

# Specifika návrhu konstrukcí kotlů v seizmicky aktivních oblastech

Návrh nosných konstrukcí vystavených účinkům zemětřesení je jednou ze stále se vyvíjejících oblastí stavební mechaniky. Moderní přístup v navrhování seizmicky zatížených konstrukcí vychází z teorie disipativní konstrukce. Disipativní konstrukce se vyznačuje tím, že na dynamické buzení odpovídá nelineárně tak, že ve vybraných prvcích umožní cyklickou plastickou deformaci. Kinetická energie zemětřesení je pak přeměněna v teplo dřívě, než může způsobit přetížení ve zbylé části konstrukce. Ve společnosti Bilfinger Babcock CZ se dlouhodobě zabýváme specifiky návrhu disipativní konstrukce pro nosnou konstrukci elektrárenského kotle. V současné době je zpracováno finální řešení konstrukce včetně návrhu disipativní zóny. Otázkou zůstává volba vhodného materiálového řešení a návrh experimentálního ověření.

Tento článek si klade za cíl seznámit čtenáře se specifiky návrhu nosné konstrukce elektrárenského kotle určeného do oblastí se zvýšeným rizikem seizmické události. Elektrárenských kotlů je celá řada druhů. Pro jednoznačnou aplikovatelnost výsledků výzkumu byl rozsah zkoumané oblasti omezen na konstrukce pro parní kotle na odpadní teplo s vertikálním směrem proudění spalin (dále „Vertikální kotle“). Článek se především zaměřuje na popis dílčích výsledků výzkumu konaného v rámci návrhu konstrukce schopné odpovídat na dynamické buzení zemětřesení nepružně – tzv. „Disipativní konstrukce“. Návrh takové konstrukce je v odborné literatuře rozpracován pro konstrukce pozemních staveb a mostů [1]. Pro konstrukce speciálních technologických staveb, jako jsou například konstrukce parních kotlů, je tento návrh zpracováván v současné době v Oddělení pevnostních výpočtů firmy Bilfinger Babcock CZ ve spolupráci s VŠB – TU Ostrava [2].

## K dnešnímu dni bylo vyřešeno:

- koncepční řešení konstrukce. Byly stanoveny nároky na nezbytné úpravy geometrie při aplikaci zásad disipativního návrhu [2],
- kvantifikace schopnosti konstrukce využívat rezerv tažnosti materiálů. Byla stanovena hodnota součinitele duktility [2],
- zvolen typ disipativní zóny [2],
- dynamická odezva konstrukce kotle se zavěšenou technologií,
- kapacitní posudek a návrh dimenzí disipativní konstrukce pro různé materiálové varianty disipativní zóny.

## Otevřenou otázkou zůstává volba vhodného materiálového řešení konstrukce s ohledem zejména na:

- cyklické chování materiálu v prvcích v disipativních zónách,
- vlivu materiálového řešení na výslednou efektivitu tlumení disipativních zón,
- způsobu experimentálního ověření.

## Konstrukce elektrárenského parního kotle

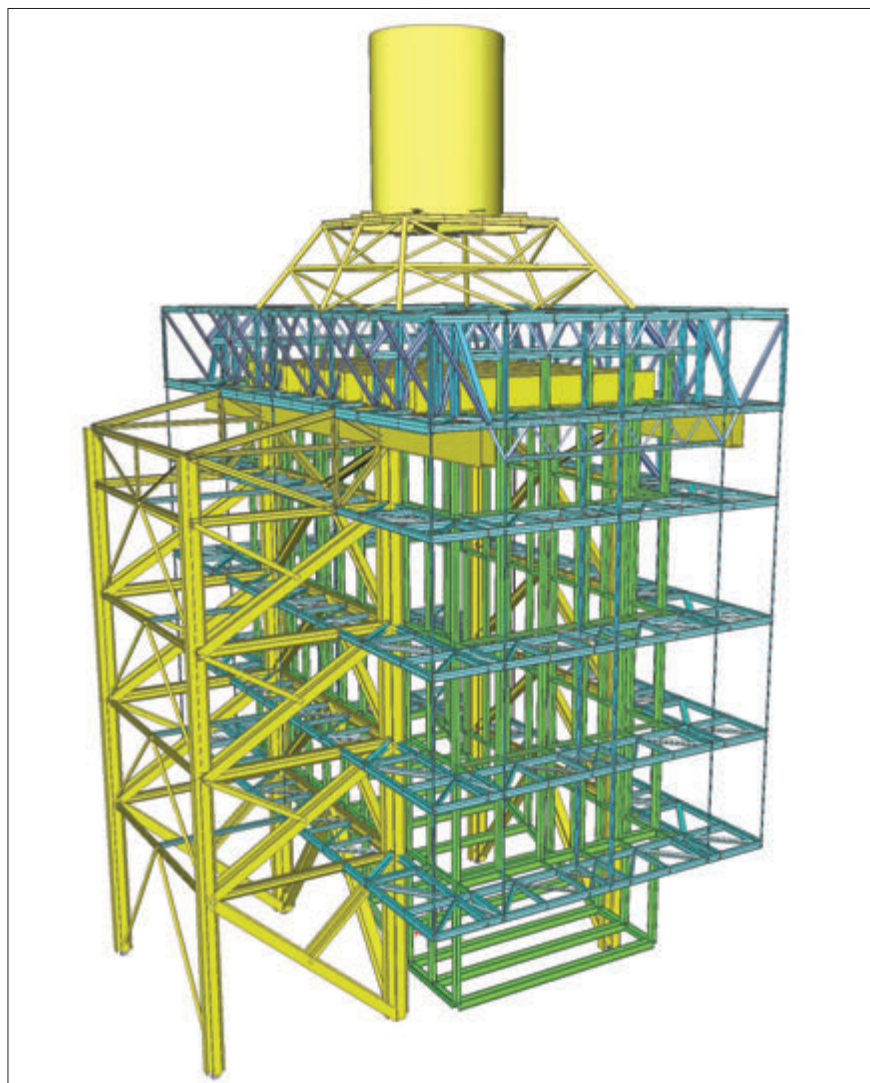
Konstrukce Vertikálních kotlů se vyznačují zejména tím, že zpravidla celý plášť je na konstrukci zavěšen. Zavěšeny jsou také svazky potrubních modulů výměníku tepla, tedy potrubí, které tvoří cca 80% hmotnosti veškeré nesené technologie. Tyto svazky jsou navíc zavěšeny systémem táhel jeden do druhého v patrech nad sebou. Převážná část technologie je zavěšena na ocelových nosnících, které procházejí prostorem se spalinami. Tyto nosníky tvoří tzv. strop kotle a spojují dvě

samostatné prostorové konstrukce. Ukázka modelu vertikálního kotle je na obrázku č. 1. Přenos vodorovných sil a stabilita konstrukce je zajištěna systémem Vertikálního zavětrování bez excentricit.

## Dynamická odezva Vertikálního kotle

Jak bylo naznačeno v odstavci o konstrukci Vertikálního kotle, je převážná část hmotnosti technologie zavěšena na táhlech. Volnému pohybu modulů ve vodorovné rovině je bráněno pouze systémem dorazů. Kolmo na směr potrubí je doraz řešen vymezením minimální dilatační mezery mezi kotvicími plechy modulů a vnitřním oplechováním pláště kotle. Ve směru modulů jsou svazky potrubí zakončeny vstupní a výstupní komorou, která prochází otvory

v plášti kotle. Dorazy jsou řešeny vymezením minimální dilatační mezery mezi komorou a plechem lemujícím prostup pláště. Poloha samotného pláště kotle je zajištěna nárazníky na ocelové konstrukci, které jsou rozmístěny v místech svislých a vodorovných výztuh pláštěm. Seizmické buzení je ze své podstaty nahodilým jevem. Během seizmické události se zemským masivem šíří vlny rozkmitávající podloží. Vlny při průchodu zemí různě mění svoji charakteristiku, odráží se o zemská rozhraní a potkávají se s jinými vlnami. V místě stavby pak působí mnoho vln současně, což způsobuje, že stavba je vystavena nahodilému buzení o vlastnostech omezeného bílého šumu o šířce pásma 30Hz (smluvní hodnota) a rozptylu amplitudy zrychlení



Obr. 1 – 3D statický model konstrukce Vertikálního kotle Ambarli, Turecko

přibližně rovné 0,5 referenční hodnoty zrychlení. Vzhledem k takto statisticky neurčitěmu zadání vstupního buzení je možno vliv prokluzu ve vedení tlakového systému a následného rázu zanedbat.

### Návrh disipativní konstrukce

Konstrukce určené do oblastí se zvýšeným seizmickým rizikem, by měly být vždy navrhovány tak, aby u nich byla zajištěna určitá míra místní i celkové duktility neboli tvárnosti materiálu. Disipativní konstrukce odpovídá na dynamické buzení nelineárně a její výsledná odezva je oproti pružné odezvě redukována. Míru redukce nelineární odezvy vyjadřuje součinitel duktility. Hodnota tohoto součinitele byla stanovena v [2] na 3,2 což řadí konstrukci do třídy duktility M podle [3]. U disipativní konstrukce je nezbytné, aby byl zajištěn bezpečný přenos vodorovných sil i po zplastizování duktilních prvků. Pro řešení na konstrukci Vertikálního kotle se ukázalo jako nejvýhodnější vytvořit v konstrukci zdvojený systém přenosu vodorovných sil. Vedle systému vertikálního zavětrování, slouží k přenosu vodorovných sil ještě rámové působení sloupů a příčlív. Vertikální zavětrování tvoří hlavní a rámové propojení vedlejší systém přenosu vodorovných sil. Do systému vertikálního zavětrování je možnost vložit duktilní prvky disipativních zón. Pro Vertikální kotle byl zvolen typ disipativní zóny jako tzv. „krátký seizmický článek“ [2]. Tento typ prvku disipuje seizmickou energii převážně plastickou deformací ve smyku. Seizmický článek z válcovaných nosníků zpracoval např. E. Popov [4], pro průřezy svařované z plechů P. Dusicka [5]. V naší práci se zejména zaměřujeme na volbu neoptimálnějšího materiálového řešení.

Řešení konstrukce máme zpracováno pro následující materiály duktilních prvků:

- EN ocel S235.
- ASME ocel SA 283-A.
- EN hliník EN-AW-5083 O/H111.
- EN hliník EN-AW-6082 T4.

Materiál hlavní nosné konstrukce byl volen ve všech případech z EN oceli S355 a S460. Nevýhodou běžné konstrukční oceli S235 je značný rozptyl jejích vlastností. Řešení s ocelí SA 283-A a neželeznými materiály je zpracováno projekčně

Materiál duktilního prvku						
	S235	SA283-A	EN-AW-5083	EN-AW-6082	Doplňkové informace	
	235	165	115	260	mez kluzu	Mpa
	210	210	70	70	modul pružnosti	Gpa
Materiál příčle	20	20	14	8	tažnost	%
S355	0,01453	0,0125	0,0164	0,031	Maximální mezipodlažní posuv = posuv / výška patra	
S460	0,0125	0,01	0,0143	0,0251		

Tab. 1 – Maximální mezipodlažní posuv pro jednotlivé materiálové varianty řešení

bez ověřování dostupnosti a použitelnosti těchto materiálů. Efektivitu řešení lze vyjádřit z hodnoty maximálního mezipatrového posunu. Platí, že čím menší je výsledný mezipatrový posuv dosažený ve výpočtu konkrétní materiálové varianty, tím je řešení efektivnější z hlediska přeměny seizmické energie na teplo. Efektivitu řešení shrnuje tabulka č. 1.

### Závěr

Povinnost navrhovat disipativní konstrukce do oblastí se zvýšeným rizikem seizmické události, je obecně předepsána navrhovací normou [3]. Výhody tohoto návrhového principu při návrhu konstrukce parního kotle byly již dříve publikovány [2]. Jedná se zejména o výrazné snížení reakcí konstrukce na spodní stavbu a redukcii účinků zemětřesení na konstrukce a technologie na konstrukci ukotvené.

V rámci tohoto příspěvku bylo ukázáno, že výsledný efekt disipativního řešení, je zásadně ovlivněn volbou materiálu prvků v disipativních zónách konstrukce. Zásadním údajem je poměr tuhosti hlavního a doplňkového systému pro přenos vodorovných sil. Ukazuje se, že je vhodné prvky, které slouží pro přenos vodorovných sil v konstrukci, navrhovat s využitím vysoko pevnostních ocelí. Prvky v disipativních zónách naproti tomu je výhodné navrhnout z materiálů s nízkou mezí kluzu. Nabízí se použít některou ze speciálních ocelí, hliník případně plast. Ovšem neželezné materiály mají obecně proti oceli menší modul pružnosti, takže jejich použití nevede k efektivnějšímu návrhu. Volba materiálu disipujících prvků navíc určuje také způsob experimentální verifikace návrhu. Zatímco u prvků z oceli jsou dostatečné statické zkoušky s cyklickým přetížením, konstrukce s neželeznými materiály by bylo nutno ověřit navíc dynamickou zkouškou pro ověření míry tlumení a hodnoty součinitele duktility.

*Poděkování: Projekt byl realizován za finanční podpory ze státních prostředků prostřednictvím studentské grantové soutěže. Registrační číslo projektu je SP 2013/93.*

### LITERATURA:

- [1] NEWMARK, N. & HALL, W. Earthquake spectra and design (Engineering monographs on earthquake criteria, structural design, and strong motion records. California.: Earthquake Engineering Research Institute, 1982, 103 pp, ISBN 09-431-9822-4
- [2] PROTIVÍNSKÝ, J. & KREJSA, M. Transactions of VŠB – Technical University of Ostrava. VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2012, 2, ISSN 1804-4824
- [3] CEN, EN 1998-1 Navrhování konstrukcí na účinky zemětřesení – Část 1: Obecná pravidla, seizmická zatížení a pravidla pro pozemní stavby. Praha: Český normalizační institut. 2006. 170 s.
- [4] HJELSTAD, K. & POPOV, E. Seismic behaviour of active beam links i eccentrically braced frames. Berkley CA.: Earthquake Engineering Research Center, 1986, 169 pp, UCB/EERC-86/01
- [5] DUSICKA, P. & ITANI, M. & BUCKLE, G. Cyclic behaviour of shear links of various grades of plate steel. American Society of Civil Engineers, 2012, 837-838 p, ISSN 1943-541X

**Ing. Jiří Protivínský,  
Bilfinger Babcock CZ s.r.o.**

**Doc. Martin Krejsa Ph.D.,  
VŠB-TUO Ostrava, Fakulta stavební,  
Katedra stavební mechaniky**

### Specifics of boiler construction design in seismic regions

*The design of the supporting structures exposed to the effects of earthquake is one of the constantly developing areas of structural mechanics. The modern approach to the design of seismic loads on structures is based on the dissipative structure theory. A dissipative structure is marked by the fact that it responds non-linearly to dynamic excitation whereby in selected elements it allows cyclic plastic deformation. So the kinetic energy of an earthquake is then converted to heat before it can cause an overload in the rest of the structure. At Bilfinger Babcock CZ, we have been engaged for a long time in the specifics of the design of dissipative structures for the supporting construction of a power plant boiler. Currently, the final solution of the construction is being drafted, including the design of the dissipative zone. The question that remains is the choice of appropriate material design and the draft experimental verification.*

### Специфика предложений конструкции котлов для сейсмически опасных областей

*Разработка несущих конструкций, подверженных влиянию землетрясений, является одной из постоянно развивающихся областей строительной механики. Современный подход в проектировании сейсмически устойчивых конструкций вытекает из теории диссипативной конструкции. Диссипативная конструкция характеризуется тем, что на динамическое возбуждение отвечает нелинейно так, что в определенных частях позволяет пластическую циклическую деформацию. Кинетическая энергия землетрясения таким образом переходит в тепло быстрее, чем может привести к перегрузкам в остальных частях конструкции. В компании "Bilfinger Babcock CZ" долгое время занимаются проблемой специфики диссипативных конструкций для несущей конструкции котлов электростанций. Сегодня разработан финальный проект конструкции, включая проект диссипативной зоны. Открытым остается вопрос выбора необходимого материала и проект экспериментальной проверки.*