

# Obsah

<b>Předmluva a poděkování</b>	<b>13</b>
<b>Úvod</b>	<b>17</b>
Princip velkého „Z“	17
Prolog	18
Fúze – minulost, současnost a budoucnost	20
Fúze bude	20
<b>1 Základní pojmy řízené termojaderné fúze</b>	<b>27</b>
Hmotnostní úbytek	27
Lawsonovo kritérium	29
<b>2 Fúzní experimentální zařízení podle udržení</b>	<b>35</b>
<b>2.1 Gravitační udržení</b>	<b>35</b>
<b>2.2 Inerciální udržení</b>	<b>36</b>
<b>2.3 Magnetické udržení</b>	<b>43</b>
<b>2.3.1 Otevřené magnetické nádoby</b>	<b>44</b>
<b>2.3.2 Uzavřené magnetické nádoby</b>	<b>44</b>
<b>2.3.2.1 Pinč</b>	<b>45</b>
<b>2.3.2.2 Stelarátor</b>	<b>47</b>
<b>2.3.2.3 Tokamak</b>	<b>48</b>
<b>2.3.2.4 Kompaktní toroidy</b>	<b>53</b>
Kulový tokamak	54
Sféromak	55
Konfigurace s obráceným polem – FRC	59
<b>2.4 Magneto-inerciální udržení</b>	<b>62</b>
<b>2.5 Slepé uličky</b>	<b>64</b>
Studená fúze podle	64
Studená fúze v Česku	67
Bublinková fúze	68
Fúze pomocí mezonů podle	69
Nano-, piezo-, pyro-	70

<b>3</b>	<b>Fúzní experimentální zařízení podle financování</b>	<b>71</b>
<b>3.1</b>	<b>Úvod</b>	<b>71</b>
<b>3.2</b>	<b>Fúze financovaná státem</b>	<b>73</b>
<b>3.2.1</b>	<b>ITER Mozaika</b>	<b>73</b>
<b>3.2.1.1</b>	<b>Historie</b>	<b>73</b>
	Peter Clive Thonemann, autor ZETA	73
	ITER je cesta	75
	„Mystická“ plastika pro tokamak ITER	84
<b>3.2.1.2</b>	<b>Staveniště</b>	<b>86</b>
	Staveniště tokamaku ITER v létě 2017	86
	Staveniště tokamaku ITER v létě 2018	89
	Rozvod elektřiny pro tokamak ITER	91
	Doprava komponent tokamaku ITER	93
	Virtuální prohlídka staveniště termojaderného reaktoru ITER	94
	Budova vysokofrekvenčního ohřevu	95
	3D vs. makety	98
	Jeřáby v Montážní hale	102
	DNA ITER – Důvod složité logistiky	104
<b>3.2.1.3</b>	<b>Vakuová komora</b>	<b>106</b>
	Průchodky z atmosféry do vakuové komory	106
	Svařování vakuové komory	109
	Ložiskové uložení tokamaku	110
	Tokamak WEST	111
	Chladicí systém tokamaku ITER	114
	Kryopumpy	116
<b>3.2.1.4</b>	<b>Divertor</b>	<b>118</b>
	Diphasic – žádaný režim chlazení divertoru	118
	Dálková výměna kazet divertoru	120
	Lithium je primární surovinou pro termojadernou fúzi	121
	Nejvíce tepelně namáhaná část	123
	Kolejnice divertoru	125
<b>3.2.1.5</b>	<b>Magnetické pole</b>	<b>127</b>
	Pouzdro pro cívku toroidálního pole	127
	Cívky uvnitř vakuové komory	130
	Centrální solenoid	132
	Kryostat pro ITER	134
	Postřibřená tepelná stínění cívek	137
	Buzení elektrického proudu v tokamaku ITER	139
	Vyhlazení nepravidelností magnetického pole tokamaku v reálném čase	142

	Spojování supravodičů	143
	Navigační bludiště byla perfektní výzva pro „ITER Makers Group“	145
	Magnetické rekordy	147
<b>3.2.1.6</b>	<b>Plazma</b>	<b>150</b>
	ITER – reaktor nulového výkonu	150
	Deuterium-tritiové kampaně	151
	Zavedení vf výkonu do Budovy tokamaku	153
	Zkoušky NBI pro ITER	155
	Ubíhající elektrony (REs)	157
	Štěpné mikrokomůrky pro měření fúzního výkonu	159
	Fraktální povaha turbulencí plazmatu	161
	Datové spojení ITER a Japonska	162
	Užitečné turbulence	164
	Stabilizace VDE plazmatu v tokamaku	167
	ECRH – gyrotrony	168
	První plazma	170
	Obrácená triangularita	173
	Super H-mód a efektivní velikost tokamaku	174
	Tokamak jet proti disrupcím	176
<b>3.2.1.7</b>	<b>Vědecko-technicko-politické pozadí</b>	<b>177</b>
	Hybridní jaderný reaktor	177
	Iránská islámská republika a termojaderná fúze	181
	Podíl České republiky na stavbě tokamaku ITER	183
	EXPO 2017 v Kazachstánu a tokamak KTM	187
	SPIN-off EMALS – katapult na letadlové lodi	190
	JET do spuštění ITER	193
	Apollo a ITER	195
	Jaderná fúze bez neutronů	197
	Mapování pole stelarátoru W7-X	198
	DONES místo IMFMIF	201
	Secondhand pro tokamaky	202
	Bootstrap u tokamaku a bootstrap u stelarátoru	205
	Brexitská nejistota ohrožuje výzkum fúze a energie nejen v Evropě	207
	Korejská hvězda nastřílela bez vážnější nehody 20 000 plazmat	208
	Metoda malých poruch RMP pro ovlivnění nestabilit ELMs	209
	Stavba budovy tokamaku	211
	Magnetické smyčky	212
	Rok 2020: Druhá DT kampaň tokamaku JET	214
	Vesmírné a tokamakové plazma	218
	FINÁLE: montáž vakuové komory a cívek toroidálního magnetického pole	220

<b>3.2.2</b>	<b>DEMO</b>	<b>224</b>
<b>3.2.3</b>	<b>Koncepce fúzní elektrárny (podle Slavomíra Entlera)</b>	<b>226</b>
	Vnitroreaktorové komponenty	227
	Bezpečnost fúzních elektráren	228
<b>3.3</b>	<b>Fúze financovaná soukromíky</b>	<b>228</b>
	Na fúzní scéně se objevuje soukromý kapitál	228
	KMS Fusion	231
	Helion Energy	232
	Energy Matter Conversion Corporation, EMC2	235
	General Fusion	239
	LPP Fusion	243
	Tri Alpha Energy (TAE Technologies)	246
	Skunk Works Lockheed Martin	253
	Tokamak Energy (Solution)	258
	Commonwealth Fusion Systems, CFS and Massachusetts Institute of Technology, MIT (Plasma Science and Fusion Center, PSFC)	261
	<b>APPLIED FUSION SYSTEMS</b>	<b>264</b>
	First Light Fusion Ltd.	266
	Steven Cowley – Rytíř termojaderné fúze	269
	INFUSE – nový program výzkumu fúze ve Spojených státech	271
	Let there be light, recenze filmového dokumentu	272
<b>4</b>	<b>Historie výzkumu řízené termojaderné fúze ve světě</b>	<b>277</b>
<b>4.1</b>	<b>Úvod</b>	<b>277</b>
<b>4.2</b>	<b>Počátek výzkumu fúze v plazmatu ve světě patří Československu – 1936!</b>	<b>277</b>
<b>4.3</b>	<b>Kantrowitz a Jacobs 1938</b>	<b>281</b>
<b>4.4</b>	<b>Evropskou termojadernou fúzi rozvířil wirbelrohr</b>	<b>283</b>
	NAZI BELL	283
	Betatron	285
	Wirbelrohr v Poznani	287
	Wirbelrohr v Londýně	289
	Wirbelrohr v Moskvě	290
	Wirbelrohr v Praze	293
	Wirbelrohr versus tokamak	295
<b>4.5</b>	<b>Sovětský svaz do roku 1968</b>	<b>296</b>
	O. A. Lavrentěv	296
	Tokamak 1958–1968	299
<b>4.6</b>	<b>Spojené království</b>	<b>305</b>
	Pinč a stellarátor před rokem 1968	305

<b>4.7</b>	<b>Spojené státy americké</b>	<b>309</b>
<b>4.8</b>	<b>Tokamak po roce 1968</b>	<b>311</b>
<b>4.9</b>	<b>ITER</b>	<b>316</b>
<b>5</b>	<b>Historie výzkumu termojaderné fúze v České republice</b>	<b>323</b>
	Úvod	323
	Začátky	324
	Metody ohřevu plazmatu	325
	Náhoda přeje připraveným	327
	První tokamak ve východní Evropě (podle Vladimíra Kopeckého)	331
	Tokamak CASTOR – Zlatá éra české fúze	333
	Tokamak GOLEM	335
	Tokamak COMPASS	337
	Popularizace	342
	Výchova	344
	Technologie	345
	Materiály	347
	Inerciální fúze	348
	Příběh (podle Pavla Šunky)	349
	Tři otázky: Sacharov 2x, Thomson 1x	350
<b>6</b>	<b>K historii termojaderné syntézy v Sovětském svazu</b>	<b>353</b>
	Úvod (překladatel – autor)	353
	Sachalin	354
	Deuterid lithia	356
	Řízená termojaderná reakce pro průmysl	356
	Termoizolace plazmatu polem	357
	Dopis Stalinovi	359
	Je Lavrentěv normální?	361
	Sachalinská zpráva	363
	Moskva 1951 – A. D. Sacharov a L. P. Berija	365
	První hlavní správa – I. V. Kurčatov a N. I. Pavlov	368
	D. I. Blochincev a I. N. Golovin	370
	Elektromagnetická past – A. A. Samarskij	372
	Studentova privilegia	372
	LIPAN – Laboratorija izmeriteľnych priborov Akadēmiji nauk	373
	Priorita termoizolace silovým polem	374
	Propustka do LIPAN	375

L. A. Arcimovič	377
G. I. Budker	378
A. P. Zaveňagin	380
Vodíková bomba – začátky	380
Oponentura elektromagnetické pasti	381
Leontovičovo ne	382
Vodíková bomba – úspěch	384
Berijův konec a Lavrentěvův pád (vzhůru)	385
Charkov	387
Suchumi	389
Elektromagnetické pasti	390
První publikace	392
Elektromagnetické udržení mimo Sovětský svaz	394
T. J. Dolan	395
Mezinárodní ohlasy	396
Program „JUPITĚR“	400
A. A. Kalmykov	403
JUPITĚR-2M	404
Patent	406
Komise pro vynálezy a objevy při Radě ministrů SSSR	407
Poslední setkání se A. D. Sacharovem	408
Epilog podle Lavrentěva (1993)	409
Epilog podle autora (2018)	410

## **DODATKY**

**415**

### **Transformace elektrostatického na elektromagnetické udržení –**

<b>Od Elstat k Elmag</b>	<b>415</b>
<b>Literatura</b>	<b>419</b>
<b>Minulost, současnost a budoucnost – fúze v datech</b>	<b>423</b>
<b>Výkladový slovník</b>	<b>433</b>
<b>Jmenný rejstřík</b>	<b>489</b>
<b>Doslov</b>	<b>497</b>