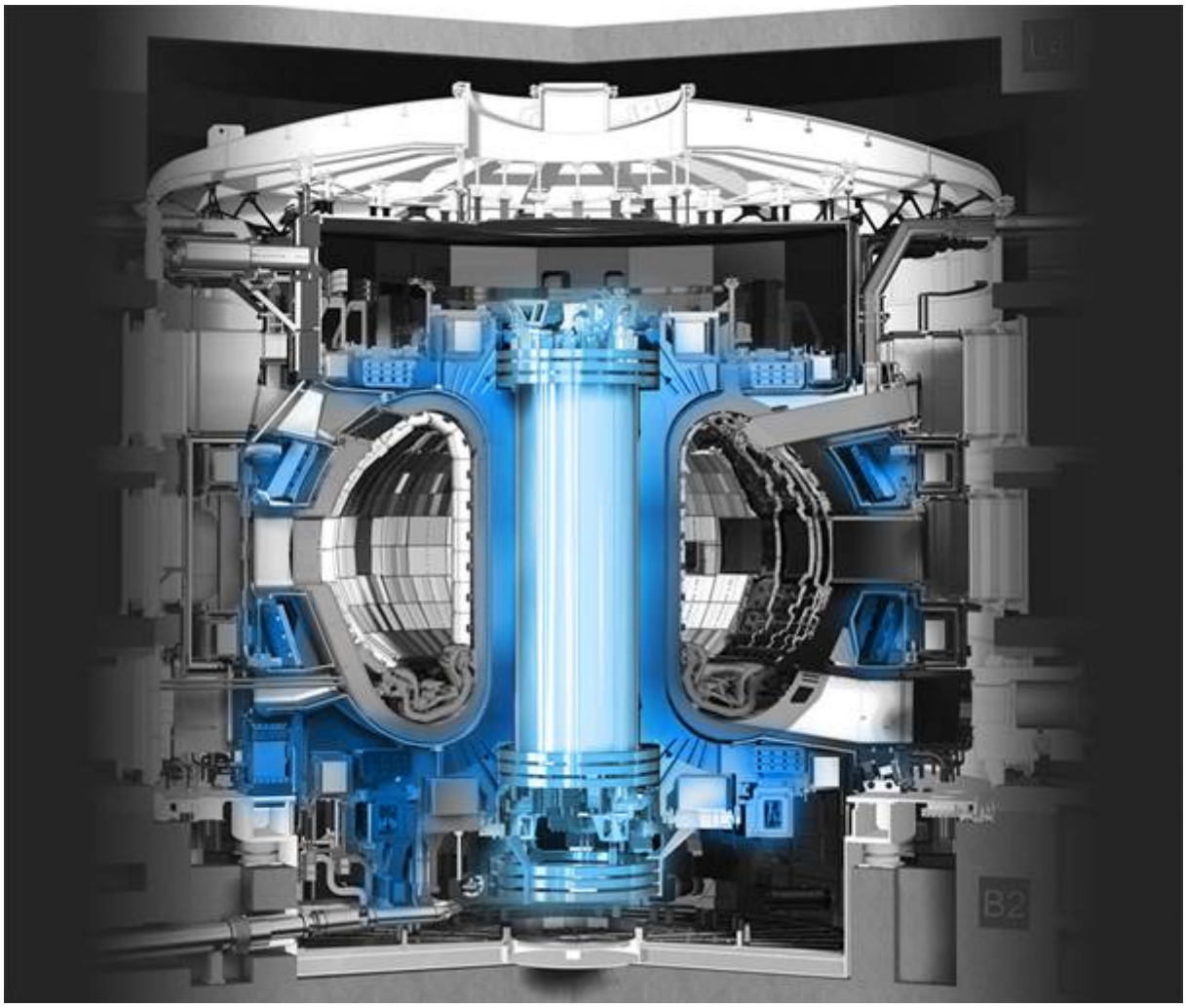
Magnety

Systém magnetů je zatím největším systémem supravodivých magnetů na světě.

Cívky o hmotnosti 10000 tun (viz obr. 137) 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.



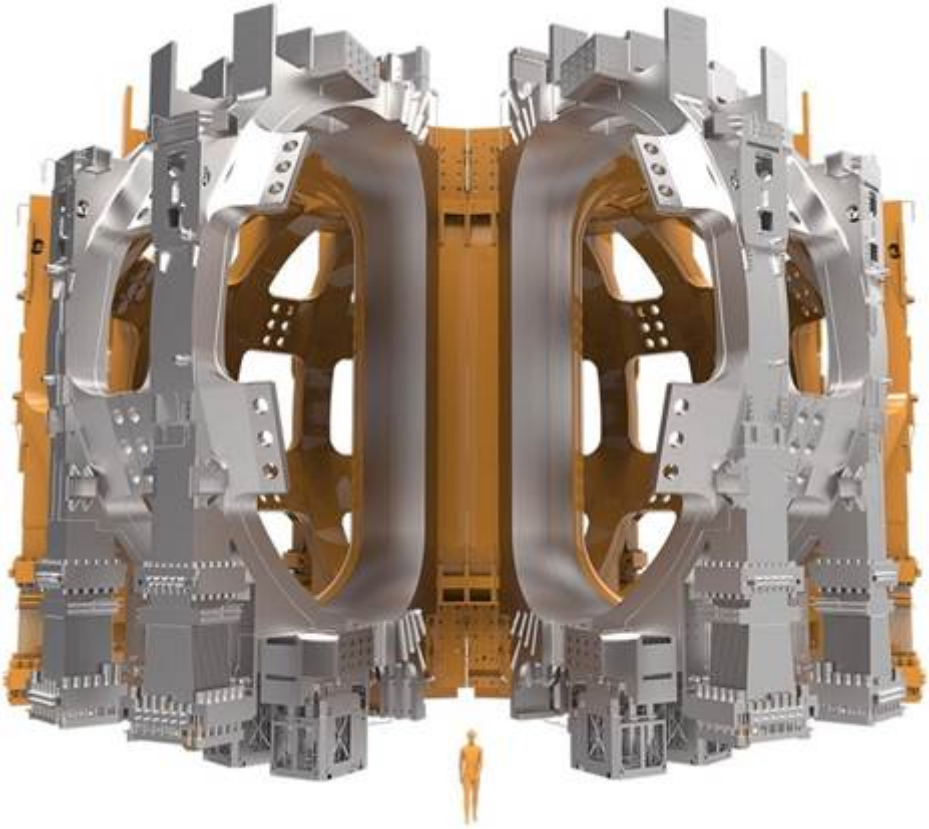
Obr. 137

Soustavu magnetů tvoří:

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

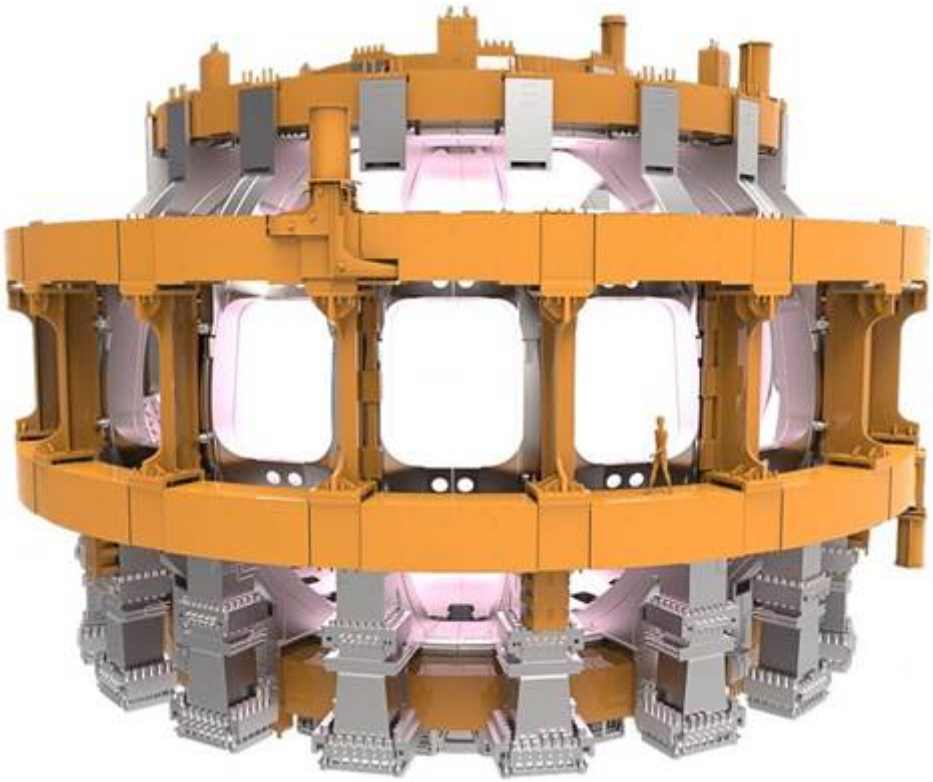
6. cívky z nesupravodivého materiálu.

Kolem vakuové nádoby je umístěno 18 **toroidálních cívek** ve tvaru písmene D (viz obr. 138), 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. 138

Poloidální magnetické pole je vytvářeno šesti cívkami ve tvaru prstence (viz obr. 139), 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. 139

Centrální solenoid (viz obr. 140) 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.

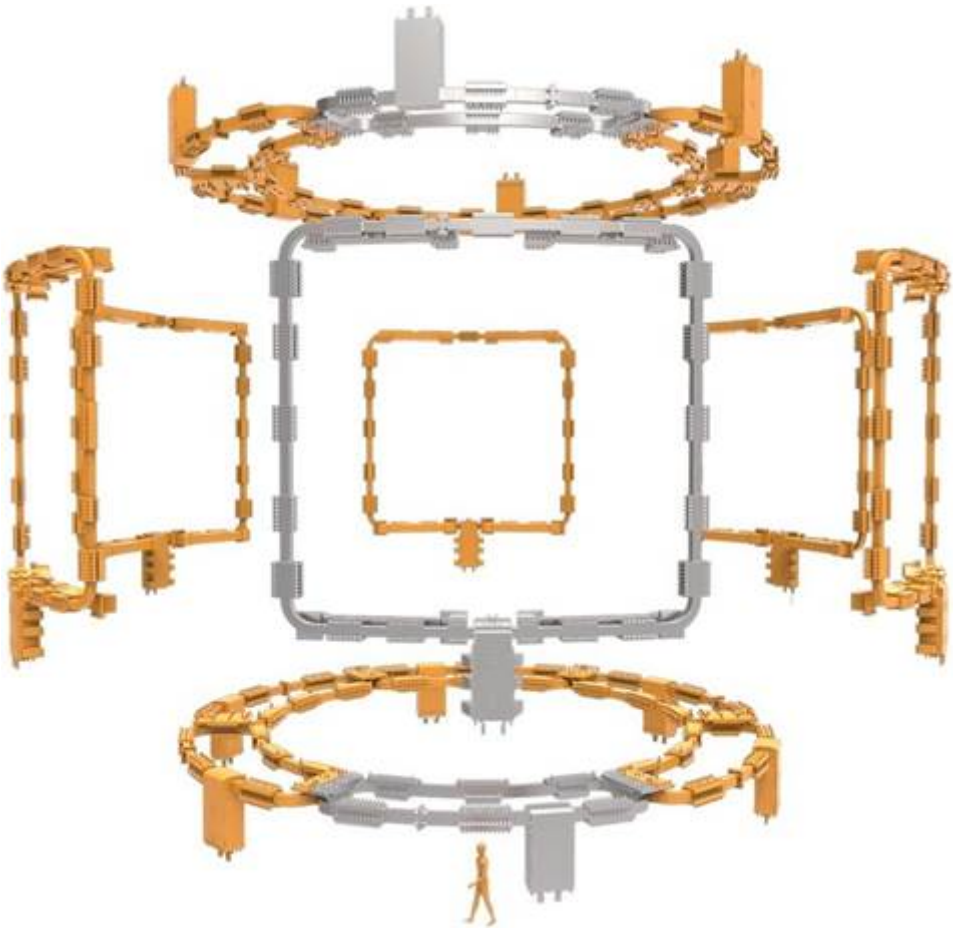


Obr. 140

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.

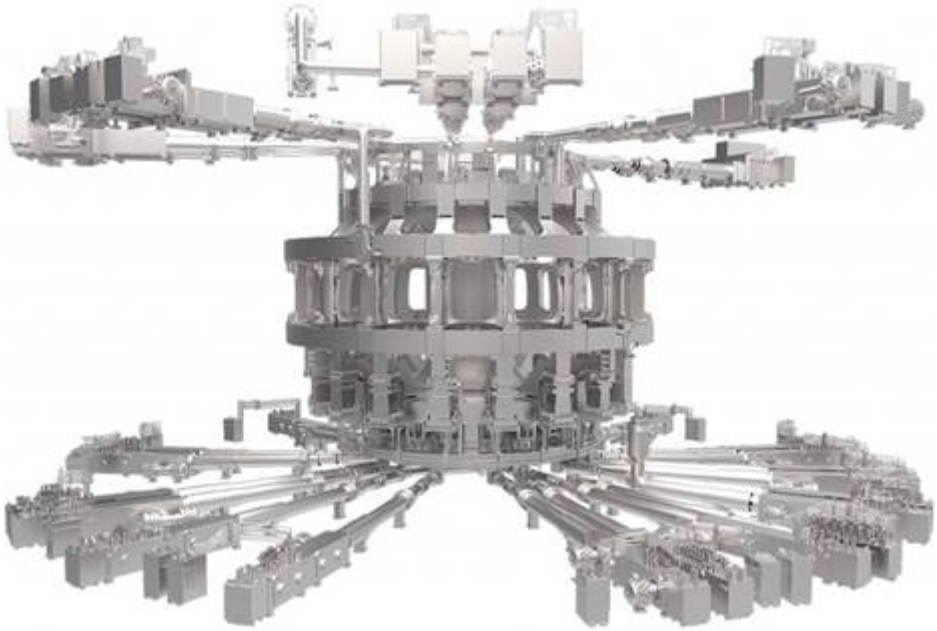
Nezávisle pracující cívky centrálního solenoidu vytvářejí velké elektromagnetické síly působící v různých směrech. Pro vytvoření specifického magnetického pole byla navržena speciální struktura centrálního solenoidu, která je schopna odolat silám o velikosti až 60 MN.

Mezi toroidálními cívkami a poloidálními cívkami je umístěno 18 **korekčních cívek** (viz obr. 141). 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.



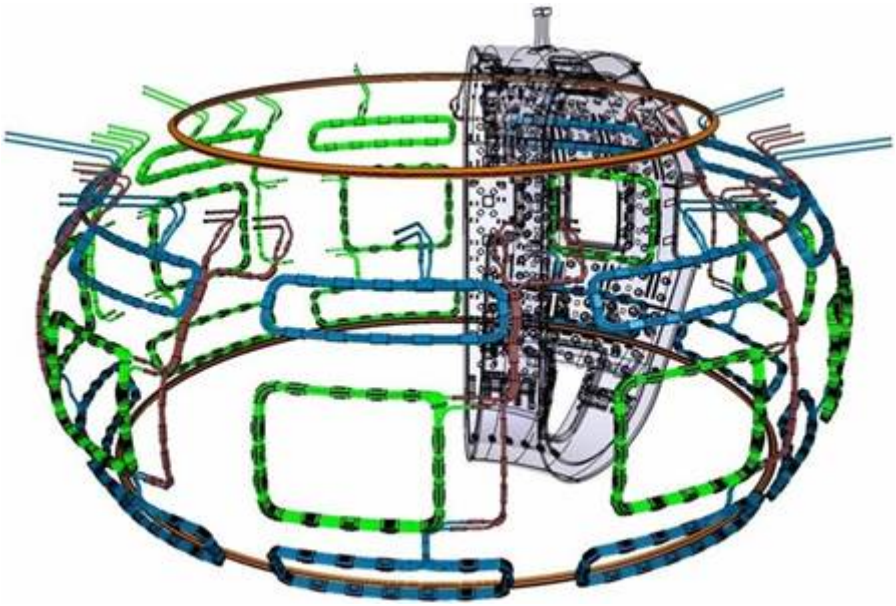
Obr. 141

Napaječe magnetů (viz obr. 142) 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. 142

Dvě **cívky** s vinutím vyrobeným z **nesupravodivého materiálu** jsou umístěné uvnitř vakuové nádoby (viz obr. 143) 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. 143

© Encyklopedie Fyziky (http://fyzika.jreichl.com); Jaroslav Reichl, Martin Všetička
Licence http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/ zakazuje úpravy a komerční distribuci.