

SIMULACE POHYBU KLASTRU V TLAKOVÉM POLI KAPALINY

SIMULATION OF CLUSTER MOTION IN A FLUID PRESSURE FIELD

Milan Schuster

Výzkumný a zkušební ústav Plzeň s.r.o., Tylova 1581/46, 301 00 Plzeň

Abstrakt

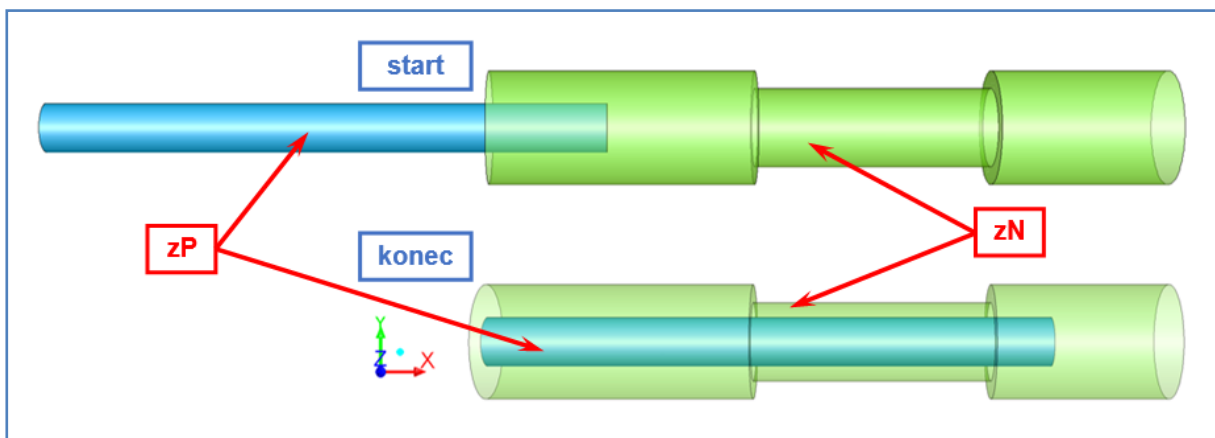
Příspěvek stručně shrnuje možnosti zadání a řešení CFD simulací proudění v modelu regulačního orgánu za vybraného pracovního režimu. Byl sestaven výpočtový model havarijního klastru reaktoru pro řešení tlakových polí při jeho zásahu za seismické události. Příspěvek popisuje podmínky simulací pohybu klastru a proudění v úzkých mezerách mezi modelem klastru a vodicím kanálem. Jsou diskutovány výsledky simulací vybraných režimů a analyzovány souvislosti simulovaných jevů interakce proudění a pohybujícího se klastru.

Abstract

The paper briefly summarizes the possibilities of entering and solving CFD flow simulations in the model of the control body under the selected operating mode. A computational model of the reactor emergency cluster was compiled for the solution of pressure fields during its intervention during seismic events. The paper describes the conditions of simulations of cluster motion and flow in narrow gaps between the cluster model and the guide channel. The results of simulations of selected modes are discussed and the context of simulated phenomena of flow interaction and moving cluster is analyzed.

Úvod

Příspěvek popisuje průběžné výsledky vývoje metodiky CFD simulací tlakových poměrů při pohybu havarijního klastru při seismické události a navazuje na příspěvek z konference Zvyšování životnosti komponent energetických zařízení v elektrárnách konané v roce 2020 [1]. V něm byly popsány testy základních funkcí simulace vzájemného pohybu dvou zón ve výpočtové oblasti pomocí metody „sliding-mesh“, na obr. 1 je výpočtový model klastru v obou mezních situacích při pohybu. Výpočtový model zahrnuje dvě „tekutinové“ zóny, pohyblivá zóna obsahuje klastr, nepohyblivá zóna vnitřní objem vodicí trubky kanálu, mezi oběma zónami je plocha „interfejsu“, u nepohyblivé zóny je naznačeno zúžení průřezu pro simulování seismické události.

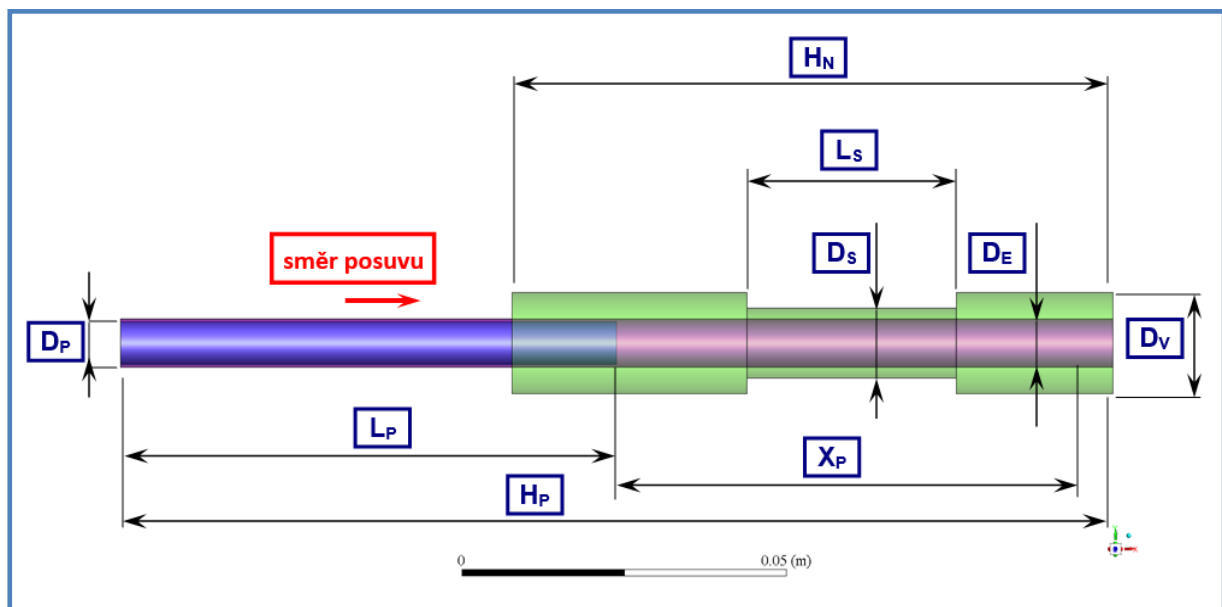


Obr. 1: Výpočtový model pohybujícího se klastru [1] – nahoře situace při startu simulace (pohyblivá zóna „zP“ s klastrem vysunuta) a dole situace při konci simulací (pohyblivá zóna „zP“ zasunuta do vodicí trubky nepohyblivé zóny „zN“), plocha interface není z důvodu přehlednosti zobrazena

Připravený výpočtový model klastru byl použit pro vývoj metodiky výpočtů tlakových poměrů v okolí pohybujícího se klastru pro modelování příčných pohybů při seismické události. Z pohledu možností CFD simulací byly příčné pohyby nahrazeny řadou různých za sebou řazených zúžení průměru kanálu. Cílem simulací je určit změny v tlakovém poli v okolí pohybujícího se klastru a vlivy působící dodatečné zatížení klastru a kapalinové odpory proti pohybu klastru za seismické situace.

Metodika simulací seismické události

Klastrem pro potřeby CFD simulací a tlakových polí za pohybu rozumíme malé válcové těleso o průměru $D_P = 9,2$ mm pohybující se ve válci vodící trubky kanálu o průměru D_V , za stabilního neseismického stavu je $D_V = 11$ mm. Seismická událost pro účely simulací je řada neperiodických relativních pohybů komponent klastru a vodícího kanálu, v jejichž důsledku se mění velikost mezery mezi klastrem a kanálem v příčném směru, kolmém na pohyb klastru. Na obr. 2 jsou uvedeny rozměry výpočtové oblasti modelu pro seismiku.



Obr. 2: Výpočtový model pro seismiku: tvarová varianta modelu klastru ve vodícím kanálu, na které jsou ukázány základní charakteristické rozměry modelů klastru: D_P = průměr válce klastru, L_P = délka válce klastru, D_E = průměr ploch interfejsů, D_V = průměr kanálu, D_S = průměr zúžení pro seismiku, L_S = délka zúžení, X_P = délka posuvu (pohybu) klastru, H_P = velikost pohyblivé zóny, H_N = velikost nepohyblivé zóny

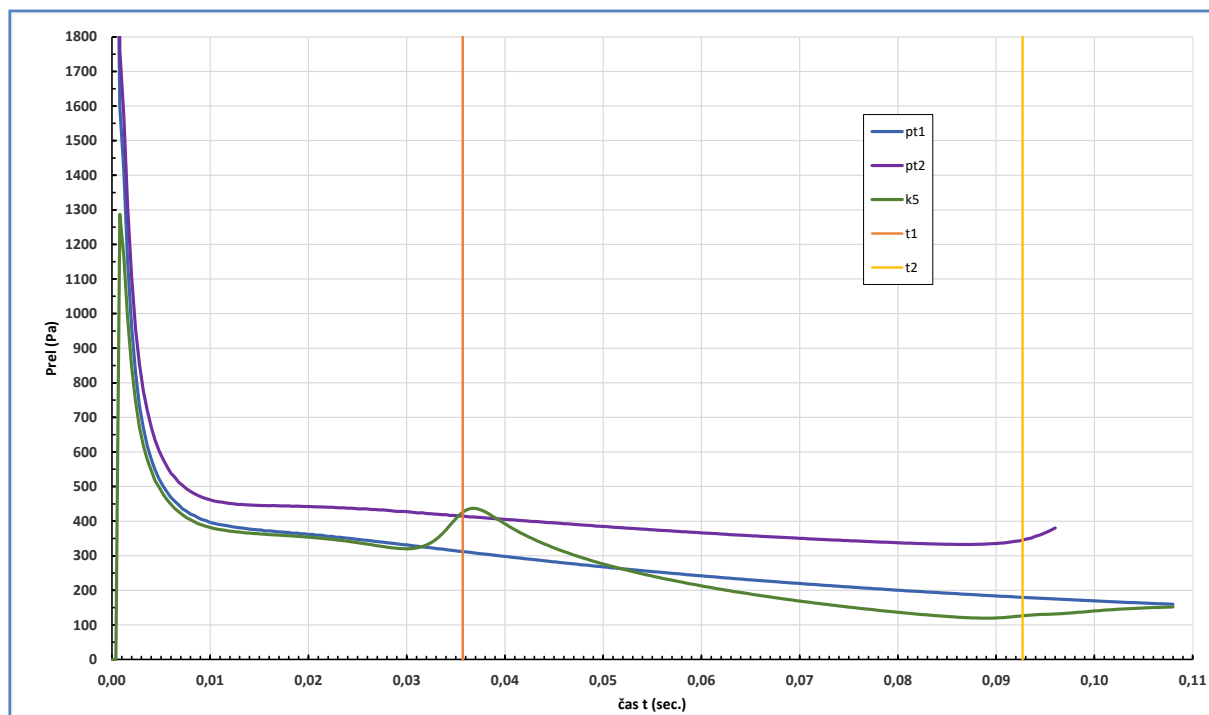
Návrh metodiky vychází z toho, že změny poměrů a tlakových polí při seismické události uvnitř kanálu havarijního klastru způsobených příčnými relativními pohyby mezi trubkou vodícího kanálu a vlastním klastrem jsou modelovány řadou za sebou řazených zúžení/rozšíření kanálu. Situace je popsána na obr. 2, kde je jedno vybrané zúžení určeno rozměry průměru D_S a délky L_S . Zařazením různých kombinací zúžení/rozšíření D_S a L_S se zahrnutím rychlosti pohybu klastru je modelováno neperiodické seismické buzení, laděním velikostí D_S a L_S lze nastavit okamžitou amplitudu a frekvenci „budícího signálu“ při seismické události. CFD simulací je pak vypočteno tlakové pole a jeho okamžité změny.

Při simulaci se klustr (jako pohyblivá zóna) postupně posouvá zadanou rychlostí ve výpočtové oblasti přes několik zúžení D_S/L_S v nepohyblivé zóně. Tím vznikají změny v tlakovém poli ve výpočtové oblasti, které odpovídají změnám ve velikosti mezery mezi klastrem a vodícím kanálem, vše zapříčiněno modelovanou seismickou situací.

Testy metodiky

V rámci řešení metodiky CFD simulací tlakového zatížení povrchu klastru za seismické události byly počítány varianty uspořádání modelu a výpočtové oblasti klastru. Různá ověřovací nastavení modelu (geometrie a rozměry zúžení D_s/L_s , rychlosti pohybu klastru) měla posoudit možnosti metodiky sledování chování klastru při seismické události. Tím vznikla řada ověřovacích výpočetních modelů klastru.

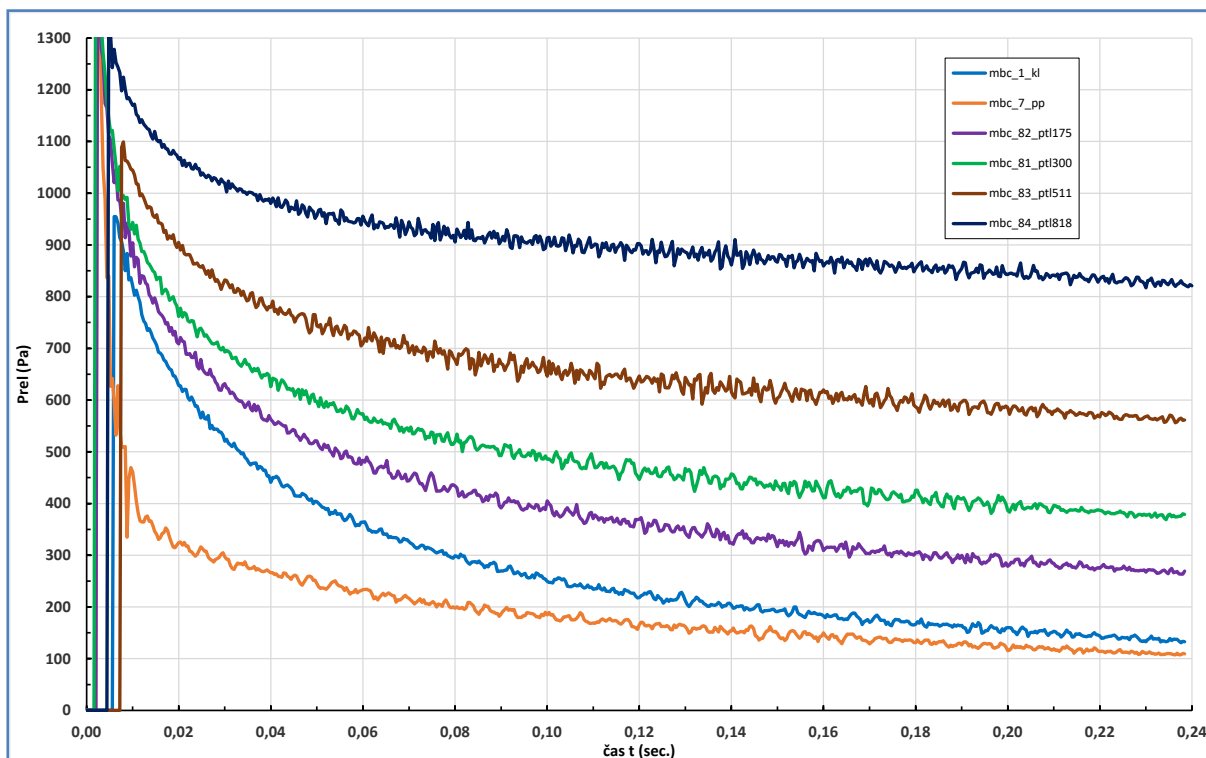
Při pohybu modelu klastru při vstupu do zúžení/rozšíření kanálu vzniká tlaková porucha na povrchu klastru. Tento „tlakový puls“ na čele klastru byl hlavním výsledkem simulací při ověřování metodiky a posuzování účinnosti jednotlivých úprav modelu na přesnost popisu odezev na seismické buzení.



Obr. 3: Průběhy čelních tlaků modelů klastru při pohybu v oblasti s větším průměrem kanálu pro kontrolní testy nastavení simulací a vlivu sítě v mezeře mezi klastrem a kanálem

Na obr. 3 je graf časových průběhů tlaků na čele modelu klastru při jeho pohybu v kanálu. Dva modely „pt-i“ reprezentují zcela hladký kanál bez zúžení pro dvě úrovně tekutinového odporu protitlaku. Model „k5“ popisuje průchod klastru jednoduchým zúžením (časové okamžiky vstupu a výstupu klastru jsou určeny svislými čarami t_1 a t_2). Z průběhů lze dovodit velikost tlakového „pulsu“ a přídavného zatížení klastru při seismice.

Na obr. 4 je ukázka časového průběhu tlaku na čele klastru při pohybu v dlouhém úzkém kanálu bez zúžení pro simulace modelů „mbc_i“ s alternativními volbami parametrů okrajových podmínek, zejm. použití nenulových hodnot „protitlaků“. Na obr. 4 jsou zobrazeny výsledky pro různé hodnoty zadaného protitlaku (který modeluje stoupající odpor tekutiny v „zaslepeném“ kanálu). Testy sestavení výpočetních modelů klastru a výsledky jejich simulací jsou popsány ve zprávě [2] včetně komentáře a postupu vývoje metodiky.



Obr. 4: Časový vývoj tlakového zatížení čela klastru pohybujícího se v úzkém hladkém válci vodícího kanálu, porovnání výsledků pro variantní zadání okrajových podmínek simulací

Závěr

Príspevek stručne shrnuje aktuálny stav rozřešení výzkumu pohybu klastru a průběžné výsledky vývoje metodiky simulací tlakových polí za seismické události. Byly vytvořeny a testovány výpočtové modely základních situací při pohybu klastru ve válci vodícího kanálu s variantním nastavením okrajových podmínek s cílem přípravy metodiky CFD simulací kapalinového zatížení klastru při jeho pohybu.

Pro další vývoj metodiky se rýsují podněty pro výzkum jednak v oblasti vlastních CFD simulací pohybu pevného tělesa ve velmi úzké mezeře naplněné kapalinou a jednak v oblasti modelování pohybů klastru při seismické události (její charakteristika, např. frekvence a amplitudy příčných pohybů) s ohledem na možnosti výpočtů při simulacích.

Poděkování

Príspevek vznikl v rámci řešení výzkumného projektu Institucionální podpory na rozvoj výzkumné organizace.

Literatura

- [1] Schuster, M. (2020): Klastr a simulace proudění s pohyblivou zónou. *15. konference Zvyšování životnosti komponent energetických zařízení v elektrárnách*, Západočeská univerzita v Plzni, online, str. 15-20. ISBN 978-80-261-0959-4
- [2] Schuster, M. (2020): *Simulace proudění v regulačních orgánech energetických strojů – III. Výpočty základních režimů*. Výzkumná zpráva, VZ-46/20/009, Výzkumný a zkušební ústav Plzeň s.r.o., Plzeň.