

AKUSTICKÝ POSUDEK

k projektu „Sportovní hala Turnov“ z hlediska prostorové akustiky

Objednatel Saint-Gobain Construction Products CZ a.s.
Divize Ecophon
Smrčkova 2485/4
180 00 Praha

Číslo zakázky 21015703
Datum vydání 2021-10-15
Vypracoval Ing. Jan Dolejší, mobil: 733716153

Počet výtisků 2
Výtisk číslo 1 2 E

Obsah

1	VŠEOBECNÁ ČÁST	4
1.1	Předmět zkoušky	4
1.2	Metodické předpisy	4
1.1.1	Standards	4
1.1.2	Pomocné standardy	4
1.3	Použité softwary	4
1.4	Použité podklady	4
1.5	Souhrn posuzovaných místností	5
1.6	Klimatické podmínky v matematickém modelu	5
2	VÝSLEDKOVÁ ČÁST	6
2.1	Akustické řešení sportovní haly	6
2.2	Popis prostoru	8
2.3	Akustické řešení místnosti	9
2.4	Náhled do akustického modelu	12
2.1.	Akustická simulace a její hodnocení	13
3	INTERPRETACE	16
3.1	Požadavky z hlediska prostorové akustiky	16
3.2	Vyhodnocení	17
4	PŘÍLOHY	18

Seznam grafů

Graf 1:	Simulovaná průměrná doba dozvuku T_{30} a meze jejího tolerančního pásma v místnosti v navrženém stavu	14
Graf 2:	Simulovaná průměrná doba dozvuku T_{20} , T_{30} a EDT v místnosti v navrženém stavu ..	14

Seznam obrázků

Obrázek 1:	Optimální doba dozvuku T_0 pro jednotlivé typy prostorů (ČSN 73 0527)	6
Obrázek 2:	Přípustné rozmezí poměru dob dozvuku T/T_0 tělocvičny, sportovní nebo plavecké haly v závislosti na středním kmitočtu oktávového pásma (Obrázek A.8, ČSN 73 0527)	7
Obrázek 3:	Půdorys sportovní haly	8
Obrázek 4:	Řezy objektem	9
Obrázek 5:	Technická specifikace navrženého materiálu A1	10
Obrázek 6:	Technická specifikace navrženého materiálu A2	11
Obrázek 7:	Počítačový 3D model místnosti – s vyznačením pozic virtuálních mikrofonů (modře) a všesměrového zdroje hluku (červeně)	12
Obrázek 8:	Schéma navržených opatření prostorové akustiky	18

Seznam tabulek

Tabulka 1: Parametry posuzovaných místností.....	5
Tabulka 2: Klimatické podmínky v matematickém modelu	5
Tabulka 3: Optimální doba dozvuku ve sportovní hale	7
Tabulka 4: Tabulka použitých akustických materiálů v interiéru	9
Tabulka 5: Průměrné hodnoty akustických veličin v místnosti v navrženém stavu (prázdná místnost).....	13
Tabulka 6: Simulovaná průměrná doba dozvuku T_{30} v místnosti v neobsazeném stavu	13
Tabulka 7: Tabulka pro základní vyhodnocení srozumitelnosti řeči STI	15
Tabulka 8: Požadavky na prostory ve školách (ČSN 73 0527, Tabulka 2) pro Tělocvičnu	16



1 VŠEOBECNÁ ČÁST

1.1 Předmět zkoušky

Tato studie byla vypracována na základě objednávky s cílem navrhnout a posoudit akustické systémy upravující parametry prostorové akustiky v rámci projektu „Sportovní hala Turnov“.

Byl vybrán prostor, který bude opatřen akustickými podhledy a případnými dalšími opatřeními. Zde je také dáván důraz na kvalitu prostorové akustiky (dle ČSN 73 0527), zejména ale pak na kvalitu a funkčnost provedených akustických opatření včetně všech dalších nároků.

Před provedením akustického modelu nebylo provedeno měření jednotlivých parametrů prostorové akustiky, tudíž nemohl být akustický model zkalibrován dle skutečného stavu prostoru na základě těchto měření. Před provedením akustických úprav prostoru doporučujeme tato měření provést a zkalibrovat, a případně upravit akustické řešení celého prostoru.

1.2 Metodické předpisy

1.1.1 Standardy

- ČSN EN ISO 3382-1 Akustika – Měření parametrů prostorové akustiky – Část 1: Prostory pro přednes hudby a řeči
- ČSN EN ISO 354 Akustika – Měření zvukové pohltivosti v dozvukové místnosti
- ČSN EN ISO 11654 Akustika – Absorbéry zvuku používané v budovách – Hodnocení zvukové pohltivosti
- ČSN EN 12354-6 Stavební akustika – Výpočet akustických vlastností budov z vlastností stavebních prvků – Část 6: Zvuková pohltivost v uzavřených prostorech

1.1.2 Pomocné standardy

- Vyhláška 410/2005 Sb. o hygienických požadavcích na prostory a provoz zařízení a provozoven pro výchovu a vzdělávání dětí a mladistvých
- Vyhláška 343/2009 Sb., kterou se mění vyhláška č. 410/2005 Sb., o hygienických požadavcích na prostory a provoz zařízení a provozoven pro výchovu a vzdělávání dětí a mladistvých
- ČSN 73 0525 Akustika – Projektování v oboru prostorové akustiky – Všeobecné zásady
- ČSN 73 0527 Akustika – Projektování v oboru prostorové akustiky – Prostory pro kulturní účely - Prostory ve školách - Prostory pro veřejné účely

1.3 Použité softwary

- Cinema 4D V11.027
- Odeon Auditorium v. 16.00
- MS Excel

1.4 Použité podklady

- vybrané výkresy PD
- technické listy výrobců pohltivých materiálů

1.5 Souhrn posuzovaných místností

Ozn. místnosti	Účel místnosti	Podlaží	Plocha [m ²]	Délka [m]	Šířka [m]	Světlá výška [m]	Maximální počet osob	Pozn.
1.01	Sportovní hala	1NP	1232	46,2	26	10,8	(nehodnoceno)	-

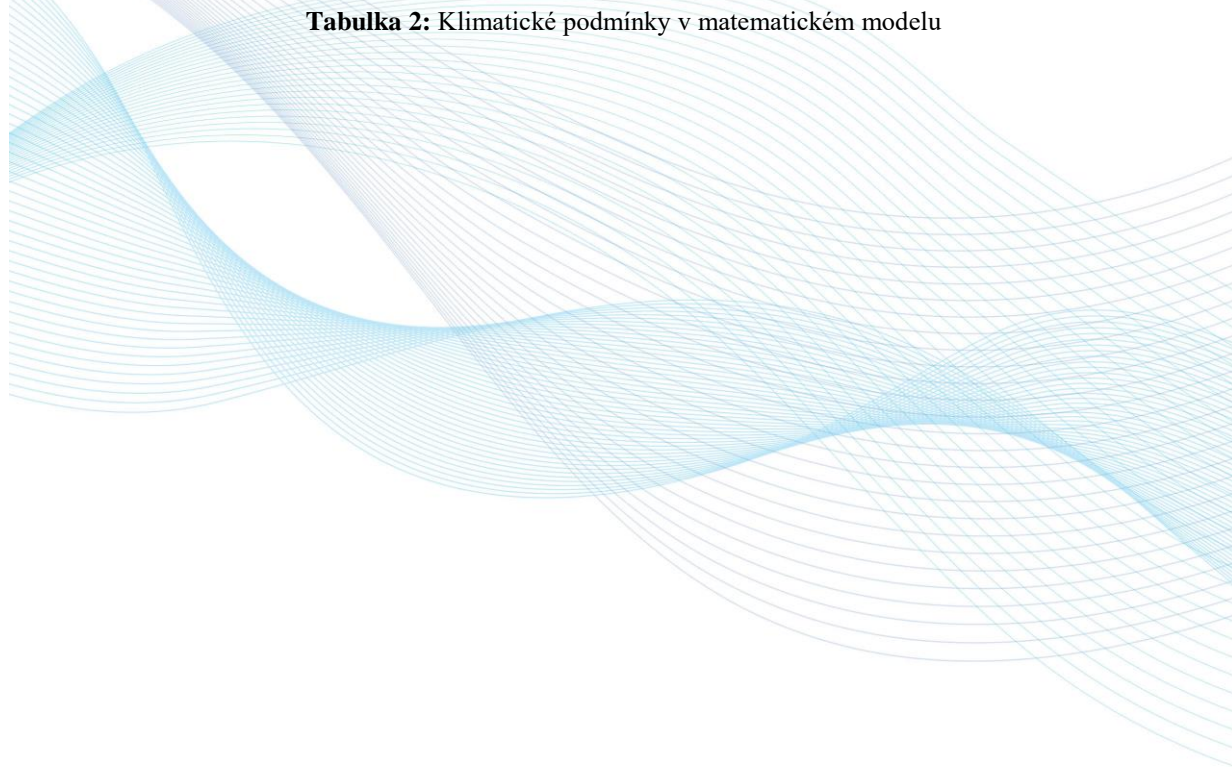
Tabulka 1: Parametry posuzovaných místností

1.6 Klimatické podmínky v matematickém modelu

Klimatické podmínky uvažované v matematickém modelu během akustické simulace chování prostoru je nutné zajistit i v reálném prostředí (např. pomocí VZT):

Teplota vzduchu	Relativní vlhkost vzduchu
20 °C	50 %

Tabulka 2: Klimatické podmínky v matematickém modelu



2 VÝSLEDKOVÁ ČÁST

2.1 Akustické řešení sportovní haly

Na základě podkladů byly vytvořeny akustický model. Před provedením akustického modelu nebylo provedeno měření jednotlivých parametrů prostorové akustiky, tudíž nemohl být akustický model zkalibrován dle skutečného stavu prostoru na základě těchto měření.

Před provedením akustických úprav prostoru doporučujeme tato měření provést, a zkalibrovat, a případně upravit akustické řešení celého prostoru.

V návrhu je uvažováno s prázdnou halou bez lidí (dle ČSN 73 0527 – neobsazený stav). Uvažované konstrukční materiály: sportovní akusticky odrazivá podlaha na betonové desce tvoří nášlapnou vrstvu podlahové konstrukce. Obvodové a vnitřní stěny jsou zděné nebo železobetonové s vnitřní omítkou. Detailněji jsou popsány jednotlivé skladby v projektové dokumentaci.

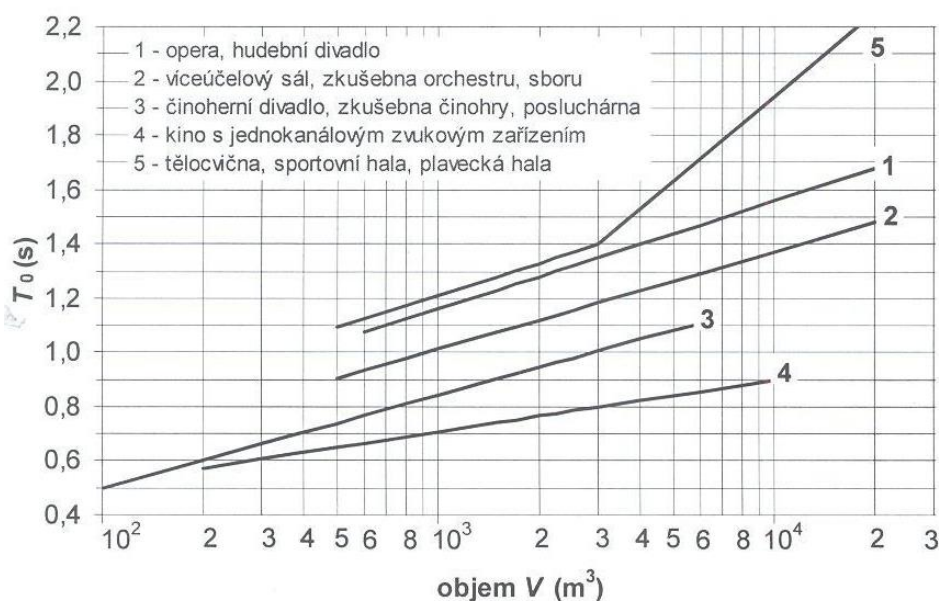
Veškeré použité akustické systémy jsou zobrazeny v následující tabulce a budou uspořádány dle nákrešů.

V návrhu je uvažováno s prázdnou tělocvičnou bez osob. (ČSN 73 0527).

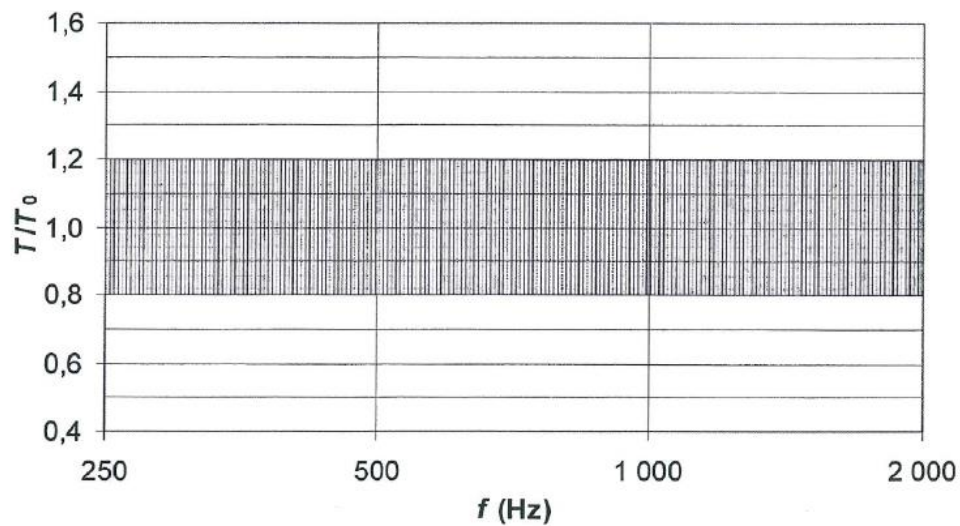
Zjednodušený geometrický model byl vytvořen na základě projektové dokumentace poskytnuté zadavatelem. Zvukopohltivé vlastnosti vnitřních povrchů byly stanovené podle dříve naměřených dat. Počítačová simulace byla provedena pro všesměrový zdroj zvuku a všesměrové přijímače (mikrofony).

Optimální doba dozvuku byla stanovena na základě doporučených hodnot normou ČSN 73 0527 Akustika – Projektování v oboru prostorové akustiky – Prostory pro kulturní účely – Prostory ve školách – Prostory pro veřejné účely.

Výsledky simulace T_{30} jsou zobrazené v následujícím, ze kterého je zřejmé, že doba dozvuku v obou tělocvičnách po provedení akustických úprav se pohybuje v mezích zvoleného tolerančního pásma.



Obrázek 1: Optimální doba dozvuku T_0 pro jednotlivé typy prostorů (ČSN 73 0527)



Obrázek 2: Příпустné rozmezí poměru dob dozvuku T/T_0 tělocvičny, sportovní nebo plavecké haly v závislosti na středním kmitočtu oktávového pásma (Obrázek A.8, ČSN 73 0527)

Sportovní hala	$V \text{ (m}^3\text{)}$	$T_0 \text{ (s)}$
1NP	11 582	2,0

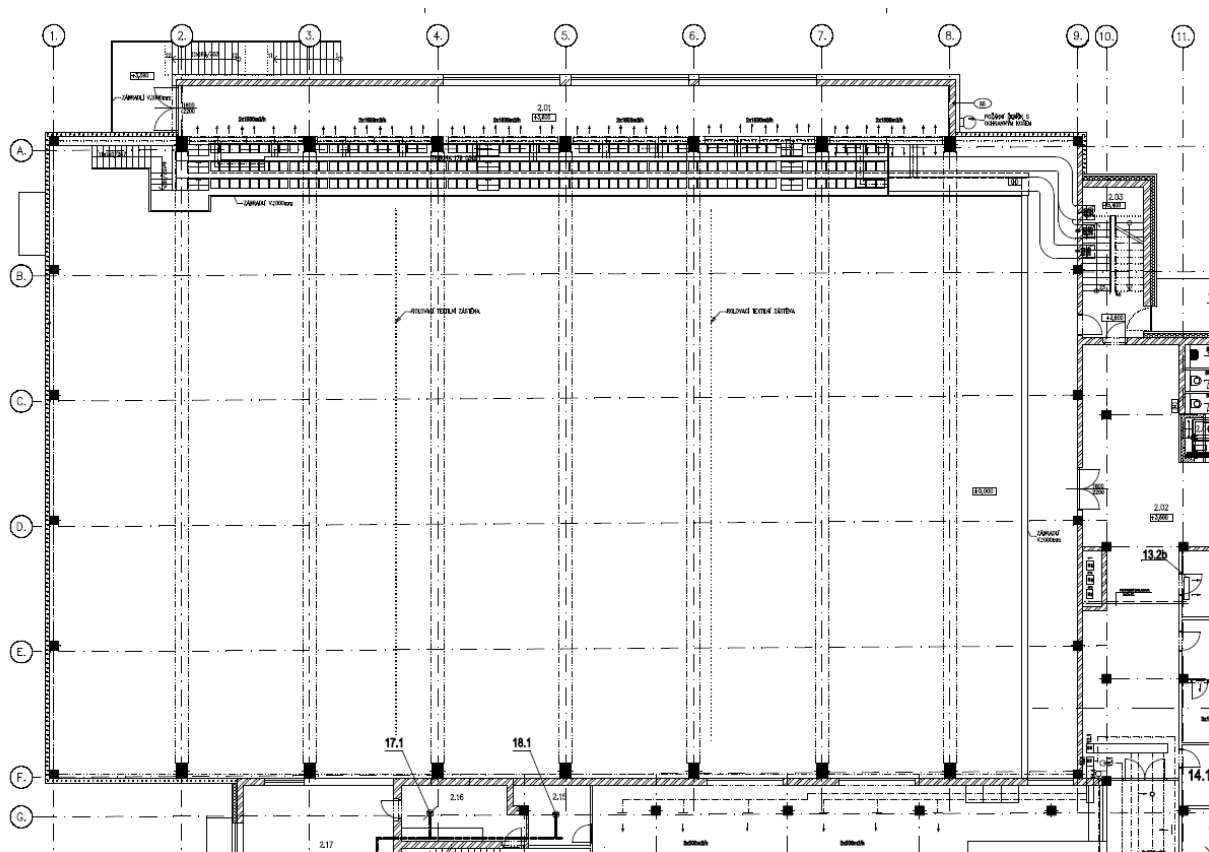
Tabulka 3: Optimální doba dozvuku ve sportovní hale

2.2 Popis prostoru

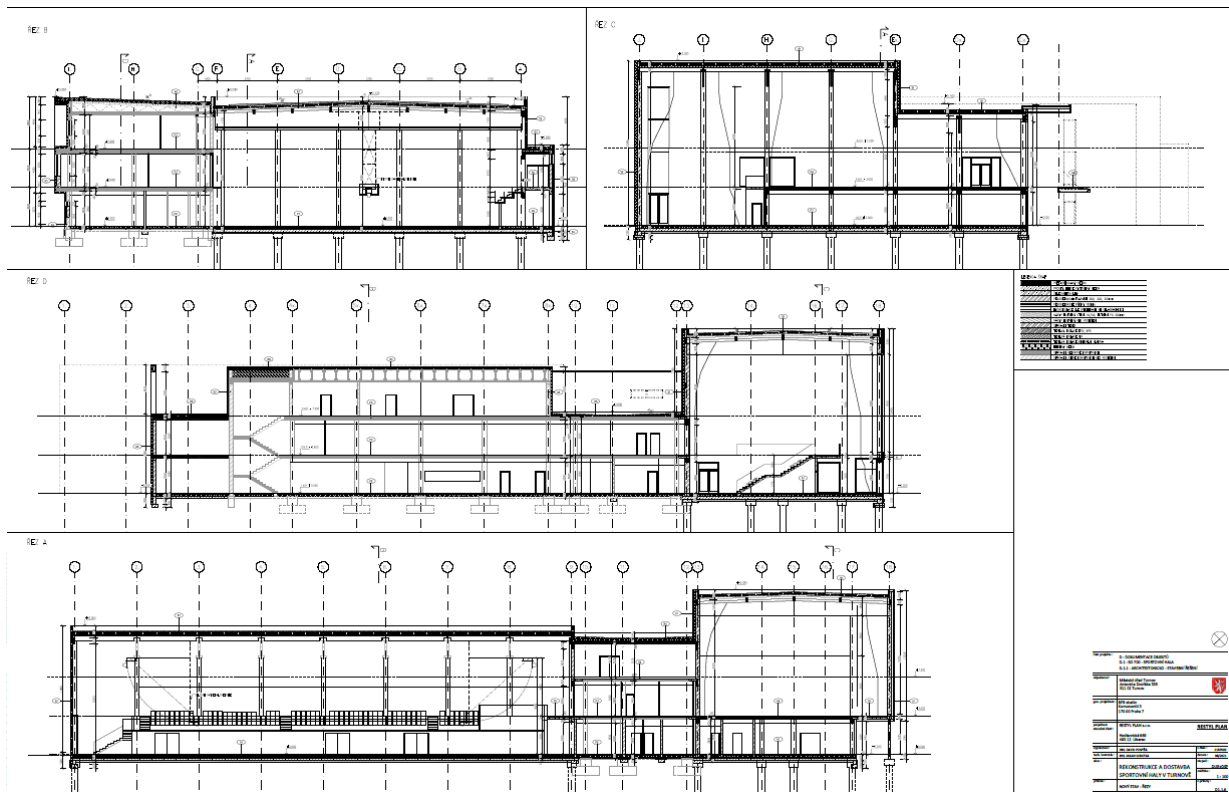
Prostor „1.01 – Sportovní hala“ má délku 46,2 m a šířku 26 m. Světlá výška místnosti je po provedení všech akustických úprav cca 10,8 m. Objem prostoru je cca $V = 11\,582\text{ m}^3$ (odměřeno z modelu) a celková plocha ohraničujících vnitřních povrchů konstrukcí je cca $S = 7\,399\text{ m}^2$ (odměřeno z modelu).

Prostor bude sloužit ke sportovním účelům.

Celý prostor byl simulován za neobsazeného stavu (dle ČSN 73 0527), tj. prostor bez osob.



Obrázek 3: Půdorys sportovní haly



Obrázek 4: Řezy objektem

2.3 Akustické řešení místnosti

Veškeré použité akustické systémy jsou zobrazeny v následující tabulce a budou uspořádány dle schématu akustických úprav.

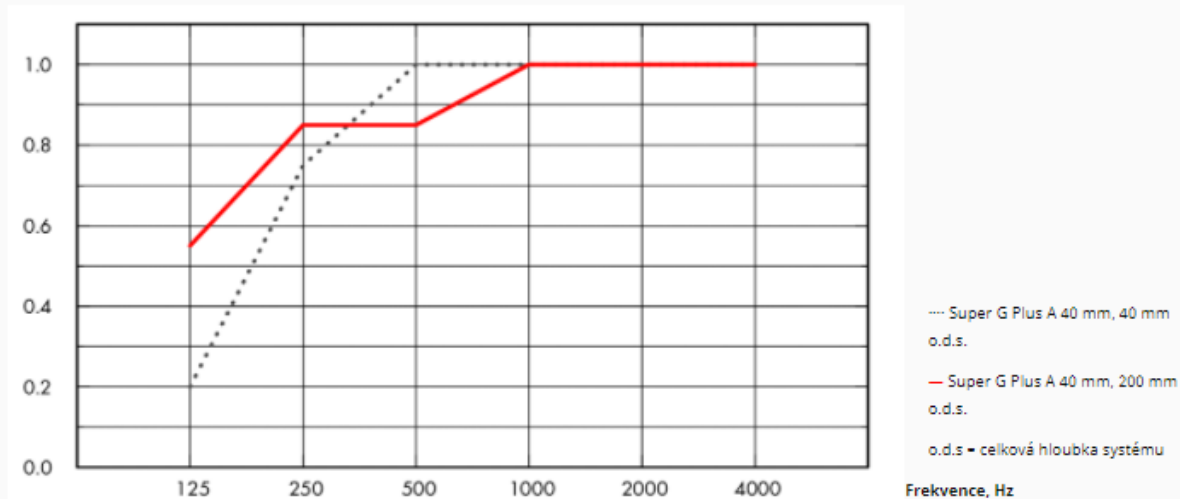
Ozn.	Typ akustického materiálu	Celková hloubka systému	Popis	Výměra (m ²)	Poznámka
A1	ECOPHON SUPER G Plus A, 40 mm	200 mm	Podhledové akustické kazety na masivním závěsném roštu, který se skládá ze zapuštěných profilů montovaných přímo na strop nebo na podvěšený pomocný rošt	Cca 1293 m²	(Celoplošně opatřit podhled sportovní haly)
A2	ECOPHON AKUSTO WALL SUPER G	Kontaktně přímo na podklad	Stěnové akusticky pohltivé panely tl. 40 mm	Cca 250 m²	(rozmístění dle schémat – viz přílohy)

Tabulka 4: Tabulka použitých akustických materiálů v interiéru

Výsledky zkoušek v souladu s EN ISO 354.

Klasifikace podle EN ISO 11654, jednotlivé hodnoty pro NRC a SAA v souladu s ASTM C 423.

α_p , Praktický koeficient zvukové pohltivosti



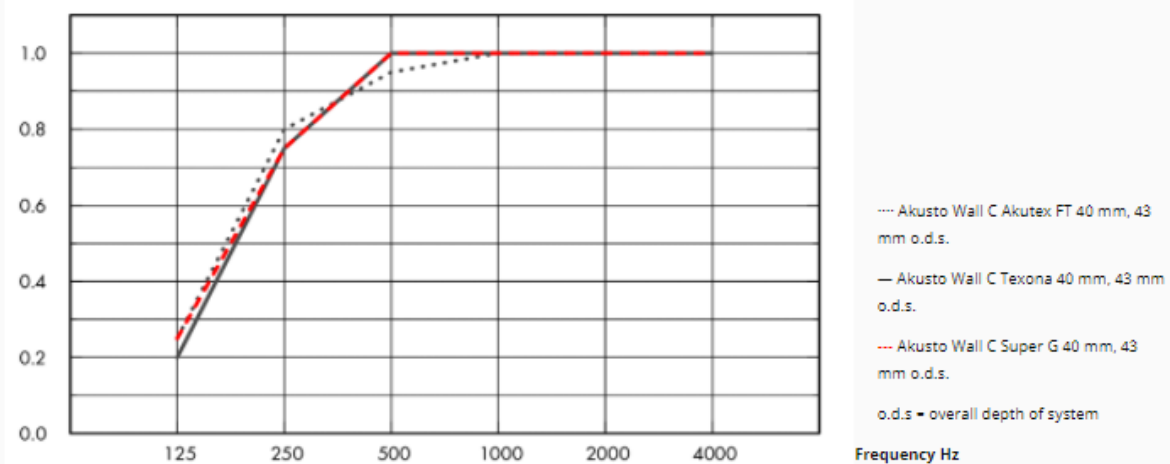
α_p , Praktický koeficient zvukové pohltivosti

tl. mm	o.d.s. mm	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	α_w	absorpční třída
40	40	0.20	0.75	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	A
40	200	0.55	0.85	0.85	1.00	1.00	1.00	1.00	A

	tl. mm	o.d.s. mm	NRC	SAA
-	40	40	0.9	0.9
-	40	200	0.9	0.89
-	40	400	0.85	0.87

Obrázek 5: Technická specifikace navrženého materiálu A1

α_p , Practical sound absorption coefficient



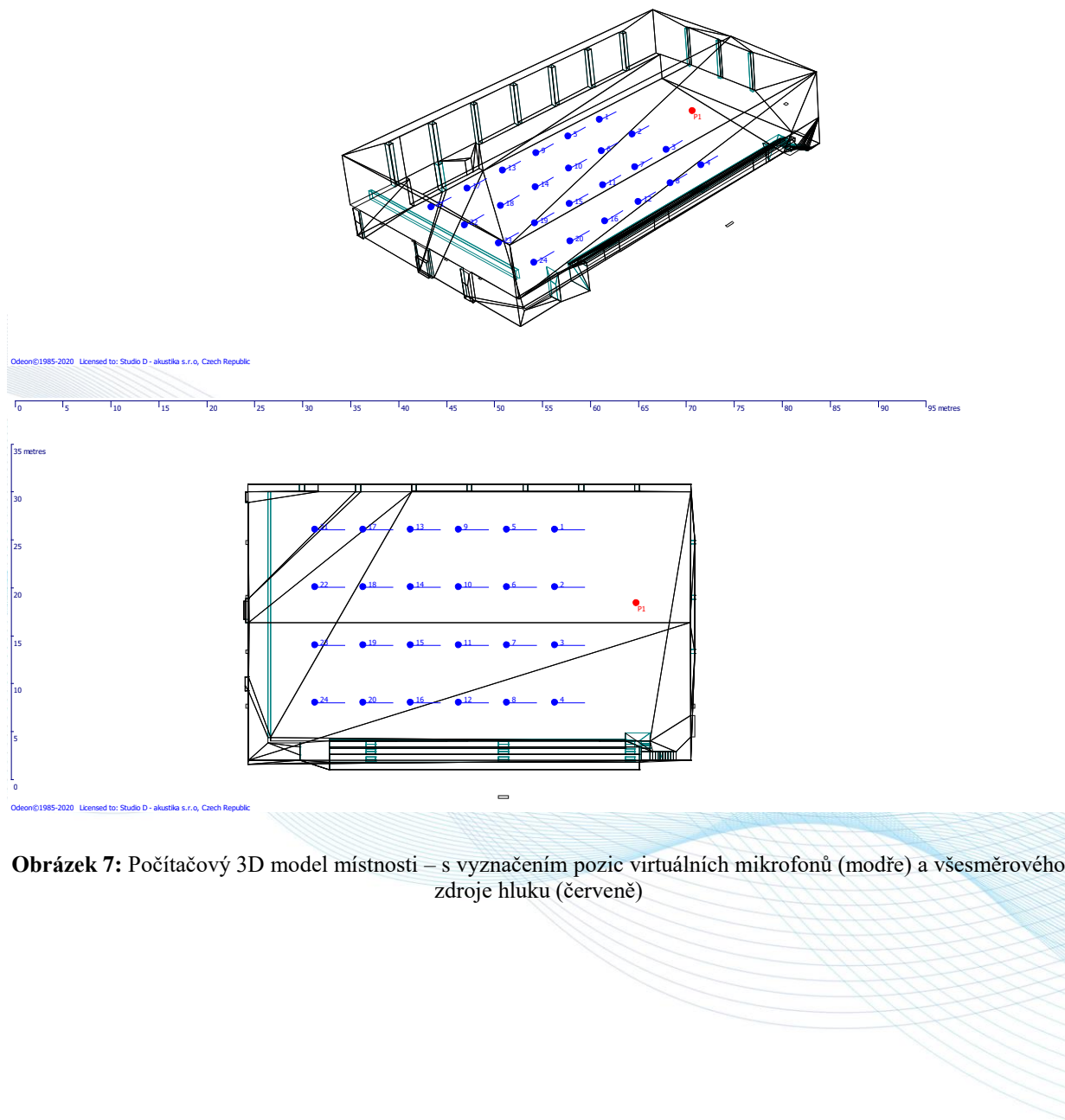
α_p , Practical sound absorption coefficient

	THK mm	o.d.s. mm	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	α_w	Sound absorption class
Akutex FT	40	43	0.25	0.80	0.95	1.00	1.00	1.00	1.00	A
Texona	40	43	0.20	0.75	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	A
Super G	40	43	0.25	0.75	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	A

THK mm	AC(1.5) Articulation Class, ASTM E1111, ASTM E1110
40	240

Obrázek 6: Technická specifikace navrženého materiálu A2

2.4 Náhled do akustického modelu



Obrázek 7: Počítačový 3D model místnosti – s vyznačením pozic virtuálních mikrofونů (modře) a všesměrového zdroje hluku (červeně)

2.1. Akustická simulace a její hodnocení

Frekvence (Hz)	125	250	500	1 000	2 000	4 000
Simulace T₃₀ (s)	2,39	2,35	2,33	2,29	2,18	1,75
Simulace T₂₀ (s)	2,51	2,52	2,47	2,44	2,21	1,69
Simulace EDT (s)	2,56	2,56	2,53	2,49	2,33	1,89
SPL (dB) ****	55,7	55,6	55,5	55,3	54,1	51,6
C₈₀ (dB)	-1,8	-1,3	-1,2	-1	-0,5	1,2
D₅₀ (-)	0,29	0,32	0,33	0,34	0,36	0,45
T_s (ms)	171	163	159	155	141	104
LF₈₀ (-)	0,08	0,077	0,077	0,073	0,074	0,07
ECHO_{MAX} (-)*	1,4	1,06	1,07	1,07	1,06	1,06
STI (-)***	0,48			Alcons (%)**		13,81
STI (Žena) (-)***	0,49			RASTI (-)***		0,44
STI (Muž) (-)***	0,47					

Tabulka 5: Průměrné hodnoty akustických veličin v místnosti v navrženém stavu (prázdná místnost)

*Echo bylo vypočteno dle Dietsch-Kraakova kritéria. Z tabulky je patrné, že maximální hodnoty ve všech bodech se nacházejí v rozmezí 0-0,9 (= 0-90%), tzn. v místnosti nevznikají rušivé jevy, jako např. třepotavá ozvěna, apod.

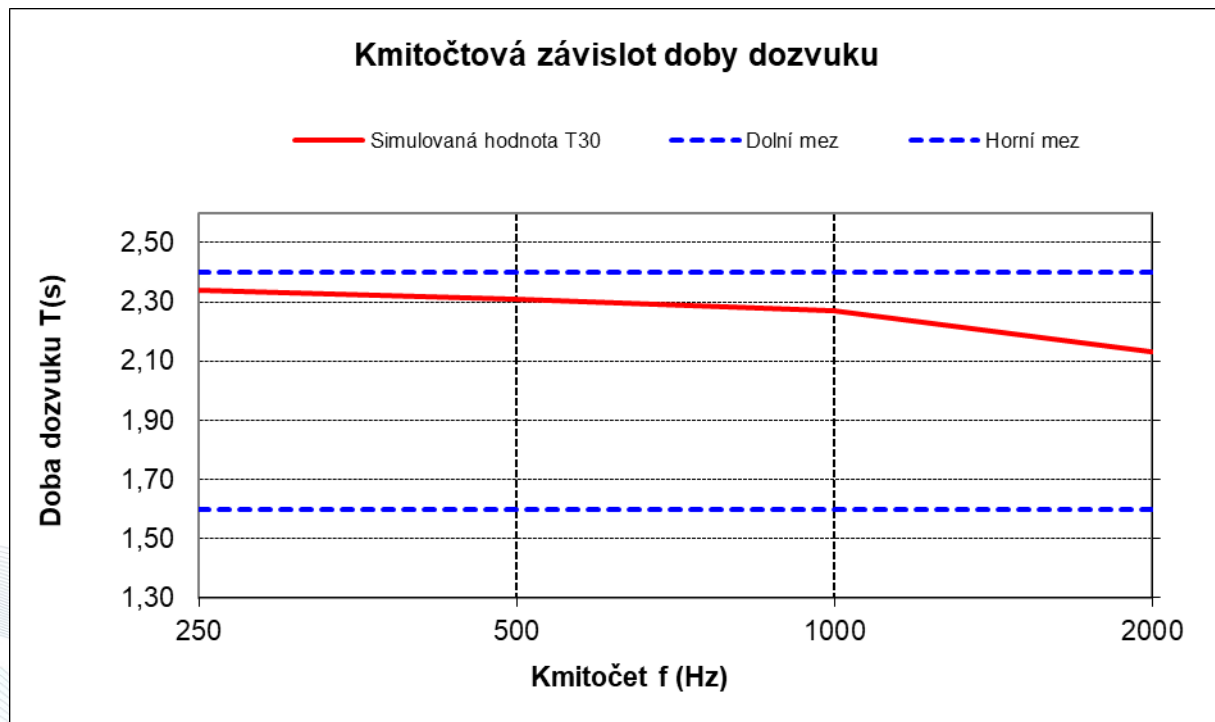
** Parametr Alcons (Articulation loss): Přípustné rozmezí je 0-11%.

*** Hodnoty STI pro mužský i ženský hlas, a stejně tak RASTI byly vypočítané pro předpokládanou hladinu pozadí hluku <35 dB. Doporučené hodnoty parametru STI pro mluvené slovo jsou v rozmezí 0,6-1,0. Přičemž ideálně by se měly nacházet v rozmezí 0,7-1. hodnoty STI byly vypočítané pro předpokládanou hladinu hluku pozadí <35 dB.

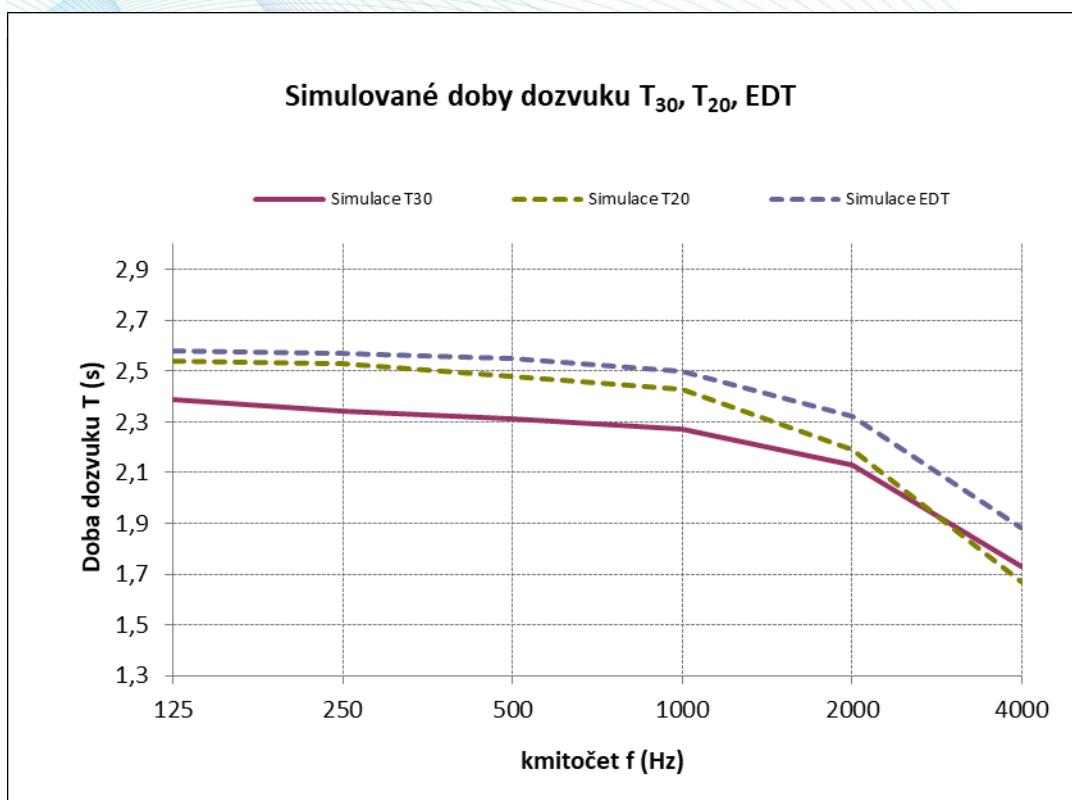
****Průměrná hodnota akustického tlaku v místnosti za předpokladu akustického výkonu zdroje 90 dB.

Frekvence (Hz)	250	500	1 000	2 000
Simulace T₃₀ (s) (prázdná místost)	2,35	2,33	2,29	2,18
Horní mez T₃₀ (s)	2,4	2,4	2,4	2,4
Dolní mez T₃₀ (s)	1,6	1,6	1,6	1,6

Tabulka 6: Simulovaná průměrná doba dozvuku T₃₀ v místnosti v neobsazeném stavu



Graf 1: Simulovaná průměrná doba dozvuku T_{30} a meze jejího tolerančního pásma v místnosti v navrženém stavu



Graf 2: Simulovaná průměrná doba dozvuku T_{20} , T_{30} a EDT v místnosti v navrženém stavu

Hodnoty STI pro mužský i ženský hlas, a stejně tak RASTI byly vypočítané pro předpokládanou hladinu pozadí hluku <35 dB. Doporučené hodnoty parametru STI pro mluvené slovo jsou v rozmezí 0,6-1,0. Přičemž ideálně by se měly nacházet v rozmezí 0,7-1. hodnoty STI byly vypočítané pro předpokládanou hladinu hluku pozadí <35 dB.

Požadavky na srozumitelnost řeči STI, resp. STIPA (srozumitelnost řeči elektroozvučení) jsou stanoveny na základě doporučených hodnot normy ČSN EN 60268-16. A to na základě účelu posuzované místnosti a na základě očekávaných sluchových vad posluchačů. Srozumitelnost řeči STI, STIPA byly posouzeny pro mluvené slovo (mužský hlas), pro prostor v kategorii F (katedrály). Posluchači jsou uvažováni jako rodilí mluvčí, věková kategorie posluchačů 60 let (PTA = 15).

STI - hodnocení	Standard STI	Kategorie I pokročilý, denně používá druhý cizí jazyk	Kategorie II středně pokročilý i v úrovni druhého cizího jazyk	Kategorie III začátečník, zřídka používá druhý cizí jazyk
špatná	0,30	0,33	0,36	0,44
dostatečná	0,45	0,50	0,60	0,74
dobrá	0,60	0,68	0,86	nedosažitelné
výborná	0,75	0,86	nedosažitelné	nedosažitelné

Tabulka 7: Tabulka pro základní vyhodnocení srozumitelnosti řeči STI

3 INTERPRETACE

3.1 Požadavky z hlediska prostorové akustiky

Optimální doba dozvuku je odvozena na základě doporučených hodnot normy ČSN 73 0527. A to na základě účelu posuzované místnosti a na jejím objemu. Z optimální doby dozvuku jsou stanoveny hranice tolerančního pásma.

Prostor	Objem (m ³) (orientačně)	Doba T ₀ (s) (Akustická úprava)	Obrázek s rozmezím T/T ₀	Poznámka
Učebna a posluchárna	do 250	0,70	A.4	
Posluchárna	přes 250	Závislost 3 – A.1	A.4	
Jazyková učebna (laboratoř)	130 - 180	0,45	A.4	
Audiovizuální učebna	200	0,60	A.4	
Učebna hudební výchovy	200	0,90	A.3	
Učebna hudební výchovy při reprodukováné hudbě	200	0,50	A.3	
Učebna hry na individuální nástroje a sólového zpěvu	80 až 120	0,70	A.3	
Učebna orchestrální hry hudebních škol	-	Závislost 2 – A.1	A.2	Objem V ≥ 6000 m ³
Tělocvična a plavecká hala všech typů škol	-	Závislost 5 – A.1	A.8	
Sborovna nebo konferenční místnost	-	(Širokopásmový obklad stropu)	-	
Učebna pracovní výuky	-	(Širokopásmový obklad stropu)	-	
Učebna gymnastiky a tance	-	(Širokopásmový obklad stropu)	-	
Místnost pro hry v mateřských školách a školních družinách	130 až 200	(Širokopásmový obklad stropu)	-	
Denní místnost jeslí	150	(Širokopásmový obklad stropu)	-	
Školní jídelna, menza	-	(Širokopásmový obklad stropu)	-	...

Tabulka 8: Požadavky na prostory ve školách (ČSN 73 0527, Tabulka 2) pro Tělocvičnu

3.2 Vyhodnocení

Byl vypracován a následně posouzen návrh upravující prostorovou akustiku sportovní haly v projektu „Sportovní hala Turnov“.

Výsledná průměrná doba dozvuku se bude nacházet v mezích tolerančního pásma doporučených hodnot doby dozvuku pro dané využití a objem. Akustická simulace také potvrdila, že aplikace materiálů na podhledy a stěny zabezpečí velmi dobrou srozumitelnost řeči.

Je nutné konzultovat jakékoliv změny, aby nedošlo k narušení prostorové akustiky v posouzených místnostech.

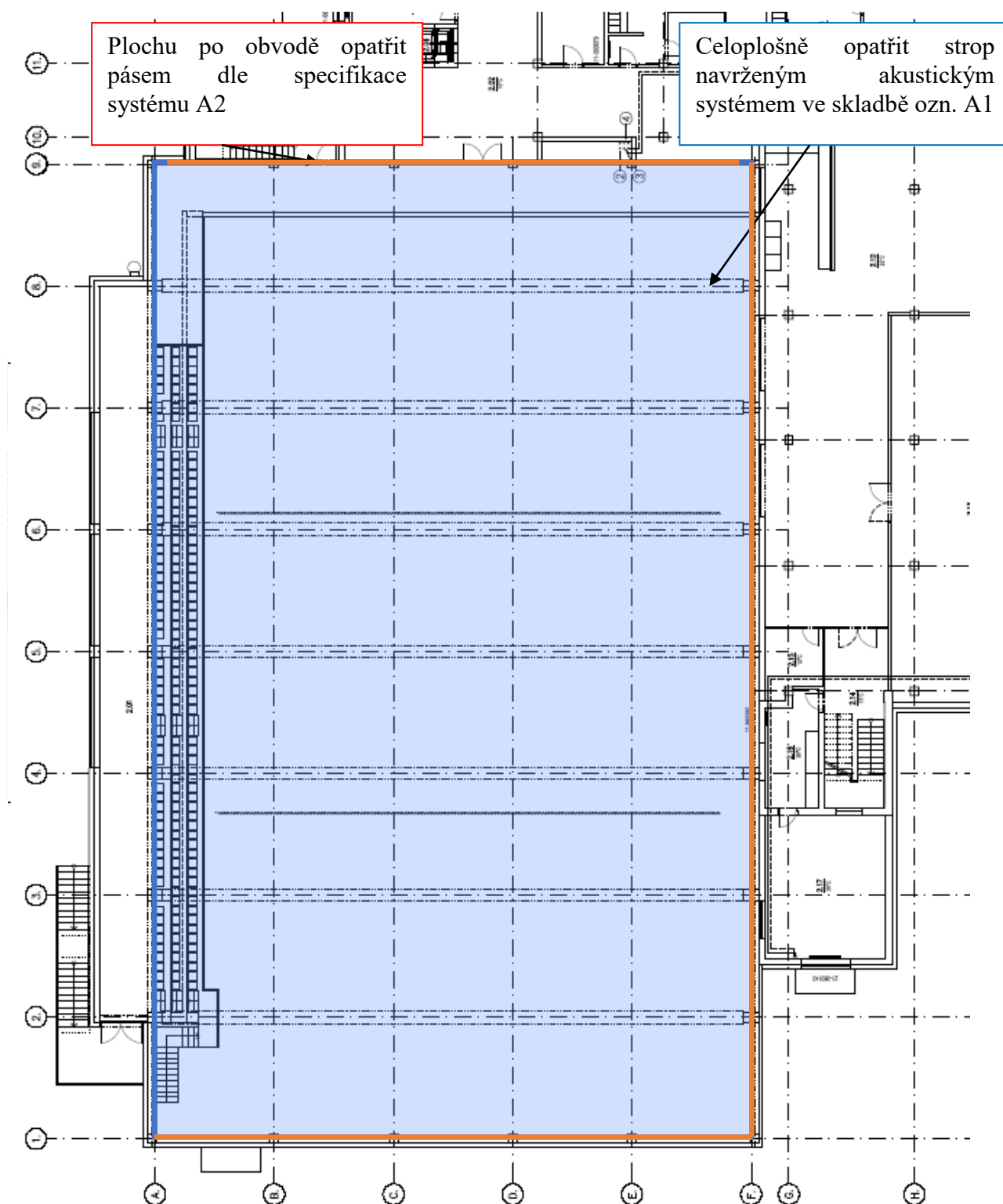
Akustický zavěšený podhled případně akustické obklady stěn musí být odsazeny od tuhé konstrukce. Aby konstrukce byla tuhá, musí vykazovat minimální plošnou hmotnost $m' = 12 \text{ kg/m}^2$ (lépe $m' = 15 \text{ kg/m}^2$). Popř. musí být konstrukce ztužena pomocí ocelového rastru (např. z jeklů) 600x600 mm. Bez splnění požadavku na tuhou konstrukci nad minerálním podhledem nelze garantovat účinnost navržených opatření zavěšeného minerálního podhledu.

Pro deklaraci optimálních parametrů prostorové akustiky je nutné provádět průběžný autorský dohled firmou Studio D – akustika s.r.o. Autorský dohled bude mimo jiné provázet průběžné měření prostorové akustiky. Měření je důležité pro případné stanovení doplňujících akustických systémů a pro případné odstranění všech nedostatků.

Všechny prvky a rošty musí být provedeny precizně a dotaženy, aby nedocházelo k rezonanci panelů. Musejí být dodrženy veškeré technologické předpisy a postupy dané výrobcem. Výsledné provedení závisí na realizační firmě.

Posudek řeší pouze prostorovou akustiku. Neřeší zbylé části akustiky (stavební akustiku, hluk z objektu apod.) ani požární, mechanicko-odolností, bezpečnostní, tepelně technická ani jiná hlediska. Především doporučujeme prověřit umístění akustických materiálů z bezpečnostních hledisek (ostré hrany apod.) a z mechanicko-odolnostních hledisek.

4 PŘÍLOHY



Obrázek 8: Schéma navržených opatření prostorové akustiky