

VLHKOSTNÍ CHOVÁNÍ DŘEVĚNÉHO VAZNÍKU PŘI PROSTUPU OBVODOVÝM PLÁŠTĚM BAZÉNOVÉ HALY



Ing. Pavel Štajnrt | vedoucí oblasti DEKPROJEKT
pavel.stajnrt@dek-cz.com | 739 388 071

ÚVOD

V posledních letech se stále častěji realizují nosné i pohledové konstrukce staveb z dřevěných prvků. Jedním z novějších trendů je používání lepených vazníků. Tyto dřevěné prvky se v čím dál větší míře začaly objevovat i v prostorách s vysokými nároky na vnitřní prostředí. Zaměřili jsme se na bazénové haly, ve kterých se vyskytuje z tepelnětechnického hlediska velmi specifický detail, a to dřevěný vazník prostupující z interiéru bazénové haly prosklenou fasádou do exteriéru. Na části vazníku, kde vazník prostupuje skrze prosklenou fasádu, dochází k značnému rozdílu teplot a vlhkostí a k velkému vlhkovému namáhání vazníku prostupem vodních par difuzí.

Chtěli jsme ověřit následující skutečnosti:

- jak se výpočtově vazník chová v místě prostupu z hlediska rizika poškození dřeva;

- zjistit skutečnou vlhkost dřeva vazníku za daných okrajových podmínek měřením a toto porovnat s vypočtenými hodnotami;
- zhodnotit fyzický stav dřevěných vazníků po cca 10 letech provozu hal.

Pro účely měření byly vytipovány bazénové haly s tímto specifickým detailem, a to Plovárna Hranice a Aquacentrum Bohumín.

VÝPOČET 3D DETAILU PRO NÁVRHOVÉ PODMÍNKY PROSTŘEDÍ

Účelem výpočtu je zjištění hmotnostních vlhkostí dřevěného vazníku v místě prostupu fasádou. Posouzení tepelných vazeb je provedeno metodou konečných prvků v souladu s ČSN EN ISO 10211-1 v programu Cube3D 2011. Teplota a vlhkost v bazénové hale byly zvoleny dle vyhlášky 238/2011 Sb. o stanovení

hygienických požadavků na koupaliště, sauny a hygienické limity písku v pískovištích venkovních hracích ploch.

NÁVRHOVÉ OKRAJOVÉ PODMÍNKY DLE VYHL. 238/2011 (VNITŘNÍ) A DLE ČSN 73 0540-3 (VNĚJŠÍ V LEDNU):

Plovárna Hranice:

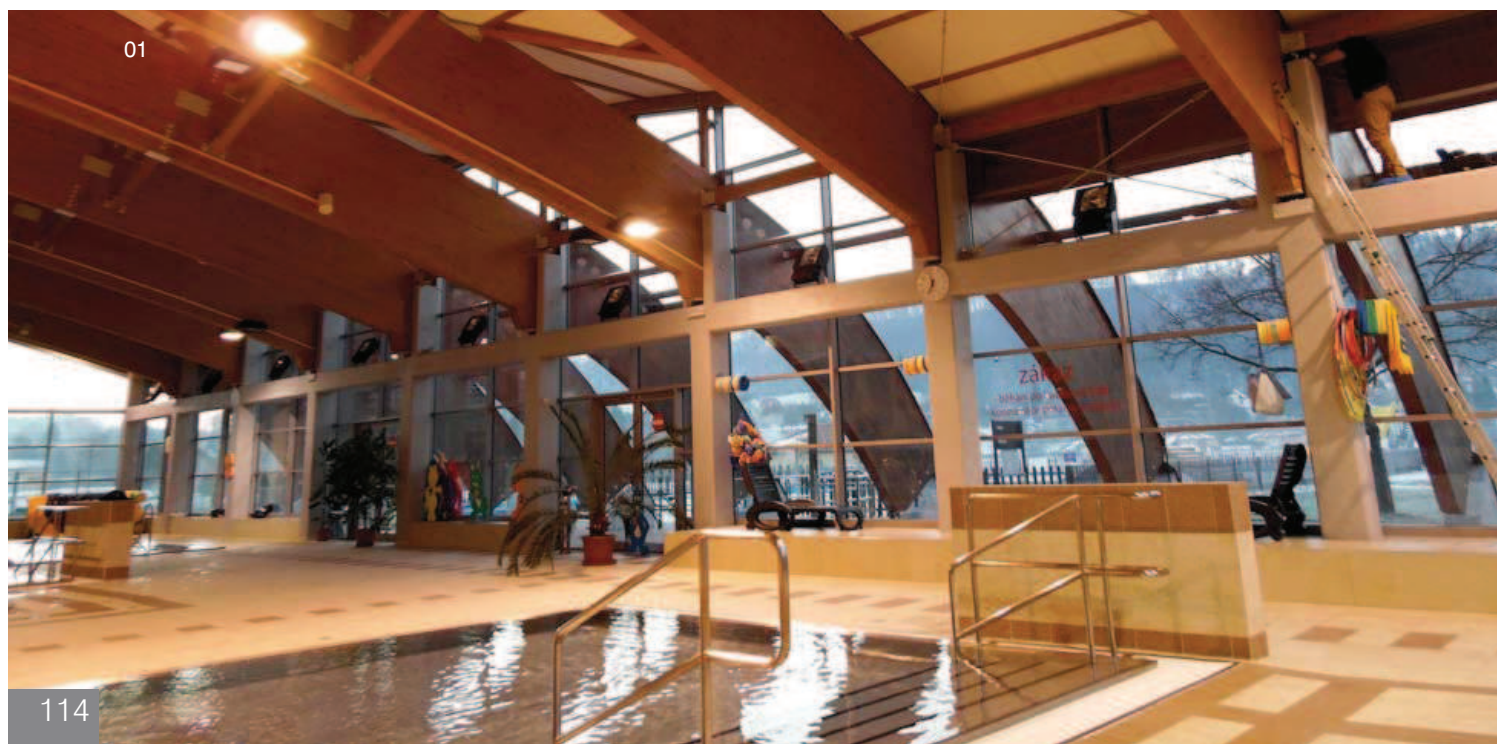
$$\phi_e = 81,3\%, T_e = -2,7\text{ }^\circ\text{C}$$
$$\phi_i = 65\%, T_i = 30\text{ }^\circ\text{C}$$

Aquacentrum Bohumín:

$$\phi_e = 81,1\%, T_e = -2,3\text{ }^\circ\text{C}$$
$$\phi_i = 65\%, T_i = 30\text{ }^\circ\text{C}$$

POŽADAVKY NA DŘEVĚNÉ KONSTRUKCE

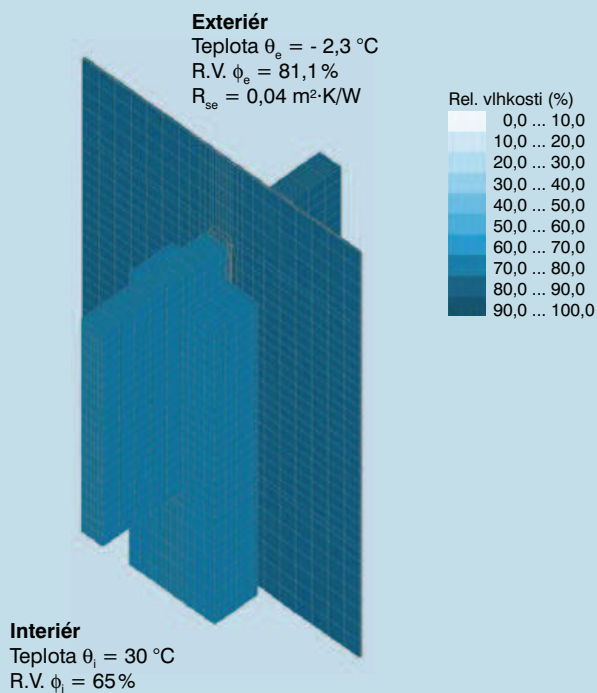
Dle ČSN 73 0540-2 (2011) a změny Z1 (2012) nesmí za normových podmínek užívání rovnovážná hmotnostní vlhkost dřeva nebo materiálu na bázi dřeva přesáhnout 18%.



01

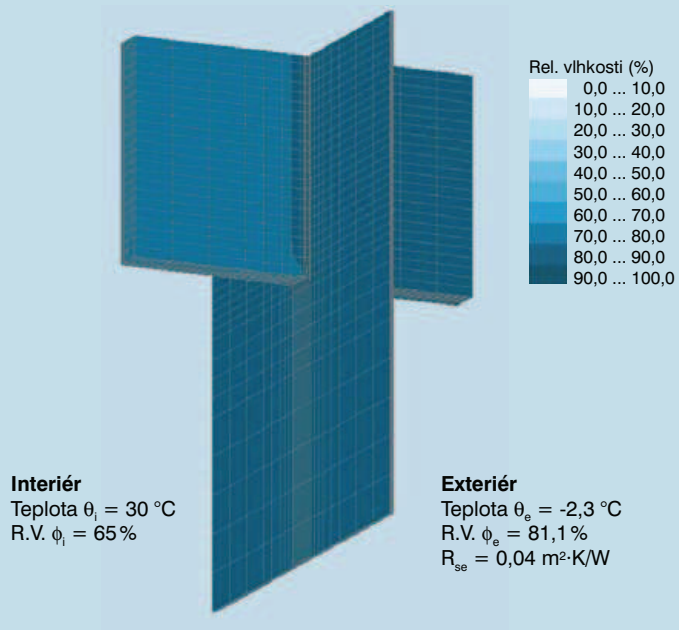
VÝSLEDKY VÝPOČTU

PLOVÁRNA HRANICE



01 | Vlhkostní pole detailu - Plovárna Hranice

AQUACENTRUM BOHUMÍN



02 | Vlhkostní pole detailu - Aquacentrum Bohumín

Řez vazníkem 20mm za rovinou obvodového pláště směrem do exteriéru, hodnoty přepočtené na hmotnostní vlhkosti dřeva:

okraje průřezu

$$\phi_v = 14,5\%$$

$$\phi_v = 14,5\%$$

$$\phi_v = 14,5\%$$

$$\phi_v = 14,5\%$$

$$\phi_v = 14,5\%$$

$$\phi_v = 14,5\%$$

$$\phi_v = 14,5\%$$



střed průřezu

$$\phi_v = 15\%$$

$$\phi_v > 28\%$$

$$\phi_v > 28\%$$

$$\phi_v > 28\%$$

$$\phi_v > 28\%$$

$$\phi_v > 28\%$$

$$\phi_v > 28\%$$

okraje průřezu

$$\phi_v = 13,5\%$$

$$\phi_v = 13,5\%$$

$$\phi_v = 13,5\%$$

$$\phi_v = 13,5\%$$

$$\phi_v = 13,5\%$$

$$\phi_v = 13,5\%$$



střed průřezu

$$\phi_v > 28\%$$

$$\phi_v > 28\%$$

$$\phi_v > 28\%$$

$$\phi_v > 28\%$$

$$\phi_v > 28\%$$

$$\phi_v > 28\%$$

Z výpočtených hodnot je patrné, že střední část průřezu vazníku nespňuje požadavky na maximální přípustnou rovnovážnou hmotnostní vlhkost dřeva dle ČSN 73 0540-2 a významně převyšuje maximální přípustnou hmotnostní vlhkost 18%.

PŘÍSTROJE POUŽITÉ PRO MĚŘENÍ HMOTNOSTNÍ VLHKOSTI

DOTYKOVÝ VLHKOMĚR TESTO 616

Pro měření hmotnostní vlhkosti jsme použili dotykový vlhkoměr schopný měřit do hloubky 50 mm od povrchu. Vzhledem k tloušťkám vazníků blížícím se celkové tloušťce 200 mm tak nebylo možné změřit vlhkost uprostřed průřezu.

Pro ověření přesnosti použitého vlhkoměru bylo provedeno kontrolní měření na několika vybraných vzorcích dřeva o rozměrech 100×50×150 mm s různou hmotnostní vlhkostí. Následně byla skutečná hmotnostní vlhkost vzorků ověřena gravimetrickou metodou v laboratoři Atelieru DEK. Z porovnání výsledků měření jsme zjistili, že při skutečné, gravimetricky změřené, hmotnostní vlhkosti dřeva nad 20% měří dotykový vlhkoměr vysoce nepřesně, při nižších vlhkostech měří hodnoty o 1 – 4 % vyšší, než jsou vlhkosti skutečné. Vzhledem k tomu, že dle ČSN 73 0540-2 je nejvyšší přípustná vlhkost zabudovaného dřeva 18 %, což by nemělo být u povrchu vazníku dle výpočtu překročeno, očekávali naměřené hodnoty dotykovým vlhkoměrem mírně na straně bezpečnosti.

VPICHOVACÍ VLHKOMĚR WHT 860

Hrotový vlhkoměr dřeva a stavebních materiálů má rozsah měření vlhkosti dřeva 5 – 90 %, rozsah měření teploty 0 – 110 °C. Přesnost přístroje jsme prověřovali v rámci předchozích výzkumných projektů a považujeme jeho přesnost za dostatečnou pro tento typ měření (odchylka do 1,5 % na straně bezpečnosti).



POPIS JEDNOTLIVÝCH OBJEKTŮ BAZÉNŮ

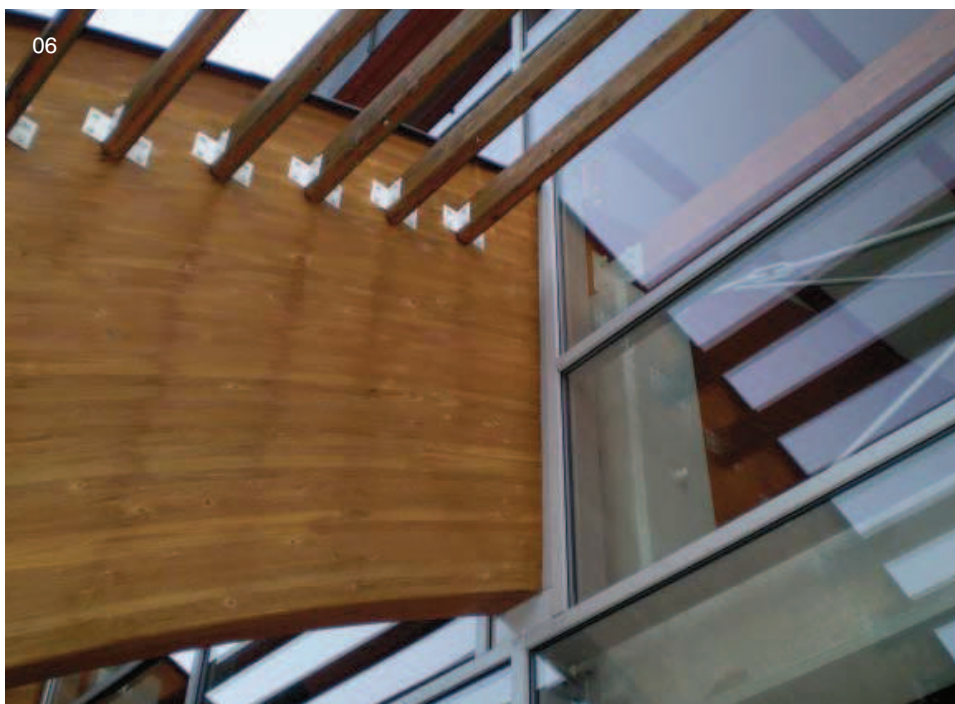
PLOVÁRNA HRANICE

Nosnou konstrukci střechy tvoří obloukové dřevěné lepené vazníky o průřezu 200×1850 mm. Měření probíhalo v bazénové hale v ranních hodinách 12. 3. 2014 pomocí dotykového vlhkoměru, termovizní kamery, termohygrografu a anemometru. Okrajové podmínky byly následující :

$$\phi_e = 77,7\%, T_e = 1,27\text{ °C}$$
$$\phi_i = 50\%, T_i = 33,08\text{ °C}$$

Prostup vazníku obvodovým pláštěm ohraničují fasádní profily, vzduchotěsnost detailu prostupu je řešena pomocí napěňovacích pásek vložených mezi profily a vazník. V exteriéru je vazník

opatřen měděným oplechováním chránícím ho proti stékající vodě. Toto oplechování prostupuje fasádou až do interiéru. Tento detail není vzduchotěsný a dochází tak k pronikání chladného vzduchu do interiéru. Vazník byl v místě průniku fasádou z větší části bez povrchové kondenzace, pouze u jeho horního povrchu k ní docházelo vlivem výše uvedené netěsnosti /obr. 08/. V exteriéru je na všech vaznicích patrná degradace ochranné lazury a vznik výsušných trhlin /obr. 07/. Prosklená fasáda a vazníky jsou v interiéru ofukovány teplým vzduchem, viz schéma na /obr. 09/, proudění vzduchu je zajištěno pomocí výfukových trysek umístěných v parapetu.



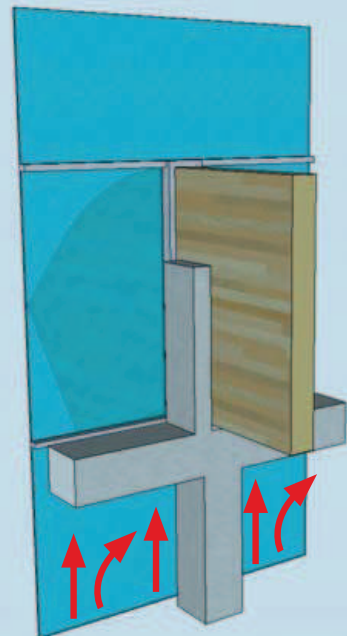


07



08

09



05 | Plovárna Hranice

06 | Detail prostupu vazníku fasádou

07 | Výsušné trhliny vazníku v exteriéru

08 | Ukončení oplechování vazníku prostupující do interiéru

09 | Schema proudění vzduchu v okolí vazníku - pohled z interiéru

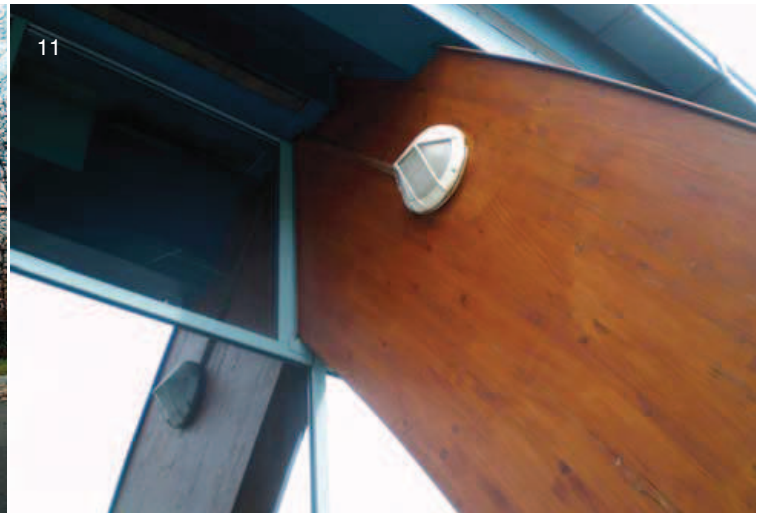
AQUACENTRUM BOHUMÍN

Nosnou konstrukci střechy tvoří obloukové dřevěné lepené vazníky o průřezu 180x1090mm. Měření probíhalo v bazénové hale v ranních hodinách 21.3.2014, pomocí dotykového

VÝPOČTOVÝ MODEL - ZOHLEDNĚNÍ PROUDĚNÍ VZDUCHU KOLEM VAZNÍKU

Na základě provedených měření rychlosti proudění vzduchu podél vazníků a povrchových teplot byly dle ČSN EN ISO 6946 vypočteny

Z výše uvedeného vyplývá několik teoretických závěrů. Při v bazénech naměřených parametrech vnějšího a vnitřního vzduchu odpovídají měřené hmotnosti vlhkosti dřevěného vazníku v oblasti pod povrchem přibližně výpočtovému posouzení, což se jeví pozitivně.



vlhkoměru, termovizní kamery a termohygrografu a anemometru. Okrajové podmínky byly následující:

$$\phi_e = 71,8\%, T_e = 5,3\text{ }^\circ\text{C}$$
$$\phi_i = 50,3\%, T_i = 30,5\text{ }^\circ\text{C}$$

Detail vazníku byl zastižen bez povrchové kondenzace, v exteriéru je na všech vaznicích patrná degradace ochranné lazury a je také patrný vznik výsušných trhlin. Prostup vazníku je znázorněn na obr. 11. Prosklená fasáda a vazníky jsou ofukovány teplým vzduchem, proudění vzduchu je zajištěno pomocí výfukových trysek umístěných v parapetu.

odpory při přestupu tepla na vnitřní straně vazníku. Postup výpočtu je uveden níže.

U plovárny Hranice byla rychlost proudění vzduchu podél vazníků 0,5 m/s, povrchová teplota vazníku u prostupu fasádou byla dle termovizního snímku stanovena na 27,5 °C.

V Aquacentru Bohumín byla rychlost proudění vzduchu 0,5 m/s, povrchová teplota vazníku byla dle termovizního snímku stanovena na 27,1 °C.

Méně pozitivní je již zjištění, že vazník uvnitř průřezu má výpočtově vyšší než přípustnou hmotnostní vlhkost pro parametry bazénu v Hranicích a blíží se 18% v Bohumíně. Prověřili jsme si, že pokud by bylo v interiéru dosaženo vyhláškou definovaných návrhových parametrů vzduchu (relativní vlhkost 65%), výpočtově nastávají ve dřevě takové podmínky, které odporují požadavkům normy.

To nás vedlo k dalšímu zkoumání problematiky ve dvou rovinách. Provéřit, jakých vlhkostí a teplot se běžně dosahuje v bazénech postavených v posledním desetiletí, zda-li není hodnota daná vyhláškou příliš na straně bezpečnosti. Dále prověřit alespoň u jednoho bazénu skutečnou vlhkost uvnitř průřezu, zda nedochází směrem k jeho středu k dramatickým nárůstům hmotnostních vlhkostí a vazník vlhkostně nedegraduje od středu průřezu, jak ukazuje náš výpočtový model.

$$R_s = \frac{1}{h_e + h_f}$$

kde h_e je součinitel přestupu tepla prouděním;
 h_f součinitel přestupu tepla sáláním;

a $h_f = \varepsilon \cdot h_{r0}$
 $h_{r0} = 4 \cdot \sigma \cdot T_m^2$

kde ε je poloprostorová (hemisférická) emisivita povrchu;
 h_{r0} součinitel přestupu tepla sáláním černého tělesa (viz tabulka A.1), ve $W/(m^2 \cdot K)$;
 σ Stefan-Boltzmannova konstanta, $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} W/(m^2 \cdot K^4)$;
 T_m střední termodynamická teplota povrchu a jeho okolí, v K.

$$h_e = h_{ce}$$

kde $h_{ce} = 4 + 4 \cdot v$

a v je rychlost větru při povrchu, v m/s.

POROVNÁNÍ VYPOČTENÝCH A NAMĚŘENÝCH HODNOT

PLOVÁRNA HRANICE

Změřené hmotnostní vlhkosti

Vlhkosti měřeny dotykovým vlhkoměrem přiložením z obou stran vazníku. Střed průřezu vazníku nezměřen.

Vypočtené hmotnostní vlhkosti

Výpočet proveden pomocí 3D modelu

levá/pravá strana (ϕ_m)	okraj průřezu pravá i levá strana	střed průřezu
14,4% / 12,5%	$\phi_v = 15\%$	$\phi_v = 14\%$
14,5% / 13,8%	$\phi_v = 14,5\%$	$\phi_v = 21\%$
14,5% / 15,4%	$\phi_v = 14,5\%$	$\phi_v = 21\%$
13,2% / 15,6%	$\phi_v = 14,5\%$	$\phi_v = 21\%$
13,6% / 15,2%	$\phi_v = 14,5\%$	$\phi_v = 21\%$
12,8% / 14,5%	$\phi_v = 14,5\%$	$\phi_v = 21\%$
12,9% / 13,9%	$\phi_v = 14,5\%$	$\phi_v = 21\%$

AQUACENTRUM BOHUMÍN

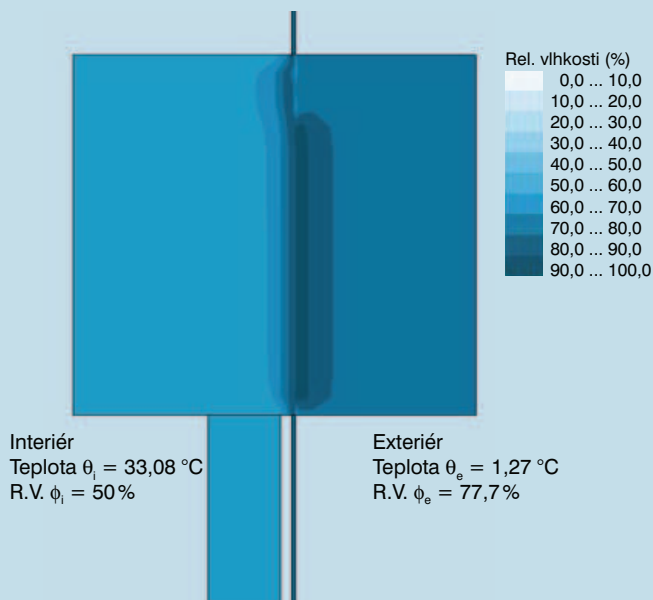
Změřené hmotnostní vlhkosti

Vlhkosti měřeny dotykovým vlhkoměrem přiložením z obou stran vazníku. Střed průřezu vazníku nezměřen.

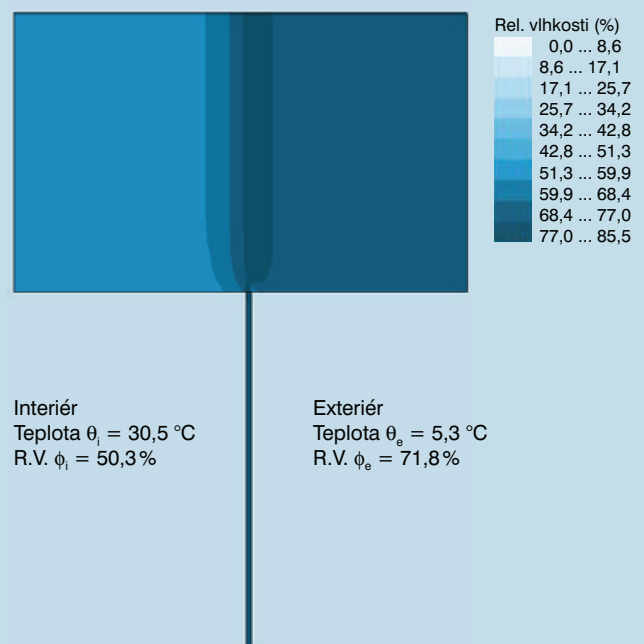
Vypočtená hmotnostní vlhkost

levá/pravá strana (ϕ_m)	okraj průřezu – střed průřezu pravá i levá strana
13,3% / 13,3%	$\phi_v = 12,5\%$ / $\phi_v = 16\%$
11,8% / 13,7%	$\phi_v = 12,5\%$ / $\phi_v = 16\%$
15,8% / 16,5%	$\phi_v = 12,5\%$ / $\phi_v = 16\%$
12,3% / 14,1%	$\phi_v = 12,5\%$ / $\phi_v = 16\%$
12,5% / 13,8%	$\phi_v = 12,5\%$ / $\phi_v = 16\%$
12,4% / 10,5%	$\phi_v = 12,5\%$ / $\phi_v = 16\%$

Vypočtená hmotnostní vlhkost byla určena dle diagramu rovnovážné vlhkosti smrkového dřeva podle Čulického. Hodnoty jsou stanoveny pro rovinu cca 20mm od obvodového pláště směrem do exteriéru.



12| Vlhkostní pole - podélný řez středem vazníku



13| Vlhkostní pole - podélný řez středem vazníku

PARAMETRY VNITŘNÍHO PROSTŘEDÍ VE VYBRANÝCH BAZÉNECH

Na základě průzkumů dat z vybraných zakázek na veřejných bazénech jsme sestavili tabulku, ve které jsou uvedeny parametry interiérového vzduchu měřené v rámci posudkové činnosti. Zatížení interiéru vlhkostí znázorňujeme také přepočtem na hmotnost vody v 1 kg suchého vzduchu. Jako parametry vnitřního vzduchu dle vyhlášky 238/2011 Sb. jsme si zvolili hodnoty teploty vzduchu 30°C a jeho relativní vlhkost 65%. Teplotu 30°C jsme zvolili s ohledem na statistický vzorek, kdy není tato hodnota u jiných bazénů obvykle překročena.

Z tabulky /01/ vyplývá několik skutečností. Naměřené parametry vzduchu a jejich přepočty na množství vody suchém vzduchu nepřekračují hodnoty pro vzduch o teplotě 30°C a 65% a v žádném bazénu se relativní vlhkost ani nepřibližuje návrhové hodnotě 65%. Lze tedy říci, že hodnoty dané vyhláškou byly ve všech bazénech dodrženy. Na druhou stranu nejsou naměřené hodnoty o mnoho nižší než vyhláškou povolené a dle našeho názoru je třeba na tyto hodnoty veškeré skladby a detaily zodpovědně z hlediska tepelné

techniky posuzovat. Další pozitivní skutečností je fakt, že námi vybrané bazény jsou jedny s největším vlhkostním zatížením z celého vzorku, čili předpokládáme, že mnoho namáhanějších vazníků v bazénech již v České republice pravděpodobně není k dispozici.

FÁZE PRŮZKUMU - KONTROLNÍ MĚŘENÍ HMOTNOSTNÍ VLHKOSTI VE STŘEDU PRŮŘEZU VAZNÍKU

V plovárně Hranice bylo v únoru 2015 provedeno kontrolní měření hmotnostní vlhkosti středu vazníku. Důvodem bylo ověření, zda-li vazník uprostřed průřezu z hlediska hmotnostní vlhkosti nepřekračuje 18% a jestli je uvnitř vazníku vyšší hmotnostní vlhkost než na okrajích, tak jak předpokládá výpočet v 3D modelu.

Měřicí zařízení

Pro měření vlhkosti dřeva byl použit vpichovací vlhkoměr WTH 860.

Parametry vnitřního prostředí

Měření parametrů vnitřního a vnějšího prostředí bylo provedeno termohygrografem.

Parametry vnitřního prostředí i = 58,9%, T_i = 30,6°C, v blízkosti vazníku byla naměřena vlhkost

vzduchu 54% a teplota 30,4 °C.

Rychlost proudění vzduchu kolem vazníku byla 0,5 m/s.

Parametry vnějšího prostředí ϕ_e = 64,9%, T_e = -1,1 °C

Popis měření

Byly provedeny 2 měřicí sondy v interiéru a jedna v exteriéru. Sonda se skládala ze dvou vyvrtaných otvorů průměru 3 mm, osově vzdálených 15 mm, hloubka vrtů byla 100 mm. Do vrtů byly vloženy ocelové jehly zakončené hrotem a na druhé straně upravené pro spojení s přístrojem. Jehly byly po obvodě izolovány plastovou páskou. Hrot byl zaražen ve středu vazníku cca 3 mm do dřeva, tím byl vyloučen vliv zahřívání a vysušování dřeva při vrtání.

Výsledky měření

1 sonda (S1) byla provedena v interiéru cca 30 mm od fasádního profilu.

- Vlhkost naměřená ve středu průřezu vazníku byla 8,5%.
- Vlhkost cca 5 mm pod povrchem vazníku byla 10,9%.

2 sonda (S2) byla provedena v interiéru cca 130 mm od fasádního profilu.

- Vlhkost naměřená ve středu

Tabulka 01 | Naměřené parametry interiérového vzduchu ve vybraných bazénech

Bazén	Teplota vzduchu v °C	Relativní vlhkost v %	g vody/kg s.v.	% z max
Standardní hodnoty dle vyhlášky 238/2011	30	65%	17,5	100
Aquapark Kravaře	30	33	9	51
Hotel Frymburk	29	40	10	57
Aquapark Lipno	26,5	56	11	63
Aquapark Bohumín	30	50	14,5	83
Aquapark Hranice	33	50	15,5	89
Hotel Horal Krkonoše	27	52	11,5	66
Aquapark Frenštát pod Radhoštěm	28	47	11,5	66
VZ Měřín	27	65	14,5	83
Relax centrum Fryčovice	29	60	14,5	83

- průřezu vazníku byla 7,6%.
- Vlhkost cca 5 mm pod povrchem vazníku byla 10,8%.

3 sonda (S3) byla provedená v exteriéru cca 30 mm od fasády.

- Vlhkost naměřená ve středu průřezu vazníku byla 16,1%.
- Vlhkost cca 5 mm pod povrchem vazníku byla 14%.

POROVNÁNÍ VYPOČTENÝCH A NAMĚŘENÝCH HODNOT

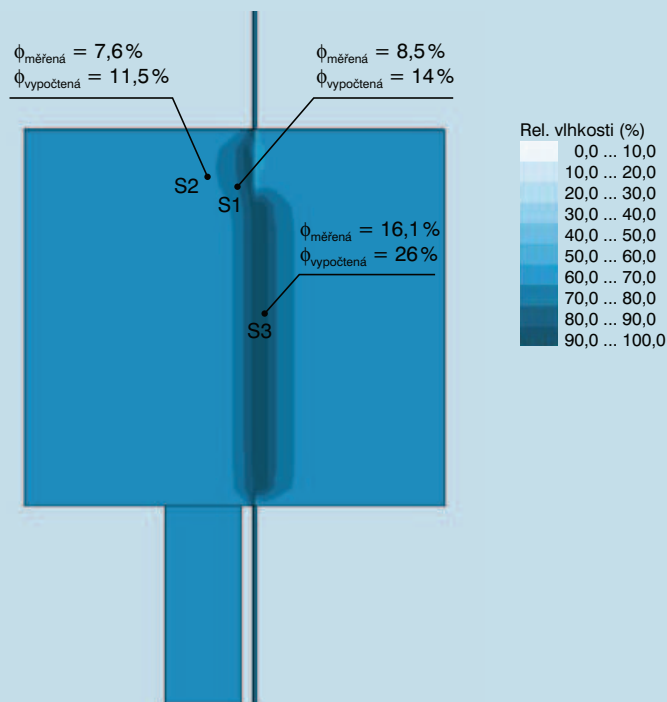
Hmotnostní vlhkost dřeva změřená uvnitř průřezu vazníku je vždy nižší než vypočtená a současně je nižší než hmotnostní vlhkost změřená na okraji průřezu. V žádné sondě nedosahuje kritické hodnoty 18%, vazník tedy není v době měření nadměrně vlhký.

ZÁVĚR

Úkolem naší činnosti bylo prostudovat vlhkostní chování dřeva v místě prostupujícího dřevěného vazníku prosklenou fasádou v bazénových halách, a to jak výpočtově tak i měřením u konkrétních bazénových hal.

Pokud posoudíme vlhkost dřeva vazníku výpočtem pro návrhové okrajové podmínky vnitřního vzduchu bazénu dané vyhláškou 238/2011 Sb., překračuje hmotnostní vlhkost dřeva uvnitř průřezu vazníku zásadně maximální přípustnou hodnotu 18%. Výpočtově tak může být komplikované prokázat, že je tento detail, který je realizován na mnoha bazénech v ČR, z hlediska hmotnostní vlhkosti prostupujících dřevěných prvků, funkční.

Hodnoty vlhkosti dřeva vazníku v interiéru v blízkosti jeho povrchu získané výpočtem a měřením dotykovým vlhkoměrem pro na místě zjištěné okrajové podmínky se v zásadě shodují. Uvnitř průřezu vazníku se hodnoty vypočtené zvyšují oproti jeho povrchu, a to až nad přípustnou hodnotu 18%. Naopak měřením bylo zjištěno snižování hodnot vlhkosti směrem do středu. Výpočet je tak významně na straně bezpečnosti a měřením nebylo zjištěno překročení hodnoty 18%, změřené hodnoty byly dokonce nižší než 10%.



14 | Vlhkostní pole - podélný řez vazníkem

S ohledem na výsledky měření lze usuzovat, že při udržování relativní vlhkosti vzduchu v bazénových halách na obvyklých hodnotách do cca 55% (tato hodnota nebyla překročena na vybraném vzorku veřejných bazénů), nedochází k nadměrnému vlhnutí dřeva vazníku a zkoumaný detail se ukazuje jako suchý a vazník jako funkční bez známek degradace.

Bazén s relativní vlhkostí vzduchu udržovanou na hranici požadavku 65% jsme nenalezli. Nelze tedy s jistotou říci, jak by se zde vazník choval. Je pravděpodobné, s ohledem na bezpečnost výpočtů, že by byla vlhkost vazníku vyhovující. S jistotou by to šlo zjistit například experimentálním měřením na modelu detailu v měřítku 1:1. Je možné, že se touto problematikou budeme v budoucnu zabývat v experimentální budově Atelieru DEK. O dalších krocích

v rámci tohoto výzkumu budeme technickou veřejnost samozřejmě informovat.

<Pavel Štajnrt>
<Roman Zápařka>