

## MODERNÍ FOSILNÍ BLOKY HISTORIE A VÝVOJ

### ÚVOD

V souvislosti se snahou o zvyšování  $\eta$  parních oběhů a s vývojem průtlačných kotlů se postupně dospělo k nadkritickým parametrům admisní páry.

U nadkritických řešení vždy musí být použito alespoň jedno mezipřehřátí páry s ohledem na přijatelnou vlhkost emisní páry  $y_e$ .

Většinou, zejména u ultrakritických parametrů USC ( $p_a > 25$  MPa  $t_a > 600$  °C), je „nutné“ dvojí mezipřehřívání páry.

---

---

---

---

---

---

---

---

### HLAVNÍ POŽADAVKY NA MFB

Moderní bloky fosilních elektráren by měly splňovat následující hlavní požadavky:

- nízké měrné investiční náklady (směrem k 1800€/kW<sub>i</sub> instalovaný)
- nízké provozní náklady
- nízké emise škodlivin
- maximální pružnost, spolehlivost a provozní pohotovost

S ohledem na uvedené požadavky je zřejmé, že jejich současné splnění je technicky velice obtížné a ekonomicky náročné. Proto je vždy třeba velice pečlivě zvažovat konkrétní umístění a očekávané provozní nasazení navrhovaného nového bloku, zejména s ohledem na místní sociální a ekonomické požadavky.

---

---

---

---

---

---

---

---

### 2° přehřívání páry SRN 1956

provozovatel	blok	PV	P <sub>a</sub> (MPa)	teploty páry (°C/ °C/ °C)	P <sub>max</sub> /( $\eta_{max}$ ) (MW)	do provozu
Hüls AG (Marl)	Hüls 1	ČU	30	600/560/510	104 (41.3)	1956

V SRN jako 1. na světě spustili parní blok se SC parametry + použili technologii s 2MP.

---

---

---

---

---

---

---

---

## HISTORICKÝ VÝVOJ „MODERNÍCH“ BLOKŮ

V 50. let ms v souvislosti se snahou o dosažení vyšší účinnosti byla zahájena výstavba 1. nadkritických uhelných bloků:

v SRN – Hüls 1 104 MW 30/600/560/510 (provoz 1956)

$\eta \sim 41.46$

v USA

1953 – Philo 6 125 MW 31.4/621/566/538 (provoz 1957-79)

1954 – Eddystone 1 325 MW 34.5/650/565/565 (provoz 1960-dosud)

$\eta \sim 41.46/40$  % (NÁVRH/MĚŘENO 8230/8530 BTU/kWh)

průtočný práškový kotel, turbína 3600/1800 1/min, koncová lopatka 25' (635 mm)

1956 – Eddystone 2 325 MW 26/571/565/565

$\eta \sim 40-41$  %

v Itálii

1962 – La Spezia 600 MW 25.3/538/550/538  $\eta \sim 42$  %

Později mnoho dalších bloků!!!

## 2° přehřívání páry USA 195x - 1965

Provozovatel	Blok	$P_a$ (MPa)	teploty páry (*C/ *C/ *C)	$P_{inst}$ (MW)	Výstavba od
Ohio Power	Philo 6	314	621/566/538	125	1953
Philadelphia Elec. Comp.	Eddystone 1	345	654/565/565	325	1954
Philadelphia E. C.	Eddystone 2	260	571/565/565	325	1956
Indiana & Michigan Elec.	Breed 1	250	566/566/566	450	1956
Ohio Power	Sporn 5	250	566/566/566	450	1956
Indiana & Michigan Elec.	Tanners Creek 4	250	538/552/566	580	1959
Public Service Elec. & Gas	Hudson 1	250	538/552/566	420	1960
Potomac Elec. Power	Chalk Point 1,2	259	538/566/538	365	1961
E.N.E.L.	La Spezia 5	253	538/566/538	600	1962→67
Baltimore Gas & Elec.	H.A. Wagner 3	248	540/540/540	322	1962
City of Los Angeles	Haynes 5, 6	253	538/552/566	590	1963/64
Ohio Power	Cardinal 1, 2	262	538/552/566	422	1964
Duke Power	Catawba 3, 4	252	542/565/565	650	1965
Duke Power	Genoa 1, 3, 4	252	543/543/543	324	1965

## 2° přehřívání páry SRN 1956 - 1982

provozovatel	blok	PV	$P_a$ (MPa)	teploty páry (*C/ *C/ *C)	$P_{inst}/(\eta_{inst})$ (MW)	do provozu
Hüls AG (Mart)	Hüls 1	ČU	30	600/560/510	104 (41.3)	1956
Durr Werke AG	Ratingen 1	ČU	25.5	525/535/535	103	1962
ENBW	Wedel 3	ČU	24.6	540/540/520	155	1963
E.On Bayern	Franken II 1, 2	ČU	24.5	530/540/540	206 (39.4)	1966/67
Grosskraftwerk Mannheim AG	4	ČU	25.0	530/540/530	220 (39.4)	1970
Grosskraftwerk Mannheim AG	7	ČU	25.6	530/540/530	475 (39.6)	1982
xxx						

V SRN jako 1. na světě spustili parní blok se SC parametry + použili technologii s 2MP.

Během období 1956-82 bylo v SRN uvedeno do provozu 11 jednotek s 2MP, z toho 10 SC.

### ZKUŠENOSTI S 1. NADKRITICKÝMI (SC) BLOKY

1. SC bloky postavené v 50. letech na bázi austenitických materiálů byly:

- drahé,
- vysoce poruchové,
- s nízkou spolehlivostí.

Komerčně se neprosadily a prakticky nerozšířily.

Koncem 60. let proto nastal příklon zpět k podkritickým tlakům páry provázený snahou o zvýšení  $\eta$  bloku pomocí jiných opatření:

- vyšší počet regeneračních ohříváků,
- použití turbonapáječek,
- delší oběžné lopatky koncových stupňů NT dílů – ty umožňovaly změnit tlak v kondenzátoru,
- blokové uspořádání elektráren.

---

---

---

---

---

---

---

---

### NOVÉ PODKRITICKÉ BLOKY

Přestože u nových podkritických bloků již byly použity i modernější materiály. Principiálně se opakovala situace z 50. let.

Vyšší složitost elektráren znamenala zvýšení poruchovosti a tedy menší dobu využití. V podstatě se opět konstatovala nepřesvědčivá ekonomická efektivita.

Z uvedených důvodů dochází koncem 70. let opět k odklonu od „složitých“ energetických bloků

- sice s vyšší účinností,
- ale s vyššími měrnými investičními náklady.

Nastává přechod k jednodušším blokům s vyšší spolehlivostí.

---

---

---

---

---

---

---

---

### NOVÁ GENERACE NADKRITICKÝCH FOSILNÍCH BLOKŮ

V 80. letech byl s využitím nově vyvinutých materiálů, především ocelí na feritické bázi, zahájen vývoj „NOVÉ GENERACE“ nadkritických fosilních bloků.

Právě tyto materiály s vysokou pevností při vysokých parametrech páry a příznivé vlastnosti materiálů na feriticko-martenzitické bázi umožnily tento vývoj.

Souhrnně lze tedy konstatovat, že admisní parametry fosilních bloků měly v 2. polovině 20. století principiálně „sinusový průběh“.

---

---

---

---

---

---

---

---

## PARNÍ BLOKY NA POČÁTKU 21. STOLETÍ

Na přelomu 20. a 21. století se vývoj nacházel na stoupající části „křivky“.

Z hlediska admisních parametrů páry lze provozované fosilní bloky rozdělit do 3 (3?) skupin:

**A) podkritické bloky**  $p_a \sim 12-20$  MPa,  $t_a \sim 530-545$  °C

Jde o bloky s:

+ vysokou spolehlivostí

+ zvládnutým provozem (rozsáhlé provozní zkušenosti).

- nedostatkem je nízká netto účinnost  $\sim 30-35$  %.

**B) nadkritické bloky**  $p_a \sim 24-25$  MPa,  $t_a \sim 545-560$  °C

Tyto bloky jsou již běžně v provozu a dosahují účinnosti na úrovni  $\sim 40-45$  %.

**C) nastupují nadkritické bloky s USC parametry**

Zároveň se v tomto období pracuje se na přípravě bloků „generace 700“ - AUSC D)

---

---

---

---

---

---

---

---

## VÝVOJ ULTRANADKRITICKÝCH BLOKŮ

ULTRANADKRITICKÉ BLOKY USC → AUSC

$p_a \sim 29-30$  MPa → s výhledem na 35 MPa

$t_a \sim 590-610$  °C → s výhledem na 700 °C

účinnost  $\sim 47-50$  %

Tyto USC bloky lze realizovat „současnou“ (přelom 20/21) technologií a materiály. Problematická je však jejich cena, provozní pružnost a spolehlivost.

Aplikace? budoucích? AUSC bloků 700 °C vyžaduje další vývoj materiálů (super slitiny). V daném období (přelom 20/21) se postupovalo cestou dlouhodobého zkušebního provozu maximálně teplotně exponovaných komponent bloku:

- přehřívák páry,
- sběrné komory ostré páry,
- armatury ostré páry,
- regulační ventily VT dílů turbín, ...

Následně před vlastní výstavbou komerčního bloku byla plánována/zvažována výstavba pilotního bloku o větším výkonu (50 + 80 MW).

Tyto časově i finančně náročné práce nezajišťovali jednotliví výrobci samostatně, ale většinou se jednalo o projekty se značnou spoluúčastí + dotaci několika států.

---

---

---

---

---

---

---

---

## MATERIÁLY = TRVALÁ LIMITA VÝVOJE

Limitujícím prvkem při použití nadkritických parametrů páry vždy byly a jsou T a E vyhovující materiály pro klíčové prvky bloku (přehřívák kotle, potrubí a armatury ostré páry a VT část turbíny).

První nadkritické bloky používaly austenitické materiály a neuspěly zejména proto, že tyto oceli mají vedle nutné vysoké pevnosti při vyšších teplotách i řadu nepříznivých látkových vlastností, tj.:

• vyšší hodnotu koeficientu tepelné roztažnosti  $\beta \uparrow$

(hodnota  $\beta$  u austenitických ocelí je asi o 50 % vyšší než u ocelí feritických a martenzitických)

• nižší hodnotu součinitele tepelné vodivosti  $\lambda \downarrow$

(tepelná vodivost  $\lambda$  austenitických ocelí je asi o 50 % nižší než u feritických/martenzitických ocelí a ta je o třetinu nižší než u čistého železa)

• špatnou/obtížnou obrobiteľnosť a svařitelnost

• vyšší náchylnost ke korozi

(je důsledkem rozdílných roztažností austenitu a ochranné vrstvy oxidů na jeho povrchu. Např. u potrubí proti dochází k odlapování této ochranné vrstvy).

• vysoká cena

---

---

---

---

---

---

---

---

## MATERIÁLY = TRVALÁ LIMITA VÝVOJE

Závažným důsledkem zejména prvních dvou ( $\beta$ ,  $\lambda$ ) nepříznivých vlastností austenitů je, že dochází k větším teplotním rozdilům mezi vnitřním a vnějším povrchem součástí.

To způsobuje vyšší teplotní pnutí při změnách zatížení.

Důsledkem je snížení provozní pružnosti bloku

a zvýšení nebezpečí únavových poruch (cyklických zatížení).

Právě uvedené vlastnosti materiálů, tj.:

tepelná roztažnost a vodivost ( $\beta$ ,  $\lambda$ )  
+ charakteristický rozměr součástí,

rozhodují o velikosti teplotních pnutí a tím určují/limitují např. rychlost najždění bloku.

---

---

---

---

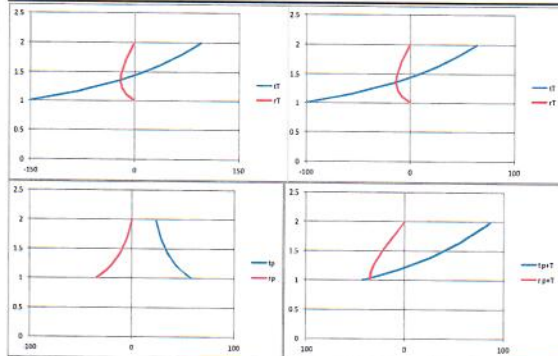
---

---

---

---

## opak. PP II



---

---

---

---

---

---

---

---

## OD AUSTENITU K FERITU resp. FM

S ohledem na uvedené důvody nastal v 80. letech ms

- odklon od austenitických materiálů.
- paralelně probíhal intenzivní vývoj nových ocelí na feriticko-martenzitické bázi.

V Evropském Společenství (dnes EU) probíhal rozsáhlý výzkumný projekt COST (the european Co-Operation in Science and Technology). V rámci kterého byly vyvinuty nové, tzv. modifikované materiály s obsahem 8-12 % Cr.

Hlavními představiteli těchto materiálů jsou:

F12 = x20MoCrV

P91 = x10CrMoVNb (17119)

Později modifikace P92 = x10CrWMoVNb legovaná 1.7 hm.% W

pracovní teplota < 585 °C

pracovní teplota < 620 °C

Jedná se o materiály s vysokou pevností při teplotách nad 550 °C. Při použití P91 jsou „optimalizované“ (z technicko-ekonomické optimalizace) parametry admisní páry na úrovni 29/580/600. Jsou to materiály s pevností cca 90 MPa při 600 °C.

Pozn.: Pro pokročilé ultrakritické parametry AUSC (tzn. 35/700) jsou ve vývoji materiály na bázi superslitin s očekávanou pevností až 120 MPa.

---

---

---

---

---

---

---

---

## DÁNSKO

Stojí tradičně v čele vývoje uhelných elektráren s vysokou účinností. Jedním z důvodů je, že Dánsko musí palivo pro své elektrárny importovat a současně celková snaha EU řešit závislost na vnějších zdrojích.

Dánové na přelomu 20/21 zvolili cestu USC bloků.

Lokalita	Palivo	$P_{\text{net}}$ (MW)	Parametry páry (MPa/°C/°C)	chlazení	$P_{\text{net}}$ (kPa)	$\eta_i$ (%)	do provozu
Nordjyllandsværket	HU	411	28,5/580/580/579	mořská v.	2,35	47	1998
Skærbækværket III	ZP	412	28,5/580/580/580	mořská v.	2,35	49	1997
Åvedøre II	uhlí/olej/plyn	626	30/580/600	m.v. 10 °C	2,80	47,2	2001

Tyto dánské bloky z přelomu 20/21 jsou charakterizovány pokročilými parametry páry a dvojitým přehříváním. Teploty páry z kotle ~3x582 °C a tlak ostré páry dosahuje 29 MPa. Kotel v NORDJYLLAND 3 spaluje práškové uhlí.

V elně SKÆRBÆK 3 je palivem ZP.

V obou blocích jsou prakticky identické turbíny. Pro uvedené parametry jsou řešeny jako 9ti dílné uspořádané do těles v 5 tlakových hladinách (VVT, VT, ST1a2 a dvě NT tělesa).

Tyto elektrárny i řada dalších, které v Evropě následně vznikly, potvrdily úspěšnost zvolené cesty USC bloků a nastartovaly tak její pokračování.

## SRN - PŘELOM STOLETÍ

Lokalita	Palivo	$P_{\text{net}}$ (MW)	Parametry páry (MPa/°C/°C)	Teplota NV (°C)	$P_{\text{net}}$ (kPa)	$\eta_i$ (%)	Uvedení do provozu
Läbeck (v Lünen)	ČU	750	26,8/580/600	300	2,80	46	—
Hessler (přetermální bloky)	ČU	700	27,5/580/600	300	3,85	45	—
Berbach	ČU	750	25/575/595	290	4,85	46,3	2002
Boxberg (Q)	HU	997	25,8/541/578	274	4,6	41,7	2000
Primmersdorf (R)	HU	1025	26,5/576/599	293	3,57	43	2000
Lippendorf (I,2)	HU	2x931	25,9/550/580	271	3,9	42,3	1999/2000
Niederhausen (K)	HU	965	26,5/576/599	294	2,9	45,2	2002
Schkopau	HU	2x450	26,4/545/560	270	?	40	1995/1996
Schwarze Pumpe (A,B)	HU	2x800	26,8/547/565	271	6,92	40,6	1997/1998

## SRN po 2010

grosszvatel	palivo	elektrárna	tlak (MPa)	teploty (°C)	$\eta_{\text{et,net}}$ (%)	$P_{\text{el}}$ (MW)	IBN
RWE	HU	Neurath(2) FaG	27,2	600/605	> 43	2x1050	2012
Vattenfall	HU	Boxberg R	28,6/7,2	600/610	43,6	675	2010/11
Vattenfall	ČU	Moorburg	27,6/6,5	600/620	46,5	820	2011/12
RWE	ČU	Westfalen/Hamm D/E	28,5	600/610	46	2x800	2012
GKM/RWE, EnBW, MVV	ČU	Mannheim 9	28,5	600/610	46	906	2013
EnBW	ČU	Karlsruhe, RDK 8	27,5	600/620	46,5	940	2011
e.on	ČU	Datteln 4	28,5/7,8	600/620	46	1.100	2011
Evonik	ČU	Duisburg-Walsum 10	29,0/7,5	603/621	>45	750	2010
e.on	ČU	Größkrutzenburg-Standinger 6	28,5/7,8	600/620	46	1.100	2013
e.on	ČU	FLAN Wilhelmshaven-Kraftwerk 50 plus NEREALEZZUE NE	35,0/7,1	700C/720	50	550	2014
Trianel Kraftwerk	ČU	Lünen	28	600/610/388 °C	45,6/47,8	750	2013
Uniper Kraftwerk	ČU	Datteln 4 (KVELI 1100/360MW)	28,5	600/620 °C	> 45	1100	2013

## Německo - Zákon o odklonu od uhlí

Zákon schválen 06/2020 v platnosti od 08/2020. 01/2021 schválil spolkový sněm související Veřejnoprávní smlouvu s provozovateli hnědouhelných elektráren. Stále se čeká na podpis smluvními stranami.

*Např.:* Podle zákona bude uhelná elektrárna **Lünen 750 MW (Trianel)** odstavena ještě před datem projektové plánovaného ukončení činnosti.

Trianel proto zadal zpracování studie pro určení výše ekonomické ztráty.

Trianel + 30 komunálních firem do černouhelného bloku s výkonem 750 MW investovalo přibližně 1.4 miliardy Eur. Blok byl uveden do provozu v roce 2013.

Při technické životnosti 40 let by mohl být blok provozován nejméně do roku 2053.

Při pouze 17letém provozu od roku 2013 do roku 2030 (kdy je očekáváno odstavení) vychází z analýz ztráta 571 milionů Eur.

Podobně jsou na tom další moderní bloky: Datteřin 4 (2021 51 %, 22 50 %, 23 38%), ...

Proto se o způsobu a výši vyrovnání/odškodnění před schválením ZoooU (Kohlensstiegsgesetz) intenzivně jednalo.

Dle zákona by do roku 2022 měla klesnout kapacita E na 15 GW ČU a 15 GW HU

realita	2023	19	18,7
	2023	18,9	18,5
2030		na 8 a 9	
2038		na 0 a 0	

## JAPONSKO - PŘELOM STOLETÍ

Průmyslová velmoc, která je prakticky v plné míře odkázána na dovoz Primárních Energetických Zdrojů, proto se snaží o jejich co neefektivnější využití.

Včasná obnova starších energetických zařízení za nové, modernější technologie je zde pravidlem.

lokality	palivo	instalovaný výkon (MW)	Parametry páry (MPa/°C/°C)	Teplota účinnost (%)	do provozu
Tsukibananawa 2	ČU	2100	25/600/610	46	2000
Haramachi 1,2	ČU	2x1000	26/604/602		1997 a 1998
Himachi Naka	ČU	3x1000	27,5/603/601		2000-05
Misumi 1	ČU	600	25/605/600	46	2001
Isojua 2	ČU	600, 600	25/600/610 B2 620	B2 hrubá 45	2002 a 2009
Matsuzura 2	ČU	1000	24,1/593/593/593		1997
Nasan Ohta	ČU	700	24,1/593/593		1998
Hekinan 4.5	ČU	2x1000	24,1/566/593		2002
Kawagoe 1, 2	LNG	2x700	31/566/566/566	41,7	1989 a 1990
+3 a 4 CCGT (2x7x (183+85))		2x1700		53,9	1996 a 1997

Pozn.:

1. První bloky, na kterých byl použit materiál P91, byly Kawagoe 1, 2 patřící společnosti Chubu Electric. Parametry ostré páry jsou 31 MPa/566°C + 2MP/566°C/566°C. Tyto bloky pracují od června 1989 a dosahují účinnosti 41,7 %.

2. Na nové elektrárně Isojua 600 MW, kterou pro energetickou společnost Tokyo Electric Power stavěl Siemens KWU. S parametry páry 25 MPa / 600 °C / 610 °C a s teplotou napájecí vody 300 °C je pro přibliživky užít materiál INCONEL 718.

## STAV A VÝHLED PARAMETRŮ PARNÍCH OBĚHŮ - SHRNUÍ

Standard - starší podkritické i nadkritické bloky s průměrnou čistotou účinnosti v Evropě  $\eta_{netto} = 0,35 \rightarrow 0,37$ .

Stávající špička „Generace 600“ s tlakem kolem 30 MPa, dvojnásobným mezipřehřátím a teplotami ostré páry i přehřátých par až do hodnot těsně nad 600 °C. V závislosti na ostatních parametrech bloku (palivo, teplota chladicího média, vyvedení tepla...) se čistota účinnosti pochopitelně mění. Ale dosaženy byly až hodnoty  $\eta_{netto} = 0,50$  - pro zemní plyn a 0,47 - pro uhlí. (Mezní parametry této generace jsou patrně 33 MPa/610 / 630 °C)

Vývoj „generace 700“ (AD700 project - start 1998. Očekávaná realizace 2014!!!) s tlakem do 35-37,5 MPa, maximálními teplotami 700-720 °C a čistotou účinnosti až  $\eta_{netto} \rightarrow 0,54$ . Tato aktivita byla prakticky zastavena.

Výhled směřovaný na období po roce 2020 „generace 800“ s maximální teplotou páry v oblasti 800 °C a čistotou účinnosti vyšší než  $\eta_{netto} \rightarrow 0,55$ . Tato aktivita je pouze hypotetická.

→ Závěr pro USC:

Ve středním časovém horizontu je aktuální pouze G600.

Zatím neznámá je budoucnost G700.