

## Jan Mlynář z Ústavu fyziky plazmatu: Kdyby o fúzi měla zájem armáda, už bychom ji asi měli, ale nebyla by spolehlivá



Doktor Mlynář. Nebere představu laické veřejnosti o vědeckých coby opláštěných bytostech zcela mimo reálný svět tak trochu za své?

*Jaderná fúze... Nápad vytvořit „Slunce na Zemi“ je starý už více než padesát let a nyní je právě za tímto účelem stavěno největší a nejdražší civilní výzkumné zařízení, které zatím lidstvo mělo k dispozici, tokamak ITER ve francouzském Cadarache. Jaký vlastně ale je princip fúze, jak jí můžeme dosáhnout a udržet? Kdy budeme mít fúzní elektrárny a jaké jsou současné směry ve fúzním výzkumu? A z jiného soudku – stojí za to dnes být vědcem?*

*Atominfo.cz přináší rozhovor s vědeckým pracovníkem Ústavu fyziky plazmatu doktorem Janem Mlynářem. Kromě výzkumu fúze v Česku a ve Švýcarsku též pracoval několik let v ČEZu v oblasti vztahů s veřejností. Rozhovor je rozsáhlý a obsahuje více tematických částí. První část je zaměřena na historii fúzního výzkumu v českých zemích a jeho současném postavení v rámci Evropské unie. Ve druhé najdete mnoho zajímavých informací o historii fyziky plazmatu a možnou odpověď na otázku, proč stále nemáme k dispozici fúzní elektrárny. Poslední část se týká fúzních zařízení v České republice – tokamaku Compass na Ústavu fyziky plazmatu AV ČR a tokamaku Golem na FJFI ČVUT.*

*Více informací o principu fúzních reakcí a fungování tokamaku naleznete například zde. Stručnou historii českých tokamaků Compass a Golem najdete na konci článku.*

### Úvod, zkušenosti ze studií

**Mohl byste nám nejdříve říct něco o sobě? Například odkud jste? Jak jste se dostal k oboru Termojaderné fúze?**

Jmenuji se Jan Mlynář, pocházím z Prahy, už odedávna – pradědeček z tatínkovy strany byl na Žižkově švec.

Co se týká oboru, o fúzi jsem se dozvěděl už na střední škole. Už na základní škole jsem se začal zajímat o fyziku, měli jsme dobrého mladého učitele, který mě v mém zájmu podporoval. Potom jsem se už na střední škole dočetl o tokamacích a termojaderné syntéze a velmi mě to zaujalo. Dočetl jsem se o spuštění velkého evropského experimentu v Anglii – JET. Tenkrát myšlenka, že v Anglii něco staví, byla jako legenda z jiného světa. Bylo to pro mě velmi atraktivní, a také mě velmi zajímal výzkum složení hmoty, šel jsem proto studovat jadernou fyziku. Uvažoval jsem o teorii, ale viděl jsem, že matematiku se musím opravdu naučit, že to mi není samo dáno. Šel jsem pak za jedním vyučujícím s velmi speciálním přáním, že bych rád dělal diplomovou práci na tokamaku. On mě zavedl sem na Akademii věd, kde pan Žáček, který tady dodnes pracuje, zvolal: „No konečně nám někoho poslali.“ Ale já říkám: „Ne, nikoho vám neposlali, já jsem se sám chtěl o tom něco dozvědět.“ Ale není to tak, že bych byl přesvědčen o tom, že je to to jediné, co by měl člověk dělat.

**Jaké byly vyhlídky v době Vašich studií, kdy jste vlastně studoval?**

Já jsem studoval ještě před převratem. Tenkrát vyhlídky pro jadernou fyziku nebyly špatné. Jaderní fyzici dostávali preferenční stipendia. Lidé, kteří odjeli pracovat do Dubny (Spojený ústav jaderných výzkumů v Dubně u Moskvy – pozn. red.) měli na svou dobu i výborné platové podmínky, pokud je mi známo. Devadesátá léta pro výzkum v naší zemi byla velmi špatná. Docházelo dokonce k tomu, že kdo dostudoval doktorandské studium, šel s penězi dolů, když nastoupil třeba na Akademii věd. Takže lidé, kteří vědu opravdu milovali, nastoupili třeba do druhého doktorandského studia. Spousta také z vědy odešla, prakticky všichni mí spolužáci odešli buď do zahraničí, nebo do praxe. Já jsem tenkrát napřed odešel do ČEZU, a pak mi byla nabídnuta práce na tokamaku ve Švýcarsku, kterou jsem přijal.

**Na jaké pozici jste pracoval v energetice?**

Dělal jsem vztahy s veřejností, což jsem si vybral sám, protože jednak jsem rád mezi lidmi a také jsem to považoval za zajímavé. Je to způsob jak se o energetice hodně dozvědět, protože kdo dělá vztahy s veřejností, má za úkol dozvědět se co nejvíce, aby to mohl správně předat.

**Proč jste vlastně nezůstal u jádra, ale přešel jste k fúzi? Vždyť tenkrát byly plánovány další dvě elektrárny...**

Byli jsme se tenkrát podívat v Ústavu jaderné fyziky v Řeži a připadlo mi to tam strašně opuštěné, lidé tam pracovali sami na svých experimentech. Já jsem vždy chtěl pracovat spíš v týmu a nakonec jsem zjistil, že i 30 lidí je pro mě málo a že pořád tihnu k těm největším projektům a experimentům. Ale třeba někomu vyhovuje pracovat sám. Na povaze vždy záleží hodně, člověk by se měl rozmyslet, co bude dělat nejenom vzhledem ke svému odbornému talentu, ale i vzhledem k tomu, jestli chce spíš být mezi lidmi nebo samostatně něco dělat.

### Vývoj postavení fúzního výzkumu

**Jak se měnilo postavení výzkumu fúze během posledních třiceti let?**

Měnilo se to, skoro jako na houpačce. V 80. letech probíhala stavba velkých projektů, jako je třeba JET (tokamak ve Velké Británii). Poprvé o ITERu vlastně mluvili už v roce 1985 Reagan s Gorbačovem. Spojené státy a SSSR si dokazovaly, kdo je v oboru lepší, stejně jako v kosmickém výzkumu. V 90. letech přišel úpadek, protože Amerika už nepotřebovala nikomu ukazovat, že je v něčem nejlepší, a země bývalého SSSR měly úplně jiné starosti. Obor potom držely jenom Evropská unie a Japonsko. V té době jsem pracoval ve Švýcarsku a vyhlídky byly docela pesimistické, energie bylo dost, ropa byla levná, nikoho fúze moc nezajímala.

To se úplně změnilo na začátku našeho tisíciletí, kdy najednou ropa začala být drahá a zároveň se objevila Čína jako další silný partner se zájmem o spolupráci. Takže Evropa a Japonsko mezitím udělaly projekt ITERu, který byl menší, než původní připravený se Sověty a Spojenými státy. Přidala se Čína a v ten moment byly zpátky i Spojené státy. Můžeme se dohadovat, jestli tam byla souvislost s Čínou, nebo se prostě jednalo o změnu politické situace. Ve Spojených státech nejspíš obojí. A rozhodnutí o ITERu, které také ve skutečnosti pár let trvalo, znamenalo velkou změnu v Čechách, která byla také dvoustupňová. První změna nastala, když jsme v roce 2000 vstoupili do koordinovaného výzkumu Evropské unie, která v tom projektu byla nejsilnější. Dodnes je nejsilnější, ITER se také staví v Evropě. Do roku 2000 to u nás v Čechách byla bída s nouzí, úplně všichni mladí odešli, držela to tady jenom starší generace, které musíme poděkovat, protože na její práci pak mohli další navázat. Vstup do organizovaného výzkumu znamenal obrovskou výhodu z hlediska mobility, studenti mohli cestovat a jezdit na letní školy již z prostředků Evropské unie.

Další velká změna přišla, když Evropská unie rozhodla o stavbě ITERu. Mým kolegům se – já jsem byl v zahraničí – podařilo využít ten moment, říci: jsme jedna z několika nových zemí EU, která si zachovala tradici výzkumu fúze, a jsme jediná nová země, která má tokamak, měli bychom to využít a měli bychom získat nové zařízení. Shodou okolností Velká Británie tenkrát nabízela zařízení COMPASS-D, protože mezitím postavila větší tokamak MAST, EU zase řekla, že Britové nemohou jen tak odstavit starý tokamak, stavěný také z evropských peněz, a že jej mají někomu věnovat. Nejprve ho nabídli Polsku, ale tamní vědci nedokázali přesvědčit svoji administrativu o tom, že je nutné do tohoto projektu investovat. Naše ministerstvo vědělo, co je to tokamak, a vědělo, že už máme spolupráci s koordinovaným

výzkumem, takže to nakonec všichni podpořili. Tokamak jsme dostali zadarmo, ovšem infrastruktura kolem toho byla na české poměry velká investice, ale všechno dobře dopadlo. Dnes máme dost studentů i finanční podporu, práce je spíš moc, než málo.

### **Myslíte si, že z evropského hlediska může odstup Německa od jádra přinést další impulzy pro fúzi?**

Situace je složitá, není jasné, zda na tom fúze vydělá nebo prodělá, navíc každá země má nastavený vztah k jádru jinak. Fúze je jaderný výzkum, ačkoliv jde o zcela jiný princip, než v dnešní jaderné energetice. Někteří fyzici dokonce říkají, že je to pátá generace jaderných reaktorů. V Německu je fúzní výzkum nejsilnější v Evropě, mají velký tokamak ASDEX-U a dokončují velmi investičně a technicky náročný supravodivý stellarátor Wendelstein 7X. Oni se to snaží dělat odděleně od jaderného průmyslu, protože vědí moc dobře, že by mohli mít před branami aktivisty, kteří by křičeli, že takový výzkum musí skončit. I ve Francii, která je velmi projaderná, se najdou skupiny, které protestují proti ITERu, že to je pokračování špatným směrem. Já ale moc nefandím lidem, kteří mají příliš vyhraněný názor.



V Cadarache se staví jako o život. Například tyto izolační pilíře proti seismické aktivitě, které budou chránit budovu s tokamakem ITER, byly nedávno vztýčeny v obrovské základové jámě. Zdroj: iter.org

## Mezinárodní spolupráce Ústavu fyziky plazmatu, vliv EU

### **Jaké jsou možnosti mezinárodní spolupráce přímo tady na Ústavu?**

Jsme součástí koordinovaného mezinárodního výzkumu, takže možnosti jsou neomezené. Především jsme součástí výzkumu EURATOM, což znamená, že s partnery v Evropě máme domluveno, co kdo bude zkoumat. Za čtrnáct dnů tady budeme mít napřed poradní výbor, na kterém budeme zahraničním kolegům z oboru představovat, co děláme a co chceme dělat příští rok, a oni nám řeknou, co z toho považují za dobré a co ne. Za další dva týdny se sejde řídicí výbor (tvoří jej tři úředníci z Bruselu a tři čeští manažeři výzkumu), který už přímo rozhoduje o tom, co budeme dělat, a hodnotí, zda je náš program rozumný, zda jej plníme a zda dobře hospodaříme. Také nám pak EU dává finanční příspěvek zhruba 20%.

To je ale jenom jedna forma mezinárodní spolupráce – další je naše letní škola, na kterou jezdí studenti asi z 10 zemí, včetně rozvojových. Děláme praktickou letní školu, kdy účastníci skutečně dělají experimenty a vyhodnocují je.

Navíc patříme do koordinované spolupráce FUSENET ([www.fuset.net](http://www.fuset.net)), která se týká hlavně vzdělávání.

### **Jaký je Váš názor na fungování Evropské unie v oblasti vědy a výzkumu? Slyšíme na ni mnoho stížností, že je to byrokratický moloch, jaká je skutečnost v oblasti výzkumu fúze?**

Skutečnost je taková, že si na ně nemůžeme moc stěžovat, protože nás podporují finančně, což je samozřejmě dobré. A v mnoha zemích EU, včetně nás, je ta věda nastavená tak, že národní podporu dostane to, co má evropskou podporu, a pokud přijde o evropskou, přijde často i o národní. My proto cítíme určitou loajalitu k úředníkům z Bruselu, ale když pro ně máme vyplňovat nějaké papíry, je ta byrokracie znát. Oni čím dál tím víc chtějí, abychom vykazovali třeba nejen peníze a výsledky, ale i strávený čas. Pak už člověk má pocit, že pořád jenom vykazuje činnost místo toho, aby něco dělal. Oni tím také sami trpí, protože jsou jenom kolečkem ve stroji. Lidé, kteří v tom Bruselu pracují, sami samozřejmě Evropskou unii obhajují a perou se za ni. A říkají, že si národní vlády často pro sebe nechají to hezké, čím lidem udělají radost, ale třeba úložiště jaderného odpadu se snaží přesunout do agendy Bruselu. Rozhodujícím nástrojem EU je Rada Evropy, která sestává z ministrů národních vlád, a ti ministři se právě pak mezi sebou dohodnou, co hezkého si nechají pro svoje vlády a nepopulárního přesunou do Evropy. Takže v tomhle ohledu je ta struktura dost nešťastná.

### **Co spolupráce dál na východ, třeba Rusko, Čína, Japonsko?**

To je velmi zajímavá otázka. Původně jsme samozřejmě velmi úzce spolupracovali se Sovětským svazem. Ale dnes už je to jinak. Bohužel v Rusku, ačkoliv tam vymysleli tokamak, byl tento obor posledních dvacet let tak podinvestován, že tam skoro nejsou odborníci, natož dobrá zařízení. Přesto určitá spolupráce existuje, například obchodní. Máme tu svazky z Ruska, které prodávají do celého světa, kupují si je i Švýcaři, Francouzi, Američané. Rusové z toho mají peníze na to, aby s námi pak měli i nějakou vědeckou spolupráci.

S Čínou my moc spolupráci zatím navázanou nemáme, spíš s Indií, ale to je zatím ve stadiu zrodu. S Čínou hodně spolupracují Spojené státy americké a výzkum tam jde velmi rychle nahoru. Já si pamatuji, že ještě před patnácti lety se ve Švýcarsku kolegové uculovali, když Číňané říkali, že do toho jdou s velkou vervou – a dneska už jsou fyzikové z Číny běžně na konferencích. Když dostaneme článek k posouzení, tak ten článek má standardní úroveň, neříkám, že je to nějaký zázrak, to ne, ale má standardní úroveň. Jsou dnes už normálními, respektovanými partnery ve vědě.

### **A Japonsko?**

Japonsko je velmi silný partner, ale Česká republika s nimi nemá vybudované vztahy. Pro Evropu je to velmi silný partner a konkurent, dokonce došlo ke sporu o to, zda stavět ITER v Evropě nebo v Japonsku. A nakonec se to vyřešilo tak, že bude stát v Evropě, ale Evropa podpoří finančně japonský výzkum fúze – Japonci staví několik zařízení včetně poměrně velkého supravodivého tokamaku, který Evropa podpoří finančně i časem svých odborníků.

## Jak lze dosáhnout řízené fúze, proč už jsme ji neovládli?

Nyní přejdeme k techničtějším věcem, mohl byste shrnout tři hlavní oblasti výzkumu fúze nebo ty tři metody, pomocí kterých se chce dosáhnout fúze?

Já bych to možná rozdělil na magnetické udržení a inerciální fúzi a pak třetí myšlenka spíše v závorce „netermonukleární fúze“, bez dosažení vysokých teplot. Tam ale jediná systematická trasa vede přes mionovou katalýzu. Jenže mionová katalýza prostě nevychází, příroda nám nedává moc nadějí, že by se tak dalo vyrábět víc energie, než se spotřebuje. Musel by přijít nějaký nápad, jak snadno produkovat miony. Pak jsou i jiné netermonukleární nápady, jako studená fúze. Tam ale nevíme, jak to může fungovat, nevíme, v jakém směru pracovat, takže zase nezbyvá, než čekat na nějaký objev. Ten ale nemusí vůbec přijít.

Dále je tu inerciální fúze, což jsou v podstatě mikroexploze. Myšlenka je taková, že je třeba dosáhnout potřebných podmínek jednorázově s tím, že fúzi po zapálení pak necháme rozjet a palivo rozletět, a chceme udělat tu explozi tak malou, aby byla technicky zvládnutelná. Vychází, že tableta s palivem musí mít jeden milimetr, aby byla ta exploze technicky zvládnutelná, což je mimochodem krásná ukázka toho, čím je jaderná energetika zajímavá – nabízí obrovské využití malého množství paliva.

Na ten milimetrový terč musíte zaměřit na kratičký okamžik obrovskou energii, abyste ho zapálili, tedy aby se fúze rozběhla, celý proces přitom musí být dostatečně tepelně izolován a probíhat za dostatečně vysoké teploty. Jediný nástroj, který umí poskytnout dost velkou hustotu výkonu, jsou dnes lasery. Ty fungují, ale pro energetický reaktor to není ideální způsob, protože potřebují optiku, kterou opakovaně mikrovýbuchy ničí, a jsou také energeticky náročné. Mnohem lepší by byly svazky částic. Ty zatím neumíme zaměřit na tak malý terč, ale pracuje se na tom.

Poslední zprávy z inerciální fúze nejsou moc dobré. Byl postaven stroj, který měl dosáhnout zapálení tablety, jmenuje se NIF (National Ignition Facility) v USA, jsou to megajoulové lasery mířící do jednoho bodu v dostatečně pevné ocelové komoře. Další zařízení se dokončuje ve Francii nedaleko Bordeaux, jmenuje se Laser Mégajoule. Ten ve Spojených státech už pracuje a bohužel ty výsledky zatím nejsou a začíná to být nepřijemné, všichni doufáme, že snad ještě budou. Ten výzkum také z velké části podléhá utajení, ale přece jen z konferencí a od kolegů, kteří ty výkonové lasery dělají, se něco dozvíme. Zdá se, že příroda nám klade další překážky, vypadá to, že se dopadající energie na palivu příliš silně rozptýluje.

Další varianta termojaderné fúze je magnetické udržení. Základní myšlenka je izolovat plazma, ve kterém probíhá fúze jader těžkých izotopů vodíku, magnetickým polem. Nejsilnějším výzkumným směrem je dnes snaha o co nejdéší udržení, pokud možno kontinuální, na kterém by už mohla fungovat fúzní elektrárna. A konfiguraci magnetického pole, která dokáže nejlépe plazma izolovat, je právě tokamak. Teplu z něj uniká nejmáleji, stále však příliš rychle na to, aby fungoval jako malé zařízení, takže musí mít velikost 30-40 metrů. Tak velké zařízení je značná investice, obzvlášť vzhledem k tomu, že jde stále o experimenty, ne funkční elektrárnu. Proto také bylo obtížné sehnat peníze na ITER.

Jiná zařízení jsou například stellarátory, toroidální pinče. Mají své výhody. Stellarátor například nepotřebuje elektrický proud v plazmatu, tedy ani žádný systém generování proudu, nemá problém s proudovými nestabilitami, které jsou velmi nebezpečné z hlediska spolehlivosti dodávky energie z budoucích reaktorů. Ale má horší tepelnou izolaci a zařízení je technicky mnohem složitější. Takže to je důvod, proč je ITER tokamak.

Řada zařízení je smíšených, u některých je magnetické udržení jen pomocný prostředek ke zpomalení exploze. Jsou to například takzvané Z-pinče – v těch je plazma vytvářeno elektrickým proudem, je to vlastně jiskra. Exploze paliva by v jiskře měla probíhat pomaleji, protože plazma svazuje vlastní magnetické pole elektrického proudu. Takové byly úplně první nápady, týkající se praktické realizace fúze. Problém je v tom, že plazma jiskry není stabilní, podobně jako blesk se také rozpadá. Někdy jsou i u blesku vidět jednotlivé tečky tzv. korálové nestability, v tom případě se jiskra rozpadne do vyhasínajících teček. Ale kdo ví, možná se jednou i k této metodě vrátíme.

#### **Myslíte, že ITER splní to, co se od něj očekává?**

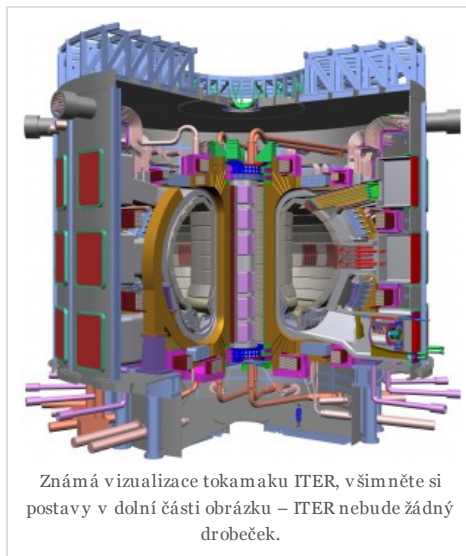
Já myslím, že pro Atominfo můžu říct, že se mi na to líbí odpověď, kterou řekl jeden charismatický profesor o CERNu – kdybychom to věděli, nemusíme tak drahou věc stavět. ITER je stavěný tak, aby s určitou rezervou splnil požadavek, že výstup energie má být desetinásobný oproti vstupu. Ale pozor, to je fyzikální vstup, když dodáme 50 MW tepla do plazmatu, tak očekáváme 500MW výkon fúze. Nejde o inženýrský zisk – ITER bude ze sítě brát asi 600MW a vyrábět asi 500MW tepla, takže to určitě není elektrárna. Já skutečně pevně věřím, že ITER svůj úkol splní a že se díky němu hodně naučíme. Spíš bych měl obavy, jestli se podaří tak složité zařízení udělat dostatečně spolehlivé a vyvinout dostatečně spolehlivé vnější provozy, které mohou pracovat bez neustálých finančních a časových investic, protože spolehlivost a efektivita pak bude důležitá z hlediska stavby reaktoru pro produkci energie.

**Když se podíváme na vývoj jaderné energie a začneme úplně od začátku, od té doby, kdy byla poprvé zaznamenána radioaktivita, probíhal výzkum ze začátku velmi pomalu. Do období druhé světové války to také příliš nikoho nezajímalo. Ale projekt Manhattan (vývoj americké jaderné bomby) vše změnil. Američané do něj vstupovali s vědomostí, že za určitých okolností dochází k rozpadu atomových jader, ale na výstupu byla hotová jaderná bomba a první nápady na civilní jaderné reaktory. Celý projekt trval dva roky. Výzkum fúze probíhá ještě déle. V čem je důvod, že stále nemáme fúzní elektrárny? Jde o složitější projekt, nebo je problém v tom, že stále nemáme „projekt Manhattan“, který by dostatečně zkoncentroval neomezené finanční a lidské zdroje?**

Je to dost široká otázka, tak vám řeknu svůj osobní názor. Myslím si, že je pravda, že kdyby měla armáda o řízenou fúzi zájem, tak už ji máme. Už od roku 1975 například víme, jak musí být velký reaktor fungující na principu tokamaku. Například je snadné spočítat, jak silná musí být vrstva, která přebírá teplo od neutronů. Vyjde zhruba metr, takže pokud chcete mít energetický fúzní reaktor, nemůže být malý, jako je třeba náš tokamak Compass. Rozměry zařízení musí být okolo 30-40 metrů, to víme už 40 let.

Když se podíváte, kolik stál vývoj jaderných zbraní – dá se to najít na internetu, Američané to zveřejnili – zjistíte, že jsou to neuvěřitelná čísla. Jen za vývoj samotných hlavic byste postavili desítky ITERů, do raketového výzkumu šlo ještě řádově víc peněz. Finanční a lidské zdroje byly skutečně nesrovnatelně větší. Na druhou stranu si myslím, že kdyby vojáci zájem měli, tak bychom fúzi už ovládli, ale neměli bychom reaktor dostatečně spolehlivý, protože ani dnes nemáme dostatečně odolné materiály. Možná, že kdyby zároveň probíhal intenzivní výzkum materiálů, tak bychom byli o hodně dál. Už teď potřebujeme inženýrský výzkum, nejen čistě fyzikální, potřebujeme materiály a vidíme, že v tom je ten problém – zatím nejsou. To brání širokému využití jaderné fúze – výrobě elektřiny, vodíku, pohánění vesmírných plavidel... Ale fyzika nám dává obrovské možnosti i v oblasti materiálů. Zkoumáme například, jak zkvalitnit oceli nebo jak vyrobit uhlíkové kompozity, to by bylo ještě zajímavější.

Takže zpátky k historii fúze a zájmu armády, ano, měli bychom fúzní reaktor, ale asi by dodnes nebyl konkurenceschopný jako civilní elektrárna. K tomu ještě jednu poznámku, ten obrovský optimismus na počátku vývoje fúze byl dán i tím, že postavit štěpný reaktor je principiálně snadné, což platí dodnes, je to velká věc, ale ne tak složitá. Fúzní reaktor bohužel složitý je, otázka je dokonce, zda není příliš složitý. Já jsem mírně optimistický v tomto ohledu, srovnávám to s letectvím. Letectví bylo před sto lety strašně složitě, musely se dělat dvojplášňové, aby se nezlomilo křídlo, motory byly těžké a málo výkonné, ale když se na to podíváte dneska... Co nám brání v pokroku ve fúzi je skutečnost, že fúzní reaktor, ani demonstrační, nemůže být malý, právě kvůli izolaci horké oblasti, kde probíhají reakce za teploty 150 milionů stupňů. A to zatím neumíme udělat jinak, než že postavíme velké zařízení, zhruba ve velikosti ITERu nebo ještě větší, pokud to má mít energetický výstup. V tom je potíž – musíme postavit reaktor, který bude stát zhruba tolik, co temelínská elektrárna, přitom stále jde jen o experiment.



## Cesta tokamaku Compass do ČR a tokamaku Castor-Golem na FJFI, jejich využití

### **Mohl byste přiblížit okolnosti toho, jak se sem dostal Compass?**

V době, kdy začala ožít fúze, hlavně v souvislosti s energetickou situací – fúzní výzkum má výhodu vždy, když zdraží ropa – provozovali Angličané tokamak COMPASS-D. To bylo ještě před tím, než padlo rozhodnutí o stavbě ITERu. Na COMPASSU měli velmi hezké výsledky, byl to pro ně však přece jen trochu malý experiment a tak postavili větší. COMPASS-D však už podporovala EU v rámci koordinovaného výzkumu ze 20 a někdy i 40 procent a úředníci řekli, že v tom případě musejí sehnat nového provozovatele pro tuto investici. Původně Britové plánovali, že zůstane u nich, ale že tam bude někdo, například Češi, jezdit a měřit na něm – sami neměli dost lidí na provoz dvou zařízení zároveň. Takhle to samozřejmě nikdo nechtěl, to prostě nemůže fungovat. Nabídl ho proto Polsku. My jsme tenkrát měli malý tokamak Castor (dnes Golem na FJFI ČVUT, viz dále), na kterém už bylo těžké získat nějaké nové vědecké výsledky.

### **Proč začali zrovna v Polsku?**

Protože Polsko byla největší země, která nově přistoupila k Evropské Unii.

### **A proč začali zrovna u nově přistoupivších?**

Z politických důvodů. Důvod je samozřejmě také ten, že většina těch západních zemí má svůj zaběhlý experiment ve fúzním výzkumu. Ale tady šlo skutečně o politiku, Brusel viděl jako jednoznačnou výhodu zapojit nové země, podpořit jejich výzkum. Nakonec i Němci sami to dělají ve vztahu západní Německo, východní Německo. Například stelalátor staví ve východním Německu, přestože jsou z toho samozřejmě všichni vědci v Mnichově trochu nešťastní, protože tí jej vyvinuli.

V té době náš tokamak CASTOR dosluhoval. Hlavně neměl konfiguraci dnešních tokamaků. Mezitím, co tady pracoval, byla vyvinuta lepší konfigurace tvarovaného plazmatu, kde je hranice plazmatu určena magnetickým polem, nikoli pevnou clonou. Chtěli jsme nové zařízení, abychom vůbec byli schopni produkovat nějaké zajímavé vědecké výsledky, které bude někdo citovat – za to jsou výzkumné instituce nejvíce hodnoceny. Usilovali jsme o Compass a když to kolegové v Polsku vzdali, využili jsme tuto šanci.

Naštěstí se vše povedlo. Tehdejší ředitel našeho ústavu, profesor Chráska, který má asi nejvíc vyjednávacích zásluh, dodnes mluví o zázraku – že se sešla podpora vlády, podpora Akademie věd, mladí lidé ochotní na tom dělat a podobně. Tenkrát to bylo poměrně prosperující období, naše země šla rychle nahoru. Vše muselo probíhat velmi rychle, budova, ve které teď stojí COMPASS, byla postavena za devět měsíců, a to ještě bylo moc dlouhé, museli jsme kolegy v Anglii žádat, aby nám tokamak dočasně uskladnili.

Poté jsme se museli nějak zbavit CASTORu, mimo jiné kvůli administrativě – Evropská unie trvala na tom, že pokud budeme mít COMPASS, nebude podporovat CASTOR. Zajímavé je, že o CASTOR projevila zájem Libye, tato možnost tenkrát byla zvažována. A mezitím, v té době převratných rozhodnutí, jsem se na jedné konferenci setkal po letech s Vojtěchem Svobodou (vyučující na FJFI ČVUT, správce tokamaku) a domluvili jsme se, že se pokusíme navrhnout a prosadit magisterské studium fúze. Díky překvapivě jednotné podpoře pana profesora Jexe, pana děkana FJFI Čecha, pana profesora Chrásky a dalších jsme celkem hladce uspěli. A Vojtěch Svoboda řekl, že je hloupost vyvážet CASTOR pryč, když fakulta by měla mít vlastní experimentální zařízení pro studenty. Dlužno říct, že při prosazení této myšlenky už šel proti velkým pochybnostem, všichni jsme mu říkali, že to není zařízení, kterou by jeden člověk mohl zvládnout, a že na to na fakultě nejsou lidé, zkušenosti ani prostředky. On to ale nevzdal a dneska je z COMPASSu nesmírně úspěšný studentský experiment GOLEM, kolem kterého se schází celá komunita nadšenců. Přitom to také snadno mohlo dopadnout špatně. Takže GOLEM, to je skutečně zásluha jednoho muže, i když samozřejmě bez faktické pomoci vedení fakulty, katedry fyziky a lidí z našeho ústavu by GOLEM neožil.

### **Jak je vlastně Golem, dříve Castor, financován?**

Nemůže mít podporu v rámci Euratomu, to bylo součástí dohody o předání COMPASSu, že EU nebude podporovat další tokamak. Na jednu stranu je dobře, že není součástí žádného plánování a má volnost, na druhou je škoda, že nedostává finanční podporu, protože se částečně také podílí na výzkumu – sice na něm už dnes nedostanete žádné zásadní výsledky ve výzkumu fúzního plazmatu, protože je malý, ale dělá se na něm výzkum technický (aktuálně použití supravodičů) a výzkum diagnostik. Určitou podporu máme z evropských programů na vzdělávání ve fúzi, například z programu Fusenet.

### **On je to vlastně nejstarší tokamak, že?**

Ano, to určitě, nebo z 99% je to nejstarší fungující a zachovalý tokamak na světě. I když pravda je, že jediné, co z toho původního tokamaku zbylo, je jádro transformátoru, to ostatní už bylo dávno vyměněné. Na tom jádře je například vidět, jak je pečlivě udělané z mnoha plechů, protože na tom závisí přesnost indukujícího pole a oni tenkrát nevěděli, nakolik je právě jeho přesnost důležitá, takže udělali vše pořádně. Dnes už víme, že zrovna tohle moc důležité není.

Tento tokamak je skutečně z Moskvy z roku 1961 nebo 1962, přitom tokamaky se mimo Moskvu prosadily až po konferenci v roce 1968. Má dlouhou historii, vydala by

na samostatný článek. Kdybyste měli prostředky na výlet do Moskvy, nebylo by špatné si s nimi o tom také promluvit.

### **Čím se v současnosti zabýváte na COMPASSu?**

My jsme tradičně už od dob CASTORu zaměřeni na okraj plazmatu. To je oblast relevantní i pro větší zařízení, a zároveň je nesmírně složitá. Srovnávání experimentů s teoretickými modely je nesmírně důležité, protože při teplotách, jaké jsou na okrajích, už probíhají významné procesy na atomové úrovni, interakce se stěnou, což je prostě složitá fyzika, a modely stále nejsou příliš vychované. Snažíme se také postavit či vyvinout co nejdokonalější měřicí systémy. Výhoda COMPASSu je, že má plazma podobné plazmatu ITERu, JETu nebo německého ASDEXu, zkrátka moderním tokamakům. Doufáme, že budeme mít i relativně podobný takzvaný provozní scénář – základní parametry plazmatu, profil teploty, hustoty, typy nestabilit a podobně. Z našich měření pak bude možné usoudit, jak to bude vypadat ve větším zařízení. Je to stejné, jako když v aerodynamickém tunelu zkoušíte obtékání malého modelu a získané výsledky extrapolujete na velké auto, nebo letadlo. Pokud bude taková extrapolace u nás fungovat, můžeme naše experimenty přenést na větší zařízení, například německý ASDEX-U, a když i na něm bude vše fungovat stejně, můžeme poznatky extrapolovat až k provozu skutečného reaktoru, vyrábějícího elektřinu. Zatím ale vše zůstává na úrovni výzkumu.

## **Stojí za to být vědcem?**

**Doporučil byste studentům jít studovat jadernou fúzi? Nebo obecněji – doporučil byste mladým lidem jít do vědy? Jaká pozitiva jim věda může nabídnout oproti jiným způsobům obživy obecně a konkrétně v českých realitách? Oproti výnosnějším zaměstnáním?**

To je hezká otázka, jen nevím, zda už nevznikají generační rozdíly. Určitě bych řekl, že u vědeckých a technických oborů je nutné, aby člověka bavily. Rozhodně bych nedoporučoval jít na technickou školu jen pro titul, protože to pak asi člověku přijde nepřiměřeně náročné. Na druhou stranu, když to někoho baví a zajímá, tak bych opravdu považoval v dnešní době – snad se to už nezmění – za vážnou chybu si říct „sice mě to baví, ale půjdu radši na práva, abych uživil rodinu“, to je podle mě dost přežitě. Za prvé, je potom velmi nepříjemné se žít něčím, co člověka moc nebaví. Přece jenom je to obrovský kus života, který člověk stráví v práci a dělat práci jen pro peníze, to se trochu inteligentní člověk vždycky trápí. Taky si myslím, že je trochu přežitek, že vědci jsou na tom finančně špatně. Nejsou na tom sice tak dobře, jako třeba srovnatelně úspěšní právníci, architekti nebo manažeři, ale špatně také ne. Mají výhodu, že u nás mají relativně stálé zaměstnání, což je jistě výhoda z praktického hlediska, třeba kvůli hypotéce. Další velká výhoda pro lidi mého věku je to, že k tomu patří i hodně kontaktu se světem. Přece jen, já si toho pořád vážím. Ale vím, že lidé ve věku 15, 20 let to dnes berou jako samozřejmost. Pro mě je například pořád nepochopitelné, že studenti nejedou na letní školu ven, i když mají vše zaplacené, a bylo by to pro ně přínosné jak profesně, tak osobně. Jenže když vědí, že ta možnost tu bude i za půl roku, a teď se jim zrovna nechce...

Jinak kromě výzkumu jsem pracoval dva roky v ČEZu, ale to už je tak 15 let. Byla to zajímavá zkušenost, vůbec se proto nezlobím, když mi student řekne, že chce jít aspoň na pár let do praxe. Samozřejmě i v praxi jsou kontakty se zahraničím, investice do vzdělávání, poměrně dobré pracovní podmínky, tam se můžete také hodně naučit. Velké firmy se o vás dokonce aktivně starají, vyžadují školení a tak dále, zatímco na Univerzitě nebo na Akademii se o sebe musíte starat sám. Pokud nemáte vlastní motor, zapadnete a je to váš problém. Nevýhoda v průmyslu, která u nás zaplatpánbůh není, je ta, že se tam vyskytují bezohlední kariéristé, jejichž jedinou motivací je zarazit jakoukoliv Vaši iniciativu. Ale to jsou všechno jen mé zkušenosti, někdo jiný by vám asi řekl jiné výhody a nevýhody.

**Nejste občas trochu deprimovaný z té intelektuální práce? Jestli jsem to správně pochopil, tak děláte celý život buď vědu nebo vztahy s veřejností, nemáte toho někdy dost?**

Ani snad ne. Mě trochu deprimuje ta soutěživost. Ve výzkumném prostředí chce každý dokazovat, že má lepší výsledky, člověk je pořád honěn termíny, publikacemi. To je trochu stresující, já bych byl osobně radši za trochu víc toho akademického života, kdy člověk chodí na přednášky, čte si knížky, diskutuje s odborníky, a na to moc času nezbyvá. Mohl bych si to samozřejmě sám udělat klidněji, ale pak bych asi skončil za mnohem horších podmínek jako šedá myš v koutu.

S kolegy jsme si říkali, že když jdete do praxe, tak si vlastně odpočnete. Odcházíte domů s prázdnou hlavou, uděláte práci, která je zadána. Když jedete na vlastní motor, sám si zadáváte práci, jako ve výzkumu, jste v napětí, zda si ji nezadáte moc nebo málo, zda nebude průšvih, že jste nic neudělal. Rád bych si od tohoto někdy odpočinul. Trochu se s tím v některých vědeckých organizacích počítá, existují možnosti na rok vyjet někam pryč, změnit prostředí, získat novou zkušenost. Ale že bych vyloženě měl chuť například jet kácet stromy, to ne. Já vím, že bych se u toho nudil. Mám tu nepříjemnou vlastnost, že i když mám hodně práce, ale je monotónní, tak se hlava začne nudit a přemýšlím o blbostech. Co by se mi nejvíc líbilo, je na rok vypadnout někam ke knížkám, nějaké studium bez zkoušek ☺

**Mohl byste trochu přiblížit život vědce neakademické veřejnosti? Čím se bavíte, jak moc máte volného času, co vaše oblíbená literatura, filmy...?**

Určitě, ale varuji, že je to hrozně individuální, jsme normální lidé, a tak to máme každý trochu jinak. Já zrovna jsem v tom životním období, které má svůj veliký půvab a také svoje obtíže dané tím, že mám dvě děti. To je strašně hezké, člověk by neměnil, já tedy rozhodně ne. Ale zároveň už chápu, proč se na hroby píše „Odpověď v pokoji“. Ty děti zaberou strašně moc času a energie. No a když už nějaký ten čas zbude, tak se často nejradši podívám na NCIS nebo něco takového místo toho, abych se nějak sebezvedělával nebo šel si zasportovat. Já vím, že bych se s tím asi neměl chlubit. Jinak můj koníček je odjakživa hudba. Ještě teď hraji na flétnu v orchestru Akademie, i když se tedy trochu stydím za to, jak málo cvičím. Na sport nemám čas, což by mi zase tak nevadilo, ale tomu tělu to trochu vadí. Říkám si, že to nebylo tak hloupé, když jsme na vysoké škole měli povinný sport a docela nám dávali do těla. Co rád čtu? Mám třeba hodně rád Exupéryho a není pravda, že by Malý princ obsahoval hlavně poselství pro dospělé. Podle mě to napsal opravdu pro děti, pro dospělé napsal mnohem náročnější knížky. To mě svého času hodně oslovovalo a rád se k tomu vracím. Oslovují mě i další klasičtí autoři, je třeba zajímavé si přečíst, co psal o Velké francouzské revoluci Victor Hugo. Pravda je, že teď si čtu častěji ty detektivky, ale aspoň se o to snažím v cizích jazycích.

**Jaké jazyky umíte?**

Číst můžu v angličtině, ve francouzštině a teď jsem s potěšením zjistil, že by to šlo i v ruštině. Domluvil jsem se italsky, ale tam mám slovní zásobu slabší, tak nemůžu dost dobře číst.

**A ještě k tomu zaměření Fyzika a technika termojaderné fúze na FJFI ČVUT?**

Já mám to zaměření rád a jsem moc rád, když si ho studenti vybírají. Naši studenti mají výborné výsledky. Hádám, že hned po reaktorech máme také nejlepší podmínky, například možnosti vyjet na letní školu či napsat diplomovou práci ve spolupráci se zahraničím. A máme třeba první studenty, kterým se daří udělat první publikaci v odborném časopise už v rámci řešení diplomové práce. Je tady mladý kolektiv. I když je tady plný dům studentů, mohli bychom jich momentálně financovat víc třeba přímo tady na tokamaku COMPASS. Asi není třeba připomínat, že „živě“ sledujeme výstavbu ITER, a že naši největší ambice je, aby naši nejlepší absolventi jednou přispěli k úspěchu velkých reaktorů. A i jestli ne, pořád je to velmi zajímavá fyzika, je to fyzika lidských rozměrů a zároveň nepochopitelných věcí, což většinou souvisí s tím, že je to fyzika plná turbulencí, kterým pořád ještě nerozumíme dostatečně.

**Děkujeme za rozhovor.**

***Stručná historie tokamaků Compass a Golem:***

***Historie dnešního tokamaku GOLEM:***

Pravděpodobně v roce 1960, postaven v Moskvě pod názvem TM-1 (tokamak malý, první), kde se podílel nejprve na základním výzkumu chování tokamaků. Jeden několika úplně prvních tokamaků, možná třetí po T-1 a T-2.

Od roku 1970 změnil – stále v rámci Kurčatovova ústavu – laboratoř a pod názvem TM-1 VČ (vysokočastotný, vysokofrekvenční) sloužil výzkumu interakce elektromagnetického vlnění s plazmatem.

V roce 1976 byl převezen do pražského Ústavu fyziky plazmatu, kde je znám pod názvem TM1-MH (MH zřejmě pro Microwave Heating).

S novou vakuovou nádobou, bohatší na průřazy, se od roku 1984 jmenoval CASTOR (Czech Academy of Sciences TORus).

Roku 2007 byl převezen na FJFI kde po reinstalaci pracuje od roku 2009 pod názvem GOLEM.

Podrobně viz <http://golem.fffi.cvut.cz:5001/Introduction/History/GOLEM%20History>

### **Historie dnešního tokamaku COMPASS:**

COMPASS (COMPact ASSEMBly) byl postaven v roce 1989 v britském středisku fúzního výzkumu Culham, nejprve s vakuovou nádobou s kruhovým průřezem (později referováno jako COMPASS-C pro circular)

Díky „kompaktnosti“ bylo v roce 1992 možné snadno zaměnit vakuovou nádobu za fyzikálně přínosnější tvar s průřezem „D“, odtud COMPASS-D

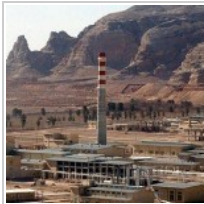
V roce 2001 byl jeho provoz v Culhamu přerušen v souvislosti s provozem většího tokamaku MAST.

V roce 2007 byl převezen do Ústavu fyziky plazmatu, kde od roku 2009 úspěšně pracuje pod názvem COMPASS.

Viz též <http://www.ipp.cas.cz/Tokamak/compass/>

Projekt ITER: <http://www.iter.org>

### **Related Posts**



Írán hledá dodavatele uranu pro realizaci svého jaderného programu



Rusko chce v USA postavit zařízení na obohacování uranu



Sergej Kirijenko: Domácí výrobci jsou pro stavbu nových bloků klíčoví



Napsal [admin](#) v 19.10.2012. Rubrika [Rozhovory, Věda a jádro kolem nás](#). Můžete přejít ke komentářům přes [RSS 2.0](#). Můžete udělat trackback k vašemu komentáři