ATELIER

DEK

DEKPROJEKT s. r. o.
Zakázka číslo: 2018-012357-ŽO

Odborný posudek

Posouzení střešního pláště zimního stadionu v Novém Jičíně z hlediska možné kondenzace vodní páry a návrh optimální skladby střešního pláště

Zimní stadion
U Stadionu
741 01 Nový Jičín

Vypracoval
Ing. Ondřej Židek

Zpracováno v období
Červenec 2018

Verze dokumentu
První vydání

Tento dokument nesmí být bez písemného souhlasu zhotovitele kopírován jinak než celý.

Obsah

1. VŠEOBECNĚ....3
1.1 Předmět....3
1.2 Úkol....3
1.3 Objednatel....3
1.4 Dodavatel....3
1.5 Vypracoval....3
1.6 Kontroloval....3
1.7 Zpracováno v období....3
2. PODKLADY....4
3. SITUACE....5
4. ZADÁNÍ....10
5. OKRAJOVÉ PODMÍNKY....10
6. NÁVRH SKLADBY STŘEŠNÍHO PLÁŠTĚ....13
7. FUNKČNÍ POŽADAVKY....14
8. POUŽITÉ METODY VÝPOČTU....15
9. POŽADAVKY DLE ČSN 730540-2 VE ZNĚNÍ 2011....16
10. POSOUZENÍ SKLADBY STŘEŠNÍHO PLÁŠTĚ....17
11. NÁVRH ÚPRAVY RELATIVNÍ VLHKOSTI INTERIÉROVÉHO VZDUCHU....21
12. POSOUZENÍ DÍLČÍCH ČÁSTÍ STŘEŠNÍ KONSTRUKCE....23
12.1 Ověření rizika kondenzace na ocelových konstrukcích....23
12.2 Ověření rizika kondenzace akustických závěsech....25
13. ZÁVĚR....27
14. PŘÍLOHA 1 – GRAFICKÉ PŘÍLOHY....28
14.1 Příloha 1 – grafické přílohy – průběh teplot....28
14.2 Příloha 1 – grafické přílohy – průběh relativních vlhkostí....29
14.3 Příloha 1 – grafické přílohy – oblast kondenzace....30
14.4 Příloha 1 – grafické přílohy – vlhkostní bilance....31

1. VŠEOBECNĚ

1.1	**Předmět**	Zimní stadion U Stadionu 741 01 Nový Jičín
1.2	**Úkol**	Posouzení střešního pláště zimního stadionu v Novém Jičíně z hlediska možné kondenzace vodní páry a návrh optimální skladby střešního pláště
1.3	**Objednatel**	**Technoprojekt, a.s.** **Ing. Martin Sedlák** Havlíčkovo nábřeží 2728/38 — IČ: 27810054 702 00 Ostrava — Tel.: +420 602 559 819 E-mail: martin.sedlak@technoprojekt.cz
1.4	**Dodavatel**	**DEKPROJEKT s.r.o.** Tiskařská 10/257 — IČO: 27 64 24 11 budova TTC TECHKOM CENTRUM 108 00 Praha 10 - Malešice tel.: +420 234 054 284 fax.: +420 234 054 291 bankovní spojení: 35-7899980247/0100 KB Praha 9 Zapsáno v obchodním rejstříku, vedeném Městským soudem v Praze oddíl C., vložka 120996
1.5	**Vypracoval**	Ing. Ondřej Židek
1.6	**Kontroloval**	Ing. Tomáš Kupsa
1.7	**Zpracováno v období**	Červenec 2018

2. PODKLADY

[1] Objednávka ze dne 02.07.2018 na základě nabídky č. D2018-027557

[2] Podklady zaslané objednatelem (projektová dokumentace, fotografie, průběh teplot vzduchu a ledové plochy)

[3] Znalecký posudek č. 19/3/2017 – Odborné posouzení technického stavu střešního konstrukce zimního stadiónu Nový Jičín, návrh řešení rekonstrukce stávajícího stavu

[4] ČSN 73 0540-2 Tepelná ochrana budov - Část 2: Požadavky

[5] ČSN 73 0540-3 Tepelná ochrana budov - Část 3: Návrhové hodnoty veličin

[6] ČSN 73 0540-4 Tepelná ochrana budov - Část 4: Výpočtové metody

[7] ČSN EN ISO 52016-1 Energetická náročnost budov - Energie potřebná pro vytápění a chlazení vnitřních prostor a citelné a latentní tepelné zatížení - Část 1: Postupy výpočtu

[8] ČSN EN ISO 52017-1 Energetická náročnost budov - Citelné a latentní tepelné zatížení a vnitřní teploty - Část 1: Obecné postupy výpočtu

[9] ČSN EN ISO 13788 Tepelně vlhkostní chování stavebních dílců a stavebních prvků – Vnitřní povrchová teplota pro vyloučení kritické povrchové vlhkosti a kondenzace uvnitř konstrukce – Výpočtové metody

[10] ČSN EN ISO 13789 (73 0565) Tepelné chování budov – Měrná ztráta prostupem tepla – Výpočtová metoda

[11] ČSN EN ISO 13790 Energetická náročnost budov

[12] ČSN EN ISO 13792 Tepelné chování budov – Výpočet vnitřních teplot v místnosti v letním období bez strojního chlazení – Zjednodušené metody

[13] ČSN EN ISO 13791 Tepelné chování budov – Výpočet vnitřních teplot v místnosti v letním období bez strojního chlazení – Základní kritéria pro validační postupy

[14] Vyhláška MPO č. 78/2013 Sb. o energetické náročnosti budov

[15] ČSN EN 15 665 – změna Z1 – Větrání budov – Stanovení výkonových kritérií pro větrací systémy obytných budov

[16] ČSN EN ISO 6946 (73 0558) Stavební prvky a stavební konstrukce - Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla - Výpočtová metoda

[17] TNI 73 0331 Energetická náročnost budov – Typické hodnoty pro výpočet

[18] Vyhláška č. 268/2009 Sb. o technických požadavcích na stavby

[19] Akustická studie – Prostorová akustika č. 2018-012830-KrP zpracována společností DEKPROJEKT s.r.o. 29.07.2018

[20] Mapové podklady ze serveru www.mapy.cz

Pozn. Všechny uvedené předpisy jsou v aktuálním znění (včetně změn platných ke dni zpracování).

3. SITUACE

Předmětem posudku je posouzení navržené skladby střešního pláště zimního stadionu v Novém Jičíně z hlediska možného rizika kondenzace vodní páry na vnitřním povrchu střešní konstrukce (především podhledové části) pro splnění požadavku platných norem.

Dalším požadavkem objednatele je návrh optimální skladby střešního pláště zimního stadionu. Pro vypracování byly použity podklady od objednatele, a to stavební část.

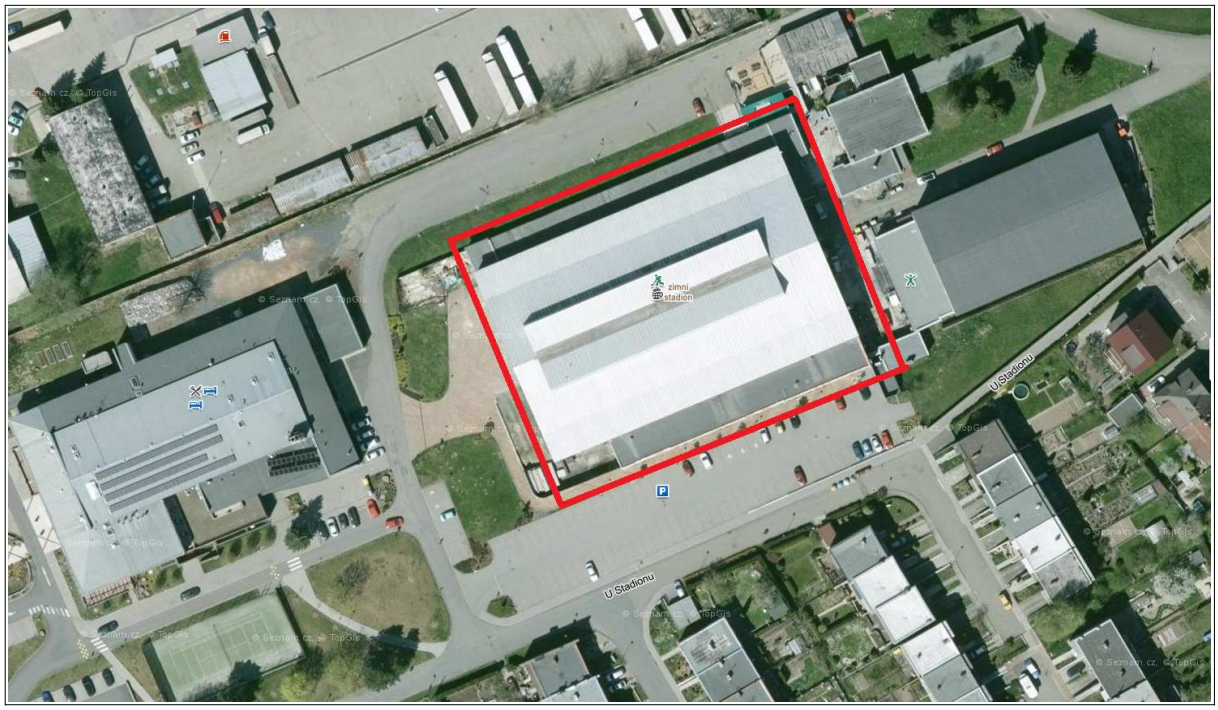
11.07.2018 byl proveden průzkum stávající stavu střešního pláště na stavbě. Součástí průzkumu bylo také akustické měření dozvuku, které složí pro návrh akustických opatření. Návrh akustických opatření je uveden v samostatném odborném posudku.

V současné době dochází k povrchové kondenzaci na dřevěném bednění střešní konstrukce. Vlivem nadměrné povrchové kondenzace a nadměrné akumulace zkondenzované vlhkosti v dřevěném bednění dochází k degradaci tohoto bednění.

V rámci rekonstrukce střechy se předpokládá demontáž celé skladby střešní konstrukce.

Hlavní prostor zimního stadiónu je přirozeně větrán bez úpravy vlhkosti.

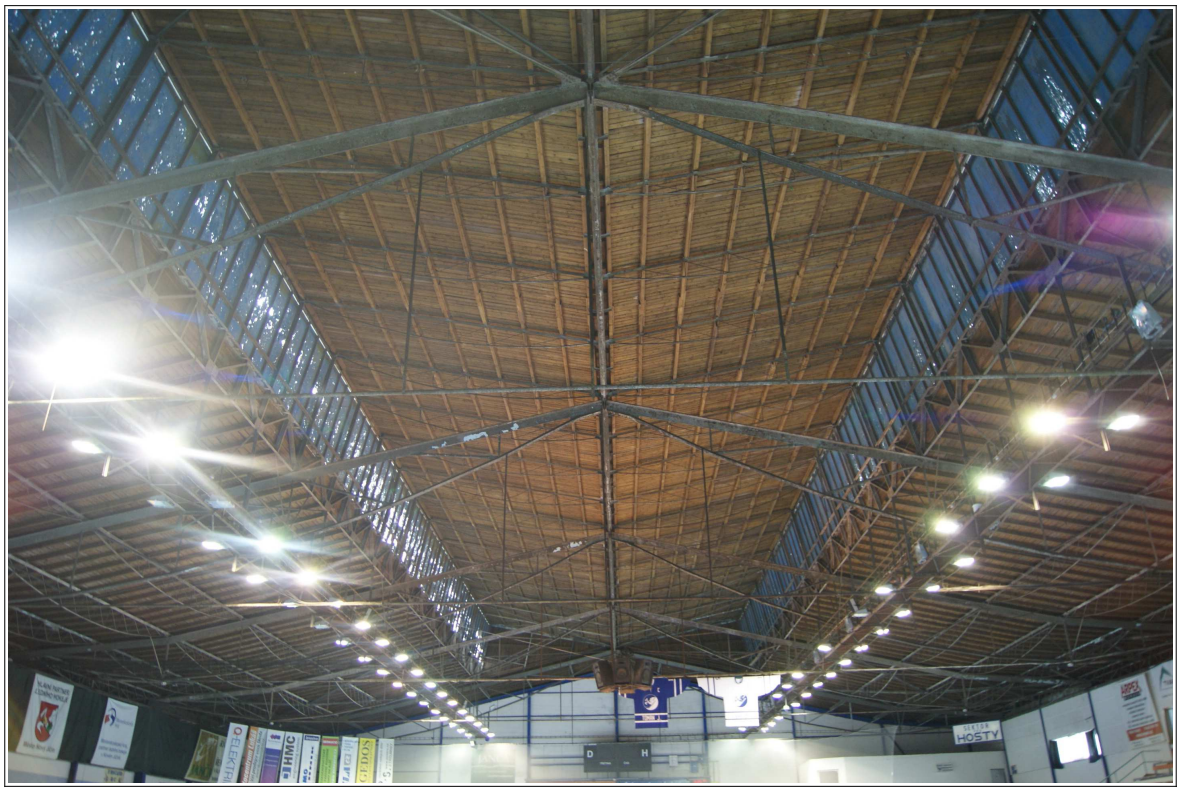
Provoz ledové plochy je celoroční. V současné době dochází ke vzniku mlhy nad ledovou plochou, zejména v přechodném a letním období.



Obr. 1 Fotodokumentace – letecký snímek řešeného objektu

Obr. 2 Fotodokumentace – posuzovaný objekt - exteriér

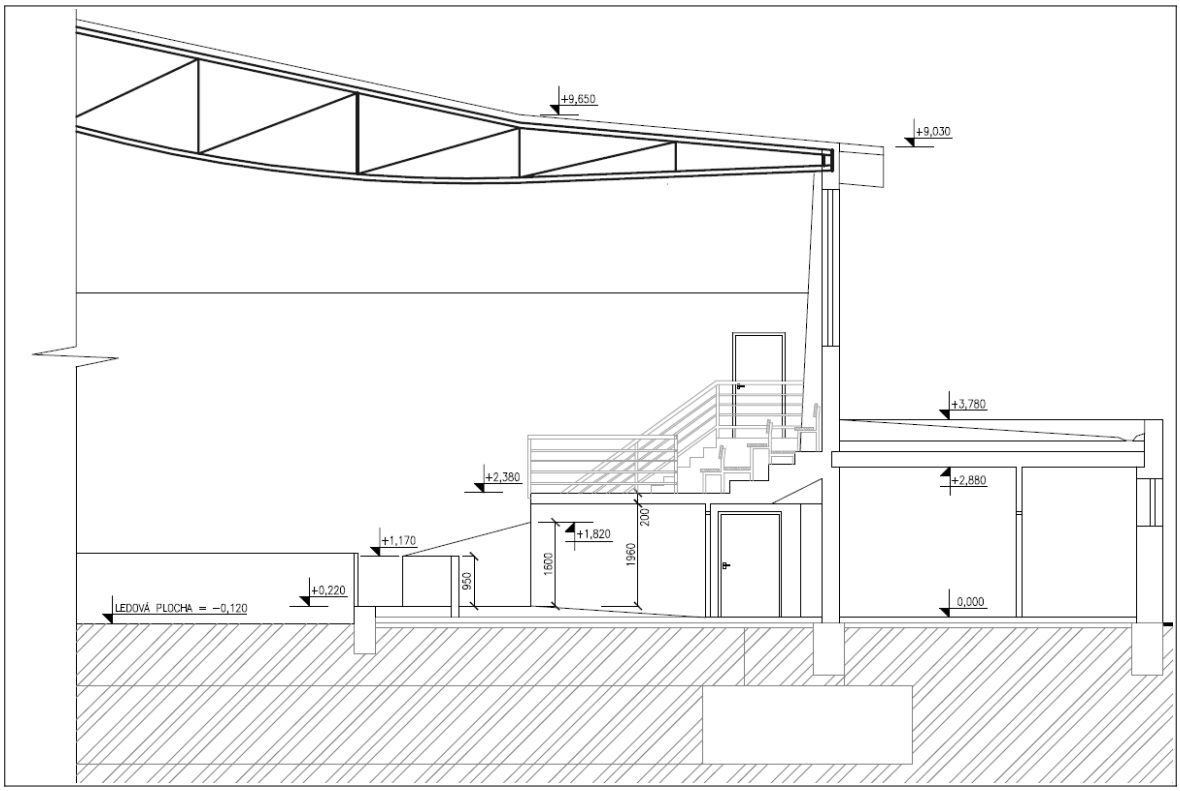
Obr. 3 Fotodokumentace – posuzovaný objekt – interiér



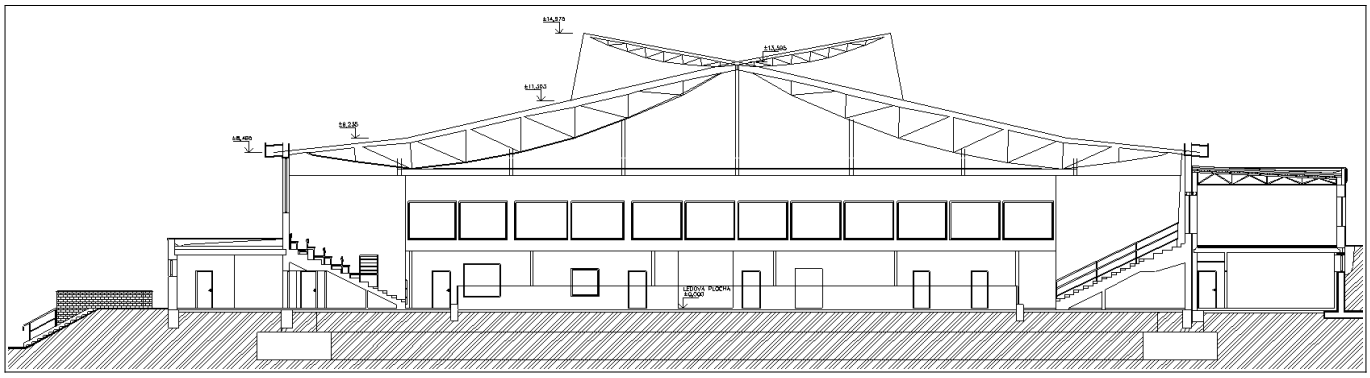
Obr. 4 Fotodokumentace – posuzovaný objekt – střešní plášť

Obr. 5 Fotodokumentace – posuzovaný objekt – střešní plášť

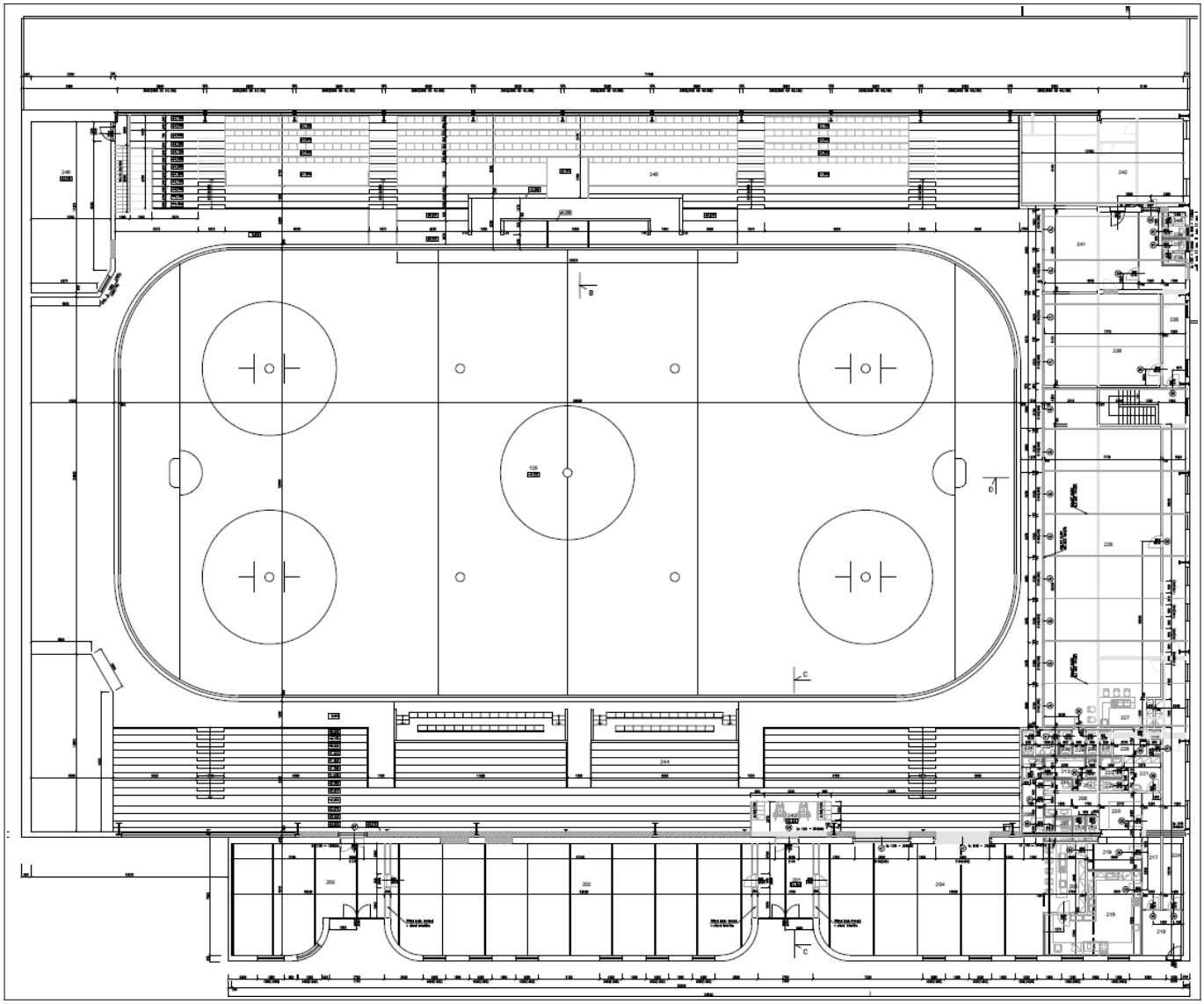
Obr. 6 Fotodokumentace – tvorba mlhy nad ledovou plochou - stav ke dni 26.07.2018



Obr. 7 Příčný řez zimním stadiónem - detail



Obr. 8 Příčný řez zimním stadiónem - celek



Obr. 9 Půdorys zimního stadiónu

4. ZADÁNÍ

Zadáním posudku je návrh skladby střešního pláště a ověření, zda skladba splňuje požadavky na nejnižší povrchové teploty, na kritický teplotní faktor dle ČSN 73 0540-2 [3] a šíření vodní páry konstrukcí dle ČSN EN ISO 13788.

5. OKRAJOVÉ PODMÍNKY

Tab. /1/ Okrajové podmínky návrhové

Interiér (zimní stadión)		Exteriér (Nový Jičín, 287 m.n.m.)	
Návrhová teplota ledové plochy	-7°C [1)]	Návrhové podmínky v zimním období	
Návrhová vnitřní teplota θ_i	5°C	Návrhová teplota vnějšího vzduchu θ_e	-15°C
Návrhová vnitřní tepla v zimním období – Zimní stadión – hala bez diváku, dle ČSN 73 0540-3	-5°C	Návrhová relativní vlhkost vnějšího vzduchu φ_e	84%
Návrhová vnitřní tepla v zimním období – Zimní stadión – hala s diváky, dle ČSN 73 0540-3	15 - 20°C		
Návrhová relativní vlhkost vnitřního vzduchu φ_i	81%		
Návrhová relativní vlhkost vnitřního vzduchu φ_i – Zimní stadión – hala bez diváků, dle ČSN 73 0540-3	90%		
Návrhová relativní vlhkost vnitřního vzduchu φ_i – Zimní stadión – hala s diváky, dle ČSN 73 0540-3	75%		
Střední radiační teplota přiléhajících ploch (tribun)	5°C		
Emisivita ledové plochy	0,95		

Pozn.:
1) Návrhová teplota ledové plochy je brána pro využití – trénink. Při průměrné měsíční teplotě v letním období je brána teplota ledové plochy -5°C z důvodu hospodárnosti provozu.

Tab. /2/ Měsíční průměrné okrajové podmínky – uvažováno pro výpočet

	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
$\Theta_{e,m}$	-2,1	-0,3	3,7	9,1	13,5	17,1	18,1	18,0	13,9	9,0	3,6	-0,2
$\varphi_{e,m}$	81%	81%	79%	77%	74%	71%	70%	70%	74%	77%	79%	81%
$\Theta_{i,m}$	5,0	5,0	5,0	9,1	13,5	17,1	18,1	18,0	13,9	9,0	5,0	5,0
$\varphi_{i,m}$	70%	78%	94%	95%	89%	84%	83%	83%	89%	95%	94%	78%
$\Theta_{l,m}$	-7,0	-7,0	-7,0	-7,0	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0	-7,0	-7,0	-7,0	-7,0

Pozn.:

$\Theta_{e,m}$ … návrhová průměrná měsíční teplota venkovního vzduchu

$\varphi_{ei,m}$ … průměrná měsíční relativní vlhkost venkovního vzduchu

$\Theta_{i,m}$ … návrhová průměrná měsíční teplota vnitřního vzduchu

teplota interiéru je vypočtena v závislosti na teplotě v exteriéru.

$\varphi_{i,m}$ … průměrná měsíční relativní vlhkost vnitřního vzduchu

$\Theta_{l,m}$ … návrhová průměrná měsíční teplota ledové plochy

návrhová teplota ledové plochy je brána pro využití – trénink. Při průměrné měsíční teplotě v letním období je uvažováno s teplotou ledové plochy -5°C.

1) Návrhové měsíční okrajové podmínky vycházejí z ČSN 73 0540-3 [3].

2) Návrhové parametry interiéru byly brány dle využití prostoru – zimní stadion, ledová plocha.

3) Teplota interiéru je brána v závislosti na teplotě v exteriéru. Pokud je teplota exteriéru nižší než +5°C, bere se teplota interiéru rovna +5°C. Jakmile teplota exteriéru vzroste nad +5°C, bereme teplotu interiéru vyšší.

4) Návrhová relativní vlhkost vzduchu v interiéru je stanovena na základě absolutní vlhkosti exteriérového vzduchu, předpokládané intenzitě větrání a vnitřních zdrojů vlhkosti. Konkrétně je uvažováno s těmito vstupními podmínkami:

a) Intenzita výměny vzduchu v interiéru: $n = 0,3\ h^{-1}$
(za hodinu se vymění 30% objemu vzduchu)
b) Objem vzduchu v místnosti: $V = 34\ 000\ m^3$
c) Produkce vodní páry: G = 12 kg/h
(zdroj vlhkosti: člověk, lehká činnost, průměrný počet osob pro výpočet: 200 osob)

Tab. /3/ Okrajové podmínky **–** dle naměřených dat pro leden – červenec 2018

	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
Teplota venkovního vzduchu												
$\Theta_{e,m}$	2,1	-2,9	2,9	15,5	18,1	19,9	23,8	Data nejsou k dispozici				
$\Theta_{e,max}$	9,6	6,9	16,2	34,2	41,6	41,7	42,8					
$\Theta_{e,min}$	-6,9	-13,9	-14,0	-0,5		9,1						
Teplota interiérového vzduchu												
$\Theta_{i,m}$	4,5	2,3	4,6	13,2	18,5	19,8	18,2					
$\Theta_{i,max}$	8,9	6,8	11,8	24,2		27,7	27,0					
$\Theta_{i,min}$	-0,6	-6,5	-4,4	0,0	26,9	14,7						
Teplota ledové plochy – čidlo 1												
$\Theta_{l1,m}$	-4,8	-4,6	-4,5	5,6	19,2	21,6	10,8					
$\Theta_{l1,max}$	-2,0	-1,9	-1,6	24,0	24,9	26,0	24,1					
$\Theta_{l1,min}$	-7,1	-6,4	-6,4	-5,4	15,9	17,8	-6,6					
Teplota ledové plochy – čidlo 2												
$\Theta_{l2,m}$	-5,9	-5,6	-5,7	4,5	18,5	21,4	10,3					
$\Theta_{l2,max}$	-2,5	-3,0	-2,8	23,4	24,1	25,0	23,2					
$\Theta_{l2,min}$	-8,8	-7,8	-8,3	-7,3	-0,5	18,1	-8,3					

Pozn.:

Teplota venkovního vzduchu
$\Theta_{e,m}$ …..průměrná měsíční teplota venkovního vzduchu – naměřená

$\Theta_{e,max}$ …maximální venkovního vzduchu – naměřená

$\Theta_{e,min}$ ….minimální venkovního vzduchu – naměřená

Teplota interiérového vzduchu
$\Theta_{i,m}$ …… průměrná měsíční teplota vnitřního vzduchu – naměřená

$\Theta_{i,max}$ … maximální teplota vnitřního vzduchu – naměřená

$\Theta_{i,min}$ … minimální teplota vnitřního vzduchu – naměřená

Teplota ledové plochy
$\Theta_{l,m}$ …..průměrná měsíční teplota ledové plochy

$\Theta_{l,max}$ …maximální měsíční teplota ledové plochy

$\Theta_{l,min}$ …minimální měsíční teplota ledové plochy

Na základě naměřených hodnot je patrné, že ledová plocha byla v provozu do 17.04.2018 a od 15.07.2018 do 26.07.2018.

6. NÁVRH SKLADBY STŘEŠNÍHO PLÁŠTĚ

Návrh nové skladby střešního pláště zimního stadionu vychází z tepelně-technických, akustických, statických a požárních požadavků na skladbu a z aktuálních možností na stavbě.

Pro omezení vlivu tepelné výměny sáláním mezi ledovou plochou a vnitřním povrchem střešního pláště je navržen trapézový pozinkovaný plech. Pozinkovaný plech je navržen proto, aby nedocházelo ke korozi povrchu. Tato koroze by vedla ke zvýšení vlivu sálání k ledové plochy. Při realizaci nedoporučuji uvažovat s jakoukoli povrchovou úpravou trapézového plechu (poplastování, akustická úprava povrchu apod.), která by měla za následek zvýšení hodnoty emisivity povrchu, což by vedlo ke zvýšení výměny tepelné energie mezi ledovou plochou a střešním pláštěm.

Nová skladba střešního pláště je navržena tak, aby v přechodném období, kdy dochází k obrácení difuzního toku (z exteriéru do interiéru), byla skladba z pohledu vlhkostního chování vyhovující. Vzhledem k umístění parozábran na trapézový plech je potřeba použít asfaltový pás odolný proti prošlápnutí.

Tab. /4/ Návrh skladby střešního pláště - skladba vykazující REI 60 DP1, B_{ROOF}(t3)

Vrstva	Funkce	Materiál	Specifikace	Tloušťka [mm]
1.	Nosná	Trapézový plech, pozinkovaný	Vlny trapézového plechu nebudou vyplněny. Uvažováno s perforací plechu spodní vlny.	0,8 [3)]
2.	Penetrační	Asfaltová penetrační emulze	Asfaltová kation aktivní emulze bez obsahu rozpouštědel, netoxická a pachově neutrální.	-
3.	Parotěsnící (v zimním období)	Asfaltový pás s hliníkovou vložkou	Samolepící pás z SBS modifikovaného asfaltu, na horním povrchu opatřen hliníkovou fólií s nakašírovanou skleněnou mřížkou, podélný přesah a spodní povrch je samolepicí s ochrannou snímatelnou folií. Pro parotěsnící a vzduchotěsnící vrstvu s nižším požárním zatížením. Odolnost proti stékání 100 °C. Ohebnost za nízkých teplot -20 °C. Faktor difuzního odporu 4 500 000 (±450 000). [2)] Výhřevnost ≤10,5 MJ.m-2.	0,4
4.	Tepelně-izolační	Tepelně-izolační desky z minerální plsti	Tepelně-izolační desky z minerální plsti určené pro spodní vrstvy tepelné izolace plochých střech s požární odolností. Pevnost v tlaku ≥50 kPa (10% deformace) Součinitel tepelné vodivosti λ_D = 0,038 $W.m^{-1}.K^{-1}$. Faktor difuzního odporu 1. Třída reakce na oheň A1.	100 (180 [2)])

5.	Tepelně-izolační	Tepelně-izolační desky z minerální plsti	Tepelně-izolační desky z minerální plsti určené pro horní vrstvu tepelné izolace plochých střech s požární odolností. Pevnost v tlaku ≥70 kPa (10% deformace) Součinitel tepelné vodivosti λ_D = 0,039 $W.m^{-1}.K^{-1}$. Faktor difuzního odporu 1. Třída reakce na oheň A1.	80
6.	Hydroizolační (parotěsnící v letním a přechodném období)	Střešní PVC-m fólie	Fólie z měkčeného PVC s polyesterovou výztužnou vložkou určená pro fixaci mechanickým kotvením. Třída chování při vnějším požáru BROOF (t1); BROOF(t3). Faktor difuzního odporu 15 000 Plošná hmotnost 1,85 kg/m^2 Izolace mechanicky kotvena	1,5
Poznámka: *1) v případě požadavku na vytápění haly v zimním období na teplotu 20°C* *2) ve výpočtu uvažováno s korekcí faktoru difuzního odporu μ_u = 300 000* *3) emisivita povrchu spodního pláště střechy (trapézový plech) uvažována hodnotou 0,3*				

Při předpokládaném užívání prostor zimních stadionů (využití pouze pro provoz ledové plochy, nikoliv užití v letním období pro jiný účel) je navržená tloušťka tepelné izolace 160 mm předimenzována. Navržená tloušťka tepelného izolantu vychází z možnosti využití prostoru jako multifunkční halu (po zakrytí bruslící plochy lze prostor využít např. pro konání koncertů, atd.). Tento účel nebyl uvažován, avšak dispozice objektu by budoucí využití umožňovala.

7. FUNKČNÍ POŽADAVKY

Pro úspory energie a ochranu tepla platí § 16 ve Vyhlášce č. 268/2009 Sb. [10]:

(1) Budovy musí být navrženy a provedeny tak, aby spotřeba energie na jejich vytápění, větrání, umělé osvětlení, popřípadě klimatizaci byla co nejnižší. Energetickou náročnost je třeba ovlivňovat tvarem budovy, jejím dispozičním řešením, orientací a velikostí výplní otvorů, použitými materiály a výrobky a systémy technického zařízení budov. Při návrhu stavby se musí respektovat klimatické podmínky lokality.

(2) Budovy s požadovaným stavem vnitřního prostředí musí být navrženy a provedeny tak, aby byly dlouhodobě po dobu jejich užívání zaručeny požadavky na jejich tepelnou ochranu splňující

a) tepelnou pohodu uživatelů,

b) požadované tepelně technické vlastnosti konstrukcí a budov,

c) tepelně vlhkostní podmínky technologií podle různých účelů budov,

d) nízkou energetickou náročnost při provozu.

(3) Požadavky na tepelně-technické vlastnosti konstrukcí a budov jsou dány normovými hodnotami.

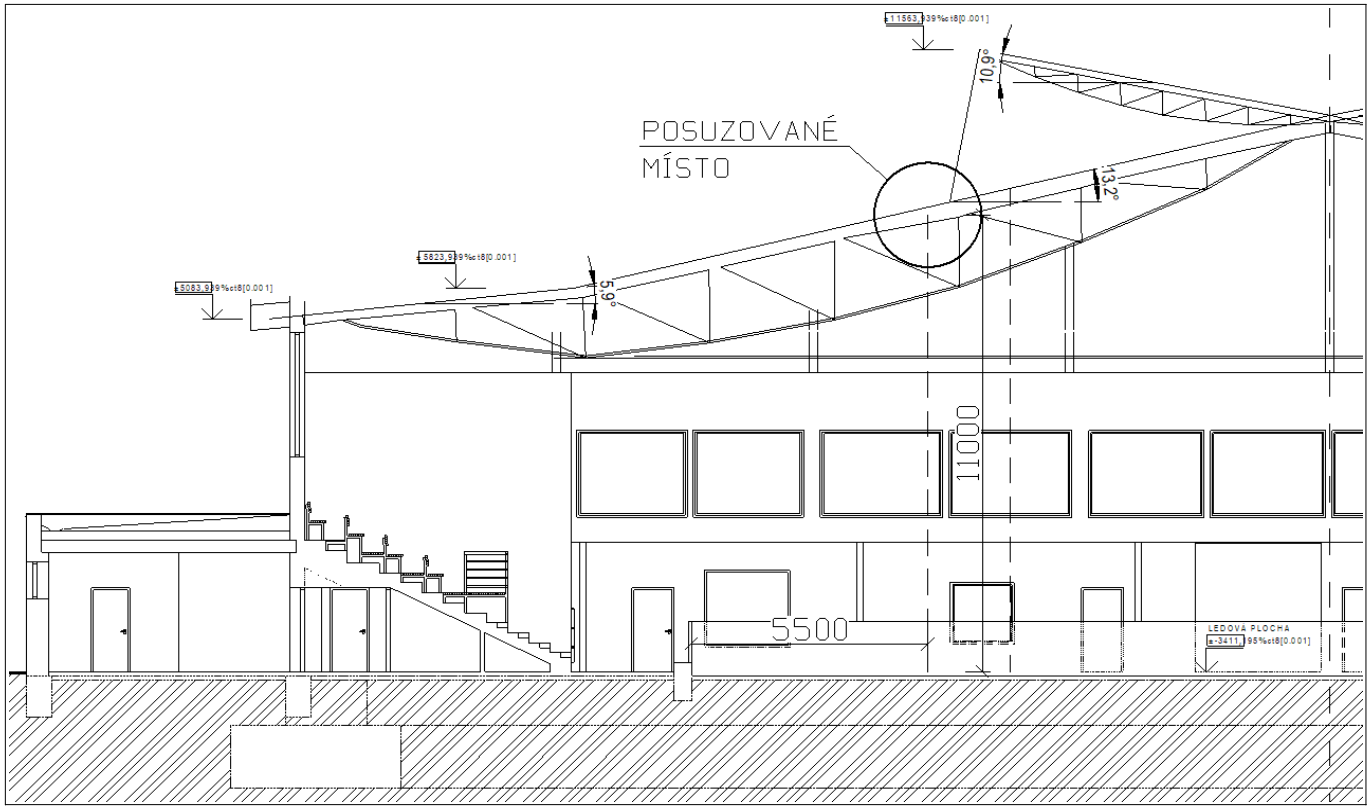
8. POUŽITÉ METODY VÝPOČTU

Posouzení je provedeno výpočtem průběhu polí teplot, metodou konečných prvků v souladu s ČSN EN ISO 10211-1, pomocí programu DEKSOFT Tepelná technika 1D. Vnitřní povrchová teplota byla dle požadavku ČSN 73 0540-2 hodnocena v poměrném tvaru jako teplotní faktor vnitřního povrchu konstrukce f_{Rsi}. Pro posouzení průběhů vlhkostí ve vzduchové dutině mezi trapézovým plechem a parozábranou byl posouzen výsek skladby v programu DEKSOFT Tepelná technika 2D.

Výpočet vnitřní povrchové teploty byl proveden se zahrnutím vlivu ledové plochy a tvaru (geometrie) haly.

Pro porovnání s požadavky normy byla dále brána nejnižší povrchová teplota θ (viz tabulka).

Tepelně-technické posouzení bylo provedeno pro nejkritičtější místo střešního pláště, které se nachází přibližně v ¼ šířky ledové plochy (přibližně 5,5m od roviny mantinelu) ve kterém je vliv sálání ledové plochy přibližně nejvýraznější (výška cca 11,0m). Výsledkem posouzení jsou teploty na spodním povrchu materiálu.



Obr. 10 Zobrazení posuzovaného místa střechy

9. POŽADAVKY DLE ČSN 730540-2 VE ZNĚNÍ 2011

Tab. /5/ Hodnocený parametr konstrukce dle ČSN 73 0540-2 [4]

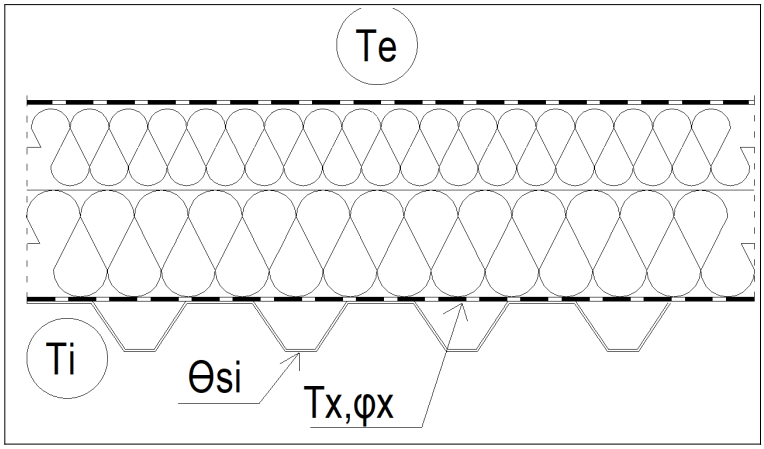
Hodnocený parametr konstrukce	**Hodnota požadovaná**
	ČSN 73 0540-2 : 2011
Součinitel prostupu tepla – požadovaná (doporučená) hodnota *[W/(m².K)]*	0,49 (0,49) využití jako zimní stadion (při udržované teplotě 5°C a R.V. 70%) 0,24 (0,16) využití jako multifunkční hala (při udržované teplotě 20°C a R.V. 50%)
Nejnižší vnitřní povrchová teplota konstrukce – požadovaná hodnota nejnižšího teplotního faktoru vnitřního povrchu při návrhové teplotě a relativní vlhkosti venkovního a vnitřního vzduchu v zimním období pro vyloučení rizika **povrchové kondenzace** $f_{Rsi\ N,100}$*[-]* (odpovídající nejnižší povrchová teplota *[°C]*)	Nejnižší teplota se liší dle měsíce
Vyhodnocení vlhkostního chování vzduchové dutiny trapézového plechu	Zamezení kondenzace vodní páry
	Zamezení rizika růstu plísní
Šíření vlhkosti konstrukci (čl. 6.1 a 6.2 v ČSN 730540-2)	Kondenzace vodní páry nesmí ohrozit funkci konstrukce
	Roční množství kondenzátu musí být nižší než roční kapacita odparu
	Roční množství kondenzátu $M_{c,a}$ musí byt nižší než 0,100 kg/m².rok nebo 3 % plošné hmotnosti materiálu, v němž dochází ke kondenzaci (nižší z hodnot) pro jednoplášťové střechy, pro konstrukce s dřevěnými prvky, pro konstrukce s kontaktním zateplením a pro další konstrukce s málo propustnými vnějšími vrstvami

10. POSOUZENÍ SKLADBY STŘEŠNÍHO PLÁŠTĚ

Podle zkušeností s navrhováním a fungováním skladeb střešních konstrukcí zimních stadionů lze říci, že navržená skladba (uvedená v předchozí kapitole) je pro sezónně užívanou halu koncepčně správná. Asfaltový pás na vnitřní straně konstrukce brání pronikání nadměrného množství vodní páry do skladby v zimním období. Vnější asfaltový pás omezuje nadměrný tok vodní páry do skladby v přechodném a letním období.

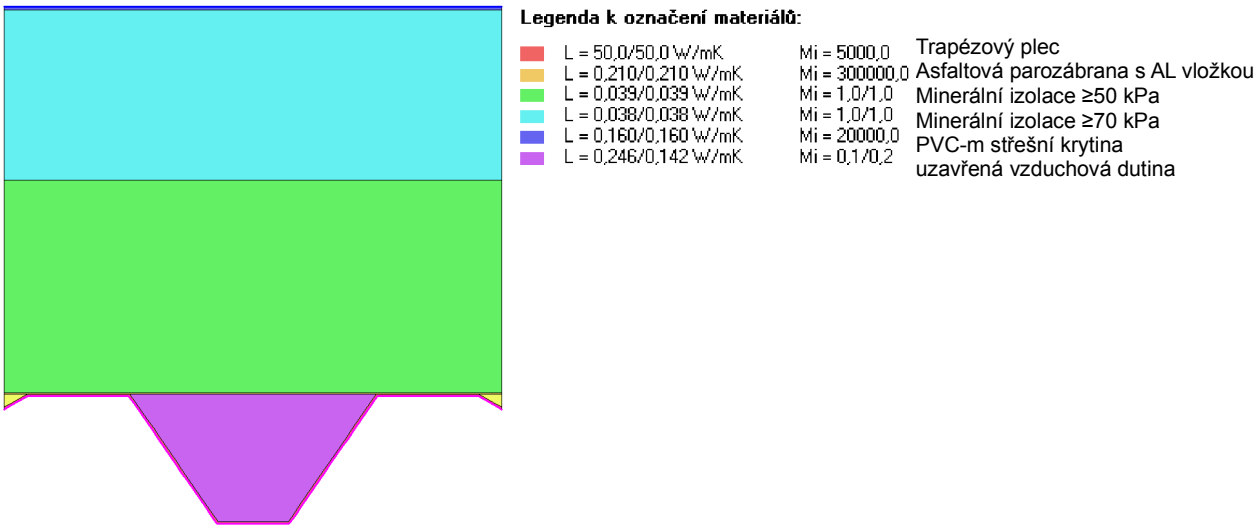
V případě požadavku na užívání prostoru v zimním období jako multifunkční halu a požadovanou teplotu interiérového vzduchu 20°C navržená skladba splňuje požadovanou hodnotu součinitele prostupu tepla U_N = 0,24 W/m^{2}K. V případě požadavku na splnění doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla U_{rec} = 0,16 W/m^{2}K by bylo potřeba uvažovat s tepelnou izolací tloušťky min. 260mm (při deklarované hodnotě součinitele tepelné vodivosti λ d ≤ 0,037W/(m.K)).

Hodnoty φ_i, φ_e, T_i, T_e jsou normové hodnoty pro dané období. Výběr měsíců byl volen pro průměrné měsíční hodnoty v dané lokalitě. Výsledky jsou uvedeny pro nejnižší, nejvyšší a průměrnou teplotu v roce.



Obr. 11 *Schéma posuzovaných hodnot v řezu střešního pláště zimního stadionu*

Na obrázku číslo 11 jsou znázorněna místa, které jsou posuzována jako kritická s možností kondenzace vodní páry na povrchu.



Obr. 12 *2D Výpočtová model pro posouzení uzavřené vzduchové dutiny*

Pro možnost porovnání vlivu úpravy skladby střešního pláště, byl posouzen průběh povrchových teplot pro původní skladbu a nově navrženou skladu ve třech měsících (leden, duben, červenec)

Tab. /6/ Vyhodnocení rizika povrchové kondenzace na střešním plášti

Posuzované období	návrhová průměrná měsíční teplota int. vzduchu	průměrná měsíční relativní vlhkost int. vzduchu	návrhová průměrná měsíční teplota ext. vzduchu	Nejnižší požadovaná teplota vnitřního povrchu	Tepelný tok způsobený sáláním ledové plochy	Vypočtená teplota na povrchu plechu (vč.vlivu sálání)	Rozdíl v povrchových teplotách
	$\Theta_{i,m}$ [°C]	Φi [%]	$\Theta_{e,m}$ [°C]	Θ_w [°C]	Qrl [W.m^{-2}K^{-1}]	Θ_{si} [°C]	[°C]
leden – stávající stav	5,0	70	-2,1	-0,1	14,0	-1,5	3,0
leden – navržený stav					7,3	1,5	
duben – stávající stav	9,1	95	9,1	8,2	22,5	1,6	3,4
duben – navržený stav					10,5	5,0	
červenec – stávající stav	18,1	83	18,1	15,1	35,0	6,8	4,9
červenec – navržený stav					16,8	11,7	

Tab. /7/ Vyhodnocení rizika povrchové kondenzace na střešním plášti

Posuzované období	návrhová průměrná měsíční teplota int. vzduchu	průměrná měsíční relativní vlhkost int. vzduchu	návrhová průměrná měsíční teplota ext. vzduchu	Nejnižší požadovaná teplota vnitřního povrchu	Tepelný tok způsobený sáláním ledové plochy	Vypočtená teplota na povrchu plechu (vč.vlivu sálání)	Splnění podmínek
	$\Theta_{i,m}$ [°C]	Φi [%]	$\Theta_{e,m}$ [°C]	Θ_w [°C]	Qrl [W.m^{-2}K^{-1}]	Θ_{si} [°C]	$\Theta_{si} \geq \Theta_w$
leden	5,0	70	-2,1	-0,1	7,3	1,5	Ano
únor	5,0	78	-0,3	1,5	7,4	1,6	Ano
březen	5,0	94	3,7	4,1	7,7	1,9	Ne
duben	9,1	95	9,1	8,2	10,5	5,0	Ne
květen	13,5	89	13,5	11,2	13,5	8,3	Ne
červen	17,1	84	17,1	14,3	16,0	11,0	Ne
červenec	18,1	83	18,1	15,1	16,8	11,7	Ne
srpen	18,0	83	18,0	15,1	16,8	11,6	Ne
září	13,9	89	13,9	11,2	13,8	8,6	Ne
říjen	9,0	95	9,0	8,2	10,5	4,9	Ne
listopad	5,0	94	3,6	4,1	7,7	1,9	Ne
prosinec	5,0	78	-0,2	1,5	7,5	1,6	Ano
Návrhové podmínky	5,0	75	-15,0	0,9	6,6	0,7	Ne

Podmínky výpočtu:

- povrchová teplota na spodním líci trapézového plechu: $\Theta_{si} \geq \Theta_w$ [°C]

- maximální relativní vlhkost ve vzduchové dutině: $\varphi_x \leq 100\%$ (zamezení kondenzace)

Z tabulky číslo 8 uvedené výše je patrné, že při uvažovaných průměrných okrajových podmínkách hrozí, v období březen až listopadu, na vnitřním povrchu střešního pláště kondenzace vlhkosti. Tento fakt není způsoben navrženou skladbou, ale faktem, že je prostor zimního stadiónu přirozeně větrán bez úpravy vlhkosti. Relativní vlhkost interiérového vzduchu se v tomto období (březen až listopad) pohybuje v rozmezí **83 až 95%**.

Dále byl proveden výpočet roční bilance zkondenzované a vypařené vody na povrchu. Tato bilance vyšla kladná a množství kondenzátu ve skladbě malé.

Z posouzení navržené skladby vyplývá:

- z tab.č. 7 vyplývá významný dopad úpravy skladby střešního pláště na průběh povrchových teplot. Úpravou skladby dojde k navýšení povrchové teploty o **3,0 – 4,9°C**.
- díky rozložení difúzního odporu skladby nehrozí nadměrná kondenzace vodní páry ve skladbě v přechodném a letním období, bilance vlhkosti ve skladbě je aktivní.
- potřeba odvlhčovat přiváděný vzduch v období od března do listopadu v případě, že bude požadavek na provoz ledové plochy v tomto období

Tab. /8/ Vyhodnocení parametrů konstrukce dle ČSN 73 0540-2 [3]

Hodnocený parametr konstrukce	**Hodnota požadovaná**	**Hodnota vypočtená**	**Posouzení**
	dle ČSN 73 0540-2 : 2011		
Součinitel prostupu tepla – požadovaná (doporučená) hodnota *[W/(m².K)]*	0,49 (0,49) využití jako zimní stadión (při udržované teplotě 5°C a R.V. 70%) 0,24 (0,16) využití jako multifunkční hala (při udržované teplotě 20°C a R.V. 50%)	0,23 1) 0,15 2)	X +
Nejnižší vnitřní povrchová teplota konstrukce – požadovaná hodnota nejnižšího teplotního faktoru vnitřního povrchu pro vyloučení rizika **povrchové kondenzace** $f_{Rsi\ N,100}$*[-]* (odpovídající nejnižší povrchová teplota *[°C]*)	Nejnižší teplota se liší dle měsíce vyhodnocení uvedeno v tabulce č.6	Viz. Tab. 6	-
Vyhodnocení vlhkostního chování konstrukce nad podhledem – vzduchová dutina	Zamezení kondenzace vodní páry	Vzhledem k nevyhovující nevyhovujícímu stavu povrchové kondenzace nehodnoceno	
	Zamezení rizika růstu plísní		
Šíření vlhkosti konstrukci (čl. 6.1 a 6.2 v ČSN 730540-2)	Kondenzace vodní páry nesmí ohrozit funkci konstrukce		-
	Roční množství kondenzátu musí být nižší než roční kapacita odparu	Pasivní vlhkostní bilance	-
	Roční množství kondenzátu $M_{c,a}$ musí byt nižší než 0,100 kg/m².rok nebo 3 % plošné hmotnosti materiálu, v němž dochází ke kondenzaci (nižší z hodnot)	0,022 1) 0,013 2)	+ +

Legenda
+ Vyhovuje požadavkům ČSN 73 0540-2
x Vyhovuje doporučení ČSN 73 0540-2
- Nevyhovuje požadavkům ČSN 73 0540-2

Pozn.:
1) Mechanické kotvení je zahrnuto v podobě přirážky korekce součinitele prostupu tepla.
2) uvažováno s celkovou tloušťkou tepelného izolantu 180mm (užívání jako zimní stadión)
3) uvažováno s celkovou tloušťkou tepelného izolantu 260mm (užívání jako multifunkční hala)

11. NÁVRH ÚPRAVY RELATIVNÍ VLHKOSTI INTERIÉROVÉHO VZDUCHU

Vzhledem k nevyhovujícímu stavu rizika povrchové kondenzace v období od března do listopadu doporučuji instalovat nucené větrání s úpravou vlhkost interiérového vzduchu (resp. přiváděného čerstvého vzduchu).

Pro zamezení rizika povrchové kondenzace, skapávání kondenzátu na ledovou plochu a eliminaci tvorby mlhy nad ledovou plochu doporučuji upravovat interierový vzduch tak aby jeho maximální relativní vlhkost vždy činila maximálně 60%. Za účelem snížení energetické náročnosti odvhčování je možné v měsících říjen – duben uvažovat s relativní vlhkostí 70% a v měsících květen a září s 65%.

Níže je uvedena tabulka posouzení navržené skladby střešního pláště v kombinaci s odvlhčováním interiérového vzduchu.

Pro správnou funkci odvlhčovaní vzduchu je zapotřebí docílit co nejvyšší vzduchotěsnosti obálky budovy. Doporučuji provést test vzduchotěnosti obálky budovy Blower door za cílem zjištění případných netěsností s následným zapravením

Tab. /9/ Vyhodnocení rizika povrchové kondenzace na střešním plášti – při odvlhčovaní

Posuzované období	návrhová průměrná měsíční teplota int. vzduchu	průměrná měsíční relativní vlhkost int. vzduchu	návrhová průměrná měsíční teplota ext. vzduchu	Nejnižší požadovaná teplota vnitřního povrchu	Tepelný tok způsobený sáláním ledové plochy	Vypočtená teplota na povrchu plechu (vč.vlivu sálání)	Maximální relativní vlhkost ve vzduchové dutině	Splnění podmínek
	$\Theta_{i,m}$ [°C]	Φi [%]	$\Theta_{e,m}$ [°C]	Θ_w [°C]	Qrl [$W.m^{-2}K^{-1}$]	Θ_{si} [°C]	Φ_x [%]	$\Theta_{si} \geq \Theta_w$
leden	5,0	70	-2,1	-0,1	7,3	1,5	87,5	Ano
únor	5,0	70	-0,3	-0,1	7,4	1,6	-	Ano
březen	5,0	70	3,7	-0,1	7,7	1,9	-	Ano
duben	9,1	70	9,1	3,8	10,5	5,0	77,5	Ano
květen	13,5	65	13,5	6,5	13,5	8,3	-	Ano
červen	17,1	60	17,1	9,1	16,0	11,0	-	Ano
červenec	18,1	60	18,1	10,1	16,8	11,7	71,7	Ano
srpen	18,0	60	18,0	10,1	16,8	11,6	-	Ano
září	13,9	65	13,9	6,5	13,8	8,6	-	Ano
říjen	9,0	70	9,0	3,8	10,5	4,9	-	Ano
listopad	5,0	70	3,6	-0,1	7,7	1,9	-	Ano
prosinec	5,0	70	-0,2	-0,1	7,5	1,6	-	Ano
Návrhové podmínky	5,0	70	-15,0	-0,1	6,6	0,7	76,0	Ano

Tab. /10/ Vyhodnocení parametrů konstrukce dle ČSN 73 0540-2 [3]

Hodnocený parametr konstrukce	**Hodnota požadovaná**	**Hodnota vypočtená**	**Posouzení**
	dle ČSN 73 0540-2 : 2011		
Součinitel prostupu tepla – požadovaná (doporučená) hodnota *[W/(m².K)]*	0,49 (0,49) využití jako zimní stadión (při udržované teplotě 5°C a R.V. 70%) 0,24 (0,16) využití jako multifunkční hala (při udržované teplotě 20°C a R.V. 50%)	0,23 1) 0,15 2)	X +
Nejnižší vnitřní povrchová teplota konstrukce – požadovaná hodnota nejnižšího teplotního faktoru vnitřního povrchu pro vyloučení rizika **povrchové kondenzace** $f_{Rsi\ N,100}$*[-]* (odpovídající nejnižší povrchová teplota *[°C]*)	Nejnižší teplota se liší dle měsíce vyhodnocení uvedeno v tabulce č.6	Viz. Tab. 9	+
Vyhodnocení vlhkostního chování konstrukce nad podhledem – vzduchová dutina	Zamezení kondenzace vodní páry	Viz. Tab. 9	+
Šíření vlhkosti konstrukci (čl. 6.1 a 6.2 v ČSN 730540-2)	Kondenzace vodní páry nesmí ohrozit funkci konstrukce		+
	Roční množství kondenzátu musí být nižší než roční kapacita odparu	Aktivní vlhkostní bilance	+
	Roční množství kondenzátu $M_{c,a}$ musí byt nižší než 0,100 kg/m².rok nebo 3 % plošné hmotnosti materiálu, v němž dochází ke kondenzaci (nižší z hodnot)	0,001 1) 0,000 2)	+ +

Legenda
+ Vyhovuje požadavkům ČSN 73 0540-2
x Vyhovuje doporučení ČSN 73 0540-2
- Nevyhovuje požadavkům ČSN 73 0540-2

Pozn.:
1) Mechanické kotvení je zahrnuto v podobě přirážky korekce součinitele prostupu tepla.
2) uvažováno s celkovou tloušťkou tepelného izolantu 180mm (užívání jako zimní stadión)
3) uvažováno s celkovou tloušťkou tepelného izolantu 260mm (užívání jako multifunkční hala)

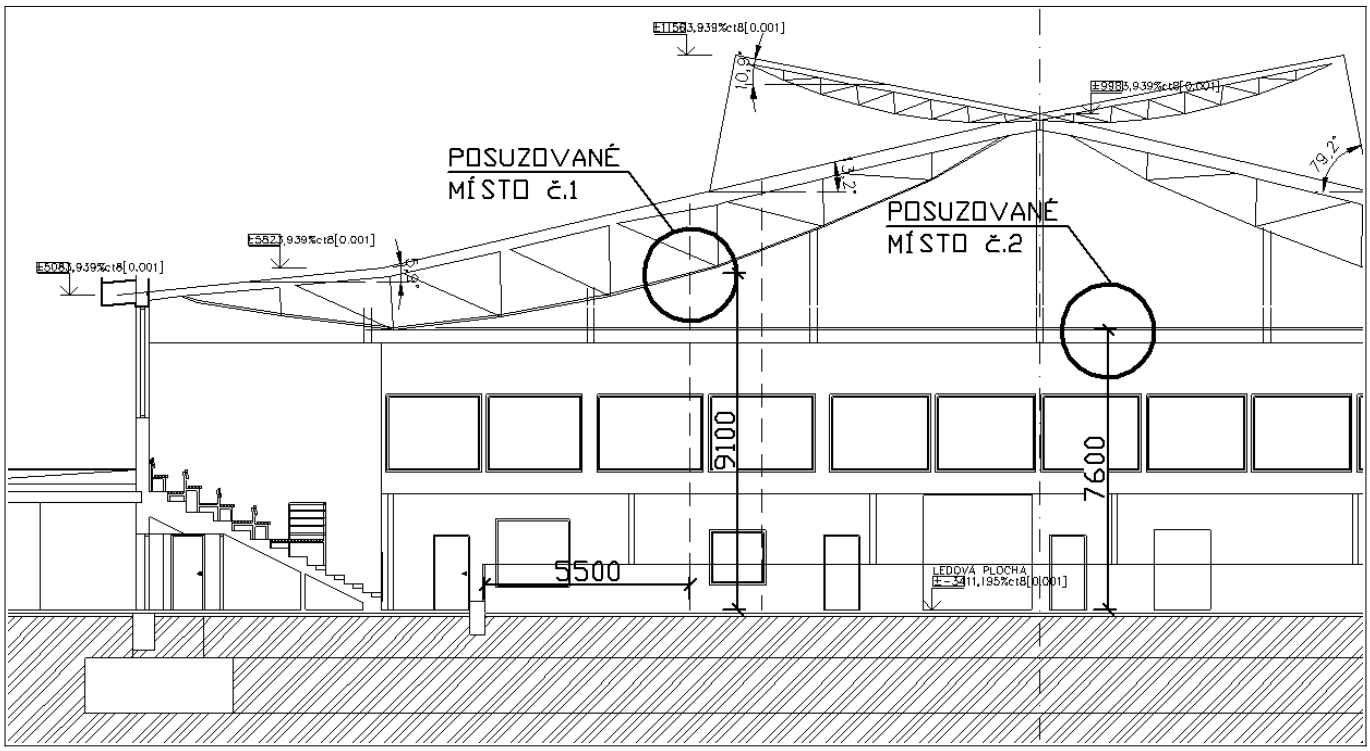
12. POSOUZENÍ DÍLČÍCH ČÁSTÍ STŘEŠNÍ KONSTRUKCE

V rámci návrhu a tepelně-technického posouzen skladby střešního pláště je ověřeno riziko povrchové kondenzace na ocelové konstrukci střešních vazníků a na nově navržených akustických závěsech [19].

12.1 Ověření rizika kondenzace na ocelových konstrukcích

Vzhledem k tomu, že se střešní ocelové vazníky nacházejí blíže k ledové ploše (než je tomu u vnitřního povrchu střešního pláště), tak zde bude docházet k větší výměně tepelné energie sáláním. Ocelová konstrukce vazníků bude pravděpodobně vykazovat nižší povrchové teploty, než je tomu v případě střešního pláště. Tento fakt povede ke zvýšení rizika povrchové kondenzace na ocelové konstrukce, zejména na její spodní pásnici.

Pro posouzení rizika kondenzace na ocelové konstrukci byly vybráno kritická místa, kde se ocelová konstrukce nachází nejblíže k ledové ploše a kde dochází k největšímu vlivu výměně tepelné energie sáláním od ledové plochy. První rizikové místo je spodní pásnice střešního vazníku nacházející se ve výšce 9,1m nad ledovou plochou. Druhým posuzovaným místem je ocelové táhlo nacházející se přibližně 7,6m nad ledovou plochou.



Obr. 13 Zobrazení posuzovaných míst
místo č.1: spodní pásnice vazníků, místo č.2: ocelové táhlo

Vyhodnocení rizika povrchové kondenzace na ocelové konstrukci je provedeno pro současnou variantu větrání bez úpravy vlhkosti a s navrženou úpravou vlhkosti. Posouzení je provedeno celkem pro čtyři okrajové podmínky.

Tab. /11/ Vyhodnocení rizika povrchové kondenzace na ocelové konstrukci – bez odvlhčování

Posuzované období	návrhová průměrná měsíční teplota int. vzduchu	průměrná měsíční relativní vlhkost int. vzduchu	Nejnižší požadovaná teplota vnitřního povrchu	Místo č. 1 – spodní pásnice střešního vazníku ve výšce 9,1m nad ledovou plochou		Místo č. 2 – ocelové táhlo ve výšce 7,6m nad ledovou plochou	
				Vypočtená teplota (vč.vlivu sálání)	Splnění podmínek	Vypočtená teplota (vč.vlivu sálání)	Splnění podmínek
	$\Theta_{i,m}$ [°C]	Φi [%]	Θ_w [°C]	Θ_{si} [°C]	$\Theta_{si} \geq \Theta_w$	Θ_{si} [°C]	$\Theta_{si} \geq \Theta_w$
leden	5,0	70	-0,1	1,8	Ano	1,7	Ano
duben	9,1	95	8,2	4,8	Ano	4,6	Ne
červenec	18,1	83	15,1	11,5	Ano	11,2	Ne

Poznámka:
1) u oceli je uvažována emisivita hodnotou 0,3

Tab. /12/ Vyhodnocení rizika povrchové kondenzace na ocelové konstrukci – při odvlhčování

Posuzované období	návrhová průměrná měsíční teplota int. vzduchu	průměrná měsíční relativní vlhkost int. vzduchu	Nejnižší požadovaná teplota vnitřního povrchu	Místo č. 1 – spodní pásnice střešního vazníku ve výšce 9,1m nad ledovou plochou		Místo č. 2 – ocelové táhlo ve výšce 7,6m nad ledovou plochou	
				Vypočtená teplota (vč.vlivu sálání)	Splnění podmínek	Vypočtená teplota (vč.vlivu sálání)	Splnění podmínek
	$\Theta_{i,m}$ [°C]	Φi [%]	Θ_w [°C]	Θ_{si} [°C]	$\Theta_{si} \geq \Theta_w$	Θ_{si} [°C]	$\Theta_{si} \geq \Theta_w$
leden	5,0	70	-0,1	1,8	Ano	1,7	Ano
duben	9,1	70	3,8	4,8	Ano	4,6	Ano
červenec	18,1	60	10,1	11,5	Ano	11,2	Ano

Poznámka:
1) u oceli je uvažována emisivita hodnotou 0,3

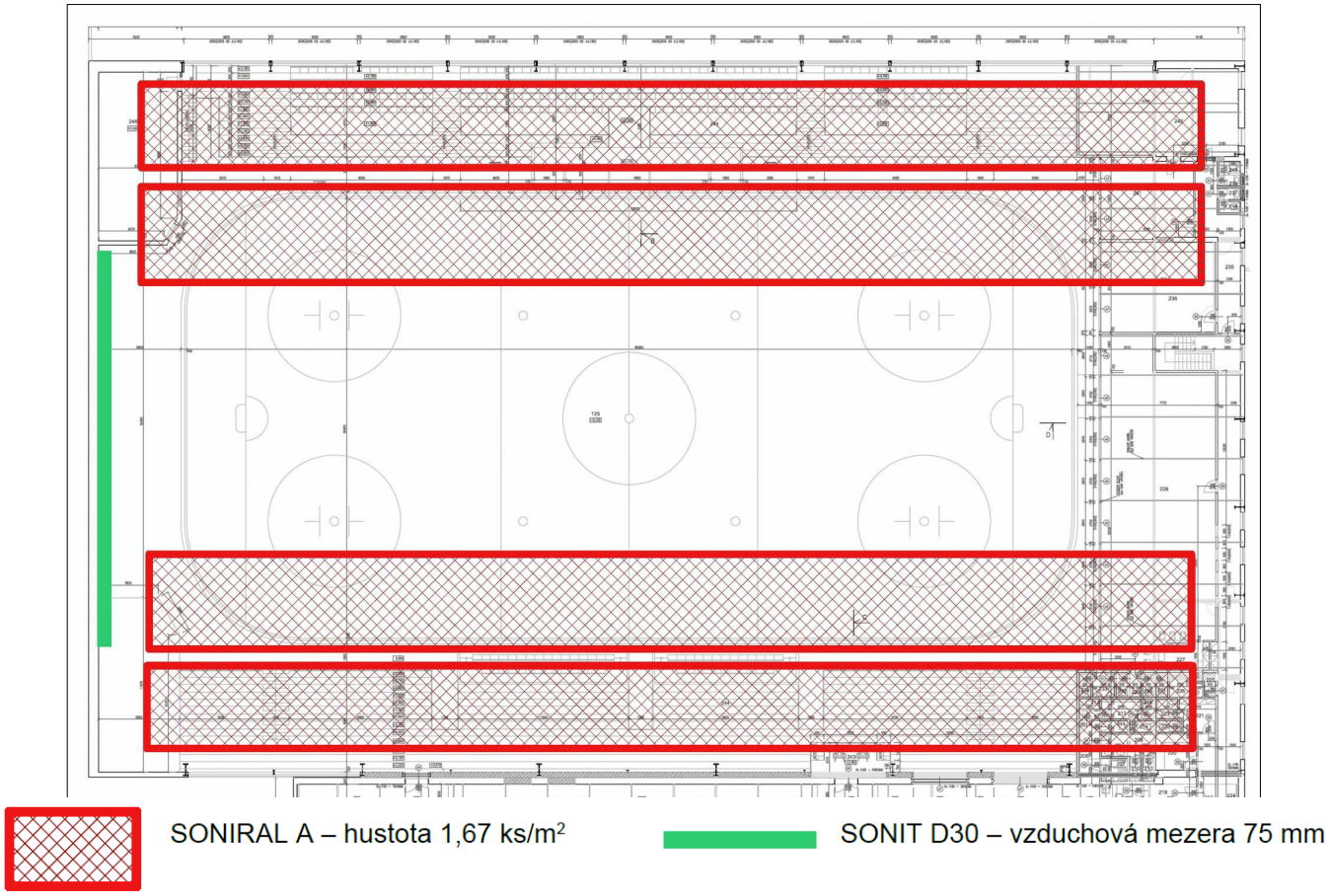
Z výsledků uvedených výše v tab. 11 je patrné, že při současném větráním bez odvlečení v přestupném a letním období hrozí riziko povrchové kondenzace na ocelových konstrukcí. Pro zamezení rizika kondenzace na nosné ocelové konstrukci doporučuji na spodní táhla umístit elektrické topné kabel, které se budou spínat ve chvíli, kdy relativní vlhkost vzduchu v interiéru dosáhne 70%. Při spuštění těchto kabelů dojde ke zvýšení povrchové teploty ocelové konstrukce a tím ke snížení rizika povrchové kondenzace (dosažení teploty rosného bodu). Riziko kondenzace hrozí zejména v oblasti nad ledové plochy, kde je vliv sálání ledové plochy největší. Předběžně doporučuji volit topné kabely o výkonu min. 20W/m. Pro zametení rizika výpadku jednoho topné kabelu doporučuji na každý vazník umístit dva topné kabely.

V tabulce 12 je uvedeno vyhodnocení situace, kdy je přiváděný vzduch odvlhčován (hodnoty návrhových relativních vlhkostí interiérového vzduchu pro jednotlivé měsíce jsou uvedeny v tabulce 9). V tomto případě je povrchová teplota posuzovaných ocelových konstrukcí vždy vyšší než je hodnota rosného bodu (při uvažované teplotě a relativní vlhkosti interiérového vzduchu). K povrchové kondenzaci na ocelové konstrukci, v případě odvlhčování přiváděného vzduchu, nebude docházet.

12.2 Ověření rizika kondenzace akustických závěsech

Pro zlepšení akustických vlastností prostoru zimního stadiónu byly v rámci akustické studie navrženy akustické závěsy. Do posuzovaného prostoru je navržena instalace akustických solitérních prvků s PVC povrchem SONIRAL A (1000 x 600 x 50 mm) zavěšených na strop. Jednotlivé prvky budou instalovány ve vzájemných odstupech cca 600 mm, což bude znamenat že na 1 m2 stropu, bude instalován 1,67 kusů. [19]

Vzhledem k tomu, že jsou akustické závěsy navrženy také nad ledovou plochou, bylo ohodnoceno riziko povrchové kondenzace na těchto závěsech.



Obr. 14 Schéma rozmístění akustického opatření [19]

Dolní povrch akustických závěsů bude v nejnižším místě přibližně 10m nad ledovou plochou (o 1m blíže k ledové ploše, než posuzované místo střešního pláště).

Akustické závěsy vykazují vysokou hodnotu emisivity (výrazně vyšší než v případě ocelových konstrukcí). Vzhledem k tomuto faktu bude vliv sálání od ledové plochy (ochlazování) výraznější než u ocelových konstrukcí. Z tohoto důvodu je riziko kondenzace posouzeno pouze pro situaci, kdy přiváděný vzduch bude odvlhčováván. Jelikož bez odvlčování hrozí riziko povrchové kondenzace na vnitřním povrchu střešního pláště i ocelových konstrukcí, nemá smysl tuto situaci posuzovat u akustických závěsů, kde bude vliv ochlazování ledovou plochou výraznější.

Tab. /13/ Vyhodnocení rizika povrchové kondenzace na akustických závěsech – při odvlhčování

Posuzované období	návrhová průměrná měsíční teplota int. vzduchu	průměrná měsíční relativní vlhkost int. vzduchu	Nejnižší požadovaná teplota vnitřního povrchu	Spodní pásnice střešního vazníku ve výšce 8,6m nad ledovou plochou	
				Vypočtená teplota (vč.vlivu sálání)	Splnění podmínek
	$\Theta_{i,m}$ [°C]	Φi [%]	Θ_w [°C]	Θ_{si} [°C]	$\Theta_{si} \geq \Theta_w$
leden	5,0	70	-0,1	-1,0	Ne
duben	9,1	70	3,8	1,2	Ne
červenec	18,1	60	10,1	5,8	Ne
Poznámka: *1) u akustických závěsů je uvažována emisivita hodnotou 0,9*					

Z výše uvedeného hodnocení je patrné, že v případě umístění akustických závěsů nad ledovou plochu hrozí povrchová kondenzace na těchto závěsech.

Pro snížení rizika povrchové kondenzace doporučuji snížit maximální relativní vlhkost vzduchu na nižší hodnoty, případně umístit akustické podhledy mimo ledovou plochu.

Níže jsou uvedeny maximální hodnoty relativní vlhkosti vnitřního vzduchu pro vybrané měsíce v roce při kterých nebude docházet k riziku povrchové kondenzace na spodní hraně akustických závěsů.

Tab. /14/ Vyhodnocení rizika povrchové kondenzace na akustických závěsech – úprava relativní vlhkosti

Posuzované období	návrhová průměrná měsíční teplota int. vzduchu	průměrná měsíční relativní vlhkost int. vzduchu	Nejnižší požadovaná teplota vnitřního povrchu	Spodní pásnice střešního vazníku ve výšce 8,6m nad ledovou plochou	
				Vypočtená teplota (vč.vlivu sálání)	Splnění podmínek
	$\Theta_{i,m}$ [°C]	Φi [%]	Θ_w [°C]	Θ_{si} [°C]	$\Theta_{si} \geq \Theta_w$
leden	5,0	65	-1,1	-1,0	Ano
únor	5,0	65	-1,1	-1,0	Ano
březen	5,0	65	-1,1	-1,0	Ano
duben	9,1	55	0,4	1,2	Ano
květen	13,5	50	2,8	3,4	Ano
červen	17,1	45	4,9	5,0	Ano
červenec	18,1	45	5,8	5,8	Ano
Poznámka: *1) u akustických závěsů je uvažována emisivita hodnotou 0,9*					

V rámci tohoto posudku není řešena problematika vzniku mlhy nad ledovou plochou, který v současné době v přechodném a letním období vzniká. V posudku je uvedeno doporučení na snížení relativní vlhkosti přiváděného vzduchu, které bude mít za následek snížení rizika vniku mlhy nad ledovou plochou.

13. ZÁVĚR

Na základě tepelně-technické posouzení stávající a nově navržené skladby střešní pláště je patrné, že úprava skladby má značný vliv na zamezení rizika povrchové kondenzace na spodním líci podhledu.

Při stávajícím způsobu větrání (přirozené větrání bez úpravy vlhkosti) není možné zajistit zamezení povrchové kondenzace v období od března do listopadu. Z tohoto důvodu je navrženo strojní větrání s odvlhčovním.

Pro zamezení rizika povrchové kondenzace, skapávání kondenzátu na ledovou plochu a eliminaci tvorby mlhy nad ledovou plochu doporučuji upravovat interierový vzduch tak aby jeho maximální relativní vlhkost odpovídala hodnotám uvedeným níže v tab. 15. Za účelem snížení energetické náročnosti odvhčování je možné v měsících říjen – duben uvažovat s relativní vlhkostí 70% a v měsících květen a září s 65%. Při instalaci akustických závěsů nad ledovou plochu je potřeba relativní vlhkost snížit na hodnoty uvedené níže v tab. 15.

Tab. /15/ Návrhový relativní vlhkosti interiérového vzduchu – ovlhčování

	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
$\varphi_{i,m,}$	65	65	65	55	50	45	45	45	50	55	65	65

$\varphi_{i,m,}$ … *maximální průměrná měsíční relativní vlhkost vnitřního vzduchu pro zamezení rizika povrchové kondenzace na vnitřním povrchu střešního pláště, ocelové konstrukce a na akustických závěsech*

Při úpravě relativní vlhkosti interiérového vzduchu na uvedené hodnoty vyhovuje navržená skladba střešního pláště a nosné ocelové konstrukce všem tepelně-technickým požadavkům dle ČSN 73 0540-2 [4].

Pokud by se předpokládalo multifunkční využití haly zimního stadionu, doporučujeme provedení zvětšení tloušťky tepelné izolace. V případě požadavku na užívání prostoru v zimním období jako multifunkční halu a požadovanou teplotu interiérového vzduchu 20°C navržená skladba splňuje požadovanou hodnotu součinitele prostupu tepla U_N = 0,24 W/m^{2}K. V případě požadavku na splnění doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla U_{rec} = 0,16 W/m^{2}K by bylo potřeba uvažovat s tepelnou izolací tloušťky min. **260mm** (při deklarované hodnotě součinitele tepelné vodivosti λ d ≤ 0,038W/(m.K)).

Navržený materiál parotěsnící vrstvy při spodním líci je doporučený z hlediska realizace stavby. Tento pás musí být odolný proti prošlápnutí.

Doporučujeme použít trapézový plech s pozinkováním. Jakákoli jiný povrchová úprava, která by zvyšovala hodnotu emisivity vnitřního povrchu poveden ke zvýšení vlivu přenosu tepelné energie mezi střešním podhledem a ledovou plochu a tím ke zvýšení rizika kondenzace na vnitřním povrchu skladby střešního pláště.

Součástí posudku je příloha: grafické přílohy

v Brně dne 27.07.2018

za **DEKPROJEKT s.r.o.**

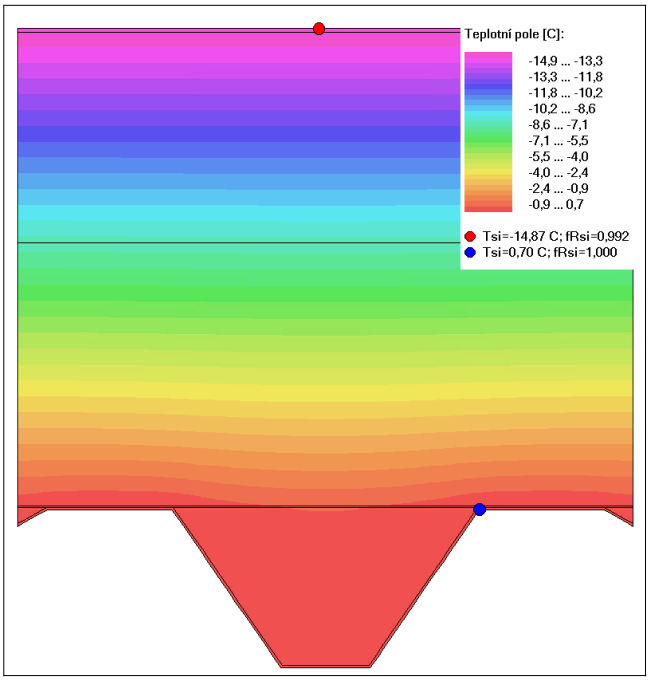
ATELIER DEK
DEKPROJEKT s.r.o.
Tiskařská 10/257
108 00 Praha 10
DIČ: CZ699000797

Ing. Ondřej Židek
+420 733 168 568
ondrej.zidek@dek-cz.com

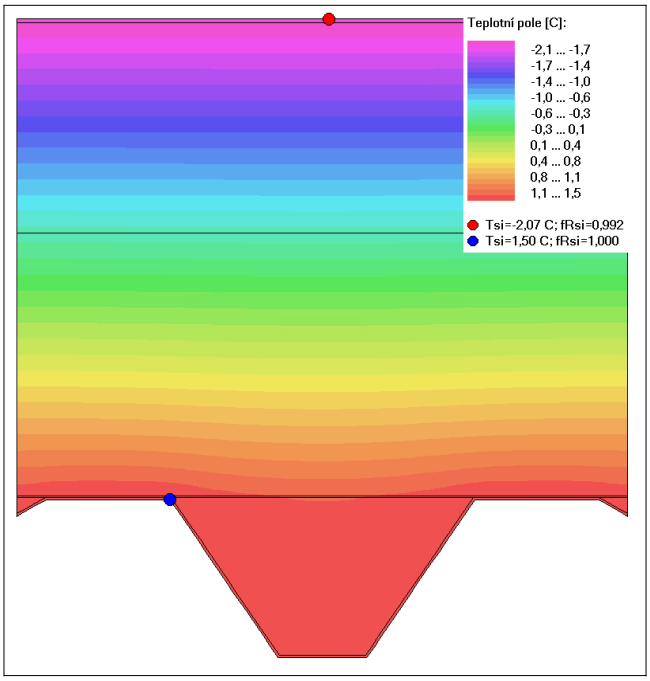
14. PŘÍLOHA 1 – GRAFICKÉ PŘÍLOHY

Níže jsou uvedeny grafické přílohy posouzení střešního pláště. Jedná se o variantu skladby určené pro zimní stadión (nikoli pro multifunkční halu) a s funkčním ovlhčováním dle navržených parametrů.

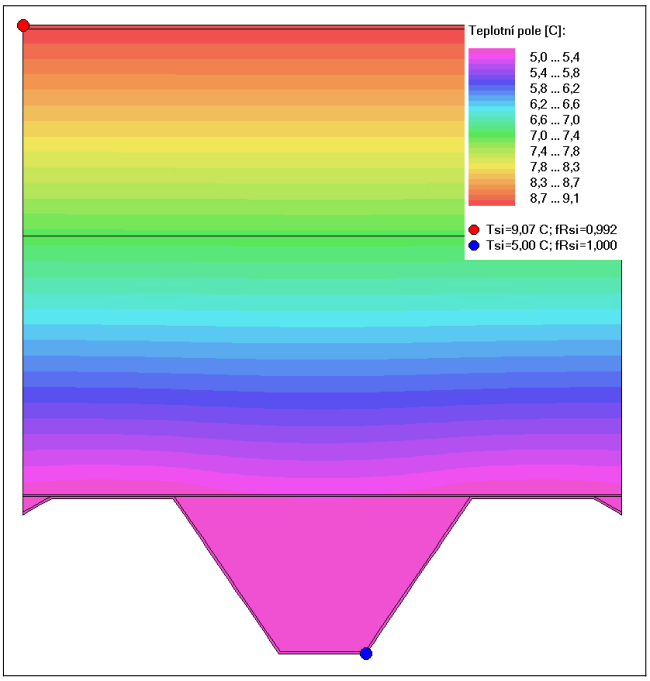
14.1 Příloha 1 – grafické přílohy – průběh teplot



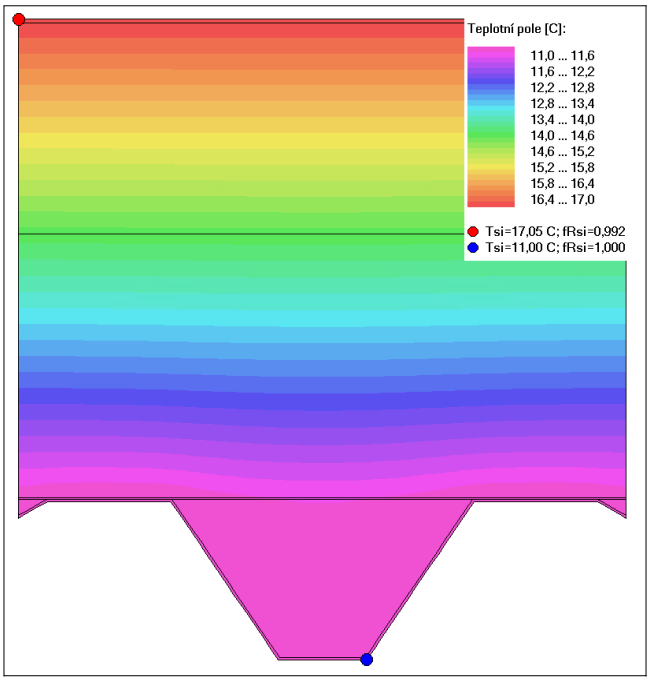
Obr. 15 *Průběh teplot – návrhové podmínky*



Obr. 16 *Průběh teplot – leden*

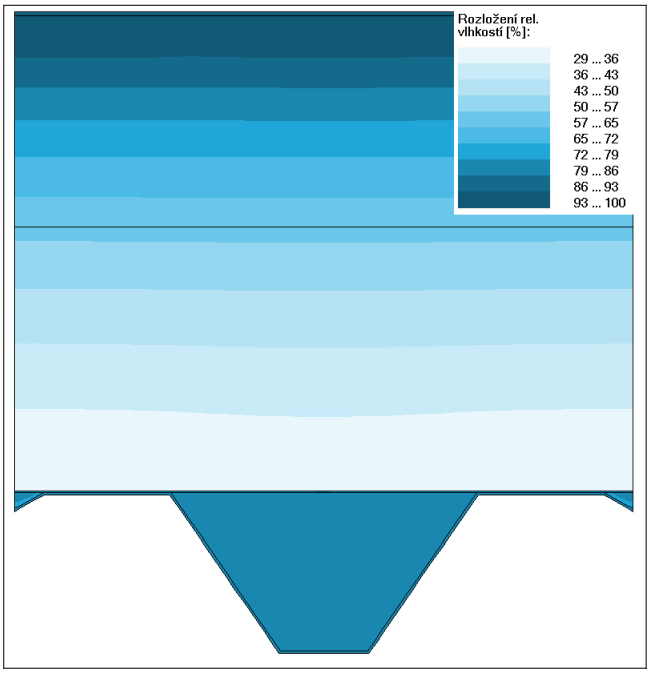


Obr. 17 *Průběh teplot – duben*

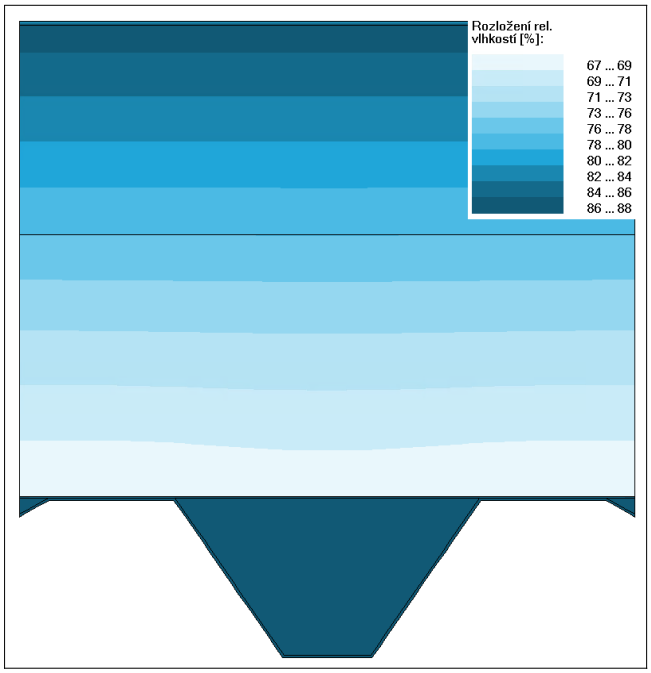


Obr. 18 *Průběh teplot – červen*

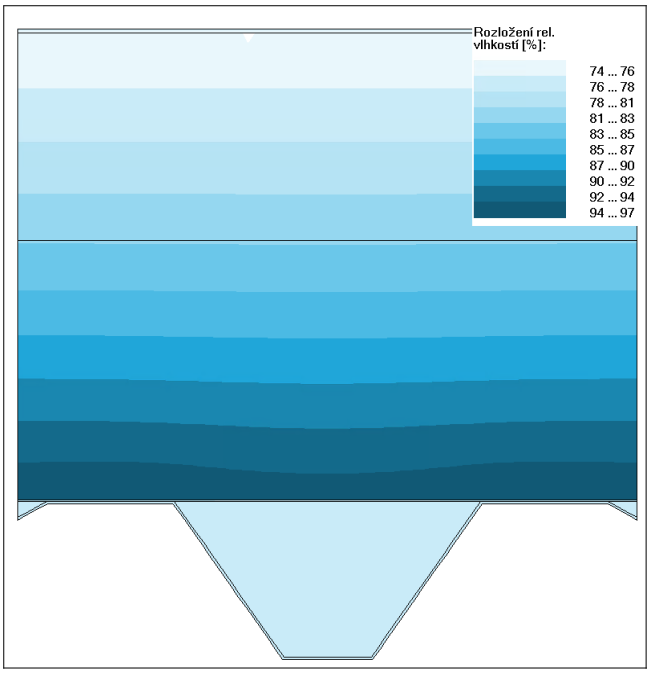
14.2 Příloha 1 – grafické přílohy – průběh relativních vlhkostí



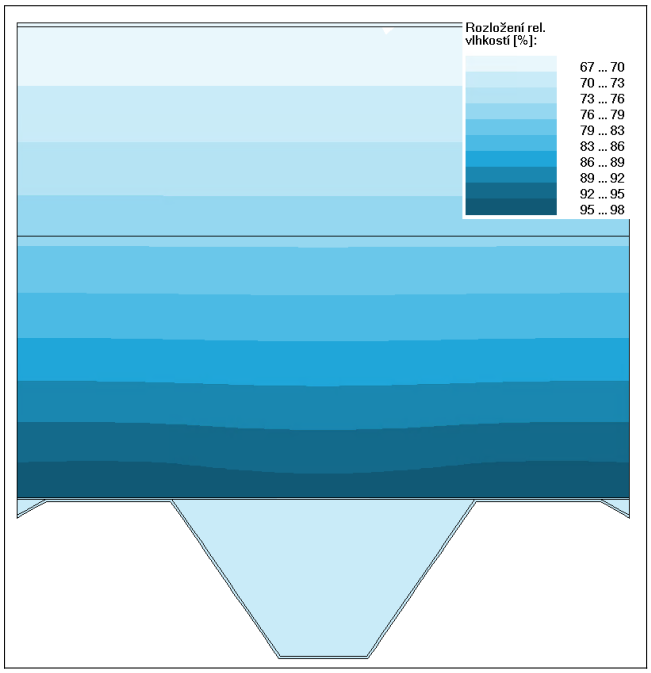
Obr. 19 *Průběh relativní vlhkosti– návrhové podmínky*



Obr. 20 *Průběh relativní vlhkosti– leden*

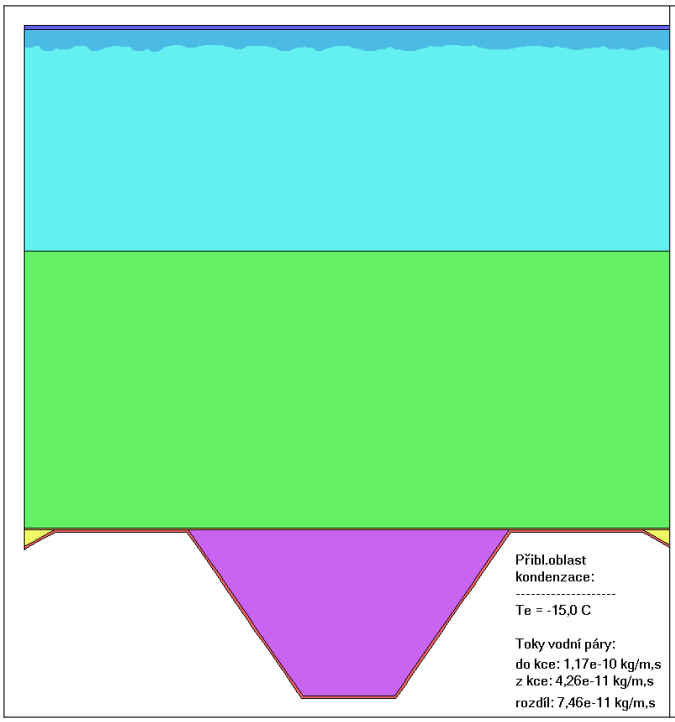


Obr. 21 *Průběh relativní vlhkosti– duben*

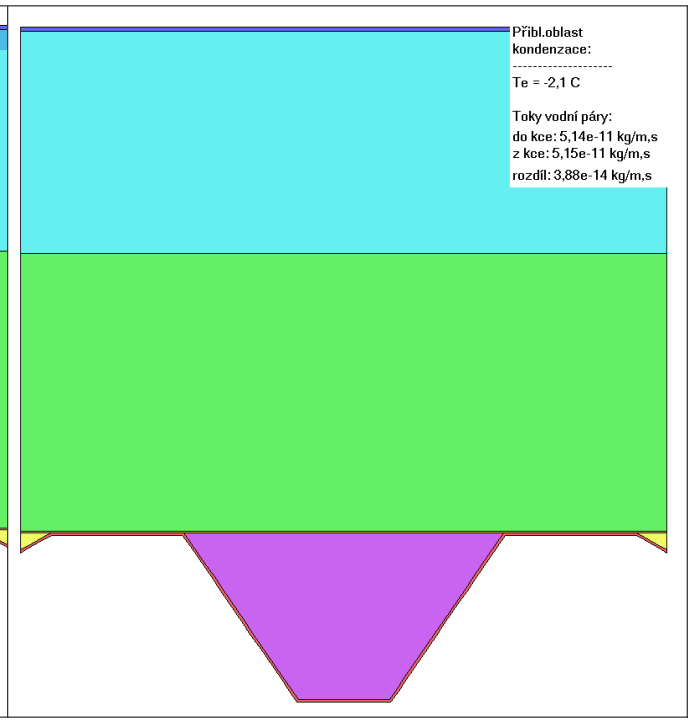


Obr. 22 *Průběh relativní vlhkosti– červen*

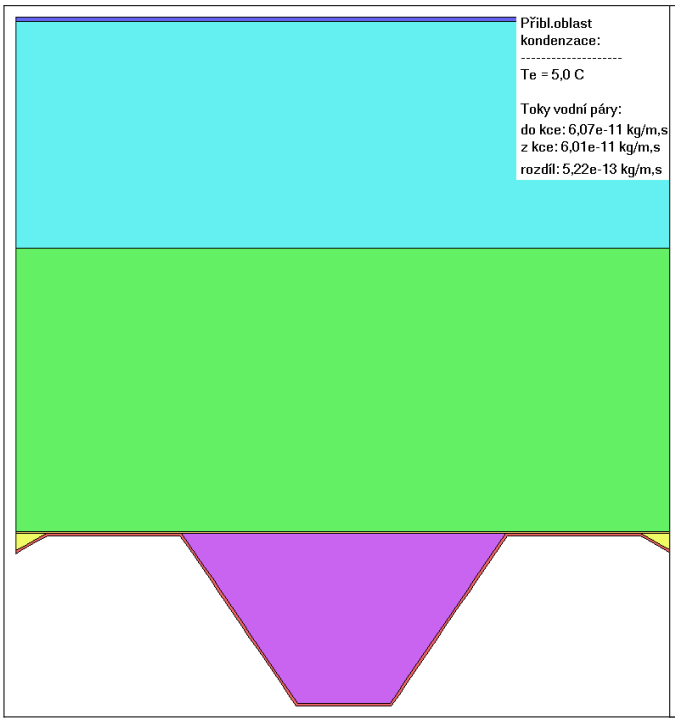
14.3 Příloha 1 – grafické přílohy – oblast kondenzace



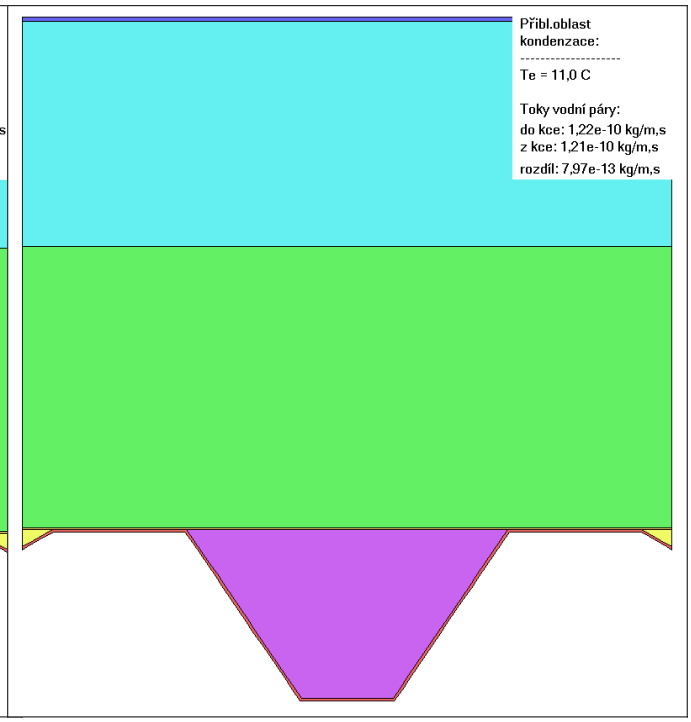
Obr. 23 *Oblast kondenzace – návrhové podmínky*



Obr. 24 *Oblast kondenzace– leden*

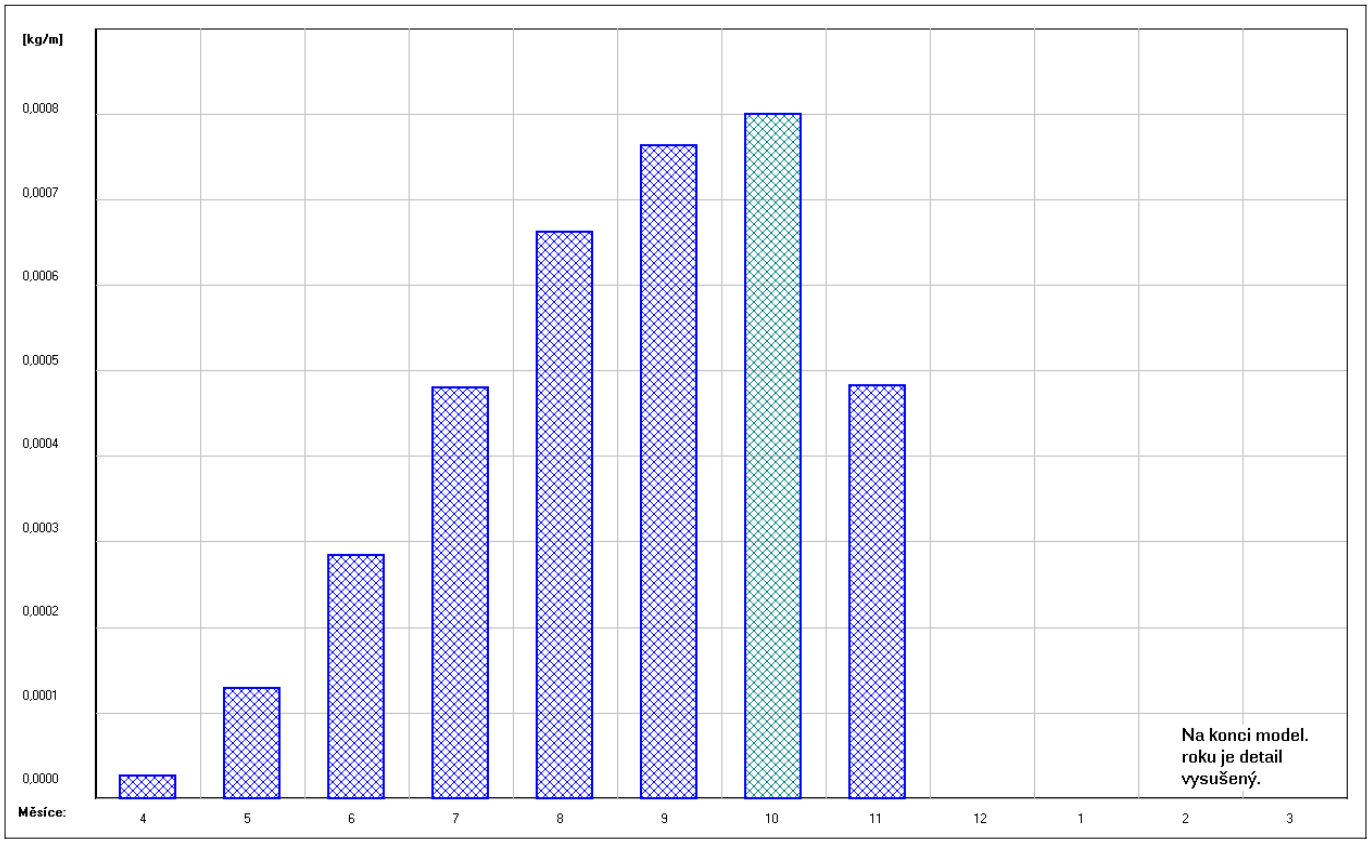


Obr. 25 *Oblast kondenzace – duben*



Obr. 26 *Oblast kondenzace– červen*

14.4 Příloha 1 – grafické přílohy – vlhkostní bilance



Obr. 27 *Roční bilance vlhkosti – 2D výsek skladby*