



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV POZEMNÍHO STAVITELSTVÍ

INSTITUTE OF BUILDING STRUCTURES

BUDOVA OBČANSKÉ VYBAVENOSTI

CIVIC AMENITIES BUILDING

C.1 Technická zpráva akustického řešení stavby

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Zuzana Hodková

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Petr Berková, Ph.D.

BRNO 2026

Obsah

Analýza objektu	1
Urbanistické řešení stavby	1
Dispoziční řešení objekt	1
Podklady ke zpracování.....	1
1. Urbanistická akustika	2
1.1. Základní pojmy a vzorce použité pro posouzení	2
1.2. Přenos zvuku z budovy do venkovního prostoru dle ČSN EN ISO 12354-4 (730512)	5
1.2.1. Stanovení hlučnosti vnitřního prostředí	5
1.2.2. Rozdělení pláště na jednotlivé segmenty.....	5
1.2.3. Neprůzvučnosti stavebních konstrukcí	6
1.2.4. Výpočet hladiny akustického výkonu a tlaku vyzařovanou segmentem stavebního prvku pláště budovy L_{WA}	6
1.2.5 Stanovíme hladinu akustického tlaku v bodě příjmu vně budovy L_{pA}	7
1.2.6 Vytvoření hlukové mapy	8
1.2.7 Výsledné hodnoty působení akustického tlaku na zástavbu	9
1.2.8 Vyhodnocení a práce s výsledky.....	11
1.3. Výsledky a zhodnocení vlivu novostavby na okolí	11
2. Prostorová akustika	12
2.1 Základní pojmy a význam prostorové akustiky.....	12
2.2 Normové požadavky na prostorovou akustiku	15
2.3 Akustický návrh a řešení místností.....	19
2.3.1 Taneční sál (1.06)	19
2.3.1.1 Původní stav bez utlumovacích prvků	19
2.3.1.2 Nový stav s utlumovacími prvky.....	21
a) Výpočet	21
b) Použité prvky.....	23
c) Zhodnocení.....	23
2.3.2 Tělocvična (m.č. 1.29)	25
2.3.2.1 Původní stav bez utlumovacích prvků	25
a) Výpočet	25
b) Zhodnocení:.....	26
2.3.2.2 Nový stav s utlumovacími prvky.....	27
a) Výpočet	27
b) Použité prvky.....	29
c) Zhodnocení.....	31
3 Zdroje:	32

Analýza objektu

Jedná se o stavbu víceúčelové tělocvičny na okraji města Třebíč na Vysočině. Objekt je navržen pro 300 osob o zastavěné ploše cca 2055m². Stavba je dvoupodlažní vystavena z částečně monolitického ŽB skeletu vyplněného tvárnicemi Ytong a vápenopískových tvárnic Silka, zateplený dle zásad ETICS. Stropní konstrukce jsou navrženy jako prefabrikované panely a dřevěné nosníky. Založení stavby je na základových pasech a patkách, které jsou uloženy do nezámrzne hloubky. Stavba má dvě ploché střechy – jednu nad prostorem zázemí veřejnosti a sportovců a druhá nad hledištěm a tělocvičnou. Střecha je vegetační extenzivní se spádem 3%.

Urbanistické řešení stavby

Řešená lokalita, kde je řešen projektovaný objekt se nachází téměř na okraji města Třebíč, ale stále v jedné z nejvytíženějších lokalit. Kolem pozemku vede přímá hlavní silnice vedoucí ke kruhovému objektu, který spojuje okraj rodinné zástavby, hlavní směr na vzdálenou dálnici a hlavní směry do centra města. V této lokalitě se taktéž nachází často navštěvovaná restaurace, velkopotraviny a čerpací stanice. Všechny tyto stavby disponují velkým a často využívaným parkovištěm. Parcela je z jihozápadní strany obklíčena velkým skalnatým svahem, na kterém se nachází řadová zástavba rodinných domů. Z jihovýchodní strany se terén svahuje směrem k městskému parku.

Dispoziční řešení objekt

V objektu se nachází dva významné prostory, kterými si tato zpráva bude zabývat – víceúčelová tělocvična a taneční sál. Tyto dva prostory jsou půdorysně rozlehlé a prázdné.

Zbytek dispozice viz. A.4.1 Půdorys 1.NP

Podklady ke zpracování

Projektová dokumentace k novostavbě haly

Klimatické podmínky dané lokality

Urbanistické poměry lokality

Hodnoty z portálu Ředitelství silnic a dálnic

1. Urbanistická akustika

Řešená stavba sportovní haly je situována pod skalnatým srázem, na němž se nachází řadová zástavba rodinných domů. Vzhledem k tomu, že objekt není uvažován jako chráněný prostor, je nezbytné provést komplexní posouzení jeho akustického vlivu na okolní prostředí, zejména s ohledem na možný přenos zvuku z interiéru do exteriéru. Pro účely tohoto hodnocení je pozornost soustředěna především na místnost č. 1.06 – taneční sál, jejíž orientace směřuje přímo k obytné části sousedství. Tento prostor je dále charakterizován velkými prosklenými otvory, které mohou významně ovlivnit úroveň zvukového vyzařování do okolí. Při posuzování je rovněž zohledněna skutečnost, že v místnosti bude docházet k provozu hlasité hudby, což představuje kritický faktor z hlediska ochrany akustického komfortu obyvatel sousedních objektů. Hodnocení je proto zaměřeno na identifikaci potenciálních rizik přenosu hluku a na návrh vhodných opatření minimalizujících negativní dopady na okolní zástavbu.

1.1. Základní pojmy a vzorce použité pro posouzení

Vyzařování zvuku pláštěm budovy

Tento vztah umožňuje stanovit venkovní hladinu hluku způsobenou provozem uvnitř budovy, např. hudbou nebo sportovní činností v tělocvičně. Lze tuto hodnotu zastoupit vyzařováním jednoho nebo více náhradním bodových zdrojů. Každý bodový zdroj můžeme zastoupit příspěvkem segmentu pláště budovy nebo skupiny jednotlivých zdrojů. (zdroj: archiv laboratoře BP akustika akreditované Českým institutem pro akreditaci o.p.s, norma ČSN EN ISO 12354-4)

$$L_{p,A} = L_{W,A} + D_C - \Delta L_r - \Delta L_z + \Delta L$$

kde:

$L_{p,A}$	hladina akustického tlaku [dB],
D_C	směrová korekce pro náhradní bodové zdroje ve směru příjmu $D_C = 3\text{dB}$
ΔL_r	pokles hladiny akustického tlaku vlivem vzdálenosti r [m].
ΔL_z	snížení hladiny zvukem vlivem odstínění [m].
ΔL	korekce na odraz zvuku tvrdých povrchů (odraz od fasády) [m].

Hladina akustického výkonu vyzařovaného segmentem stavebních prvků pláště budovy

Hladina akustického výkonu vyzařovaného segmentem stavebních prvků pláště budovy $L_{W,A}$ vyjadřuje množství akustické energie, kterou daná část konstrukce (např. stěna, okno či střecha) vyzařuje do vnějšího prostředí v důsledku působení vnitřního zdroje hluku. Tento parametr umožňuje hodnotit přenos zvuku z interiéru do exteriéru a účinnost akustické izolace konstrukce.

$$L_{W,A} = L_{pA,in} - 4 - R'_w + 10 \log_{10} \left(\frac{S_i}{S_0} \right)$$

kde:

$L_{p,i}$	střední hladina akustického tlaku v místnosti [dB],
S_i	plocha hodnoceného segmentu konstrukce [m ²],
S_0	referenční plocha, 1m ²
R'_w	vážená stavební vzduchová neprůzvučnost daného segmentu [dB].

Střední čítel zvukové pohltivosti

Čítel zvukové pohltivosti α vyjadřuje poměr mezi absorbovanou a dopadající akustickou energií. Hodnota se pohybuje od 0 (zcela odrazivý povrch) do 1 (zcela pohlcující povrch). Střední hodnota α_{st} je průměrná hodnota pro všechny plochy v místnosti a významně ovlivňuje dobu dozvuku i úroveň vnitřního hluku.

Ekvivalentní pohltivost prostoru

Celková pohltivost prostoru A se určuje ze součtu jednotlivých ploch a jejich čítelů pohltivosti. Vyjadřuje tedy celkovou schopnost prostoru pohlcovat zvuk a je klíčovým parametrem při stanovení doby dozvuku

$$A = \sum S_i \alpha_i$$

kde:

S_i je plocha i-té konstrukce

α_i její čítel pohltivosti.

Směrový čítel Q


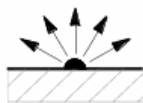


Směrový čítel Q vyjadřuje poměr akustického výkonu vyzářeného zdrojem do určitého směru k výkonu, který by vyzářel stejný zdroj rovnoměrně do všech směrů (všesměrově). Udává tedy míru směrovosti zdroje zvuku.

$Q = 1$ – zdroj ve volném prostoru,

$Q = 2$ – zdroj nad odrazivou plochou (např. nad podlahou),

$Q = 4$ – zdroj v rohu mezi dvěma stěnami,

$Q = 8$ – zdroj v koutě mezi třemi odrazivými plochami.

<u>VOLNÝ PROSTOR</u>	<u>POLOPROSTOR</u> (např. na tvrdé podlaze)	<u>KVADRANT</u> (např. na hraně mezi dvěma stěnami svírajícími úhel 90°)	<u>OKTANT</u> (v rohu mezi třemi rovinami)
			
$Q = 1$	$Q = 2$	$Q = 4$	$Q = 8$

Obr. 1.1.1 Směrový čítel Q

Směrový čítel se uplatňuje při přepočtech mezi hladinou akustického výkonu a hladinou akustického tlaku.

Hladina akustického výkonu L_W

Hladina akustického výkonu charakterizuje množství akustické energie, které zdroj vyzáří do okolního prostředí za jednotku času. Jedná se o veličinu nezávislou na vzdálenosti od zdroje a prostředí. Definuje se vztahem:

$$L_W = 10 \log_{10} \left(\frac{W}{W_0} \right)$$

kde W je akustický výkon zdroje [W] a $W_0 = 10^{-12}$ W je referenční výkon.

Vzduchová neprůzvučnost R , R_w , R'_w

Vzduchová neprůzvučnost R [dB] vyjadřuje, jak účinně konstrukce brání přenosu zvuku mezi dvěma prostory. Definuje se vztahem:

$$R = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{S}{A}$$

kde:

L_1 hladina akustického tlaku v místnosti se zdrojem [dB]

L_2 hladina akustického tlaku v přijímací místnosti [dB]

S plocha dělicí konstrukce [m²]

A ekvivalentní pohltivost přijímací místnosti [m²]

- **Vážená laboratorní neprůzvučnost R_w**

Je to laboratorně stanovená veličina podle normy ČSN EN ISO 717-1.

- **Vážená stavební neprůzvučnost R'_w**

Jednočíselná hodnota odrážející skutečnou schopnost stavební konstrukce zamezit šíření zvuku vzduchem v reálném objektu. Na rozdíl od laboratorní hodnoty zahrnuje nepříznivé vlivy netěsností, spár a bočních cest přenosu.

$$R'_w = R_w - k$$

R'_w vážená stavební vzduchová neprůzvučnost

R_w vážená laboratorní vzduchová neprůzvučnost

K korekce, závislá na vedlejších cestách šíření zvuku (2 – 5 dB → vápenopískové tvarovky)

Hluk s tónovými složkami

Hlukem s tónovými složkami hluk, v jehož kmitočtovém spektru je hladina akustického tlaku v třetinooktávovém pásmu, případně i ve dvou bezprostředně sousedících třetinooktávových pásmech, o více než 5 dB vyšší než hladiny akustického tlaku v obou sousedních třetinooktávových pásmech a v pásmu kmitočtu 10 Hz až 160 Hz je ekvivalentní hladina akustického tlaku v tomto třetinooktávovém pásmu vyšší než hladina prahu slyšení stanovená pro toto kmitočtové pásmo v příloze č. 1 k tomuto nařízení; **hlukem s tónovými složkami je vždy hudba nebo zpěv**; pokud nelze hluk s tónovými složkami identifikovat na základě uvedených definic, lze použít definici vycházející z úzkopásmové analýzy.

(§ 2 písm. b), NV č. 272/2011 Sb.)

1.2. Přenos zvuku z budovy do venkovního prostoru dle ČSN EN ISO 12354-4 (730512)

Přenos hluku bude posuzován dle normy ČSN EN ISO 12354-4 (730512) – Stavební akustika – Výpočet akustických vlastností budov z vlastností stavebních prvků – Část 4: Přenos zvuku z budovy do venkovního prostoru

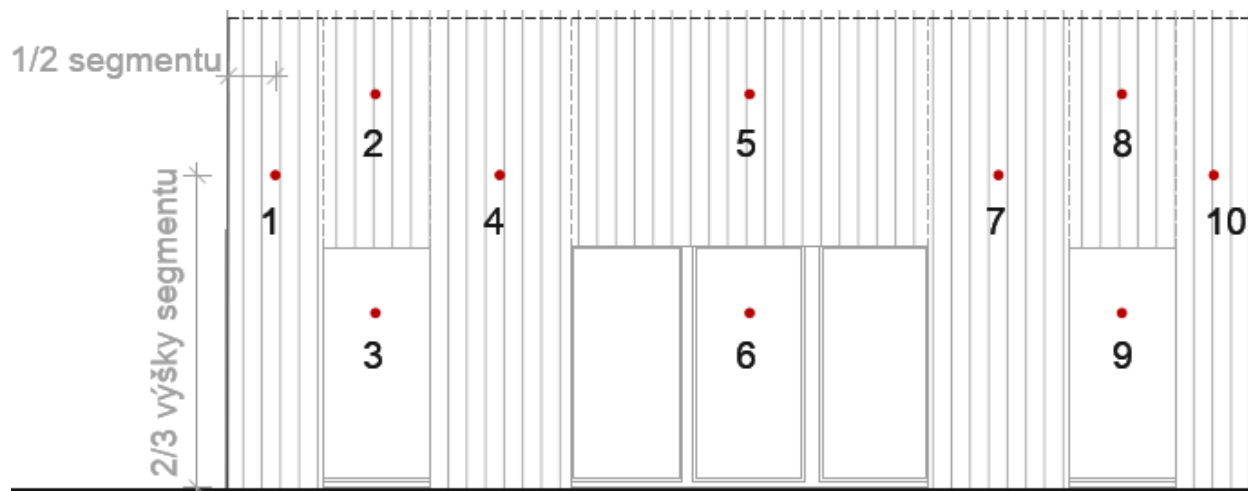
Postup:

1. Stanovíme hlučnost uvnitř objektu na základě známých zdrojů
2. Rozdělení pláště na jednotlivé segmenty
3. Stanovíme neprůzvučnosti stavebních konstrukcí
4. Vypočítáme hladinu akustického výkonu vyzařovanou segmentem stavebního prvku pláště budovy L_{WA}
5. Stanovíme hladinu akustického tlaku v bodě příjmu vně budovy L_{pA}

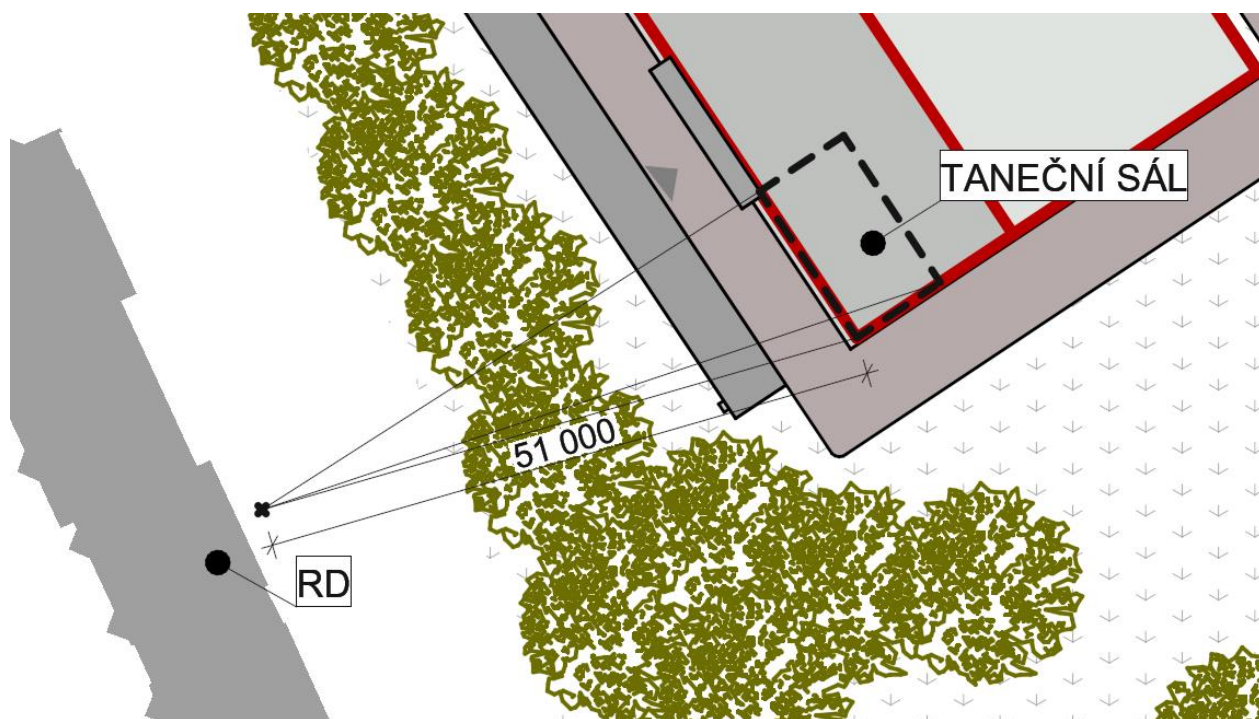
1.2.1. Stanovení hlučnosti vnitřního prostředí

Dvojice reproduktorů, které se často užívají při provozu tanečního sálu jsou schopny vytvořit při maximálním výkonu hladinu akustického tlaku až 130 dB. Při takovéto hladině už dochází u některých lidí k dosažení prahu bolesti. Samozřejmě je toto subjektivní hranice, avšak např. hudební kluby a diskotéky většinou fungují s hudbou okolo 100 dB. Proto při dalších výpočtech bude uvažováno s touto nižší hodnotou (100 dB) a pro provoz sálu se nepředpokládá její překročení.

1.2.2. Rozdělení pláště na jednotlivé segmenty



Obr. 1.2.1 Rozdělení pláště na segmenty



Obr. 1.2.2 Situace vzdálenost zdroje hluku (sálu) od obytné zástavby

1.2.3. Neprůzvučnosti stavebních konstrukcí

Tab. 1.2.3.1 Vážená neprůzvučnost konstrukce stěny a oken

Segment	Laboratorní vzduchová neprůzvučnost [dB]	Korekce [dB]	Vážená neprůzvučnost k-ce $R'_w = R_w - k$ [dB]
Vápenopískové tvárnice 200mm	49	2	47
Okno dřevohliníkové, trojsklo,			33

1.2.4. Výpočet hladiny akustického výkonu a tlaku vyzařovanou segmentem stavebního prvku pláště budovy L_{WA}

Vyzařování zvuku pláštěm budovy lze zastoupit vyzařováním jednoho nebo více náhradních bodových zdrojů. Každý bodový zdroj můžeme zastoupit příspěvkem segmentu pláště budovy nebo skupiny jednotlivých zdrojů zvuku.

Tab. 1.2.4.1 Výpočet hladiny akustického výkonu daného segmentu fasády

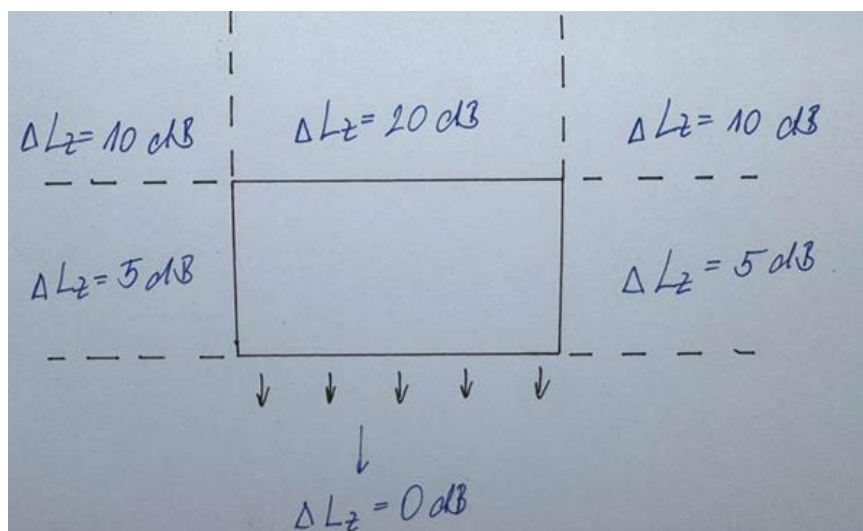
Segment	Výška zdroje od UT	Plocha segmentu S [m ²]	Referenční plocha segmentu S ₀ [m ²]	Vážená neprůzvučnost k-ce R' _w [dB]	Hladina akustického tlaku uvnitř místnosti L _{pA,in} [dB]	Hladina akustického výkonu daného segmentu $L_{WA} = L_{pA,in} - 4 - R'_w + 10 \log (S_i/S_0)$
1	2,52	2,88	1	47	100	54
2	3,19	1,6		47		51
3	1,43	1,68		33		65
4	2,54	4,25		47		55
5	3,19	5,31		47		56
6	1,43	5,59		33		70
7	2,54	4,25		47		55
8	3,19	1,6		47		51
9	1,43	1,68		33		65
10	2,54	2,27		47		53
11	2,52	52		47		66

1.2.5 Stanovíme hladinu akustického tlaku v bodě příjmu vně budovy L_{pA}

Tab. 1.2.5.1 Přepoččet hladiny akustického výkonu na hladinu akustického tlaku

Segment	Hladina akustického výkonu daného segmentu L _{WA}	Směrová korekce D _c	Pokles hladiny akustického tlaku vlivem vzdálenosti $\Delta L_r = 10 \log(4\pi r^2/S_0)$ [m]	Pokles hladiny vlivem odstínění ΔL_z [dB]*	Korekce na odraz zvuku od tvrdých materiálů ΔL [dB]	Hladina akustického tlaku L _{pA} = $L_{WA} + D_c - \Delta L_r - \Delta L_z + \Delta L$ [dB]
1	54	3	45	5	2	8
2	51		45			6
3	65		45			20
4	55		46			10
5	56		46			10
6	70		46			25
7	55		46			9
8	51		46			5
9	65		46			19
10	53		46			6
11	66		45	0		27

*L_z je snížení hladiny zvuku vlivem odstínění vlastní budovou, tj. dle orientace pláště ke sledovanému místu

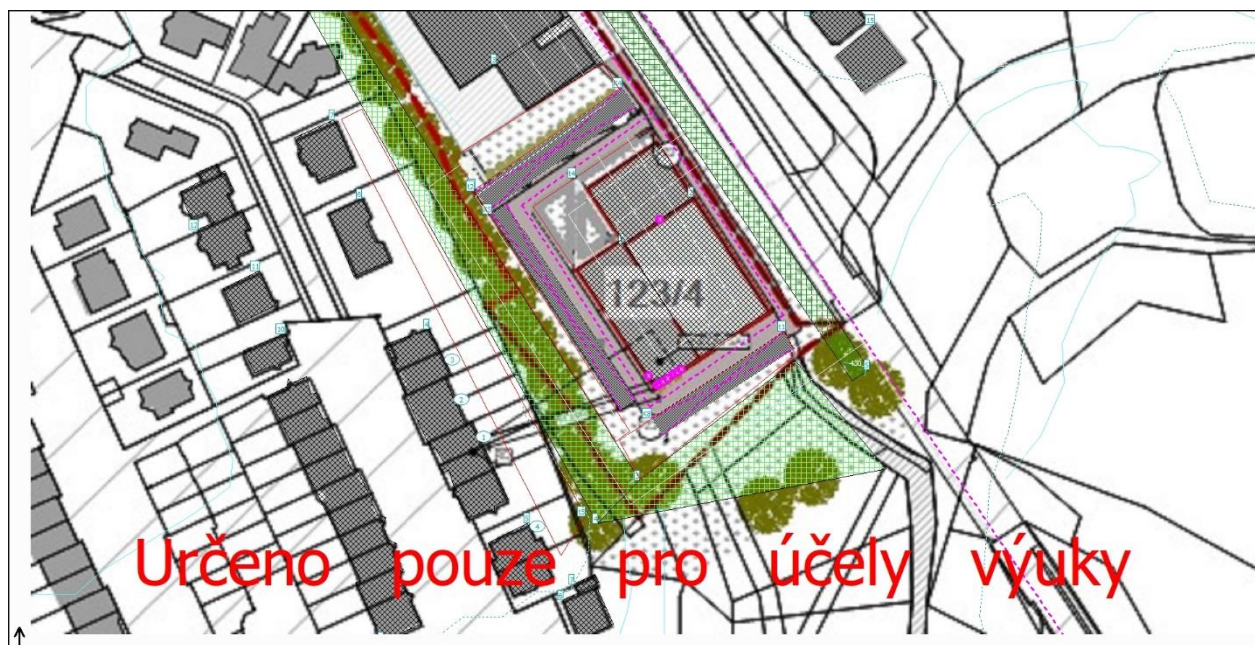


Obr. 1.2.5.1 Pokles hladiny vlivem odstínění (Zdroj: Přednášky NHA059 HLUK A VIBRACE V BUDOVÁCH/Ing. Petra Berková, Ph.D.)

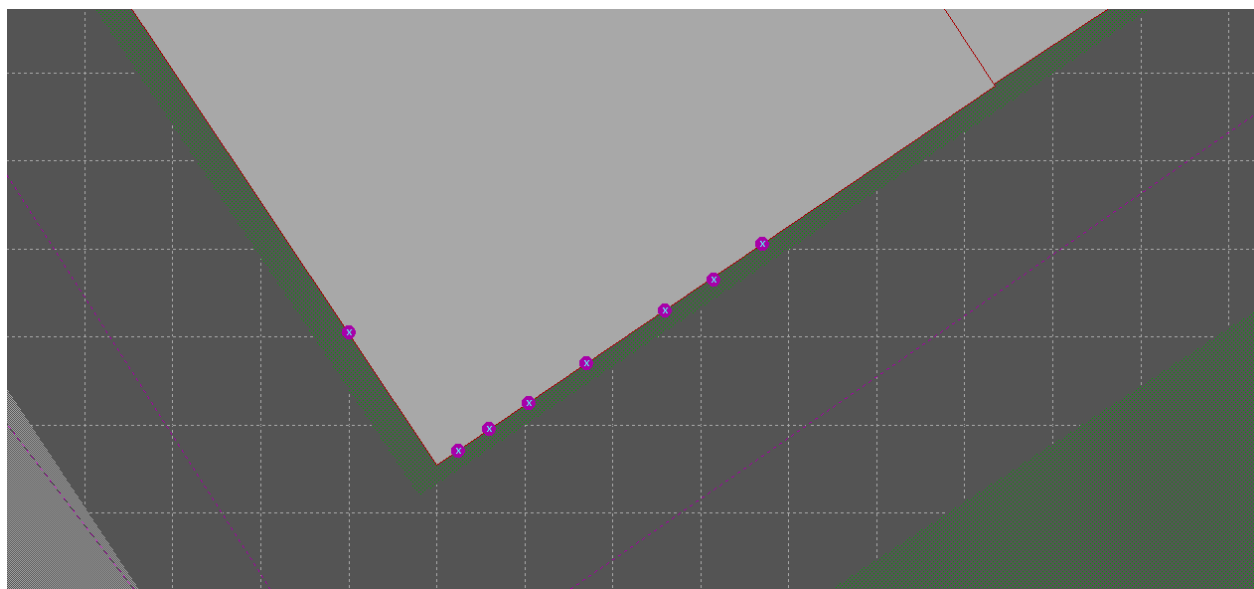
1.2.6 Vytvoření hlukové mapy

Na základě vypočtené hladiny akustického výkonu $L_{W,A}$, vyzařované jednotlivými segmenty stavebních prvků obvodového pláště budovy, byly tyto hodnoty přepočteny na hladinu akustického tlaku $L_{p,A}$. Získané hodnoty byly následně využity jako vstupní data v programu Hluk+. Na fasádu objektu byly umístěny náhradní bodové zdroje hluku, které simulují hluk vznikající při užívání tanečního sálu. Jednotlivé body byly situovány do odpovídající výšky a polohy podle rozdělení pláště na jednotlivé segmenty (viz Tab. 1.2.2). Pásmo izofon bylo zvoleno s 30% průhledností a rozptylem od 20-50dB s 5 dB krokem.

Model pro hlukovou mapu byl za účelem porovnání výsledků zpracován ve dvou variantách. První varianta zahrnovala pouze komunikace navržené v rámci projektové dokumentace, zatímco druhá varianta zahrnovala i přilehlé stávající veřejné komunikace. Toto řešení vyplývá z potřeby posoudit vliv kumulace zdrojů.

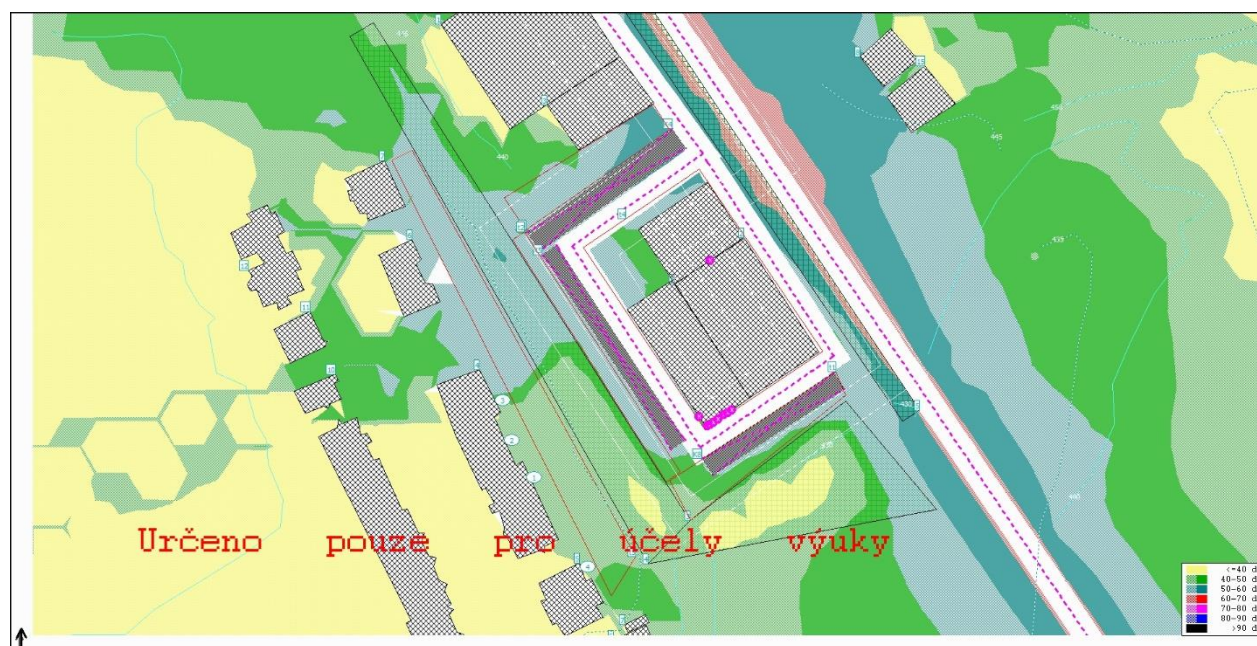


Obr. 1.2.6.1 Model zahrnující veřejné komunikace

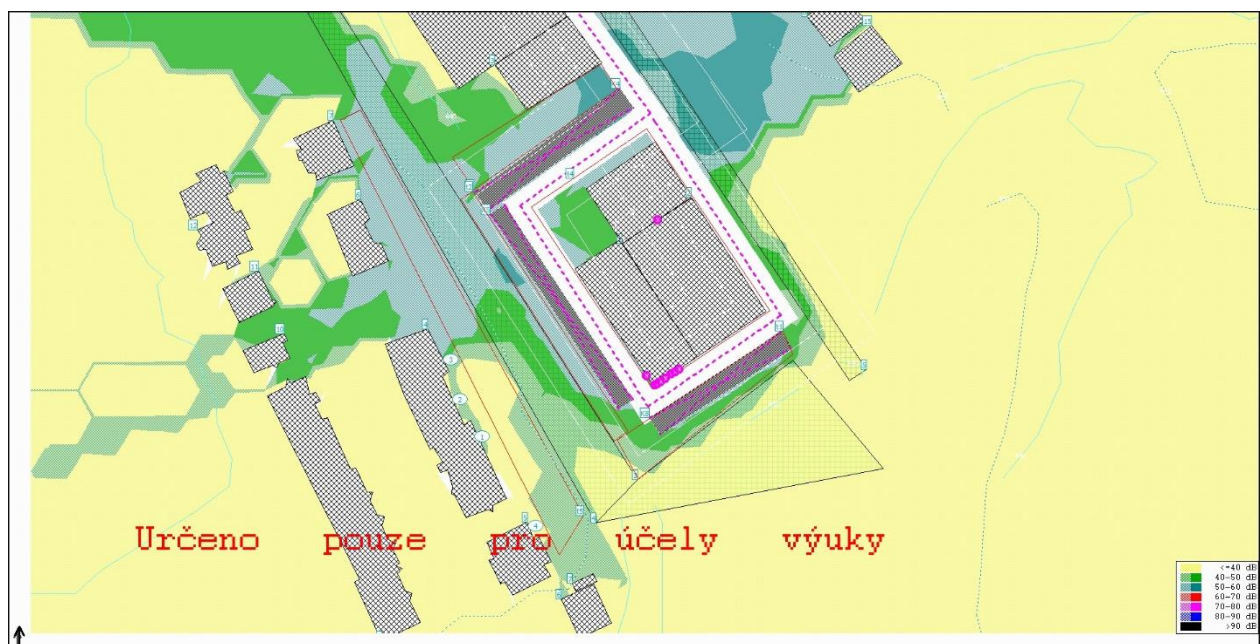


Obr. 1.2.6.2 Náhradní bodové zdroje hluku na fasádě simulující prostup hluku z int. do exteriéru

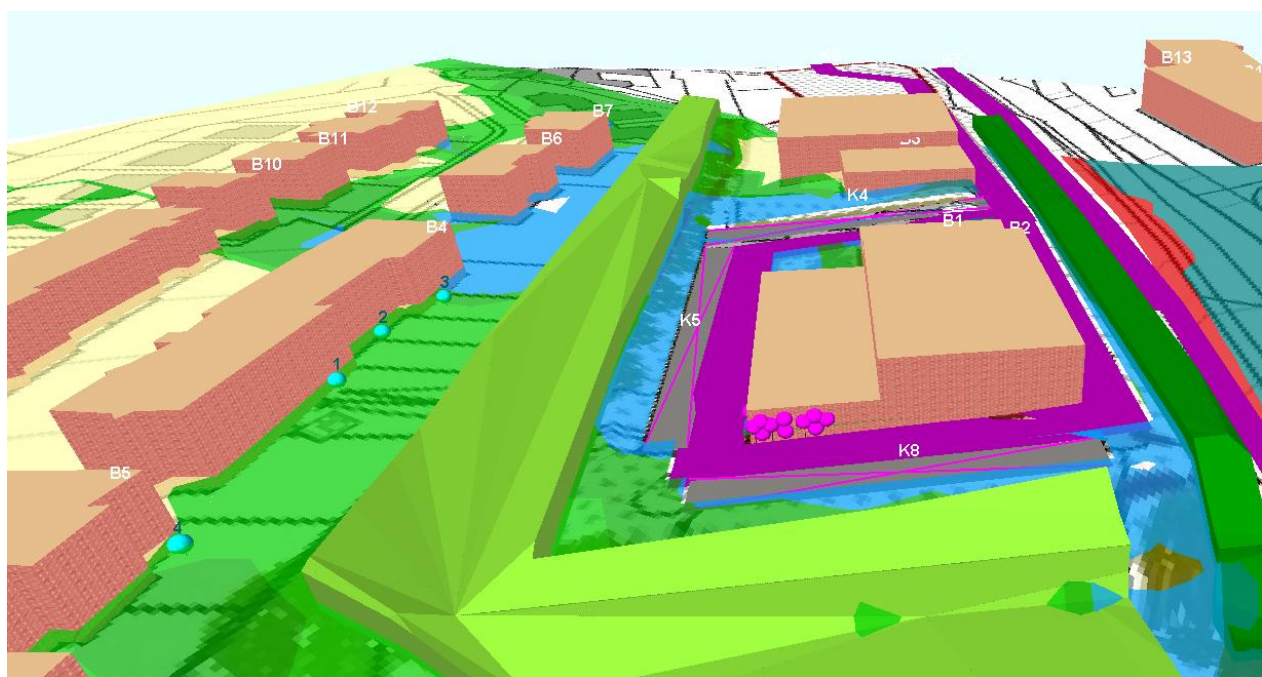
1.2.7 Výsledné hodnoty působení akustického tlaku na zástavbu



Obr. 1.2.7.1 Výsledné izofony varianty s komunikacemi



Obr. 1.2.7.2 Výsledné izofony varianty bez komunikací



Obr. 1.2.7.2 Izofony 3D s komunikacemi

Tab. 1.2.6.1 Tabulka výsledků S komunikacemi (Zdroj: Hluk+ - upraveno)

Č.	NadTerén [m]	Abs.Nmv	Souřadnice		LAeq doprava [dB]	LAeq průmysl [dB]	LAeq celkem [dB]
			X	Y			
1+	1.5	447.1	730.0	670.5	42,2	29,6	42,4
2+	1.5	447.4	723.5	681.4	41,8	30,2	42,1
3+	1.5	447.4	720.9	692.9	41,5	41,4	44,3
4+	1.5	446.5	745.7	644.3	42,8	28,2	42,9

Tab. 1.2.6.1 Tabulka výsledků BEZ komunikací (Zdroj: Hluk+ - upraveno)

Č.	NadTerén [m]	Abs.Nmv	Souřadnice		LAeq doprava [dB]	LAeq průmysl [dB]	LAeq celkem [dB]
			X	Y			
1+	1.5	447.1	730.0	670.5	40,1	29,6	40,5
2+	1.5	447.4	723.5	681.4	40,3	30,2	40,7
3+	1.5	447.4	720.9	692.9	40,0	41,4	43,6
4+	1.5	446.5	745.7	644.3	37,7	28,2	38.2

1.2.8 Vyhodnocení a práce s výsledky

Akustické posouzení je zaměřeno výhradně na příspěvek hluku z denního provozu navrhované sportovní haly, přičemž stávající dopravní infrastruktura není posuzována, jelikož její provoz není navrhovaným záměrem ovlivněn.

Podle Nařízení vlády č. 272/2011 Sb. o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací se hygienický limit ekvivalentní hladiny akustického tlaku A stanoví součtem základní hladiny akustického tlaku $L_{Aeq,T}$ **50 dB** a korekcí přihlížejících ke druhu chráněného prostoru a denní době (noční provoz se v hale neuvažuje). V případě hluku s tónovými složkami se přičte další korekce **-5 dB**. (§ 2 písm. b), NV č. 272/2011 Sb.)

Dle vypočtených bodů a výsledných hodnot lze určit, že v denních hodinách dosahuje hladina akustického tlaku v oblasti rodinných domů mezi 40-44dB. Hodnocená místnost tanečního sálu v jižním rohu objektu tvoří těsně před okny hluk o cca 49 dB.

Při porovnání obou variant lze vyvodit závěr, že s uvažováním veřejných stávajících komunikací vzrostla ekvivalentní hladina akustického tlaku o 1.3 dB. Tento nárůst je z hlediska hygienických limitů zanedbatelný a nepředstavuje výrazné zhoršení hlukové situace. Pro výsledný posudek je uvažováno s vyšší hodnotou.

1.3. Posouzení výsledků

Podle Nařízení vlády č. 272/2011 Sb. činí základní hygienický limit pro chráněný venkovní prostor staveb rodinných domů v denní době 50 dB, přičemž korekce pro hluk s tónovými složkami uplatňují korekci -5 dB. Hygienický limit pro den tedy činí **45 dB**.

Vyhodnocení vychází z vypočtených hodnot ekvivalentní hladiny akustického tlaku L_{Aeq} v jednotlivých výpočtových bodech uvedených v tabulce Tab. 1.2.6.1.

Posouzení:

$$L_{Aeq} < L_{Aeq,T}$$

$$44,3 \text{ dB} < 45 \text{ dB} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Na základě porovnání výsledků lze konstatovat, že provoz navrhované sportovní haly nepředstavuje nepřijatelnou hlukovou zátěž pro okolní obytnou zástavbu a splňuje požadavky platné legislativy.

2. Prostorová akustika

Prostorová akustika se zabývá šířením, odrazem a pohlcováním zvuku v uzavřených prostorách. Jejím cílem je vytvořit takové akustické podmínky, které umožní srozumitelný přenos řeči, kvalitní reprodukci hudby nebo akustický komfort, v tomto případě, při sportovních a společenských aktivitách.

Akustické hodnocení je zaměřeno pouze na tělocvičnu a taneční sál, u nichž má akustická kvalita zásadní vliv na komfort uživatelů a vhodnost prostoru pro jeho zamýšlené využití. Na teoretickou část navazuje výpočet doby dozvuku a hodnocení úrovně akustického tlumení v řešených místnostech.

Ostatními místnostmi, jako jsou šatny, chodby či hygienické zázemí, se tato část práce nezabývá, neboť na tyto prostory nejsou kladeny zvláštní požadavky z hlediska prostorové akustiky. Jedná se o prostory s převážně krátkodobým pobytem osob, kde se nevyžaduje specifická úroveň srozumitelnosti řeči ani kontrolovaná doba dozvuku.

2.1 Základní pojmy a význam prostorové akustiky

Zvuk

Zvuk je mechanické vlnění šířící se pružným prostředím, nejčastěji vzduchem. Z fyzikálního hlediska jde o podélné vlnění způsobené periodickými změnami tlaku, které lidské ucho vnímá jako sluchový vjem. Frekvenční rozsah slyšitelného zvuku pro člověka se pohybuje přibližně mezi 20 Hz až 20 kHz.

Hladina akustického tlaku

Hladina akustického tlaku L_p udává intenzitu zvuku ve vztahu k referenčnímu tlaku $p_0 = 2 \times 10^{-5}$ Pa, který odpovídá prahu slyšitelnosti. Vyjadřuje se v decibelech (dB) podle vztahu:

$$L_p = 20 \log_{10} \left(\frac{p}{p_0} \right)$$

Tato veličina umožňuje porovnávat různé hladiny zvuku v rámci logaritmické stupnice, která odpovídá způsobu vnímání hluku lidským uchem.

Akustický výkon

Akustický výkon (značí se W) představuje celkové množství akustické energie, které zdroj vyzáří do okolního prostředí za jednotku času. Vyjadřuje se ve wattech $[W]$ a patří mezi základní veličiny popisující intenzitu zvuku nezávisle na vzdálenosti od zdroje.

Na rozdíl od akustického tlaku, který charakterizuje okamžitý účinek zvuku v určitém místě, je akustický výkon vlastností samotného zvukového zdroje – například reproduktoru, hudebního nástroje, ventilace nebo sportovní aktivity.

Hladina akustického výkonu L_W se obvykle udává v decibelech podle vztahu:

$$L_W = 10 \log_{10} \left(\frac{W}{W_0} \right)$$

Kde

$W_0 = 10^{-12} \text{ W}$ je referenční výkon odpovídající prahu slyšitelnosti.

Frekvence

Frekvence f udává počet kmitů akustického signálu za jednotku času (v Hz). Nízké frekvence (do cca 250 Hz) vnímáme jako hluboké tóny, střední (250–2000 Hz) jsou klíčové pro srozumitelnost řeči a vyšší frekvence (nad 2000 Hz) přispívají k vnímání barvy zvuku a jasnosti prostoru.

Doba dozvuku

Doba dozvuku T představuje čas, za který klesne hladina akustického tlaku po ukončení zdroje zvuku o 60 dB. Je základním parametrem prostorové akustiky, určujícím míru „ozvěnivosti“ prostoru. Výpočet doby dozvuku se provádí pro tyto případy dle **Sabineho** a **Millingtonovy rovnice**, neboť řešené prostory splňují podmínky $V > 2000 \text{ m}^3$ a $0,2 < \alpha_{\text{stř}} < 0,8$:

Sabineho vztah

$$T = 0,164 \cdot \frac{V}{A} \quad \text{Podm.: } V \leq 2000 \text{ m}^3 \text{ a } \alpha_{\text{stř}} < 0,2$$

Millingtonův vztah

$$T = 0,164 \cdot \left(\frac{V}{S \cdot \alpha_E + 4mV} \right) \quad \text{Podm.: } V \geq 2000 \text{ m}^3 \text{ a } \alpha_{\text{stř}} > 0,8$$

Eyringův vztah

$$T = 0,164 \cdot \left(\frac{V}{S \cdot \alpha_E} \right) \quad \text{Podm.: } 0,2 < \alpha_{\text{stř}} \leq 0,8$$

,kde

- V je objem místnosti $[\text{m}^3]$
- A je ekvivalentní absorpční plocha $[\text{m}^2]$.
- S je celková plocha povrchů místnosti, $[\text{m}^2]$.
- α_E $-\ln(1-\alpha_{\text{stř}})$, Eyringův činitel zvukové pohltivosti, $[-]$.
- m činitel útlumu zvuku při šíření ve vzduchu, $[\text{m}^{-1}]$

Srozumitelnost řeči

Srozumitelnost řeči charakterizuje schopnost prostoru umožnit jasné a zřetelné porozumění mluvenému slovu. Vyjadřuje se například indexem STI (Speech Transmission Index) nebo zjednodušeně hodnotou C_{50} , která udává poměr mezi včasným a pozdním zvukem. Tento parametr je klíčový zejména v prostorech určených pro výuku, sport, veřejné akce či tanec.

Činitel zvukové pohltivosti

Činitel zvukové pohltivosti (značí se α) vyjadřuje, jak velkou část dopadající zvukové energie daný povrch pohltí, a kolik se jí naopak odrazí zpět do prostoru. Je to bezrozměrná veličina s hodnotami v rozmezí od 0 do 1.

- Hodnota $\alpha = 0$ znamená, že povrch všechen zvuk odráží (např. hladký beton, sklo).
- Hodnota $\alpha = 1$ znamená, že povrch veškerý zvuk pohltí (např. silná vrstva minerální vaty nebo akustické pěny).

Ve skutečnosti se většina stavebních materiálů pohybuje v intervalu 0,05–0,90, přičemž činitel se obvykle udává pro jednotlivá frekvenční pásma (např. 125 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 4000 Hz).

Znalost činitele pohltivosti jednotlivých povrchů (podlah, stěn, stropu, nábytku, osob apod.) je nezbytná pro výpočet ekvivalentní absorpční plochy prostoru A , která vstupuje do výpočtu doby dozvuku podle vztahu:

$$A = \sum_i S_i \alpha_i$$

kde

S_i je plocha i -tého povrchu [m^2]

α_i jeho činitel pohltivosti [–].

Činitel pohltivosti tedy představuje základní parametr, který charakterizuje akustické vlastnosti použitých materiálů a rozhodujícím způsobem ovlivňuje chování zvuku v místnosti.

Ekvivalentní hladina akustického tlaku L_{Aeq}

Ekvivalentní hladina akustického tlaku, značená L_{Aeq} , je základní veličinou pro hodnocení proměnného hluku v čase. Udává hladinu stálého (konstantního) akustického tlaku, který by měl stejný akustický účinek jako skutečný, časově proměnný hluk během daného časového intervalu T . Vyjadřuje se v decibelech [dB(A)], kde váhový filtr A odpovídá frekvenční citlivosti lidského sluchu.

$$L_{Aeq,T} = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{1}{T} \int_0^T 10^{\frac{L_A(t)}{10}} dt \right)$$

kde:

$L_{Aeq,T}$ ekvivalentní hladina akustického tlaku za dobu T [dB],

$L_A(t)$ okamžitá hodnota hladiny akustického tlaku v čase t [dB],

T celková doba měření [s].

2.2 Normové požadavky na prostorovou akustiku

Norma ČSN 73 0527 (2014) stanovuje doporučené akustické parametry vnitřních prostorů, zejména dobu dozvuku, rovnoměrnost zvukového pole, hladinu hluku z ventilace a akustickou kvalitu reprodukce řeči a hudby.

Pro jednotlivé druhy prostor (např. učebny, posluchárny, tělocvičny, divadelní nebo taneční sály) norma uvádí optimální rozsahy doby dozvuku, které zajišťují dostatečnou srozumitelnost řeči nebo přirozené vnímání hudby.

Doba dozvuku se podle této normy volí v závislosti na objemu prostoru. Pro běžné účely se používá empirický vztah:

$$T_{\text{opt}} = a \cdot \log_{10}(V) + b$$

Kde

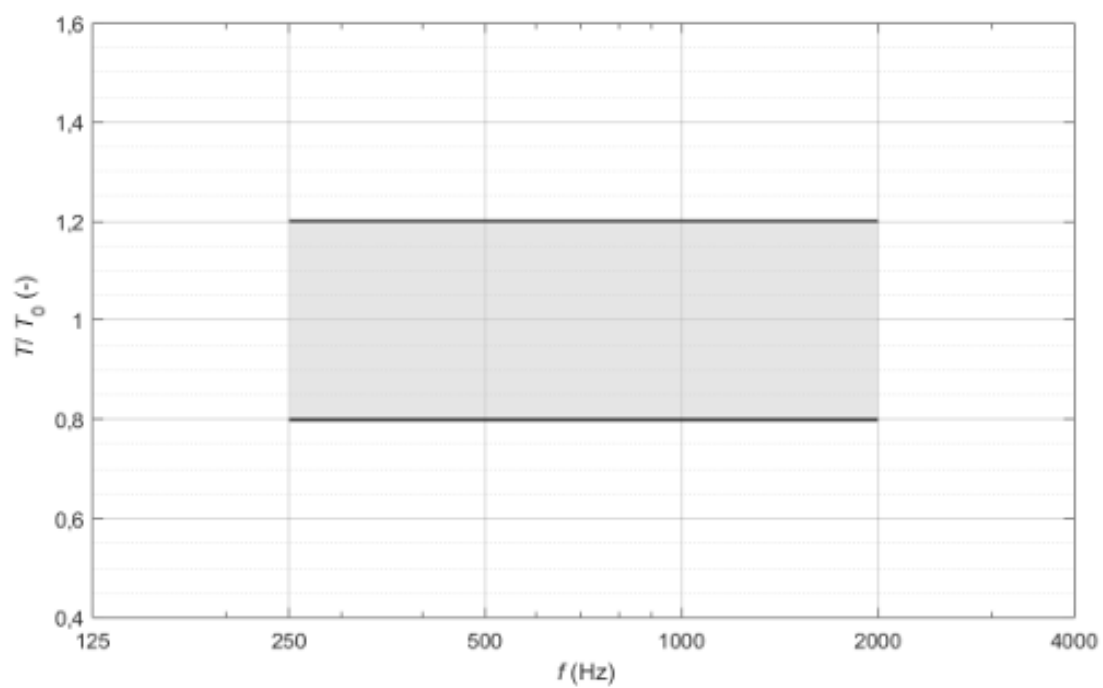
V je objem místnosti [m^3],

a , b jsou koeficienty stanovené pro jednotlivé typy prostor.

Doporučené hodnoty doby dozvuku podle ČSN 73 0527:

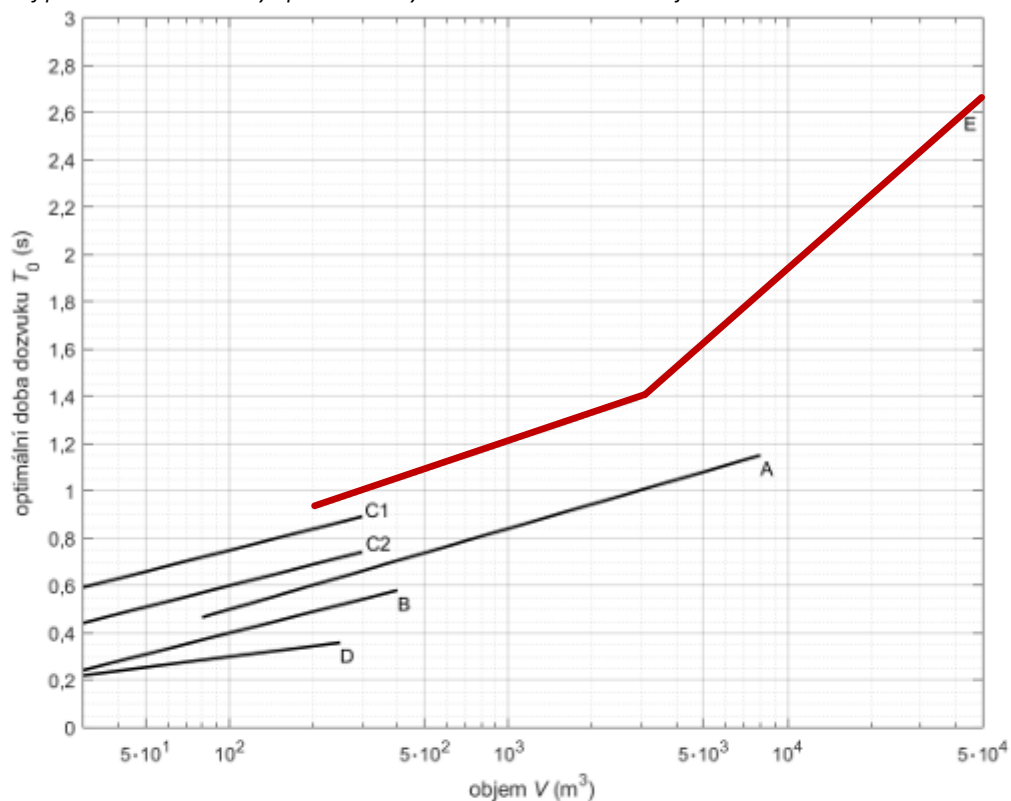
Tab. 2.2.1 Požadavky na školské prostory a prostory pro vzdělávání

Prostor	Křivka průběhu pro stanovení optimální doby dozvuku T_0 (s) (viz příloha A, obrázek A.2)	Toleranční pásmo (viz příloha A)
Kmenové učebny Odborné učebny Učebny pracovní výuky Seminární místnosti Posluchárny Denní místnosti mateřských škol	A	řeč (obrázek A.5)
Hudební učebny	A	hudba a řeč (obrázek A.4)
Jazykové učebny Speciální učebny se zvýšeným nárokem na srozumitelnost	B	řeč (obrázek A.5)
Multimediální učebny Hudební učebny s reprodukovanou hudbou	B	řeč (obrázek A.5)
Učebny pro elektronické a elektrofonické hudební nástroje	B	hudba a řeč (obrázek A.4)
Učebny hry na individuální akustické nástroje a učebny zpěvu – horní mez	C1	hudba a řeč (obrázek A.4)
Učebny hry na individuální akustické nástroje a učebny zpěvu – dolní mez	C2	hudba a řeč (obrázek A.4)
Učebny hry na bicí nástroje	D	hudba a řeč (obrázek A.4)
Tělocvičny a sportovní haly Plavecké haly Učebny gymnastiky a tance Posilovny Prostory pro fitness	E	zúžené toleranční pásmo (obrázek 2.1)



Obr. 2.2.1 Přípustné zúžené toleranční pásmo poměru dob dozvuku T/T_0 v závislosti na středovém kmitočtu oktaového pásmo

Tab. 2.2.2 Graf pro stanovení hodnoty optimální doby dozvuku v závislosti na objemu



Legenda

Prostor	Křivka průběhu pro stanovení optimální doby dozvuku T_0 (s)
Kmenové učebny, odborné učebny, učebny pracovní výuky seminární místnosti, posluchárny, denní místnosti mateřských škol	A
Hudební učebny	A
Jazykové učebny Speciální učebny se zvýšeným nárokem na srozumitelnost	B
Multimediální učebny Hudební učebny s reprodukovanou hudbou	B
Učebny pro elektronické a elektrofonické hudební nástroje	B
Učebny hry na individuální akustické nástroje a učebny zpěvu – horní mez	C1
Učebny hry na individuální akustické nástroje a učebny zpěvu – dolní mez	C2
Učebny hry na bicí nástroje	D
Tělocvičny a sportovní haly, plavecké haly Učebny gymnastiky a tance, posilovny, prostory pro fitness	E

Tab. 2.2.3 Příпустné toleranční pásmo rozmezí poměru dob dozvuku T/T_0

Na obrázku A.1 (kulturní prostory) jsou vyneseny následující závislosti:

- A: $T_0 = 0,731 \log V - 0,371$; rozsah $V = 800 \text{ m}^3$ až $30\,000 \text{ m}^3$
 B: $T_0 = 0,523 \log V - 0,1$; rozsah $V = 800 \text{ m}^3$ až $20\,000 \text{ m}^3$
 C: $T_0 = 0,43 \log V$; rozsah $V = 200 \text{ m}^3$ až $20\,000 \text{ m}^3$
 D: $T_0 = 0,396 \log V - 0,026$; rozsah $V = 300 \text{ m}^3$ až $3\,000 \text{ m}^3$
 E: $T_0 = 0,31 \log V - 0,03$; rozsah $V = 300 \text{ m}^3$ až $10\,000 \text{ m}^3$
 F: $T_0 = 0,25 \log V - 0,03$; rozsah $V = 100 \text{ m}^3$ až $20\,000 \text{ m}^3$
 G: $T_0 = 0,31 \log V - 0,45$; rozsah $V = 100 \text{ m}^3$ až $4\,000 \text{ m}^3$

Na obrázku A.2 (školské prostory) a obecně prostory pro vzdělávání jsou vyneseny následující závislosti:

- A: $T_0 = 0,342 \log V - 0,185$; rozsah $V = 80 \text{ m}^3$ až $8\,000 \text{ m}^3$
 B: $T_0 = 0,3 \log V - 0,2$; rozsah $V = 30 \text{ m}^3$ až 400 m^3
 C1: $T_0 = 0,3 \log V + 0,15$; rozsah $V = 30 \text{ m}^3$ až 300 m^3
 C2: $T_0 = 0,3 \log V$; rozsah $V = 30 \text{ m}^3$ až 300 m^3
 D: $T_0 = 0,15 \log V$; rozsah $V = 30 \text{ m}^3$ až 250 m^3
 E: $T_0 = 0,396 \log V + 0,023$; rozsah $V = 200 \text{ m}^3$ až $3\,000 \text{ m}^3$
 $T_0 = 1,037 \log V - 2,204$; rozsah $V = 3\,000 \text{ m}^3$ až $50\,000 \text{ m}^3$

Na obrázku A.3 (kancelářské a veřejné prostory) jsou vyneseny následující závislosti:

- A: $T_0 = 0,342 \log V - 0,185$; rozsah $V = 50 \text{ m}^3$ až 500 m^3
 B: $T_0 = 0,342 \log V - 0,3$; rozsah $V = 50 \text{ m}^3$ až 300 m^3
 C: $T_0 = 0,65 \log V - 0,8$; rozsah $V = 300 \text{ m}^3$ až $20\,000 \text{ m}^3$

Určení	Obrázek	Meze	Střední kmitočet f oktávového pásma v Hz					
			125	250	500	1 000	2 000	4 000
Hudba a řeč	A.4	Horní	1,45	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
		Dolní	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,65
Řeč	A.5	Horní	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
		Dolní	0,65	0,8	0,8	0,8	0,8	0,65
Hudba	A.6	Horní	1,45	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
		Dolní	1	0,8	0,8	0,8	0,8	0,65
Zúžené toleranční pásmo	A.7	Horní		1,2	1,2	1,2	1,2	
		Dolní		0,8	0,8	0,8	0,8	

Prostor	Optimální doba dozvuku T_0 [s] (akustická úprava)	Rozmezí hodnot T/T_0 [-]	Poznámka
Tělocvičny	$T_0 = 0,3961 \cdot \log V + 0,023$ $T_0 = 1,0366 \cdot \log V - 2,204$	A.8	$V = 500 - 3\,000 \text{ m}^3$ $V = 3\,000 - 20\,000 \text{ m}^3$
Sportovní haly	$T_0 = 0,3961 \cdot \log V + 0,023$ $T_0 = 1,0366 \cdot \log V - 2,204$	A.8	$V = 500 - 3\,000 \text{ m}^3$ $V = 3\,000 - 20\,000 \text{ m}^3$
Plavecké haly	$T_0 = 0,3961 \cdot \log V + 0,023$ $T_0 = 1,0366 \cdot \log V - 2,204$	A.8	$V = 500 - 3\,000 \text{ m}^3$ $V = 3\,000 \text{ až } 20\,000 \text{ m}^3$

Zdroj: ČSN 73 0527:2005 Akustika – Projektování v oboru prostorové akustiky – Prostory pro kulturní účely – Prostory ve školách – Prostory pro veřejné účely, ČNI Praha, 2005

2.3 Akustický návrh a řešení místností

2.3.1 Taneční sál (1.06)

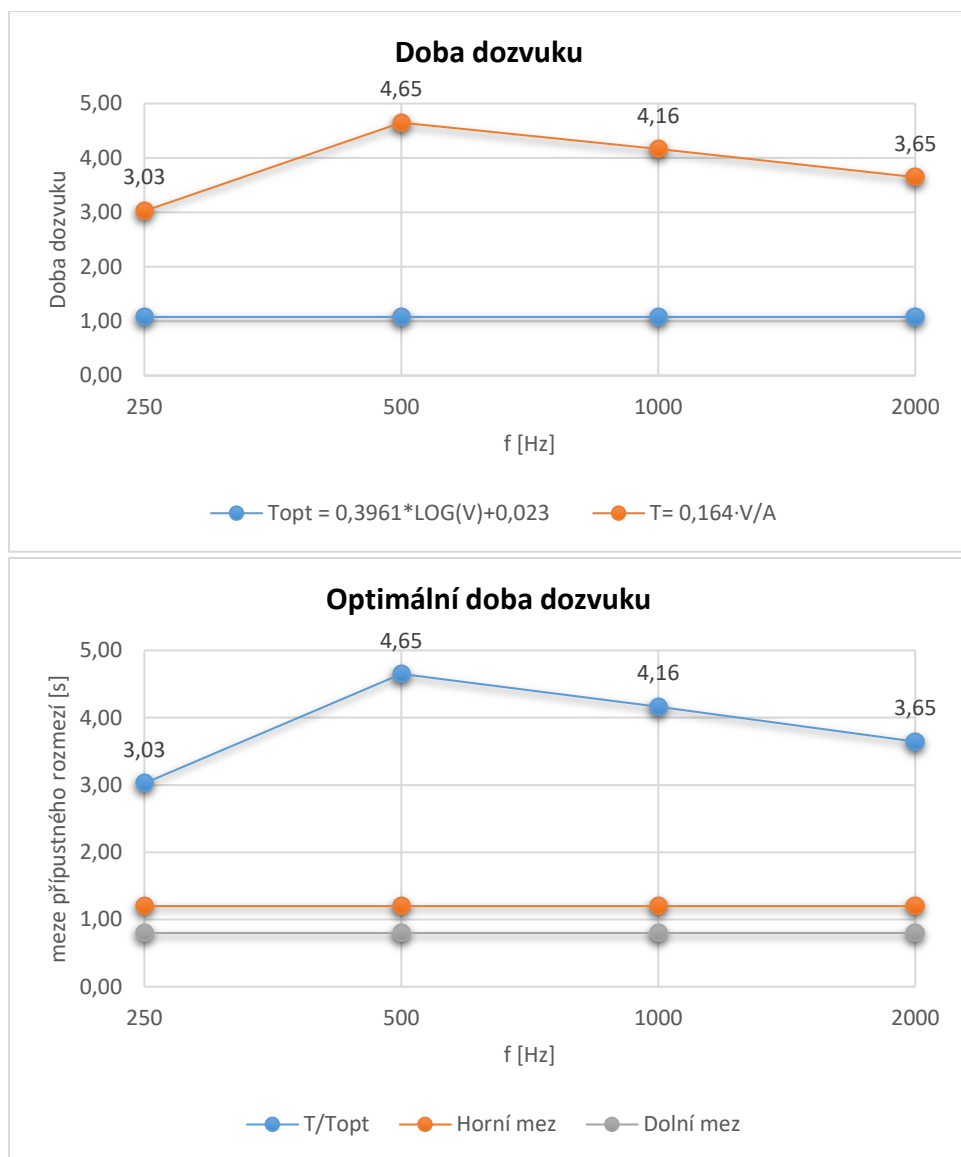
Taneční sál se nachází v pravé spodní části dispozice půdorysu. Je to obdélníková místnost o rozměrech 14,084x7,835m se světlou výškou 3,738m. Objem místnosti činí 460m³. Zvolená křivka průběhu optimálního dozvuku je dle normy E (viz Tab. 2.2.3)

2.3.1.1 Původní stav bez utlumovacích prvků

a) Výpočet

Tab. 2.3.1.1 Výpočet doby dozvuku

TANEČNÍ SÁL						
Kmitočtové pásmo						
Povrch.materiál	Plocha S [m ²] / ks	$\alpha; A$	250	500	1000	2000
Stěny - omítka	147	α	0,01	0,01	0,02	0,02
		A	1,47	1,47	2,95	2,95
Strop – SDK hladké	110	α	0,13	0,05	0,02	0,02
		A	14,35	5,52	2,21	2,21
Podlaha - parkety	110	α	0,04	0,06	0,10	0,12
		A	4,41	6,62	11,04	13,24
Okna	10	α	0,08	0,05	0,04	0,03
		A	0,80	0,50	0,40	0,30
Svítlidla	5,40	α	0,08	0,05	0,04	0,03
		A	0,43	0,27	0,22	0,16
Dveře	6,67	α	0,25	0,10	0,00	0,05
		A	1,67	0,67	0,00	0,33
S;A [m²]	390,08		23,13	15,05	16,81	19,19
Objem místnosti =	413m ³					
$\alpha_{stř} = A/S$		[-]	0,05	0,04	0,04	0,05
$\alpha_e = -\ln(1-\alpha_{stř})$		[-]	0,06	0,04	0,04	0,05
S·α_e		[m ²]	23,79	15,32	17,15	19,64
T₁ = 0,164·V/A		[s]	3,26	5,01	4,49	3,93
T_{opt} = 0,3961*log(V)+0,023		[s]	1,08	1,08	1,08	1,08
T/T_{opt}		[-]	3,03	4,65	4,16	3,65
Horní mez		[s]	1,20	1,20	1,20	1,20
Dolní mez		[s]	0,80	0,80	0,80	0,80



Obr. 2.3.1.1 Porovnání doby dozvuku $T[s]$ s optimální dobou dozvuku $T_o[s]$

b) Zhodnocení:

Z modré křivky je jasné, že horní mez optimální doby dozvuku značně přesahuje a prostor je tedy neutlumený a nevyhovující (dochází k dlouhé době dozvuku). Toto je v případě tanečního sálu velmi nežádoucí stav, kdy při hraní hudby či mluvě nebude prostor komfortní pro uživatele. Nejhorší stav nastává při frekvenci 500 Hz.

Aby byla křivka poměru T/T_{opt} v optimální poloze, je nutno prostor utlumit konstrukčními prvky a dosáhnout úrovně křivky mezi horní a dolní mezí.

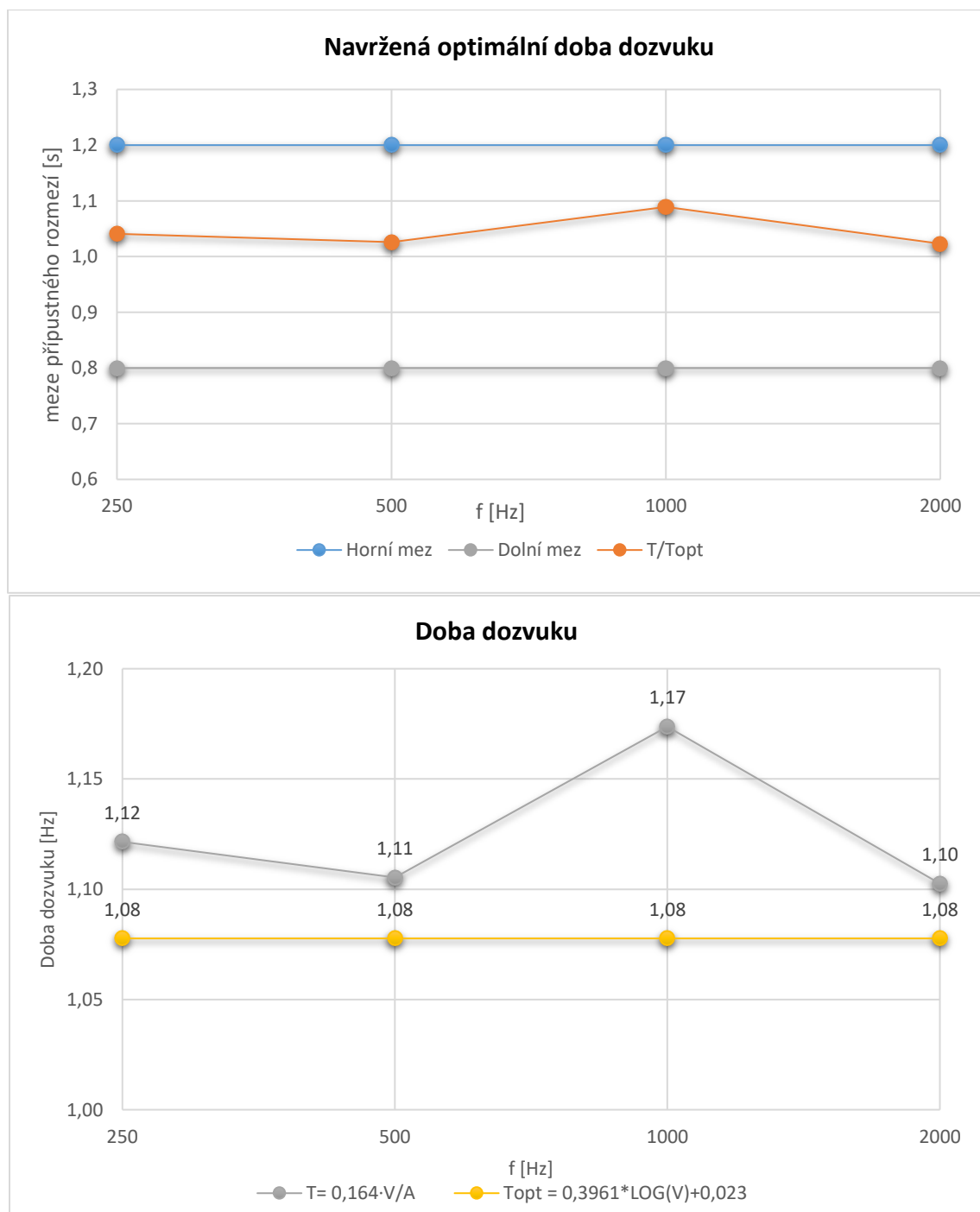
2.3.1.2 Nový stav s utlumovacími prvky

Pro zlepšení akustických vlastností tanečního sálu byly původní sádkokartonové podhledy nahrazeny perforovanými sádkokartonovými deskami Knauf Cleano, zavěšenými 200 mm pod stropem s výplní z minerální vaty.

a) Výpočet

Tab. 2.3.1.2. Výpočet doby dozvuku - optimalizace

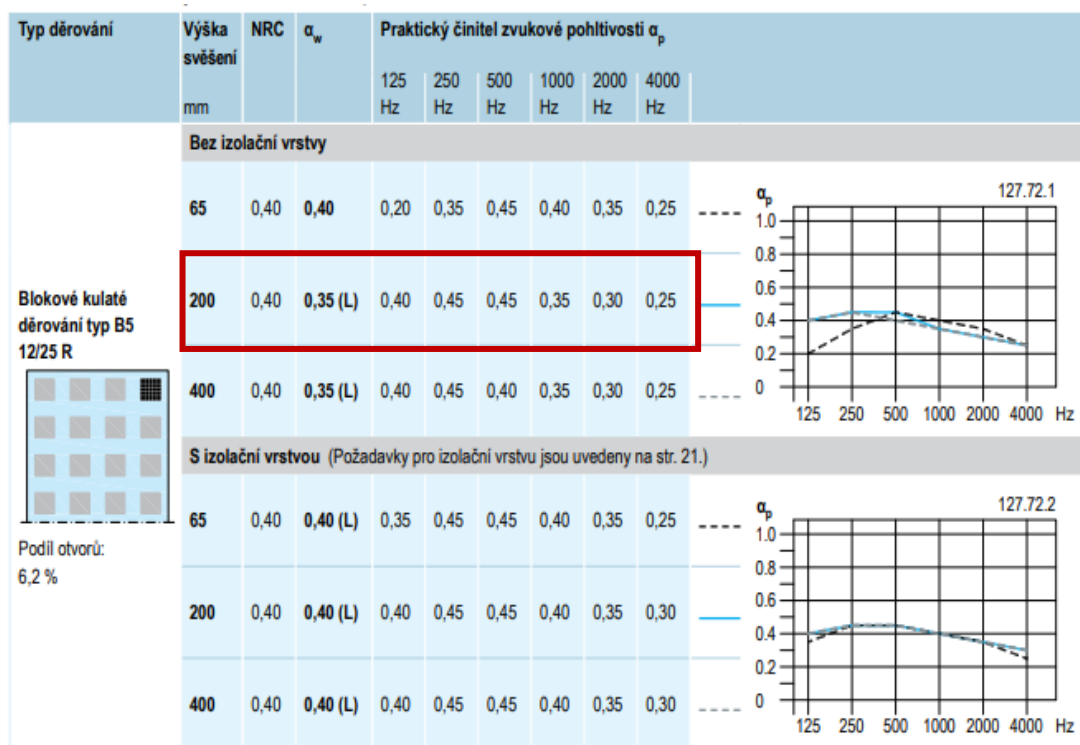
TANEČNÍ SÁL						
Kmitočtové pásmo						
Povrch.materiál	Plocha S [m ²] / ks	α ;A	250	500	1000	2000
Stěny - omítka	147	α	0,01	0,01	0,02	0,02
		A	1,47	1,47	2,95	2,95
Strop	110	α	0,45	0,50	0,45	0,45
- pohltivé SDK (knauf)		A	49,66	55,18	49,66	49,66
Podlaha - parkety	110	α	0,04	0,06	0,10	0,12
		A	4,41	6,62	11,04	13,24
Okna	10	α	0,08	0,05	0,04	0,03
		A	0,80	0,50	0,40	0,30
Svítlidla	5,40	α	0,08	0,05	0,04	0,03
		A	0,43	0,27	0,22	0,16
Dveře	6,67	α	0,25	0,10	0,00	0,05
		A	1,67	0,67	0,00	0,33
Zrcadlo	35,21	α	0,25	0,10	0,00	0,05
		A	8,80	3,52	0,00	1,76
S;A [m²]	425,29	A	67,25	68,23	64,26	68,41
Objem místnosti =	460m ³					
$\alpha_{str}=A/S$		[-]	0,16	0,16	0,15	0,16
$\alpha_e=-\ln(1-\alpha_{str})$		[-]	0,17	0,17	0,16	0,18
$S \cdot \alpha_e$		[m ²]	73,21	74,37	69,67	74,58
$T_2= 0,164 \cdot V/A$		[s]	1,12	1,11	1,17	1,10
$T_{opt}= 0,3961 \cdot \log(V)+0,023$		[s]	1,08	1,08	1,08	1,08
T/T_{opt}		[-]	1,04	1,03	1,09	1,02
Horní mez		[s]	1,20	1,20	1,20	1,20
Dolní mez		[s]	0,80	0,80	0,80	0,80



Obr. 2.3.1.2.1 Porovnání doby dozvuku $T[s]$ s optimální dobou dozvuku $T_o[s]$

b) Použité prvky

Pro optimalizaci akustických vlastností původního prostoru byl stávající podhled nahrazen materiálem s vyšší zvukovou pohltivostí. Nově byly navrženy akustické sádkartonové desky Knauf Cleaneo s integrovanou absorpční tkaninou, které přispívají ke zlepšení akustického komfortu v interiéru. Desky mají perforaci s podílem otvorů 6,2 % vzhledem k celkové ploše a jsou zavěšeny 200 mm pod stropní konstrukcí. Prostor mezi podhledem a stropem je vyplněn minerální izolací, která zajišťuje efektivní útlum hluku jak směrem do řešené místnosti, tak i pro zmenšení přenosu zvuku v dutině podhledu a přes vedení vzduchotechniky.



Obr. 2.3.1.2.2 Sádkartonové desky Knauf Cleaneo – děrované

c) Zhodnocení

Po provedení akustických úprav (zavěšený perforovaný sádkartonový podhled Knauf Cleaneo zavěšený 200 mm pod stropem s výplní minerální vaty) došlo k výraznému zlepšení akustických parametrů tanečního sálu.

Tab. c.1 Porovnání klíčových hodnot

Frekvence [Hz]	Původní doba dozvuku T_1 [s]	Doba dozvuku po úpravě T_2 [s]	Relativní snížení [%]
250	3,26	1,12	-66
500	5,01	1,11	-78
1000	4,49	1,17	-74
2000	3,93	1,10	-72

Z porovnání je patrné, že největší zlepšení nastalo ve středních frekvenčních pásmech (zejména při 500 Hz), kde byla původně doba dozvuku nejvyšší a přesahovala povolené hodnoty nejvíce. Po úpravě se doby dozvuku snížily na hodnoty blízké optimální.

Dále porovnání poměru $\frac{T}{T_{opt}}$ ukazuje jasnou změnu v akustickém hodnocení prostoru:

- V původním stavu se poměr $\frac{T}{T_{opt}}$ pohyboval mezi 3,03 - 4,65, přičemž nejhorší stav byl při 500 Hz (4,65), což potvrzovalo výraznou „tvrdost“ prostoru a přítomnost silných dob dozvuku.
- Po úpravě se poměr $\frac{T}{T_{opt}}$ snížil na rozmezí 1,02 - 1,09, tzn. hodnoty jsou nyní velmi blízko optimální křivce a leží mezi doporučenou dolní a horní mezí normy (dolní mez 0,80; horní mez 1,20).

Z toho vyplývá, že upravený stav splňuje doporučené požadavky podle ČSN (hodnoty doby dozvuku jsou v rozmezí doporučených hodnot pro víceúčelové/taneční prostory). Zároveň byl odstraněn hlavní problém původního stavu - výrazně nadlimitní doby dozvuku ve středním pásmu, a tudíž byla zvýšena srozumitelnost řeči i kvalita reprodukce hudby, což je zásadní pro komfort uživatelů tanečního sálu.

Je třeba uvést i technické důvody zlepšení: celková ekvivalentní pohltivost A se zvětšila (přechod z hodnoty průměrné pohltivosti 0,05 na 0,16), což vedlo ke snížení doby dozvuku při daném objemu místnosti. Rovněž se zvýšila plocha povrchů (S) a objem místnosti se mírně změnil (vliv nové konstrukce), což bylo započítáno ve výpočtu.

2.3.2 Tělocvična (m.č. 1.29)

Tělocvična představuje hlavní a zároveň největší prostor navrhované stavby. Její využitelná plocha činí 19,25 × 38,56 m a světlá výška prostoru je přibližně 8 m. Stropní konstrukce tvoří lepené lamelové BSH nosníky, mezi nimiž jsou umístěny vazničky a celý prostor je zaklopen dřevěným podhledem. Podlaha je navržena z dřevěných sportovních parket, povrch stěn pak tvoří vnitřní omítka s výmalbou.

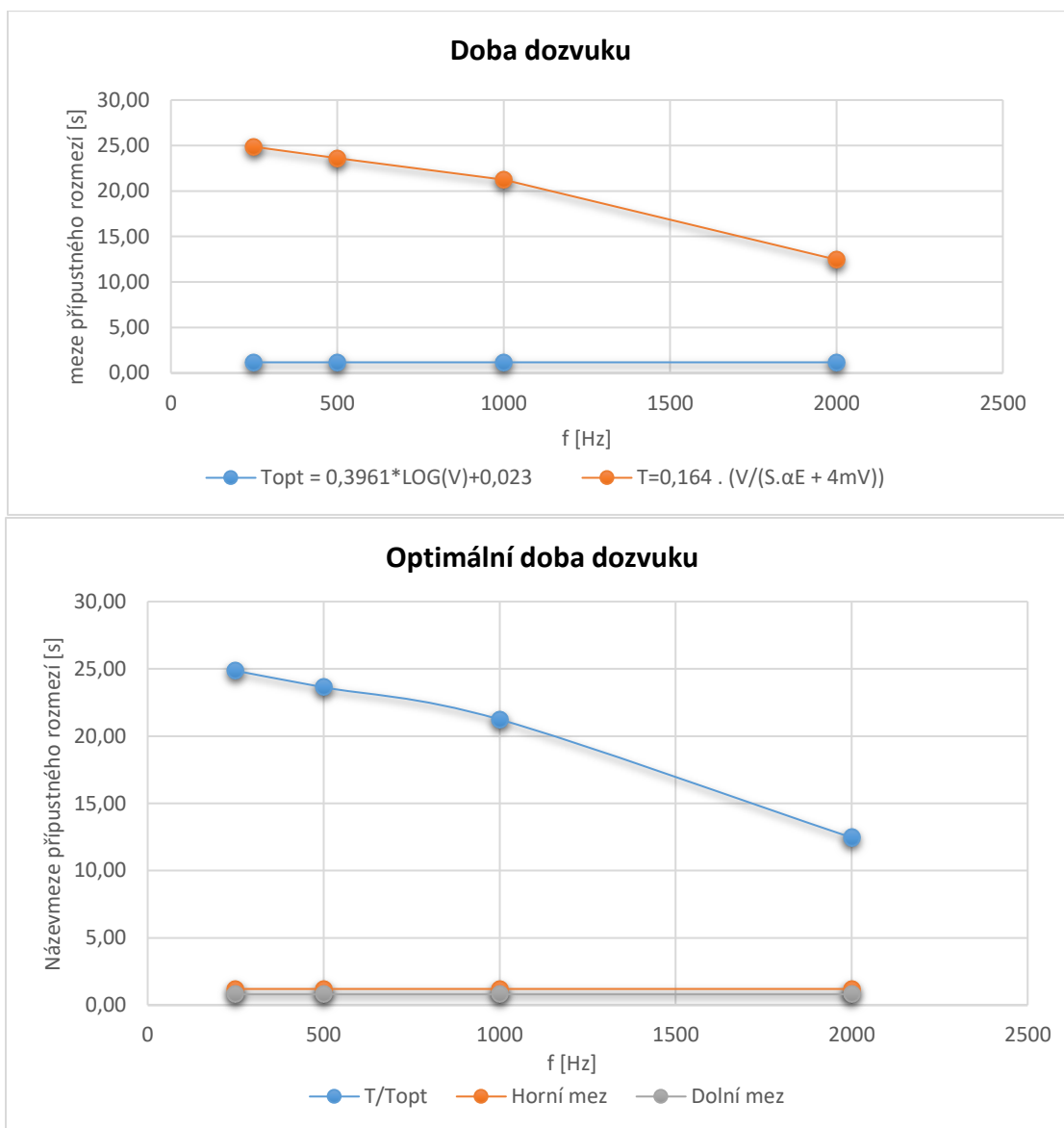
Pro zajištění akusticky příjemného prostředí jsou stěny od podlahy do výšky 1,8 m doplněny akustickými panely z lamelového dřeva s výplní z minerální vaty. Optimální průběh doby dozvuku byl navržen dle normy E (viz Tab. 2.2.3).

2.3.2.1 Původní stav bez utlumovacích prvků

a) Výpočet

Tab. 2.3.2.1 Výpočet doby dozvuku

TĚLOCVIČNA						
Kmitočtové pásmo						
Povrch. materiál	Plocha S [m ²] / ks	α;A	250	500	1000	2000
Stěny - omítka	1004,77	α	0,01	0,01	0,02	0,02
		A	10,05	10,05	20,10	20,10
Strop	813	α	0,08	0,10	0,10	0,10
- dřev. palubky + BSH		A	65,02	81,28	81,28	81,28
Podlaha - parkety	757	α	0,04	0,06	0,10	0,12
		A	30,26	45,39	75,66	90,79
Okna	108,00	α	0,08	0,05	0,04	0,03
		A	8,64	5,40	4,32	3,24
Svítlidla	21,60	α	0,08	0,05	0,04	0,03
		A	1,73	1,08	0,86	0,65
Dveře	24,04	α	0,25	0,10	0,10	0,05
		A	6,01	2,40	2,40	1,20
Sezení - bloky	52	α	0,04	0,06	0,10	0,12
		A	2,08	3,12	5,20	6,24
Podlaha ochoz - dlažba	115,97	α	0,08	0,05	0,04	0,03
		A	9,28	5,80	4,64	3,48
S;A [m²]	2779,75		133,07	154,52	194,46	206,97
Objem místnosti =	7 563m ³					
α_{stř}=A/S		[-]	0,05	0,05	0,07	0,07
α_e=-ln(1-α_{stř})		[-]	0,05	0,05	0,07	0,07
S·α_e		[m ²]	136,22	158,80	201,29	214,74
T₁=0,164 · (V/(S·α_e + 4mV))		[s]	29,14	27,70	24,90	14,60
T_{opt} = 1,037·log(V)-2,204		[s]	1,17	1,17	1,17	1,17
T/T_{opt}		[-]	24,86	23,63	21,24	12,46
Horní mez		[s]	1,20	1,20	1,20	1,20
Dolní mez		[s]	0,80	0,80	0,80	0,80



Obr. 2.3.2.1 Porovnání doby dozvuku $T[s]$ s optimální dobou dozvuku $T_o[s]$

b) Zhodnocení:

Na základě provedeného výpočtu bylo zjištěno, že doby dozvuku ve všech hodnocených frekvenčních pásmech výrazně překračují doporučené hodnoty pro tělocvičny. Nejvyšší odchylky se projevují zejména v nízkém pásmu 250-500 Hz, kde doba dozvuku dosahuje přibližně 25 s oproti optimální hodnotě 1,2 s.

Prostor je z akustického hlediska přezvučený a dochází k výraznému odrazu zvuku a zhoršené srozumitelnosti řeči. Takový stav neumožňuje komfortní využívání prostoru a nesplňuje požadavky na akustickou pohodu dle ČSN 73 0527.

Pro zlepšení akustických parametrů je nezbytné doplnit vhodné pohltivé prvky či stávající odrazivé jimi nahradit (zejména akustický podhled nebo částečné obklady stěn, které zajistí snížení doby dozvuku na doporučené rozmezí 0,8–1,2 s a celkovou optimalizaci zvukového prostředí tělocvičny).

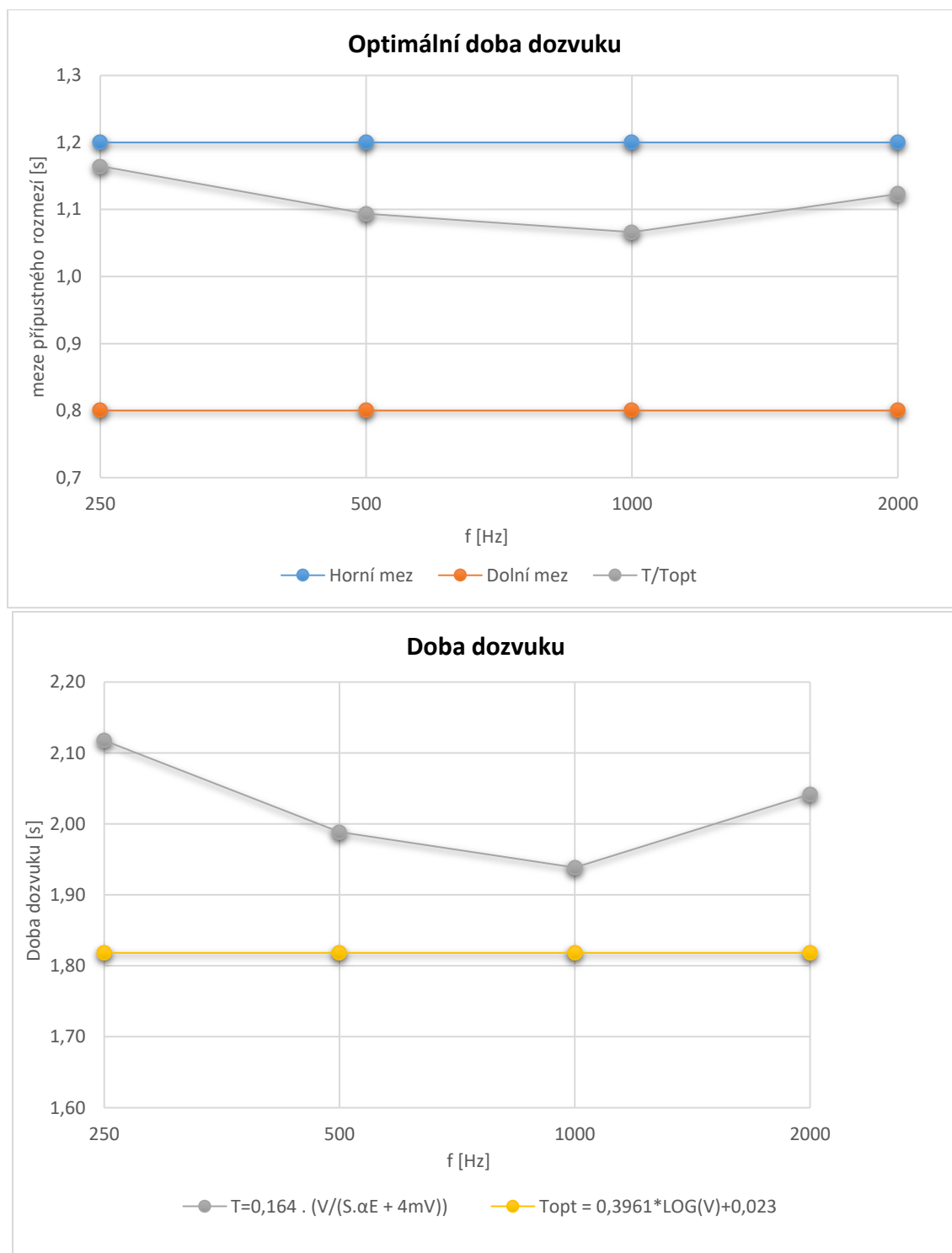
2.3.2.2 Nový stav s utlumovacími prvky

Pro zajištění akusticky komfortního prostředí byla tělocvična doplněna o utlumovací prvky. Stěny od podlahy do výšky 1,8 m jsou pokryty akustickými panely z lamelového dřeva s výplní z minerální vaty, které významně zvyšují zvukovou pohltivost místnosti a snižují riziko nežádoucí dlouhé doby dozvuku. Původní stropní podhled z běžných dřevěných palubek byl nahrazen speciálním dřevěným podhledem s voštinovou strukturou, čímž se podstatně zvýšila stropní pohltivost, zejména ve středních a vyšších frekvenčních pásmech.

a) Výpočet

Tab. 2.3.1.2. Výpočet doby dozvuku – optimalizace

TĚLOCVIČNA						
Kmitočtové pásmo						
Povrch. materiál	Plocha S [m ²] / ks	$\alpha; A$	250	500	1000	2000
Stěny	289,64	α	0,95	0,85	0,85	0,75
- akustický obklad Marilyn		A	275,16	246,19	246,19	217,23
Stěny	715,13	α	0,01	0,01	0,02	0,02
- omítka		A	2,90	2,90	5,79	5,79
Strop	813	α	0,97	1,04	1,02	0,97
- dřev. podhled s voštinou		A	788,39	845,28	829,03	788,39
Podlaha - parkety	757	α	0,04	0,06	0,10	0,12
		A	30,26	45,39	75,66	90,79
Okna	108,00	α	0,08	0,05	0,04	0,03
		A	8,64	5,40	4,32	3,24
Svítlidla	21,60	α	0,08	0,05	0,04	0,03
		A	1,73	1,08	0,86	0,65
Dveře	24,04	α	0,25	0,10	0,10	0,05
		A	6,01	2,40	2,40	1,20
Sezení - bloky	52	α	0,04	0,06	0,10	0,12
		A	2,08	3,12	5,20	6,24
Podlaha ochoz - dlažba	115,97	α	0,08	0,05	0,04	0,03
		A	9,28	5,80	4,64	3,48
S;A [m²]	2895,72	A	1121,54	1154,67	1168,30	1111,21
Objem místnosti =	7 563m ³					
$\alpha_{stř} = A/S$		[-]	0,39	0,40	0,40	0,38
$\alpha_e = -\ln(1 - \alpha_{stř})$		[-]	0,49	0,51	0,52	0,48
S · α_e		[m ²]	1418,60	1473,18	1495,95	1401,79
$T_2 = 0,164 \cdot (V / (S \cdot \alpha_e + 4mV))$		[s]	2,12	1,99	1,94	2,04
$T_{opt} = 1,037 \cdot \log(V) - 2,204$		[s]	1,8	1,8	1,8	1,8
T/T_{opt}		[-]	1,2	1,1	1,1	1,1
Horní mez		[s]	1,2	1,2	1,2	1,2
Dolní mez		[s]	0,8	0,8	0,8	0,8



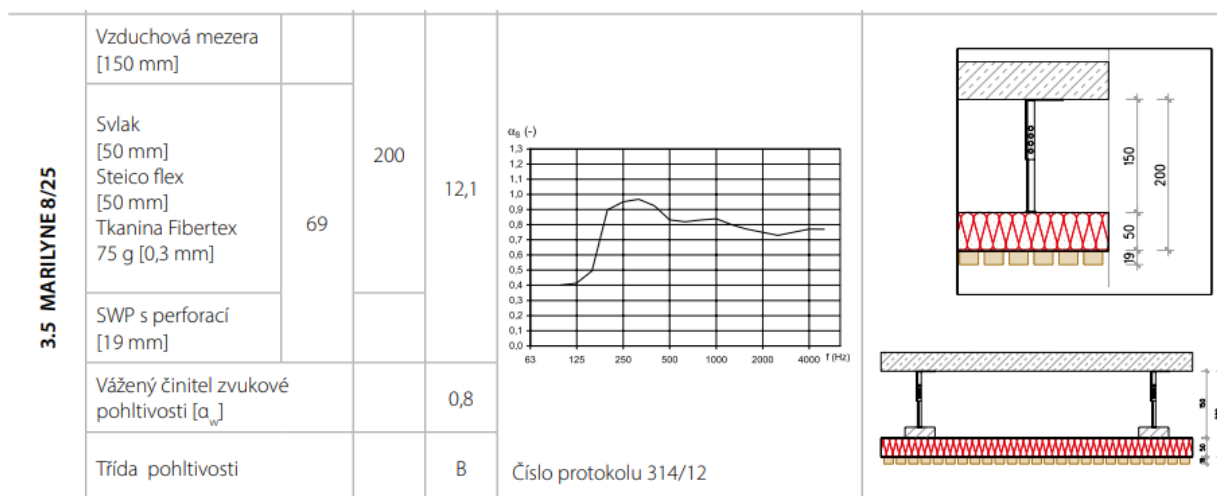
Obr. 2.3.1.2.1 Porovnání doby dozvuku $T[s]$ s optimální dobou dozvuku $T_{opt}[s]$

b) Použité prvky

Za účelem zlepšení akustických vlastností prostoru tělocvičny byly do návrhu zahrnuty prvky s vysokou schopností zvukové pohltivosti. Použité materiály a jejich funkce jsou následující:

Pohltivý obklad NOVATOP Marilyne 8/25

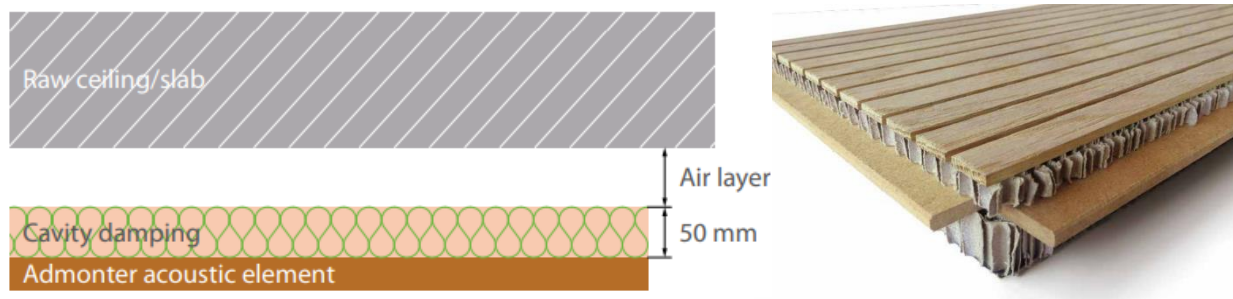
- Dřevěný panel s pohledovou vrstvou a pravidelnou perforací (\varnothing 8 mm, rastr 25 mm).
- Zajišťuje účinnou absorpci středních a vyšších frekvencí, čímž redukuje ozvěny a zlepšuje srozumitelnost řeči.
- Panely zachovávají přirozený vzhled dřeva, vhodný pro reprezentativní sportovní a společenské prostory.
- Instalovány na stěnách s cílem eliminovat odrazy zvuku a zajistit rovnoměrné rozložení akustického pole.



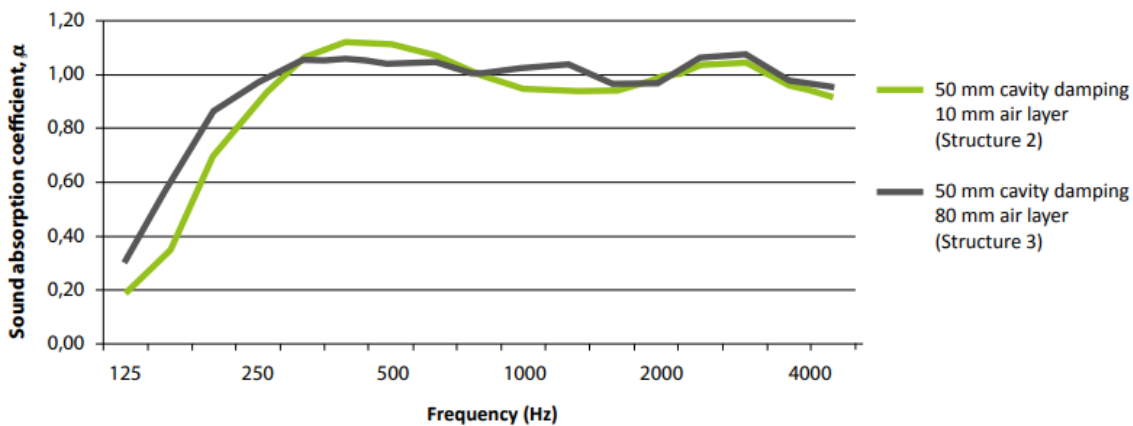
Obr. b.1 Technické parametry materiálu Marilyne 8/25

Akustické podhledy Admonter Acoustic (typ voština)

- Systém tvořený dřevěnými lamelami s integrovanou voštinovou výplní, která zajišťuje rovnoměrné pohlcování zvuku.
- Podhled je zavěšen 200 mm pod nosnou konstrukcí stropu, čímž vzniká prostor pro akusticky účinnou dutinu.
- Mezi podhledem a stropem je vložena vrstva minerální vaty, která zvyšuje celkovou účinnost systému a omezuje přenos hluku v dutině.
- Kombinace lamelového systému a minerální izolace přispívá ke zlepšení akustického komfortu v prostoru a snižuje dobu dozvuku na hodnoty v souladu s ČSN 73 0527.



Obr. b.2 Akustický pohľad Admonter Acoustic



Data source:
Echo chamber measurement according to EN 354 & EN 11654
Laboratory for Building Physics, TU Graz; Notified Body Nr.: 2064)

Frequency (Hz)		125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
10 mm Air layer (Structure 2)	α_s according to EN 354	0,19	0,35	0,70	0,90	1,06	1,12	1,11	1,07	1,00	0,95	0,94	0,94	0,98	1,03	1,04	0,96	0,91
	α_w according to EN 11654	0,20		0,90			1,00			0,95			1,00			0,95		
80 mm Air layer (Structure 3)	α_s according to EN 354	0,30	0,60	0,86	0,97	1,05	1,06	1,04	1,04	1,00	1,02	1,03	0,97	0,97	1,06	1,07	0,98	0,95
	α_w according to EN 11654	0,35		0,95			1,00			1,00			1,00			1,00		

Obr. b.3 Činiteľ zvukové pohltivosti akustického pohľadu

c) Zhodnocení

Po provedení akustických úprav (částečný akustický obklad stěn Marilyn, dřevěný stropní podhled s voštinou) došlo k výraznému zlepšení akustických parametrů tělocvičny.

Tab. c.1 Porovnání klíčových hodnot

Frekvence [Hz]	Původní doba dozvuku T_1 [s]	Doba dozvuku po úpravě T_2 [s]	Relativní snížení [%]
250	29,14	2,12	-92
500	27,70	1,99	-93
1000	24,90	1,94	-92
2000	14,60	2,04	-86

Z porovnání je patrné, že největší zlepšení nastalo zejména ve středních a nízkých frekvencích (250-1000 Hz), kde byla původně doba dozvuku extrémně vysoká a mnohonásobně přesahovala doporučené hodnoty. Po úpravě se doby dozvuku snížily na hodnoty blízké optimální ($T_{opt} = 1,8$ s).

Dále porovnání poměru $\frac{T}{T_{opt}}$ ukazuje jasnou změnu v akustickém hodnocení prostoru:

- V původním stavu se poměr $\frac{T}{T_{opt}}$ pohyboval mezi 12,46-24,86, což potvrzovalo prostor s výrazně dlouhou dobou dozvuku.
- Po úpravě se poměr $\frac{T}{T_{opt}}$ snížil na rozmezí 1,1-1,2, tedy velmi blízko optimální křivce, a hodnoty leží v doporučeném normovém rozmezí (dolní mez 0,8; horní mez 1,2).

Z toho vyplývá, že upravený stav splňuje doporučené požadavky ČSN pro víceúčelové a sportovní prostory. Hodnoty a ukazatele, které nejvíce ovlivnily výsledky:

- Zvýšila se efektivní plocha pohltivých povrchů (S_{α}), zejména díky akustickému obkladu stěn a dřevěnému podhledu s voštinou.
- Objem místnosti se nezměnil, úpravy se týkaly pouze povrchových konstrukcí, takže všechny výpočty reflektují skutečný stav po úpravách.

Celkově provedené akustické úpravy zajistily komfortní zvukové prostředí vhodné pro sportovní aktivity, výuku i veřejné akce, eliminovaly a stabilizovaly rušivé akustické charakteristiky celé tělocvičny.

3 Zdroje:

WEB

- [1] MUZIKER. Online. 2025. Dostupné také z: https://www.muziker.cz/mackie-thump-215xt?_gl=1*9odc9g*_up*MQ..*_gs*MQ..&gclid=Cj0KCQjw9czHBhCyARIsAFZIN8TC_4yg4F59PqPTil5zGKy893IE52DHvervJaYiDLVn5jag5zcVXcQaAjpBEALw_wcB&gbraid=0AAAAADiLx9ShR2IyrU_B85mR7oA92i8J.
- [2] KM BETA. Online. 2025. Dostupné také z: <https://www.kmbeta.cz/cihla-sendwix-14df-lp-p20>.
- [3] ADMONTER. Online. 2025. Dostupné také z: https://www.admonter.cz/fileadmin/user_upload/acoustics/ACOUSTIC_FOLDER_engl.pdf.
- [4] NOVATOP. Online. 2025. Dostupné také z: https://novatop-system.cz/wp-content/uploads/TD_NOVATOP_ACOUSTIC_CZ.pdf?utm_source=chatgpt.com.
- [5] AKUSTICKÉ MATERIÁLY. Online. 2025. Dostupné také z: <https://akustickematerialy.cz/ke-stazeni/>.
- [6] TZB INFO. Online. 2025. Dostupné také z: <https://stavba.tzb-info.cz/akustika-staveb/228-konstrukce-na-pohlcovani-zvuku>.
- [7] ČSN, SPONZOROVANÝ PŘÍSTUP. Online. 2025. Dostupné také z: <https://sponzorpristup.agentura-cas.cz/Loginff.aspx>.

NORMY

- [1] **ČSN 73 4301** Obytné budovy
ČSN ISO 80000-1 (01 1300) – Veličiny a jednotky – Část 1: Obecně
- [2] **ČSN EN ISO 3382-1 (73 0534)** – Akustika – Měření parametrů prostorové akustiky – Část 1: Prostory pro přednes hudby a řeči
- [3] **ČSN EN ISO 3382-2 (73 0534)** – Akustika – Měření parametrů prostorové akustiky – Část 2: Doba dozvuku v běžných prostorech
- [4] **ČSN EN ISO 12354-1 (73 0512)** – Stavební akustika – Výpočet akustických vlastností budov z vlastností stavebních prvků – Část 1: Vzduchová neprůzvučnost mezi místnostmi
- [5] **ČSN EN ISO 12354-2 (73 0512)** – Stavební akustika – Výpočet akustických vlastností budov z vlastností stavebních prvků – Část 2: Kročejová neprůzvučnost mezi místnostmi
- [6] **ČSN EN ISO 12354-3 (73 0512)** – Stavební akustika – Výpočet akustických vlastností budov z vlastností stavebních prvků – Část 3: Vzduchová neprůzvučnost vůči venkovnímu zvuku
- [7] **ČSN EN 14351-1+A2 (74 6075)** – Okna a dveře – Norma výrobků, funkční vlastnosti – Část 1: Okna a vnější dveře

4 Přílohy

C.1.2 Hluková mapa

C.1.3 Studie půdorysu – akustika

C.1.4 Rozšířený řez prostoru tělocvičny

C.1.5 Zadání a výsledky z programu Hluk+