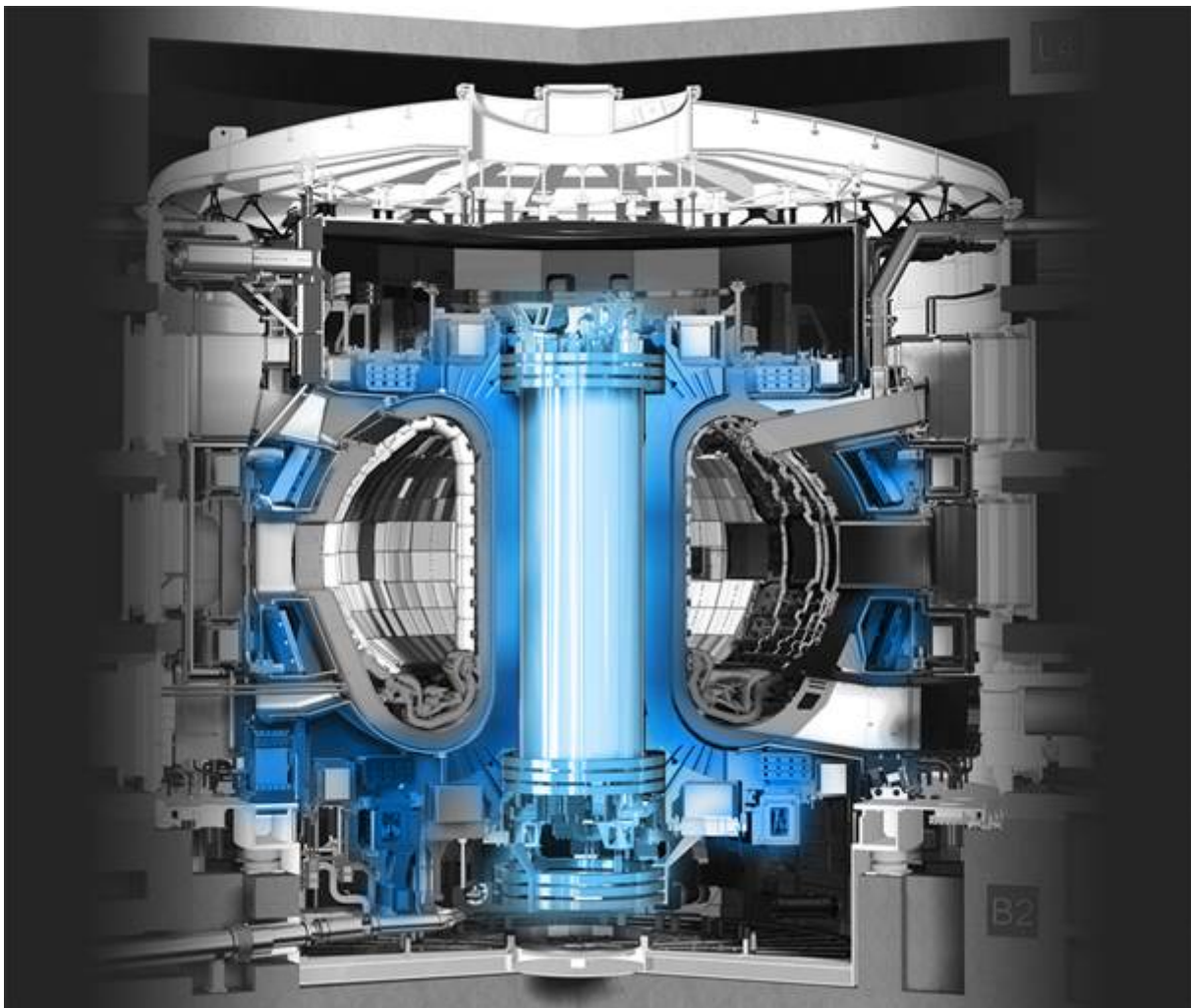


## Magnety

Systém magnetů je zatím největším systémem supravodivých magnetů na světě.

**Cívky** o hmotnosti 10000 tun (viz obr. 133) vytvářejí **magnetické pole**, které spouští, lokalizuje, formuje a kontroluje plazma uvnitř **vakuové nádoby**. Vinutí cívek je vyrobeno ze slitin niobu ( $Nb_3Sn$  nebo  $NbTi$ ), které mají vlastnosti **supravodiče** po ochlazení pod **kritickou teplotu** 4 K. Toto chlazení je zajištěno kapalným heliem.

Výhoda využití supravodičů je zřejmá: může jimi procházet vyšší proud, a tedy mohou generovat ve svém okolí silnější magnetické pole oproti cívkám navinutým z běžných vodičů. Současně spotřebovávají menší **výkon** a jsou tedy na provoz levnější. A pro vytváření silných magnetických polí je to vlastně jediná možnost. Konkrétně se používají vodiče ve tvaru žil ze supravodivého materiálu s **příměsí** mědi spojené do svazku vedeného ocelovým pláštěm. Na výrobu supravodivých vodičů se používá  $Nb_3Sn$ , který byl dodáván několika dodavateli v průběhu několika let.



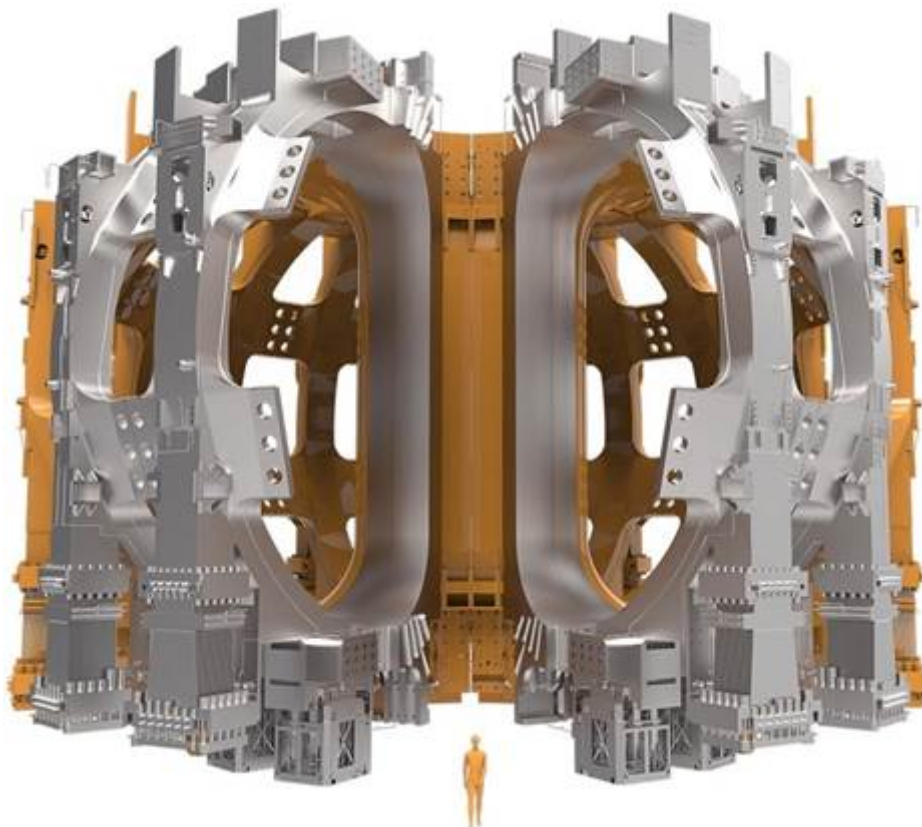
Obr. 133

Soustavu magnetů tvoří:

1. toroidální cívky;
2. poloidální cívky;
3. centrální **solenoid**;
4. korekční cívky;
5. napaječe magnetů;

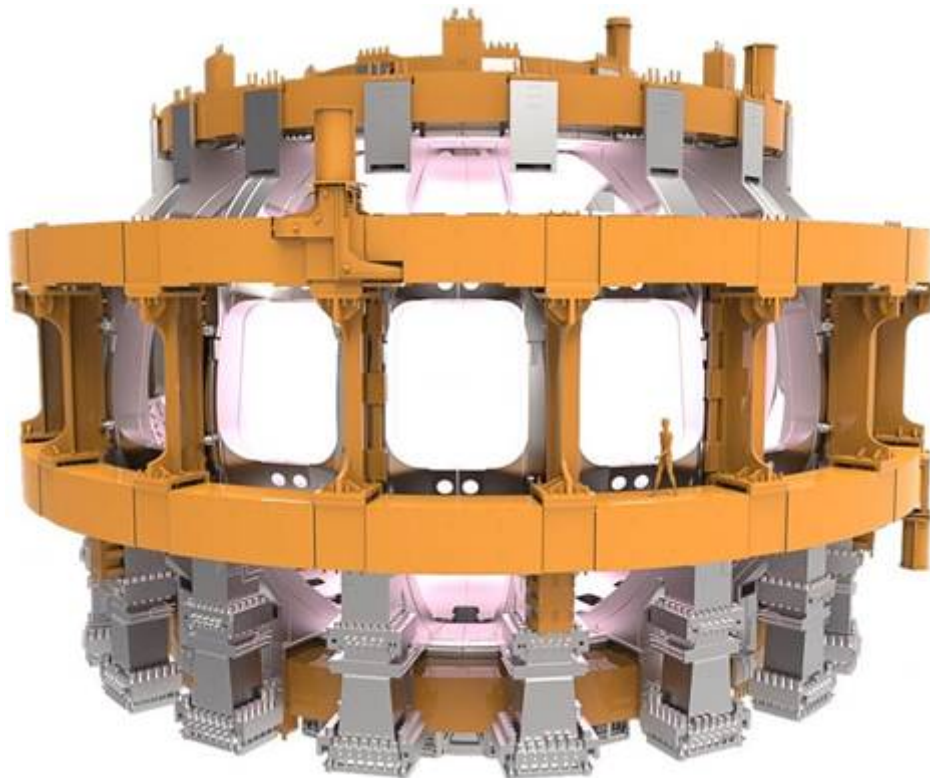
6. cívky z nesupravodivého materiálu.

Kolem vakuové nádoby je umístěno 18 **toroidálních cívek** ve tvaru písmene D (viz obr. 134), jejichž magnetické pole má zejména udržovat [částice](#) plazmatu na jejich [trajektorii](#) uvnitř vakuové nádoby. Cívky jsou navrženy tak, aby vytvářely magnetické pole s [energií](#) 41 GJ a s [magnetickou indukcí](#) o velikosti 11,8 T. Se svými rozměry 9 m a 17 m a hmotností 360 t na každou z cívek se jedná o největší část zařízení v [ITERu](#). Toroidální cívky jsou navinuty spirálovitě ve dvou vrstvách na radiálních deskách ukotvených v masivní konstrukci z nerezové oceli. Vzhledem ke své hmotnosti a požadované kvalitě byla výroba těchto cívek výzvou pro současně používané technologie.



Obr. 134

**Poloidální magnetické pole** je vytvářeno šesti cívkami ve tvaru prstence (viz obr. 135), které jsou umístěny vně toroidálních cívek. Poloidální magnetické pole formuje plazma a přispívá k jeho stabilitě zužováním [svazku částic](#), čímž udržuje svazek částic dostatečně daleko od stěn vakuové nádoby. Největší z těchto cívek má průměr 24 metrů a hmotnost 400 tun. [Celková energie](#) magnetického pole poloidálních cívek jsou 4 GJ a maximální velikost magnetické indukce je 6 tesla.



Obr. 135

**Centrální solenoid** (viz obr. 136) je dominanta magnetického systému ITERu. Tato cívka vytváří magnetické pole, které indukuje velké [elektrické proudy](#) v plazmatu uvnitř nádoby a udržuje plazma stabilní po relativně dlouhý čas. Centrální solenoid je vysoký 18 m, má průměr 4 m a má hmotnost 1000 tun. Je vyrobený ze šesti nezávislých cívek navinutých ze supravodivých vodičů.

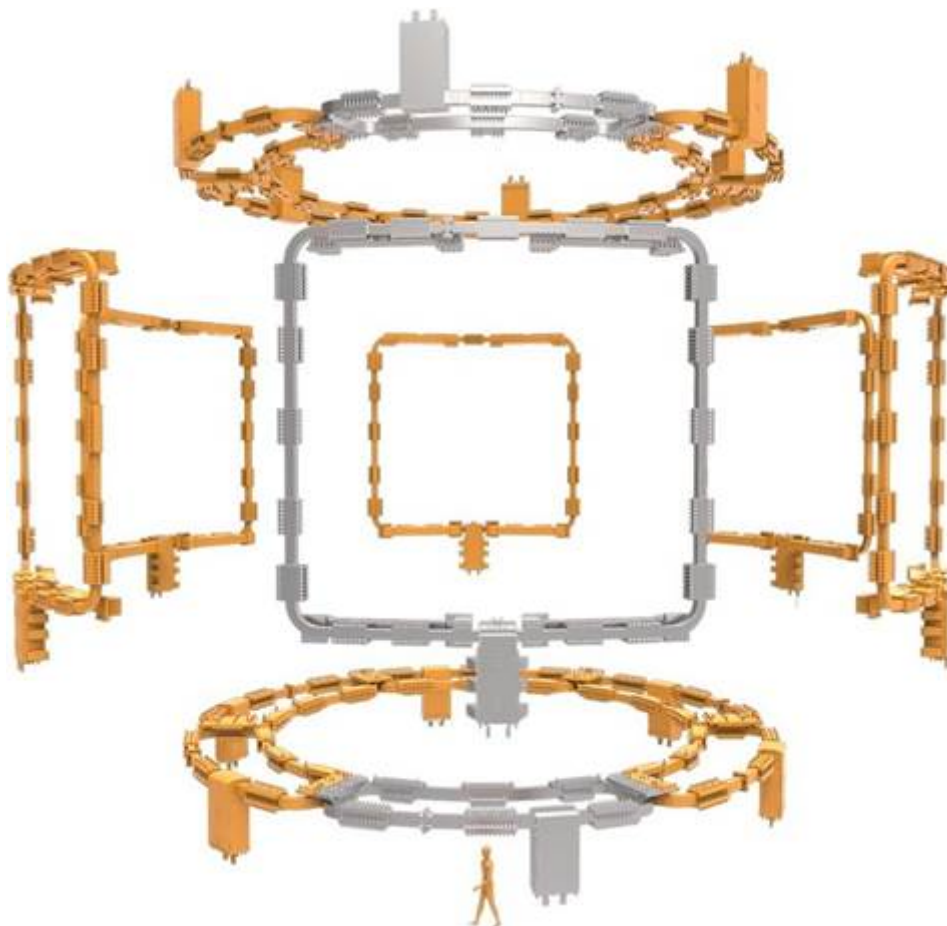


Obr. 136

Magnetické pole s energií 6,4 GJ vytváří a udržuje v plazmatu elektrický proud 15 MA po dobu 300 s až 500 s. Magnetická indukce tohoto [pole](#) má velikost 13 T; jedná se o největší magnetickou indukci ze všech magnetů v ITERu.

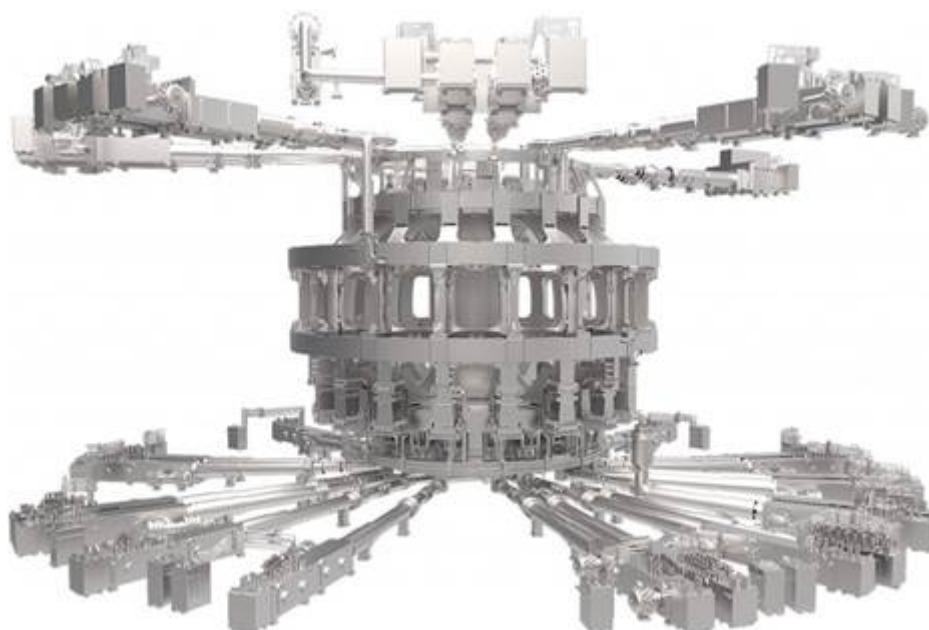
Nezávisle pracující cívky centrálního solenoidu vytvářejí velké [elektromagnetické síly](#) působící v různých směrech. Pro vytvoření specifického magnetického pole byla navržena speciální struktura centrálního solenoidu, která je schopna odolat [silám](#) o velikosti až 60 MN.

Mezi toroidálními cívkami a poloidálními cívkami je umístěno 18 **korekčních cívek** (viz obr. 137). Tyto cívky kompenzují odchylky a chyby magnetického pole, jejichž příčinou jsou geometrické odchylky vzniklé při výrobě cívek. Ačkoliv mají menší rozměry a hmotnost ve srovnání s toroidálními cívkami a poloidálními cívkami, mají průměr 8 metrů. Ve srovnání s ostatními cívkami jimi teče i menší elektrický proud (10 kA). Tyto cívky jsou sestaveny ve skupině šesti cívek symetricky kolem toroidálních cívek.



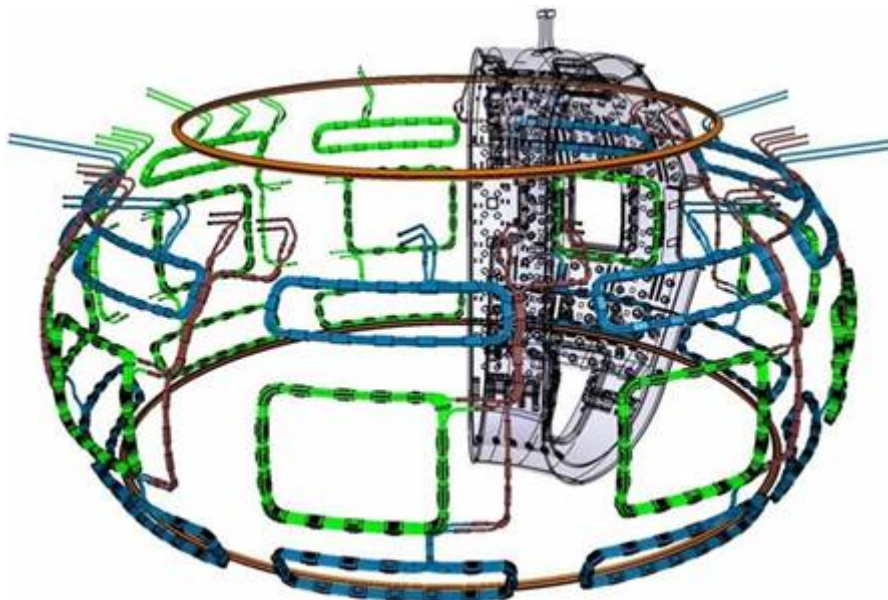
Obr. 137

**Napaječe magnetů** (viz obr. 138) jsou životně důležité pro správnou funkčnost [TOKAMAKu](#) v ITERu. Celkem 31 napaječů přivádí a reguluje chladicí [kapalinu](#) a kontrolují tak [teplotu](#) magnetů. Současně připojují magnety k jejich zdrojům. Napaječi prochází elektrický proud 68 kA. Vysokoteplotní supravodiče přenášejí elektrický proud velkého výkonu ze zdroje při pokojové teplotě do míst supravodivých cívek při teplotě 4 K s minimálními tepelnými ztrátami. Sběrnice vyrobené ze supravodivého materiálu niob-titan jsou uloženy v ocelových trubkách navržených tak, aby dokázaly absorbovat relativně velké změny při teplotní délkové roztažnosti nastávající během chlazení celého systému na teplotu 4 K.



Obr. 138

Dvě **cívky** s vinutím vyrobeným z **nesupravodivého materiálu** jsou umístěné uvnitř vakuové nádoby (viz obr. 139) a poskytují dodatečnou kontrolu plazmatu. Dvě vertikální cívky jsou stabilně instalovány nad a pod střední rovinou nádoby a svým magnetickým polem rychle vertikálně stabilizují plazma. Další skupina 27 cívek je pevně umístěna ve stěně nádoby a vytváří rezonanční magnetické fluktuace v plazmatu, čímž dosahuje stability plazmatu. Cívky jsou navrženy ze směsi materiálů ([izolantů](#) a mědi) tak, aby odolávaly náročným podmínkám uvnitř nádoby (teplota, [tlak](#), ...).



Obr. 139