



Zakázka číslo: **2012-009901-VačL**

Akustická studie – doba dozvuku

**Sportovní hala ZŠ,
Černošice**

Zpracováno v období:
Srpen 2012

AKUSTICKÁ STUDIE

1. Všeobecně.....	3
1.1. Předmět:.....	3
1.2. Úkol:.....	3
1.3. Zadavatel:.....	3
1.4. Zpracovatel:.....	3
1.5. Vypracoval:.....	3
1.6. Kontroloval:.....	3
1.7. Zpracováno v období:.....	3
2. Podklady.....	3
3. Objekt.....	4
4. Požadavky.....	4
5. Výpočet.....	5
5.1. Výpočtový model.....	5
5.2. Výpočet.....	5
6. Stav bez akustických obkladů	6
6.1. Sportovní hala	6
7. Navržená opatření.....	6
7.1. Obecně.....	6
7.2. Materiál.....	6
7.3. Navržené řešení	9
7.4. Posouzení.....	9
7.5. Vyhodnocení.....	10
8. Závěr.....	10

1. VŠEOBECNĚ

- 1.1. **Předmět:** Sportovní hala ZŠ, Černošice
- 1.2. **Úkol:** Akustická studie – doba dozvuku
- 1.3. **Zadavatel:** **Grido, architektura a design, s.r.o.**
Karlická 1493
25228 Černošice
IČO: 25786954
- 1.4. **Zpracovatel:** **DEKPROJEKT s.r.o.**
Tiskařská 10/257 IČO: 27 64 24 11
budova TTC TECHKOM DIČ: CZ 699000797
CENTRUM
108 00 Praha 10 bankovní spojení:
tel.: 234 054 284-5 KB Praha 9
fax: 234 054 291 35-7899980247/0100
- 1.5. **Vypracoval:** Ing. Lenka Vacková
- 1.6. **Kontroloval:** Ing. Jan Pešta, Ing. Tomáš Kupsa
- 1.7. **Zpracováno v období:** Srpen 2012

2. PODKLADY

- [1] Výkresová dokumentace dodaná objednatelem.
- [2] Stavební fyzika 1 – Urbanistická, stavební a prostorová akustika – Prof. Ing. Jiří Vaverka DrSc., Ing. Václav Kozel, Ing. Libor Ládyš, RNDr. Miloš Liberko, Doc., Ing. Josef Chybík CSc. - Vysoké učení technické v Brně – Nakladatelství VUTIUM 1998
- [3] Stavební fyzika 10 – Akustika stavebních konstrukcí – Doc. Ing. Jiří Čechura CSc. - České vysoké učení technické v Praze – Vydavatelství ČVUT 1999
- [4] ČSN 73 0525 (73 0525) Akustika – Projektování v oboru prostorové akustiky – Všeobecné zásady
- [5] ČSN 73 0527 (73 0527) Akustika – Projektování v oboru prostorové akustiky – Prostory pro kulturní účely – Prostory ve školách – Prostory pro veřejné účely
- [6] ČSN EN 12354-6 Stavební akustika – Výpočet akustických vlastností budov z vlastností stavebních prvků – Část 6: Zvuková pohltivost v uzavřených prostorech

Pozn.: Jsou myšleny normy a předpisy v aktuálním znění (včetně změn platných ke dni zpracování protokolu).

3. OBJEKT

Předmětem studie je sportovní hala při základní škole v Černošicích. Jedná se o prostor s půdorysnými rozměry hrací plochy cca 43,4 x 21 m a výšce cca 8 m ke spodní hraně akustického podhledu. Obvodové stěny jsou železobetonové o tloušťce 300 mm nosná konstrukce střechy je tvořena příhradovými vazníky. Prosklené plochy se nachází v horní části štítových stěn.

Akustický obklad stěn bude umístěn téměř po celém obvodu haly do výšky 3,2 m nad podlahou, akustický podhled bude umístěn v úrovni spodní hrany příhradového vazníku.

V prostoru budou navrženy akustické úpravy povrchů pro dodržení požadavků prostorové akustiky na dobu dozvuku dle ČSN 730527.

4. POŽADAVKY

Ve školních učebnách, denních místnostech jeslí a mateřských škol a dále staveb pro kulturní, školské a veřejné účely, musejí být dodrženy hodnoty optimální doby dozvuku podle příslušné české technické normy.

ČSN 73 0527 (73 0527) Akustika – Projektování v oboru prostorové akustiky – Prostory pro kulturní účely – Prostory ve školách – Prostory pro veřejné účely a ČSN 73 0525 (73 0525) – Akustika – Projektování v oboru prostorové akustiky – Všeobecné zásady:

Obecná doporučení pro volbu vhodného tvaru prostoru vzhledem k akustické kvalitě interiéru jsou uvedeny v normě ČSN 73 0525. V případě, kdy se jedná o rekonstruovaný prostor, nelze většinou objem a tvar prostoru výrazně ovlivnit. V normě ČSN 73 0525 je doporučeno, že žádný z rozměrů prostoru by neměl být celistvým násobkem jiného prostoru.

Rozměry sportovní haly jsou v poměru 43,4 : 21 : 8 – nejsou tedy vzájemně celistvými násobky.

Optimální doba dozvuku T_0 prostoru daného účelu se stanoví na základě objemu prostoru.

Hodnota optimální doby dozvuku pro posuzovaný prostor je následující:

Prostor	Objem m ³ (orientačně)	Optimální doba dozvuku [s]
Tělocvična, sportovní hala	7200	1,8

Tab. /1/ Optimální doba dozvuku

Pro sportovní halu o objemu prostoru od 3000 do 20 000 m³ je optimální doba dozvuku stanovena dle vztahu:

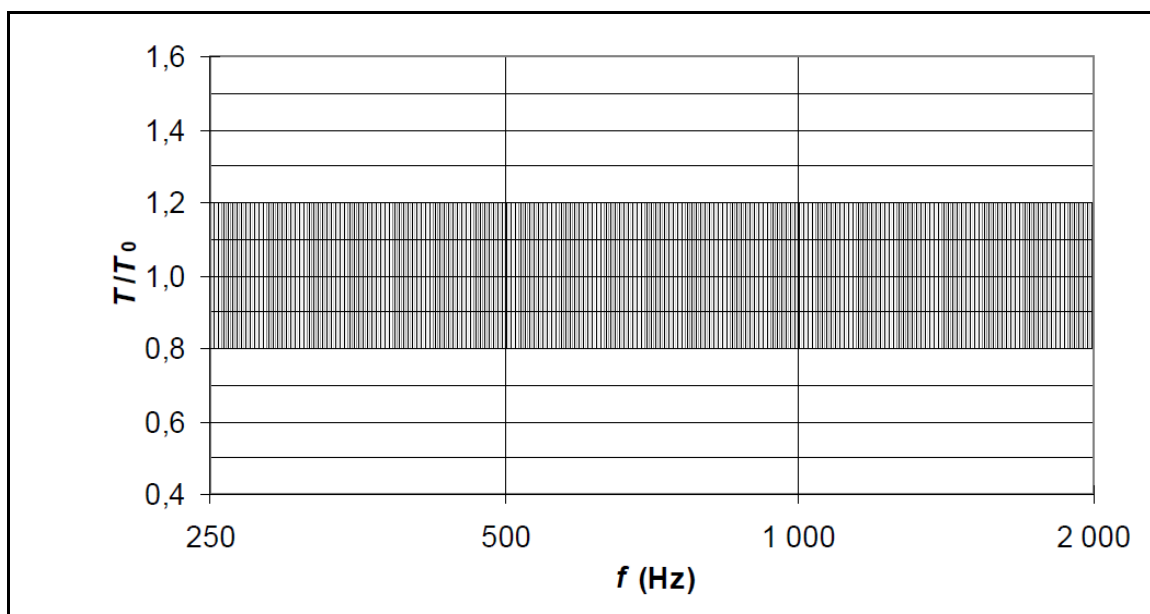
$$T_0 = 1,0366 \log V - 2,204$$

Posuzovaný prostor se hodnotí v **neobsazeném stavu**.

Doba dozvuku se vypočítá podle ČSN 73 0525 pro oktávová pásma se středními kmitočty od 250 Hz do 2 000 Hz. Kmitočtový průběh vypočítané doby dozvuku T se ve vztahu k optimální době dozvuku prověřuje pomocí kmitočtové závislosti přípustného rozmezí. Hodnoty přípustného rozmezí pro jednotlivá oktávová pásma jsou uvedeny v následující tabulce.

Určení	Meze	Střední kmitočet oktávového pásma f [Hz]			
		250	500	1000	2000
Tělocvična, sportovní hala	Horní	1,2	1,2	1,2	1,2
	Dolní	0,8	0,8	0,8	0,8

Tab. /2/ Rozmezí T/T_0 v tělocvičnách a sportovních halách



Obr. /1/ Přípustné rozmezí poměru dob dozvuku T/T_0 tělocvičny a sportovní haly v závislosti na středním kmitočtu oktávového pásma

5. VÝPOČET

Pro objektivní hodnocení prostorové akustiky prostoru byl vytvořen výpočtový model místnosti, kterým byla určena hodnota doby dozvuku. Tato hodnota je pouze orientační a slouží jako pomůcka pro návrh akustických úprav prostorů. Tento postup nenahrazuje měření doby dozvuku in situ.

5.1. Výpočtový model

V následující tabulce jsou uvedeny činitele pohltivosti jednotlivých pohledových materiálů. Hodnoty činitelů pohltivosti pro jednotlivé materiály byly převzaty z [2 a 6]. Pro materiály, pro něž nebyly činitele pohltivosti k dispozici, jsou tyto hodnoty stanoveny odborným odhadem.

Pohledový materiál	Střední kmitočet f (Hz) oktávového pásma					
	125	250	500	1000	2000	4000
0,00	0,02	0,03	0,04	0,05	0,03	0,03
0,00	0,12	0,10	0,06	0,05	0,05	0,06
0,00	0,02	0,06	0,03	0,03	0,02	0,02
0,00	0,14	0,09	0,05	0,03	0,05	0,00

Tab. /3/ Činitele pohltivosti pohledových materiálů v oktávových pásmech

Hodnoty činitele útlumu ve vzduchu byly uvažovány následující:

Kmitočet f [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000
Činitel útlumu ve vzduchu [np/m]	0,0001	0,0003	0,0006	0,0010	0,0019	0,0058

Tab. /4/ Činitel útlumu ve vzduchu

5.2. Výpočet

K hodnocení prostorové akustiky místnosti je použit výpočet dle ČSN EN 12354-6 – Stavební akustika – Výpočet akustických vlastností budov z vlastností stavebních prvků – Část 6: Zvuková pohltivost v uzavřených prostorech dle přílohy D – Výpočty pro nepravidelné prostory a prostory s nepravidelným rozložením pohltivosti.

Výpočet dle ČSN EN 12354-6 [6], zohledňuje velikosti ploch, pohltivost povrchu a rozmístění materiálů v prostoru.

6. STAV BEZ AKUSTICKÝCH OBKLADŮ

6.1. Sportovní hala

Výpočet je proveden pro neobsazený prostor, doba dozvuku je posouzena dle ČSN 73 0527.

Parametr	Znač.	Jedn.	Střední kmitočet f [Hz] oktávového pásma				
			250	500	1000	2000	
Požadované rozmezí hodnot doby dozvuku	Horní mez	$T_{E,N}$	s	2,16	2,16	2,16	2,16
	Dolní mez	$T_{E,N}$	s	1,44	1,44	1,44	1,44
Doba dozvuku v oktávových pásmech – výpočet dle ČSN EN 12354-6		T_E	s	6,03	7,60	7,46	6,13
Hodnocení		-	-	X	X	X	X

Tab. /5/ Doba dozvuku

Pozn.: + ... Vyhovuje požadavku

X ... Nevyhovuje požadavku

Z výše uvedené tabulky je zřejmé, že bez akustických úprav je doba dozvuku výrazně vyšší než rozmezí požadovaných hodnot.

7. NAVRŽENÁ OPATŘENÍ

7.1. Obecně

Snížení doby dozvuku lze obecně dosáhnout zvětšením celkové pohltivosti prostoru, tj. opatřením prostoru pohltivými materiály. Výpočet doby dozvuku zohledňuje pouze velikost ploch materiálů a jejich teoretické vlastnosti. Do výpočtu nelze přesně zahrnout tvar prostoru ani řešení všech detailů. Při výpočtu je uvažováno s dokonale difuzním zvukovým polem, které není reálně dosažitelné. Výpočtová metodika proto slouží pouze jako pomůcka pro návrh akustických úprav pro zlepšení prostorové akustiky prostoru. Vypočtené hodnoty doby dozvuku se tedy mohou od hodnot reálně naměřených mírně lišit.

7.2. Materiál

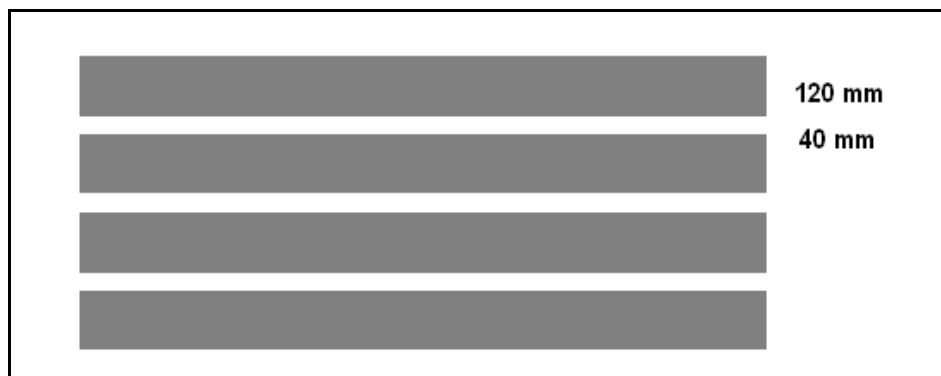
- akustický obklad stěn

Do haly je navržen obklad z dřevěných latí tl. 18 mm v různém uspořádání dle umístění. Obklad je umístěn po celém obvodu haly do výšky 3,2 m nad podlahou, část této plochy je tvořena posuvnými dveřmi na nichž je použito laťování shodného členění.

Skladba obkladu u severní a východní stěny haly:

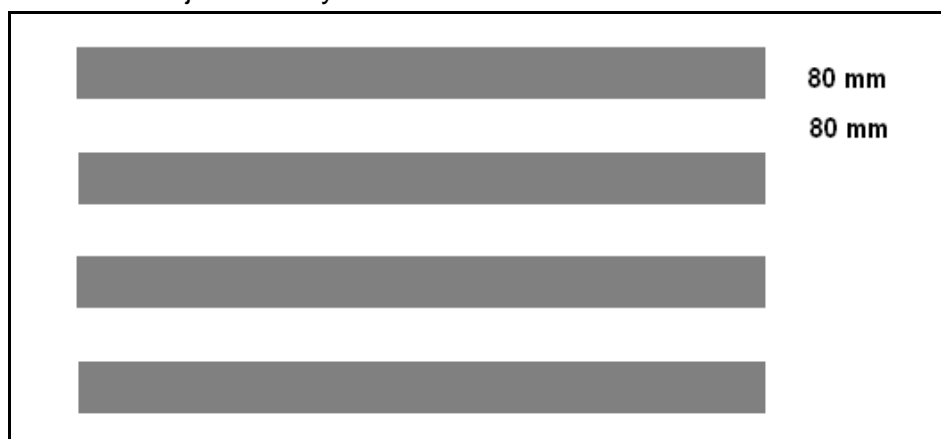
- dřevěná lať 18 mm/ MDF 18 mm
- textilie molino
- minerální vata mezi rošt volně balená v PE fólii 80 mm
- vzduchová mezera (180 mm – severní stěna, 270 mm – východní stěna)
- ŽB stěna
- venkovní kontaktní zateplovací systém

Na všech stěnách i u posuvných dveří bude použito členění s dřevěnými latěmi šířky 120 mm a mezerou tl. 40 mm viz Obr./2/.



Obr. /2/ Členění obkladu na všech stěnách

V místech kde je počítáno s osazením radiátorů budou použity dřevěné latě šířky 80 mm v kombinaci se vzduchovou mezerou stejné tloušťky viz. Obr./3/.



Obr. /3/ Členění obkladu - radiátory

Na západní fasádě ke strojovně bude použita následující skladba, zachováno bude opět původní členění - 120 mm dřevěná lať a 40 mm mezera.

Skladba stěny ke strojovně:

- dřevěná lať 18 mm/ MDF 18 mm
- textilie Molino
- minerální vata mezi rošt volně balená v PE fólii 80 mm
- ŽB stěna

- akustický podhled

V celé ploše stropní konstrukce je navržen akustický podhled tvořený dřevěnými latěmi šířky 120 mm v kombinaci se vzduchovými mezerami šířky 80 mm.

Skladba podhledu:

- dřevěná lať 18 mm/ MDF 18 mm
- textilie molino
- vzduchová dutina

Na základě konstrukčního řešení byl stanoven rezonanční kmitočet všech dřevěných obkladů dle výpočtového postupu:

$$f_r = c/2\pi \sqrt{(S_0 \times n / S \times l \times h)}$$

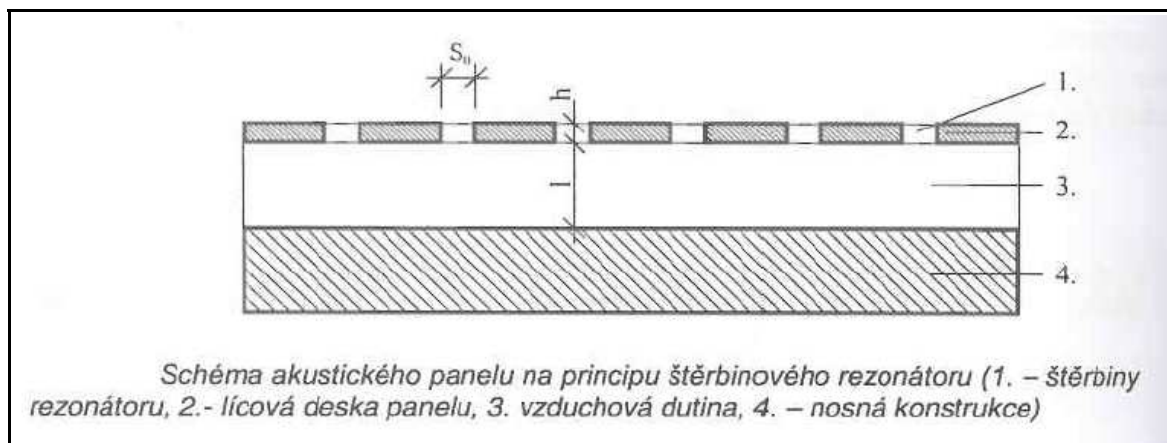
S₀ je plocha jedné štěrbin v panelu v m²

n počet štěrbin v panelu

S celková plocha panelu v m²

l tloušťka vzduchové vrstvy v m

h tloušťka štěrbin panelu



Obr./4/ Schema parametrů vstupujících do výpočtu

Rezonanční frekvence pro jednotlivé skladby akustických obkladů je uvedena v následující tabulce.

Výpočet rezonančního kmitočtu předpokládá, že pohltivý materiál na vzduchové dutině za obkladem není umístěn přímo za laťováním. V opačném případě bude skutečný rezonanční kmitočet nižší.

Kromě rezonančního kmitočtu je důležitý i útlum ve vzduchové mezeře, na němž závisí jak velikost dosažené absorpce, tak i šířka pásma, ve kterém bude akustický pohled pochovat.

V případě, kdy se ve vzduchové mezeře nevykytuje pohlcovač, který by zvýšil tlumící odpor rezonátoru, bude vyšších hodnot pohltivosti pohledu dosaženo pouze v úzkém pásmu v blízkosti rezonančního kmitočtu.

Konstrukce	fr [Hz]
Laťování 120/40 odsazení 350 mm	334
Laťování 120/40 odsazení 260 mm	387
Laťování 120/40 odsazení 100 mm	625
Laťování 80/80 odsazení 350 mm	475
Laťování 80/80 odsazení 260 mm	548
Laťování 120/40 – posuvné dveře	110
Laťování 120/80 – pohled	211

Tab. /6/ Doba dozvuku

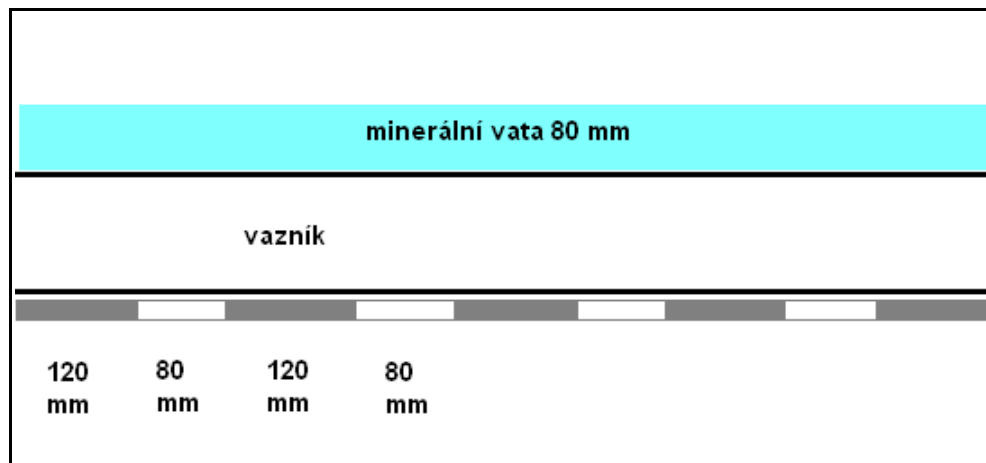
Akustické vlastnosti dřevěných obkladů na jednotlivých frekvencích, se kterými je uvažováno ve výpočtu, jsou uvedeny v Tab./7/.

Konstrukce	Střední kmitočet f (Hz) oktávového pásma			
	250	500	1000	2000
Laťování 120/40 odsazení 350 mm	0,70	0,65	0,50	0,50
Laťování 120/40 odsazení 260 mm	0,65	0,65	0,50	0,50
Laťování 120/40 odsazení 100 mm	0,50	0,70	0,55	0,50
Laťování 80/80 odsazení 350 mm	0,45	0,75	0,45	0,20
Laťování 80/80 odsazení 260 mm	0,45	0,75	0,45	0,20
Laťování 120/40 – posuvné dveře	0,45	0,30	0,20	0,10
Laťování 120/80 – pohled	0,50	0,40	0,20	0,15
Laťování 120/80 – pohled s minerální vatou 80 mm	0,55	0,55	0,50	0,50

Tab. /7/ Pohltivost materiálu

Největší pohltivou plochu tvoří laťování podhledu, aby účinnost tohoto obkladu nebyla omezena pouze na úzké pásmo kolem rezonančního kmitočtu, je vhodné podhled doplnit o minerální pohlcovač. V tomto případě je dostatečné umístění minerální vaty na ½ půdorysné plochy podhledu. Doporučujeme minerální vatu umístit v pásu kolem podélné osy haly na rošt na horní hraně spodních vazníků příhradové konstrukce, tak aby při okrajích střešní konstrukce byla zajištěna výměna vzduchu mezi podstřešním prostorem a vlastním prostorem haly.

Umístěním minerální vaty do konstrukce podhledu zároveň dojde k rovnoměrnějšímu rozložení pohltivosti v prostoru.



Obr./5/ Skladba pohltivého podhledu

7.3. Navržené řešení

- představuje realizaci obkladu stěn ve výše uvedeném rozsahu a laťovaný podhled v celé půdorysné ploše haly doplněný o minerální vatu tl. 80 mm v úrovni horní hrany spodního vazníku na ½ plochy haly.

7.4. Posouzení

V následující tabulce je proveden výpočet pro navrhovaný stav haly po realizaci akustických úprav a posouzení doby dozvuku dle ČSN 73 0527.

Parametr	Znač.	Jedn.	Střední kmitočet f [Hz] oktávového pásma				
			250	500	1000	2000	
Požadované rozmezí hodnot doby dozvuku	Horní mez	$T_{E,N}$	s	2,16	2,16	2,16	2,16
	Dolní mez	$T_{E,N}$	s	1,44	1,44	1,44	1,44
Doba dozvuku v oktávových pásmech – výpočet dle ČSN EN 12354-6	T_E	s	1,68	1,74	1,98	1,95	
Hodnocení		-	+	+	+	+	

Tab. /8/ Posouzení doby dozvuku

Pozn.: + ... Vyhovuje požadavku

X ... Nevyhovuje požadavku

Vypočtené hodnoty se nachází na všech středních kmitočtech oktávových pásem v požadovaném rozmezí doby dozvuku.

7.5. Vyhodnocení

U navrženého řešení s použitím minerální vaty ve skladbě podhledu, je doba dozvuku ve všech hodnocených středních kmitočtech oktávových pásem v požadovaném rozmezí dle ČSN 730527.

Návrhy vycházejí z teoretických výpočtů, které nahrazují reálný stav pouze s omezenou přesností a pracují s hodnotami materiálových parametrů zjišťovaných pouze výpočtem namísto měření v laboratoři. Skutečný stav akustiky prostoru se proto od výpočtových modelů může mírně lišit.

V případě požadavku na přesnější doladění prostorů je třeba po realizaci provést v místnostech měření doby dozvuku a na základě těchto výsledků pak případně přistoupit k doladění prostoru.

Z tohoto důvodu doporučujeme počítat s jistou rozpočtovou rezervou na realizaci akustických opatření ve výši cca 20%. Návrh takových opatření je však v současné době v rámci jednokrokového návrhu neefektivní.

Při umísťování tepelného izolantu z interiéru je nutné zajistit dostatečné provětrání vzduchové mezery mezi minerální vatou, která je součástí akustického obkladu a železobetonovou nosnou konstrukcí obvodového pláště haly – například vynecháním pruhu minerální vaty u podlahy.

8. ZÁVĚR

V akustické studii bylo posouzeno navržené řešení obkladů prostoru sportovní haly základní školy v Černošicích z hlediska prostorové akustiky.

Doporučené řešení je kombinací stěnového a stropního obkladu s použitím minerální vaty ve skladbě podhledu. Výsledné hodnoty pohltivosti se na všech středních kmitočtech oktávových pásem nacházejí v požadovaném rozmezí doby dozvuku. Požadavky ČSN 730527 jsou tak splněny.

Po provedení navržených opatření doporučujeme provést kontrolní měření doby dozvuku.

V Praze dne 27.8.2012

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

Ing. Lenka Vacková

+420 234 054 284

lenka.vackova@dek-cz.com