

POSOUZENÍ CHOVÁNÍ HYDRAULICKÉ CENTRÁLY

Ing. Petr Kukul¹, prof. Ing. Jiří Bašta, Ph.D.²

¹AZ KLIMA a.s.

²ČVUT v Praze, FS, Ústav techniky prostředí

Anotace

Tématem článku je posouzení chování hydraulické centrály v otopné soustavě na základě numerických simulací. Chování hydraulické centrály bylo posuzováno při třech různých provozních stavech především s ohledem na rychlostní a teplotní pole. Klíčovými parametry byly zejména vstupní rychlosti a navrhovaný výkon jednotlivých okruhů (zařízení) napojených na hydraulickou centrálu.

Annotation

The topic of the article is the assessment of the behaviour of the system vessel in the heating system based on numerical simulations. The behaviour of the system vessel was assessed at three different operating conditions, mainly with regard to the speed and temperature fields. The key parameters were in particular the input speeds and the proposed heat output of individual circuits connected to the system vessel.

Klíčová slova

vytápění, hydraulika, hydraulická centrála

Keywords

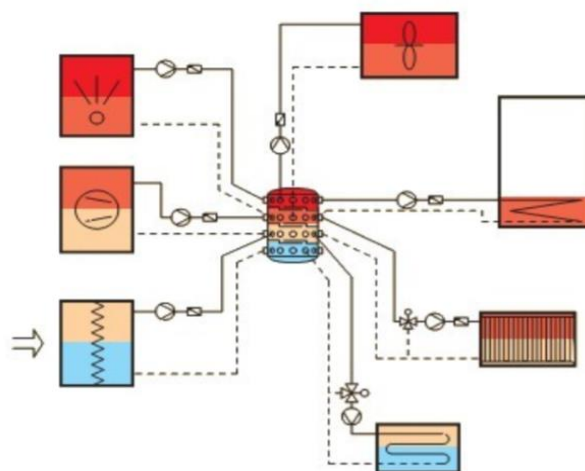
Heating, Hydraulics, System Vessel

ÚVOD

Hydraulická centrála je relativně nový typ zařízení pro propojení spotřebitelských okruhů a zdrojů tepla v oblasti vytápění a přípravy teplé vody. Lze jej použít i pro chlazení. Jedná se o nádobu válcovitého tvaru, která je přepážkami rozdělena na několik teplotních vrstev. Je patrné, že využívá teplotní stratifikace s odpovídajícím napojením v příslušné teplotní vrstvě. Z každé vrstvy jsou po obvodu centrály paprscovitě umístěny přívody i odvody, odpovídající tomu, jaká je příslušná vstupní teplota okruhu, na který je daný vývod napojen. Každá vrstva tedy funguje současně jako rozdělovač i jako sběrač. Jednotlivé vrstvy od sebe nejsou odděleny absolutně, ale dochází mezi nimi k přepouštění.



Obr. 1 Hydraulická centrála [2]



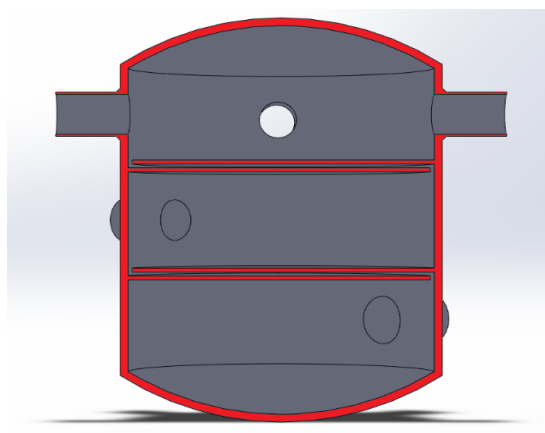
Obr. 2 Schéma zapojení hydraulické centrály [2]

Hydraulická centrála nabízí přenos velkého rozsahu výkonů od 20 kW do 70 MW. Výhodou jsou její menší rozměry oproti tlakovému sběrači a rozdělovači napojenému na termohydraulický rozdělovač (THR). Problémem hydraulické centrály je, že projektant nemůže navrhnout vlastní řešení a vybrat si zařízení příslušných rozměrů z katalogu, tak jak je to možné například u THR. Musí zadat seznam zdrojů tepla a spotřebičů, jejich tepelné výkony, hmotnostní průtoky a teplotní parametry dodavateli. Na základě těchto informací firma Zortström vše naprojektuje a dodá. Zatím není příliš zřejmé, jak přesně jsou provedeny přepážky mezi jednotlivými vrstvami, resp. jaké jsou mezery mezi přepážkami, a tedy ani jak veliký odpor tvoří mezery pro přepouštění mezi jednotlivými vrstvami.

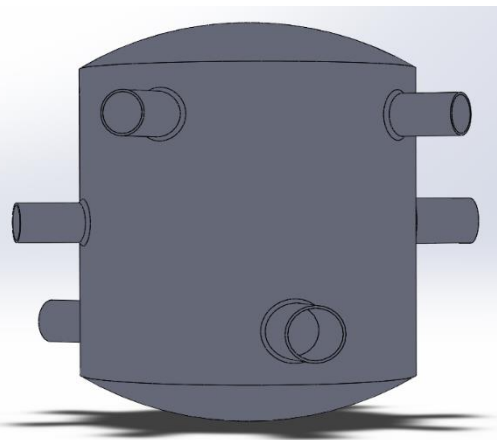
GEOMETRIE

Rozměry hydraulické centrály byly navrženy s ohledem na výkony jednotlivých zařízení a na již instalované aplikace, kde se ovšem dalo inspirovat pouze vizuálně z fotografií a propagačních materiálů. Průměr připojení jednotlivých zařízení byl volen dle rychlostí používaných v THR v kombinaci s doporučenými rychlostmi od výrobce centrály. Průměr centrály jsme volili 400 mm, výšku 520 mm s tím, že dno nádoby a víko je zaobleno.

Centrála má 3 vrstvy, nejvyšší vrstva vykazuje teplotu 70 °C, střední vrstva 55 a spodní vrstva 35 °C. Nádoba je na dvou místech předělena propustnou dvojicí přepážek o tloušťce 5 mm; mezera mezi nimi je také 5 mm. Na jednom konci každého stratifikačního plechu je vystřižen pruh široký 5 mm, kterým se voda při změně tlakových poměrů přepouští z jedné teplotní vrstvy do druhé tak, že prochází jakýmsi „esíčkovým labyrintem“. Připojovací potrubí pro kotlový okruh je DN50, pro okruh ohřevu teplé vody rovněž DN50 a pro okruh otopných těles a okruh podlahového vytápění DN40. Teplotní spády byly voleny následovně: kotel 70/35 °C, ohřivač teplé vody 70/55 °C, otopná tělesa 65/35 °C a podlahové vytápění 45/35 °C.



Obr. 3 Řez modelem centrály [1]



Obr. 4 Vnější pohled na HC [1]

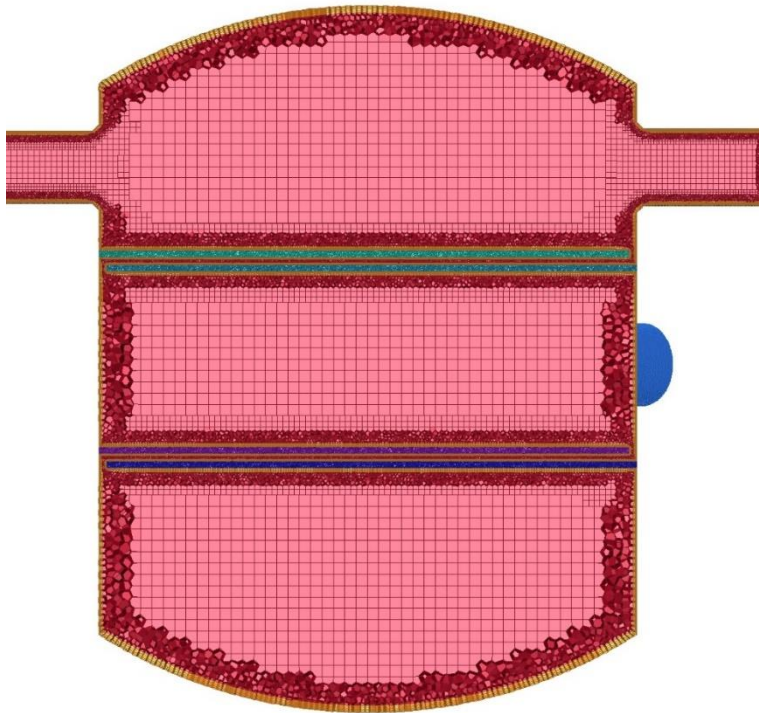
NUMERICKÁ SÍŤ

Síť byla tvořena polyhedrálními buňkami za použití síťovacího nástroje programu Fluent 19.0, konkrétně nástrojem Fluent Meshing. Protože byl zvolen numerický výpočet až ke stěně, byla v okolí všech stěn vytvořena mezní vrstva z prismatické sítě. První buňka mezní vrstvy měla různou výšku v závislosti na povrchu, u kterého se tvořila mezní vrstva. V místech, kde se předpokládaly vyšší rychlosti a větší neuspořádanost proudění, byla zvolena jemnější síť s větším počtem buněk. Výška první buňky byla odvozena z podmínky bezrozměrné výšky první buňky $y^+ = 5$. Celkový počet buněk numerické sítě byl přes 16 milionů.

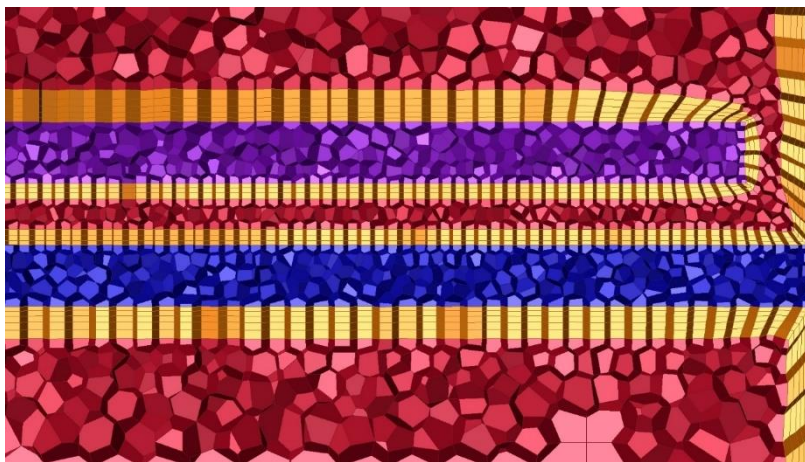
ZVOLENÉ MODELY

Jako řešič byl zvolen Pressure-Based Solver. Schéma Pressure-Velocity bylo zvoleno Coupled. Schémata interpolace byla zvolena druhého řádu přesnosti vyjma schémat pro tlak (resp. přetlak v hydraulické centrále). Zde bylo nastaveno schéma PRESTO!

Jako model turbulence byl uvažován model $k-\varepsilon$ Realizable bez využití stěnových funkcí, tj. s výpočtem přes mezní vrstvu až ke stěně – nastavení možnosti Enhanced Wall Treatment. Pro potřeby výpočtu přirozené konvekce je nutné, aby se měnila hustota vody v závislosti na teplotě. Proto byla pro výpočet hustoty nastavena závislost Piecewise-linear. To znamená, že bylo zadáno několik hodnot hustoty pro určité teploty a jejich linearizací se řídila hustota modelu.



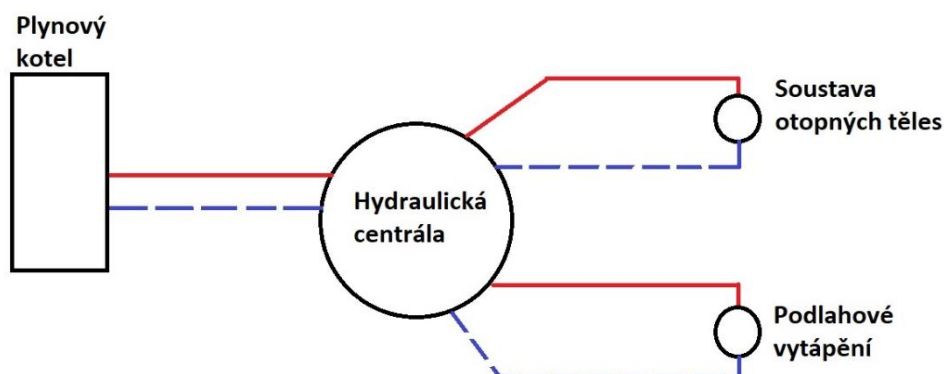
Obr. 5 Řez numerickým modelem HC [1]



Obr. 6 Detail numerické sítě [1]

PROVOZNÍ STAV Č. 1

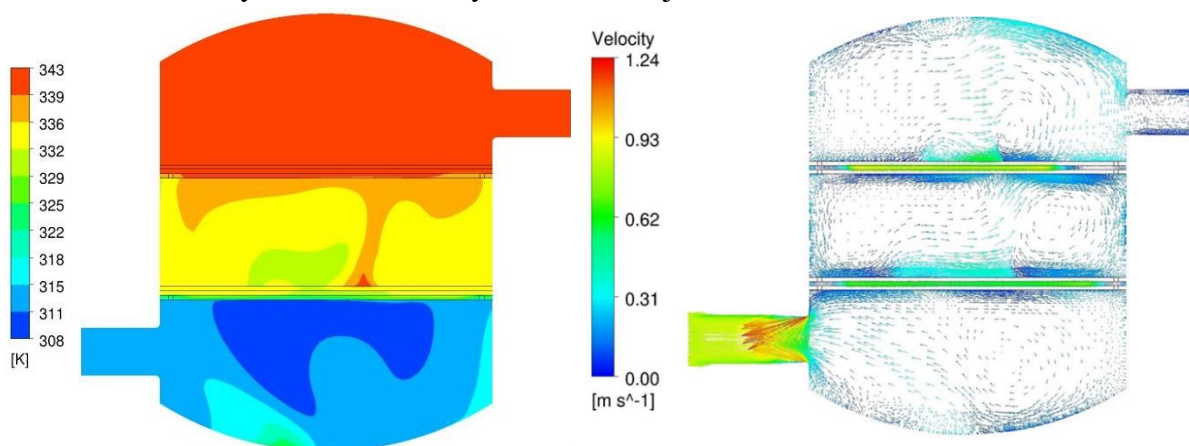
Prvním posuzovaným stavem byl stav při jmenovitých podmínkách. Byl uvažován jmenovitý výkon soustavy otopných těles a podlahového vytápění. Naopak byl vypnut okruh přípravy teplé vody. Do horní vrstvy byla přiváděna voda z kotle, a naopak odváděna voda do okruhu otopných těles, jako jejich přívod. Zpátečka otopných těles byla přiváděna do střední vrstvy HC a ze střední vrstvy byla odváděna voda do okruhu podlahového vytápění. Z okruhu podlahového vytápění byla odváděna otopná voda do nejnižší vrstvy, z té pak do kotle.



Obr. 7 Schéma zapojení pro první provozní stav

Hmotnostní průtok kotlovým okruhem je 1,91 kg/s, otopnou soustavou s otopnými tělesy 0,91kg/s a okruhem podlahového vytápění 1 kg/s. Hmotností průtoky byly navrženy tak, aby průtok primárním okruhem byl roven součtu průtoků spotřebitelskými okruhy. Teplota z kotle byla 70 °C, ze soustavy otopných těles 55 °C a z okruhu podlahového vytápění 35 °C. Již z okrajových podmínek je zřejmé, že množství vody v horní části centrály bude přebývat a bude se snažit protékat mezerami mezi dělicími plechy až do dolní vrstvy, kde jí naopak bude nedostatek. Výsledky simulace tento předpoklad potvrdily.

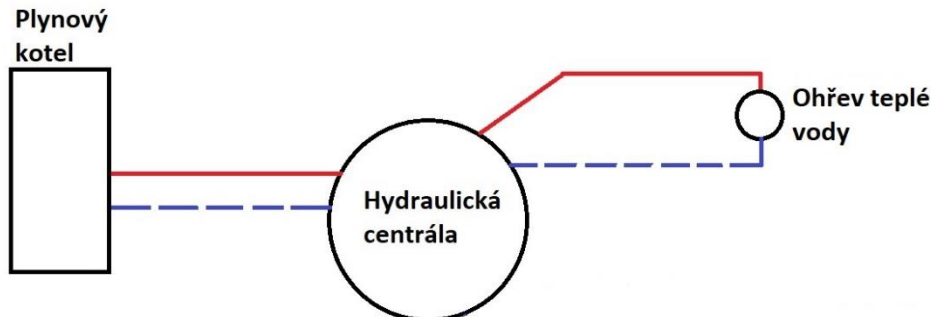
Na obr. 7 vidíme teplotní pole hydraulické centrály, které ukazuje, že teplotní stratifikace funguje poměrně dobře, ač jsou teploty ve střední a spodní vrstvě o něco vyšší, než s jakými bylo uvažováno. Dále je na teplotním poli vidět, že teplota se v jednotlivých vrstvách nikdy neustálí. A i v rámci jedné vrstvy jsou vidět poměrně velké rozdíly v jejich jednotlivých částech, dosahující až 15 °C. To může být způsobeno vysokými rychlostmi v hrdlech i v mezerách dělicích plechů, kterými se přebytečná voda přepouští z jedné vrstvy do druhé. Tento jev je ostatně vidět i na obr. 9, který ukazuje rychlostní pole v HC a můžeme na něm dobře pozorovat neuspořádanost proudění, vířivé proudění a poměrně vysokou rychlost i v samotném těle hydraulické centrály, která dosahuje až k 0,4 m/s.



Obr. 8 Teplotní pole 1. provozního stavu [1] Obr. 9 Rychlostní pole 1. provozního stavu [1]

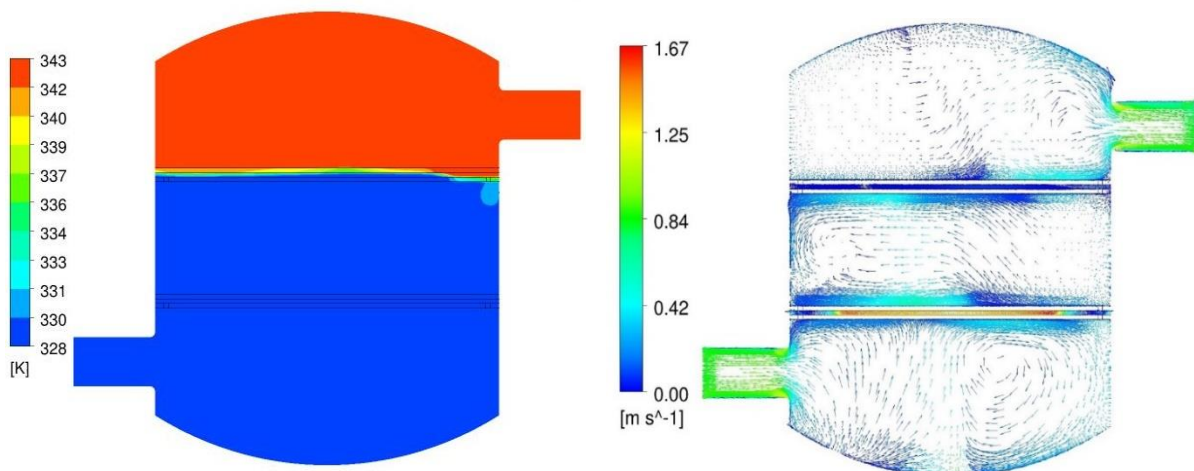
PROVOZNÍ STAV Č. 2

Druhým posuzovaným stavem byl stav při přednostní přípravě teplé vody. Byl uvažován jmenovitý výkon pro přípravu teplé vody a vypnutý okruh podlahového vytápění a rovněž tak i otopné soustavy s otopnými tělesy. Do horní vrstvy byla přiváděna voda z kotle, a naopak odváděna voda do ohřívače teplé vody. Zpátečka z ohřívače TV byla přiváděna do střední vrstvy. Z dolní vrstvy byla odváděna voda zpět do kotle.



Obr. 10 Schéma zapojení pro druhý provozní stavu

Hmotnostní průtok kotlovým okruhem byl uvažován 1,91 kg/s, stejně tak okruhem pro přípravu teplé vody. Hmotností průtoky byly navrženy tak, aby průtok primárním okruhem byl roven průtoku sekundárním okruhem. Teplota z kotle byla 70 °C a zpátečka z přípravy teplé vody 55 °C. Již z okrajových podmínek je zřejmé, že hmotnostní průtok přívodu v horní vrstvě HC je totožný s odvodem. Což znamená, že žádná voda by se neměla tlačit do nižší vrstvy průtočnými mezerami. Také to ale znamená, že z prostřední vrstvy do spodní vrstvy, kde ústí zpátečka od ohřívače teplé vody, bude veškerá voda protékat právě mezerou mezi rozdělovacími plechy do vrstvy spodní a dále pak do kotle. To s sebou samozřejmě nese velké tlakové ztráty a s tím související zvýšené nároky na oběhové čerpadlo.



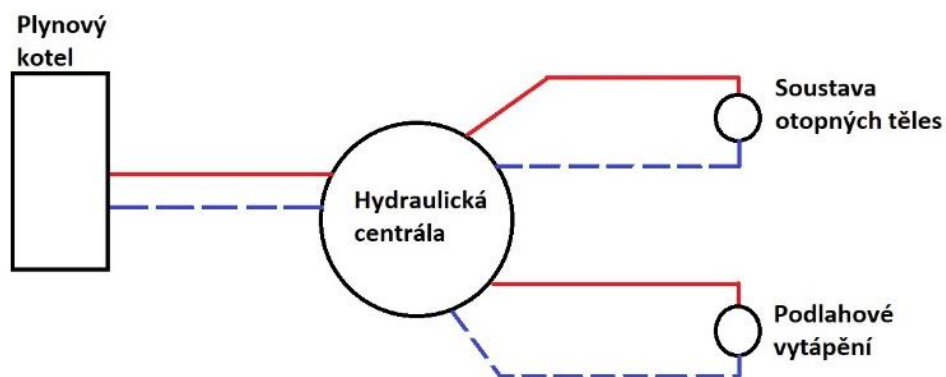
Obr. 11 Teplotní pole 2. provozního stavu [1] Obr. 12 Rychlostní pole 2. provozního stavu [1]

Na obr. 11 vidíme, že při vyrovnaném průtoku je tlaková ztráta přepouštěcích štěrbin dostatečná k tomu, aby nedocházelo k přepouštění z jedné vrstvy do druhé, a teplota ve všech vrstvách je konstantní. Problémem tohoto zapojení je ovšem zbytečné přepouštění vody ze střední vrstvy do dolní. Takovéto zapojení tedy není vhodné pro přednostní přípravu teplé vody, kdy není odběr ve střední vrstvě. Stejně jako v prvním provozním stavu pozorujeme neuspořádané vířivé proudění, které je zapříčiněno postavením jednotlivých vývodů a vysokými vstupními rychlostmi do navrženého zařízení.

PROVOZNÍ STAV Č. 3

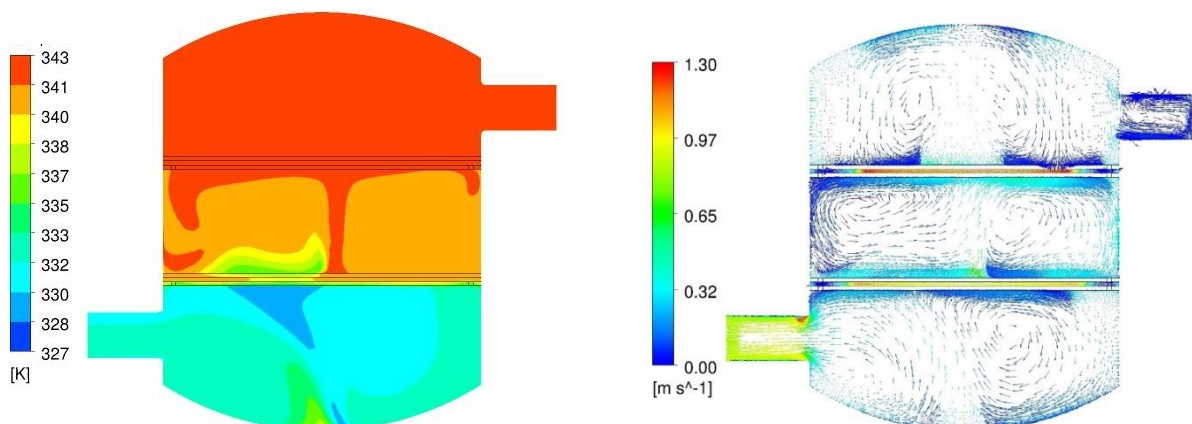
Třetím provozním stavem je provoz hydraulické centrály za běžných podmínek. Příprava teplé vody neprobíhá a soustava otopných těles a okruh podlahového vytápění je v provozu na částečný výkon. Konkrétně pak otopná tělesa pracují na 40 % svého jmenovitého výkonu a podlahová otopná plocha pouze na 50 % jmenovitého výkonu. Objemový průtok ani teplota v kotlovém okruhu nejsou ovšem nijak regulovány. V reálných instalacích by byla použita regulace kotlového okruhu jak kvalitativní, tj. změnou teploty otopné vody, tak kvantitativní, úpravou otáček oběhového čerpadla (použití dnes obvyklých čerpadel s regulací $\Delta p-c$) [3, 4].

Pro zjednodušení celé matematické simulace a zjištění vlivu nadprůtoku primární stranou, nebyla tato regulace do počátečních podmínek zahrnuta. Do horní vrstvy je tedy z kotlového okruhu přiváděna otopná voda o konstantním objemovém průtoku 1,91 kg/s a teplotě 70 °C. Odvod vody v této vrstvě je do soustavy otopných těles s průtokem 0,36 kg/s. V prostřední vrstvě je přívod vody do okruhu podlahového vytápění o teplotě 55 °C a průtoku 0,5 kg/s, kam je rovněž zaústěna zpátečka z okruhu otopných těles. V dolní vrstvě je zaústěn pouze přívod zpátečky od podlahové otopné plochy o teplotě 35 °C a odvod zpět do kotle.



Obr. 13 Schéma zapojení pro třetí provozní stav

Z okrajových podmínek je patrné, že hmotnostní průtok kotlovým okruhem je více než dvakrát větší než vyžadují spotřebitelské okruhy, což bude silně ovlivňovat proudění ve všech vrstvách HC. Přebytná voda z horní vrstvy se bude tlačit přes obě vrstvy zpět do kotle, což s sebou ponese zvýšení teploty v celé hydraulické centrále i zpátečky proudící zpět ke kotli. Dále pak přebytek vody v centrále způsobí vysoké rychlosti v průtočných mezerách a s tím související velké tlakové ztráty.



Obr. 14 Teplotní pole 3. provozního stavu [1] Obr. 15 Rychlostní pole 3. provozního stavu [1]

Grafický výstup matematické simulace na obr. 14 nám prozrazuje, že je teplotní pole konstantní pouze v horní vrstvě HC. Ve zbylých dvou vrstvách je teplota vyšší než projektově uvažovaná, a to znamená nutnost většího směšovacího poměru na jednotlivých spotřebitelských okruzích. Na obr. 15 vidíme opět velmi neuspořádané proudění s primárními a podružnými víry. Takovéto neuspořádané proudění je zapříčiněno přebytkem vody v jednotlivých vrstvách a vysokou tlakovou ztrátou v úzké šterbině mezi přepouštěcími plechy.

ZÁVĚR

Numerická simulace provozu hydraulické centrály nám ukázala, že centrála by mohla relativně dobře fungovat za jmenovitých podmínek a rovněž i za běžných provozních podmínek s využitím čerpadel s regulací $\Delta p-c$ nebo $\Delta p-v$ [3]. Lze tedy uvažovat s optimálním provozem i za běžných provozních stavů v rámci celého otopného období, kdy regulací kotle a oběhových čerpadel jsme schopni regulovat průtok kotlovým okruhem na základě odběru tepla na straně spotřebitelských okruhů [4]. Teplotní stratifikace je poměrně dobrá a svou funkci tedy centrála plní.

Jak ukázala simulace, není toto zapojení příliš vhodné pro přednostní přípravu (ohřev) teplé vody (nikoli tedy paralelní přípravu), což může být například v letním období problém, v případě že by soustava neměla jiný odběr než pouze přípravu teplé vody. V takovém případě zbytečně rostou tlakové ztráty a zapojení s termohydraulickým rozdělovačem se jeví jako vhodnější varianta. Z tohoto důvodu vidíme využití tohoto zařízení spíše v průmyslových objektech a větších aplikacích, kde je s ohledem na velké množství otopných větví výhodou malý rozměr zařízení. Jak ukázala třetí simulace, provoz hydraulické centrály je v podmínkách, kdy není možné využít regulaci kotlového okruhu a zároveň jsou výrazně regulovány spotřebitelské okruhy, naprosto nevhodná.

Důležité je také zmínit, že jsme měli pro matematickou simulaci velmi omezená vstupní data a konstrukční provedení centrály se neshoduje s provedeními od rakouského výrobce, neboť jeho konstrukční data byla prostě nedostupná. Výstupy simulace je tak nutné brát jako odrazový můstek pro další zkoumání zařízení, které ukazuje potenciál dalšího rozvoje v jeho užití.

Překážky v masovějším použití vidíme především v nemožnosti návrhu zařízení projektantem vytápění, popřípadě chlazení a velmi omezeném množství technických údajů výrobcem. To sebou nese i nejistotu výše nákladů pro investora při první studii od projektanta, který by chtěl centrálu zařadit do systému vytápění objektu.

V oblasti chování tohoto zařízení by bylo třeba provést další matematické simulace podložené metodikou návrhu zařízení poskytnutou výrobcem a simulace realizovaných zařízení s poskytnutými přesnými technickými daty. V nejlepším případě pak potvrzené měřením, tj. experimentem přímo na instalované centrále a následným vyhodnocením naměřených dat.

LITERATURA

[1] KUKAL, P. Posouzení chování hydraulické centrály. Praha, 2020. Diplomová práce. ČVUT, Fakulta strojní.

[2] ZORTSTRÖM *technológia pre optimálne riešenie hydraulických okruhov v systémoch chladenia a kúrenia* [online]. In: . [cit. 2020-05-07]. Dostupné z: <http://www.integrasro.sk/docfiles/projekcne-podklady/Zortstroem-Projektovanie1ver3.pdf>

[3] BAŠTA, J.: Hydraulika a řízení otopných soustav. Praha: Ediční středisko ČVUT, 2003. – 252 s., 209 obr., ISBN 80-01-02808-9.

[4] BAŠTA, J.: Regulace v technice prostředí staveb. Česká technika – nakladatelství ČVUT. Praha 2014, 194s., ISBN 978-80-01-05455-0.

Soupis obrázků:

Obr. 1 Hydraulická centrála [2]

Obr. 2 Schéma zapojení hydraulické centrály [2]

Obr. 3 Řez modelem centrály [1]

Obr. 4 Vnější pohled na HC [1]

Obr. 5 Řez numerickým modelem HC [1]

Obr. 6 Detail numerické sítě [1]

Obr. 7 Schéma zapojení pro první provozní stav

Obr. 8 Teplotní pole 1. provozního stavu [1]

Obr. 9 Rychlostní pole 1. provozního stavu [1]

Obr. 10 Schéma zapojení pro druhý provozní stavu

Obr. 11 Teplotní pole 2. provozního stavu [1]

Obr. 12 Rychlostní pole 2. provozního stavu [1]

Obr. 13 Schéma zapojení pro třetí provozní stav

Obr. 14 Teplotní pole 3. provozního stavu [1]

Obr. 15 Rychlostní pole 3. provozního stavu [1]