



AQUAPALACE PRAHA

PROSTOROVÁ AKUSTIKA V SOUVISLOSTECH

AQUAPALACE V PRAZE ČESTLÍČÍCH, UVEDENÝ DO PROVOZU V KVĚTNU ROKU 2008, JE NEJVĚTŠÍM AQUAPARKEM VE STŘEDNÍ EVROPĚ. JEHO KAPACITA JE 2 100 NÁVŠTĚVNÍKŮ, VODNÍ PLOCHA ZABÍRÁ PŘÍBLIŽNĚ 2 500 m². PRVNÍ STAVEBNÍ POVOLENÍ NA ZÁBAVNÍ CENTRUM S AQUAPARKEM BYLO VYDÁNO UŽ V ROCE 2002. PO DOKONČENÍ HRUBÉ STAVBY VŠAK BYLA STAVBA NA VÍCE NEŽ DVA ROKY ODLOŽENA. PO ZMĚNĚ INVESTORA A KOMPLETNÍM PŘEPRACOVÁNÍ PROJEKTU BYLA STAVBA DOKONČENA AŽ V ROCE 2008.

Atelier DEK byl na akci objednáán ve fázi změn projektové dokumentace a podílel se na řešení prostorové a stavební akustiky objektu. Navázal tak na činnost společnosti SONING

Praha a.s., která zpracovala akustiku v původním projektu. Naším hlavním úkolem bylo prověřit původní řešení akustiky ve vztahu k aktuálním legislativním

požadavkům a navrhnout jeho úpravy vyplývající z dispozičních a stavebních změn, ze změn technologického vybavení apod. Cílem bylo eliminovat nepříznivý



01

- 01 | Interiér paláce vlnobití
- 02 | Jeden z paláců ve fázi výstavby

vliv hluku z technických zařízení a hlučných provozů na chráněné vnitřní a venkovní prostory vlastního objektu a dosáhnout požadovaných vlastností vybraných vnitřních prostorů z hlediska prostorové akustiky. Z tohoto pohledu bylo nejzajímavější činností prověření prostorové akustiky jednotlivých paláců, které byly charakteristické velkým obestavěným objemem (přes 20 000 m³), zvláštním tvarovým řešením (povrchy stěn, stropů a podlahy nejsou navzájem rovnoběžné) a malou plochou volných povrchů vhodnou pro



02

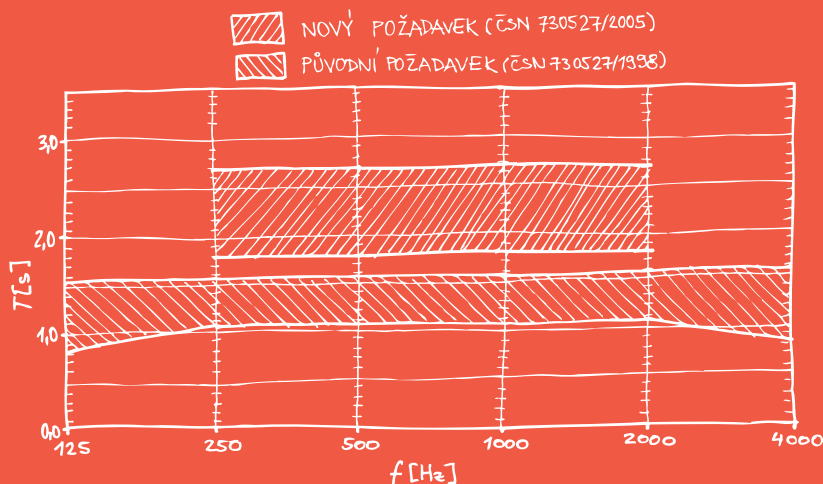
Obr. 01 | Půdorysné schéma objektu

- 1 PALÁC DOBRODRUŽSTVÍ – tobogány, skluzavky, spacebowl
- 2 PALÁC VLNOBITÍ – bazén s umělými vlnami
- 3 PALÁC RELAXACE – plavecký bazén
- 4 CENTRÁLNÍ ČÁST – šatny, sprchy, lázně, restaurace
- 5 VSTUPNÍ ČÁST – restaurace, obchody, spa, fitness



Obr. 01

Graf 01 | Změna požadavků na dobu dozvuku T paláců



aplikaci zvukově pohltivého obkladu (venkovní stěny a střecha jsou z velké části prosklené /foto 01/).

ZMĚNY V POŽADAVCÍCH NA PROSTOROVOU AKUSTIKU

V době zpracování původní projektové dokumentace byly požadavky na dobu dozvuku plaveckých hal stanoveny Nařízením vlády č. 502/2000 Sb. [1] společně s ČSN 73 0527 [4] z roku 1998. Optimální doba dozvuku odpovídala pro všechny plavecké haly hodnotě $T_0 = 1,3$ s, přičemž přípustné rozmezí hodnot poměru dob dozvuku T/T_0 , kde T je skutečná doba dozvuku uzavřeného prostoru, bylo určeno v závislosti na středním kmitočtu oktávového pásma pro oktávová pásma od 125 Hz do 4 000 Hz podle grafu /01/. Požadavek na optimální dobu dozvuku nebylo s ohledem na velký objem vnitřního prostoru prakticky možné dosáhnout. Proto bylo v původním návrhu [9] řečeno, že dle praktických zkušeností je vyhovující přiblížit se dobou dozvuku alespoň hodnotě $T_0 = 2,0$ s. V roce 2005, tedy ještě před zpracováním změn projektové dokumentace, vstoupila v platnost nová ČSN 73 0527, v níž došlo k výrazné úpravě požadavků na plavecké haly. Hodnota optimální doby dozvuku T_0 se nově stanoví výpočtem v závislosti na objemu uzavřeného prostoru, např. pro plavecké haly s objemem V od 3 000 m³ do 20 000 m³ ze vztahu $T_0 = 1,0366 \log V - 2,204$. Doba dozvuku T veřejných prostorů se navíc nově ověřuje pouze pro oktávová pásma se středními kmitočty od 250 Hz do 2 000 Hz (viz graf /01/). V našem případě vedly legislativní úpravy k výraznému prodloužení předepsané optimální doby dozvuku T_0 jednotlivých paláců z 1,3 s na 2,25 s, což se zásadně odrazilo v hodnocení jejich prostorové akustiky. Zatímco původní hodnotu $T_0 = 1,3$ s nebylo možné splnit ani se jí přiblížit, nová hodnota $T_0 = 2,25$ s se už jevila jako dosažitelná.

PŮVODNÍ ŘEŠENÍ PROSTOROVÉ AKUSTIKY PALÁCŮ

V původním řešení prostorové akustiky paláců byly navrženy zvukově pohltivé stěnové obklady v kombinaci s kazetovými podhledy

v největším možném rozsahu, tj. na všechny volné plochy konstrukcí (s výjimkou prosklených částí stěn a střech).

Na stěny byl projektován zvukově pohltivý obklad z desek z barveného písku pojeného epoxidovou kompozicí SONIT D30, na střechu kazetový podhled z desek SONIT SP5 (na stejné materiálové bázi) a na vzduchotechnické kanály v interiéru kazetový podhled z desek z minerálních vláken s omyvatelným povrchem, určený do prostorů s relativní vlhkostí až 100 %, ARMSTRONG Ceramaguard Fine Fissured. Podhled pod střechou byl rozdělen do samostatných polí mezi lepenými dřevěnými vazníky a dřevěnými vaznicemi tak, aby vždy po celém obvodu každého pole byla ponechána dostatečná mezera umožňující proudění vzduchu mezi podhledem a střechou /foto 03/ a /obr. 02/.

Výsledkem uvedeného řešení bylo, že se vypočtená doba dozvuku v jednotlivých palácích pohybovala v rozmezí hodnot 1,9–3,0 s (v závislosti na středním kmitočtu oktávového pásma). Nesplňovala tedy původní požadavek na optimální dobu dozvuku 1,3 s (včetně jejího přípustného rozmezí). Nepodařilo se splnit ani původní návrhovou hodnotu 2,0 s, která se téměř shodovala s novým požadavkem. Pro dosažení vyhovujícího stavu bylo třeba dobu dozvuku zkrátit.

MOŽNOSTI ÚPRAV PROSTOROVÉ AKUSTIKY PALÁČŮ VZHLEDEM KE SPECIFICKÝM PODMÍNKÁM

Zkrácení doby dozvuku pod limitní úroveň bylo možné dosáhnout zvýšením celkové pohltivosti vnitřního prostoru. To ovšem znamenalo zvětšení plochy pohltivých obkladů nebo použití jiných, zvukově pohltivějších výrobků. Vzhledem k tomu, že již v původním návrhu byly obloženy prakticky všechny volné povrchy, zvětšení plochy obkladů bylo možné jen za cenu úplného vyplnění polí mezi vazníky a vaznicemi. Druhá možnost, tedy použití výrobků s větší zvukovou pohltivostí (např. desek



z minerálních vláken s povrchovou úpravou), přicházela v úvahu jen u konstrukcí, u kterých nehrozil přímý kontakt s odstříkující vodou nebo na které nebyly kladeny zvýšené požadavky na jejich mechanickou odolnost. Tyto podmínky splňoval jen podhled střechy nebo konstrukcí v dostatečné vzdálenosti od vodní hladiny.

Při rozhodování o výsledném řešení však bylo třeba vzít v úvahu nejen hledisko prostorové akustiky, ale též tepelné techniky. Především se jednalo o riziko vzniku stavebních poruch v důsledku růstu plísni

na stavebních konstrukcích nebo dokonce povrchové kondenzace vodní páry (či přímého kontaktu obkladu s odstříkující vodou) ve vlhkém bazénovém prostředí. Neobvyklý tvar střech riziko vzniku vlhkostních poruch oproti normálu ještě zvyšoval, neboť umožňoval hromadění teplého vlhkého vzduchu pod značně ochlazeným vrcholem střechy. Podle ČSN 73 0540-3 [7] může při výšce vnitřního prostoru 18 m, což je přibližně hodnota odpovídající světlé výšce paláců, činit rozdíl teplot interiérového vzduchu mezi dolní částí střechy a jejím vrcholem až 5 °C. Protože návrhová relativní

vlhkost vzduchu je podle této normy v obou výškových úrovních stejná, teplejší vzduch je více nasycený vodní parou a je tedy i náchylnější na její kondenzaci. Po uzavření prostoru nad podhledem v důsledku úplného vyplnění polí mezi vazníky by se riziko kondenzace vodní páry na spodním povrchu střechy ještě zvýšilo, což dokládá tabulka /01/. Nepříznivý vliv na tepelně-vlhkostní režim střechy by měl i minerální podhled. Zvýšený tepelněizolační účinek takového podhledu by totiž mohl způsobit ochlazení konstrukce střechy nad podhledem, čímž by došlo k dalšímu zvýšení relativní vlhkosti vzduchu v blízkosti této chladnější konstrukce a opět by mohlo dojít ke kondenzaci vodní páry, jak je patrné z tabulky /01/. Odkapávající kondenzát ze střechy by potom mohl ohrozit funkci kazetového podhledu z minerálních desek. Zvýšená relativní vlhkost vzduchu v okolí konstrukce by navíc nepříznivě ovlivňovala i trvanlivost nosných střešních prvků na bázi dřeva (vazníků a vaznic). Prakticky ve všech variantách

s uzavřenou vzduchovou vrstvou nad podhledem byla výpočtově překročena přípustná maximální hmotnostní vlhkost dřeva 18 %, která představuje hranici, kdy mohou být dřevěné prvky v důsledku zvýšené vlhkosti napadeny dřevokaznými houbami. I za cenu horších akustických vlastností jsme se proto přiklonili k řešení s podhledem z desek z barveného písku pojeného epoxidovou kompozicí, (které dobře odolávají přímému kontaktu s vodou z obou stran), rozděleným do polí s odstupem od nosných prvků. Pro alespoň částečné zvýšení pohltivosti vnitřního prostoru jsme na vnitřních konstrukcích, kde bylo riziko přímého kontaktu obkladu s vodou minimální (na VZT kanálech), navrhli použít zvukově pohltivější minerální podhled ECOPHON Focus A tl. 20 mm. Takové řešení sice nebylo ideální z hlediska doby dozvuku, avšak v souvislosti s problematikou tepelné techniky se jednalo o řešení optimální. Ve výpočetních modelech, použitých při návrhu v některých

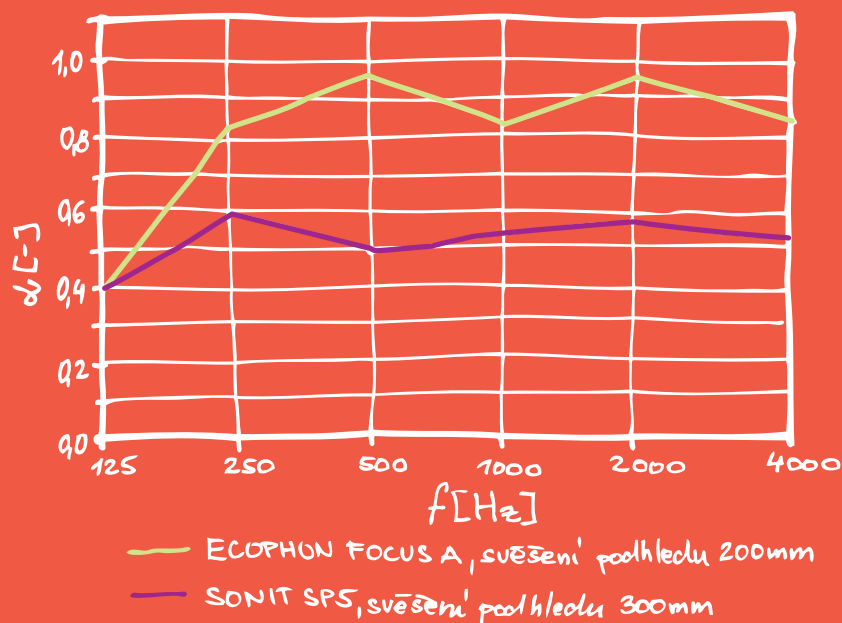
palácích a v některých oktávových pásmech optimální doba dozvuku vycházela, někde ovšem těsně nevycházela. Ze zkušenosti víme, že skutečnou dobu dozvuku ovlivňují mnohé skutečnosti, které ve výpočtu nelze zcela postihnout. Jedná se např. o vliv vybavení interiéru, dekoračních prvků, zeleně, VZT potrubí, lehátek, nerovnoměrného rozložení pohltivých a nepohltivých ploch apod. Proto jsme se rozhodli navržená opatření realizovat a optimální dobu dozvuku dořešit až po realizaci stavby a projektového návrhu akustických opatření. Při návrhu akustických úprav se i podle ČSN 73 0527 [4] vždy doporučuje postupovat v krocích. V jednotlivých fázích realizace se provádí měření doby dozvuku, výsledky měření se porovnávají s výsledky výpočtů a navrhuje se případné další úpravy plochy, typu obkladu apod. Podrobně k této problematice viz také článek Ing. Tomáše Kupsy o navrhování opatření pro optimalizaci doby dozvuku v čísle 04/2008.

Tabulka 01 | Výpočtový průběh relativní vlhkosti [%] a přibližná oblast kondenzace ve střeše

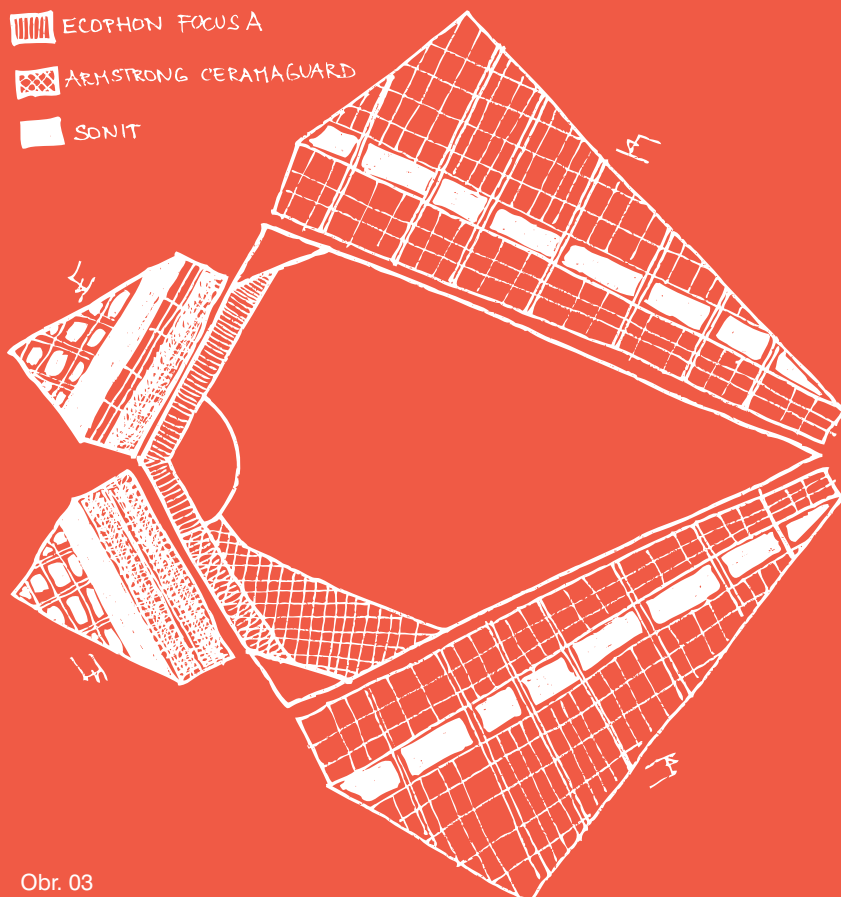
Vysvětlivky: Barevné rozlišení vypočtené rel. vlhkostí [%]

Popis varianty	Hledisko	Poloha	
		v dolní části střechy	ve vrcholu střechy
bez podhledu nebo s podhledem se vzduchovou vrstvou napojenou na interiéru (přibližné řešení)	růst plísní		
	kondenzace		
s podhledem se zanedbatelným tepelněizolačním účinkem (např. SONIT SP5), s uzavřenou vzduchovou vrstvou	růst plísní		
	kondenzace		
s podhledem s výraznějším tepelněizolačním účinkem (např. ECOPHON Focus A), s uzavřenou vzduchovou vrstvou	růst plísní		
	kondenzace		

Předpoklad: Střecha splňuje požadavek na součinitel prostupu tepla U podle ČSN 73 0540-2.



Obr. 03 | Skica Paláce vlnobití s vyznačením návrhu akustických úprav



Obr. 03

DOBA DOZVUKU JEDNOTLIVÝCH PALÁČŮ – MĚŘENÍ

Po realizaci stavby jsme provedli kontrolní měření doby dozvuku in-situ. Změřené hodnoty doby dozvuku T všech tří paláců jsou vyneseny do společného grafu /03/.

Měření probíhalo v každém paláci vždy v několika kontrolních bodech pro různé polohy zdroje zvuku, kterým byla pistole ráže 9mm s akustickými náboji. Pro měření byl použit zvukoměr NORSONIC Nor140 s mikrofonom Nor1225, spadající do třídy přesnosti 1.

OVĚŘENÍ PŘESNOSTI VÝPOČTŮ DOBY DOZVUKU

Měření ukázalo odchylky mezi skutečnou a vypočtenou dobou dozvuku T . Opravdu se tak potvrdil vliv výše jmenovaných okolností, které ve výpočtu nelze zcela postihnout. Ve dvou ze tří paláců (v Paláci relaxace a v Paláci vlnobití) byla doba dozvuku v oktávových kmitočtových pásmech 500 Hz až 2 000 Hz delší než vypočtená. V Paláci vlnobití změřená doba dozvuku v této kmitočtové oblasti přesahovala horní hranici přípustného rozptylu poměru hodnot T/T_0 . Nejlepšího souladu mezi vypočtenými a změřenými hodnotami doby dozvuku bylo dosaženo v Paláci dobrodružství. V tomto paláci však bylo nainstalováno velké množství vnitřního vybavení (tobogány, skluzavky, spacebowl apod.), které nebylo ve výpočtu uvažováno, avšak má příznivý vliv na zkrácení skutečné doby dozvuku (zmenšuje objem a zvětšuje pohltivost vnitřního prostoru, přispívá k difuznosti zvukového pole).

Zjištěný nesoulad mezi změřenými a vypočtenými hodnotami doby dozvuku může mít hned několik příčin, především:

- není splněn výpočtový předpoklad difuzního zvukového pole,
- propojení prostoru nad podhledem střeby s vnitřním prostředím ovlivňuje zvukovou pohltivost podhledu,



04 | Interiér Paláce dobrodružství
05 | Interiér Paláce vlnobítí
06 | Interiér Paláce relaxace

- skutečné provedení akustických úprav zcela neodpovídá jejich navrhovanému řešení.

Výpočet doby dozvuku podle ČSN 73 0525 [3] je založen na předpokladu difuzního zvukového pole. Pro jeho dosažení by měly být zvukověpohltivé prvky rozptýleny ve vnitřním prostoru co nejrovnoměrněji. Takového uspořádání však nebylo možné v reálu dosáhnout (střechy i vnější stěny jsou z převážné části prosklené, podlaha neumožňuje akustické úpravy). Nedifuznost zvukového pole může způsobit zkrácení nebo prodloužení doby dozvuku oproti výsledkům výpočtu založeného na teorii difuzního zvukového pole.

Propojení prostoru nad podhledem střechy s vnitřním prostředím bylo navrženo především kvůli snížení rizika vzniku kondenzace vodní páry nad podhledem, může však ovlivnit zvukovou pohltivost podhledu. Skutečná zvuková pohltivost podhledu zabudovaného do stavby tedy může být jiná, než kterou běžně uvádí výrobci a s níž také byly výpočty provedeny.

V rámci měření bylo zjištěno, že některé akustické úpravy nebyly v navržené podobě realizovány. Jiná plocha akustického obkladu v interiéru vede ke změně celkové pohltivosti vnitřního prostoru a tedy i doby dozvuku oproti předpokladu.

Pro zkrácení doby dozvuku v Paláci vlnobítí na požadovanou úroveň jsme doporučili zavěšení akustických těles, tzv. bafflů, do vnitřního prostoru. Toto řešení nemá vliv na tepelnou techniku a s ohledem na skutečnost, že již prakticky nejsou k dispozici žádné volné povrchy konstrukcí, které by bylo možné opatřit zvukově pohltivým obkladem, se jedná o řešení dle našeho názoru nejvhodnější.

ZÁVĚR

Naše zkušenosti z řešení prostorové akustiky aquaparku v Čestlicích dokazují, že optimalizace konstrukcí v bazénovém prostředí může být značně obtížná a prakticky vždy vede ke kompromisnímu návrhu.

Zvýšená vlhkostní zátěž obvykle vyžaduje použití konstrukcí z odolných materiálů s uzavřenou povrchovou strukturou, která však snižuje jejich zvukovou pohltivost. Pro dosažení požadované doby dozvuku tak může být nezbytné obložit značnou část plochy konstrukcí ohraničujících vnitřní prostor s bazénem. Tyto konstrukce (střecha, vnější stěny) však velmi často oddělují bazénové prostředí od exteriéru, což proces optimalizace komplikuje.

< Jiří Nováček >
DEKPROJEKT s.r.o., Praha

Foto:
Eva Nečasová

Kresba obrázků a tvorba grafů:
Jiří Nováček

Generální projektant stavby:
METROPROJEKT Praha a.s.
Generální dodavatel stavby:
UNISTAV a.s.

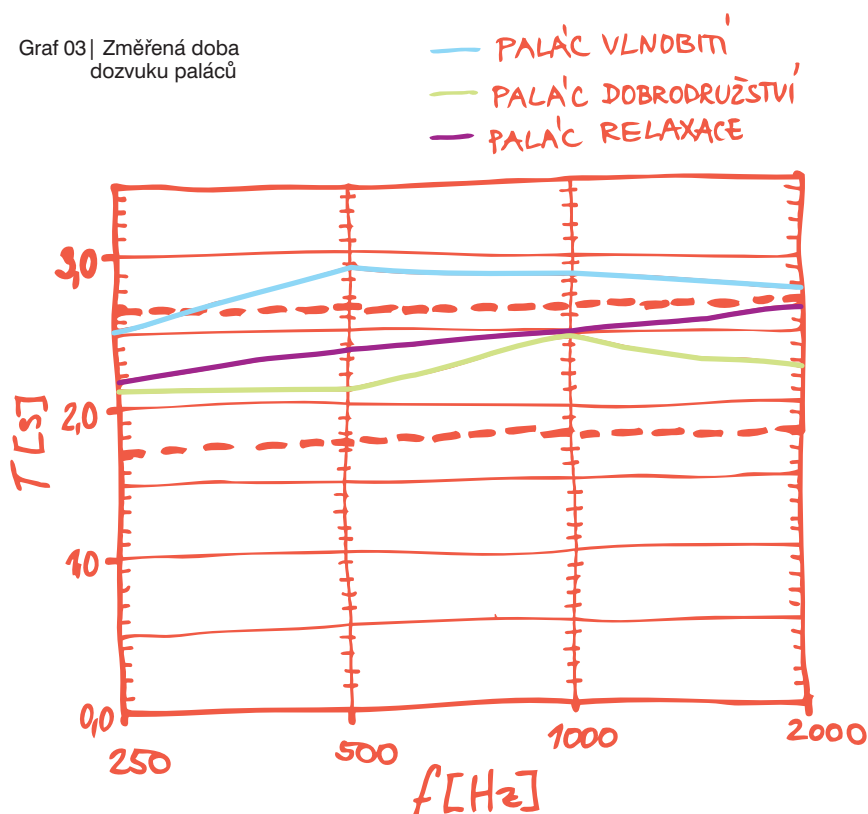
Literatura

- [1] Nařízení vlády č. 502/2000 Sb. o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací
- [2] Nařízení vlády č. 148/2006 Sb. o ochraně zdraví před

nepříznivými účinky hluku a vibrací

- [3] ČSN 73 0525 Akustika–Projektování v oboru prostorové akustiky–Všeobecné zásady
- [4] ČSN 73 0527 Akustika–Projektování v oboru prostorové akustiky–Prostory pro kulturní účely–Prostory ve školách–Prostory pro veřejné účely
- [5] ČSN 73 0540-1 Tepelná ochrana budov–Část 1: Terminologie
- [6] ČSN 73 0540-2 Tepelná ochrana budov–Část 2: Požadavky
- [7] ČSN 73 0540-3 Tepelná ochrana budov–Část 3: Návrhové hodnoty veličin
- [8] ČSN 73 0540-4 Tepelná ochrana budov–Část 4: Výpočtové metody
- [9] Aquapark Čestlice, řešení prostorové akustiky, Soning Praha a.s., duben 2003
- [10] Obchodní a zábavní centrum Čestlice, Prostorová akustika, Atelier stavebních izolací, Praha 2006
- [11] internet:
www.aquapalacepraha.cz,
www.soning.cz,
www.ecophon.cz,
www.armstrong.cz

Graf 03 | Změřená doba dozvuku paláců



07–08 | Měření doby dozvuku