

Ing. Vladimíra LINHARTOVÁ, Ph.D.¹⁾
 doc. Ing. Ondřej ŠIKULA, Ph.D.²⁾
 doc. Ing. Vladimír JELÍNEK, CSc.¹⁾

¹⁾ČVUT v Praze, Fakulta stavební,
 Katedra technických zařízení
 budov

²⁾VUT v Brně, Fakulta stavební,
 Ústav technických zařízení budov

Recenzent
 prof. Ing. František Drkal, CSc.

Simulace teplotního chování konstrukce s ledovou plochou



Simulation of Thermal Behaviour of a Building Structure with Ice Rink

Předmětem článku je analýza velikosti tepelného toku a průběhu teplot ve skladbě konstrukce mezi registrem chlazení ledové plochy a vrstvou temperování podloží pod ledovou plochou na zimním stadionu. Zdrojem tepla pro temperování je odpadní teplo z chladicího oběhu. V článku jsou využita data z měření in situ; místním systémem měření a regulace byly evidovány teploty ledu, teploty temperovací kapaliny a teplota na čidle v podloží. Zjištěné hodnoty sloužily ke kalibraci modelu v programu CalA. Výpočetní model využívá nestacionární 2D simulace teplotního chování ledové plochy s podložím, zahrnující fázovou změnu ledu a tepelné sálání mezi ledovou plochou a střešou. Z výsledků modelované skladby uvedené konstrukce je patrné, že část tepelného toku z vrstvy temperování prochází do vrstvy chlazení a zvyšuje tak tepelnou zátěž odváděnou systémem chlazení.

Klíčová slova: zimní stadion, ledová plocha, zamrznutí podloží, odpadní teplo, temperování podkladního betonu

The aim of the paper is the analysis of heat flux and temperature distribution in the building structure between the ice rink cooling register and the subsoil tempering layer under the ice rink of an ice arena. The source of heat for tempering is the cooling circuit waste heat. Data from in situ measurements were used in the article; the ice temperature, tempering fluid temperature and temperature of the subsoil sensor were recorded by the local measurement and control system. The recorded values were used to calibrate the model in CalA. The computational model uses an unsteady 2D simulation of thermal behaviour of the ice rink with subsoil, including phase change of ice and thermal radiation between the ice surface and the roof. From the results of the modelled building structure it is apparent that part of the heat flux from the tempering layer passes into the cooling layer and thus increases the thermal load removed by the cooling system.

Keywords: ice arena, ice rink, subsoil freezing, waste heat, tempering of foundation concrete

ÚVOD DO PROBLEMATIKY

Dlouhodobým chlazením ledové plochy může dojít k narušení podloží, k vyboulení a nevratnému poškození dané konstrukce, pokud je založena na rizikových zeminách. Temperování slouží jako prevence podchlazení a postupného zmrazení podloží z namrzavých zemin. Předmětem článku je vyhodnocení tepelného toku v souvrství konstrukce v závislosti na teplotách temperovací kapaliny a tloušťce tepelné izolace.

V návaznosti na řešenou problematiku se např. publikace [1] zabývá modelováním velikosti tepelné zátěže na ledovou plochu a uvádí, že největší

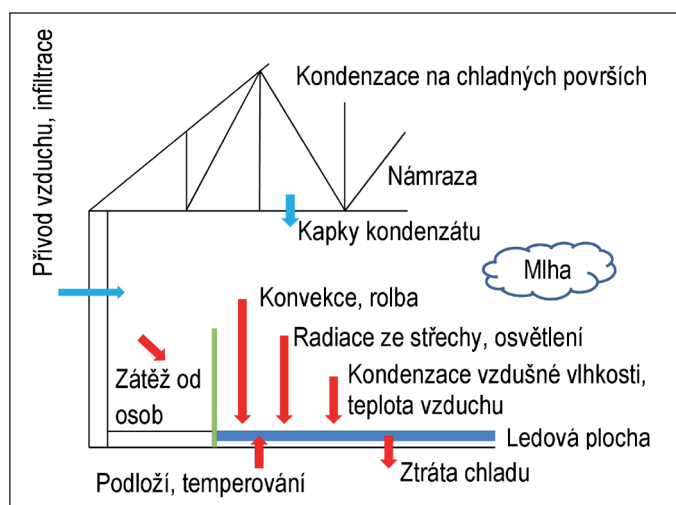
tepelná zátěž je způsobena sáláním od střešní konstrukce. Problematice kondenzace vlhkosti na střešní konstrukci, možnostem předcházení tohoto vlivu a s tím souvisejícímu dopadu na tepelnou zátěž sáláním je věnován článek [2]. Podmínky, které musí v podloží pod trvale chlazenou plochou nastávat, aby došlo k jejímu podchlazení a poškození, jsou podrobně vysvětleny v článku [3]. Numerickým modelováním fázových změn tání/tuhnutí vody a jiných PCM v budovách se zabývají například práce [9], [10], [11], [12].

TEPELNÁ ZÁTĚŽ NA LED UVAŽOVANÁ V SIMULACI

Tepelná zátěž na ledovou plochu působí vedením, prouděním a sáláním (obr. 1). Prouděním na led působí vzduch v hale v závislosti na své teplotě a vlhkosti. Sálání střešní konstrukce a od instalovaného osvětlení společně tvoří část tepelné zátěže radiací. Tepelná zátěž vedením je způsobena rolováním, prostupem tepla ze souvrství temperování a také tepelnými zisky od sportovců na ledu dle [4].

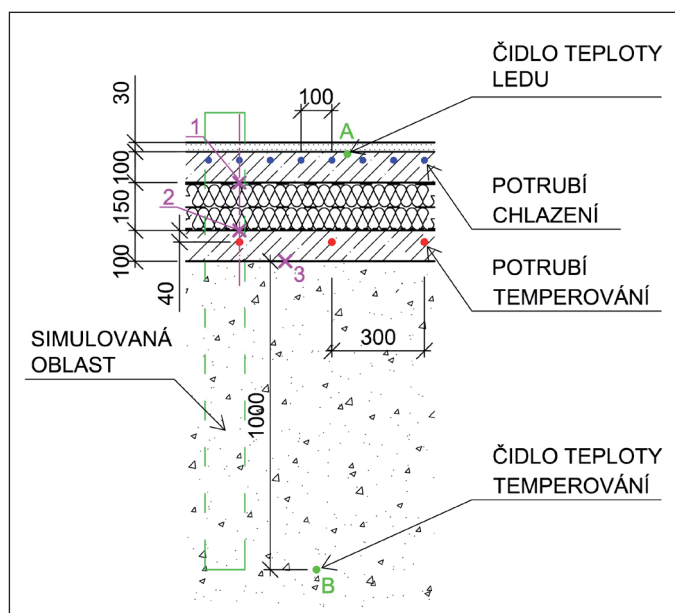
ŘEŠENÁ SKLADBA KONSTRUKCE

Uvedený zimní stadion má dvě ledové plochy, které jsou dále nazývány hlavní a tréninková. Řešená skladba konstrukce na zimním stadionu je podrobně zobrazena na obr. 2. Tloušťka ledu je 30 mm. Ocelové potrubí chlazení průměru 22 mm je zabudováno v betonové roznášecí desce tloušťky 100 mm. Osová vzdálenost mezi potrubím chlazení je 100 mm. Vrstva tepelné izolace je z extrudovaného polystyrenu tloušťky 150 mm. Plastové potrubí temperování podloží o průměru 20 mm je zabudováno v betonové desce tloušťky 100 mm. Osová vzdálenost potrubí temperování je 300 mm.



Obr. 1 Schematický řez haly s ledovou plochou a vyznačení tepelné zátěže na led

Fig. 1 Schematic cross-section of the arena with the ice rink and indication of the thermal load on ice



Obr. 2 Simulovaná skladba konstrukce

Fig. 2 Simulated composition of the building structure

Na horním povrchu betonové desky s chladicím potrubím je osazeno čidlo pro měření teploty ledové plochy, na obr. 2 je označeno písmenem A. Teplota betonové desky je regulovanou veličinou tímto čidlem. V ploše jsou osazena 4 čidla a hodnocená teplota je průměrem všech naměřených hodnot.

Čidlo teploty zeminy v podloží je osazeno cca 1000 mm pod betonovou deskou s potrubím temperování, na obr. 2 je označeno písmenem B. Teplota zeminy je regulovanou a sledovanou veličinou čidlem B.

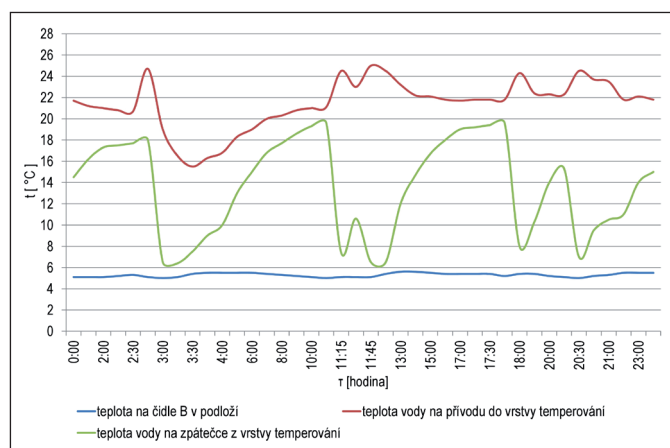
Rozhraní materiálů v místě betonové konstrukce s potrubím chlazení a tepelnou izolací je pro vyhodnocení označeno jako bod 1, rozhraní tepelné izolace a betonové konstrukce s potrubím temperování je označeno jako bod 2. Kritický bod pro vyhodnocení největšího rizika zamrznutí podloží je označen jako bod 3.

TEPLoty LEDU A PODLOŽÍ ZJIŠTĚNÉ IN SITU

V grafu na obr. 3 jsou znázorněny průběhy teploty kapaliny na přívodu a zpátečky potrubí temperování podloží, měřené na rozdělovači a sběrači, a také teplota naměřená čidlem B v podloží; veškeré hodnoty jsou ze dne 10. 1. 2015. Interval měřených teplot je 5 minut. Kapalinou pro temperování podloží je upravená voda, která je ohřívána latentním teplem kondenzace chladiva odebíraným vloženým deskovým výměníkem do čpavkového chladicího oběhu.

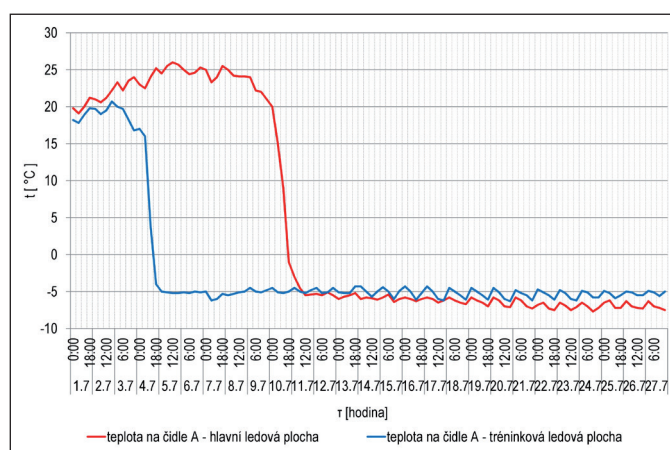
Teplota na čidle B v podloží se pohybuje od 4,3 do 5,6 °C. Teplota vody pro temperování na přívodu osciluje mezi 15,5 až 25 °C. Průměrná teplota byla stanovena z dat pro celý měsíc leden 2015 a její hodnota je 22,8 °C. Teplota na vratném potrubí je 6 až 20 °C, průměrná hodnota 16 °C (stanovena z dat pro celý měsíc leden 2015). Průměrný teplotní spád mezi přívodem a zpátečkou je 6,8 K.

Teplotní průběh vychlazování ledových ploch na začátku sezóny v červenci je znázorněn na obr. 4. Modrá křivka (čidlo teploty A) zobrazuje postup chladnutí betonové desky a vody až po změnu skupenství na led o teplotě -5 °C na tréninkové ploše. Hlavní ledová plocha, znázorněná červenou křivkou (čidlo teploty A), je vychlazována o pět dnů později.



Obr. 3 Průběh teploty vody na přívodu a zpátečky, hodnoty z čidla temperování B ze dne 10. 1. 2015

Fig. 3 Time-course of water temperature at supply and return, values from temperature sensor B from the day 10. 1. 2015



Obr. 4 Teplota povrchu hlavní a tréninkové hrací plochy (čidlo A) v červenci 2015

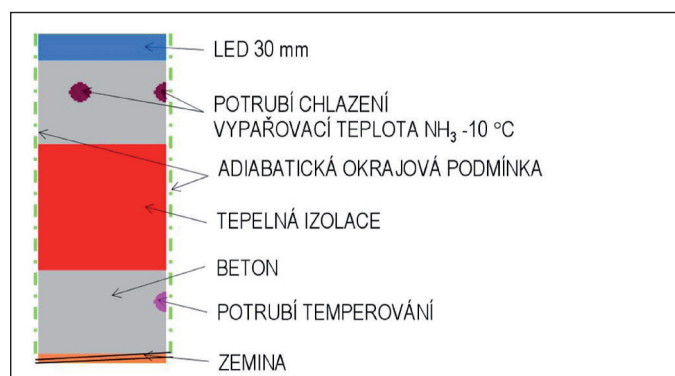
Fig. 4 Surface temperature of the main and training ice rink (sensor A) in July 2015

Postup tvorby ledové plochy probíhal následovně. Po očištění betonové desky byly spuštěny všechny chladicí stroje na maximální výkon, dokud beton nedosáhl teplot -4 až -5 °C. Poté byly nanášeny hadicemi vrstvy vody tloušťky 5 mm, které na betonu postupně zamrzaly. Druhá vrstva ledu byla natřena bílou barvou, aby na ploše vynikl puk, čáry a ostatní nápisy; pak následovala další vrstva vody. Nátěr betonu bílou barvou před nanášením vody se neosvědčil, protože barva oprýskala. Poté bylo možné na led připravit čáry a reklamy. Nakonec byly doplněny dvě vrstvy vody až do požadované finální tloušťky ledu; první vrstva tloušťky 5 mm a poslední vrstva tloušťky 10 mm. Celková tloušťka ledu je 30 mm.

Maximální možný chladicí výkon chladicích strojů pro obě dvě plochy je 882 kW pro výpočetní jmenovitý stav o teplotě vypařovací -12 °C a teplotě kondenzační 35 °C. Chladicí stroje připraví plochu s ledem o požadované teplotě za 24 hodin. Poté, co je ledová plocha vytvořena, lze v grafu na obr. 4 vidět noční útlumy chlazení, kdy se teplota ledu zvýší o 1 °C.

VÝPOČETNÍ MODEL V PROGRAMU CaIA

Souvrství konstrukce ledové plochy (obr. 5) bylo modelováno v programu CaIA [5]. Vzhledem k osové vzdálenosti potrubí temperování 300 mm byla zvolena šířka modelu 150 mm (obr. 2). Diskreditace výpočetní sítě modelu je 2 × 2 mm.



Obr. 5 Schéma výpočetního modelu

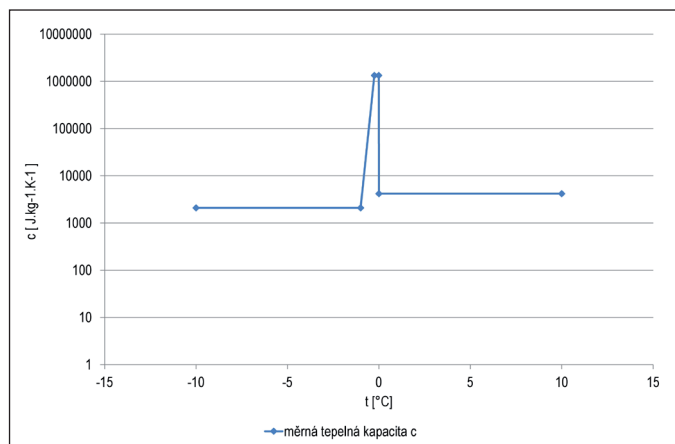
Fig. 5 Schematic diagram of the computational model

V tab. 1 jsou uvedeny tepelně-technické vlastnosti použitých materiálů. Změna skupenství vody na led byla definována třemi proměnnými parametry závislými na teplotě tekutiny (tepelná vodivost, hustota, měrná tepelná kapacita).

Pokud dochází ke změně skupenství (např. při tání nebo tuhnutí ledu), roste tepelná kapacita látky nad všechny meze, protože za této situace se sdílí teplo, avšak teplota látky se nemění. Ve výpočtu nelze pracovat s nekonečně velkou tepelnou kapacitou, a proto byla její hodnota v oblasti fázové změny aproximována, jak ukazuje graf na obr. 6. Předpokládali jsme, že tání nebo tuhnutí nastává v rozsahu teplot -0,5 až 0 °C, a v tomto intervalu je průběh měrné tepelné kapacity takový, aby plocha pod čarou $c = f(t)$ odpovídala skupenskému teplu fázové změny.

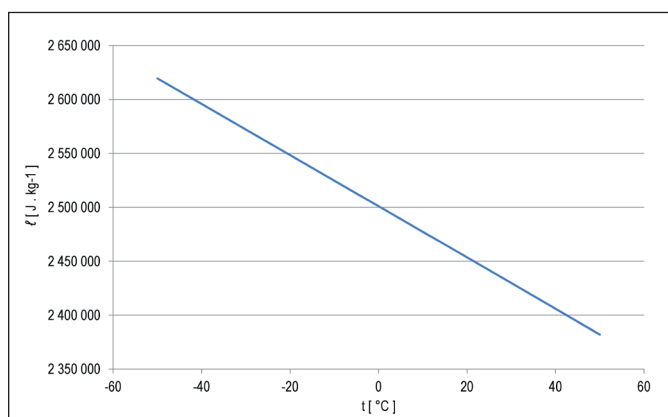
Simulační model používá zjednodušenou závislost výparného a sublimačního tepla na teplotě podle obr. 7. Sublimační teplo ledu je ve skutečnosti vyšší než výparné teplo vody (v grafu by tedy měla být skoková změna při teplotě 0 °C) a liší se také průběhy těchto dvou veličin v závislosti na teplotě. V našem modelu jsme skutečnou teplotní závislost výparného a sublimačního tepla v uvažovaném rozsahu teplot nahradili jedinou přímkou – viz obr. 7. Zároveň jsme si ověřili, že vliv tohoto zjednodušení na výsledky lze zanedbat. Závislost tlaku sytých vodních par na teplotě byla uvažována podle obr. 8.

V simulaci je uvažováno, že chlazení a temperování je v provozu vždy současně, a to v období od července do konce dubna, zbytek roku není ledová vrstva udržována. Teplota vzduchu v hale je udržována konstantní systémem řízeného větrání s odvlhčováním na hodnotě 10 °C.



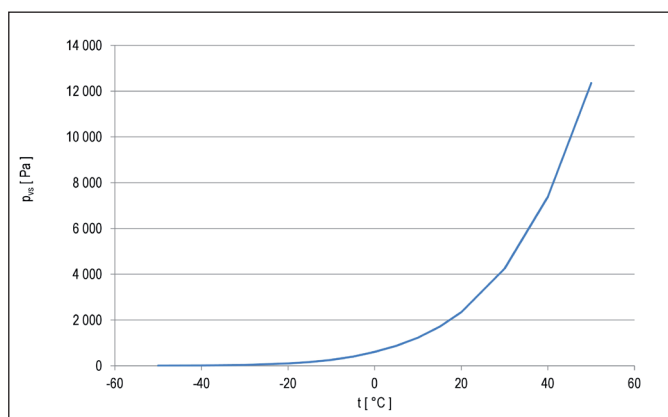
Obr. 6 Měrná tepelná kapacita vody a ledu c [$\text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$] v závislosti na teplotě t [$^{\circ}\text{C}$] [8]

Fig. 6 Specific heat capacity of water and ice c [$\text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$] in dependence on temperature t [$^{\circ}\text{C}$] [8]



Obr. 7 Měrné teplo skupenské přeměny – vypařování vody a sublimace ledu [8]

Fig. 7 Specific latent heat – evaporation of water and sublimation of ice [8]



Obr. 8 Průběh parciálního tlaku sytých vodních par p_{vs} [Pa] v závislosti na teplotě t [$^{\circ}\text{C}$] [8]

Fig. 8 Course of partial pressure of saturated water vapour p_{vs} [Pa] in dependence on temperature t [$^{\circ}\text{C}$] [8]

Tab. 1 Tepelně-technické vlastnosti materiálů

Tab. 1 Properties of materials

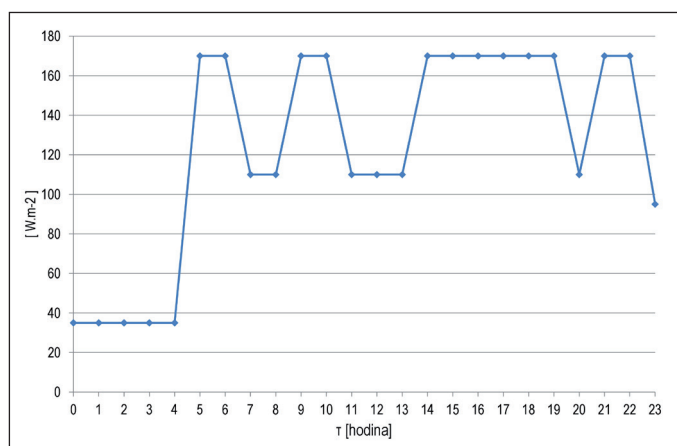
Materiál	Tepelná vodivost λ [$\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$]	Hustota ρ [kg.m^{-3}]	Měrná tepelná kapacita c [$\text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$]
Tepelná izolace	0,035	33	2060
Beton	1,23	2100	1020
Zemina	1,4	1800	600
Vzduch v hale	1000	1,2	1010
Voda-led	proměnná v závislosti na teplotě	proměnná v závislosti na teplotě	proměnná v závislosti na teplotě

Okrajové podmínky v simulaci

Modelovaná konstrukce a okrajové podmínky na povrchu budoucího ledu (na začátku simulace je zde voda) jsou graficky znázorněny na obr. 10.

Bezprostředně na vodní hladině je zaveden vnitřní zdroj tepla, který nahrazuje vliv tepelného toku odparem během zmrazování vody. Tento zdroj je zaveden v simulaci jen během změny skupenství. Na obr. 10 označeno: Vrstva „A“.

V modelu je vytvořena vrstva, která simuluje koeficient přenosu tepla konvekcí (tepelné zisky prouděním) a tepelné zisky sáláním ze střešní

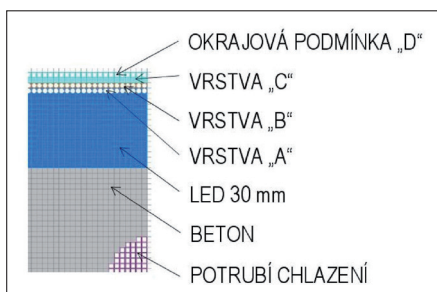


Obr. 9 Tepelná zátěž [W.m⁻²] od úpravy ledové plochy rolbou, od osob, vzdušné vlhkosti a osvětlení na ledovou plochu v průběhu dne

Fig. 9 Heat load [W.m⁻²] from ice surface treatment by ice resurfacing machine, from people, air humidity and lighting on the ice surface during the day

konstrukce (souvisí s emisivitou povrchu střechy). Na obr. 10 označeno: Vrstva „B“.

Následuje vrstva, která představuje vzduch v hale a tepelné zisky na ledovou plochu, tzn. zisk z úpravy ledové plochy rolbou, od osob, vzdušné vlhkosti, osvětlení. Teplota suchého teploměru vzduchu v hale je zadána 10 °C; v měsicích, kdy není udržována ledová plocha (duben, květen, červen), je teplota vzduchu v hale stejná jako teplota venkovního vzduchu. Tepelné zátěže jsou modelovány podle harmonogramu obsazenosti a požadované intenzity osvětlení hodnotami [W.m⁻²] – viz graf na obr. 9. Na obr. 10 je tato zátěž označena: Vrstva „C“.



Obr. 10 Detail výpočetní sítě a zavedené okrajové podmínky

Fig. 10 Detail of numerical mesh and used boundary conditions

Jako čtvrtá je zavedena podmínka zohledňující distribuci přiváděného vzduchu do haly, schopnost promíchání proudů vzduchu a také teplotní vliv přivodního vzduchu na průměrnou teplotu v hale. Okrajová podmínka je definována součinitelem přestupu tepla ze vzduchové vrstvy na led 1000 W.m⁻².K⁻¹ (intenzivní vliv vzduchu přiváděného VZT na led v hale) a teplotou tohoto přivodního vzduchu. Okamžitá teplota vzduchu nad ledovou plochou je ovlivněna i teplotou ledové plochy a vnitřními tepelnými zisky v hale. Na obr. 10 je tato podmínka označena: Okrajová podmínka „D“.

Se zvyšující se rychlostí proudění vzduchu nad vodní hladinou se přestup tepla zvyšuje. Pokud je rychlost proudění vzduchu kolem budoucí ledové plochy nízká, je odpor při přestupu tepla vyšší. Rychlost proudění vzduchu, a tudíž součinitel přestupu tepla mají velký vliv na rychlost zamrzání vodní hladiny [6].

Pro přestup tepla z čpavky do ocelového potrubí chlazení a z temperovací kapaliny do plastového potrubí byly stanoveny příslušné součinitele konvekce.

Teplota chladiva v potrubí je -10 °C, teplota temperovací kapaliny je proměnná od 20 do 25 °C v závislosti na požadované kondenzační teplotě

(proměnná v závislosti na teplotě mokrého teploměru venkovního vzduchu). Chlazení a temperování je v provozu vždy zároveň.

Do simulace byla použita teplota neovlivněné zeminy v hloubce $\delta_z = 100$ m pod povrchem, hodnota 10,96 °C [7] podle rovnice (1). Tepelná vodivost zeminy λ_z , viz tab. 1.

$$-\lambda_z \frac{\partial T}{\partial n} \Big|_{z,1} = \frac{\lambda_z}{\delta_z} (T_{z,1} - T_{z,100}) \quad (1)$$

kde je:

z_{100} index označující zeminu 100 m pod povrchem,

z_1 index označující zeminu 1 m pod spodní hranou betonové desky.

Kalibrace výpočetního modelu

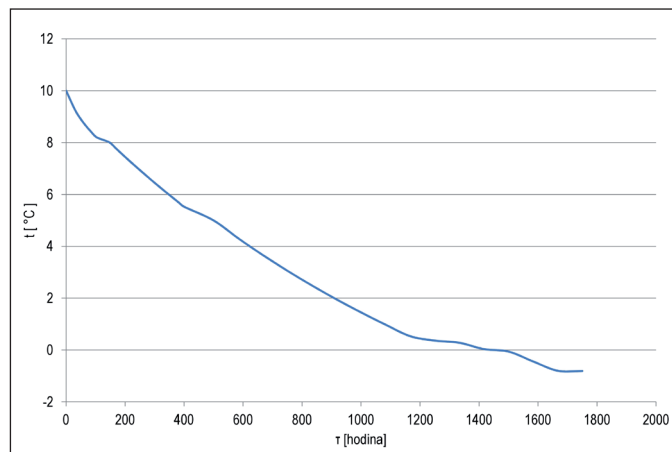
Pro kalibraci modelu byly využity hodnoty z in situ měření evidované místním systémem MaR. Teploty přivodní temperovací kapaliny jsou v simulaci v rozmezí nejčastěji se vyskytujících hodnot z měření, tedy 20 až 25 °C. Čidlo teploty v zemině je umístěno v hloubce 1 m pod betonovou deskou osově uprostřed mezi potrubím přívodu a zpátečky systému temperování a v tomto místě byly sledovány hodnoty zjištěné modelováním. Měřené teploty v podloží jsou v lednu 4,3 až 5,6 °C v hloubce 1 m a podle těchto byl model kalibrován (čidlo B). Druhým sledovaným parametrem byla teplota ledu na čidle označeném písmenem A.

Výsledky simulace

Simulace byly provedeny pro skladbu konstrukce uvedenou na obr. 2 včetně vrstvy zeminy do hloubky 1 m. Konstrukce byla pro porovnání výsledků modelována i bez potrubí temperování v betonu. Bod 3 byl zvolen pro vyhodnocení jako nejkritičtější bod z hlediska začátku zamrzání podloží.

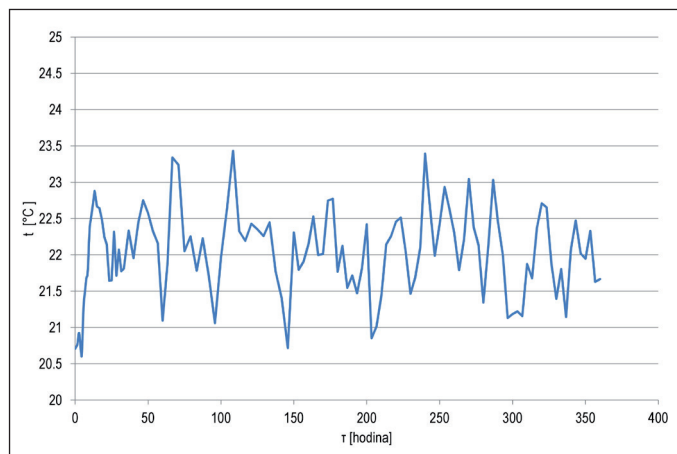
Bod 3 v souvrství bez temperování dosáhne teploty -0,1 °C po 61 dnech chlazení. Chlazení je v provozu bez přestávek a vypařovací teplota chladiva je konstantní -10 °C. Průběh teploty v daném bodě je zobrazen v grafu na obr. 11. Oproti tomu se průběhy teplot v bodě 3 reálné konstrukce s instalovaným potrubím aktivace podloží pohybují v rozmezí od 20,6 do 23,4 °C v závislosti na teplotě temperovací vody, viz obr. 12. Je potvrzeno, že instalaci potrubí temperování podloží zde teplota neklesá a závisí na teplotě temperovací látky. Pokud je v bodě 3 teplota nad bodem mrazu, předpokládá se, že v celé konstrukci je teplota vyhovující.

Na obr. 13 jsou znázorněny průběhy teploty a měrného tepelného toku v řezu konstrukce po 8 dnech provozu. Teploty temperovací vody viz obr. 3. Z výsledků je patrné, že podloží je ohříváno na teploty vyšší, než je nutné jako prevence proti promrzání podloží.



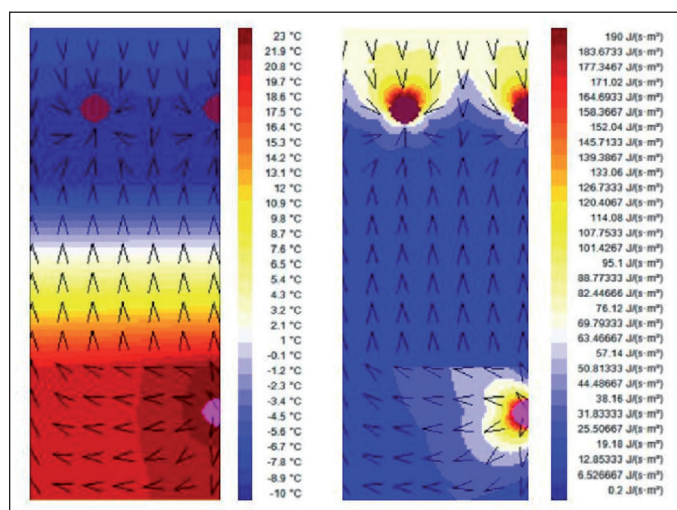
Obr. 11 Průběh teploty v bodě 3 konstrukce bez potrubí temperování

Fig. 11 Time-course of temperature at point 3 of the construction without tempering pipeline



Obr. 12 Průběh teploty v bodě 3 konstrukce s temperováním

Fig. 12 Time-course of temperature at point 3 of the construction with tempering



Obr. 13 Charakteristické vertikální rozložení teploty t [°C] a měrného tepelného toku $[J.s^{-1}.m^{-2}]$ při nestacionárním chování a teplotách temperovací látky zjištěných in situ

Fig. 13 Typical vertical distribution of temperature t [°C] and specific heat flow $[J.s^{-1}.m^{-2}]$ under unsteady behaviour and tempering temperatures assessed in situ

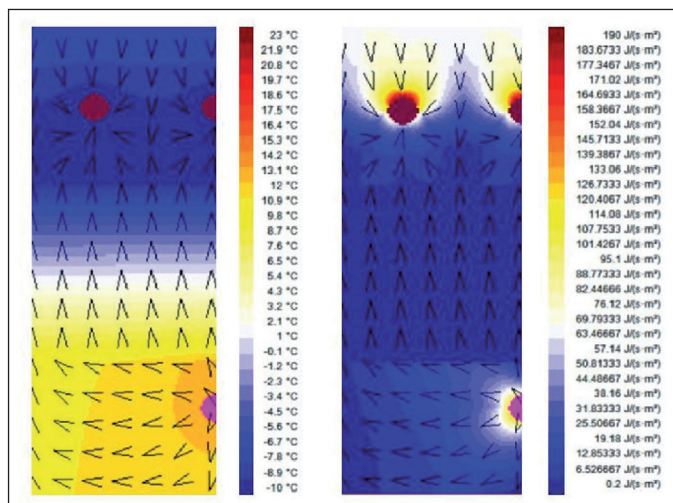
Charakteristické vertikální rozložení teploty a měrného tepelného toku na obr. 13 a 14 je zobrazeno pro zadané materiály v konstrukci (beton, zemina, tepelná izolace, voda/led). V oblasti uvnitř potrubí temperování a potrubí chlazení nejsou tyto hodnoty programem zobrazovány. Barva obou potrubí v modelu je zadána dobře viditelnou stejnou kontrastní barvou.

ZMĚNA TEPLoty PŘÍVODNÍ KAPALINY DO OKRUHU TEMPEROVÁNÍ

Na základě výsledků předchozích simulací je v této kapitole zjišťován dopad snížení teploty temperovací látky.

Stávající způsob využití latentního tepla kondenzace chladiva z chladicího oběhu je řešen tak, že voda z příslušné akumulací nádrže bez ohřevu nebo ochlazení proudí do potrubí temperování. Teplota vody pro temperování podloží závisí na aktuální kondenzační teplotě v chladicím oběhu.

V dalším textu je posouzen jiný, odlišný koncept chladicího oběhu a využití tepla pro temperování podloží, spočívající v tom, že byl do chladicího



Obr. 14 Charakteristické vertikální rozložení teploty t [°C] a měrného tepelného toku $[J.s^{-1}.m^{-2}]$ při nestacionárním chování a teplotách temperovacího média vypočítaných za dochlazovačem (9 až 15 °C)

Fig. 14 Typical vertical distribution of temperature t [°C] and specific heat flow $[J.s^{-1}.m^{-2}]$ for unsteady behaviour and tempering medium temperatures calculated after the aftercooler (9 to 15 °C)

oběhu zaražen dochlazovač kapalného chladiva, za kterým jsou teploty chladiva nižší než v předchozím případě. V dalších výpočtech jsou uvažovány teploty vody pro temperování podloží 9 až 15 °C.

Popsaná skladba konstrukce byla modelována s nižšími teplotami temperovací kapaliny (tedy 9 až 15 °C), ostatní parametry modelu zůstaly zachovány. Na obr. 14 jsou průběhy teploty a měrného tepelného toku v řezu konstrukce po 8 dnech provozu. Výsledky potvrzují razantní snížení teploty i tepelného toku z vrstvy temperování vzhůru k tepelné izolaci a ledu. Průměrná teplota po 360 hodinách simulace se v bodě 2, po snížení teploty temperovací vody, snížila z hodnoty 21,9 °C na 10,2 °C, tj. o 11,7 °C.

TEPELNÁ ZÁTĚŽ OD TEMPEROVÁNÍ NA LEDOVOU PLOCHU

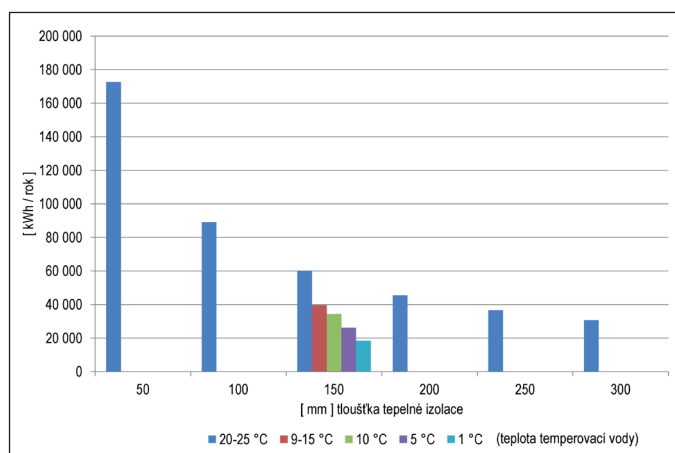
Následovně byl řešen dopad teplotní hladiny temperovací kapaliny na tepelnou zátěž ledové plochy (resp. roční množství energie) vedením od temperování. Simulací byla zkoumána daná konstrukce s tloušťkou tepelné izolace 150 mm pro několik teplot přívodní látky do potrubí.

V grafu na obr. 15 jsou zobrazeny výsledky výpočtu ročního množství energie $[kWh.rok^{-1}]$ předané z temperovací vrstvy do ledové plochy. Pro tloušťku izolace 150 mm je proveden výpočet množství energie pro měřené teploty na přívodu 20 až 25 °C, pro teploty 9 až 15 °C (po zařazení dochlazovače do chladicího oběhu) a pro zvolené konstantní hodnoty teploty vody 10, 5 a 1 °C.

Vliv tloušťky tepelné izolace v konstrukci oddělující vrstvu temperování a chlazení byl simulován jen pro teploty látky pro temperování zjištěné měřením in-situ (20 až 25 °C), viz obr. 15.

V případě snížení teploty přívodního temperovací látky na hodnoty v intervalu od 9 do 15 °C by byla snížena část posuzované tepelné zátěže od temperování (ročního množství energie) až o 35 %. V případě teploty přívodní vody 5 °C by toto snížení bylo až o 55 % ve srovnání s referenčními teplotami přívodní vody 20 až 25 °C. Uvedené hodnoty platí pro ledové hřiště plochy 1500 m² a 5400 provozních hodin za rok.

Snížením teploty temperovací vody se snížil podíl řešené složky tepelné zátěže od temperování na ledovou plochu. Po snížení teplot temperovací



Obr. 15 Množství energie [kWh.rok⁻¹] předané na ledovou plochu od temperování pro variantní tloušťku tepelné izolace a variantní teploty temperovací vody

Fig. 15 Amount of energy [kWh.year⁻¹] transferred to the ice rink from tempering for variant thermal insulation thickness and variant tempering water temperatures

vody na rozmezí 9 až 15 °C se sníží doba chodu zdrojů chladu o 2,1 %, při snížení na 10 °C o 2,6 %, při snížení na 5 °C o 3,4 % a při teplotě 1 °C o 4,2 %.

DISKUZE VÝSLEDKŮ A ZÁVĚR

Cílem hodnocení konstrukce nestacionární 2D simulací bylo vyhodnotit vliv systému temperování podloží pod ledovou plochou na zimním stadionu na velikost části tepelné zátěže vedením na led. Simulací byla zjištěna velikost tepelného toku a směry toku tepla v dané konstrukci. Tepelný tok, který projde tepelnou izolací oddělující chladicí a temperovací vrstvu, ovlivňuje složku tepelné zátěže na ledovou plochu vedením.

Simulací bylo zjištěno, že stávající provozní teploty temperovací látky v objektu způsobují navýšení tepelné zátěže na ledovou plochu a vytápí podloží na vyšší teploty, než je nutné.

Jako opatření proti přetápění podloží bylo stávající řešení porovnáno s alternativou, kdy by byl do chladicího oběhu za kondenzátor zapojen dochlazovač chladiva.

Za dochlazovačem jsou teploty kapalného chladiva, které je zdrojem tepla pro temperování, nižší. Vedlejším přínosem tohoto opatření je dodávka maximálně sytého chladiva k expanznímu ventilu a zvýšení hospodárnosti chladicího oběhu.

Technicky lze k temperování podloží využít i nemrznoucí směs o teplotách do 1 °C, které zajistí teploty v podloží vyšší než 0 °C. Toto řešení nezahrnuje využití odpadního tepla z chladicího oběhu, a proto není podrobněji analyzováno. Temperovací látku by bylo nutné dochladit např. studenou vodou ze sněžné jámy.

Pozn.: Sněžná jáma slouží k shromažďování a postupnému odtávání ledové tříště, kterou rolba odřizne z ledové plochy během úpravy ledu.

Uvedené opatření (s dochlazovačem chladiva) umožní snížit tepelnou zátěž na ledovou plochu s využitím minimálních investičních nákladů. Pokud je snížena tepelná zátěž, jako důsledek dojde ke snížení provozních hodin chladicích strojů.

Budoucí práci lze zaměřit na simulace vlivu změny osové vzdálenosti temperovacího potrubí a podrobněji analyzovat dopad změny tloušťky tepelné izolace.

Kontakt na autora: vladka.linhartova@email.cz

Tento příspěvek vznikl za podpory studentského grantu SGS Českého vysokého učení technického v Praze a projektu č. 19-20943S „Kompatibilita plastů a kovů s materiály pro akumulaci tepla při změnách skupenství pro aplikaci v budovách“ podporovaného Grantovou agenturou České republiky.

Použité zdroje:

- [1] BELLACHE, O., OUZZANE, M., SUNYÉ, R., GALANIS, N. *Transient Energy Flux Analysis in an Indoor Ice Rink Using a CFD Approach* [online]. Dostupné z: <https://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/canmetenergy/files/pubs/2007-033e.pdf>
- [2] ŽÁK, A., ŠIKULA, O. 2013. Air distribution system for elimination of internal surface condensation on the roofs of ice stadiums. In: *Proceedings of CLIMA 2013*. Prague: Society of Environmental Engineering (STP), s. 277–280. ISBN 978-80-260-4001-9.
- [3] HEWETSON, C. *Guidance on frost heave for cold stores and ice rinks* [online]. Dostupné z: <http://www.refconsultancy.com/files/documentdownloadlistmodule/Refrigeration%20frost%20heave.doc>
- [4] OWEN, M. S., KENNEDY, H. E. 2009. 2009 ASHRAE handbook: fundamentals. SI ed. Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigeration, and Air-Conditioning Engineers. ISBN 19-337-4255-0.
- [5] ŠIKULA, O., PLÁŠEK, J. 2015/10/05. CalA 4.0 (Calculation Area). version 4.0 Education [software]. DOI: 10.13140/RG.2.1.1501.7689.
- [6] MICHEJEV, M. A. *Základy sdílení tepla*. Přeložil Ing. Dr. N. Gorbатов. Průmyslové vydavatelství. Knihnice energetického průmyslu. Svazek 9. Praha 1952. 384 stran.
- [7] VESCOM. Data z měření v hlubinných vrtech v období od 1. 3. 2011 do 31. 8. 2014.
- [8] MAREŠ, R. *Tabulky vlastností vody a páry podle průmyslové formulace IA-PWS-IF97*. Brno: VUTUM, 1999. ISBN 80-214-1316-6. Tabulky. Vysoké učení technické v Brně.
- [9] ELMERIAH, A., D. NEHARI a M. AICHOUNI, 2018. *Thermo-convective study of a shell and tube thermal energy storage unit*. Periodica Polytechnica Mechanical Engineering. 62(2), 101–109. DOI: 10.3311/PPme.10873.
- [10] ANDRÁSSY, Z., SZÁNTÓ, Z. 2017. Modelling of latent thermal energy storage systems. *International Review of Applied Sciences and Engineering*. 8(1), 51–56. DOI: 10.1556/1848.2017.8.1.8.
- [11] WONG, R. J. D., AL-JETHELAI, M., EBADI, S., SINGH, A., MAHMUD, S. Investigation of phase change materials integrated with fin-tube baseboard convectors for space heating. *Energy and Buildings*. 2019, 187, 241–256. DOI: 10.1016/j.enbuild.2019.02.005.
- [12] DENG, J., FURBO, S., KONG, W., FAN, J. Thermal performance assessment and improvement of a solar domestic hot water tank with PCM in the mantle. *Energy and Buildings*. 2018, 172, 10–21. DOI: 10.1016/j.enbuild.2018.04.058.

