



T.C.
NIĞDE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK HIZLI TREN UYGULAMALARINDA ELEKTRİK BESLEME
SİSTEMLERİNİN İNCELENMESİ

SELCEN GÖKSEL TAŞDAN

Nisan 2015

T.C.
NİĞDE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK HIZLI TREN UYGULAMALARINDA ELEKTRİK BESLEME
SİSTEMLERİNİN İNCELENMESİ

SELCEN GÖKSEL TAŞDAN

Yüksek Lisans Tezi

Danışman
Doç. Dr. Ulaş EMİNOĞLU

Nisan 2015

Selcen GÖKSEL TAŞDAN tarafından Doç. Dr. Ulaş EMİNOĞLU danışmanlığında hazırlanan “Yüksek Hızlı Tren Uygulamalarında Elektrik Besleme Sistemlerinin İncelenmesi” adlı bu çalışma jürimiz tarafından Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : (Doç. Dr. Ulaş EMİNOĞLU) (Niğde Üniversitesi)

İmza

Üye : (Yrd. Doç. Dr. Gökhan GELEN) (Gaziosmanpaşa Üniversitesi) İmza

Üye : (Yrd. Doç. Dr. Fatih Kamil DİLAVER) (Niğde Üniversitesi) İmza

ONAY:

Bu tez, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca belirlenmiş olan yukarıdaki jüri üyeleri tarafından/....../20.... tarihinde uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulu’nun/....../20.... tarih ve sayılı kararıyla kabul edilmiştir.

...../...../20...

Doç. Dr. Murat BARUT
MÜDÜR

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Selcen GÖKSEL TAŞDAN

ÖZET

YÜKSEK HIZLI TREN UYGULAMALARINDA ELEKTRİK BESLEME SİSTEMLERİNİN İNCELENMESİ

GÖKSEL TAŞDAN, Selcen

Niğde Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman : Doç. Dr. Ulaş EMİNOĞLU

Nisan 2015, 227 sayfa

Elektrifikasyonun temel gereksinimleri; AC(Alternatif Akım) Elektrikli Sistemlerde Besleme, DC (Doğru Akım) Elektrikli Sistemlerde Besleme, Besleme Planlanması (hem AC hem DC için), bu beslemede kullanılan Transformatörler (AT-Auto Transformatör, BT-Transformatör, Doğru Akım Transformatörleri), Katener Sistemleri'dir. Bu çalışma içinde de Katener Sistemleri'nin projelendirmesi, projelendirme için gereken hesaplar, transformatör merkezleri, bu transformatör merkezlerinin muhafazası, son olarak da besleme sistemi için yapılması gereken testlerden bahsedilecektir. Testler sonucu da elde edilen veriler ve bilgilere göre en ideal Elektrifikasyon Sistem elemanları seçilip, Elektrifikasyon Sistemi kurulmalıdır. Özetle bu çalışma ulaşım ve ulaşım çeşitlerine değinerek, demir yolunun önemi ve avantajlarından bahsedilip, yüksek hızlı trenlerin avantajları ve bunların elektrifikasyonu, elektrifikasyonun temel elemanları ve en uygun Elektrifikasyon Sistemlerinin kurulumu için bize ışık tutacaktır. Bu tezde, uygulaması yapılmış Ankara-Sivas hızlı tren hattının belli bir bölümünün elektrik besleme sistemleri incelenecektir.

Anahtar Sözcükler: Yüksek Hızlı Tren, elektrifikasyon sisteminin kurulumu, elektrifikasyon sisteminin projelendirilmesi, trafo merkezleri, katener sistem, sekiyonman, nötr bölge

SUMMARY

INVESTIGATION OF ELECTRIC POWER SYSTEMS APPLICATIONS HIGH SPEED TRAIN

GÖKSEL TAŞDAN, Selcen

Nigde University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Electrical and Electronical Engineering

Supervisor : Associate Professor Dr. Ulaş EMİNOĞLU

April 2015, 227 pages

The basic requirements for electrification; AC (Alternating Current) Power in Electric System, DC (Direct Current) Power in Power Systems, Supply Planning (both AC and DC), the transformers used in the feed (AT-Auto Transformer, IT-transformers, DC transformers), Catenary Systems' d. Catenary Systems also in the design of this study calculates the need for configuration, transformer centers, conservation of these substations will be referred to the tests to be done to finally feed system. The tests are based on data and information obtained as a result of selecting the ideal elements Electrification Systems, Electrification Systems must be installed. Summaries referring to this study transportation and transportation varieties informed of the importance and advantages of the railway, high-speed train of the advantages and their electrification, electrification basic elements and shed light on us for the installation of the appropriate Electrification Systems. In this thesis, the application of the Ankara-Sivas made a certain part of the electricity supply system of high-speed rail line will be examined.

Keywords: High-speed train, the installation of electrification systems and planning of electrification systems, substations, catenary section, bearings, neutral zone

ÖNSÖZ

Bu çalışmada Yüksek Hızlı Tren Sistemlerinin Elektrifikasyonu (Beslemesi) incelenecektir. 1800'lü yılların başında İngiltere'de kömürle çalışan trenlerle başlayan ve günümüzde Japonya ve Çin'de 300-400 km/sa hızlara ulaşan trenlerin enerjisi olan elektriğin en ideale indirgenerek kullanılmasının inceleneceği bu çalışmada; kullanılan enerji dağıtım sistemleri, hızlı trenlerin beslemesinde kullanılan transformatör tipleri ve çeşitleri, yapılan bu elektrifikasyonun faydaları incelenecektir. Elektrifikasyonun temel gereksinimleri; AC elektrikli sistemlerde besleme, DC elektrikli sistemlerde besleme, besleme planlanması (hem AC hem DC için), bu beslemede kullanılan transformatörler ve katener sistemleridir. Bu çalışma içinde de Katener Sistemleri'nin projelendirmesi, projelendirme için gereken hesaplar, transformatör merkezleri, bu transformatör merkezlerinin muhafazası, son olarak da besleme sistemi için yapılması gereken testlerden bahsedilecektir. Testler sonucu da elde edilen veriler ve bilgilere göre en ideal elektrifikasyon sistem elemanları seçilip, elektrifikasyon sistemi kurulmalıdır. Biz bu çalışmamızda Kars-Tiflis hattının bir bölümünün elektrifikasyon sistemini yani katener planını inceleyeceğiz.

Yüksek lisans tez çalışmamın yürütülmesi esnasında, çalışmalarına yön veren, bilgi ve yardımlarını esirgemeyen ve bana her türlü desteği sağlayan danışman hocam, Sayın Doç. Dr. Ulaş EMİNOĞLU'na en içten saygılarımı ve teşekkürlerimi sunarım. Yüksek lisans tez çalışmam esnasında tecrübelerine başvurduğum TCDD Dem. Yap. Dai. Başk. Dai. Bşk Yrd. Nagehan TANYILDIZ, Elektr. Ş. Müd. Yrd. Nusret GÜZEL, Üst yapı Ş. Müd. Yrd. Tuğba ŞENAY, Elk. Yük. Müh. Mehmet TUTUCU, TCDD Etüt Prj.ve Yap. Dai. Başk. Elektr. ve Sin. Şube Müd. Yrd. Esat KARADUMAN, 4. Böl. Dem. Yap. Grp. Müd. Serdar AYAN, 4. Böl. Dem. Yap. Grp. Elekt. Şefi Bülent DURUKAN'a müteşekkirdiğimi ifade etmek isterim. Her zaman yanımda olan ve maddi manevi desteğini esirgemeyen ailem, eşim Ümit TAŞDAN ve varlığıyla hayat veren kızım Alya Bilge TAŞDAN'a çok teşekkür ederim. Bu tezin hazırlanması esnasında sık sık yardımlarına başvurduğum kıymetli meslektaşlarım Ahmet ÖZEN, Kamil GÜLTEPE, Ertuğrul DEMİRER, Recep AVCU, M. Akif KARATAŞ'a, teşekkürlerimi belirtmek isterim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	Vi
SUMMARY	Vii
ÖNSÖZ	Viii
İÇİNDEKİLER	ix
ÇİZELGELER	xv
ŞEKİLLER.....	xvii
EKLER	xxii
SİMGE VE KISALTMALAR	xxvii
BÖLÜM I DÜNYA VE TÜRKİYEDE ULAŞIM VE ULAŞIM ÇEŞİTLERİ	1
1.1 Giriş	1
1.2 Dünya ve Türkiye’de Demiryolu	2
1.3 Demir Yolunun Avantajları	4
BÖLÜM II DEMİRYOLU ULAŞIM ARAÇLARI VE YÜKSEK HIZLI TREN	5
2.1 Giriş	5
2.2 Yüksek Hızlı Trenler	6
2.2.1 Hızlı tren.....	6
2.3 Türkiye’de Yüksek Hızlı Tren	8

2.4 Hızlı Trenin Avantajları.....	9
2.5 Yüksek Hızlı Trenlerin Ayrıca Özellikleri	10
BÖLÜM III DEMİRYOLU ELEKTRİFİKASYONU.....	11
3.1 Giriş	11
3.2 Elektrikli Cer Sistemleri	11
3.2.1 Az yüksek gerilimli (600 ila 3000 V) DC sistemi;	12
3.2.2 Yüksek gerilimli ve özel frekanslı ($16\frac{2}{3}$ Hz) AC sistemi	13
3.2.3 Ticari frekanslı ve yüksek gerilimli AC sistemi	13
3.3 Elektrifikasyonun Faydaları.....	14
3.3.1 Enerjiden en iyi faydalanma.....	15
3.3.2 Teknik faydaları.....	15
3.3.3 İşletmedeki faydaları.....	16
3.3.4 İktisadi faydalar	17
3.3.5 Sosyal faydalar	17
3.4 AC (alternatif akım) elektrikli sistemlerinde besleme.....	17
3.4.1 Auto Transformatör Besleme Sistemi.....	18
3.4.2 Booster transformatör besleme sistemi	18
3.4.3 Koaksiyal kablo ile besleme sistemi	19
3.4.4 Basit (doğrudan) besleme sistemi.....	20
BÖLÜM IV ELEKTRİFİKASYON SABİT TESİSLERİ.....	22
4.1 Giriş	22

4.1.1 Katener tesisleri	22
4.1.2 Transformatör merkezleri ve cer postaları	22
4.1.3 Uzaktan kumanda (SCADA) sistemi	22
4.1.4 Haberleşme sistemi	22
4.2 Katener Tesisleri Temel Katener Dizaynı.....	23
4.2.1 Katener hattı donanımı.....	23
4.2.2 Katener sisteminin geometrik karakteristikleri	25
4.2.3 Eksen kaçıklığı (Dezaksman)	26
4.2.4 Katener iletkenleri	27
4.2.4.1. Seyir(kontak) teli	27
4.2.4.2 Taşıyıcı iletken	29
4.2.5 Pandüller	29
4.2.6 Y halatı.....	29
4.3 Katener Tesislerinin Projelendirilmesindeki Temel Esaslar	30
4.3.1 Besleme planının hazırlanması.....	31
4.3.2 Besleme planının araziye uygulanması.....	31
4.4. Katener Tesislerinin Projelendirilmesindeki Hesap Metotları.....	32
4.4.1 Direk hesapları.....	32
4.4.1.1 Düşey (şakuli) kurp.....	32
4.4.1.2 1600 mm pantografa göre direk açıklıkları:	36
4.4.2 Elektrifikasyon kırmızı kotun hesabı	38
4.4.2.1 Yatay kurplu yollarda	38
4.4.2.2 Düşey kurplu yollarda.....	38

4.4.3 Beton direklerle ilgili genel bilgi.....	38
4.4.3.1 Direğin kabul tecrübeleri.....	39
4.4.4 Profil direklerin mukavemet hesapları.....	39
4.4.5 Direk seçimindeki fiziki değerler:	41
4.4.5.1 Yatay kuvvetler.....	41
4.4.5.2 Radyal kuvvet hesabı	43
4.4.6 Eğilme momentleri ile ilgili hesaplamalar	47
4.5 Katener sistemlerinin projelendirme kriterleri	47
4.5.1 Isı değişimine bağlı gerilme hesapları	48
4.5.2 Ekipman	49
4.5.3 Seksiyonman	49
4.5.4 Seksiyonman izolatörleri.....	50
4.5.5 Antişöminman	51
4.5.6 Seperasyon seksiyonları (nötr bölge).....	51
4.5.7 Devre açma kapama cihazları.....	52
4.6 Otomatik Gergi Cihazı Hesaplamaları.....	53
4.6.1 Otomatik germe cihazı ayarı	54
4.7 Serbest Yükseklik Hesabı	57
BÖLÜM V BESLEME PLANININ HAZIRLANMASI	59
5.1 Giriş	59
5.1.1 Gerilim düşümünün etkisi	59
5.1.2 Ulusal enerji şebekesinin yer seçimine etkisi	60
5.1.3 Trafo merkezlerinin elektriklecek hatta yakın olması.....	60

5.1.4 Personel ve malzemenin ulaşımı	60
5.1.5 Güvenlik.....	61
5.2 DC Transformatör Merkezlerinin Yerinin Seçimi	63
5.3 DC Besleme Sisteminin Konfigürasyonu	64
5.4 AC Transformatör Merkezleri.....	64
5.5 Güç Transformatörü	65
5.5.1 Transformatör	65
5.6 Transformatörlerin Muhafazası.....	66
5.7 Akım ve Gerilim Ölçü Transformatörleri.....	67
5.7.1 Akım transformatörleri	68
5.7.2 Gerilim ölçü transformatörleri.....	69
BÖLÜM VI ELEKTRİFİKASYON SİSTEMİNİN İNCELENMESİ VE MODELLENMESİ	70
6.1. Besleme Sistemleri ve Tesis Bölgeleri	70
6.1.1 Trafo bölgesi.....	72
6.1.2 Trafo bölgesi bileşenleri.....	74
6.1.3 Nötr bölge.....	74
6.1.4 İstasyon postaları ve beslemesi	75
6.1.5 Tren performans ve güç besleme sistemi boyutlandırma analizi	77
6.1.5.1 Tren performans hesabı.....	77
6.1.5.2 Tren hareket hesapları.....	78
6.2 Pantograf ve katener sistem	80

6.2.1 Pantograf sezimi	81
6.2.2 Pantograf-katener sistemlerinin modellenmesi	82
6.2.2.1 Simülasyon sonuçları	86
6.3 Ray Toprak Gerilimi.....	90
6.3.1 Sistemin analitik olarak incelenmesi	93
6.3.2 Sistemin nümerik olarak incelenmesi:	96
6.3.3 Simülasyon sonuçları ve analizi:	99
6.3.4 Sonuç.....	103
6.4 Yüksek Hızlı Demiryollarında Altyapının Önemi ve Tasarım İlkeleri	103
6.4.1 Bir yüksek hızlı demiryolu için en uygun düşey rijitlik değeri	109
6.4.2 Yüksek hızlı hatlarda mesnet levhalarının düşey rijitliği.....	113
6.4.3 Yüksek hızlı demiryolları için altyapı tasarım ilkeleri	114
6.5 Enerji tüketimine etki eden ana parametrelerin incelenmesi	118
6.5.1 İşletme sıklığının etkisinin araştırılması	118
6.5.2 Tren ağırlığının etkisi.....	121
6.5.3 Hızlanma ivmesinin (a) etkisi.....	122
6.5.4 Frenleme ivmesinin etkisinin araştırılması	123
6.5.5 Tren iç ihtiyacının etkisinin araştırılması.....	126
BÖLÜM VII SONUÇLAR.....	128
KAYNAKLAR	224
ÖZ GEÇMİŞ	227

ÇİZELGELER

Çizelge 1.1.Ülkeler bazında demiryolu uzunlukları (toplam Yol/Km)	2
Çizelge 2.1.Türkiye ve dünya demiryolu hat uzunlukları	8
Çizelge 4.1.Sistem yüksekliği hızlara göre katener sistemleri	26
Çizelge 4.2. Seyir teli eğimleri	33
Çizelge 4.3.Direk açıklıkları I.....	36
Çizelge 4.4. Direk açıklıkları II	37
Çizelge4.5. Direk açıklıkları III	37
Çizelge 4.6. Otomatik germe cihazı ayar tablosu (X, Y eksenlerine göre) L uzunluğundaki bir techizat için X in cm olarak teorik değerleri.	56
Çizelge 6.1. EN 50163'e göre demiryolu elektrifikasyonu gerilim seviyeleri.....	70
Çizelge 6.2.PAK sistemi değerleri	86
Çizelge 6.3.TGV 001 ile balast tabakası içinde ölçülen ivmeler	108
Çizelge 6.4.Farklı TAS için geri kazanım oranı ve araç*km enerji tüketimi	119
Çizelge 6.5.Enerji reküperasyon oranları	120
Çizelge 6.6.HattaTM eklenmesi durumunda enerji reküperasyon oranları.....	121
Çizelge 6.7. Farklı hızlanma ivmeleri için enerji tüketimi ve tur süresi	123
Çizelge 6.8. TAS 300 s'de farklı a_b için geri kazanım oranı ve enerji tüketimleri	125
Çizelge 6.9. TAS 150 s'de farklı a_b için geri kazanım oranı ve enerji tüketimleri	125

Çizelge 6.10.TAS 300 s’de farklı yardımcı güç kullanım oranları için geri kazanım oranı ve enerji tüketimleri	126
Çizelge 6.11. TAS 150 s için geri kazanım oranı ve kWh/Araç*km –yardımcı güç kullanım oranı değerleri	127

ŞEKİLLER

Şekil 1.1. 2023 Yılına kadar yapılması planlanan yüksek hızlı demiryolu hatları	3
Şekil 2.1. Türkiye demir yolu hattı (bölgelere göre).....	6
Şekil 2.2. Yüksek hızlı tren hatlarının inşa edilmesi I	9
Şekil 2.3. Yüksek hızlı tren hatlarının inşa edilmesi II	10
Şekil 3.1. Elektrikli ve dizel lokomotiflerin çekiş karakteristikleri	16
Şekil-3.2. Auto transformatör besleme sistemi.....	18
Şekil 3.3. Booster transformatör besleme sistemi.....	19
Şekil 3.4. Booster seksiyonu akım dağılımları ve kesme akımları.....	19
Şekil 3.5. Koaksiyal kablo besleme sistemi	20
Şekil 3.6. Basit besleme sistemi.....	21
Şekil 3.7. Dönüş hattı olan bir doğrudan besleme sistemi	21
Şekil 4.1. Temel katener sistemi	23
Şekil 4.2. Basit direk montaj şeması	24
Şekil 4.3. Dezaksman	27
Şekil 4.4. Kontak teli.....	27
Şekil 4.5. Kazık kotu ile kırmızı kot arasındaki fark	33
Şekil 4.6. Kazık kotu ile kırmızı kot arasındaki fark çözüm metodu.....	33
Şekil 4.7. Direk açıklığı.....	34
Şekil 4.8. Düşey kurp	38

Şekil 4.9. Profil direkleri mukavemet hesabı	39
Şekil 4.10. Direk temel hesabı	41
Şekil 4.11. Radyal gerilme durumları	41
Şekil 4.12. Radyal kuvvet hesabı durumu I.....	43
Şekil 4.13. Radyal kuvvet hesabı durumu II	45
Şekil 4.14. Radyal kuvvet hesabı durumu III	46
Şekil 4.15. Eğilme momenti çözüm metodu.....	47
Şekil 4.16. Ekipman	49
Şekil 4.17. Seksiyonman	49
Şekil 4.18. Antişöminman	51
Şekil 4.19. Seperasyon seksiyonları (Nötr bölge).....	51
Şekil 4.20. Antişöminman	54
Şekil 4.21. Serbest yükseklik hesabı	57
Şekil 5.1. Transformator merkezleri arasındaki nötr bölge	61
Şekil 5.2. Seksiyonman (1000 m için)	62
Şekil 5.3. Tali yol üzerindeki seksiyoner	62
Şekil 5.4. Ana yol üzerindeki seksiyoner	62
Şekil 5.5. S Makas oluşumundaki seksiyonman.....	63
Şekil 5.6. Seksiyonman	63
Şekil 6.1. Örnek besleme planı	71

Şekil 6.2. Örnek bir trafo merkezi bağlantı şeması.....	71
Şekil 6.3. Raylı sistem güç beslemesi	72
Şekil 6.4. Trafo merkezinin görünümü	73
Şekil 6.5. Hatta bağlantısı yapılmış trafo merkez şeması.....	73
Şekil 6.6. Nötr bölge bağlantı şeması ve semboller	75
Şekil 6.7. İstasyon postası bağlantı şeması.....	75
Şekil 6.8. 34,5/0,4kV 1000 kVA Kuru tip iç ihtiyaç trafoları	76
Şekil 6.9. AG Ana dağıtım panoları.....	76
Şekil 6.10. Cer kuvveti (N) - hız (km/h) karakteristiği	78
Şekil 6.11. Bir normal katener sisteminin genel görünüşü.....	80
Sekil 6.12. Dikdörtgensel Haar öznitelikleri	82
Şekil 6.13. Tümlev imgede dikdörtgensel öznitelik hesaplanması.....	82
Şekil 6.14. Basitleştirilmiş bir pantograf-katener modeli	85
Şekil 6.16. Aktif bir PAK sistemi için blok diyagramı	87
Şekil 6.17. Pasif kontrol sisteminde, 100 N referans kuvveti değeri için temas kuvveti değişimi	88
Şekil 6.18. Aktif kontrol sisteminde, 100 N referans kuvveti değeri için temas kuvveti değişimi	88
Şekil 6.19. Aktif kontrol sisteminde, 80 N referans kuvveti değeri için temas kuvveti değişimi	89

Şekil 6.20. Aktif kontrol sisteminde, farklı referans değerleri için temas kuvveti değişimi	89
Şekil 6.21. Aktif kontrol sisteminde, 10 farklı referans değerleri için temas kuvveti değişimi	89
Şekil 6.22. Raylı taşıma güç besleme sistemi.....	91
Şekil 6.23. Hattın tek taraftan beslenmesi	93
Şekil 6.24. Sistem modeli.....	97
Şekil 6.25. Metro aracının akım zaman grafiği	99
Şekil 6.26. $G=10$ S/Km iken değişik topraklama direnci değerlerinde frenleme durumunda ray gerilimi dağılımı	100
Şekil 6.27. $G=0.01$ S/Km iken değişik topraklama direnci değerlerinde frenleme durumunda ray gerilimi dağılımı	101
Şekil 6.28. $G=0.01$ S/Km iken değişik topraklama direnci değerlerinde motor durumunda ray gerilimi dağılımı	101
Şekil 6.29. $G=10$ S/Km iken değişik topraklama direnci değerlerinde motor durumunda ray gerilimi dağılımı.....	102
Şekil 6.30. $G=0.01$ S/Km Ve $R_g=1$ iken frenleme durumunda analitik ve nümerik olarak hesaplanan değerler arasındaki fark	102
Şekil 6.31. Klasik demiryolu yapısının en kesiti	103
Şekil 6.32. Balast tabakasını içeren kiriş elemanı, visko-elastik temel olarak modellenen kötü kaliteli dolgu ve altyapı	105
Şekil 6.33. Tren hızına göre travers yer değiştirmesi (çökmesi) sonuçları	106
Şekil 6.34. Mesnet levhasının elastikliğinin, balastın titreşimine etkisi	108

Şekil 6.35. Balast-altyapı sisteminin düşey rijitliklerinin karakteristik değerleri	109
Şekil 6.36. Yolun rijitliğinin, 300 Km/Saat hızda, bir tekerlek tarafından boşuna harcanan enerji miktarına yaklaşık etkisi (UIC 60 rayı için).....	111
Şekil 6.37. Yüksek hızlı demiryolunun (Km) başına boşa harcanan enerjinin tahmini yıllık maliyetleri (günde bir yönde 23 TGV yolcu treninin çalıştığı demiryolu için).....	112
Şekil 6.38. Yol rijitliği ile toplam maliyetler arasındaki ilişki	113
Şekil 6.39. Dondan koruma tabakası kalınlığı için diyagram	118
Şekil 6.40. Farklı TAS'lar için geri kazanım oranı ve kWh/Araç/km	119
Şekil 6.41. İlave TM'li konfigürasyon	120
Şekil 6.42. Farklı yolcu sayıları için kWh/Araç/km ve tren ağırlığı.....	122
Şekil 6.43. Farklı yolcu sayıları için Wh/(kişi*km).....	122
Şekil 6.44. Farklı hızlanma ivmeleri için kWh/Araç/km ve tur süresi grafiği	123
Şekil 6.45. Araçlara ait elektrik ve mekanik özellikler	124
Şekil 6.46. Tur süresi ve kWh/Araç/km - ab eğrileri	125
Şekil 6.47. TAS 300 s için enerji tüketimi – yardımcı güç kullanım oranı.....	127

EKLER

Ek-A Elektrifikasyon tek hat besleme diyagramı 0-8 km arası	130
Ek-A (Devam) Elektrifikasyon tek hat besleme diyagramı 8-19 km arası.....	131
Ek-A (Devam)Elektrifikasyon tek hat besleme diyagramı 19-29 km arası.....	132
Ek-A (Devam)Elektrifikasyon tek hat besleme diyagramı 29-37 km arası.....	133
Ek-A (Devam)Elektrifikasyon tek hat besleme diyagramı 37-48 km arası.....	134
Ek-A (Devam)Elektrifikasyon tek hat besleme diyagramı 48-56 km arası.....	135
Ek-A (Devam)Elektrifikasyon tek hat besleme diyagramı 56-66 km arası (proje sonu)	136
Ek-A (Devam)Elektrifikasyon tek hat besleme diyagramı sembol listesi.....	137
Ek-B Köprü ve viyadükleriçin çelik boru detayları-1	138
Ek-B (Devam)Köprü ve viyadükleriçin çelik boru detayları-2	139
Ek-B (Devam)Katener sistemi direk ve ankraj temelleri	140
Ek-B (Devam)Köprü ve viyadüklerdeankraj sistemi-1	141
Ek-B (Devam)Köprü ve viyadüklerde ankraj sistemi -2	142
Ek-B (Devam)Trafo merkezi yerleştirme planı	143
Ek-B (Devam)Trafo merkezi tek hat şeması	144
Ek-B (Devam)Tünelde kataner taşıyıcılarının (destek) yerleşimi	145
.....	146
Ek-B (Devam)Tünelde kataner sistemi	147

Ek-C Katener planı 0+011,00-0+888,00 km arası	148
Ek-C (Devam) Katener planı 0+888,00-1+820,00 km arası	149
Ek-C (Devam) Katener planı 1+820,00-2+808,00 km arası	150
Ek-C (Devam) Katener planı 2+808,00 -3+730,00 km arası.....	151
Ek-C (Devam) Katener planı 3+730,00 -4+545,00 km arası.....	152
Ek-C (Devam) Katener planı 4+545,00 -5+600,00 km arası.....	153
Ek-C (Devam) Katener planı 5+600,00 -6+210,00 km arası.....	154
Ek-C (Devam) Katener planı 6+210,00 -7+165,00 km arası.....	155
Ek-C (Devam) Katener planı 7+165,00 -8+075,00 km arası.....	156
Ek-C (Devam) Katener planı 8+075,00 -9+132,00 km arası.....	157
Ek-C (Devam) Katener planı 9+132,00 -9+900,00 km arası.....	158
Ek-C (Devam) Katener planı 9+900,00 -10+850,00 km arası.....	159
Ek-C (Devam) Katener planı 10+850,00 -11+490,00 km arası.....	160
Ek-C (Devam) Katener planı 11+490,00 -12+291,00 km arası.....	161
Ek-C (Devam) Katener planı 12+291,00 -13+128,00 km arası.....	162
Ek-C (Devam) Katener planı 13+128,00 -13+900,00 km arası.....	163
Ek-C (Devam) Katener planı 13+900,00 -14+750,00 km arası.....	164
Ek-C (Devam) Katener planı 14+750,00 -15+685,00 km arası.....	165
Ek-C (Devam) Katener planı 15+685,00 -16+695,00 km arası.....	166
Ek-C (Devam) Katener planı 16+695,00 -17+615,00 km arası.....	167

Ek-C (Devam) Katener planı 17+615,00 -18+376,00 km arası.....	168
Ek-C (Devam) Katener planı 18+376,00 -19+357,00 km arası.....	169
Ek-C (Devam) Katener planı 19+357,00 -20+050,00 km arası.....	170
Ek-C (Devam) Katener planı 20+050,00 -20+720,00 km arası.....	171
Ek-C (Devam) Katener planı 20+720,00 -21+500,00 km arası.....	172
Ek-C (Devam) Katener planı 21+500,00 -22+328,00 km arası.....	173
Ek-C (Devam) Katener planı 22+328,00 -23+134,00 km arası.....	174
Ek-C (Devam) Katener planı 23+134,00 -24+070,00 km arası.....	175
Ek-C (Devam) Katener planı 24+070,00 -25+180,00 km arası.....	176
Ek-C (Devam) Katener planı 25+180,00 -26+218,00 km arası.....	177
Ek-C (Devam) Katener planı 26+218,00 -26+880,00 km arası.....	178
Ek-C (Devam) Katener planı 26+880,00 -27+487,00 km arası.....	179
Ek-C (Devam) Katener planı 27+487,00 -28+522,00 km arası.....	180
Ek-C (Devam) Katener planı 28+522,00 -29+600,00 km arası.....	181
Ek-C (Devam) Katener planı 29+600,00 -30+265,00 km arası.....	182
Ek-C (Devam) Katener planı 30+265,00 -30+922,00 km arası.....	183
Ek-C (Devam) Katener planı 30+922,00 -31+700,00 km arası.....	184
Ek-C (Devam) Katener planı 31+522,00 -32+500,00 km arası.....	185
Ek-C (Devam) Katener planı 32+500,00 -33+440,00 km arası.....	186
Ek-C (Devam) Katener planı 33+440,00 -34+360,00 km arası.....	187

Ek-C (Devam) Katener planı 34+360-35+348,00 km arası	188
Ek-C (Devam) Katener planı 35+300-36+293,00 km arası	189
Ek-C (Devam) Katener planı 36+293,00 -37+245,00 km arası.....	190
Ek-C (Devam) Katener planı 37+245,00 -38+170,00 km arası.....	191
Ek-C (Devam) Katener planı 38+170,00 -38+827,50 km arası.....	192
Ek-C (Devam) Katener planı 38+827,50 -39+750,00 km arası.....	193
Ek-C (Devam) Katener planı 39+750,00 -40+690,00 km arası.....	194
Ek-C (Devam) Katener planı 40+690,00 -41+700,00 km arası.....	195
Ek-C (Devam) Katener planı 41+700,00 -42+670,00 km arası.....	196
Ek-C (Devam) Katener planı 42+670,00 -43+600,00 km arası.....	197
Ek-C (Devam) Katener planı 43+600,00 -44+600,00 km arası.....	198
Ek-C (Devam) Katener planı 44+600,00 -45+442,00 km arası.....	199
Ek-C (Devam) Katener planı 45+442,00 -46+365,00 km arası.....	200
Ek-C (Devam) Katener planı 46+365,00 -47+290,00 km arası.....	201
Ek-C (Devam) Katener planı 47+290,00 -48+020,00 km arası.....	202
Ek-C (Devam) Katener planı 48+020,00 -49+000,00 km arası.....	203
Ek-C (Devam) Katener planı 49+000,00-49+806,11 km arası.....	204
Ek-C (Devam) Katener planı 49+806,11 -50+580,00 km arası.....	204
Ek-C (Devam) Katener planı 50+580,00 -51+504,00 km arası.....	206
Ek-C (Devam) Katener planı 51+504,00 -52+450,00 km arası.....	206

Ek-C (Devam) Katener planı 52+450,00 -53+380,00 km arası.....	208
Ek-C (Devam) Katener planı 53+380,00 -54+308,00 km arası.....	209
Ek-C (Devam) Katener planı 54+308,00 -55+239,00 km arası.....	210
Ek-C (Devam) Katener planı 55+239,00 -56+300,00 km arası.....	210
Ek-C (Devam) Katener planı 56+300,00 -57+183,00 km arası.....	212
Ek-C (Devam) Katener planı 57+183,00 -58+155,00 km arası.....	213
Ek-C (Devam) Katener planı 58+155,00 -59+088,00 km arası.....	213
Ek-C (Devam) Katener planı 59+088,00 -60+040,00 km arası.....	215
Ek-C (Devam) Katener planı 60+040,00 -60+794,00 km arası.....	216
Ek-C (Devam) Katener planı 60+794,00 -61+430,00 km arası.....	217
Ek-C (Devam) Katener planı 61+430,00 -62+300,00 km arası.....	218
Ek-C (Devam) Katener planı 62+300,00 -63+250,00 km arası.....	219
Ek-C (Devam) Katener planı 63+250,00 -63+975,00 km arası.....	220
Ek-C (Devam) Katener planı 63+975,00 -64+770,00 km arası.....	220
Ek-C (Devam) Katener planı 64+770,00 -65+743,00 km arası.....	222
Ek-C (Devam) Katener planı 65+743,00 -66+364,00 km arası (proje sonu)	223

SİMGE VE KISALTMALAR

Simgeler

Açıklama

AC (AA)	Alternatif Akım
DC (DA)	Doğru Akım
Hz	Hertz
MW	Megawatt
KWh	Kilowattsaat
RF	Akım Faktörü

Kısaltmalar

Açıklama

TGV	Train à Grande Vitesse
ICE	The InterCity Express
TCDD	Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları
AT	Auto Transformatör
BT	Booster Transformatör
SCADA	Uzaktan Kumanda Sistemi
UKM	Uzaktan Kumanda Merkezi

UIC	Uluslararası Demiryolu Birliği
IEC	Uluslararası Elektroteknik Komisyonu
ENH	Enerji Nakil Hattı
TEAŞ	Türkiye Elektrik Üretim İletim A.Ş.
EMK	Elektromotor Kuvveti
LVS	Ana Dağıtım Panosu
TTM	Tahrik Sistemi Trafo Merkezi
YYT	Yol Yatağı Tabakaları
CBR	California Bearing Test
TAS	Trenler Arası Süre
CPU	Merkezi İşletim Birimi

BÖLÜM I

DÜNYA VE TÜRKİYEDE ULAŞIM VE ULAŞIM ÇEŞİTLERİ

1.1 Giriş

Ulaşım; insan veya eşyanın bir yerden başka bir yere aktarılmasıdır. Gerek herhangi bir malın gerekse bir insanın bulunduğu yerle nakledileceği yer arasındaki mesafe, alacağı vakit, mal oluş fiyatı düşünülerek ulaşım şekli seçilir. Bundan hareket edilerek ulaşım yapılan yeni gelişmelerde daima gaye mesafeyi azaltmak ve böylece hem vakit kazanmak, hem de fiyatı düşürmek olmuştur. Bu arada konfor ve emniyet de dikkate alınmaktadır.

Ulaşım çeşitleri;

- Karayolu Ulaşımı
- Denizyolu Ulaşımı
- Havayolu Ulaşımı
- Demiryolu Ulaşımı

Doğu ile batı arasında bir köprü niteliğinde olan Türkiye'nin jeopolitik konumu, ulaştırma sektörünü bölgesel ekonomik kalkınma açısından önemli bir noktaya taşımıştır. Hem bir transit ülkesi hem de çıkış ve varış noktası olması sebebiyle, Türkiye bu alanda önemli bir rol üstlenmektedir. Ciddi mali istikrarsızlık ve Avrupa Birliği'ne tam üyelikle ilgili yakın tarihli uluslararası gelişmeler ve Türkiye'nin Orta Asya ve Güney Kafkasya ticarinde giderek daha fazla rol oynamaya başlamış olması, ulaştırma konusunu daha da önemli kılmaktadır.

Ülkemiz; 21. yüzyılda dünyada stratejik ve ekonomik ağırlığı giderek artacak olan Avrasya Bölgesi'nde merkezi bir konumdadır. Bu da bölgenin ve Türkiye'nin gerek ekonomik büyüme potansiyelini ortaya koyması ve gerekse önümüzdeki dönemde daha etkin bir güç odağı konumuna gelmesi için önemli bir fırsat sunmaktadır. Bu çerçevede, bölge ülkelerine yönelik yeni girişimlerin yapılması ve bölgede bugüne kadar gerçekleştirilen işbirliğinde yeni aşamalara ulaşılması önem taşımaktadır (<http://www.kalkinma.gov.tr/Lists/zel%20htisas%20Komisyonu%20Raporlar/Attachments/254/Lojistik%20Hizmetlerinin%20Geli%C5%9Ftirilmesi.pdf> T.C. Kalkınma

Bakanlığı Onuncu Kalkınma Planı Lojistik Hizmetlerin Geliştirilmesi Özel İhtisas raporu 2014-2018 sayfa 6, 2014).

1.2 Dünya ve Türkiye’de Demiryolu

Dünya genelinde karayolu ulaştırmasının doyum noktasına ulaşması ve çevreyle ilgili duyarlılıkların artması son 20 yılda demiryolu ulaşımına daha fazla önem verilmesine sebep olmaktadır. Demiryolları, uzay ve havacılık sektöründen sonra en yüksek büyüme ve teknoloji yoğunluğuna sahip sektördür. Bu nedenle, demiryolu sektörüne verilen önem artmaktadır. Çünkü hareketlilik, trafik yoğunluğu, trafik kazaları ve çevre gibi temel sorunların alternatif çözümlerini bünyesinde barındıran tek ulaşım türü demiryollarıdır. Ayrıca sürdürülebilir ekonomik büyüme için demiryollarının katkısı göz ardı edilemeyecek kadar önemlidir.

Yüksek hızlı tren işletmeciliğinin gelişmesi ile birlikte demiryolları, yolcu taşımacılığında önemli bir pazara sahip olmuştur. Bu pazarda demiryolları, karayolu ve havayoluna göre tercih edilir bir alternatif haline gelmiştir. Diğer taraftan buna paralel olarak demiryollarının yük taşımacılığındaki konumu da iyileşmeye başlamıştır. Bu olumlu gelişmelerin devamını amaçlayan ülkeler, Trans Avrupa ve Trans Asya gibi uluslararası ağlar ve koridorlar oluşturmak ve aynı zamanda diğer ulaşım türleri ile bütünleşmeyi sağlamak için işbirliğine gitmişler ve bu yönde önemli kararlar almışlardır (<http://www.tcdd.gov.tr/Upload/Files/ContentFiles/2010/faaliyet-raporu/2010rapor.pdf> T.C. Demir Yolları İşletmesi Genel Müdürlüğü Demiryolu Sektör Raporu sayfa 2, 2010).

Çizelge 1.1.Ülkeler bazında demiryolu uzunlukları (toplam Yol/Km)

Ülke Adı	2007	2008	2009
ABD	226.706	227.058	226.205
Rusya	84.158	84.158	85.194
Çin	63.637	60.809	65.491
Hindistan	63.327	63.327	63.273
Kanada	57.042	57.216	58.345
Fransa	29.488	29.901	33.778
Almanya	33.897	33.862	33.706
İtalya	16.668	16.862	16.959
İngiltere	16.208	16.321	16.173
Türkiye	8.697	8.699	8.686

Türkiye’de Cumhuriyetle birlikte bir atılım dönemine giren demiryollarının, 1950’lerden günümüze kadar yani 50 yılı aşkın bir zamandan beri ihmal edildiği, başka bir anlatımla, ulaştırma sistemi içerisinde kendisinden beklenen hizmeti sunabilmesi için gerekli destekten yoksun bırakıldığı görülmektedir. 1950’li yıllardan sonra uygulanan karayolu ağırlıklı ulaşım politikaları sonucunda, 1950-2002 yılları arasında karayolu uzunluğu %80 artarken, demiryolu uzunluğu sadece %11 artmıştır. 2010 sonu itibari ile Türkiye, 8.716 km’si konvansiyonel ana hat ve 2.332 km’si tali hat olmak üzere toplam 11.048km konvansiyonel hat ve 867 km yüksek hızlı tren hattı olmak üzere toplam 11.915km demiryolu hattına sahiptir. Söz konusu ana hatların %91’i tek hat, %9’u çift hatlıdır. Toplam hatların %26’sı elektrikli ve %33’ü sinyallidir. Ayrıca konvansiyonel ana hatların %29’unun yarıçapı 1.000 metreden az ve %24’ünün boyuna eğimi ‰10’dan fazladır (<http://www.kalkinma.gov.tr/Lists/zet%20htisas%20Komisyonu%20Raporlar/Attachme nts/254/Lojistik%20Hizmetlerinin%20Geli%C5%9Ftirilmesi.pdf> T.C. Kalkınma Bakanlığı Onuncu Kalkınma Planı Lojistik Hizmetlerin Geliştirilmesi Özel İhtisas raporu 2014-2018 sayfa 11,2014).



Şekil 1.1. 2023 Yılına kadar yapılması planlanan yüksek hızlı demiryolu hatları

1.3 Demir Yolunun Avantajları

Çevreye duyarlı bir taşımacılık türüdür. Diğer taşıma türlerine göre daha güvenlidir. Kara yolu trafik yükünü hafifletir. Genelde diğer taşıma alternatiflerinin aksine uzun dönem sabit fiyat garantisi vardır. Uluslararası geçişlerde kara yolunda geçiş sınırlamaları bulunurken transit ülkelerin tercih ettiği bir taşıma türü olmasından dolayı geçiş üstünlüğü verilmektedir. Transit süreleri kara yoluna göre biraz daha fazla olmasına rağmen sefer süreleri sabit durumdadır. Ağır tonajlı ve havaleli yükler için çok uygun bir taşıma türüdür

(http://www.academia.edu/9915553/Management_of_Natural_Resources_SUNUMU_DEM%C4%B0RYOLLARI Prof. Dr. Sencer İmer, INR322 Doğal Kaynakların Yönetimi sunumu, 2015)

BÖLÜM II

DEMİRYOLU ULAŞIM ARAÇLARI VE YÜKSEK HIZLI TREN

2.1 Giriş

Tren bir ya da birkaç lokomotif tarafından çekilen vagonlar dizisi demektir. Tren, dünyada ilk kez 1800'lü yılların başında, İngiltere'de kullanılmaya başlanmıştır. Tren, Richard Trevithick adında bir mühendis ile İngiltere'nin Pennydarran bölgesinde bir maden sahibinin iddialaşmaları yüzünden doğmuştur. Mühendis Trevithick, 10 ton ağırlığındaki demir buharlı makineyle Pennydarran'dan Cardiff'e kadar raylı bir yol aracılığıyla hiç zorlanmadan taşıyabileceğini iddia ediyordu. Böylece 6 Şubat 1804 tarihinde Tram-Waggon adlı bir lokomotif 10 tonluk demir yükü ve ayrıca 70 yolculu bir arabayla Cardiff'ten hareket etti. 16 km uzunluğundaki Pennydarran-Cardiff yolu, beklemler ve tamirler de hesaba katılırsa, tam 5 saatte aşılabildi. Elde ettiği bu başarılı sonuca karşın Trevithick'in şansı yaver gitmemiş bu yeni makineyi daha fazla geliştirememiş ve böylece makinenin o günlerdeki yaygın ulaşım aracı hayvanlardan daha üstün ve etkin olduğunu ispatlayamamıştır. İşte bu nedenledir ki, trenin bulunuşu, başka bir İngiliz'e, George Stephenson'a mal edilir. George Stephenson, daha sonraki yıllarda, peron, lokomotif ve vagon tasarımları çizmiş ve bunları gerçekleştirmiştir. Böylece o günün buharlı lokomotif gelişimin bir simgesi haline almıştır. Stephenson, 27 Eylül 1825 tarihinde yalnızca yolcu ve yük taşıyarak Dünya'nın ilk demiryolu taşımacılığını gerçekleştiren treni, İskoçya'da Darlingthorpe ile Stockton arasında kullanmıştır. Yine Stephenson, bu tarihten beş yıl sonra saatte 24 km hızla gidebilen ve Rocket adını taşıyan yeni bir lokomotif modeliyle büyük ticari önemi olan Liverpool-Manchester 1831'de Amerika Birleşik Devletleri'nde, 1832'de Fransa'da 1835'te Belçika ve Almanya'da 1837'de Rusya'da ve 1848'de İspanya'da demiryolu kullanılmaya başlanmıştır.

Metro Şehrin semtlerini genellikle yer altından birbirine bağlayan ve elektrikle çalışan süratli trenlere ve bunların işlediği tünellere verilen isimdir. Metro ihtiyacı şehirlerin kalabalıklaşması sonucu düşünülmüş ve trafik akışına büyük kolaylık getirmiştir. Şehir, taşımacılık yönünden yer altına doğru gelişmekle hem yerden kazanılmış, hem de şehir gürültü seviyesi büyük ölçüde düşürülmüştür. Metroların nükleer savaşlarda en uygun bir sığınak olduğu da düşünülürse önemi daha iyi anlaşılır. Dünyanın ilk metrosu 6 km

olarak Londra'da yapılmıştır. Bu metronun inşası 1860'ta başlamış ve 1863 senesinde tamamlanmıştır. Metro inşasından sonra metro üzerine gelen yollar yeniden düzenlenmiştir.



Şekil 2.1. Türkiye demir yolu hattı (bölgelere göre)

2.2 Yüksek Hızlı Trenler

2.2.1 Hızlı tren

Hızlı tren, normal trenlere göre daha hızlı yolculuk etme olanağı sağlayan bir demiryolu taşımacılığı yöntemidir. Genel olarak saatte 200km'den yüksek hızlara çıkabilen tren türü olarak kabul edilmektedir. Fransa'daki TGV, Almanya'daki ICE ve gelişme aşamasındaki Manyetik raylı trenler bu tren türüne örnek gösterilebilir. Şu anda Almanya, Belçika, Çin, Finlandiya, Fransa, Güney Kore, İngiltere, İspanya, İtalya, Japonya, Portekiz, Tayvan, Türkiye saatte 200 km hızın üzerine çıkan trenlerle bu taşımacılığı gerçekleştirmektedir. TCDD 2003 yılında Ankara-Eskişehir illeri arasındaki hızlı tren ray hattının yapımını başlatmıştır. Mart 2009'da hat kalka açılmıştır.

20. yüzyılda motorlu araçların ortaya çıkmasına kadar ulaşım çoğunlukla demiryolları üzerinden sağlanmıştır. Avrupa ve Amerika'daki demiryolu şirketleri 1933'lerde hızları saatte 160 km'ye ulaşan trenlerle hizmet vermeye başlamışlardı. Bu servisler dönemin uçaklarıyla rekabet edebilecek kapasiteye sahipti. Ancak İkinci Dünya Savaşı bu servislerin devam etmesini engelledi. Savaş, bu hızın önüne geçici bir engel koysa da,

ikinci dünya savaşının ardından teknolojide fark yaratmaya başlayan Japonlar bir rekora imza attı. Saatte 145 km hızla giden Ro-mancecar 3000 SSE, Tokyo’da dar hat aralığına sahip trenler arasında en yüksek hıza ulaşmış olmuştur. Bu başarı Japon tasarımcılara standart hat aralığına sahip trenlerle daha da yüksek hızlara ulaşabilecekleri güvenini sağlamıştır (<https://hizlitren.tcdd.gov.tr/home/detail/?id=4> T.C. Ulaştırma Bakanlığı Yüksek Hızlı Tren Hakkında Her şey sayfa 8, 2009).

Hızlı trenler bugün Fransa, Almanya, İspanya, İtalya gibi Avrupa ülkeleri ile Japonya, Çin ve Güney Kore’de kullanılmaktadır. Hızlı tren hatlarının öncülüğünü yapan Japonya aynı zamanda en çok yolcu yoğunluğuna sahip ülkedir. 120’den fazla trenle, yılda 305 milyon yolcu taşımaktadır. Japonya, hızlı trenleri ilk kullanmaya başlayan ülkedir. İlk kez 1959’da Tokyo-Osaka arasında Tokaido Shinkansen Hızlı Tren Hattı’nın yapımına başlanmıştır. Açılışı 1964 yılında yapılan Shinkansen hattı dünyanın en yoğun hızlı tren hattı. Hat ilk açıldığında 210 km/saat hızla 4 saatte tamamlanan 553 km’lik yolculuk bugün 270 km/saat hız ile 2,5 saat sürmektedir. 30 yıl önce tek olan bu hızlı tren hattında günde 30 trenle, yılda 44 milyon yolcu taşınırken, bugün toplam uzunluğu 2452 kilometre olan Shinkansen şebekesinde yılda 305 milyon yolcu taşınmaktadır. Shinkansen, Japonya’daki diğer hatlar da dâhil olmak üzere dünyadaki tüm hızlı tren hatlarının taşıdığından daha fazla yolcu taşıma potansiyeline sahiptir. Japonya hızlı tren konusunda ilk olmaya devam etmektedir. 2003 yılında raydan sadece birkaç milimetre yüksekte, rayla doğrudan temassız hareket eden “Maglev”, saatte 581 kilometre hıza ulaşarak, bu dalda yeni bir dünya rekoru kırmıştır.

Çizelge 2.1.Türkiye ve dünya demiryolu hat uzunlukları

Ülke	Kullanıma açık (km)	Yapım aşamasında (km)	Toplam (km)
Çin	6,158	14,160	20,318
Japonya	2,118	377	2,495
İspanya	2,665	1,781	3,744
Fransa	1,872	234	2,106
Almanya	1,032	378	1,410
İtalya	923	92	1,015
Rusya	780	400	1,180
Türkiye	457	591	1,048
Tayvan	345	0	345
Güney Kore	330	82	412
Belçika	209	0	209
Hollanda	120	0	120
Birleşik Krallık	113	0	113
İsviçre	35	72	107

2.3 Türkiye’de Yüksek Hızlı Tren

TCDD 2003 yılında Ankara-Eskişehir illeri arasındaki hızlı tren ray hattının yapımını başlatmıştır. 23 Nisan 2007 tarihinde deneme seferlerine başlanmış, 13 Mart 2009 tarihinde de ilk yolcu seferi yapılmıştır. 245 km'lik Ankara-Eskişehir hattı yolculuk süresini 1 saat 25 dakikaya düşürmüştür. Bu hat aynı zamanda Ankara İstanbul Hızlı Tren Hattı’nın ilk etabını oluşturmuştur. Hattın Eskişehir-İstanbul Hızlı Tren Hattı ve Marmaray’ın tamamlanmasıyla Avrupa Asya arasında ilk günlük hızlı tren seferi yapan hat olacaktır.

Temeli 8 Temmuz 2006’da atılan Ankara-Konya Hızlı Tren Hattı’nın 24 Ağustos 2011 tarihinde ilk yolcu seferi yapıldı. Toplam 306 km'lik hattın 94 km'lik Ankara-Polatlı arasındaki kısmı, Ankara-Eskişehir projesi kapsamında yapılmıştır. Hat 300 km/saat hıza uygun hat inşa edilmiştir (<https://hizlitren.tcdd.gov.tr/home/detail/?id=6> Özen L, TCDD, Ray Haber, Türkiye’de Hızlı Tren 29/10/2012).

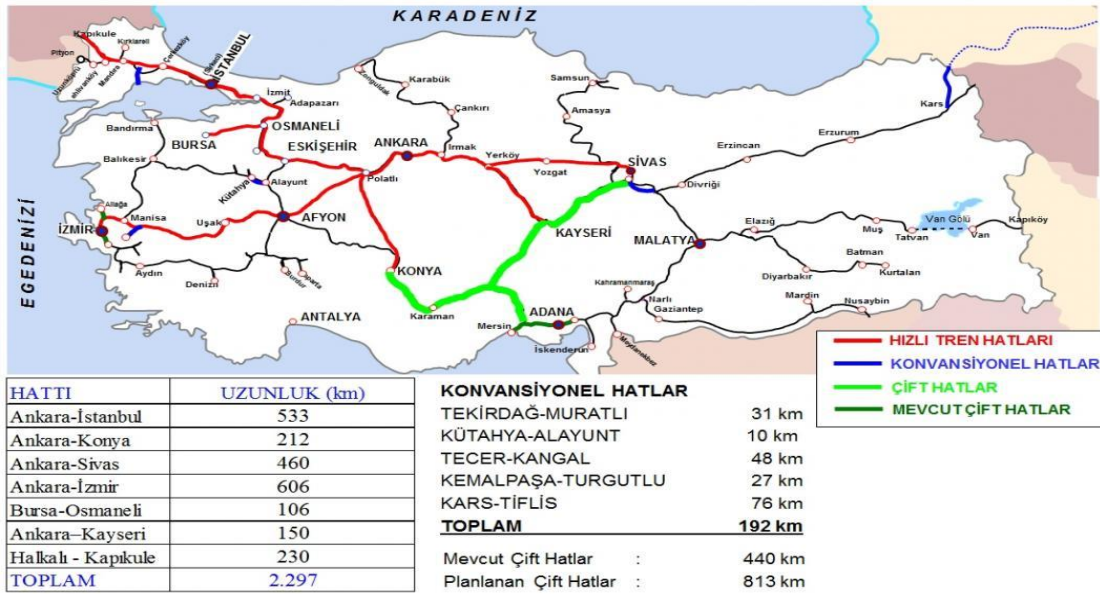
2.4 Hızlı Trenin Avantajları

- Hızlı tren ile uçak yolculuğuna göre daha çabuk ulaşım sağlanabilir.
- Tren istasyonlarının şehir içinde yer almaları nedeniyle erişim daha kolaydır.
- Hızlı trenlerde gecikme ve ertelemeler çok nadir görülmektedir.
- Hava olayları aşırı etki göstermediği sürece trenler için bir gecikmeye neden olmamaktadır.
- Hızlı trenler diğer ulaşım araçlarına göre çok daha güvenlidir.

Hızlı trenler, kullanım kolaylığı, fiyat avantajı, emniyetli ve hızlı olmasıyla farkını ortaya koyar. Otomobilinizle gideceğiniz bir yolu hızlı trenle daha kısa sürede, daha emniyetli ve elbette daha ucuza kat edersiniz. Hızlı trenler tüm ülkelerdeki otoyol hız limitlerinden çok daha yüksek hızda seyahat yapma fırsatı verir. Genel olarak yolculuk mesafesi arttıkça hızlı trenin otoyola olan zaman avantajı artar. Yolculuğunuz boyunca size özgür alanlar sunar. İstedığınız yere istediğiniz zaman gidebilirsiniz. Restorandan lavaboya gidebilir ya da sadece gezinti amacı ile yürüyüş yapabilirsiniz. Emniyet kemeri takma zorunluluğunun olmadığı, elektronik araçların doyasıya kullanılabildiği tek ulaştırma aracı hızlı trenlerdir (<https://hizlitren.tcdd.gov.tr/home/detail/?id=5> Özen L, TCDD, Ray Haber, Yüksek Hızlı Tren Hakkında Bilmediğiniz Her şey,28/4/2012).



Şekil 2.2. Yüksek hızlı tren hatlarının inşa edilmesi I



Şekil 2.3. Yüksek hızlı tren hatlarının inşa edilmesi II

2.5 Yüksek Hızlı Trenlerin Ayrıca Özellikleri

Yüksek hızlı tren hatlarını konvansiyonel hatlardan ayıran pek çok teknik özellik vardır. Hızların artmasına bağlı olarak trenlerin birtakım fiziki ve elektriksel güçlüklerle karşı karşıya kalması nedeni ile yüksek hızlarda emniyetli bir biçimde seyredecek trenlerin kullanılabilmesi için hızlı tren hatları çok büyük önem taşır. Halen dünyada hızlı tren işletmeciliği yapan ülkelerdeki hızlı trenlerin önemli bir kısmı 350 km/ saat hızları geçmiyor. Almanya, Fransa ve Japonya' da test ve araştırma amaçlı olarak 350 km/saat'i aşan hızlar uygulanıyor. Örneğin 2008 yılında Fransa TGV treni ile Paris-Strazburg kentleri arasında yaptığı test sürüşlerinde 575 km/saat hızı ile yeni bir dünya rekoru kırdı. Farklı bir teknolojiye sahip olan Japonya'nın Maglev treni ise 2003 yılında 581 km/saat hız ile rekor kırmıştı.

İki hızlı tren birbirlerinin yanından hızla geçtiklerinde aralarındaki hız farkı 600 km/saat'e kadar çıkabilir. İşte bu yüzden hatlar arasındaki genişlik önemlidir. Basınç farklılıklarının ortadan kaldırılması için hızlı tren hatları arasındaki mesafe konvansiyonel hatlara göre daha büyüktür. Yüksek hızların elde edilmesi için hızlı tren hatlarında kullanılan kurp yarıçapları konvansiyonel hatlara göre daha büyüktür.

BÖLÜM III

DEMİRYOLU ELEKTRİFİKASYONU

3.1 Giriş

Ulaştırma ekonomik faaliyetlerin oluşumunda zorunlu bir hizmettir. Bu hizmetin en elverişli, en ekonomik, en güvenli ve en hızlı bir sistemle gerçekleştirilmesi gerekir. Ulaştırma hizmeti, karayolu, demiryolu, denizyolu, havayolu ve boru hattı taşıma sistemlerinden bir ya da bir kaçının kombinasyonu ile gerçekleştirilir. Ulaştırma sektörleri içinde karayolu ve demiryolu en önemli taşıma sistemleridir. Demiryolunda birim taşıma maliyeti daha düşüktür. Ayrıca altyapı yapım maliyetleri daha düşük, enerji sarfiyatı ve doğal çevreye zararı en azdır. Bu nedenle raylı sistemlerin geliştirilmesi sosyal ve ekonomik bir zorunluluktur.

Dünyada ulaştırma sektörlerinden hız, emniyet, konfor gibi kaliteyi belirleyen faktörlerin yükseltilmesinin yanı sıra, ekonomik bir işletmecilik olanağı sağlayan elektrifikasyon sistemlerinin devreye girmesiyle hat kapasitesi arttırılan demiryolu taşımacılığı cazip hale gelmiştir (JICA, ‘Railway Elektrification TA JR 89-136’).

3.2 Elektrikli Cer Sistemleri

Elektrifikasyon sistemleri kullanılacak elektrik enerjisinin şekli ne olursa olsun bu enerjinin elde edilme koşulları, enerjinin nakli, lokomotiflerde kullanılacak faydalı duruma çevrilmesi, nihayet cer motorlarının inşaa ve çalışma şartları göz önüne alınarak incelendiğinde;

1. Az yüksek gerilimli (600 ila 3000 V) DC Sistemi
2. Özel frekanslı ve Yüksek gerilimli AC Sistemi
3. Ticari frekanslı ve Yüksek gerilimli AC Sistemi

olmak üzere 3 sınıfa ayrılır(Tercüme Sadettin TANERİ ‘25 kV 50 Hz Monofaze Elektrikli Cer Havai Hatları SNCF 1971’).

3.2.1 Az yüksek gerilimli (600 ila 3000 V) DC sistemi;

Doğru akım ile beslenen seri karakteristikli elektrik motoru ideal cer motorudur. Hacmi az, imali kolay ve sağlamdır. Hızı kolaylıkla ayarlanabilir ve çevirme momenti demarajda (kalkma anında) olsun, tam hızda olsun büyüktür. Lokomotifler için gerekli enerji Ulusal şebekeden alınan Alternatif akımın Doğru akıma çevrilmesi ile sağlanır. 600 ila 3000 Volt olan bu doğru akım katenere (veya bazen demiryolu yanına döşenmiş bir raya) verilir. Katener tesislerinde kullanılan iletkenlerin toplam bakır eşdeğer kesitleri 400mm² ila 800mm² arasında değişir. İletkenlerin boyutlarının büyük olması nedeniyle, direk ve temellerin boyutları büyüktür. En önemli özelliği dar gabaride, elektrikli kleransları sağlamak kolay olduğundan, DC sistemler daha çok metro ve metro üstü olmak üzere, şehir içi raylı taşımacılıkta kullanılır. Ayrıca katener tesisinin bazı bakım işleri gerilim altında yapılabilir. DC gerilimi uzak mesafelere taşımak, çok sık trafo merkezlerinin kullanılması ile mümkündür. En önemli teknik özelliği aşınma probleminin olmasıdır. Kaçak akımlar yeraltındaki Petrol, Doğalgaz, su boru hatları üzerinde malzeme kaybına neden olmaktadır. Bilindiği gibi doğru akım tek yönlü aktığı için alternatif akıma göre bu problem tedbir alınmadıkça telafisi olmayan tehlikelere neden olabilir. Deneyler ile bulunmuş olan 1 Amperlik akım 1 yıl boyunca böyle bir dolaşım yapması halinde 1 kg malzeme kaybına neden olmaktadır. Tedbir olarak doğru akım topraklamasının dikkatli yapılması gerektiği gibi yeraltında ki tank ve borulara doğru akım yönünün tersine bir gerilim vermek suretiyle tank ve borularda akımın toplanmasına mani olunmalıdır.

Görüldüğü gibi km'lerce uzunluktaki bir güzergâhın kontrolü (Yeraltındaki borulardan, tanklardan) oldukça zordur. Alternatif akımda da bu tehlikenin olmasına rağmen, akımın sinüzoidal karakteristikte olması nedeniyle büyük bir problem oluşmayacaktır. Dünya'da Rusya Federasyonunda, İtalyan, Japonya ve Fransa İskandinav Ülkeleri, Avusturya, Belçika, İspanya, Güney Afrika, Brezilya, İngiltere ile ülkemizde metropoliten taşımacılıkta bu sistem kullanılmaktadır (Tercüme Sadettin TANERİ '25 kV 50 Hz Monofaze Elektrikli Cer Havai Hatları SNCF 1971').

3.2.2 Yüksek gerilimli ve özel frekanslı ($16\frac{2}{3}$ Hz) AC sistemi

Bu sistemde cer enerjisinin üretimi, nakli ve lokolar da kullanışı alternatif akım şeklindedir. Elektrifikasyon sisteminin gelişmesinden 2. Dünya savaşına gelinceye kadar, Ticari 50 Hz’lik Alternatif akımı kullanacak cer motorlarının imali pek yoktu. O dönemdeki motorların büyüklüğünden dolayı bu motorları gabari bakımından boyutları zaruri olarak sınırlı olan bir lokomotife yerleştirmeyi mümkün kılmıyordu. Bu nedenle AC motorlarda normal frekanstan daha düşük frekansta akım kullanmak gerekti ve özellikle Almanya, İsviçre, İskandinav ülkelerinde 15kV $16\frac{2}{3}$ Hz ACs istemleri inşa edildi. Bu sistem ile enerjinin üretimi ve katenere kadar nakli kolay olup, Trafo merkezleri basit ve posta adetleri azdır. Katenerde gerilimin yüksek olması sebebiyle trafo merkezleri aralarındaki mesafe büyüktür. Katenerde yüksek akım çekilmediği için gerekli bakır kesiti azdır. Bilindiği gibi $16\frac{2}{3}$ Hz’lik hususi frekanslı akım ancak demiryollarında kullanıldığından ticari amacı yoktur ve bu sistemin en büyük mahsurlarından biridir (Tercüme Sadettin TANERİ “25kV 50 Hz Monofaze Elektrikli Cer Havai Hatları SNCF 1971”).

3.2.3 Ticari frekanslı ve yüksek gerilimli AC sistemi

Tarihi gelişimi Almanya da başlamıştır Almanya 1935 yıllarında 50Hz ile beslenen cer motorlarının yapımı için araştırma ve etütlere başlamış, ancak 2. Dünya Savaşı nedeniyle gerçekleştirememiştir. Fransızlar bu araştırma ve etütleri geliştirerek yüksek gerilimli ticari frekanslı AC sistemini denemiş ve olumlu sonuçlar elde ettikten sonra tren trafiğinin en yoğun hatlarında bu sistemi uygulamaya başlamışlardır.

25kV, 50Hz AC ile beslenen hatlara sahip olan demiryolları, Ulusal Elektrik Şebekesinin müşterisi olmakta, kendisine ait elektrik santrallerine ve hatlarına sahip olmaktan kurtulacaktır. Trafo merkezleri basitleşmiş ve hacimleri küçülmüştür. İki transformatör merkezi arasındaki mesafe 50 -70km.’dir. Lokomotif, 25KV, 50Hz Alternatif akımın doğru akıma çevrilerek, seri doğru akım motorlarına verilmesi marifetiyle cer edilmektedir. Diğer sistemlere göre ekonomiktir. Enerji kesilerek bakım yapılabilir. Dünyada bu sistem, ülkemiz yanı sıra başta İngiltere, İspanya, İtalya, Fransa, Japonya, Hindistan ve Balkan ülkelerinde kullanılmaktadır. Ülkemizde Demiryolu

sistemi ana hat uzunluğu 8430 Km, toplam hat uzunluğu 10922 Km'dir. Ana hattın 1480 Km'si toplam hattın 2148 Km' si 25kV 50Hz. Tek faz AC sistemdir. Toplam hat uzunluğunun % 19,66'sında Elektrikli işletme yapılmaktadır(Tercüme Sadettin TANERİ "25 kV 50 Hz Monofaze Elektrikli Cer Havai Hatları SNCF 1971").

Dünyada Elektrifikasyon Hat Uzunluğu 210.831 Km olup, ülkelere göre dağılımı şöyledir;

Çizelge 3.1. Dünyada elektrifikasyon hat uzunlukları

Rusya da	37.914 Km
Almanya da	15.565 Km
Japonya da	14.110 Km
Fransa da	12.344 Km
Hindistan da	8.376 Km
Çin de	4.960 Km
Avustralya da	3.853 Km
Brezilya da	2.500 Km
A.B.D.'de	3.49

3.3 Elektrifikasyonun Faydaları

Günümüzde, bir ülkenin ulaşım sisteminin yeterliliği, ekonomik gelişmişliğin bir göstergesi olarak düşünülmektedir. Ulaşım türlerinin toplam taşıma içindeki yerlerinin belirlenerek, optimal dağılımı sonucundaki ulaşım sistemi, ülkenin sosyo-ekonomik kalkınmasını destekler. Toplam taşıma içindeki payını artırmak isteyen Demiryolları talep artışındaki ihtiyaca cevap vermek için teknolojik gelişmelere uygun kapasiteyi artırıcı girişimler yapmak zorundadır.

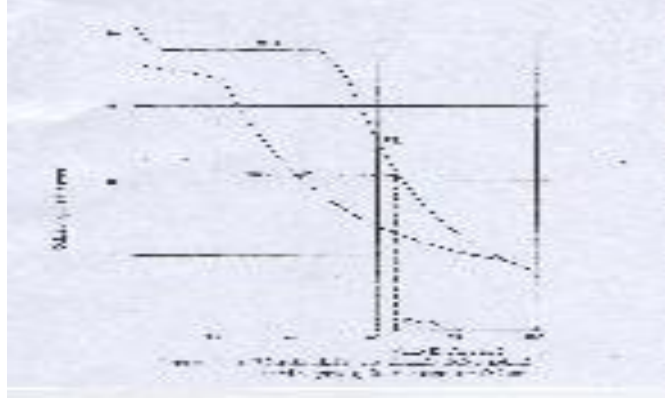
Modern bir taşıma sisteminin ucuzluk, güvenilirlik ve hızlılığın yanı sıra yolcu taşımalarında konforlu olması zorunluluğu ile beraber, çevre ile uyum göstermesi, en az enerji tüketmesi ve çevre kirliliğine yol açmaması gereklidir. Hız, emniyet, konfor gibi kaliteyi belirleyen faktörlerin yükseltilmesi, çeken ve çekilen araç teknolojisinin geliştirilmesi ve parkının yeterli seviyeye getirilmesi, mevcut Demiryolu ağının fiziki ve geometrik standartlarının yükseltilmesi, tren trafiğinin sıklığı, güvenliği ve kontrolü sağlayan elektrifikasyon sistemlerinin devreye girmesi ile hat kapasitesinin artırılmasıyla mümkün olur (JICA, "Railway Elektrification TA JR 89-136").

3.3.1 Enerjiden en iyi faydalanma

Demiryolları elektrifikasyonu için gerekli enerjiyi; ulusal elektrik santrallerin (Termik, hidrolik, jeotermal, rüzgâr ve nükleer santrallerin) ürettiği enerjiden sağlar. Enerji kaynaklarından ithalata dayanmadan enerji üreterek, tüketime sunması ekonominin gereğidir. Ülkemizin kurulu gücü 1999 yılı sonunda 26116.8MW'dır. Bu gücün % 23.5'ini doğalgaz yakıtlı santraller, % 24.3 ünü linyit, % 5.9 sıvı yakıtlı, % 40.3ünü'de hidrolik kaynaklar oluşturmuştur. 1999 yılı sonuçlarına göre 116.4 milyar wh üretim, 2.3 milyar ithalat, 0.3 milyar kwh ihracat yapılmış ve 118,5 milyar kwh olan ülke tüketimi karşılanmıştır. Buna göre kişi başına tüketim 1840kwh olarak gerçekleşmiştir. Bilindiği üzere ülkemiz petrol yönünden dışa bağımlı olup, bu durum döviz kaybına yol açmaktadır. Ancak elektrik enerjisi yönünden daha az dışa bağımlı olan ülkemiz, kendi enerji kaynaklarımızdan azami derecede istifade ederek, dışarıdan ithal edilen petrole ödenen dövizden tasarruf edebilecektir. Elektrikli işletmede, dizel lokomotiflere mazot sağlayan tesislere gerek yoktur. Ayrıca petrol nakliyesi için çekilen araçlardan tasarruf sağlanır (JICA, "Railway Elektrification TA JR 89-136").

3.3.2 Teknik faydaları

Şekil 3.1'de ki grafik Japonya'da kullanılan elektrikli ve dizel olmak üzere yaklaşık aynı beygir gücünde olan lokomotifleri karşılaştırmaktadır. Düz çizgi 67,2 ton ağırlığında AC elektrikli lokomotifi "ED75" ve "BO-BO" 1900kW şaft aranjmanlı makinenin performans eğrisini göstermektedir. Yatay ekseninde hız, düşey ekseninde ise çekiş gücü belirtilmektedir. Grafikten de anlaşılacağı üzere; örneğin: elektrikli lokomotifin çekiş gücü 40 Km/h hızla gittiği zaman dizel lokomotifin yaklaşık iki katı olmaktadır.



Şekil 3.1. Elektrikli ve dizel lokomotiflerin çekiş karakteristikleri

Eğer lokomotifler aynı çekiş gücü ile işletmeye açılırsa, örneğin; 10000 tonluk dizel lokomotifin çekiş gücü ile 40 Km/h'lık hızla gitmesine olanak verirken elektrikli lokomotifin aynı çekiş gücü ile daha hızlı yani 67 Km/h hızla gitmesi mümkündür.

JNR'nin standart lokomotifleri yük treni olarak kullanılmak üzere spezialize edilmiş olduğu için gidiş hızı düşük olmaktadır. Fakat bu karşılaştırma yüksek hız operasyonu lokomotifleriyle de aynı sonuçları vermektedir.

Aliyman kesimde ortalama hız, 1000 tonu çekiş için elektrikli lokomotifte 78 Km/h olurken, dizel lokomotifte 70 Km/h'dir. Eğer %10 eğimli bir güzergâhta işletilecek olursa elektrikli lokomotif için ortalama hız 55 Km/h (Aliyman kesime göre %29 daha düşük), dizel lokomotif için ise 29 Km/h (Aliyman kesime göre %59 daha düşük) olur. Genel olarak elektrikli lokomotiflerin yaptığı iş iki adet dizel lokomotifin yaptığı işe eşit görülmekteyse de, bazı ülkelerde bu oran 2,5 dizele eşittir. Böylece az tren ile çok yük daha kısa sürede cer edilir.

3.3.3 İşletmedeki faydaları

Elektrikli lokomotiflerin güç üstünlüğü sebebiyle (iki adet dizel lokomotifin yaptığı işi bir adet elektrikli lokomotif ile yapmak mümkün olduğundan) aynı sayıda tren ile en az iki kat yük taşımak mümkündür. Az tren ile çok yük daha kısa sürede cer edileceğinden hat kabiliyeti artacaktır. Elektrikli lokomotiflerin çift kabinli olması nedeniyle, dizi teşkili daha kolaydır. Elektrikli trenler anlık olarak çalışmaya hazır hale getirilebilir. Dizel makinelerin ise sefere çıkmadan en az 1 saat önce bakımlarının yapılması gereklidir.

3.3.4 İktisadi faydalar

Elektrikli lokomotiflerin enerji sarfıyatı, dizel lokomotiflerin kullandığı yakıt sarfıyatının %33'üne karşılık gelmektedir. Yani elektrikli lokomotifte dizel lokomotifle oranla yarıdan daha az bir yakıt tüketimi gerçekleşmektedir.

3.3.5 Sosyal faydalar

Şehir içinde elektrik enerjisi kullanılarak verimli ve yüksek kapasiteli bir demiryolu taşımacılığı çözümü geliştirilmesi; otomobil trafiğinin neden olduğu kirliliği, otoyol ve bireysel ulaşımına bağlılığı azaltacak ve anayolların arabaların park edilme bölgesi olarak kullanılmasına engel olunacaktır. Trafik sıkışıklıkları, kazalar, kirli hava ve aşırı gürültü şehrin sağlığı ve refahı için ciddi bir tehdit oluşturmaktadır. Bu nedenle, çevre kirliliğine yol açmayan Elektrifikasyonun, dizel lokomotifle göre tünellerde ve metro gibi yer altı sistemlerinde kullanımı daha uygundur. Duman ve kıvılcımın olmayışından ötürü, tren tahrikinde daha büyük emniyete haiz olup, çevreyi kirleten unsurlardan uzaktır.

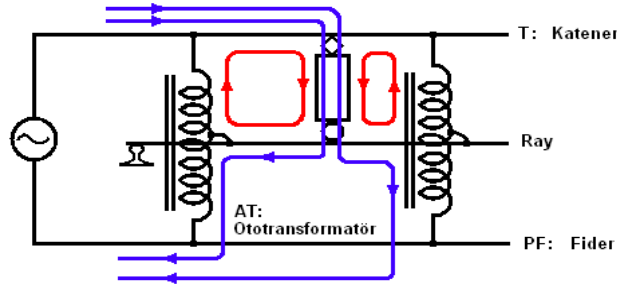
3.4 AC (alternatif akım) elektrikli sistemlerinde besleme

AC Elektrifikasyon için üç fazlı AC enerji, Scott transformatör bağlantısı ya da geliştirilmiş bir woodbridge transformatör bağlantısı ile faz dönüşümü sağlanarak tek faza indirgenir ve daha sonrada elektrikli trenlere katener tesisleri veya ray ile besleme yapılır. Uzun mesafelerde rayların dönüş akımı için kullanılması, toprağa kaçak akımların akmasına neden olur. Bu kaçak akımların (sızıntı) ise haberleşme hatlarında elektromanyetik girişime (interference-haberleşme endüksiyonuna) yol açmaktadır. Haberleşme endüksiyonunun azaltılabilmesi için AT ve BT elektrifikasyon sistemleri geliştirilmiştir (De Consult, "Electrification Project").

Dünyada şimdiye kadar geliştirilmiş ve halen araştırma konusu olan 4 çeşit elektrifikasyon sistemi vardır.

1. Auto Transformatör Besleme sistemi.
2. Booster Transformatör Besleme sistemi.
3. Koaksiyal kablo ile Besleme sistemi.
4. Basit (Doğrudan) Besleme sistemi.

3.4.1 Auto Transformatör Besleme Sistemi



Şekil-3.2. Auto transformatör besleme sistemi

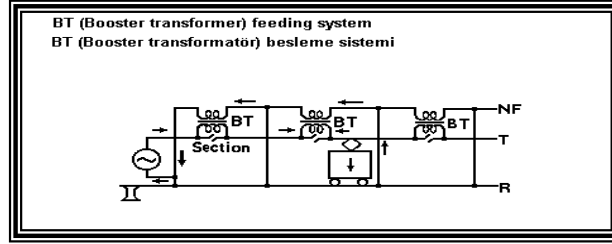
Dünyada özellikle Japonya’da standart bir AC besleme sistemi olarak benimsenmiştir. Elektromanyetik girişimin azaltılabilmesi için geliştirilmiş bir sistemdir.

- Trafo merkezi gerilim çıkışı elektrikli trenlere uygulanacak gerilimden daha yüksek olduğu için yüksek enerji kaynaklarına uygundur. Gerilim düşme oranı çok azdır.
- İki trafo merkezi arası mesafe daha uzun olduğu için, daha az sayıda trafo merkezi gereksinimi olmakta buda bakım kolaylığını beraberinde getirmektedir.
- Trafo merkezinin yeri enerji nakil hatlarına yakın seçileceğinden ilave enerji nakil hattı masrafı azalmış olacaktır.
- Trafo sarım oranı 1/1’dir. Katener ile besleme hattı arasındaki voltaj elektrikli trene uygulanacak gerilimin iki katıdır. Nötr noktaları raylara irtibat edildiğinden besleme hattı ve katener, toprağa göre aynı gerilimdedir. Buda izolasyon tasarımını kolaylaştırır.
- BT sisteminde olduğu gibi BT seksiyonmalarına gerek yoktur. Haberleşme özellikleri ise, oto trafolarının eşit dönüş akımı ve yük akımının komşu ototrafolar tarafından beslendiği göz önüne alındığında haberleşme endüksiyon gerilimi bastırılmaktadır (De Consult, “Electrification Project”).

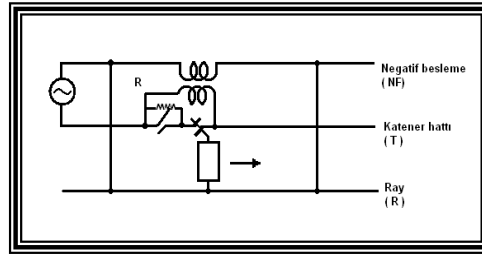
3.4.2 Booster transformatör besleme sistemi

Bu besleme sistemi raylardan toprağa akan sızıntı akımdan ortaya çıkan haberleşmenin endüksiyonunu en aza indirmek için primer (birincil) ve sekonder (ikincil) devre sarım oranı 1:1 olan transformatörler ile dönüş devrelerinde raydan ve topraktan akan akımları

toplayan bir sistemdir. Booster Transformatörlerin bulunduğu seksiyonmanlardan, Elektrikli Tren geçerken pantografıta arklar meydana gelmektedir. Bu durum pantoğrafın veya iletkenin yıpranmasına hatta kopmasına neden olmaktadır. Bu sebeple dünyada çok kullanılmamaktadır. Trenlerin bir Booster seksiyonundan geçtiği zaman akım dağılımları ve kesme akımları Şekil 3.4.'teki gibi olur.



Şekil 3.3. Booster transformatör besleme sistemi



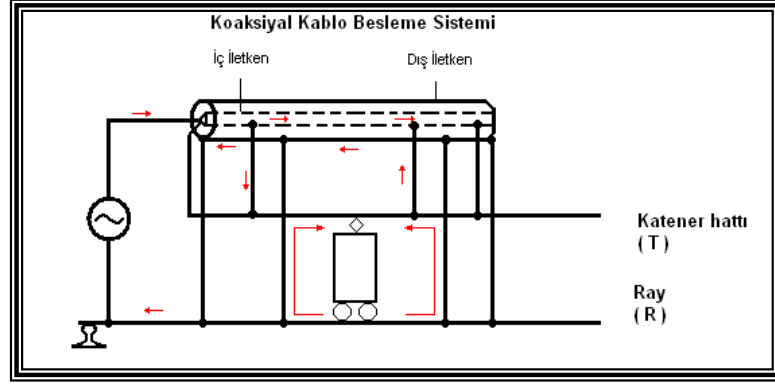
Şekil 3.4.Booster seksiyonu akım dağılımları ve kesme akımları

3.4.3 Koaksiyal kablo ile besleme sistemi

Koaksiyal kablo ile AC besleme sistemlerinde, iç iletken katener hattı ile dış etkende ray ile paralel bağlantı teşkil ederek (5-10 km aralıklar ile) iç ve dış etkenler arasında yani katener hattı ile ray arasında eş besleme sağlanır.

- AT ve BT sistemlerindeki gibi transformatörlere gerek yoktur.
- Haberleşme endüktansı düşüktür çünkü iç ve dış iletkenler arasındaki iç endükleme katsayısı yüksek olduğundan kabloların iç ve dış iletkenindeki raylardan dönüş akımının Boosting Effect'i iyidir.
- Besleme sistemindeki empedans düşük olduğundan yükleme anında besleme sistemindeki gerilim düşümü de azdır.

- Demiryolu hattı boyunca zemine döşenecek kablo yer üstü tespit malzemelerinin hacminde azalmaya neden olur.
- Bakım ve işletme kolaylığı olmasına rağmen kablolar pahalıdır.
- Bir kablo arızasında sistemi yeniden düzenlemek zordur.



şekil 3.5. Koaksiyal kablo besleme sistemi

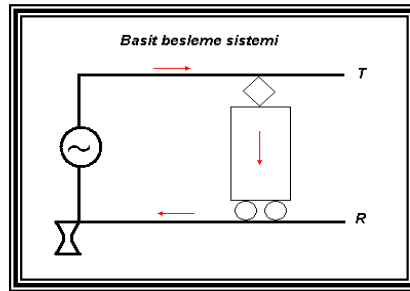
3.4.4 Basit (doğrudan) besleme sistemi

En basit besleme sistemidir. Bir katener hattı ve raylardan teşkil edilmiş besleme sistemidir. Elektrikli tren için gerekli yük akımı katener hattı ile sağlanmaktadır. Trafolarla dönüş ise ray ve toprak üzerinden yapılmaktadır. Dönüş akımının bir kısmı toprağa sızmakta ancak bu kaçak sızıntı akımları trafo merkezlerine yakın bölgelerde raylar tarafından toplanarak tekrar trafo dönüş akım barasından trafo'ya gönderilmektedir. Toprağa akan sızıntı akımlar rayın toprağa olan admittansına bağlı olarak değişmekte, elektrikli tren transformatör merkezine yakın olduğu zaman bu akım azalmaktadır. Dönüş akımı ray ve topraktan ise;

- Haberleşme empedansı ve ray potansiyeli yüksektir.
- Tren yollarında yapılacak işler basit ve bakımı kolay olmaktadır.
- Sistem empedansı BT sistemindeki %70'i kadardır. Arıza noktasının tespiti de kolaydır. Arıza noktasının transformatör merkezine olan mesafesi ile arıza noktası arasında lineer bir bağlantı mevcuttur.

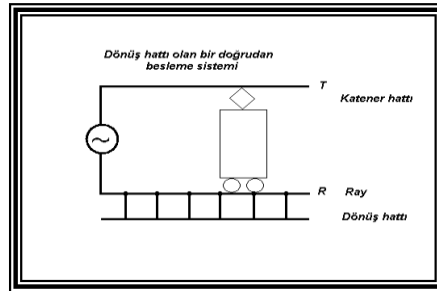
Dönüş akımı için iletken bulunan bir sistemde ise;

- Raylara paralel bir dönüş hattının bağlanarak tren yolu empedansının düşmesinin sağlanması ile birlikte ray potansiyelinin, dönüş hattı bulunmayan bir sisteme oranla daha düşük olması sağlanır.
- Ray akımının bir kısmının dönüş hattına bağlanması haberleşme endüktansını biraz daha iyileştirir.
- Dönüş akımına izolator bağlanmaması nedeniyle, katener hattında meydana gelecek şok gerilimlerini kendi üzerine alır (Yıldırım vs.).



Şekil 3.6. Basit besleme sistemi

Kapıkule-Sirkeci, Haydarpaşa-Kayaş arası Elektrifikasyon sistemi, dönüş akımı ray ve toprak ile sağlanan doğrudan basit besleme sistemidir.



Şekil 3.7. Dönüş hattı olan bir doğrudan besleme sistemi

BÖLÜM IV

ELEKTRİFİKASYON SABİT TESİSLERİ

4.1 Giriş

Hızlı, güvenilir ve ekonomik bir ulaşım demiryolu ulaşımıdır. Demiryollarını daha modern hale getirmek üzere, elektrikli işletme için kurulan tesislere elektrifikasyon sabit tesisleri denir.

4.1.1 Katener tesisleri

Hızla seyir eden elektrikli trenlere ihtiyacı olan elektrik enerjisini ileten yol boyu tesislere katener tesisleri denir. Bir başka deyişle Elektrikli Cer hava hatları olarak da ifade edilir (İnş Müh. Gençyuva, C., “Katener”).

4.1.2 Transformatör merkezleri ve cer postaları

Ulusal şebekeden aldığı elektrik enerjisini, istenilen gerilim seviyesine dönüştürerek, katener tesisini besleyen merkeze transformatör merkezi denir. İstasyonlarda elektriksel manevrayı sağlayan postalara cer postaları denir.

4.1.3 Uzaktan kumanda (SCADA) sistemi

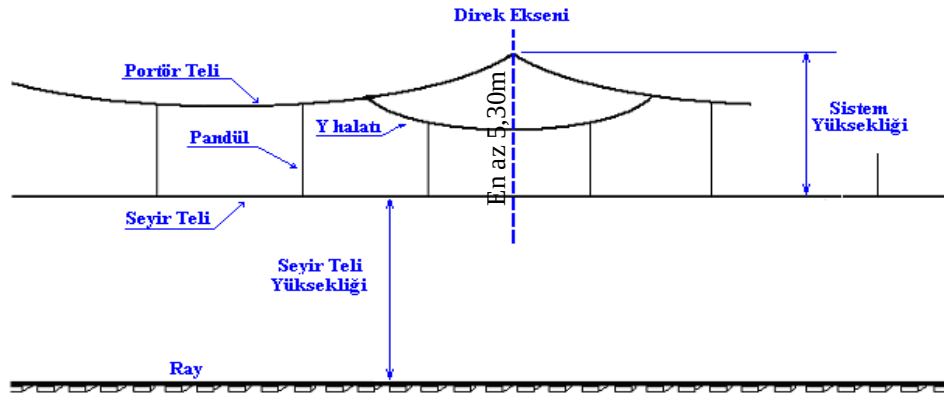
Bütün enerji sisteminin gözlendiği, kontrol edildiği ve hadise kayıtlarının tutulduğu, uzaktan kumanda ile elektriksel manevralarının yapıldığı merkeze Uzaktan Kumanda Merkezi (Telekomand) denir.

4.1.4 Haberleşme sistemi

Trafo merkezlerinin, İstasyonların ve cer postaların UKM ve birbirleriyle haberleşmesini sağlayan, muhabere ve alarm telefonlarının da bulunduğu bir sistemdir. Alarm Telefonları, Hat boyu çalışmaları ve ihbarlar için tesis edilmiş bir “priz hattı” güzergâh boyunca tesis edilmiş prizlere portatif telefon ile girmek suretiyle UKM, trafo merkezleri, istasyonlar ve cer postaları ile haberleşmeyi temin eder.

4.2 Katener Tesisleri Temel Katener Dizaynı

Katener sistemi kontak (seyir) teli, taşıyıcı (portör) tel, pandüller ile bu iletkenleri taşıyan, direk (Beton-Demir) üzerine izole edilerek takılan boru ile bağlantı parçalarından oluşur. Katener tesisleri, Elektrik enerjisini Trafo merkezlerinden alıp demiryolu boyunca pantografli elektrikli trenlere iletir. Katener sisteminin yalnız kontak telinden teşekkül etmesi halinde en fazla 60 Km/h hız yapacağı deneyler ile bulunmuştur. Trenin hızını seyir telindeki sehim kesinlikle etkiler. Seyir telindeki sehimini azaltmak ve trenin hızını artırmak için Portör (Taşıyıcı Tel) ve Pandüller kullanılır (Elk. Y. Müh. Erşin, H., “Raylı Ulaşımında Enerji Hesabı ve Katener Dizaynı”).



Şekil 4.1. Temel katener sistemi

4.2.1 Katener hattı donanımı

Katener sisteminin direklere izole edilerek asılması önemlidir. İzolatörlerin elektrikli ve mekaniki değerleri dikkatle seçilmelidir. Güzergâhın durumuna göre hatlar elektrikli olarak, kuvvetli ve normal izolman diye ikiye ayrılır. Buna göre izolatör seçimi yapılır.

Deniz sahili olan bölgeler, hava kirliliği yaratan toz, duman, asit buharı, su buharı atan bölgeler, maden cevheri, kömür doldurma ve boşaltma yapılan bölgeler, tünel içi, köprüler, elektrikli kleransların sınırlı olduğu yerlerdir. Bu yüzden buralarda kuvvetli izolmana göre seçim yapılır.

Elektriksel emniyet bakımından normal izolmanda ıslak şartlarda atlama gerilimi kV cinsinden:

esaslara, ülkemizin standartlarına ve IEC normlarına uygun olmalıdır (Elk. Y. Müh. Hikmet ERŞİN, “Raylı Ulaşımında Enerji Hesabı ve Katener Dizaynı”). Özetle Katener donanımı:

- İzole Hoban
- İzole konsol
- Antibalansan
- Rüzgâr tamburu
- Rapel
- Antibalansan askısı
- Y Halatı
- Portör
- Seyir teli
- Pandül

bunlar ve bunların tüm bağlantı parçalarından meydana gelir.

Bunlara ilave olarak koruma topraklaması, fider (kesiti artırmak ya da işletme bakımından By-bus olarak kullanılan) teli de söylenebilir. Boru donanımı ortalama sıcaklığa göre yola dik olarak montajı yapılmalıdır. Isı bandına göre adım adım çıkışları hesap edilmeli, abaklar çıkarılmalıdır.

4.2.2 Katener sisteminin geometrik karakteristikleri

Sistem yüksekliği: Güzergâhın durumuna göre ve seçilen hıza göre tespit edilir. Ayrıca dar gabarili yerlerde şartlara göre hesap edilir.

Seyir teli yüksekliği: Güzergahtaki üst geçit, köprü, tünel, viyadük, v.b. göre ya da sisteme göre hesap edilir.

Çizelge 4.1.Sistem yüksekliği hızlara göre katener sistemleri

Katener sistemi	Sistem yüksekliği	Seyir teli yüksekliği (Nominal)
RE 100	1,40	5,50
RE 160	1,80	5,50
RE 200	1,80 (istasyon 200)	5,50
RE 250	1,80 (“ “)	5,30

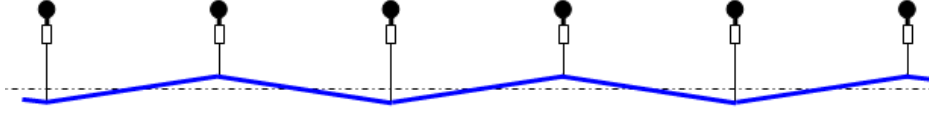
RE 250 de hemzemin geçit yoktur. Ülkemizde sistem yüksekliği 1.40 m,nominal seyir teli yüksekliği 5.75 m tünel ve köprülerde 4.96 m olup, bu boyutlara aşağıdaki değerler dahildir.

- Yük gabarisi 4.65 m.
- Pantoğraf tarafından seyir telinin kalkışı 0.05 m.
- Normal yükün en üst noktası ile kontak düzleminin en alt noktası arasındaki klerans açıklığı 0.20 m. (UIC no.606)
- Hemzemin geçitlerde 6.25 m, karayollarında 6.00 m’dir.

Seyir teli yükseklik hesabı, serbest yükseklik hesaplama metotları ilerideki bölümlerde verilmiştir (Elk. Y. Müh. Erşin, H., “Raylı Ulaşım da Enerji Hesabı ve Katener Dizaynı”).

4.2.3 Eksen kaçıklığı (Dezaksman)

Pantografin seyir teline hep aynı noktada temas etmesi sonucu ortaya çıkan aşınmayı önlemek için her direkte seyir teli yol ekseninden sağa ve sola olmak üzere kaçırılır. Buna eksen kaçıklığı veya dezaksman denir. Katener sistemi düşey bir sistemde olduğundan eksen kaçıklığı yine bir düşey sistem çerçevesinde yapılır. Düz hatlarda eksen kaçıklığı direkler üzerinde aksi istikametlerde olmak üzere 1600 pantograf için 200mm sağa ve 200 mm sola kaçırılır. Kurplarda bu değer 240 mm’dir. Eksen kaçıklığı, direkler üzerindeki Katener donanımının bir elemanı olan çeki ve bası rapeller ile yapılır. Rapeller, seyir teline fazla ağırlık bindirmemesi için eğimli ve hafif olmalıdır. Nitekim tüm dünyada bu nedenle rapeller alüminyum, magnezyum borulardan yapılır.

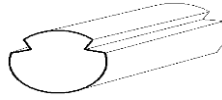


Şekil 4.3. Dezaksman

4.2.4 Katener iletkenleri

4.2.4.1. Seyir(kontak) teli

Sistem ne olursa olsun elektriksel ve mekanik bir takım özelliklere sahip olmalıdır. Elektriksel özellikleri; lokomotif lüzumlu akımı geçirmeyi sağladığı için iyi bir iletken olmalıdır. Lokomotifin pantoğrafa temas ettiği noktada bütün akımın seyir telinde toplandığı bilinmelidir. Akımın portörden seyir teline dengeli bir şekilde akmasını sağlamak için hat boyu, trafo merkezlerine yaklaştıkça 100 metrede bir, diğer yerlerde 200 metrede bir örgülü bakır ile yapılmalıdır. Ülkemizde 48 mm² örgülü bakır iletken kullanılmakta olup pandül gibi portörden seyir teline bağlanır. Bu bağlantılar esnek olmalı seyir telinden aşağıya sarkmamalıdır. Zira pantoğrafa takılması halinde iletkenlerin, konsol hobanın nihayet pantoğrafın kırılmasına neden olur.



Şekil 4.4. Kontak teli

Kontak teli, kendisine tesir eden bütün yatay ve düşey kuvvet bileşenlerine dayanıklı bir emniyet katsayısı içinde olmalıdır. Pantoğrafın seyir teli üzerinde devamlı seyri yanı sıra seyir telinde aşırı bir şekil değişikliği meydana getirmeden geçmelidir. Bütün hızlarda katenerin esnekliği sabit olmalıdır. Almanya’da iletkenlerin emniyet katsayısı 5’dir. Katenerin esnekliğinin ne olması gerektiği tespit edildikten sonra, gerilim verilmeden önce askı noktaları arası tek, tek ölçülür. 100 Km/h hızda seyir teli eğimi 1/200, 100 km/h’den büyük hızlarda eğim 1/250, 120 Km/h hızda eğim 1/300 olmalıdır.

Ülkemizde:

- Hız 100 Km/h eşit veya altında ise seyir telinin yola nazaran eğimi metre başına 6 mm'dir. Bir birini takip eden iki açıklık arasındaki seyir teli eğimi farkı metre başına 3mm'dir.
- 120 Km/h'de yükseklik seyir telinin yola nazaran eğimi metre başına 4 mm'dir. Bir birini takip eden iki açıklık arasındaki seyir teli eğimi farkı metre başına 2 mm den az veya eşittir.
- 120 Km/h'den büyük hızlarda seyir telinin yola nazaran eğimi metre başına 3mm, birbirini takip eden iki açıklık arasındaki eğimi metre başına 1.5 mm'dir.

Ülkemizde kullanılan seyir teli kesiti mevcut hatlarda 107 mm^2 , hızlı tren hattında ise 120 mm^2 dir. Sert elektrolitik bakır olan seyir telinin iletkenliği %98'dir. Pantoğrafın sürtmesi için alt kısmı dünyanın her yerinde olduğu gibi serbest bırakılmıştır. Besleme irtibatlarının, rapellerin, pandüllerin tespiti için yanlarından kanallar açılmıştır. Seyir telindeki ortam sıcaklığı ve omik sıcaklık toplamı 70 dereceyi geçmemelidir. Bu sıcaklığın artması halinde seyir telinin molekül yapısı bozulacağı gibi seyir telindeki şekil değişikliği pantoğrafın zedelenmesine sebep olacaktır. Birim ağırlığı 0,950 kg olup, cer kopma yükü 3900 kg'dır.

Seyir teli(Kontak teli) bir kaza anında trafo merkezindeki 25 kV çıkış devre kesicileri ile otomatik olarak korunur. Bu devre kesicisinin otomatik olarak "Tekrar kapama devreleri" vardır. Re-interlocking diye adlandırılan bu tekrar kapama devresi arıza anından 10-15 saniyelik kısa bir zaman sonra tekrar kapanır. Yani bu devre kesicileri arıza anında açılır ve şayet cer gücündeki ve elektrifikasyon sistemindeki arızanın %70 veya %80 i geçiciyse bu devre kesicisi otomatik olarak tekrar kapanır. Böylelikle sistem beslemesi tekrar başlatılmış olur.

Sonuç olarak, arıza anında empedans açısı servis empedansından çok, çok fazladır. Bu açı arıza anında 70 derece civarındadır. Servis empedansının açısı ise bu değerden daha azdır. Koruyucu sistem hem modül (Genlik) hem de empedans gösteren vektör açısı ile beraber düşünülmelidir. Burada kullanılan role empedans vektörlerini tespit eder. Fakat bu empedans vektörleri belli yerlerdeki vektör değerleridir. Bu değerlerde Transformatör merkezinin en uzak kısmındaki arızalara denk olan değerlerdir. Bu kısım eliptik veya daha iyisi dört yanlı olabilir. Böylelikle koruyucu kalitesi iyileşecektir (İnş Müh. Gençyuva, C., "Katener").

4.2.4.2 Taşıyıcı iletken

Akımın %18 ini taşır. Portörlü katenerde portör iletkeninin iletkenliğinin iyi olmasından çok mekanik özellikleri daha önemlidir. Sistemde ihtiyaç duyulan kesiti artırmak bakımından seçilmez. Çelik özlü alüminyum olduğu gibi Bronz (Bakır+Kalay karışımı) da olabilir. Örneğin Haydarpaşa–Arifiye ve Arifiye–Eskişehir güzergâhında 65mm^2 bronz olup, iletkenliği %60, bakır eşdeğer kesiti 39 mm^2 'dir. Birim ağırlığı 0.600 kg, cer kopma yükü 4300 kg'dır.

4.2.5 Pandüller

Yukarıda da bahsedildiği gibi seyir teli ile portör arasında bağlanan bakır tellerdir. Yuvarlak sert bakır olduğu gibi örgülü bakırda olabilir. Hattın esnekliğini artırmak için bütün pandüller gezgin tiptendir. Hattın ilk ayarı o bölgenin ortalama sıcaklığına bağlı olarak düşey duracak şekilde yapılır. Pandüller, portöre $30\times 3\text{ mm}$ 'lik bakır lamadan yapılmış bir kavalye ile asılırlar. Seyir telinin kanallarına geçen bir grif ile de seyir teline bağlanırlar (T.C Milli Eğitim Bakanlığı Raylı Sistemler İletkenlerin montajı, sayfa 23, 2013).

4.2.6 Y halatı

Trenin hızına dolayısıyla güzergâhın kurp çapına bağlı olarak konulur. Ülkemizde kurp yarıçapının $600 =$ veya $<$ olması halinde konulmaz. Boyu sabit olup, 10m 'dir. 35 mm^2 kesitli örgülü bakırdır. Ayrıca bası ve çeki durumunda boyu değişmez. Ayrıca istasyona giriş ve çıkışlarda 1000m 'lik mesafelerde ve istasyonlarda konulmaz (İnş Müh. Gençyuva, C., “Katener”).

Hızlara göre Katener sistemlerinde;

- RE 100 Y Halatı yoktur.
- RE 160 Y Halatı vardır. Boyu 12m 'dir Bası ve çeki durumunda boyu sabittir.
- RE 200 Y Halatı vardır. Çeki durumunda 18m bası durumunda boyu 14m dir.
- RE 250 Y Halatı vardır. Boyu 18m Çeki ve Bası durumunda boyu sabittir.

Katener sisteminde bulunan iletkenlerin kesitleri enerji hesapları sonunda bulunur: Akım yoğunluğu 4A/mm^2 olacak şekilde iletkenlerin toplam bakır eşdeğer kesitine göre

saptanır. Yukarıda özellikleri verilen seyir teli, portör, pandül, Y halatı TCDD de kullanılan 140 km/h hıza uygun katener sistemidir (İnş Müh. Gençyuva, C., “Katener”).

4.3 Katener Tesislerinin Projelendirilmesindeki Temel Esaslar

Güzergâh Planlarında;

- Gar ve istasyonlar 1/500 ölçekli, açık hat 1/1000 ölçekli olmalıdır.
- Kurplar için parabollerin başlangıç ve bitim noktaları Km’leri yazılmalıdır.
- Güzergâh planı üzerinde makasların tipleri belirtilmelidir.
- Güzergâh planında, elektrikleenecek yollar gösterilmelidir.
- Üst geçit köprüleri, üstten bağlantılı çelik kafes köprülerin “Serbest Yükseklikleri” gösterilmelidir.
- Sanat yapıların Km’leri gösterilmelidir.

Demiryollarını kat eden ENH Km’leri gösterilmelidir (Elk. Y. Müh. Erşin, H., “Raylı Ulaşımında Enerji Hesabı ve Katener Dizaynı”).

Profil Planlarında ise;

- Yol kazık kotunun aliymanda 25m’de bir, kurplarda 10m’de bir değeri gösterilmelidir.
- Güzergah planı ile profil planı birbirine tamamen uymalıdır.
- Açık hat üzerindeki, istasyonlar için ise baş makas contalarının yerleri ve Km’leri gösterilmelidir.
- Her kazık kotu karşısında kırmızı kot ile arasındaki fark belirtilmelidir.
- Nivelman yapıldığındaki mevcut ray kotu planda her kazıkta belirtilmelidir.
- Yatay kurplar için her kazık karşısında olması gereken dever miktarı plan üzerinde belirtilmelidir.
- Bazı bölgeler için (Gar Bölgeleri gibi) varsa dever akordundan dolayı iç raydaki kalkma miktarı plan üzerinde belirtilmelidir.
- Şakuli kurplarda, tg: teğet boyu, teğetler arası açının tg değeri, şakuli kurp yarıçapı şakuli kurbun yönüne göre plan üzerinde belirtilmelidir.

- Şakuli kurplarda; o bölgedeki her kazık karşısında teorik kırmızı kot ile olması gereken ray kotu arasındaki fark bisektiris değeri (+) veya (–) olarak plan üzerinde belirtilmelidir.

Yatay kurplarda parabol boyları planda belirtilmelidir (Elk. Y. Müh. Erşin, H., “Raylı Ulaşımında Enerji Hesabı ve Katener Dizaynı”).

4.3.1 Besleme planın hazırlanması

Taşıma etütlerine bağlı yapılan Elektrifikasyon etütlerinde sisteminin tipi belirlenir. Uygulanacak Elektrikli İşletme Şartlarına Göre Hazırlanan Besleme Planında;

- Transformatör yerleri
- Nötr bölge postası (Faz ayırma noktası)
- Seksiyonman (Hava aralıklı ayırma)
- Ölçü transformatörleri
- Mahallinde elle kumandalı ayırıcı
- Elektrikli kumandalı ayırıcı
- Topraklamalı ayırıcı
- ‘IS’ ler (Ayırma izolatörü)
- Elektriklenecek, etkilenmeyecek hatlar gösterilmelidir.

Elektrifikasyon etütlerinde belirlenen katener tipi ile bölgenin ısı bandı, Elektrik kuvvetli akım tesisleri yönetmeliğinde belirtilen rüzgâr basıncına göre yapılan hesaplar sonucunda elde edilen rüzgâr şişirmesi, pantograf salınımı ve açıklık ortasında meydana gelen dezaksman değerleri toplandığında meydana gelecek dezaksmanın pantografin sürtünme yüzeyi uzunluğunun yarısını geçmeyecek açıklık maksimum alınacak direk açıklığıdır (Elk. Y. Müh. Erşin, H., “Raylı Ulaşımında Enerji Hesabı ve Katener Dizaynı”).

4.3.2 Besleme planının araziye uygulanması

Katener sisteminin tipi (uygulanacak hıza, uygulanan bölgenin ısı bandına, taşıma cinsine bağlı olarak saptanır), güzergâhın ısı bandı ve pantograf genişliği belli olduktan

sonra, oluşturulan prensiplere uygun olarak, besleme planı hazırlanır ve aşağıdaki esaslara göre araziye uygulanır:

1. Özel montajlar etüd edilmelidir.
2. Avan olarak hazırlanan besleme planındaki direk açıklıkları tespit edilmelidir.

Kurplarda şerit metre ile doğru olarak:

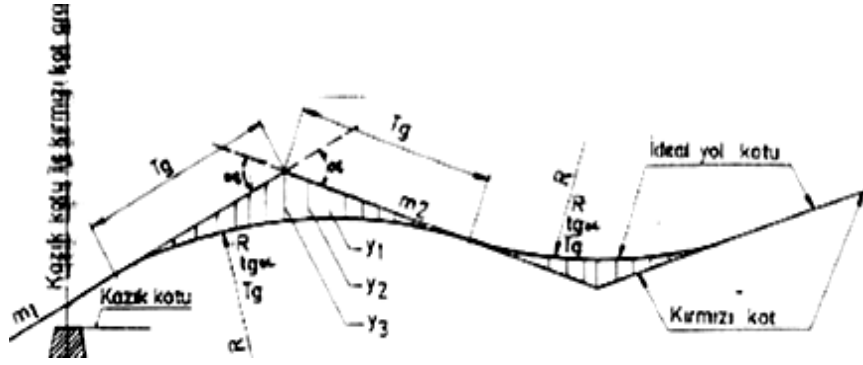
- Yol sayısının tek rakamlı olması halinde kurp dışındaki yolun iç rayı üzerinden ölçme yapılır.
- Çift sayıda ve paralel yolların olması halinde yolların genel ekseninin birinci yolun iç rayı üzerinden ölçme yapılır.
- Direklerin eksenlerine ait işaretler en yakın ray üzerine numarası ile birlikte yazılır.
- Özel noktalara en yakın direklerin mesafesi (üst geçit, hemzemin geçit, makaslar ve yolu enine geçen ENH vs.)
- Kurpta her açıklıkta yolun fleş değeri
- Üst geçitler, tünel başları gibi noktaların, her rayın üstünden elektrifikasyon için serbest yükseklikleri ve kontak tellerinin bu noktalar için düşünülen yükseklikleri
- Ankraj temeli ile direk temeli arasındaki mesafeler besleme planına işlenir.

4.4. Katener Tesislerinin Projelendirilmesindeki Hesap Metotları

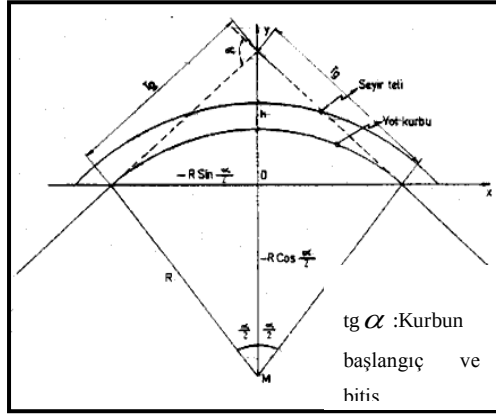
4.4.1 Direk hesapları

4.4.1.1 Düşey (şakuli) kurp

Profil planı üzerinde, kırmızı kota ve eğime uygun olarak çizilen, kırmızı kot değişim çizgilerinin kırılma noktalarında, yolun kırık çizgi şeklinde birleşmesini önlemek, bir çember yayı şeklinde birleşmesini sağlamak için düşünülen kurptur (Elk. Müh. Saygılı, O., “Şakülü Kurplarda Direk Açıklıkları”).



Şekil 4.5. Kazık kotu ile kırmızı kot arasındaki fark



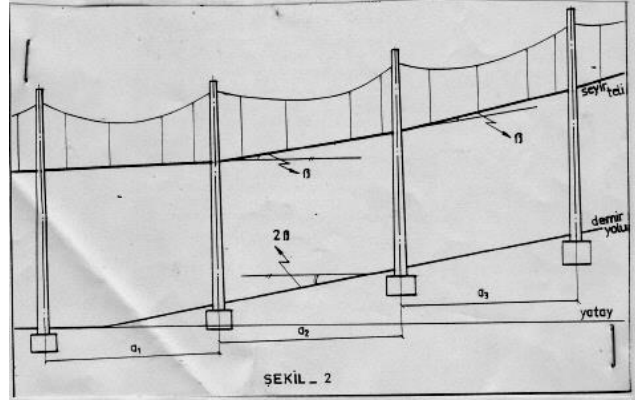
Şekil 4.6. Kazık kotu ile kırmızı kot arasındaki fark çözüm metodu

Seyir telinin eğiminin, birbirini takip eden açıklıklardaki eğim farkı ile yolun eğiminin seyir teli eğim ile farkı, trenin hızını etkiler.

Çizelge 4.2. Seyir teli eğimleri

Hız	Eğim	Açıklama
$V \leq 100 \text{ Km/h}$	%03	Birbirini takip eden askı noktaları arasında kontak telinin eğimi
	%06	Yol eğimi ile kontak teli eğimi arasındaki fark
$V \leq 120 \text{ Km/}$	%02	Birbirini takip eden askı noktaları arasında kontak telinin eğimi
	%04	Yol eğimi ile kontak teli eğimi arasındaki fark
$V \leq 140 \text{ Km/h}$	%01,5	Birbirini takip eden askı noktaları arasında kontak telinin eğimi
	%03	Yol eğimi ile kontak teli eğimi arasındaki fark

Seyir telinin geometrik yeri bir paraboldür. Seyir telinin yolun geometrik yapısına uygun olarak, kaçmaması için, Şekil 4.6'daki y eksenine göre simetrik olmalıdır. Ardışık iki direk açıklığı arasındaki eğim farkı (max ve min) $\pm tg \beta$ olursa, seyir teli ile yol arasındaki eğim farkı $\pm 2tg \beta$ olmalıdır. $tg \beta$ hızı göre değişir.



Şekil 4.7. Direk açıklığı

Parabol denkleminin türevi ile yol denkleminin türevleri arasındaki fark, tüm noktalar için eğim farkıdır. Bu fark $2tg \beta$ 'yı geçmemelidir.

$$Y'_d = -\frac{x}{\sqrt{R^2 - x^2}} \quad (4.3)$$

$$Y'_p = 2Ax \quad (4.4)$$

$$Y'_d - Y'_p \leq 2tg\beta \Rightarrow -\frac{x}{\sqrt{R^2 - x^2}} - 2Ax \leq 2tg\beta \quad (4.5)$$

Kurpun başlangıç noktasında;

$$x = -R \sin \frac{\alpha}{2} \quad (4.6)$$

olup yerine konulursa;

$$A \leq \frac{2tg - tg \frac{\alpha}{2}}{2R \sin \frac{\alpha}{2}} \quad (4.7)$$

olmalıdır.

Direk açıklığı ‘a’ ile belirtilirse $Y_{p1} - Y_{p2} \leq tg\beta$ olmalıdır. (1) ve (2) noktaları arasındaki uzaklık ‘a’ olacağından $x_1 = x$ ve $x_2 = x + a$ olur.

$$Y'_p(x) - Y'_p(x + a) \leq tg\beta \Rightarrow 2Ax - 2A(x + a) \leq tg\beta \Rightarrow -2Aa \leq tg\beta \quad (4.8)$$

Bulunur.

Yukarıdaki denklemde;

$$-A = \frac{tg \frac{\alpha}{2} - 2tg\beta}{2R \sin \frac{\alpha}{2}} \quad (4.9)$$

$$a \leq \frac{Rtg\beta \times \sin \frac{\alpha}{2}}{tg \frac{\alpha}{2} - 2tg\beta} \quad (4.10)$$

Eşitliği bulunur (Elk. Müh. Saygılı, O., “Şakülü Kurblarda Direk Açıklıkları”).

Direk açıklığı, düşey kurp yarıçapı ve eğim farklarına bağlı olarak hesap edilir. Ancak aynı yolda düşey kurp ve yatay kurp bulunuyorsa hangisi için daha küçük açıklık almak gerekiyorsa o açıklık alınır.

Katener sistemine ve pantograf genişliğine bağlı olarak, maksimum direk açıklık hesabı aşağıdaki formül ile bulunur (Elk. Müh. Saygılı, O., “Şakülü Kurblarda Direk Açıklıkları”).

$$a = \sqrt{\frac{P_y \cdot 8 \cdot (T_s + T_p)}{S_r + P_r}} \quad (4.11)$$

$P_y \rightarrow$ Pantografin Seyir teline temas ettiği kesim. (Pantografin kullanılabilir genişliğinin yarısı)

$T_s \rightarrow$ Seyir teli gerilmesi

$T_p \rightarrow$ Portörün gerilmesi

$S_r \rightarrow$ Seyir teline gelen rüzgâr kuvveti

$P_r \rightarrow$ Portör teline gelen rüzgâr kuvveti

$a \rightarrow$ Maksimum direk açıklığı

4.4.1.2 1600 mm pantografa göre direk açıklıkları:

Ana hattaki regüleli Katener sistemiyle teçhiz edilen Katener sistemindeki direk açıklıkları kurp yarı çaplarına bağlı olarak aşağıdaki değerleri oluştururlar.

Çizelge 4.3.Direk açıklıkları I

Hattın profili	Direk açıklığı
Düz hatta veya kurp yarıçapı $R > 2000$ m	54 m
$2000 \text{ m} > R > 1600$ m	54 m
$1600 \text{ m} > R > 1300$ m	54 m
$1300 \text{ m} > R > 1100$ m	49.5 m
$1100 \text{ m} > R > 850$ m	45 m
$650 \text{ m} > R > 500$ m	36 m
$500 \text{ m} > R > 350$ m	31.5 m
$350 \text{ m} > R > 250$ m	27.m

Eğer mümkünse iki direk arasındaki normal açıklıklar 54 m, 45 m, 36m ve 27m. Şeklinde olmalıdır. Şiddetli rüzgâra maruz kalacak hatlardaki direk açıklıkları 54 m’yi geçmemelidir. Bu 54 m’yi aşmaması gereken direk yerlerine örnek olarak yol kenarındaki toprak setleri ve viyadükleri verebiliriz. Düz hattın kurpa geçiş parabolik bir geçiş yardımıyla yapılır. Tümüyle veya kısmen parabolik geçişe giren her direk açıklığı varsayımsal olarak R yarıçapı baz alınarak saptanır.

Aşağıdaki formülde iki direk arası açıklığın eşitliği verilmiştir.

$$\frac{R.L}{X} \quad (4.12)$$

R : Kurpyarıçapı L : Parabolik geçişin uzunluğu

X : Parabolik geçişin kendisi ve direk açıklığının en uzak noktası arasındaki mesafe

Direk açıklıkları, regüle gergili olmayan servis hatlarından kurp açıklığına bağlı olarak aşağıdaki değerler çerçevesindedirler(Elk. Müh. Saygılı, O., ‘Şakülü Kurblarda Direk Açıklıkları’).

Çizelge 4.4. Direk açıklıkları II

Hattın profili	Direk açıklıkları
Düz hatta veya kurp yarıçapı $R > 2000\text{m}$	54 m
$2000\text{m} > R > 1400\text{ m}$	54m
$1400\text{ m} > R > 1200\text{m}$	49.5 m
$1200\text{ m} > R > 900\text{ m}$	45.5 m
$900\text{ m} > R > 700\text{ m}$	40.5 m
$500\text{ m} > R > 350\text{ m}$	31.5m
$350\text{ m} > R > 250\text{ m}$	27 m
$250\text{ m} > R > 150\text{ m}$	22.5m

Regülesiz tek ve çift hattaki direk açıklıklarının min. değerleri aşağıda verilmiştir.

Çizelge4.5. Direk açıklıkları III

Hattı profili	Direk açıklıkları
Düz hatta veya kurp yarıçapı $R > 260\text{ m}$	30 m
$260\text{ m} > R > 220\text{ m}$	28 m
$220\text{ m} > R > 180\text{ m}$	25 m
$180\text{m} > R > 150\text{ m}$	23 m

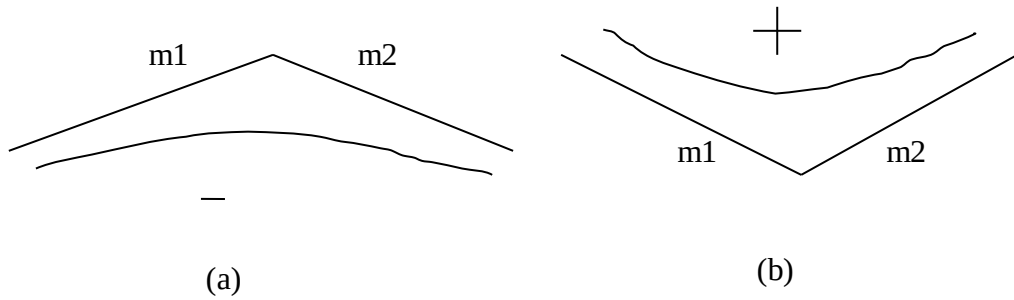
4.4.2 Elektrifikasyon kırmızı kotun hesabı

4.4.2.1 Yatay kurplu yollarda

Profil planında kurbun başlangıç ve bitimindeki deverler, ve kurp içindeki dever verilir. Yatay kurplu yollarda elektrifikasyon kırmızı kot hesabı alıyman yollarda olduğu gibi yapılır. Hesabı yapılan direk yerine gelen dever miktarının yarısı elektrifikasyon kırmızı kotu bulunur(Elk. Müh. Saygılı, O., “Şakülü Kurblarda Direk Açıklıkları”).

4.4.2.2 Düşey kurplu yollarda

Yol kırmızı kotu kırık poligonlardan oluşup demiryolunun yapısı kırık olmayıp düzgün bir dairesel biçimde olacağından, kırılma noktalarında yükseklik farkı (bisektiris) kaçınılmazdır. Elektrifikasyon kırmızı kotu için asıl olan yolun gerçek durumudur. Bu nedenle yol kırmızı kotundan, yükseklik farkları (bisektirisler) çıkarılarak veya eklenerek elde edilir.



Şekil 4.8. Düşey kurp

Düşey kurbun yapısı Şekil 4.8-a gibi ise yol kırmızı kotundan bisektirisler çıkarılır. Şekil 4.8-b gibi ise toplanır (Elk. Müh. Oğuz SAYGILI “Şakülü Kurblarda Direk Açıklıkları”).

4.4.3 Beton direklerle ilgili genel bilgi

Santrifüj olarak üretilen beton direkler halka kesitlidir. Kesitin dış çapı tepeden itibaren 1 metrede 1.5cm olarak tabana doğru genişler. Kullanılan beton 450 dozladur. 29 günlük küp mukavemeti 450kg/cm² dir. Boyuna donatı olarak S + 70 çeliği, spiral donatısı olarak Ø6 ve Ø8mm’lik çelik kullanılmaktadır. Üretimi mono blok çelik

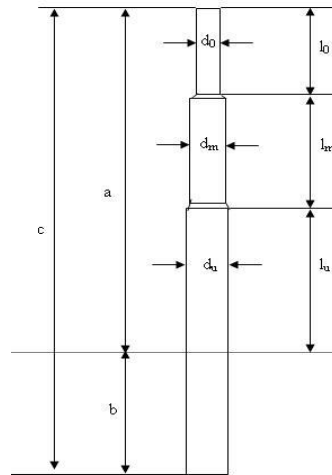
kalıplarda santrifüj metodu ile gerçekleştirilir (Elk. Müh. Saygılı, O., “Şakülü Kurlarda Direk Açıklıkları”).

Hesaplarda geçen direk tepe kuvveti dikilmiş durumda bulunan bir direğin tepesine yatay olarak uygulanan ve direğin emniyetle taşıyabileceği kuvvete denir. Bu kuvvet her yönde aynıdır. Özel sipariş verilerek farklı tepe kuvvetlerine sahip direkler üretilebilir. Rüzgâr kuvveti Direk boyunca direğe etki eden rüzgâr etkisinin tepeye icra ettirilmiş değeridir. Kırılma tepe kuvveti direğin kırılma sınırına tekabül eden en büyük tepe kuvvetidir. Direkler, direk tipleri ve metre cinsinden boyları ile anılırlar.

4.4.3.1 Direğin kabul tecrübeleri

Her tip direkten gelişi güzel direk seçilerek tecrübeler yapılır. Direğin 0.25m'ye ve tedricen 1.65 (F + V) ye kadar kuvvet artırılmak suretiyle tatbik edilir. Buradaki F kuvveti rüzgârsız tepe kuvvetidir. V ise dikili vaziyetteki direğe rüzgârdan dolayı gelen kuvvettir. Fleşler ölçülür ve kaydedilir. Emniyet katsayısı kırılma tepe kuvvetinin, tepe kuvvetine oranına denir. Emniyet katsayısı 2.5 olarak alınmıştır.

4.4.4 Profil direklerin mukavemet hesapları



Şekil 4.9. Profil direkleri mukavemet hesabı

Estetik olmaları nedeni ile şehir içi tramvay hatlarında kullanılır. Dikişsiz olarak haddeden çekilmiş borulardan ya münferit kademeleri kalibreden çekilmekle teşkil edilen bir parçadan imal edilir ya da farklı çaptaki boruların sıcak vaziyette çapları

arasındaki fark sıkıştırma halkaları ile doldurularak birbirleri üzerine geçirilmesi ile teşkil edilir.

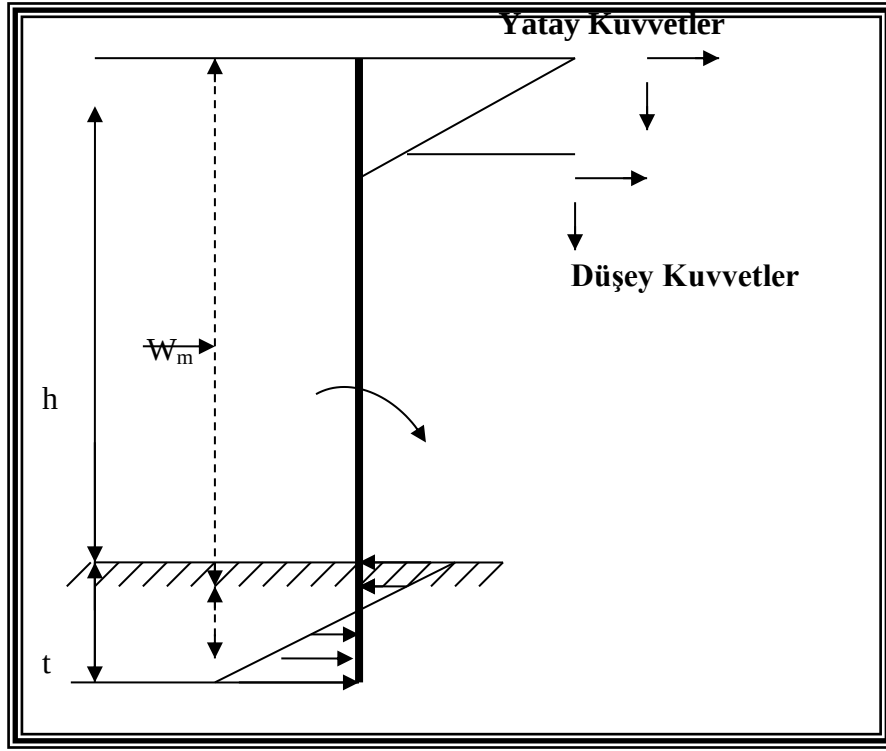
Dış çapı D ve iç çapı d olan halka şeklindeki kesit için mukavemet momenti aşağıda verilen formüller kullanılarak bulunur.

$$W = \frac{\pi D^3}{32} \left[1 - \left(\frac{d}{D} \right)^4 \right] \quad (4.13)$$

$$\sum M = \frac{\pi D^3}{32} \left[1 - \left(\frac{d}{D} \right)^4 \right] \sigma_b \quad (4.14)$$

Kullanılan materyalin çekme mukavemeti 3600 kg/cm^2 ye kadar alınabilir ve bu sebepten $\sigma_b = 800 - 900 \text{ kg/cm}^2$ alındığında dört kat emniyet alınmış olur. Hesaplanan toplam momentten tepe kuvvetine geçilir.

$$\text{Tepe kuvveti veya yatay çekme} = \frac{\text{Toplam moment}}{a - 20} \quad (4.15)$$



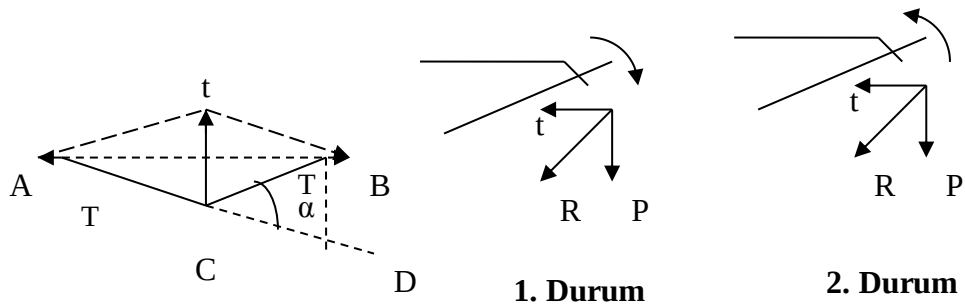
Şekil 4.10. Direk temel hesabı

4.4.5 Direk seçimindeki fiziki değerler:

4.4.5.1 Yatay kuvvetler

Radyal gerilme:

Bir iletken A ve B gibi iki nokta arasında T gerilmesi ile gerdirilirse A, B'nin C orta noktasının yerini değiştirmek için muayyen bir kuvvet uygulamak gerekir. Bu kuvvete radyal kuvvet denir.



Şekil 4.11. Radyal gerilme durumları

Direklerde kurp içinde ve kurp dışındaki konumuna göre, katenere radyal gerilme ve rüzgâr kuvveti yatay olarak, katenerin zati ağırlığı düşey olarak konsol donanımına etki eder. Yolun geometrik yapısı nedeni ile oluşan yatay kuvvetlere karşı hobanın, kurp içinde basıya, kurp dışında çekiye çalışmasına neden olur (Tercüme Sadettin TANERİ ‘25 kV 50 Hz Monofaze Elektrikli Cer Havai Hatları SNCF 1971’).

1. durum: $P > t$ katenerin düşey ağırlığı, radyal gerilmeden büyük ise konsolu eğmeye çalışır. Hoban a yük biner çekiye çalışır.
2. durum: $P < t$ Katenerin düşey ağırlığı, radyal eğilmeden küçük ise konsolu kaldırmaya çalışır. Hoban basıya çalışır.

Rüzgâr Kuvveti:

Rüzgar kuvveti direkler için maksimum rüzgar hızı 29.7 m/sn alınarak hesap edilir. Rüzgâr kuvveti direk boyunca direğe etki eden rüzgâr etkisinin tepeye irca ettirilmiş değeridir. Beton direkler halka kesitlidir. Ve kesitin dış çapı tepeden itibaren bir metrede 1.5 cm artarak tabana doğru genişler.

İletkenler için rüzgâr kuvveti;

$$ST = C_x \frac{V^2 \times I_d}{16} \quad (4.16)$$

formülü ile bulunur.

C = Dinamik rüzgâr basınç katsayısı(Elektrik kuvvetli akım tesisleri yönetmeliği) çapı 12.5 mm’ye kadar olan iletkenler için 1.2 alınır.

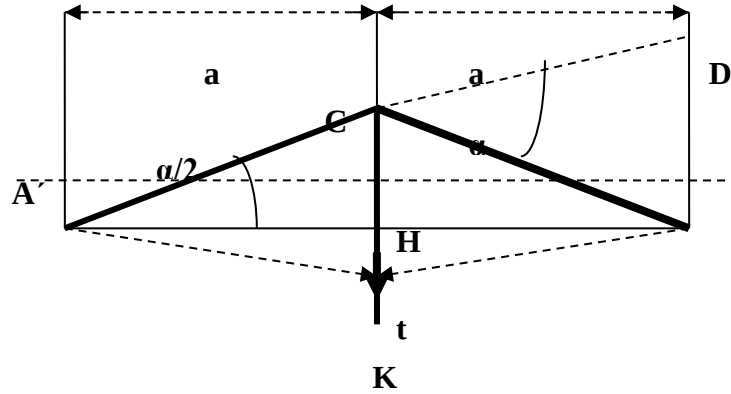
V = Rüzgar hızı 26.6 m/sn iletkenler için

I_d = İletkenin çapı

Düşey ağırlıklar katenerin zati ağırlığıdır. Bu ağırlık katenerin birim ağırlığı olup seyir teli birim ağırlığı+portör birim ağırlığı+pandüllerin zati ağırlığı dikkate alınarak bulunur(Elk. Müh. Saygılı, O., “Şakülü Kurbalarda Direk Açıklıkları”).

4.4.5.2 Radyal kuvvet hesabı

Bir Katener tesisinde, Seyir teli ve Portörü T kuvveti ile gerilerek inşa edilir. Şekil-4.12 de, 1,2,3 no'lu direklerin önünde seyir telinin f mm olarak dezekse edildiğini varsayalım. Dezaksman değerleri birbirine eşit olmasın. Ancak 1–2 arası ile 2–3 no'lu direkler arası açıklık eşit olsun.



Şekil 4.12. Radyal kuvvet hesabı durumu I

$$A' A = B' B = C C'$$

$$CA = CB$$

A,B,C noktaları arasında T kuvveti ile gerilmiş olan seyir teli C noktasında 't' gibi bir kuvvet tatbik eder. Bu kuvvetin yönü direkten dışarıya doğrudur. Şimdi bu kuvveti hesap edelim:

AC'yi uzatalım 3. direk hizasını kestiği noktaya D diyelim. ABC üçgeni ikizkenar üçgendir. İkizkenar üçgende kenar ortay aynı zamanda, açıortay aynı zamanda yüksekliktir.

$$CH \perp AB \text{ dir.}$$

$$\sin(\alpha/2) = \frac{CH}{AC}$$

$$CH = AC.\sin(\alpha/2)$$

$$CK = 2.CH = t$$

$$t = 2.AC.\sin(\alpha/2)$$

Yukarıdaki formülde AC yerine T gerilmesini koyarsak;

$$t = 2.T.\sin(\alpha/2) \quad (4.17)$$

sonucu elde edilir.

$$\sin(\alpha/2) = \frac{DB}{AD} \text{ (ABD dik üçgeninden dolayı)}$$

$(\alpha/2)$ açısının çok küçük olması sebebiyle,

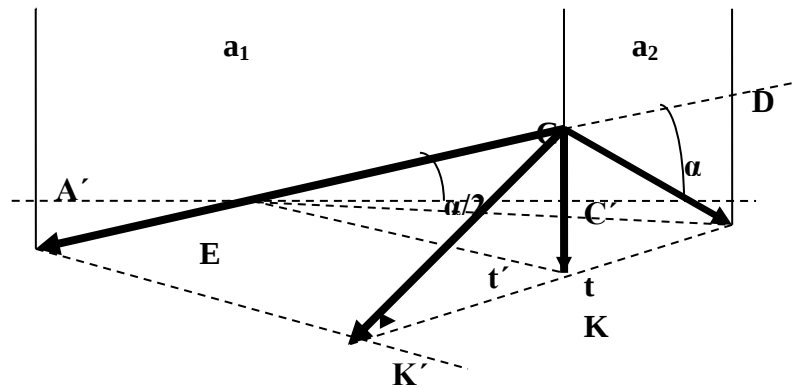
$AD = AB$ diyebiliriz. (çok az bir hata ile)

$$\sin(\alpha/2) = \frac{DB}{AB} = \frac{DB}{2.a};$$

$DB = d$ dersek,

$$t = 2.T.\frac{d}{2.a} = \frac{T.d}{a} \text{ olur.} \quad (4.18)$$

Şimdi direkler arası mesafe birbirine eşit olmasın. Direkler arası mesafe a_1 ve a_2 olsun
Bu durumda (t) radyal kuvvetini veren formülü bulalım.



Şekil 4.13. Radyal kuvvet hesabı durumu II

$$\sin(\alpha/2) = \frac{CH}{a_2} ;$$

$$CB = a_2 = CE \text{ alabiliriz.}$$

$$\sin(\alpha/2) = \frac{CH}{a_2}$$

$$CH = a_2 \cdot \sin \alpha/2$$

$$CK = 2CH = t \text{ olduğundan,}$$

$$t = 2a_2 \cdot \sin \alpha/2 \text{ olur.} \quad (4.19)$$

$$CB = a_2 = T \text{ olduğundan,}$$

$$t = 2T \sin \alpha/2 \text{ olur.}$$

$$\sin(\alpha/2) = \frac{DB}{ED} = \frac{DB}{2a_2}$$

$$t = 2T \cdot DB;$$

$$DB = d \text{ koyarsak,}$$

$$t = T \cdot d \text{ formülü bulunur.} \quad (4.20)$$

C noktasına tesir eden gerçek (t) kuvveti, yukarıdaki şekilde t' kuvvetidir. $T = t'$ alınmıştır. Bu durumda yapılan hata ihmal edilebilir (Taneri, S., Tercüme “25 kV 50 Hz Monofaze Elektrikli Cer Havai Hatları SNCF 1971”).



Yukarıdaki şekilde CB'yi uzatalım (1) no'lu direk hizasını kestiği noktaya D noktası diyelim.

CB'yi $CE = CA$ olacak tarzda uzatırsak,

$$CH = a_1 \sin(\alpha/2) \quad 2.CH = 2.a_1.\sin(\alpha/2) \text{ olarak alınırsa,}$$

$$2.CH = t \text{ olur ve dolayısıyla,} \quad (4.21)$$

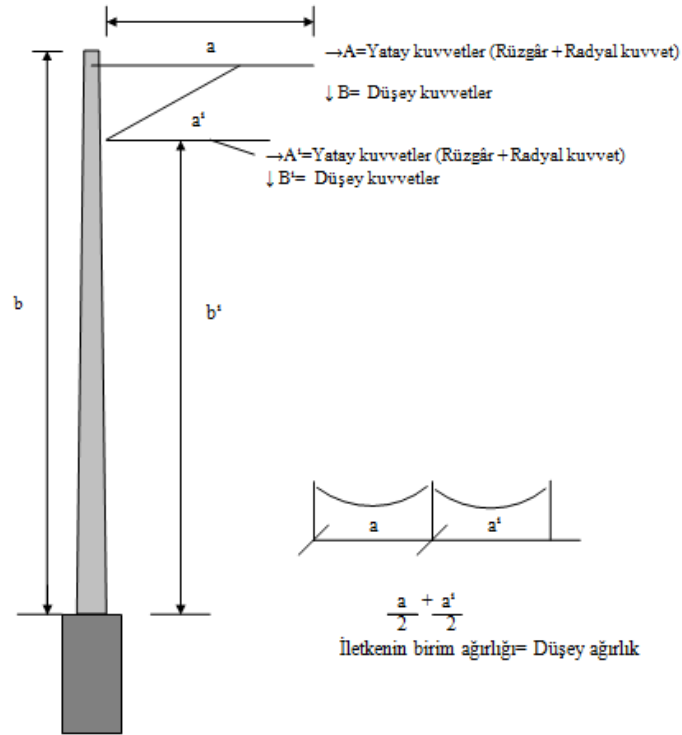
$$\sin(\alpha/2) = \frac{DA}{2.a_1};$$

$$t = 2.T. \frac{DA}{2.a_1}$$

$DA = d$ yazılırsa,

$$t = \frac{T.d}{a_1} \text{ bulunur.} \quad (4.22)$$

4.4.6 Eğilme momentleri ile ilgili hesaplamalar



Şekil 4.15. Eğilme momenti çözüm metodu

4.5 Katener sistemlerinin projelendirme kriterleri

Trenin hızına bağlı olarak seyir telindeki sehimin azalması ve bağlantı parçalarına gelen kuvvetin fazla olmaması için sistem, üç maddede düzenlenir.

1. Seyir teli ve Portör birlikte ayarlı
2. Seyir teli ayarlı (Portör fiks)
3. Seyir teli ve portör (Her ikisi de fiks)

Seyir teli ve portör birlikte 1200-1400 m uzunlukta etaplara bölünerek mekanik olarak ekipmanlar marifeti ile hat boyunca bağlanır. Esas olan güzergâh boyunca pantoğrafın

seyir teli ile teması olup, seyir telinden dışarıya çıkmamasıdır. Ancak 1200 m ve 1400 m uzunlukta bir etabın o güzergahın sıcaklık bandına göre (ısı değişimi nedeni ile) fiks olması halinde sehimi yapacağı muhakkaktır. Sehimin trenin hızını etkilediği bilindiğinden, hattı-caride her iki tel de ısı değişimine göre otomatik olarak ayarlı olmalıdır. Her iki telin ayarlı olması halinde iletkenlerdeki gerilme sabit olacağından, dolayısıyla sehimde sabit kalacaktır. Portör ve seyir telinin uzama katsayılarının farklı olmasından dolayı ayrı, ayrı ayarlanması en idealidir. İletkenlerden birinin kopması, halinde dahi hat yere düşmeyecek şekilde dizayn edilmelidir.

Seyir teli ayarlı, Portör fiks dizaynı istasyon içlerinde fazla hız yapılması planlanmayan yerlerde kullanılır.

Seyir teli ve portörün her ikisinin fiks yapıldığı dizayn, ısı değişiminin fazla olmadığı yerlerde, etapların 650m ya da daha küçük olduğu yerlerde, trenlerin fazla hız yapmayacağı tali yollarda, ekonomik olması bakımından kullanılır. Katener sistemi belirlenirken toplam kesit, aşırı gerilim düşümüne ve iletkenleri aşırı derecede ısıtacak bir akım yoğunluğuna sebep olmayacak şekilde seçilmelidir. Genellikle katenerin devamlı olarak mm²'ye kaç amper yoğunluğu seçiliyorsa, geçici olarak ta %50 aşırı yüke 3 dakika dayanabilecek bir kesit kabul edilmelidir. Bir katenerin toplam kesiti trafo merkezi yerine, trafik durumuna, yol profiline, seyir şekline ve kabul edilebilecek gerilim düşmelerine bağlı olarak hesap edilir. Bu kesit bilindiği gibi bakır eşdeğer kesitidir (Elk. Y. Müh. Erşin, H., "Raylı Ulaşımında Enerji Hesabı ve Katener Dizaynı").

4.5.1 Isı değişimine bağlı gerilme hesapları

İki ankraj arasındaki Katener iletkenine etap denir. Bir etabın kendisinden sonra gelen diğer etap ile birlikte olduğu kısımlara, ekipman veya seksiyonman bölge denir. Isı değişimi denklemine göre iki başa doğru hareket eden taşıyıcı ve seyir telinin akışı kontrol edilmelidir. Bunun için inşa edilecek güzergâhın ısı bandına göre, etap boyları dikkate alınarak, aşağıdaki ısı değişimi denklemine göre hesaplar yapılır.

$$\frac{K_b^2 \cdot a^2}{24 \cdot T_x^2} - \frac{K_b^2 \cdot a^2}{24 \cdot T^2} = \frac{T_x}{S \cdot E_l} - \frac{T}{S \cdot E_l} + E_x (t_2 - t_1) \quad (4.23)$$

Isı değişimi denkleminden ısı değişikliğine göre, iletkenlerin gerilmesi hesaplanarak, inşa sırasında iletkenlerin gerilmesi dikkate alınır.

K_b = İletken birim ağırlığı

a = İki direk arası açıklıklardan hesaplanan ortalama açıklık

T_x = İstenen gerilim

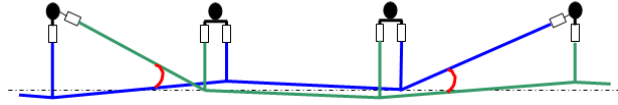
T = Normal sıcaklıkta (Ortalama)gerilme

E_l = (Uzama katsayısı-Elastikiyet modülü)

E_x = (Uzama sabit sayısı) Genleşme katsayısı

S =İletkenin kesiti

4.5.2 Ekipman

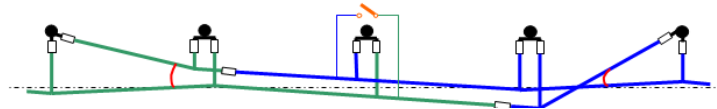


şekil 4.16. Ekipman

İletkenlerin mekaniksel olarak bölünmesi, iletkenlerin gerilmesi bahsinde anlatılmıştır.

4.5.3 Seksiyonman

İşletme ve bakım amaçlarına hizmet etmek üzere iletkenler çeşitli kısımlara blnrlr. Bu kısımlara temel seksiyonman denir. Temel seksiyonmanlar çeşitli uzunlukta oldukları gibi elektriksel olarak da bir birinden izole edilebilirler.



şekil 4.17. Seksiyonman

İzole edilme işlemi aşağıdaki gibidir.

- Anahat için hava aralıklı seksiyonmanlar ile veya çok az olmakla birlikte seksiyon izolatörleri ile izole edilir.
- Servis hatları için seksiyon izolatörleri ile izole edilirler.

Bu seksiyonmanlar hazırlık etüdü esnasında hattın besleme ve bölümsel plan ve diyagramları ile beraber tespit edilirler.

Hava aralıklı seksiyonmanlar aşağıda belirtilen yerlere tesis edilirler.

- Trafo merkezlerinde (Seperasyon bölgeleri)
- Seksiyonman noktalarında
- İstasyonun sonu ve başında
- Hattın çift hattan biri olup, acil geçiş ve atlama yapılması gereken pozisyonlarda

Seksiyonmanın iki görevi vardır.

1. Ekipman gibi iletkenlerin mekanik regülasyonunu sağlar.
2. Katenerdeki elektriğin kesilmesini sağlar.

Akımın devamlılığı iki katenerin kontak düzlemlerinin aynı seviyede tutulması ile yapılır. Böylelikle Pantoğraf temasında akım kesikliği olmaz. Bu iki katenerin aynı düzlemde olduğu bölgeye, ekipmanda olduğu gibi “ ortak bölge denir”.

Ortak bölgeden sonra iletkenler bir seviyeye yükseltilir, ankraj direğine bağlanır. Bu yükselmeyi gerçekleştirmek bir diğer deyişle hava aralıklı seksiyomanı elde etmek için dört direk açıklığı kullanılır. Seksiyonmanın her bir tarafında bulunan iki seksiyon arasındaki izolasyon, iki Katener düzlemi arasında 50cm’lik bir yükselme değeri bırakılarak yapılır.

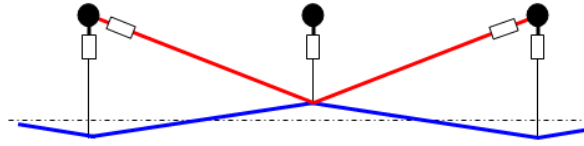
4.5.4 Seksiyonman izolatörleri

Seksiyon izolatörleri prensip olarak yalnızca tali hatların bölünmeleri için dizayn edilmişlerdir. Bununla beraber sürati sınırlamak koşuluyla ana hattada kullanılabilir. Seksiyon izolatörleri bir sabit izole kısım ve Pantoğraf geçişini sağlayan paten sisteminden oluşur. Seksiyon izolatörün hemen üstünde taşıyıcı telide izole etmeye yarayan bir izolatör daha olup hızlı tren güzergahlarında hafif olması nedeniyle sentetik

seksiyon izolatör kullanılır. Sentetik seksiyon izolatör ile taşıyıcıya bağlanan izolatör arası iki metre olup, arklardan etkilenmesin diye taşıyıcı tel üzeri izole bir plastik ile kaplı olabilir.

4.5.5 Antişöminman

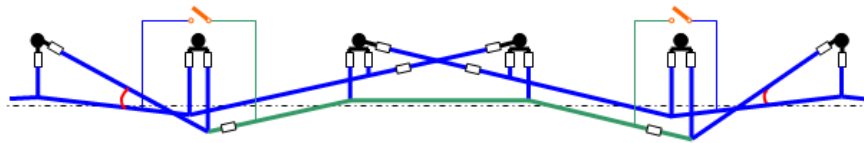
Otomatik gergili Katener sisteminde bir etap uzunluğunun tam ortasından sistem sabitlenir. Bu etap ortasında yapılan sabitlemenin amacı, katenerin etap boyunca düzenli yayılmasının sağlanmasıdır. Taşıyıcı tel ile aynı özelliği taşıyan antişöminman kablosu taşıyıcı tele eksen direği üzerinde ankre edilerek sabit hale getirilir. Portör ile antişöminman iletkeni bir yuva içerisine alınır ve sabitlenir. Antişöminmanın yükünü ve gergisini çeken direklerde ayrıca ankre edilir. Bu antişöminmanın gergi gücünü taşıyabilecek beton veya çelik direkler kullanılmalıdır.



Şekil 4.18. Antişöminman

4.5.6 Seperasyon seksiyonları (nötr bölge)

İki farklı faz ile beslenen iki bölgenin elektriksel olarak yalıtımı seperasyon seksiyonları ile yapılır. Bu seperasyon bölgeleri altı açıklık arasına ilave edilen iki ara izolasyonla gerçekleştirilir. (Şekil 4.19)



Şekil 4.19. Seperasyon seksiyonları (Nötr bölge)

Bu seperasyon bölgelerinden pantoğraf kalkık durumda geçilebilir. Geçiş esnasında enerji kesilir Bu seperasyon bölgeleri en az üç pantoğrafı kapsayan lokomotiflerin geçişleri içinde aynı koşulları taşırlar. Bölgenin iki dış izolasyonu arasını içeren uzunluk

bir birini takip etmeyen pantograflar arasındaki mesafeden az olmalıdır. Burada kastedilen bölge ortak bölge olup, Pantoğraf geçişlerinde iki kontak teline birden temas edecektir. Ortak bölge üç açıklık üzerindedir. Eksen kaçıklığı yalıtımın Pantoğraf bölgesi dışında yapılmasını sağlar. Kontak telinin yalıtımı sentetik veya porselen izolatörlerle yapılır. Söz konusu seperasyon bölgesine ait prensipler cer koşullarına, pantoğraf adedine ve pantoğraf genişliğine adapte edilmelidir. İletkenlerin gergi regülasyonunu sağlamak amacıyla seperasyon bölgesinin her iki tarafında maksimum 500 m lik bir mesafede gergi apereyi bulunmaktadır. Seperasyon bölgeleri Trafo merkezlerinde ve iki Trafo merkezinin arasında bulunan ortak noktada tesis edilir.

Katenerlerin elektriksel olarak bölünmesi işlemi bu konu ile ilgili hazırlık etütleri sırasında çeşitli demiryolları servis ve departmanları arasında mutabakat sağlanarak saptanır. Söz konusu servis ve departmanlara Katener servisi, Trafo merkezi, teçhizat ve genel donanım servisi ve taşımacılık departmanını örnek gösterilebilir. Besleme muntikalarını kesin olarak belirleyen besleme ve anahtarlama planları sayesinde Nötralize edilir. Yani beslemesi yapılan tüm katenerin bir veya birden fazla devre değiştirme anahtarlarını kullanma durumu bu çalışmalarla kesinlik kazanır. Her sektörün kendi içinde belirli sayılarda temel bölgelere bölünmesi ile Katener hattının en küçük bölgesi belirlenmiş olur.

Özetle besleme planı, devre açma kapama cihazları, iletim hatları ve akım kaynakları arasındaki elektriksel irtibatları gösteren bir plandır. Besleme planının hazırlanması bölüm 5 de ayrıntılı olarak açıklanmıştır (Elk. Y. Müh. Erşin, H., “Raylı Ulaşımda Enerji Hesabı ve Katener Dizaynı”)

4.5.7 Devre açma kapama cihazları

İhtiyaca göre devre açma kapama cihazları iletim hatları ve akım kaynakları arasındaki elektriksel irtibatları keser veya yeniden kurarlar. Bu cihazlar bir tarafın enerjisini diğer taraftan keser veya birçok kısımlar arasındaki elektriksel irtibatı açarlar. Yine bu cihazlar elektriksel devamlılığı kapanma yolu ile devam etmesini sağlarlar.

Dört tip açma kapama cihazı vardır:

1. Devre kesici (Disjonktör); bunlar enerjili veya enerjisiz durumlarda elle veya otomatik olarak açılan veya kapatılan cihazlardır. Bu cihazlar prensip olarak trafo merkezi içine tesis edilirler. Mahallinden kumanda yapılabildiği gibi Telekomand merkezinden de kumanda edilebilir.
2. Yük ayırıcılar; bunlar enerjili ve enerjisiz durumlarda açılıp kapatılan cihazlardır. Bunların kumandaları elektrikli kontrol ve ana trafo merkezinden uzaktan kumanda ile yapılır.
3. Devre değiştirme anahtarları; bu devre değiştirme anahtarları yalnızca enerjisiz durumda kullanılır ve bir enerji kaynağı ile Katener veya bir katenerle diğer bir kateneri bir birine elektriksel olarak bağlamada kullanılır. Özel durumlar hariç açma, yani ayırma amacıyla kullanılmaz.
4. Ayırıcı anahtarlar; bu ayırıcı anahtarlar yalnızca enerjisiz durumda kullanılır. İsteğe bağlı olarak bir devreyi açmak veya kapamak için dizayn edilmişlerdir. Ayırıcı posta denilen postalara da bu ayırıcı anahtarlar gurup halinde tesis edilirler. Bunlar elle veya işletme ihtiyaçlarına göre elektrikli kontrolle kumanda edilirler. Bu anahtarlar ayrıca birer kilit sistemi ile donatılmışlardır. İstenmedik zamanlarda çeşitli nedenlerle istenmeyen şekilde açılıp kapanmadan dolayı meydana gelebilecek herhangi bir kazayı önlemek için gerek bağımsız direklere monte edilen gerekse gurup halinde ayrı postaya monte edilen bu ayırıcı anahtarların birer kilit düzeni vardır.

4.6 Otomatik Gergi Cihazı Hesaplamaları

Taşıyıcı ve seyir teli, mekanik gerilmelerini sabit bir değerde tutmak için, bir gergi cihazına bağlanır. Palanga sistemi $1/3$ veya $1/5$ oranlı yapılabilir. İletkenlerin T gerilmesini karşılayacak olan serbest kola tatbik edilecek P kuvveti, T nin $1/5$ 'i dir. Gerilmeyi dengelemek için lüzumlu yükü azaltmak gayesi ile cihaza 5 kat veya 3 kat çoğalma oranı temin eden bir makara (Çıkırık) sistemi tesis edilir.

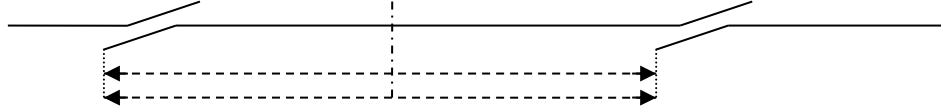
Örneğin ısı bandını -10°C ve $+40^{\circ}\text{C}$ $P=\underline{T}$ kabul edersek, cihaz o şekilde ayarlanmalıdır ki, $+40^{\circ}\text{C}$ azami ısıda iki makara arası mesafe X'in değeri 50 cm olsun. Etabın uzunluğu L(m), ayarın yapıldığı andaki ısı t ve "k" da telin ısı uzama katsayısı ise X(m) ve Y(m)'dir.

Bunlar da aşağıdaki formüllerden elde edilir.

$$X(m) = K.L.(40 - t) + 0,50 \quad (4.24)$$

$$Y(m) = K.L.(40 - t).3 \quad (4.25)$$

Bakır için $K = 17.10^{-6} \left(\frac{1}{C^0}\right)$ dir.



Şekil 4.20. Antişöminman

L (Tam boy)

$$L = L1 + L2 \text{ olur.} \quad (4.26)$$

- Ancak Antişöminmandan itibaren 4 boyu hesaba 1. Ekipman için alınır. 2.Ekipman için L2 boyu alınmalıdır.
- Antişöminman yok ise L boyu hesaba alınmalıdır.
- Portör fiks seyir teli regülarize ise seyir teli antişöminmanı kullanılır.

4.6.1 Otomatik germe cihazı ayarı

Seyir iletkeni ve taşıyıcının birlikte veya sadece seyir iletkeninin mekaniki gerilimi, ankraj direğine tespit edilmiş kontrpualı bir gergi cihazı sayesinde daimi olarak -10° ve $+60^\circ$ sınır ısıları arasında sabit tutulur. Bu mekaniki gerilmeyi dengeleyebilmek için lüzumlu yükü azaltmak gayesi ile cihaz 5' e eşit bir çoğaltma oranı temin eden bir çıkırık ihtiva eder. Kontrpuanın yükü, gerilmenin veya kondüktörlerin $1/5$ 'ine eşit ve yine kontrpuanın düşey olarak yer değiştirmesi ısı değişikliğinden mütevellit hattın uzama ksalmasının 5 katına eşit olmalıdır.

Cihaz o şekilde ayarlanmalıdır ki $60^\circ C$ azami ısıda X in değeri 85 cm Y'nin değeri ise (0) olsun. Eğer L metre olarak hattı uzunluğu 0^2 ayarı yapıldığı ısı ise X ve Y'nin fiderleri:

$$X(cm) = 17.10^{-4}.L.(50-t) + 85 \quad cm \quad (4.27)$$

$$Y(cm) = 5.17.10^{-4}.L.(50-t) \quad (4.28)$$

17.10^{-6} = bakırın lineer uzama katsayısı

Gergi cihazının kablosu çıkık üzerine tayin edilen uzunlukta sarılmış ve ankre edilmiş olarak teslim edilir. Bu ayar hiçbir halde değiştirilemez.

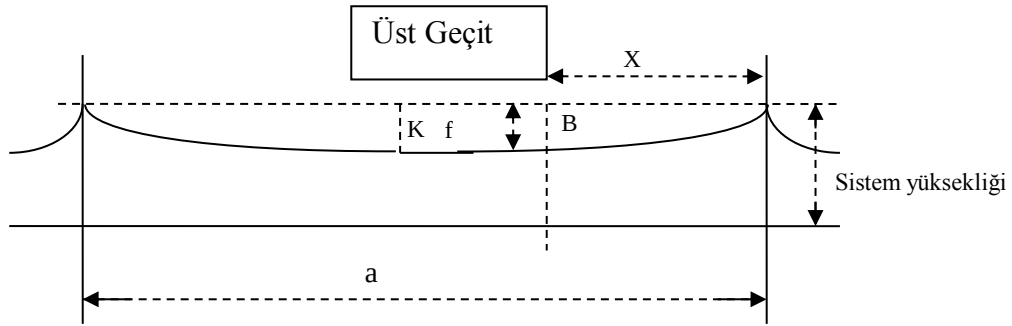
- X kotu nakillerin durumundan veya uzunluktan dolayı elde edilir.
- Y kotu kontrpuanının düşey kablusunun uzunluğundan hareketle bulunur.

Çizelge 4.6. Otomatik germe cihazı ayar tablosu (X, Y eksenlerine göre) L uzunluğundaki bir techizat için X in cm olarak teorik değerleri.

X	50cm	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700
-20	45,5	51,5	57	63	68,5	74,5	80	86	91,5	97,5	103	180,5	114,5	120
-15	45,5	50,5	56	61,5	66,5	72	77	82,5	88	93	98,5	104	109	114,
-10	45	50	54,5	59,5	64,5	69,5	74,5	79,5	84	89	94	99	104	108,
-5	44,5	49	53,5	59	62,5	67	71,5	76	80,5	85	89,5	94	98,5	103
0	44	48	52,5	56,5	60,5	64,5	68,5	72,5	77	81	85	89	93	97,5
5	43,5	47,5	51	54,5	58,5	62	66	69,5	73	77	80,5	84	88	91,5
10	43,5	46,5	50	53	56,5	59,5	63	66	69,5	72,5	76	79,5	82,5	86
15	43	45,5	48,5	51,5	54,5	57	60	63	66	68,5	71,5	74,5	77	80
20	42,5	45	47,5	50	52,5	54,5	57	59,5	62	64,5	67	69,5	72	74,5
25	42	44	46	48	50	52,5	54,5	56,5	58,5	60,5	62,5	64,5	66,5	68,5
30	41,5	43,5	45	46,5	48	50	51,5	53	54,5	56,5	58	59,5	61,5	63
35	41	42,5	43,5	45	46	47,5	48,5	50	51	52,5	53,5	54,5	56	57
40	41	41,5	42,5	43,5	44	45	45,5	46,5	47,5	48	49	50	50,5	51,5
45	40,5	41	41	41,5	42	42,5	43	43,5	42,5	44	44,5	45	45,5	45,5
50	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
Y														
-20	29	58	87	116	145	174	203	232	261	290,5	319,5	349	378	407
-15	27	54	81	108	135	162	189	216	243	270	297	324	351	378
-10	25	50	75	100	124,5	149	174	199	224	249	274	299	324	349
-5	23	47	68	91	114	137	160	183	205	228	251	274	297	319,
0	21	41,5	62	83	104	124,5	145	166	187	207,5	228	249	270	290,
5	187	37	56	75	93	112	131	149	168	187	205	224	243	261
10	16,6	33	50	66	83	100	116	133	149	166	183	199	216	232
15	14,5	29	43,5	58	73	87	102	116	131	145	160	174	189	203
20	12,5	25	37	50	62	75	87	100	112	124,5	137	149	162	174
25	10	21	31	41,5	52	62	73	83	93	104	114	124,5	135	145
30	8	17	25	33	41,5	50	58	66	75	83	91	100	108	116
35	6	12,5	19	25	31	37	43,5	50	56	62	68	75	81	87
40	4	8	12,5	17	21	25	29	33	37	41,5	46	50	54	58
45	2	4	6	8	10	12,5	14,5	17	19	21	23	25	27	29
50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

4.7 Serbest Yükseklik Hesabı

Bir köprü ya da dar gabarili bir yerden Katener tesisi icrası yapılırken seyir teli, sistem yüksekliği ve nihayet serbest yükseklik nasıl hesap edilir. Köprü genellikle açıklığın ortasına getirilmeye çalışılır. Katener tesisinin regüle edilmesi en doğrusudur. Fiks olması halinde kışın taşıyıcı tel gerileceğinden izolman mesafesi kısılır.



Şekil 4.21. Serbest yükseklik hesabı

Bir örnek yaparsak; katener tesisi bir seyir teli ve bir taşıyıcıdan ibaret olsun ve + 15 °C ortalama sıcaklıkta 1000kg gerili olsun. +15° C’de köprünün askı noktasından x mesafedeki fleşi hesap edelim.

$$f_{15} = \frac{q.x.(a-x)}{2.T} \quad (4.29)$$

ile bulunan bu değeri sistem yüksekliğinden çıkarırsak köprünün altındaki sistem yüksekliği bulunur. Buna s diyelim.

Portörün B noktasında -20°C 'deki fleşi hesap etmek istersek, $f_{-20} = \frac{q \cdot x \cdot (a - x)}{2 \cdot T}$ ile

bulunan değer B noktasında $+15^{\circ}\text{C}$ ile -20°C deki fleş farkına, “k” deriz. Açıklığın ortasındaki (K noktasında) $+50^{\circ}\text{C}$ ile 15°C ’deki fleş farkına da “v” diyelim;

$$f_{50} = \frac{q.a^2}{8.T_{50}} \quad (\text{Yüklü durumda } T_{50} \text{ gerilmesi alınır.}) \quad (4.30)$$

$$f_{15} = \frac{q \cdot a^2}{8 \cdot T_{15}} \quad (\text{Gerilmesi taşıyıcı telin fleşi yüklü durumda iken.}) \quad (4.31)$$

Serbest yükseklik:

B noktasındaki sistem yüksekliği Köprünün altında	: S
B noktasındaki +15°C ile -20°C arasındaki fleş farkı	: k
Açıklık ortasındaki + 50°C ile 15°C arasındaki fleş farkı	: v
Taşıyıcı telin kalınlığı	: d
Yol Marjı	: 0.05m
Uygulanan gerilime göre izolman mesafesi	: j
TOPLAM	: H(m)

Serbest yükseklik hesaplanan değere eşit veya büyük olmalıdır.

BÖLÜM V BESLEME PLANININ HAZIRLANMASI

5.1 Giriş

A.C. Transformatör merkezlerinin yerinin seçimini etkileyen unsurlar;

1. Gerilim düşümü
2. Ulusal şebekenin yer seçimine etkisi
3. Trafo merkezlerinin kavşaklara yakın olması
4. Trafo merkezinin elektriklecek hatta yakın olması
5. Personel ve malzeme ulaşımı
6. Güvenlik hususları göz önüne alınır.

Yukarıdaki altı husus göz önüne alınarak, alternatif akım (AC) transformatör merkezlerinin yer seçimi tayin edilir.

5.1.1 Gerilim düşümünün etkisi

Yapılan hesaplamalar göstermektedir ki katener sistemleri için optimum besleme gerilimi 25 KV dur. Bu seçimde etkili olan ekonomik nedenlerdedir. Şöyle ki; daha yüksek gerilimlerde çalışıldığında, hem hatta hem de kullanılan elektrik makinelerinde meydana çıkan izolasyon problemleri nedeniyle maliyet artmaktadır. Düşük gerilimlerde çalışıldığında ise istenilen gerilim stabilizasyonu sağlamak için besleme istasyonu sayısını artırmak gerektiğinden maliyet yine artmaktadır.

Transformatör merkezinde gerilim düşümü göz önüne alınarak beslenebilecek maksimum uzaklık için yapılan hesaplar 68km'lik hatta mümkün olmaktadır. Bu bir istasyonun tek taraflı besleyebileceği uzaklıktır. İşletme açısından bakıldığında transformatör istasyonlarının iki yönlü besleme yapması istenir. Bu durumda transformatör merkezi ortada düşünülürse sağ ve sola doğru 34km'lik hat parçaları beslenecektir. Yani art arda gelen iki transformatör merkezi arasındaki 34km olmalıdır.

5.1.2 Ulusal enerji şebekesinin yer seçimine etkisi

TCDD'nin kendisine ait enerji üretim ve dağıtım sisteminin olmaması transformatör merkezlerinin yerlerinin belirlenmesinde T.E.A.Ş. ile karşılıklı çalışmayı gerektirmektedir. Bu durumda transformatör merkezleri için yapılan ön seçimin T.E.A.Ş.'in dağıtım sistemine uygunluğunun incelenmesi için ekonomik ve işletme koşullarına en uygun çözümün bulunması için gereklidir.

5.1.3 Trafo merkezlerinin elektriklecek hatta yakın olması

Transformatör merkezlerinin elektriklecek hatta yakın, mümkünse hemen yanında olması istenir. Bunun nedeni transformatör merkezinin gerilim düşümü olmaksızın, besleyebileceği hat parçasından maksimum faydayı sağlamak ve gerektiğinde demiryolu ile transformatör merkezine ulaşmaktır. Böylece hem beslenecek hattın maksimum fayda sağlayabilmekte, hem de arıza veya puant yükler durumunda istasyonun güç bakımından yetersiz kalması halinde hareketli transformatör merkezleri ile demiryolu kullanılarak arızalı bölgeye ulaşılacak, besleme yapılabilecek ve sistem normal çalışmaya devam edecektir. Bu güne kadar Türkiye'de elektriklendirilen hatları besleyen transformatör merkezleri Veliefendi Transformatör Merkezi hariç hepsi bir servis yolu ile hattı cariye bağlıdır. Geliştirilmesi ve inşası kendi imkânlarımızla mümkün olan bir hareketli transformatör merkezi yapılması ile bu yollardan yararlanarak arıza veya puant yük durumunda sistemi beslemek mümkündür.

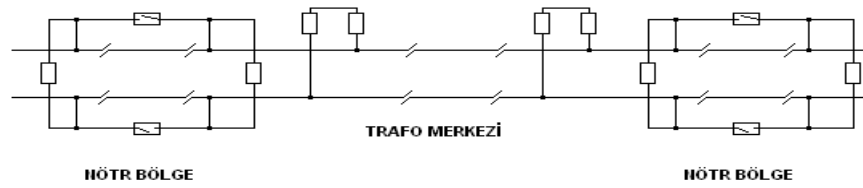
5.1.4 Personel ve malzemenin ulaşımı

Transformatör merkezleri gerek elektrifikasyon sırasında ve gerekse inşaat devam ederken en kısa zamanda ulaşılabilir konuma sahip olmalıdır. En ideal çözüm bir transformatör merkezine hem kara hem de demiryolu ile ulaşabilmektir. Bu sağlandığında inşaat için gerekli süre kısalacak ve arıza halinde ise ulaşım kolaylıkla yapılacaktır. Yer seçimi sırasında bu konunun da göz önünde bulundurulması gereklidir.

5.1.5 Güvenlik

Bilindiği gibi transformatör merkezinde bulunan cihazların imalatında kullanılan malzemelerin çoğu ya porselen gibi kırılğan malzemelerden ya da transformatör yağı gibi yanıcı malzemelerden yapılmıştır. Bu izolasyon malzemelerinin yangın gibi aşırı sıcaklarla karşılaşması halinde olay daha da büyüyecektir. Bütün bunlar göz önüne alınarak transformatör merkezini yanıcı veya patlayıcı malzemelerin kullanıldığı veya depo edildiği ortamlardan uzakta inşa etmek gerekir. Ayrıca arazi yapısı da gözden geçirilerek sel baskınına karşı en uygun yerler seçilmeli veya önlemlerin ekonomik olarak alınabileceği inşaat tarzları uygulanmalıdır. Son olarak yukarıda anlatılmaya çalışılan faktörlerin işletmeye olan etkisi ve ekonomikliğı değerlendirilerek transformatör merkezlerinin yeri hakkında kesin karar verilmelidir. Nihai olarak belirlenen transformatör merkezi besleme planında şematik olarak gösterilir. Tek yol, çift yol durumuna göre transformatör fider çıkışları besleme planında gösterilmelidir.

Transformatör merkezleri arasında Nötr Bölge oluşturularak her iki kesimin farklı fazdan beslenmesi sağlanır.



Şekil 5.1. Transformatör merkezleri arasındaki nötr bölge

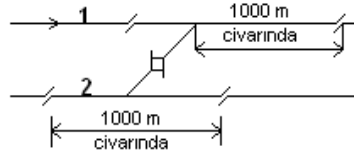
Bu şekilde beslemede Transformatör merkezinin önündeki nötr bölge, transformatör merkezinin bakımı sırasında, bu trafo merkezinin bölgesinin yakın olan transformatör merkezlerinden besleme yapılması halinde kullanılır. Transformatör merkezleri arasına veya Emergence olarak transformatör merkezi önüne konulması gereken nötr bölgenin seçiminde aşağıda hususlar göz önüne alınmalıdır.

Trenin kendi hızıyla geçmesini sağlayacak şekilde;

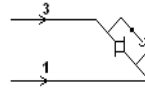
- Güzergâh alıyman veya büyük yarıçaplı kurp olmalıdır.
- Eğim büyük olmamalıdır.

- Kesici aç veya kesici kapa levhalarının görüşünü engelleyecek sabit tesis, ağaç v.s. olmamalıdır.
- Sinyallerden, durak ve istasyonlardan en az 400m uzakta olmalıdır.

İstasyon ve Yol Boyu Besleme Planı Hazırlanırken; güzergâh planından şematik olarak istasyonlar ve açık hat çizilir. Elektriklenecek yollar dolu çizgi ile biraz kalın, elektriklenmeyecek yollar noktalı çizgi ile muhtemel yollar kesik çizgiyle gösterilir. Besleme planına kurp, alıyman ve profil planındaki eğimlerinin gösterilmesi yararlı olur. Transformator merkezleri ile istasyon postaları, nötr bölgeler ve seksiyonmanlar yol yönü dikkate alınarak gösterilmelidir. Güzergâhın tek ve çift olması, makas tipi, elektrikli tren işletmeciliğinde her koşulda trafik akışını en az etkileyecek şekilde seksiyonmanlar oluşturulmalıdır.

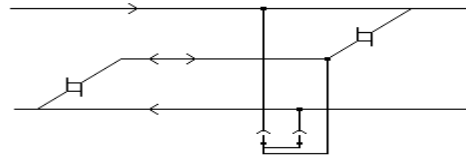


Şekil 5.2. Seksiyonman (1000 m için)



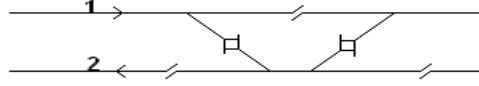
Şekil 5.3. Tali yol üzerindeki seksiyoner

S makasından itibaren yaklaşık 1000m'ye seksiyonman oluşturulmalıdır.



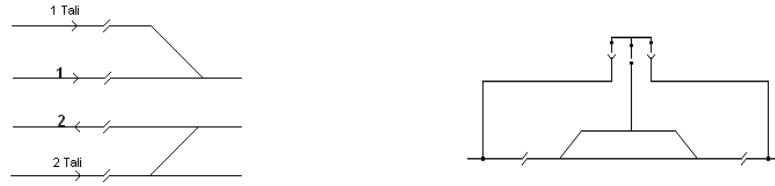
Şekil 5.4. Ana yol üzerindeki seksiyoner

Küçük garlarda tali yollar, ana yol üzerine konulmuş seksiyonerle beslenebilir. Açık hat ile bağımsız iltisak hattı ise şekildeki beslemedir.



Şekil 5.5. S Makas oluşumundaki seksiyonman

Böyle bir S makas oluşumunda seksiyonmanlar Şekil 5.5’deki gibi oluşturulmaktadır. Hangi konumda enerji kesilirse kesilsin trafik akışı sağlanır.



Şekil 5.6. Seksiyonman

Trenlerin yol değiştirmelerini sağlayacak ve her yolun elektriksel bağımsızlığını temin etmek için şekildeki seksiyonmanlar oluşturulur. Tek yolda by-pass fideri ile istasyon dışındaki açık hatta enerji vermek mümkün olur.

5.2 DC Transformatör Merkezlerinin Yerinin Seçimi

Trafo merkezlerinin yeri, tasarım mesafesine göre, harita üzerinde yapılan çalışma ile belirlenir.

Ancak, yerin nihai seçiminden önce:

- İlgili otorite ve kurumlarla bilgi alış verişi sağlanması,
- Elektriklenecek demiryolunda besleme kolaylığı açısından etüt yapılması,
- Trafo merkezlerinin yerinin, ulaşımın kolay olmasının yanı sıra, Branşman hattının da kısa ve coğrafi açıdan inşa kolaylığı sağlayacak şekilde seçilmesi
- Doğal afetlerin olma ihtimali olan yerler ile yumuşak zemin olmaması,
- Kurulacak Trafo merkezlerinin yakınında gaz ve toz üreten tesisler ile yangın yada patlamaya yol açacak tesislerin bulunmaması,
- Trafo merkezlerinin yeri, başka bir tesis nedeni ile öteleme, kaldırma olasılığı olan yerler ile, Tarihi ya da önceden bir kullanıma ayrılmış yerler olmaması,

- Toprak özgül direncinin kabul edilebilir bir seviyenin altında tutulabileceği yerler olması konularında inceleme ve araştırmanın yapılması gereklidir.

5.3 DC Besleme Sisteminin Konfigürasyonu

DC besleme sistemlerinde genellikle paralel besleme yapılır. Kaza, arıza veya bakım çalışması nedeni ile enerji kesintisi yapılan hat kesiminde, kesintinin mevcut tren trafiğine etkisini aza indirmek için, elektrikli besleme sistemi elektrikselsel olarak bölümlere ayrılır. Her bölüm gerektiği üzere, Fider hattı hata seçicileri, yüksek hızlı devre kesiciler, birbirine akuple devre kesici ve ayırıcı cihazlar ve tekrar kapama cihazları ile donatılır. Besleme sistemi aşağıdaki gibi bölümlenir.

- Bir trafo merkezi ve seksiyon postaları arasında bir kesim
- Aşağı ve yukarı hatlar ve diğer yön
- Elektrikli lokomotif ya da tren deposu
- Diğerleri

Enerji kesintisi boyutunu en aza indirmek için, iki trafo merkezi arası2-3 kesime ayrılır. İstasyonlardaki yoğun trafiği olan yollar ile manevra yolları ayrı, ayrı gruplanabilir. Elektrikli tren ya da lokomotif depo hattı, gar veya manevra sahası, tecrübe ya da test hattı gibi, diğer tesisler için tek gruplu besleme mümkündür.

5.4 AC Transformatör Merkezleri

Trafo merkezleri genellikle dikdörtgen şeklinde 66 x 45m ebatlarında veya arazi koşullarına göre 60 x 50, 60 x 30 ebatlarında olabilir. Uzun kenarı hatta paralel olacak şekilde dizayn edilmelidir. Yüksek gerilim hatları trafo merkezinin bir tarafından girmeli, 25kV çıkışları ise transformatörün tam aksi yönünden çıkmalıdır. Transformatör merkezlerinin önüne bir demiryolu servis yolu yapılması ağır malzeme ve donanımın taşınması ve içeri alınması açısından birçok kolaylıklar sağlayacaktır. Normalde bu servis yolu kullanılmaz ancak transformatörlerin arızalanması veya değiştirilmesi gibi durumlarda istifade edilir. Ancak hafif araçların (kamyonet gibi) trafo merkezlerine gelmesi ve içeri alınması için bir karayolu yapılması gerekmektedir. Servis yolunun yapılamaması durumunda yapılacak karayolu 100 tonluk karayolu araçlarını taşıyacak sağlamlıkta olmalıdır.

Genelde trafo merkezine konacak tüm teçhizat açık hava tipidir. Trafo merkezine monte edilen ve edilecek trafolar demiryoluyla ve özel bir vagonla taşınacak şekilde dizayn edilmişlerdir. Montaj işlemleri ve aksesuarları minimum düzeyde tutulmuştur. Trafolar tekerleklidir. Bu nedenle demiryolu servis yoluna indirilmesi, trafo merkezine alınması çok kolaydır. Trafo merkezinin bir kenarına yaklaşık 40m'lik bir bina inşa edilir. Bu kapalı alana uzaktan kumanda panosu, röle gurupları, aküler, redresör, telefon gibi düşük voltajlı cihazlar monte edilir. Ayrıca mahallinden kumanda yapılmasını sağlayan pano bulunur. Koruyucu ve ilk yardım malzemeleri burada muhafaza edilir.

5.5 Güç Transformatörü

Transformatörler elektrik enerjisini herhangi bir gerilim seviyesinden başka bir gerilim seviyesine endükleme vasıtası ile çeviren statik elektrik makineleridir. Raylı sistemler elektrifikasyonunda kullanılan güç transformatörleri ulusal elektrik şebekesine bağlıdır. 154kV – 50Hz'lik elektrik enerjisini monofaze 27.5kV -50Hz'lik enerjiye dönüştürüp katener tesislerini beslemektedirler. Şehir içi elektrifikasyon sistemlerindeki güç transformatörleri yine ulusal elektrik şebekesine bağlı olup 66kV, 33kV, 22kV, 6.6kV 50Hz'lik gerilimi 750V, 600V, 1500V veya 3000V gerilime dönüştürüp katener tesislerini beslemektedir.

Elektrifikasyon sistemlerinde kullanılan güç transformatörleri monofaze çekirdekli 50 Hz frekanslı yağa daldırılmış genellikle açık hava tipindedir. Şehir içi elektrifikasyonda dahili tipte kullanılır. Transformatörler nominal gücün %75'ine eşdeğer güçte sürekli olarak çalışırlar. Ayrıca %150 yük ile 15 dakika süre ile, %200 yük ile 5 dakika süre ile çalışabilecek şekilde imal edilirler. Aynı manyetik devre üzerine iki bobin yerleştirilir ve primer denilen bobinlerden biri bir alternatif akım kaynağına bağlanırsa manyetik devrenin çekirdeğinde alternatif bir manyetik akış meydana gelir. Bunun sekonder denilen ikinci bobindeki değişiklikleri besleme akımıyla aynı frekansta bir alternatif endüksiyon EMK doğurduğu görülür. Her iki sargıda da gerilimlerin sarım adedi ile orantılı akım şiddetlerinin de ters orantılı olduğu görülür.

5.5.1 Transformatör

Manyetik devre; aralarında kâğıt veya vernik ile ayrılmış halde, Demir kısmı özel silisyumlu çelik saclardan meydana gelmiştir.

Elektrik devreleri; alçak gerilim transformatörleri ve az güçler için primer ve sekonder sargılar, emaye bakır telden yapılmış bobinlerden teşekkül etmiştir. Her tabaka diğerinden izole kâğıtla ayrılmıştır. Yüksek gerilim ve büyük güçteki transformatörler için bazen yassı olarak sarılan bobinler, emdirilmiş lif, mika, pres bant, izolman kâğıt, vernik gibi tecrit edici madde ile yalıtılmış, yassı veya yuvarlak telden sarılmışlardır.

Yalıtma; sargı ve manyetik devre yalıtkan yağ ile dolu bir tanka veya (chloranel pyranol, dielektrot gibi) bir yalıtkan sıvıya batırılabilir. Yağın görünümü temiz ve berrak, tortu, yabancı madde, su ve petrol artıkları ihtiva etmemeli, düşük viskozite ve yüksek dielektrik dayanımına haiz olmalıdır.

Akım çıkışları; bobinlerin uçları, dış elektrik devreleri ile bağlantı teşkil etmek için akım çıkış işini gören izolatörlere tespit edilir. Akım çıkışı içinden bir iletken geçen bir izolatörle tespit edilir. Akım çıkışları veya uçları aygıt kapağındaki harflerle bulunurlar büyük harfler yüksek gerilim içindir. Örnek (A,B,C), küçük harfler alçak gerilim için, örnek (a,b,c) ve N ile n harfleri nötr (Toprak) içindir.

Gerilim ayarı; boşta kademe değiştiricisi vardır. Ayar sargıları ve kademe değiştirme sisteminin tamamı, gerilim dalgalarına ve bütün kademelerin nominal devamlı yük akımına aşırı ısınmaya uğramadan dayanabilecek ve tam kısa devre akımını hasara uğramadan taşıyabilecektir. Boşta ayar tertibatı; İnsan boyu yüksekliğinde ve bir elle kumanda mekanizması vardır. Ayar tertibatı her pozisyonda kilitlenebilmelidir.

Transformatörlerin soğutulması; yük veya akımlardan hasıl olan fuko kayıpları trafoların sıcaklığını yükseltirler. Sıcaklığı tehlikeli bir değere yükseltmemek gerekir. Yağlı trafolarda, sıvının alt ve üst tabakaları arasındaki ısı farkı, dış hava ile sıcaklığı düşürür. Tankın oluklu sacları veya boruları içindeki sıvı, hava ile soğutma yüzeyini artırmaktadır.

5.6 Transformatörlerin Muhafazası

Trafolar ya fabrikada kurutulmuş ve içinde yağ dolu olarak veya kurutulmuş trafo içine yağ koymayıp AZOT GAZI ile muayyen basınçta dolu olarak nakledilir. Ayrıca dıştan gelebilecek rutubetin bir kısmını absorbe etmek gayesi ile SİLİKAGEL konulmuş olarak nakledilir. Trafolar mutlaka kapalı yerlerde muhafaza edilmeli ve azot gazı

montaj yapılana kadar boşaltılmamalıdır. Silikageller, trafonun nefes alması ile rutubetten pembe renkten mavi renge dönüşür. Rengi değişerek nem alan silikagel değiştirilmelidir.

Yağ dolu olarak gelen trafoların nakliye sırasında yağın dışarı akmaması için Bucholz rölesi ile genleşme tankı arasındaki vana kapatılmış olabilir. Vana açılır. Genleşme kabı içindeki yağ eksikse, hava sıcaklığına göre tamamlanır. Trafonun kurutma işlemi iki halde yapılır. Montaj zamanına kadar montaj mahallinde bekletilen trafonun rutubetini almak için, yada bir arıza sebebi ile kazanı açılan veya yağı değiştirilen trafo için Kurutma işlemi:

1. Sıcak yağ dolaştırarak
2. Kısa devre metodu ile
3. Sıcak hava verme metodu ile yapılır.

5.7 Akım ve Gerilim Ölçü Transformatörleri

Yüksek gerilimle taşınan elektrik enerjisinin doğrudan ölçülebilmesi olanaksızdır. Yüksek gerilim sistemlerinde, ölçü ve koruma amacıyla ölçü transformatörleri kullanılır.

Ölçü transformatörlerinin yüksek ve orta gerilim sistemlerinde kullanım amaçları;

1. Yüksek akım veya gerilim seviyesindeki sistemlere ölçü aletlerini koruma ve kontrol aygıtlarını doğrudan doğruya bağlamak olanaksızdır. Ölçü transformatörleri yardımıyla, yüksek gerilim ve yüksek akım değerleri bu aygıtların kullanabileceği seviyelere düşürülür.
2. Ölçü ve koruma aygıtlarını yüksek gerilime doğrudan doğruya bağlamak bu cihazlarla devamlı ilişki halinde bulunan işletme personeli için hayati tehlike yaratacağından, bu aygıtların yüksek gerilimden izole edilmesi gerekir. Bu izolasyon, ölçü transformatörleri ile sağlanır.
3. Ölçü transformatörleri genel olarak koruma ve kontrol amacıyla kullanılır. Bu işlevi yerine getirmek üzere ölçü transformatörlerinin sekonder devresine bağlanacak aygıtların, primer tarafındaki çeşitli yüksek akım veya gerilim

değerlerinden bağımsız olarak belirli anma akım ve anma gerilimlerinde çalışmalarının sağlanması bu aygıtların standartlaşmasını sağlamaktadır.

Ölçü Transformatörlerinin Tipleri;

Ölçü transformatörleri transformatörlerin akım veya gerilim ölçmek amacıyla üretilen özel bir uygulamasıdır. Genel olarak transformatör teorisi, ölçü transformatörleri içinde geçerlidir. Bir transformatörde,

$$\text{Kısa devrede : } \frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} \quad (5.1)$$

$$\text{Yüksüz durumda : } \frac{N_1}{N_2} = \frac{E_1}{E_2} \text{ bağıntıları vardır.} \quad (5.2)$$

Bu bağıntılardan birincisi akım transformatörleri, ikincisi ise gerilim transformatörleri için geçerlidir.

5.7.1 Akım transformatörleri

Akım transformatörü normal kullanma koşullarında sekonder akımı primer akımla orantılı ve primer akımla sekonder akım arasındaki faz farkı yaklaşık sıfır derece bir transformatördür. Akım transformatörünün özelliklerini belirleyen 4 ana faktör vardır.

1. Yalıtım seviyesi; normal çalışma gerilimine ve sistemdeki gerilim yükselmesine dayanabilecek koşullarda yalıtılmalıdır.
2. Primer anma akımı; sürekli çalışmada primer anma akımını taşıyabilmelidir. Transformatörün çalışabileceği, primer anma akımından daha büyük akımlar için, akım faktörü (RF) tanımlanır. Örneğin: RF=1.2 olduğu durumlarda, akım transformatörü anma akımının 1.2 katında sürekli çalışabilmeli ve doğruluk sınıfı bozulmamalıdır.
3. Kısa süreli termik anma akımı; sisteme seri bağlandığında, sistemde meydana gelebilecek kısa devre akımlarına dayanabilmelidir. Aksi halde transformatör parçalanabilir. Koruma rölelerine bilgi gelemeyeceğinden sistem korumasız kalabilir. Kısa süreli termik anma akımının, primer sargılar üzerinde ısı bir etkisi vardır. Bu, kısa devre akımının ilk tepe değeri, termik akım değerinin yaklaşık 2.5

katına ulaşır. Primer sargılar arasında büyük elektromanyetik kuvvetler oluşur. Kısa devre akımının ilk tepe değerine dinamik akım adı verilir. Transformatörün bu akımın oluşturacağı kuvvetlere de dayanabilmesi gerekir.

4. Güç ve doğruluk; doğruluk sınıfı, sekonder güçler ve aşırı akım faktörü gibi parametreler, transformatörün nüve hacmini belirler. Ölçü nüvesi ile yapılan ölçmelerde akım anma akımının %5-%120 sınırları arasında 0,2–0,5 veya 1 doğruluk sınıfında ölçmesi istenir. Koruma nüvesi ile yapılan ölçmeler ise, arıza koşullarında ve aşırı akım seviyelerinde yapılan 5P, 10P sınıflarındaki ölçmelerdir.

Akım transformatörlerinin doğruluk sınıfları ve kullanılacağı alanlar;

- 0,1–0,2 sınıfları çok hassas laboratuvar ölçümleri için,
- 0.5 sınıfı çok hassas ölçmelerde örneğin: elektrik sayaçlarında,
- 1 sınıfı, normal servis ölçme ve koruma devrelerinde,
- Sınıfı, fazla hassasiyet istemeyen ölçmelerde kullanılır.

5.7.2 Gerilim ölçü transformatörleri

Normal kullanma koşullarında sekonder gerilimi, primer gerilimiyle orantılı olan ve uygun biçimde bağlandığında, primer sekonder gerilimleri arasındaki faz farkı yaklaşık olarak sıfır derece olan bir transformatördür. Gerilim transformatörleri, endüktif ve kapasitif olmak üzere iki guruba ayrılırlar. Endüktif gerilim transformatörleri, 145kV'a kadar daha ekonomiktir. 145kV'tan yüksek gerilimli sistemlerde kapasitif gerilim transformatörlerinin kullanılması daha uygundur.

Gereğinden daha büyük anma gücü ve doğruluk sınıfı seçilmesi hem ekonomik olmaz hem de daha büyük boyutlu bir transformatör gerektirir. Bu nedenle güç ve doğruluğun kullanma koşullarına uygun seçilmesi önemlidir. Gerilim transformatörüne bağlanan bütün cihazların yükleri toplamı transformatörün toplam yükü olarak seçilmelidir.

BÖLÜM VI ELEKTRİFİKASYON SİSTEMİNİN İNCELENMESİ VE MODELLENMESİ

6.1. Besleme Sistemleri ve Tesis Bölgeleri

Raylı sistemlerde, enerjinin tipinin, ne seviyede olacağının, trafo merkezlerinin hangi mesafelerde olacağı kısmen de olsa, trenin hareket edeceği güzergâh, durak sayısı, eğim ve benzeri etkenler göz önüne alınarak belirlenir. Tüm raylı sistemlere bakılırsa besleme gerilimi olarak 25kV AC tek fazlı şebekede 50Hz frekanslı ya da 750V DC kullanılmaktadır (Bonnett, 2005). Tramvay, hafif raylı metrolar gibi sistemlerde de bu gerilim seviyeleri kullanılır fakat motorlu araçlar ile ortak hareket edilen yollarda daha düşük gerilim seviyeleri tercih edilir. Pek sık olmamakla birlikte başka gerilim seviyeleri de kullanılmaktadır. Örneğin; Orta Avrupa’da 15kV AC 16,6 Hz tek fazlı raylı sistem varken, Afrika’da 50kV ve 3000V DC’de kullanılmaktadır. Çizelge 6.1’de demiryolları elektrifikasyonu gerilim seviyeleri verilmiştir.

Çizelge 6.1. EN 50163'e göre demiryolu elektrifikasyonu gerilim seviyeleri

	U_n	U_{min2}	U_{min1}	U_{max1}	U_{max2}	U_{max3}
DC 600 V	600	-	400	720	770	1015
DC 750 V	750	-	500	900	950	1269
DC 1,5 kV	1500	-	1000	1800	1950	2538
DC 3,0 kV	3000	-	2000	3600	3900	5075
AC 15kV 16,7 Hz	15000	11000	12000	17250	18000	24311
AC 25KV 50 Hz	25000	17500	19000	27500	29000	38746

U_n : Nominal gerilim

U_{min1} : En düşük kalıcı gerilim

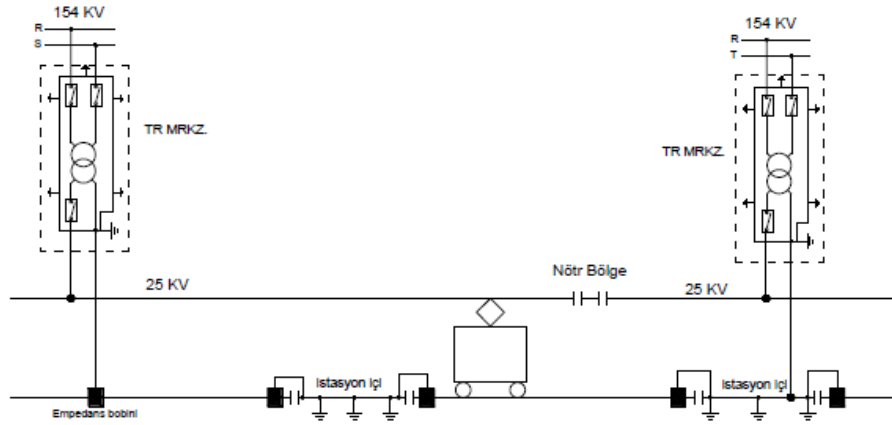
U_{min2} : En düşük geçici gerilim, max. 10 dk

U_{max1} : En yüksek kalıcı gerilim

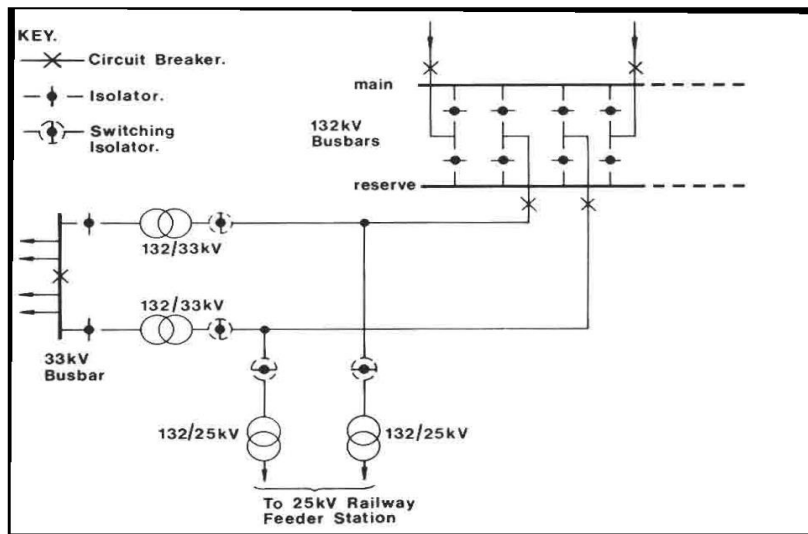
U_{max2} : En yüksek geçici gerilim, max. 5 dk

U_{max3} : Aşırı gerilim, 20 ms’den uzun süreli olmak üzere 12 dk

Bu enerji seviyelerinin AC/DC olarak elde edilmesi de farklı gerilim seviyelerindendir. DC sistemlerde elektrik enerjisi 11 kV ya da 33 kV şebekeden alınıp kullanırken, AC sistemlerde ise 132 kV ya da daha yüksek gerilim seviyelerinden alınarak kullanılırlar (Bonnett, 2005). Örneğin; Levent-Hisarüstü metro hattında enerji trafo merkezinden 34,5 kV olarak alınır ve indirici trafolar yardımıyla kullanılır. Dikkat edilirse DC sistemler şehir içi toplu taşımada, AC sistemler ise yük ve uzun mesafeli raylı toplu taşımada tercih edilmektedirler. Dünyanın geneline bakacak olursak, ortalama 200 000 km elektrik kullanan demiryollarının % 33'ü 25 kV AC 50 Hz, % 18'i 25 kV AC 16,7 Hz geri kalan % 49'luk kısım ise DC gerilim kullanmaktadır (Şimşek, A., “Elektrikli Raylı Sistemlerin İncelenmesi ve Kent İçi Raylı Ulaşım Sistemlerinde Enerji Kalitesi ve Geri Kazanımı” İstanbul Teknik Üniversitesi 2008).

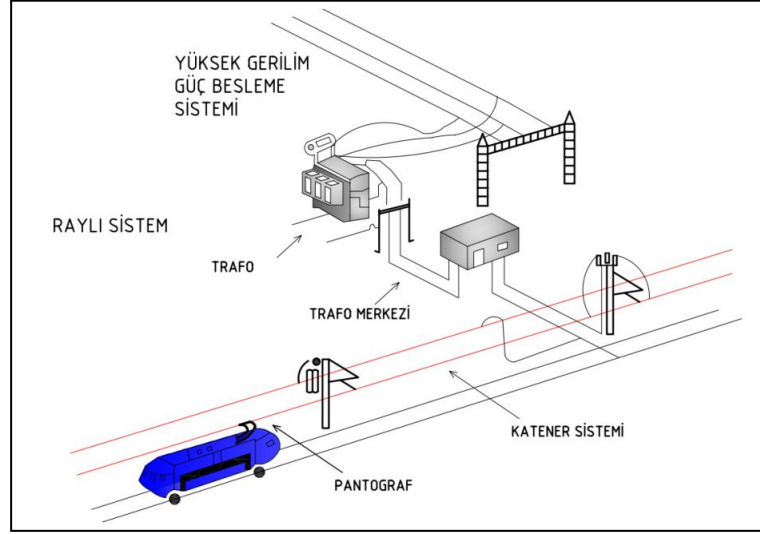


Şekil 6.1. Örnek besleme planı



Şekil 6.2. Örnek bir trafo merkezi bağlantı şeması

Raylı sistem araçlarının hareket etmek için kullandıkları elektrik enerjisi birkaç farklı yol yardımı ile trenlere aktarılabilmektedir. Bunun belirlenmesindeki en büyük etken, raylı sistemin güzergâhıdır. Diğer bir ifade ile demiryolu, tünelde mi yer alacak, viyadükten mi geçecek, tümüyle yerüstünde mi olacak, hattın tamamı kaç kilometre olacak? Gibi soruların cevabı sonrası demiryolu üzerinde hareket edecek aracın elektrik enerjisini, 3. Ray ile mi, standart katener ile mi yoksa rijit katener ile mi alacağı belirlenir. Biz bu çalışmamızda katener sistemi inceleyeceğiz.



Şekil 6.3. Raylı sistem güç beslemesi

Şekil 6.3’de de katener sistemi ile besleme yapılmış bir sistem temsili olarak modellenmiştir.

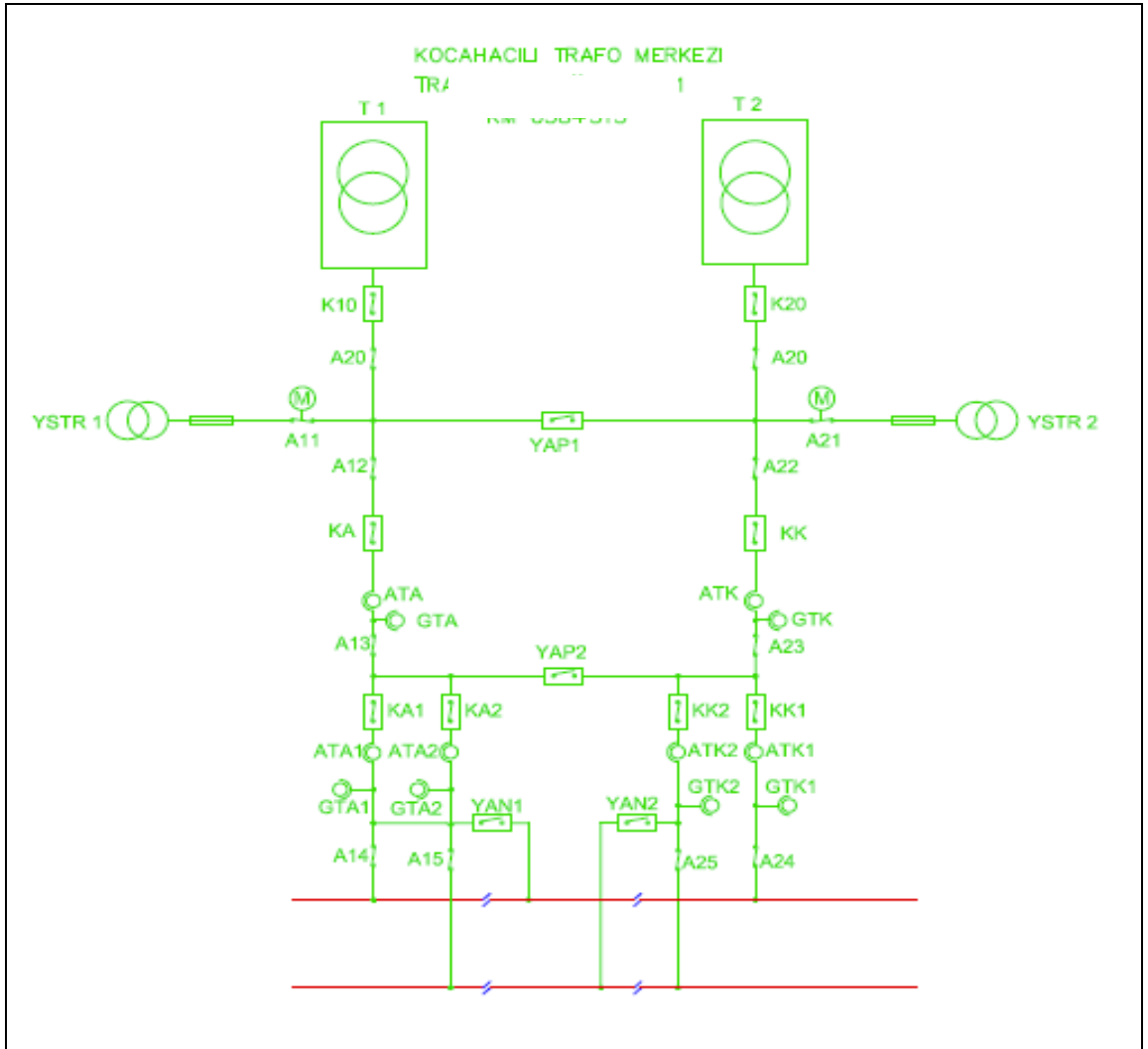
6.1.1 Trafo bölgesi

Raylı sistemlerde trenin hareketi için ve diğer yardımcı elemanların beslenmesi için gerekli olan güç “Cer Gücü” olarak adlandırılmaktadır. Cer gücünün ilk amacı treni hareket ettirebilmektir. Genel olarak da enerji trafo merkezlerinden yüksek gerilim olarak temin edilir, indirici trafo sayesinde ihtiyaç olan gerilim seviyesi elde edilmiş olur. Transformatörler, bu sistemde gerilimin gereken yerlerde yükseltilmesine gereken yerlerde düşürülmesine imkân sağlamaktadır. Transformatörlerle istenilen düzeye getirilen enerji buradan iletim sistemleri (Katener ya da 3. Ray) kullanılarak trene aktarılır. Bu enerjinin dağıtım şebekelerinden alınıp, cer gücü olarak kullanılacak hale

gelmesine kadar yapılan işlemlerin gerçekleştirildiği merkezlere ise Cer Gücü Trafo Merkezleri adı verilmektedir.



Şekil 6.4.Trafo merkezinin görünümü



Şekil 6.5.Hatta bağlantısı yapılmış trafo merkez şeması

6.1.2 Trafo bölgesi bileşenleri

Kesici (Disjonktör); yüksek gerilim devrelerinde; yüksüz, yüklü, aşırı yüklü ve kısa devre akımlarını kesen, bu devrelerde ani olarak açma ve kapama yapan cihazlardır.

Ayırıcı (Seksiyoner); yüksek gerilim devrelerini yüksüz olarak açıp kapayan ve açık konumda gözle görülebilen bir ayırma aralığı oluşturan cihazlardır.

Yük ayırıcı (Enterrüptör); yüksek gerilim devrelerinde kısa devre kesme gücü olmayan, normal yüklü elektrik devrelerini açıp kapayan cihazdır.

Topraklı ayırıcı; istasyon yükleme yollarındaki katener hattının enerjisini keserken aynı zamanda diğer bıçağı ile katener hattını topraklama sistemi ile irtibatlandıran, enerji verilmesi talep edildiğinde bu bölümün toprak irtibatını kesip kapama yapan cihazdır.

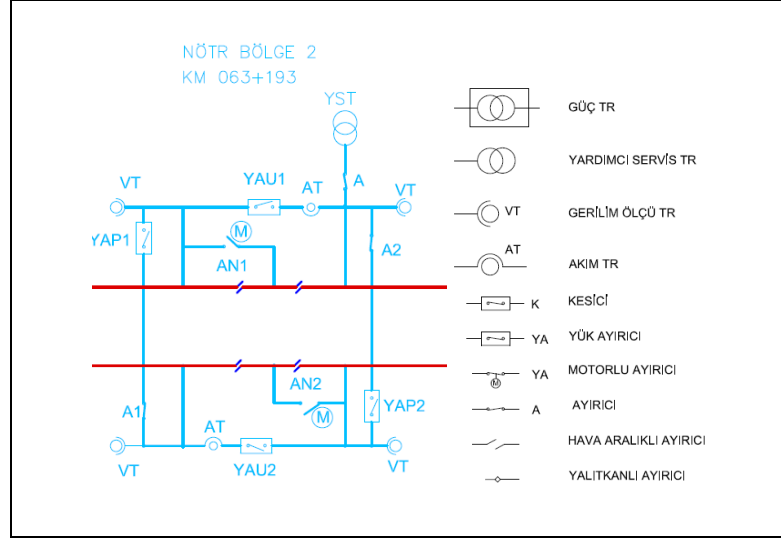
Parafudur; teçhizatı, yıldırımın meydana getirdiği yüksek gerilimlerden veya benzeri aşırı gerilimlerden koruyan cihazdır.

Akım trafosu; yüksek gerilim devrelerinde bağlı oldukları devreden geçen akımı istenilen oranda (1 veya 5 amper olarak) küçültüp yüksek gerilim devresinden izole ederek ölçü aleti, sayaç ve koruma rölelerine veren özel trafolardır.

Gerilim trafosu; yüksek gerilim devrelerinde gerilimi istenilen oranda küçültüp yüksek gerilim devresinden izole ederek ölçü aleti, sayaç ve koruma rölelerine veren özel trafolardır.

6.1.3 Nötr bölge

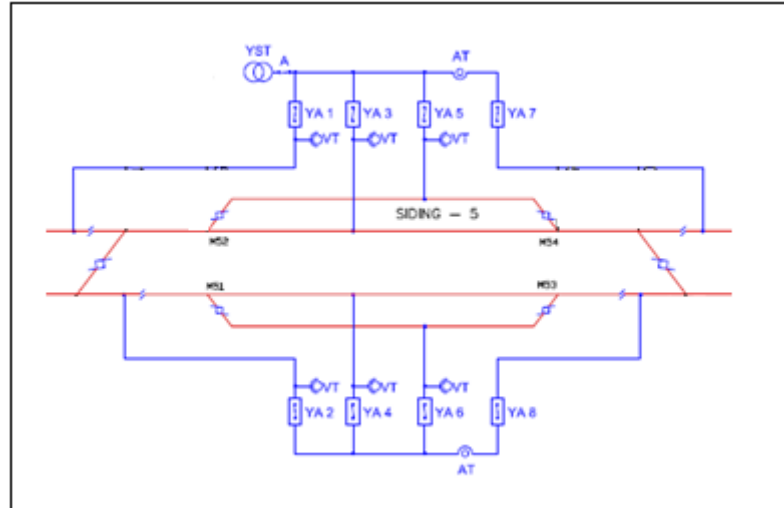
Farklı fazlardan beslenmeleri nedeniyle iki komşu trafo merkezi katener hattı üzerinde farklı potansiyellerdedir. Bu trafo merkezlerinin enerjilerini ayıran, izole edilen enerjisiz katener bölgesidir. Bu bölgeler iki komşu trafo merkezi arasında olduğu gibi her trafo merkezinin önünde de oluşturulmaktadır. Nötr bölgeler aynı zamanda elektriksel manevraların kolaylığı, trafo merkezlerindeki iki güç trafosunda ayrı fazlardan beslenmeleri nedeniyle trafo merkezleri önlerinde de nötr bölgeler oluşturulmaktadır.



Şekil 6.6. Nötr bölge bağlantı şeması ve semboller

6.1.4 İstasyon postaları ve beslemesi

Yardımcı güç trafoları, istasyon yapılarındaki alçak gerilim ile beslenen tüm ekipmanların elektrik ihtiyacını karşılamak amacı ile kullanılırlar. Yani istasyonlardaki aydınlatma armatürleri, motor, pompa, havalandırma ekipmanları gibi donanımların beslemeleri yardımcı güç trafoları diğer bir adıyla iç ihtiyaç trafoları yardımıyla yapılır.



Şekil 6.7. İstasyon postası bağlantı şeması



Şekil 6.8.34,5/0,4kV 1000 kVA Kuru tip iç ihtiyaç trafoları

Raylı sistemlerde istasyon yapılarında alçak gerilim kullanılmaktadır. Temelini iç ihtiyaç trafosu oluşturmaktadır. Trafo merkezinden iletilen 34,5kV'luk enerji, iç ihtiyaç trafosunun primerine girer, sekonderden 0,4kV olarak alınır. Sekonderden alınan bu enerji, istasyon yapılarındaki gerek tek fazlı gerekse üç fazlı tüm sistemlerde kullanılabilir. Primeri üçgen, sekonderi yıldız bağlı olan iç ihtiyaç trafoların, sekonderinden 0,4kV değerindeki enerji Ana Dağıtım Panolarına(LVS) aktarılır, ana dağıtım panolarından istasyon yapılarındaki kat panolarına ya da diğer adıyla tali panolara aktarılır. Sekonder ile ana dağıtım panosu arasında enerji aktarımı kablo ile yapılabileceği gibi busbar sistemlerle de yapılabilmektedir. Şekil 6.9'da LVS'ler gösterilmiştir.



Şekil 6.9. AG Ana dağıtım panoları

6.1.5 Tren performans ve güç besleme sistemi boyutlandırma analizi

Yeni bir hat tasarlanırken sistemdeki trenlerin ortalama hızı, parkur süresi ve sistemden çekilecek güç gibi değerlerin bilinmesi gerekmektedir. Aynı şekilde mevcut bir hatta işletme şartlarında yapılması planlanan yeni araç alımı, işletme sıklığının artırılması, boşta gitme stratejisinin kullanılması gibi büyük değişiklikler; sistemin ticari hızını, parkur süresini, ve sistemden çekilecek güç gibi değerleri etkileyecektir. Bu parametrelerin elde edilmesinde veya tecrübe ile elde edilmiş sonuçların doğrulanması için bilgisayar programlarına yani simülatlörlere, ihtiyaç vardır.

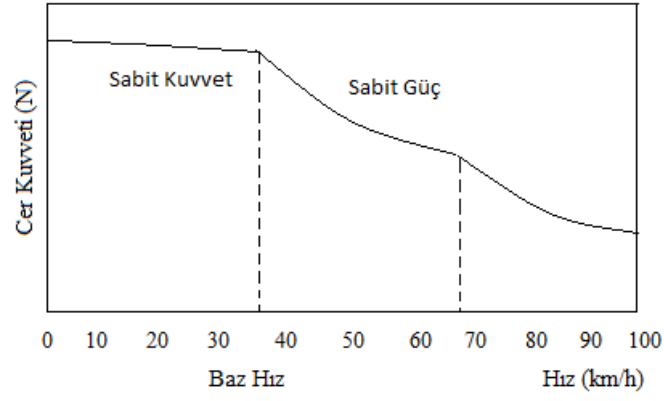
Bu tip simülatlörler iki kısımdan oluşur: Tren hareket ve güç sistemi hesaplayıcıları. Genel olarak, tren hareket hesaplayıcısı ile, trenlerin, hız ve yerlerine bağlı o anda hangi çalışma modunda olması gerektiği saptanır. Bu yapılırken araç karakteristikleri, yolcu istasyonlarının kilometreleri ve güzergâh parametreleri programda girdi olarak kullanılmaktadır.

Bu parametreler sonucu tren aşağıda verilmiş olan 4 hareket modundan birine göre hareket edecektir.

1. İvmelenme; tren motor karakteristiklerine göre hızlanabilir.
2. Boşta gitme (Coasting); aracın o anki kinetik enerjisi ile yol alması durumudur.
3. Sabit hızda hareket (Cruise); bu durumda, sadece araç direnci diye adlandırılan karşı kuvvetleri yenmek için enerji harcanmaktadır.
4. Frenleme; sabit olduğu kabul edilir. Regeneratif (Faydalı) frenleme hesaba katılması zor olmakla beraber gereklidir.

6.1.5.1 Tren performans hesabı

Elektrikli raylı sistem araçlarının Cer Kuvveti-Hız karakteristiği genel olarak Şekil 6.10'da verilen karakteristiğe sahiptir.



Şekil 6.10. Cer kuvveti (N) - hız (km/h) karakteristiği

Şekil 6.10'daki grafikten aracın, baz (Temel) hız olarak tanımlanan bir hıza kadar, genellikle 8-10 m/s, sabit cer kuvveti ile hareket edeceği ve bu hızdan sonrada azalan bir kuvvet ile tahrik edileceği anlaşılmaktadır. Motorların üreteceği kuvvetten aracın karşı dirençleri düşülerek net cer kuvveti bulunur.

$$F_{net} = F - F_R - F_C \pm F_G = m a \quad (6.1)$$

Burada, sırasıyla F_R tren karşı kuvvetleri, F_C kurp direnci ve F_G eğimden gelen karşı kuvvetleri göstermektedir. Bunlar araçların ürettiği cer kuvvetinden çıkartılarak elde kalan net kuvvet bulunur. Bu formülden trenin elde edebileceği ivme değeri bulunur.

Elde edilen net cer kuvveti ve aracın ağırlığı o andaki ivmelenme değerini verir. Araçların maksimum ivmesi genellikle metro araçlarında 1.0 m/s^2 olmakla beraber cadde tramvay araçlarında 1.3 m/s^2 ye kadar çıkabilmektedir. Bu değer temel hıza kadar sabit kabul edilebilir. İvme değeri temel hızdan sonra azalır. İvmedeki anlık değişme jerk olarak adlandırılır ve maksimum 1.3 m/s^3 olabilir. Bu limit istasyonlar arasındaki mesafeye göre hızın sınırlandırılmasında önemli bir etkidir.

6.1.5.2 Tren hareket hesapları

İvmelenme Durumu:

Mevcut hız ve ivme değerinden faydalanarak yeni hız ve yer bilgisi aşağıdaki formüllerle hesaplanır. Formüllerde jerk limitinin etkisi ihmal edilmiştir.

$$V_1 = V_0 + a \Delta t \quad (6.2)$$

$$S_1 = S_0 + V_0 \Delta t + 0.5 a \Delta t^2 \quad (6.3)$$

Burada V_0 ilk hız, V_1 hesaplanan yeni hız, a ivme değeri, S_0 ilk konum, S_1 hesaplanan yeni konum ve Δt hesap aralığıdır.

Frenleme Durumu:

Tren frenleme esnasında aşağıdaki formüllere göre yavaşlayacak ve yol alacaktır.

$$V_1 = V_0 - a \Delta t \quad (6.4)$$

$$S_1 = S_0 + V_0 \Delta t - 0.5 a \Delta t^2 \quad (6.5)$$

Duruş için frenleme yapılıyorsa fren mesafesi;

$$S_{fren} = V^2 / 2a \quad (6.6a)$$

Hız azaltımı için fren yapılıyorsa fren mesafesi;

$$S_{fren} = (V^2 - V_T^2) / 2a \quad (6.6b)$$

Burada, V frenlemenin başladığı mevcut hız, V_T ise hedeflenen hız değeridir.

Güç Hesabı:

Tren performans hesapları Excel gibi hesap tabloları ile büyük yakınsamalar ile yapılabilir de, güç hesaplarının Excel'de istenilen hassasiyette gerçekleştirilmesi neredeyse imkansızdır. Aşağıda bir araca ilişkin temel güç denklemleri verilmiştir.

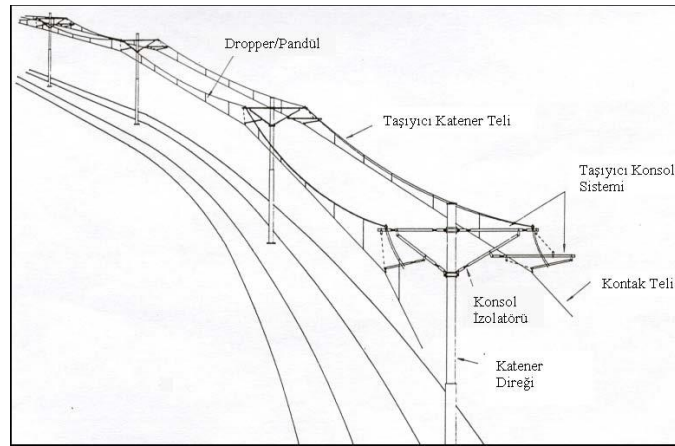
$$P_{mekanik} = F V = P_{elektrik} \eta \quad (6.7a)$$

$$P_{elektrik} = F V / \eta \quad (6.7b)$$

Burada η araç verimi olup araç hızına bağlı olarak 0.85-0.90 arasında değerler almaktadır.

6.2 Pantograf ve katener sistem

Tren ilerledikçe pantografin da temas teli boyunca kayması gerekmektedir. Farklı mekanik yapılarda ve farklı sayıda başlıklardan oluşabilen pantografların, katener hattına sağlıklı şekilde temas edebilmesi için üzerinde kontrol sistemleri mevcuttur. Burada önemli olan, hareket eden pantografin sürekli olarak katenere değmesi için uygulanması gereken kaldırma kuvvetinin yeterliliğidir. Hızla ilerleyen bir tren hattında enerjinin kesintisiz alınması ve pantograf ile katener arasındaki temasın kesilmemesi amacıyla, sistemin çok iyi tasarlanıp imal edilmesi gerekmektedir. Pantograf ve katener arasındaki etkileşim bunları oluşturan elemanlara ve bu elemanların parametrelerinin katsayı değişimlerine bağlıdır. Bu sistemlerde karşılaşılan ve araştırmacıların en çok üzerinde durduğu konulardan biri de özellikle yüksek hızlarda seyir telinde oluşan sehimdir. Pantograf ve katener arasında meydana gelen titreşimler ve temas telindeki osilasyonlar, aralarındaki ilişkiyi bozabilir ve temas kaybına bile neden olabilir. Bu sebeple de temas kuvvetinin kontrol edilmesi gerekmektedir (S. Rusu – Anghel, C. Miklos, J. Averseng and G.O.Tirian, “Control System for Catenary – Pantograph Dynamic Interaction Force,” Computational Cybernetics and Technical Informatics (ICCC-CONTI), 2010 International Joint Conference on, s: 181 – 186, 2010).



Şekil 6.11.Bir normal katener sisteminin genel görünüşü

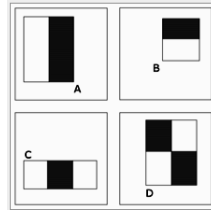
Pantografin katenere temas noktasında uyguladığı kuvvetin etkileri bu tür sistemlerde karşılaşılan en önemli problemlerden biridir ve özellikle elektrik enerjisinin iletilmesi konusunda çok büyük etkileri vardır. Pantograf ile katener arasındaki temas uygun şekilde olmazsa temas kesilebilir, trene gelen enerji kesilebilir ya da pantograf ile

katener zarar görebilir. Temas telinde meydana gelen titreşimler ve dış kuvvetler temas kuvvetinde değişime neden olmaktadır. Bu durum sistemde dengesizlikler ve kayıplar oluşturmaktadır. Temas kuvvetinin olması gereken değerden büyük olması, pantografin temas noktasında mekanik aşınmalara ve bozulmalara neden olur. Bu değerden daha düşük olan bir temas kuvveti ise elektriksel ark oluşmasına neden olmaktadır. Bütün bunların yaşanmaması için sistemin dinamik davranışının çok iyi analiz edilip, modellenmesi gerekir. Bu sebeple esas üzerinde durulması gereken konular pantograf ve katener arasındaki titreşimin azaltılması ve her şartta sabit temas kuvveti sağlanmaya çalışılmasıdır. Sabit temas, temas telinin gerilmesi artırılarak sağlanabilir, ama bu yöntemin kullanılması pek kolay ve mümkün değildir. Temas kuvvetinin değişimi dışında hem dahili hem de yoldan ya da raydan kaynaklanan harici etkilere dolayı sistemi oluşturan elemanların parametrelerinde değişimler olabilir, temas kaybolabilir, ark oluşabilir, katenerde ya da pantografta mekanik hasar meydana gelebilir. Parametre değişimi ile sistemin dinamik modelinde belirsizlikler oluşabilir. Bu sebeplerden dolayı elektrikli raylı sistemler, karmaşık ve modellenmesi zor sistemlerdir. Sistem kendi iç değişimleri ve dış etkilere karşı ne kadar dayanıklı ve duyarsız olursa o kadar iyidir. Literatürde birçok araştırmacı geliştirdikleri değişik kontrol yöntemleriyle pantografin pozisyonunu kontrol etmeye çalışmışlardır. Sistem modeli oluşturulduktan sonra temasın sağlanabilmesi için pantografin tepesi ile katener arasındaki yer değiştirme miktarının azaltılması gerekmektedir (Huang, “Discrete fuzzy variable structure control for pantograph position control Cilt: 86, s: 171–177, 2004., 2015)

6.2.1 Pantograf sezimi

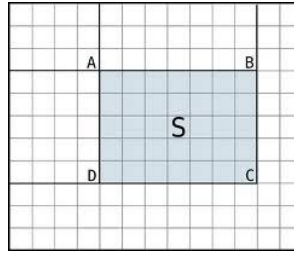
Gerçek zamanlı kusur denetimi yapmak için pantograf ve üzerindeki katener hattının verimli bir algoritma ile bulunması gereklidir. Bu amaçla Haar özniteliklerini kullandık (Şekil 6.12). Bu yöntemde, ilgili pencere içinde beyaz dikdörtgen alanda ki piksel değerlerinden siyah dikdörtgen alandaki piksel değerleri çıkarılır. Dikdörtgen alanlar içinde piksel değerleri toplamını hesaplamak için hızlı bir yöntem olan tümlev imge (Integralimage) kullanılmıştır. Tümlev imge T, orijinal imge I'nin birikimli toplamıdır.

$$T(x, y) = \sum_{i=1}^x \cdot \sum_{j=1}^y I(i, j) \quad (6.8)$$



Sekil 6.12.Dikdörtgensel Haar öznitelikleri

Tümlev imge elde edildiğinde, dikdörtgensel bir alan içindeki piksel değerleri toplamı sadece üç işlemle elde edilir.(Şekil 6.13)



Şekil 6.13.Tümlev imgede dikdörtgensel öznitelik hesaplanması

$$S = C - B - D + A \quad (6.9)$$

6.2.2 Pantograf-katener sistemlerinin modellenmesi

Raylı sistemlerde sürtünmeden dolayı oluşan aşınmaları, katenerde oluşan titreşimleri, temas kayıplarını ve ark sonucu oluşan elektromanyetik bozulmaları azaltmak gerekmektedir. PAK sisteminin dinamik performansını geliştirmek için en uygun çözüm yönteminin bulunup uygulanması gerekir. Sistemin deneysel uygulamalar üzerinden incelenmesi çok zor ve pahalı olduğundan, PAK sisteminin modellenmesi zorunlu hale gelmiştir. Çeşitli yöntemler kullanılarak oluşturulan matematiksel model üzerinde gerekli çalışmalar yapıp, sonuçlar elde edildikten sonra, pratik modelin oluşturulması daha uygun olacaktır.

Matematiksel model oluşturulurken öncelikle giriş ve çıkış büyüklükleri belirlenir ve daha sonra bu değerlere bağlı olarak dinamik model oluşturulur. Giriş büyüklükleri olarak genelde kuvvetler ve momentler alınır. Sistem geometrisi, kütlelerin büyüklüğü ve konumu gibi bileşenler dikkate alınarak dinamik model oluşturulur. Böyle bir sistemin çıkış büyüklükleri; harici etkiler, hareket, rotasyon, osilasyon ve titreşim

etkileri olabilir. Literatürde pantograf ve katenerin modellenebilmesi için farklı teknikler kullanılan çalışmalar mevcuttur. Pantograf ve katener başlangıçta ayrı ayrı modellenerek ve daha sonra bu modeller birleştirilerek PAK sistemi modeli oluşturulur.

Pantograf modellenirken, aktif ve pasif pantograf modeli olarak iki matematiksel modelden bahsedilebilir. Yapılan uygulamalarda genellikle pasif pantograf modeli kullanılmıştır. Ancak günümüz koşullarında trenlerin hızlarının artmasıyla birlikte pantografin pasif kontrol modeli yetersiz kaldığından, son yıllardaki çalışmaların büyük çoğunluğu aktif pantograf kontrol yaklaşımlarının geliştirilmesini sağlamıştır. Pasif pantograf sistemlerinde katenerin dalgalanması yüzünden yüksek hızlarda hasar oluşur. Sonuç olarak temas kaybolur ve arklar oluşur. Temas kuvveti değişimini azaltmak için pasif yerine aktif pantograf kullanılması daha uygun olacaktır. Alt ve üst çerçeve olarak iki çerçeveden oluşan pantografa, çerçevelerden en az birinin hareket edebiliyor oluşuyla aktif pantograf oluşturulur. Çerçeve ve tepe arasındaki hız azaltılmaya çalışılır. Pantografin matematiksel modelini oluşturmak zor ve karmaşık bir iştir. Aktif pantografa çerçeveye uygulanan kuvvet giriş değeri olarak seçilerek bir denetleyici ile kontrolü sağlanır. Böylelikle temas kuvvetindeki değişim azaltılmaya çalışılır ve akım toplama kalitesi artar (Huang, “Discrete fuzzy variable structure control for pantograph position control Cilt: 86, s: 171–177, 2004., 2015).

Titreşimli sistemler modellenirken yay-kütle sistemi kullanılarak incelemeler yapılır. Yüksek hızlı sistemlerde kullanılan PAK sistemleri de titreşimli sistemler olduğundan, bu tür sistemler modellenirken yay-kütle sistemlerinden faydalanılır. Kuvvet ile yer değiştirme arasındaki ilişki cisimlerin elastik yapılarına bağlı olarak Robert Hooke tarafından incelenmiştir. Hooke kanununa göre, esnek bir cisme bir kuvvet uygulandığında cismin konum değiştirme miktarı uygulanan kuvvetle orantılıdır. Denge durumunda bulunan bir yay kütle sisteminde, x kadar sıkıştırılan ya da gerilen yay tarafından kütleye $F=-k.x$ kadar bir geri getirici kuvvet uygulanır. Bu kuvvetin etkisiyle sistem ileri geri hareket etmeye başlar, yani basit harmonik hareket yapmaya başlar. Burada k , yayın sertlik sabiti ya da yay sabiti olarak ifade edilir. Yer değiştirme miktarı x , yerçekimi kuvveti ile doğru orantılıdır. (-) işareti, kuvvetin yönünün yer değiştirme ile ters orantılı olduğunu, böylece geri getirici bir kuvvet olduğunu gösterir. Newton’ un ikinci kanunu gereği bir sisteme etkiyen toplam kuvvet sistemin kütlesi ile ivmesinin çarpımına eşittir.

$$F=m.a=m \frac{dv}{dt}=m \frac{d^2v}{dt^2} \quad (6.10)$$

$$F=-k.x= m \frac{d^2x}{dt^2} \quad (6.11)$$

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + k.x=0 \rightarrow m.\ddot{x} + k.x=0 \quad (6.12)$$

Burada, F:kuvvet, m:kütle, a:yerçekimi ivmesi, v:hızdır.

Sistem sönümlü bir ortamda ise sürtünme kuvvetinin etkisi de dikkate alınmalıdır. Sürtünme kuvveti hız ile orantılıdır, hız doğrultusunda ve hıza zıt yönlüdür. Kütleye etki eden F kuvveti, yay tarafından sağlanan geri getirici kuvvet ve sürtünme kuvvetinin sebep olduğu sönüm kuvvetinin toplamına eşittir.

$$F=m.a= m \frac{dv}{dt}= m \frac{d^2x}{dt^2} = -k.x - c \frac{dx}{dt} \quad (6.13)$$

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + c \frac{dx}{dt} + k.x=0 \quad (6.14)$$

$$m.\ddot{x} + c.\dot{x} + k.x=0 \quad (6.15)$$

Burada, c, sönümleme(Amortisör) elemanının sürtünme katsayısıdır. Denklem ikinci dereceden, sabit katsayılı, doğrusal, homojen bir diferansiyel denklemdir. Sisteme dışarıdan bir Ft kuvveti uygulanırsa hareket denklemi yine Newton' un kanunlarına göre;

$$m.\ddot{x} + c.\dot{x} + k.x=Ft \quad (6.16)$$

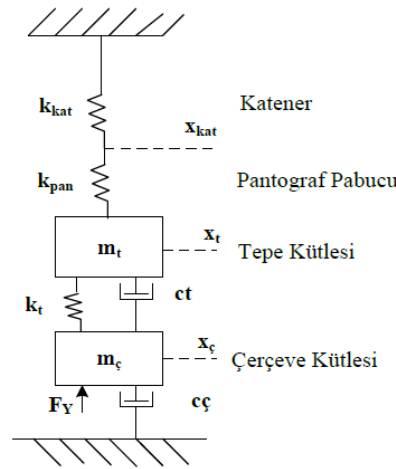
Olur. Ft kuvvetinin dışında sisteme herhangi bir bozucu kuvvet Ft uygulanırsa sistemin yer değiştirme miktarı ilk duruma göre farklı olacaktır. Bu sistemin hareket denklemi;

$$m.\ddot{x} + c.\dot{x} + k.x=Ft + Fc \quad (6.17)$$

halini alır. Burada uygulanan kuvvetin m.ẍ kadarı kütle ivmelendirmek için, c.ẋ kadarı sürtünme kuvvetini yenmek için, k.x kadarı da yay sıkışması için harcanmıştır. Denklemin çözümünde girişe bağlı olarak çıkış elde edilir. Burada giriş Fc' dir, çıkış olarak v hızı veya x yer değiştirme miktarı alınabilir. Yani Fc' ye göre

çıkış bulunur (Yıldız Teknik Üniversitesi Fizik Laboratuvarı 1 (Mekanik ve Isı) Deneyleri, Yaylı Sarkaç Deneyi).

PAK sisteminin mekanik modeli oluşturulurken katener bir yay olarak modellenir. Pantograf ise toplu kütle modeli ile yaylar, kütleler ve amortisörler (Sönümleyiciler) kullanılarak, aktif ya da pasif kontrollü olarak modellenebilir. Pantografla katenerin arası da bir yay ile modellenir. Basit bir PAK sisteminin mekanik modeli Şekil 6.14’te gösterilmiştir (Walters, “Simulation of Fuzzy Control Applied to a Railway Pantograph-Catenary System,” Part II, s: 322-330, 2010).



Şekil 6.14.Basitleştirilmiş bir pantograf-katener modeli

Burada pantografin katenere temas eden kısmına pantograf pabucu, araca değen kısmına ise çerçeve denilmektedir ve pantograf, çerçeve ve tepe olarak adlandırılan iki kütleli bir sistem olarak modellenir. Bu sistem için pantograf katener modelinin hareket denklemi, basit ikinci dereceden diferansiyel denklem şeklinde yazılırsa (Matvejevs “Pantograph-Catenary System Modeling Using Matlab-Simulink Algorithms,” Scientific Journal of Riga Technical University Computer Science. Information Technology and Management Science, s: 38-44, 2010.);

$$m_c \ddot{x}_c + c_c \dot{x}_c + c_t (\dot{x}_c - \dot{x}_t) + k_t (x_c - x_t) = F_Y \quad (6.18)$$

$$m_t \ddot{x}_t + c_t (\dot{x}_c - \dot{x}_t) + k_t (x_t - x_c) + k_{pan} (x_t - x_{kat}) = 0 \quad (6.19)$$

$$k_{pan} (x_{kat} - x_t) + k_{kat} \cdot x_{kat} = 0 \quad (6.20)$$

olur. Burada F_y pünömatic silindirin kaldırma kuvvetini ifade eder. Bu denklemler durum uzay formunda yazılmak istenirse;

$$x_1 = x_t, x_2 = \dot{x}_t, x_3 = x_{\dot{c}}, x_4 = \dot{x}_{\dot{c}} \quad (6.21)$$

alınarak;

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \\ \dot{x}_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ \frac{1}{m_t} \left(\frac{k_{pan}^2}{k_{pan} + k_{kat}} - (k_t + k_{pan}) \right) & -\frac{c_t}{m_t} & \frac{k_t}{m_t} & \frac{c_t}{m_t} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ \frac{k_t}{m_{\dot{c}}} & \frac{c_t}{m_{\dot{c}}} & -\frac{k_t}{m_{\dot{c}}} & -\frac{(c_t + c_{\dot{c}})}{m_{\dot{c}}} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ \frac{1}{m_{\dot{c}}} \end{bmatrix} \cdot F_y \quad (6.22)$$

$$Y = \begin{bmatrix} \frac{k_{kat}}{k_{pan} + k_{kat}} & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{bmatrix} \quad (6.23)$$

elde edilir. x' lere göre transfer fonksiyonu;

$$\frac{0.7883s + 42.44}{s^4 + 23.589s^3 + 9785s^2 + 119e004s + 3.493e00\epsilon} \quad (6.24)$$

olarak elde edilir.

6.2.2.1 Simülasyon sonuçları

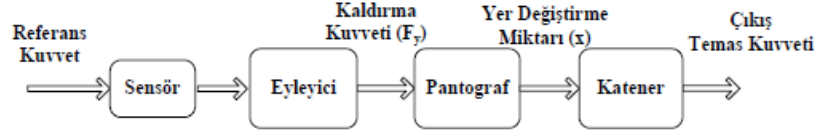
Bu çalışmada kullanılan PAK sistemi aşağıdaki tabloda verilen değerler kullanılarak modellenmiştir (Walters, “Simulation of Fuzzy Control Applied to a Railway Pantograph-Catenary System,” Part II, s: 322-330, 2010).

Çizelge 6.2.PAK sistemi değerleri

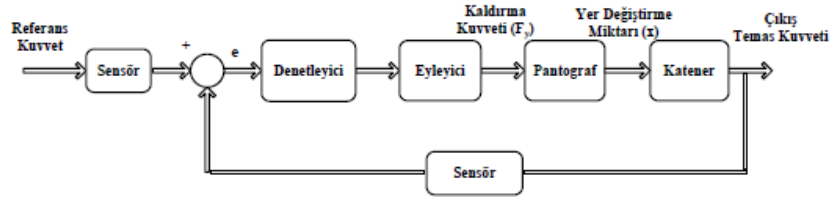
Yay sabiti		Kütle		Sürtünme Katsayısı	
k_{kat}	1535000 N/m	m_t	9.1 kg	c_t	130 Ns/m
k_{pan}	82300 N/m	$m_{\dot{c}}$	17.2 kg	$c_{\dot{c}}$	30 Ns/m
k_t	7000 N/m				

Çizelge 6.2’de verilen değerler kullanılarak elde edilen transfer fonksiyonu kullanılarak pantograf modeli oluşturulmuştur. Denetleyiciler, elektrikli raylı sistemlerde oluşan

belirsizlikleri ve bozulmaları belirleyip minimize etmek için tasarlanırlar. Temas kuvvetinin pasif kontrolüne yönelik şematik bir blok diyagramı Şekil 6.15’de verilmiştir. Aktif kontrolüne yönelik şematik bir blok diyagram ise Şekil 6.16’da gösterilmiştir.



Şekil 6.15. Pasif bir PAK sistemi için blok diyagramı

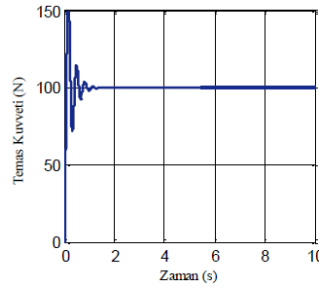


Şekil 6.16. Aktif bir PAK sistemi için blok diyagramı

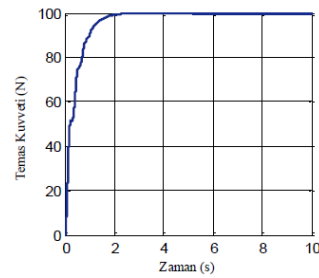
Bu çalışmada, kontrolü sağlamak için bir PI denetleyici kullanılmıştır. PID denetleyicilerin, oransal kazancı K_p , integral kazancı K_i ve türevsel kazancı K_d 'dir. Bu çalışmada, K_p ve K_i değerleri deneme yanılma yoluyla belirlenmiştir. K_d değeri ise sıfır alınmıştır. Eyleyici, simülasyonda bir kazanç bloğuyla modellenmiştir. Pantograf için, (6.23) denkleminde verilen transfer fonksiyonu kullanılmıştır. Katener ise sabit bir yay sabiti değeri alınarak model tamamlanmıştır.

Şekil 6.15’deki blok diyagramında görüldüğü gibi pasif kontrol sistemi, sadece referans kuvvet değerine bağlı olarak değişmektedir ve giriş değeri çıkıştan tamamen bağımsızdır. Böyle bir sistem herhangi bir karşılaştırma işlemi yapmadığı için, kontrol edilebilir bir özelliği yoktur. Pasif sistem, sistemin kendi içinde oluşabilecek arızalardan, parametre değişimlerinden ya da harici bozulmalardan tamamen habersiz bir şekilde çalışmaktadır. Aktif kontrol sistemi ise sistemde oluşan değişimleri algılayarak, gerekli kontrolü sağlayıp çıkışı istenen değere getirmektedir (W. Shudong, G. Jingbo, G. Guosheng, “Research of the Active Control for High-Speed Train Pantograph,” Cybernetics and Intelligent Systems, 2008 IEEE Conference on, s: 749 – 753, 2008).

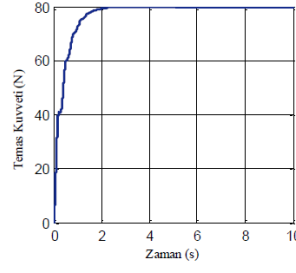
Pasif kontrol sistemi için elde edilen simülasyon sonucu Şekil 6.17’de gösterilmiştir. Aktif kontrol sistemi için farklı referans kuvvet değerlerine bağlı olarak elde edilen temas kuvveti değişimleri Şekil 6.18, 6.19 ve 6.20’de gösterilmiştir. Şekil 6.21’de, belirli bir süre içerisinde referans kuvvetin değişmesi durumunda sistemin buna verdiği cevap gösterilmiştir. Dört saniye aralıklarla sistemin referans kuvveti değeri 40, 50, 60, 45 ve 70 N olarak değiştirilerek simülasyon sonucu elde edilmiştir. Bu sonuçlardan görüleceği üzere PI denetleyici kullanılarak katener hattındaki esneklik değişimlerine karşılık pantografin uyguladığı temas kuvveti değişmektedir. Böylece katener hattının sarkması durumunda pantograf daha az kuvvet uygulamakta, hattın gerilmesi durumunda ise pantograf hatta yaklaşmak için daha fazla kuvvet uygulamaktadır. Böylece pasif kontrole göre arkların ve hızlı aşınmaların oluşması önlenmektedir.



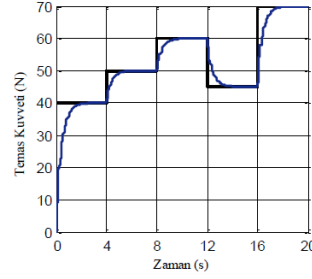
Şekil 6.17. Pasif kontrol sisteminde, 100 N referans kuvveti değeri için temas kuvveti değişimi



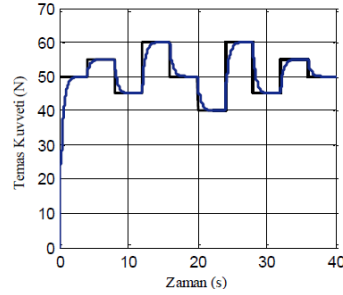
Şekil 6.18. Aktif kontrol sisteminde, 100 N referans kuvveti değeri için temas kuvveti değişimi



Şekil 6.19. Aktif kontrol sisteminde, 80 N referans kuvveti değeri için temas kuvveti değişimi



Şekil 6.20. Aktif kontrol sisteminde, farklı referans değerleri için temas kuvveti değişimi



Şekil 6.21. Aktif kontrol sisteminde, 10 farklı referans değerleri için temas kuvveti değişimi

Şekil 6.21 hareket halinde olan bir trenin katener hattında farklı gerilmelere maruz kaldığı durumdaki pantografin davranışını göstermektedir. Bu şekillerden görülebileceği gibi her an pantograf katener hattına göre hareket ederek katener hattına olan temas kuvvetini optimum seviyede tutmaya çalışmaktadır.

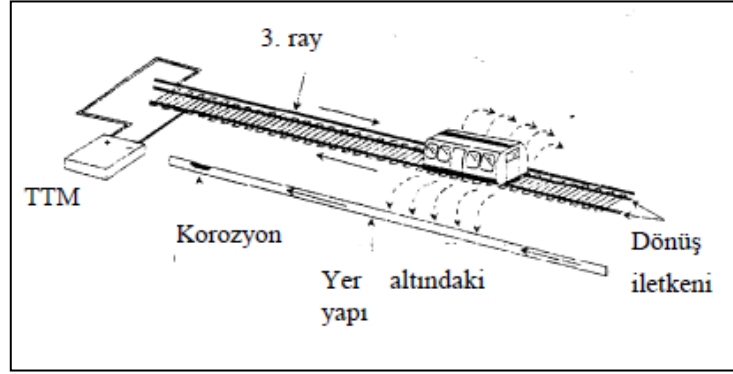
Elektrikli trenlerde bulunan pantograf-katener sisteminde arızaların oluşmasını engellemek ve sistemin sürekli güvenilir çalışmasını sağlamak için pasif kontrol yerine kullanılabilecek aktif kontrol tekniklerinin avantajlarından bahsedilmiş ve her iki teknik

simülasyon sonuçları ile karşılaştırılarak etkinlikleri ortaya konulmuştur. Aktif ve pasif kontrol tekniklerini karşılaştırma üzere verilen simülasyon sonuçlarından görüleceği üzere katener hattının esnekliğindeki değişimlere karşı pantografin dinamik olarak temas kuvvetini ayarlaması belirli kontrol algoritmaları ile mümkündür. Bunun sonucunda ark oluşumları veya pantograf aşınmaları gibi arızalar giderilebilir. Bu algoritmaların özellikle yüksek hızlı trenler için önemi büyük olmakla birlikte burada kullanılması gereken kontrol algoritmaları hem hızlı hem sağlam çalışmalıdır. Bu nedenle sonraki çalışmalarda bu yönde algoritmalar geliştirilecektir.

6.3 Ray Toprak Gerilimi

Raylı taşımacılık güç besleme sistemleri üç kısımdan oluşmaktadır. Bunlar tahrik sistemi trafo merkezleri (TTM), gidiş devresi ve dönüş devresidir (Şekil 6.22). TTM’de AA giriş gerilimi indirilerek doğrultulduktan sonra DA gerilim elde edilmektedir. Araçların artı beslemesi gidiş devresi üzerinden yapılmakta olup gidiş iletkeni olarak katener hattı yada üçüncü Ray kullanılmaktadır. Ray, ray bağlantı kabloları ve dönüş kablosu da dönüş iletkeni olarak kullanılmaktadır. Araç hareket halinde iken belirli bir akım çekmektedir. Raylı ulaşım sistemlerinde ray-toprak arası sonlu direnç akımın bir kısmının dönüş yolu yerine toprak veya toprağa gömülü metalik yapı üzerinden akmasını sağlayacaktır. Ray-toprak yolu üzerinden akan bu akıma sızıntı akımı veya kaçak akım (Stray Current) denilmektedir. Bu akım sebebiyle dokunma gerilimi ve ray potansiyeli olarak bilinen bir gerilim yükselmesi oluşur (Kiessling, F., Puschmann R., Schmieder, A. and E. Schneider, A. “Contact Lines for Electric Railways: Planning, Design, Implementation, Maintenance”, Publicis Corporate Publishing, 2009). Herhangi bir arıza durumunda kaçak akım ve dokunma gerilimi değerleri yüksek değerlere çıkmaktadır. Sızıntı akımı ve bu akım dolayısıyla oluşan dokunma geriliminin meydana getirdiği problemleri gidermek kolay değildir. Örneğin ray–toprak arası izolasyonun büyük olması dokunma geriliminin büyük, kaçak akımın ise küçük olmasına neden olur. 35 yıllık bir ömür için tasarlanan rayların kaçak akımların etkisi ve rayda oluşan çatlaklar nedeniyle yedi yıl içerisinde değiştirilmesi gerektiği görülmüştür (Yan, W., Hao, Z.J. and Zheng, T.Q., “Optimizing Active Control Scheme of High-speed Pantograph,” Power Electronics and Motion Control Conference, IPEMC). Bu çalışmada topraklama sistemlerinin kaçak akım ve dokunma gerilimi üzerindeki etkileri analitik ve nümerik olarak incelenmiştir. Bir elektrikli ray taşıma sistemi için temel

tahrik besleme sistemi oldukça basittir. Tipik olarak alt istasyonlar 650VDA veya 1000VDA gerilim seviyesinde olup trenin büyüklüğüne ve araç sayısına bağlı olarak 1000 A'den 8000A'e kadar akım verebilmektedir. TTM trene giden tahrik enerjisini düşüren güç beslemeleri arasındaki büyük gerilim düşmelerini önlemek için 2km arayla dizayn edilirler. Bir güç beslemesi negatif dönüş yolu gerektirdiğinden iki taşıyıcı ray akımın geriye dönüşü için kullanılır.



Şekil 6.22. Raylı taşıma güç besleme sistemi

Taşıyıcı ray üzerindeki gerilim düşümünün azaltılmasının yolu taşıyıcı dönüş ray direncinin düşürülmesidir. Dönüş ray devresi direncinin düşürülmesinde kullanılan üç tedbir vardır (Walters, “Simulation of Fuzzy Control Applied to a Railway Pantograph-Catenary System,” Part II, s: 322-330, 2010).

Bunlar:

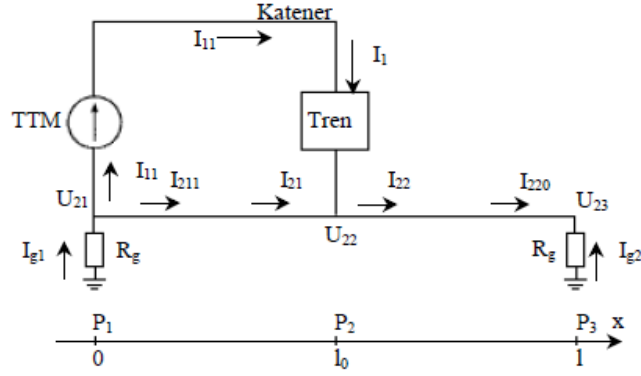
1. Ray boyutunun veya kesitinin artırılması,
2. Uygun raydan raya bağlantıların sağlanması,
3. Tahrik besleme istasyonları arasındaki mesafenin kısa tutulması.

Şeklinde sıralanabilir. Bugün taşıma sistemlerinde rayın bir metresi 40-55kg gelmekte ve bu ağırlıktaki rayın kesiti akım için yeterli bir dönüş direncini sağlamaktadır. Ayrıca ray kesitini istediğimiz kadar arttırmakta elimizde değildir. İkinci önemli tedbir, taşıyıcı ray direncinin negatif akım dönüşü için sürekli bir elektriksel yol oluşturacak kadar düşürülmesidir. Bu yeni inşa edilen taşıma hatlarında standart uygulama olan sürekli kaynaklı raylar kullanılarak yada hattın ayrı seksiyonları arasında kaynaklı kablo bağları kullanılarak oluşturulabilir. Son metot kesik ray uzunluklarına sahip eski sistemler

üzerinde ve makas bölgeleri, dönüş alanları gibi özel ray hattı bölgelerinde faydalıdır. Ek olarak iki taşıyıcı rayın her 150-300m’de bir çapraz bağlanması kaynaklı ve kablo bağlantılı taşıyıcı rayların direncini daha da düşürür. Negatif dönüş devresinin direncinin düşürülmesi için üçüncü tedbir tahrik besleme istasyonları arasındaki mesafeyi düşürmektir. Bu pozitif besleme ve negatif dönüş devresi uzunluğunu düşürür. Böylece gerilim düşümü azalır. Kaçak akım yolu kısalarak genliği düşürülür. Bugün yeni taşıma sistemleri tahrik besleme transformatörleri 1,5-3km aralıklar ile yerleştirilmektedirler. Tahrik besleme trafolarının sıklığı kaçak akımı azaltmanın yanında ek faydalar sağlar. Bu durumda besleme noktaları yolcu istasyonlarına da yakın olacaktır. Trenin perondan harekete başladığı zaman maksimum akımı çekecektir. Tren ile besleme noktası arası mesafe kısa olacağından gerilim düşümü fazla olmayacaktır (Kiessling, F., Puschmann R., Schmieder, A. and E. Schneider, A. “Contact Lines for Electric Railways: Planning, Design, Implementation, Maintenance”, Publicis Corporate Publishing, 2009). Kaçak akımın büyüklüğü rayların topraklanıp topraklanmaması ile de doğrudan ilgilidir. Raylar doğrudan topraklanacağı gibi bir diyot üzerinden de topraklanabilirler. Topraklama sızıntı akımını artırırken ray-toprak ve dolayısıyla dokunma gerilimini düşürecek yönde etki yapacaktır. Topraklanmış sistemlerde doğrultucu ünitenin negatif barası direkt olarak topraklama barasına bağlanmıştır. Taşıyıcı raylar üzerinde de yalıtım yoktur. Bu şekilde bir sistemde sızıntı akımı hiçbir kısıtlama olmaksızın negatif bara ile yer altındaki metalik yüzeyler arasında akar. Topraksız sistemlerde toprak ile negatif bara arasında metalik bir bağlantı yoktur. Teoride ray kısa devrelerinin oluşmasına izin verilmediği müddetçe kaçak akımlar düşük olmalıdır. Topraksız sistemlerin dezavantajı platform ile toprak arasında insan hayatı içinde tehlike oluşturabilecek gerilim farkının oluşmasıdır. Diyot topraklı sistemler, topraklanmış sistemlerdeki korozyon etkisini, topraklanmamış sistemlerde de ray gerilimi problemini azaltmak için kullanılmaktadır. Diyot topraklı sistemlerde diyot doğrultucunun negatif barası ile trafo merkezinin topraklama barasına bağlanmıştır. Diyot devresi ray-toprak arası gerilim belirli bir gerilim seviyesine ulaşıldığı zaman topraktan negatif baraya doğru akım akmasına izin verir. Diyot topraklı sistemlerde ray-toprak arası direncin yüksek olması için gerekli tedbirler de alınmaktadır. Ray toprak arası bulunan diyot gerilim seviyesi aşıldığı zaman dönüş rayları topraklanmış olur(Bandi, P., “High-speed rail pantograph control system design,” Project Report, 2009).

6.3.1 Sistemin analitik olarak incelenmesi

Şekil 6.23'te tek taraftan beslenen bir tahrik sistemi görülmektedir. Ray her iki taraftan da R_g direnci ile topraklanmıştır ve tren TTM den I_1 akımını çekmektedir.



Şekil 6.23.Hattın tek taraftan beslenmesi

burada;

P1: TTM nin bulunduğu nokta

P2: trenin bulunduğu nokta (m)

P3: hat sonu (m)

U21: hat başındaki ray gerilimi (V)

U22: trenin bulunduğu noktadaki ray gerilimi (V)

U23: hat sonundaki ray gerilimi

P1-P2 bölgesi için konuma bağlı akım ve gerilim (6.25)

ve (6.26) ile P2-P3 bölgesi için ise (6.27) ve (6.28)'den hesaplanabilir[28,31].

$$i(x) = c_1 e^{\alpha x} + c_2 e^{-\alpha x}$$

(6.25)

$$v(x) = R_0 (c_1 e^{\alpha x} - c_2 e^{-\alpha x}) \quad (6.26)$$

$$i(x) = c_3 e^{ux} + c_4 e^{-ux} \quad (6.27)$$

$$v(x) = R_0 (c_3 e^{ux} - c_4 e^{-ux}) \quad (6.28)$$

Burada;

$\gamma = \sqrt{RG}$ propogasyon sabiti (m^{-1})

$R_0 = \sqrt{R/G}$ Ray iletkeninin karakteristik direnci (Ω)

R = Ray direnci (Ωm^{-1})

G = Ray toprak arası kaçak iletkenlik ($S m^{-1}$)

Burada c_1, c_2, c_3 , ve c_4 sabitleri özel sınır koşullarına göre belirlenmektedir.

P1 noktası için sırasıyla (6.25) ve (6.26) denklemleri,

$$I_{211} = c_1 + c_2 \quad (6.29)$$

$$U_{21} = -R_0 (c_1 + c_2) \quad (6.30)$$

P1 noktası için akım denklemi,

$$I_{11} + I_{211} = I_{g1} \quad (6.31)$$

olarak bulunur. P1 noktasının gerilimi

$$U_{21} = I_{g1} \cdot R_g \quad (6.32)$$

olarak yazılır. (6.29), (6.30) ve (6.31) denklemlerinden;

$$(1 - k_g)c_1 + (1 + k_g)c_2 = I_{11} \quad (6.33)$$

olarak elde edilir. Burada $k_g = R_0/R_g$ ’dir.

P3 noktası için sırasıyla (6.27) ve (6.28) denklemleri yazılırsa

$$I_{220} = c_3 e^{ul} + c_4 e^{-ul} \quad (6.34)$$

$$U_{23} = -R_0(c_3 e^{\eta l} - c_4 e^{-\eta l}) \quad (6.35)$$

P3 noktası için sırasıyla akım ve gerilim denklemi yazılırsa

$$0 = I_{220} + I_{g2} \quad (6.36)$$

$$U_{23} = -R_g \cdot I_{g2} \quad (6.37)$$

(6.34), (6.35), (6.36) ve (6.37) denklemleri kullanılarak

$$0 = (1 + k_g) e^{\eta l} c_3 + (1 - k_g) c_4 e^{-\eta l} \quad (6.38)$$

elde edilir.

P2 noktasındaki akım denklemi

$$I_1 + I_{21} = I_{22} \quad (6.39)$$

olarak yazılır.

P2 noktası için (6.25) ve (6.27) denklemi sırasıyla

$$I_{22} = c_3 e^{\eta l_0} + c_4 e^{-\eta l_0} \quad (6.40)$$

$$I_{21} = c_1 e^{\eta l_0} + c_2 e^{-\eta l_0} \quad (6.41)$$

olarak yazılır. (6.39), (6.40) ve (6.41) denklemlerinden

$$-I_1 = e^{\eta l_0} (c_1 - c_3) + e^{-\eta l_0} (c_2 - c_4) \quad (6.42)$$

olarak bulunur.

P2 noktasının gerilimi (6.26) ve (6.28) denklemleri için aynı

olacağından eşitlik

$$e^{u l_0}(c_1 - c_3) = e^{-u l_0}(c_2 - c_4) \quad (6.43)$$

olarak yazılabilir.

(6.42) ve (6.43) denkleminde;

$$c_3 = c_1 + I_1 e^{-u l_0} / 2 \quad (6.44)$$

$$c_4 = c_2 + I_1 e^{-u l_0} / 2 \quad (6.45)$$

olarak bulunur.

(6.44) ve (6.45), (6.46) denkleminde yerine yazılırsa;

$$-\frac{k_p I_1}{2} = (1 + k_g) e^{u l} c_1 + (1 - k_g) c_2 e^{-u l} \quad (6.46)$$

(6.33) ve (6.46) denklemlerinden;

$$c_1 = \Delta^{-1} [-(1 - k_g) e^{-u l} I_{11} + (1 + k_g) k_p I_1 / 2] \quad (6.47)$$

$$c_2 = \Delta^{-1} [(1 + k_g) e^{u l} I_{11} - (1 - k_g) k_p I_1 / 2] \quad (6.48)$$

olarak hesaplanır. Burada;

$$\Delta = (1 - k_g)(1 - k_g) e^{-u l} - (1 + k_g)(1 + k_g) e^{u l} \quad (6.49)$$

$$k_p = (1 + k_g) e^{u l p} + (1 - k_g) e^{-u l p} \quad (6.50)$$

$$I_p = I - I_0 \cdot I_{11} = I_1 \text{ 'dir.} \quad (6.51)$$

6.3.2 Sistemin nümerik olarak incelenmesi:

Sistemin nümerik olarak modellenmesi için raylar kaskad bağlı elemanlar şeklinde gösterilir. (Şekil 6.24)



r: Ray direnci (ohm/m)

g: Ray toprak arası kaçak iletkenlik (S/m)

Rg: Topraklama direnci (ohm)

L: Hattın uzunluğu (m)

n: Nokta sayısı

$$\Delta x = L/(n-1) \text{ birim uzunluk (m)}$$

R: Birim uzunluğa karşılık gelen ray direnci (ohm)

G: Birim uzunluğa karşılık gelen ray toprak arası kaçak iletkenlik (S)

G: Birim uzunluğa karşılık gelen ray toprak arası kaçak iletkenlik (S)

Buna göre akım denklemleri yazılırsa;

1.nokta için akım denklemi;

1.nokta için akım denklemi;

$$-I_t = -(U_2 - U_1) \frac{1}{R} + U_1 \frac{1}{R_g} = U_1 \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R_g} \right) - U_2 \frac{1}{R} \quad (6.52)$$

olarak yazılır. 2. nokta için akım denklemi ise;

$$(U_2 - U_1) \frac{1}{R} - (U_3 - U_2) \frac{1}{R} + U_2 G = U_2 \left(\frac{2}{R} + G \right) - U_1 \frac{1}{R} - U_3 \frac{1}{R} \quad (6.53)$$

Aracın bulunduğu m noktası için akım denklemi ;

$$\begin{aligned} I_t &= -(U_{m+1} - U_m) \frac{1}{R} + (U_m - U_{m-1}) \frac{1}{R} + U_m G \\ &= U_m \left(\frac{2}{R} + G \right) - U_{m-1} \frac{1}{R} - U_{m+1} \frac{1}{R} \end{aligned} \quad (6.54)$$

olarak yazılır. Hat sonundaki n noktası için akım denklemi ;

$$0 = (U_n - U_{n-1}) \frac{1}{R} + U_n \frac{1}{R_g} + U_n G = U_n \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R_g} + G \right) - U_{n-1} \frac{1}{R} \quad (6.55)$$

olarak yazılır. Akım ve gerilim arasındaki bağıntı;

$$[I] = [Y][U] \quad (6.56)$$

olduğundan ray üzerindeki gerilim dağılımı;

$$[U] = [Y]^{-1}[I] \quad (6.57)$$

denklemleriyle bulunabilir. Her bir düğüm noktası için oluşturulan denklemlerden admitans matrisi;

$$Y = \begin{vmatrix} \frac{1}{R} + \frac{1}{R_g} & -\frac{1}{R} & & & & \\ -\frac{1}{R} & \frac{2}{R} + G & -\frac{1}{R} & & & \\ & -\frac{1}{R} & \frac{2}{R} + G & -\frac{1}{R} & & \\ & & \cdot & \cdot & \cdot & \\ & & & \cdot & \cdot & \\ & & & -\frac{1}{R} & \frac{2}{R} + G & -\frac{1}{R} \\ & & & & -\frac{1}{R} & \frac{1}{R} + \frac{1}{R_g} + G \end{vmatrix}_{(n \times n)} \quad (6.58)$$

şeklinde yazılır.

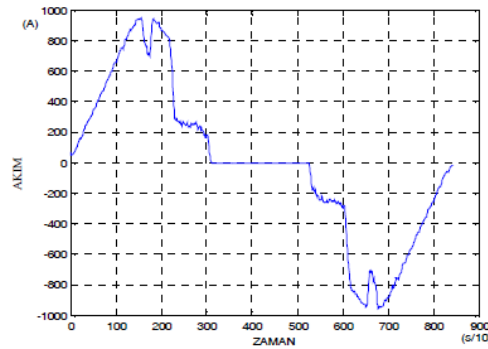
Akım matrisi ise

$$I = \begin{bmatrix} -I_t \\ 0 \\ \cdot \\ \cdot \\ I_t \\ 0 \\ \cdot \\ \cdot \\ 0 \end{bmatrix}_{(1 \times n)} \quad (6.59)$$

olarak yazılır.

6.3.3 Simülasyon sonuçları ve analizi:

18.5km olan bir hatta 8 adet TTM de 34.5kV şebeke gerilimi indirildikten sonra doğrultularak 750VDA elde edilmektedir. Bu güzergâh boyunca bir metro aracının çektiği akım Şekil 6.25'te verilmiştir.

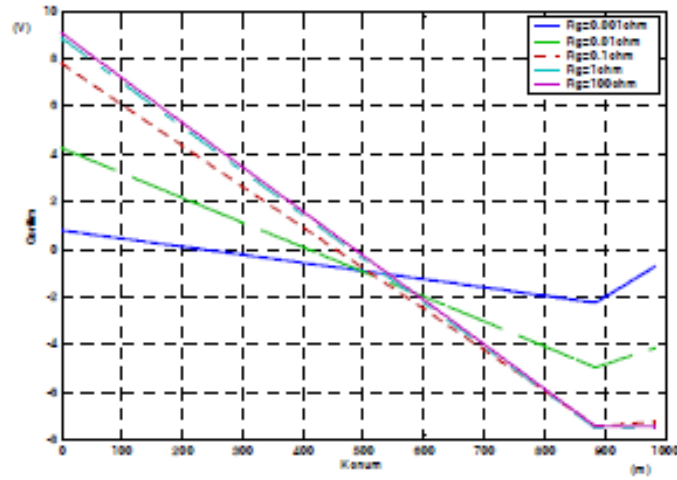


Şekil 6.25.Metro aracının akım zaman grafiği

Akımın pozitif değerleri için araç motor olarak çalışmakta ve hattan akım çekmektedir. Akımın negatif değerlerinde ise araç jeneratör olarak çalışmakta ve hatta akım basmaktadır. Bu durum ancak aracın beslendiği enerji bölgesinde başka bir aracın bu enerjiyi kullanabilmesi durumunda olabilir. Eğer herhangi bir alıcı yoksa hat gerilimi yükseleceğinden bu enerji fren dirençlerinde harcanacaktır. Akımın pozitif değerleri tip testlerinden alınmıştır. Tip testleri sırasında hatta başka alıcı olmadığından araç hatta akım basamamaktadır. Fakat teorik olarak aracın çektiği enerjiyi aynen hatta geri

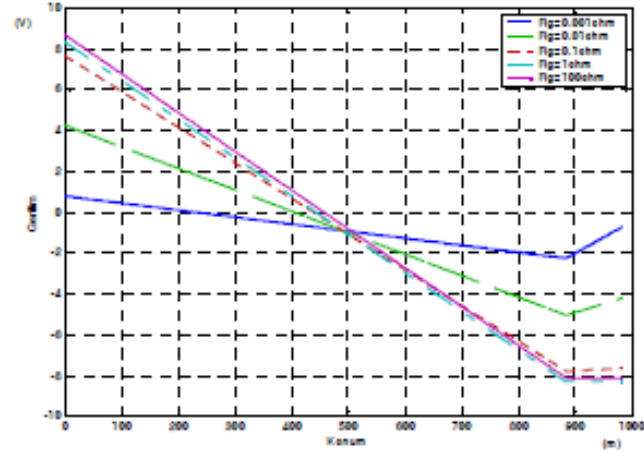
verdiği düşünülerek motor ve jeneratör çalışmada akımın mutlak değer olarak birbirine eşit olduğu düşünülmüştür.

Araç 981 m olan araç iki istasyon arasını yaklaşık 84s’de gitmektedir. Ray direnci 0.02S/km olarak alınmıştır. Ray üzerindeki gerilim dağılımı motor ve jeneratör çalışma için ayrı incelenmiştir. Şekil 6.26’da ray-toprak arası direncin 10S/km olması halinde değişik topraklama direnci değerleri için aracın jeneratör olarak çalışması durumunda ray üzerindeki gerilim dağılımı gösterilmiştir.



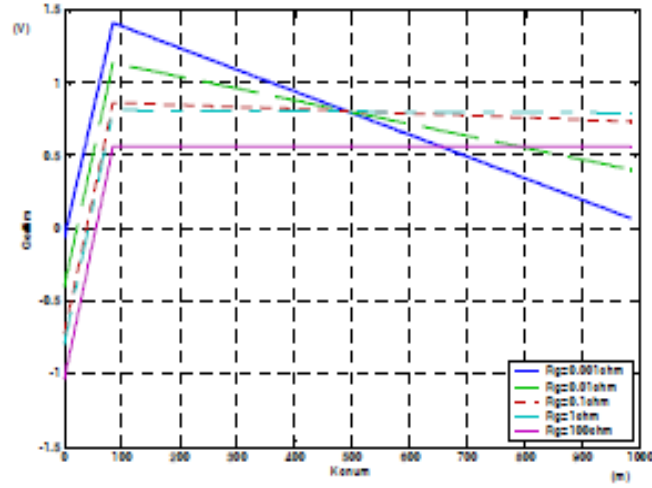
Şekil 6.26.G=10 S/Km iken değişik topraklama direnci değerlerinde frenleme durumunda ray gerilimi dağılımı

Topraklama direncinin çok küçük olduğu durumda ray üzerindeki gerilim bir 1V-2V lar mertebesinde. Topraklama direncinin 100 Ω olması durumunda gerilim 9V’lar seviyesine çıkmaktadır. Şekil 6.29’da ray-toprak arası kaçak iletkenliğin 0.01S/km iken jeneratör olarak çalışmada ray üzerindeki gerilim dağılımı görülmektedir.



Şekil 6.27. $G=0.01$ S/Km iken değişik topraklama direnci değerlerinde frenleme durumunda ray gerilimi dağılımı

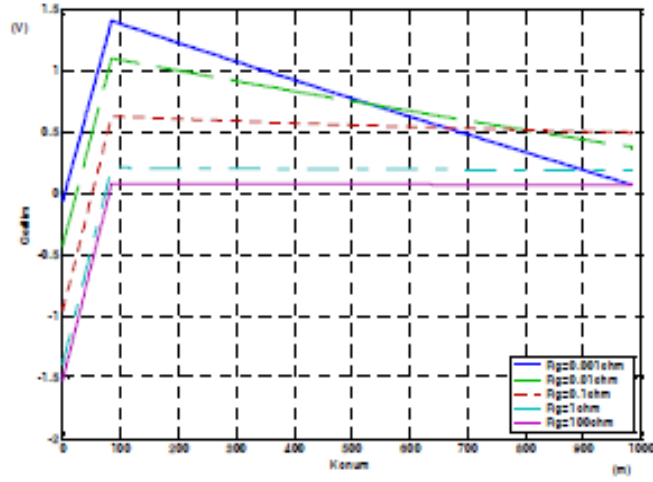
Şekil 6.26 ve Şekil 6.27'ye bakıldığı zaman $G=10$ S/km ve $G= 0.01$ S/km için ray gerilim dağılımının da fazla bir fark olmadığı görülmektedir. Şekil 6.28'de ray-toprak arası kaçak iletkenliğin 0.01 S/km iken motor olarak çalışmada ray üzerindeki gerilim dağılımı görülmektedir.



Şekil 6.28. $G=0.01$ S/Km iken değişik topraklama direnci değerlerinde motor durumunda ray gerilimi dağılımı

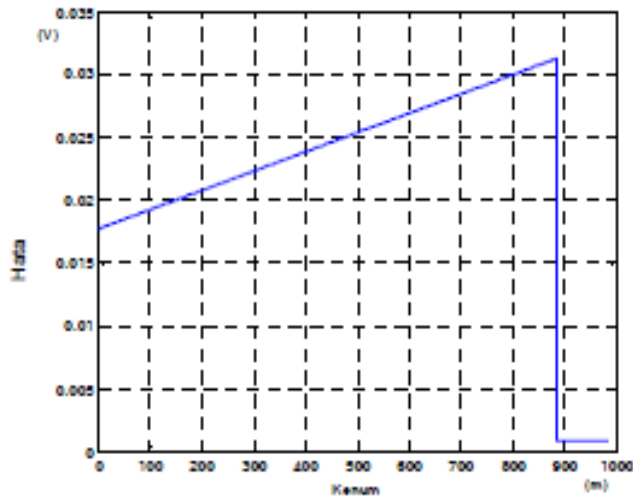
Motor ve jeneratör çalışmada hattan aynı akım geçmesine rağmen motor olarak çalışmada daha düşük gerilim değerleri elde edilmektedir. Bunun sebebi aracın TTM'ye daha yakın olması ve gerilim düşümünün daha az olmasından dolayıdır. Şekil 6.29'de

ray-toprak arası kaçak iletkenliğin 10 S/km iken motor olarak çalışmada ray üzerindeki gerilim dağılımı görülmektedir.



Şekil 6.29. $G=10\text{S/Km}$ iken değişik topraklama direnci değerlerinde motor durumunda ray gerilimi dağılımı

Ray-toprak arası kaçak iletkenliğin 10S/km ve 0.01S/km değerleri için motor çalışmada da gerilim dağılımında fazla bir fark olmadığı görülmektedir. Şekil 6.30'da ray üzerindeki gerilimin analitik olarak hesaplanan gerçek sonuçla nümerik yöntemle hesaplanan sonuç arasındaki fark görülmektedir.



Şekil 6.30. $G=0.01\text{ S/Km}$ Ve $R_g=1$ iken frenleme durumunda analitik ve nümerik olarak hesaplanan değerler arasındaki fark

Nümerik yöntemle bulunan çözümün doğruluğu alınan nokta sayısına bağlıdır. Şekilde de görüldüğü gibi sonuçlar arasındaki fark dikkate alınacak derecede değildir.

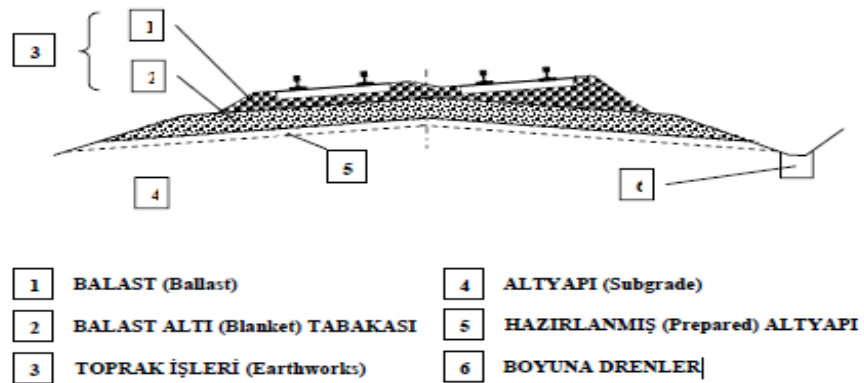
6.3.4 Sonuç

Elektrikli raylı ulaşım sistemlerinde ray üzerindeki gerilim dağılımı topraklama sistemine göre değişmektedir. Topraklanmış sistemlerde gerilim dağılımı büyük değildir. Yalıtılmış sistemlerde ray üzerindeki gerilim dağılımı daha büyüktür. Aynı akım değerlerinde TTM'den uzaklaştıkça daha yüksek gerilimler oluşmaktadır. Bir besleme bölgesinde birden fazla araç olabileceği düşünülürse TTM'den daha fazla akım çekileceğinden gerilim değerleri daha yüksek seviyelere gelecektir ve insan hayatı için tehlike oluşturabilecektir. Bu nedenle sistem dizayn edilirken istasyonların TTM'lere yakın olmasında fayda olacaktır.

Bu çalışmada analitik ve nümerik sonuçlar arasında önemli bir fark bulunmadığı gösterilmiştir. Ray toprak geriliminin topraklama direnci ile değiştiği belirlenmiştir.

6.4 Yüksek Hızlı Demiryollarında Altyapının Önemi ve Tasarım İlkeleri

Klasik bir demiryolu hattı, rayların ve traverslerin oluşturdukları “yol çerçevesi” ile, bu çerçevenin altına döşenmiş balast, balast altı adı verilen kırma taş tabakaları ve bunların altındaki “altyapı” adı verilen değişik zemin tabakaları ya da köprü, viyadük, tünel vb. sanat yapılarından oluşur(Şekil 6.31). Yol çerçevesi ve balast tabakalarına da “üstyapı” adı verilmektedir.



Şekil 6.31. Klasik demiryolu yapısının en kesiti

350 Km/Saat'e kadar yüksek hızlı trafik için eğriliği fazla olmayan düz geçkilere gereksinim duyulur. Bu da problemli bölgelerdeki işlerin artmasına yol açar. Bu tür yolların planlanmasında, başlangıçta yalnızca 200 – 250 Km/saat hız ile ilgili deneyimlerin ekstrapolasyonu yeterli olmuştur. Ancak yüksek hızlı trafikte tamamıyla yeni problemler ortaya çıkmıştır. 250 Km/saat altındaki hızların yapıldığı yollardaki dinamik ölçümlerde saptanmış olmasına rağmen, dolgulardaki dinamik performansın değişimiyle ilgili belirtiler ciddiye alınmamıştır.

Hollandalı demiryolcuların yumuşak zeminler üzerindeki demiryolu yapısının davranışı konusundaki bulguları hala geçerlidir. Yük trenlerinde 217 Km/saat (60 m/s) ve yolcu trenlerinde 270 Km/saat (75 m/s) üzerindeki kritik hızlar, statik yüklerinkine göre daha büyük çökmelere neden olan rezonans belirtilerini ortaya çıkarmıştır. Bu yüzden yetersiz dinamik projeler, yol yatağında çok büyük şekil değiştirmelere neden olmuştur. Dingil yükleri ile oluşan şekil değiştirmeler kuvvetli dinamik artışlara neden olmuştur. Komşu bölgelerde de kabul edilemeyecek titreşim değerleri saptanmıştır. Yeni teorik araştırmalar, altyapıda kritik tren hızları yüzünden yol yatağında ve dolgularda kuvvetli titreşimler oluştuğunu göstermiştir. Dolayısıyla kritik tren hızlarının bilinmesinin önemi büyüktür. Aşağıda bu konu (Woldringh, New B.M. (1999), Embankment Design For High Speed Trains On Soft Soils, Geotechnical Engineering For Transportation Infrastructure, BarendsEt Al. (eds) Balkema, Rotterdam, ISBN 90 5809 047 7) ve (Hendry, Hughes, Barbour, Atkinson. (1996), 'Measurement and modelling the train induced dynamic response of a railway track and embankment constructed over a soft peat foundation', Departments of Civil Engineering in University of Saskatchewan, Canada, Queen's University Belfast, Ireland, UK, and Northern Ireland Railways, Belfast, Northern Ireland, UK) no'lu kaynaklardan yararlanılarak kısaca özetlenecektir.

Yüksek hızlı trenin hızı, alttaki yumuşak zemin, yol yatağı / dolgu ve hareketli yükten oluşan dinamik sistemin karakteristik dalga hızına erişebilir ya da aşabilir. Tren hızı bir "kritik hız" a eriştiğinde büyük şekil değiştirmeler oluşabilir. Bu hareketler tren ve yapının bütünlüğü için tehlikeli olabilir, yol bakım maliyetlerini yükseltir. Bu nedenle yoldaki şekil değiştirmeleri kabul edilebilir düzeylerde sınırlayacak dinamik bir rijitlik sağlayacak dolguların tasarımının yaşamsal önemi vardır. Bu problem bazen "ondülasyon", "yaylı dalga" ya da "kritik hız" etkisi olarak tanımlanır ve yen bir yüksek

hızlı demiryolu tasarlandığında ya da mevcut demiryolunu yüksek işletme hızları için iyileştirme amacıyla geoteknik ölçütler belirlenirken önemlidir.

(V_{cr}) Kritik hız, Kenney (1954) tarafından şöyle formüle edilmiştir:

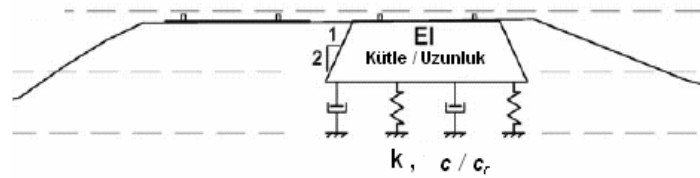
$$V_{cr} = \sqrt[4]{\frac{4kEI}{p^2}} \quad (6.60)$$

k = kirişin birim uzunluğunun yay sabiti,

E = kirişin elastiklik modülü,

I = kirişin atalet momenti

ρ = kirişin birim uzunluğunun kütlesi.



Şekil 6.32.Balast tabakasını içeren kiriş elemanı, visko-elastik temel olarak modellenen kötü kaliteli dolgu ve altyapı

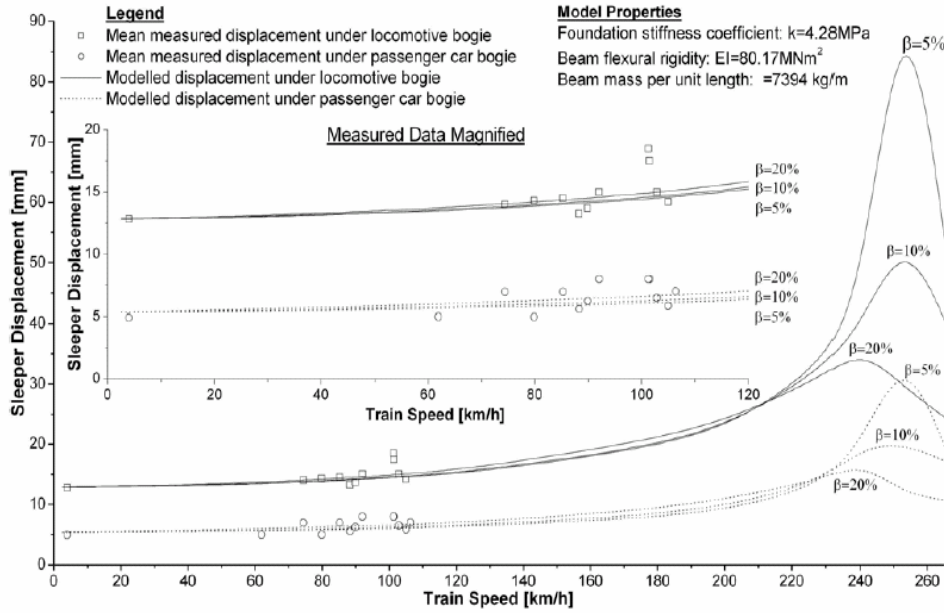
(θ) Hız oranı tren hızının kritik hıza oranıdır. Benzer şekilde Kenny (1957) aynı zamanda (c_{cr}) kritik sönümlemeyi ve (β) sönümleme oranını da tanımlamıştır.

$$\theta = \frac{V}{V_{cr}} c_{cr} = 2\sqrt{kp} \quad \beta = \frac{c}{c_r} \quad (6.61)$$

Bu kavramsal model kullanılarak hesaplanan özellikler: $EI = 80.17 \text{ MNm}^2$, $\rho = 7394 \text{ kg/m}$

(Traversleri, yolu ve balast), verilerden alınan eğilme (Çökme) değerlerinin korelasyonundan temel rijitliği (Yatak katsayısı) için $k = 4.28 \text{ Mp'a}$ elde edilebilir. Şekil 6.33'te, modelden $\beta = 5 \%$, 10% ve 20% sönümleme oranları için elde edilen sonuçlar gösterilmiştir. Bu model için dikkate değer konu, $254,8 \text{ Km/saat}$ olarak hesaplanan kritik hız, gözlenen ve NIR trenlerinde uygulanabilecek tüm hızlardan çok

büyük olmasıdır. Model aynı zamanda, sönümleme oranının NIR işletme hızlarında modellenen eğilme değerleri üzerinde küçük bir etkisi olduğunu göstermektedir.



Şekil 6.33.Tren hızına göre travers yer değiştirmesi (çökmesi) sonuçları

Çökmeler, statik ve dinamik olmak üzere 2 bileşenden oluşmaktadır. Statik bileşen, duran bir tren altındaki altyapı çökmesi olup, kesinlikle uygulanan yükten, kiriş elemanın eğilme rijitliğinden ve visko-elastik temelin rijitlik (Yatak) katsayısından etkilenmektedir. Dinamik bileşen ise, statik çökmedeki sabit hızla seyreden tren nedeniyle oluşan artıştır. Bu artış, kiriş elemanının oluşturulan modelde ρA terimi ile ifade edilen ataleti (Eylemsizliği) ile tahrik edilir ve sisteme uygulanan sönümleme miktarı ile sınırlanır. Kiriş elemanının eğilme rijitliği ve visko-elastik temel için rijitlik (Yatak) katsayısı, bu dinamik kuvvetlerin sonucu olan dinamik eğilmenin (Çökmenin) miktarını belirler. Duyarlılık analizinin tüm durumları için hesaplanan kritik hız yüksektir ($>>145\text{ km/h}$). Çökmelerin dinamik bileşeni, 145 Km/saat hızda çökmenin yaklaşık % 30'una ulaşmaktadır. Çözümler, çökmenin statik bileşenini belirleyen parametrelerin (Rijitlik katsayısı/elastiklik modülü ve dolgunun eğilme rijitliği) kuvvetlendirilmesine odaklanmalıdır.

Çökmelerin ölçümleri ve ilk modelleme, dolgu ve temeldeki mekanizmanın tanınmasını

ve zayıflık kaynaklarını belirlemeyi sağlamıştır. Bu, dolgunun iyileştirilmesi ve çökme miktarının azaltılması için değerlendirilebilir bir çözüm konusundaki ilk adımdır. Modelde kullanılan parametrelerin onaylanması için zemin araştırması da önemli bir adım olacaktır. Dolgu ve/veya taban zemininin iyileştirilmesi ya da sertleştirilmesi ve balast tabanına geotekstil ızgara serilmesi ilk akla gelen önlemlerdir. Yüksek hızlı trafikte önemli projelendirme görevlerinden birisi, yol yatağı-dolgu–altyapı sistemlerinin dinamik davranışlarının analizidir. Amaç, rastlanan titreşimler ve titreşimin altyapıya iletilmesini ve orada yayılmasını minimize etmektir. Bu konuda yol yatağı tabakaları (YYT) ve taban zeminin esneklikleri, geleneksel tanımı ile “yatak katsayısı” çok önemli rol oynar. Aşağıda (Pita, A. L., Teixeira, P.F. and Robuste F., Center for Innovation in Transport (CENIT), Technical University of Catalonia, Barcelona, Spain, High speed and track deterioration: the role of vertical stiffness of the track, Instn Mech. Engrs Vol. 218 Part F: J. Rail and Rapid Transit (2004)) no’lu kaynaktan yararlanılarak, bu konu özetlenmiştir.

Yapılan araştırma sonuçlarına göre, aşağıdaki çelişkili etkilere karşı yol için en uygun

bir düşey rijitlik vardır:

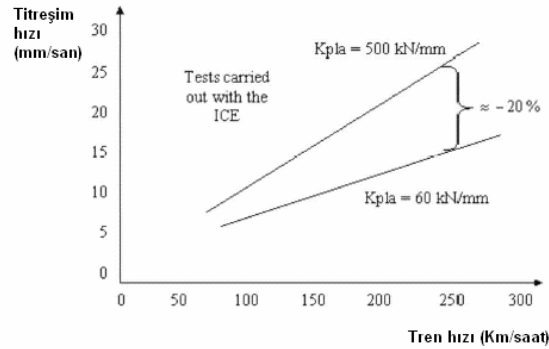
- Yüksek düşey rijitliğe sahip yollarda ray üzerinde daha aşırı dinamik yükler oluşur.
- Aşırı esnek yollarda taşıt tarafından daha fazla enerji yapıya iletilerek boşa harcanır.

Balast çökmesi eşitliğindeki ikinci faktör olan balast tabakası içindeki ivmelenme hemen hemen analiz edilmiştir. Bununla birlikte yol altyapısında ve özellikle balast tabakasında trafik tarafından oluşturulan titreşimlerin düzeyi de önemlidir. Yapılan çalışmalara göre, balast içindeki titreşim hızı, bu malzemenin hızlı kötüleşmesini önlemek için, 15 – 18 mm/san.’yi aşmamalıdır. Ancak, 250 Km/saat seyir hızlarına kadar titreşim hızlarının 30 mm/san civarında olduğu ölçülmüştür. Prud’Homme, TGV hızlı treni tarafından farklı hızlarda balast tabakası içindeki ivmelenmelerin Çizelge 6.4’deki gibi olduğunu belirtmiştir. Amaç, yolun yapısal tasarımındaki iyileştirmelerin balast tabakası içinde oluşan ve özellikle yüksek hızlarda zararlı olan titreşimlerin düzeyinin azaltılması konusunda yardımcı olup olmayacağının ve yolun düşey rijitliğinin etkisinin belirlenmesidir. Bu kapsamda Almanya Demiryolları tarafından

yükleme plakası ile yapılan düşey rijitlikte (Normal yollardaki mesnet levhalarının rijitliğinin beşte birine) azaltma ölçümleri, balast tabakasında taşıtların oluşturduğu titreşim hızlarında fark edilir azalma olduğunu göstermiştir. Şekil 6.34’de görüldüğü gibi, (titreşim hızı / seyir hızı) oranında da küçük bir sapma oluşmaktadır. Kısaca, yolun düşey rijitliğinin azaltılmasının, yol geometrisindeki bozulmanın azaltılmasında önemli bir rol oynayacağını varsaymak mantıklıdır. Taşıtların askıya alınmamış (Süspanse edilmemiş) kütlelerinin yolda oluşturacakları düşey dinamik gerilmelerin sınırlandırılmasına yardımcı olur. Özellikle yüksek elastisiteye sahip mesnet levhaları ile, balast tanelerinin titreşim hızlarının seyir hızına göre azaltılmasına yardımcı olur. Bunun karşıtı olarak, yoldaki düşey rijitliğin daha az olması, yüksek hızlarda daha fazla enerji kaybına ve dolayısıyla daha yüksek işletme maliyetlerine yol açar.

Çizelge 6.3.TGV 001 ile balast tabakası içinde ölçülen ivmeler

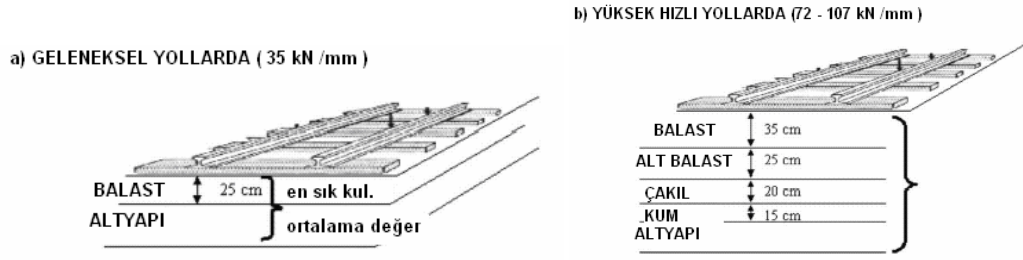
Hız (Km/saat)	Balast tabakası içindeki ivmelenme (g)
140	0,88
300	1,40



Şekil 6.34.Mesnet levhasının elastikliğinin, balastın titreşimine etkisi

Şekil 6.35’de grafik olarak geleneksel bir demiryolu ile yüksek hızlı bir demiryolu hattı, enkesitleri ile birlikte görülmektedir. Yüksek hızlı demiryollarında traverslerin altında çok sayıda malzeme bulunması, balast – platform sisteminin düşey rijitliğinin, geleneksel bir demiryolunun düşey rijitliğinden 2 – 3 kat daha büyük değerlere

ulaşmasına neden olur. Bu şekiller, Fransız yüksek hızlı demiryolu hatlarının tasarım kriterine karşıt gelir.



Şekil 6.35.Balast-altyapı sisteminin düşey rijitliklerinin karakteristik değerleri

Eisenmann and Rump’a göre yolun bu yapısal biçimi, Çizelge 6.5’te görüldüğü gibi, yüksek balast katsayısına yol açar (Yolun düşey rijitliğinin indirekt ölçütü). Bu tablodaki sonuçlar, Almanya yüksek hızlı demiryollarından yerinde yapılan deneysel ölçümlere karşıt gelmektedir. Değerler, yeni Almanya yüksek hızlı demiryollarının geleneksel yollarınıninkinin iki katından fazla balast katsayısına sahip olduğunu göstermektedir. Bu araştırmalara göre, bu gerçek yüksek hızlı demiryolunun geometrik kalitesinin erken bozulması anlamına gelmektedir.

6.4.1 Bir yüksek hızlı demiryolu için en uygun düşey rijitlik değeri

Yolun düşey rijitliği için en uygun bir değer bulunması önerilir. Bu en uygun değer, iki farklı görüş açısına göre tartışılabilir; ilki, fazla esnek bir yolun neden olduğu yüksek enerji maliyetleri, ikincisi yüksek düşey rijitliğe sahip bir yolda geometrik kalitenin korunması için bakım maliyetlerinin artmasıdır. Eğer yolun geometrik kalitesindeki bozulma düzeyi ile, bu bozulmanın oluşturacağı bakım maliyetleri arasındaki direkt ilişkinin varlığı makul geçerli kabul edilebilirse, bakım maliyetlerinin düşey rijitliğin arttıkça artacağı kabul edilebilir (Pita, A. L., Teixeira, P.F. and Robuste F., Center for Innovation in Transport (CENIT), Technical University of Catalonia, Barcelona, Spain, High speed and track deterioration: the role of vertical stiffness of the track, Instn Mech. Engrs Vol. 218 Part F: J. Rail and Rapid Transit (2004)).

Bu evrimi ekonomik terimlerle ölçülendirmek için olası yaklaşımlardan birisi, bir yolun ilgili bakım maliyetlerini bilinen bir düşey rijitlikle ilişkilendirilmesine bağlıdır. Bu yöntemde, bakım maliyetlerinin diğer farklı düşey rijitlik değerleri için ekstrapolasyonu

mümkün olabilir. Bu konuda Paris ve Lyon arasındaki hızlı demiryolu hattından harika referanslar elde edilebilir. Aslında bu hatta yolun düşey rijitliği, Alias ve Prud'Homme tarafından 80kN/mm olarak belirtilmiştir. Yol geometrisi bakım maliyetleri ile ilişkili olarak, SNCF tarafından yayınlanan sonuçlar, yaklaşık ortalama yıllık maliyet, yolun km'si başına 2400 Euro/km'dir. Şu konunun açıklanması önemlidir; bu ekonomik değer sadece, direkt olarak geometrik kalite bozulması ile ilişkili olan, buraj ve yol doğrultulması işlemleri ile ilişkilidir. Ray taşlanması, yol aygıtlarının iyileştirilmesi, yönetim personeli ve malzemelerin temini vb. bu değere katılmamıştır. Yol üzerine dağılarak boşa harcanan enerjinin ekonomik etkisi, şöyle değerlendirilebilir. Sauvage and Fortin tarafından elde edilen sonuçlar esas alınarak, UIC 60 rayının kullanıldığı bir hızlı demiryolu hattında dağılan enerjinin miktarını değerlendirebilmek için, bu yazarlar tarafından yayınlanan sonuçlar Şekil 6.36'da görülmektedir. Bu yolla, 300km/saat sabit hızla seyreden TGV ve AVE trenler için 8,15 ton'luk bir tekerlek tarafından kilometre başına basitleştirilmiş yaklaşık E_i enerji dağılımı değerlendirilebilir (Pita, Teixeira. Robuste. (2004), Center for Innovation in Transport (CENIT), Technical University of Catalonia, Barcelona, Spain, High speed and track deterioration: the role of vertical stiffness of the track, Instn Mech. Engrs Vol. 218 Part F: J. Rail and Rapid Transit). Aşağıda bu konuda bir örnek yapılmıştır:

Çok esnek ($K = 26 \text{ kN/mm}$) bir yol için:

$$E_1 = P_1 \Delta t \quad (6.62)$$

$$= 11,2 \text{ kW} \frac{1 \text{ Km}}{300 \text{ Km/saat}}$$

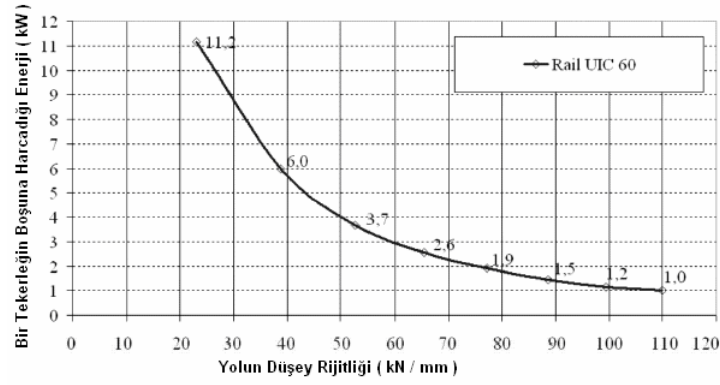
$$= 0,0373 \text{ kWsaat}$$

Çok rijit ($K = 122 \text{ kN/mm}$) bir yol için:

$$E_2 = P_2 \Delta t \quad (6.63)$$

$$= 1,0 \text{ kW} \frac{1 \text{ Km}}{300 \text{ Km/saat}}$$

$$= 0,0033 \text{ kWsaat}$$



Şekil 6.36. Yolun rijitliğinin, 300 Km/Saat hızda, bir tekerlek tarafından boşuna harcanan enerji miktarına yaklaşık etkisi (UIC 60 rayı için)

Trafik 23 AVE treni / gün-yön'ü olan trenlerin kütlesi 421,5 ton olup, senede bu yolda kilometre başına dağılan E_i enerjisi şöyle olacaktır:

Çok esnek ($K = 26 \text{ kN/mm}$) bir yol için:

$$\dot{E}_1 = 0,0373 \text{ kWsaat} \frac{421,5t}{8,15t} \frac{23\text{tren}}{\text{gün}} \frac{365\text{gün}}{\text{yıl}} \quad (6.64)$$

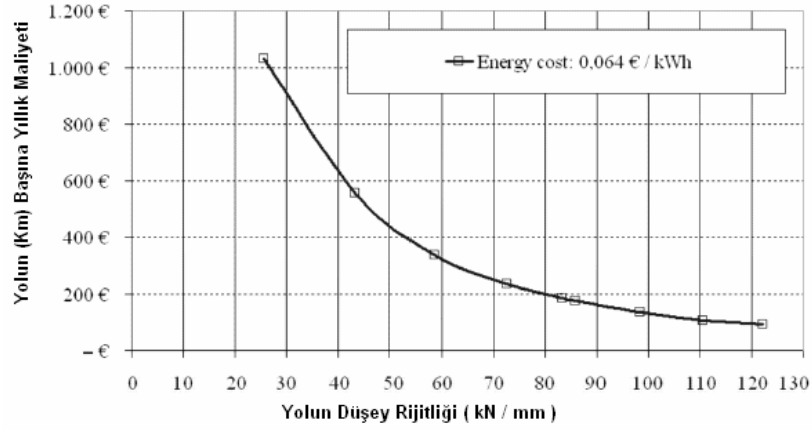
$$= 16137 \text{ kWsaat} / \text{Km.yıl}$$

Çok rijit ($K = 122 \text{ kN/mm}$) bir yol için:

$$\dot{E}_2 = 0,0033 \text{ kWsaat} \frac{421,5t}{8,15t} \frac{23\text{tren}}{\text{gün}} \frac{365\text{gün}}{\text{yıl}} \quad (6.65)$$

$$= 1447 \text{ kW.saad} / \text{Km.yıl}$$

Çekim maliyetinin 0,064 Euro / kWsaat olduğu yerde, Şekil 6.37'deki grafiğin çizilmesi uygun olur.

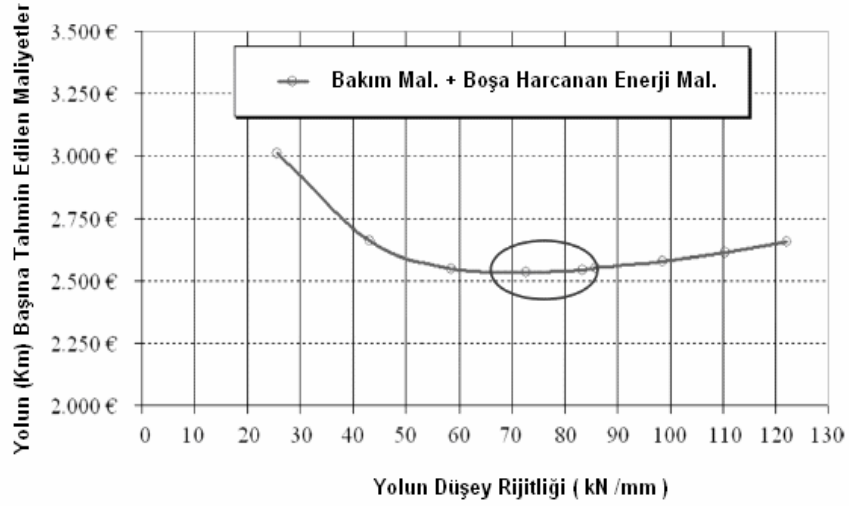


Şekil 6.37. Yüksek hızlı demiryolunun (Km) başına boşa harcanan enerjinin tahmini yıllık maliyetleri (günde bir yönde 23 TGV yolcu treninin çalıştığı demiryolu için)

Hem yolun düşey rijitliğinin yolun geometrik bakım maliyetlerinin, hem de dağılarak boşa harcanan enerji maliyetlerinin etkileri ile ilgili öncelikli düşünceler temel alınarak, optimum (En uygun) düşey rijitlik için bir eşik tanımlamak mümkün olur. Bu eşik, bu ikili perspektif açısından toplam minimum maliyete yönlendirir: geometrik kalitenin korunması maliyeti ve kaybedilen enerji maliyetleri. Şekil 6.38'deki grafik, optimum düşey rijitlik eşığının 70 ile 80 kN/mm arasında olacağını gösterir. Açıktır ki, bu büyüklükler bunları elde etmek için kullanılan hipotezlere dayanır.

Bu Hipotezler;

- Kilowatt-saat başına kabul edilen maliyet;
- Referans olarak alınan düşey rijitlik;
- Dikkate alınan yol geometrisi bakım maliyeti



Şekil 6.38. Yol rijitliği ile toplam maliyetler arasındaki ilişki

6.4.2 Yüksek hızlı hatlarda mesnet levhalarının düşey rijitliği

Yüksek hızlı demiryollarının yapımı, taşıtlar tarafından yola düşey olarak aktarılan dinamik etkileri azaltmak amacıyla, esnek yol yapıları için araştırmaları çoğaltmıştır. Bu konuda Fransız demiryolları, yeni Paris – Lyon hattında travers ile ray arasına bir mesnet levhası konulması yolunu tercih etmiştir. Bu levha maksimum hızın 200Km/Saat olduğu hatlarda kullanılan 4,5 mm kalınlıktakinin 2 katı (9 mm) kalınlıktadır. Rijitlik konusunda, yüksek hızlı hatlar için yeni levha için 90 kN/mm önerilir, bu değer geleneksel levhaninkinden (150 kN/mm) farklıdır.

Almanya demiryolları Hannover – Würzburg ve Mannheim – Stuttgart arasındaki ilk yüksek hızlı hatlarda UIC 60 B 70 W olarak bilinen ve düşey rijitliği 500 kN /mm olan ZW 687'a mesnet levhası kullanılan üstyapı modelini kullanmıştır. Daha sonra düşey rijitliği 60 kN/mm olan mesnet levhasının kullanıldığı UIC 60 B 70 W 14 k 900 modeli uygulanmıştır. Bu Hannover – Berlin arasındaki yeni hızlı demiryolu hattının balastlı bir kesiminde kullanılmıştır. Bu arada 63 cm aralıklı B 75 traverslere Ioary - 300 tipi bağlantılarla bağlı ve 10 cm varan kalınlıklardaki 27 kN/mm düşey rijitlikteki mesnet levhaları üzerine döşenen 60 Kg/m raylardan oluşan yeni bir üstyapı tipi tasarlanmıştır. Bu model Hannover – Berlin yüksek hızlı hattında Stendal yakınlarında 14 Km yola döşenmiştir. Madrid – Seville yüksek hızlı düşey rijitliği 400 – 500 kN/mm olan 6 mm kalınlıktaki EVA mesnet levhası kullanılmıştır. Madrid – Barcelona yeni hızlı tren hattında ortalama rijitliği 100 kN/mm olan 7 mm kalınlıktaki levha kullanılmıştır.

Bunların farklılıkları ray mesnetlenmesinde dikkate değer etkiler yapmaktadır (N. Sevgi Yalçın, Aydın Erel, Yüksek Hızlı Demiryollarında Altyapının Önemi ve Tasarım İlkeleri, sayfa 339, 2015).

Önceki hipotezlere göre rayın altındaki toplam düşey rijitlik şu formülle tahmin edilir:

$$K_s = \frac{K_{ml}K_{bpl}}{K_{ml}+K_{bpl}} \quad (6.66)$$

K_s = Mesnet levhası ve balastlı platform sisteminin oluşturduğu ray mesnetlenmesi

düşey rijitliği

K_{ml} = Mesnet levhasının düşey rijitliği

K_{bp} = Balastlı platform sisteminin düşey rijitliği

6.4.3 Yüksek hızlı demiryolları için altyapı tasarım ilkeleri

Yol modelleri, yol üstyapı ve altyapı bileşenlerini, trafik yüklerinin sistem içindeki gerilme ve şekil değiştirmeye etkilerinin belirlenmesindeki karmaşık etkileşimlerini uygun bir şekilde tanımlamak için kullanılırlar. Geleneksel olarak elastik tabana oturan kiriş modeli, demiryolu üstyapısının tanımlanmasında kullanılmaktadır. Bu modelde, her bir rayın elastik tabana oturmuş bir elastik kiriş gibi davrandığı varsayılır ve bir noktadaki şekil değiştirmenin yalnızca bu nokta üzerindeki yükten oluştuğu varsayılır. Bu modelde traverslerden balasta aktarılan basınç tahmin edilebilir ve alt tabakalara uygulanan düşey gerilmeler, Boussinesq'nin eşitliklerinin entegrasyonu ile hesaplanır. Bilgisayar teknolojilerinin ilerlemesi ile düşey tekerlek yükleri altında hat yapısının tasarımı için düşey yükler altındaki Katmanlı Elastik Teori veya Sonlu Elemanlar Yöntemleri benimsenmiştir. Bu yöntemler plastik, viskoz ve visko-elastik şekil değiştirmeleri lineer olmayan karakteristikleri ile dikkate alabilirler. Analitik yöntemde, altyapının her katmanını karakterize etmek için elastik parametrelere gereksinim duyulur. Tipik olarak esneklik modülü ve poisson oranı parametreleri kullanılır. Esneklik modülü ana gerilme doğrultusunda gerilmenin esnek şekil değiştirmeye oranı olarak, malzemelerle yapılan laboratuvar testleri ile, ya direkt olarak, ya da yerinde yapılan tepki ölçümlerinin analizi ile belirlenir. Poisson oranı ise genellikle tahmin edilir.

Demiryolu altyapısı granüler, ince taneli ya da bunların karışımından oluşabilir. Granüler malzemelerin tekrarlı yükler altında davranışı lineer değildir ve gerilmelere bağlıdır. Başlangıçta her tekrarlanan yük için plastik şekil değiştirmeler oluşurken ,tekrarlı yüklerin artması ile plastik şekil değiştirmenin büyüklüğü azalır. Sonunda eğer gerilmelerin derecesi hafiflerse, belirli yük tekrarından sonra esnek şekil değiştirme sabit hale gelir ve malzeme elastik davranır. Gerilme seviyesi esneklik modülünü etkileyen birincil faktördür. Esneklik modülü, içerilen gerilme ile önemli değerde artar ve kayma bozukluğuna ulaşıncaya kadar tekrarlanan gerilme ile az miktarda artar. İnce taneli zeminlerde gerilmeler esneklik modülüne birincil etki etmektedir. Tüm diğer etkenler sabit tutulduğunda, artan gerilme ile, esneklik modülü doğrusal olmayan bir şekilde azalmaktadır. İnce taneli zeminler için kurulan modellerde öncelikle esneklik modülü ile saptırıcı gerilmeler arasındaki ilişkiler olarak ortaya konulmaktadır. Granüler ve ince taneli tabakaların birbirleri ile olan etkileşimleri de tasarımda önemlidir. Örneğin balast tabakasının yumuşak taban zeminleri üzerine döşenmesi durumunda, çökmeler kısmen balastın yük dağıtım yeteneği (Rijitliği) ile kontrol edilebilir. Bu taban zeminine iletilen gerilmelerin düzeyini kontrol eder. Bununla beraber, altyapının aktarılan gerilmeye tepkisi yayılan kuvvetin miktarını etkileyecektir. Yani tabaka etkileşimleri, gerilme dağılımını, her tabakada oluşan toplam elastik ve plastik şekil değiştirmeleri ve bu tabakaların bu gerilmelere karşı tepkilerini etkileyecektir. Bu nedenle olanaklar ölçüsünde gerçeğe yakın arazi koşullarını çoğaltacak koşullarda, ilgili ve anlamlı malzeme özellikleri belirlenmelidir.

Gerilmelerin ve şekil değiştirmelerin trafik tarafından tekrarlanması yığışımli etkisi,yol altyapısını artan bir şekilde zayıflatır. Balast yapısının oluşturulmasının nedeni, tasarım projesinin birincil amacını gerçekleştirmek, yani altyapıyı korumaktır. Taban zemininde trafik kaynaklı bozulmaların birincil türleri, balast tarafından alt yapıda oluşturulan sürtünme yıpranmaları, ilerlemiş kesme göçükleri, masif kesme kopmaları ve plastik şekil değiştirmelerin yığılımları ile aşırı düzeylerde çökmelerdir. Bu bozulmalar daha çok ince taneli zeminlerle ilgilidir. Altyapı sürtünme yıpranmaları, balast ve altyapının ara yüzündeki görel hareketlerin bir sonucu olarak meydana gelir. Bunu önlemek için genelde uygulanan yöntem, ara yüze bir kum tabakası döşenmesidir. Yinelenen ve artan kesme bozulmaları, en fazla tekrarlanan gerilmelerin zemini kesmeye maruz bırakacak ve kalıbını değiştirecek yeterli yükseklikteki değerlere

ulaştığı altyapının en üst kısmında oluşmaktadır. Bu tür bozulmalarda, aşırı gerilmeye maruz zemin, bir taşıma kapasitesi bozukluğu şekline yol açılacak şekilde, yolun altından yanlara ve yukarıya doğru sıkıştırılır. Bu durum daha yüksek iç sürtünmeye sahip iri taneli malzemeler için daha ufak bir problemdir. Çünkü uygulanan normal gerilmeye bağlı olarak kayma mukavemetindeki artış, oluşan kayma gerilmesindeki artıştan fazla olur. Plastik şekil değiştirme sonucu aşırı bir çökme oluşması sorunu, taban zemininin artan sıkışması nedeniyle kayma şekil değiştirmesinin düşey bileşeni bir “balast cebi” oluşmasına yol açabilir. Bunları önlemek için bir koruyucu kum tabakası döşenmesi önerilir. İnce taneli malzemelerde kalıcı şekil değiştirme, periyodik yüklerin sayısının bir fonksiyonu olarak gösterilir. Ek olarak, granüler malzemelerde, tekrarlanan kesme gerilmelerinin üzerinde bir değere çıkıldığında şekil değiştirmenin birikim oranının hızlı bir şekilde arttığı genel kabul görmektedir. Bu kritik gerilme derecesi eşik gerilme olarak bilinmektedir. Tekrarlı dinamik yüklemenin altında ince taneli zeminlerin kalıcı şekil değiştirmelerinin tahmini için birkaç model ileri sürülmüştür. Genelde kullanılan, en güçlü formlardan biri şudur:

$$\epsilon_p = AN^b \quad (6.67)$$

Burada ϵ_p , toplam plastik şekil değiştirme yüzdesi, N tekrarlı yükleme uygulamalarının sayısı olup, A ve b gerilme durumları ve malzeme özellikleri ile ilişkili parametrelerdir. Li ve Selig (1996), aşağıdaki versiyonu önermişlerdir:

$$\epsilon_p = a\left(\frac{\sigma_d}{\sigma_s}\right)^m N^b \quad (6.68)$$

Burada, a, m ve b malzeme parametreleri, σ_d etkili gerilme ve σ_s zeminin statik mukavemetidir.

Altyapıyı korumak ve geliştirmek için gereksinimler, başlangıçtan beri sürmektedir. Altyapının korunması ve geliştirilmesi gereksinimi, demiryollarının kullanılmasından bu yana süregelmiştir. Probleme yaklaşım altyapı malzemesinin kendisinin değiştirilmesi ya da onun kuvvetli malzemelerle kuvvetlendirilmesi ya da alt yapıyı korumak ve yapısını bir koruma tabakasıyla kuvvetlendirmek. Bugün her iki yöntem uygulanıyor olsa da, doğru olarak boyutlandırılmış ve sıkıştırılmış çakıl ve kum karışımı özel bir karışımdan oluşturulan örtünün uygulanmasının, en dayanıklı yapıyı oluşturacağı anlaşılmıştır.

Taşıma kapasitesini ölçmek için, Plaka Yükleme Deneyi ile belirlenen ve birimi MN/m² olan Ev₁ ve Ev₂ şekil değiştirme modülleri kullanılır. 30 cm yarıçapındaki bir dairesel plak $\sigma_{\max} = 0,5 \text{ MN/m}^2$ değerindeki gerilmeye erişilinceye dek, kademeli olarak yüklenir. Birinci yükleme sonucunun değeri Ev₁ ve ikinci yükleme sonucu Ev₂ değerlerini verir.

$$E_{V2} = \frac{1,5 \cdot \Delta \sigma \cdot r}{\Delta s_2} \quad (6.69)$$

E_{V2} : Şekil değiştirme modülü (MN/m²)

C : 0,3 $\sigma_{\max}$ ile 0,7 $\sigma_{\max}$ (MN/m²) arasındaki fark

R : Yükleme plağının yarıçapı (mm)

Δs : 0,3 $\sigma_{\max}$ ile 0,7 $\sigma_{\max}$ arasındaki sıkışma (mm)

Şekil değiştirme modülünün değerleri şöyle olmalıdır:

$$V \leq 160 \text{ Km/saat için } \geq 50 \text{ MN/m}^2$$

$$V > 160 \text{ Km/saat için } \geq 80 \text{ MN/m}^2$$

Bu deney çok zaman gerektiriyorsa, dinamik yükleme deneyi sonucu elde edilen Ev değerleri kullanılabilir. E_{V2} değerleri ile CBR (California Bearing Test) arasında iyi bir korelasyon vardır. Almanya Demiryolları ortalama olarak 1 % CBR = 13 MN/2 ve 10

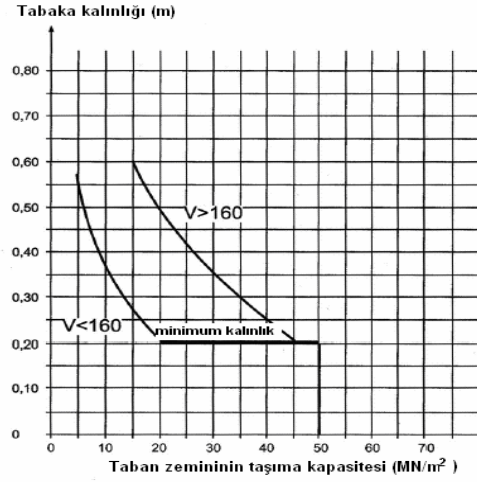
% CBR = 40 MN/2 olarak almaktadır.

Altyapıyı koruma amacıyla oluşturulacak tabakanın kalınlığı 2 ölçütle belirlenir:

-Dondan Koruma; kalınlık, kış aylarındaki sıcaklığa -uzun süreli kayıtlar bir referans olarak alınır ve altyapı zemininin kompozisyonuna bağlıdır.

-Taşıma Kapasitesi; kalınlık, altyapının taşıma kapasitesine ve koruma tabakası üzerinde olması istenen taşıma kapasitesine bağlıdır, Şekil 6.39'da bu parametreler arasındaki ilişki gösterilmiştir.

İki hesabın sonuçları farklı değerler verirse, bunlardan büyük olanı alınmalıdır. Don olayının olmadığı bölgelerde 2. kriter dikkate alınır. Minimum kalınlık 20cm'dir.



Şekil 6.39. Dondan koruma tabakası kalınlığı için diyagram

6.5 Enerji tüketimine etki eden ana parametrelerin incelenmesi

Farklı parametrelerin farklı değerlerinin etkisini anlamak için bir çok simülasyon testi yapılmıştır. Geri kazanım oranı frenleme enerjisinin kullanım oranının yüzdesel olarak tanımıdır. Araç*km başına düşen enerji tüketimi ise kat edilen her araç*km için yerel elektrik dağıtım şebekesinden çekilen enerjidir.

6.5.1 İşletme sıklığının etkisinin araştırılması

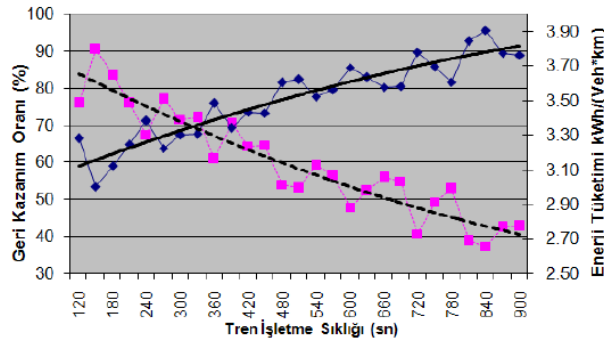
Trenler normal olarak belli zaman aralıkları ile ard arda hat'a gönderilir. Buna trenler arası süre (TAS) denir. TAS hattaki geri kazanım oranını ve dolayısı ile enerji tüketimini etkiler. TAS'ın küçük olması, tanımlanmış bir güç bölgesinde daha çok aracın aynı anda var olması ve dolayısı ile ivmelenen, frenleyen trenlerin eş zamanlı bulunma olasılığının artması demektir (Burrow, M., Ghataora, G., and Stirling A., Rail research UK, department of civil engineering, University of Birmingham, 'A rational approach to railway track substructure design', Birmingham, UK (2004)).

Bu çalışmada, 120 saniyeden başlayarak, otuzar saniyelik artışlarla, 15 dakikaya kadar, toplam 27 farklı TAS için simülasyon testleri yapılmıştır. Sonuçlar Çizelge 6.4'de

özetlenmiş ve grafik olarak da Şekil 6.40’da verilmiştir. 150 ve 180 saniyelik işletmede geri kazanım oranı fazla çıkmaktadır. Bunun bir sebebi bu sefer aralıklarında frenleyen ve hızlanan trenlerin senkronizasyonunun daha fazla olması ihtimalidir.

Çizelge 6.4.Farklı TAS için geri kazanım oranı ve araç*km enerji tüketimi

TAS (s)	Geri Kazanım Oranı (%)	kWh/ (Araç*km)	TAS (s)	Geri Kazanım Oranı (%)	kWh/ (Araç*km)
120	76.0	3.28	540	59.0	3.52
150	90.5	3.00	570	56.5	3.57
180	83.5	3.12	600	48.0	3.69
210	76.0	3.25	630	52.0	3.64
240	67.5	3.39	660	56.0	3.58
270	77.0	3.22	690	55.0	3.58
300	72.0	3.30	720	40.5	3.78
330	72.0	3.30	750	49.0	3.70
360	61.0	3.48	780	52.5	3.61
390	70.0	3.34	810	39.0	3.84
420	64.0	3.44	840	37.0	3.91
450	64.0	3.43	870	42.5	3.78
480	54.0	3.61	900	42.5	3.76
510	53.0	3.62			



Şekil 6.40.Farklı TAS’lar için geri kazanım oranı ve kWh/Araç/km

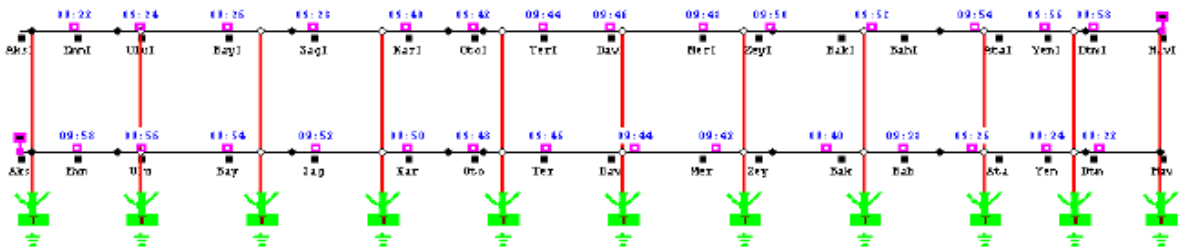
Şekil 6.40’da gösterilen kesikli çizgiler artan TAS ile geri kazanım oranının değişimini göstermektedir. Koyu çizgili eğri ise Araç*km başına düşen enerji tüketimini göstermektedir. Şekil 6.40’da beklenen sonucu özetlemektedir: Artan TAS ile Araç*km başına düşen enerji tüketimi artarken, geri kazanım oranı azalmaktadır. Geri kazanım oranı ile Araç*km başına düşen enerji tüketimi eğrileri salınım göstermekte ise de bu eğrilerin eğilimleri neredeyse doğrusaldır. Bu sonuç, TAS’ın sadece yolcu konforunu değil enerji verimliliğini de arttırdığını göstermektedir. Bu nedenle daha kısa trenlerin küçük TAS ile kullanılması yolcu konforu ile birlikte enerji verimliliğini de maksimize etmeyi destekler yöndedir.

120 s ve 300 s TAS'lar için olan testler tekrarlanmış ve sistemin toplam enerji geri kullanım (Rekuperasyon) oranı hesaplanmıştır. Bunun anlamı, talep edilen toplam enerjinin yüzde kaçının frenleme enerjisinden sağlandığıdır. Testlerin sonuçları Çizelge 6.5'de verilmiştir.

Çizelge 6.5.Enerji rekuperasyon oranları

Açıklama	TAS(s)	
	120	300
Araç*km için tüketimi (kWh)	3.286	3.312
Şebekeden çekilen enerji (kWh), a	26451	10830
Regenere edilen enerji (kWh), b	14658	5979
Fren dirençlerinde yakılan enerji (kWh), c	3280	1600
Kullanılan regenere enerji (kWh), d=b-c	11378	4379
Toplam enerji tüketimi (kWh), e=a+d	37829	15209
Rekuperasyon oranı (%), d/e*100	30.08	28.79
100% Geri kazanım oranı için rekuperasyon oranı(%)	38.75	39.31

Çizelge 6.5'deki son satır frenleme enerjisinin %100'ünün kullanılması durumunda elde edilebilecek rekuperasyon oranını göstermektedir ki bu durumda rekuperasyon oranı %39'a ulaşmaktadır. Verilen test hattında rekuperasyon oranı %29 civarındadır. Diğer bir parametre olan, frenleme ivmesi, üzerinde detaylı çalışmadan önce, iki simülasyon testi ile 2 ilave trafo merkezi ilave edilerek güçlendirilmiş bir cer gücü sisteminin etkisine kısa bir bakış yapılmıştır.



Şekil 6.41.İlave TM'li konfigürasyon

Şekil 6.41’de güçlendirilmiş cer gücü sistem konfigürasyonu gösterilmiştir. Trafo merkezleri hat boyunca daha eşit bir şekilde dağıtılarak hattı beslemesi sağlanmıştır. 120 s ve 300 s TAS’lar ile yapılan iki test sonucu Çizelge 6.6’da özetlenmiştir.

Çizelge 6.6.HattaTM eklenmesi durumunda enerji reküperasyon oranları

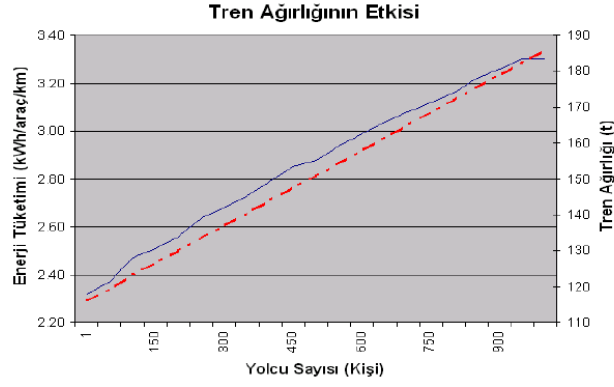
Açıklama	TAS(s)	
	120	300
Araç*km için tüketimi (kWh)	3.225	3.250
Rekuperasyon oranı (%)	30.29	29.41
100% Geri kazanım oranı için rekuperasyon oranı (%)	39.56	39.31

Çizelge 6.5 ve Çizelge 6.6’da değerler trafo merkezi sayısının arttırılmasının reküperasyon oranına fazla etkisi olmadığını, fakat araç*km başına düşen enerji tüketimini çok az da olsa azalttığını göstermektedir. Bunun sebebi yük dağılımının iyileşmesi sonucu hat kayıplarının azalmasıdır.

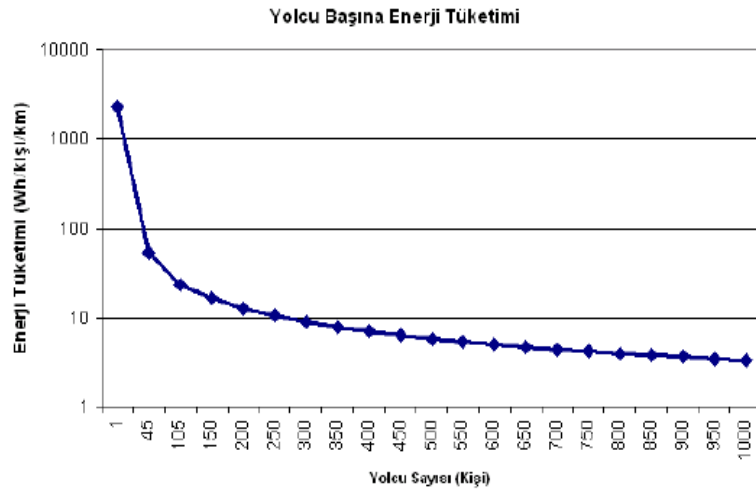
6.5.2 Tren ağırlığının etkisi

Doğal olarak trenlerin ağırlığı doluluk oranına bağlıdır. Tren içinde seyahat eden yolcu sayısı arttıkça trenin ağırlığı ve dolayısı ile enerji tüketim miktarı artacaktır. Bunun etkisini araştırmak için boş araçtan tam yüke kadar tren içindeki yolcu sayısı 50’şer arttırılarak testler yapılmıştır. Simülasyonlarda yolcu ağırlığı 70 kg olarak alınmıştır. Testlerin sonuçları Şekil 6.43’te verilmiştir.

Şekil 6.42’de kesikli doğrusal çizgi tren ağırlığını, diğer çizgi ise araç*km için enerji tüketimini vermektedir. Her iki eğrinin orantılı olarak arttığı görülmektedir. Ancak, boş halde tam dolu hale kadar araç ağırlığı %60 artarken, enerji tüketimindeki artış %42 olmaktadır. Taşınan yolcu başına tüketilen enerji miktarı daha anlamlı bir değer olarak düşünülebilir. Bu parametrenin artan yolcu sayısı ile değişimi Şekil 6.43’de verilmiştir.



Şekil 6.42.Farklı yolcu sayıları için kWh/Araç/km ve tren ağırlığı



Şekil 6.43.Farklı yolcu sayıları için Wh/(kişi*km)

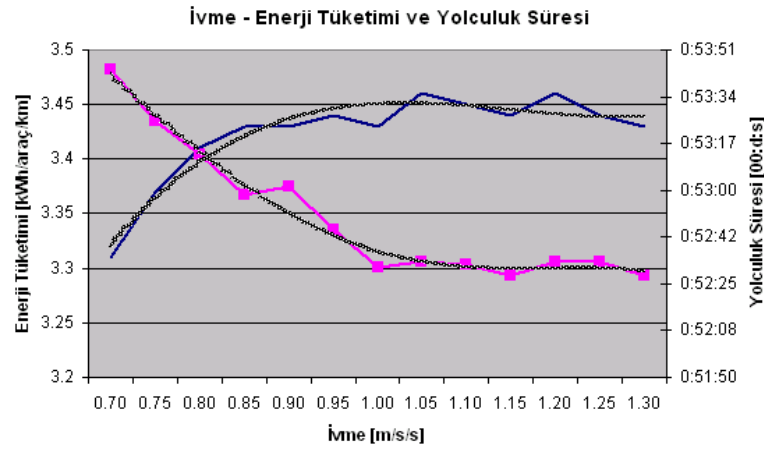
Şekil 6.43'den kişi*km için enerji tüketiminin 250 yolcu durumunda yaklaşık 10 Wh iken bu değerin 1000 yolcu taşınması durumunda 3.30 Wh'e düştüğü görülmektedir.

6.5.3 Hızlanma ivmesinin (a) etkisi

Simülasyonlarda kullanılan araçların hızlanma ivmesinin nominal değeri 0.7 m/s^2 'dir. Bu çalışmada hızlanma ivmesine ait değerin, enerji tüketimine ve trenlerin geliş ve gidiş yönlerindeki toplam yolculuk süresi olan tur süresine etkisi araştırılmıştır. Hızlanma ivmesi 0.05 m/s^2 'lik aralıklarla, 0.7 m/s^2 'den 1.3 m/s^2 'e kadar artırılarak, 15 test, yapılmıştır. CPU zamanının azaltılması amacı ile simülasyonlar sadece 300 s TAS'lar için yapılmıştır. Sonuçlar Çizelge 6.7'de verilmiştir. Değerler grafik halinde Şekil 6.44'te sunulmuştur.

Çizelge 6.7. Farklı hızlanma ivmeleri için enerji tüketimi ve tur süresi

İvme (m/s ²)	Enerji Tüketimi kWh/(Araç*km)	Tur Süresi (35 km için)
0.70	3.31	0:53:44
0.75	3.37	0:53:25
0.80	3.41	0:53:13
0.85	3.43	0:52:58
0.90	3.43	0:53:01
0.95	3.44	0:52:45
1.00	3.43	0:52:31
1.05	3.46	0:52:33
1.10	3.45	0:52:32
1.15	3.44	0:52:28
1.20	3.46	0:52:33
1.25	3.44	0:52:33
1.30	3.43	0:52:28



Şekil 6.44. Farklı hızlanma ivmeleri için kWh/Araç/km ve tur süresi grafiği

Beklenildiği gibi Şekil 6.44 incelendiği zaman artan ivme ile enerji tüketiminin arttığı, yolculuk süresinin ise azaldığı görülmektedir. Her iki eğriden de görüldüğü üzere 1.05 m/s² ivme değerinden sonra eğriler düzleşmektedir. Bunun sebebi araçların üretebileceği cer kuvvetidir. Tam yüklü bir treni, bu ivme değerinin üzerinde ivmelendirmeye tren setinin gücü yetmeyecektir. Sadece yokuş inilirken bu değer aşılabılır, ancak izin verilen maksimum ivme değeri, bu durumlar gözetilerek, sınırlandırılmıştır.

6.5.4 Frenleme ivmesinin etkisinin araştırılması

Şekil 6.45’de testlerde kullanılan araçların elektrik ve mekanik özellikleri gösterilmiştir.

Mechanical Properties			
Maximum Acceleration [m/s ²]:	0.7	Maximum Velocity [km/h]:	80
Maximum Deceleration [m/s ²]:	1.1	Empty Weight [kg]:	29000
Emergency Brake Deceleration [m/s ²]:		Loaded Weight [kg]:	50200
Front Area [m ²]:	8	Rotational Mass Factor [%]:	
Number of Axles:	6	Number of Passengers:	250
Safety Distance [m]:	55	Comfort Rate [m/s ³]:	1
Length [m]:	23		

Electrical Properties			
Auxiliary Power [kW]:	27	Minimum Operating Voltage [V]:	525
Allowed Maximum Voltage in Braking [V]:	900	Maximum Operating Voltage [V]:	900
		Nominal Operating Voltage [V]:	750

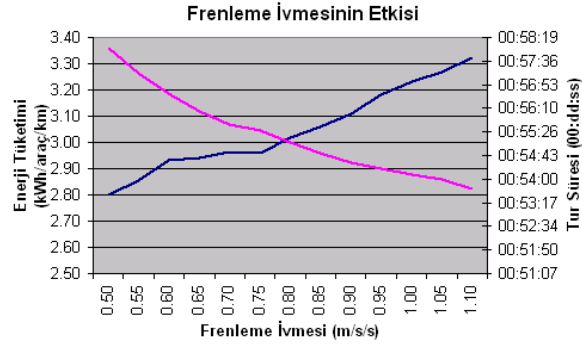
Şekil 6.45.Araçlara ait elektrik ve mekanik özellikler

Şekil 6.45’de, frenleme ivmesinin (a_b) nominal değeri 1.1 m/s^2 ’dir. Bu frenleme ivmesi 0.05 m/s^2 ’lik aralıklarla, 0.5 den 1.1 m/s^2 ’e kadar arttırılarak 13 simülasyon yapılmıştır. CPU zamanının kısaltılması amacı ile simülasyonlar 300 s TAS’lar için yapılmıştır.

Çizelge 6.8’de değişik frenleme ivme değerlerindeki test sonuçlarından alınan veriler gösterilmiştir. Çizelge 6.8’den de görüleceği üzere frenleme ivmesinin azaltılması, enerji geri kazanım oranına etki etmektedir. Daha düşük frenleme ivmesi daha yüksek enerji geri kazanım oranı vermektedir. Ayrıca Araç*km başına tüketilen enerji frenleme ivme oranı ile birlikte azalmaktadır. Ancak, bu kazançlara karşılık bir kayıp oluşmaktadır; çok düşük frenleme ivmeleri için yolculuk süresi önemli bir şekilde artmaktadır. 1.1 m/s^2 ve 0.50 m/s^2 frenleme oranları için tur zamanında 286 s’lik bir fark oluşmaktadır. Araç*km başına enerji tüketiminin ve tur süresinin değişimi Şekil 6.46’da verilmiştir.

Çizelge 6.8. TAS 300 s’de farklı a_b için geri kazanım oranı ve enerji tüketimleri

Frenleme İvmesi (m/s ²)	Geri Kazanım Oranı (%)	kWh / Araç*km	Tur Zamanı (s)
0.50	83.96	2.80	3749
0.55	81.79	2.85	3698
0.60	78.55	2.93	3657
0.65	79.93	2.94	3621
0.70	80.34	2.96	3596
0.75	81.81	2.96	3581
0.80	80.05	3.02	3558
0.85	78.76	3.06	3536
0.90	77.55	3.11	3517
0.95	74.85	3.18	3503
1.00	74.03	3.23	3490
1.05	72.77	3.27	3480
1.10	70.97	3.32	3463



Şekil 6.46. Tur süresi ve kWh/Araç/km - a_b eğrileri

Şekil 6.46’dan frenleme ivme oranının artması ile birlikte Araç*km başına enerji tüketiminin artarken tur süresinin azaldığı görülmektedir. Farklı frenleme ivme oranlarının etkisinin daha iyi anlaşılması için 3 adet test daha yapılmıştır. Fakat bu simülasyonlarda TAS 150 s alınmıştır. Bu üç simülasyonun sonuçları Çizelge 6.9’da verilmiştir.

Çizelge 6.9. TAS 150 s’de farklı a_b için geri kazanım oranı ve enerji tüketimleri

Frenleme İvmesi (m/s ²)	Geri Kazanım Oranı (%)	kWh/ Araç*km
1.10	90.53	3.00
0.95	91.14	2.91
0.80	92.12	2.81

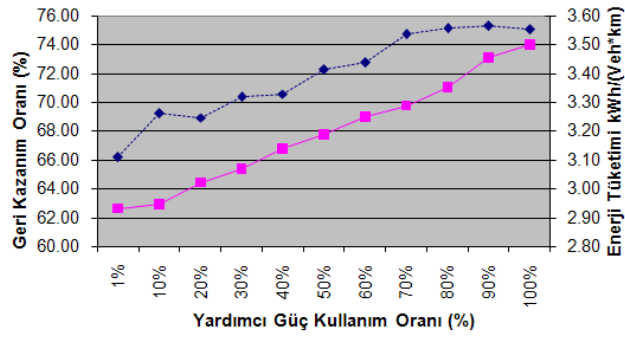
Çizelge 6.8 ve Çizelge 6.9'daki sonuçlar karşılaştırıldığında, geri kazanım oran değeri 150 s'lik TAS simülasyonlarında sadece %1.59 artarken, 300 s'lik TAS simülasyonlarında bu artış miktarı %9.08 olarak gerçekleşmiştir. Bu temel testlerin sonuçlarına bakılarak frenleme ivmesinin azaltılmasının kısa TAS'larda daha uzun TAS'larda olduğu kadar etkili olmadığı söylenebilir. Bu uygulamanın yolculuk süresine oldukça olumsuz bir etkisi vardır.

6.5.5 Tren iç ihtiyacının etkisinin araştırılması

Trenler sadece hareket için enerji çekmez, ayrıca klima ve aydınlatma gibi yardımcı sistemler için de enerji çeker. Simülasyonlarda kullanılan araçların nominal yardımcı güç değeri 27 kW'tır. Bütün simülasyonlar sırasında bu gücün %70'inin her zaman talep edildiği kabul edilmiştir. Yardımcı servislerin enerji talebi tren regeneratif modda iken frenleme enerjisinden sağlanmaktadır. Diğer zamanlarda bu enerji, katener sistemi üzerinden, hatta bulunan ve frenleyen trenlerden veya şebekeden sağlanmaktadır. Yardımcı güçlerin kullanım oranı geri kazanım oranını ve enerji tüketimini etkilemektedir. 11 değişik yardımcı güç kullanım oranı kullanılarak simülasyon testleri gerçekleştirilmiş ve sonuçlar Çizelge 6.10'da özetlenmiştir. Şekil 6.50'de enerji tüketiminin değişimi görülmektedir.

Çizelge 6.10.TAS 300 s'de farklı yardımcı güç kullanım oranları için geri kazanım oranı ve enerji tüketimleri

Yardımcı Güç Kullanım Oranı (%)	Geri Kazanım Oranı (%)	kWh/ veh*km
1	66.19	2.93
10	69.24	2.95
20	68.95	3.02
30	70.39	3.07
40	70.58	3.14
50	72.29	3.19
60	72.73	3.25
70	74.72	3.29
80	75.13	3.35
90	75.30	3.45
100	75.08	3.50



Şekil 6.47.TAS 300 s için enerji tüketimi – yardımcı güç kullanım oranı

Şekil 6.47’deki eğri yardımcı güç kullanım oranına bağlı olarak Araç*km başına düşen enerji tüketimini ve geri kazanım oranını temsil etmektedir. Eğri beklenen sonucu göstermektedir: Artan yardımcı güç kullanım oranı ile Araç*km başına enerji tüketimi ve geri kazanım oranı artmaktadır. 6 simülasyon daha yapılarak, daha küçük TAS’larda farklı yardımcı güç kullanım oranlarının etkisi incelenmiştir. Sonuçlar Çizelge 6.11’de verilmiştir. Benzer sonuçlar burada da elde edilmiştir: Artan iç ihtiyaç kullanım oranı ile geri kazanım oranı ve enerji tüketimi artmıştır.

Çizelge 6.11. TAS 150 s için geri kazanım oranı ve kWh/Araç*km –yardımcı güç kullanım oranı değerleri

Yardımcı Güç Kullanım Oranı (%)	Geri Kazanım Oranı (%)	kWh/Araç*km
1	88.31	2.55
20	88.90	2.68
40	89.91	2.80
60	90.90	2.93
80	91.01	3.08
100	92.45	3.20

BÖLÜM VII SONUÇLAR

Bu tezde elektrifikasyon (Besleme) için gerekli sistemler olan Transformatör Merkezleri (AC ve DC), Katener Sistemi ve bu sistemlerin gereksinimi olan altyapı elemanları incelenmiştir. Bu elektrifikasyon (Besleme) sistem elemanların seçimi için gereken deneyler ve çözümler yapılmıştır. Bu deney ve çözümler sonucunda elde edilen en ideal (Optimum) değerler göz önüne alınarak eleman seçimi ve sistemlerin kurulumunun yapılması gerekmektedir. Çünkü en ideal değerler sonucunda yapılan elektrifikasyon bizim maliyetimizi düşürür, ve yüksek verimde elektrifikasyon yapmamızı sağlar.

Elektrifikasyon yapılırken izlenecek yol özetle;

- AC Transformatör Merkezlerinin Yerinin Seçimi
- DC Transformatör Merkezlerinin Yerinin Seçimi
- Katener Sistem Kurulumu

şeklindedir.

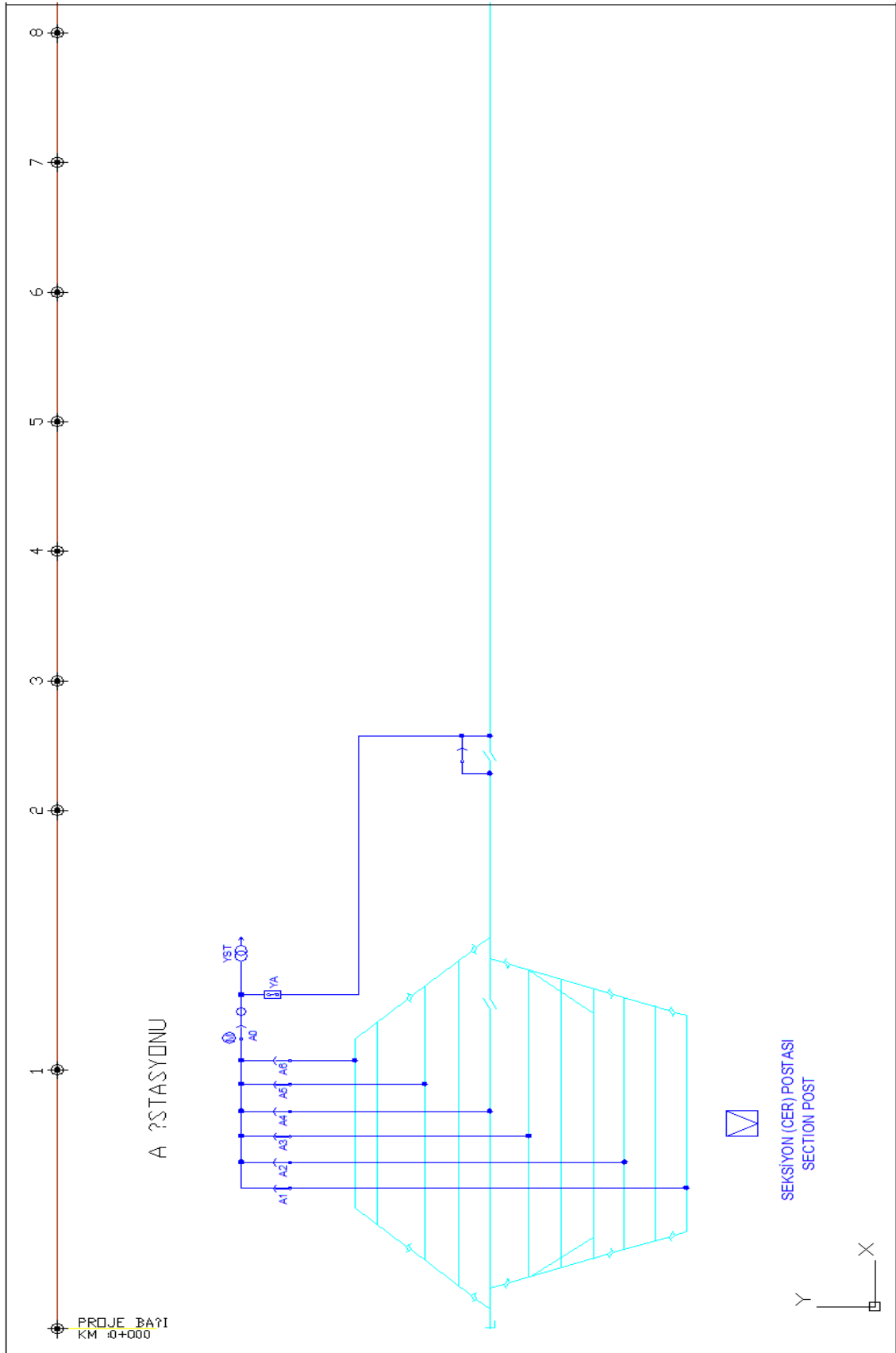
AC Transformatör Merkezi yer seçimlerinde gerilim düşümü etkisi (Optimum 25 kV), ulusal şebekenin yer seçimine etkisi, trafo merkezlerinin kavşaklara yakın olması, trafo merkezinin elektrikleenecek hatta yakın olması, personel ve malzeme ulaşımı, güvenlik hususları göz önüne alınır. DC Transformatör Merkezi yer seçimleri tasarım mesafesine göre, harita üzerinde yapılan çalışma ile belirlenir. Genellikle paralel besleme yapılır. Enerji kesintisi boyutunu en aza indirmek için, iki trafo merkezi arası 2-3 kesime ayrılır. Trafo merkezinin bir kenarına yaklaşık 40m'lik bir bina inşa edilir. Bu kapalı alana uzaktan kumanda panosu, röle gurupları, aküler, redresör, telefon gibi düşük voltajlı cihazlar monte edilir. Ayrıca mahallinden kumanda yapılmasını sağlayan pano bulunur. Koruyucu ve ilk yardım malzemeleri burada muhafaza edilir.

Raylı sistemler elektrifikasyonunda kullanılan güç transformatörleri ulusal elektrik şebekesine bağlıdır. 154 kV – 50 Hz'lik elektrik enerjisini monofaze 27.5 kV -50 Hz'lik enerjiye dönüştürüp katener tesislerini beslemektedirler. Şehir içi elektrifikasyon sistemlerindeki güç transformatörleri yine ulusal elektrik şebekesine bağlı olup 66 kV, 33 kV, 22 kV, 6.6 kV 50Hz'lik gerilimi 750V, 600V, 1500V veya 3000V gerilime dönüştürüp katener tesislerini beslemektedir.

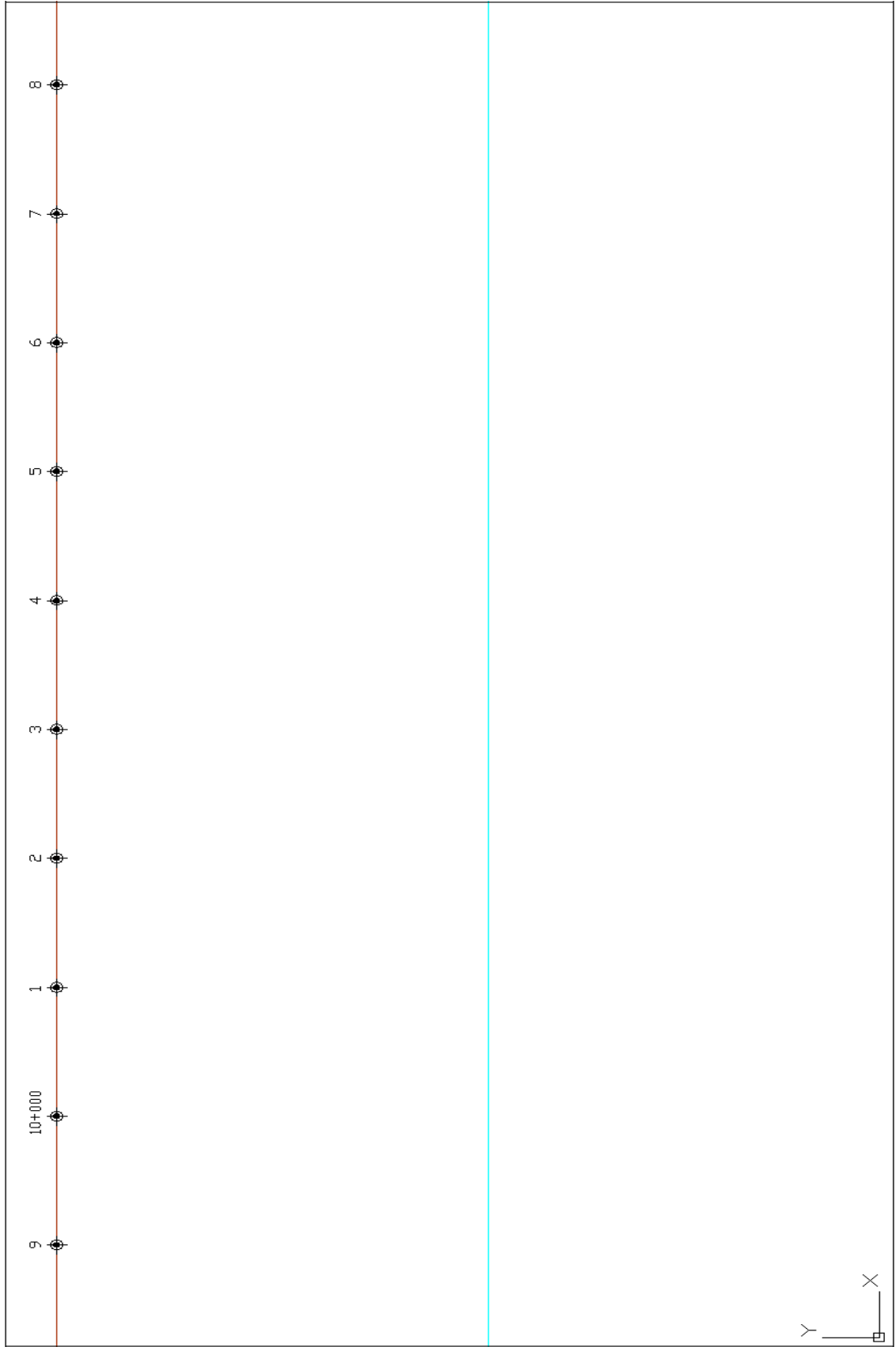
Elektrifikasyon sistemlerinde kullanılan güç transformatörleri monofaze çekirdekli 50 Hz frekanslı yağa daldırılmış genellikle açık hava tipindedir. Kullanılan bu transformatörler belirli testlerden geçirildikten sonra elektrifikasyon için uygunluğuna bakılır ve ona göre sisteme eklenir ya da elenir.

Katener trafodan aldığı enerjiyi direkler, konsollar ve teller aracılığı ile pantoğrafa ileten sistemin adıdır. Bir katener projesinde ilk olarak güzergâh planı ele alınır ve bu plan üzerinde direk yerleri tespit edilir. Bu projeye piketaj planı denir. Her direk için ayrı ayrı temel planları hazırlanır. (Temel Karneleri) Direkler yerlerini plan üzerinde tespit ettikten sonra kontak telinin gezinme (Dezeksman) değerlerinin gösterildiği plan çizilir. Bu plana derulaj denir. Proje üzerinde telin zikzakları ve beslemeler net olarak belirtilmelidir. Katener direk yerleri projeye göre saha da işaretlenir ve temelleri açılır. Direğin raya olan mesafesi emplantasyondur. Katener direği dikildikten sonra emplantasyon ve dezeksman değerleri başta olmak üzere sistem yüksekliği ve kontak teli yüksekliği de göz önünde bulundurularak tüm direklerin montaj karneleri hazırlanır. Bu montaj karnelerine göre Katener Sistemi kurulur ve Elektrifikasyon tamamlanır.

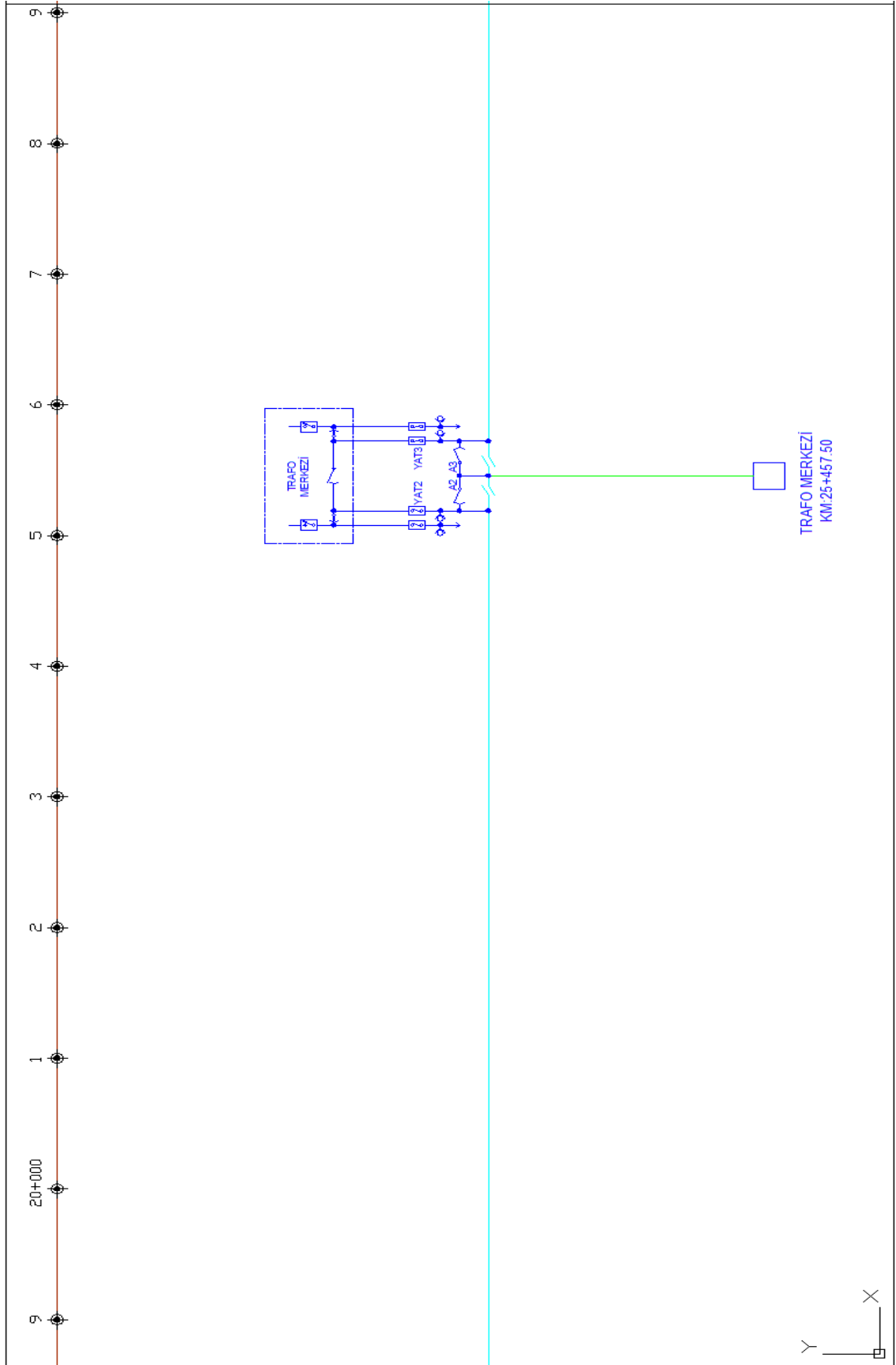
Ek-A Elektrifikasyon tek hat besleme diyagramı 0-8 km arası



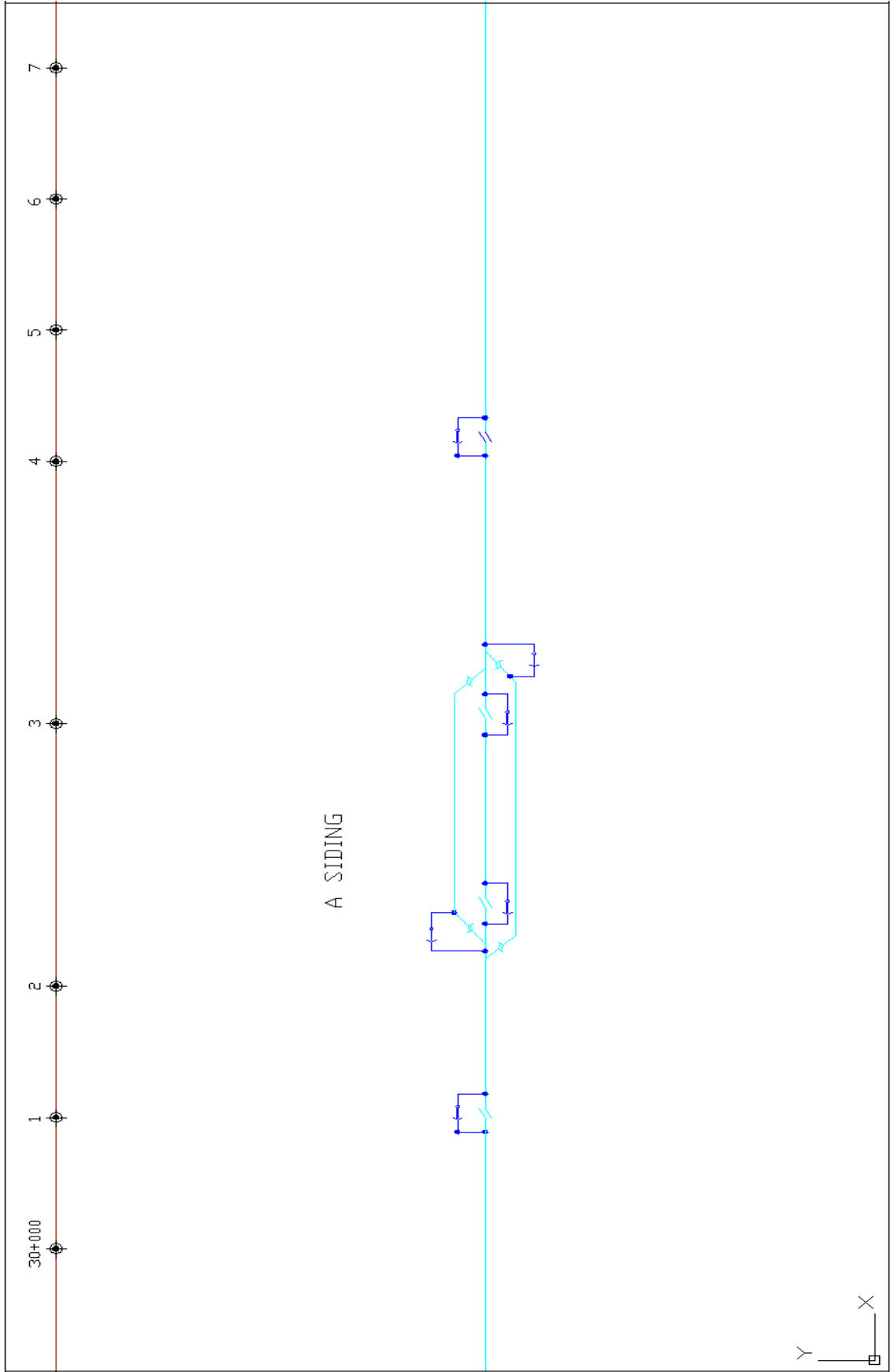
Ek-A (Devam) Elektrifikasyon tek hat besleme diyagramı 8-19 km arası



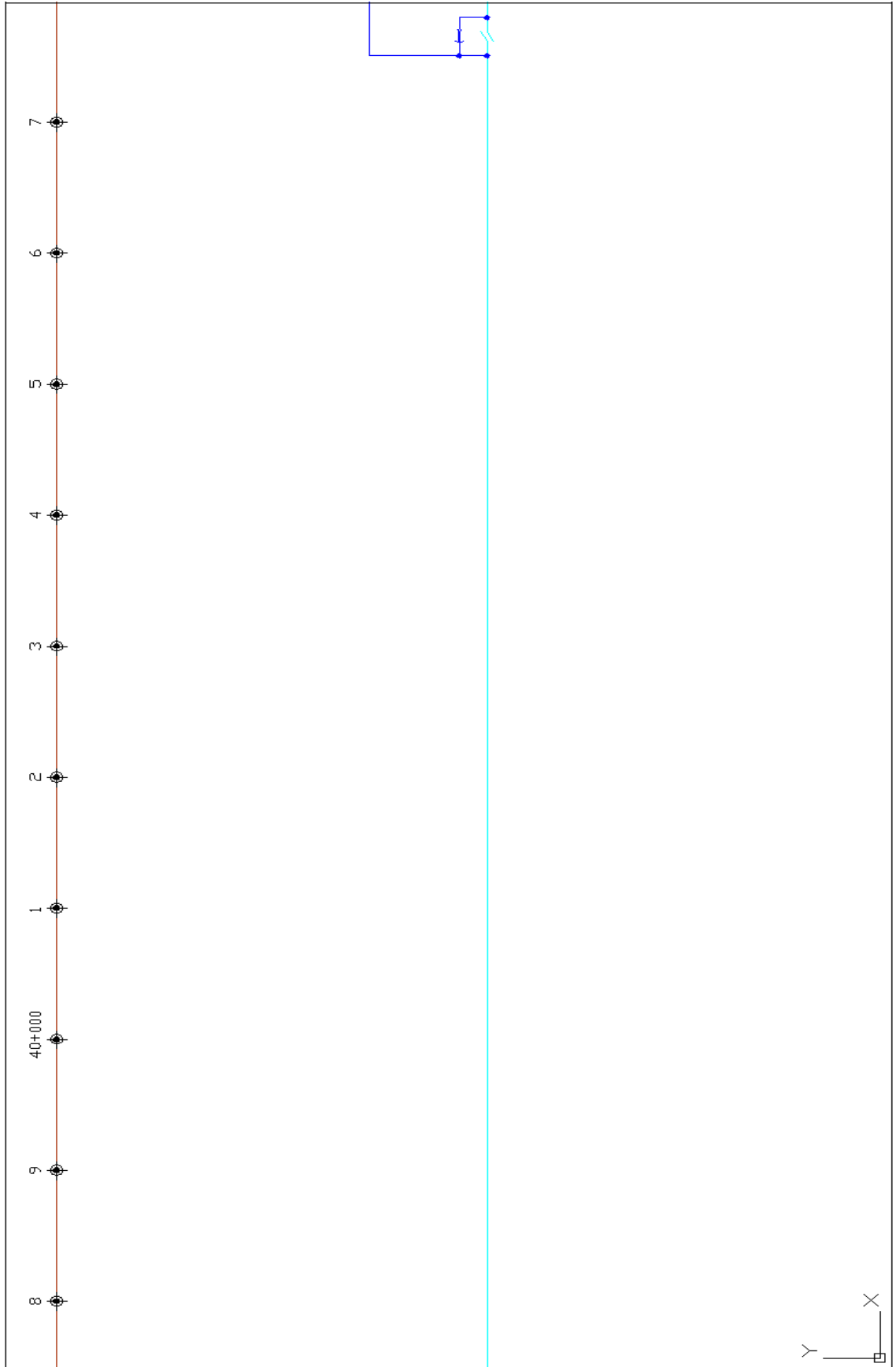
Ek-A (Devam)Elektrifikasyon tek hat besleme diyagramı 19-29 km arası



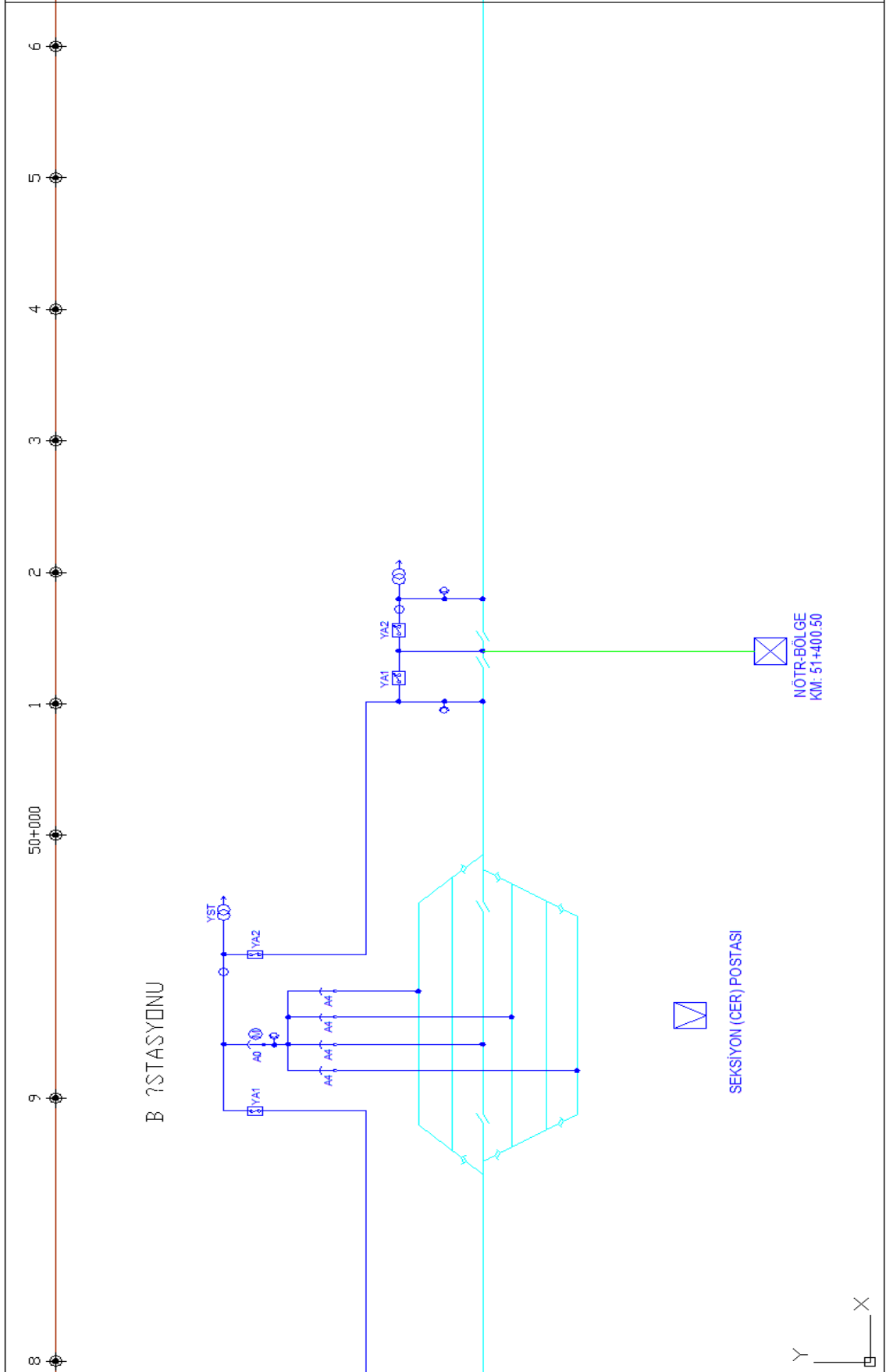
Ek-A (Devam)Elektrifikasyon tek hat besleme diyagramı 29-37 km arası



Ek-A (Devam)Elektrifikasyon tek hat besleme diyagramı 37-48 km arası



Ek-A (Devam)Elektrifikasyon tek hat besleme diyagramı 48-56 km arası

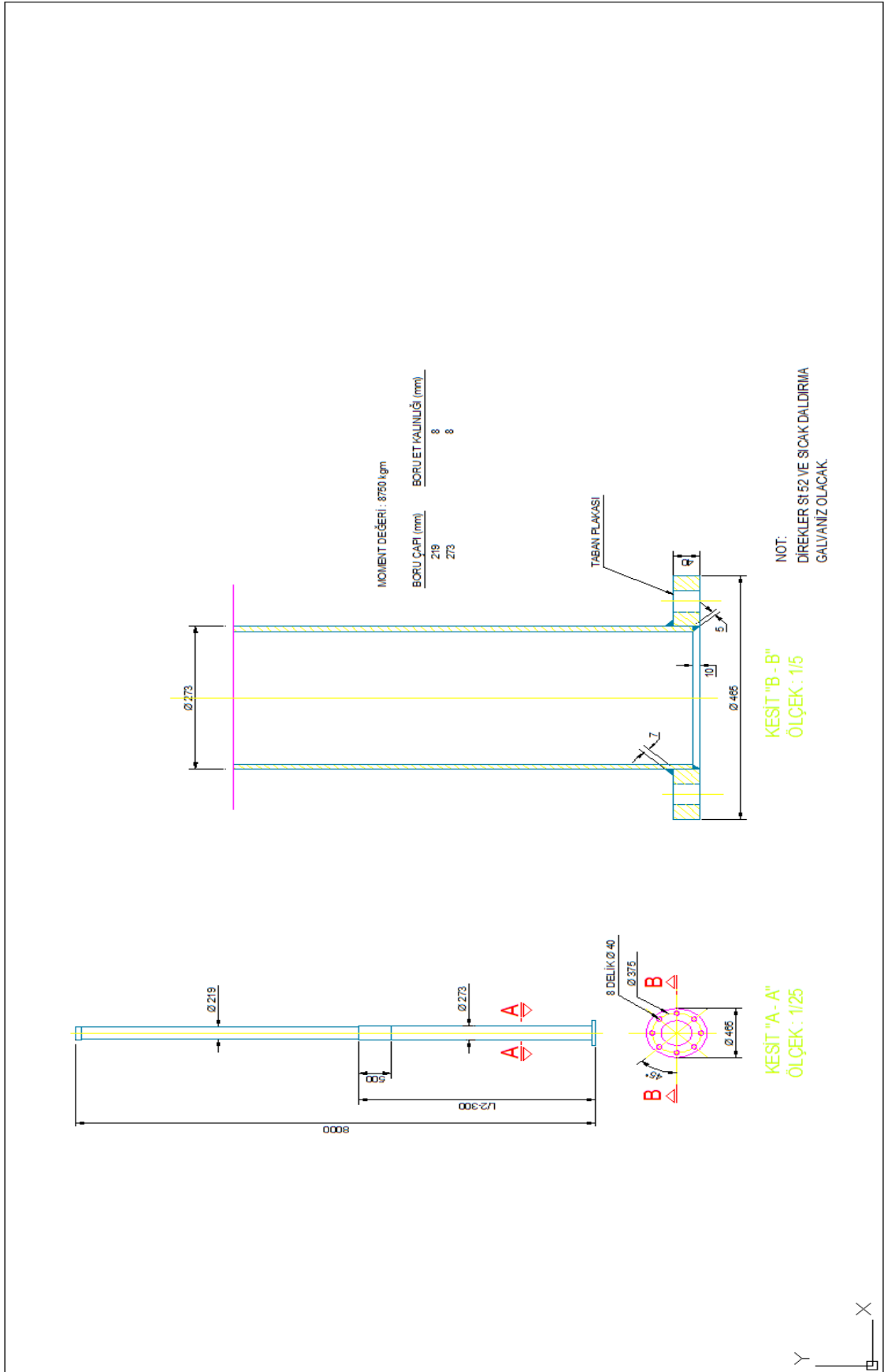


Ek-A (Devam)Elektrifikasyon tek hat besleme diyagramı 56-66 km arası (proje sonu)

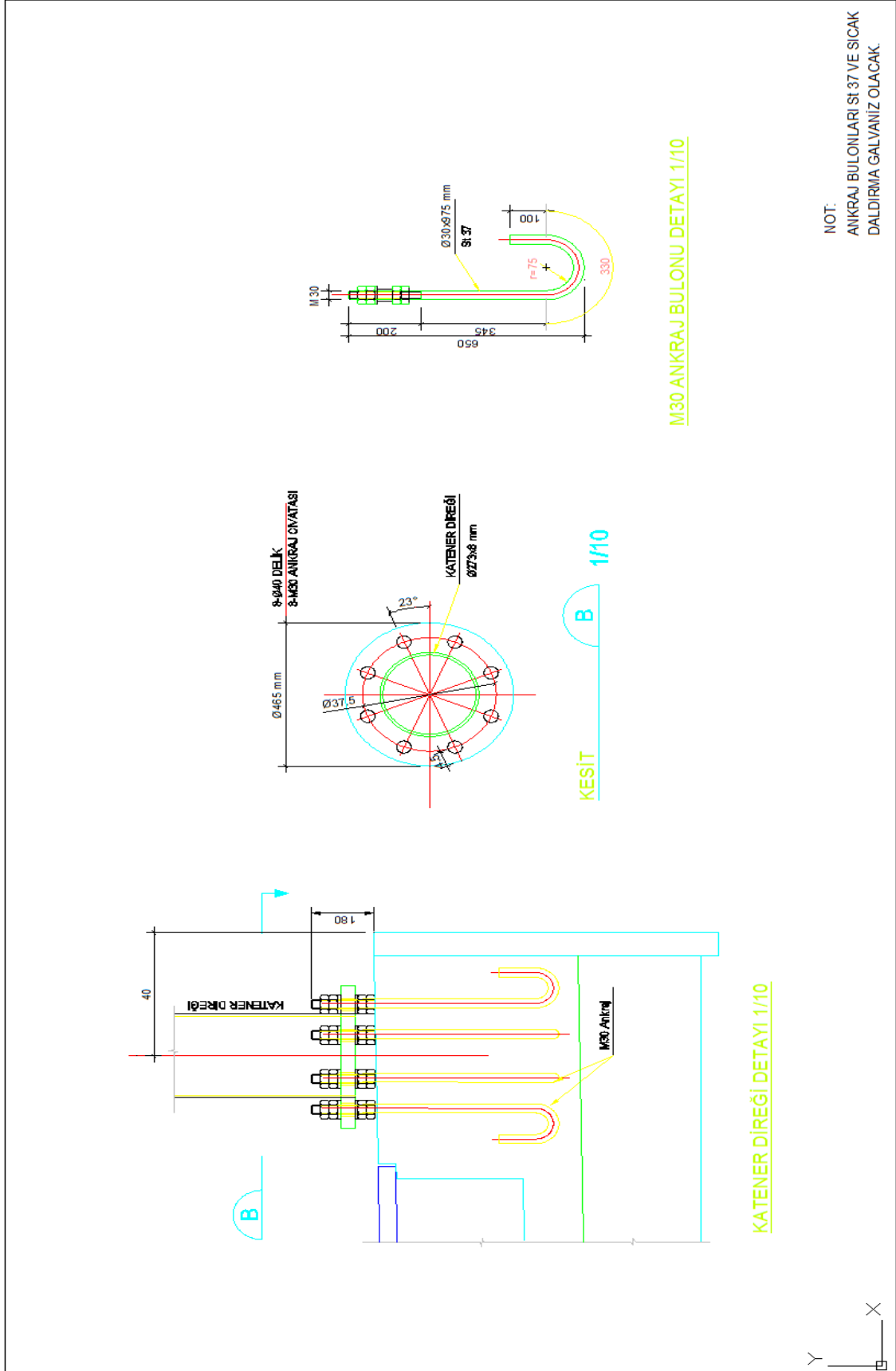
Ek-A (Devam)Elektrifikasyon tek hat besleme diyagramı sembol listesi

SEMBOLLER		KESİCİ
ANA YOL KATANERİ		YÜK AYIRICI
TALI YOL KATANERİ		MOTORLA KUMANDALI AYIRICI
ELEKTRİKSİZ YOLLAR		ELLE KUMANDALI AYIRICI
FİİDER		ELLE KUMANDALI TOPRAKLI AYIRICI
		ELLE KUMANDALI KİLİTLİ AYIRICI
		ELLE KUMANDALI ÇİFT KUTUPLU AYIRICI
TRAFO MERKEZİ		SEKSİYONMAN BÖLGE
SEKSİYON VE PARALELE KOYMA POSTASI		NÖTR-BÖLGE
SEKSİYON POSTASI		SEKSİYON İZOLATÖRÜ
NÖTR-BÖLGE POSTASI		YARDIMCI SERVİS TRAFOSU
		GERİLİM TRAFOSU
		AKIM TRAFOSU

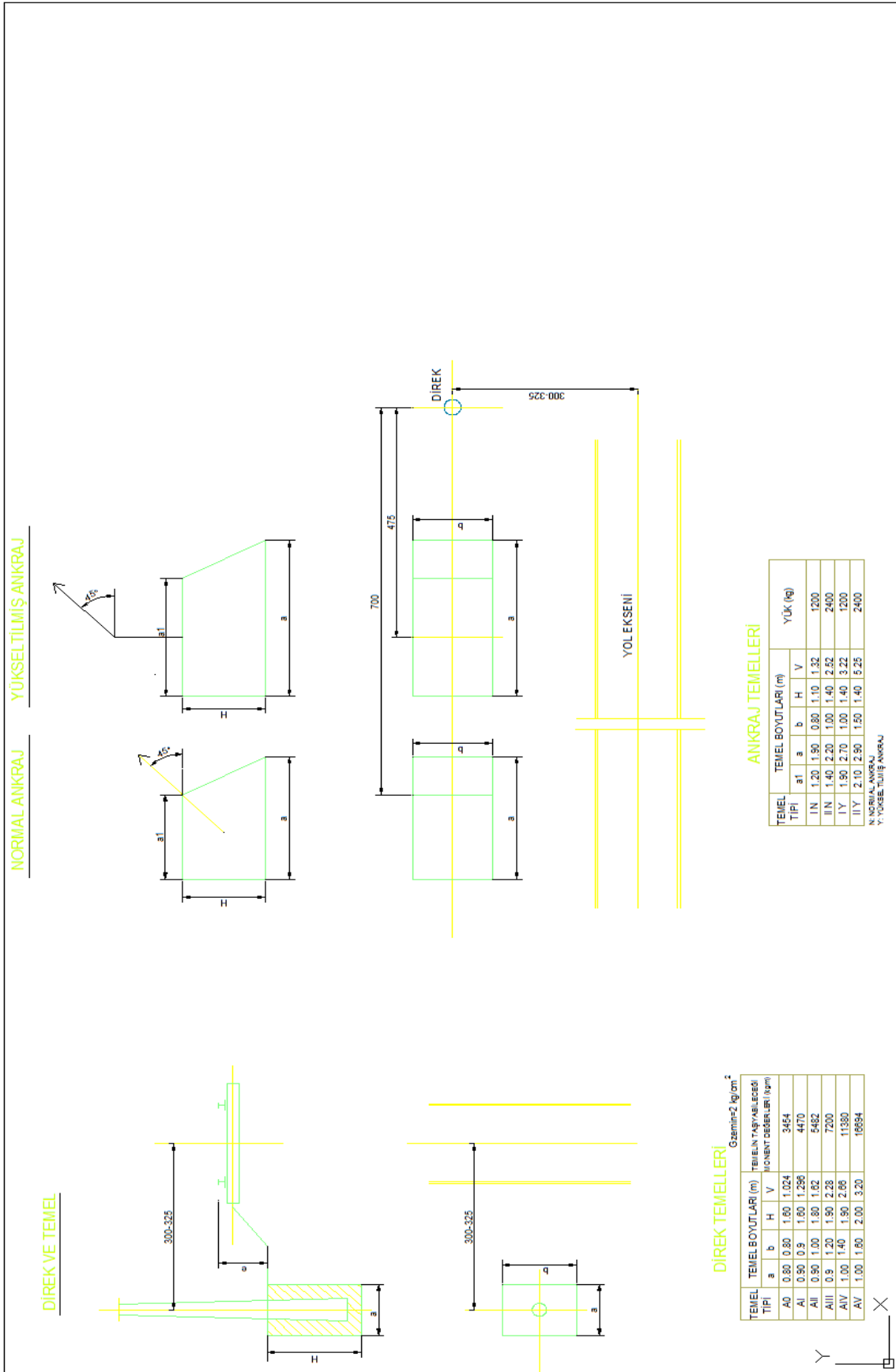
Ek-B Köprü ve viyadükleri için çelik boru detayları-1



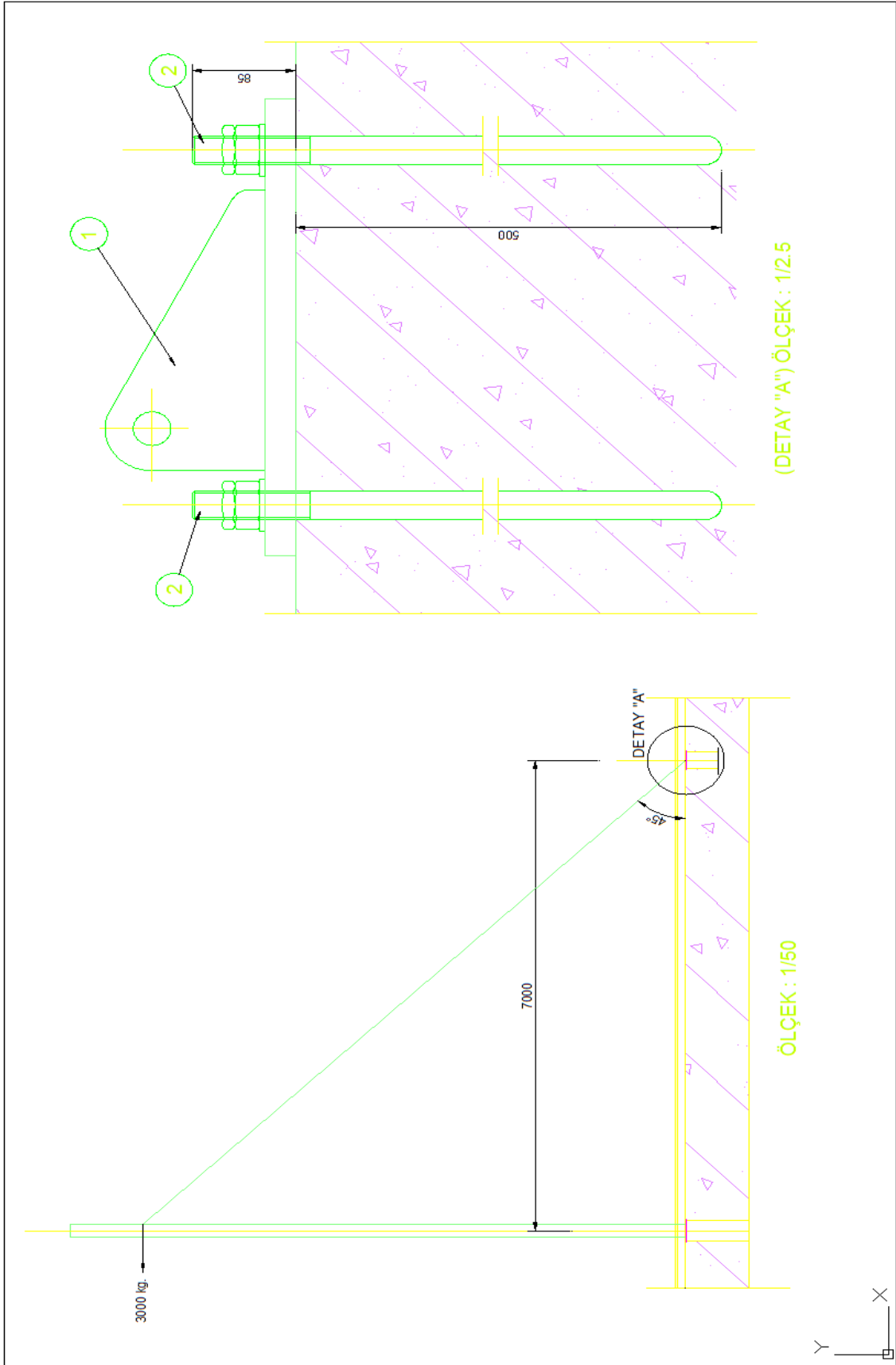
Ek-B (Devam) Köprü ve viyadükleri için çelik boru detayları-2



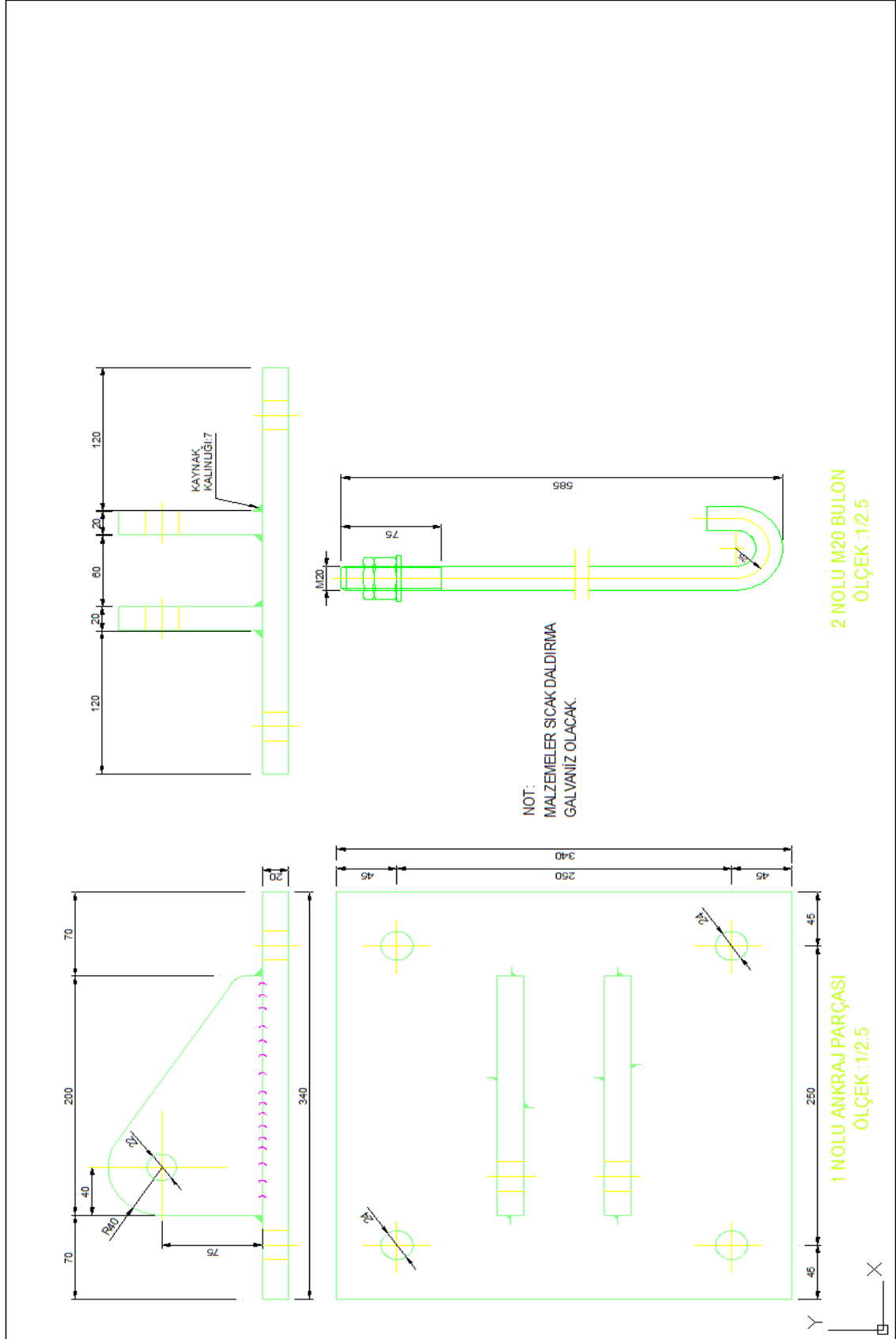
Ek-B (Devam) Katener sistemi direk ve ankraj temelleri



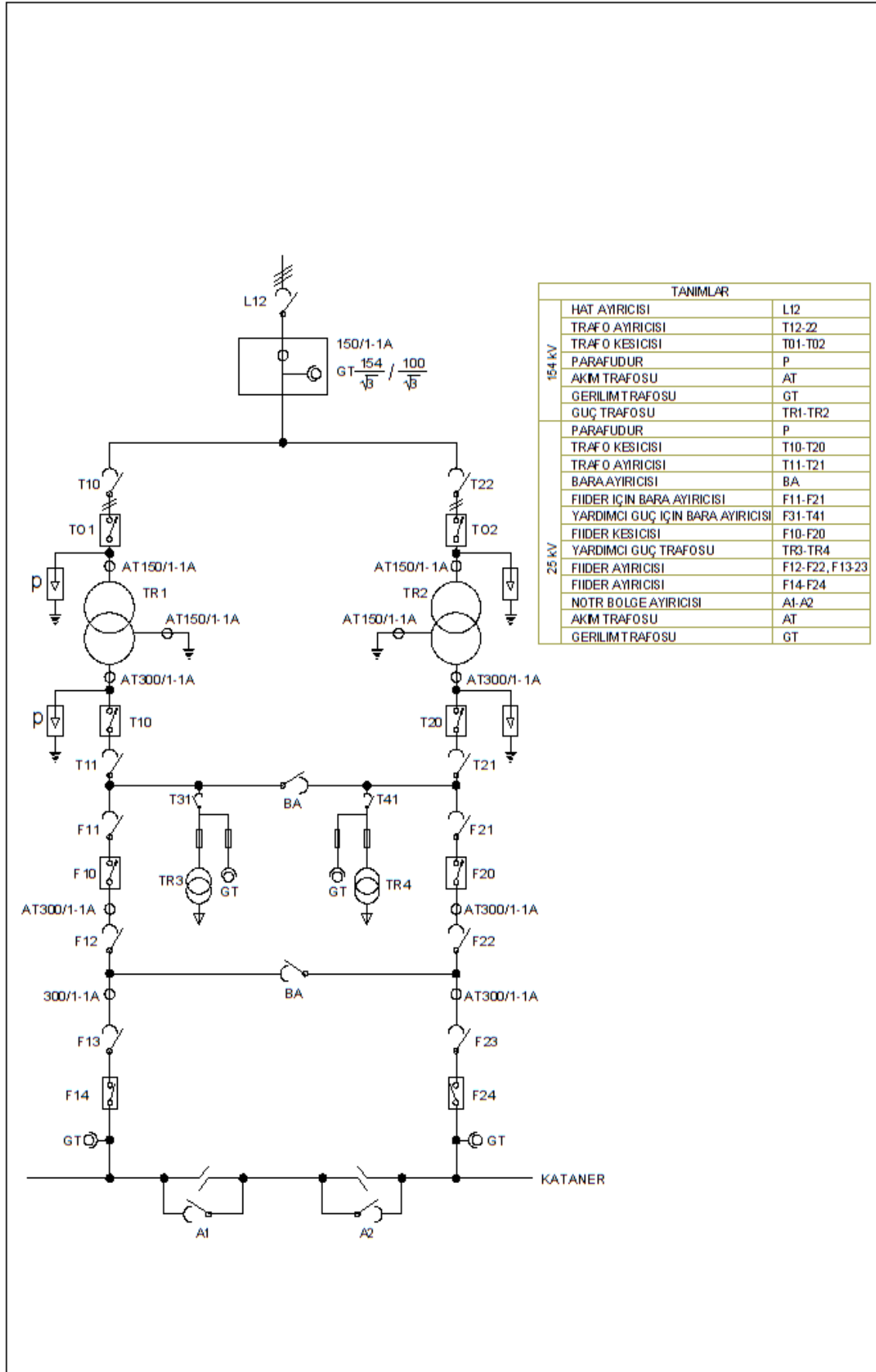
Ek-B (Devam) Köprü ve viyadüklerde ankraj sistemi-1

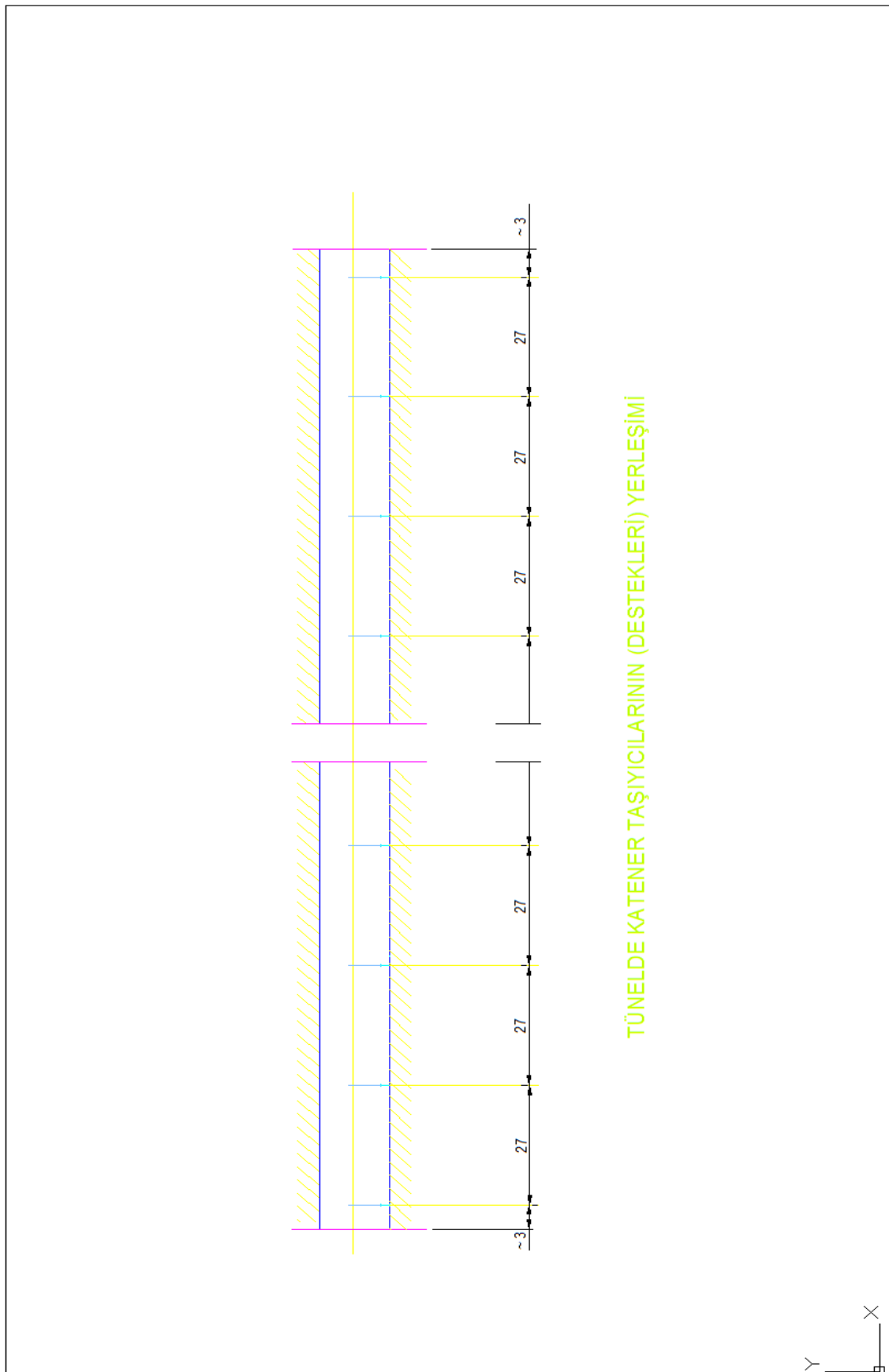


Ek-B (Devam) Köprü ve viyadüklerde ankraj sistemi -2

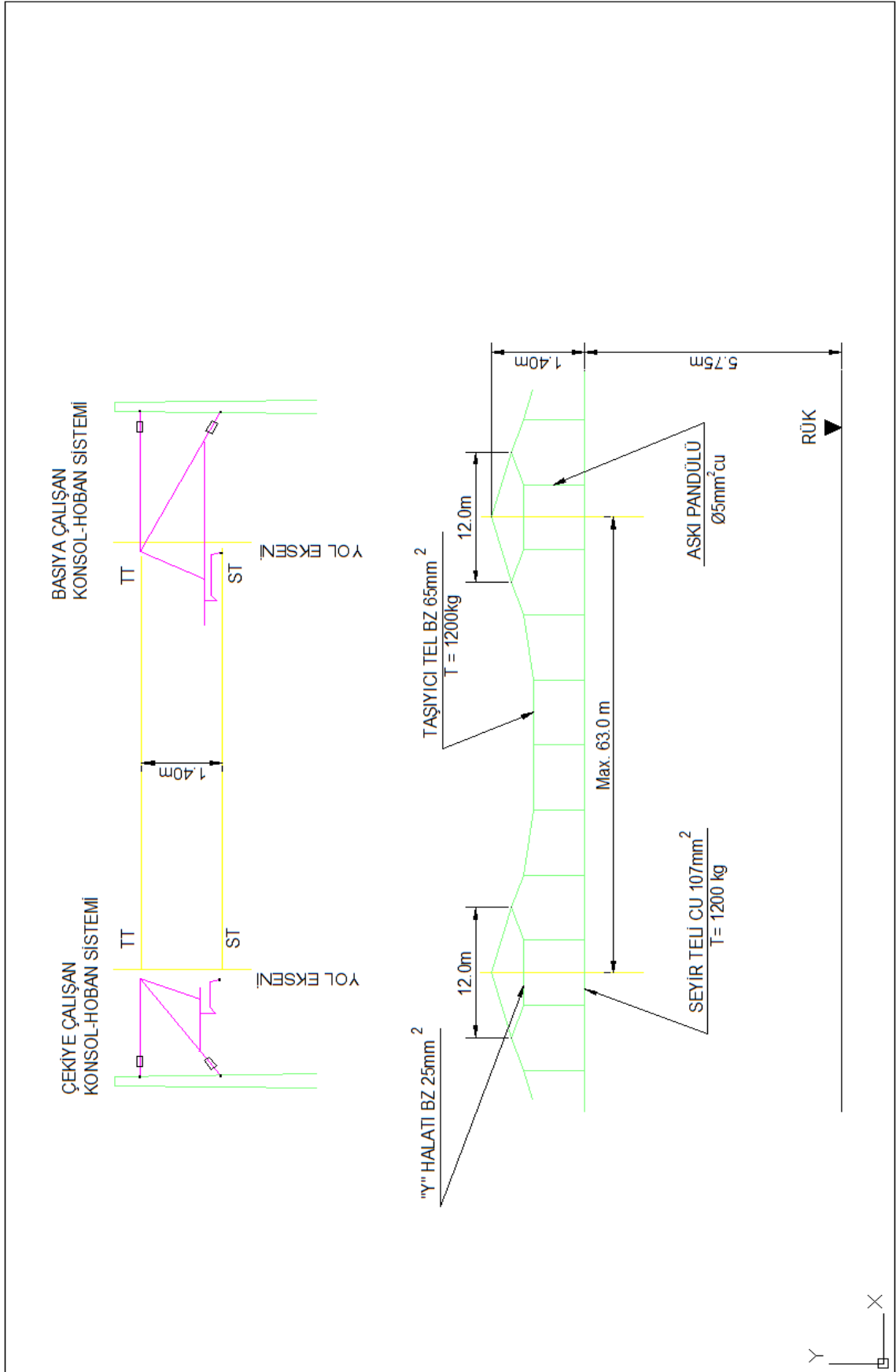


Ek-B (Devam) Trafo merkezi tek hat şeması

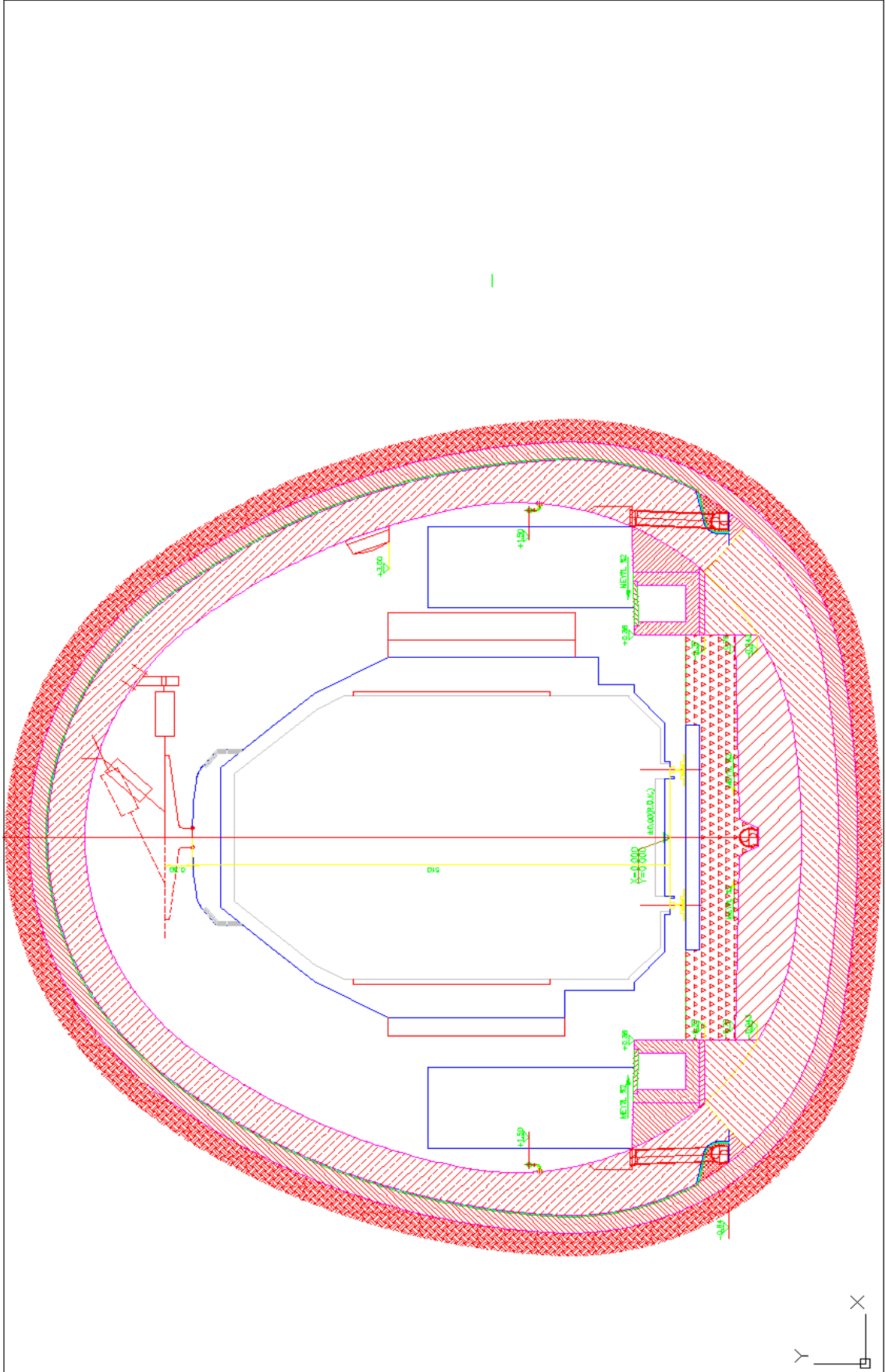




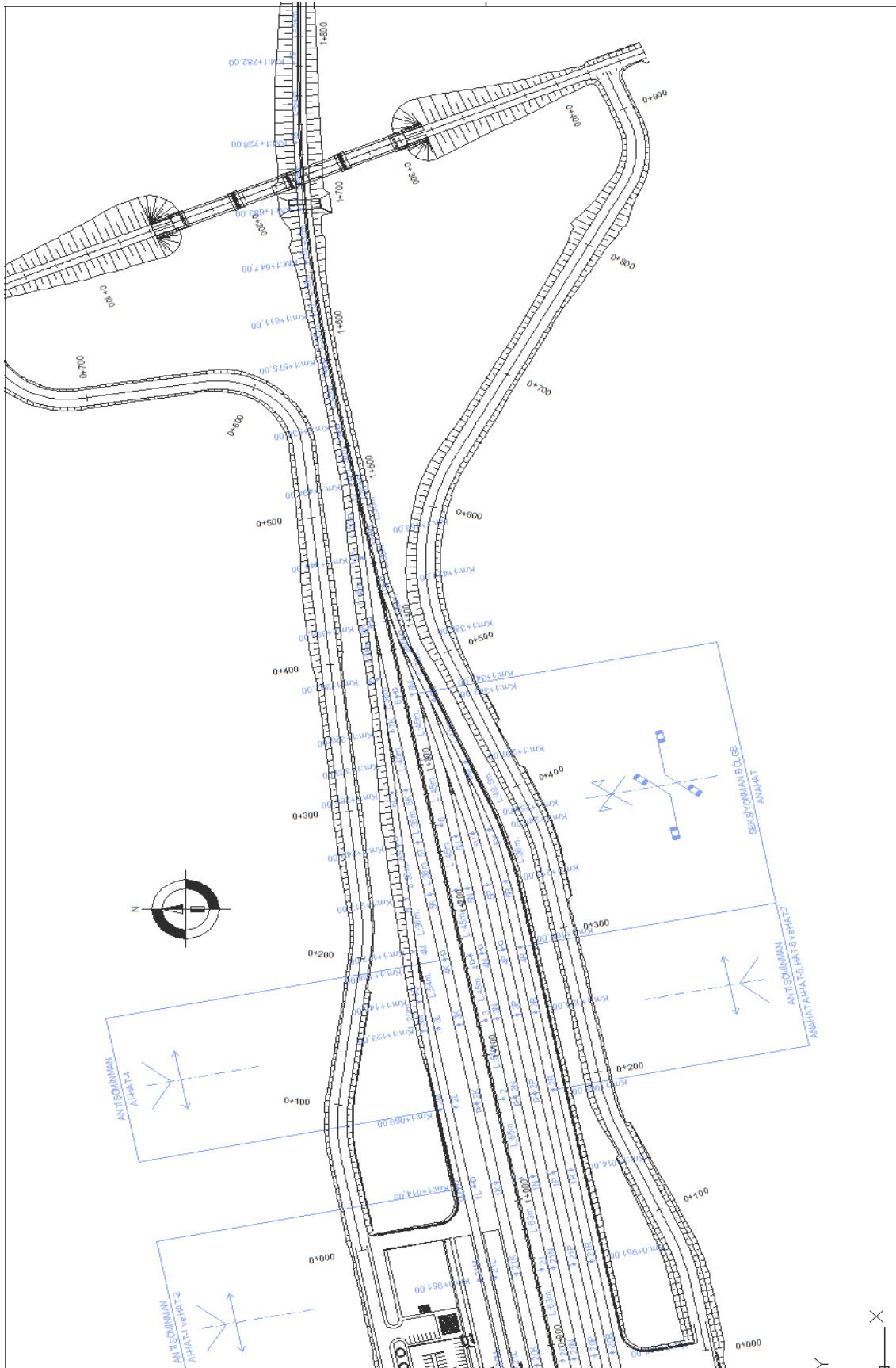
Ek-B (Devam) Açık hatta kataner sistemi



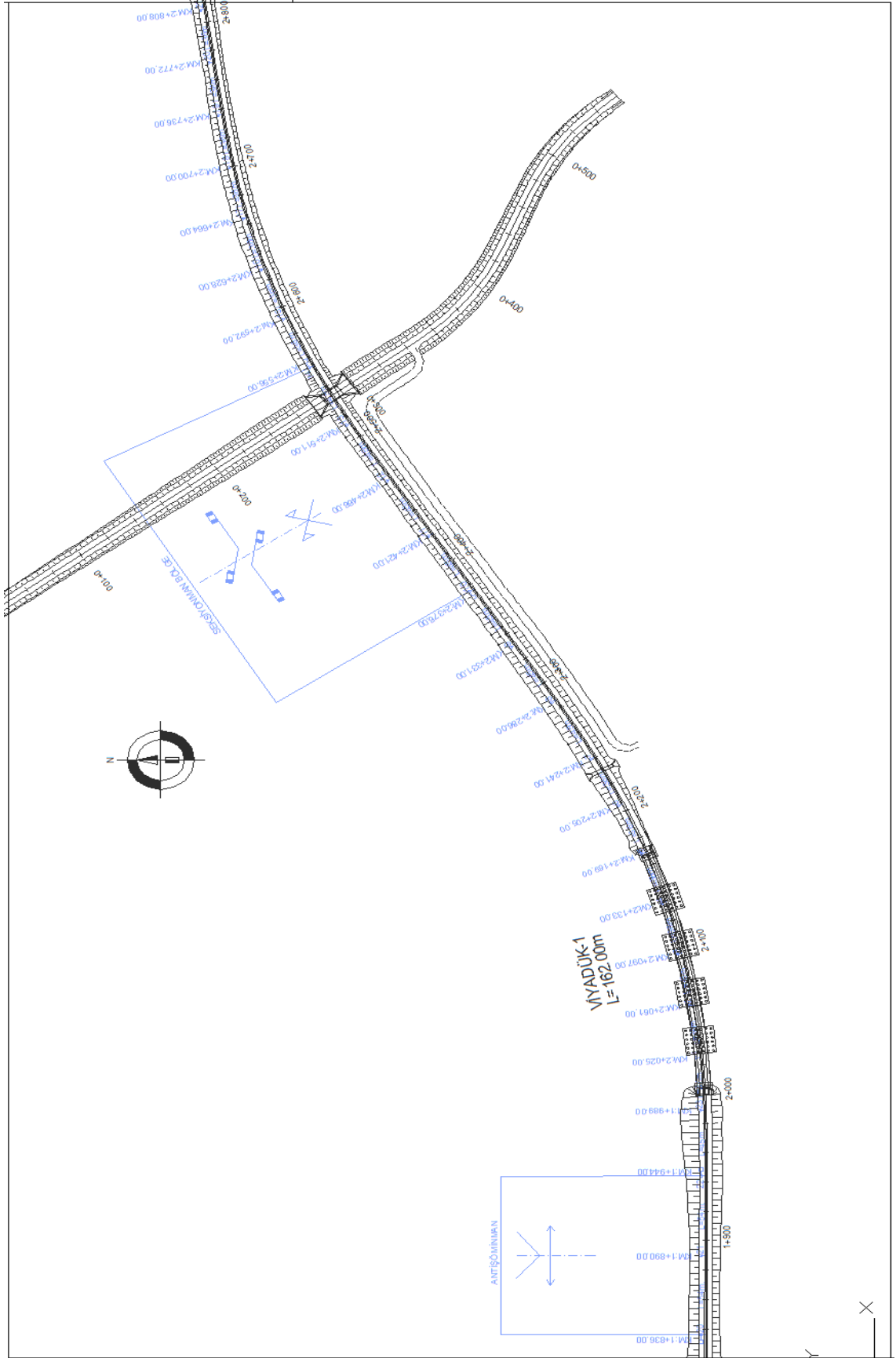
Ek-B (Devam)Tünelde kataner sistemi



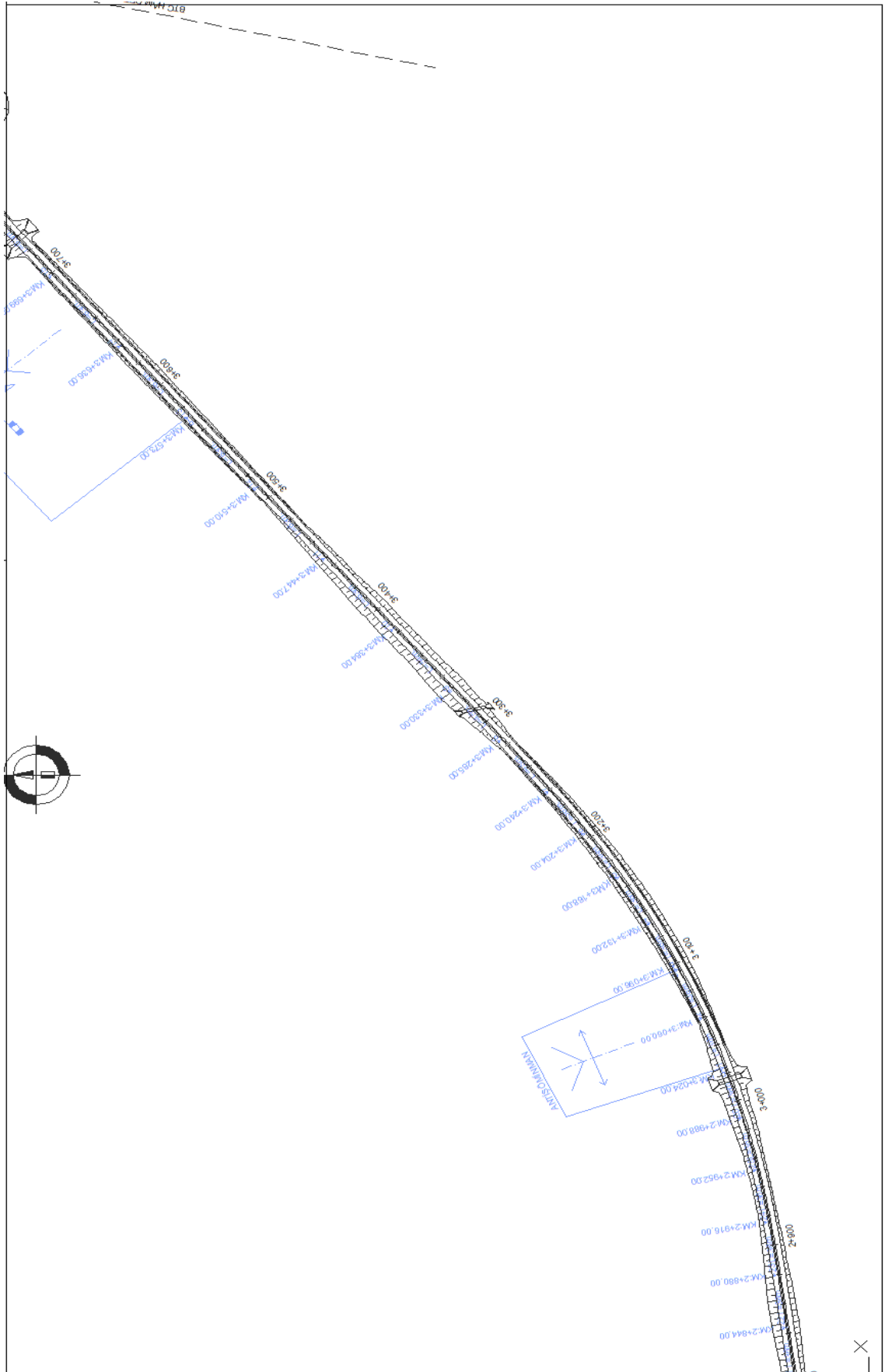
Ek-C (Devam) Katener planı 0+888,00-1+820,00 km arası



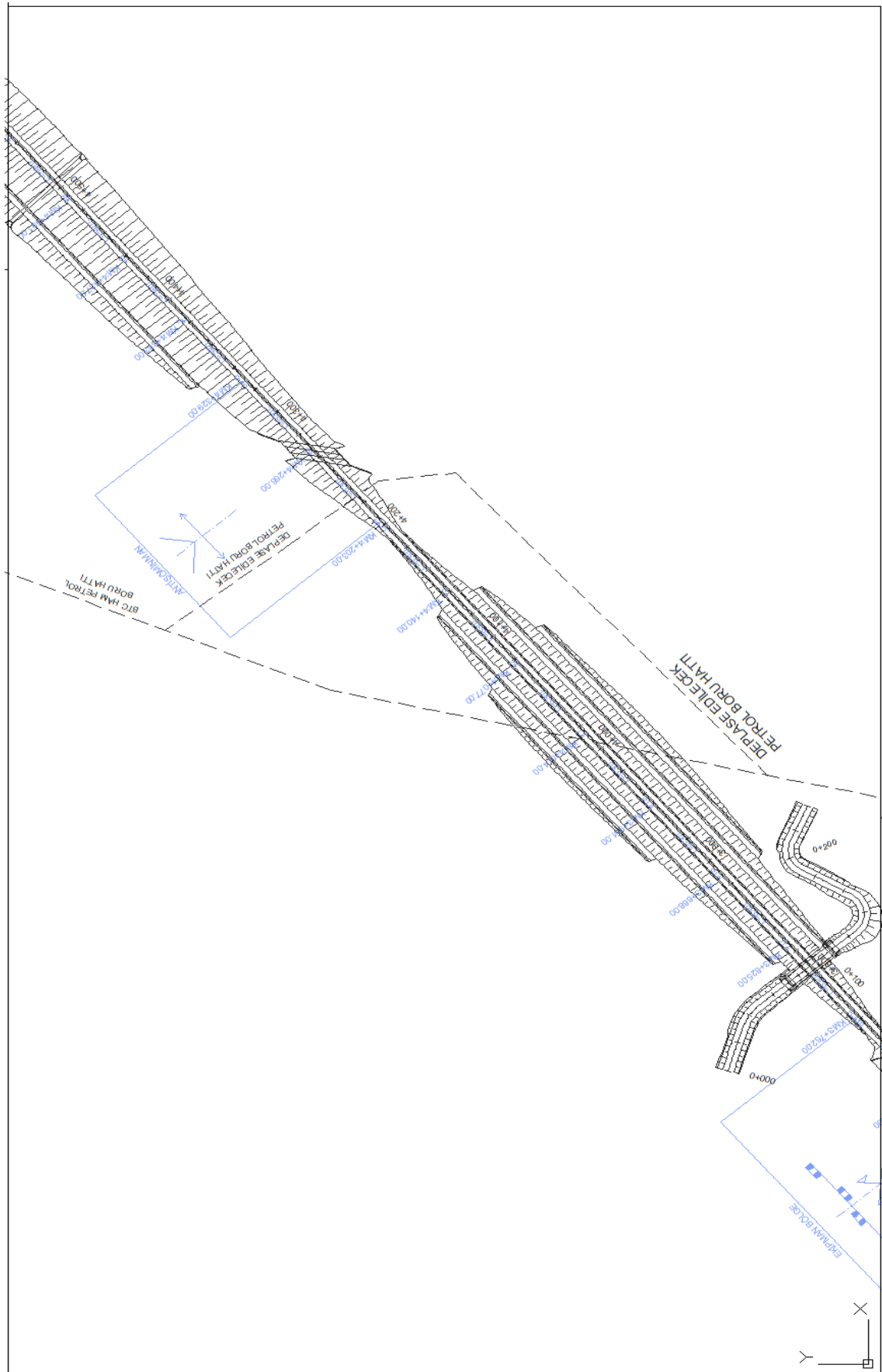
Ek-C (Devam) Katener planı 1+820,00-2+808,00 km arası



Ek-C (Devam) Katener planı 2+808,00 -3+730,00 km arası



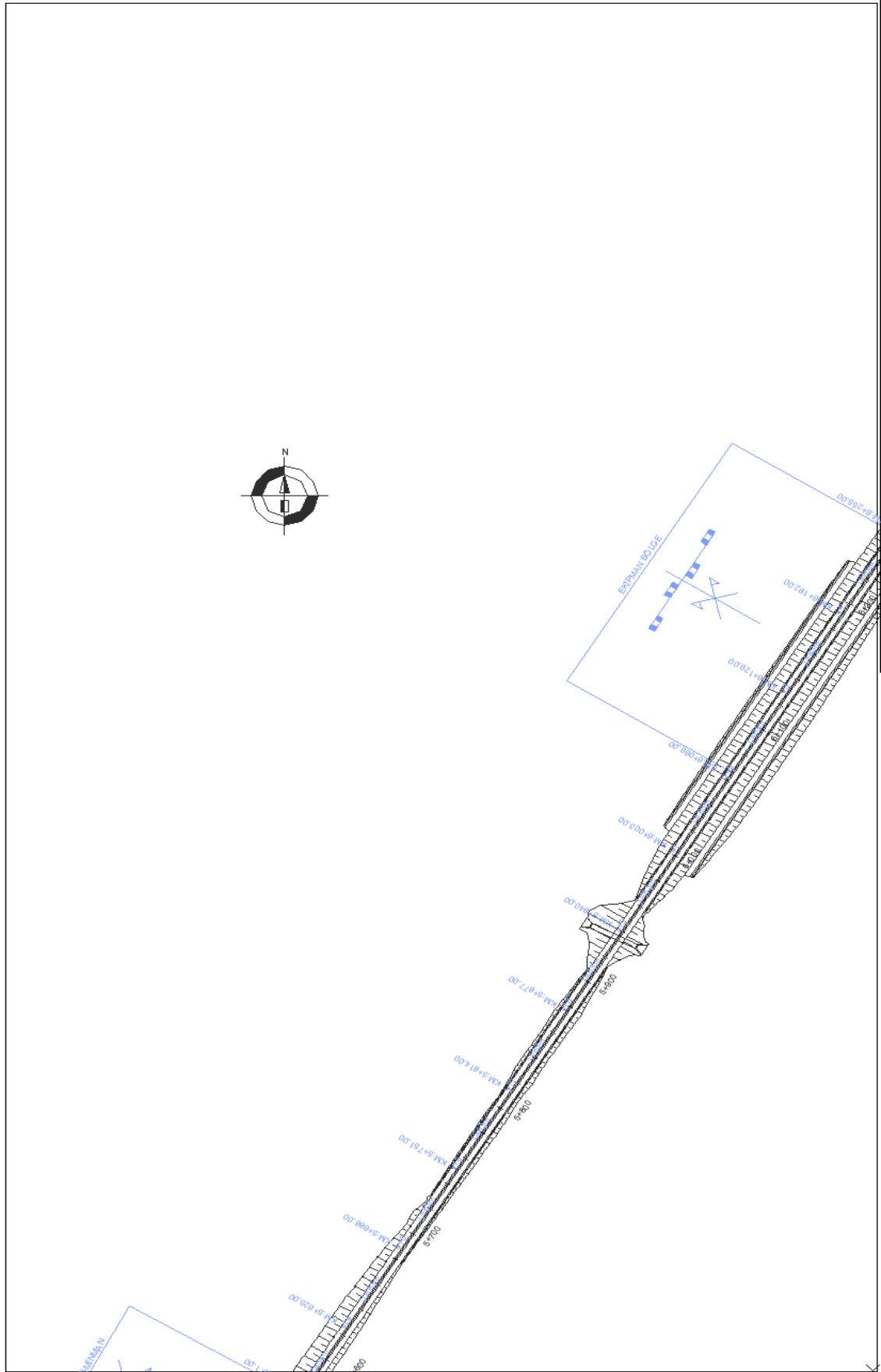
Ek-C (Devam) Katener planı 3+730,00 -4+545,00 km arası



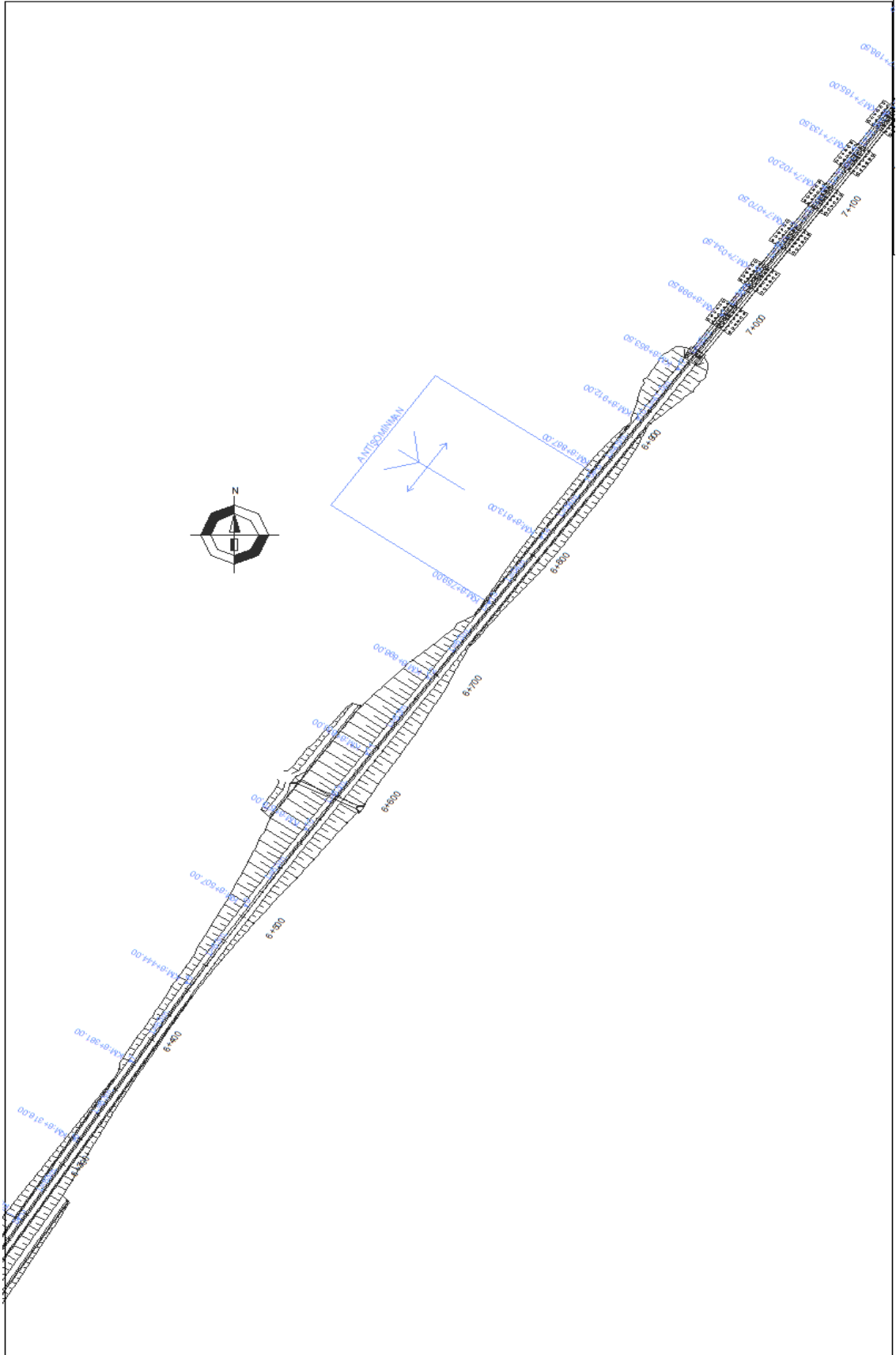
Ek-C (Devam) Katener planı 4+545,00 -5+600,00 km arası



Ek-C (Devam) Katener planı 5+600,00 -6+210,00 km arası



Ek-C (Devam) Katener planı 6+210,00 -7+165,00 km arası

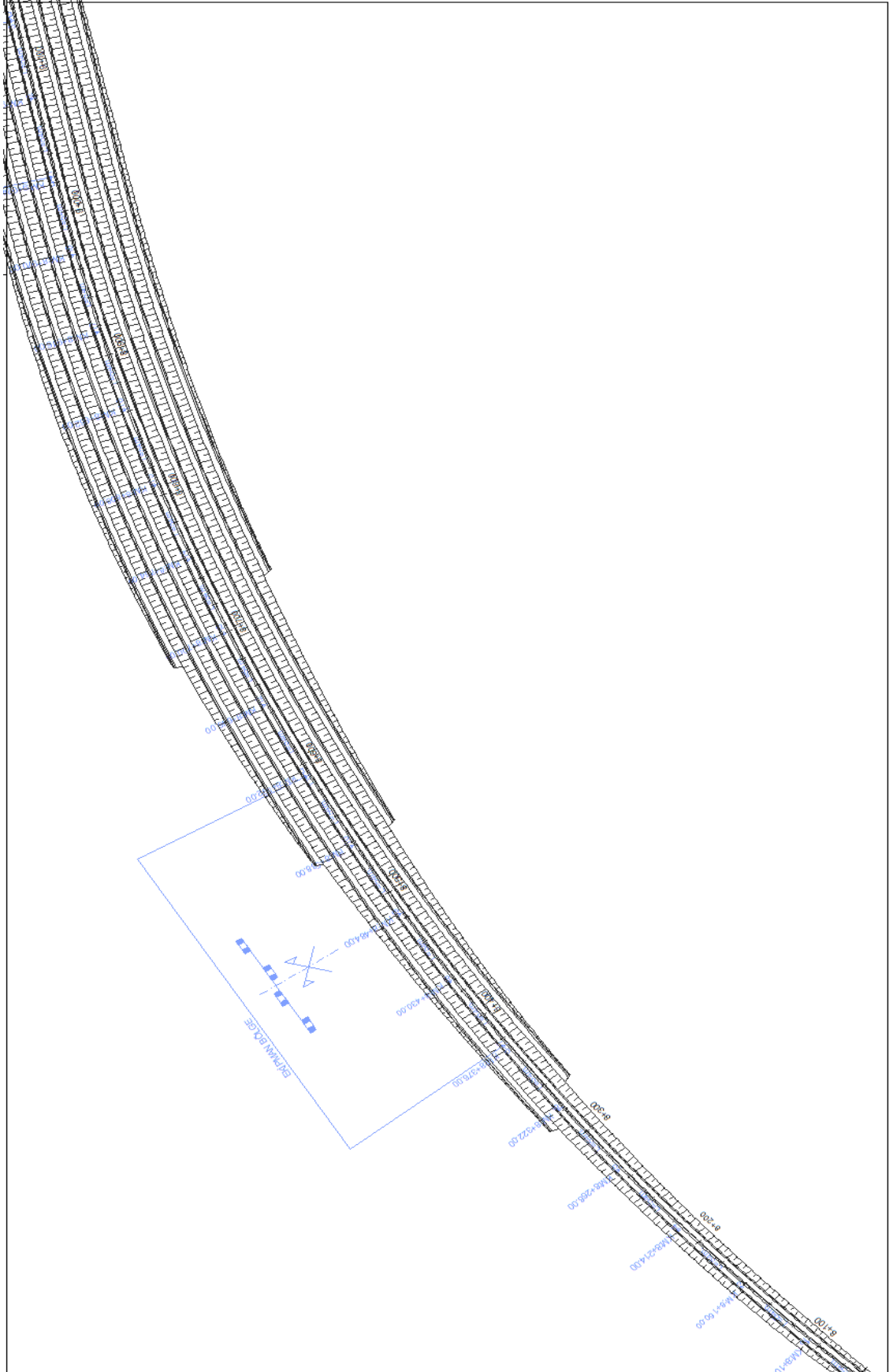


Technical drawing of a railway track layout. The drawing shows a bridge structure (VIADÜK-2) and a station area (BIRHAN POLICE). The track alignment is shown with stationing and track centerlines. A north arrow is present in the upper right corner.

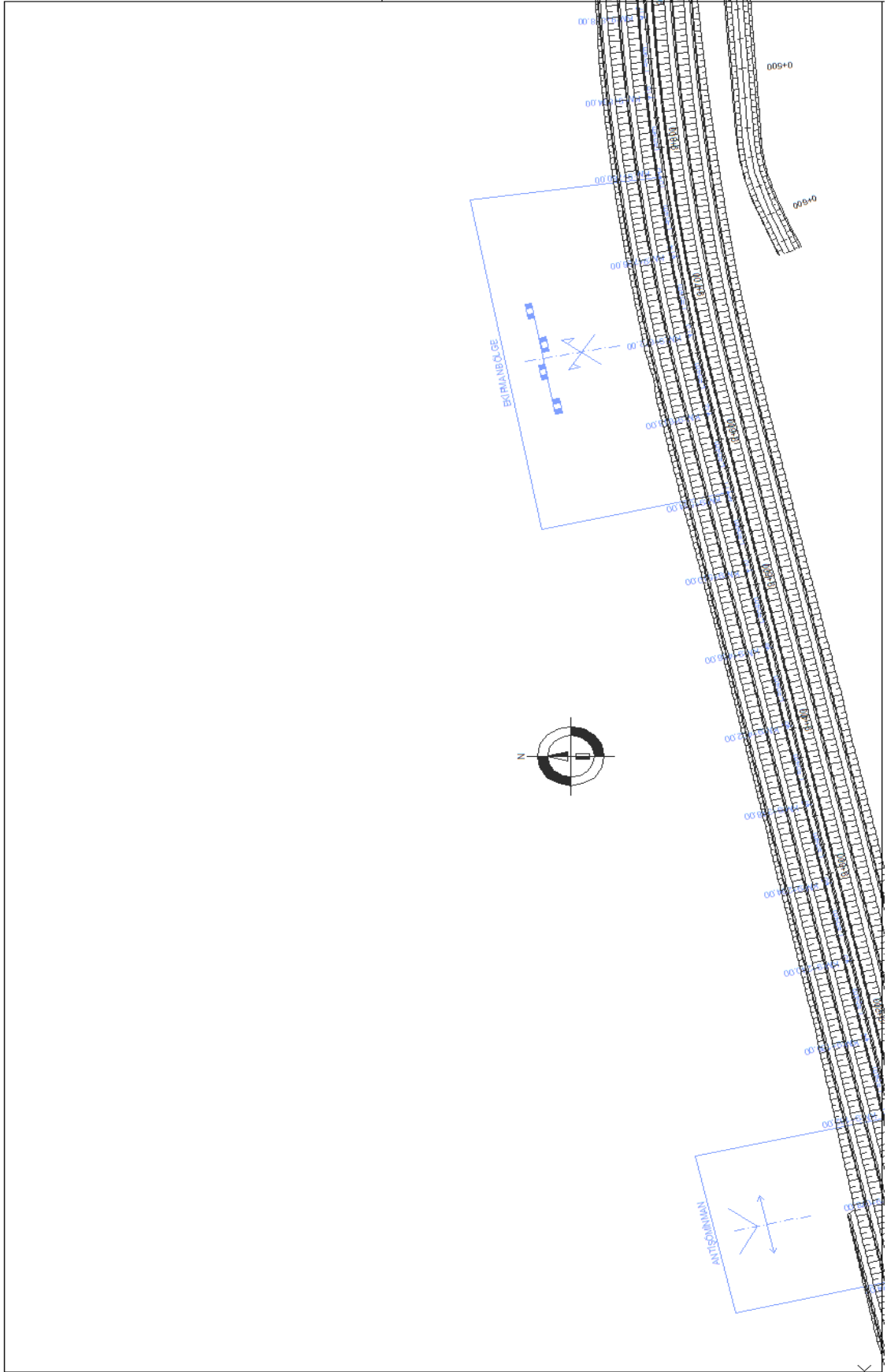
Key features and labels:

- VIADÜK-2**: Bridge structure, length $L=380\text{ m}$.
- BIRHAN POLICE**: Station area.
- ANTİTOSUNMAN**: Directional label.
- Stationing**: Various points along the track are labeled with stationing, including $0+000.00$, $0+100.00$, $0+200.00$, $0+300.00$, $0+400.00$, $0+500.00$, $0+600.00$, $0+700.00$, $0+800.00$, $0+900.00$, $0+1000.00$, $0+1100.00$, $0+1200.00$, $0+1300.00$, $0+1400.00$, $0+1500.00$, $0+1600.00$, $0+1700.00$, $0+1800.00$, $0+1900.00$, $0+2000.00$, $0+2100.00$, $0+2200.00$, $0+2300.00$, $0+2400.00$, $0+2500.00$, $0+2600.00$, $0+2700.00$, $0+2800.00$, $0+2900.00$, $0+3000.00$, $0+3100.00$, $0+3200.00$, $0+3300.00$, $0+3400.00$, $0+3500.00$, $0+3600.00$, $0+3700.00$, $0+3800.00$, $0+3900.00$, $0+4000.00$, $0+4100.00$, $0+4200.00$, $0+4300.00$, $0+4400.00$, $0+4500.00$, $0+4600.00$, $0+4700.00$, $0+4800.00$, $0+4900.00$, $0+5000.00$, $0+5100.00$, $0+5200.00$, $0+5300.00$, $0+5400.00$, $0+5500.00$, $0+5600.00$, $0+5700.00$, $0+5800.00$, $0+5900.00$, $0+6000.00$, $0+6100.00$, $0+6200.00$, $0+6300.00$, $0+6400.00$, $0+6500.00$, $0+6600.00$, $0+6700.00$, $0+6800.00$, $0+6900.00$, $0+7000.00$, $0+7100.00$, $0+7200.00$, $0+7300.00$, $0+7400.00$, $0+7500.00$, $0+7600.00$, $0+7700.00$, $0+7800.00$, $0+7900.00$, $0+8000.00$, $0+8100.00$, $0+8200.00$, $0+8300.00$, $0+8400.00$, $0+8500.00$, $0+8600.00$, $0+8700.00$, $0+8800.00$, $0+8900.00$, $0+9000.00$, $0+9100.00$, $0+9200.00$, $0+9300.00$, $0+9400.00$, $0+9500.00$, $0+9600.00$, $0+9700.00$, $0+9800.00$, $0+9900.00$, $0+10000.00$.
- North Arrow**: Located in the upper right corner, pointing towards the top of the page.

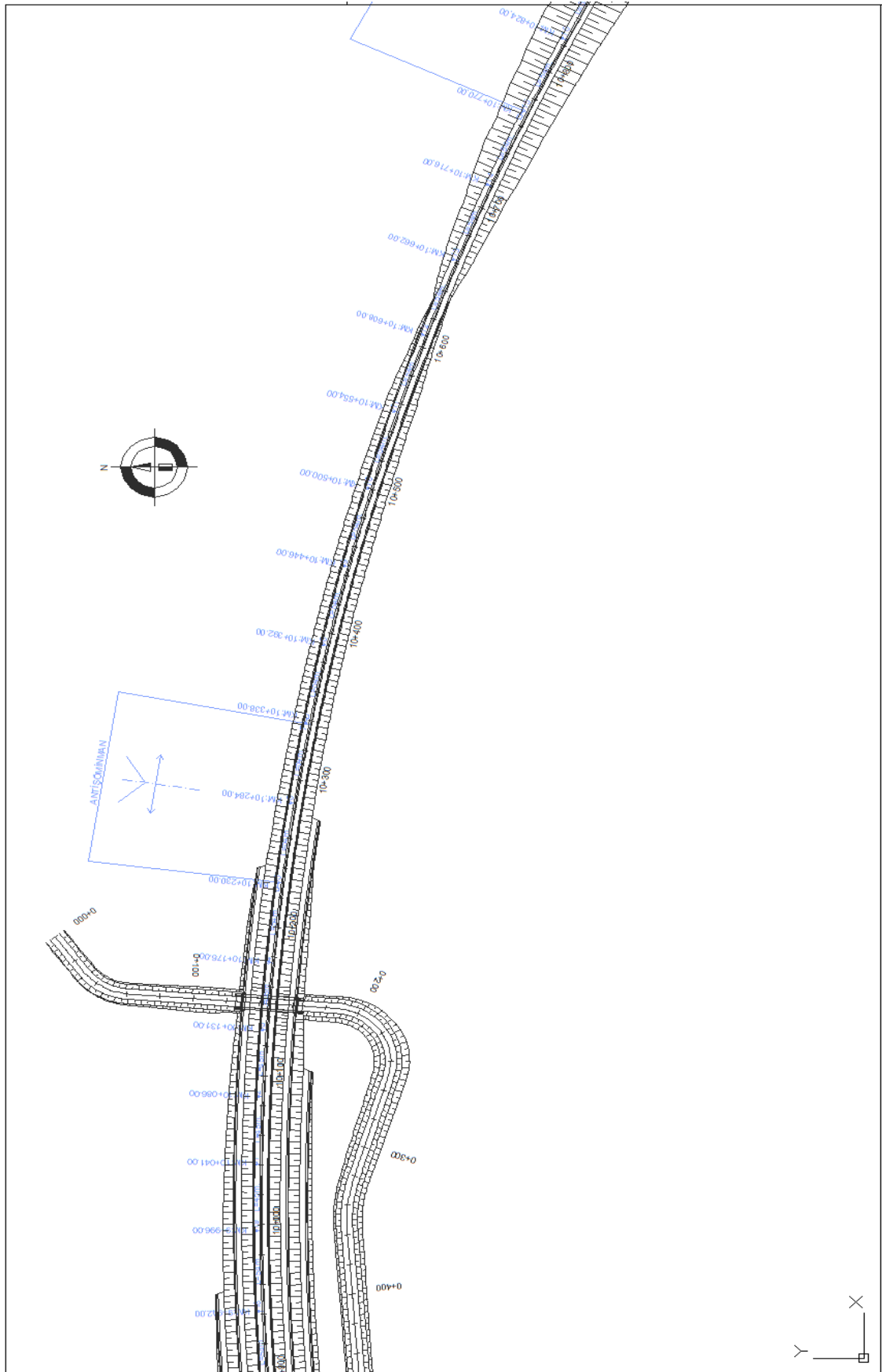
Ek-C (Devam) Katener planı 8+075,00 -9+132,00 km arası



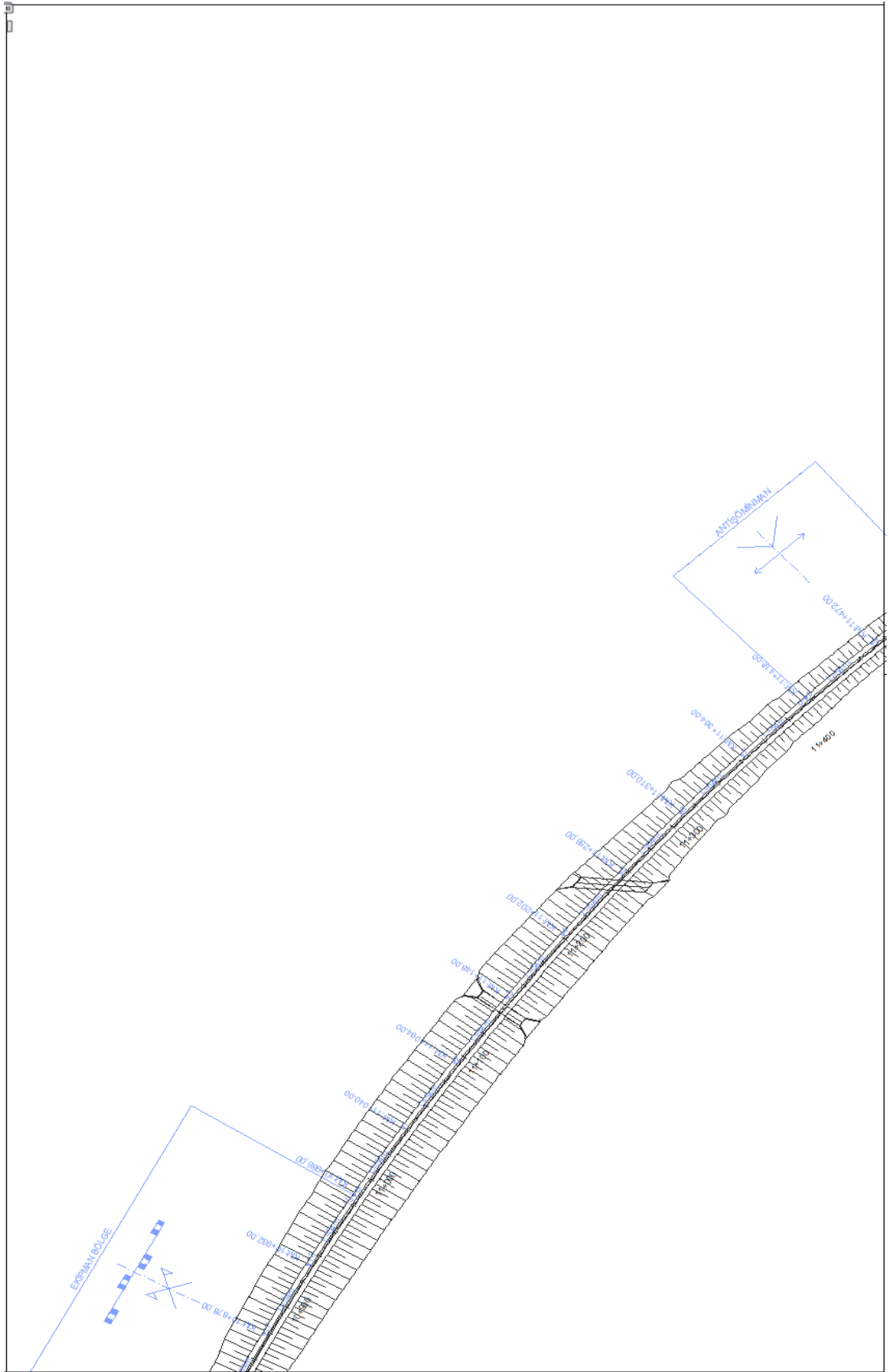
Ek-C (Devam) Katener planı 9+132,00 -9+900,00 km arası



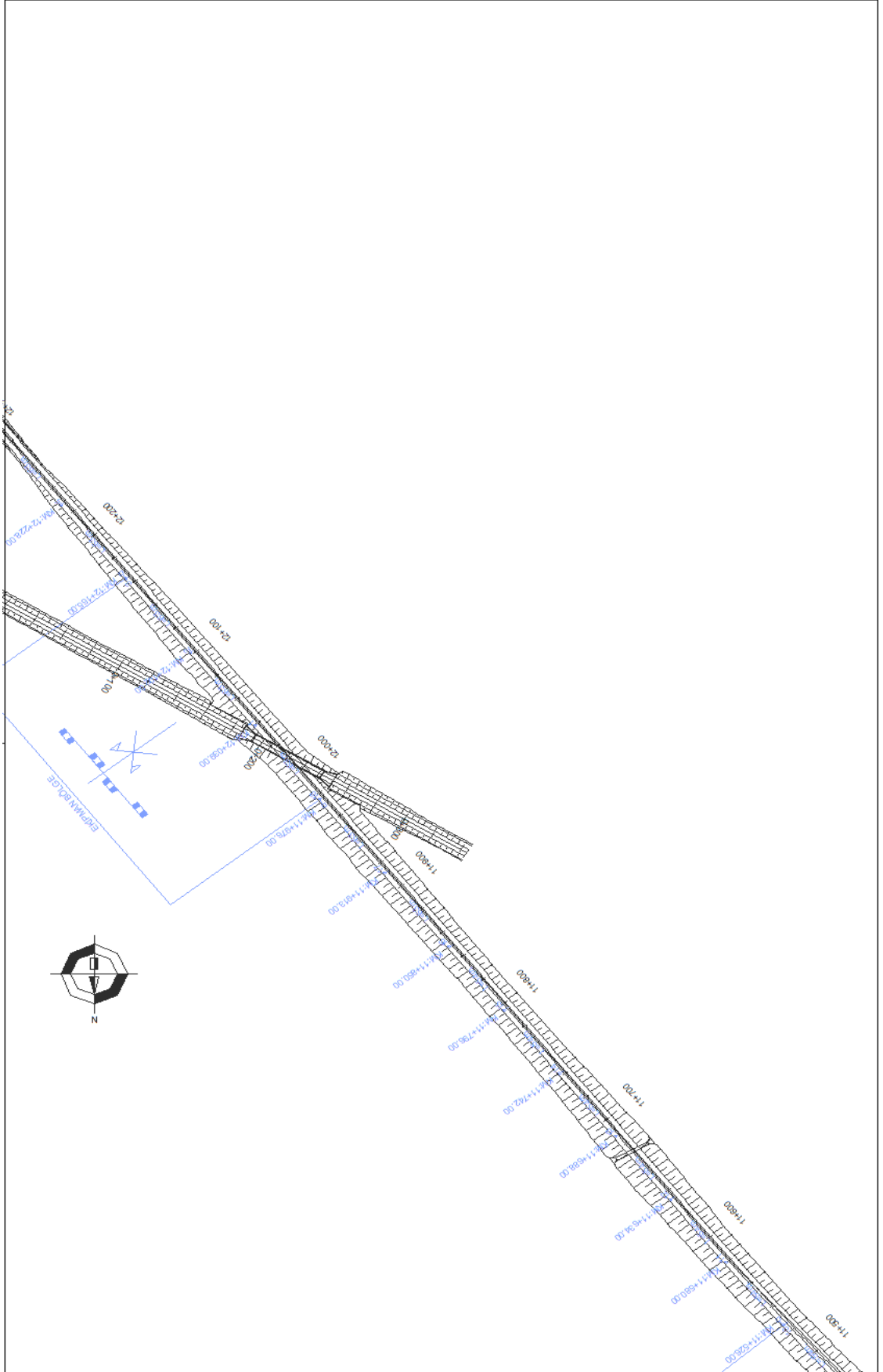
Ek-C (Devam) Katener planı 9+900,00 -10+850,00 km arası



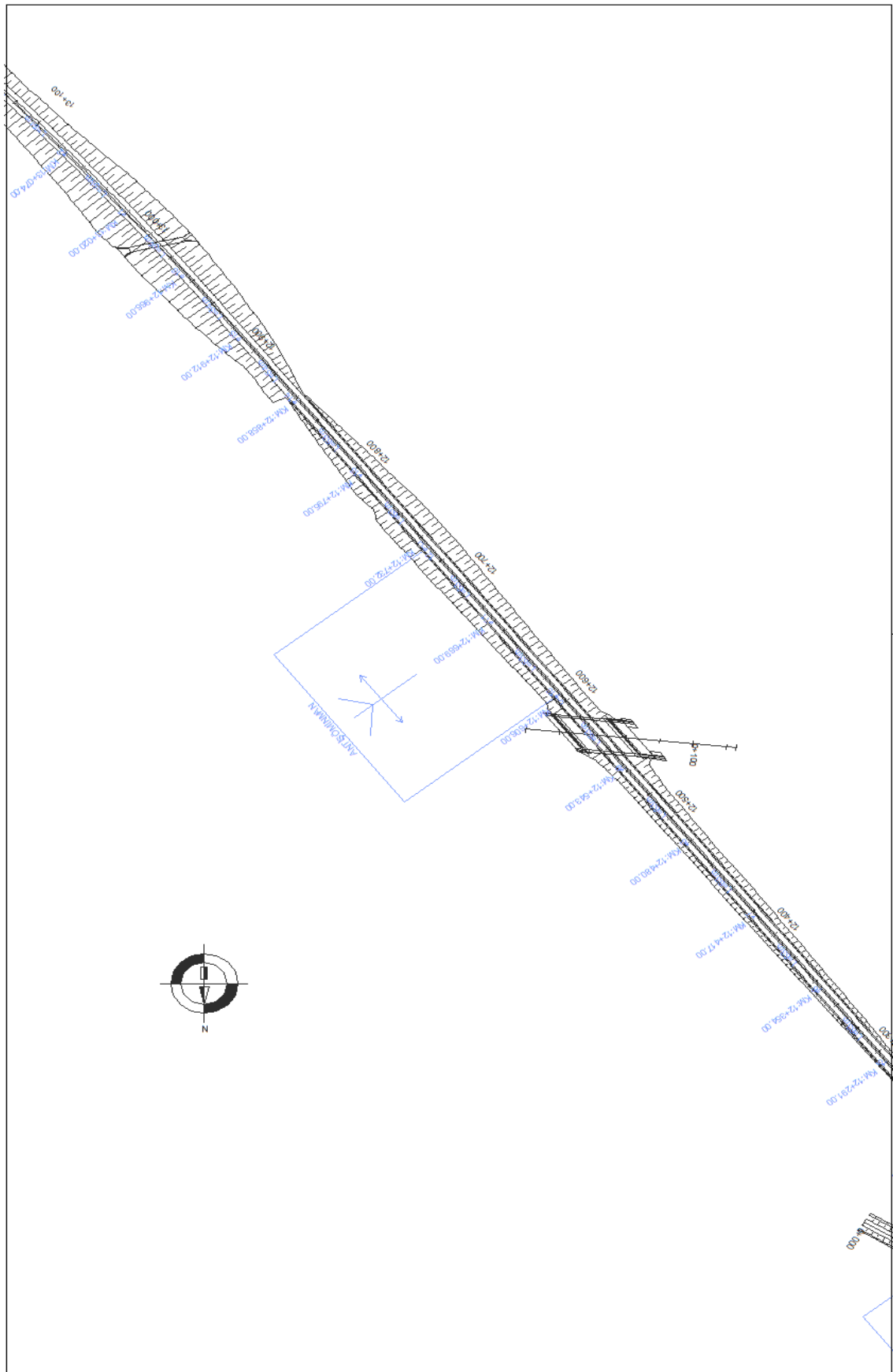
Ek-C (Devam) Katener planı 10+850,00 -11+490,00 km arası



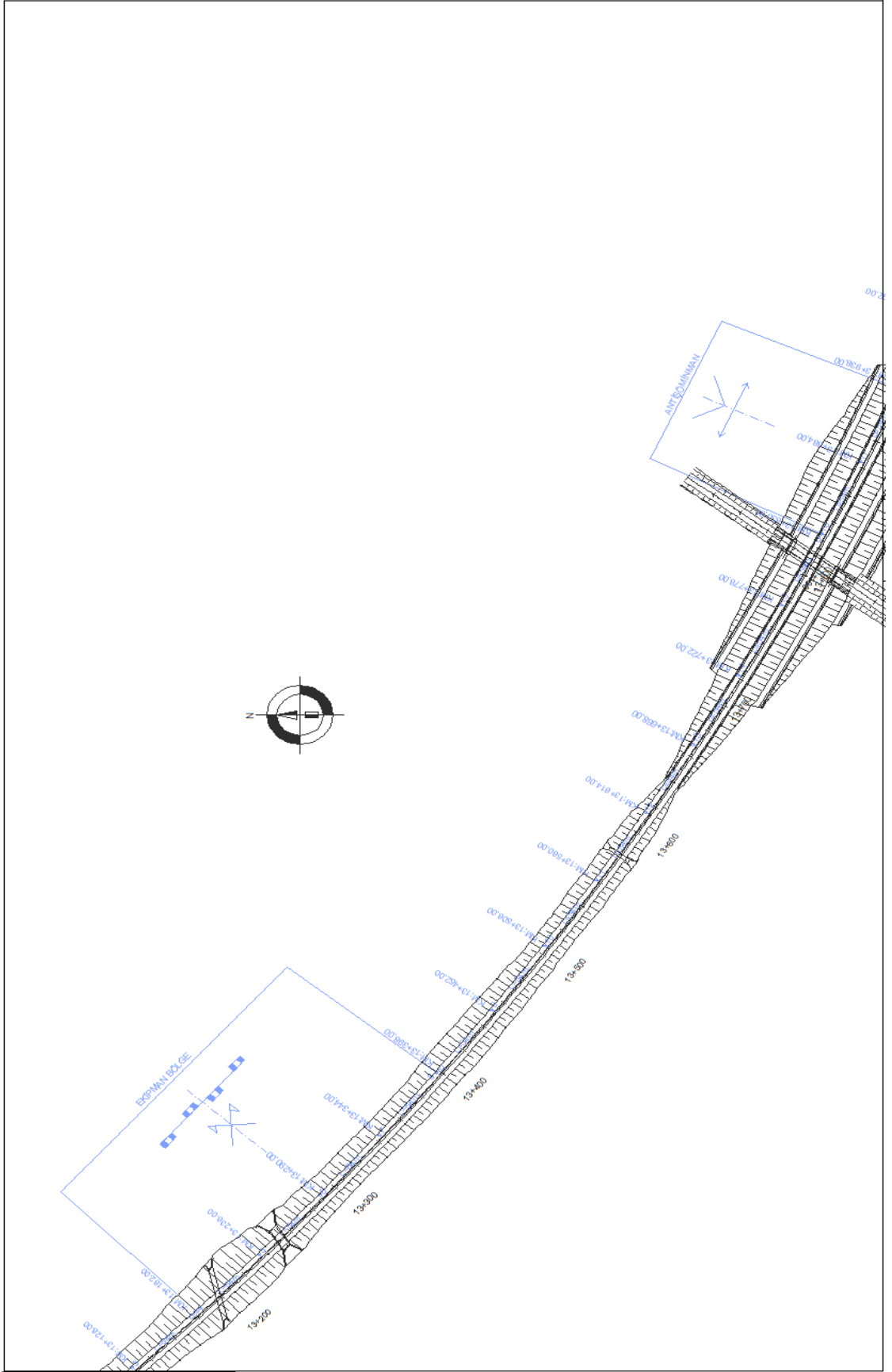
Ek-C (Devam) Katener planı 11+490,00 -12+291,00 km arası



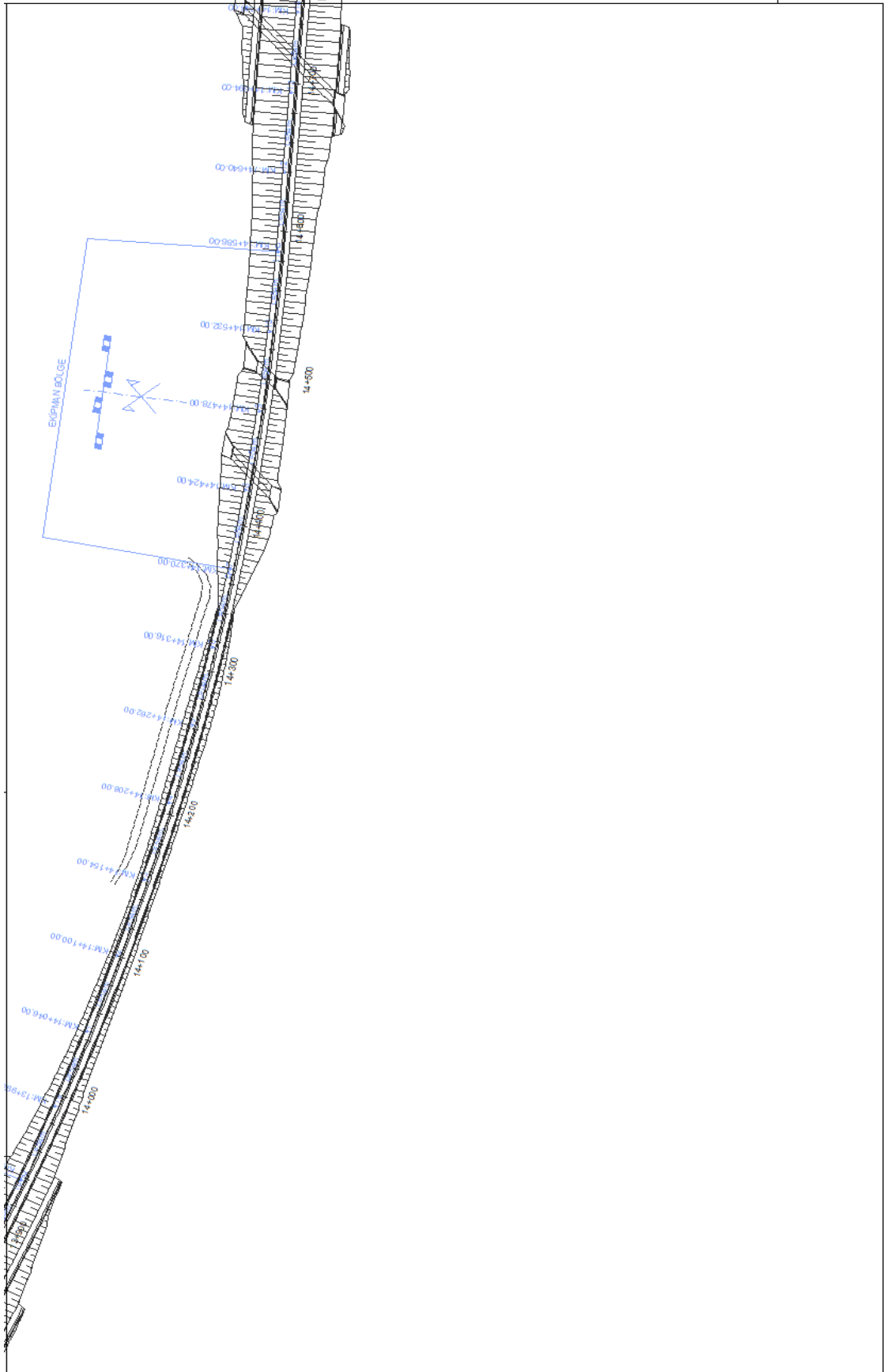
Ek-C (Devam) Katener planı 12+291,00 -13+128,00 km arası



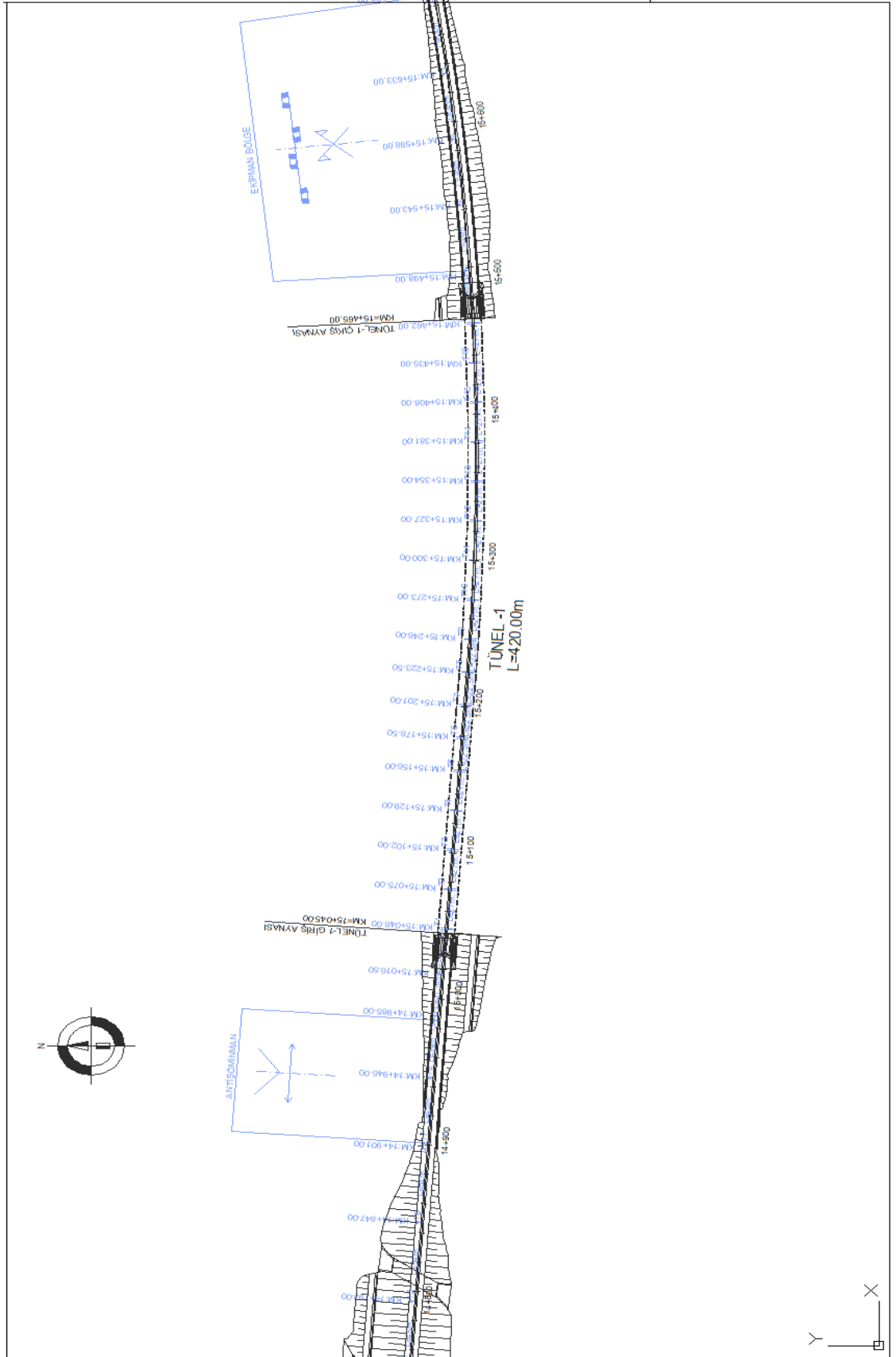
Ek-C (Devam) Katener planı 13+128,00 -13+900,00 km arası



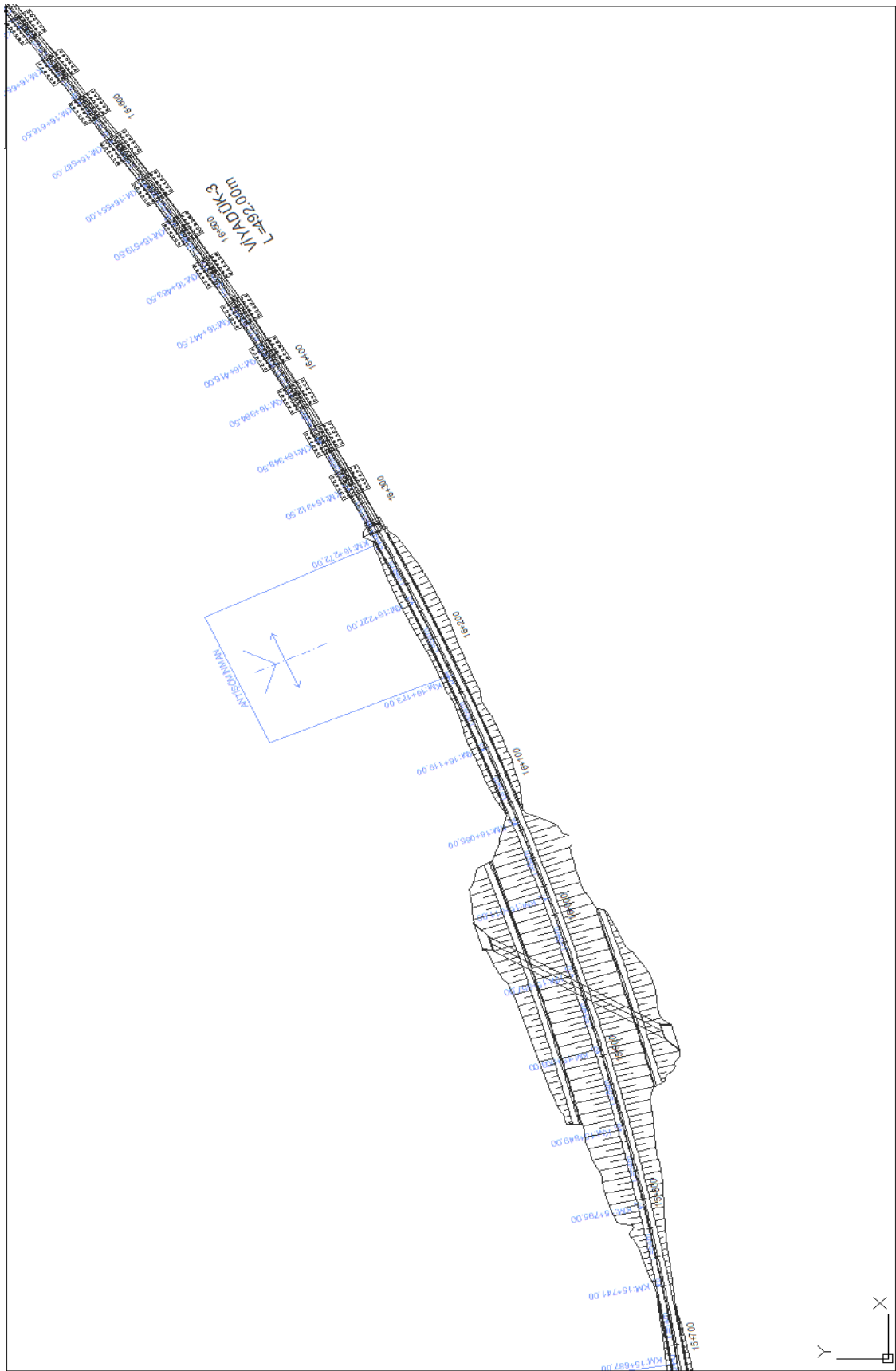
Ek-C (Devam) Katener planı 13+900,00 -14+750,00 km arası



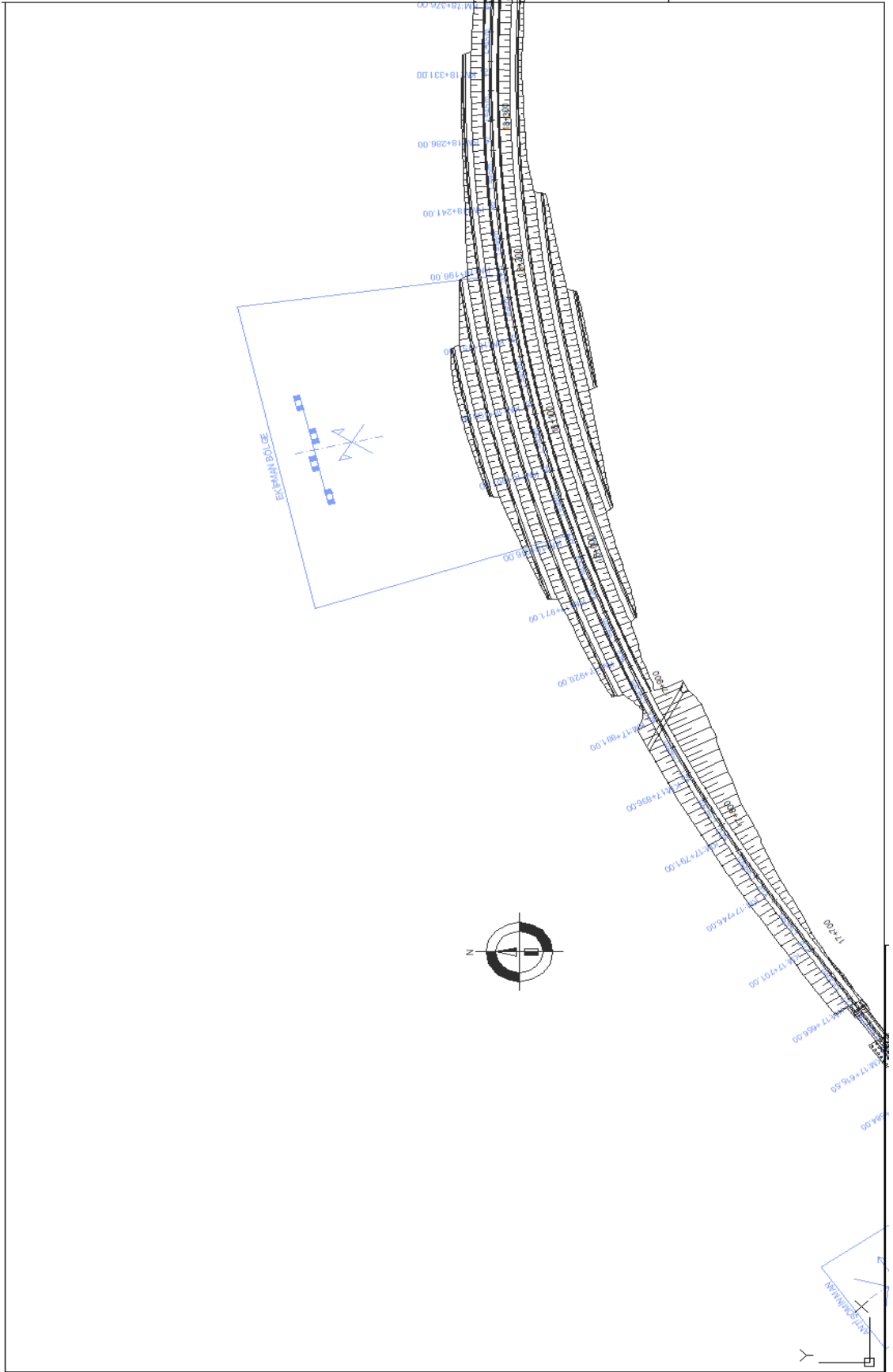
Ek-C (Devam) Katener planı 14+750,00 -15+685,00 km arası



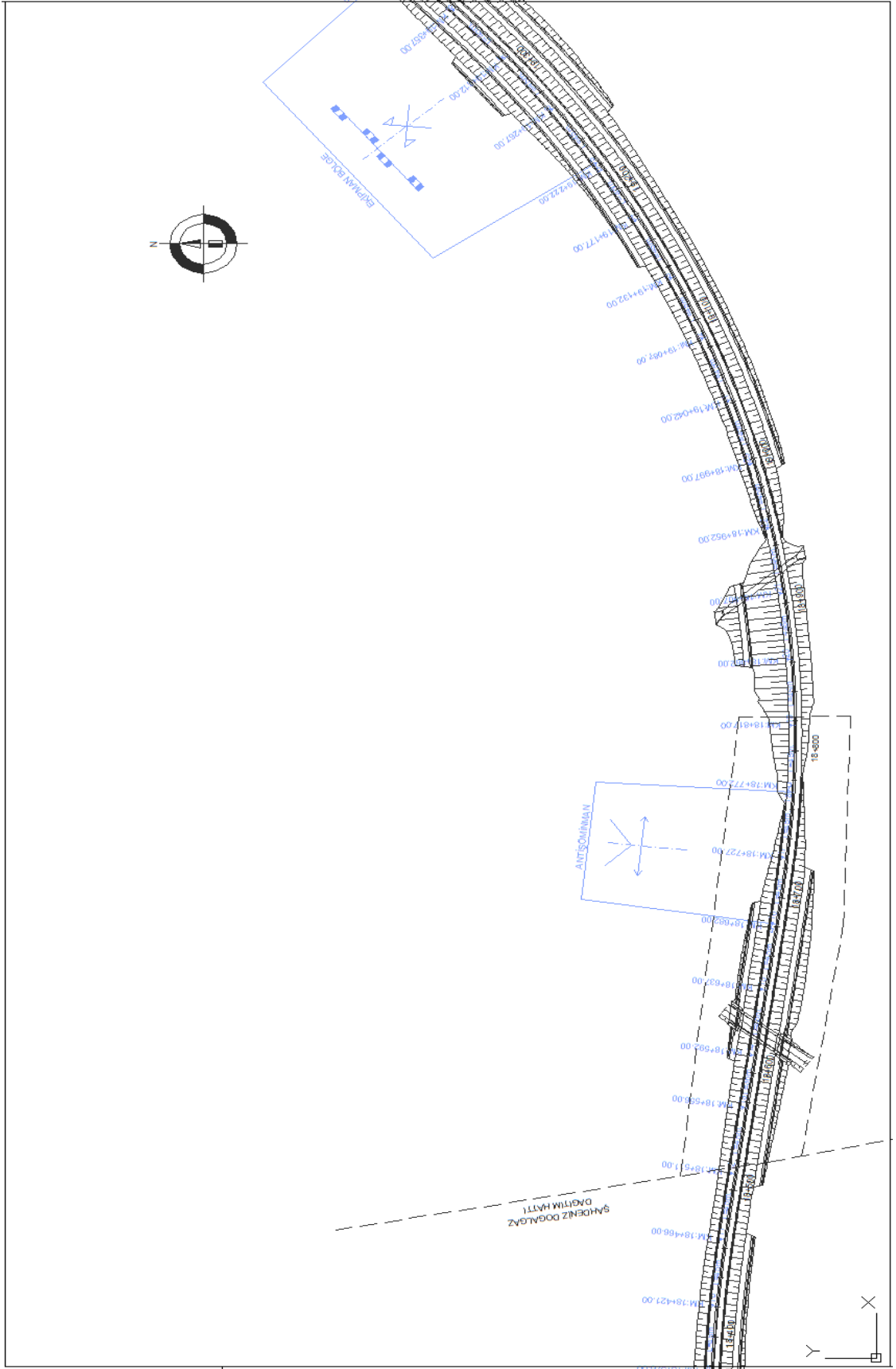
Ek-C (Devam) Katener planı 15+685,00 -16+695,00 km arası



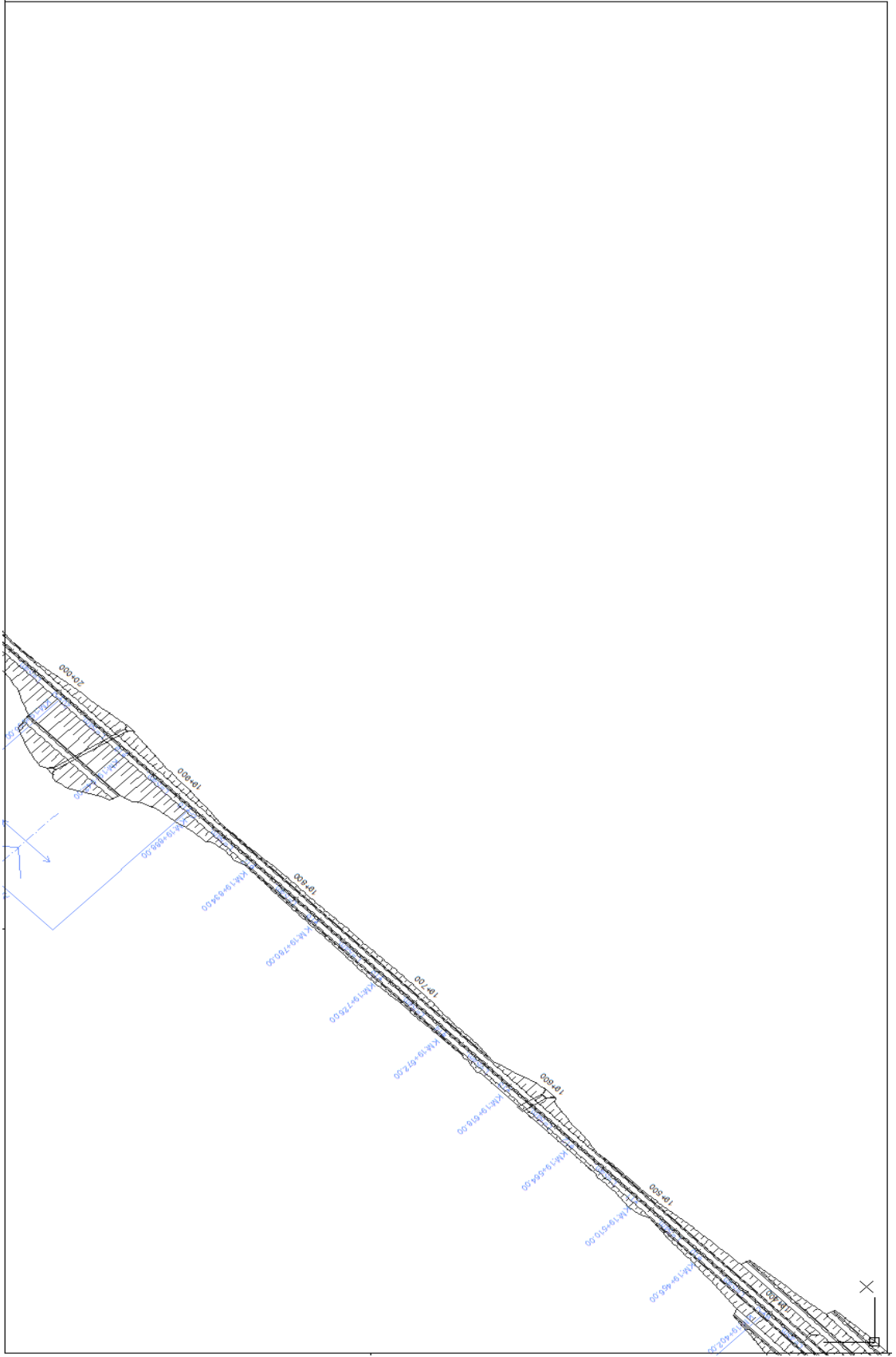
Ek-C (Devam) Katener planı 17+615,00 -18+376,00 km arası



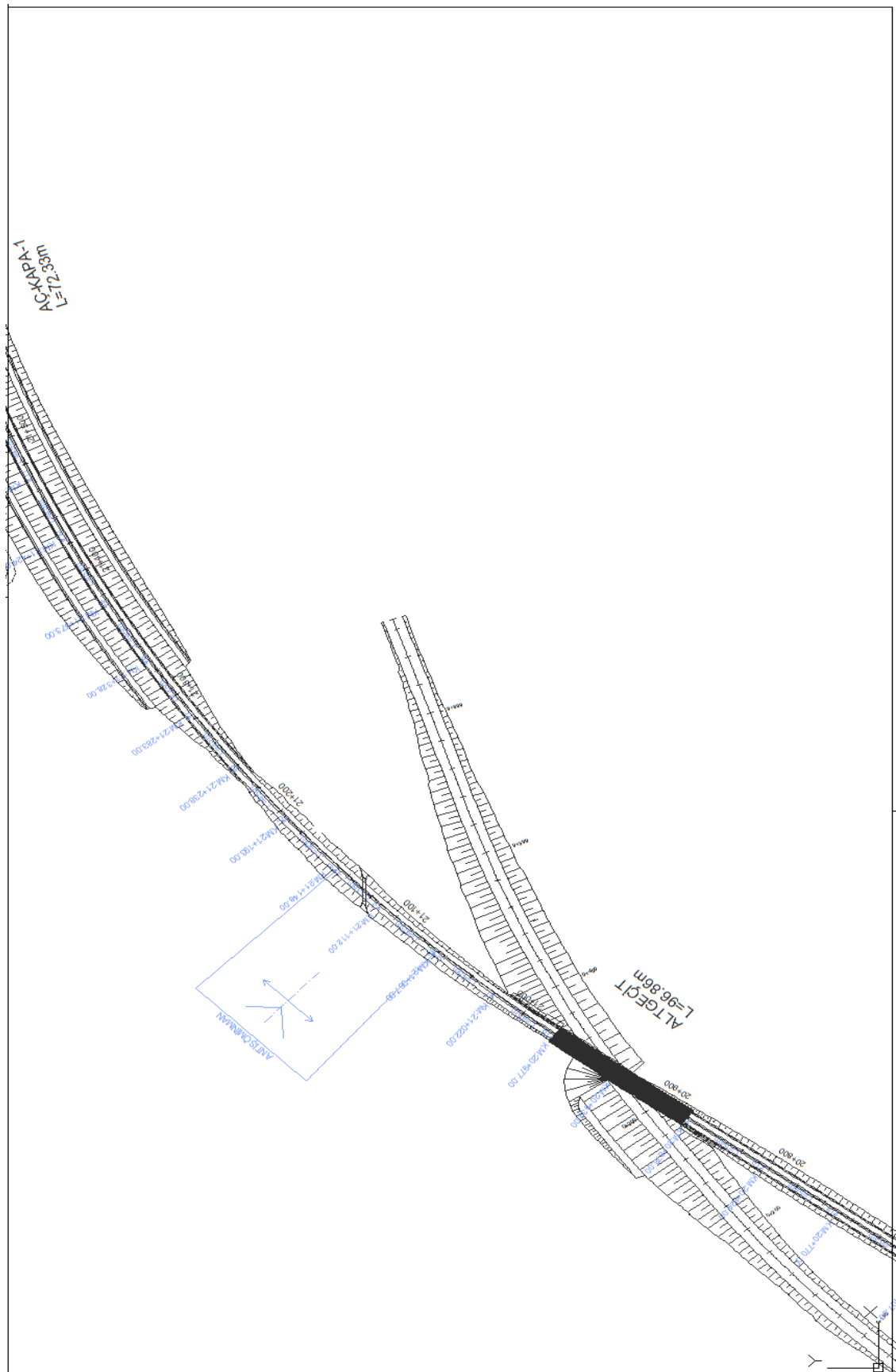
Ek-C (Devam) Katener planı 18+376,00 -19+357,00 km arası



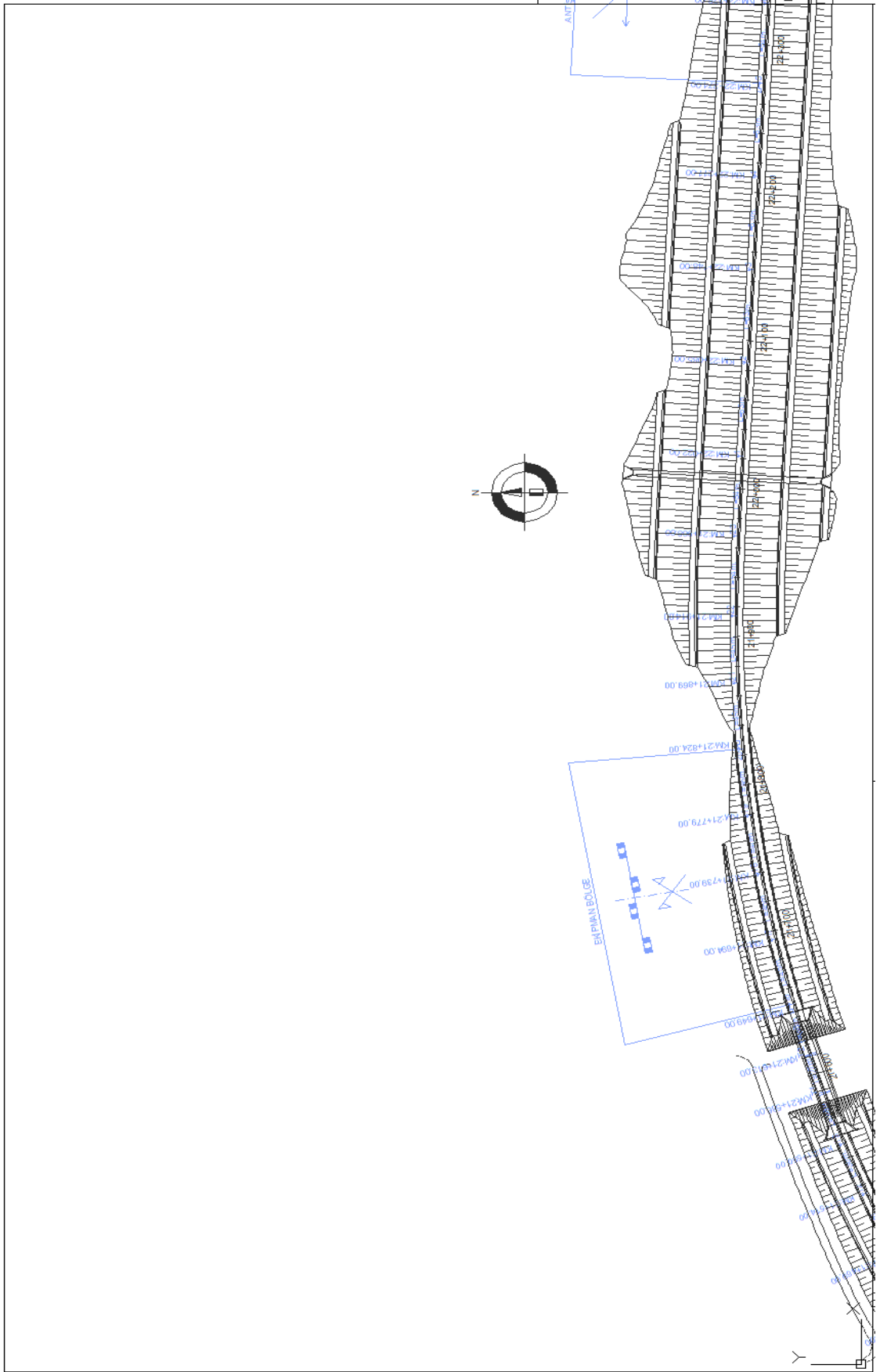
Ek-C (Devam) Katener planı 19+357,00 -20+050,00 km arası



Ek-C (Devam) Katener planı 20+720,00 -21+500,00 km arası

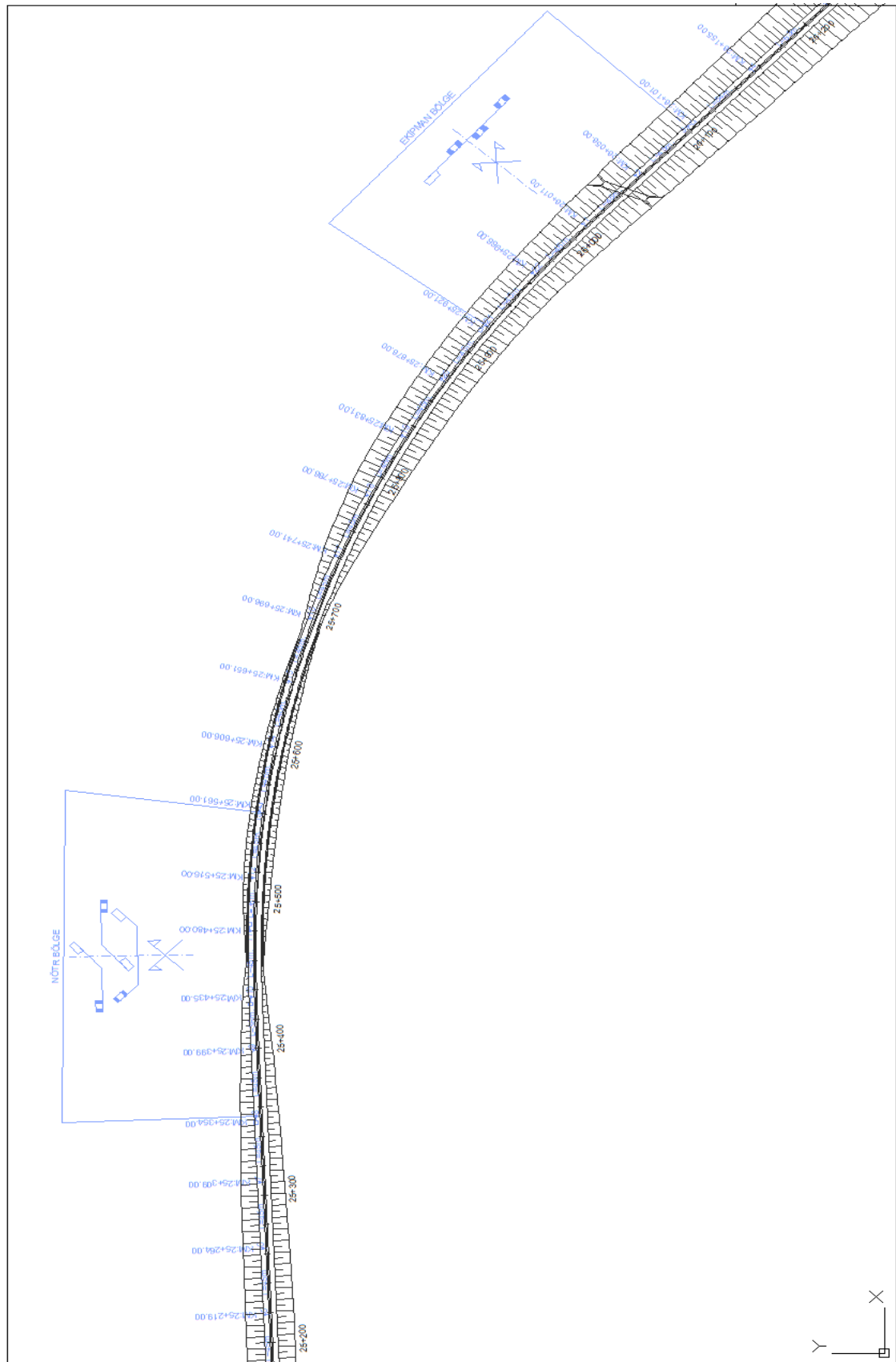


Ek-C (Devam) Katener planı 21+500,00 -22+328,00 km arası

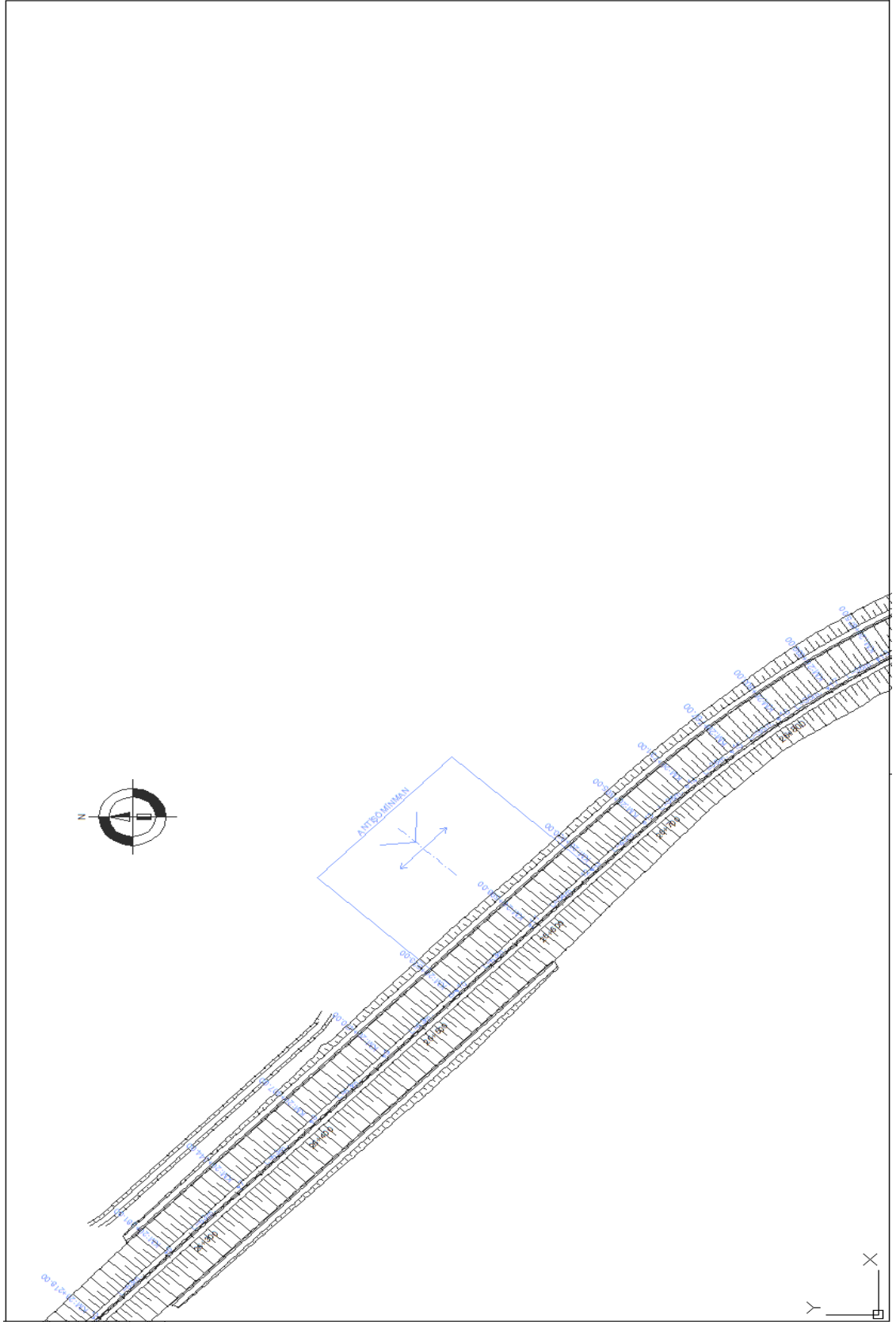


Technical drawing of a road project, showing a plan view of a road alignment with a tunnel section. The drawing includes stationing, elevation data, and a north arrow. The tunnel section is labeled "TUNEL 2 L=480.00m". The road alignment is shown with a centerline and side lines. The drawing is oriented vertically on the page.

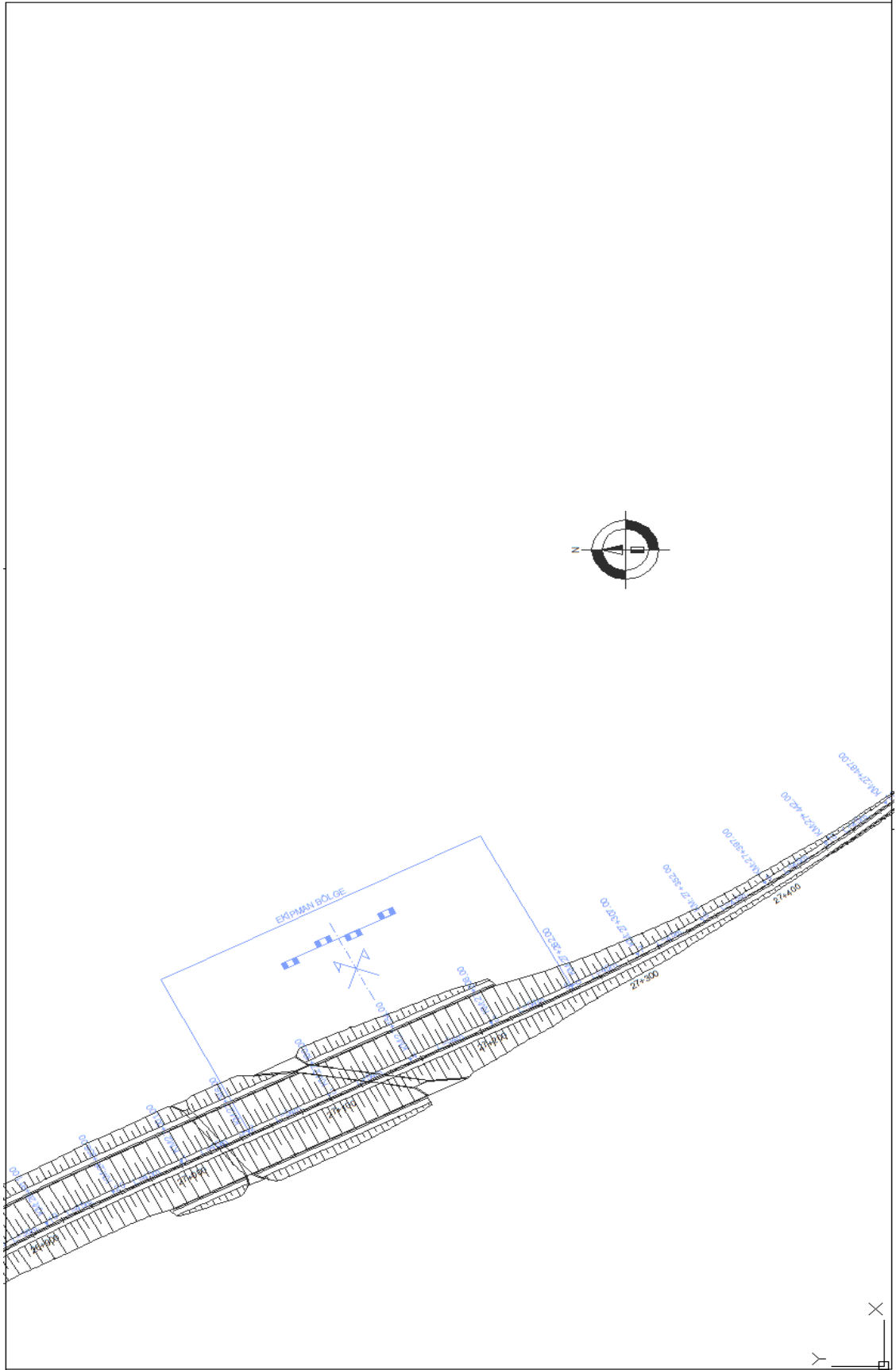
Ek-C (Devam) Katener planı 25+180,00 -26+218,00 km arası



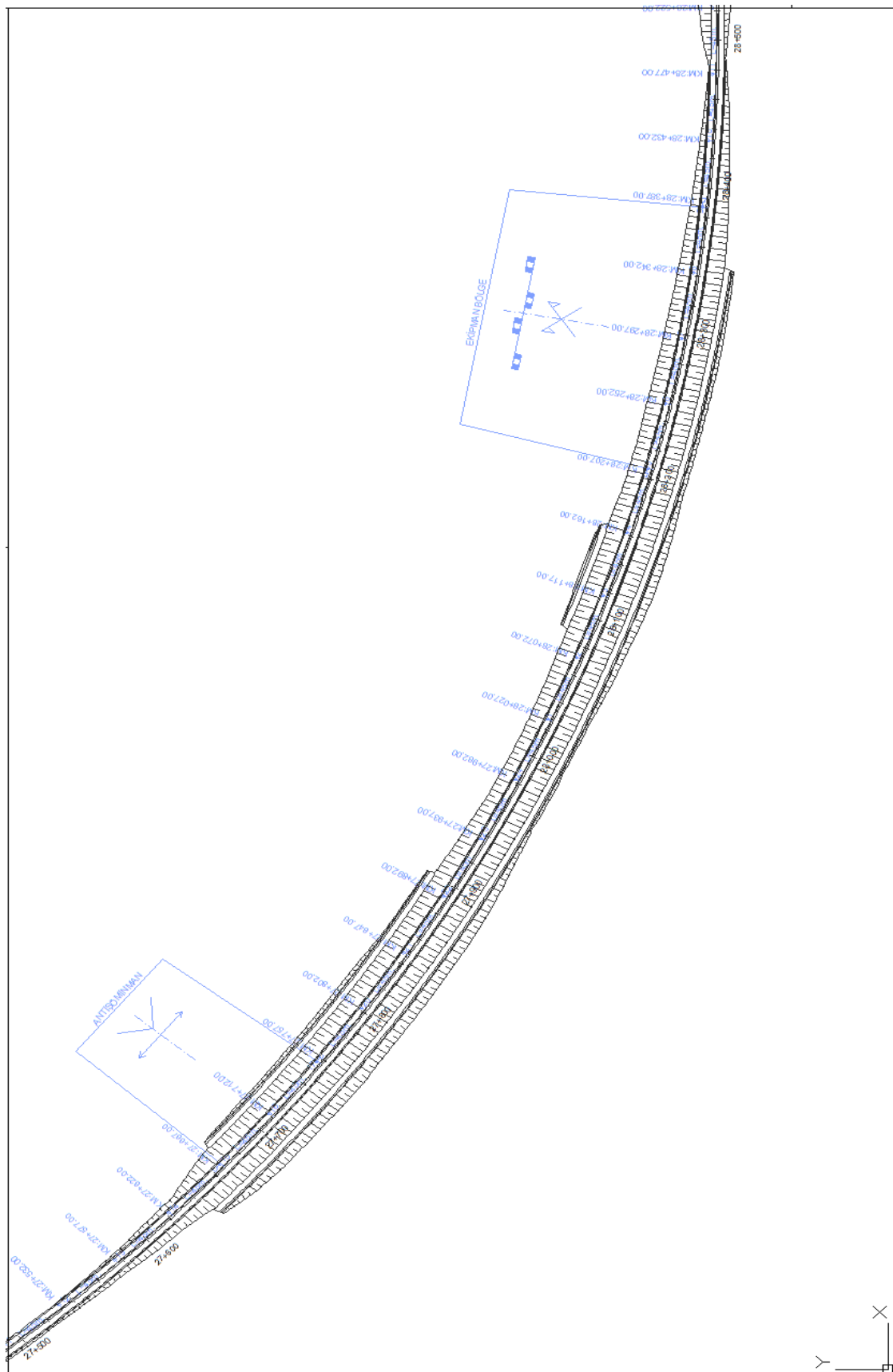
Ek-C (Devam) Katener planı 26+218,00 -26+880,00 km arası



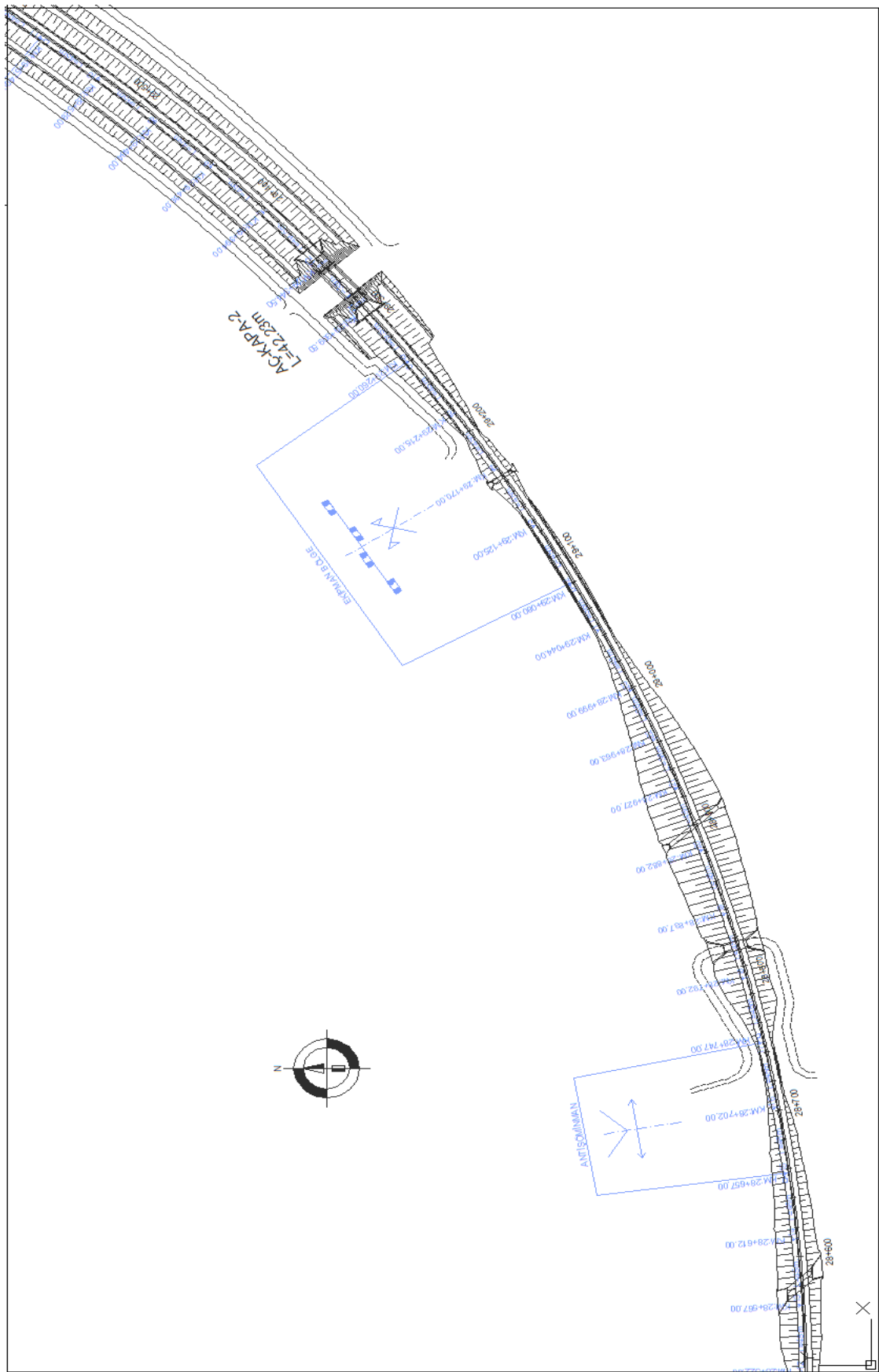
Ek-C (Devam) Katener planı 26+880,00 -27+487,00 km arası



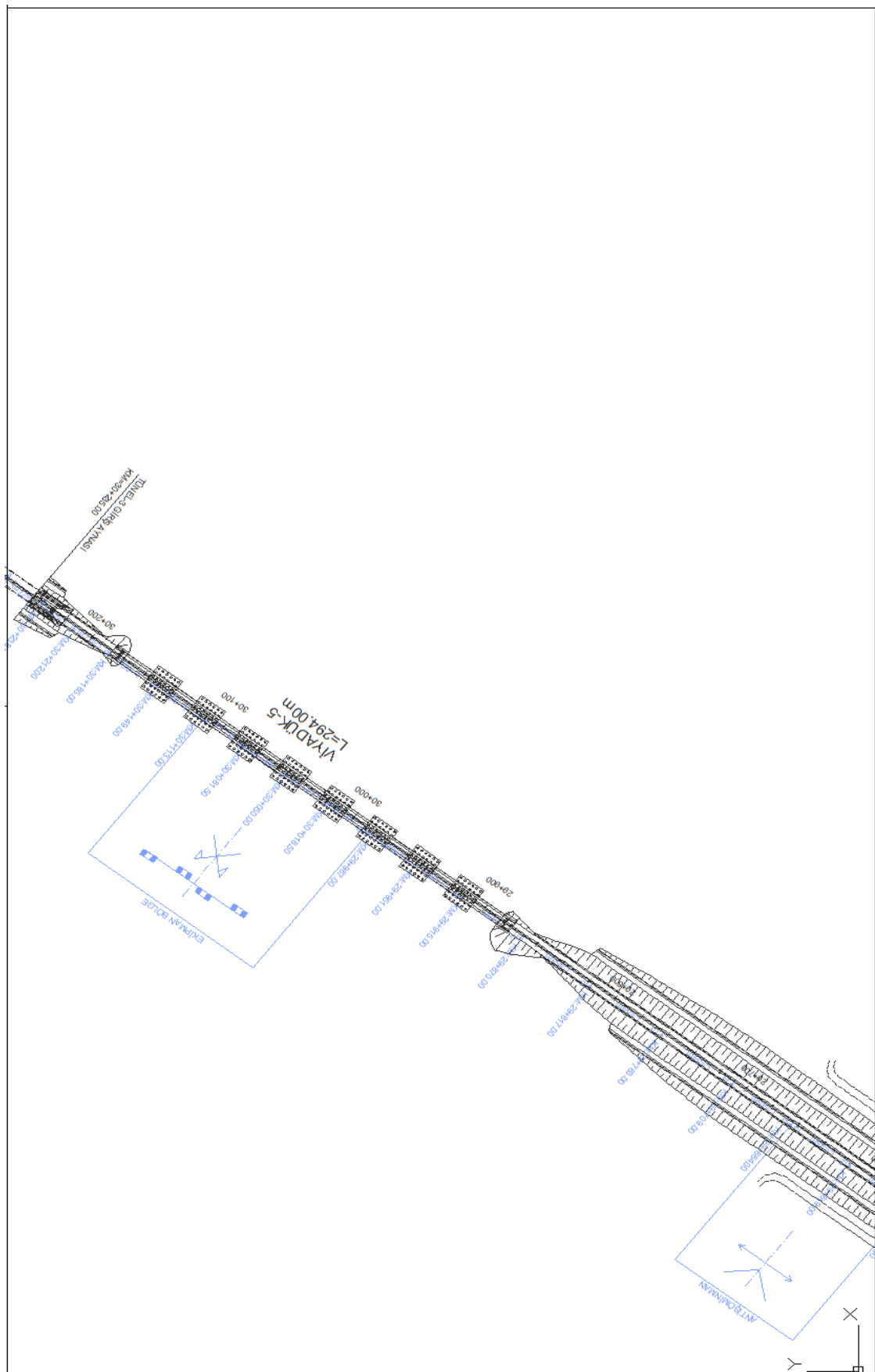
Ek-C (Devam) Katener planı 27+487,00 -28+522,00 km arası



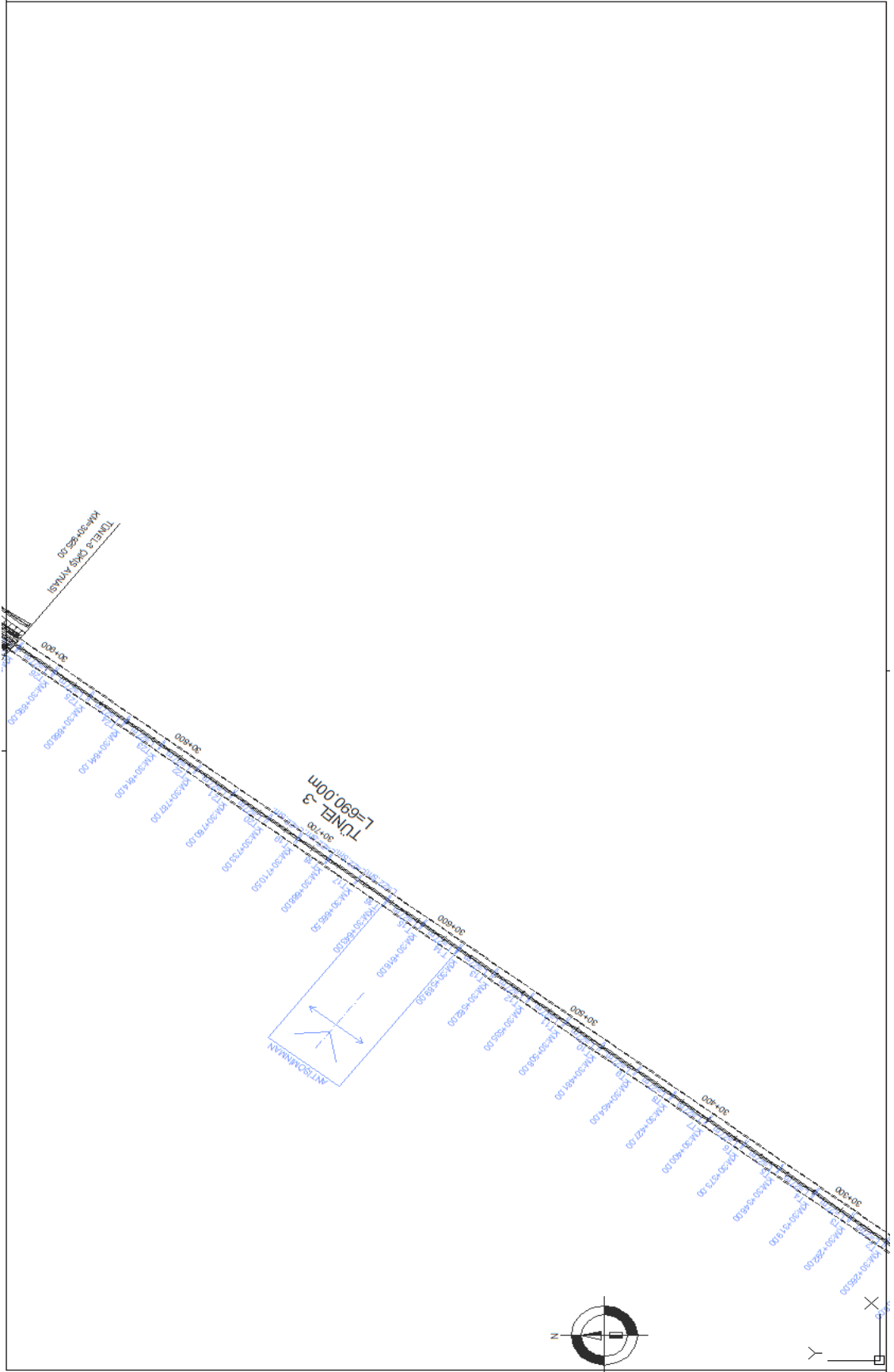
Ek-C (Devam) Katener planı 28+522,00 -29+600,00 km arası



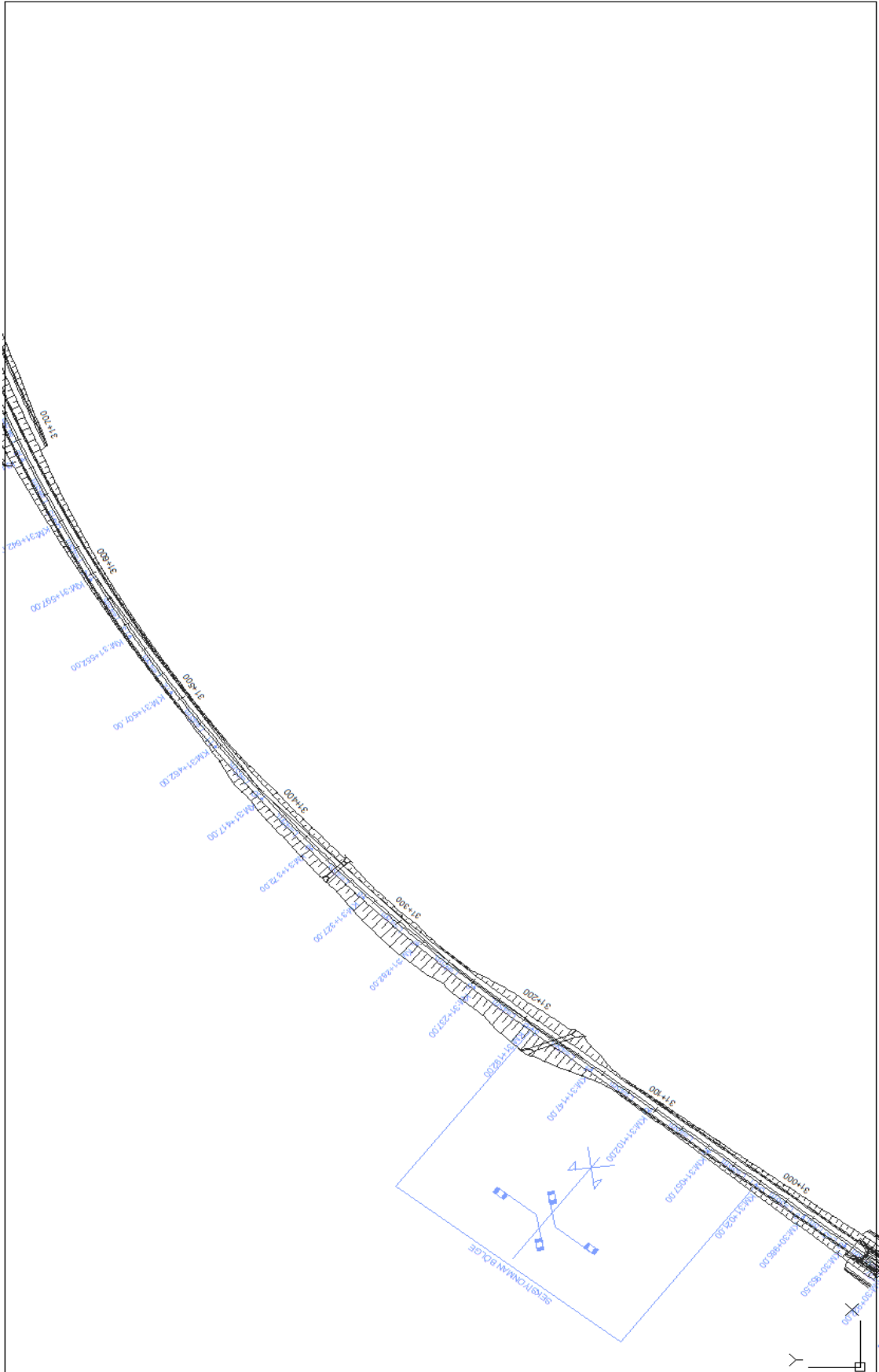
Ek-C (Devam) Katener planı 29+600,00 -30+265,00 km arası



Ek-C (Devam) Katener planı 30+265,00 -30+922,00 km arası



Ek-C (Devam) Katener planı 30+922,00 -31+700,00 km arası



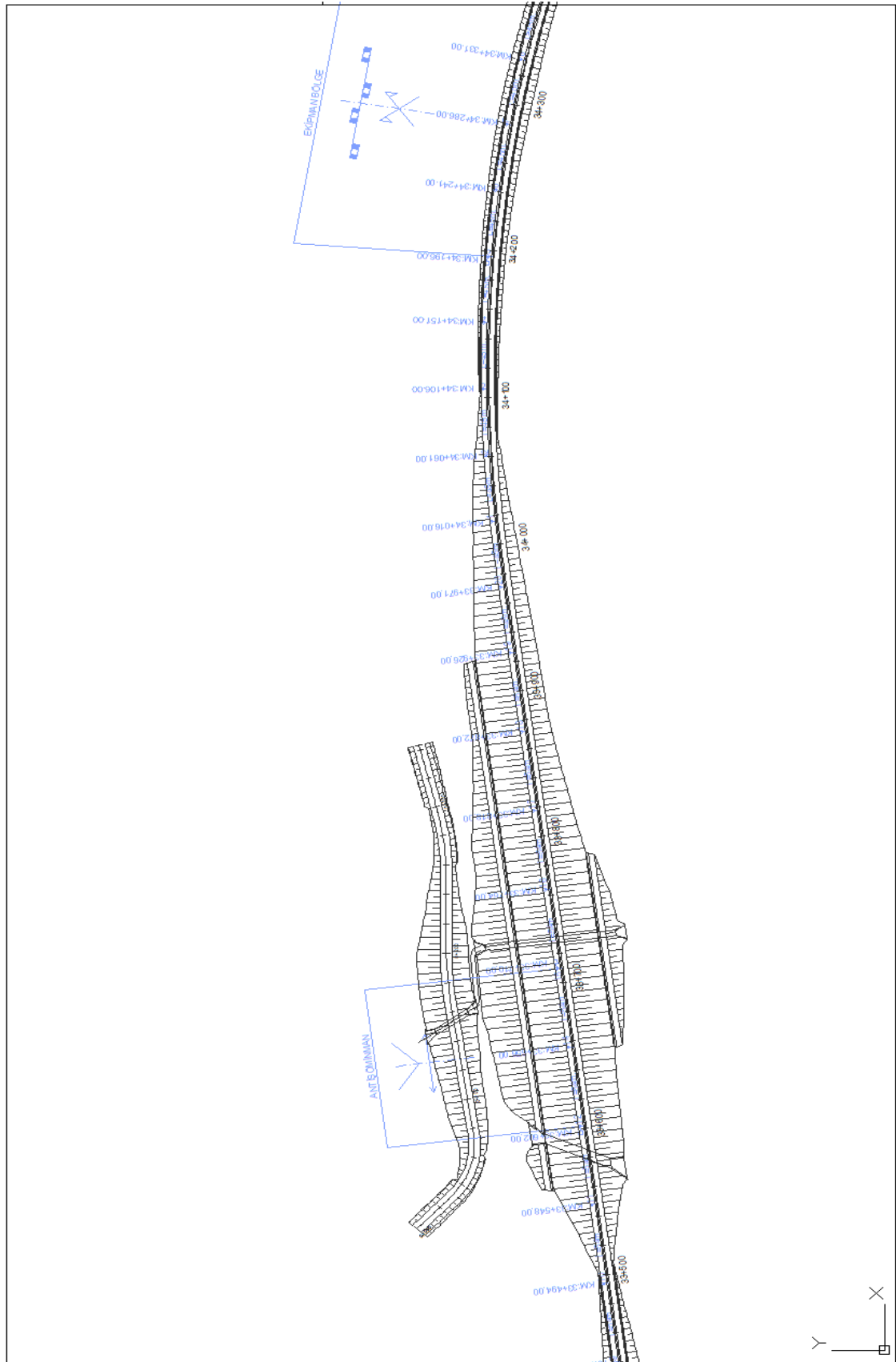
Ek-C (Devam) Katener planı 31+522,00 -32+500,00 km arası



Ek-C (Devam) Katener planı 32+500,00 -33+440,00 km arası

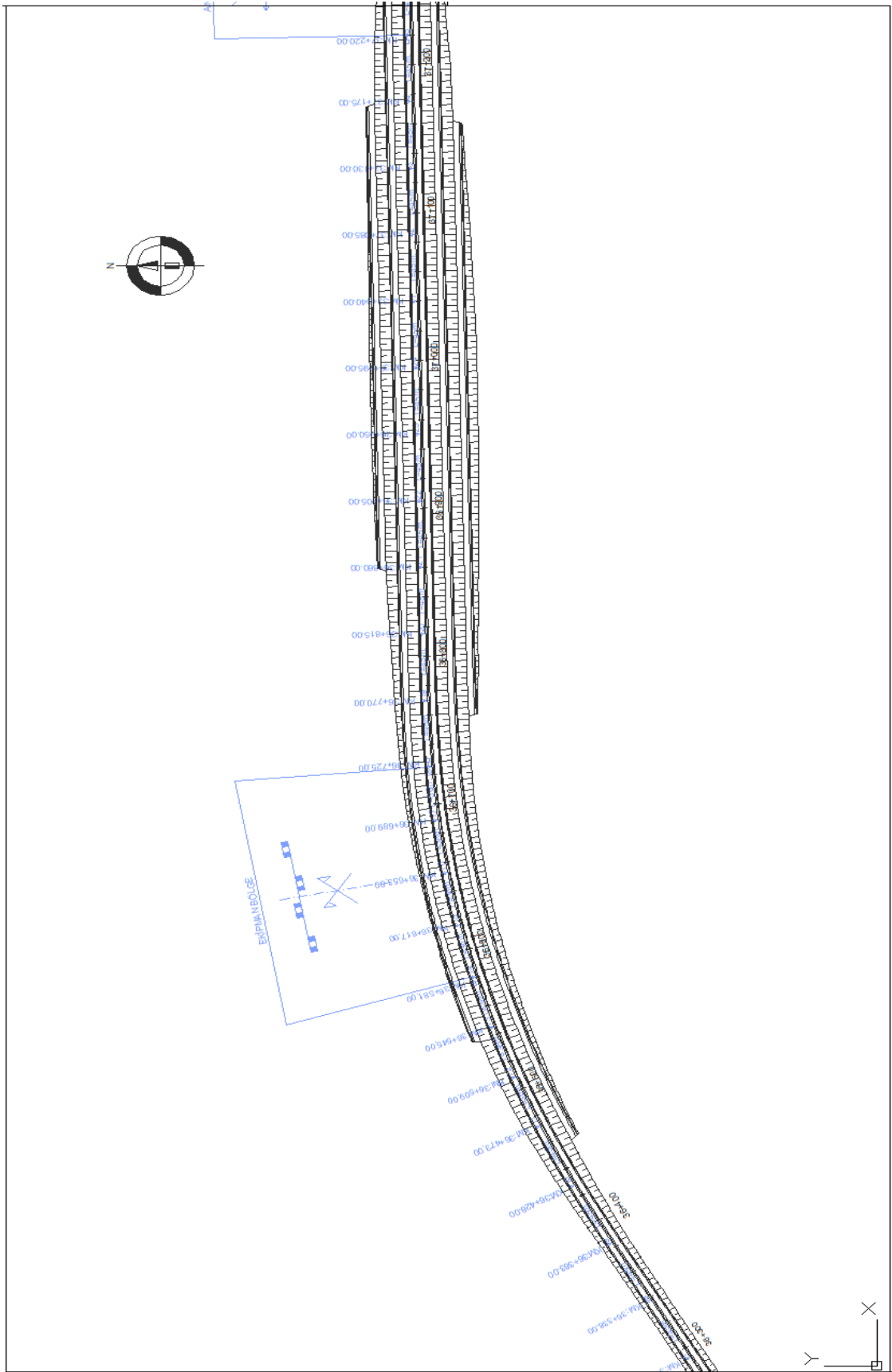


Ek-C (Devam) Katener planı 33+440,00 -34+360,00 km arası

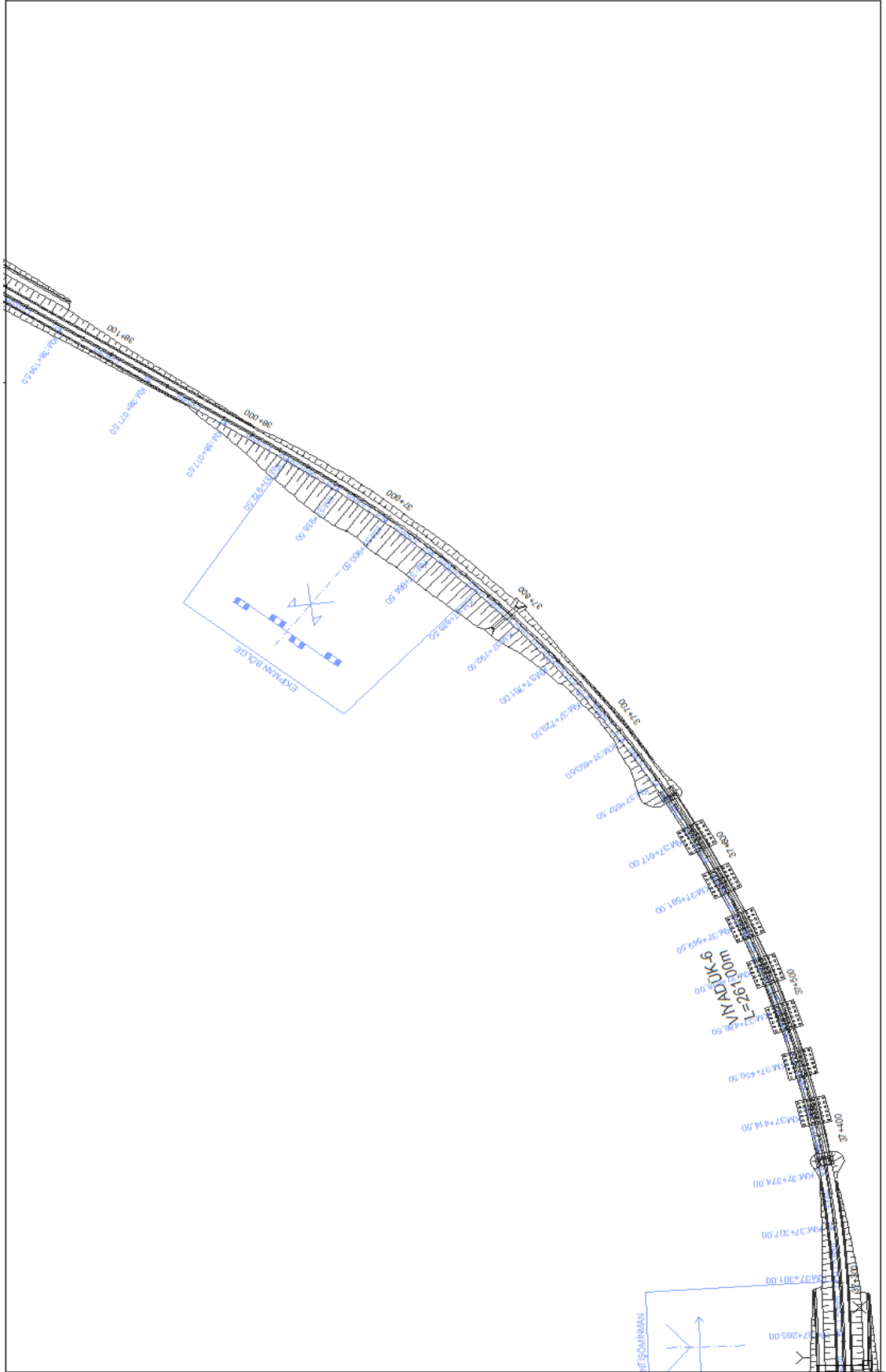


Technical drawing of a road layout. The drawing shows a main road with a bridge crossing a stream. The road is labeled "AUTOSTRADA" and has stationing markers (e.g., 0+00, 0+20, 0+40). The bridge is labeled "PONTONE" and has a width of 12.00. The stream is labeled "CORSO D'ACQUA". A north arrow is present in the upper left corner.

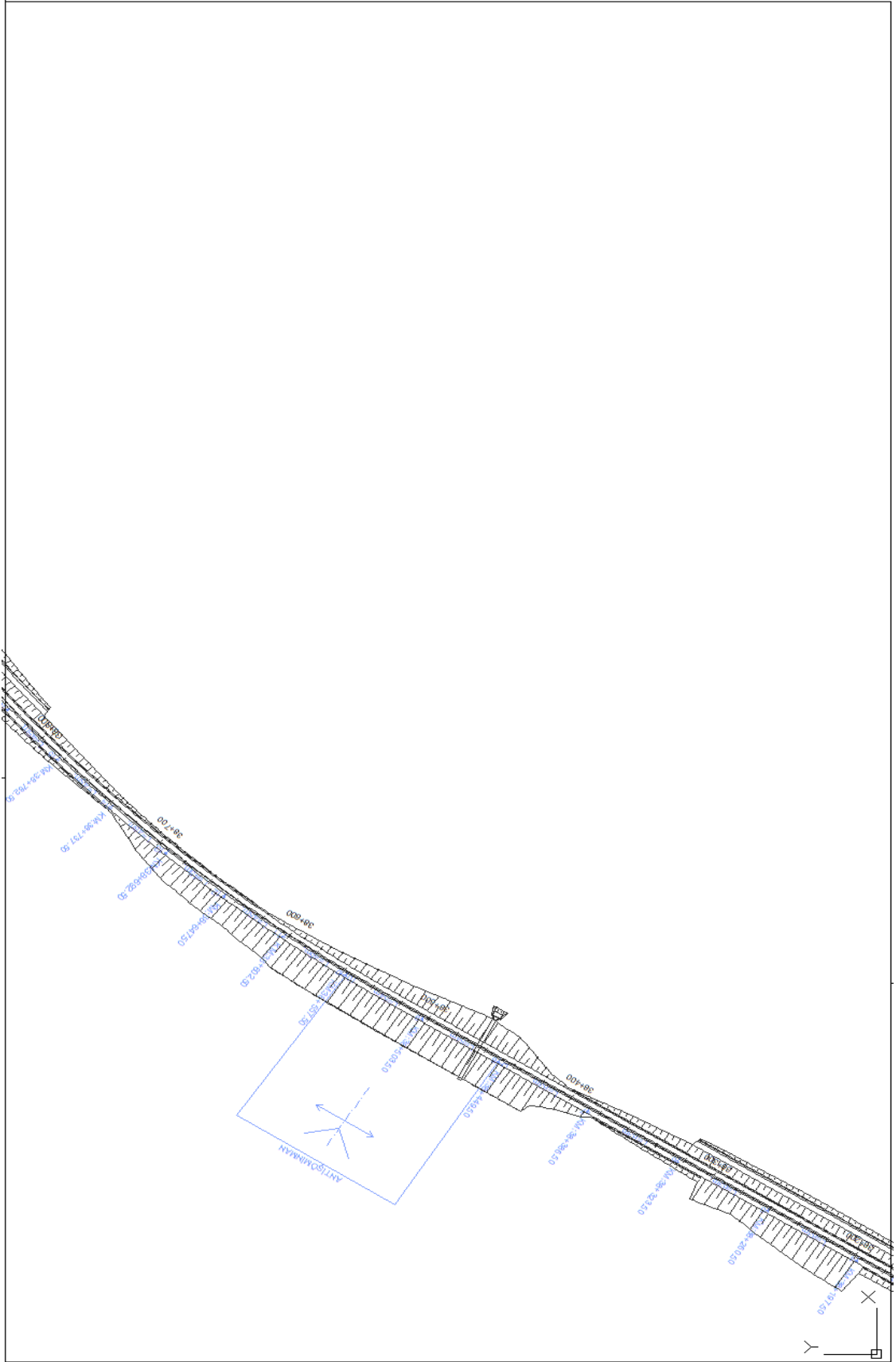
Ek-C (Devam) Katener planı 36+293,00 -37+245,00 km arası



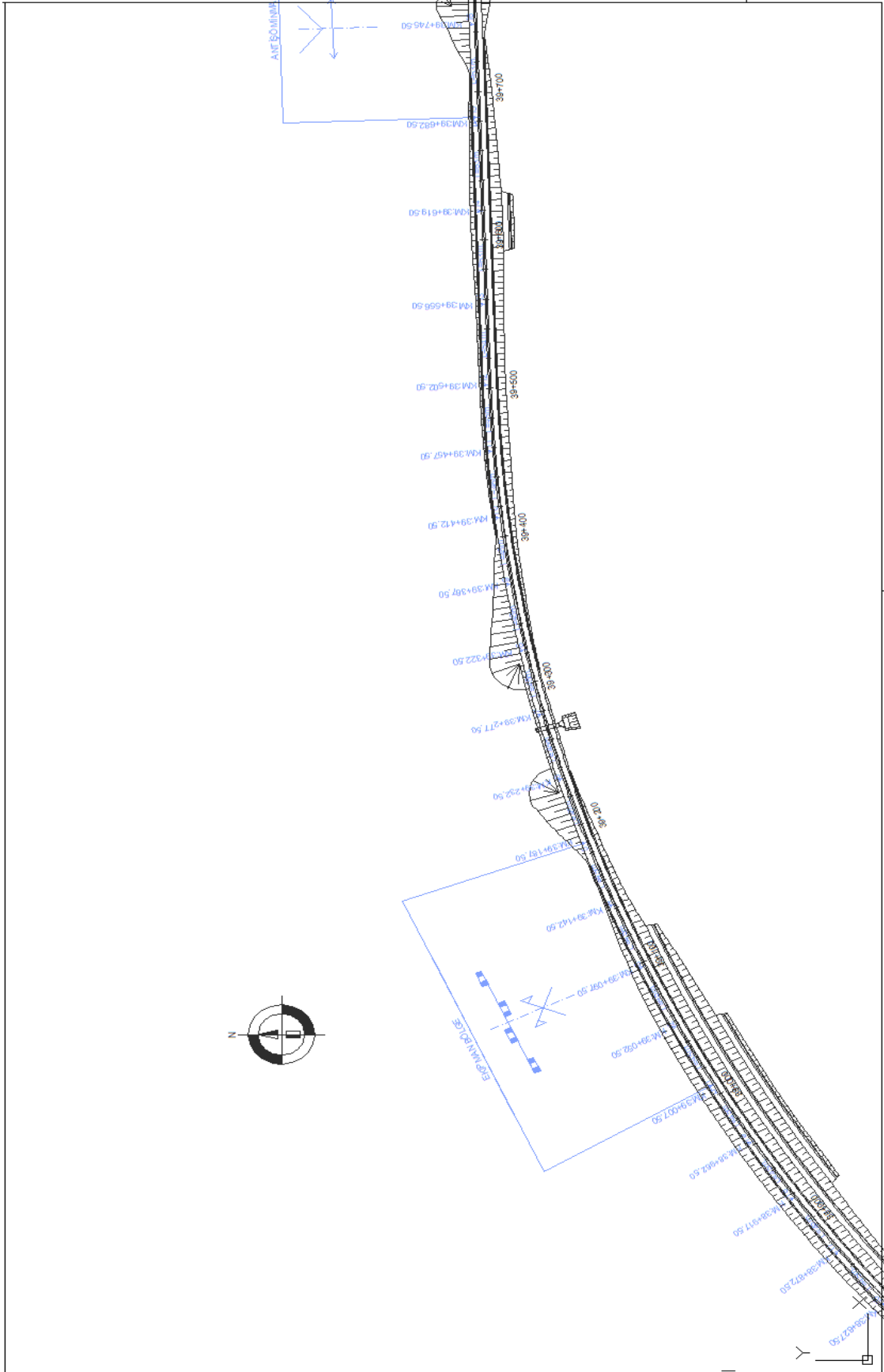
Ek-C (Devam) Katener planı 37+245,00 -38+170,00 km arası



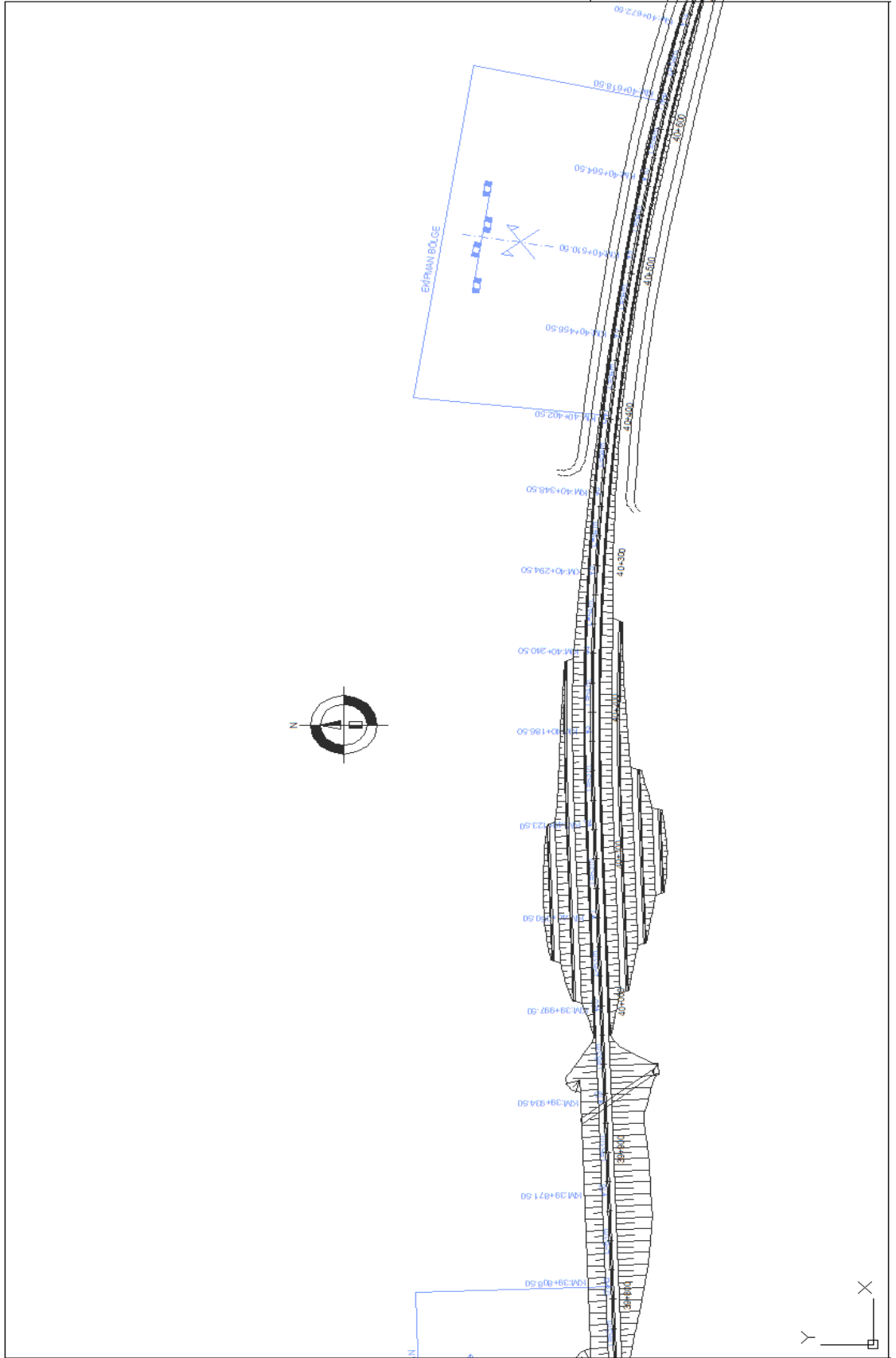
Ek-C (Devam) Katener planı 38+170,00 -38+827,50 km arası



Ek-C (Devam) Katener planı 38+827,50 -39+750,00 km arası

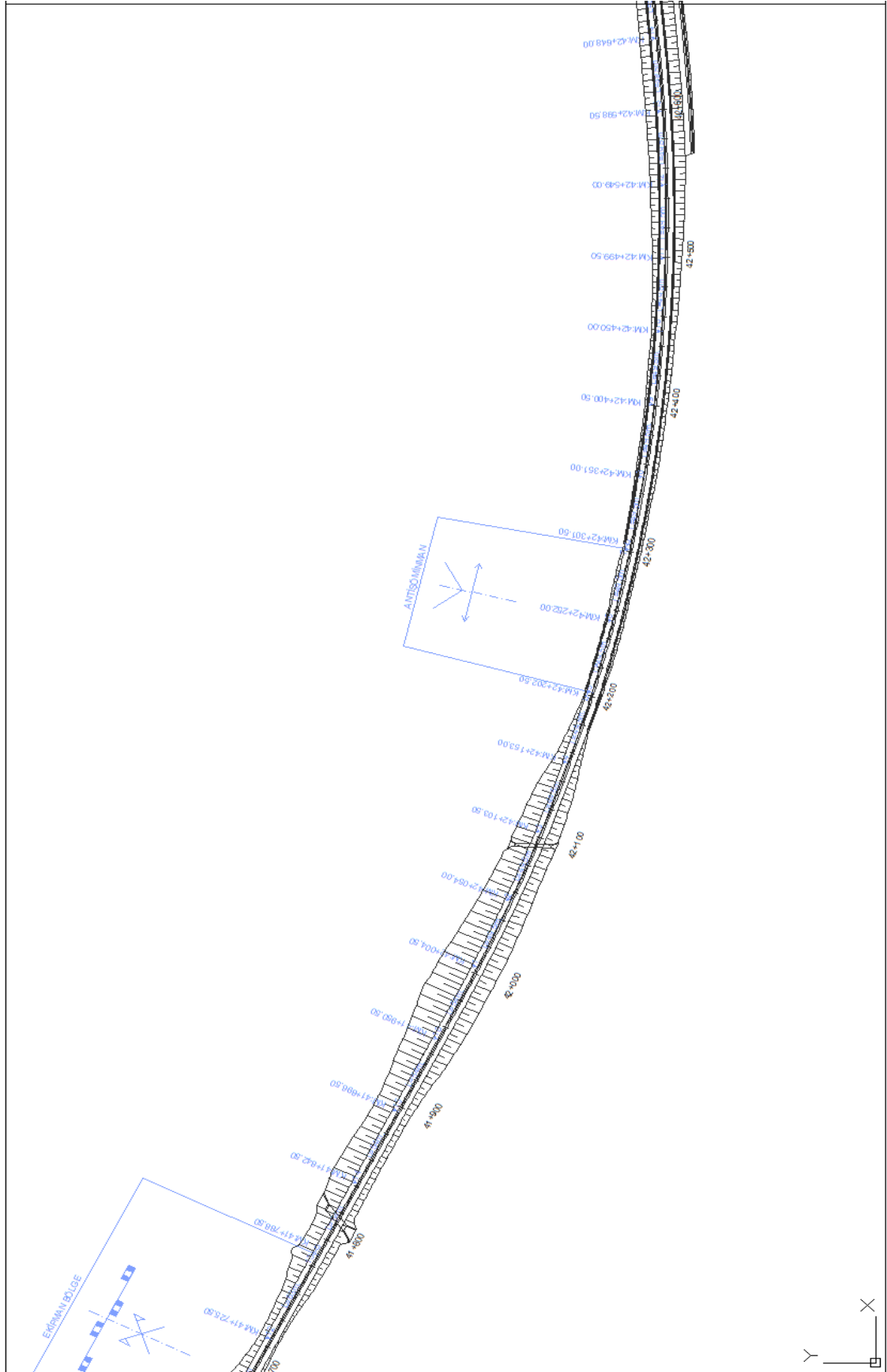


Ek-C (Devam) Katener planı 39+750,00 -40+690,00 km arası



This technical drawing illustrates a road layout, likely for a highway or major road. The main section shows a winding road with stationing markers along its length. The stationing begins at 41+00 and continues through 41+200, 41+400, 41+600, 41+800, 42+000, 42+200, 42+400, 42+600, 42+800, 43+000, 43+200, 43+400, 43+600, 43+800, 44+000, 44+200, 44+400, 44+600, 44+800, 45+000, 45+200, 45+400, 45+600, 45+800, 46+000, 46+200, 46+400, 46+600, 46+800, 47+000, 47+200, 47+400, 47+600, 47+800, 48+000, 48+200, 48+400, 48+600, 48+800, 49+000, 49+200, 49+400, 49+600, 49+800, 50+000, 50+200, 50+400, 50+600, 50+800, 51+000, 51+200, 51+400, 51+600, 51+800, 52+000, 52+200, 52+400, 52+600, 52+800, 53+000, 53+200, 53+400, 53+600, 53+800, 54+000, 54+200, 54+400, 54+600, 54+800, 55+000, 55+200, 55+400, 55+600, 55+800, 56+000, 56+200, 56+400, 56+600, 56+800, 57+000, 57+200, 57+400, 57+600, 57+800, 58+000, 58+200, 58+400, 58+600, 58+800, 59+000, 59+200, 59+400, 59+600, 59+800, 60+000, 60+200, 60+400, 60+600, 60+800, 61+000, 61+200, 61+400, 61+600, 61+800, 62+000, 62+200, 62+400, 62+600, 62+800, 63+000, 63+200, 63+400, 63+600, 63+800, 64+000, 64+200, 64+400, 64+600, 64+800, 65+000, 65+200, 65+400, 65+600, 65+800, 66+000, 66+200, 66+400, 66+600, 66+800, 67+000, 67+200, 67+400, 67+600, 67+800, 68+000, 68+200, 68+400, 68+600, 68+800, 69+000, 69+200, 69+400, 69+600, 69+800, 70+000, 70+200, 70+400, 70+600, 70+800, 71+000, 71+200, 71+400, 71+600, 71+800, 72+000, 72+200, 72+400, 72+600, 72+800, 73+000, 73+200, 73+400, 73+600, 73+800, 74+000, 74+200, 74+400, 74+600, 74+800, 75+000, 75+200, 75+400, 75+600, 75+800, 76+000, 76+200, 76+400, 76+600, 76+800, 77+000, 77+200, 77+400, 77+600, 77+800, 78+000, 78+200, 78+400, 78+600, 78+800, 79+000, 79+200, 79+400, 79+600, 79+800, 80+000, 80+200, 80+400, 80+600, 80+800, 81+000, 81+200, 81+400, 81+600, 81+800, 82+000, 82+200, 82+400, 82+600, 82+800, 83+000, 83+200, 83+400, 83+600, 83+800, 84+000, 84+200, 84+400, 84+600, 84+800, 85+000, 85+200, 85+400, 85+600, 85+800, 86+000, 86+200, 86+400, 86+600, 86+800, 87+000, 87+200, 87+400, 87+600, 87+800, 88+000, 88+200, 88+400, 88+600, 88+800, 89+000, 89+200, 89+400, 89+600, 89+800, 90+000, 90+200, 90+400, 90+600, 90+800, 91+000, 91+200, 91+400, 91+600, 91+800, 92+000, 92+200, 92+400, 92+600, 92+800, 93+000, 93+200, 93+400, 93+600, 93+800, 94+000, 94+200, 94+400, 94+600, 94+800, 95+000, 95+200, 95+400, 95+600, 95+800, 96+000, 96+200, 96+400, 96+600, 96+800, 97+000, 97+200, 97+400, 97+600, 97+800, 98+000, 98+200, 98+400, 98+600, 98+800, 99+000, 99+200, 99+400, 99+600, 99+800, 100+000, 100+200, 100+400, 100+600, 100+800, 101+000, 101+200, 101+400, 101+600, 101+800, 102+000, 102+200, 102+400, 102+600, 102+800, 103+000, 103+200, 103+400, 103+600, 103+800, 104+000, 104+200, 104+400, 104+600, 104+800, 105+000, 105+200, 105+400, 105+600, 105+800, 106+000, 106+200, 106+400, 106+600, 106+800, 107+000, 107+200, 107+400, 107+600, 107+800, 108+000, 108+200, 108+400, 108+600, 108+800, 109+000, 109+200, 109+400, 109+600, 109+800, 110+000, 110+200, 110+400, 110+600, 110+800, 111+000, 111+200, 111+400, 111+600, 111+800, 112+000, 112+200, 112+400, 112+600, 112+800, 113+000, 113+200, 113+400, 113+600, 113+800, 114+000, 114+200, 114+400, 114+600, 114+800, 115+000, 115+200, 115+400, 115+600, 115+800, 116+000, 116+200, 116+400, 116+600, 116+800, 117+000, 117+200, 117+400, 117+600, 117+800, 118+000, 118+200, 118+400, 118+600, 118+800, 119+000, 119+200, 119+400, 119+600, 119+800, 120+000, 120+200, 120+400, 120+600, 120+800, 121+000, 121+200, 121+400, 121+600, 121+800, 122+000, 122+200, 122+400, 122+600, 122+800, 123+000, 123+200, 123+400, 123+600, 123+800, 124+000, 124+200, 124+400, 124+600, 124+800, 125+000, 125+200, 125+400, 125+600, 125+800, 126+000, 126+200, 126+400, 126+600, 126+800, 127+000, 127+200, 127+400, 127+600, 127+800, 128+000, 128+200, 128+400, 128+600, 128+800, 129+000, 129+200, 129+400, 129+600, 129+800, 130+000, 130+200, 130+400, 130+600, 130+800, 131+000, 131+200, 131+400, 131+600, 131+800, 132+000, 132+200, 132+400, 132+600, 132+800, 133+000, 133+200, 133+400, 133+600, 133+800, 134+000, 134+200, 134+400, 134+600, 134+800, 135+000, 135+200, 135+400, 135+600, 135+800, 136+000, 136+200, 136+400, 136+600, 136+800,

Ek-C (Devam) Katener planı 41+700,00 -42+670,00 km arası



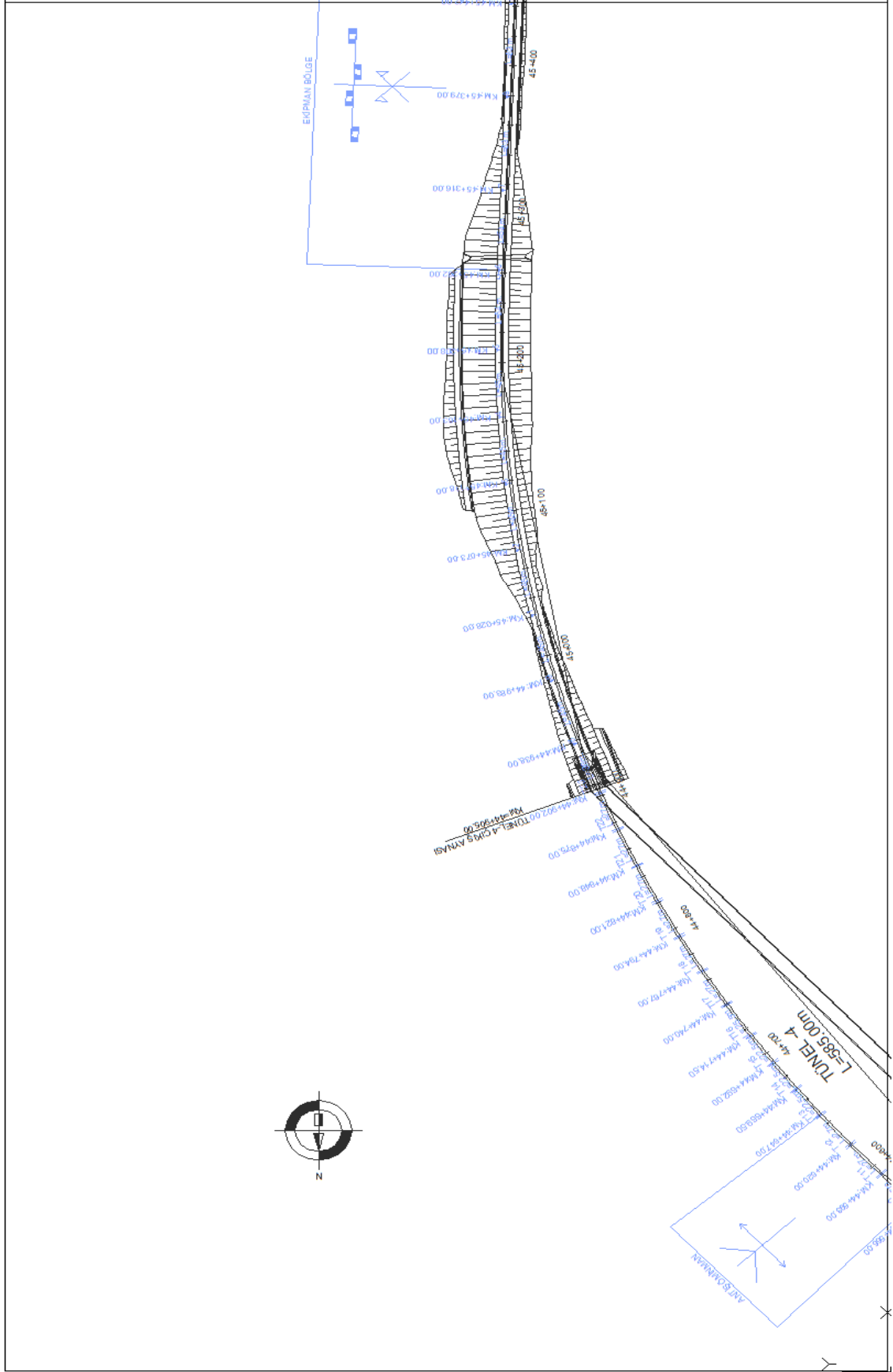
Ek-C (Devam) Katener planı 42+670,00 -43+600,00 km arası



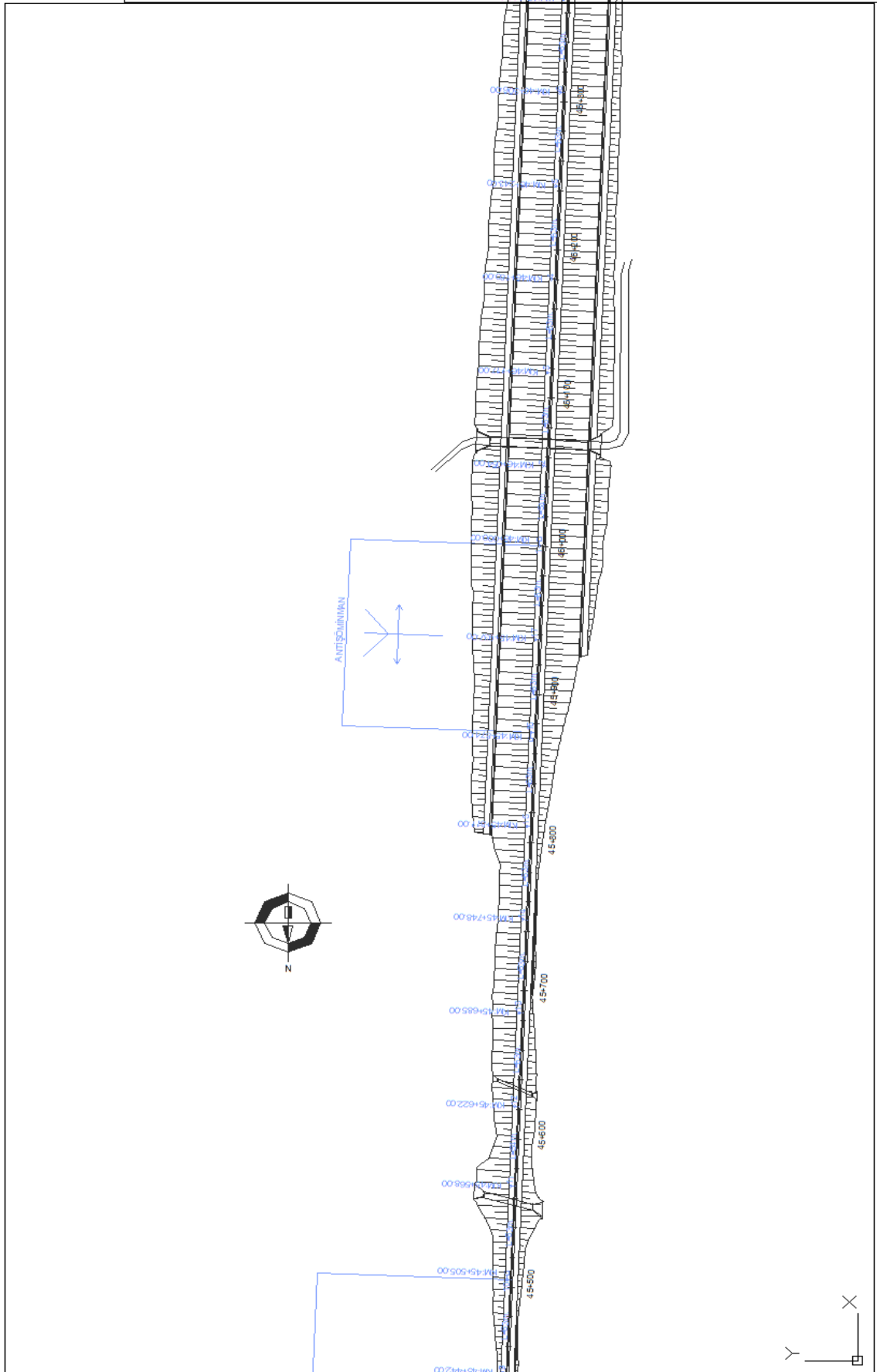
Ek-C (Devam) Katener planı 43+600,00 -44+600,00 km arası



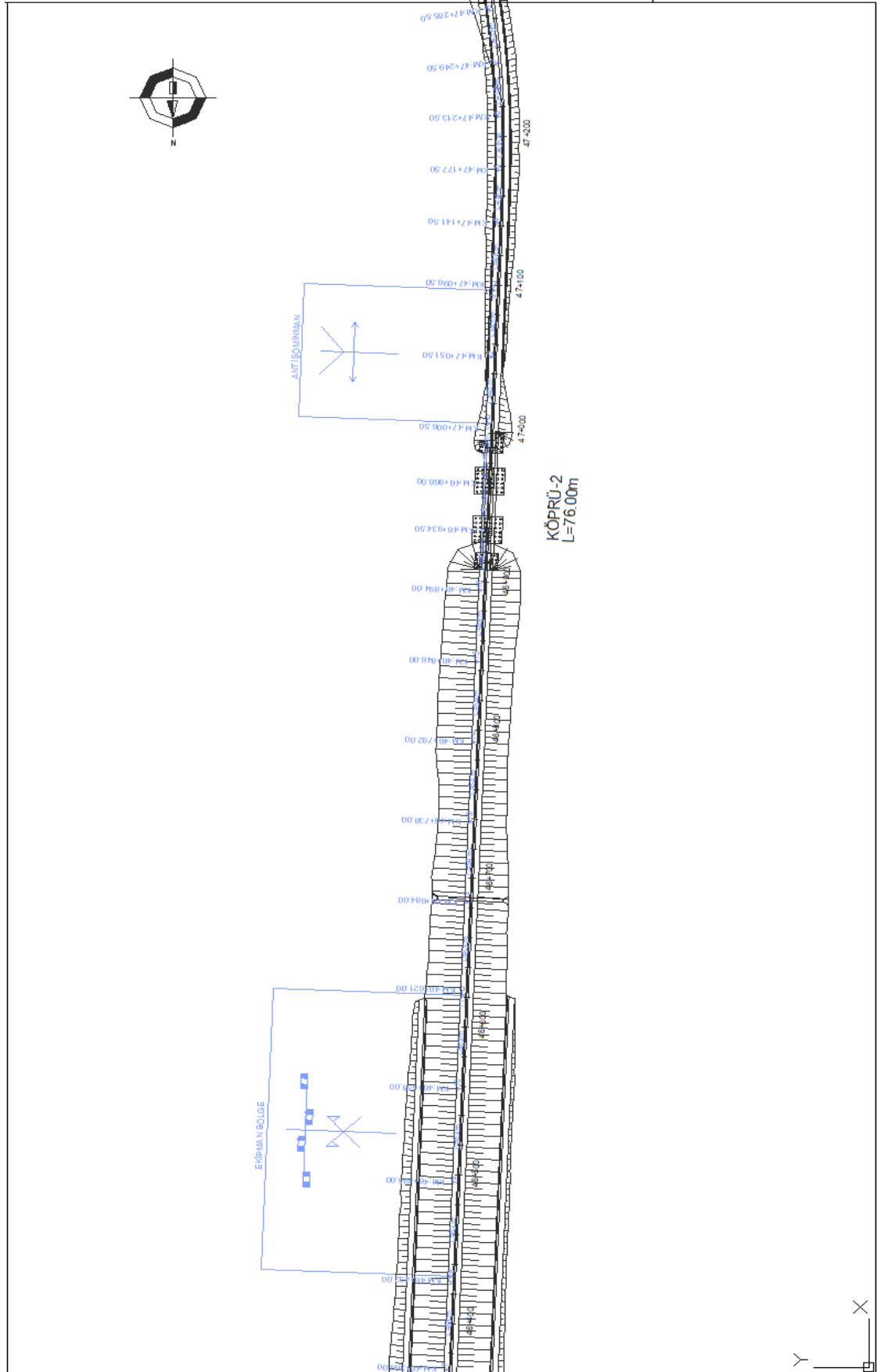
Ek-C (Devam) Katener planı 44+600,00 -45+442,00 km arası



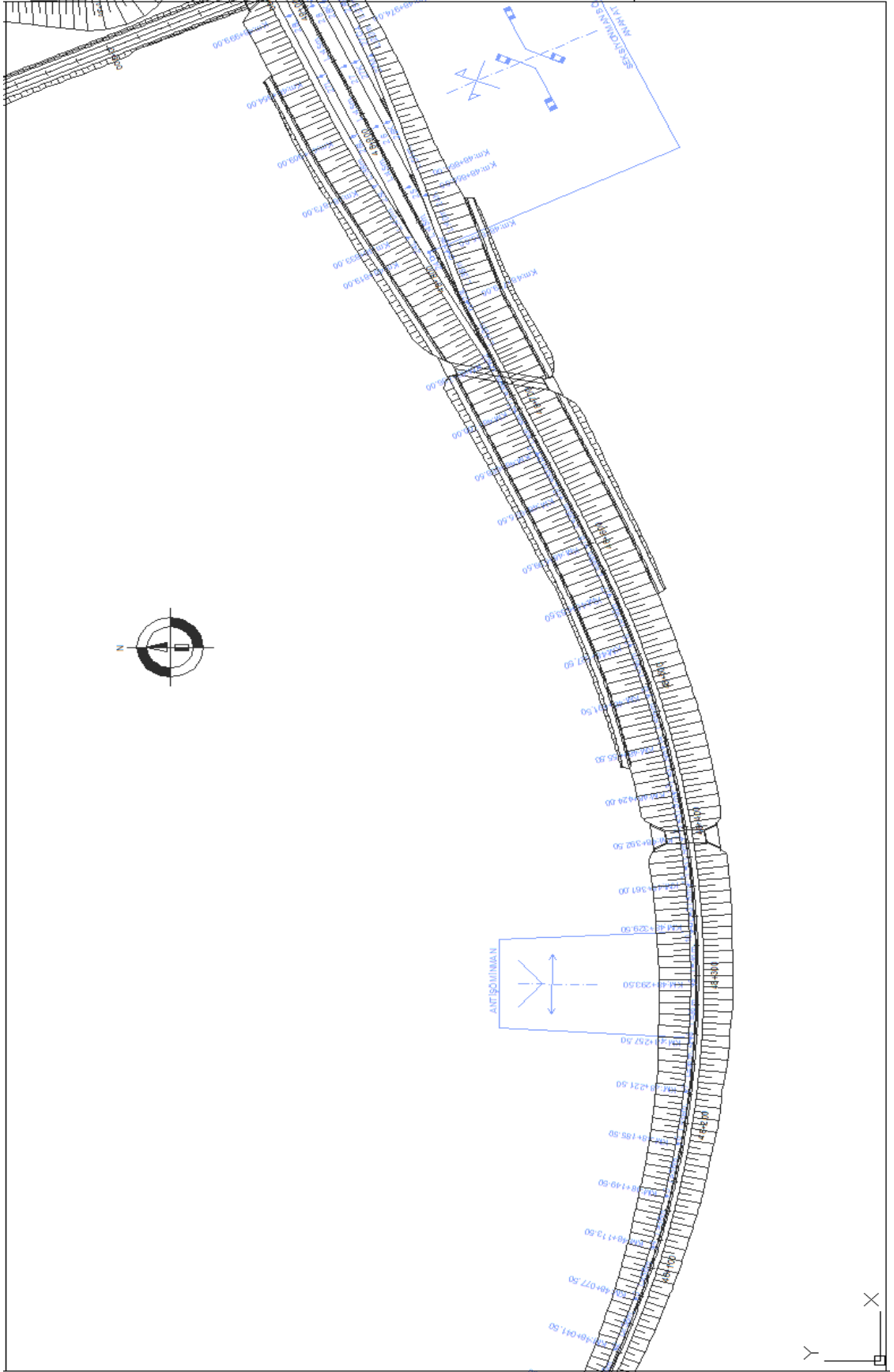
Ek-C (Devam) Katener planı 45+442,00 -46+365,00 km arası



Ek-C (Devam) Katener planı 46+365,00 -47+290,00 km arası



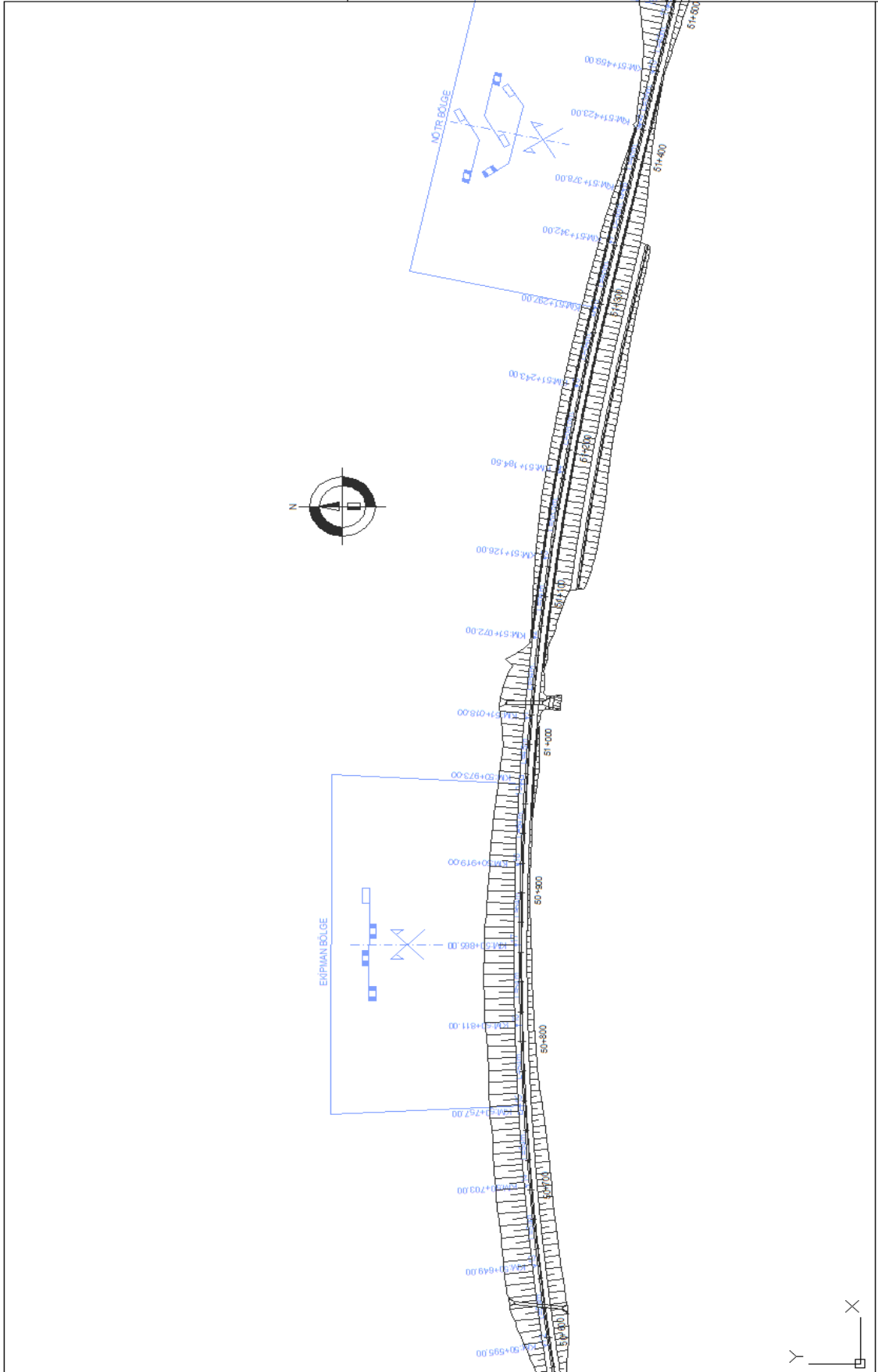
Ek-C (Devam) Katener planı 48+020,00 -49+000,00 km arası



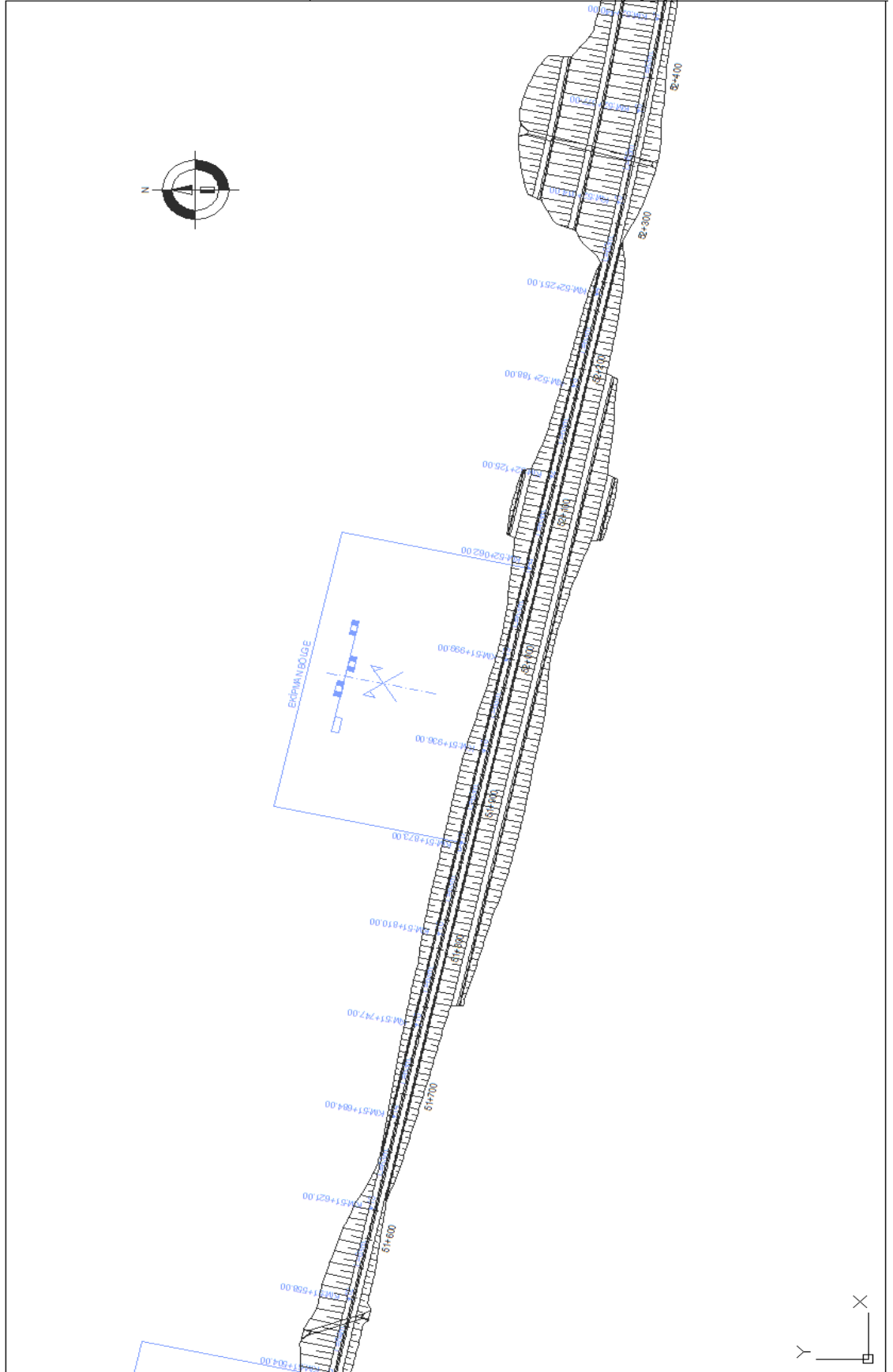
Ek-C (Devam) Katener planı 49+806,11 -50+580,00 km arası



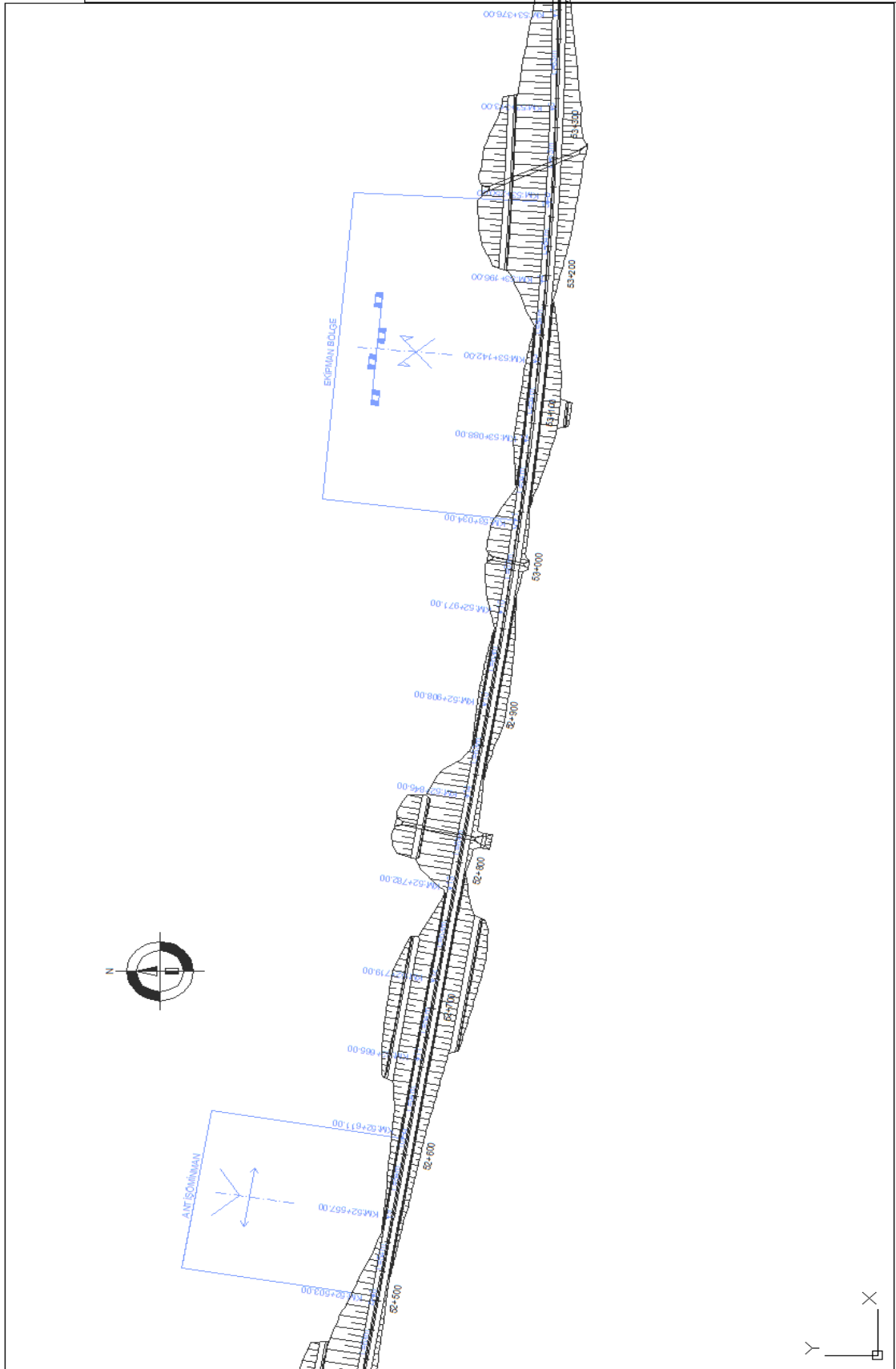
Ek-C (Devam) Katener planı 50+580,00 -51+504,00 km arası



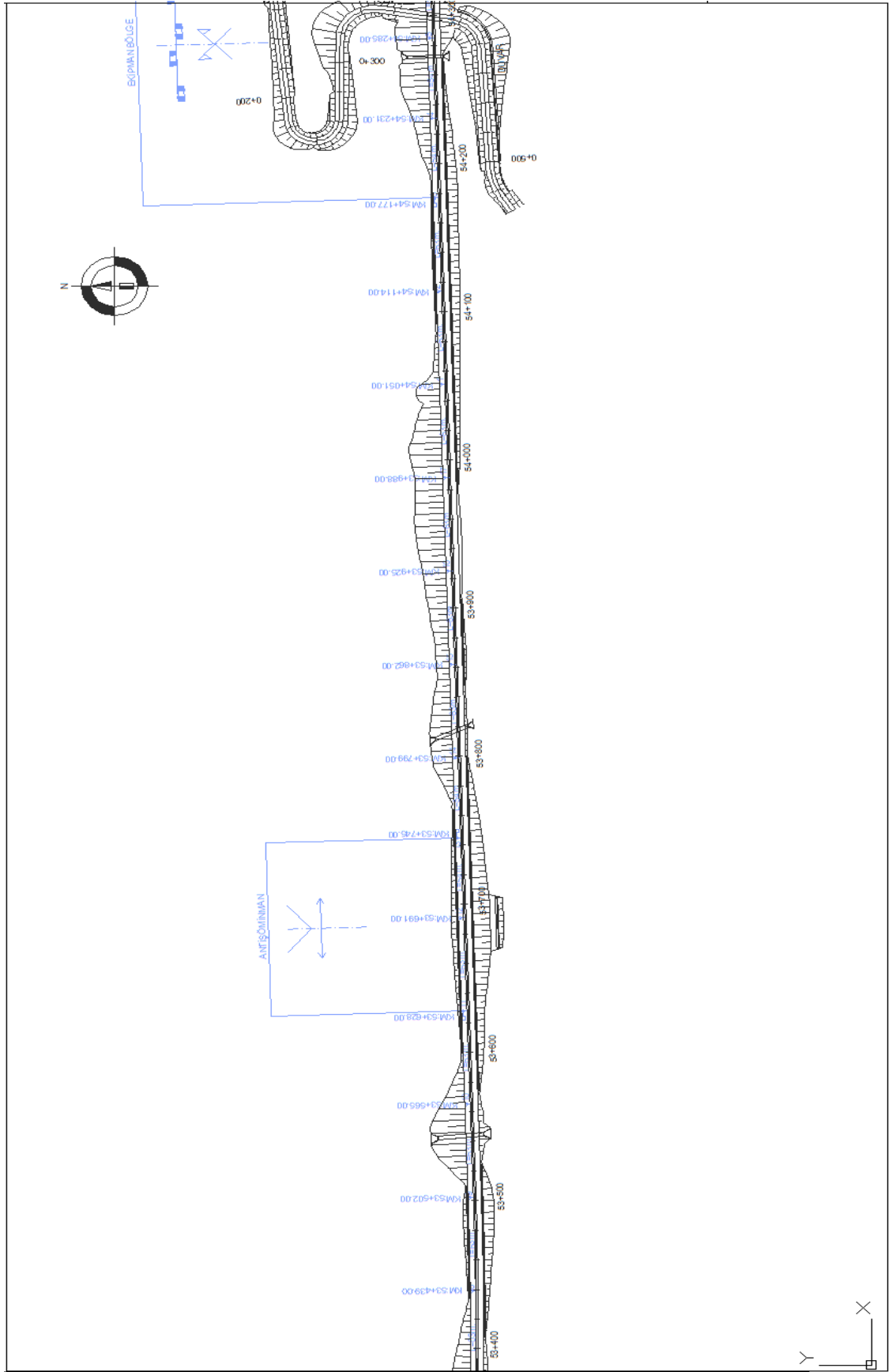
Ek-C (Devam) Katener planı 51+504,00 -52+450,00 km arası



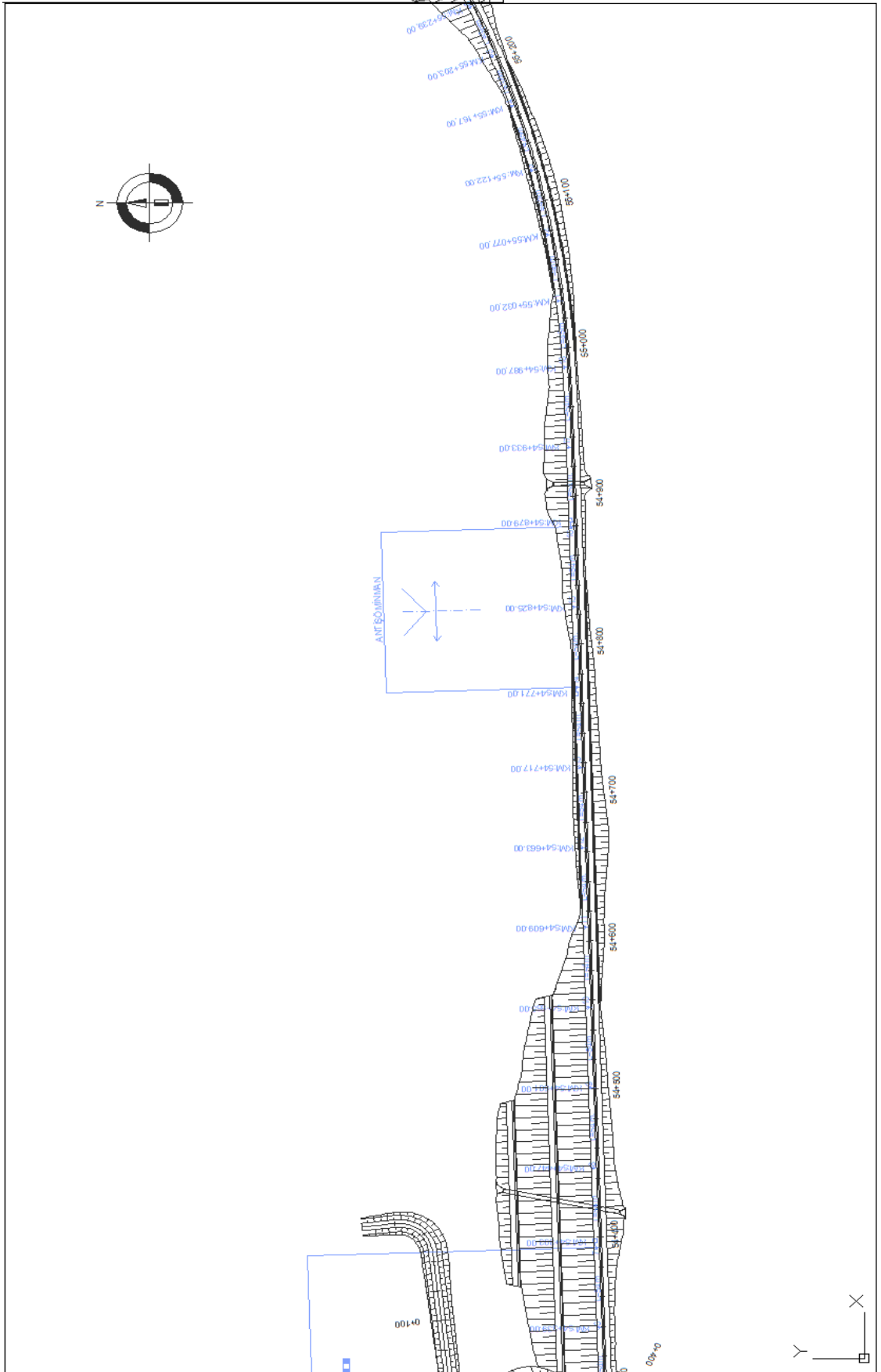
Ek-C (Devam) Katener planı 52+450,00 -53+380,00 km arası



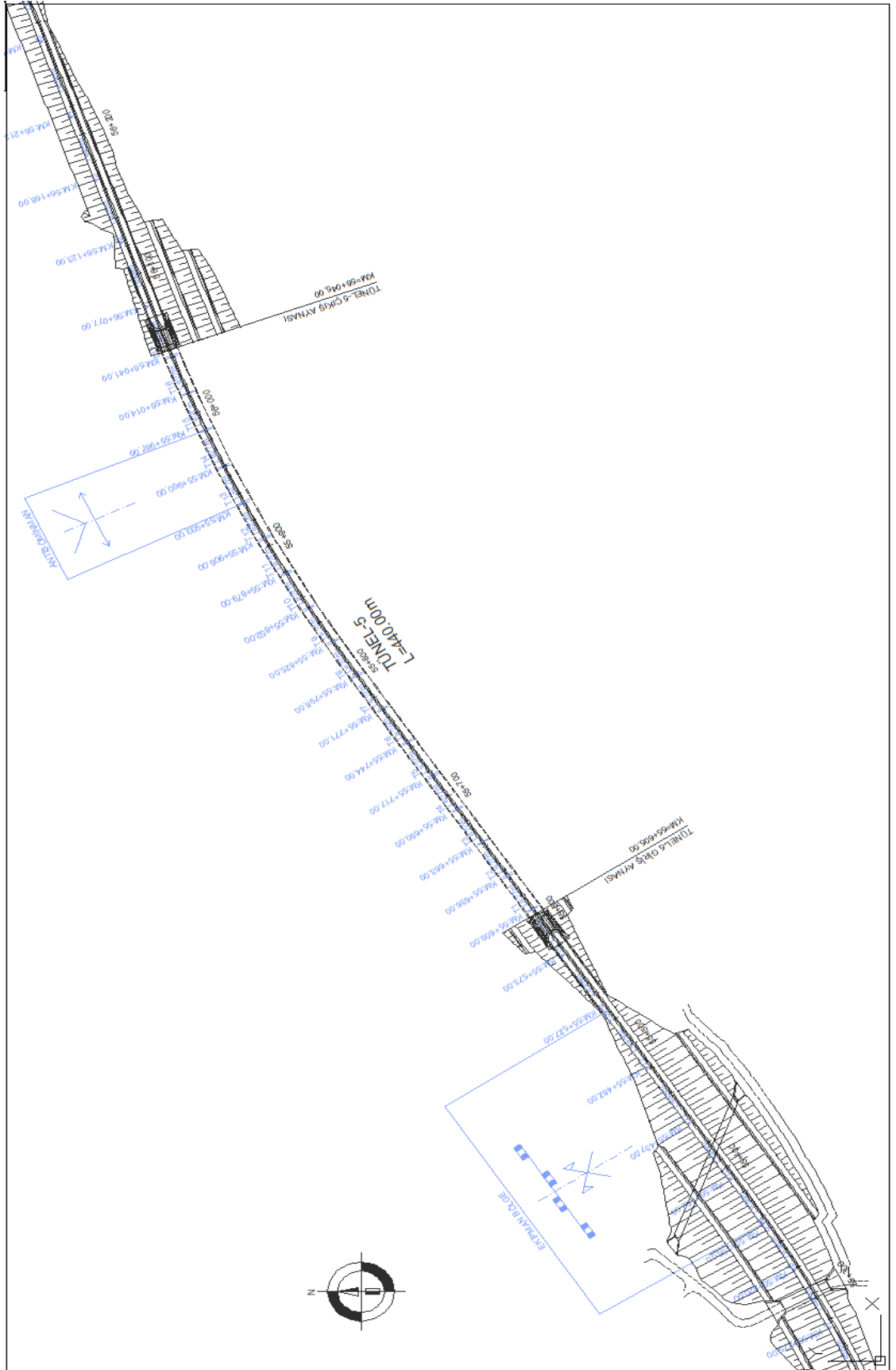
Ek-C (Devam) Katener planı 53+380,00 -54+308,00 km arası



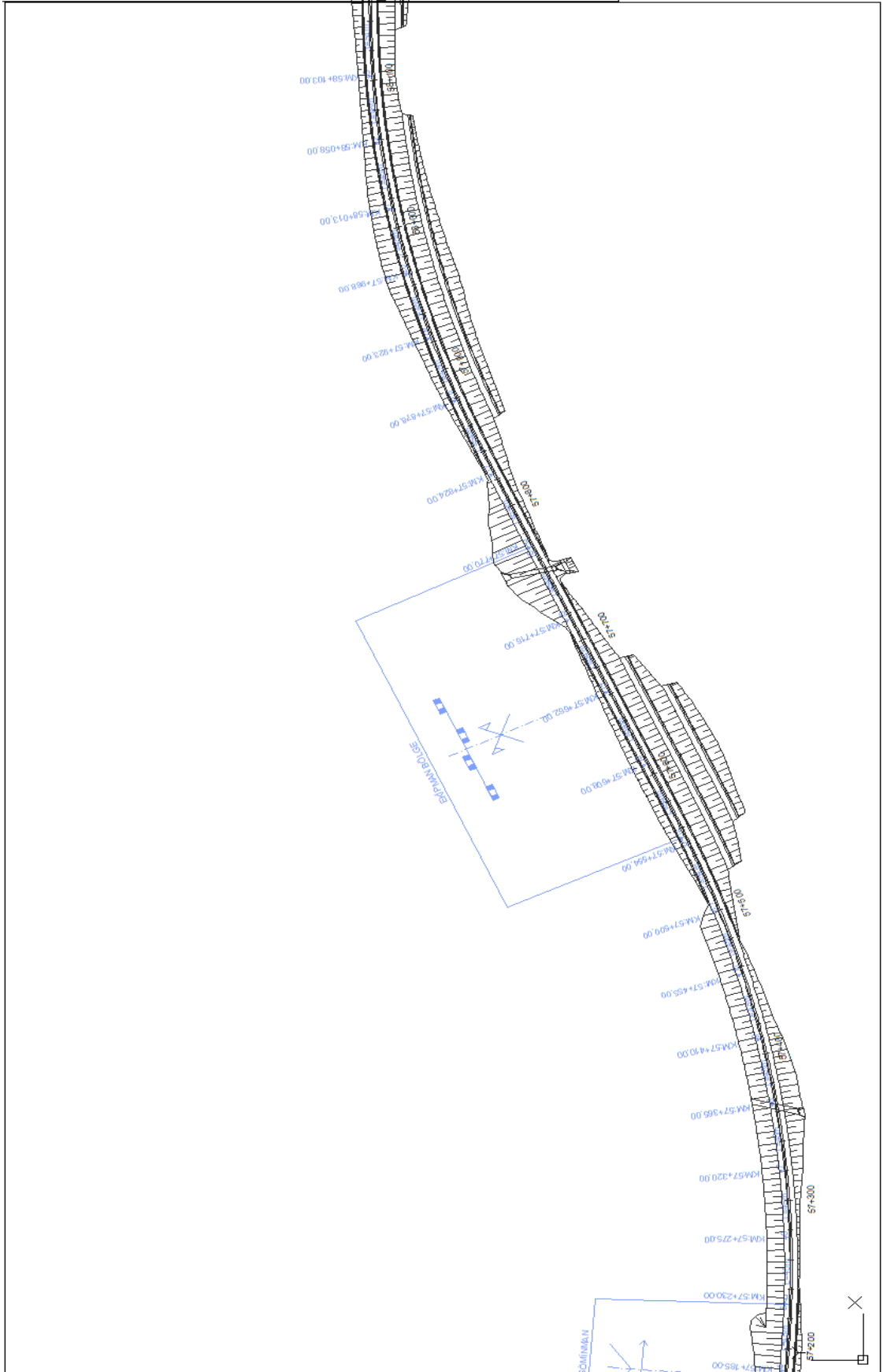
Ek-C (Devam) Katener planı 54+308,00 -55+239,00 km arası



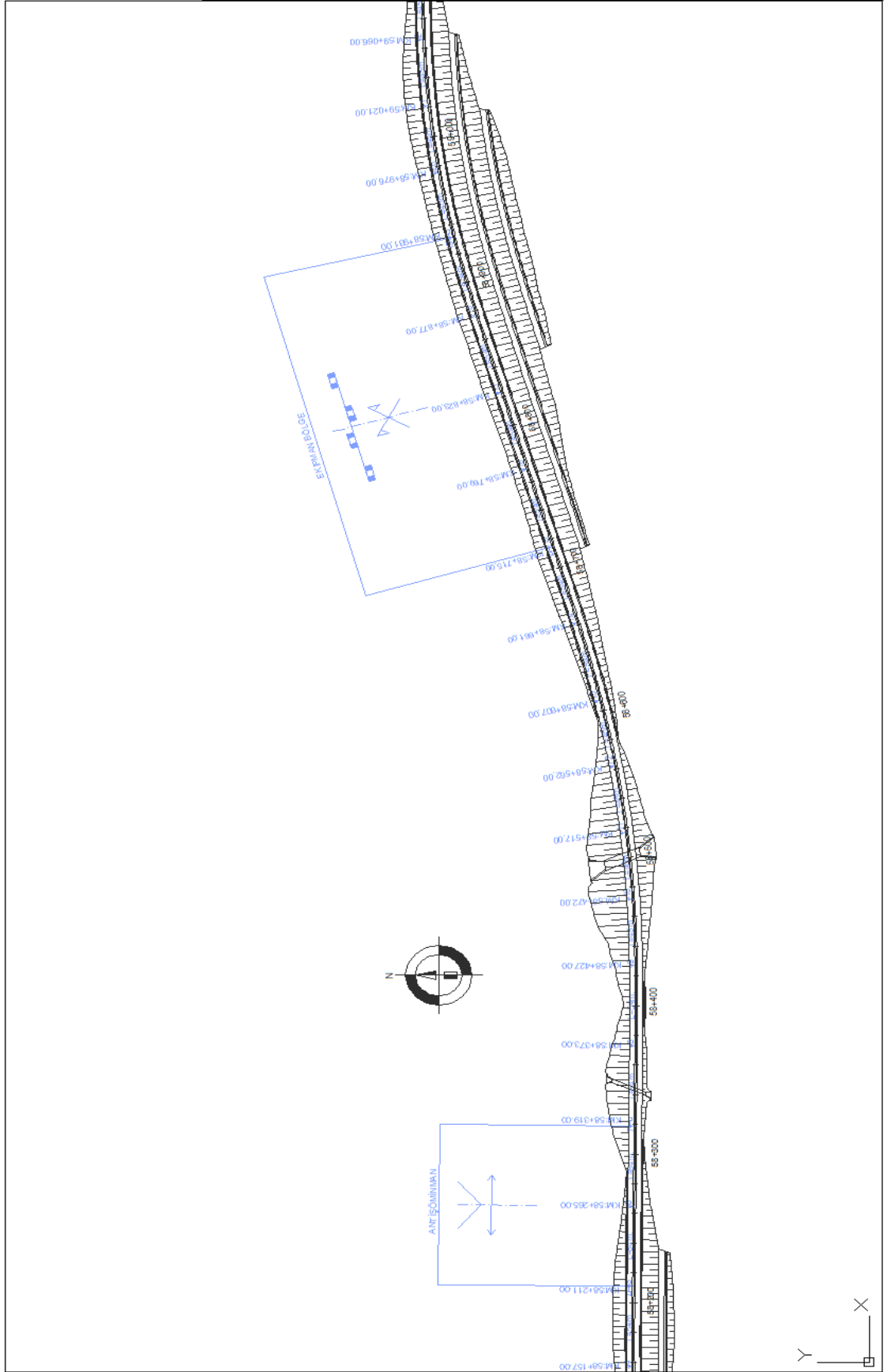
Ek-C (Devam) Katener planı 55+239,00 -56+300,00 km arası



Ek-C (Devam) Katener planı 57+183,00 -58+155,00 km arası



Ek-C (Devam) Katener planı 58+155,00 -59+088,00 km arası



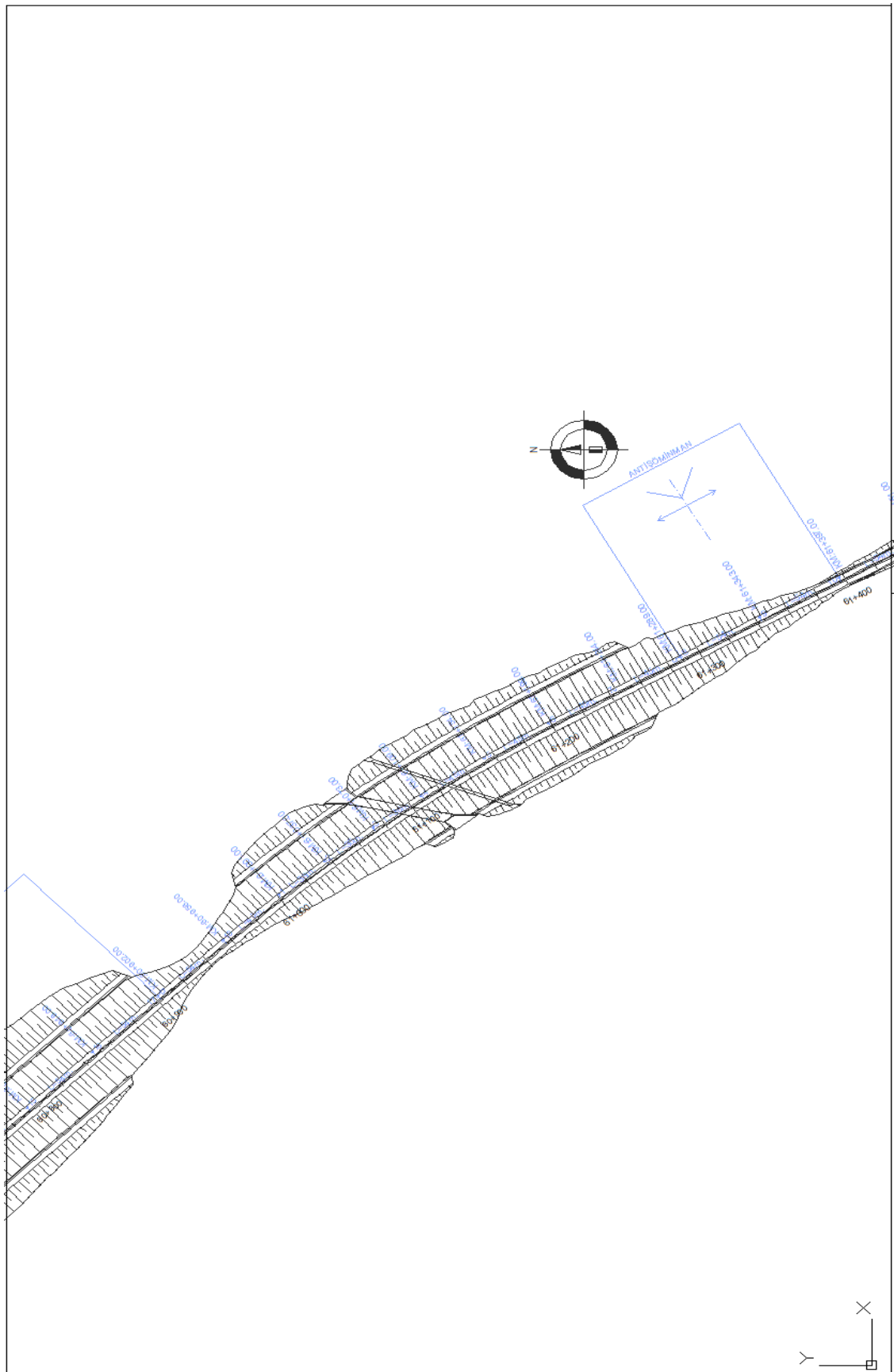
Technical drawing of a road layout, showing a plan view and a cross-section.

The plan view shows a road with a centerline and lane markings. The road is labeled "ANTISOMINIA II" and "EXPAN 80 (2.5)". The stationing is marked along the road, starting from 0+00 and increasing to 0+200. The road is shown with a centerline and lane markings, and the stationing is marked along the road.

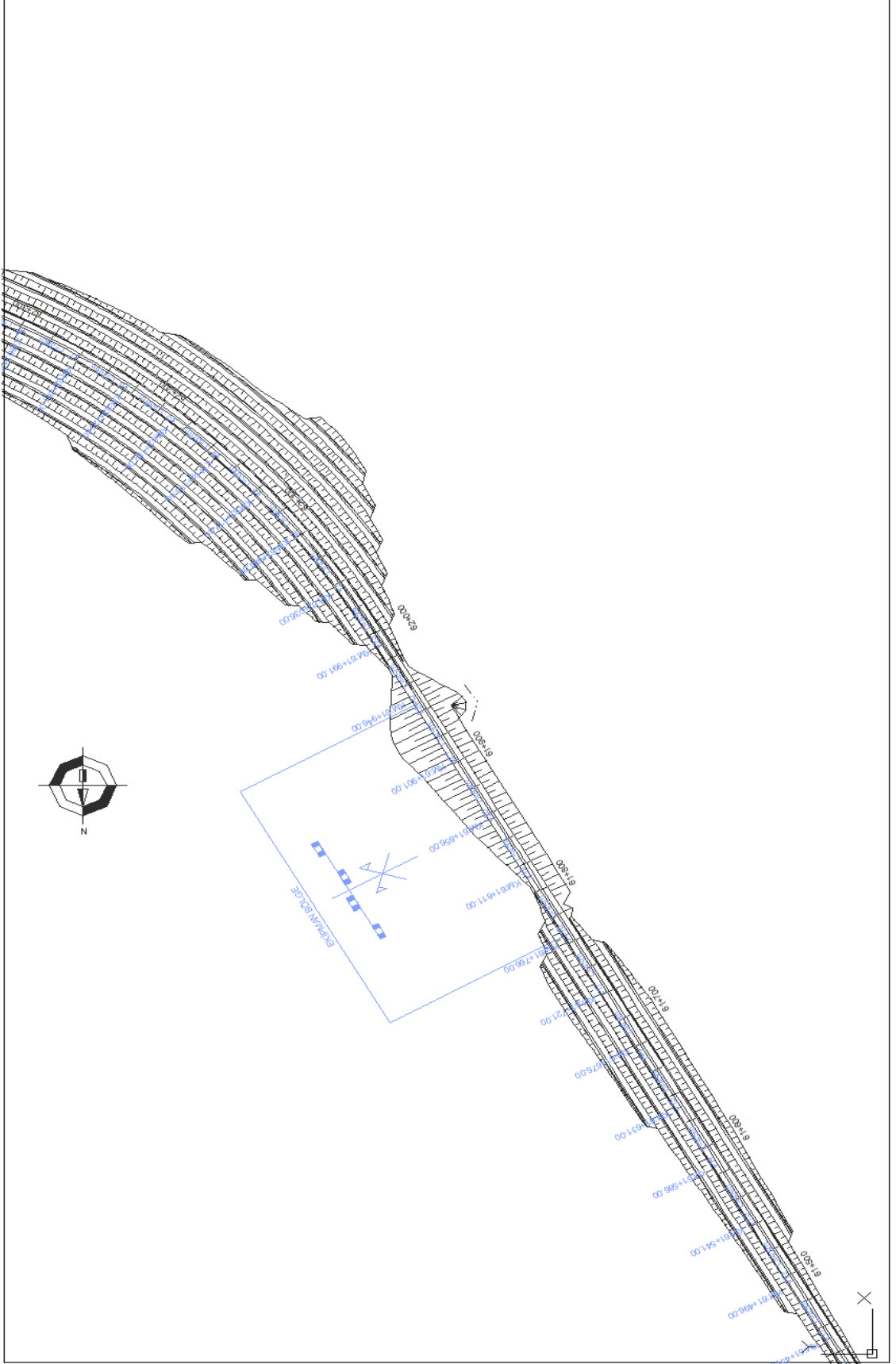
The cross-section shows the road's width and elevation. The road is shown with a centerline and lane markings, and the stationing is marked along the road.

A north arrow is present in the upper right corner of the drawing.

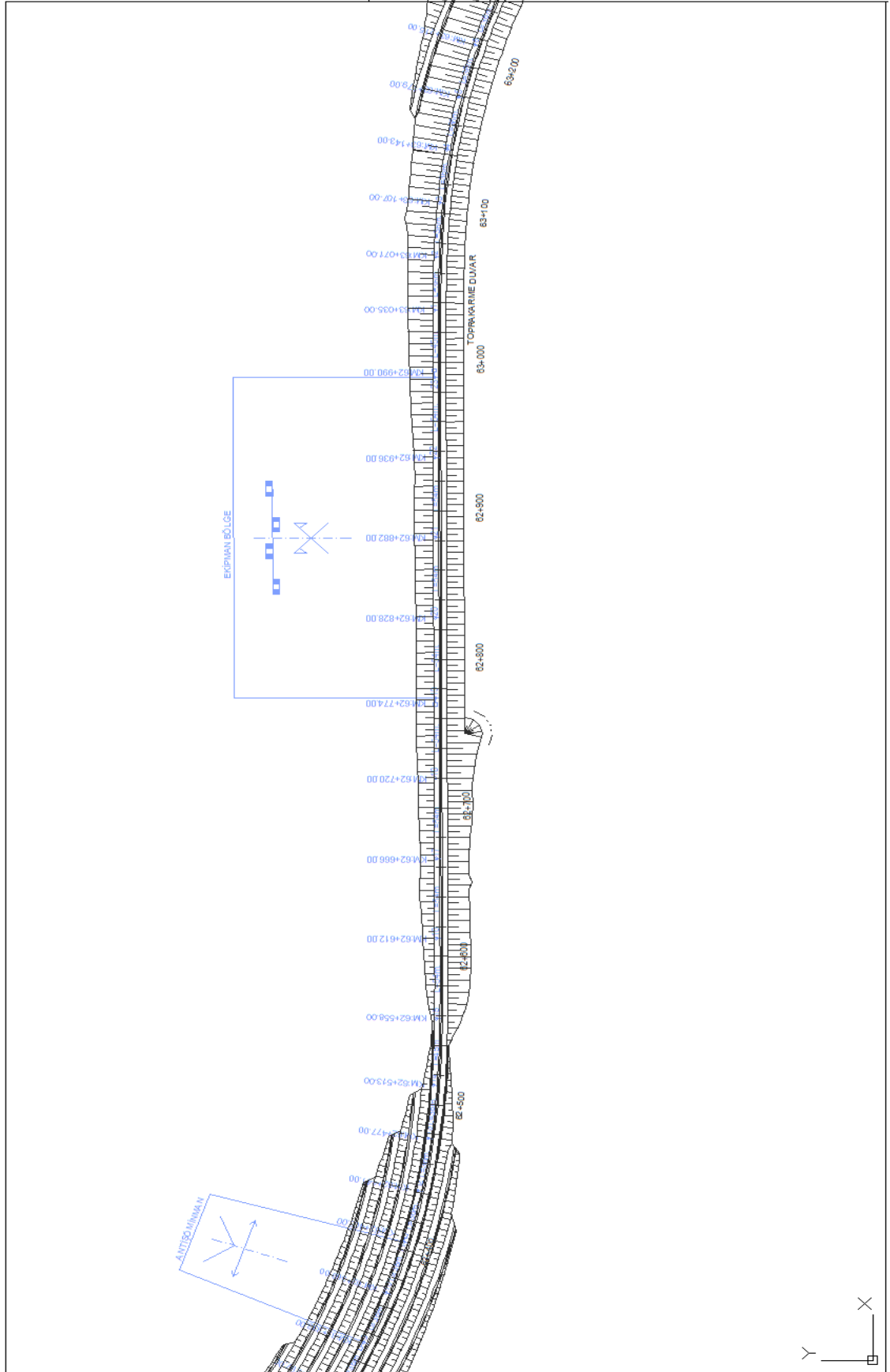
Ek-C (Devam) Katener planı 60+794,00 -61+430,00 km arası



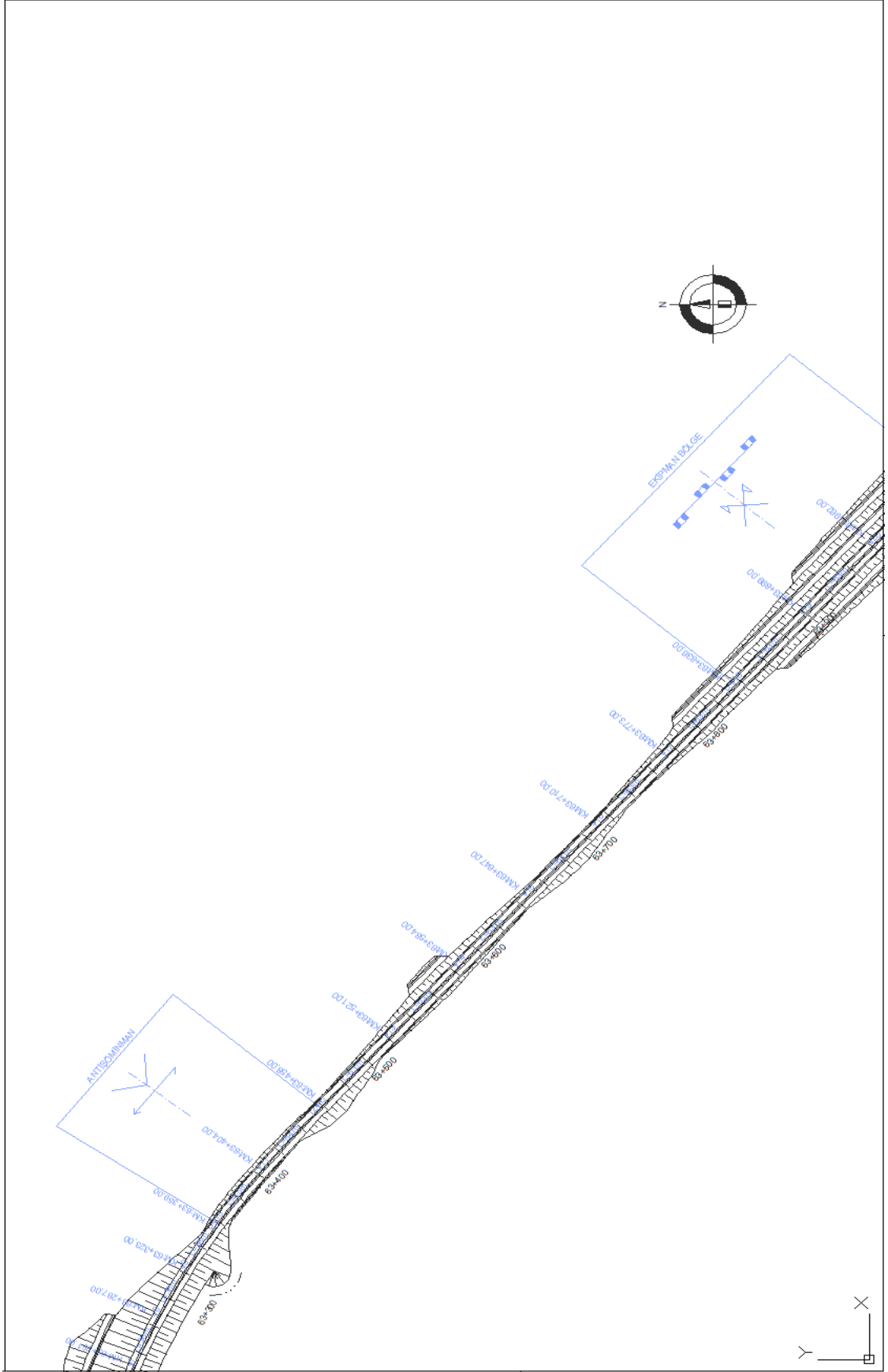
Ek-C (Devam) Katener planı 61+430,00 -62+300,00 km arası



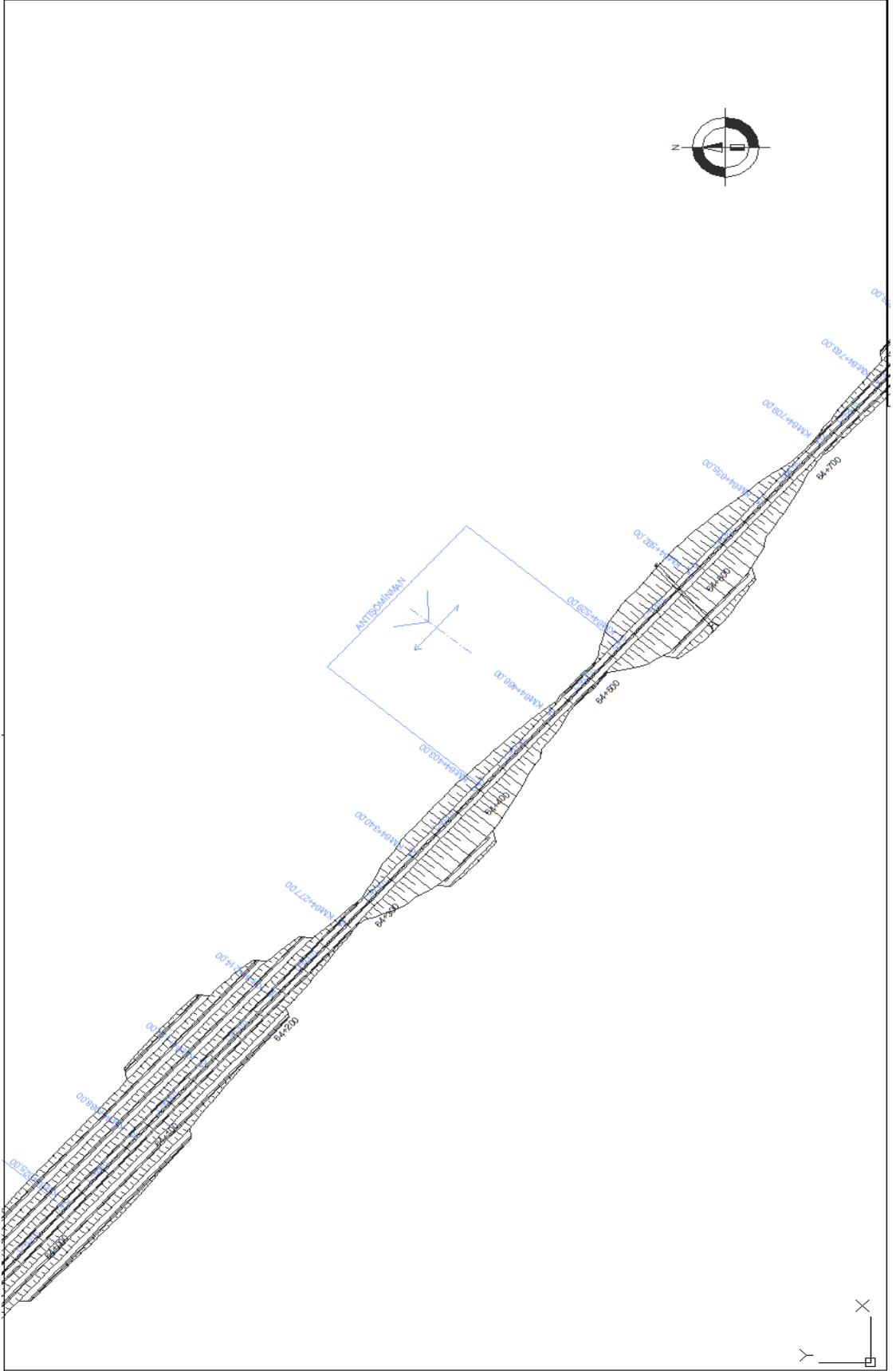
Ek-C (Devam) Katener planı 62+300,00 -63+250,00 km arası



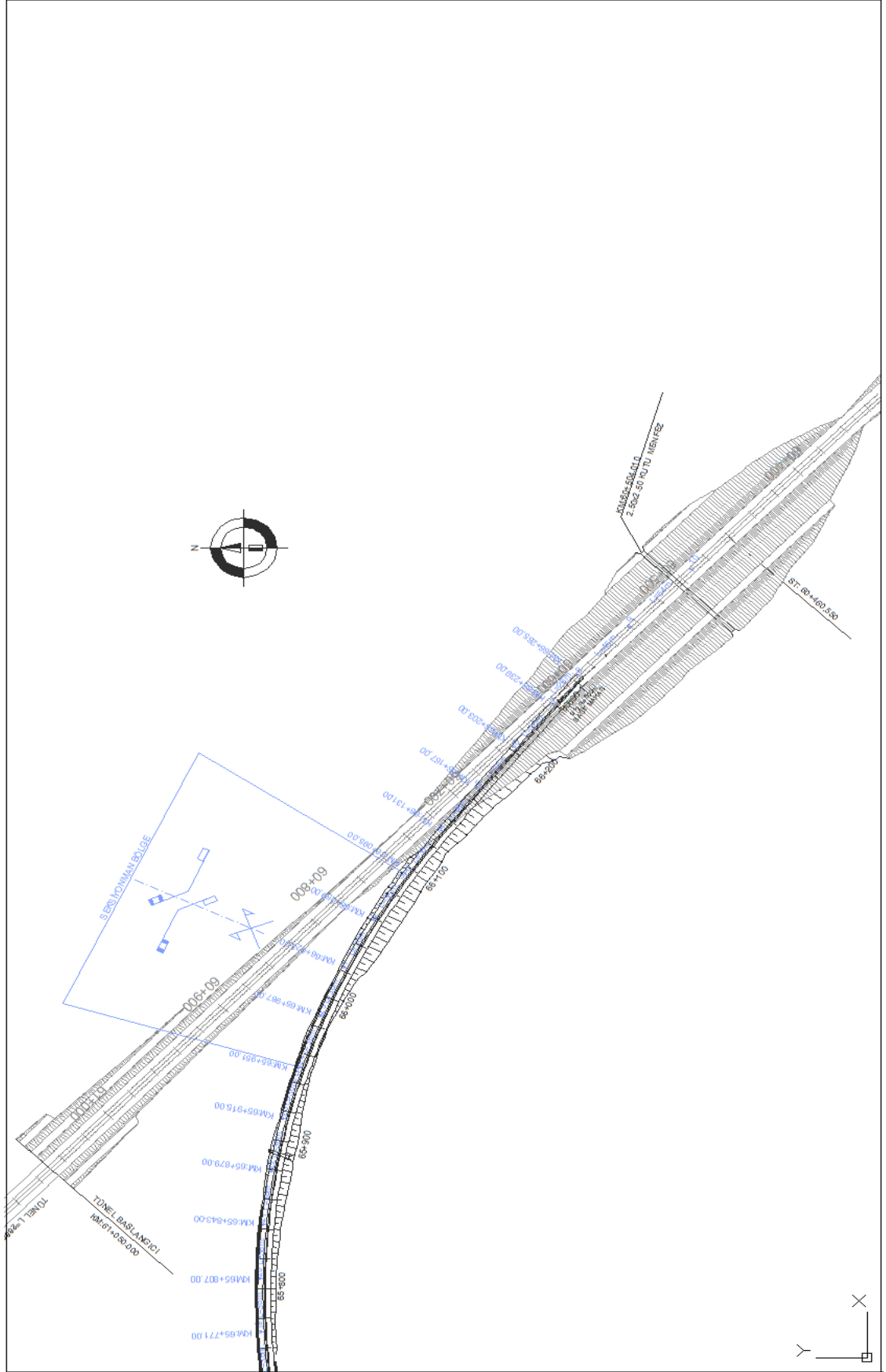
Ek-C (Devam) Katener planı 63+250,00 -63+975,00 km arası



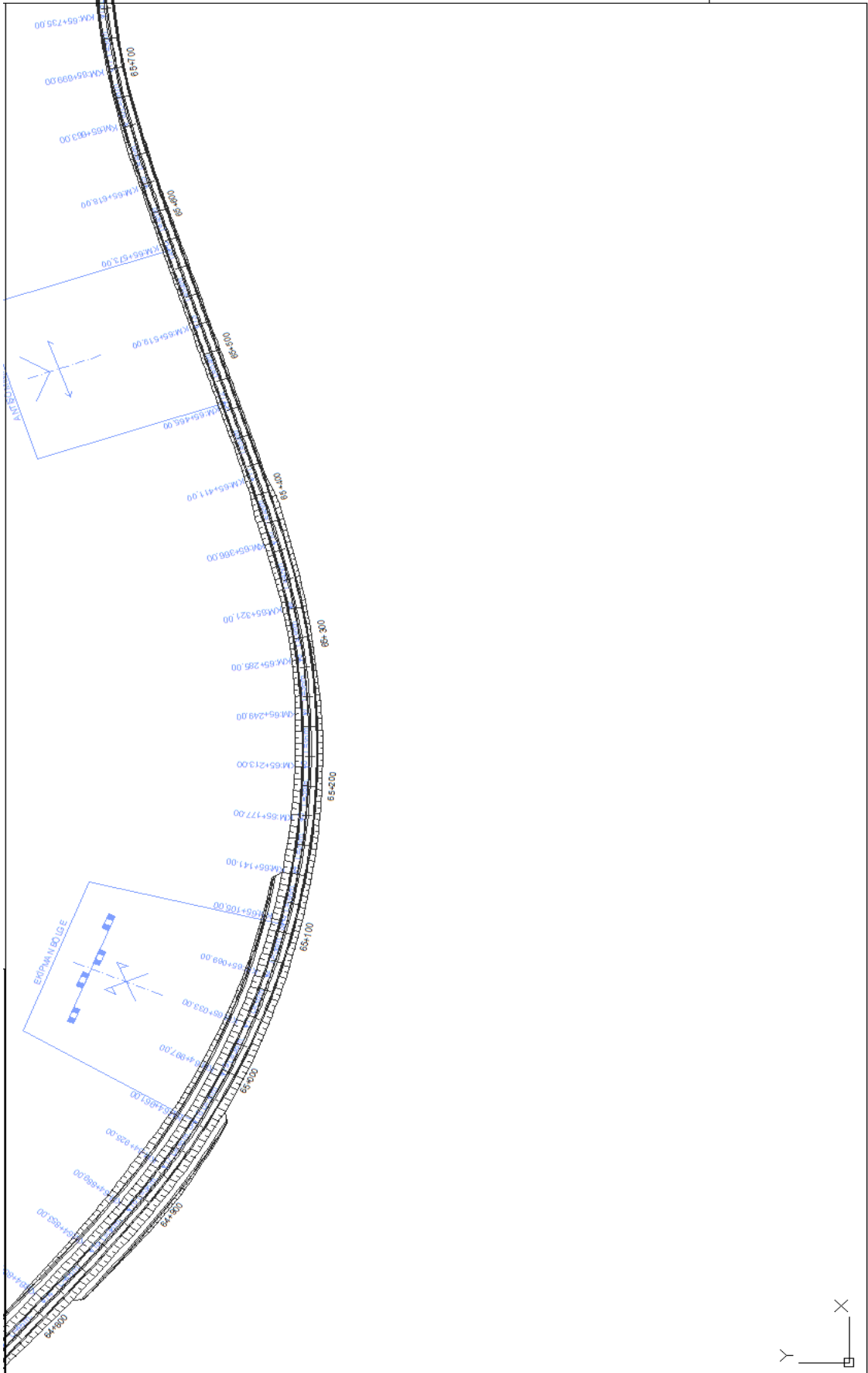
Ek-C (Devam) Katener planı 63+975,00 -64+770,00 km arası



Ek-C (Devam) Katener planı 64+770,00 -65+743,00 km arası



Ek-C (Devam) Katener planı 65+743,00 -66+364,00 km arası (proje sonu)



KAYNAKLAR

Burrow, M., Ghataora, G., and Stirling A., Rail research UK, department of civil engineering, University of Birmingham, ‘A rational approach to railway track substructure design’, Birmingham, UK (2004).

De Consult, ‘Electrification Project’

Elk. Müh. Saygılı O., ‘Şakülü Kurlarda Direk Açıklıkları’

Elk. Y. Müh. Erşin, H., ‘Raylı Ulaşımında Enerji Hesabı ve Katener Dizaynı’

Kiessling, F., Puschmann, R., Schmieder, A. and Schneider, E., “Contact Lines for Electric Railways: Planning, Design, Implementation, Maintenance”, Publicis Corporate Publishing, 2009.

Hendry, M., Hughes D., Barbour L., and Atkinson M., ‘Measurement and modelling the train induced dynamic response of a railway track and embankment constructed over a soft peat foundation’, Departments of Civil Engineering in University of Saskatchewan, Canada, Queen’s University Belfast, Ireland, UK, and Northern Ireland Railways, Belfast, Northern Ireland, UK (1996).

<http://hizlitrenbileti.com/hizlitren.pdf>, “T.C. Ulaştırma Bakanlığı, Yüksek Hızlı Tren Hakkında Herşey”, 2009)

http://www.academia.edu/9915553/Management_of_Natural_Resources_SUNUMU_DEM%C4%B0RYOLLARI_

http://www.dtd.org.tr/_files/ulusal/ulascca7tc4b1rmaanaplanc4b1stratejisipdf.pdf

<http://www.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/3114.pdf>

<http://www.kalkinma.gov.tr/Lists/zel%20htisas%20Komisyonu%20Raporlar/Attachments/254/Lojistik%20Hizmetlerinin%20Geli%C5%9Ftirilmesi.pdf>

<http://www.kalkinma.gov.tr/Lists/zel%20htisas%20Komisyonu%20Raporlar/Attachments/254/Lojistik%20Hizmetlerinin%20Geli%C5%9Ftirilmesi.pdf>

<http://www.rayhaber.com/2012/turkiyede-hizli-tren-4/>

<http://www.rayhaber.com/2012/yuksek-hizli-tren-hakkinda-bilmediginiz-hersey>

<http://www.tcdd.gov.tr/Upload/Files/ContentFiles/2010/faaliyet-raporu/2010rapor.pdf>

İnş Müh. Gençyuva, C., “Katener”

JICA, ‘Railway Elektrification TA JR 89-136’

Matvejevs, “Pantograph-Catenary System Modeling Using Matlab-Simulink Algorithms,” Scientific Journal of Riga Technical University Computer Science. Information Technology and Management Science, s: 38-44, 2010.

Bandi, P., “High-speed rail pantograph control system design,” Project Report, 2009.

Pita, A.L., Teixeira, P.F. and Robuste, F., Center for Innovation in Transport (CENIT), Technical University of Catalonia, Barcelona, Spain, High speed and track deterioration: the role of vertical stiffness of the track, Instn Mech. Engrs Vol. 218 Part F: J. Rail and Rapid Transit (2004),

Rusu, S., Miklos, C., Averseng, J. and Tirian, G.O., “Control System for Catenary – Pantograph Dynamic Interaction Force,” Computational Cybernetics and Technical Informatics (ICCC-CONTI), 2010 International Joint Conference on, s: 181 – 186, 2010.

S. Walters, “Simulation of Fuzzy Control Applied to a Railway Pantograph-Catenary System,” KES'10 Proceedings of the 14th International Conference on Knowledge-based And Intelligent Information and Engineering Systems: Part II, s: 322-330, 2010.

Şimşek, A., ‘Elektrikli Raylı Sistemlerin İncelenmesi ve Kent İçi Raylı Ulaşım Sistemlerinde Enerji Kalitesi ve Geri Kazanımı. İstanbul Teknik Üniversitesi’ (2008).

Tercüme Taneri S., ‘25 kV 50 Hz Monofaze Elektrikli Cer Havai Hatları SNCF 1971’

Shudong, W., Jingbo, G. and Guosheng, G., “Research of the Active Control for High-Speed Train Pantograph,” Cybernetics and Intelligent Systems, 2008 IEEE Conference on, s: 749 – 753, 2008

Yan, W., Hao, Z. J. and Zheng, T. Q. “Optimizing Active Control Scheme of High-speed Pantograph,” Power Electronics and Motion Control Conference, IPEMC

Woldringh, R.F.and New B.M., Embankment Design For High Speed Trains On Soft Soils, Geotechnical Engineering For Transportation Infrastructure, BarendsEt Al. (eds) Balkema, Rotterdam, ISBN 90 5809 047 7 (1999).

Huang, Y. J., “Discrete fuzzy variable structure control for pantograph position control,” Electrical Engineering, Cilt: 86, s: 171–177, 2004.

Yıldız Teknik Üniversitesi Fen- Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü, Fizik Laboratuvarı 1 (Mekanik ve Isı) Deneyleri, Yaylı Sarkaç Deneyi.

ÖZ GEÇMİŞ

Selcen GÖKSEL TAŞDAN 15.07.1974 tarihinde Bretten/Almanya’da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Yozgat’ta tamamladı. 1996 yılında girdiği Niğde Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü’nden Temmuz 2000’de mezun oldu. 2002’de kendi iş yerini kurdu. O tarihten beri yine aynı işyerinde çalışmaktadır. Evli ve bir çocuk annesidir. Bilim dalındaki ilgi alanı Yüksek Hızlı Tren Uygulamalarında Elektrik Besleme Sistemleridir.