

# ESS NEUTRINO BEAM STUDIES

Mamad Eshraqi  
Section leader for beam physics

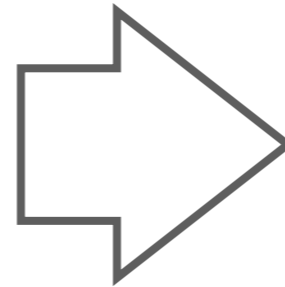
2018 Jan 19

# TOP LEVEL PARAMETERS



## Design Drivers:

High average beam power 5 MW  
 High peak beam power 125 MW  
 High availability >95 %

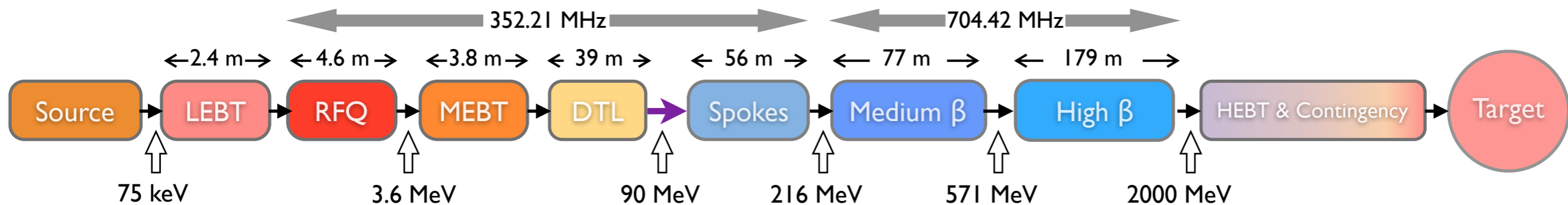


## Key Linac parameters:

Energy 2.0 GeV  
 Current 62.5 mA  
 Repetition rate 14 Hz  
 Pulse length 2.86 ms  
 Losses <1 W/m  
 Ions p

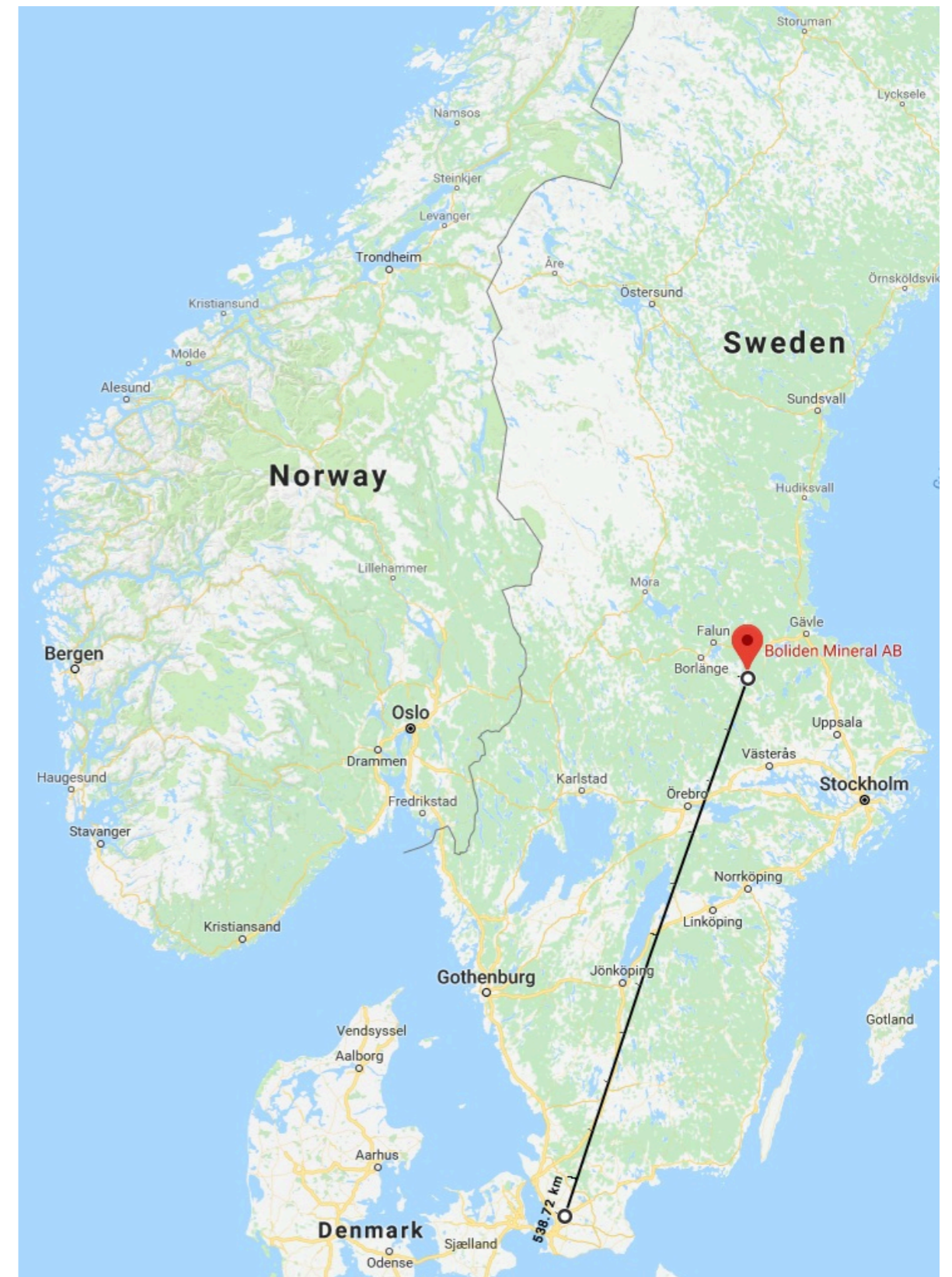
Flexible/Upgradable design

Minimize energy consumption



First proton beams ready in 2019,  
 User operation planned for 2023

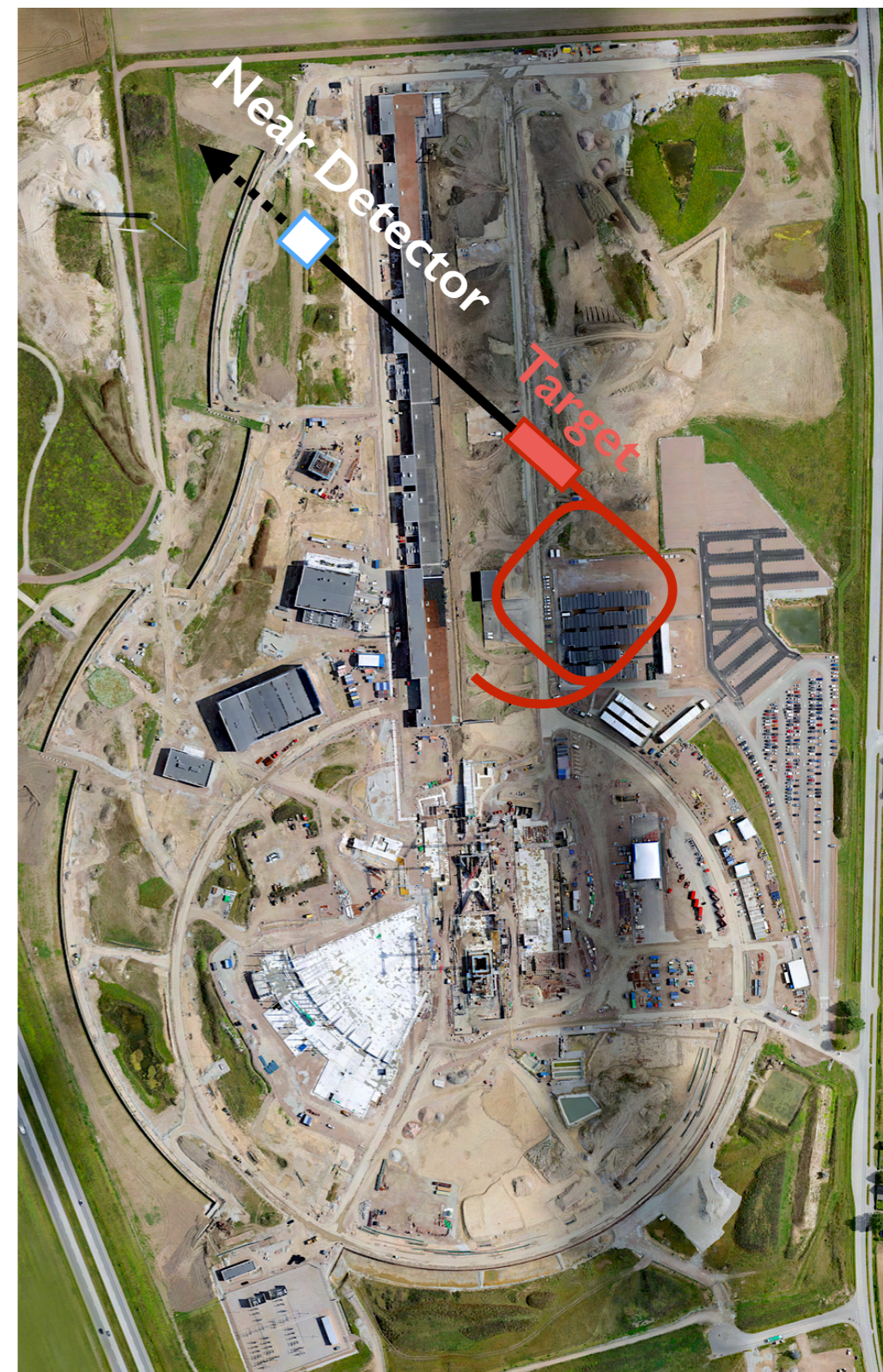
- European grant to study an ESS based neutrino super beam.
- ESS involvement is mainly studying the modifications needed for the ESS linac to deliver an additional 5 MW of power to an accumulator ring.
- The ESSnuSB should not interfere with the neutron production or affect the scheduling or cost of the ESS.



# NEUTRINO SUPER BEAM FROM ESS



- Linac modifications: doubling the beam power by adding 5 MW of H<sup>-</sup> beam
  - New front end including an H<sup>-</sup> ion source
  - H<sup>-</sup> stripping and losses, HOMs
  - RF power and cooling
- An accumulator ring (or multiple rings) to compress the 2.86 ms proton pulses to  $\sim 1 \mu\text{s}$ 
  - Including two transfer lines and switch yards
- Target station for creating pions
  - Including the magnetic horn system
  - 300 MeV neutrinos to Garpenberg
- A near detector
- A far detector at second oscillation
  - A water Cherenkov detector



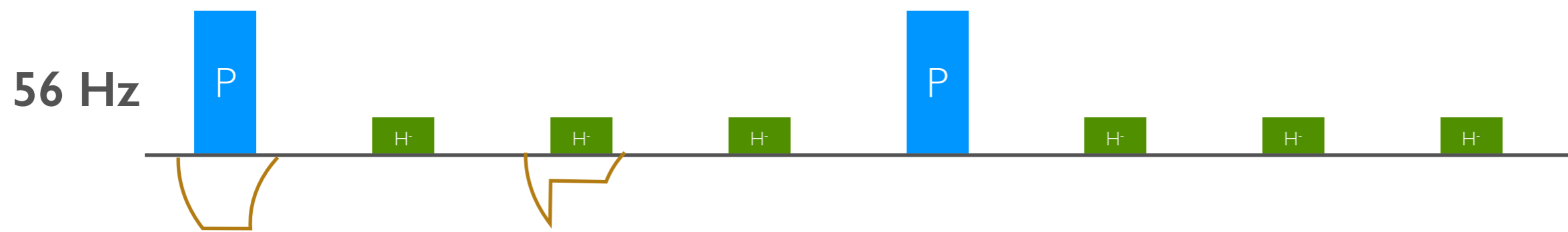
## • Scenario I

- ▶ The ESSnuSB requires the ESS linac to provide an additional 5 MW of beam power, there are two scenarios being discussed for the additional 5 MW:
  - ◉ 28 Hz:
    - \* 14 Hz for neutron production + 14 Hz for neutrino production (5 MW to each destination)
  - ◉ 56 Hz:
    - \* 14 Hz for neutron production + 42 Hz for neutrino production (5 MW to each destination)

## • Scenario II

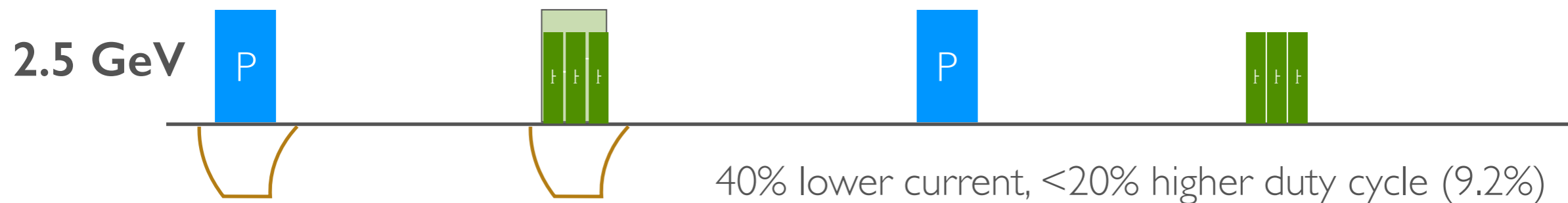
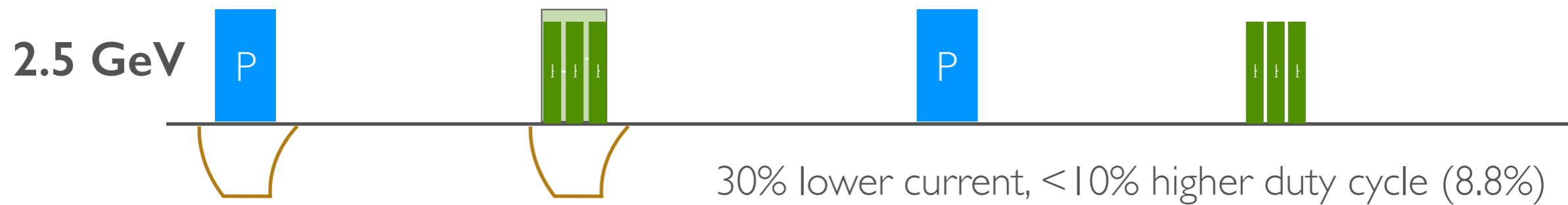
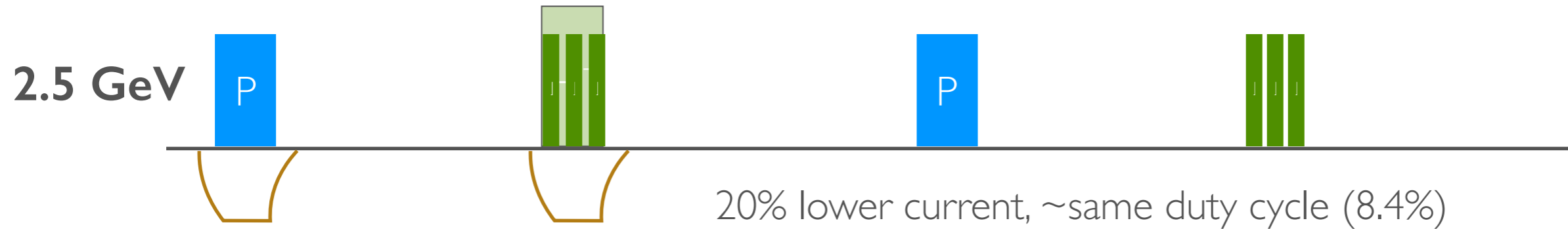
- ▶ Any energy upgrade beyond 2 GeV will simplify the delivery of a second 5 MW beam from the ESS linac.
  - ◉ With the energy upgrade to 2.5 GeV the increase of average power needed from the nominal Radio Frequency (RF) stations is ~60%, which looks feasible within the existing RF gallery space.
  - ◉ An energy upgrade to 3 GeV would further decrease the need for higher RF power from the existing stations to ~30%.
- ▶ The high-beta superconducting cavities have a total filling time of around 0.3 ms, and for a beam duty cycle of 8%:
  - ◉ 28 Hz yields an RF duty cycle of 8.4%
  - ◉ 56 Hz yields an RF duty cycle of 9.45%

# PULSE FREQUENCY



Gap should be long enough for ring and target needs, but still much shorter than the filling time of cavities

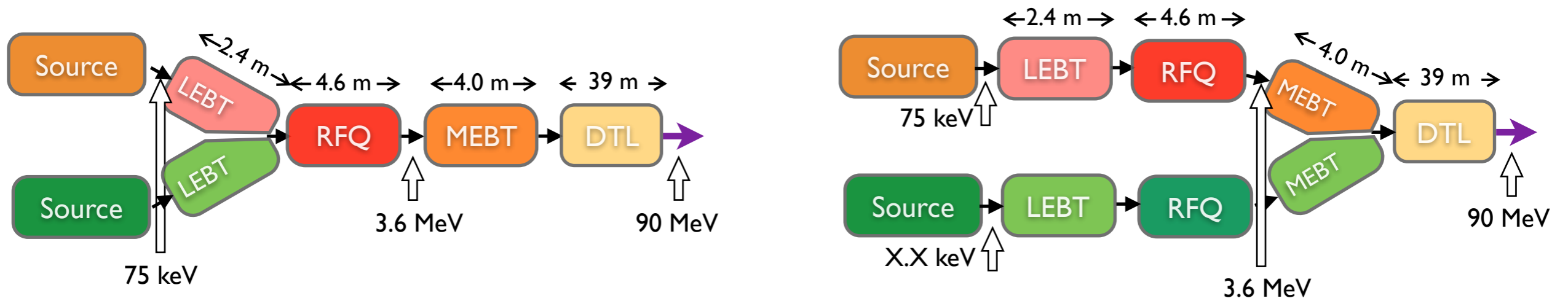
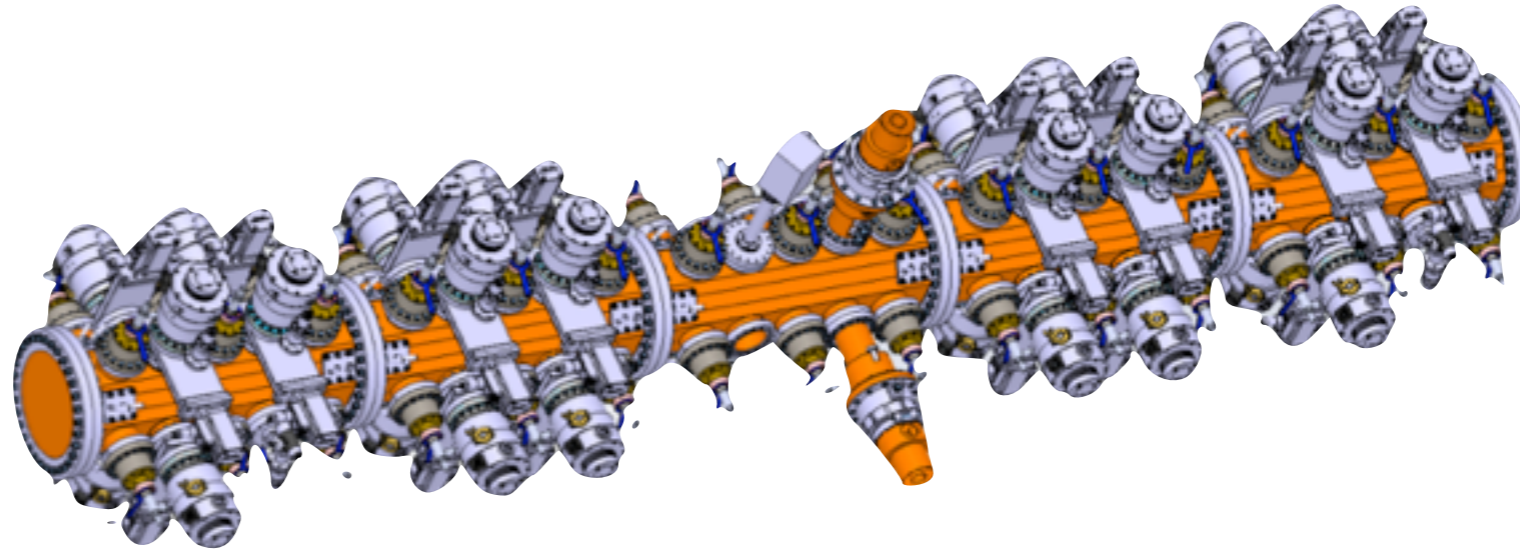
# 28 Hz RF



# RFQ

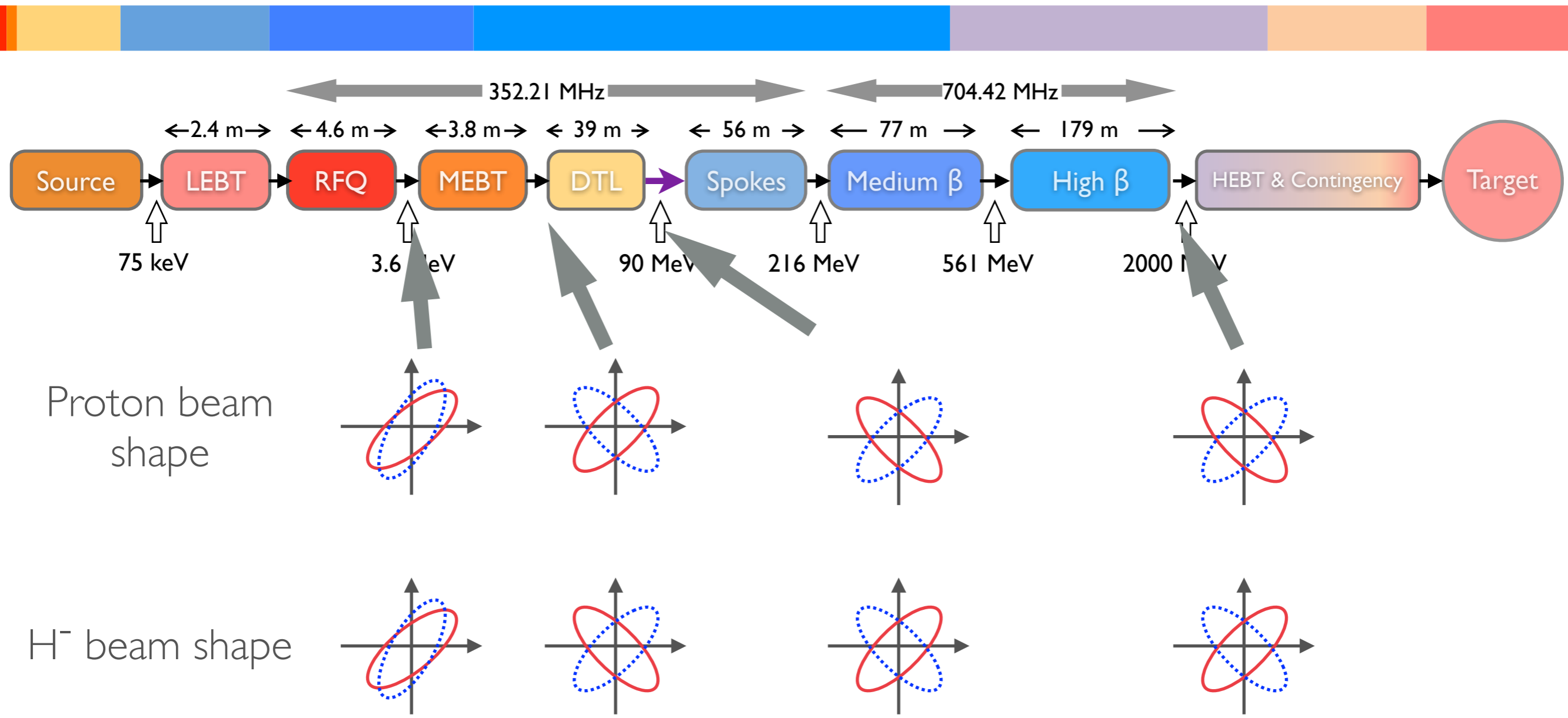


- Accelerates the beam from 75 keV to 3.62 MeV



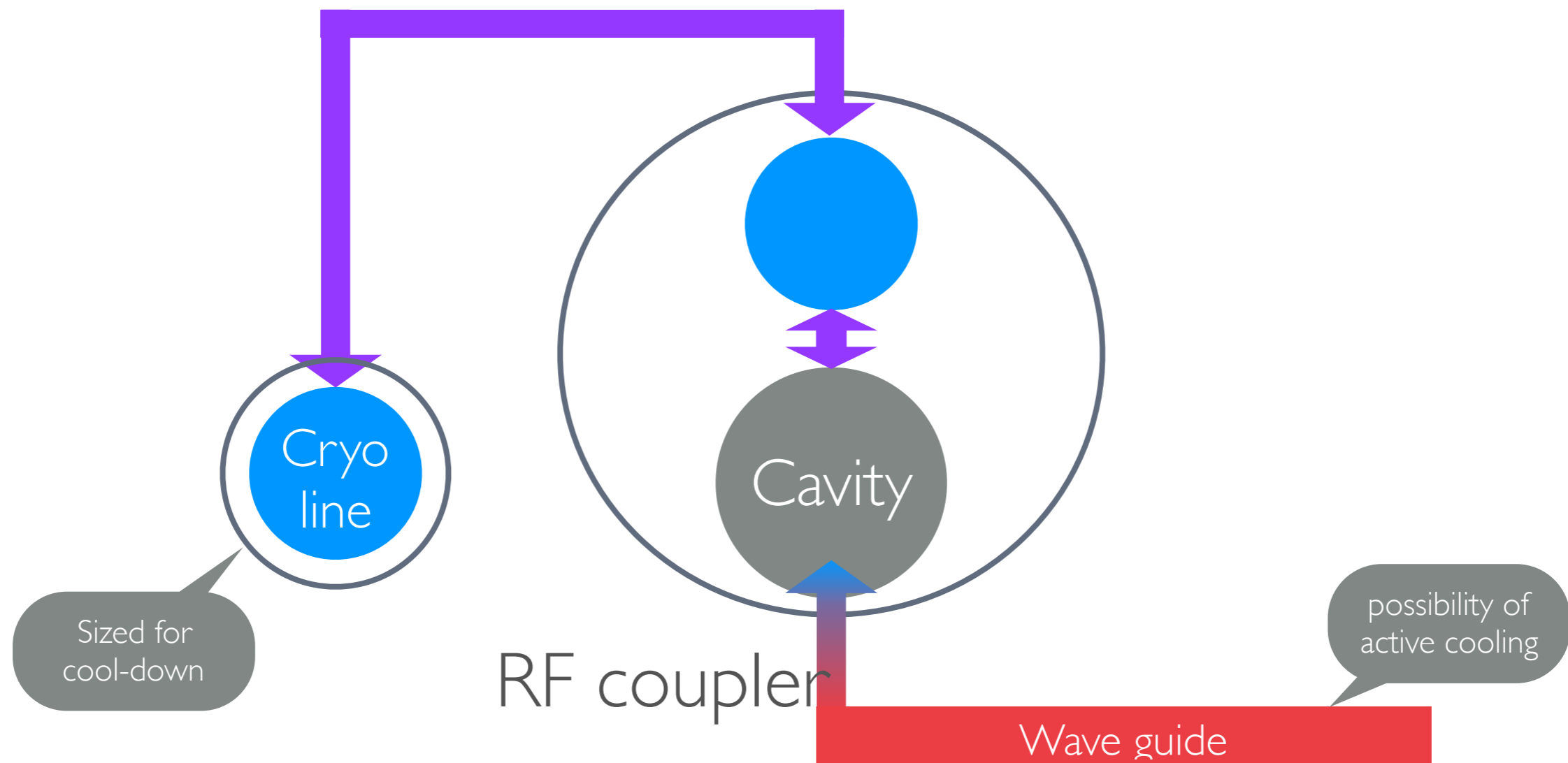


# TRANSVERSE FOCUSING



- P and  $H^-$  beams have opposite orientation at each interface (except at RFQ entrance/exit).
- Same polarity of quadrupoles could provide the right focusing.

- Spoke and Elliptical internal pipes?
  - These pipes should be OK, the jumper connectors could be a bottle neck at higher repetition rates (maybe not?).





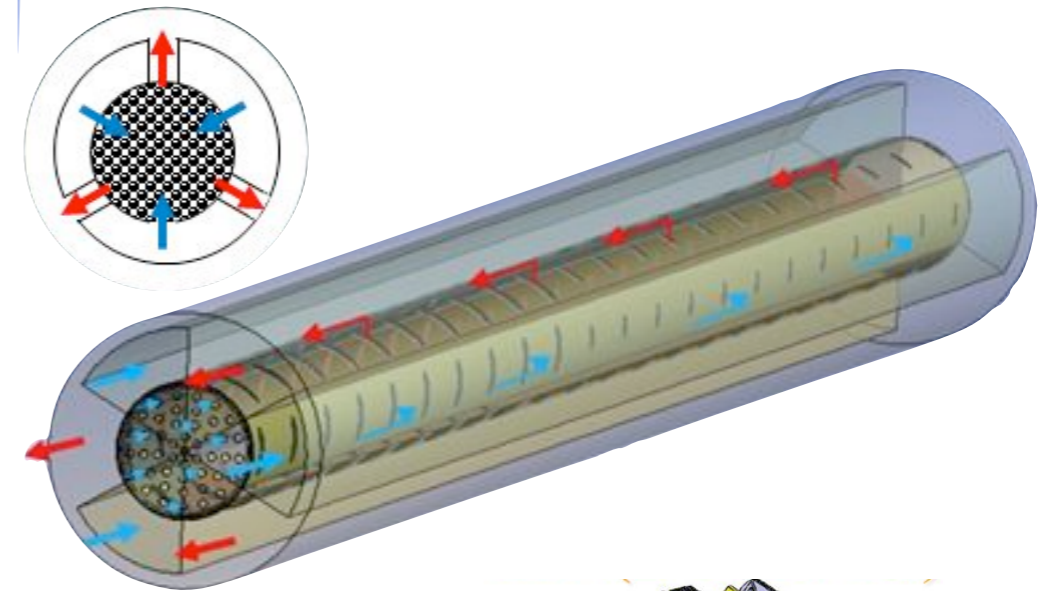
- The ESS modular topology of modulators would permit increasing the output power by increasing the size of capacitor charger.
  - If each modulator is feeding 4 klystrons (660 kVA case), there might be enough space saved to add the extra capacitor chargers.
  - If each modulator is feeding 2 klystrons (330 kVA case), there could be difficulties fitting the additional capacitor chargers in the gallery.
- In both cases the life time is reduced to ~half if they ran at 28 Hz
- A four times power increase does not seem feasible.

Thanks to Carlos Martins

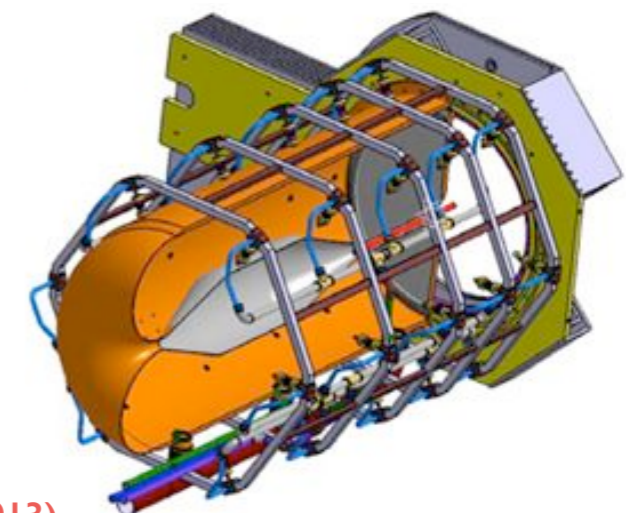
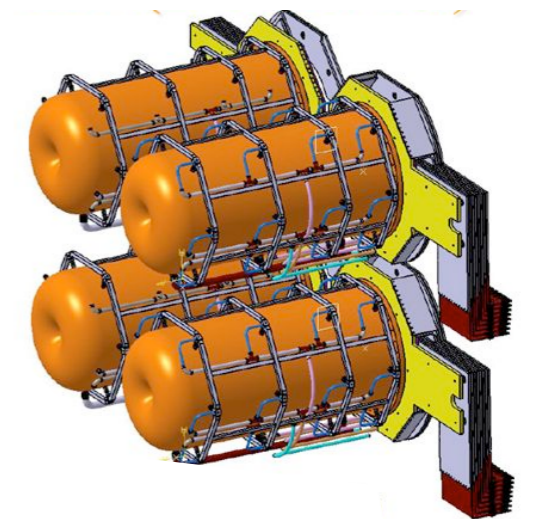
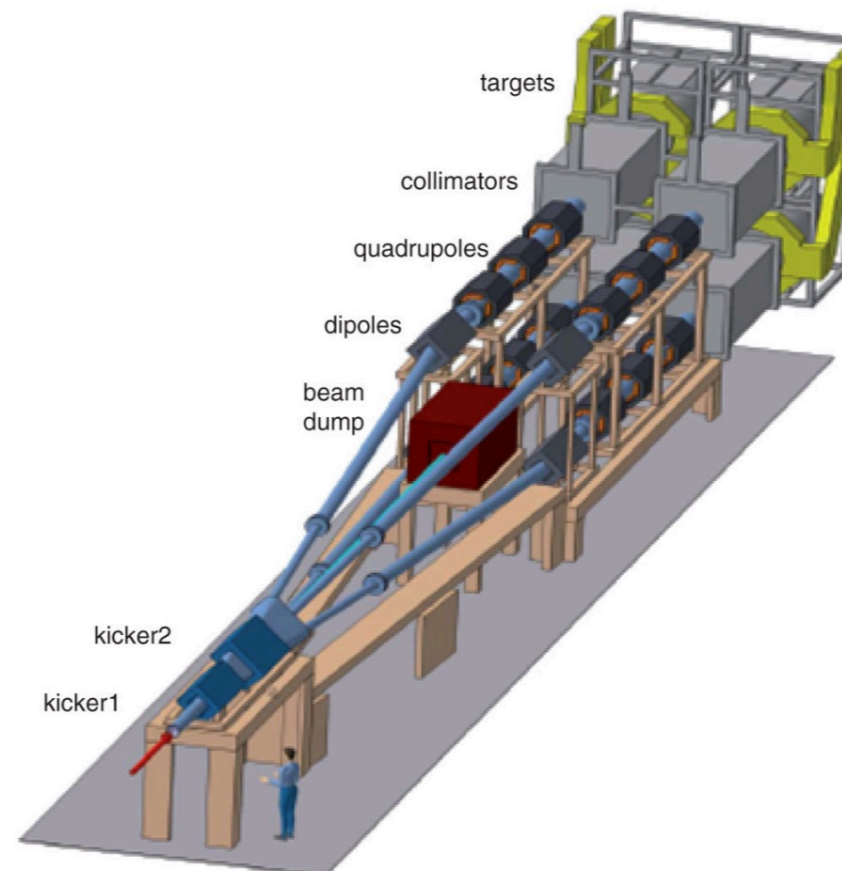
# NEUTRINO TARGET AND HORN



- Canister bed packed with titanium alloy spheres with symmetric transverse flow of coolant
- To distribute the 5 MW power of the beam 4 targets are used.



- Each target is enclosed in a magnetic horn driven by a 350 kA power supply



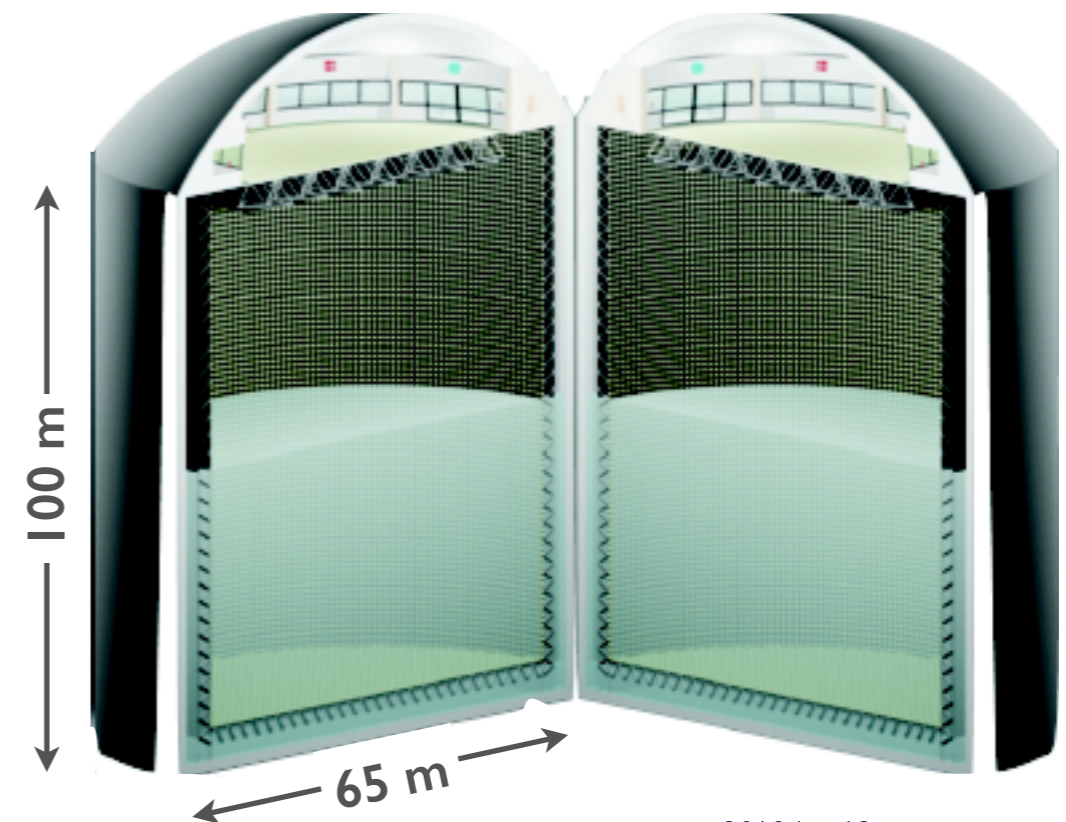
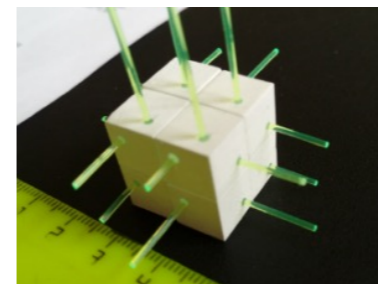
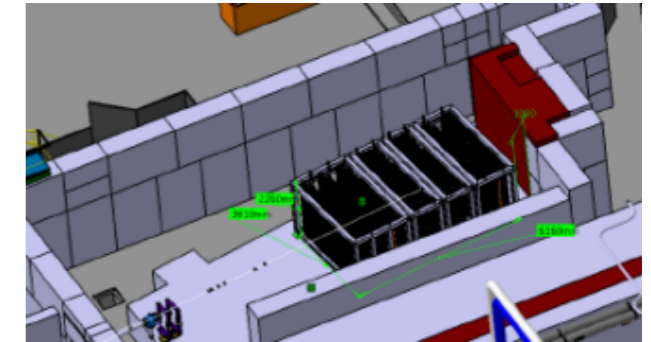
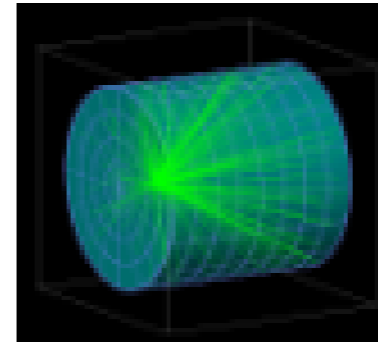
T. R. Edgecock, High intensity neutrino oscillation facilities in Europe PR STAB 16, 021002 (2013)

# NEAR AND FAR DETECTORS

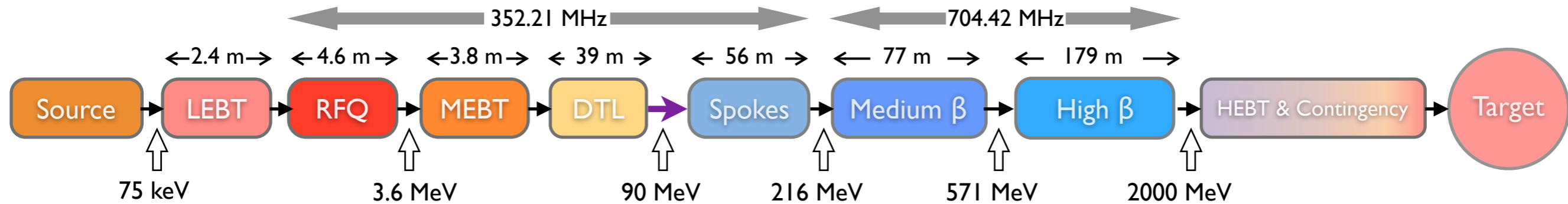


- Studies on the near detector
  - A. Burgman, M.Sc. thesis “Cylindrical kiloton water Cherenkov detector”, R x L: 5 x 10 m
  - P. Simion, M.Sc. thesis, Beam tests of “Baby MIND” detector with Geneva Group, now shipped to Japan
- Sofia and Uppsala Groups are interested in taking part on the Scintillator Cubes detector
- MEMPHYS like Cherenkov detector\*
  - 500 kt fiducial volume
  - Around 240k PMTs of 0.2 m for read out
  - 30% Optical coverage

\* *arXiv: hep-ex/0607026*



Courtesy: Tord Ekelöf



H- source

Front End

SC cavities (couplers, cavities)

RF (Modulators, SSA, Tubes), LLRF

Beam physics (Halo, losses)

Operations, Reliability, Availability and Safety

## • Areas of common interest:

- H- ion source, transport and stripping losses
- Transferline, and Ring (Uppsala University)

- The ESS linac has the potential of being upgraded to a driver for a neutrino super beam
  - The major cost for such an upgrade is the high power RF system
  - Electrical substations, an additional cryoplant and front end additions are the other major changes
- ESS will deliver  $\sim 1E15$  protons per pulse,  $2.5E23$  protons per year, enough to go to the 2nd oscillation maximum and increase the CP violation sensitivity
- Studies on the Garpenberg mine are financed through another grant

## EU satsar 30 miljoner på Garpenbergsgruvan

**HEDEMORA** Kan Garpenberg bli en internationell forskningsstation om neutriner?

Ja, möjligheten finns och har ökat. EU har nyligen beslutat att skjuta till 30 miljoner kronor för att se om det går att bygga en neutrinodektor nere i gruvan.

– Det är mycket glädjande, säger Tord Ekelöf, projektledare vid Institutionen för fysik och astronomi vid Uppsala universitet.

Tidningen har tidigare berättat att det pågår ett arbete för att se om det går att göra om delar av gruvan till en stor forskningsanläggning.

Det pågår diskussioner om att bygga neutrinodektorer på ett fåtal platser i världen. I Europa ligger Garpenberg längst framme, men USA eller Japan kan hinna före.

**Anledningen till** att Garpenbergsgruvan har kommit på tal är att den ligger på rätt avstånd från Lund. Och i Lund byggs materialforskningsanläggningen ESS (European Spallation Source). När den är klar ska forskarna få fram neutroner med hjälp av en stor accelerator. ESS väntas vara i full drift år 2025.

Tord Ekelöf, och en rad andra europeiska forskare, tror att ESS även kan användas för att få fram de mycket mindre partiklarna neutriner.

– En neutrino är en riktig elementarpartikel och har en miljard gånger mindre massa än en neutron. En neutron stoppas av ett stenblock, men en neutrino kan gå genom hela jorden utan att hejdas, säger Tord Ekelöf.

**Tanken är att forskarna** ska skicka en mycket intensiv stråle med neutriner från Lund till Garpenberg. På 1000 meters djup ska det, enligt planen, göras ett hålrum på en miljon kubikmeter, 100 meter högt och 100 meter brett. Det ska fyllas med renat vatten och när neutrinen stöter på en atomkärna i vattnet kan den omvandlas till en laddad partikel, till exempel, en elektron, vilket leder till att en ljusblixt sänds ut.

För att kunna detektera ljusblixtarna och därmed neutrinen ska det sättas upp ett stort antal ljusdetektorer på bergväggarna.



Det pågår diskussioner om att bygga neutrinodektorer på ett fåtal platser i världen. I Europa ligger Garpenberg längst framme, men USA eller Japan kan hinna före. FOTO: KJELL JANSSON

– Att bygga det här är en väldigt utmaning. Det är ingen lätt uppgift att beräkna hur det ska se ut, säger Tord Ekelöf.

**Universiteten i Lund** och Uppsala, KTH i Stockholm och tekniska universitetet i Luleå är inblandade i projektet, totalt är det 15 europeiska universitet och laboratorier som är med.

Tillsammans ska de göra en "designstudie", där det undersöks om det går att skapa en neutrinodektor i Garpenberg. Studien kommer att ta fyra år. Efter det behövs ytterligare en studie för att se hur det ska förverkligas tekniskt, den väntas ta tre år.

När det är klart tar det sju år att bygga detektorn. Så tidsperspektivet är att den kan vara i gång framåt år 2032. Pengarna som EU beviljade i augusti, ska bland annat gå till att anställa åtta nyexaminerade forskare och ett flertal doktorander. Stödet som EU nu ger via forskningsfonden Horizon 2020 går till den första delstudien, men för att bygga anläggningen krävs hela sju miljarder kronor.

– Det kan inte Sverige betala själv. Man måste nå en europeisk finansiering ungefär som för ESS, säger Tord Ekelöf.

Han hoppas att provbor-

**"En neutrino är en riktig elementarpartikel och har en miljard gånger mindre massa än en neutron. En neutron stoppas av ett stenblock, men en neutrino kan gå genom hela jorden utan att hejdas."**

Tord Ekelöf



Tord Ekelöf, projektledare, är här 1059 meter under marken i Garpenbergsgruvan.

ningarna ska kunna påbörjas nere i Garpenbergsgruvan under 2018.

**Inger Wilstrand**, vd för Hedemora näringsliv, tycker att det är positivt att EU skjuter till pengar.

– Det visar, som jag ser det, att det har legitimitet i EU-kretsen, säger hon.

Lokalt arbetas det för att få fram pengar till provborringarna. Tidigare har det sagts att det krävs en miljon kronor per borrhål och ett 15-tal hål behöver borrar.

Om det byggs en neutrinodektor så får det många positiva effekter, tror Wilstrand.

– Det skulle vara attraktivt för länet och dess företag och öka besöksnäringen eftersom det skulle komma forskare från hela världen, säger Inger Wilstrand.

**Kenneth Westerlund**  
033 956 75  
kenneth.westerlund@mitmedia.se



EUROPEAN  
SPALLATION  
SOURCE

**THANK YOU!**