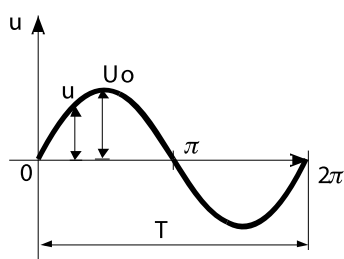


14. Zvuková izolace

14.1 Základní pojmy a definice

Zvuk je mechanické vlnění a pohyb částic pružného prostředí kolem rovnovážné polohy. Slyšitelný zvuk je akustické kmitání v kmitočtech, které vnímá lidský sluch, tj. přibližně v kmitočtovém rozsahu mezi 16 a 16 000 Hz. Ve stavební akustice se rozlišuje zvuk šířící se vzduchem a zvuk šířící se konstrukcí. Ve vzduchu se zvuk šíří postupným podélným vlněním, v tuhých tělesech se zvuk šíří převážně příčným a ohybovým vlněním. Zvláštním případem zvuku šířícího se konstrukcí je kročejový zvuk. Kročejový zvuk vzniká chůzí po podlaze nebo nárazy na stavební konstrukci, šíří se konstrukcí a je jí vyzařován do sousedních místností, kde se šíří vzduchem. Hluk je každý nežádoucí, nepříjemný nebo škodlivý zvuk. Skládá se obvykle z několika dílčích tónů, jejichž kmitočty nejsou celočíselnými násobky. Nadměrný hluk působí negativně na většinu živých organismů.

Zvuk vzniká kmitáním těles. Pokud lze toto kmitání považovat v závislosti na čase za pravidelné, nazýváme je harmonickým.



Obr. 14-1: Časový průběh harmonického kmitání (u – akustická výchylka [m], U_0 – maximální výchylka (amplituda) [m], T – perioda [s])

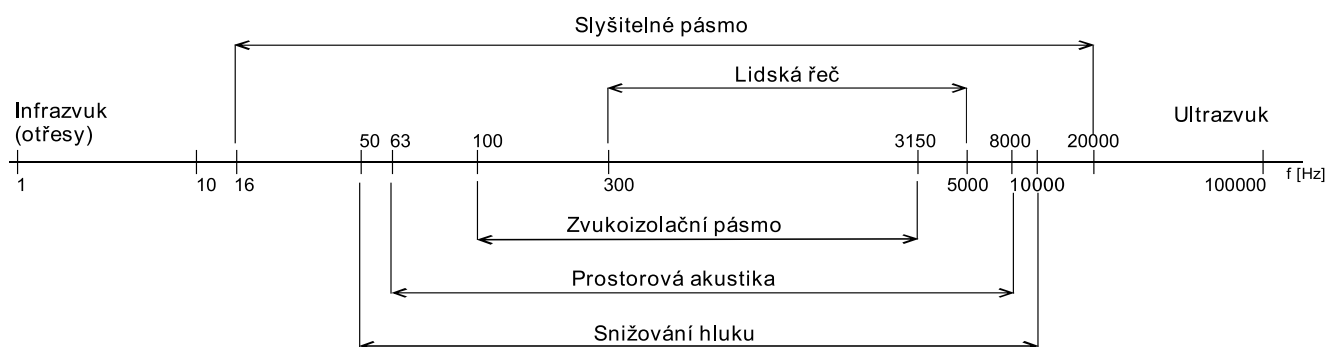
K hlavním parametrům zvuku patří k jeho frekvence f [$\text{Hz} = \text{s}^{-1}$], která vyjadřuje počet kmitů za jednu sekundu a je vyjádřena vztahem:

$$f = \frac{c}{\lambda} = \frac{1}{T}$$

kde: c – rychlost zvuku v daném prostředí [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$] (pro vzduch $c_0 \cong 340 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$),

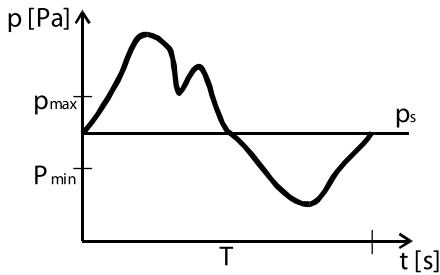
λ – vlnová délka [m],

T – perioda [s].



Obr. 14-2: Přehled akustických frekvenčních pásem

Dalším důležitým parametrem zvuku je akustický tlak p_t [Pa], přičemž celkový tlak p [Pa] se v určitém čase t skládá ze statického atmosférického tlaku p_s [Pa] a z okamžitého akustického tlaku p_t [Pa]. Akustický tlak p_t je potom rozdíl mezi celkovým tlakem p a statickým atmosférickým tlakem p_s .



Obr. 14-3: Časový průběh akustického tlaku v praxi

Ochrana před negativním účinkem hluku je legislativně řešena zákonem č. 258/2000 Sb. Zákon o ochraně veřejného zdraví, jehož prováděcím předpisem je nařízení vlády č. 502/2000 Sb. Nařízení vlády o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací. V tomto nařízení jsou stanoveny nepřekročitelné hygienické imisní limity hluku a vibrací na pracovištích, ve stavebních pro bydlení, ve stavebních občanského vybavení a ve venkovním prostoru a dále způsob jejich měření a vyhodnocení. Emisní hodnoty hluku stanovují zvláštní předpisy (technické požadavky na strojní zařízení, nařízení vlády o civilním letectví, ...).

Ochrana proti hluku se zabezpečuje jednak opatřeními proti vzniku hluku (primární opatření u zdroje) a jednak opatřeními, která omezují přenos zvuku od zdroje k posluchači (sekundární opatření). U sekundárních opatření je nutno rozlišovat, zda se zdroj hluku nachází v jiné místnosti než posluchač, anebo zda je umístěn ve stejné místnosti. V prvním případě se ochrana proti hluku zajišťuje především zvukovou izolací, zatímco ve druhém případě pohlcováním zvuku. Ochrana proti hluku v budovách je realizována pomocí vhodných stavebních opatření, resp. akusticko-izolačním účinkem dělicích konstrukcí, které omezují přenos akustické energie z vysílací místnosti do místností okolních. Pro snížení míry šíření hluku z venkovního prostředí do vnitřních prostorů stavebních konstrukcí (i naopak) je nutné, aby tyto konstrukce splňovaly základní zvukoizolační požadavky. Tyto požadavky jsou stanoveny v ČSN 73 0532 Akustika – Ochrana proti hluku v budovách a související akustické vlastnosti stavebních výrobků – Požadavky, a to s ohledem na funkci místností a hlučnost sousedního prostředí.

Zvuková izolace je schopnost stavebních konstrukcí přenášet v zeslabené míře akustický výkon šířící se vzduchem ze zdroje v sousedním prostoru (vzduchová neprůzvučnost) nebo vznikající chůzí nebo nárazy na podlahu v sousední místnosti (kročejová neprůzvučnost).

14.1.1 Vzduchová neprůzvučnost

Vzduchová neprůzvučnost stavebních konstrukcí se vyjadřuje laboratorní hodnotou neprůzvučnosti R , neprůzvučnost mezi místnostmi normovaným rozdílem hladin D_{nT} nebo stavební neprůzvučností R' .

Laboratorní neprůzvučnost R v decibelech (dříve stupeň neprůzvučnosti) charakterizuje vzduchovou neprůzvučnost plošných stavebních konstrukcí. Při měření mezi dvěma místnostmi ve zkušební laboratoři s potlačeným bočním přenosem zvuku se R určí z rozdílu hladin D , z ekvivalentní pohltivé plochy A v přijímací místnosti a z plochy zkoušené konstrukce S .

Rozdíl hladin (akustického tlaku) D je rozdíl časově i prostorově průměrovaných hladin akustického tlaku L_1 v místnosti zdroje zvuku a L_2 v místnosti příjmu zvuku.

Normovaný rozdíl hladin D_{nT} v decibelech je rozdíl hladin akustického tlaku mezi místnostmi zdroje a příjmu zvuku, jestliže doba dozvuku T v místnosti příjmu je vztahována na referenční dobu dozvuku T_0 . Referenční doba dozvuku pro obytné místnosti je $T_0 = 0,5$ s, a to proto, že v obytných místnostech s nábytkem je doba dozvuku rovna této hodnotě téměř nezávisle na objemu a kmitočtu. Normovaný rozdíl hladin vyjadřuje vzduchovou neprůzvučnost

mezi dvěma místnostmi a zahrnuje přenos zvuku všemi přímými i vedlejšími cestami. Jestliže mají obě místnosti různé objemy, je jeho hodnota závislá na směru přenosu.

Stavební neprůzvučnost R' (dříve stavební stupeň neprůzvučnosti) charakterizuje vzduchovou neprůzvučnost mezi místnostmi v dokončených objektech, kde vždy dochází k přenosu zvuku bočními a vedlejšími cestami. Určí se z rozdílu hladin D , z ekvivalentní pohltivé plochy A v místnosti příjmu zvuku a z plochy S dělicí konstrukce, to znamená, že akustický výkon přenášený do místnosti příjmu zvuku se vztahuje na společnou část dělicí konstrukce, bez ohledu na skutečné podmínky přenosu zvuku. Stavební neprůzvučnost je nezávislá na směru měření, jestliže v obou místnostech je přibližně difuzní, tj. rovnoměrně rozložené zvukové pole. Srovnání výsledků měření s laboratorní neprůzvučností je možné jen tehdy, jestliže plocha společné části dělicí konstrukce je přibližně 10 m^2 .

Přenos zvuku vedlejšími cestami je taková forma přenosu zvuku mezi dvěma místnostmi, kdy zvuk není přenášen jen přímou cestou dělicí příčkou nebo stropem. Zvuk se rovněž šíří bočními konstrukcemi, netěsnostmi, vzduchotechnickými zařízeními, potrubími apod.

Přenos zvuku bočními cestami je zvláštní případ přenosu zvuku vedlejší cestou, který probíhá pouze po bočních stavebních konstrukcích, tzn. k šíření nedochází netěsnostmi, bočními prostory, vzduchotechnickými zařízeními, potrubími apod.

Neprůzvučnost bočních cest je neprůzvučnost nepřímých cest šíření zvuku mezi místnostmi (dělicí konstrukce – boční konstrukce, boční konstrukce – dělicí konstrukce, boční konstrukce – boční konstrukce), jestliže je zvuk přenášen pouze sledovanou boční cestou.

14.1.2 Kročejová neprůzvučnost

Hladina kročejového zvuku L_i je hladina zvuku v třetinooktávovém nebo oktávovém pásmu, který vzniká v místnosti příjmu zvuku při činnosti normalizovaného zdroje kročejového zvuku na zkoušené stropní konstrukci. Pojem hladina kročejového zvuku se používá i v případě, když je zvuk vyvolán údery normalizovaného zdroje kročejového zvuku do stropu, který se nenachází nad přijímací místností, tzn. při diagonálním a horizontálním přenosu zvuku, a dále na schodištích a odpočívadlech.

Normovaná hladina (akustického tlaku) kročejového zvuku je hladina kročejového zvuku, již by se dosáhlo v přijímací místnosti, kdyby měla ekvivalentní pohltivou plochu rovnou referenční pohltivé ploše $A_0 = 10 \text{ m}^2$ nebo dobu dozvuku T rovnou referenční době dozvuku $T_0 = 0,5 \text{ s}$.

Normovaná hladina kročejového zvuku popisuje chování stavební konstrukce s podlahou i bez podlahy z hlediska přenosu kročejového hluku. Jestliže se normovaná hladina kročejového zvuku změří v laboratoři, označuje se se tato veličina L_n a je vztahena k referenční pohltivé ploše. Při měření v budovách se tato hladina označuje L'_n a měří se v těch případech, kdy zkoušený strop má stejnou plochu v místnosti zdroje zvuku i jeho příjmu. Jestliže zkoušená podlaha není součástí společného stropu místností zdroje a příjmu zvuku, vyjadřuje se normovaná hladina kročejového zvuku veličinou L'_{nT} , která je vztahena k referenční době dozvuku $0,5 \text{ s}$. Další podrobnosti viz ČSN 73 0532, čl. 5.2.

Snížení hladiny kročejového zvuku ΔL je rozdíl mezi normovanou hladinou kročejového zvuku stropu bez podlahy a normovanou hladinou kročejového zvuku stropu s podlahou (např. plovoucí podlahou nebo pružnou podlahovou krytinou).

Kročejová neprůzvučnost s přenosem zvuku vedlejšími cestami – přenos zvuku vedlejšími cestami při vybuzení kročejového hluku je přenos zvuku stavebními konstrukcemi, které v příčném směru sousedí s dělicí konstrukcí stropu (přenos zvuku bočními cestami). Na rozdíl od přímého šíření zvuku stropem dochází k tomuto jevu především u stropu se zavěšeným ohybově pružným podhledem. Přenos zvuku vedlejšími cestami zahrnuje i přenos zvuku potrubími apod.

14.2 Hodnocení a vyjadřování vzduchové a kročejové neprůzvučnosti

14.2.1 Jednočíselné veličiny

Pro hodnocení vzduchové a kročejové neprůzvučnosti stavebních konstrukcí a v budovách, vyjádřené v závislosti na kmitočtu, jsou stanoveny směrné křivky, které umožní vyjádřit vzduchovou a kročejovou neprůzvučnost jednočíselnými veličinami:

Pro vzduchovou neprůzvučnost je to zejména:

- vážený normalizovaný rozdíl hladin $D_{n,w}$ nebo $D_{nT,w}$;
- vážená neprůzvučnost R_w resp. R'_w .

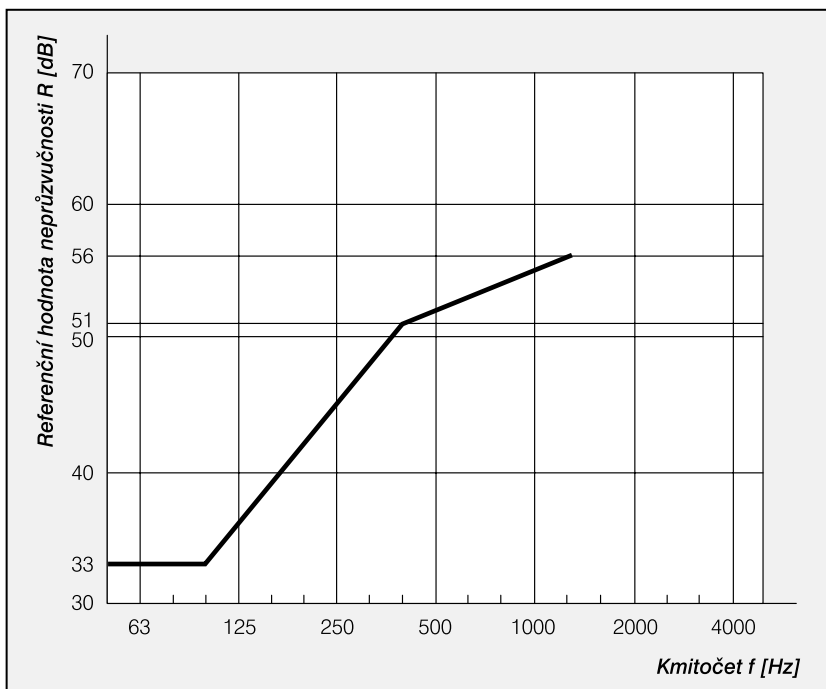
Pro kročejovou neprůzvučnost (viz EN ISO 717-2) zejména:

- vážená normalizovaná hladina kročejového zvuku $L_{n,w}$ resp. $L'_{n,w}$;
- ekvivalentní vážená normalizovaná hladina kročejového zvuku $L_{n,w,eq}$;
- vážené snížení hladiny kročejového zvuku ΔL_w .

Uvedené jednočíselné veličiny a jejich varianty jsou definovány v normách řady EN ISO 717-1 a 2. Určí se na základě postupů uvedených ve zkušebních normách řady EN ISO 140-1 až 10. Výsledné hodnoty se porovnávají s požadavky uvedenými v ČSN 73 0532.

14.2.2 Směrná křivka

Směrná křivka určuje směrné hodnoty laboratorní nebo stavební neprůzvučnosti R a R' (obr. 14-4) a normalizované hladiny kročejového zvuku L_n a L'_n v závislosti na kmitočtu.



Obr. 14-4 Směrná křivka pro vzduchovou neprůzvučnost (třetinooktávová pásma)

14.3 Jednovrstvé stavební konstrukce

Jednovrstvé stavební konstrukce jsou z hlediska akustiky takové stavební konstrukce, které kmitají jako celek. Za jednovrstvé konstrukce můžeme z hlediska akustiky považovat takové konstrukce, u kterých je možné jejich tloušťku považovat za malou, a které je možné z hlediska vlastností považovat za stejnorodé a neprodyšné. Dále platí, že vlnový odpor obklopujícího vzdušného prostředí je malý ve srovnání s vlnovým odporem stěny. Jednovrstvé konstrukce se mohou skládat z:

- jednoho stavebního materiálu (např. zdivo),
nebo
- několika vrstev různých stavebních materiálů, které však jsou příbuzné z hlediska akustických vlastností, a jsou pevně spojeny (např. vrstvy zdiva a omítky).

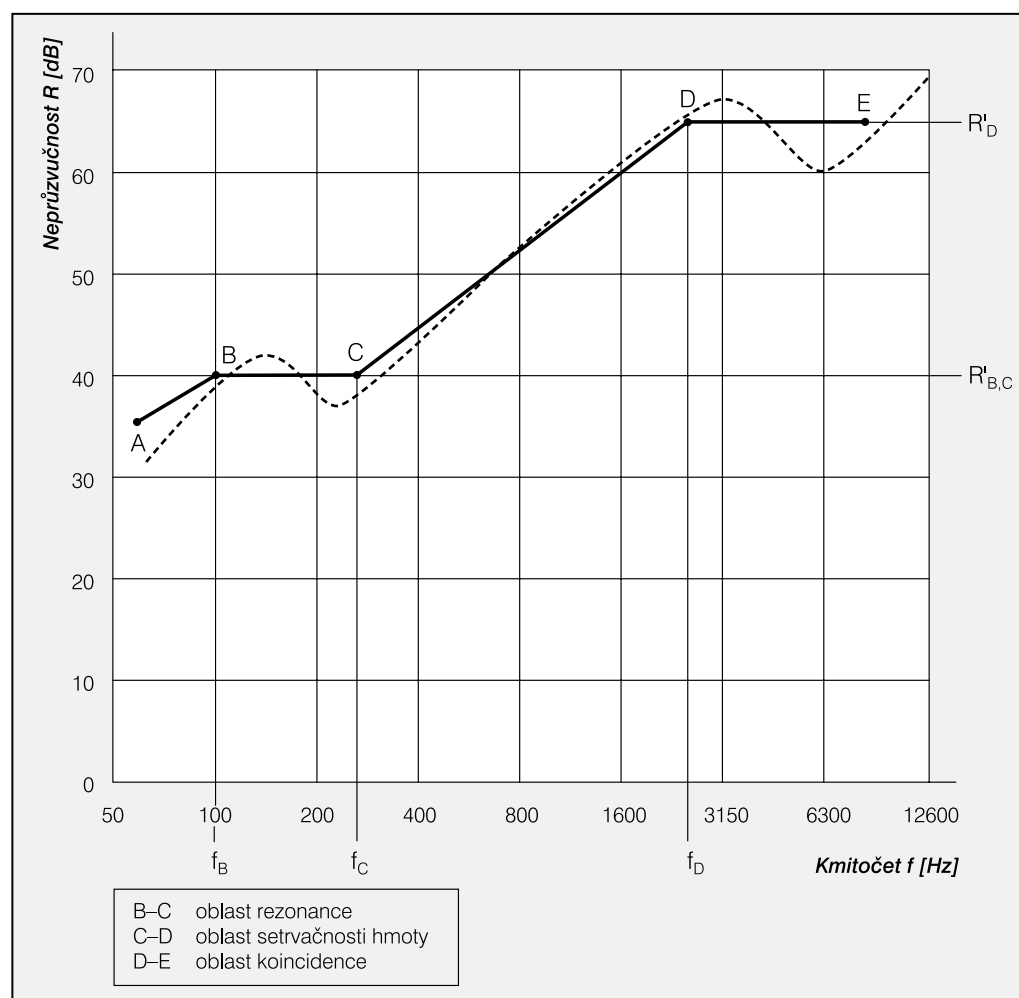
14.3.1 Kritický kmitočet f_k stavebních konstrukcí

Kritický kmitočet stavebních konstrukcí je kmitočet, při němž je vlnová délka zvuku šířícího se vzduchem shodná s vlnovou délkou volné ohybové vlny stavební konstrukce (koincidence). V pásmu nad kritickým kmitočtem dochází ke koincenci a hodnota vzduchové neprůzvučnosti se sníží.

Kritický kmitočet je určen poměrem plošné hmotnosti a ohybové tuhosti stavební konstrukce.

14.3.2 Vliv hmotnosti a ohybové tuhosti

Neprůzvučnost jednovrstvých stavebních konstrukcí je v zásadě tím lepší, čím jsou tyto konstrukce těžší. Zároveň platí, že vzduchová neprůzvučnost vzrůstá s kmitočtem (obr. 14-5). Pouze v oblasti koincidence se vzduchová neprůzvučnost zhoršuje, protože se v této kmitočtové oblasti vzájemně ruší účinek setrvačné hmoty a ohybové tuhosti. Ohybová tuhost může na zvukovou izolaci působit rozdílným způsobem.



Obr. 14-5 Závislost neprůzvučnosti jednovrstvé hmotné přičky na kmitočtu

Účinek ohybové tuhosti je nevýhodný u jednovrstvých stavebních konstrukcí, pokud kritická frekvence leží v rozsahu 200 až 2000 Hz – viz např. desky nebo deskové stavební dílce z betonu, lehčeného betonu, zdiva, sádky a skla s plošnou hmotností $20 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ až $100 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ nebo desky ze dřeva a dřevitých hmot s plošnou hmotností vyšší než $15 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$.

Vysoká ohybová tuhost je naopak výhodná u silných zdí, pokud kritický kmitočet je nižší než cca 200 Hz. To platí pro všechny desky nebo deskové konstrukce z betonu, lehčeného betonu nebo zdiva s plošnou hmotností min. $150 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$.

14.3.3 Vzduchová neprůzvučnost jednovrstvých stavebních konstrukcí

Chování jednoduché homogenní stěny z hlediska vzduchové neprůzvučnosti je závislé na kmitočtu dopadajícího zvuku. Kmitočtový průběh neprůzvučnosti cihelné stěny nebo příčky obvyklé tloušťky je charakteristický tím, že ve zvukověizolační kmitočtové oblasti, tj. v rozsahu třetinooktávových kmitočtových pásem 100 až 3 150 Hz, obsahuje všechny charakteristické oblasti kmitočtového průběhu neprůzvučnosti, a to:

Oblast rezonance (oblast B-C) je chování stěn v okolí nejnižších vlastních kmitočtů. V této oblasti je neprůzvučnost nízká a proměnlivá, závisí na řadě okrajových podmínek včetně rozměrů stěny i rozměrů a tvaru místností. Tato oblast může zahrnovat poměrně široký rozsah kmitočtů, až několik oktáv.

Oblast setrvačnosti hmoty (oblast C-D) – v této oblasti je neprůzvučnost stěny závislá téměř výhradně na její plošné hmotnosti a na kmitočtu. Platí zde, že neprůzvučnost se zvyšuje při každém zdvojnásobení plošné hmotnosti v průměru o 6 dB, a že neprůzvučnost roste s kmitočtem o 6 dB na oktávu, tedy s každým zdvojnásobením kmitočtu. Stěny mají proto vyšší neprůzvučnost při vyšší hmotnosti a při vyšších kmitočtech. Rozsah této výhodné oblasti se mění s tloušťkou stěny.

Čím větší je tloušťka stěny, tím níže, do nižších kmitočtů, zasahuje **oblast koincidence** (oblast D-E). V této oblasti dochází k vlnové koincidenci, kdy dopadající zvuková vlna, resp. průmět délky šikmo dopadající zvukové vlny je shodný s délkou ohybové vlny ve stěně. Za této podmínky se stěna rozkmitá s amplitudou rovnající se téměř amplitudě vzduchových částic dopadající zvukové vlny a stěna vyzařuje zvukovou vlnu, jejíž intenzita je snížena vůči intenzitě dopadající zvukové vlny jen ztrátami způsobenými vnitřním tlumením konstrukce. V oblasti koincidenčního efektu dochází k poklesu neprůzvučnosti v kmitočtovém rozsahu dvou až tří oktáv. U cihelných příček snižuje koincidenční efekt neprůzvučnost u všech běžných tloušťek příček až do tloušťky 450 až 500 mm. U příček malých tloušťek, tj. okolo 100 mm, je koincidenční efekt patrný u vyšších a vysokých kmitočtů, mezi 1 000 a 4 000 Hz. U větších tloušťek se koincidence posunuje k nižším kmitočtům, až se při tloušťce stěny 450 až 500 mm posune kritický kmitočet, to je nejnižší koincidenční kmitočet, pod zvukověizolační kmitočtovou oblast, tj. pod 100 Hz.

Při kmitočtech **nad oblastí koincidence** roste neprůzvučnost s kmitočtem stejně jako v oblasti setrvačnosti hmoty, ale její absolutní hodnota je podstatně nižší než v této oblasti.

14.3.4 Vliv dutin

Z akustického hlediska je obecně výhodné, jestliže dutiny nejsou stejně velké (vzhledem k jejich rezonanci) a jestliže mají nepravidelný tvar.

Velké dutiny mohou zhoršit zvukověizolační vlastnosti v porovnání se stejně těžkými dílci bez dutin.

14.3.5 Vliv omítky

Neprůzvučnost může výrazně ovlivnit tloušťka omítkové vrstvy a její hmotnost. Omítko zlepšuje vzduchovou neprůzvučnost stavebních konstrukcí v poměru, který odpovídá jejímu podílu na plošné hmotnosti. Omítko má ovšem v první řadě těsnicí funkci.

U zděných stěn se spárami nedostatečně vyplněnými maltou a u stěn z prodyšného materiálu (mezerovitý beton, porézni lehčený beton) dosáhneme zvukové izolace odpovídající jejich plošné hmotnosti omítnutím alespoň na jedné straně omítkou, která má dostatečnou hustotu a pokrývá celou plochu, popř. jinou povrchovou úpravou.

14.4 Vícevrstvé stavební konstrukce

Vícevrstvé stavební konstrukce jsou stavební konstrukce se dvěma nebo několika vrstvami, které nejsou spojeny tuhým spojem, ale jsou odděleny vhodným izolačním materiálem nebo vzduchovou vrstvou.

14.4.1 Vzduchová neprůzvučnost dvouvrstevných stavebních konstrukcí

Pokud se má u jednovrstevných stavebních konstrukcí dosáhnout vysoké zvukové izolace, vycházejí nutně velmi vysoké plošné hmotnosti. Jestliže se např. u dělicí stěny řadového domku vyžaduje vážená vzduchová neprůzvučnost 57 dB, hmotnost stěny musí dosahovat cca $580 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$.

Tak vysoké plošné hmotnosti nejsou nutné, pokud se zvolí dvouvrstevná konstrukce. Z akustického hlediska označuje termín dvouvrstevný dvě jednotlivé hmotné vrstvy, které jsou odděleny resp. spojeny vzduchovou nebo pružnou izolační vrstvou.

Obě vrstvy jsou natuho spojeny pouze po obvodě, ve styku s navazující konstrukcí. Další konstrukční spoje by měly být pružné a měly by přenášet co možná nejméně zvukové energie. Pokud je mezi vrstvami pouze vzduchová mezera, musí být opatřena zvukově pohltivým izolačním materiálem z důvodů, které jsou vysvětleny dále. U dvouvrstevných systémů rozlišujeme tři základní typy:

Konstrukční typ A se skládá ze dvou těžkých vrstev a vložené pružné vrstvy. V praxi jsou to například dvě masivní dělicí stěny řadových domků oddělené vzduchovou vrstvou.

Konstrukční typ B se skládá z těžké vrstvy s ohybově pružnou předsazenou vrstvou. V praxi se tento princip používá pro zlepšení zvukové izolace těžké stěny, kdy se před nosnou těžkou stěnu instaluje ohybově pružná předstěna nebo pod strop podhled.

Konstrukční typ C se volí pro lehké dělicí příčky ze dvou ohybově pružných vrstev. V praxi se často tyto lehké příčky montují na vložené nosné konstrukce. Pružné spoje těchto vložek jsou v těchto případech rozhodující pro dosažení co nejvyšší neprůzvučnosti.

Dvouvrstevná příčka představuje kmitající soustavu, která má **vlastní kmitočet f_0** .

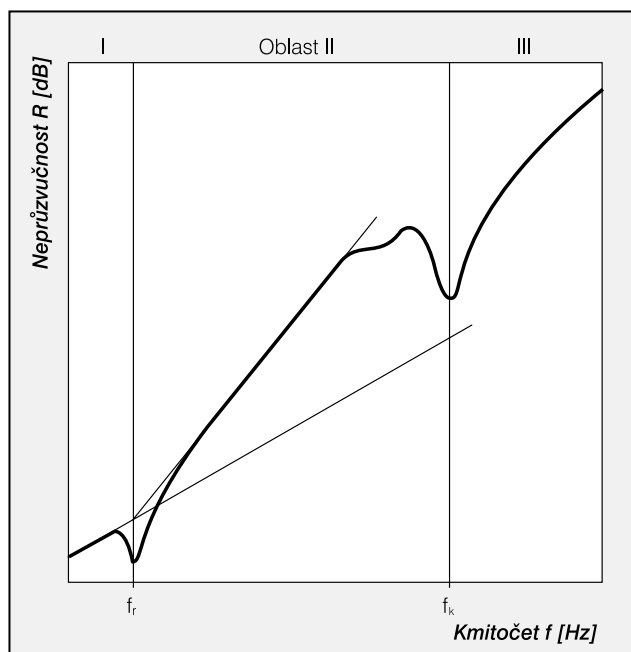
Porovnáme-li kmitočtovou závislost zvukové izolace dvouvrstevných stavebních konstrukcí (obr. 14-6) a jednovrstevných konstrukcí (obr. 14-5), zjistíme, že u dvouvrstevných konstrukcí je nárůst neprůzvučnosti se vzrůstajícím kmitočtem dvojnásobný ve srovnání s jednovrstevnou konstrukcí. Ke snížení neprůzvučnosti ale dochází při kritickém kmitočtu f_k , a to stejným způsobem jako u jednovrstevné konstrukce. K dalšímu snížení neprůzvučnosti dochází u vlastního kmitočtu dvouvrstevného systému. Vzduchová neprůzvučnost dvouvrstevných stavebních konstrukcí je v oblasti nad vlastním kmitočtem podstatně lepší než u stejně těžkých jednovrstevných stavebních konstrukcí. Z akustického hlediska je výhodné zvolit takovou konstrukci, u níž leží vlastní rezonance, a tedy vlastní kmitočet, v kmitočtové oblasti pod 100 Hz. Vlastní kmitočet dvouvrstevného systému je tím nižší, čím větší je vzdálenost vrstev nebo čím menší je dynamická tuhost pružné izolační vrstvy. Ke zvýšení neprůzvučnosti přispívá vyšší plošná hmotnost vrstev. Musí se však volit taková optimální tloušťka, resp. hmotnost desek, aby deska zůstala ohybově poddajnou, tj. aby kritický kmitočet desky byl pokud možno vyšší než 3000 Hz.

14.4.2 Izolování dutých vrstev

Stojaté podélné vlny, které vznikají v dutých vrstvách konstrukcí, např. mezi sádkartonovou předstěnou a cihelnou příčkou, mohou vyvolat citelné snížení celkové neprůzvučnosti. Z toho důvodu je nutné vyplnit tyto vzduchové vrstvy zvukově pohltivými materiály. Maximálního útlumu se dosáhne

Obr. 14-6 Závislost neprůzvučnosti dvojitých hmotných příček na kmitočtu

- I - oblast nízkých kmitočtů - dvojitá příčka se chová jako jednoduchá
- II - oblast výhody násobných konstrukcí - nárůst neprůzvučnosti v závislosti na kmitočtu je dvojnásobný proti jednoduché konstrukci téže hmotnosti
- III - oblast vysokých kmitočtů - násobná příčka se chová jako jednoduchá
- f_r - oblast rezonance - pokles neprůzvučnosti
- f_k - oblast koincidence - snížení neprůzvučnosti



v případě, když se vyplní 60% objemu dutin porézním materiálem s odporem proti proudění vzduchu v rozsahu 5 až 50 kN·s·m⁻².

14.5 Požadavky na neprůzvučnost

Neprůzvučnost je veličina kmitočtově závislá, měří a vyjadřuje se pro třetinooktávová kmitočtová pásma v rozsahu kmitočtů nejméně 100 až 3 150 Hz (v tomto kmitočtovém rozsahu je 16 třetinooktávových kmitočtových pásem). Získaných 16 hodnot se porovnává se směrnými hodnotami směrné křivky tak, že směrná křivka se posunuje postupně po 1 dB směrem ke křivce změřených hodnot, až se hodnota nepříznivých odchylek co nejvíce přiblíží hodnotě 32 dB, ale tuto hodnotu nepřesáhne. Odchylka se považuje za nepříznivou, jestliže výsledek měření je nižší než směrná hodnota. Hodnota posunuté směrné křivky při kmitočtu 500 Hz je jednočíslným výsledkem nazvaným **vážená neprůzvučnost** s označením R_w . Tato hodnota je katalogovým jednočíslným ukazatelem kvality vzduchové neprůzvučnosti konstrukce a je výchozí hodnotou pro porovnávání s požadavky.

Požadavkové hodnoty **vzduchové neprůzvučnosti** na příčky a stěny nebo stropy mezi místnostmi v budovách jsou stanoveny v tabulce 14-1 následujícími jednočíslnými veličinami:

- pro neprůzvučnost mezi místnostmi se společnou celou plochou stěny, příčky nebo stropu váženou stavební neprůzvučností R'_w ;
- pro neprůzvučnost vnitřních dveří váženou laboratorní neprůzvučností R_w ;
- pro neprůzvučnost mezi místnostmi, kde společná plocha dělicí konstrukce je menší než plocha příslušné stěny, příčky nebo stropu platí, že musí splňovat požadavky tabulky 14-1 alespoň jedna z jednočíslných veličin $D_{nT,w}$ nebo R'_w ;
- pro neprůzvučnost mezi místnostmi, které nemají společnou dělicí konstrukci (bezprostředně spolu nesousedí), váženým normalizovaným rozdílem hladin $D_{nT,w}$;
- pro hodnocení zvukové izolace mezi místnostmi váženým normalizovaným rozdílem hladin $D_{nT,w}$.

Hladina kročejového zvuku je hladina zvuku v třetinooktávovém pásmu, který vzniká v přijímací místnosti při činnosti normalizovaného zdroje kročejového zvuku na zkoušené konstrukci podle EN ISO 140-6.

Pojem hladina kročejového zvuku se používá i v případě, když je zvuk vyvolán úderem normalizovaného zdroje kročejového zvuku do stropu, který se nenachází nad přijímací místností, tzn. při diagonálním a horizontálním přenosu, a dále na schodištích a odpočívadlech.

Normovaná hladina kročejového zvuku podle normy EN ISO 140-6 je hladina kročejového zvuku, již by se dosáhlo v přijímací místnosti, kdyby měla ekvivalentní pohltivou plochu rovnou referenční $A_0 = 10 \text{ m}^2$.

Vážené normované hladiny akustického tlaku **kročejového zvuku** nesmí v chráněných prostorech budov překročit nejvýše přípustné hodnoty stanovené v tabulce 14-1:

- váženou normalizovanou hladinou akustického tlaku kročejového zvuku $L'_{n,w}$ pro místnosti se společnou celou plochou stropu se zkoušenou podlahou;
- váženou normalizovanou hladinou akustického tlaku kročejového zvuku $L'_{nT,w}$ pro místnosti, kde zkoušená podlaha není součástí společného stropu.

U místností, kde zkoušená podlaha je součástí společné části stropu, která je menší, než je plocha stropu při pohledu z přijímací místnosti, musí požadavek stanovený v tabulce 14-1 splňovat alespoň jedna z vážených hladin $L'_{n,w}$ nebo $L'_{nT,w}$.

Tab. 14-1 Požadavky na zvukovou izolaci mezi místnostmi v budovách

Skupina	Chráněný prostor					
	Položka	Hlučný prostor	Požadavky na zvukovou izolaci			dveří
			mezi místnostmi		R_w dB	
			$R'_w, D_{nT,w}$ dB ve směru	$L'_{nw}, L'_{nT,w}$ dB		
horizontálním	vertikálním					
A	Bytové domy (kromě rodinných domů) – Nejméně jedna obytná místnost bytu o 3 a více obytných místnostech					
1	Všechny ostatní místnosti téhož bytu, pokud nejsou funkční součástí chráněného prostoru *)	42	42	68	–	
*)	<i>POZNÁMKA Za funkční součást chráněného prostoru se považují prostory sousedící s tímto chráněným prostorem, které s ním</i> □					
B	Bytové domy – Obytné místnosti bytu					
2	Všechny místnosti druhých bytů	52	52	58	–	
3	Společné prostory domu (schodiště, vestibuly, chodby, terasy)	52	52	58	32 **)	
4	Společné uzavřené prostory domu (např. půdy, sklepy)	47	47	63	–	
5	Průchody, podchody	52	52	53	32 **)	
6	Průjezdy, podjezdy, garáže	57	57	48	–	
7	Provozovny s hlukem $L_{A,max} \leq 85$ dB s provozem nejvýše do 22:00 h	57	57	53	–	
8	Provozovny s hlukem $L_{A,max} \leq 85$ dB s provozem i po 22:00 h	62	62	48	–	
9	Provozovny s hlukem $85 \text{ dB} < L_{A,max} \leq 95$ dB s provozem i po 22:00 h	–	72	38	–	
**)	<i>POZNÁMKA Požadavek se vztahuje na vstupní dveře do bytu.</i>					
C	Řadové rodinné domy a dvojdomy – Obytné místnosti bytu					
10	Všechny místnosti v sousedním domě	57	57	53	–	
D	Hotely a ubytovací zařízení – Ložnicový prostor pokoje hostů					
11	Pokoje jiných hostů	47	52	58	42	
12	Společně užívané prostory (chodby, schodiště)	42	52	58	32	
13	Restaurace, společenské prostory a služby s provozem do 22:00 h	57	57	53	–	
14	Restaurace s provozem i po 22:00 h ($L_{A,max} \leq 85$ dB)	62	62	48	–	
E	Nemocnice, sanatoria apod. – Lůžkové pokoje, vyšetřovny, operační sály, pokoje lékařů					
15	Lůžkové pokoje, vyšetřovny apod.	47	52	63	32	
16	Prostory vedlejší a pomocné (chodby, schodiště apod.)	47	52	58	27	
17	Hlučné prostory (kuchyně, technická zařízení) $L_{A,max} \leq 85$ dB	62	62	48	–	
F	Školy apod. – Výukové prostory					
18	Výukové prostory	47	52	63	37	
19	Společné prostory, chodby, schodiště	42	52	63	27	
20	Hlučné prostory (tělocvičny, dílny, jídelny) $L_{A,max} \leq 85$ dB	52	55	48	–	
21	Velmi hlučné prostory (hudební učebny, dílny) $L_{A,max} \leq 90$ dB	57	60	48	–	
G	Kanceláře a pracovny					
22	Kanceláře a pracovny	37	42	68	–	
23	Kanceláře a pracovny se zvýšenými nároky na ochranu před hlukem	42	47	63	27	
24	Kanceláře a pracovny s vysokými nároky na ochranu před hlukem	47	52	58	32	

Poznámky k tab. 14-1:

Požadavky na zvukovou izolaci se přiměřeně vztahují i na obdobné prostory v tabulce neuvedené.

Při diagonálním šíření zvuku mezi dvěma podlažími platí požadavek pro vertikální přenos zvuku.

V případech, kdy jsou v sousedství místností chráněných před hlukem umístěny místnosti s technickým zařízením (např. strojovna výtahů, strojovna ventilace, předávací stanice apod.), jejichž provoz je charakterizován vyššími hodnotami hluku než jsou hodnoty uvedené v tabulce 14-1, požadavky na neprůzvučnost je nutno stanovit na základě akustické studie.

Pro váženou stavební neprůzvučnost R'_w platí vztah:

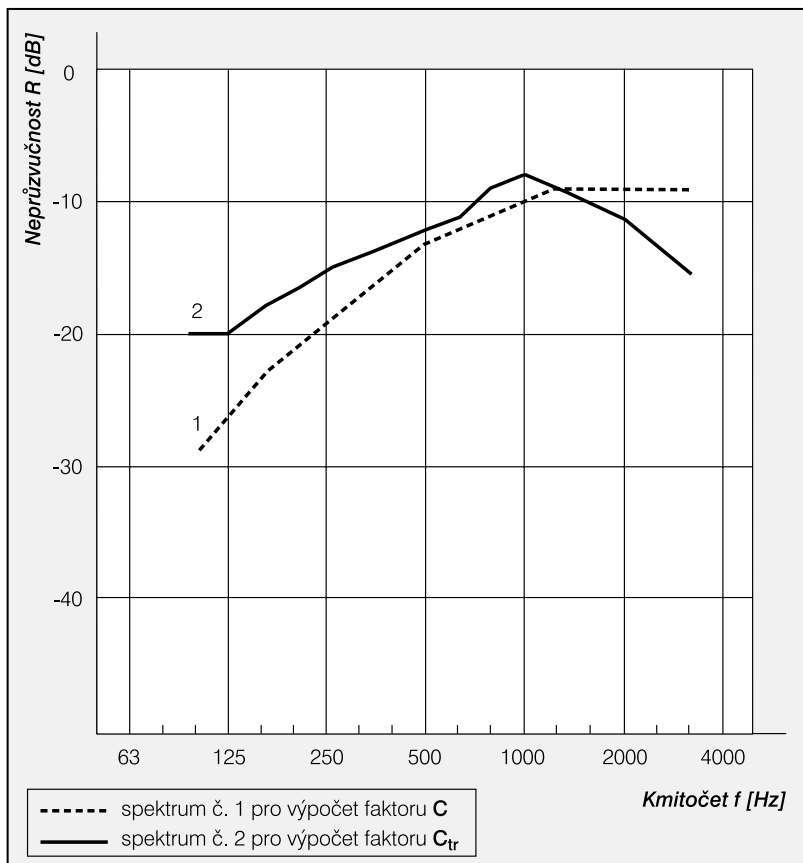
$$R'_w = R_w - k$$

kde k je korekce závislá na vedlejších cestách šíření zvuku (obr. 14-5);

R_w neprůzvučnost určená podle EN ISO 140-3 měřením v laboratoři.

14.5.1 Zvýšená ochrana před hlukem využitím faktorů přizpůsobení spektru

V případě požadavku investora na zvýšenou ochranu před hlukem mohou být požadavkové hodnoty stanovené v tabulce 14-1 porovnávány s jednočíselnými veličinami, které jsou součtem hodnoty R'_w nebo $D_{nT,w}$ a příslušného faktoru přizpůsobení spektru C nebo C_{tr} podle EN ISO 717-1, Příloha A (obr. 14-7). Faktory přizpůsobení spektru se udávají za jednočíselnou veličinou neprůzvučnosti v závorce ve tvaru $R_w (C ; C_{tr})$.



Obr. 14-7 Spektra hladin akustického tlaku k výpočtu faktorů přizpůsobení spektru pro měření v třetinooktávových pásmech

14.6 Neprůzvučnost cihelných příček a stěn

Pro jednovrstvé homogenní plošné konstrukce z klasických stavebních materiálů jako jsou např. cihelné stěny, kde boční konstrukce jsou také těžké homogenní (cihla, beton), je korekce $k = 2$ dB. Jestliže na cihelnou stěnu navazují složitější konstrukce, korekce k se určuje individuálně a pohybuje se cca od 1 do 4 dB, může v krajním případě dosáhnout až hodnoty 6 dB. Musíme proto počítat s tím, že vážená stavební neprůzvučnost změřená in situ v budově bude oproti vážené neprůzvučnosti změřené na stejné cihelné stěně v laboratoři nejméně o 2 dB nižší. Znamená to tedy, že jestliže je normativní požadavek na vnitřní příčku vyjádřen ve vážené stavební neprůzvučnosti hodnotou 42 dB, musí být hodnota laboratorní vážené neprůzvučnosti nejméně 44 dB.

Jestliže máme k dispozici údaje o laboratorní neprůzvučnosti příslušných stavebních konstrukcí, lze stavební neprůzvučnost stanovit metodami uvedenými v EN 12354-1, 3 a 4.

Příčky a stěny z keramických materiálů – z plných cihel a lehčených cihel s malými otvory lze pro účely akustického výpočtu a posouzení považovat s určitými omezeními za homogenní. Chování jednoduché homogenní stěny z hlediska vzduchové neprůzvučnosti je závislé na kmitočtu dopadajícího zvuku. Kmitočtový průběh neprůzvučnosti

cihelné stěny nebo příčky obvyklé tloušťky je charakteristický tím, že ve zvukověizolační kmitočtové oblasti, tj. v rozsahu třetinooktávových kmitočtových pásem 100 až 3 150 Hz obsahuje všechny charakteristické oblasti kmitočtového průběhu neprůzvučnosti, a to oblast rezonance, oblast setrvačnosti hmoty i oblast koincidence.

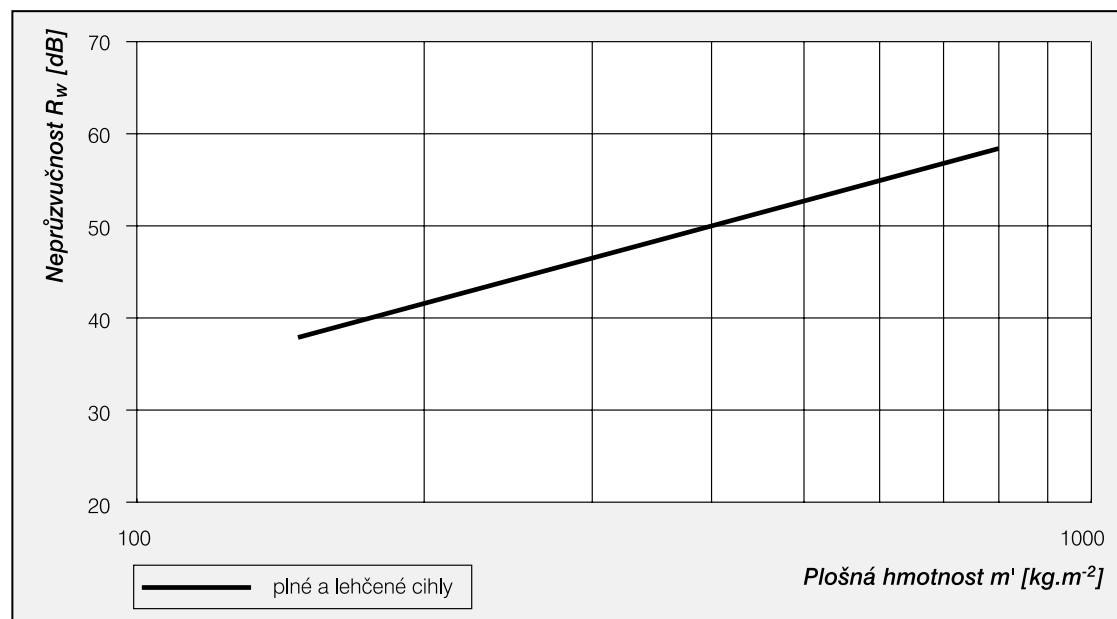
Oblast rezonance bývá u cihelných stěn v nejnižší části slyšitelného spektra. U stěn z lehčených cihel s malými otvory může tato oblast zahrnovat poměrně široký rozsah kmitočtů, až několik oktáv, a to podle velikosti a tvaru dutin.

Oblast setrvačnosti hmoty, kde platí tzv. „zákon hmotnosti“ a hmotnost je pro zvukovou izolaci nejvíce využita, je u cihelných stěn v pásmu nižších a středních kmitočtů. Rozsah této výhodné oblasti se mění s tloušťkou stěny.

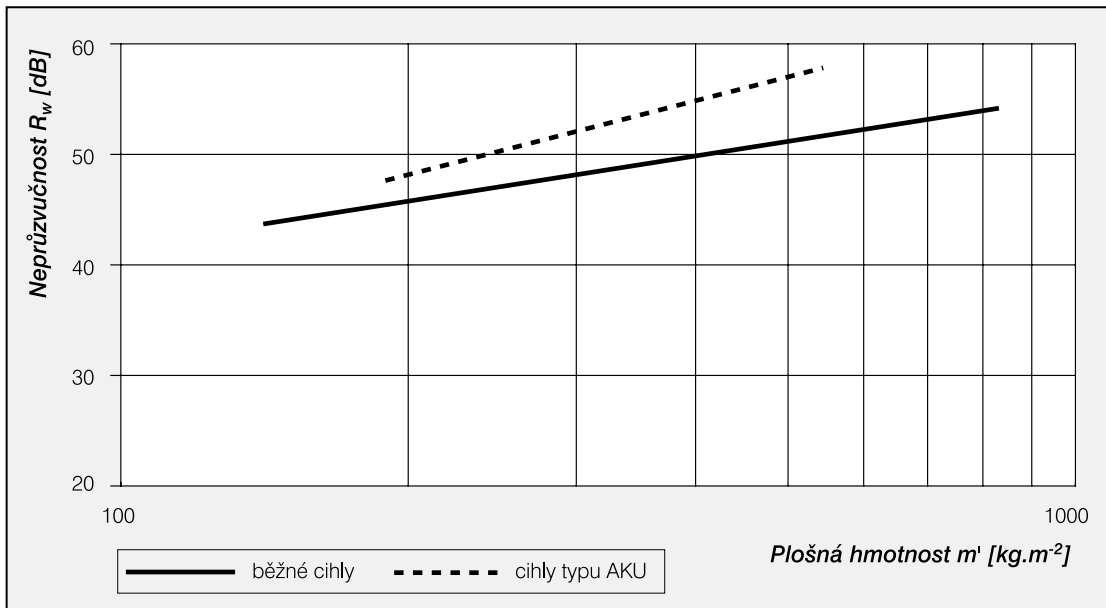
Oblast koincidence zasahuje tím více do nižších kmitočtů, čím větší je tloušťka stěny. U cihelných příček snižuje koincidenční efekt neprůzvučnost u všech běžných tloušťek příček, až do tloušťky 450 až 500 mm. U příček malých tloušťek, tj. okolo 100 mm, je koincidenční efekt patrný u vyšších a vysokých kmitočtů, mezi 1 000 a 4 000 Hz. U větších tloušťek se koincidence posunuje k nižším kmitočtům, až se při tloušťce stěny 450 až 500 mm posune kritický kmitočet, to je nejnižší koincidenční kmitočet, pod zvukověizolační kmitočtovou oblast, tj. pod 100 Hz.

Nad oblastí koincidence roste neprůzvučnost cihelných stěn s kmitočtem stejně jako v oblasti setrvačnosti hmoty, ale její absolutní hodnota je podstatně nižší než v této oblasti.

Při posuzování neprůzvučnosti cihelných příček a stěn z nových typů zdicích materiálů nevystačíme s učebnicovými a literárními údaji. Na grafu v obr. 14-8 je vážená neprůzvučnost v závislosti na plošné hmotnosti zdiva příček, které byly zkoušeny v letech 1970 až 1989. Na obrázku 14-9 je totéž provedeno pro příčky zkoušené v posledních letech. Z grafů je zřejmé, že u příček plošné hmotnosti nižší než $400 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$, zkoušených po roce 1990, můžeme pozorovat vyšší neprůzvučnost než u starších příček. U vyšších plošných hmotností je to naopak. Výrazně lepší výsledky můžeme pozorovat u cihel typu AKU s nelehčeným střepelem.

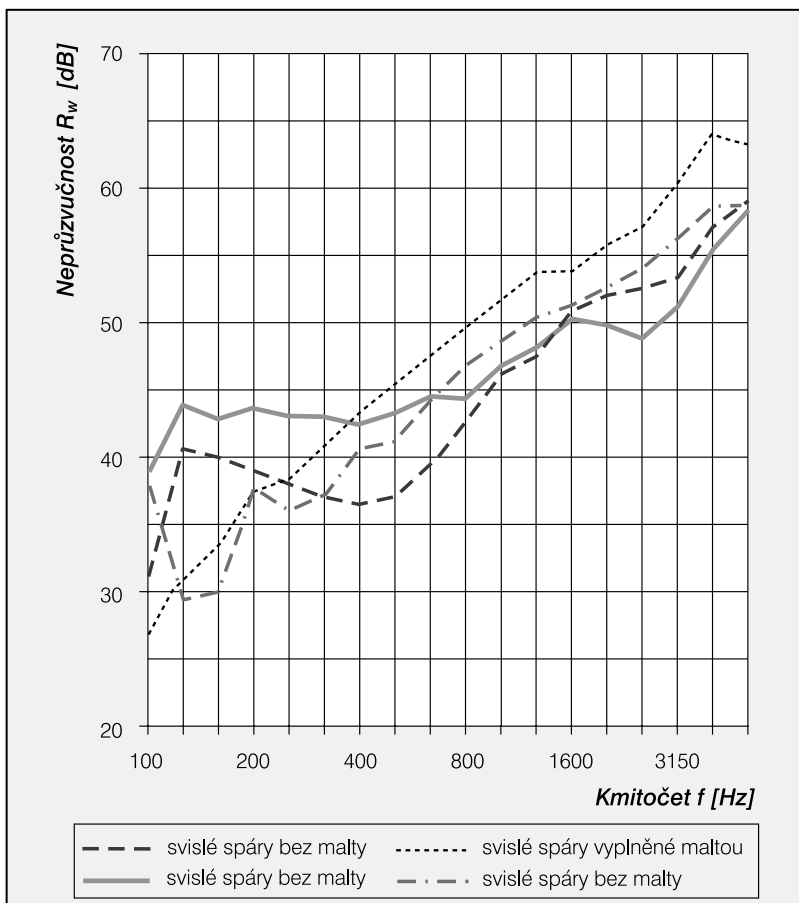


Obr. 14-8 Závislost neprůzvučnosti cihelných stěn na plošné hmotnosti (produkce 1970-1990)



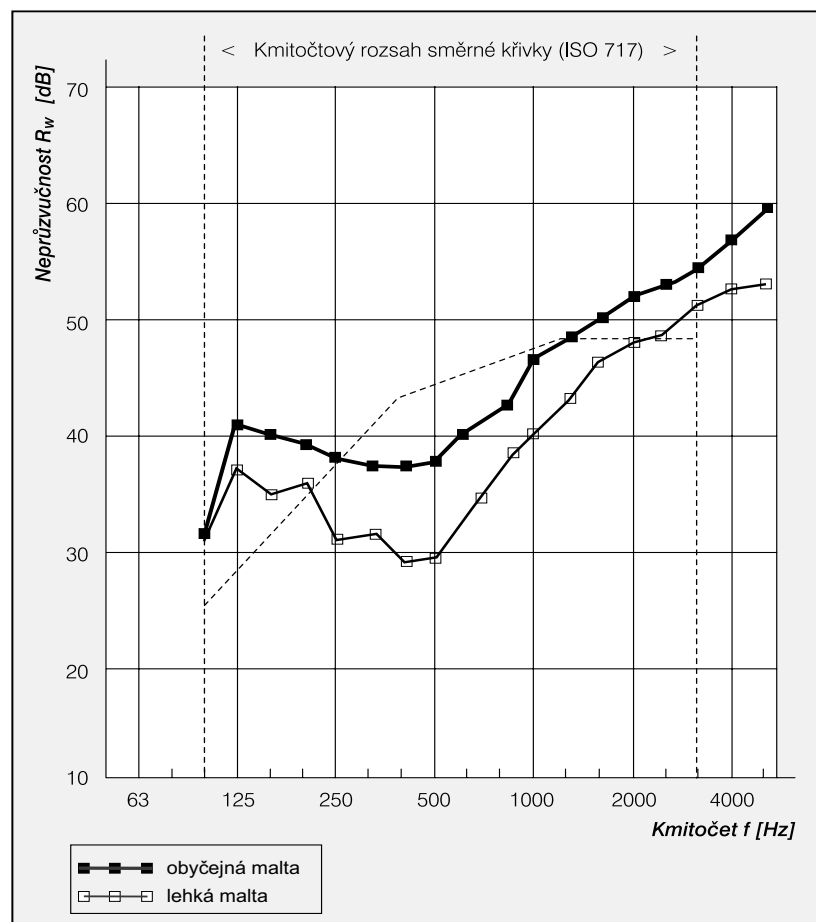
Obr. 14-9 Závislost neprůzvučnosti cihelných stěn na plošné hmotnosti (produkce 1991-2000, běžné cihly a cihly typu AKU)

Jak bylo uvedeno výše, neprůzvučnost cihelných příček obvyklých tloušťek je vždy ovlivněna koincidenčním efektem, u příček menších tloušťek i vlastní rezonancí a u příček z cihel s dutinami ještě rezonancí těchto dutin. Na neprůzvučnost mají vliv i další okrajové podmínky jako objemová hmotnost střeptu, druh zdicí malty, tloušťka spár a kvalita jejich vyplnění, druh omítkové malty, tloušťka a jakost omítky, tvar a rozměry cihel, přesnost jejich rozměrů a v neposlední řadě jakost zdění. Z obr. 14-10 je zřejmé, že příčky z jmenovitě stejného materiálu mohou mít různou neprůzvučnost. Jedná se zde o příčky z cihel 11,5 P+D, ale od různých výrobců. Pro srovnání je uveden i průběh neprůzvučnosti příčky s maltovanou svislou spárou mezi cihlami P+D.



Obr. 14-10
Vážená neprůzvučnost cihelných příček
P+D tl. 115 mm od různých výrobců

Na obr. 14-11 jsou srovnány dvě příčky stejného druhu od stejného výrobce. Jedna příčka je vyzděna na obyčejnou maltu a omítnuta obyčejnou vápenocementovou omítkou, druhá je vyzděna na lehkou maltu a omítnuta tepelněizolační omítkou.



Obr. 14-11

Omítnutá příčka vyzděna na obyčejnou a lehkou maltu

Vzhledem k množství těžko definovatelných okrajových podmínek je výpočtové určení neprůzvučnosti příček z cihel, zejména lehčených, jen velmi přibližné a jeho shodnost je velmi nízká. Je nutno vždy vycházet z měření. Vzhledem k relativně velké náročnosti měření je však k dispozici statisticky malé množství výsledků zkoušek cihelných stěn a zejména chybí výsledky zkoušek ucelených řad a souborů cihlářských výrobků.

Protože rozhodující pro neprůzvučnost je zejména hmotnost, je výhodné, jestliže výchozí objemová hmotnost střepu je co nejvyšší, stejně tak je výhodný vyšší poměr hmoty a nižší poměr dutin.

Z akustického hlediska je obecně výhodné, jestliže dutiny nejsou stejně velké (vzhledem k jejich rezonanci), jestliže mají nepravidelný tvar a jestliže jsou co nejmenší (příčný rozměr dutiny by neměl být větší než $\frac{1}{4}$ tloušťky příčky).

Neprůzvučnost může výrazně ovlivnit tloušťka omítkové vrstvy a její hmotnost.

Z výsledku zkoušek vyplývá, že výrazný vliv na neprůzvučnost má přesnost rozměrů zdicího materiálu, která umožňuje zdění s pravidelnými spárami. Důležitá je kvalita zdění. Rovnoměrné a úplné vyplnění spár je podmínkou dobré neprůzvučnosti. Dobré výsledky neprůzvučnosti některých zděných konstrukcí mají kořeny právě v přesnosti rozměrů tvárnic a v propracované technologii zdění.

Neprůzvučnost stěn z cihel, kde vertikální spoj je suchý, „na pero a drážku“ (P+D), může být závislá také na tvaru a přesnosti spoje.

Cihelné zdivo má z akustického hlediska některé nepopíratelné výhody týkající se zejména šíření zvuku konstrukcí. Kromě dobré neprůzvučnosti cihelné stěny spočívají výhody zejména v nižší rychlosti šíření zvukových ohybových vln zdivem a ve vysokém útlumu při šíření podélných zvukových vln na rozhraních cihla – spára. Cihelné zdivo je proto výhodné i pro dobrou ochranu proti šíření zvuku konstrukcí od různých zdrojů zvuku (větrací a vytápěcí zařízení, vodovodní instalace apod.) do prostor, které je nutné chránit před hlukem.