

Ankara Üniversitesi Hızlandırıcı ve Lazer Tesisi

Turkish Accelerator and Radiation Laboratory in Ankara
(**TARLA**)

Avni Aksoy

(TARLA ekibi adına)

Ankara Üniversitesi
Hızlandırıcı Teknolojileri Enstitüsü

TARLA

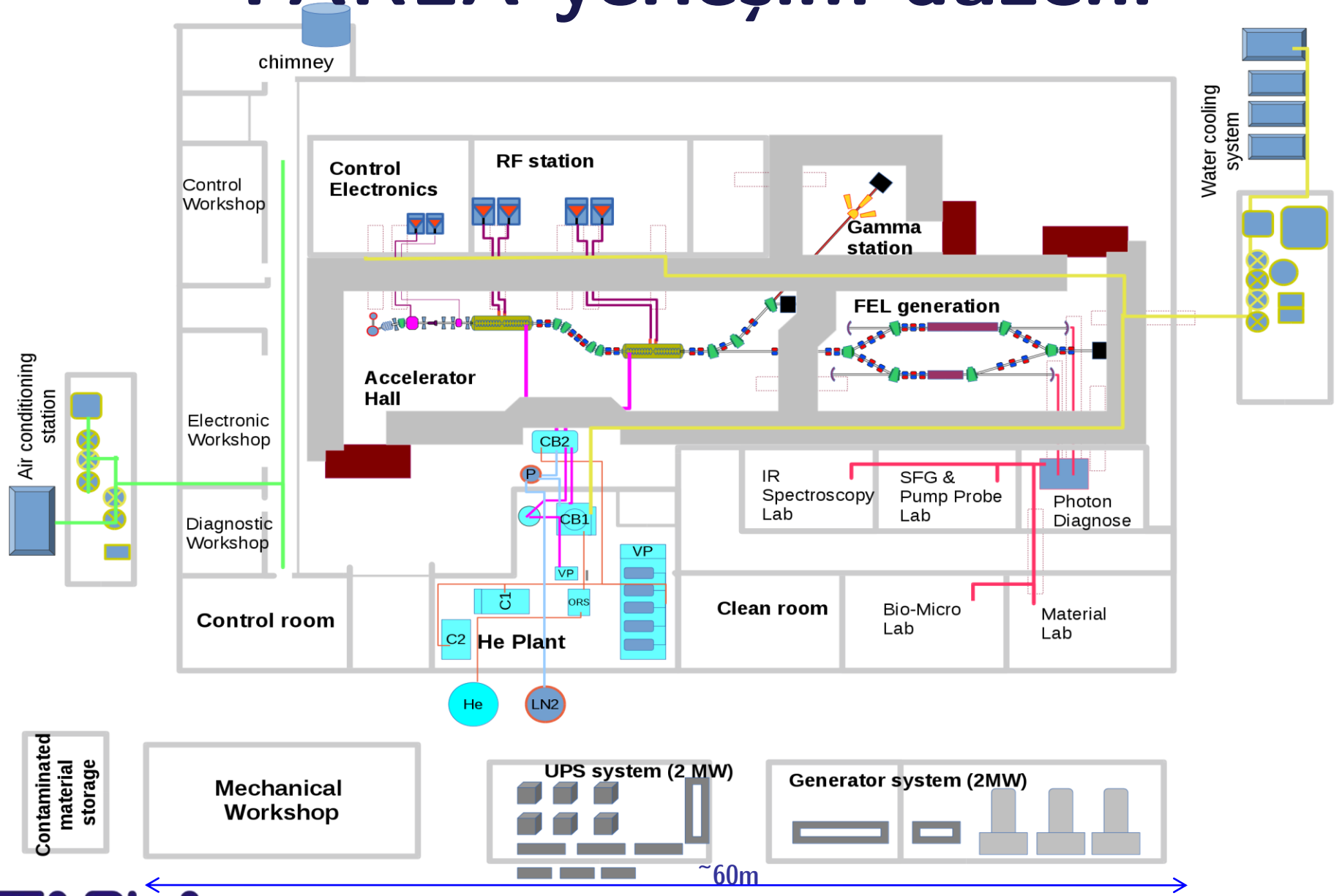


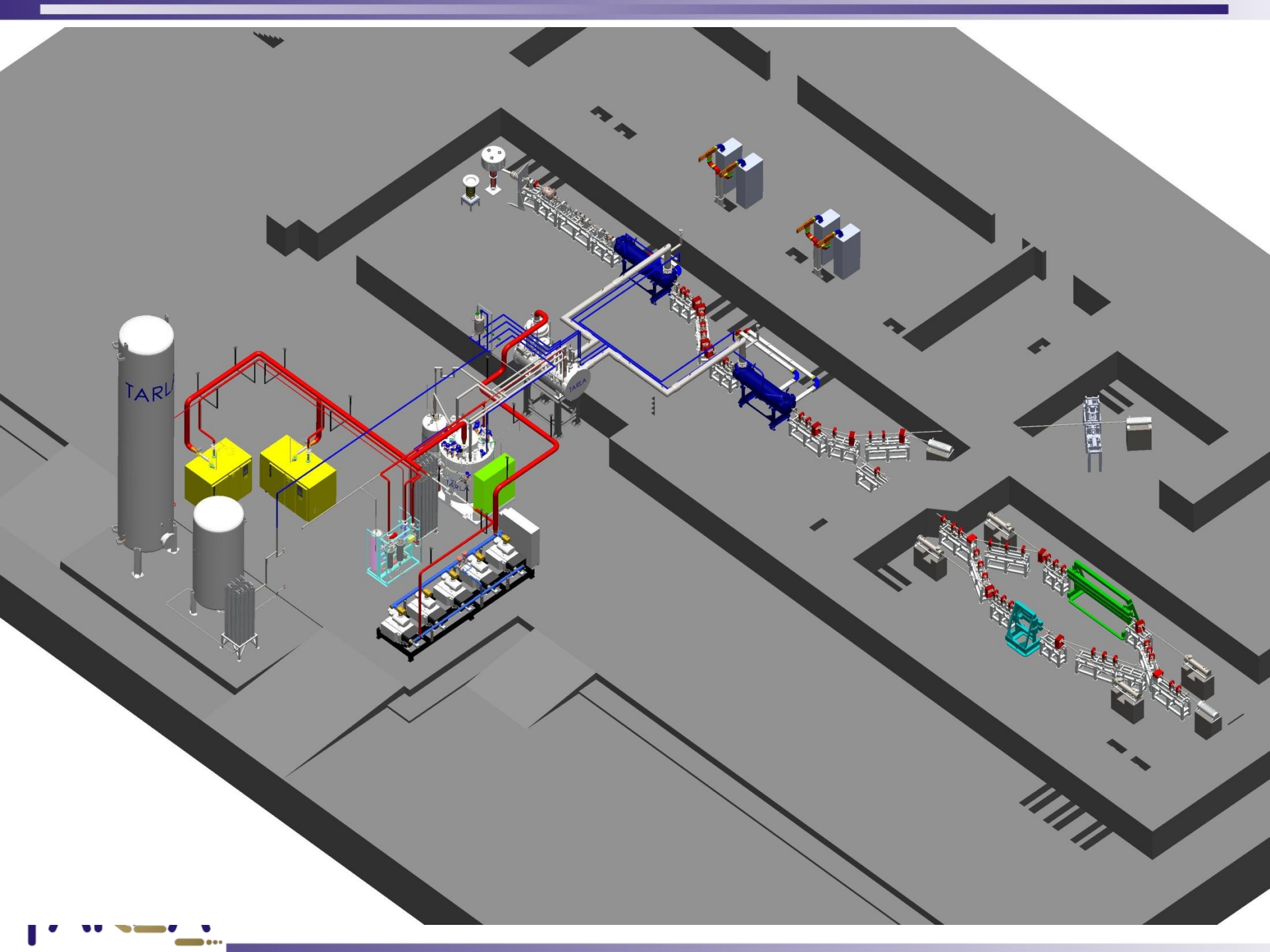
- TARLA, Ankara Üniversitesi tarafından 2006 yılından beri yürütülmekte olan Türk Hızlandırıcı Merkezi Projesinin bir alt projesidir
- TARLA diğer alt projelerden farklı olarak kurulum aşamasındadır.
- Binası Ankara Üniversitesi'ne ait Gölbaşı yerleşkesinde, Hızlandırıcı Teknolojileri Enstitüsündedir.
- HTE de kurulmakta olan hızlandırıcı gibi, Ülkemizde hızlandırıcı alanında faaliyet gösteren ilk enstitüdür.
- Hali hazırda enstitümüzde 18 çalışan bulunmaktadır.
 - 11 tam zamanlı teknik personel
 - 3 yarı zamanlı
 - 4 idari personel
- Ayrıca 3 kısmi zamanlı öğrenci

TARLA'nın amacı

- Türk Hızlandırıcı Merkezi'nin ilk tesisi olarak planlanan elektron hızlandırıcısı ve buna dayalı ışınım kaynakları tesisi
 - ı Bu tesiste ;
- 15-40 MeV enerjili elektron demeti ve 25 mm ile 90 mm periyot uzunluklu salındırıcı kullanarak 3-250 μm dalgaboyu aralığında Serbest Elektron Lazeri (SEL) üretmek ve yüksek güçlü (ortalama güç $\sim 100\text{W}$) SEL ile lazer deneyleri yapmak..
- 10-40 MeV enerjili elektron demeti ve 3 farklı radyatör-kolimatör düzeneği ile 1-30 MeV enerjili Bremsstrahlung radyasyonu üretmek ve nükleer yapı çalışmaları yapmak.
- 1-40 MeV enerjili elektron demeti ile sabit hedef deneylerini yapmak
 - Bremsstrahlung deneyleri ve lazer uygulama alanlarını genişletmek için elektron demeti yüksek akımlı olmalıdır.
 - Yüksek akımlı elektron demeti ancak ve ancak sürekli modda elektron demeti sağlayabilen süper iletken hızlandırıcılar ile sağlanabilmektedir.

TARLA yerleşim düzeni





TARLA Araştırma potansiyeli

Süperiletken hızlandırıcıya dayalı demet

0 - 40 MeV ,
0-1 (1.5) mA
40 (60) kW
sürekli / atmalı

Serbest elektron lazeri

Koherent IR Radyasyon 3-250 μm

- malzeme, (bio)fizik, (bio)kimya, çevre, sağlık..

Radyatör foil (Al,Nb)

Polarize Bremmstrahlung 1-30 MeV

- nükleer fizik, astrofizik, radyasyon dayanım...
- Gama uyarmalı pozitron spektroskopisi

Doğrudan kullanım

Elektron demeti 0 -40 MeV

- Radyobioloji, Detektör çalışmaları, Thompson saçılması
- Elektron kırınım, plazma fiziği

W moderatör

Tek enerjili pozitron (10 -300 keV)

- Katıhal fiziği, malzeme kusur araştırmaları...

Kristal kanallama
Eğici magnet

Yarı monokromatik X-ışını (10-100 keV)

- Radyasyon fiziği, radyobioloji..

Kurşun hedef

Nötron kaynağı (0 -30 MeV)

- Fizyon, malzeme, nükleer fizik

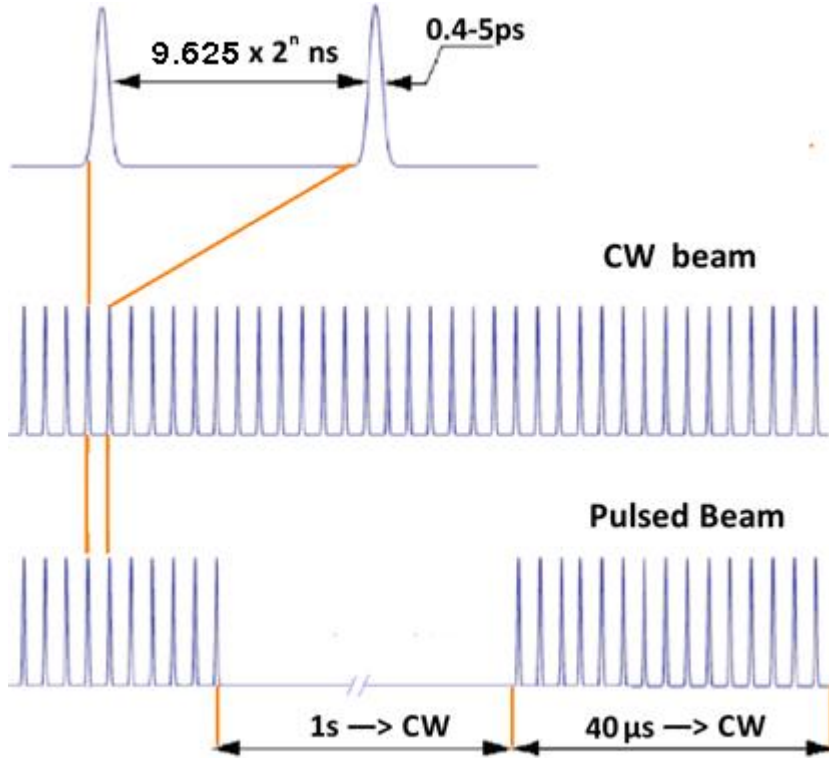
Eğici magnet

THz radyasyon ((0.1 – 3 THz))

- Malzeme, detektör...

TARLA Elektron Demeti

Elektron paketleri kaynak içerisinde bulunan hızlı grid kontrol sistemi ile üretilir.



CW demet

1 mA, 0-40 MeV

Koherent IR lazer

3 – 250 μm

- materials research
- biophysics
- biochemistry
- environment

Polarize Bremss

0 – 30 MeV

- Nuclear physics
- Nuclear astrophysics
- Radiation physics

Electrons

0 – 40 MeV

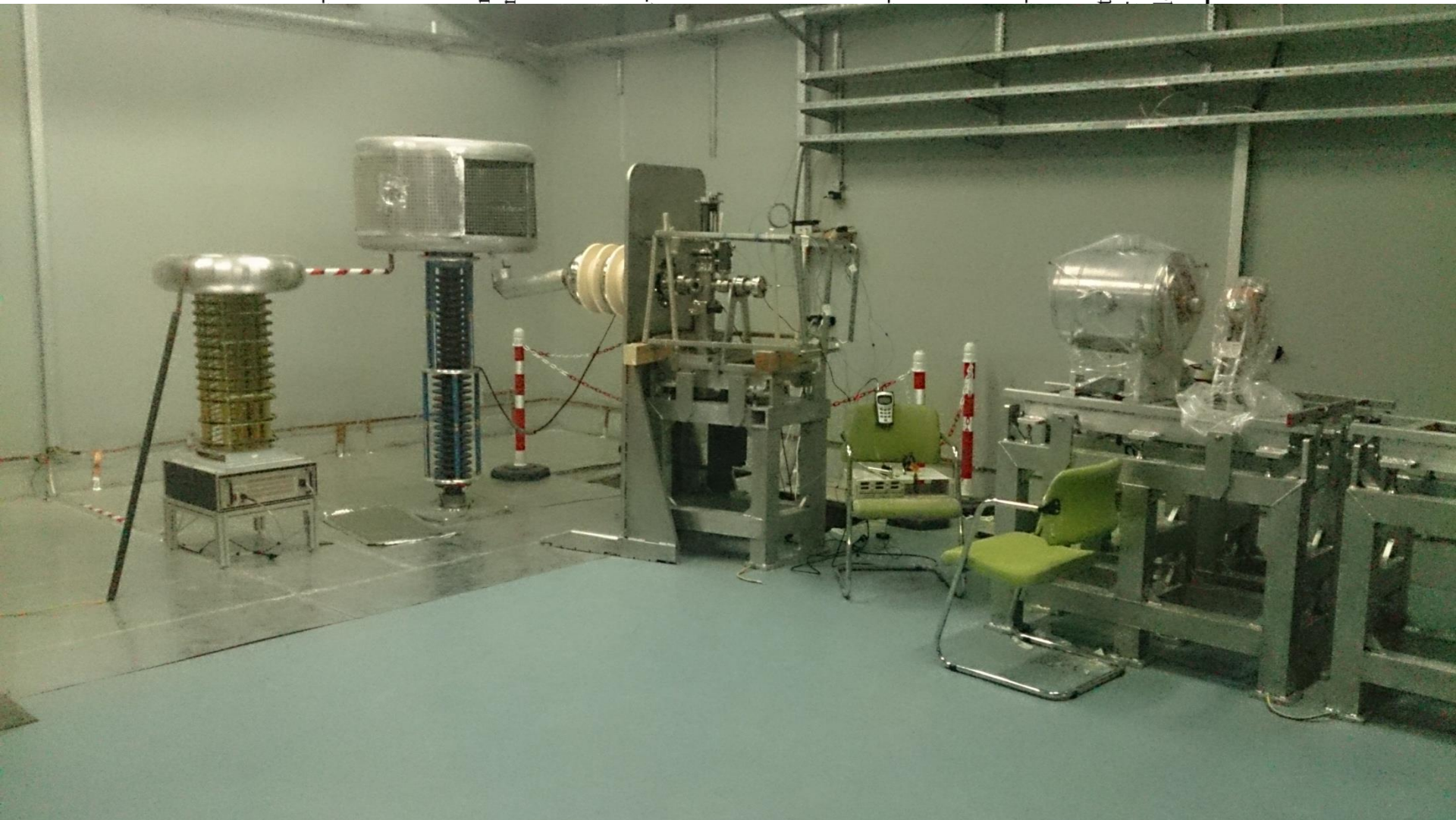
- radio biology
- detector studies
- materials research

Makro atma yapısı ise enjektör üzerinde kurulan makro atma kontrolcüsü ile yönetilir.

Elektron demeti parametreleri

Parameter	Unit	Base Value	Upgrade Value
Beam Energy	MeV	16 - 40	16 - 40
Max Bunch Charge (@13 MHz)	pC	77	115
Max Average Beam Current	mA	1	1.5
Horizontal Emittance	mm mrad	<15	<15
Vertical Emittance	mm mrad	<12	<12
Longitudinal Emittance	keV ps	<85	<85
Bunch Length	ps	0.4 - 6	0.4 - 6
Bunch Repetition	MHz	13	13-26
Macro pulse Duration	μ s	10 - CW	10 - CW
Macro pulse Repetition	Hz	1 - CW	1 - CW

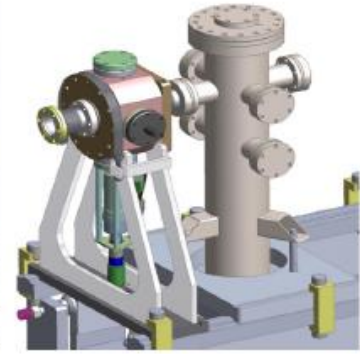
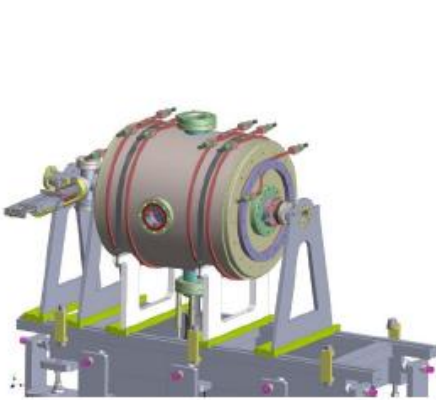
Elektron kaynağı ve enjektör



uzunluğu 50 ps \rightarrow CW)

Paketleyici kovuklar

- Paketleyici kovuklar 2015 yılı içinde teslim edildi..
- Fabrika kabul testleri başarılı bir şekilde tamamlandı. (External Q measurement & resonance measurement)



TM₀₁₀ 260 MHz resonator

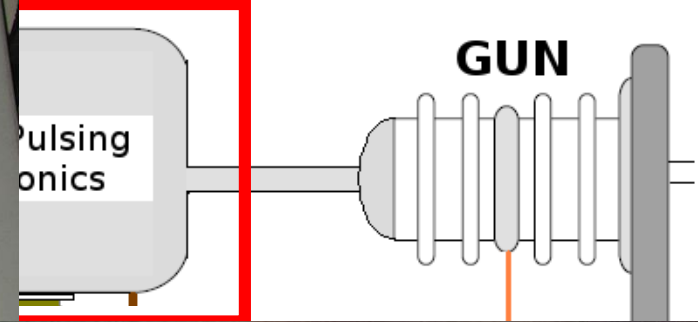
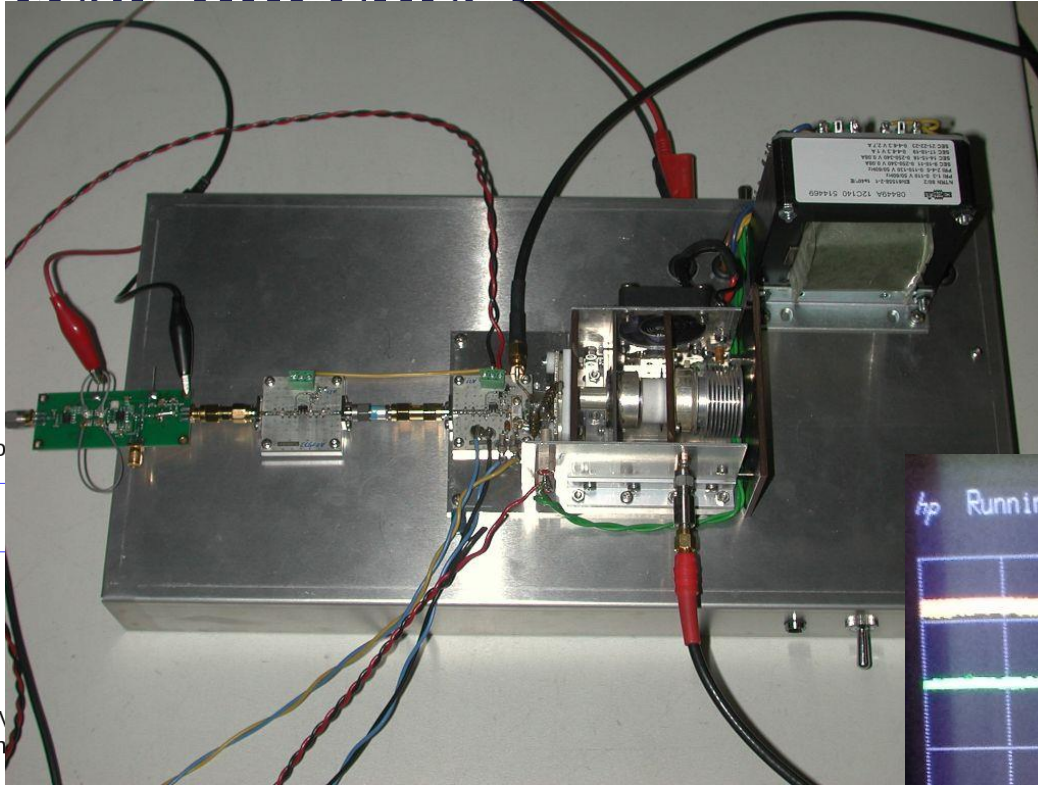
Q	12200	
R/Q	225	Ω
T ₀	0.992	
V _{acc}	0.06	MV/m
ΔE	25	kV

TM₀₁₀ 1300 MHz resonator

Q	13700	
R/Q	100	Ω
T ₀	0.92	
V _{acc}	0.1	MV/m
ΔE	20	kV

- Orijinal tasarım → SLAC& HZDR
- Yüksek gradiyen için tasarım tarafımızda iyileştirildi..

Elektron tabancası ve paket oluşturma sistemi test düzeneği

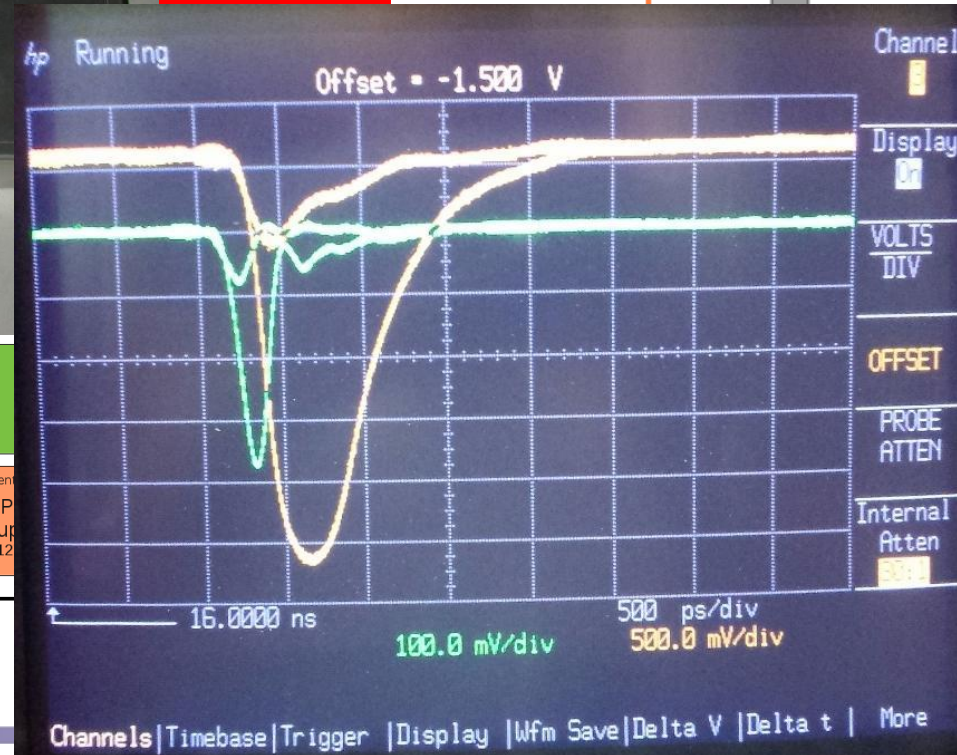
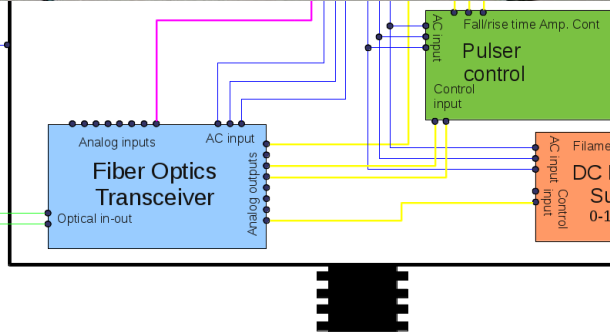


Iso

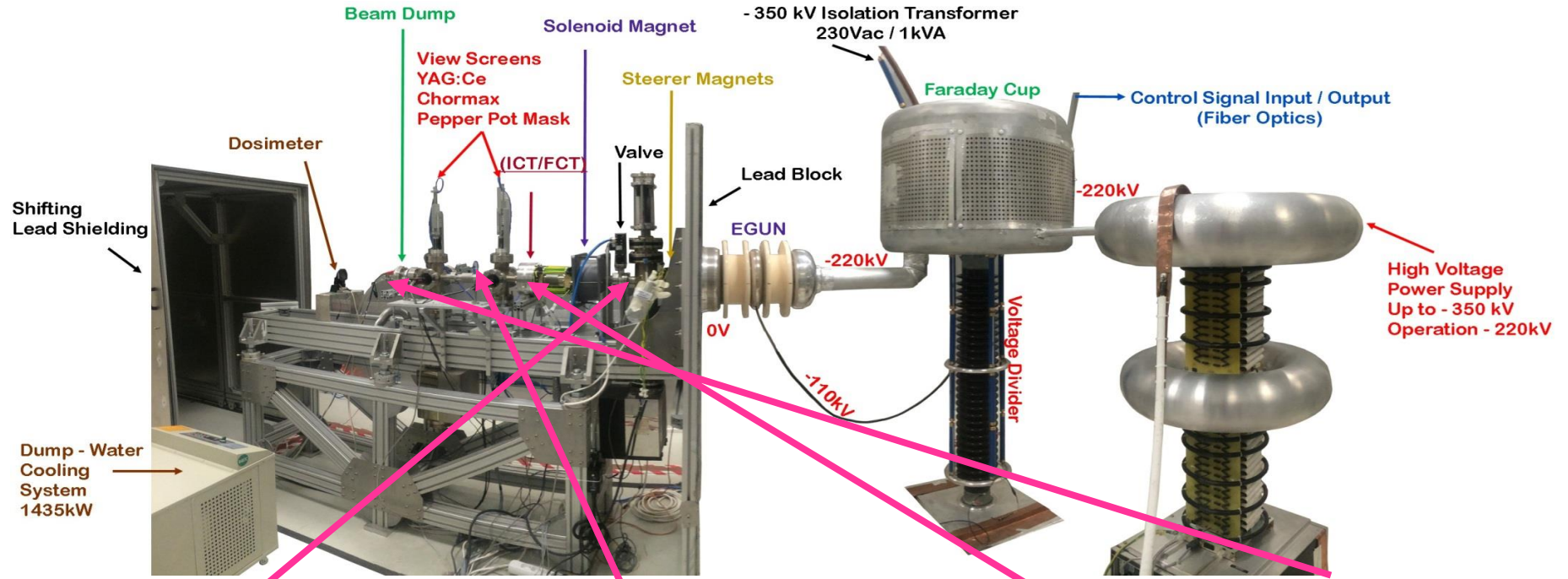
13 M
sign

-300 kV
Power supply

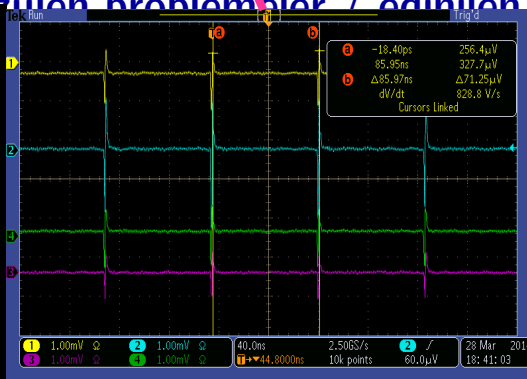
To control



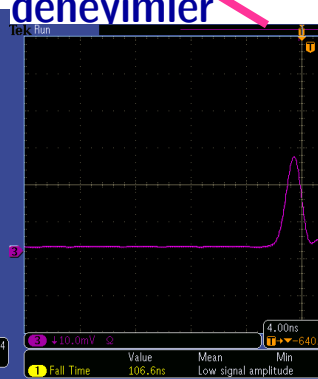
Elektron tabancası test düzeneği



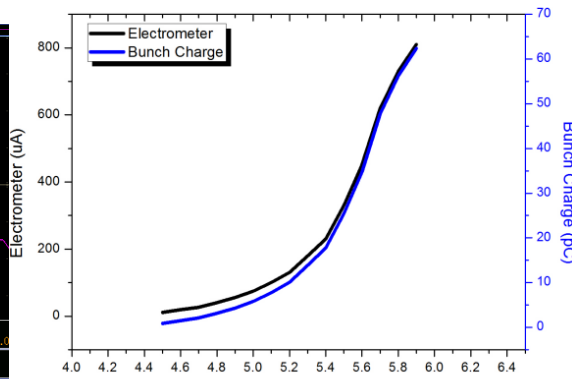
Test düzeneği ile çözülen problemler / edinilen deneyimler



BPM sinyali



FCT sinyali



Demet yükü

Ana Hızlandırıcı Bölümü



- Ana hızlandırıcı bölümü;
 - ▶ 2 adet süper iletken hızlandırıcı modülü
 - ▶ Modüllerin arasında konumlanmış manyetik paket sıkıştırma sistemi
- Enjektörden gelen 1 mA elektron demeti ilk modül ile 18 MeV e kadar hızlandırılır
- Elektron paketlerinin boyu ilk modülü terk ettiğinde 2 ps mertebesindedir.
- Paket sıkıştırıcı ile elektron demeti 0.4 ps'ye kadar sıkıştırılabilir (ya da 5ps'ye kadar uzatılabilir).
- Paket sıkıştırıcı, maksimum enerjide minimum paket uzunluğunu elde etmek için tasarlanmıştır.

Süperiletken ELBE modülü

- Modül iki adet Süperiletken TESLA tüpünü çalıştırarak 20 MeV'ye kadar enerji sağlayabilir.
- Cryostat ve Research Center tarafından lisans alınmıştır.
- Modülde 10 adet süperiletken kaynakla çalışır.
- Her bir modülde 100 kV'ye kadar gradyent üretilir.
- Sözleşme 2007 yılında imzalandı.
- Teslim Tarihi 2008 yılında.



20 MeV.1mA
= 20kW

K helium reservoir

isolation
shield
isolation

MHz
kHz

MV
W
kW

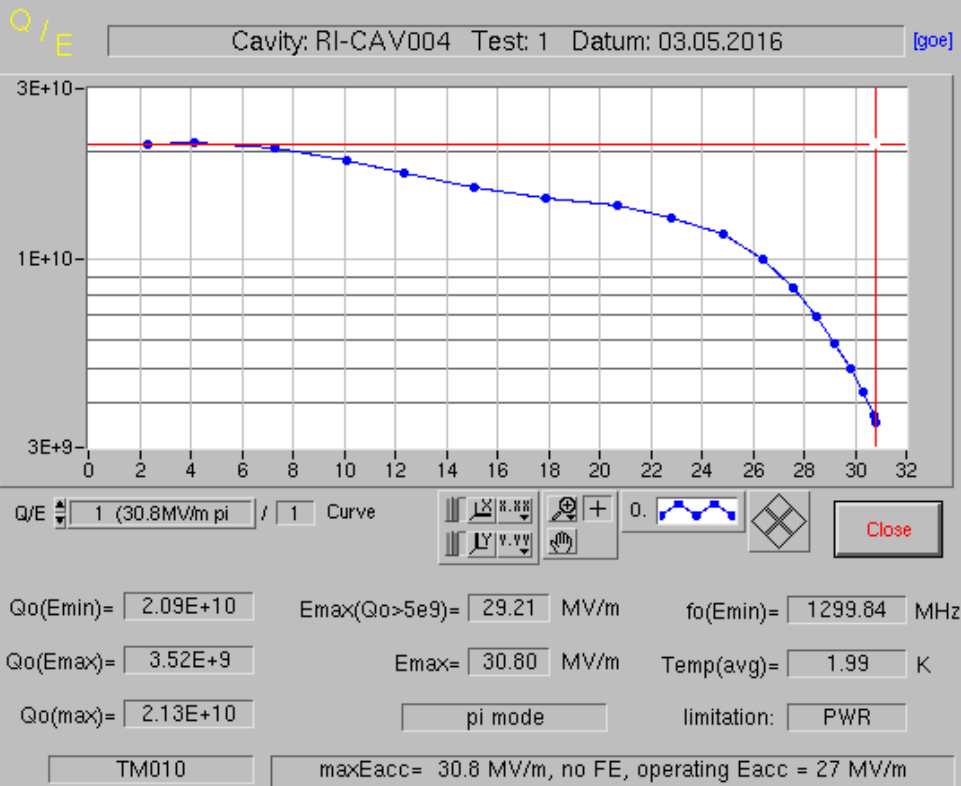
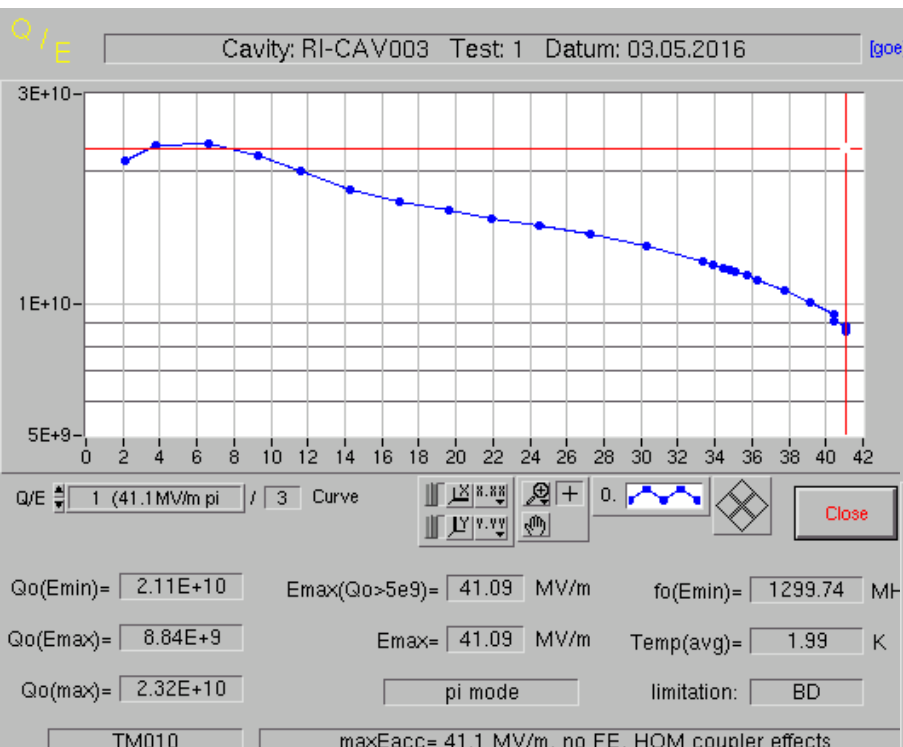
Power coupler performance (standing wave)

≥8

TARLA SC kovukları

n XFEL standartlarında test edilmekte..

(major steps mentioned only)
 0 m removal)
 en degassing
 mode and field flatness to >98%
 m removal)
 mode and field flatness (>98%)
 na & bellow



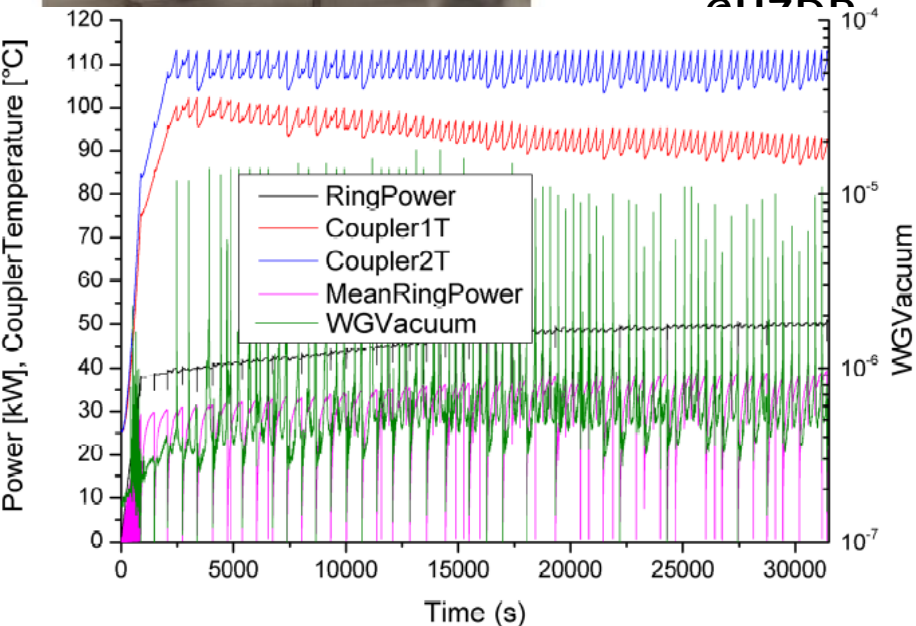
çinün testi yap



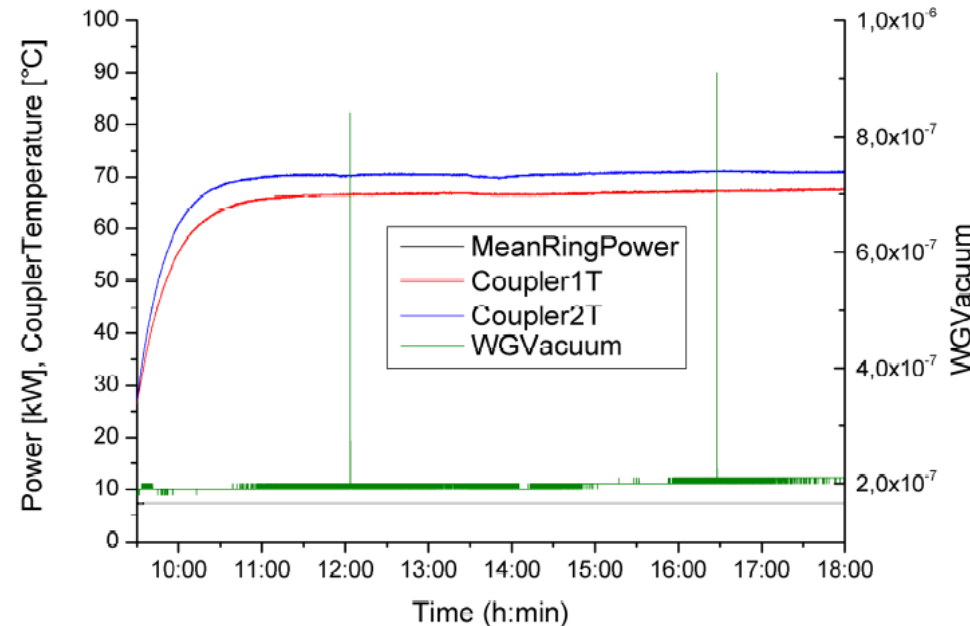
SRF couplers



- RF couplers → ELBE tasarımı
- RI tarafından imal edildi
- The couplers were equipped with the proper antenna tip and two couplers were assembled to a test waveguide.
- The warm windows were also preassembled and tested



Pulsed mode test @ 50 kW, duty cycle 80%



Test @ CW mode, 8 kW



TARLA tuning sistemi

Geometry

21.04.2016 09:45

ANSYS

ANSYS
R15.0

A: Piezo_Design_0_Static

Total Deformation

Type: Total Deformation

Unit: μm

Time: 1

3/3/2016 9:10 PM

10.11 Max

8.9871

7.8637

6.7403

5.6169

4.4935

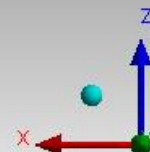
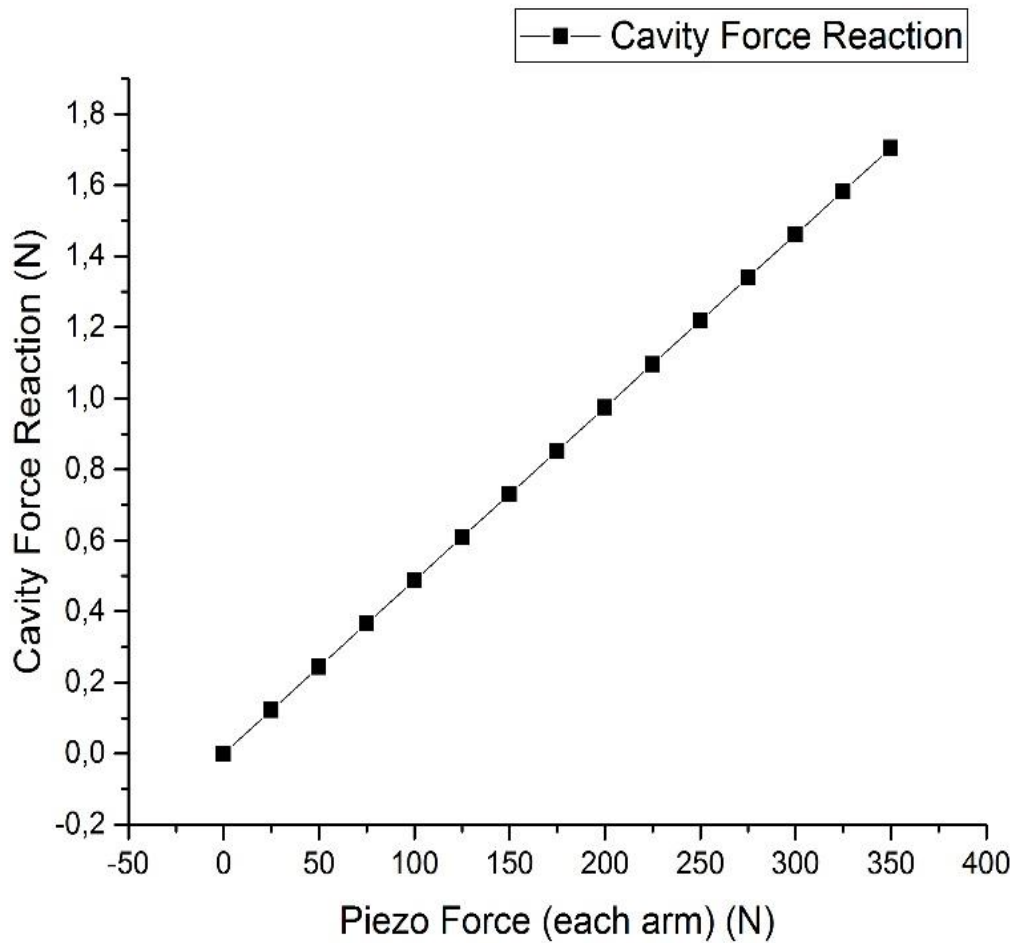
3.3702

2.2468

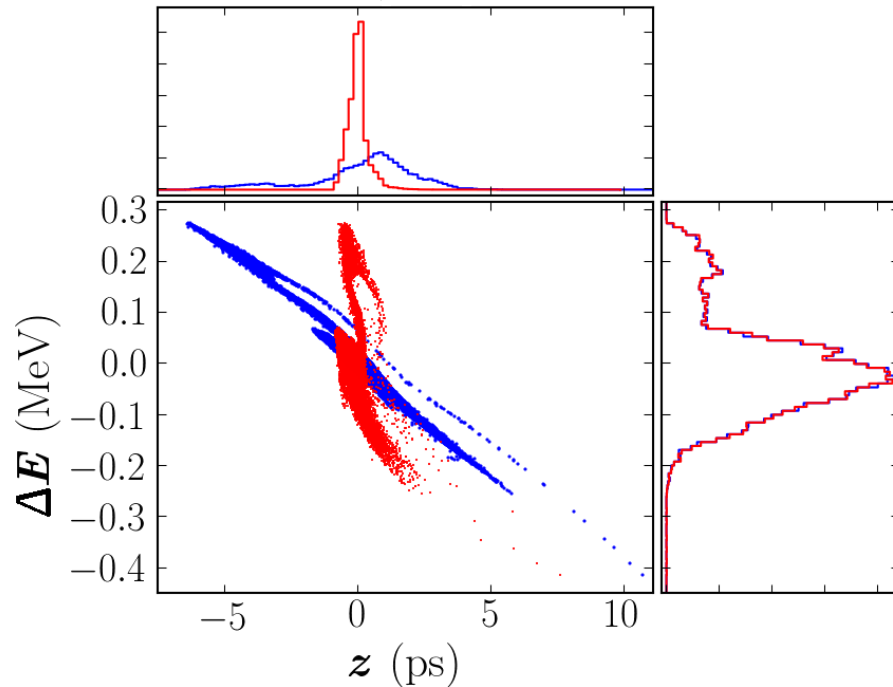
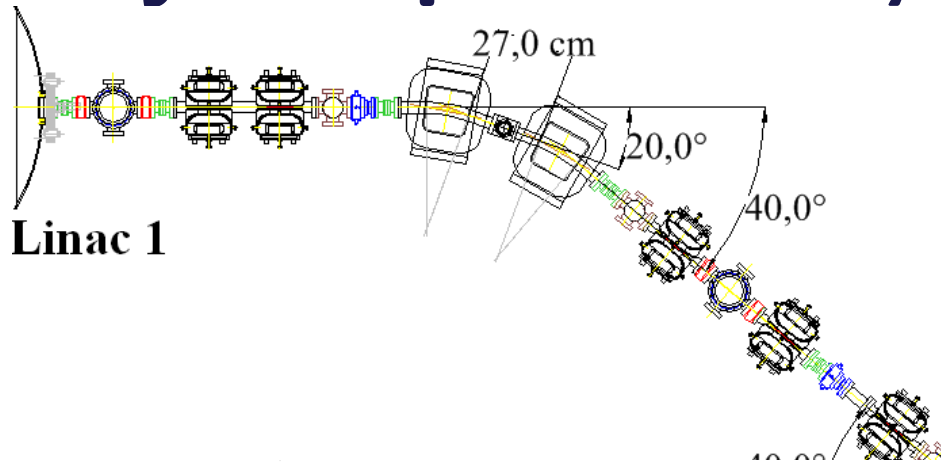
1.1234

0 Min

Max



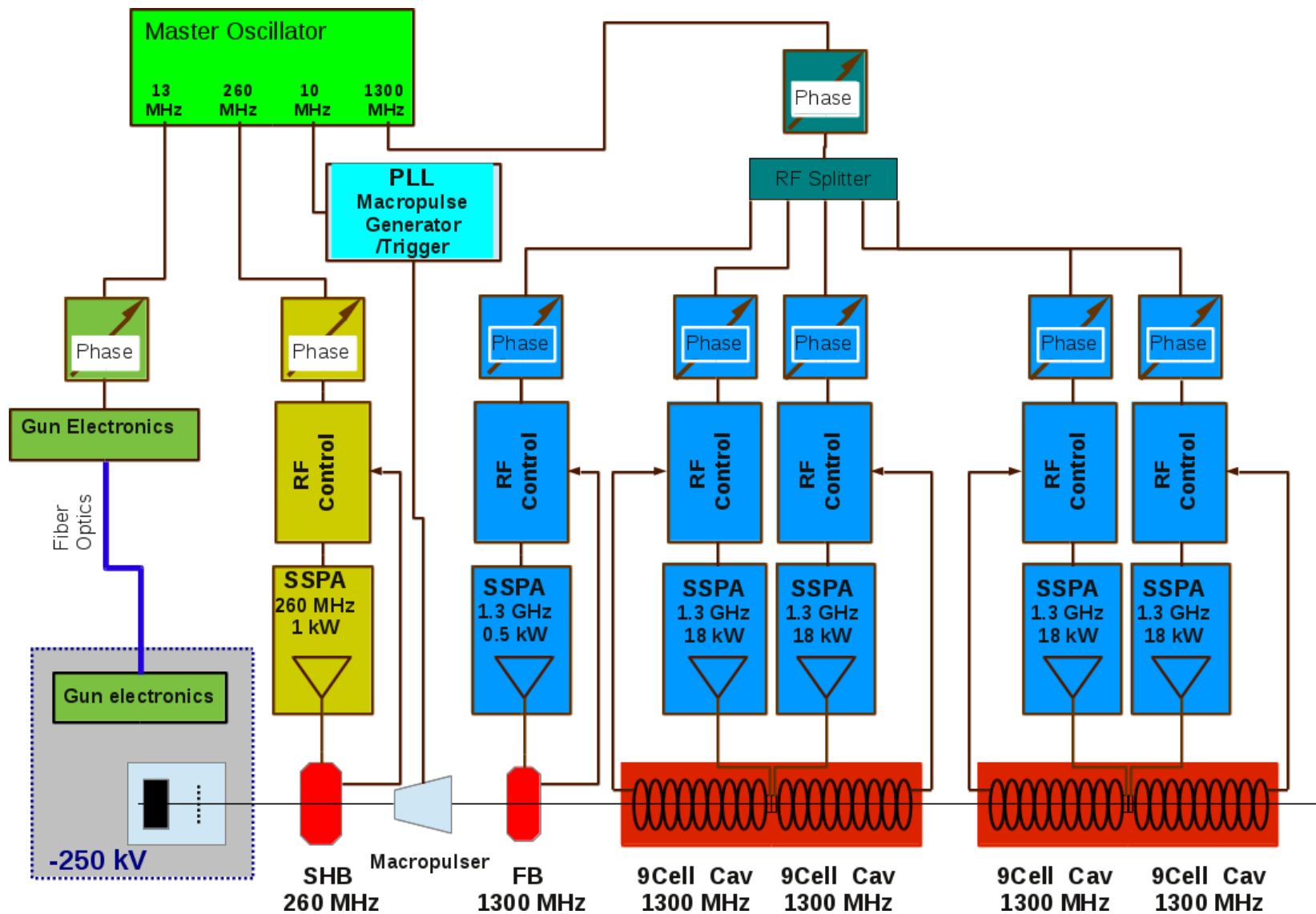
Manyetik paket sıkıştırıcı/uzatıcı



Parameter	BeforeBC	AfterBC
E (MeV)	18.271	18.271
$\epsilon_{n,x}$ (μmrad)	11.968	12.161
$\epsilon_{n,y}$ (μmrad)	11.921	12.108
ϵ_z (keV.ps)	24.807	31.817
σ_z (ps)	2.046	0.399
σ_E (keV)	97.270	97.876

erji

TARLA RF – Sistemi, Blok diyagram



RF yükselteçler

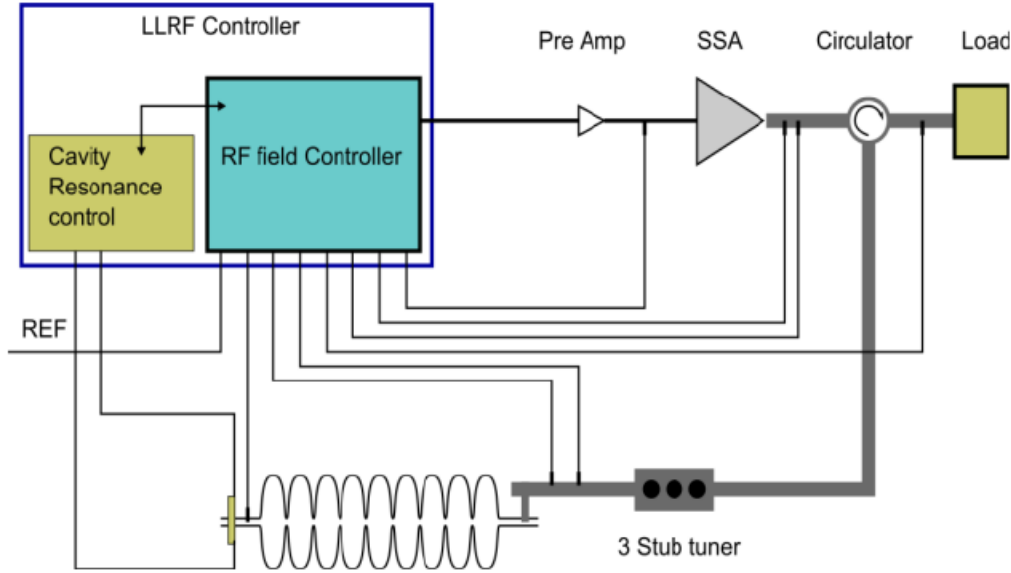
- Herbir SRF oyuk 18 kW güç ileten katıhal yükselteçleri ile beslenecektir.
- Klystron veya IOT'lere göre basit ve daha ucuz olan bu yükselteçler için SigmaPhi firması ile sözleşme aşamasındayız

Parameters

Output Power (1 dB compression) pulse or CW	18	kW
Saturated Output Power pulse or CW	20	kW
Linear gain	<72	dB
Center frequency (@ 2K)	1300	MHz
Bandwidth (-3 dB)	± 5	MHz
Output Signal Form	CW/Pulse	
Power out load	0... ∞	
Compression Point @ P_{nom}	1	dB
Gain flatness in active bandwidth	± 0.2	dB
Pulse length	10 ... CW	μs
Pulse repetition rate	1 ... CW	Hz
Pulse Rise / Fall time	<60	ns



Düşük seviye RF kontrolcüler



Channel	Description
1.	Cavity pickup
2.	Cavity forward
3.	Cavity reflected
4.	Power to load
5.	Klystron forward
6.	Klystron reflected
7.	Klystron drive
8.	Reference tracking

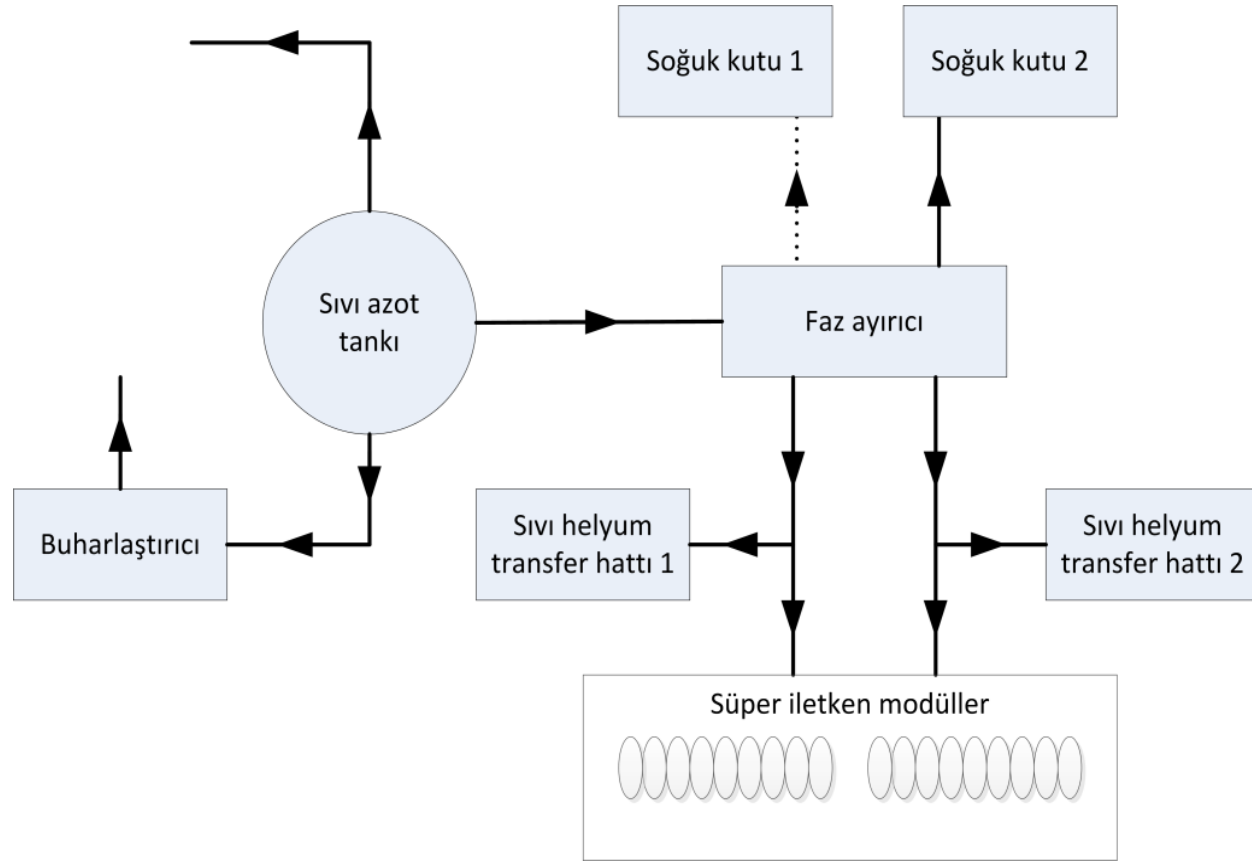
- Bütün oyukların sürülebilmesi için gerekli olan sinyalizasyon sistemidir.
- Oyukların doğru **frekans – faz – gradyen** de çalıştığını kontrol eder.
- TARLA'da DESY tasarımı μ TCA4 standardında LLRF kullanılacaktır
 - Field controller
 - heater controller
 - stepper motor driver
 - piezo controller

Helium soğutma sistemi



Sıvı Nitrojen sistemi

- Sıvı Nitrojen → termal izolasyon için kullanılacaktır
- Günlük sıvı azot ihtiyacı → ~400 l
- TARLA'da doğrudan sıvı azot temini yöntemine gidilmiştir.



- Sıvı nitrojen dağıtım hattı borulaması; Aralık 2014 sözleşme, Mayıs 2015 kabul testleri (İmtek-Demaco)
- 300 ton sıvı nitrojen temini ve sıvı nitrojen tankı Aralık 2014 sözleşme (Air Liquide)

Su soğutma sistemi



CHI

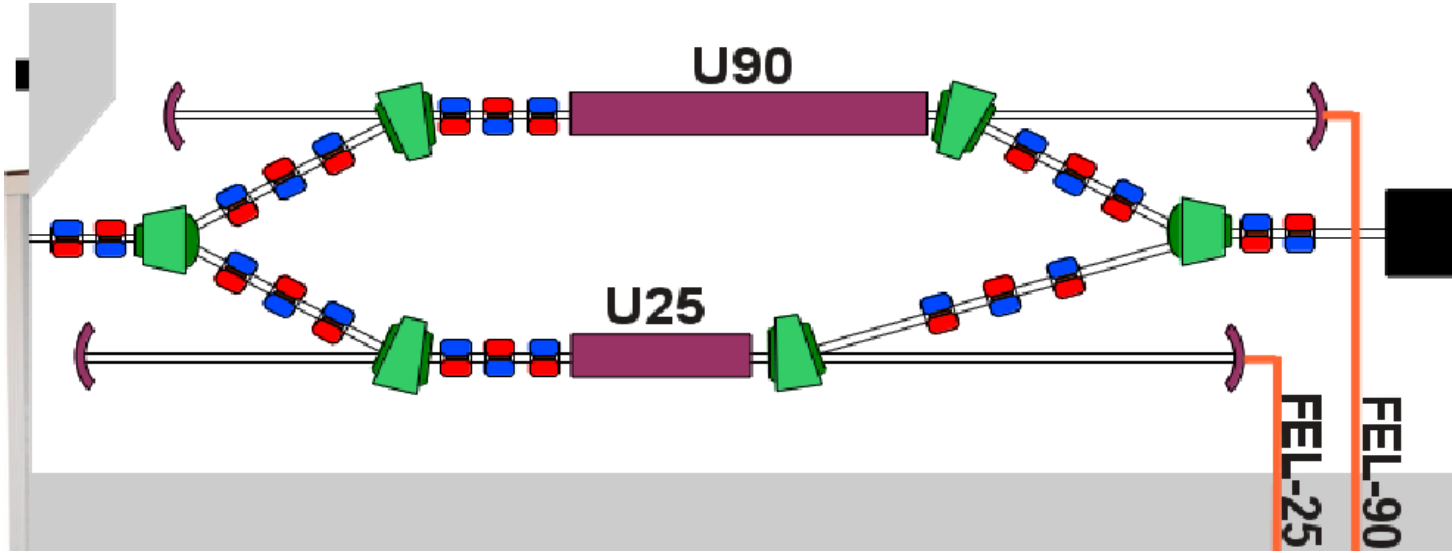
h Dinlenme
Tankı

ge

OS

Ra
ola

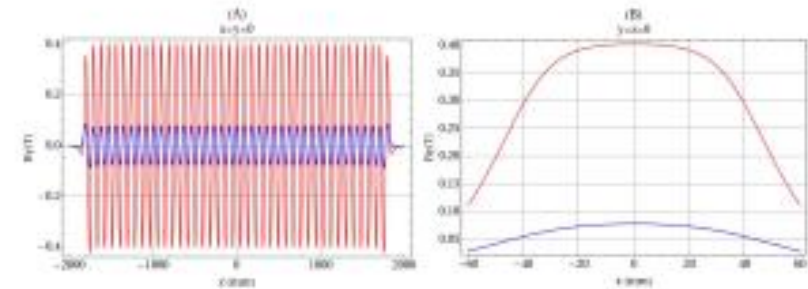
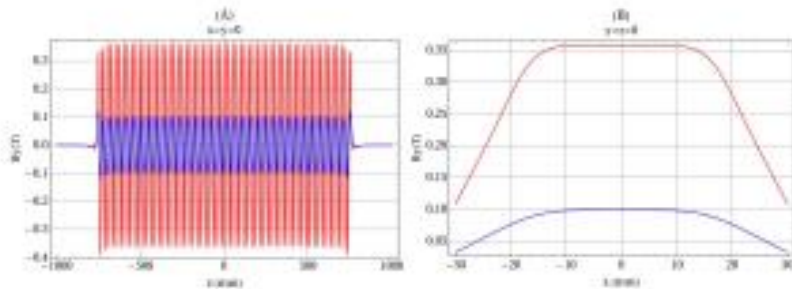
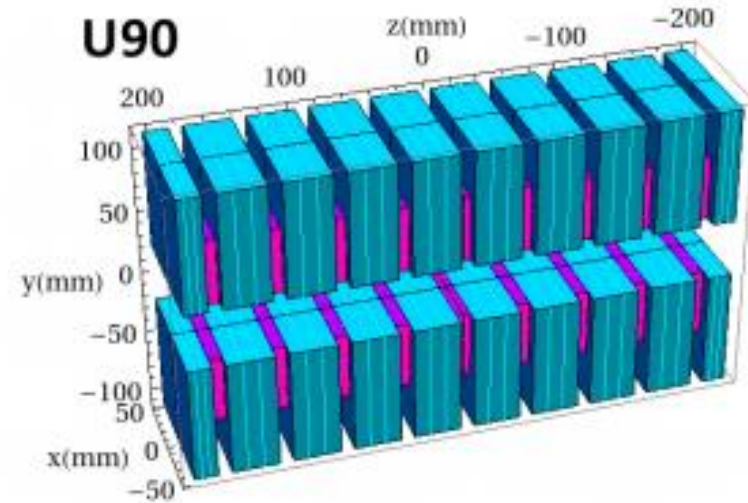
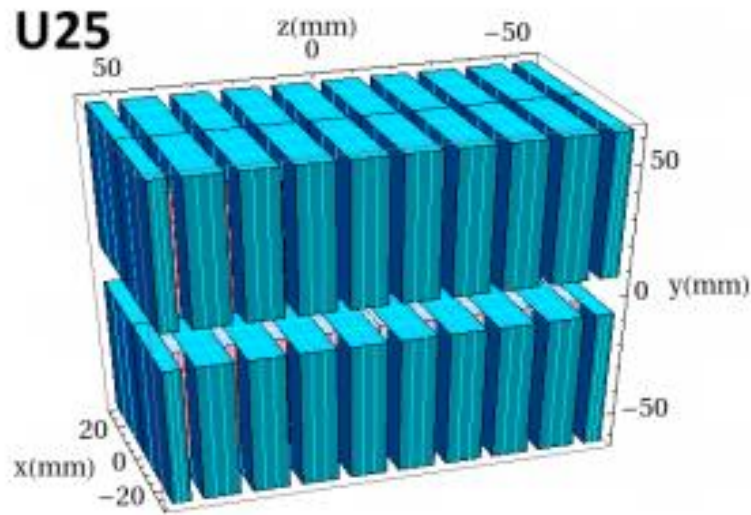
Serbest Elektron Lazeri üretimi



- 3-250 μm dalgaboyu aralığını taramak için iki adet salıncı sistemi kullanmayı amaçlamaktayız
 - ▶ U90; 90 mm periyot uzunluğuna sahip salıncı magnet
 - ▶ U25; 25 mm periyot uzunluğuna sahip salıncı magnet
- Demetin salıncılara sokulması için 30° akromatik demet hatları kullanılacaktır
- Salıncılar özdeş rezonatör sistemlerinin merkezine konumlandırılacaktır.
- Uzun dalga boyu elde etmek için rezonatör sistemine dalga kılavuzu kurulması gerekmektedir.



Salıdırıcı Magnet tasarımı

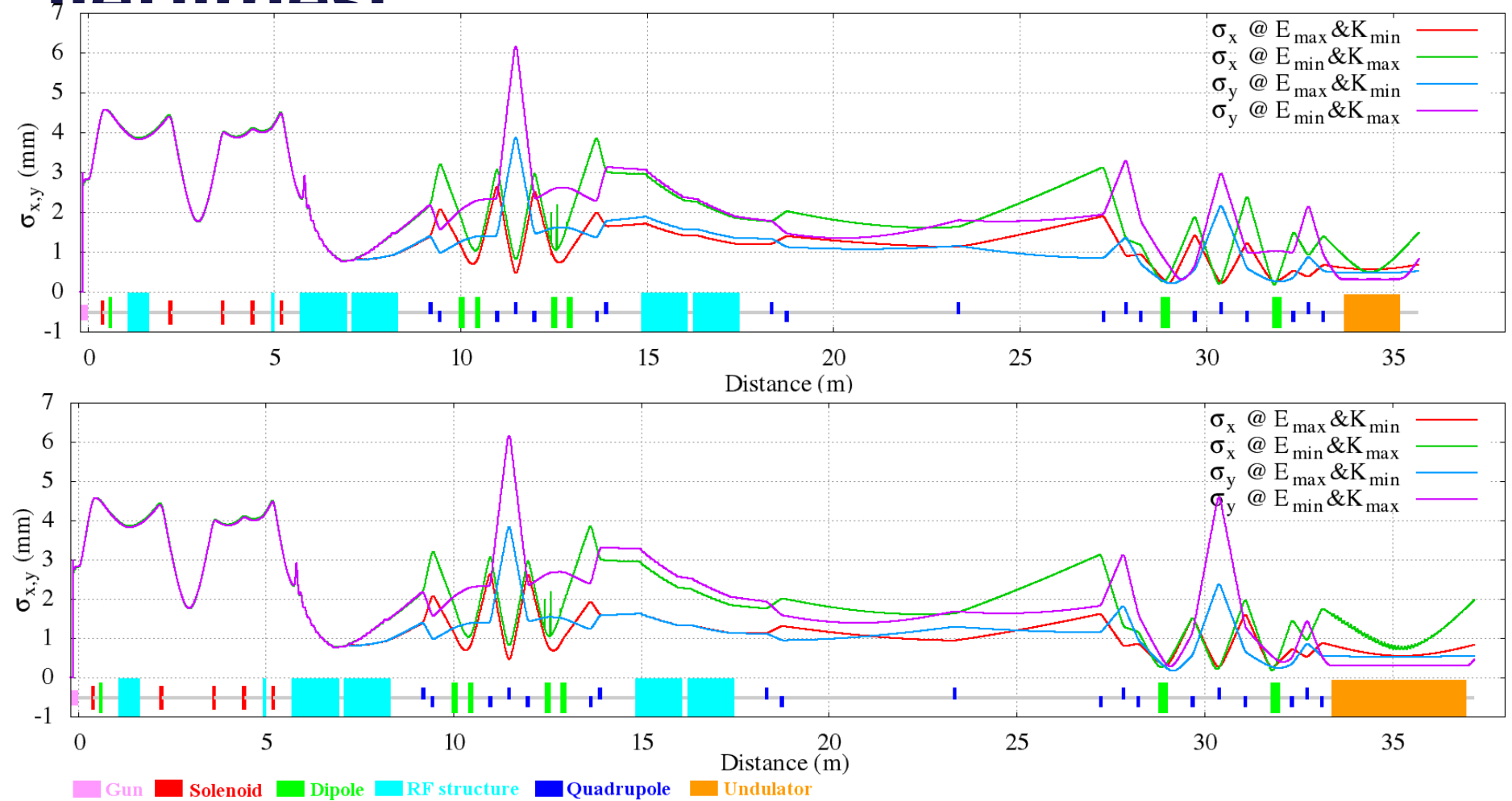


- NbFe pole material, steel blocks
- Roll off filed for max field is 0.04

- NbFe pole material, steel blocks
- Roll off filed for max field is 0.1

Demetin Salındırıcı magnetlere

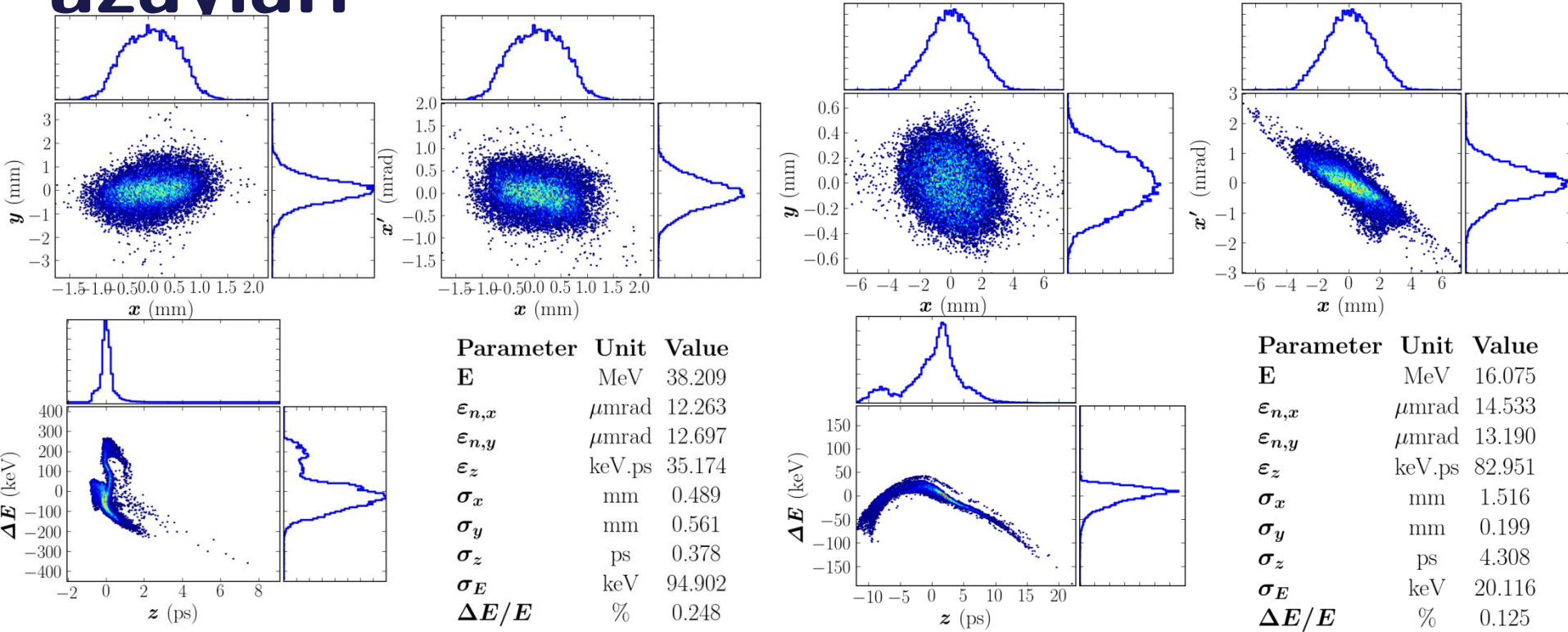
İletilmesi



- 16 ve 38.5 MeV enerjili demetin maksimum ve minimum salındırıcı şiddetine göre U25 (üst) ve U90 (alt) magnetlere iletilmesi

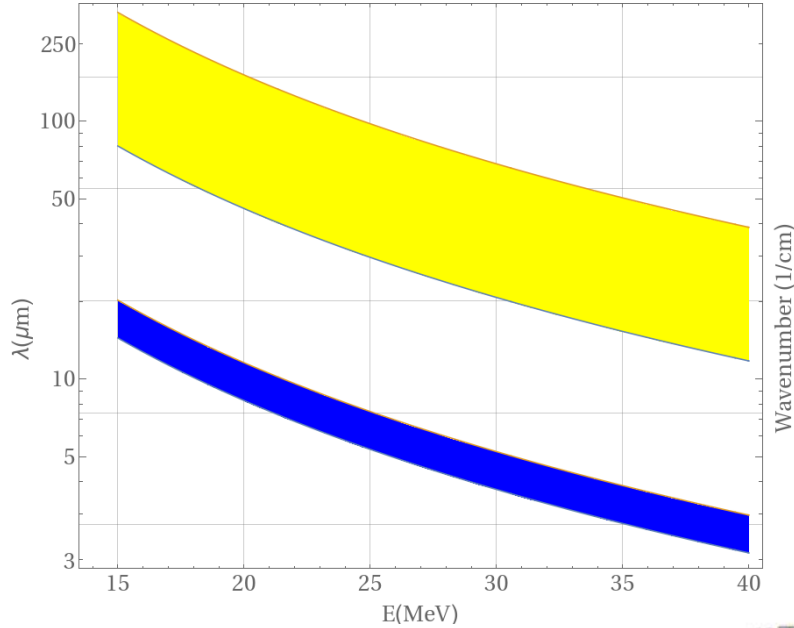
Salındırıcı girişinde demet faz uzayları

uzayları



- TARLA demet hattının en önemli özelliği maksimum enerjide minimum paket boyunun (maksimum pik akım) elde edilmesidir.
- Simülasyon sonuçları maksimum ve minimum paket boyları için ve farklı enerjilerdeki demetin salındırıcı girişinde faz uzaylarını göstermektedir.

SEL hesaplamaları

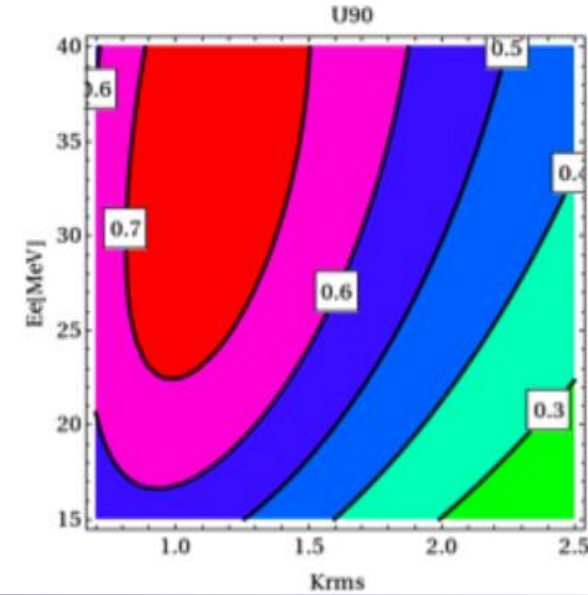
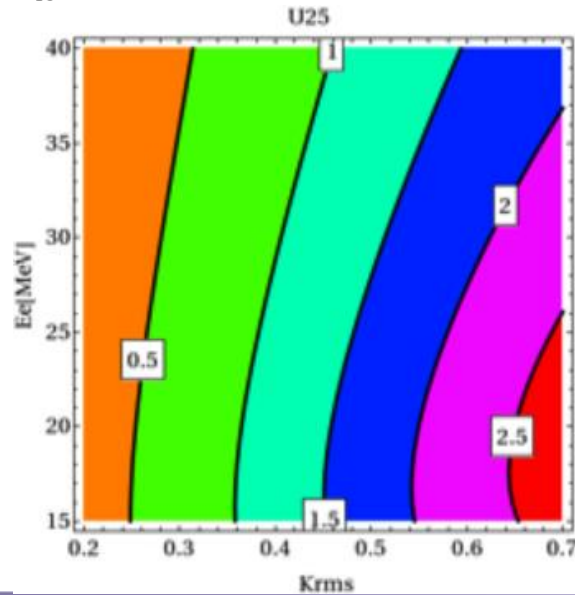


$$\lambda_{FEL} = \frac{\lambda_U}{2\gamma^2}(1 + K_U^2)$$

λ_U : Undulator Period

K_U : Undulator Strength

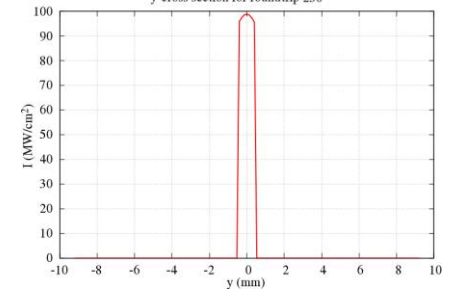
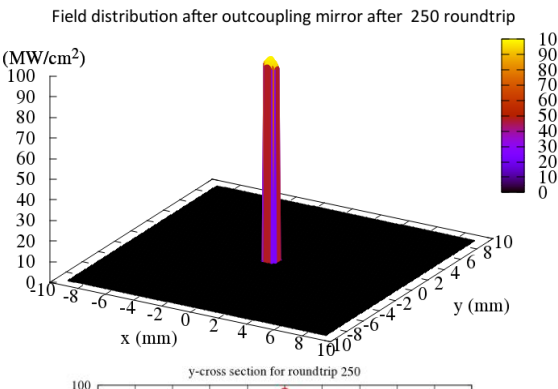
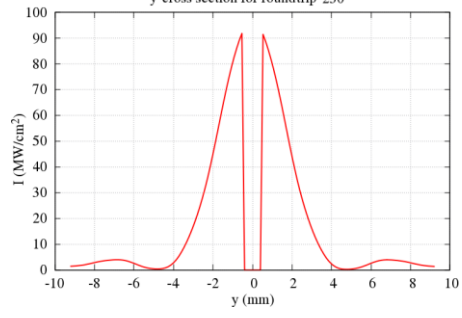
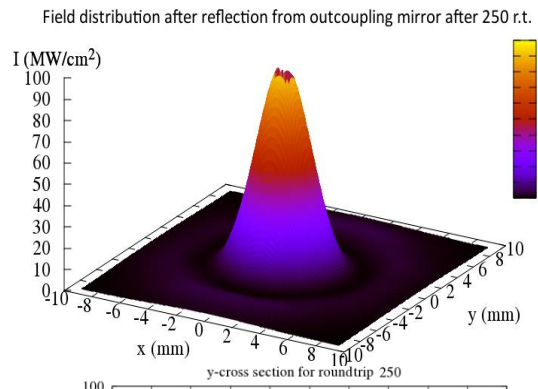
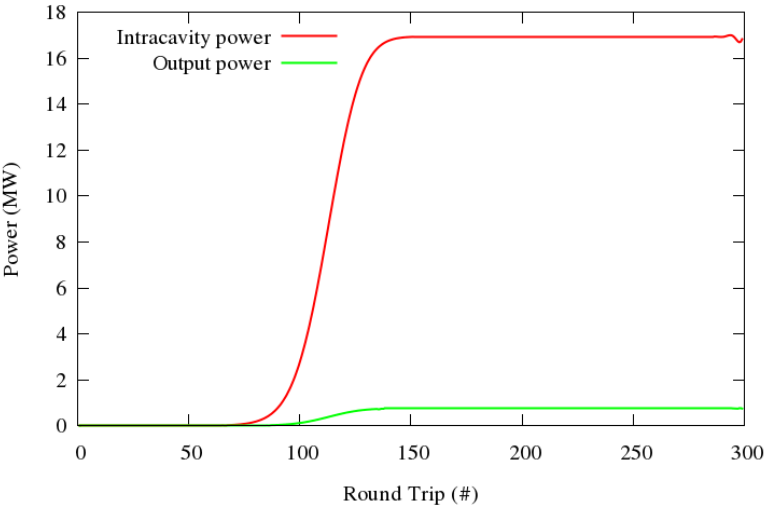
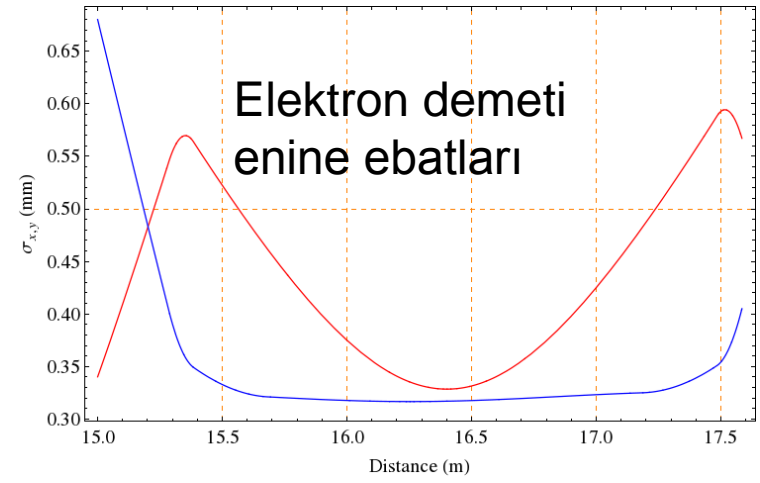
- Farklı salındırıcılardan elde edilebilecek lazerin dalga boyu
- Farklı salındırıcılar için tek geçiş lazer kazancı



Örnek hesaplama

■ U25 ten elde edilebilecek 2.75 μm FEL için Zaman bağımlı simülasyon

- $E=38:2$ MeV
- $K_u = 0.35$
- $Z_r=0.75$
- $\sigma_b = 0.5$ ps
- Detuning yok
- $R_1=R_2=5.86$
- Ayna yansım oranı=%98



Salıdırıcı - Rezonatör ve Beklenen SEL parametreleri

Parameter	Unit	U25	U90
Period Length	mm	25	90
Magnetic Gap	mm	14	40
Number of Poles	#	60	40
Undulator Strength	#	0.25 - 0.72	0.7 - 2.3
Resonator Length	m	11.53	11.53
Wavelength	μm	3 - 20	18 - 250
Max Peak Power*	MW	5	2.5
Max. Average Power*	W	0.1 - 40	0.1-30
Max. Pulse Energy *	μJ	10	8
Pulse Length*	ps	1 - 10	1 - 10

* ; depending on wavelength

Önerilen SEL uygulamaları

■ Önerilen SEL istasyonları

- ▶ IR spectroscopy lab.
- ▶ SFG-PP lab.
- ▶ Bio-Micro Spectroscopy lab.
- ▶ Material research lab.

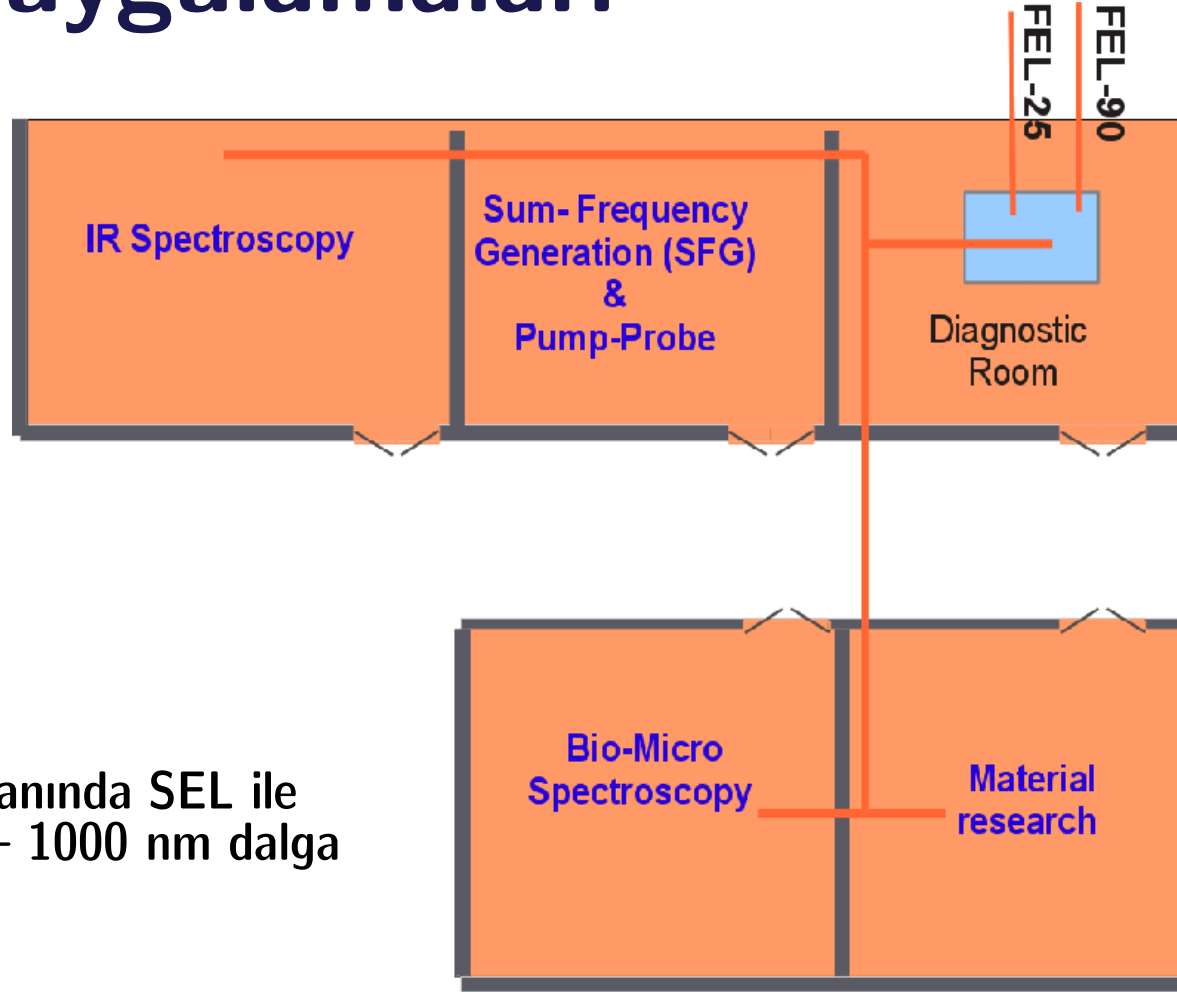
■ Kullanıcı grupları

- ▶ Ankara Üniversitesi
- ▶ Gazi Üniversitesi
- ▶ Bilkent Üniversitesi
- ▶ ODTÜ
- ▶

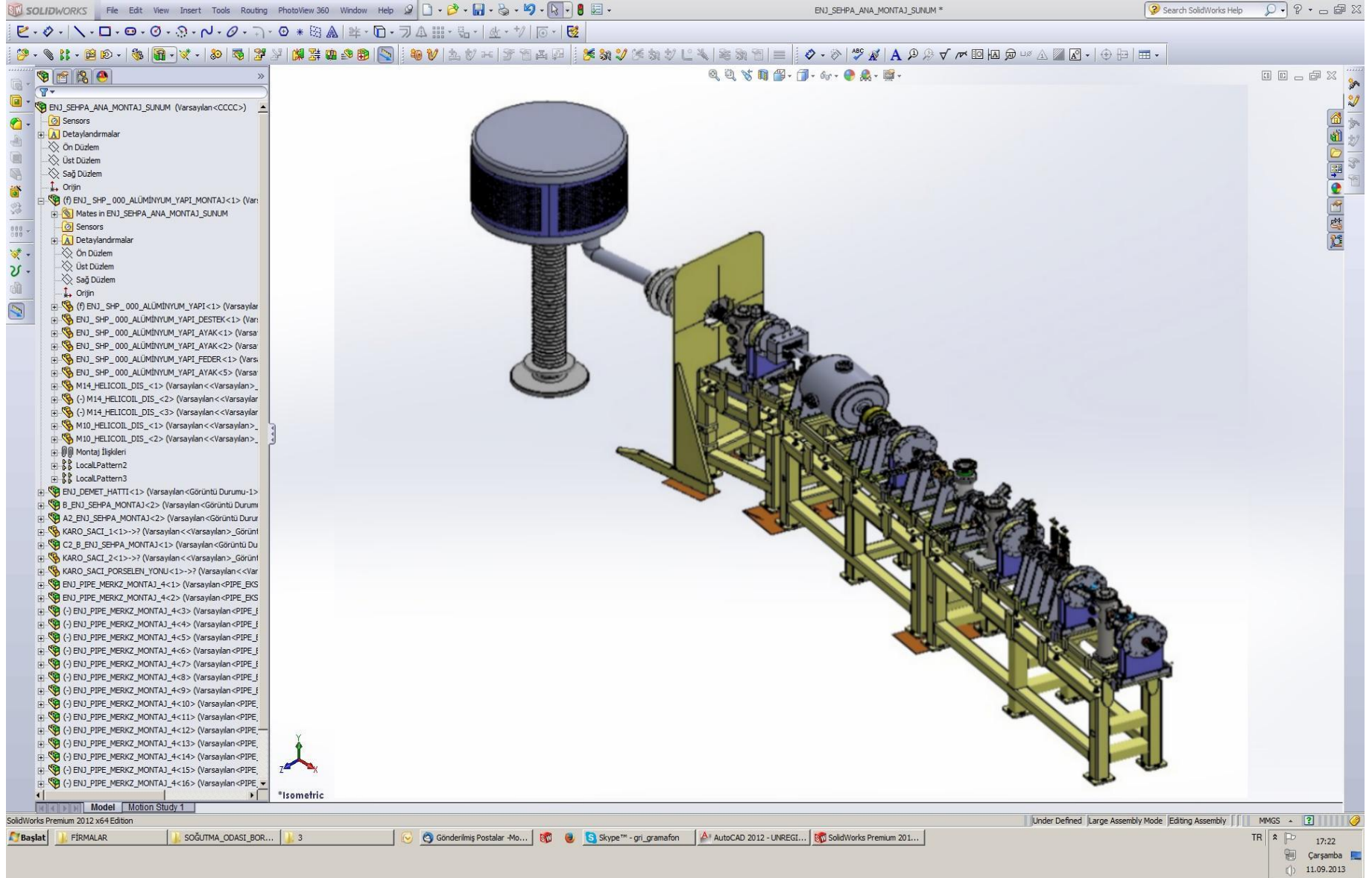
■ Her bir odada 0-100 W SEL yanında SEL ile senkronize ($\Delta\sigma < 100$ fs) 700 – 1000 nm dalga boylarında

- ▶ Ti-sapphire laser
- ▶ Nd:Yag laser

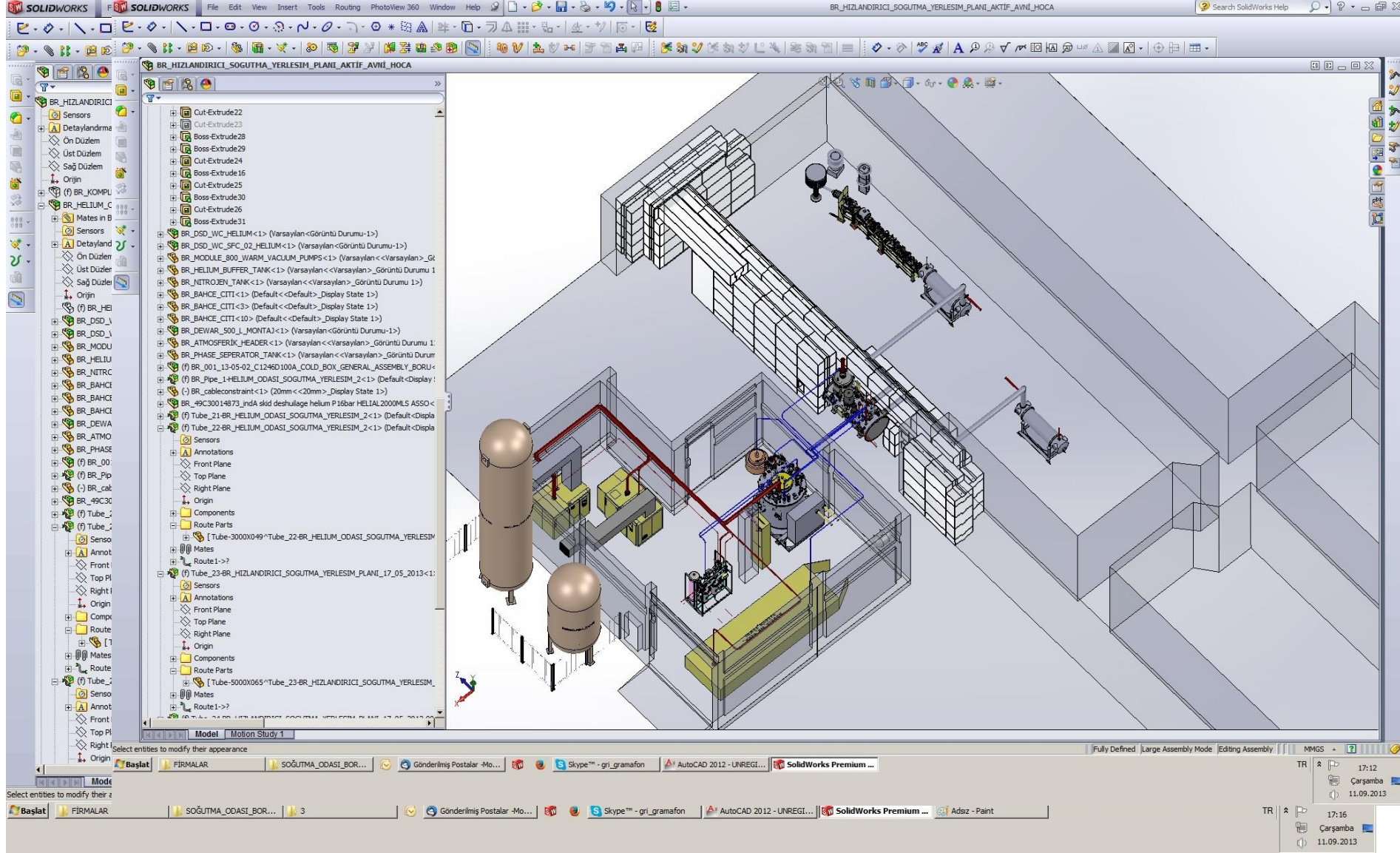
lazer kaynağı mevcut olacaktır.



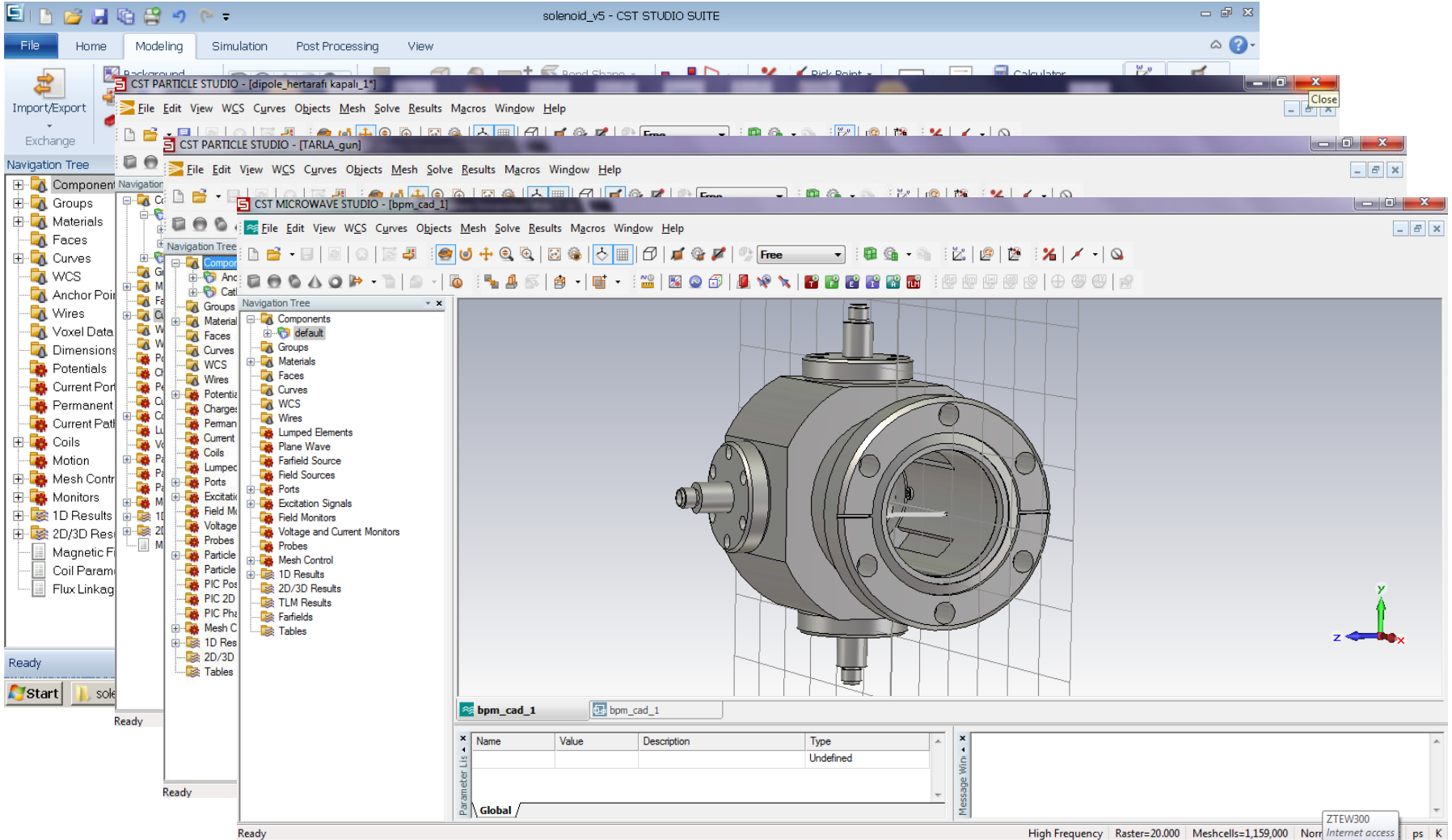
Mekanik Tasarım



Mekanik Montaj



Demet Hattı Elemanlarının tasarımı



Elektronik tasarım ve imalat

Pulsler notansiyometre

B.Koc,



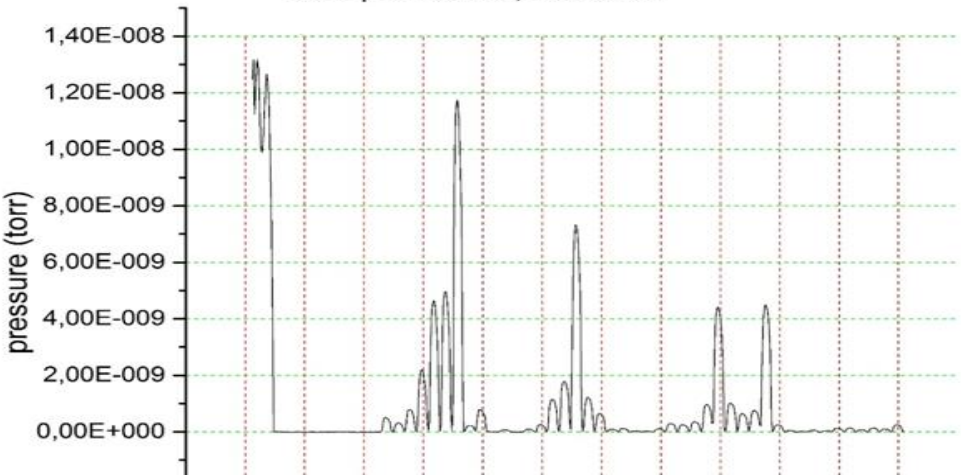
Spectrum Analyzer

OX

Vakum çalışmaları

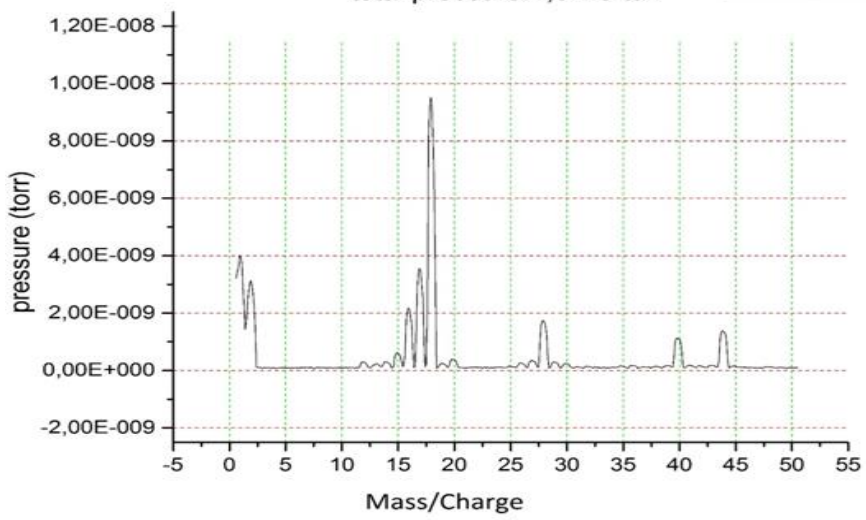
total pressure: 3,18E-8 torr

— pressure



total pressure: 1,8E-8 torr

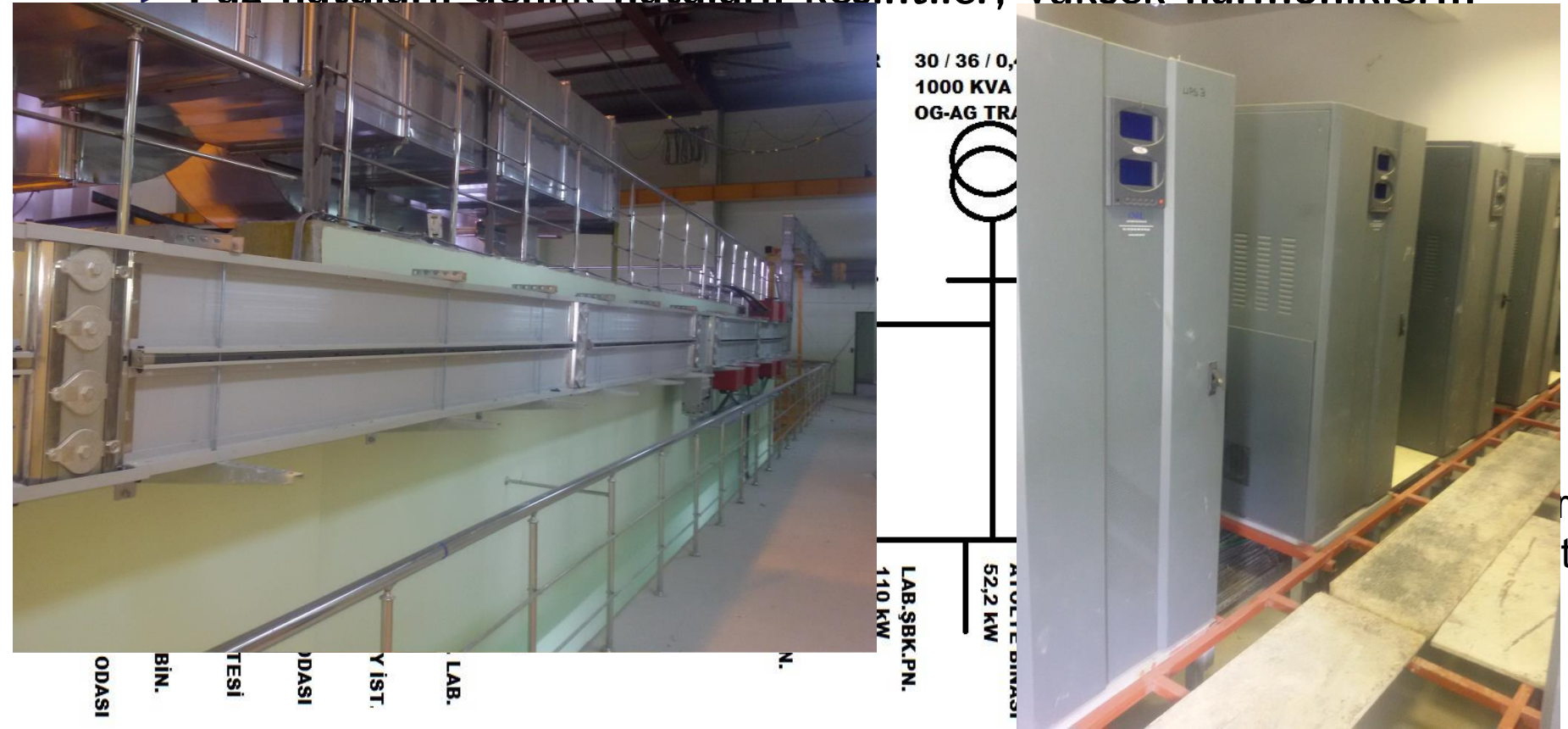
— pressure



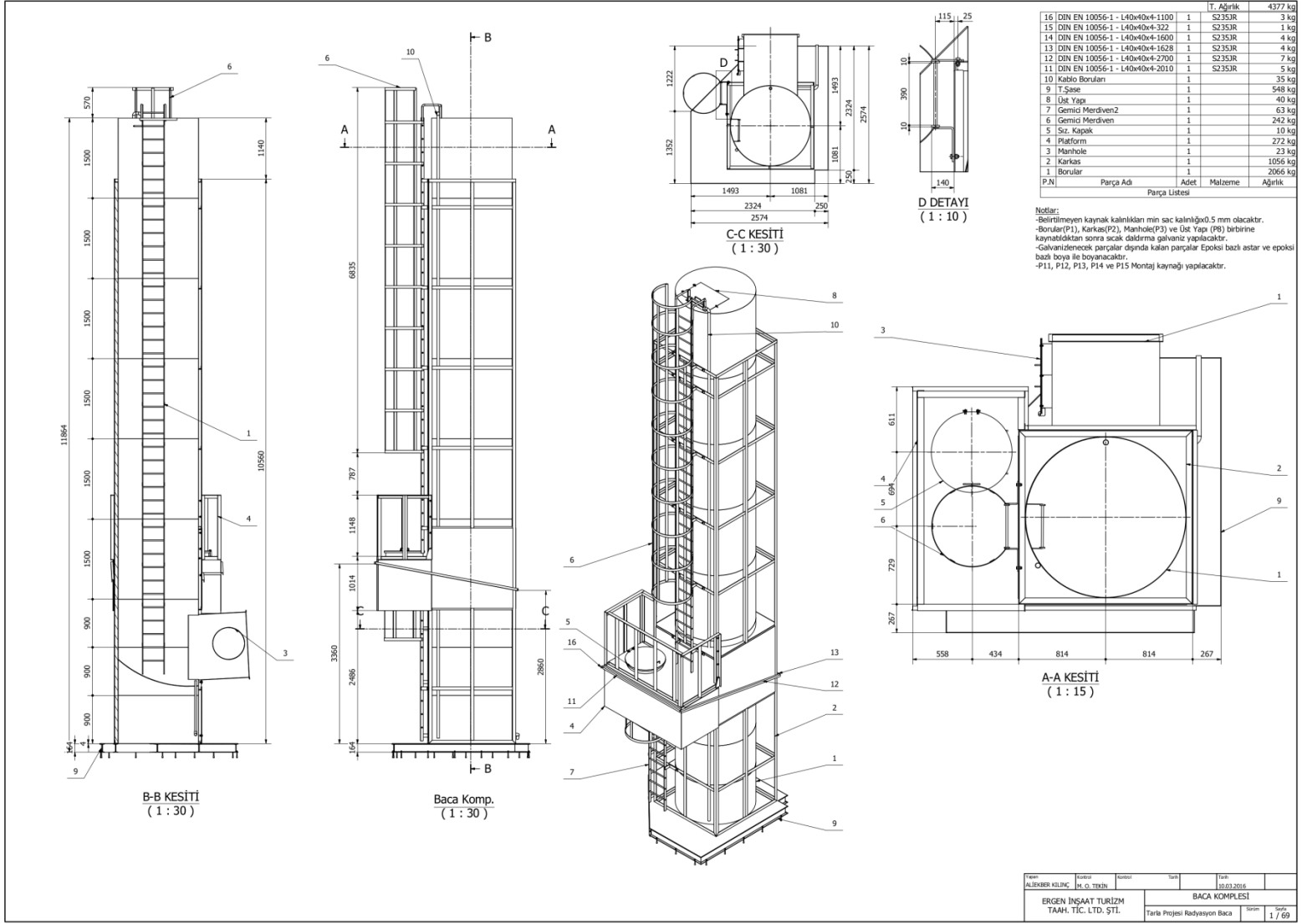
Elektrik dağıtım

- Hızlandırıcılar elektrikteki hatalara çok duyarlıdır

► Faz hataları, genlik hataları, kesintiler, yüksek harmonikler...



Havalandırma sistemi



şmalar
n kısa

Şirket	Proje No	Revizyon	Tarih	Çizim
ALİKBER KILINÇ	14.0.10.01	01	10.02.2016	
ERGEN İNŞAAT TURİZM TAHAH. TIC. LTD. ŞTİ.	BACA KOMPLESİ		Şirket	Çizim
	Tarih Projesi Radyasyon Baca		1	69

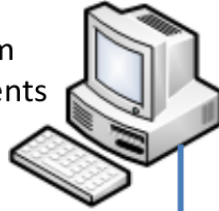


Zırhlı kapılar



Radyasyon güvenliği

Report and database system
PSS measurements and events

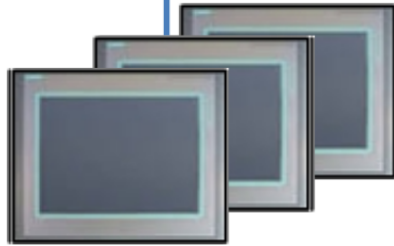


Gateway to the
machine control system
and other networks



Ethernet

Network



on site MMI



PLC redundant,
fail safe IO

IO connection
SIL 1-3

IZ

Field

Sensors
actors drives
Ventilation
system

Sensors
drives
Radiation
shield doors

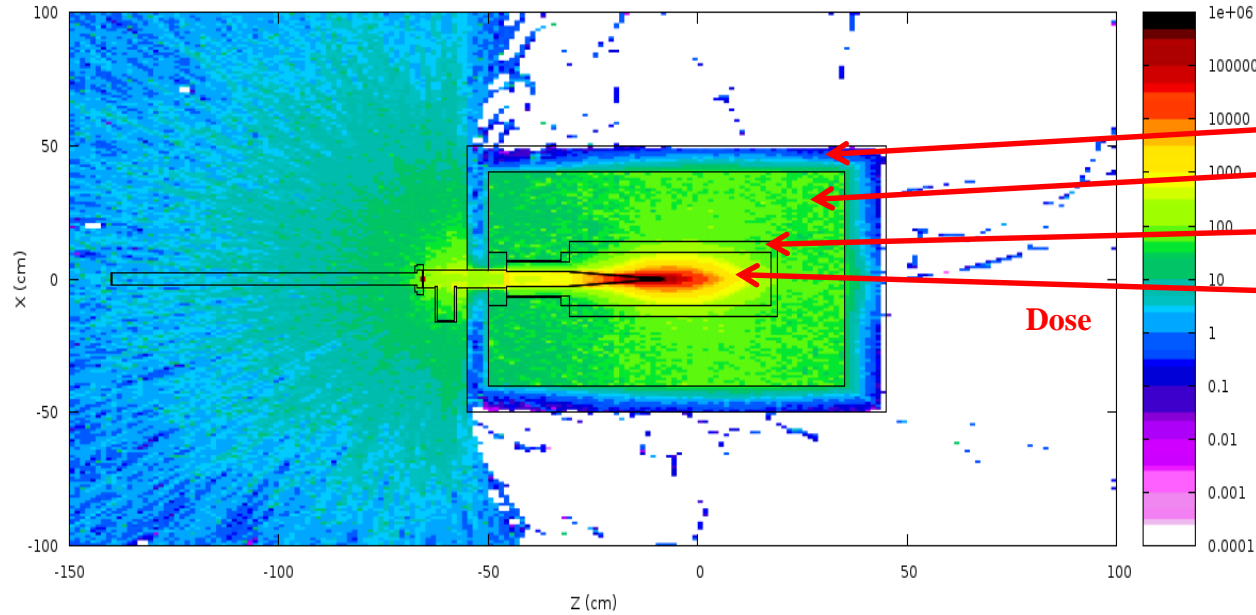
Acoustic
speaker,
buttons, optical
signalization

machine
Interlock



Dose rate monitors

Demet Durdurucular



Kurşun
Vakum
Bakır
Alüminyum

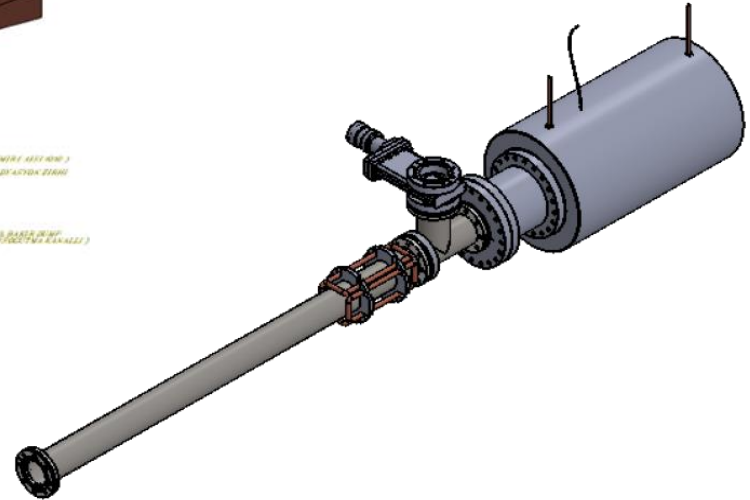
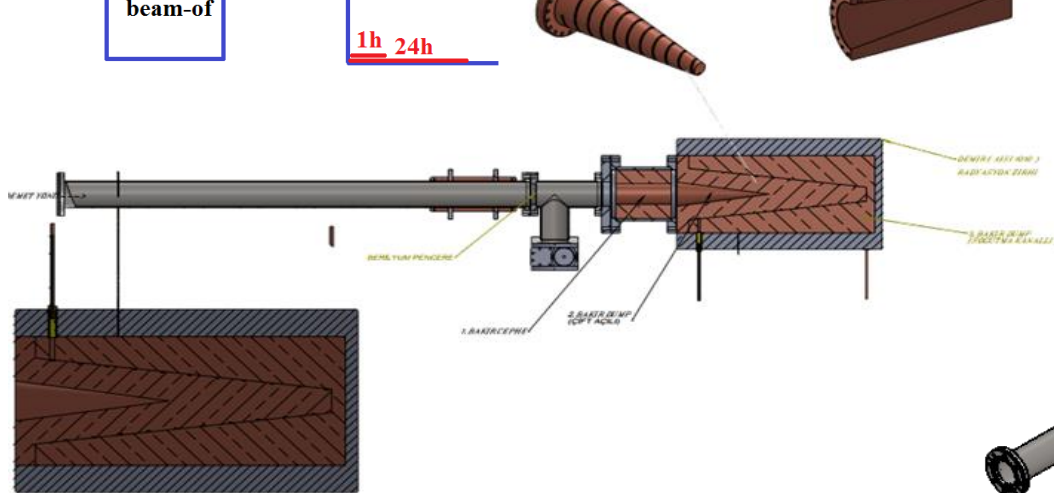
Aktivasyon 20 Ci

180 days
 7.49×10^{15} p/s

90 days
0 p/s
beam-off

180 days
 7.49×10^{15} p/s

1h 24h



TARLA NETWORKS AND CONTROL SYSTEMS

OPC Server

- Industrial Communication
- EPICS and PLC Integration

DHCP SERVER



PSS HMI

Injector Vacuum PSS WATER COOLING



Injector

ionGauge1 0.8287, 0.79

Amp1 4.687 x

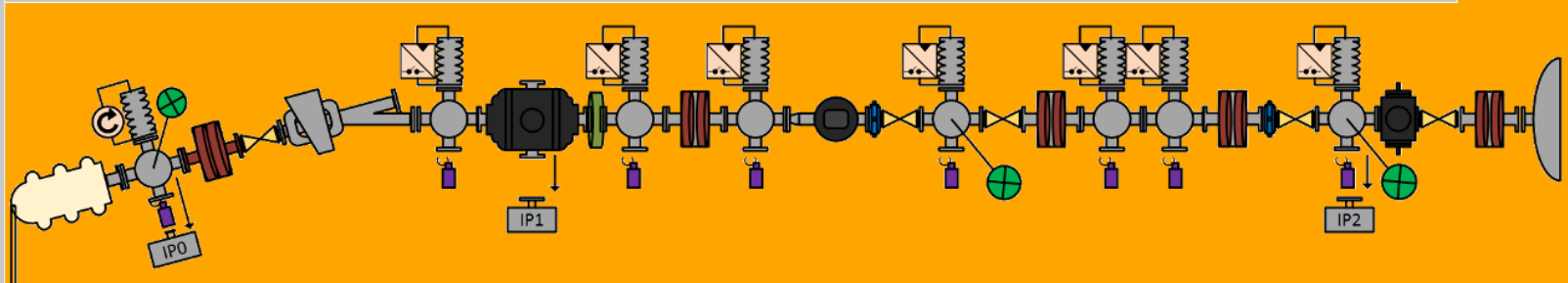
Amp2 ##.###

Amp3 ##.###

Amp4 ##.###

0.83

1 0.5 0 -0.5 -1



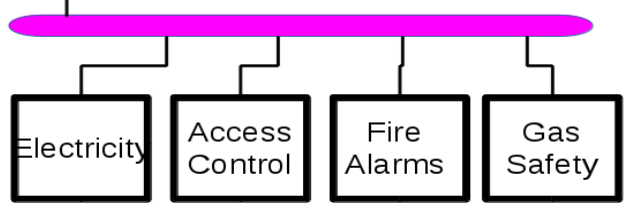
Label ##.###

Label ##.###

Label ##.###

Label ##.###

High Voltage Platform



Facility Network ProfiNET

- Industrial Ethernet
- Use IEEE 802.3 Ethernet and IEEE 802.11
- Peer-to-Peer integration
- Safety



Sonuç

- TARLA tesisi TAC Projesinin ilk adımı olup, Ülkemizde ve bölgemizde ilk hızlandırıcı tabanlı kullanıcı laboratuvarı olacaktır.
- Proje kapsamında tamamlanan adımlar
 - ▶ Hızlandırıcı teknolojileri enstitüsü kuruldu
 - ▶ TARLA tesisinin teknik tasarım raporu %90 oranında tamamlandı.
 - ▶ Hızlandırıcının konumlandırılacağı bina %95 oranında tamamlandı (altyapı eksiklikleri gideriliyor)
 - ▶ Türkiye'nin ilk CW, yüksek akımlı, paketli elektron tabancasını imal edildi ve başarılı testler yapıldı
- Planlama
 - ▶ 2016
 - 1. çeyrek Helium soğutma sisteminin işleme alınması
 - 3. çeyrek → SRF modüllerinin testlimi ve kurulumun başlaması
 - 4. çeyrek → Enjektör sisteminin tüm testlerinin tamamlanması ve SRF demetsiz işleme alınması
 - ▶ 2017
 - SRF1 demet üretimi (20 MeV)
 - İlk deney istasyonunun kurulumunun başlaması (geleneksel lazer kaynakları ile)
 - Sabit hedef deneyleri
 - ▶ 2018 tek hat lazer üretimi, sabit hedef deneyleri, 2. lazer hattı kurulumu
 - ▶ 2019 sonu projenin tamamlanması



Teşekkürler!

Lisansüstü Eğitim @ TARLA



Ankara Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü NÜKLEER ARAŞTIRMALAR VE TEKNOLOJİLERİ ANABİLİM DALI

Hızlandırıcı ve Detektör Teknolojileri Tezli Yüksek Lisans Programı (Hızlandırıcı Teknolojileri Enstitüsü İşbirliği ile)

Başvuru:
15-19
Ağustos
2016

Mülakat
23
Ağustos
2016

<http://nukbilimler.ankara.edu.tr>
<http://hte.ankara.edu.tr>
www.tarla.org.tr

- Hızlandırıcı Teknolojileri
- Detektör Teknolojileri
- Demet Dinamiği
- Hızlandırıcı Tasarımı
- Diyagnostik Sistemleri
- Kontrol Sistemleri
- TARLA Tesisinde Uygulamalar
- Magnet, Vakum, Güç ve Soğutma Teknolojileri
- Işınım Kaynakları
- Fotonik Uygulamaları
- Medikal Hızlandırıcılar
- Endüstriyel Hızlandırıcılar
- Nükleer Uygulamalar



Kimler başvurabiliyor: Fizik Müh., Kimya Müh., Elektrik-Elektronik Müh., Bilgisayar Müh., Makine Müh., Mekatronik Müh., Malzeme Müh., Enerji Müh., Nükleer Müh., Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği ve Fizik Lisans mezunları