

UNTERSUCHUNG DER URSACHEN FÜR RAUMKLIMAPROBLEME IN EINER SCHWIMMBADHALLE MITTELS CFD-SIMULATION

Šikula Ondřej¹, Karl Ponweiser²

¹Institute of Building Services,

Brno University of Technology, Brno, Czech Republic

² Institut für Energietechnik und Thermodynamik,
 Technische Universität Wien, Wien, Österreich

KURZFASSUNG

Der Beitrag beschreibt die Untersuchung des Raumklimas einer Schwimmbadhalle mittels CFD-Simulation (Computational Fluid Dynamics) in FLUENT. Die Halle ist ein großer, gegliederter Raum mit unterschiedlichen Arten von Heizelementen und Auslässen. Experimentelle Messungen im Vorfeld haben bereits den mangelnden thermischen Komfort, der physisch deutlich spürbar ist, bestätigt.

Unter Verwendung von FLUENT wurden detaillierte Simulationen des Raumverhaltens im Winter durchgeführt. Bei diesen stationären Simulationen wurden Wärmeleitung, Strahlung und Konvektion inklusive Feuchtigkeitstransport berücksichtigt. Die Ergebnisse der Simulation haben entscheidend dazu beigetragen, die Problemzonen zu detektieren. Als Hauptursachen für den mangelnden Komfort wurden die kühlende Wirkung der Wasserrutsche sowie eine fehlende Zoneneinteilung des Lüftungssystems identifiziert.

ABSTRACT

The paper describes investigation of the indoor environment of a pool hall by means of CFD simulation (Computational Fluid Dynamics) in software FLUENT. A set of detailed simulations of the indoor air quality as well as thermal comfort was conducted for winter conditions. In these simulations, stationary heat conduction, convection and radiation were considered, including moisture transport. The simulation results greatly helped to identify the problem causing areas. The main causes of the discomfort identified were: the cooling effect of the switchback and the ventilation system design and the poor ventilation system design - zoning ignored.

EINLEITUNG

Unter Betrachtung steht ein Hallenbad, bei welchem Schwierigkeiten mit dem Raumklima aufgetreten sind. Dieses Bad befindet sich in Südmähren, in einem Klimagebiet mit Winterrechnungstemperatur

von -15 °C. Das Bad ist in zwei Höhenniveaus unterteilt. Im unteren Teil enthält das Bad ein Schwimmbecken und ein Becken für eine Wasserrutsche, die im Außenbereich angeordnet ist. Der obere Teil enthält ein Pool für Kleinkinder, ein Whirlpool, eine Sauna, Ankleideräume und andere Nebenräume – siehe Bild 1 und 2.

Das Klima im Bad wird durch eine zentrale Klimaanlage mit Entfeuchtungsfunktion eingestellt. Letztere ist mittels einer Wärmepumpe über das Kondensationsprinzip realisiert. Das ganze Bad ist als eine Temperaturzone konzipiert und im Winterbetrieb ist die Temperatur der zugeführten Luft ca. 35 °C. Die Lufttechnik im unteren Teil enthält folgende Zuleitungselemente: Weitwurfdüsen, Wandauslässe, Deckendrallauslässe, und folgende Heizelemente: Heizkörper und eine Fußbodenheizung.

Die Lufttechnik in dem oberen Teil enthält folgende Zuleitungselemente: Wandauslässe, Deckendrallauslässe und folgende Heizelemente: Fußbodenkonvektoren und Fußbodenheizung.

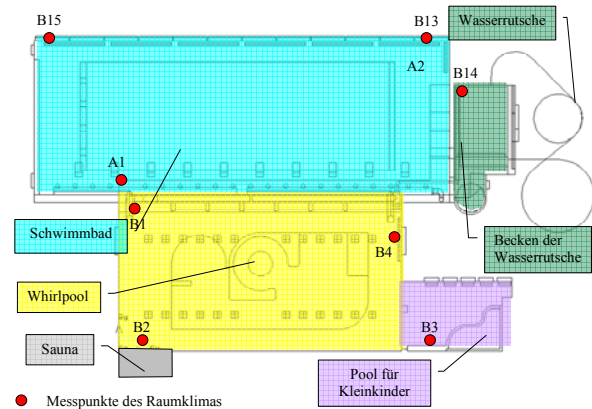


Abbildung 1 Grundriss mit den Messpunkten

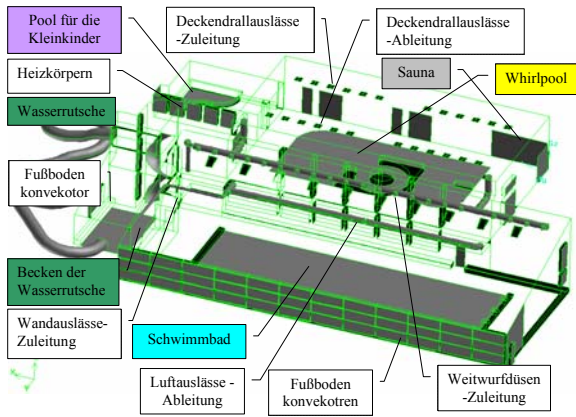


Abbildung 2 Lage der Luft und Heizelemente

PROBLEMSTELLUNG

Im betrachteten Schwimmbad wurde festgestellt, dass die Heizleistung durch Lüftung sowie Heizung höher ist, als die prognostizierten Wärmeverluste. Trotzdem fühlen sich die Besucher im Winter in gewissen Bereichen unbehaglich, vor allem in den niedrigen Teilen des Bades, das sind Schwimmbad und Beckenbereich bei der Wasserrutsche. Außerdem wurden subjektiv ziemlich große Temperaturunterschiede zwischen dem unteren und dem oberen Teil des Bades empfunden. Um die Ursachen für diese Unbehaglichkeiten festzustellen, wurde sowohl eine experimentelle als auch eine theoretische Untersuchung durchgeführt.

Experiment

Es wurden umfangreiche Messungen des Raumklimas mit unterschiedlicher Dauer durchgeführt. Die Lage der wichtigsten Messpunkte ist in Abbildung 1 dargestellt. Es wurden die Parameter des Raumklimas nach ISO 7730:2005 aufgenommen. Nähere Informationen zu diesen Messungen finden sich in Hirš et al., 2009. Diese Experimente haben gezeigt, dass das Raumklima, vor allem in Bereichen geringer Raumhöhen, im Schwimmbad und im Beckenbereich der Wasserrutsche, unzureichend komfortabel ist. Aus den Messungen des Raumklimas wurden auch die Randbedingungen für die theoretischen Untersuchungen abgeleitet.

MODELLIERUNG UND RANDBEDINGUNGEN

Die detaillierten Simulationen des Raumverhaltens wurden unter Verwendung von FLUENT 6.3 durchgeführt. Dabei wurde die Situation für den Winter betrachtet. Die Simulationen sind stationär und berücksichtigen Wärmeleitung, Strahlung und Konvektion inklusive Feuchtigkeitstransport aus den Wasserflächen. Es wurden das Turbulenz-Modell RNG k- ϵ und das Strahlungs-Modell „Discrete

ordinates“ (Fluent Inc. 2006) verwendet. Die Luft wurde als inkompressibles Idealgas modelliert. Alle Oberflächen wurden als matte, diffuse Strahler betrachtet, mit einheitlichem integrealem Emissionskoeffizienten $\epsilon = 0,9$. Zuleitungsauslässe wurden als „mass-flow-inlet“ und Ableitungsöffnungen als „outflow“ modelliert.

Die thermodynamischen Randbedingungen wurden von den experimentellen Daten und Daten aus dem zentralen Mess- und Regelsystem übernommen. Für die Umgebungsrandbedingungen wurde die Wintersituation genommen. Die Wärmewiderstände der Baukonstruktionen wurden vom bauphysikalischen Projekt übernommen. Bezüglich der Wasserrutsche wurde in den Simulationen das ungünstigste Szenarium angenommen, nämlich jenes bei welchem kein Wasser über die Rutsche fließt und diese dadurch nur als Spiralkühler fungiert.

Tabelle 1
Randbedingungen

NAME	TEMPERATUR °C	MASSEN STROM KG/S	TURBULENZ- INTENZITÄT %	HYDRAULISCHER DURCHMESSER M
Weitwurfdüsen	35	3,3660	10	0,15
Wandauslässe	35	0,0904	10	0,15
Deckendrall- Auslässe	35	1,8908	10	0,30
Sauna	36	0,1482	30	2,00
Strömung aus Fußboden- Konvektoren	42	1,0260	30	0,15
Strömung aus Heizkörpern	45	0,0792	30	0,15
Fußboden- heizung	24			
Wasserflächen	29			

Um die Luftfeuchtigkeitsverteilung simulieren zu können, wurden folgende Randbedingungen verwendet:

- die Wasserbeladung der aufbereiteten Luft ist für alle Auslässe 0,001 kg/kg;
- die Wasserbeladung der Luft aus der Sauna ist 0,020 kg/kg;
- die Wasserbeladung in der Wasserrutsche, an Wasserflächen oder nassen Flächen, wurde als Luftfeuchtigkeit in der Grenzschicht mit dem Wert 0,025 kg/kg gesetzt.

SIMULATION

Die Ergebnisse der Simulation sind in den Bildern 3 – 8 zusammengestellt.

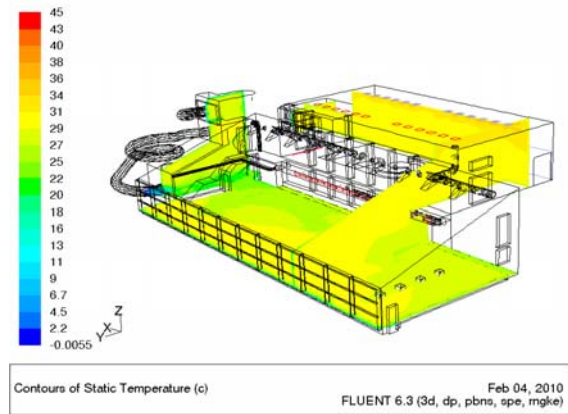


Abbildung 3 Lufttemperaturverteilung in verschiedenen Schnitten

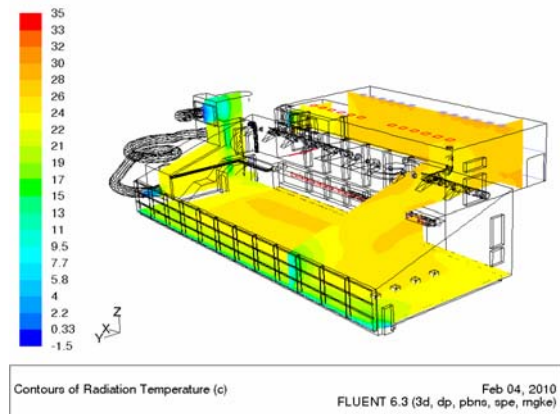


Abbildung 4 Temperaturverteilung zufolge Strahlung

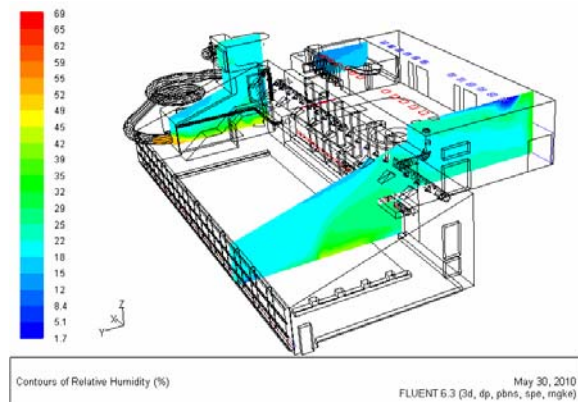


Abbildung 5 Verteilung der relativen Feuchtigkeit

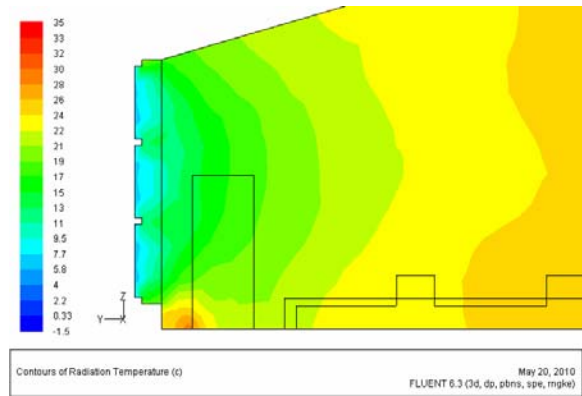


Abbildung 6 Verteilung der Temperatur zufolge Strahlung

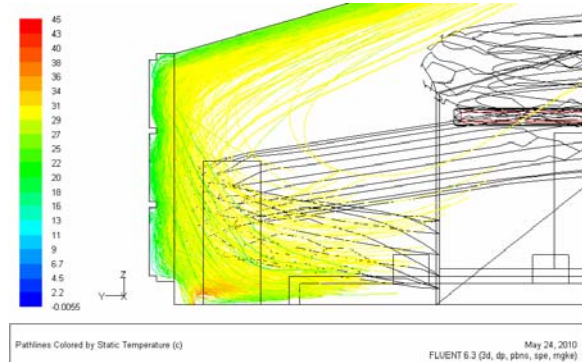


Abbildung 7 Strömung aus Düsen längs Decke und Glas-Wand

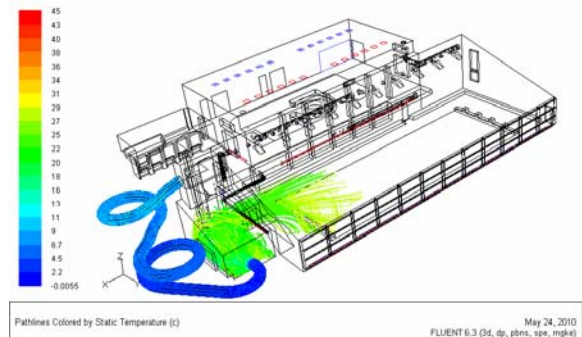


Abbildung 8 Kalte Strömung aus der Wasserrutsche ins Schwimmbad

DISKUSSION DER SIMULATIONSERGEBNISSE

Der thermische Komfort an der äußeren Glaswand ist stark durch die Wärmestrahlung beeinflusst. Daher sinkt hier auch die „operative“ Temperatur.

Als Hauptursachen für das unbehagliche Raumklima wurden folgende Punkte identifiziert:

- die mangelnde Wärmestrahlung der kalten Glaswände im Schwimmbad – siehe Bild 6;
- die starke Dominanz der Strömung aus den Düsen im Deckenbereich des Schwimmbads und die damit einhergehende Umlenkung der

Strömung von den vor der Glaswand angeordneten Fußboden-Konvektoren, welche dadurch wirkungslos gemacht wurden – siehe Bild 7;

- die kühlende Wirkung der Wasserrutsche, welche eine kalte Strömung in das Schwimmbad bewirkt – siehe Bild 8;
- eine fehlende Zoneneinteilung des Lüftungssystems, welche im Allgemein höhere Temperaturen in den oberen Räumen und niedrigere Temperaturen in den unteren Räumen des Bads verursacht – siehe Bild 3.

Die Ergebnisse der Simulation haben gezeigt, dass die relative Luftfeuchtigkeit sich überwiegend in geeigneten Werten bewegt, mit Ausnahme eines Raumes in der Nähe der Sauna – siehe Bild 5. Die Ursache dafür liegt in der sehr warmen Luft, die aus der Sauna in diesen Raum strömt.

SIMULATION MIT VERBESSERUNGSMODIFIKATIONEN

Um die eben genannten Hauptursachen für den mangelnden Komfort zu eliminieren, wurden folgende Verbesserungsmodifikationen vorgeschlagen:

- der Wärmewiderstand der kalten Glaswände im Schwimmbad wird um $0,5 \text{ W}\cdot\text{m}^2\cdot\text{K}^{-1}$ erhöht;
- die Wärmedämmung der Wasserrutsche wird bis auf $0,25 \text{ W}\cdot\text{m}^2\cdot\text{K}^{-1}$ erhöht;
- der ganze Raum wird in zwei Lüftungssystemzonen gegliedert – die erste Zone enthält die oberen Räume und die zweite Zone enthält die unteren Räume, wobei die Temperatur der zugeleiteten Luft aus den Auslässen bis auf 40 °C erhöht wird.

Die Ergebnisse der Simulation nach Umsetzung der Verbesserungsvorschläge sind in den Bildern 9 – 10 dargestellt.

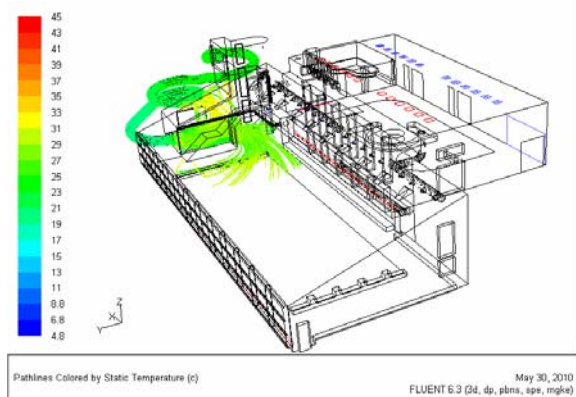


Abbildung 9 Kalte Strömung aus der Wasserrutsche ins Schwimmbad nach der Verbesserung

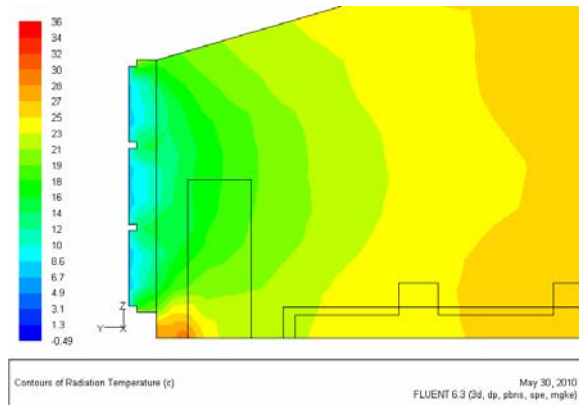


Abbildung 10 Verteilung der Temperatur zufolge Strahlung nach der Verbesserung

ABSCHLIESSENDE DISKUSSION UND ZUSAMMENFASSUNG

Die Ergebnisse nach der Verbesserung sehen zufriedenstellend aus. Vor allem die kühlende Wirkung der Wasserrutsche konnte eliminiert und die mangelnde Wärmestrahlung der Glaswände im Schwimmbad konnte reduziert werden.

Die Anwendung der CFD Simulation hat geholfen:

- bei der Identifikation der Ursachen des unzufriedenstellenden Raumklimas;
- bei der Erprobung verschiedener Verbesserungsmodifikationen.

Unter Verwendung von FLUENT und experimentellen Messungen wurden detaillierte Simulationen des Raumverhaltens im Winter durchgeführt. Bei diesen stationären Simulationen wurden Wärmeleitung, Strahlung und Konvektion inklusive Feuchtigkeitstransport berücksichtigt. Die Ergebnisse der Simulationen haben entscheidend dazu beigetragen, die Problemzonen zu detektieren. Als Hauptursachen für den mangelnden Komfort wurden die kühlende Wirkung der Wasserrutsche sowie eine fehlende Zoneneinteilung des Lüftungssystems identifiziert.

Die Simulationen zeigen auch deutlich den großen Einfluss der außerhalb des Gebäudes geführten und nicht wärmedämmten Wasserrutsche auf das Klima im Schwimmbad.

DANKSAGUNG

Die Forschung wurde teilweise durch die spezifische Forschung an der TU Brno Fakultät für Bauingenieurwesen unterstützt.

LITERATUR

Fluent Inc. 2006. User's guide for Fluent. Release 6.3.

Hirš, J., Šíkula, O., Kalousek, M., Šíma, J.,
Posouzení stávajícího vzduchotechnického
systému bazénových hal Městských lázní v
Boskovicích. Odborný posudek. 28 p. 2010.
Brno. Česká republika.

ISO 7730:2005 Ergonomics of the thermal
environment - Analytical determination and
interpretation of thermal comfort using
calculation of the PMV and PPD indices and
local thermal comfort criteria