
Nedkylning och uppvärmning av kryosystemet på ESS

Populärvetenskaplig sammanfattning

Författare:
Riccard Andersson
tfy12ran@student.lu.se

4 april 2014



Källa: <http://europeanspallationsource.se/>

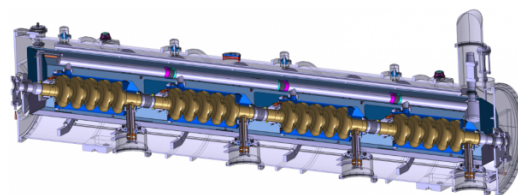
1 Bakgrund

European Spallation Source (ESS) är en forskningsanläggning som kommer byggas i Lund. Den kommer börja användas i slutet av 2019 och är en så kallad neutronkälla. Detta betyder att forskningen som kommer bedrivs är med hjälp av neutroner, vilka kan användas för att studera de inre strukturerna i material, läkemedel, bränslen, med mera. ESS är ett stort europeiskt samarbete mellan sjutton länder, där Sverige och Danmark är värdländer. För att kunna borra så djupt in i materien som möjligt så behöver neutronerna ha väldigt höga hastigheter. Detta åstadkoms på ESS genom att använda en process kallad neutronflisning. Med denna teknik så accelererar man protoner till nästan ljusets hastighet. Protonerna krockar sedan med en tungmetall och slår i och med det av neutroner som sedan styrs till de olika experimenten.

För att kunna accelerera protonerna till denna höga hastighet så måste man använda sig av supraledande kaviteter, vilket innebär nedkylda metallrör där elektromagnetiska vågor som protonerna surfar på kan färdas fritt. Att dessa kaviteter är supraledande innebär att det inte finns någon resistans i materialet, och man kan därför skicka in väldigt mycket ström, utan att de smälter.

2 Simuleringar

Det är själva nedkylningen av kaviteterna och rören som leder fram till dem som har studerats i detta examensarbete. Nedkylningen görs med hjälp av helium, som skickas ut till alla delar där det behövs mycket kylning. I detta arbete så simulerades först nedkylningen av alla rör i anläggningen, sedan simulerades nedkylningen av en kryomodul (se Figur 1), där kaviteterna ligger nedsänkta i flytande helium. Även uppvärmningen av rören och kryomodulen simulerades, vilket är något som spelar stor roll, när man behöver byta ut en komponent eller värma upp hela eller delar av anläggningen av någon annan anledning.



Figur 1: En kryomodul innehållande fyra supraledande elliptiska kaviteter nedsänkta i flytande helium. Källa: <http://www.quantumday.com/>

I samband med oväntade fel finns det en liten risk att kaviteterna tappar sin supraledande förmåga. Innan strömförsörjningen hinner stoppas skapas då stora mängder värme, vilket gör att heliumet värms upp och expanderar hastigt, enligt idealgaslagen. För att inte kryosystemet ska gå sönder i och med det höga trycket så finns det en säkerhetsventil som öppnas automatiskt. Därigenom kan heliumet strömma ut till ett ventilationsrör och tas omhand. Även detta förlopp har simulerats för att kunna bestämma storleken på ventilationsröret. Detta gjordes genom att titta på hur stort trycket blir vid olika rörstorlekar.

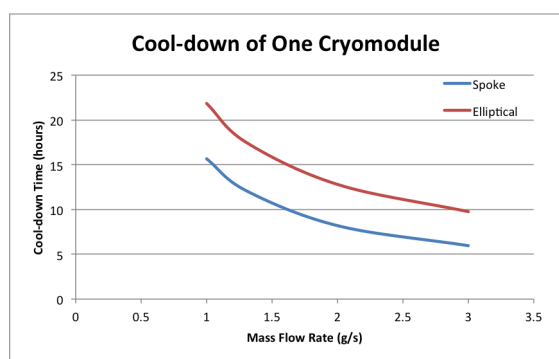
Simuleringarna har gjorts med mjukvaran *Dymola* som använder sig av modelleringsspråket *Modelica*. *Dymola* är ett dynamiskt modelleringsprogram vilket kan kombinera olika discipliner i samma modell. I detta examensarbete har det främst handlat om strömmingsmekanik och termodynamik, där flödet av helium och dess värmeutbyte med rör och komponenter varit viktiga fenomen.

3 Resultat

De simuleringar, som gjordes för nedkylningen av kryorören, gav att tiden det tar att gå från rumstemperatur ner till fem Kelvin var knappt sju timmar. Uppvärmningen tar istället knappt tjugo timmar. Detta gör att totaltiden att värma upp anläggningen, om något till exempel behöver bytas ut eller repareras, och sedan kyla ner det igen tar drygt ett dygn, vilket är bra att ha i åtanke när man

ska räkna på hur stor *tillänglighet* acceleratoren kan tro ha.

Nedkylningen för en kryomodul tar mellan sex och tjugotvå timmar, beroende på vilken typ av kryomodul det är och hur mycket helium man skickar in per sekund. I Figur 2 nedan kan man se hur nedkylningstiden beror av massinflödet av helium. Uppvärmningen av en kryomodul tar lite



Figur 2: Nedkylningstiden av en kryomodul beror på vilken typ det är - elliptisk eller eker - och hur mycket helium som flödar in per sekund.

längre tid - mellan nio och trettioåtta timmar. Beroendet av vilken typ av kryomodul det är och hur mycket helium som flödar in ser ut på ett liknande sätt som nedkylningstiden i Figur 2.

När det gäller simuleringen av ventilationsröret så visar det sig att för ett tillåtet maxtryck på 1,2 bar och ett beräknat heliumflöde på 180 g/s så behövs ett rör med en diameter på 17 cm. Detta är mindre än de 22 centimeter som först beräknats, vilket innebär att både material- och installationskostnader kan hållas lägre när ESS byggs. Detta rör kommer vara cirka 400 meter långt, och det gör alltså stor skillnad i mängden stål, som behövs för röret.

4 Slutsatser

I samband med att ESS börjar byggas finns det många olika saker som ska tas hänsyn till. Kylningen är en viktig faktor för att accelerationen ska fun-

gera på ett effektivt sätt, och det är nödvändigt att veta exakt hur mycket helium som behövs till detta och hur lång tid det tar att kyla ner och värma upp anläggningen.

Eftersom nedkylningen och uppvärmningen av en kryomodul är starkt beroende av hur mycket helium som kan skickas in per sekund så är detta något att ta i beaktning när kryomodulerna tillverkas. Detta är svårare att anpassa för hela kryosystemet, där rördimensionerna är i princip bestämda. Men att veta hur lång tid nedkylning och uppvärmning tar behövs för att kunna anpassa reparationer och underhåll.

Rätt dimensionering av rör gör att man kan lita på att systemet håller för det tryck som uppstår samtidigt som det inte blir en onödigt hög kostnad. Med hjälp av de modeller som skapats för detta så kan fler dimensioneringar göras på ett snabbt sätt för att kunna bedöma olika förutsättningar, som kan uppstå.

5 Källor

Andersson, Riccard. *Cool-down and Warm-up of the Cryogenic Distribution Line at ESS*. Master's Thesis, Department of Automatic Control, Lund University. Media-Tryck, Lund, 2014.

<http://europeanspallationsource.se/>

Peggs, Steve (ed.). *ESS Technical Design Report*, ESS-doc-274, 2012.

Fydrych, Jaroslaw. ESS Cryogenic infrastructure - distribution system for the ESS Linac. Presentation på ESS, November 2013.

Chorowski, M. et.al. Flow and Thermo-mechanical Analysis of the LHC Sector Helium Relief System. ICEC20, Peking, Kina, 2004.

<http://www.3ds.com/products-services/catia/capabilities/systems-engineering/modelica-systems-simulation/dymola>