0.92 0.90
250 000	1.37 1.32 1.28 1.24 1.20 1.17 1.14 1.11 1.08 1.06 1.03 1.01 0.99 0.97 0.95
300 000	1.42 1.37 1.32 1.28 1.25 1.21 1.18 1.15 1.12 1.10 1.07 1.05 1.03 1.01 0.99
350 000	1.46 1.41 1.36 1.32 1.28 1.25 1.22 1.19 1.16 1.13 1.11 1.09 1.06 1.04 1.02
400 000	1.49 1.44 1.40 1.36 1.32 1.28 1.25 1.22 1.19 1.16 1.14 1.12 1.09 1.07 1.05
450 000	1.53 1.47 1.43 1.39 1.35 1.31 1.28 1.25 1.22 1.19 1.17 1.14 1.12 1.10 1.08
500 000	1.55 1.50 1.46 1.41 1.37 1.34 1.30 1.27 1.24 1.22 1.19 1.17 1.14 1.12 1.10
550 000	1.61 1.55 1.51 1.47 1.43 1.39 1.35 1.32 1.29 1.26 1.24 1.21 1.18 1.16 1.14
600 000	1.65 1.60 1.55 1.50 1.46 1.43 1.39 1.36 1.33 1.30 1.27 1.25 1.22 1.20 1.18
650 000	1.69 1.64 1.59 1.54 1.50 1.46 1.43 1.39 1.36 1.33 1.31 1.28 1.26 1.23 1.21
700 000	1.73 1.67 1.62 1.57 1.53 1.49 1.46 1.42 1.39 1.36 1.34 1.31 1.29 1.26 1.24
750 000	1.76 1.70 1.65 1.60 1.56 1.52 1.49 1.45 1.42 1.39 1.36 1.34 1.31 1.29 1.27
800 000	1.89 1.83 1.77 1.72 1.68 1.64 1.60 1.56 1.53 1.50 1.47 1.44 1.42 1.39 1.37
850 000	1.98 1.92 1.86 1.81 1.77 1.72 1.68 1.66 1.61 1.58 1.55 1.52 1.49 1.47 1.44
900 000	2.06 1.99 1.94 1.88 1.84 1.79 1.75 1.71 1.68 1.64 1.61 1.58 1.55 1.53 1.50
950 000	2.12 2.06 2.00 1.94 1.89 1.85 1.81 1.77 1.73 1.70 1.67 1.64 1.61 1.58 1.55
1 000 000	2.18 2.11 2.05 1.99 1.94 1.90 1.86 1.82 1.78 1.74 1.71 1.68 1.65 1.62 1.60
1 100 000	2.23 2.16 2.10 2.04 1.99 1.94 1.90 1.86 1.82 1.78 1.75 1.72 1.69 1.66 1.64
1 200 000	2.27 2.20 2.14 2.08 2.03 1.98 1.94 1.90 1.86 1.82 1.79 1.76 1.73 1.70 1.67
1 300 000	2.31 2.24 2.18 2.12 2.07 2.02 1.97 1.93 1.89 1.85 1.82 1.79 1.76 1.73 1.70
1 400 000	2.38 2.31 2.24 2.18 2.13 2.08 2.03 1.99 1.95 1.91 1.88 1.85 1.81 1.78 1.76
1 500 000	2.44 2.37 2.30 2.24 2.19 2.14 2.09 2.04 2.00 1.97 1.93 1.90 1.86 1.83 1.80
1 600 000	2.50 2.42 2.35 2.29 2.24 2.18 2.14 2.09 2.05 2.01 1.97 1.94 1.91 1.88 1.85
1 700 000	2.55 2.47 2.40 2.34 2.28 2.23 2.18 2.13 2.09 2.05 2.01 1.98 1.95 1.91 1.88
1 800 000	2.59 2.52 2.44 2.38 2.32 2.27 2.22 2.17 2.13 2.09 2.05 2.01 1.98 1.95 1.92
1 900 000	2.77 2.69 2.61 2.55 2.48 2.43 2.37 2.32 2.28 2.24 2.19 2.16 2.12 2.09 2.06
2 000 000	2.91 2.82 2.74 2.67 2.61 2.54 2.49 2.44 2.39 2.35 2.30 2.26 2.23 2.19 2.16
2 100 000	3.02 2.93 2.85 2.77 2.70 2.64 2.58 2.53 2.48 2.43 2.39 2.35 2.31 2.28 2.24
2 200 000	3.11 3.02 2.93 2.86 2.79 2.72 2.66 2.61 2.56 2.51 2.46 2.42 2.38 2.35 2.31
2 300 000	3.19 3.10 3.01 2.93 2.86 2.79 2.73 2.68 2.62 2.57 2.53 2.49 2.45 2.41 2.37
2 400 000	3.26 3.17 3.08 3.00 2.92 2.86 2.79 2.74 2.68 2.63 2.59 2.54 2.50 2.46 2.42
2 500 000	3.33 3.23 3.14 3.06 2.98 2.91 2.85 2.79 2.73 2.68 2.64 2.59 2.55 2.51 2.47
2 600 000	3.39 3.28 3.19 3.11 3.03 2.96 2.90 2.84 2.78 2.73 2.68 2.64 2.59 2.55 2.52
2 700 000	3.49 3.38 3.29 3.20 3.13 3.05 2.99 2.93 2.87 2.82 2.77 2.72 2.67 2.63 2.59
2 800 000	3.58 3.47 3.37 3.29 3.21 3.13 3.06 3.00 2.94 2.89 2.84 2.79 2.74 2.70 2.66
2 900 000	3.66 3.55 3.45 3.36 3.28 3.20 3.13 3.07 3.01 2.95 2.90 2.85 2.80 2.76 2.72
3 000 000	3.73 3.62 3.52 3.43 3.34 3.27 3.20 3.13 3.07 3.01 2.96 2.91 2.86 2.82 2.77
3 100 000	3.79 3.68 3.58 3.49 3.40 3.32 3.25 3.18 3.12 3.06 3.01 2.96 2.91 2.87 2.82

BÖLÜM ÜÇ

MALZEME VE KARIŞIM ÖZELLİKLERİ

Bu bölümde deneylerde kullanılan asfalt beton numunelerinin hazırlanmasında kullanılan malzemelerin bazı fiziksel özellikleri verilmiştir. Gerekli fiziksel testler 9 Eylül Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü ve Bayındır A.Ş İzmir laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

3-1 Agregata

Deney numunelerinin hazırlanmasında kullanılan agregata kalker cinsi olup, ALAÇATI'daki KM 72 Taş Ocağından sağlanmıştır. Agregatanın fiziksel özellikleri Tablo 3-1 de gösterilmiştir.

Tablo 3-1 Agregata fiziksel özellikleri

	Test değeri
Kuru Özgül Ağırlık	2.677 gr/cm ³
Efektif Özgül Ağırlık	2.692 gr/cm ³
Zahiri Özgül Ağırlık	2.723 gr/cm ³
Asfalt Absorbsiyonu	%22
Yassılık İndeksi	%19.1
Los Angeles aşınma	%24.7
İnce agregada organik madde	yok

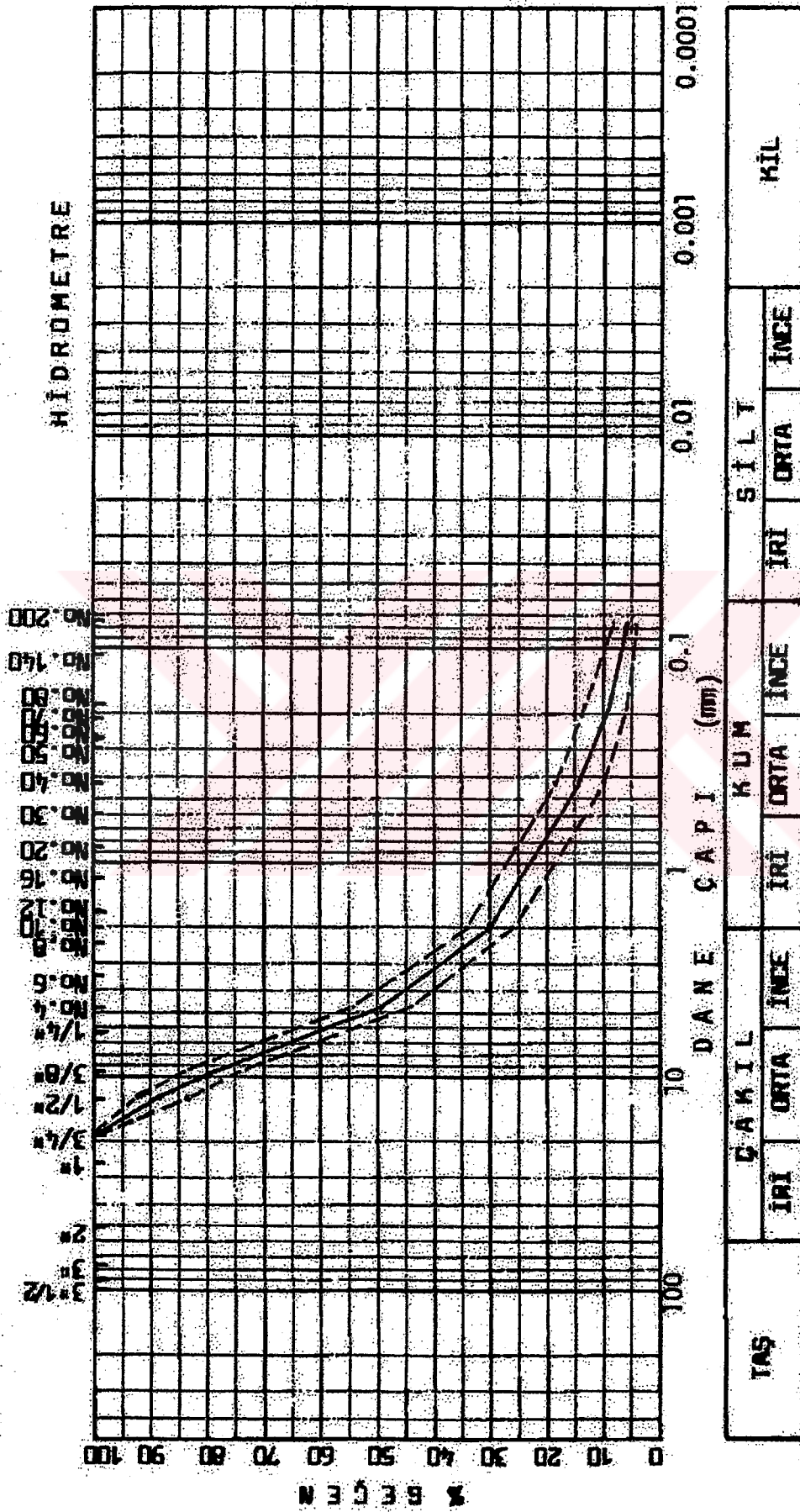
Şekil 3-1 'de numunelerin hazırlanmasında kullanılan Yollar Fenni Şartnamesi 'nin aşınma tabakası yeni tip-2 gradasyonuna uygun, agrega dane çapı dağılım grafiği verilmektedir. (KGM, YFŞ-1994)

3-2 Bitüm

Kullanılan asfalt çimentosu ALIĞA Rafinerisinde üretilmiş olup 60/70 penetrasyonludur. Bitüm fiziksel özellikleri Tablo 3-2' de verilmiştir.

Tablo 3-2 Bitüm fiziksel özellikleri

	Test değeri
25 °C'de penetrasyon	63.0 pen
Penetrasyon Index	+ 1.2
25 °C'de düktilite	> 100 cm
Bitüm özgül ağırlığı	1.034 gr/cm ³
Yumuşama noktası	57.2 °C
Parlama noktası	230 °C
Yanma noktası	270 °C



Şekil 3-1 Agregat Dane Çapı Dağılım Grafiği

3-3 Karışım

Karışım dizaynında yoğun gradasyonlu (dense graded) agrega kullanılmıştır. Agrega karışım gradasyonu KGM yeni tip-2 aşınma tabakası şartname gradasyonuna uygun şekilde düzenlenmiştir. Çalışmada kullanılan agrega gradasyonu ve şartname limitleri Tablo 3-3 de verilmiştir.

Tablo 3-3 Agrega gradasyonu ve şartname limitleri

Elek boyutu	Şartname limitleri	%Geçen	%Kalan
¾ "	100	100	---
½ "	83-93	88	12
3/8 "	74-84	79	21
No.4	44-54	49	51
No.10	26-34	30	70
No.40	10-18	14	86
No.80	6-13	9	91
No.200	4-8	6	94
Elek altı	-----	-----	100

3-4 Optimum bitüm miktarının tayini

Marshall metodu, agrega karışımı için optimum bitüm miktarı tayininde kullanılan metodlardan biridir. Optimum bitümün bulunmasında kullanılacak deney numuneleri, %4 ile %6.5 bitüm yüzdeleri arasında, asfalt miktarının %0.5 'lik artışlarıyla hazırlanmıştır. Deney sonuçlarının sağlıklı olmasını sağlamak amacı ile kullanılan her bitüm yüzdesinde minimum üçlü deney numuneleri hazırlanmıştır. Her

bitüm yüzdesindeki numunelerin düzeltilmiş stabilite değerlerinin ortalaması alınır. Böylelikle şu grafikler hazırlanmalıdır:

- Asfalt yüzdesine bağlı stabilite,
- Asfalt yüzdesine bağlı akma,
- Asfalt yüzdesine bağlı karışım birim ağırlığı,
- Asfalt yüzdesine bağlı hava boşluğu yüzdesi,
- Asfalt yüzdesine bağlı mineral agrega boşluğu yüzdesi,

Optimum asfalt miktarı tayininde, deney eğrilerinin dördü göz önünde bulundurulur ve bu eğrilerden aşağıdaki değerleri veren asfalt miktarları tespit edilir:

- a-) Maksimum stabilite,
- b-)Maksimum birim ağırlık,
- c-)Hava boşluğunun verilen limitlerinin ortalaması,
- d-)Bitümlü dolu boşluk yüzdesi ,

Bu dördülden elde edilen asfalt yüzdesinin sayısal ortalaması, optimum asfalt yüzdesi olarak ortaya çıkmaktadır.

Bu çalışma kapsamında toplam 18 numunedan elde edilen deney sonuç eğrilerinin incelenmesinden optimum bitüm miktarı %5.2 olarak bulunmuştur.

3-5 Katkı

Çalışmalarda bitümlü sıcak karışımlarda tekerlek izi oluşumuna karşı özel bir formülle üretilen POLYOLEFİN tipi katkı kullanılmıştır. Katkı renkli 0/5 mm daneli halde üretilmektedir. Rejenere polyolefinden elde edilmektedir.

Katkı uygulamada eriyebilir torbalar içinde normal olarak kuru agrega ağırlığının %0.6'sı oranında doğrudan asfalt plenti mikserine atılmaktadır. Kонтinü plentlerde özel bir cihazla tambur içine gönderilmektedir.

Katkının kullanımında agrega ile bir süre kuru karışım önemlidir. Böylece granüle haldeki katkı parçalanmakta ve erimesi kolaylaşmaktadır. Zira bitüm geldikten sonra kayma etkisi yaptığından parçalanma güçleşmektedir. En düşük sıcaklığı $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'yi geçmeyen sıcak bölgelerde tekerlek izi oluşumunu önleyen etkili bir katkıdır.

Deformasyon sorunu olan rampalar, kavşaklar, otobüs durakları, konteyner sahaları, havaalanı pistleri, apron ve taksirutlarda kullanılabilir.

Çalışmada kullanılan polyolefinin özellikleri Tablo 3-4 de verilmiştir.

Tablo 3-4 POLYOLEFİN fiziksel özellikleri

		Değer
Yoğunluk		0.91-0.965
Erime noktası	$^{\circ}\text{C}$	110-140
Gradasyon	.mm	0/5
Ekler	%	<5
Polyolefinler	%	>95

Polyolefinin avantajları :

- Bitümlü sıcak karışımın (asfalt betonu) tekerlek izi oluşumuna karşı mukavemetini önemli ölçüde artırır.
- Düşük sıcaklıklarda karışımın esnekliğini ve kohezyonu artırır.
- Karışımın yorulmaya karşı mukavemetini iyileştirir.
- Üretimi ve kullanımı esnektir.
- Soğuk depolanabilir.
- Modifiye bitüm tesisi gerektirmez.

Polyolefin katkı içeren asfalt betonunda, polyolefin blokaj ve donatı etkisi yapmaktadır.

Soğuyunca plastik lifler haline gelen karışım içine dağılmış polyolefin, agrega iskeleti içinde donatı etkisi yapmaktadır. Mikserde karışım sırasında yumuşayan fakat erimeyen plastik sıkıştırma sırasında agrega boşluklarına yerleşerek blokaj görevi yapmaktadır.



BÖLÜM DÖRT

KATKILAR VE KARIŞIM MODİFİKASYONU

4-1 Genel Bilgiler

Günümüzdeki ağır trafik şartlarında ve ekstrem iklim şartlarının (çok sıcak ve çok soğuk) bulunduğu bölgelerde klasik asfalt betonu ve saf bitüm yeterli performansı göstermemekte ve yollardan beklenen konfor ve hizmet ömrü sağlanamamaktadır. Bu durum karşısında son 20-30 yıldır A.B.D ve Avrupa'da araştırmalar 3 konu üzerinde yoğunlaşmıştır: (Uluçaylı,3. Ulusal Asfalt Kongresi-18)

- *Bitümlü karışımlarda kullanılan agrega gradasyonunun değiştirilmesi,
- *Yeni bir bitümlü sıcak karışım dizayn yönteminin geliştirilmesi,
- *Bitümün karakteristiklerinin iyileştirilmesi,

Bitüm karakteristiklerinin iyileştirilebilmesi için iki çözüm önerilebilir:

- Bitümü önceden uygun bir polimerle modifiye etmek,
- Asfalt plentinde karışıma doğrudan eklenebilen katkıları kullanmak,

1970'li yıllarda yapılan araştırmalar bitüme, bitümle uyumlu bazı polimer ve kopolimerlerin eklenmesinin bitümün reolojik davranışını etkilediğini, özelliklerini iyileştirdiğini ve bitüme üstün özellikler kazandırdığını ortaya koymuştur.

Ülkemizde Ege ve Akdeniz gibi yaz aylarında sıcaklığın çok yüksek değerlere ulaştığı bölgelerde, kaplama üzerindeki ısı 60-70 °C'ye varmakta, bu da saf bitümün yumuşama noktasını aşmaktadır. Bu durum yollarda tekerlek izi başta olmak üzere ciddi deformasyonların oluşmasına sebep olmaktadır. İşte bu noktada polimer modifiye bitümlerin yada karışım modifikasyonunun avantajı ortaya çıkmaktadır:

PMB'ler ve katkılı karışımlar yüksek sıcaklıklarda normal bitüme göre daha sert kalarak tekerlek izi oluşmasını, düşük sıcaklıklarda normal bitüme göre daha yumuşak kalarak gevrek kırılmayı engeller. Çalışma sıcaklıklarında ise normal bitümden daha sert kaldığı için yorulmaya karşı daha dirençlidir.

4-2 Polimerlerin sınıflandırılması

Polimerleri; Elastomerler ve Plastomerler (veya termoplastikler) olarak iki ana sınıfa ayırabiliriz. Bunlara "thermo-setting" sınıfını eklemek de uygun olur.

Genel olarak mekanik açıdan bakıldığında elastomerler bitümü eski tabiri ile "kavi"(tough) hale getirmekte böylece karışım ağır yükler altında kırılmadan esneyebilmektedir. Plastomerler ise bitümü sert(stiff) hale getirmekte, karışım fazla esnemenen büyük yüklerle dayanabilmektedir. Dolayısı ile seçim yapılırken mühendisin modifikasyondan ne beklediğini bilmesi çok önemlidir. Tablo 4-1 de Polimerlerin sınıflandırılması gösterilmiştir.

Tablo 4-1 Polimerlerin sınıflandırılması (Uluçaylı,3.Ulusal Asfalt Kongresi).

İngilizce baş harfleri	İsmi	Sınıfı
SBS	Stiren-Bütadiyen-Stiren (Styrene-Butadiene-Stryrene)	Elastomer
SBR	Stiren-butadiyen kauçuk (Styrene-butadiene rubber)	Elastomer
EPDM	Dipolien,propilen ve etilen terpolineri (terpolymer of ethylene propylene and dipolyene)	Elastomer (plastomer)
NR	Tabii kauçuk(natural rubber)	Elastomer
PE	Poliyeten(polyethylene)	Plastomer
PP	Polipropilen(polypropylene)	Plastomer
APP	Ataktik polipropilen(atactic polypropylene)	Plastomer
IPP	İsotaktik polipropilen (isotactic polypropylene)	Plastomer
PVA	Polyvinil asetat (polyvinyl acetate)	Plastomer
EVA	Etilen vinil asetat (ethylene vinyl acetate)	Elastomer
EMA	Etilen metil acrilat (ethylene-methyl acrylate)	Plastomer
PIB	Poliizobutilen (polyisobutylene)	Elastomer
PVC	Polivinil klorür (polyvinyl chloride)	Plastomer
PS	Polistiren (polystyrene)	Plastomer

Termoplastikler ısıtıldıklarında yumuşar ve akarlar ancak soğutulduklarında tekrar sertleşirler. Bu olay pek çok sefer tekrarlanabilir. Bitüm modifikasyonunda kullanılan en yaygın termoplastikler: Poliyeten (PE), Polipropilen (PP), Polivinil-klorid (PVC), Polistiren (PS) ve Etil-vinil-asetat (EVA) 'dır. Bu malzemeler bitümle karıştırıldıklarında normal servis sıcaklıklarında bitümün viskozite ve sertliğini artırır. Ancak belirtmek gerekir ki, EVA hariç bu gruptaki polimerler bitümün düşük sıcaklıktaki performansını iyileştirmemektedir. Bunun için düşük sıcaklıkların (<-10 °C) bulunmadığı bölgelerde kullanılmaları uygun olur. (Lu,1997-8)

Başlıca Elastomerler; doğal kauçuk (NR), polibütadien (BR), sitiren-bütadien-sitiren blok kopolimeri (SBS) sayılabilir. Elastomerler içinde bitüm modifikasyonunda en büyük ilgiyi SBS kopolimeri görmektedir. Elastomerler bitümlü karışımlara; kırıntı, sıvı hidrokarbonda çözelti şeklinde katılabilmektedir. (Lu,1997-9)

Önemli thermosetting polimerler; alkidler, epoxy reçineleri ve doymamış polyesterlerdir.

Genel olarak plastomerler;

- Sathi kaplama amaçlı, saf bitüm ya da cut-back ile yapılan emülsiyonların modifikasyonunda,
- Geçirimli asfaltta (yüksek boşluk oranı, düşük temas noktaları nedeniyle),
- İnce veya çok ince (1.5-4 cm) serilebilen aşınma tabakalarında,
- Soğuk karışımlarda, (emülsiyon halinde)
- Çok deforme olabilen alt tabakalar üzerindeki satih tabakalarında,
- Su yalıtım örtülerinde ve yerinde sıcak serme yalıtım karışımlarında (membran)

Elastomerler ;

- Sathi kaplama amaçlı, saf bitüm yada cut-back ile yapılan emülsiyonların modifikasyonunda,
- Yüksek trafikli yollarda sathi kaplama yapımında,
- Kalın sathi kaplama yapımında,
- Su yalıtımı yada yansıma çatlaklarını önleme amaçlı gerilme emici ara membranlarda,
- Geçirimli asfaltta,
- İnce ve çok ince (1.5-4 cm) serilebilen aşınma tabakalarında,
- İnce serilebilen aşınmaların altında yapıştırma tabakası olarak,

- Harç tipi kaplamalar (slurry seal) ve özellikle ağır trafikli yollarda 10-15 mm serilebilen 0/10 mikro asfalt betonunda (emülsiyon halinde)
- Su yalıtım sistemlerinde (örtüler)

4-3 Modifikasyonun amaçları

Bitüme polimer ilavesinin amacı, bitümün reolojik davranışını değiştirmek ve özellikle, düşük sıcaklıklardaki davranışına zarar vermeden, sıcaklığa karşı hassasiyetini azaltmaktır.

Modifiye bitüm yol kaplamalarının yorulma ve oluklanmaya karşı mukavemetini artırmaktadır.

Modifikasyonun bitüm ve bitümlü karışım üzerindeki faydaları şunlardır:

- Bitümün servis sıcaklıkları aralığı genişlemektedir. Yumuşama noktası yükselmekte ve Fraass kırılma noktası düşmektedir.
- Bitümün sıcaklık değişimlerine hassasiyeti azalmaktadır. (Penetrasyon indeksi yükselmektedir.)
- Bitümün reolojik ve mekanik özellikleri değişmektedir. Geniş sıcaklık ve yükleme hızı aralıklarında kalıcı deformasyona ve kırılmaya karşı mukavemet artmaktadır.
- Tekrarlı yük altında yorulma mukavemeti artmaktadır.

Ve dolaylı olarak:

- Adhezyon iyileşmektedir. Polimerlerin (EVA hariç) polar kimyasal fonksiyon ve radikalleri yoktur. Dolayısı ile bitüm/agrega bağına müdahale etmezler. Yalnız viskoziteyi yükselttiklerinden suyun, bitüm filmi ile agrega arasına girmesi daha fazla enerji gerektirir. Bu durum 'pasif adhezyon' da denen soyulma mukavemetinde artış sağlar.

- Yaşlanma (oksidasyon v.b dolayısı ile zamanla özelliklerini kaybetme) yavaşlamaktadır. Çünkü modifiye bitümün yüksek viskozitesi agrega etrafındaki bitüm filminin kalınlaşmasını sağlamaktadır. (Uluçaylı,3.Ulusal Asfalt Sempozyumu-20)

4-4 Modifikasyon yöntemleri

Genel bir yaklaşımla, normal bitümü modifiye edebilmek için ya özel bir tesis kurmak gerekmektedir veya son yıllarda termoplastik malzemelerin geliştirilmesiyle, asfalt plenti mikserlerine karışım sırasında atılan granüler maddelerle de yapılabilmektedir. Bu iki ayrı modifikasyon, modifiye bitümden ne beklendiğine bağlı olarak önem kazanmaktadır.

Bitümün plentte karışım sırasında modifiye edilmesine **karışımın modifikasyonu**, önceden özel bir tesiste modifiye edilmesine **modifiye bitüm** adı verilmektedir. (Uluçaylı,3.Ulusal Asfalt Sempozyumu-24)

Modifiye bitüm üretiminin pahalı, uygulamasının güç olması, sıcak karışımlarda nisbeten sıcak günler gerektirmesi (sıkıştırma sıcaklığının düşmemesi için) gibi güçlükler, daha ucuz ve uygulanması pratik olan karışımın modifikasyonu yönteminin uygulanışını daha popüler kılmıştır.

Katkıların modifiye bitüme kıyasla avantajları şunlardır:

- Daha ucuzdurlar.
- Soğuk olarak depolanabilir ve kullanılabilirler.
- Kullanımları esnektir.
- Küçük miktarda üretime imkan verirler.(rampalar,kavşaklar)
- Bitümle uyumsuzluk sorunu doğurmazlar.
- Tesis yapımını gereksiz kılarlar.

4-5 Katkılar ve kullanım alanları

Büyük bir kısmı denenen ve olumlu sonuç alınan bazı katkılar şunlardır:
(Uluçaylı,3.Ulusal Asfalt Kongresi-28)

- Granüle (daneli) modifiye bitüm konsantresi,
- Granüle düşük yoğunluklu polietilen (LDPE)
- Gilsonite (ve diğer doğal asfaltlar)
- Lifler (selülozik lif, mineral lif, sentetik lif)

Bu katkıların ilk üçü modifiye bitümün yaptığı bir veya birkaç iyileştirmeyi sağlayabilmektedir. İyileştirmenin derecesi genellikle kullanılan miktarla ilişkilidir. Katkıların işlevi her zaman modifiye bitümle çakışmamaktadır. Örneğin bu tip katkılarla modifiye emülsiyon üretimi mümkün değildir.

Katkılar kontinü plentte bir dozör aracılığı ile tambura, 'batch type' larda önceden tartılmış eriyebilir torbalar içinde pug-mille (mikser) karıştırılmaktadır. Genellikle katkı kullanımında karıştırma süresini %20-25 oranında artırmak gerekmektedir.

Düşük yoğunluklu polietilen(LDPE) ya da polyolefin :

6-12 kg'lık eriyebilir torbalarda ya da 850-900 kg'lık torbalarda satılmaktadır. PE özellikle tekerlek izi oluşumuna (oluklanmaya) karşı yüksek mukavemet sağlamaktadır. Yorulma mukavemetini ve genel mekanik stabiliteyi yükseltmektedir. Karışıma agrega ağırlığının % 0.6-1.0 oranında eklenmektedir. Genellikle %0.6 PE içeriği yeterli olmaktadır. Binder tabakasında ve çok düşük sıcaklıkların bulunmadığı (<-10 °C) sıcak bölgeler için en pratik ve ucuz çözümlerden biri olarak görülmektedir.

Modifiye bitüm konsantresi:

Nispeten yeni bir üründür. Batch type plantler için 6-12 kg'lık eriyebilir torbalarda, kontinü plantler için 850-900 kg'lık torbalarda satılmaktadır. Sıcak karışımlarda ve bitümün % 5-10 'u oranında kullanılmaktadır. Olgunlaşması bitmiş polimer (SBS) içerdiğinden uyumsuzluk sorunu doğurmamaktadır. Modifiye bitümün yaptığı iyileştirmeleri yapmaktadır. Modifiye bitümün ulaştırılmadığı, havalarm istikrarsız olduğu bölgelerde ya da bir rampa, bir ya da birkaç kavşak yapımı gibi küçük şantiyeler için uygundur.

Gilsonite:

Gilsonite reçinesi olarak da bilinmektedir. A.B.D Utah'da bulunan doğal bir hidrokarbondur. Toz halde çeşitli ağırlıkta torbalar içinde satılmaktadır. Bitümü modifiye edici etkisi vardır. Önceden bitüme karıştırılabildiği (% 4-8) gibi plantte karışıma da eklenebilmektedir. Sıcaklığa karşı hassasiyeti azaltmakta, oluklanma mukavemeti ve genel mekanik stabiliteyi yükseltmekte, adhezyonu iyileştirmekte ve oksidasyonu yavaşlatmaktadır. Gilsonite benzer etki yapan doğal asfaltlar da vardır.

Lifler:**Selülozik ve mineral lifler (elyaf):**

SMA 'larda kullanılmaktadır. SMA'larda bitüm yüzdesi yüksektir. (Yüksek bitüm içeriği yorulmaya karşı mukavemeti artırmakta ve yaşlanmayı yavaşlatmaktadır). Lifler yüksek özgül yüzey alanları nedeni ile fazla bitüm kullanımını kolaylaştırmakta, taşıma ve sıkıştırmada bitümün (drene olmasını) önlemektedir. Stabilite de hafif bir artış da sağlayabilirler. %0.3-0.4 oranında kullanılırlar. Plantte karışıma eklenirler.

Sentetik lifler:

Çatlamış eski yol yüzeyleri üzerine yapılan aşınma tabakalarında yansıma çatlaklarını önlemek ya da yavaşlatmak amacı ile sıcak karışıma plentte eklenirler. SMA'larda da sentetik lifler kullanılabilir.

Bu çalışmada özellikle oluklanmaya karşı mukavemeti artıran LDPE esaslı bir polyolefin katkı kullanılmıştır.



BÖLÜM BEŞ

LABORATUVAR ÇALIŞMASI VE EKİPMANI

Çalışmada BSK'ların tasarımlarında KGM tarafından kullanılan Marshall yöntemi kullanılmış, katkılı ve katkısız numuneler bu yöntemle hazırlanmıştır.

5-1 Numune hazırlanması :

Marshall yönteminde 4 in.(101.6 mm) çapında ve 63.5 mm yüksekliğinde standart deney numuneleri kullanılır. Yöntem, yalnızca maksimum boyutu 1 in.(25 mm) veya daha küçük agregalar ihtiva eden ve penetrasyon veya viskozite ile sınıflandırılmış asfalt çimentosu kullanılan sıcak karışım asfalt kaplama karışımlarına uygulanır.

Marshall yönteminde süreç, deney numunelerinin hazırlanması ile başlar.Bundan önce şüphesiz şu işlemlerin yapılmış olması gereklidir:

- a-) Karışımda kullanılacak malzemenin şartnamelerde istenilen özelliklere uygunluğunun kontrolü,
- b-)Agrega karışım gradasyonunun şartname gradasyonuna uygunluğunun kontrolü,
- c-)Yoğunluk ve boşluk analizlerinde kullanılmak üzere, karışımda kullanılan agrega ve asfalt çimentosunun özgül ağırlığının tayini,

Bu çalışma kapsamında, katkılı asfalt beton numunelerin hazırlanmasında şu işlemler uygulanmıştır:

Numune hazırlanmasında kullanılacak kalker tipi agregaya absorbe su ve nemden kurtulmak için etüve konulmuş ve 150 °C de saklanmıştır. Böylelikle nem sebebiyle

birbirine yapışan parçacıklar ayrılmış ve nemin tartma işlemi sırasında ağırlığı olumsuz etkilemesi önlenmiştir. Agregaların soğumasından sonra, elek analizi yapılmış ve eleğe konulan her parti agrega yaklaşık 2 dakika süreyle elenmiştir. Numuneler için agrega hazırlama işlemi Yollar Fenni Şartnamesi 'nin aşınma tabakası yeni tip-2 gradasyonuna uygun şekilde yapılmış ve şu elek serisi kullanılmıştır: 3/4''-1/2'', 1/2''-3/8'', 3/8''-No 4, No4-No 10, No 10-No 40, No 40-No 80, No 80-No 200 ve No 200 altı.

Her elek aralığından şartnameye uygun olacak miktarda agrega alınarak toplam 1180 gr agrega kaplara konulmuştur. Hazırlanan agrega, kalıplar ve kalıp tabanları döküm öncesi 24 saat süreyle 180 °C 'de ısıtılmıştır. Bitüm de döküm başlamadan 1 saat önce etüve konularak 165 °C 'de ısıtılmıştır. Numune hazırlamaya başlamak için, aynı şekilde etüvde saklanan karışım kabı çıkartılıp, digital tartı üzerine yerleştirilmiştir. Agreganın kap içine boşaltılmasından sonra numuneler için önceden tayin edilen katkı oranlarına göre ağırlığı hesaplanan granüle haldeki katkı agreganın içine atılmıştır.

Katkılı asfalt beton numunelerin hazırlanmasında agrega ile bir süre kuru karışım önemlidir. Bu yüzden katkı ve agrega yaklaşık 1 dakika el ile mümkün olduğunca hızlı bir şekilde karıştırılmıştır. Ancak bu tip katkıların bir özelliği olduğu üzere, granüle halde olan katkının tamamı erime imkanı bulamamış ve taneli şekilde karışım içinde kalmıştır. Kuru karışım sırasında oluşacak ısı kaybını önlemek için portatif bir ısıtıcıdan yararlanılmıştır.

Daha sonra optimum bitüm miktarına göre ayarlanan 60/70 penetrasyonlu bitüm karışıma ilave edilmiş ve tüm agreganın bitümle kaplandığı gözlenene kadar karıştırma işlemine devam edilmiştir. Her aşamada karışım ve bitüm sıcaklıkları digital termometre ile kontrol edilmiştir.

Karışım, etüvden çıkartılıp, tabanına filtre kağıdı yerleştirilen kalıplara doldurulmuş ve kısa bir süre şişlenmiştir. Aynı filtre kağıdından numune üstüne de

yerleştirilmiş; böylelikle karışımın sıkıştırma tokmağına yapışmasından kaçınlmıştır. Numunelerin her iki yüzüne de 75 darbe uygulanmıştır.

Sıkıştırma işleminin sonunda filtre kağıtları çıkarılmış, numuneler soğumaya bırakılmıştır. Soğuyan numuneler basit bir hidrolik düzenek kullanılarak kalıplarından çıkarılmıştır.

Numunelerin yüksekliği 3 ayrı kenardan ölçülmüş ve ortalamaları numune yüksekliği olarak alınmıştır. Boyu 63.5 mm'den farklı her numune için ölçülen stabilite değeri, düzeltme faktörleri kullanılarak 63.5 mm eşdeğerine çevrilecektir. Daha sonra numunelerin fiziki özelliklerinin tesbiti için havadaki ve sudaki ağırlıkları tesbit edilmiştir.

Tüm numunelerin zellikleri Tablo 5-1 ve Tablo 5-2 ' de verilmiştir.

Deney numunesinin stabilitesi; 60 °C'ye getirilmiş standart deney numunesinin kilogram (veya lb) olarak maksimum yük direncidir. Akma değeri; stabilite deneyi ölçümü sırasında yüksüz ve maksimum yük arasında meydana gelen 0.25 mm cinsinden deformasyondur. (Önal&Kahramangil,1993-72)

Yollar Fenni Şartnamesinde asfalt betonu karışımların dizaynında Tablo 5-3' de verilen dizayn kriterleri esas alınmaktadır.

Tablo 5-3 Dizayn kriterleri (KGM,Yollar Fenni Şartnamesi-1994)

ÖZELLİKLER	HAFIF VE ORTA TRAFİKLİ YOLLAR				AĞIR TRAFİKLİ YOLLAR, OTOYOL			
	BİNDER		AŞINMA		BİNDER		AŞINMA	
	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
Briket yapımında uygu. darbe sayısı	50	-----	50	-----	75	-----	75	-----
Marshall Stabilitesi (kg)	600	-----	750	-----	750	-----	900	-----
Boşluk, %	4	6	3	5	4	6	3	5
Asfaltla dolu boşluk, %	65	75	75	85	65	75	75	85
Akma ,mm (10 ⁻² inç)	2.5 (10)	4.6 (18)	2.5 (10)	4.6 (18)	2 (8)	4 (16)	2 (8)	4 (16)
Filler/Bitüm oranı	-----	-----	-----	-----	-----	1.4	-----	1.5

Ekonomik veya diğer nedenlerle dizayn kriterlerini sağlamanın mümkün olmadığı veya pratik olmadığı özel durumlarda boşluk limitlerinin % 1 toleransına izin verilebilir. Ancak hiçbir durumda akma değeri limitleri aşmayacak ve stabilite değeri istenilenden az olmayacaktır.

5-2 Deney Ekipmanı:

Yukarıda belirtildiği üzere hazırlanan numuneler tekrarlı basınç deneyine tabi tutularak kalıcı birim şekil değiştirme ve esneklik modülü değerleri tayin edilmeye çalışılmıştır.

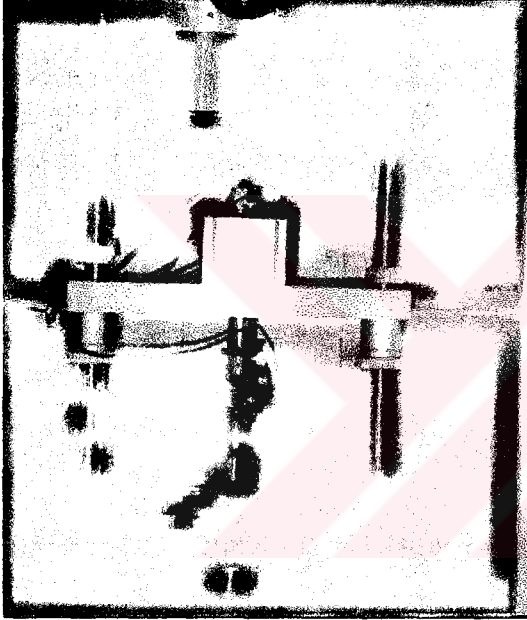
Çalışmalarda kullanılan UMATTA test makinesi pnömomatik yapıya sahip, bilgisayar kontrollü, genel maksatlı bir makinedir. UMATTA test makinesiyle, indirekt çekme deneyleri, indirekt çekme yorulması deneyleri, tekrarlı yük asfalt sünme testi ve statik yük asfalt sünme testleri yapılabilmektedir. Test ekipmanının genel bir görünümü Şekil 5-1 'de görülmektedir.



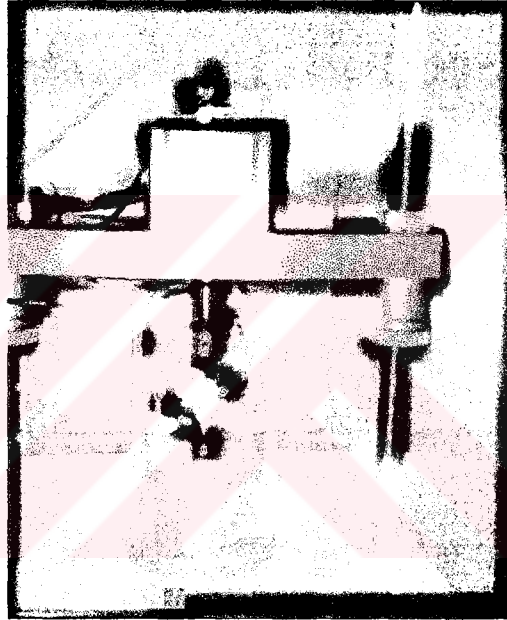
Şekil 5-1 –UMATTA test makinesi

Sistem hava basıncı ile çalışmaktadır. Sistemin çalışması için gerekli olan 8 atm basıncı sağlamak için 10 atm kapasiteli bir kompresör kullanılmaktadır. Yükleme çerçevesi sıcaklık kontrollü bir odacığın içine yerleştirilmiştir. Sistem istenilen test sıcaklığının 0-60 °C arasında seçilmesine olanak sağlar.

Yükleme şaftı solenoid hava valfi ile kontrol edilmekte ve numuneler üzerine maksimum 700 kPa basınç uygulayabilmektedir. Tekrarlı dinamik yükleme testleri sırasında sonuçların doğruluğunu etkileyecek titreşim yada hareketlerin oluşmasını engellemek için çerçeve ağır malzemeden imal edilmiştir. Şekil 5-2 'de yükleme çerçevesi ve makinenin kalibrasyonunda kullanılan kalibrasyon aparatı görülmektedir.



Şekil 5-2-Makinenin kalibrasyonu



Şekil 5-3-Tekrarlı yük asphalt sünme
deney düzeneği

Deformasyon ölçüm cihazları iki adet Lineer değişken diferansiyel transduser (LVDT) 'dan oluşmaktadır. Bunlar sünme testlerinde düşey deformasyonu 0.001mm hassasiyetle ölçmektedir ve 3 mm 'ye varan deformasyonları saptayabilmektedir. Şekil 5-3'te tekrarlı tek eksenli asphalt sünme deney düzeneği ve deformasyon ölçümü yapan LVDT'ler görülmektedir. Deney öncesi LVDT'lerin doğru yerleştirilmesi çok önemlidir. Aksi takdirde deney sırasında ölçülecek deformasyon değerleri gerçeği yansıtmayacaktır.

Hava sağlama sistemi,yük uygulama sistemi ve deformasyon ölçüm sistemi doğrudan UMATTA Kontrol ve Data toplama (CDAS) sistemine bağlıdır. Bilgisayardan verilen komutlar CDAS'e aktarılmakta ve buradan da gerekli yerlere iletilmektedir. CDAS, yükleme şaftının hareketlerini kontrol etmekte ve numuneler yüke maruz kaldığı sırada LVDT'lerin ilettiği bilgileri toplamaktadır. Daha sonra bu data görüntülenmesi ve depolanması için bilgisayara iletilmektedir. Bilgisayar P133-50 Mhz işlemciye sahip ve mevcut yazılım paketini çalıştırabilecek düzeydedir.

Deneyleer yapılmadan 1 gün önce sıcaklık odacığının istenilen sıcaklığa getirilmesi ve numunelerin yerleştirilmesi uygun olacaktır.

5-3 Tekrarlı Yük Altında Asfalt Sünme deneyi:

Bu deney, tekrarlanır vuruşların ,tek eksenli gerilmelerin asfalt numunesine uygulanmasıdır. Marshall silindirik numunelerine silindirin daire ekseni doğrultusunda tekrarlı basınç yüklemesi yapılmaktadır. Uygulanan yük altında silindir ekseni doğrultusunda oluşan deformasyon her yükleme sonrasında bilgisayar ekranından gözlenebilmektedir. Deformasyonlar ve numunenin eksenel boyuna bağlı olarak hesaplanan birim deformasyonlar uygun aralıklarla kaydedilmektedir. Deney elastik gerilmelerin ve sonuçların sürekli çizimini de içerir. Deneyin gerçekleştirilebilmesi için UMAT adı verilen yazılım programından yararlanılmaktadır. Deneyin maksimum bir milyon vuruşa kadar uzatılması mümkündür.

Deney gerçekte 4 bölümden oluşur:

- 1-)Statik alıştırma (conditioning) yükü zamanı,
- 2-)Gerilme uygulamaksızın,ön yük ile dinlenme periyodu,
- 3-)Vuruş yükleme periyodu,
- 4-)Gerilme uygulamaksızın direkt yük periyodu,

Alıştırma ve ön yükleme ile dinlenme istenildiğinde iptal edilebilir. Alıştırma gerilmesi genellikle tüm deney gerilmesinin 1/10 'u kadardır. Her ne kadar yükleme esnasında, sürekli ve elastik aksenal gerilmeler sürekli hesaplanıp gösterilse de alıştırma uygulaması sırasında, deneyin ön yükleme dinlenmesi direk yük yinelenmesi bölümlerinde gerilme verileri tutulur ve düzgün halde nümerik bir formda gösterilir.

Deney esnasında bilgisayar ekranında takip edilebilen veriler şunlardır:

- *Her 4 deney bölümü için deney yükleme zamanı(saat,dakika,saniye),
- *Yükleme bölümündeki vuruş sayısı,
- *Statik alıştırma (conditioning) ve pik yükle gerilme,
- *Numunenin her 4 deney bölümündeki sürekli birim şekil değiştirmesi,
- *Sadece puls yükleme bölümünde numunenin elastik birim ve modülü,
- *Numunenin iç ve dış sıcaklığı,

5-3-1 Deney Kullanım Parametreleri:

Deney kullanım ve kontrol menüsünden Edit komutu, kullanılmayan parametrelerin veya alanların değiştirilmesine izin verir (Şekil 5-7)

Numune adı: Bu parametre, numunelere bir kimlik vermek için kullanılır. Alanın ilk 8 karakteri yazılım tarafından temel ve ASCII dosyalarının oluşturulması sırasında dosya adı olarak kullanılır.

Yorumlar: Operatör bu alanı duyduğu ihtiyaca göre kullanabilir. Örneğin numune ve orijininin tanıtımında.

Numune boyu ve çapı: Bu nümerik alanlar numunenin boyutlarını tayin etmektedir.

Alıştırma gerilmesi : (Conditioning stress)

Bu nümerik alan deney sırasında uygulanacak ön basıncın veri olarak sisteme girilmesine olanak sağlar. Tüm deneylerde numunelere ön yük olarak 1 dakika süreyle 50 kPa yük uygulanmıştır.

Test yükleme gerilmesi: (Test loading stress)

Deneylerde ana yük olarak 500 kPa seçilmiş olup, bu da yaklaşık olarak 73 psi olmakta ve sıradan bir kamyon lastik basıncına denk gelmektedir.

Vuruş genişliği: (Pulse width)

Tüm deneylerde vuruş genişliği sabit tutulmuş ve 1 saniye olarak alınmıştır.

Vuruş periyodu: (Pulse period)

Vuruş genişliği ve dinlenme süresinin toplamıdır. 2 saniye olarak alınmıştır.

Sıcaklık:

Arzulanan ortam sıcaklığının belirtilmesine olanak sağlar. Ancak unutulmamalıdır ki, deney odacığının sıcaklığının kontrolünde bir etkisi yoktur. Sıcaklık ayarı manuel olarak yapılmaktadır. Tüm deneylerde sıcaklık sabit tutulmuş ve 50 °C olarak alınmıştır.

Deneyi sonlandıran birim şekil değiştirme : (Test termination strain)

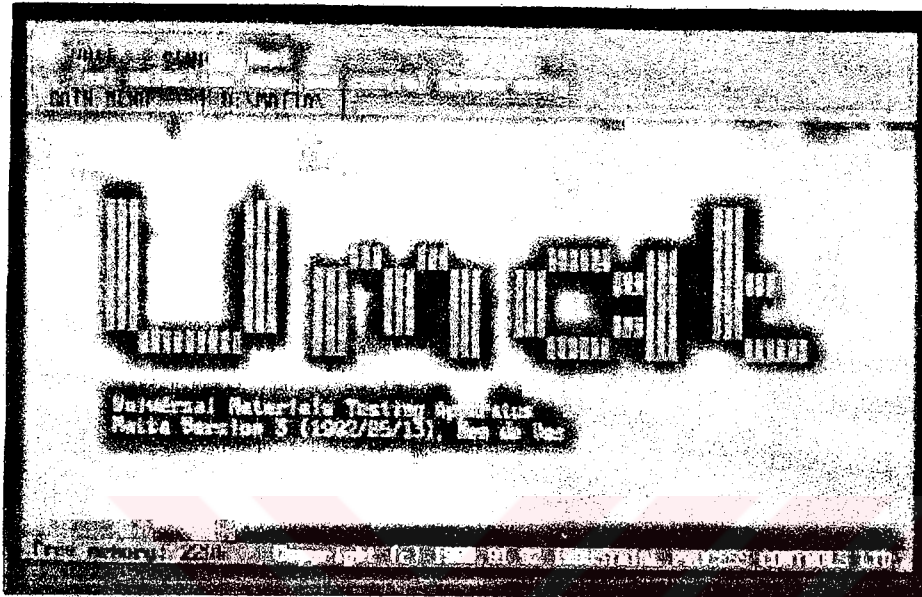
Bu nümerik alan, otomatik olarak deneyin durdurulacağı şekil değişiminin sisteme gireceği alandır. Operatörün seçimine bağlı bir değerdir.

Deneyi sonlandıran vuruş sayısı: (Terminal pulse count)

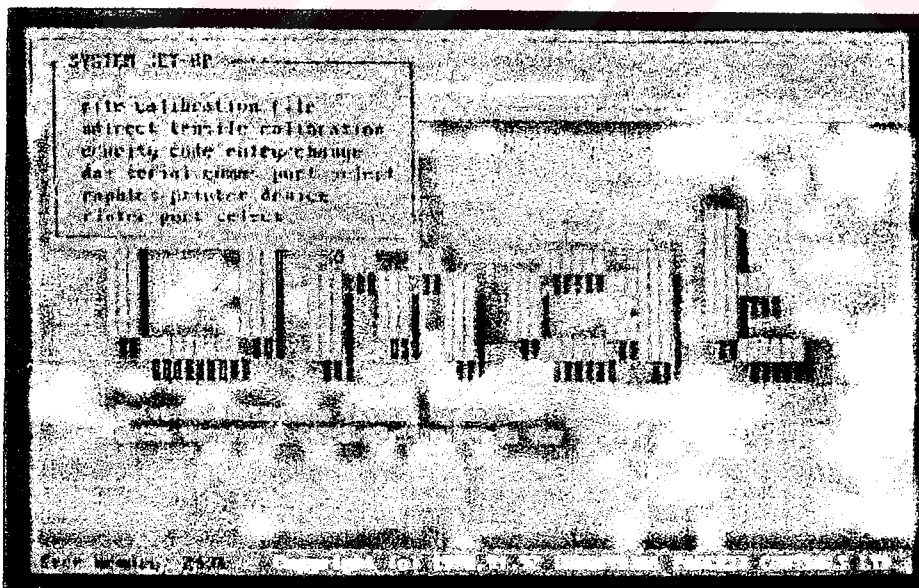
Bu nümerik alan otomatik olarak deney durdurulmadan önce uygulanabilecek yükleme vuruşlarının maksimum sayısını tanıtmaktadır.

5-3-2 Deneyin başlatılması:

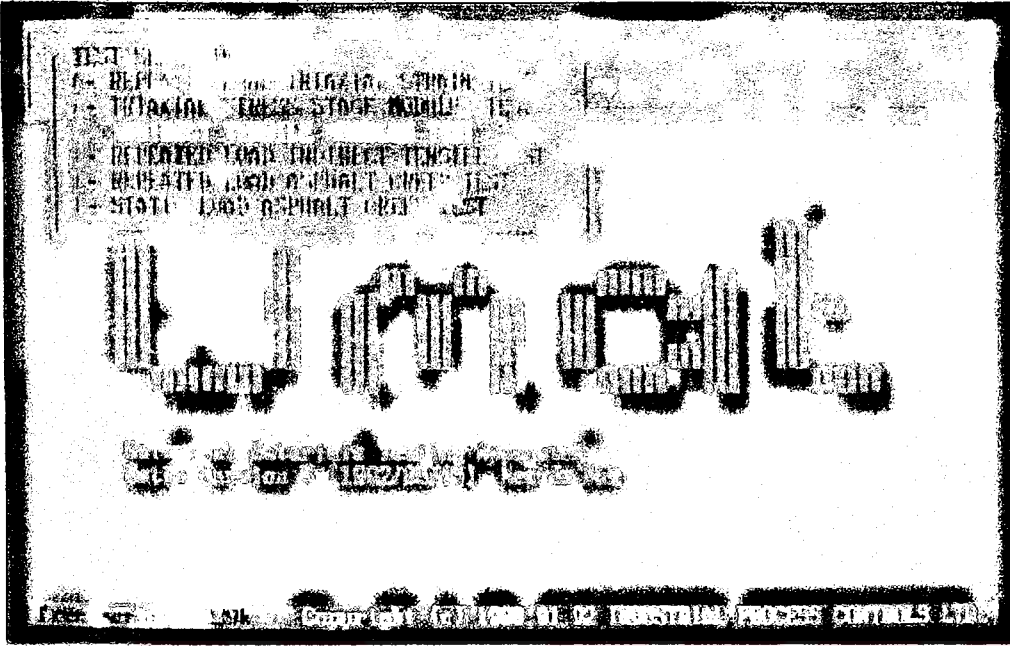
- Ms-Dos ortamındayken UMAT komutu girilir ve böylelikle ana menü ekrana gelir. (Şekil 5-4) Ana menüde "S" tuşuna basılırsa, makine kalibrasyonu, güvenlik kodu seçimi ve değiştirilmesi, yazıcı seçimi, yazıcı ve bilgisayar port seçimine olanak veren setup menüsü ekrana gelir.(Şekil 5-5)
- Ana menüde istenilen test tipini seçebilmek için "T" ye basılır ve buradan tekrarlı yük asfalt sünme deneyi için "E" ye basılır. Deney kullanım ve kontrol ekranı böylece görüntülenmiş olur. (Şekil 5-6)
- "E" 'ye basılarak editöre girilebilir ve gerekli parametreler işlenebilir. Buradan çıkmak için 'esc' tuşu kullanılır.(Şekil 5-7)
- "L" ye basarak LVDT 'lerin deney öncesi konumlarına bakılır. Numuneler yüklenirken yüksek deformasyonlar oluşma ihtimalini göz önünde bulundurarak LVDT 'lerin yeri bu hareketi algılayabilecek şekilde seçilmelidir.(Şekil 5-8,Şekil 5-9)
- Deney setup ve kontrol menüsünden "Run" komutu deneyi başlatır. Bir grafik ekran oluşur ve sıfır gerilme düzeyinden alıştırma gerilmesi (conditioning stress) uygulanır.



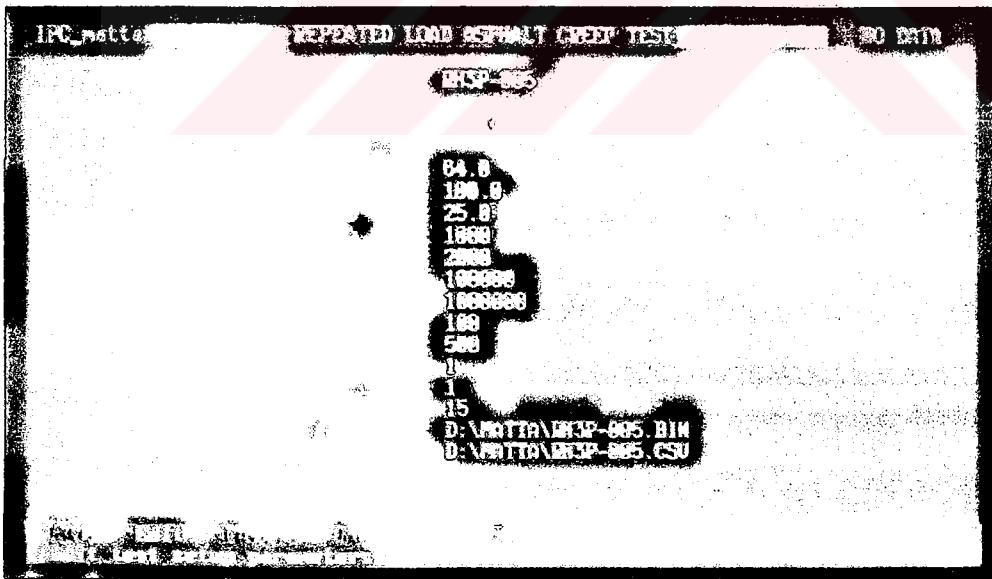
Şekil 5-4 UMAT Yazılım ana menüsü



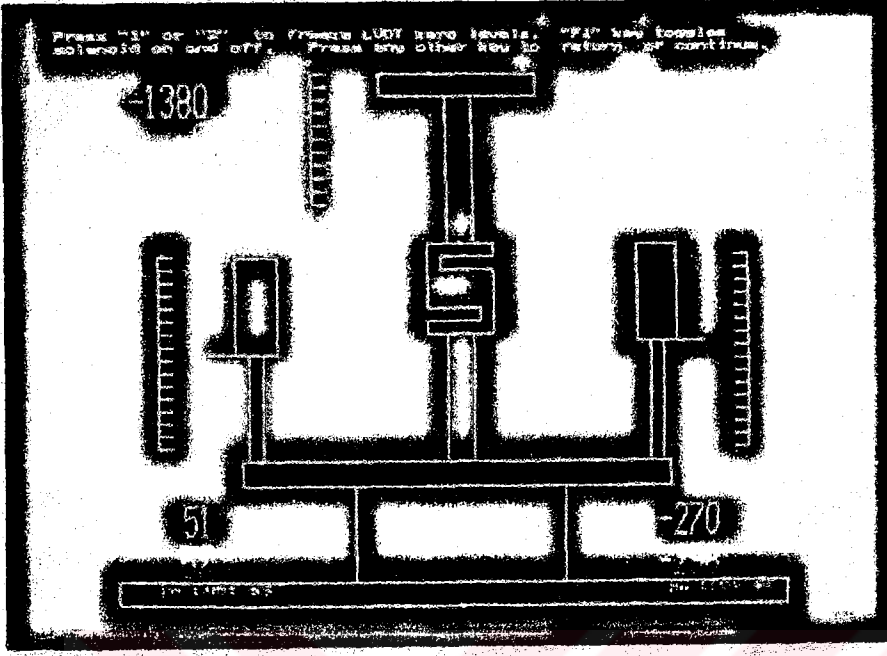
Şekil 5-5 UMAT setup alt menüleri



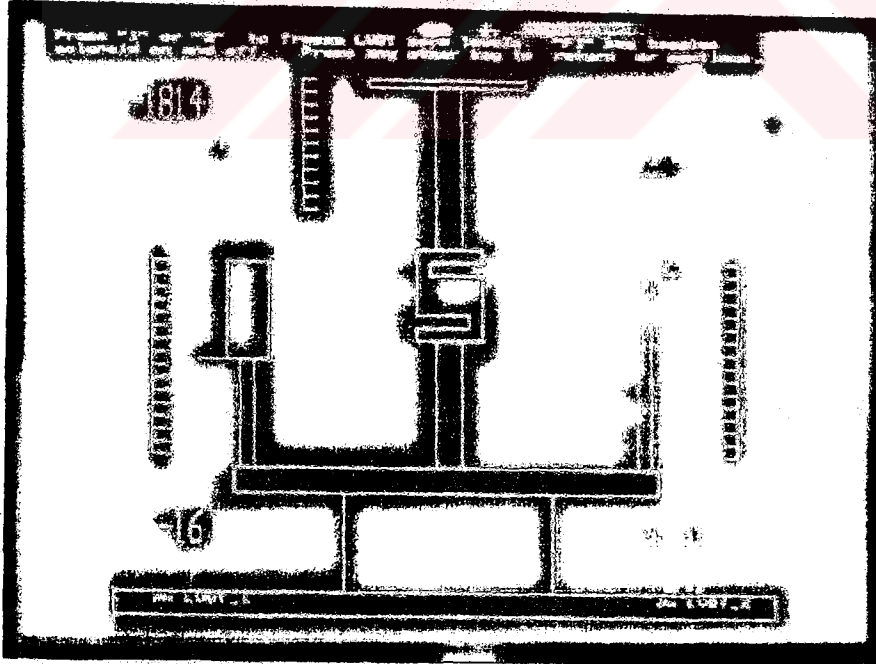
Şekil 5-6 – İstenilen test tipinin seçimine olanak sağlayan Test menüsü



Şekil 5-7 – Operatör tarafından seçilen deney koşullarının girildiği tekrarlı yük sünme deneyi edit menüsü



Şekil 5-8 – LVDT 'lerin doğru yerleşimi



Şekil 5-9 – LVDT'lerin hatalı yerleşimi (out of range)

5-3-3 Veri hesaplaması:

Test esnasında deformasyonlar LVDT'ler tarafından ölçülmekte ve aşağıdaki yöntemine uygun olarak hesaplandıktan sonra bilgisayar ekranına yansımaktadır:

$$\epsilon_p = (L_{3n} - L_1) / h \quad (5.1)$$

$$\epsilon_r = (L_{2n} - L_{3n}) / [h - (L_{3n} - L_1)] \quad (5.2)$$

$$E_r = \sigma / \epsilon_r \quad (5.3)$$

$$\sigma = F / A \quad (5.4)$$

Burada;

ϵ_p : Sürekli aksenal birim deformasyon

ϵ_r : Elastik (resilient) aksenal birim deformasyon

E_r : Resilyant (esneklik) modülü

G: Başlangıçtaki numune boy,

L_1 : Düşey yük uygulanmadan LVDT'lerin ilk "0" referans deplasmanları

L_{2n} : n vuruş sonunda uygulanan gerilme sonucunda LVDT'lerin maximum yer değiştirmesi

L_{3n} : n vuruş ardından (n+1). vuruş yüklenmeden hemen önce LVDT'lerdeki nihai yer değiştirme

σ : Maximum düşey gerilme

F : Maximum düşey kuvvet

A : Numunenin en kesit alanı

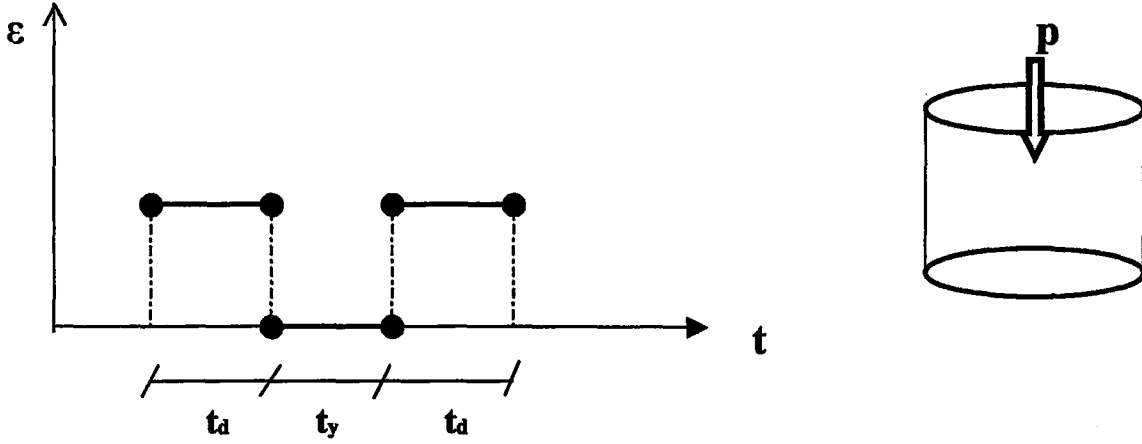
BÖLÜM ALTI**DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ**

6-1 Test koşulları

Çalışmanın amacı katkı ilavesinin asfalt betonunun tekrarlı yük altında kalıcı birim deformasyonuna ve esneklik modülüne etkisini incelemek olduğundan, test koşulları tüm deneylerde sabit tutulmuştur.

Deney koşulları	Sıcaklık T(°C)	Yükleme süresi ty (sn)	Dinlenme süresi ta (sn)	Alıştırma gerilmesi (kPa)	Test yüklemeye gerilmesi (kPa)
	50	1	1	50	500

Tekrarlı yük sünme testinde Marshall silindirik numunelerine silindirin daire eksenine doğrultusunda tekrarlı basınç yüklemesi yapılmaktadır. Her yüklemeye sonrası silindirin eksenine doğrultusunda oluşan deformasyon (ϵ_y) bilgisayar ekranından gözlenebilmektedir. Deformasyonlar ve numunenin eksenel boyuna bağlı olarak hesaplanan birim deformasyonlar uygun aralıklarla kaydedilmektedir.

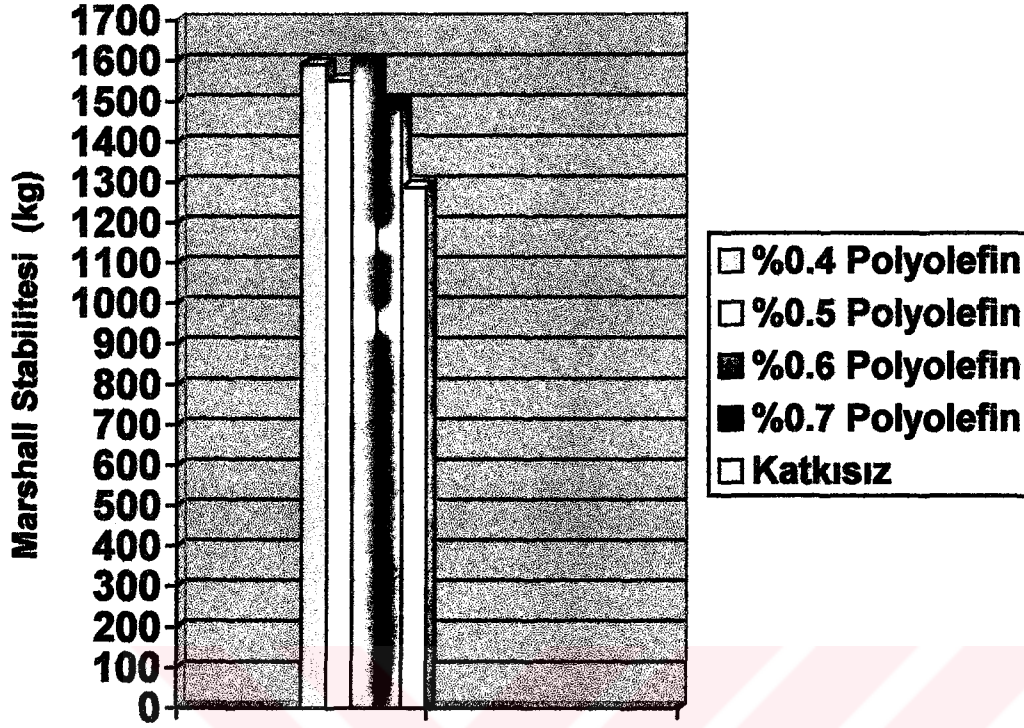


Şekil 6-1 Tekrarlı yük asfalt sünme deneyi ϵ -t grafiği

Yüklenme süresi (t_y) ve dinlenme süresinin (t_d) toplamından oluşan vuruş periyodu tüm deneylerde sabit tutularak 2 saniye alınmıştır. Vuruş periyodu (pulse period) arttıkça belirli deformasyonu görmek için gerekli vuruş sayısı da azalmaktadır.

6-2 Stabilite

Polyolefin katkılı asfalt beton numunelerin stabilitesi katkısız numunelere oranla yaklaşık %20 daha fazla çıkmıştır. Max. stabilite değerlerine ise %0.6 katkı oranında ulaşılmıştır. Tüm stabilite değerleri Yollar Fenni Şartnamesinde aşınma tabakaları için öngörülen min. 900 kg limitinin üzerindedir. Ancak karışım dizaynında şu da unutulmamalıdır ki; çok yüksek marshall stabilite değeri ve çok düşük akma değeri olan karışımlar genellikle arzu edilmez. Çünkü bu tür karışımlar daha rijit ve kırılabilir olma eğilimindedir ve ağır trafik hacmi altında kırılabilir. Deneyler sonucunda elde edilen stabilite değerlerinin grup ortalamalarına göre çizilmesiyle elde edilen grafik Şekil 6-2 'de verilmektedir.



Şekil 6-2 Numune stabilite değerlerinin grup ortalamaları

6-3 Esneklik modülü (Resilient modulus)

Esneklik modülü, henüz daha çok granüler malzemeler için geçerli bir kavram olup, bunun asfalt karışımlarına uygulanması nisbeten yeni bir konudur. Esneklik modülü kavramı SUPERPAVE dizayn metodunda hiç geçmemekte, AASHTO 93 dizayn metodun da ise yalnızca granüler malzeme için ele alınmaktadır.

Bitümlü karışımların laboratuvarında esneklik modülünün tayini için daha çok tek eksenli tekrarlı yük dolaylı çekme deneyi ve üç eksenli deneyler kullanılmaktadır.

Deney sonuç çıktılarından görülebileceği gibi esneklik modülü maksimum yükleme gerilmesinin (peak loading stress) geri dönebilen şekil değişimine (resilient strain) oranı olarak her numune için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Ancak deney sonuçlarının değerlendirilmesinden katkı kullanımının asfalt betonunun esneklik modülüne etkisi hakkında anlamlı bir sonuca ulaşılamamıştır.

Ancak yapılan araştırmalar esneklik modülünün; gerilme düzeyi, sıcaklık, hava boşluk oranı ve filler miktarından büyük ölçüde etkilendiğini göstermiştir. Bu bakımdan bu parametrelerdeki ufak bir değişikliğin esneklik modülüne büyük oranlarda yansımaları olasıdır.

6-4 Kalıcı Birim Deformasyon (Permanent strain)

Tekrarlı yük asfalt sünme deneyleri sonucunda katkılı ve katkısız numunelerden elde edilen deney sonuç çıktıları Ek-A, Ek-B, Ek-C, Ek-D ve Ek-E 'de verilmektedir. Her numune için ayrı olarak alınan deney sonuç çıktılarında kalıcı birim deformasyonlar ve esneklik modülü değerlerinin değişimi yarı logaritmik ölçeklerde eğriler yardımıyla görülebilmektedir. Yatay ekseninde toplam vuruş sayısı (pulse), düşey ekseninde ise kalıcı birim deformasyonlar (permanent strain) ve esneklik modülü (resilient modulus) değerleri izlenebilmektedir.

Deney sonuçlarının değerlendirilmesinde karşılaşılan başlıca zorluk, çıktı grafikleri logaritmik olduğundan değer okuma güçlüğüdür. Bu sebepten ötürü ancak belirli noktalar için kalıcı birim deformasyonları okumak mümkün olmaktadır. N=500 ve N=1000 vuruş sonrası oluşan kalıcı birim deformasyonlar Tablo 6-1 'de verilmektedir.

Örneğin Ek-A 'da sonuçları verilen KATKSZ1 numunesinin sonuçları göz önüne alındığında 841 vuruş sonunda katkısız numunede oluşan kalıcı birim deformasyon şu şekilde hesaplanabilir:

$\epsilon = \Delta L / L$ olduğundan, $\epsilon = 22889 \mu\epsilon$ (loading strain) ve $L = 63.5 \text{ mm}$

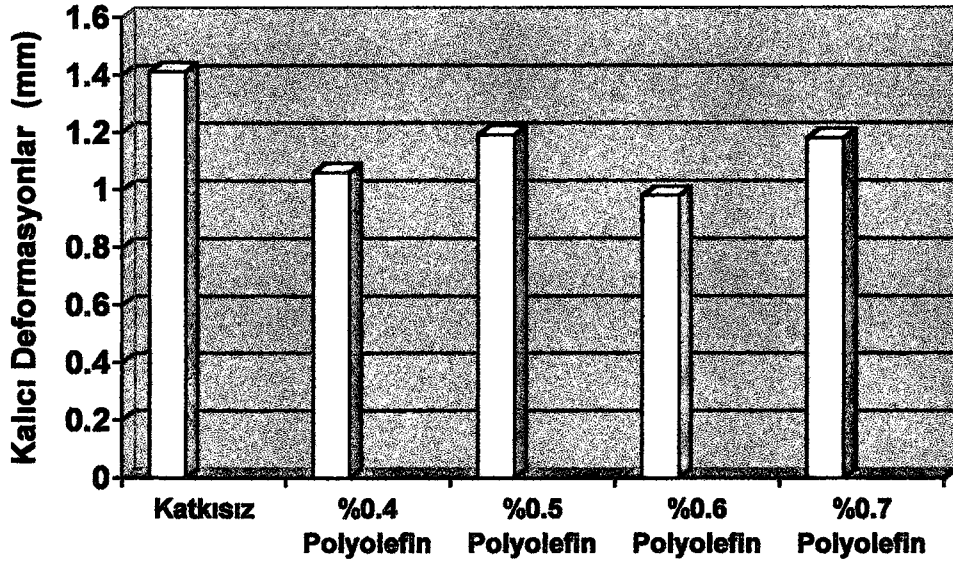
$\Delta L = 22889 \cdot 10^{-6} \cdot 63.5 = 1.45 \text{ mm}$ olmaktadır.

Yani 63.5 mm yüksekliğinde bir numunede 1.45 mm'lik kalıcı birim deformasyon meydana gelmiştir. Benzer şekilde hesaplanan tüm numunelerin mm cinsinden birim deformasyon değerleri de Tablo 6-1 'de verilmiştir.

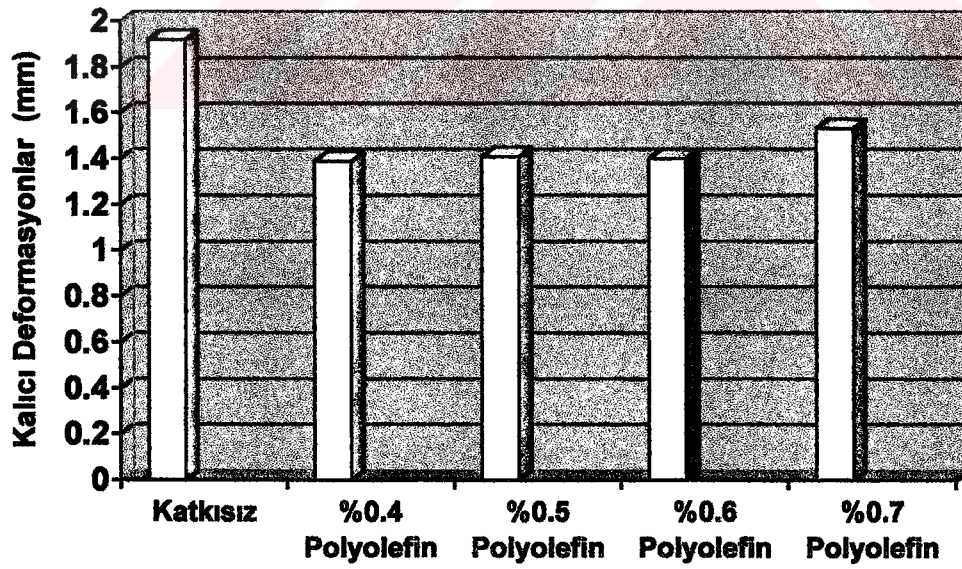
Tablo 6-1 N=500 ve N=1000 vuruş sonrası tüm numunelerde oluşan kalıcı şekil değişimleri ve grup ortalamaları

	N= 500	N=1000	N= 500	N= 1000
Katksız 1	$\epsilon = 0.0210$	$\epsilon = 0.0270$	1.33 mm	1.71 mm
Katksız 2	$\epsilon = 0.0205$	$\epsilon = 0.0290$	1.30 mm	1.84 mm
Katksız 3	$\epsilon = 0.0250$	$\epsilon = 0.0340$	1.59 mm	2.22 mm
	$\epsilon_{ort} = 0.0222$	$\epsilon_{ort} = 0.0300$	1.41 mm	1.92 mm
Katkı 1	$\epsilon = 0.0150$	$\epsilon = 0.0200$	0.95 mm	1.27 mm
Katkı 2	$\epsilon = 0.0180$	$\epsilon = 0.0230$	1.14 mm	1.46 mm
Katkı 3	$\epsilon = 0.0170$	$\epsilon = 0.0225$	1.08 mm	1.43 mm
	$\epsilon_{ort} = 0.0167$	$\epsilon_{ort} = 0.0218$	1.06 mm	1.39 mm
Katkı 4	$\epsilon = 0.0190$	$\epsilon = 0.0230$	1.21 mm	1.46 mm
Katkı 5	$\epsilon = 0.0180$	$\epsilon = 0.0215$	1.14 mm	1.36 mm
Katkı 6	$\epsilon = 0.0190$	$\epsilon = 0.0220$	1.21 mm	1.40 mm
	$\epsilon_{ort} = 0.0187$	$\epsilon_{ort} = 0.0222$	1.19 mm	1.41 mm
Katkı 7	-----	-----	-----	-----
Katkı 8	$\epsilon = 0.0150$	$\epsilon = 0.0220$	0.95 mm	1.40 mm
Katkı 9	$\epsilon = 0.0160$	$\epsilon = 0.0220$	1.02 mm	1.40 mm
	$\epsilon_{ort} = 0.0155$	$\epsilon_{ort} = 0.0220$	0.98 mm	1.40 mm
Katkı 10	$\epsilon = 0.0200$	$\epsilon = 0.0290$	1.27 mm	1.84 mm
Katkı 11	$\epsilon = 0.0190$	$\epsilon = 0.0225$	1.21 mm	1.43 mm
Katkı 12	$\epsilon = 0.0165$	$\epsilon = 0.0210$	1.05 mm	1.33 mm
	$\epsilon_{ort} = 0.0185$	$\epsilon_{ort} = 0.0240$	1.18 mm	1.53 mm

Tablo 6-1'de sunulan değerlerin incelenmesinden katkılı numunelerde daha az kalıcı deformasyon olduğu görülmektedir. Katkı kullanımı kalıcı deformasyonları ortalama % 25 azaltmaktadır.



Şekil 6-3 N=500 vuruş sonrası numunelerde oluşan kalıcı deformasyonların grup ortalamaları



Şekil 6-4 N=1000 vuruş sonrası numunelerde oluşan kalıcı deformasyonların grup ortalamaları

Ancak plentte yapılan bir karşım modifikasyonunun asfalt betonuna daha da iyi bir performans kazandırması olasıdır. şöyle ki: İçinde sıcak agrega bulunan asfalt tamburunda veya mikserinde çok yüksek kesme kuvvetleri (shear force) oluşmaktadır. Kesme kuvvetleri yüksek ise plentte kısa sürede daha homojen bir karışım elde edilebilmektedir. Bu çalışmada numuneler hazırlanırken karıştırma işleminin el ile yapıldığı düşünülürse, bu şekilde oluşan kesme kuvvetleri granüle haldeki katkının tam olarak parçalanmasına ve erimesine yetmemiş olabilir. Bunu önlemek için numuneler hazırlanırken agrega ile kuru karışım süresi arttırıldıysa da yeterli olmaması mümkündür.



BÖLÜM YEDİ

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında tekrarlı yük altında asfalt sünme deneyleri katkılı ve katkısız toplam 15 numune üzerinde gerçekleştirilmiştir. Diğer 15 numune ile de stabilite ve akma deneyleri yapılmıştır.

Katkı ilavesinin asfalt betonunun stabilitesini olumlu etkilediği açıktır. Polyolefin katkılı asfalt beton numunelerin stabilitesi katkısız numunelere oranla ortalama % 20 daha fazla çıkmıştır. Maksimum stabiliteye %0.6 katkı oranında ulaşılmış olup, 1680 kg olarak saptanmıştır.

Polyolefin katkılı numunelerde katkısızlara oranla daha az kalıcı deformasyon oluşmuştur. Katkı kullanımı kalıcı deformasyonları ortalama % 25 azaltmıştır. Ancak plentte yapılacak bir karışım modifikasyonunun laboratuvar ortamına göre bazı avantajları vardır. Bu da katkılı asfalt betonunun performansını daha da olumlu yönde etkileyecektir. Şöyle ki: İçinde sıcak agrega bulunan plent tamburunda veya mikserinde çok yüksek kesme kuvvetleri (shear force) oluşmaktadır. Kesme kuvvetleri yüksek ise plentte kısa sürede daha homojen bir karışım elde edilebilmektedir. Ancak bu çalışmada numune hazırlanırken karıştırma el ile yapılmış ,plentte oluşan kesme kuvvetlerine ulaşmak mümkün olamamıştır.

Doğrudan plentten katkılı ve katkısız numune almak suretiyle briket hazırlamak mümkün olsaydı daha sağlıklı sonuçlar elde edilebilirdi. Ayrıca asfalt betonunun şantiyedeki haline daha yakın olması bakımından, taşıma-serme-sıkıştırma sürecini temsil etme ve bu süre zarfında oluşacak katkı erimesini de sağlamak bakımından hazırlanan asfalt beton karışımların 30 dakika kadar süreyle etüvde uygun sıcaklıkta saklandıktan sonra sıkıştırılması uygun olacaktır.

Deney sonuçlarının değerlendirilmesinden, katkı kullanımının asfalt betonunun esneklik modülüne etkisi hakkında anlamlı bir sonuca ulaşamamıştır. Yapılan araştırmalar esneklik modülünün; gerilme düzeyi, sıcaklık, hava boşluk oranı ve filler miktarından büyük ölçüde etkilendiğini göstermiştir. Bu bakımdan bu parametrelerdeki ufak bir değişikliğin esneklik modülüne büyük oranlarda yansımaları olasıdır. Esneklik modülü ile ilgili yapılacak bir çalışmanın daha geniş kapsamlı tutulması ve daha fazla numune üzerinde çalışılması gereklidir.

Asfalt numuneler üzerinde oluşacak deformasyon bakımından tekrarlı yük asfalt sünme deneyleri, statik yük asfalt sünme deneylerine nazaran daha tahripkardır. Bu yüzden bu tez dahilinde tekrarlı yük asfalt sünme deneyleri kullanılmıştır. Ancak farklı bir çalışma için statik yük asfalt sünme deneylerini kullanmak mümkündür.

Deneylere başlamadan önce belirli bir vuruş sayısı belirlemek (N=1000, N=2000 gibi) ve bu vuruş sayısına ulaşıldığında deneyleri durdurmak uygun olacaktır. Böylelikle belirli bir vuruş sayısı için numuneler arasında kalıcı birim deformasyonların ve geri dönebilen şekil değişimlerinin kıyaslamasını yapmak daha kolay olacaktır. Ancak bu vuruş sayısı belirlenirken numunelerde kırılma oluşabilecek kritik noktalara yaklaşmamaya özen gösterilmelidir.

Ayrıca polyolefin dışında farklı tip katkı kullanmak suretiyle çalışma genişletilebilir. Katkı oranı sabit tutularak sıcaklık, yükleme süresi veya dinlenme süresindeki değişimin deformasyonlar üzerindeki etkisi de ayrı bir çalışma konusu yapılabilir.

KAYNAKLAR

AASHTO Guide for Design of Pavement Structures (1993), Published by the American Association Of State Highway And Transportation Officials.

Alderson,A.J& Tredrea, P.F& Karim, M.R.& Oliver J.W.H.(1994).Results of the laboratory program associated with the ALF asphalt deformation trial.AARB Transport Research Report No:272, Australia

Archilla,A.R.(2000,August). Development Of a Pavement Rutting Model From Experimental Data, Journal Of Transportation Engineering,pp.291-293.

Brien,D.& Hills,J.F.& Van de Loo,P.J.(1974).The Correlation of Rutting and Creep Tests on Asphalt Mixes, Published in Holland

Emery,J.J.(1983). Properties Of Flexible Pavement Materials, Toronto University Press.

Gartner,Jr.W.(1989).Asphalt Concrete Mix Design, Development Of More Rational Approaches, Asphalt Institute-Tallahassee.

Hult,J.A.H.(1966). Creep In Engineering Structures,U.S: Blaisdell Publishing Company.

Harrigan ,E.T.& Huber, G.A.& Kaminsky,R.J. & Kennedy,T.W.(1994). Superior Performing Asphalt Pavements (SUPERPAVE), The product of the SHRP Asphalt Research Program, Washington DC

Heukelom, W.& Hills, J.F.(1969).The Modulus and Poisson's Ratio of Asphalt Mixes,
Journal of Institute of Petroleum

Hoiberg, A.J.(1965).Bituminous Materials. Asphalts, Tars and Pitches, Washington
DC

Kahramangil, M.& Önal, M.A.(1993).Bitümlü Karışımlar Laboratuvar El Kitabı,
Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı, Ankara

Lekarp, F.& Isacsson, U.(2000, Feb). Model Prediction of Rutting in Asphaltic
Concrete, Journal of Transportation Engineering, pp.448-452

Lu, X.(1997).On Polymer Modified Road Bitumens, Published in Stockholm.

Numm, M.E.(1986). Prediction of Permanent Deformation in Bituminous Pavement
Layers. Published in UK

Pagen, C.A.(1968). Size and Thermorheological Relationships of Asphaltic Concrete,
Association of Asphalt Paving Technologists

Shuler, S.& Wardlaw, K.R.(1992).Polymer Modified Asphalt Binders, Published In
UK.

Uluçaylı, M.(2000).3. Ulusal Asfalt Sempozyumu ve Sergisi, YTMK yayın no:18

Uluğtekin, E.(1999).Creep Properties Of Asphaltic Concrete Under Repeated
Loading, ODTÜ Master Tezi.

UMATTA Universal Materials Testing Apparatus For Asphalt and Unbound
Specimens Reference and Operating Manual.(1992)

Yoder,E.J. & Witczak,M.W.(1975). Principles of Pavement Design.(2nd ed.),
Washington DC.

Yollar Fenni Şartnamesi .(1994). KGM Yayın No.170/2, Ankara



EK - A

KATKISIZ NUMUNELER

specimen identification: KATKSZ1

comment: katki yok

comment:

comment:

specimen length (mm): 63.5

specimen diameter (mm): 100.0

set temperature (°C): 50.0

pulse width (ms): 1000

pulse period (ms): 2000

test termination strain ($\mu\epsilon$): 100000

... or terminal pulse count: 1000000

conditioning stress (kPa): 50

test loading stress (kPa): 500

conditioning time (minutes): 1

preload rest time (minutes): 1

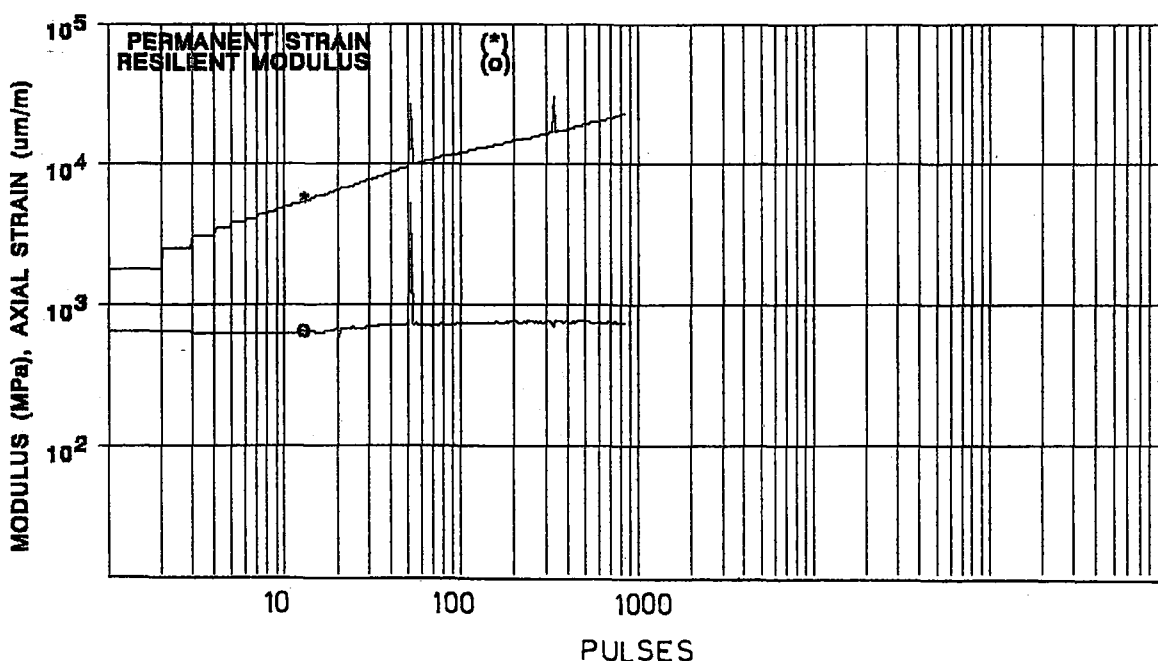
recovery time (minutes): 5

binary file name: C:\UMAT\KATKSZ1.BIN

ASCII output data file name: C:\UMAT\KATKSZ1.CSV

final reading of measured parameters:

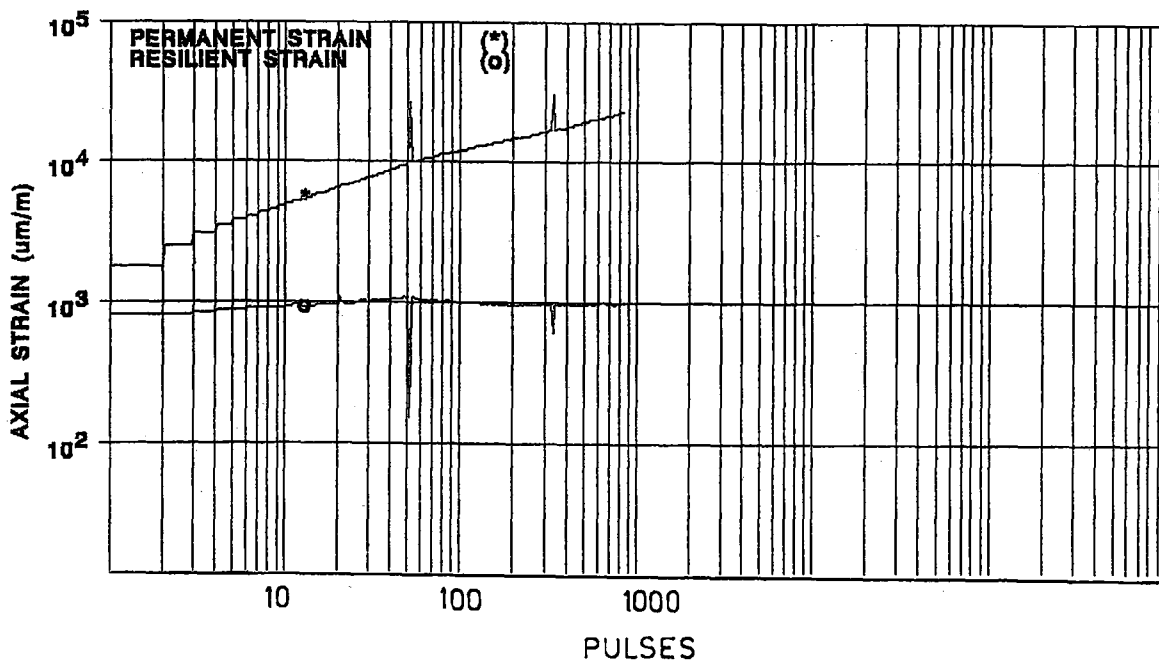
conditioning strain ($\mu\epsilon$)	11486	condition time (hh:mm:ss)	00:01:00
preload rest strain ($\mu\epsilon$)	11031	rest time (hh:mm:ss)	00:01:00
loading strain ($\mu\epsilon$)	22945	loading time (hh:mm:ss)	00:28:02
recovery strain ($\mu\epsilon$)	22833	recovery time (hh:mm:ss)	00:05:00
conditioning stress (kPa)	83	total loading pulse count	841
peak loading stress (kPa)	680	skin temperature (°C)	49.3
resilient strain ($\mu\epsilon$)	1007	core temperature (°C)	49.0
resilient modulus (MPa)	675.5		



specimen identification: KATKSZ1
 comment: katki yok
 comment:
 comment:
 specimen length (mm): 63.5
 specimen diameter (mm): 100.0
 set temperature (°C): 50.0
 pulse width (ms): 1000
 pulse period (ms): 2000
 test termination strain (μϵ): 100000
 ... or terminal pulse count: 1000000
 conditioning stress (kPa): 50
 test loading stress (kPa): 500
 conditioning time (minutes): 1
 preload rest time (minutes): 1
 recovery time (minutes): 5
 binary file name: C:\UMAT\KATKSZ1.BIN
 ASCII output data file name: C:\UMAT\KATKSZ1.CSV

final reading of measured parameters:

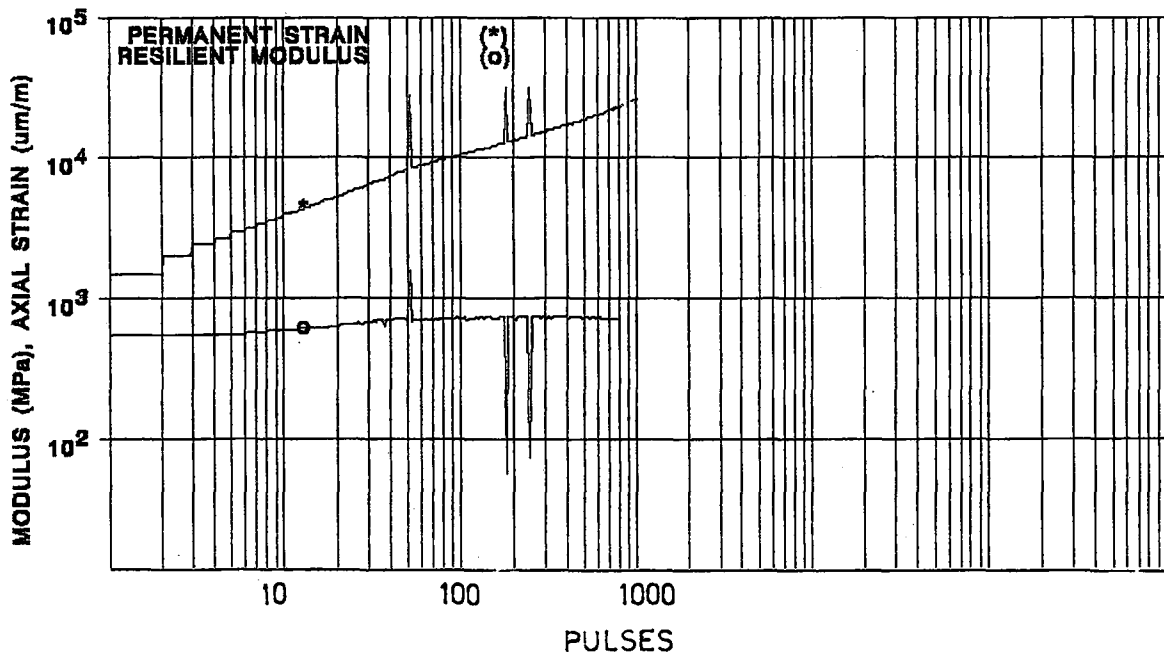
conditioning strain (μϵ)	11486	condition time (hh:mm:ss)	00:01:00
preload rest strain (μϵ)	11031	rest time (hh:mm:ss)	00:01:00
loading strain (μϵ)	22889	loading time (hh:mm:ss)	00:28:02
recovery strain (μϵ)	22833	recovery time (hh:mm:ss)	00:05:01
conditioning stress (kPa)	90	total loading pulse count	841
peak loading stress (kPa)	740	skin temperature (°C)	49.4
resilient strain (μϵ)	997	core temperature (°C)	49.0
resilient modulus (MPa)	742.1		



specimen identification: KATKSZ2
comment: katki yok
comment:
comment:
specimen length (mm): 63.5
specimen diameter (mm): 100.0
set temperature (°C): 50.0
pulse width (ms): 1000
pulse period (ms): 2000
test termination strain ($\mu\epsilon$): 100000
... or terminal pulse count: 1000000
conditioning stress (kPa): 50
test loading stress (kPa): 500
conditioning time (minutes): 1
preload rest time (minutes): 1
recovery time (minutes): 5
binary file name: C:\UMAT\KATKSZ2.BIN
ASCII output data file name: C:\UMAT\KATKSZ2.CSV

final reading of measured parameters:

conditioning strain ($\mu\epsilon$)	5820	condition time (hh:mm:ss)	00:01:00
preload rest strain ($\mu\epsilon$)	5296	rest time (hh:mm:ss)	00:01:00
loading strain ($\mu\epsilon$)	22850	loading time (hh:mm:ss)	00:26:02
recovery strain ($\mu\epsilon$)	22841	recovery time (hh:mm:ss)	00:05:01
conditioning stress (kPa)	91	total loading pulse count	781
peak loading stress (kPa)	736	skin temperature (°C)	47.1
resilient strain ($\mu\epsilon$)	1029	core temperature (°C)	47.3
resilient modulus (MPa)	715.7		



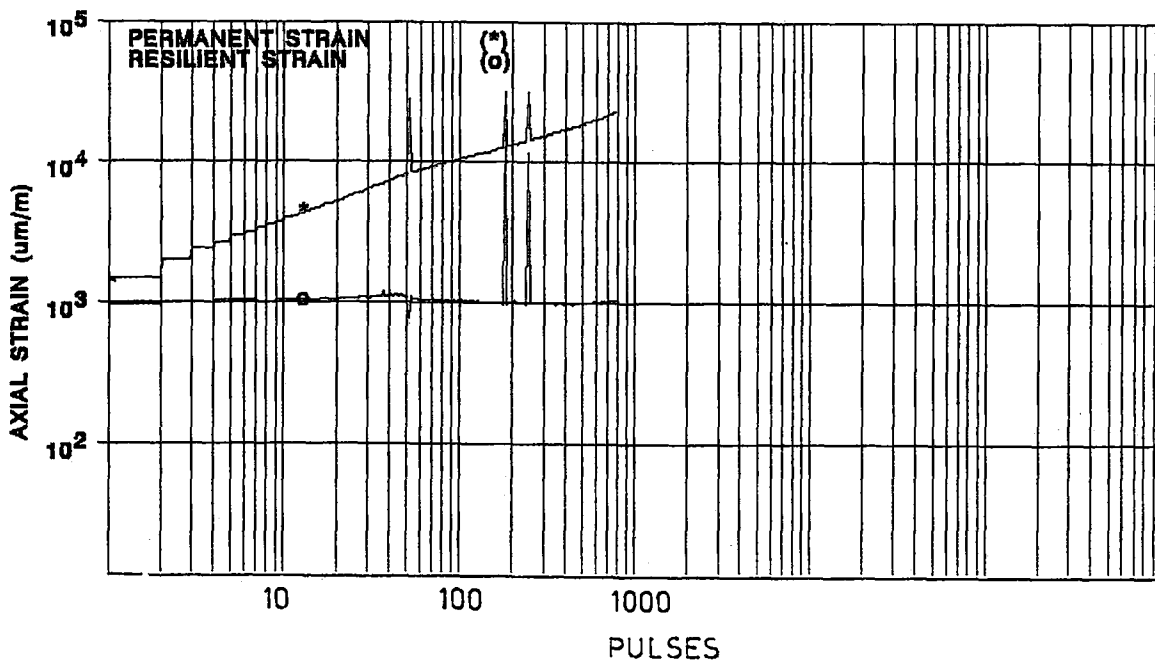
INDUSTRIAL PROCESS CONTROLS Limited
Universal Material Testing Apparatus

REPEATED LOAD ASPHALT CREEP TEST
Thursday December 21, 2000 5:28 AM

specimen identification: KATKSZ2
comment: katki yok
comment:
comment:
specimen length (mm): 63.5
specimen diameter (mm): 100.0
set temperature (°C): 50.0
pulse width (ms): 1000
pulse period (ms): 2000
test termination strain ($\mu\epsilon$): 100000
... or terminal pulse count: 1000000
conditioning stress (kPa): 50
test loading stress (kPa): 500
conditioning time (minutes): 1
preload rest time (minutes): 1
recovery time (minutes): 5
binary file name: C:\UMAT\KATKSZ2.BIN
ASCII output data file name: C:\UMAT\KATKSZ2.CSV

final reading of measured parameters:

conditioning strain ($\mu\epsilon$)	5820	condition time (hh:mm:ss)	00:01:00
preload rest strain ($\mu\epsilon$)	5296	rest time (hh:mm:ss)	00:01:00
loading strain ($\mu\epsilon$)	22850	loading time (hh:mm:ss)	00:26:02
recovery strain ($\mu\epsilon$)	22841	recovery time (hh:mm:ss)	00:05:01
conditioning stress (kPa)	91	total loading pulse count	781
peak loading stress (kPa)	736	skin temperature (°C)	47.1
resilient strain ($\mu\epsilon$)	1029	core temperature (°C)	47.3
resilient modulus (MPa)	715.7		

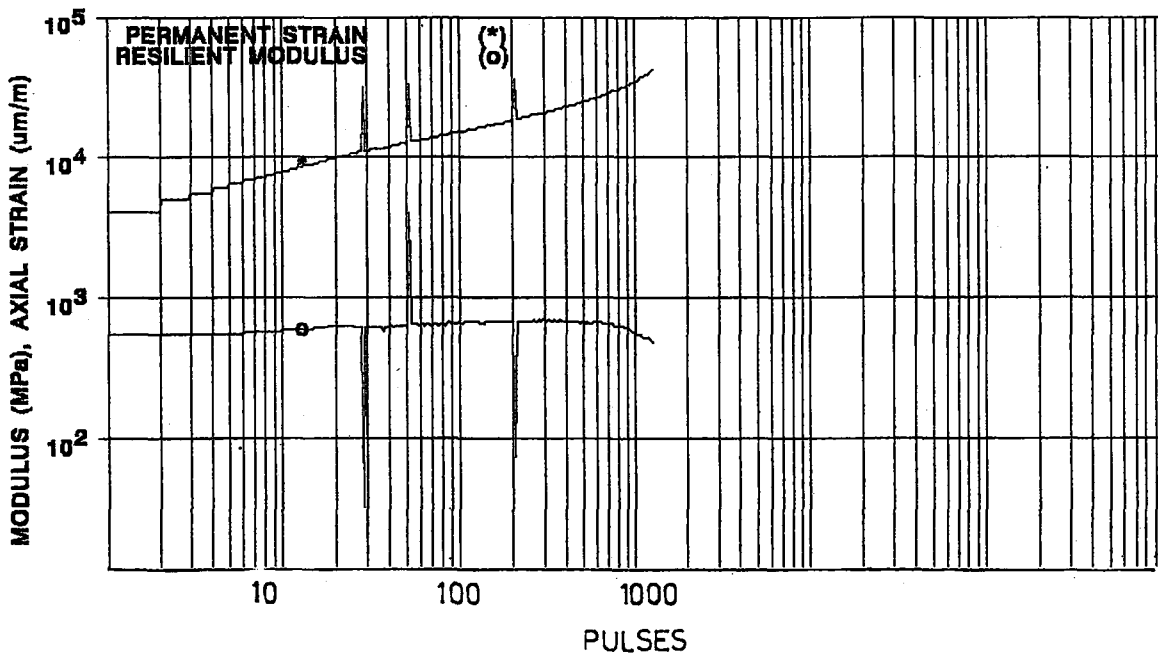


specimen identification: KATKSZ3
comment: katkî yok
comment: 75 darbe
comment:

specimen length (mm): 63.5
specimen diameter (mm): 100.0
set temperature (°C): 50.0
pulse width (ms): 1000
pulse period (ms): 2000
test termination strain ($\mu\epsilon$): 100000
... or terminal pulse count: 1000000
conditioning stress (kPa): 50
test loading stress (kPa): 500
conditioning time (minutes): 1
preload rest time (minutes): 1
recovery time (minutes): 5
binary file name: C:\UMAT\KATKSZ3.BIN
ASCII output data file name: C:\UMAT\KATKSZ3.CSV

final reading of measured parameters:

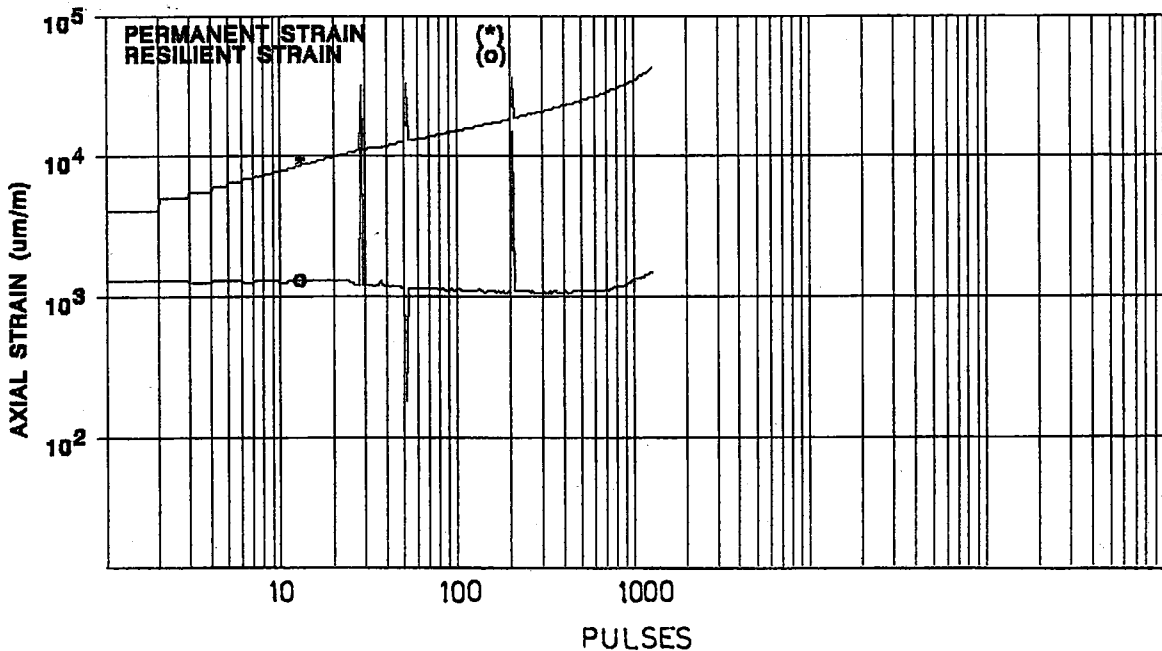
conditioning strain ($\mu\epsilon$)	4588	condition time (hh:mm:ss)	00:01:00
preload rest strain ($\mu\epsilon$)	4231	rest time (hh:mm:ss)	00:01:00
loading strain ($\mu\epsilon$)	41827	loading time (hh:mm:ss)	00:42:00
recovery strain ($\mu\epsilon$)	41807	recovery time (hh:mm:ss)	00:05:01
conditioning stress (kPa)	80	total loading pulse count	1260
peak loading stress (kPa)	737	skin temperature (°C)	50.3
resilient strain ($\mu\epsilon$)	1508	core temperature (°C)	51.2
resilient modulus (MPa)	488.6		



specimen identification: KATKSZ3
comment: katkî yok
comment: 75 darbe
comment:
specimen length (mm): 63.5
specimen diameter (mm): 100.0
set temperature (°C): 50.0
pulse width (ms): 1000
pulse period (ms): 2000
test termination strain ($\mu\epsilon$): 100000
... or terminal pulse count: 1000000
conditioning stress (kPa): 50
test loading stress (kPa): 500
conditioning time (minutes): 1
preload rest time (minutes): 1
recovery time (minutes): 5
binary file name: C:\UMAT\KATKSZ3.BIN
ASCII output data file name: C:\UMAT\KATKSZ3.CSV

final reading of measured parameters:

conditioning strain ($\mu\epsilon$)	4588	condition time (hh:mm:ss)	00:01:00
preload rest strain ($\mu\epsilon$)	4231	rest time (hh:mm:ss)	00:01:00
loading strain ($\mu\epsilon$)	41827	loading time (hh:mm:ss)	00:42:00
recovery strain ($\mu\epsilon$)	41807	recovery time (hh:mm:ss)	00:05:01
conditioning stress (kPa)	80	total loading pulse count	1260
peak loading stress (kPa)	737	skin temperature (°C)	50.3
resilient strain ($\mu\epsilon$)	1508	core temperature (°C)	51.2
resilient modulus (MPa)	488.6		



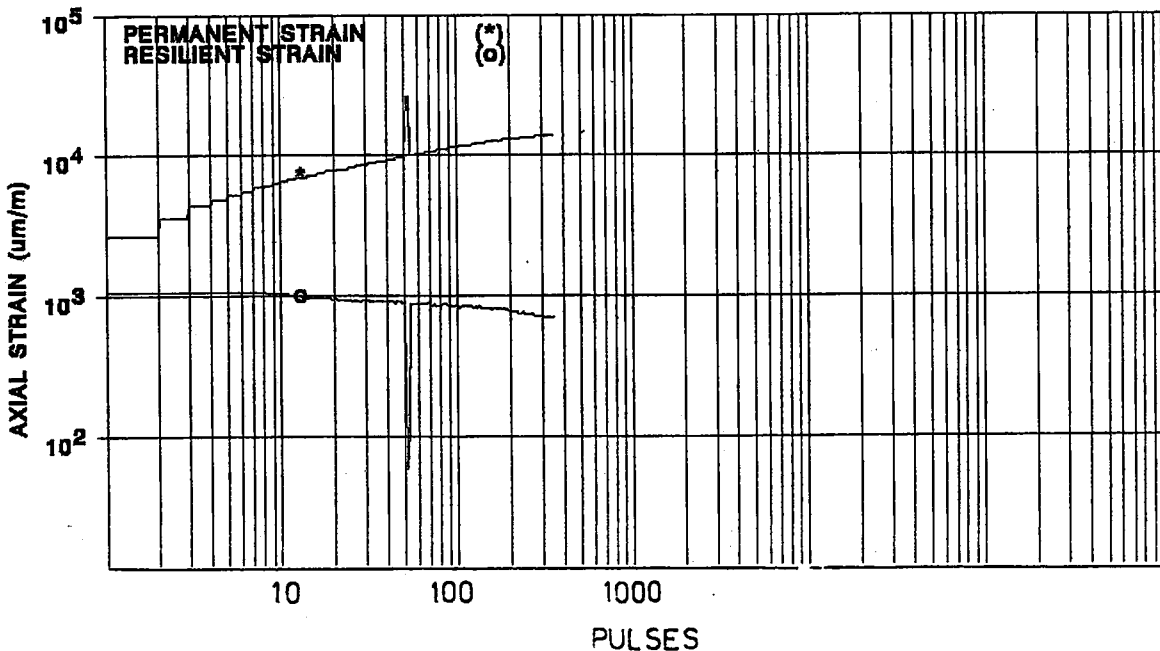
EK – B

%0.4 KATKILI NUMUNELER

specimen identification: KATKILI1
comment: %0.4
comment:
comment:
specimen length (mm): 63.5
specimen diameter (mm): 100.0
set temperature (°C): 50.0
pulse width (ms): 1000
pulse period (ms): 2000
test termination strain ($\mu\epsilon$): 100000
... or terminal pulse count: 1000000
conditioning stress (kPa): 50
test loading stress (kPa): 500
conditioning time (minutes): 1
preload rest time (minutes): 1
recovery time (minutes): 1
binary file name: C:\UMAT\KATKILI1.BIN
ASCII output data file name: C:\UMAT\KATKILI1.CSV

final reading of measured parameters:

conditioning strain ($\mu\epsilon$)	5069	condition time (hh:mm:ss)	00:01:00
preload rest strain ($\mu\epsilon$)	4622	rest time (hh:mm:ss)	00:01:00
loading strain ($\mu\epsilon$)	14034	loading time (hh:mm:ss)	00:11:50
recovery strain ($\mu\epsilon$)	13833	recovery time (hh:mm:ss)	00:00:25
conditioning stress (kPa)	76	total loading pulse count	355
peak loading stress (kPa)	540	skin temperature (°C)	46.0
resilient strain ($\mu\epsilon$)	688	core temperature (°C)	38.0
resilient modulus (MPa)	785.5		



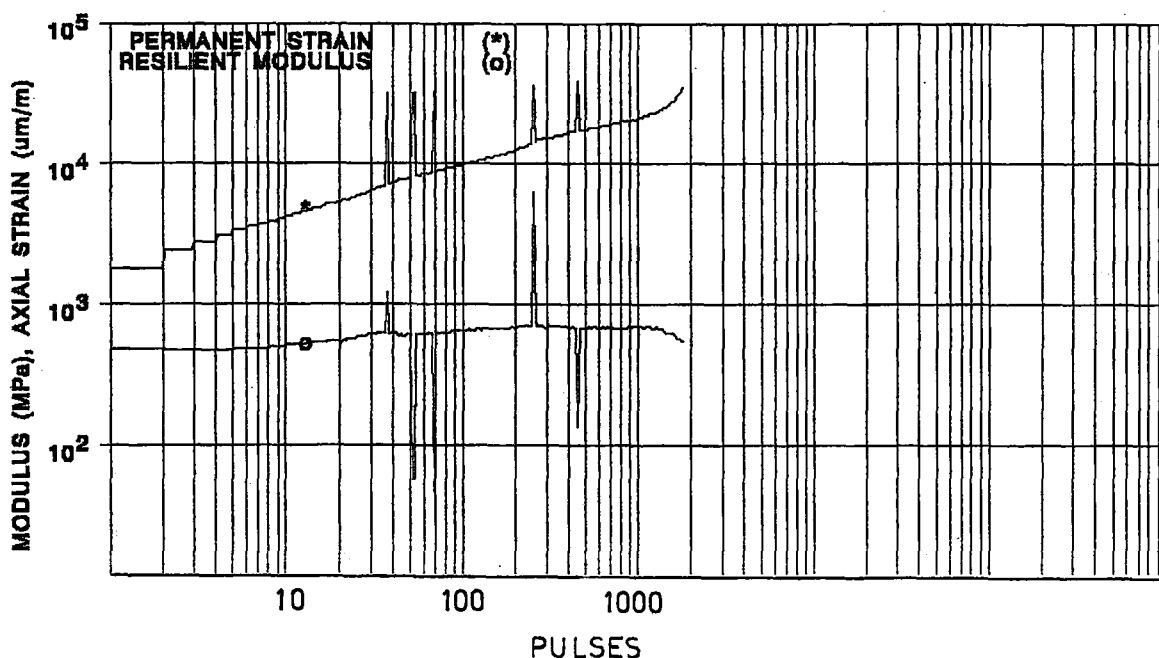
INDUSTRIAL PROCESS CONTROLS Limited
Universal Material Testing Apparatus

REPEATED LOAD ASPHALT CREEP TEST
Wednesday December 20, 2000 11:49 PM

specimen identification: KATKI2
comment: %0.4
comment:
comment:
specimen length (mm): 63.5
specimen diameter (mm): 100.0
set temperature (°C): 50.0
pulse width (ms): 1000
pulse period (ms): 2000
test termination strain ($\mu\epsilon$): 100000
... or terminal pulse count: 1000000
conditioning stress (kPa): 50
test loading stress (kPa): 500
conditioning time (minutes): 1
preload rest time (minutes): 1
recovery time (minutes): 5
binary file name: C:\UMAT\KATKI2.BIN
ASCII output data file name: C:\UMAT\KATKI2.CSV

final reading of measured parameters:

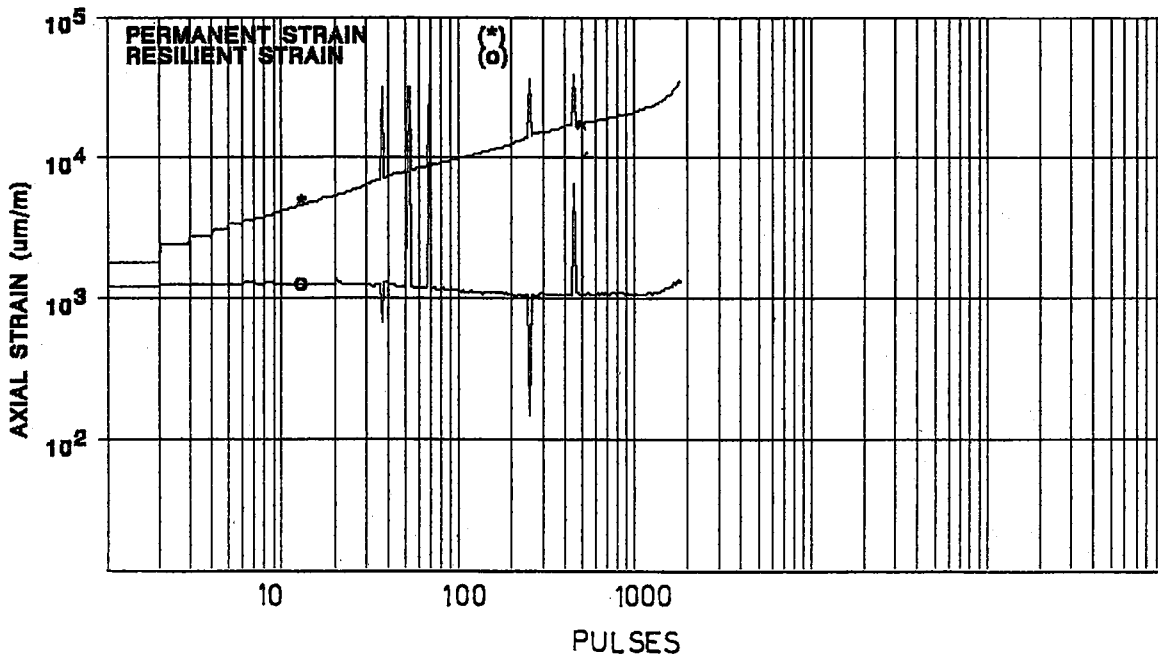
conditioning strain ($\mu\epsilon$)	5518	condition time (hh:mm:ss)	00:01:00
preload rest strain ($\mu\epsilon$)	4850	rest time (hh:mm:ss)	00:01:00
loading strain ($\mu\epsilon$)	34974	loading time (hh:mm:ss)	01:00:10
recovery strain ($\mu\epsilon$)	51427	recovery time (hh:mm:ss)	00:01:58
conditioning stress (kPa)	81	total loading pulse count	1805
peak loading stress (kPa)	672	skin temperature (°C)	48.8
resilient strain ($\mu\epsilon$)	1389	core temperature (°C)	48.7
resilient modulus (MPa)	484.0		



specimen identification: KATKI2
comment: %0.4
comment:
comment:
specimen length (mm): 63.5
specimen diameter (mm): 100.0
set temperature (°C): 50.0
pulse width (ms): 1000
pulse period (ms): 2000
test termination strain ($\mu\epsilon$): 100000
... or terminal pulse count: 1000000
conditioning stress (kPa): 50
test loading stress (kPa): 500
conditioning time (minutes): 1
preload rest time (minutes): 1
recovery time (minutes): 5
binary file name: C:\UMAT\KATKI2.BIN
ASCII output data file name: C:\UMAT\KATKI2.CSV

final reading of measured parameters:

conditioning strain ($\mu\epsilon$)	5518	condition time (hh:mm:ss)	00:01:00
preload rest strain ($\mu\epsilon$)	4850	rest time (hh:mm:ss)	00:01:00
loading strain ($\mu\epsilon$)	34792	loading time (hh:mm:ss)	01:00:10
recovery strain ($\mu\epsilon$)	51427	recovery time (hh:mm:ss)	00:01:59
conditioning stress (kPa)	88	total loading pulse count	1805
peak loading stress (kPa)	731	skin temperature (°C)	49.1
resilient strain ($\mu\epsilon$)	1387	core temperature (°C)	48.8
resilient modulus (MPa)	526.9		



INDUSTRIAL PROCESS CONTROLS Limited
Universal Material Testing Apparatus

REPEATED LOAD ASPHALT CREEP TEST
Thursday December 21, 2000 1:17 AM

specimen identification: KATKI3

comment: %0.4

comment:

comment:

specimen length (mm): 63.7

specimen diameter (mm): 100.0

set temperature (°C): 50.0

pulse width (ms): 1000

pulse period (ms): 2000

test termination strain ($\mu\epsilon$): 100000

... or terminal pulse count: 1000000

conditioning stress (kPa): 50

test loading stress (kPa): 500

conditioning time (minutes): 1

preload rest time (minutes): 1

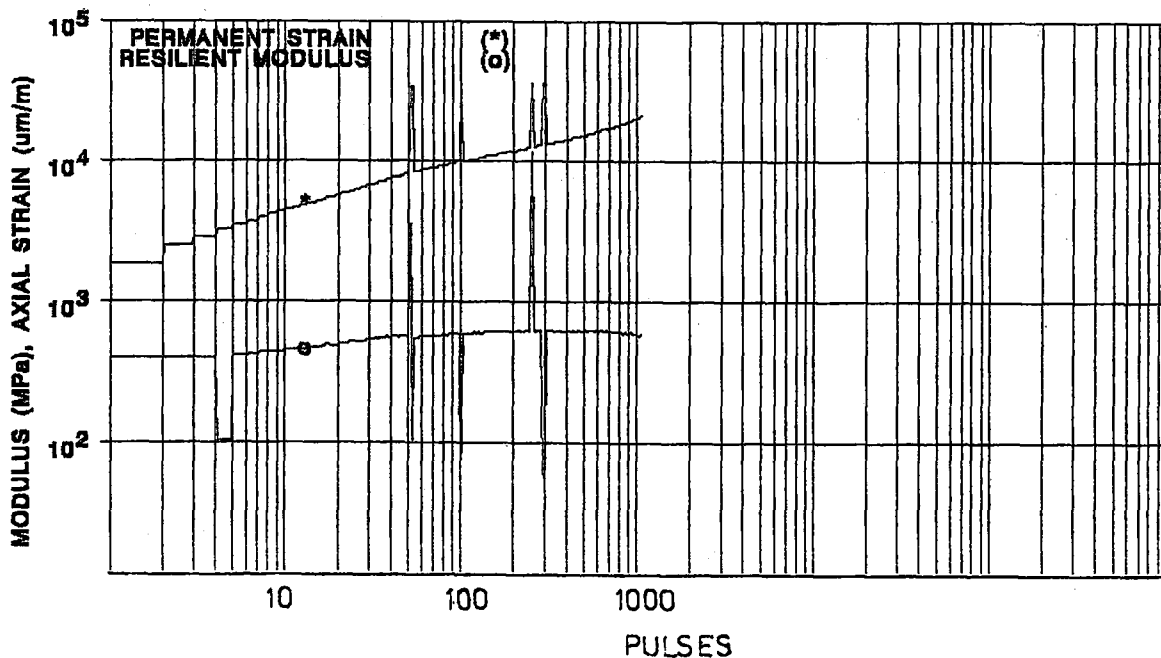
recovery time (minutes): 5

binary file name: C:\UMAT\KATKI3.BIN

ASCII output data file name: C:\UMAT\KATKI3.CSV

final reading of measured parameters:

conditioning strain ($\mu\epsilon$)	6743	condition time (hh:mm:ss)	00:01:00
preload rest strain ($\mu\epsilon$)	5930	rest time (hh:mm:ss)	00:01:00
loading strain ($\mu\epsilon$)	21008	loading time (hh:mm:ss)	00:35:32
recovery strain ($\mu\epsilon$)	20634	recovery time (hh:mm:ss)	00:05:01
conditioning stress (kPa)	90	total loading pulse count	1066
peak loading stress (kPa)	741	skin temperature (°C)	49.3
resilient strain ($\mu\epsilon$)	1269	core temperature (°C)	49.6
resilient modulus (MPa)	583.9		



INDUSTRIAL PROCESS CONTROLS Limited
Universal Material Testing Apparatus

REPEATED LOAD ASPHALT CREEP TEST
Thursday December 21, 2000 1:17 AM

specimen identification: KATKI3

comment: %0.4

comment:

comment:

specimen length (mm): 63.7

specimen diameter (mm): 100.0

set temperature (°C): 50.0

pulse width (ms): 1000

pulse period (ms): 2000

test termination strain ($\mu\epsilon$): 100000

... or terminal pulse count: 1000000

conditioning stress (kPa): 50

test loading stress (kPa): 500

conditioning time (minutes): 1

preload rest time (minutes): 1

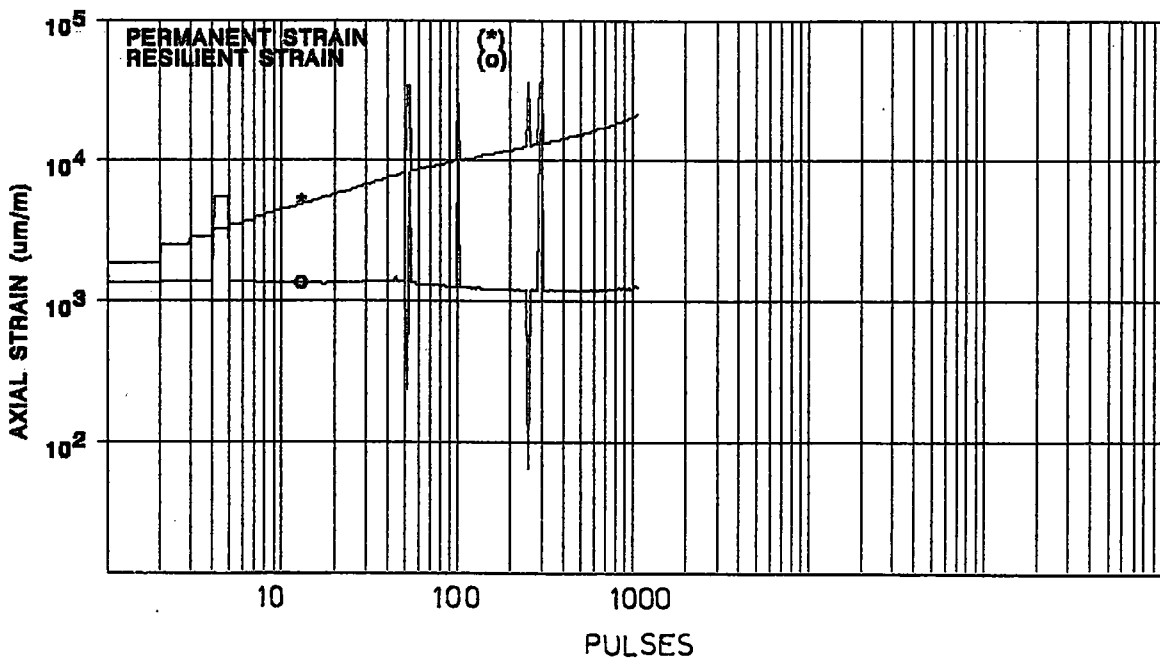
recovery time (minutes): 5

binary file name: C:\UMAT\KATKI3.BIN

ASCII output data file name: C:\UMAT\KATKI3.CSV

final reading of measured parameters:

conditioning strain ($\mu\epsilon$)	6743	condition time (hh:mm:ss)	00:01:00
preload rest strain ($\mu\epsilon$)	5930	rest time (hh:mm:ss)	00:01:00
loading strain ($\mu\epsilon$)	21008	loading time (hh:mm:ss)	00:35:32
recovery strain ($\mu\epsilon$)	20634	recovery time (hh:mm:ss)	00:05:01
conditioning stress (kPa)	90	total loading pulse count	1066
peak loading stress (kPa)	741	skin temperature (°C)	49.3
resilient strain ($\mu\epsilon$)	1269	core temperature (°C)	49.6
resilient modulus (MPa)	583.9		



EK – C

%0.5 KATKILI NUMUNELER

specimen identification: KATKILI4

comment: %0.5

comment:

comment:

specimen length (mm): 64.0

specimen diameter (mm): 100.0

set temperature (°C): 50.0

pulse width (ms): 1000

pulse period (ms): 2000

test termination strain ($\mu\epsilon$): 100000

... or terminal pulse count: 1000000

conditioning stress (kPa): 50

test loading stress (kPa): 500

conditioning time (minutes): 1

preload rest time (minutes): 1

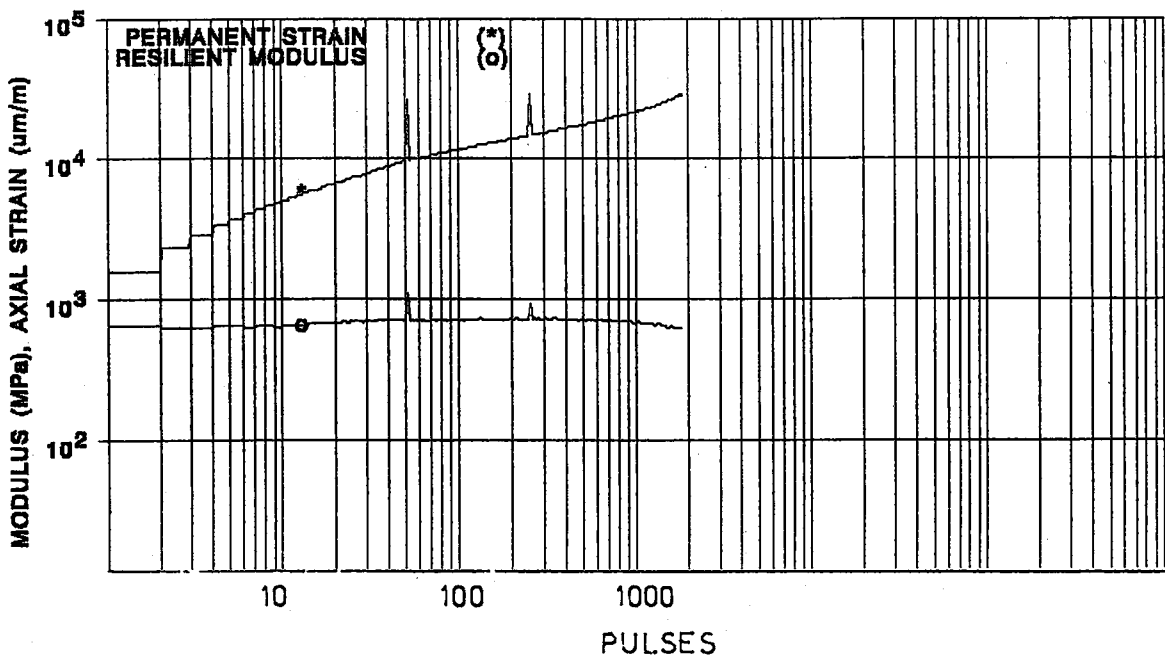
recovery time (minutes): 1

binary file name: C:\UMAT\KATKILI4.BIN

ASCII output data file name: C:\UMAT\KATKILI4.CSV

final reading of measured parameters:

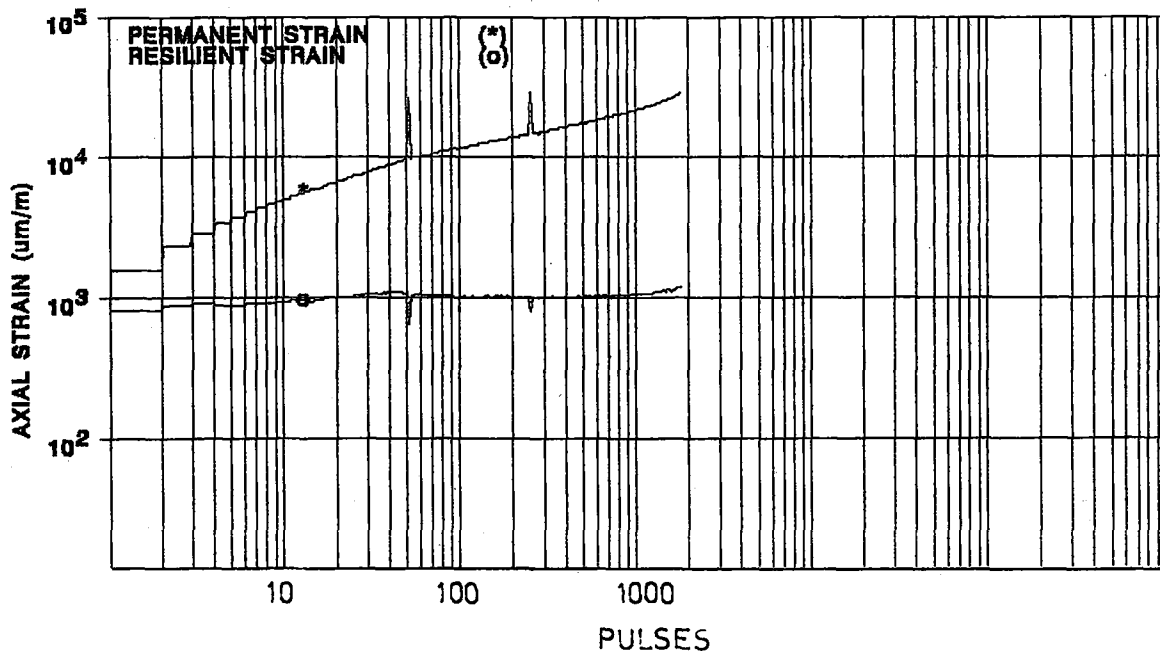
conditioning strain ($\mu\epsilon$)	8481	condition time (hh:mm:ss)	00:01:00
preload rest strain ($\mu\epsilon$)	7902	rest time (hh:mm:ss)	00:01:00
loading strain ($\mu\epsilon$)	28353	loading time (hh:mm:ss)	01:01:02
recovery strain ($\mu\epsilon$)	28314	recovery time (hh:mm:ss)	00:01:01
conditioning stress (kPa)	88	total loading pulse count	1831
peak loading stress (kPa)	728	skin temperature (°C)	49.5
resilient strain ($\mu\epsilon$)	1188	core temperature (°C)	45.4
resilient modulus (MPa)	612.8		



specimen identification: KATKILI4
comment: %0.5
comment:
comment:
specimen length (mm): 64.0
specimen diameter (mm): 100.0
set temperature (°C): 50.0
pulse width (ms): 1000
pulse period (ms): 2000
test termination strain ($\mu\epsilon$): 100000
... or terminal pulse count: 1000000
conditioning stress (kPa): 50
test loading stress (kPa): 500
conditioning time (minutes): 1
preload rest time (minutes): 1
recovery time (minutes): 1
binary file name: C:\UMAT\KATKILI4.BIN
ASCII output data file name: C:\UMAT\KATKILI4.CSV

final reading of measured parameters:

conditioning strain ($\mu\epsilon$)	8481	condition time (hh:mm:ss)	00:01:00
preload rest strain ($\mu\epsilon$)	7902	rest time (hh:mm:ss)	00:01:00
loading strain ($\mu\epsilon$)	28353	loading time (hh:mm:ss)	01:01:02
recovery strain ($\mu\epsilon$)	28314	recovery time (hh:mm:ss)	00:01:01
conditioning stress (kPa)	88	total loading pulse count	1831
peak loading stress (kPa)	728	skin temperature (°C)	49.5
resilient strain ($\mu\epsilon$)	1188	core temperature (°C)	45.4
resilient modulus (MPa)	612.8		



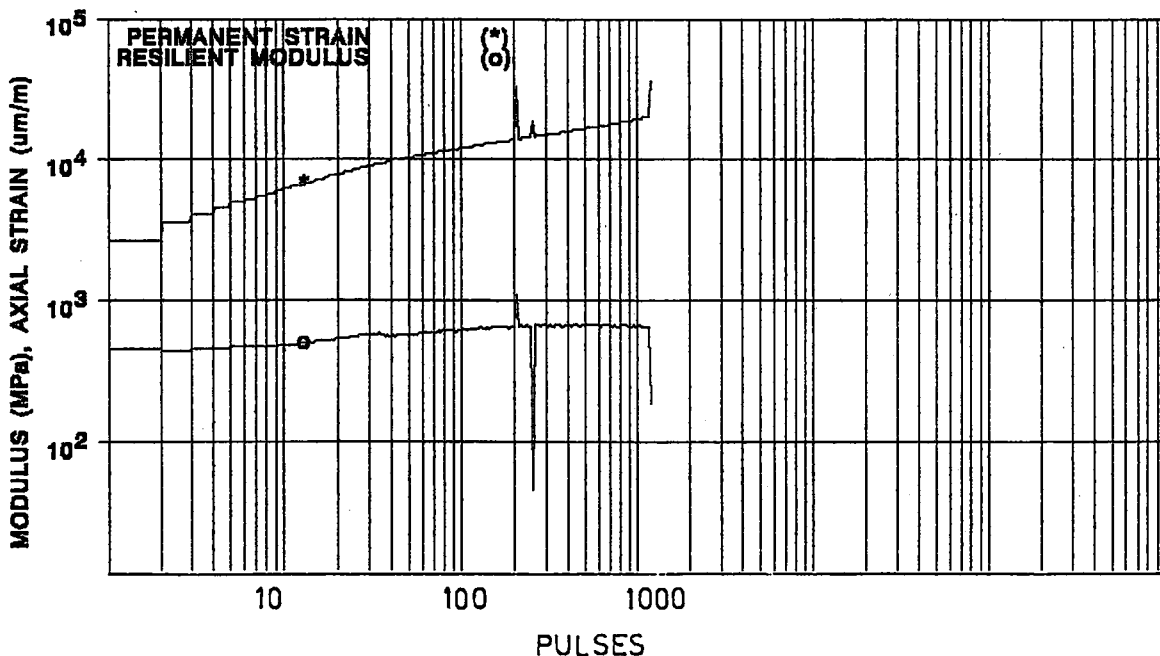
INDUSTRIAL PROCESS CONTROLS Limited
Universal Material Testing Apparatus

REPEATED LOAD ASPHALT CREEP TEST
Thursday December 21, 2000 6:18 AM

specimen identification: KATKI5
comment: %0.5
comment:
comment:
specimen length (mm): 62.9
specimen diameter (mm): 100.0
set temperature (°C): 50.0
pulse width (ms): 1000
pulse period (ms): 2000
test termination strain ($\mu\epsilon$): 100000
... or terminal pulse count: 1000000
conditioning stress (kPa): 50
test loading stress (kPa): 500
conditioning time (minutes): 1
preload rest time (minutes): 1
recovery time (minutes): 5
binary file name: C:\UMAT\KATKI5.BIN
ASCII output data file name: C:\UMAT\KATKI5.CSV

final reading of measured parameters:

conditioning strain ($\mu\epsilon$)	8764	condition time (hh:mm:ss)	00:01:00
preload rest strain ($\mu\epsilon$)	8118	rest time (hh:mm:ss)	00:01:00
loading strain ($\mu\epsilon$)	36250	loading time (hh:mm:ss)	00:40:00
recovery strain ($\mu\epsilon$)	19950	recovery time (hh:mm:ss)	00:05:01
conditioning stress (kPa)	87	total loading pulse count	1200
peak loading stress (kPa)	908	skin temperature (°C)	48.4
resilient strain ($\mu\epsilon$)	4792	core temperature (°C)	48.3
resilient modulus (MPa)	189.6		



specimen identification: KATKI5

comment: %0.5

comment:

comment:

specimen length (mm): 62.9

specimen diameter (mm): 100.0

set temperature (°C): 50.0

pulse width (ms): 1000

pulse period (ms): 2000

test termination strain ($\mu\epsilon$): 100000

... or terminal pulse count: 1000000

conditioning stress (kPa): 50

test loading stress (kPa): 500

conditioning time (minutes): 1

preload rest time (minutes): 1

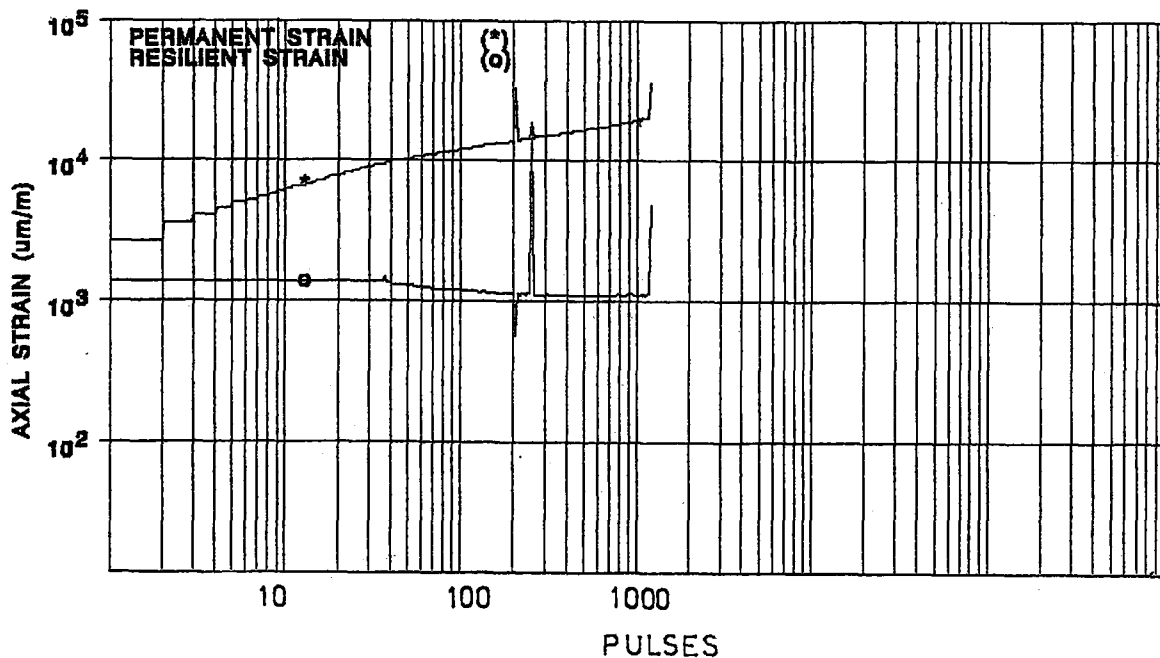
recovery time (minutes): 5

binary file name: C:\UMAT\KATKI5.BIN

ASCII output data file name: C:\UMAT\KATKI5.CSV

final reading of measured parameters:

conditioning strain ($\mu\epsilon$)	8764	condition time (hh:mm:ss)	00:01:00
preload rest strain ($\mu\epsilon$)	8118	rest time (hh:mm:ss)	00:01:00
loading strain ($\mu\epsilon$)	36250	loading time (hh:mm:ss)	00:40:00
recovery strain ($\mu\epsilon$)	19950	recovery time (hh:mm:ss)	00:05:01
conditioning stress (kPa)	87	total loading pulse count	1200
peak loading stress (kPa)	908	skin temperature (°C)	48.4
resilient strain ($\mu\epsilon$)	4792	core temperature (°C)	48.3
resilient modulus (MPa)	189.6		

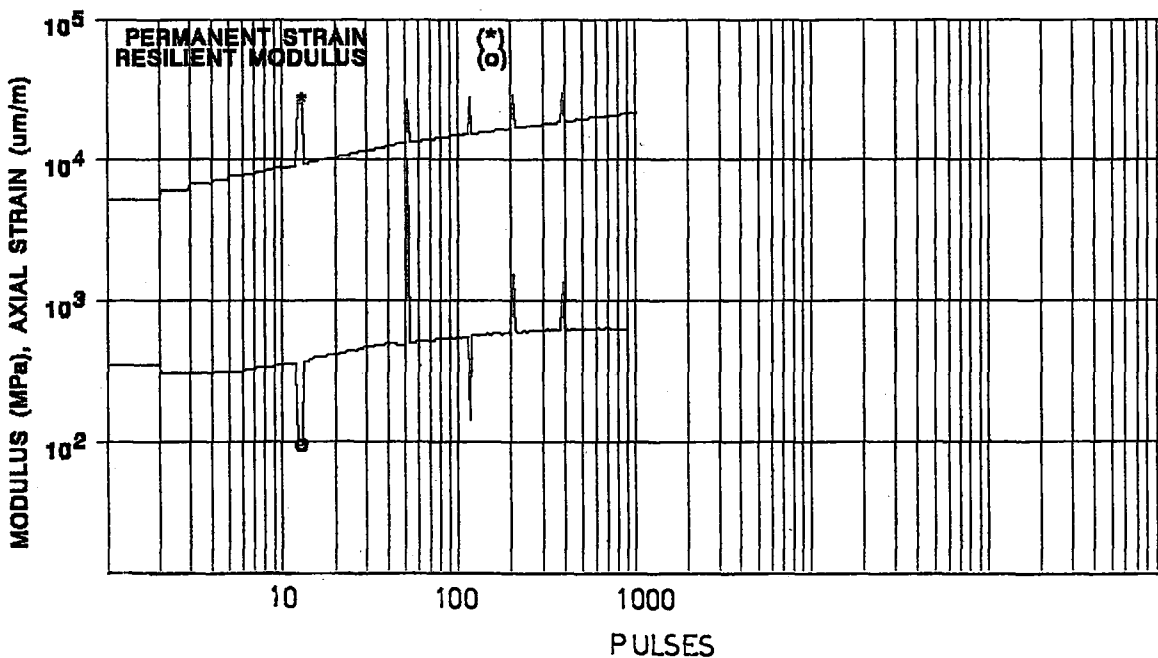


specimen identification: KATKI6
comment: %0.5
comment:
comment:

specimen length (mm): 63.0
specimen diameter (mm): 100.0
set temperature (°C): 50.0
pulse width (ms): 1000
pulse period (ms): 2000
test termination strain ($\mu\epsilon$): 100000
... or terminal pulse count: 1000000
conditioning stress (kPa): 50
test loading stress (kPa): 500
conditioning time (minutes): 1
preload rest time (minutes): 1
recovery time (minutes): 5
binary file name: C:\UMAT\KATKI6.BIN
ASCII output data file name: C:\UMAT\KATKI6.CSV

final reading of measured parameters:

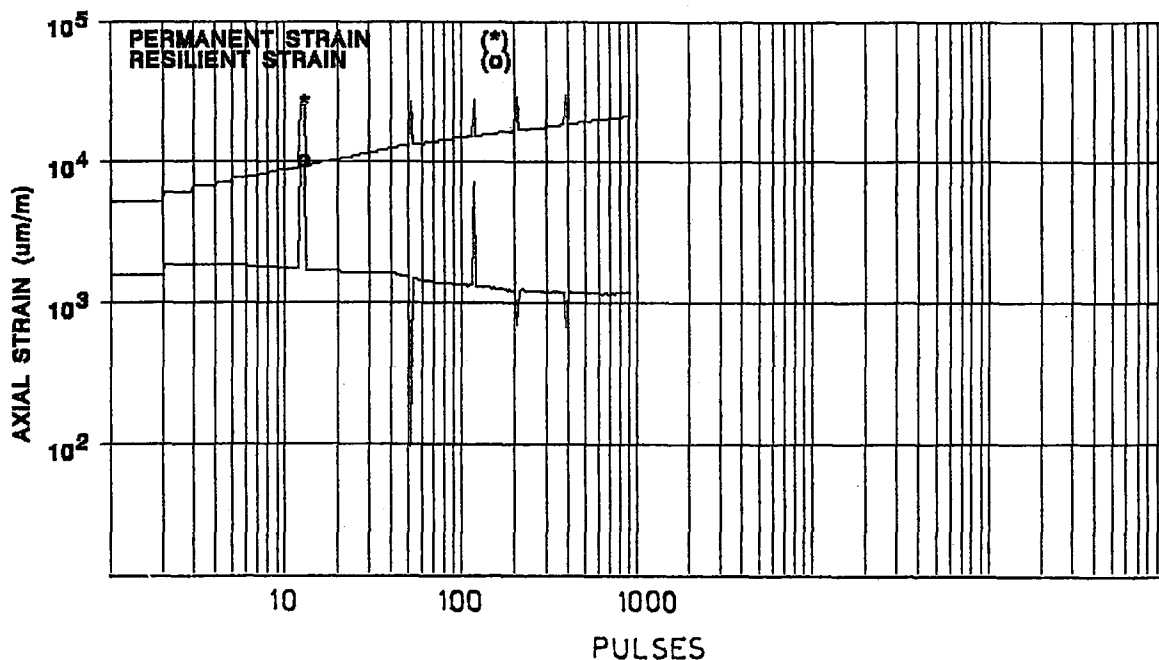
conditioning strain ($\mu\epsilon$)	21431	condition time (hh:mm:ss)	00:01:00
preload rest strain ($\mu\epsilon$)	20646	rest time (hh:mm:ss)	00:01:00
loading strain ($\mu\epsilon$)	21266	loading time (hh:mm:ss)	00:30:00
recovery strain ($\mu\epsilon$)	20978	recovery time (hh:mm:ss)	00:05:01
conditioning stress (kPa)	99	total loading pulse count	900
peak loading stress (kPa)	739	skin temperature (°C)	50.5
resilient strain ($\mu\epsilon$)	1170	core temperature (°C)	50.8
resilient modulus (MPa)	631.8		



specimen identification: KATKI6
comment: %0.5
comment:
comment:
specimen length (mm): 63.0
specimen diameter (mm): 100.0
set temperature (°C): 50.0
pulse width (ms): 1000
pulse period (ms): 2000
test termination strain ($\mu\epsilon$): 100000
... or terminal pulse count: 1000000
conditioning stress (kPa): 50
test loading stress (kPa): 500
conditioning time (minutes): 1
preload rest time (minutes): 1
recovery time (minutes): 5
binary file name: C:\UMAT\KATKI6.BIN
ASCII output data file name: C:\UMAT\KATKI6.CSV

final reading of measured parameters:

conditioning strain ($\mu\epsilon$)	21431	condition time (hh:mm:ss)	00:01:00
preload rest strain ($\mu\epsilon$)	20646	rest time (hh:mm:ss)	00:01:00
loading strain ($\mu\epsilon$)	21266	loading time (hh:mm:ss)	00:30:00
recovery strain ($\mu\epsilon$)	20978	recovery time (hh:mm:ss)	00:05:01
conditioning stress (kPa)	99	total loading pulse count	900
peak loading stress (kPa)	739	skin temperature (°C)	50.5
resilient strain ($\mu\epsilon$)	1170	core temperature (°C)	50.8
resilient modulus (MPa)	631.8		



EK – D

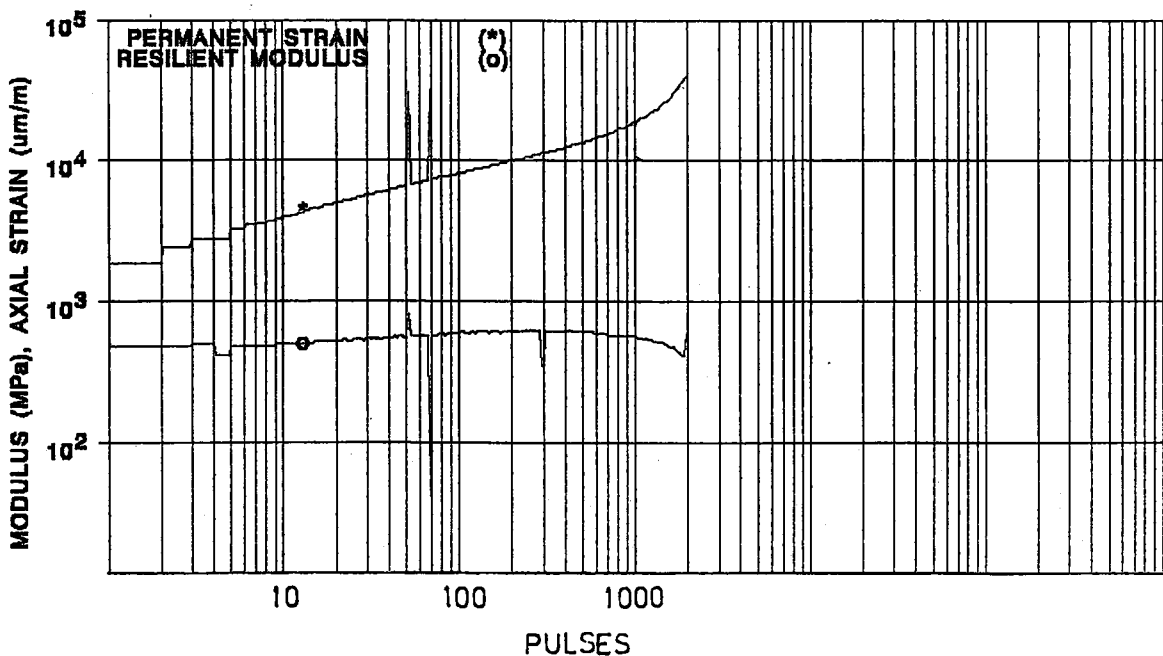


%0.6 KATKILI NUMUNELER

specimen identification: KATKI8*
 comment: %0.6 katkili
 comment: 75 darbe
 comment:
 specimen length (mm): 64.1
 specimen diameter (mm): 100.0
 set temperature (°C): 50.0
 pulse width (ms): 1000
 pulse period (ms): 2000
 test termination strain (μϵ): 100000
 ... or terminal pulse count: 1000000
 conditioning stress (kPa): 50
 test loading stress (kPa): 500
 conditioning time (minutes): 1
 preload rest time (minutes): 1
 recovery time (minutes): 5
 binary file name: C:\UMAT\KATKI8_.BIN
 ASCII output data file name: C:\UMAT\KATKI8_.CSV

final reading of measured parameters:

conditioning strain (μϵ)	3839	condition time (hh:mm:ss)	00:01:00
preload rest strain (μϵ)	3073	rest time (hh:mm:ss)	00:01:00
loading strain (μϵ)	39877	loading time (hh:mm:ss)	01:04:52
recovery strain (μϵ)	38662	recovery time (hh:mm:ss)	00:05:01
conditioning stress (kPa)	80	total loading pulse count	1946
peak loading stress (kPa)	733	skin temperature (°C)	49.7
resilient strain (μϵ)	1247	core temperature (°C)	49.6
resilient modulus (MPa)	588.1		

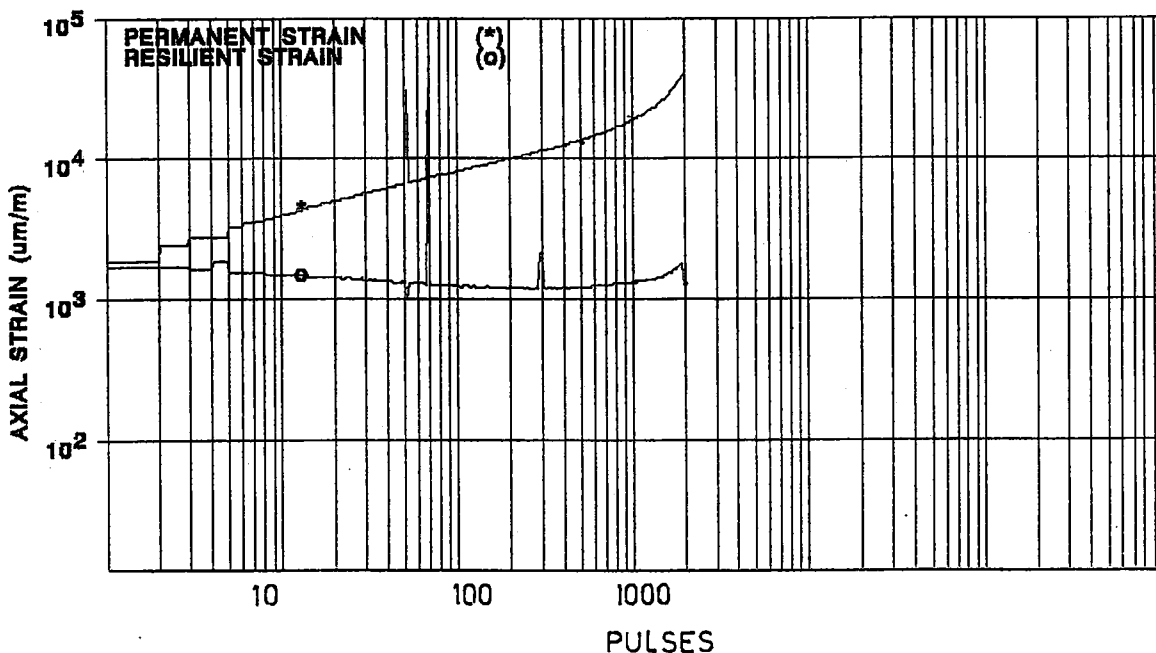


specimen identification: KATKI8*
 comment: %0.6 katkili
 comment: 75 darbe
 comment:

specimen length (mm): 64.1
 specimen diameter (mm): 100.0
 set temperature (°C): 50.0
 pulse width (ms): 1000
 pulse period (ms): 2000
 test termination strain ($\mu\epsilon$): 100000
 ... or terminal pulse count: 1000000
 conditioning stress (kPa): 50
 test loading stress (kPa): 500
 conditioning time (minutes): 1
 preload rest time (minutes): 1
 recovery time (minutes): 5
 binary file name: C:\UMAT\KATKI8_.BIN
 ASCII output data file name: C:\UMAT\KATKI8_.CSV

final reading of measured parameters:

conditioning strain ($\mu\epsilon$)	3839	condition time (hh:mm:ss)	00:01:00
preload rest strain ($\mu\epsilon$)	3073	rest time (hh:mm:ss)	00:01:00
loading strain ($\mu\epsilon$)	39877	loading time (hh:mm:ss)	01:04:52
recovery strain ($\mu\epsilon$)	38662	recovery time (hh:mm:ss)	00:05:01
conditioning stress (kPa)	80	total loading pulse count	1946
peak loading stress (kPa)	733	skin temperature (°C)	49.7
resilient strain ($\mu\epsilon$)	1247	core temperature (°C)	49.6
resilient modulus (MPa)	588.1		



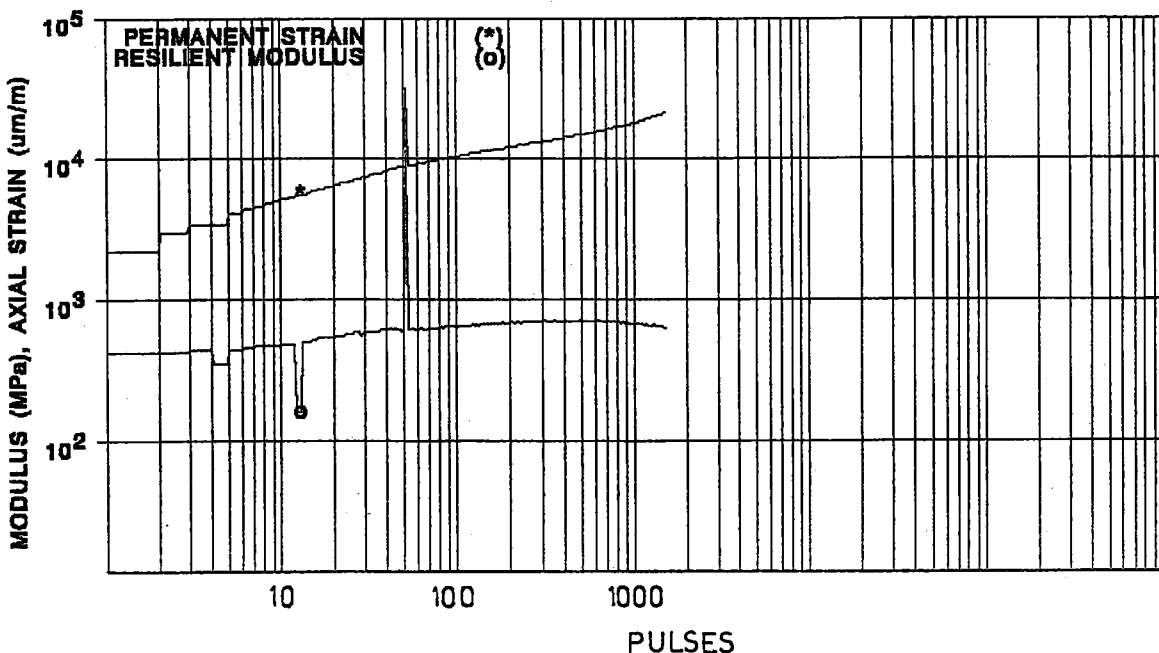
INDUSTRIAL PROCESS CONTROLS Limited
Universal Material Testing Apparatus

REPEATED LOAD ASPHALT CREEP TEST
Thursday December 21, 2000 8:42 AM

specimen identification: KATKI9
comment: %0.6
comment:
comment:
specimen length (mm): 64.5
specimen diameter (mm): 100.0
set temperature (°C): 50.0
pulse width (ms): 1000
pulse period (ms): 2000
test termination strain ($\mu\epsilon$): 100000
... or terminal pulse count: 1000000
conditioning stress (kPa): 50
test loading stress (kPa): 500
conditioning time (minutes): 1
preload rest time (minutes): 1
recovery time (minutes): 5
binary file name: C:\UMAT\KATKI9.BIN
ASCII output data file name: C:\UMAT\KATKI9.CSV

final reading of measured parameters:

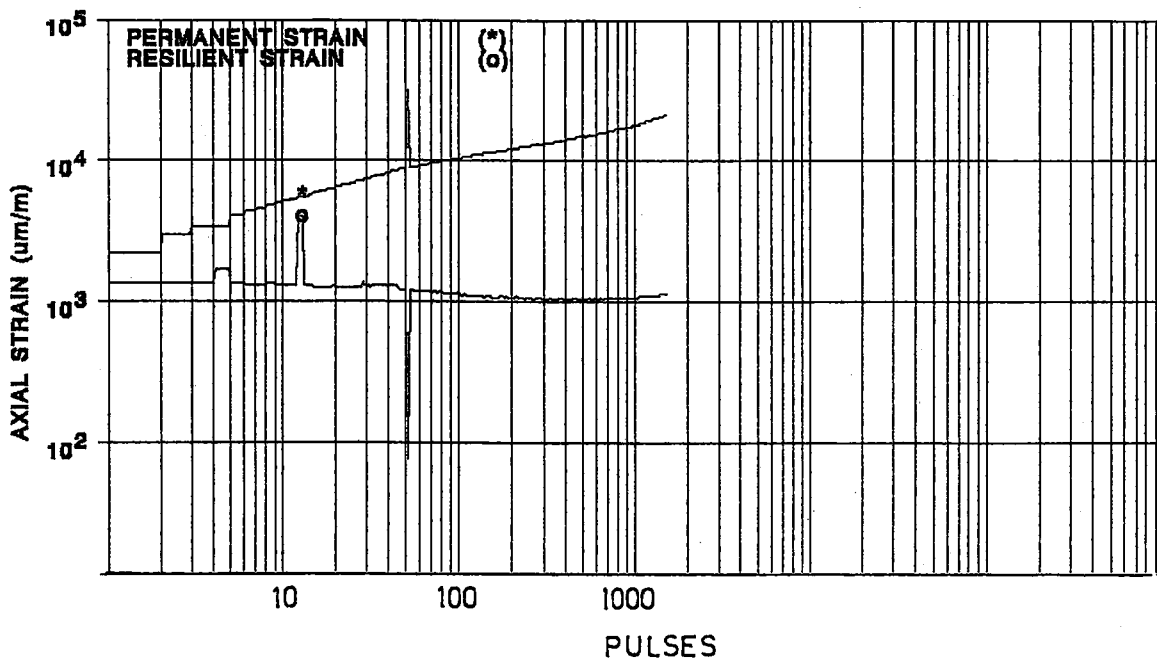
conditioning strain ($\mu\epsilon$)	8786	condition time (hh:mm:ss)	00:01:00
preload rest strain ($\mu\epsilon$)	8012	rest time (hh:mm:ss)	00:01:00
loading strain ($\mu\epsilon$)	21342	loading time (hh:mm:ss)	00:51:00
recovery strain ($\mu\epsilon$)	21483	recovery time (hh:mm:ss)	00:00:01
conditioning stress (kPa)	87	total loading pulse count	1530
peak loading stress (kPa)	729	skin temperature (°C)	50.2
resilient strain ($\mu\epsilon$)	1148	core temperature (°C)	50.2
resilient modulus (MPa)	634.9		



specimen identification: KATKI9
 comment: %0.6
 comment:
 comment:
 specimen length (mm): 64.5
 specimen diameter (mm): 100.0
 set temperature (°C): 50.0
 pulse width (ms): 1000
 pulse period (ms): 2000
 test termination strain (μϵ): 100000
 ... or terminal pulse count: 1000000
 conditioning stress (kPa): 50
 test loading stress (kPa): 500
 conditioning time (minutes): 1
 preload rest time (minutes): 1
 recovery time (minutes): 5
 binary file name: C:\UMAT\KATKI9.BIN
 ASCII output data file name: C:\UMAT\KATKI9.CSV

final reading of measured parameters:

conditioning strain (μϵ)	8786	condition time (hh:mm:ss)	00:01:00
preload rest strain (μϵ)	8012	rest time (hh:mm:ss)	00:01:00
loading strain (μϵ)	21342	loading time (hh:mm:ss)	00:51:00
recovery strain (μϵ)	21483	recovery time (hh:mm:ss)	00:00:01
conditioning stress (kPa)	87	total loading pulse count	1530
peak loading stress (kPa)	729	skin temperature (°C)	50.2
resilient strain (μϵ)	1148	core temperature (°C)	50.2
resilient modulus (MPa)	634.9		



EK - E

%0.7 KATKILI NUMUNELER

INDUSTRIAL PROCESS CONTROLS Limited
Universal Material Testing Apparatus

REPEATED LOAD ASPHALT CREEP TEST
Thursday December 21, 2000 2:29 AM

specimen identification: KATKI10

comment: %0.7

comment:

comment:

specimen length (mm): 64.5

specimen diameter (mm): 100.0

set temperature (°C): 50.0

pulse width (ms): 1000

pulse period (ms): 2000

test termination strain ($\mu\epsilon$): 100000

... or terminal pulse count: 1000000

conditioning stress (kPa): 50

test loading stress (kPa): 500

conditioning time (minutes): 1

preload rest time (minutes): 1

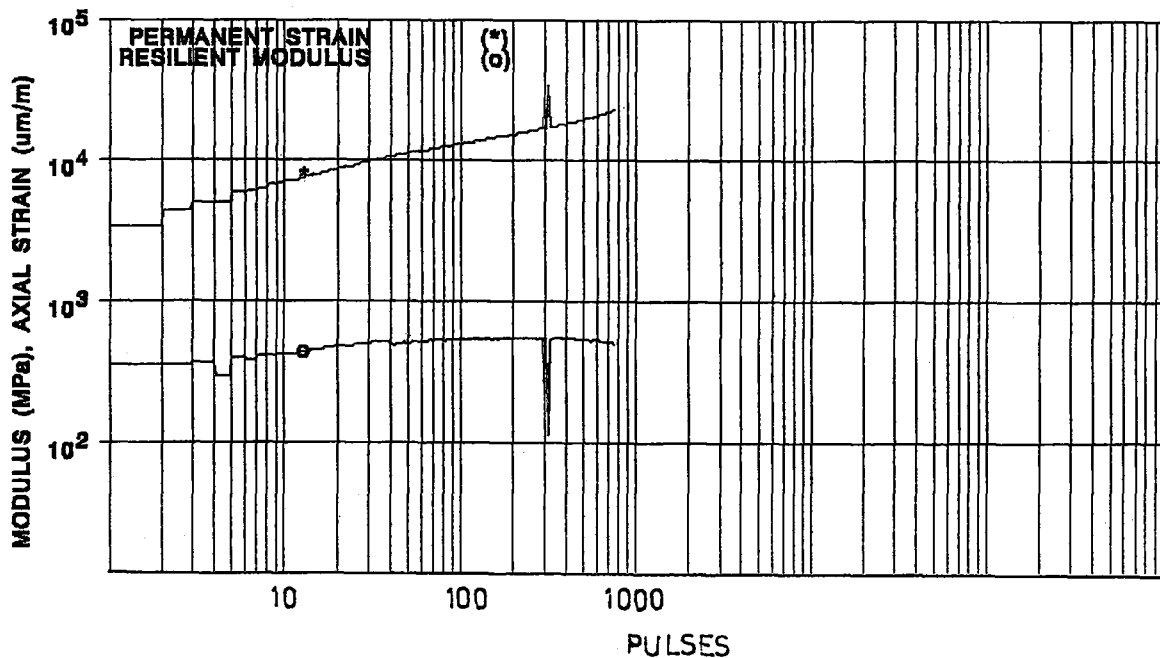
recovery time (minutes): 5

binary file name: C:\UMAT\KATKI10.BIN

ASCII output data file name: C:\UMAT\KATKI10.CSV

final reading of measured parameters:

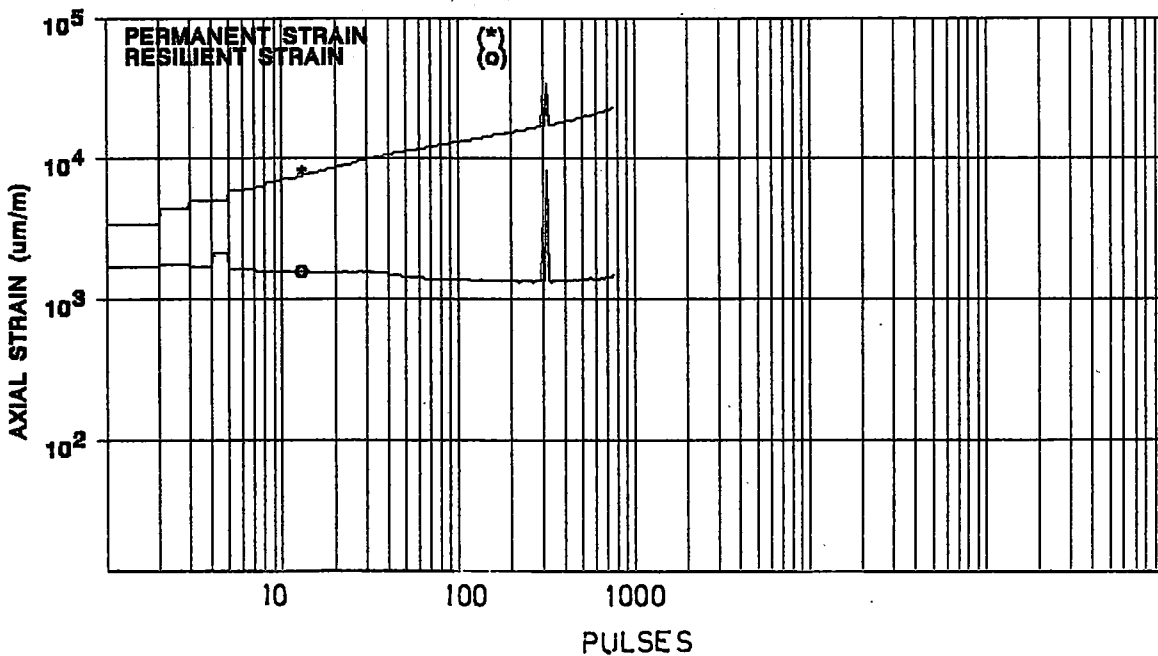
conditioning strain ($\mu\epsilon$)	18293	condition time (hh:mm:ss)	00:01:00
preload rest strain ($\mu\epsilon$)	17468	rest time (hh:mm:ss)	00:01:00
loading strain ($\mu\epsilon$)	22824	loading time (hh:mm:ss)	00:25:22
recovery strain ($\mu\epsilon$)	22053	recovery time (hh:mm:ss)	00:05:01
conditioning stress (kPa)	91	total loading pulse count	761
peak loading stress (kPa)	739	skin temperature (°C)	48.5
resilient strain ($\mu\epsilon$)	1467	core temperature (°C)	48.7
resilient modulus (MPa)	503.9		



specimen identification: KATKI10
comment: %0.7
comment:
comment:
specimen length (mm): 64.5
specimen diameter (mm): 100.0
set temperature (°C): 50.0
pulse width (ms): 1000
pulse period (ms): 2000
test termination strain ($\mu\epsilon$): 100000
... or terminal pulse count: 1000000
conditioning stress (kPa): 50
test loading stress (kPa): 500
conditioning time (minutes): 1
preload rest time (minutes): 1
recovery time (minutes): 5
binary file name: C:\UMAT\KATKI10.BIN
ASCII output data file name: C:\UMAT\KATKI10.CSV

final reading of measured parameters:

conditioning strain ($\mu\epsilon$)	18293	condition time (hh:mm:ss)	00:01:00
preload rest strain ($\mu\epsilon$)	17468	rest time (hh:mm:ss)	00:01:00
loading strain ($\mu\epsilon$)	22824	loading time (hh:mm:ss)	00:25:22
recovery strain ($\mu\epsilon$)	22053	recovery time (hh:mm:ss)	00:05:01
conditioning stress (kPa)	91	total loading pulse count	761
peak loading stress (kPa)	739	skin temperature (°C)	48.5
resilient strain ($\mu\epsilon$)	1467	core temperature (°C)	48.7
resilient modulus (MPa)	503.9		



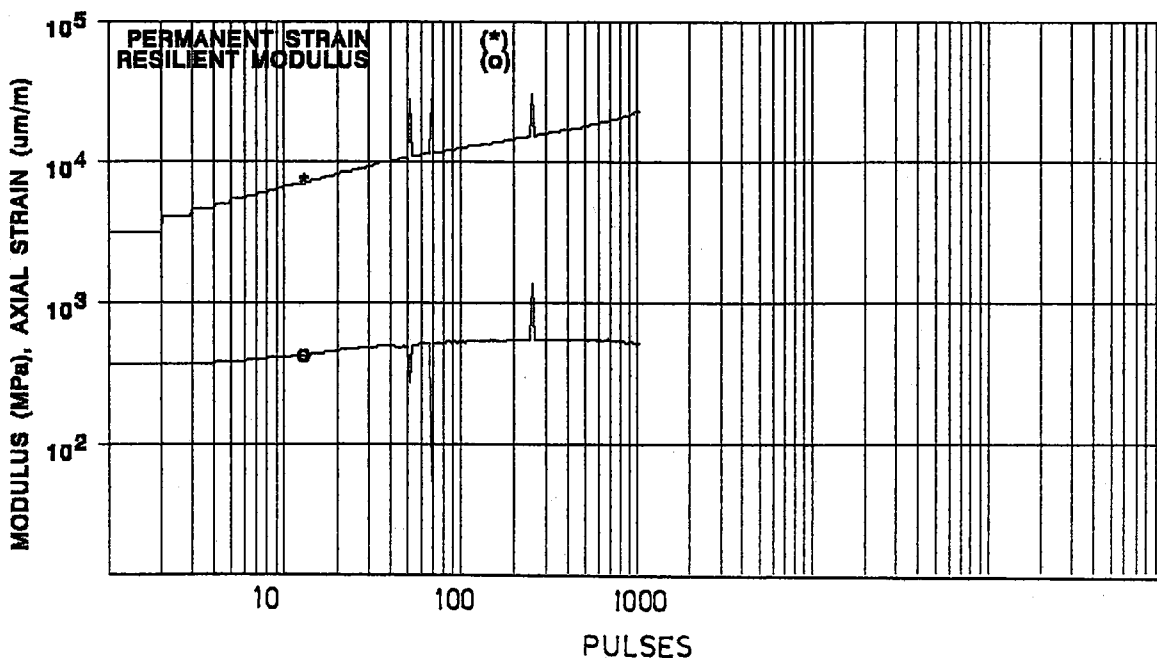
INDUSTRIAL PROCESS CONTROLS Limited
Universal Material Testing Apparatus

REPEATED LOAD ASPHALT CREEP TEST
Thursday December 21, 2000 3:24 AM

specimen identification: KATKI11
comment: %0.7
comment:
comment:
specimen length (mm): 64.2
specimen diameter (mm): 100.0
set temperature (°C): 50.0
pulse width (ms): 1000
pulse period (ms): 2000
test termination strain ($\mu\epsilon$): 100000
... or terminal pulse count: 1000000
conditioning stress (kPa): 50
test loading stress (kPa): 500
conditioning time (minutes): 1
preload rest time (minutes): 1
recovery time (minutes): 5
binary file name: C:\UMAT\KATKI11.BIN
ASCII output data file name: C:\UMAT\KATKI11.CSV

final reading of measured parameters:

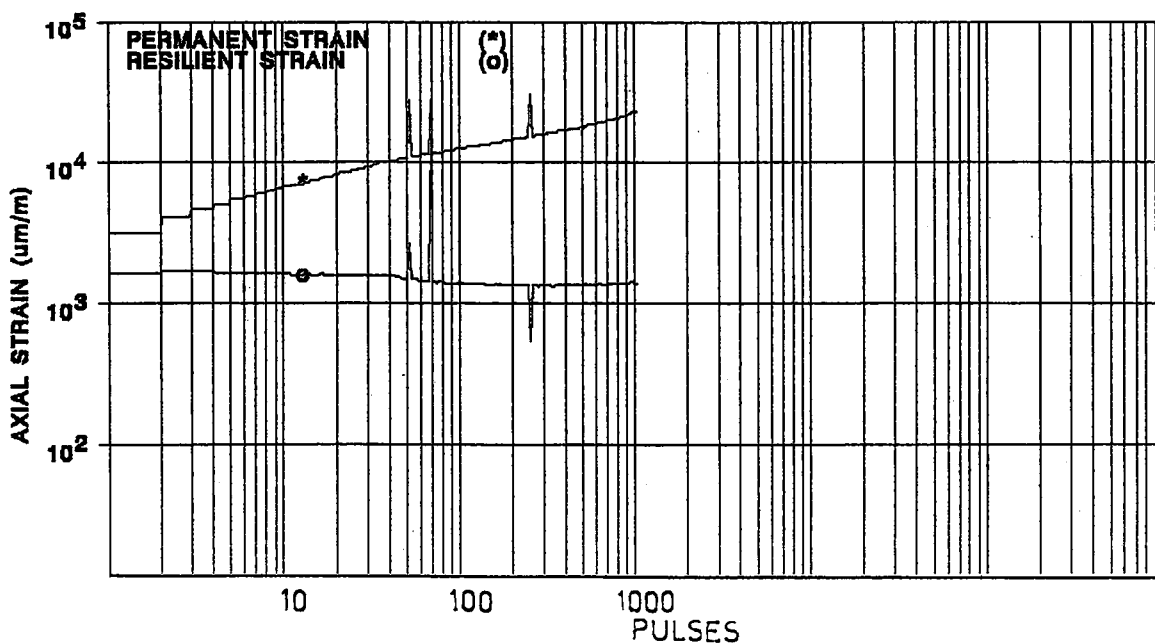
conditioning strain ($\mu\epsilon$)	10983	condition time (hh:mm:ss)	00:01:00
preload rest strain ($\mu\epsilon$)	10193	rest time (hh:mm:ss)	00:01:00
loading strain ($\mu\epsilon$)	22960	loading time (hh:mm:ss)	00:34:14
recovery strain ($\mu\epsilon$)	22022	recovery time (hh:mm:ss)	00:05:01
conditioning stress (kPa)	85	total loading pulse count	1027
peak loading stress (kPa)	740	skin temperature (°C)	49.4
resilient strain ($\mu\epsilon$)	1410	core temperature (°C)	49.4
resilient modulus (MPa)	524.9		



specimen identification: KATKI11
 comment: %0.7
 comment:
 comment:
 specimen length (mm): 64.2
 specimen diameter (mm): 100.0
 set temperature (°C): 50.0
 pulse width (ms): 1000
 pulse period (ms): 2000
 test termination strain ($\mu\epsilon$): 100000
 ... or terminal pulse count: 1000000
 conditioning stress (kPa): 50
 test loading stress (kPa): 500
 conditioning time (minutes): 1
 preload rest time (minutes): 1
 recovery time (minutes): 5
 binary file name: C:\UMAT\KATKI11.BIN
 ASCII output data file name: C:\UMAT\KATKI11.CSV

final reading of measured parameters:

conditioning strain ($\mu\epsilon$)	10983	condition time (hh:mm:ss)	00:01:00
preload rest strain ($\mu\epsilon$)	10193	rest time (hh:mm:ss)	00:01:00
loading strain ($\mu\epsilon$)	22960	loading time (hh:mm:ss)	00:34:14
recovery strain ($\mu\epsilon$)	22022	recovery time (hh:mm:ss)	00:05:01
conditioning stress (kPa)	85	total loading pulse count	1027
peak loading stress (kPa)	740	skin temperature (°C)	49.4
resilient strain ($\mu\epsilon$)	1410	core temperature (°C)	49.4
resilient modulus (MPa)	524.9		

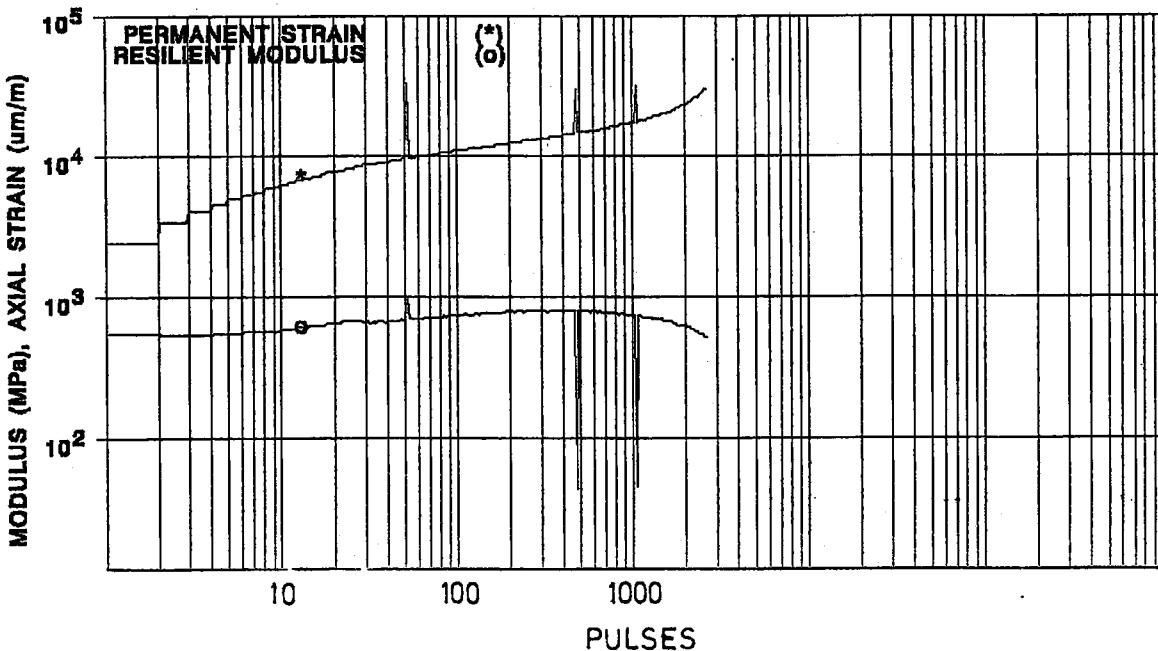


specimen identification: KATKI12
 comment: %0.7 katki
 comment: 75 darbe
 comment:

specimen length (mm): 65.0
 specimen diameter (mm): 100.0
 set temperature (°C): 50.0
 pulse width (ms): 1000
 pulse period (ms): 2000
 test termination strain (μϵ): 100000
 ... or terminal pulse count: 1000000
 conditioning stress (kPa): 50
 test loading stress (kPa): 500
 conditioning time (minutes): 1
 preload rest time (minutes): 1
 recovery time (minutes): 5
 binary file name: C:\UMAT\KATKI12.BIN
 ASCII output data file name: C:\UMAT\KATKI12.CSV

final reading of measured parameters:

conditioning strain (μϵ)	10557	condition time (hh:mm:ss)	00:01:00
preload rest strain (μϵ)	9845	rest time (hh:mm:ss)	00:01:00
loading strain (μϵ)	30074	loading time (hh:mm:ss)	01:30:00
recovery strain (μϵ)	30871	recovery time (hh:mm:ss)	00:00:01
conditioning stress (kPa)	86	total loading pulse count	2700
peak loading stress (kPa)	737	skin temperature (°C)	50.1
resilient strain (μϵ)	1428	core temperature (°C)	29.7
resilient modulus (MPa)	516.0		



INDUSTRIAL PROCESS CONTROLS Limited
Universal Material Testing Apparatus

REPEATED LOAD ASPHALT CREEP TEST
Friday December 22, 2000 1:08 AM

specimen identification: KATKI12
comment: %0.7 katki
comment: 75 darbe
comment:
specimen length (mm): 65.0
specimen diameter (mm): 100.0
set temperature (°C): 50.0
pulse width (ms): 1000
pulse period (ms): 2000
test termination strain ($\mu\epsilon$): 100000
... or terminal pulse count: 1000000
conditioning stress (kPa): 50
test loading stress (kPa): 500
conditioning time (minutes): 1
preload rest time (minutes): 1
recovery time (minutes): 5
binary file name: C:\UMAT\KATKI12.BIN
ASCII output data file name: C:\UMAT\KATKI12.CSV

final reading of measured parameters:

conditioning strain ($\mu\epsilon$)	10557	condition time (hh:mm:ss)	00:01:00
preload rest strain ($\mu\epsilon$)	9845	rest time (hh:mm:ss)	00:01:00
loading strain ($\mu\epsilon$)	30074	loading time (hh:mm:ss)	01:30:00
recovery strain ($\mu\epsilon$)	30871	recovery time (hh:mm:ss)	00:00:01
conditioning stress (kPa)	86	total loading pulse count	2700
peak loading stress (kPa)	737	skin temperature (°C)	50.1
resilient strain ($\mu\epsilon$)	1428	core temperature (°C)	29.7
resilient modulus (MPa)	516.0		

