

ČÁST 2: TECHNICKÁ ŘEŠENÍ PRO ZAJIŠTĚNÍ KVALITNÍHO VNITŘNÍHO PROSTŘEDÍ VE ŠKOLSKÝCH BUDOVÁCH

Tato část je určená především architektům a projektantům, kteří budou připravovat projekt po technické stránce a hledat pro danou konkrétní situaci optimální řešení s cílem zajistit kvalitní vnitřní prostředí v učebnách a dalších prostorách škol. Užitečná může být i investorovi pro jeho lepší představu o potřebě komplexního řešení kvality vnitřního prostředí a konkrétních možnostech jeho zajištění.

Objevuje se řada projektů zabývajících se špatnou kvalitou vzduchu v českých školách. Ukazuje se ale, že problémy ve vzdělávacích zařízeních se netýkají pouze kvality vzduchu.

První dotační tituly podporující energetické úspory v budovách pomohly školám zateplit, instalovat nový zdroj tepla a vyměnit otvorové výplně. Tím se budovy ale zároveň téměř vzduchotěsně uzavřely. Pokud se v nich neřešil současně vzduchotechnický systém, mají dnes zásadní potíže s nedostatečným přísunem čerstvého vzduchu a kondenzací.

Velkým problémem, o kterém se tolik nehovoří, je ovšem i špatná akustika a nedostatečné osvětlení. Přitom celková kvalita vnitřního prostředí ve školských zařízeních je zcela zásadní, a to zejména z důvodu nároků na soustředěnou práci a kognitivní procesy učení se. Všichni chceme, aby se naše děti učily v podmínkách, které dokážou plně rozvinout jejich potenciál, a nikoli v podmínkách snižujících kvalitu výuky.

Česká rada pro šetrné budovy spustila projekt Zdravá škola (www.zdravaskola.cz, více v kapitole Zdravé vnitřní prostředí a projekt Zdravá škola), v rámci kterého chce pomáhat školám zlepšit dosavadní situaci s kvalitou vzduchu, osvětlením a akustikou.



Jaké jsou hlavní aspekty šetrných budov při přípravě renovace nebo nové výstavby?

- » V Části 1 je uveden kompletní přehled aspektů šetrných budov tak, aby byly šetrné nejen pro životní prostředí a vlastníka, ale zejména jejich uživatele.
- » V Části 2 tohoto manuálu se věnujeme především kvalitě vzduchu, osvětlení a akustice, které jsou v současnosti často opomíjeny i u projektů rozsáhlejších rekonstrukcí budov, a přitom mají zásadní vliv na soustředění, odpočatost a výkonnost uživatelů. S kvalitou vzduchu výrazně souvisí i tepelný komfort, který je zásadně ovlivněn kvalitou řízení technických systémů budovy, resp. energetického managementu.

KVALITA VZDUCHU

Dostatečný přísun čerstvého vzduchu do budov je aspektem kvality vnitřního prostředí, který je přesně popsán v Metodickém pokynu pro návrh větrání škol, ze kterého vychází následující text této kapitoly a v Konceptu větrání, platném i pro další typy budov. Oba dokumenty jsou popsány v textu níže a jsou volně ke stažení.

Kvalita vzduchu má velký vliv zejména na naše zdraví a pocit komfortu uvnitř budov. I zde jako u tepelné kvality je úzká souvislost s provozováním budovy, které by ve výsledku mělo vést k energetickým úsporám. Velkým pomocníkem optimalizace kvality vzduchu je automatizace budov.

Úvod

Větrání zajišťuje přívod venkovního vzduchu a odvod znečištěného vzduchu z vnitřních prostor budov pro zajištění požadované kvality vnitřního ovzduší. V teplém období roku větrání přispívá i k odvodu tepelné zátěže.

K znečištění vzduchu v místnostech dochází produkcí oxidu uhličitého CO₂ při dýchání a dalšími škodlivinami (např. VOC, vodní pára, prach, radon apod.), které se mohou uvolňovat v prostředí, případně mohou být obsaženy ve venkovním přiváděném vzduchu.

Kvalita ovzduší v místnostech se hodnotí podle koncentrace oxidu uhličitého CO₂. V souladu s vyhláškou č. 268/2009 Sb. v platném znění nesmí tato koncentrace v pobytových prostorách převýšit hodnotu 1500 ppm. Vliv koncentrace CO₂ na člověka ukazuje následující tabulka.

Tabulka: Koncentrace CO₂ a vliv na člověka

Koncentrace CO ₂	Místo výskytu CO ₂ , vliv na člověka
400 - 700 ppm	koncentrace ve venkovním ovzduší
800 - 1200 ppm	vyhovující koncentrace CO ₂ v pobytových prostorách
1500 ppm	maximální přípustná koncentrace CO ₂ v pobytových prostorách
> 1500 ppm	nastávají příznaky únavy a nižování pozornosti člověka
> 2500 ppm	ospalost, letargie, bolest hlavy
> 5000 ppm	nedoporučuje se delší pobyt

Klíčové pro správný návrh větrání je určení potřebného množství větracího vzduchu. Ten se často určuje množstvím čerstvého vzduchu, které je nutné přivádět do místnosti na osobu.

S ohledem na hospodárnost se specificky pro učebny doporučuje navrhovat průtok venkovního vzduchu, trvale přiváděného do učeben v době pobytu žáků, podle následující tabulky.

Tabulka: Minimální množství přiváděného venkovního vzduchu do učeben

Množství venkovního vzduchu [m ³ /h, žáka]			
3 – 6 let	6 – 10 let	10 – 15 let	15 – 18 let
Školka	1. stupeň ZŠ	2. stupeň ZŠ	SŠ
10	12	18	20

Specializované učebny (dílny, chemické laboratoře, apod.) se větrají rovněž s ohledem na produkci škodlivin.

Kabinety a sborovny nejsou trvalým pracovištěm ve smyslu nařízení vlády č. 93/2012 Sb. a připouští se přirozené větrání oknem (provětrávání).

Hygienické zázemí (toalety, umývárny, sprchy) je možné větrat podtlakově s nárazovým (pohybové čidlo) nebo časovým provozem (např. o přestávkách) se zajištěním doběhu. Průtoky odsávaného vzduchu se stanoví podle vyhlášky č. 410/2005 Sb. v platném znění. V případě podtlakového větrání je nutné zajistit přívod vzduchu (venkovního nebo převáděného) včetně jeho ohřevu.

Metodický pokyn pro návrh větrání škol

Jak větrat tělocvičny, šatny a jiné prostory se dozvíte v Metodickém pokynu pro návrh větrání škol, který je určený pro projekty snižování energetické náročnosti ve školských budovách, žádající v současnosti o dotační prostředky z Operačního programu Životní prostředí. Takové projekty musí zahrnovat řešení přísunu čerstvého vzduchu v souladu s tímto pokynem. Dokument využívaný aktuálně pro 100. výzvu Programu je ke stažení přímo na webu OPŽP:

https://www.opzp.cz/dokumenty/download/991-1-Metodick%C3%BD%20pokyn%20pro%20n%C3%A1vrh%20v%C4%9Btr%C3%A1n%C3%AD%20C5%A1kol_SC%205.1_100.v%C3%BDzva.pdf



Koncept větrání

Výše uvedený metodický pokyn vychází z širšího Konceptu větrání, který pokrývá i problematiku dalších typů budov a je vhodné ho k návrhu a realizaci využít. Koncept větrání byl mimo jiné zpracován a schválen podle Metodických pokynů pro plánování, tvorbu a schvalování Pravidel správné praxe Hospodářské komory České republiky. Metodika uvádí způsob vypracování konceptu větrání budov určených pro pobyt osob a zároveň zahrnuje několik příkladů vhodných řešení.

Dokument slouží pro základní orientaci v problematice větrání budov pro pobyt osob. Je určen zejména pro přípravnou fázi dokumentace, kdy dochází k volbě koncepce větrání, lze však ho využít ve všech fázích procesu návrhu, realizace a obsahuje i pokyny pro přejímku, provoz a údržbu větracího zařízení.

Koncept větrání je ke stažení například zde:

http://www.ckait.cz/sites/default/files/koncept_vetrani.pdf



Hlavní typy větracích systémů, vhodných například pro učebny

- systémy přirozené
- systémy nucené
- systémy hybridní

Pro větrání učeben se doporučuje využít systémy, které umožňují řízené nucené větrání. To jsou takové systémy, které regulují průtok větracího vzduchu na základě požadavku uživatele (prioritně řízené podle koncentrace CO₂). Přehled větracích systémů je uveden v Metodickém pokynu pro návrh větrání škol.

Obecné požadavky na provedení větracích systémů

- Minimální průtok přiváděného venkovního vzduchu se stanoví podle hodnot uvedených v Metodice.
- Větrací zařízení se dimenzují na základě kapacity objektu.
- Nucené větrací systémy navržené dle závazných předpisů musí být vybaveny regulací průtoku vzduchu v závislosti na aktuálním obsazení a zátěži učebny.
- V zimním období musí být ohřev přiváděného venkovního vzduchu zajištěn tak, že ve větraném prostoru bude dodržena požadovaná výsledná teplota dle vyhlášky č. 410/2005 Sb., v platném znění.
- Okna v učebnách by měla být navržena jako otevíratelná, s ohledem na odvod tepelné zátěže v letním a přechodovém období.
- Systémy nuceného větrání musí být opatřeny filtrací přiváděného vzduchu odpovídající znečištění venkovního vzduchu.
- hladina akustického tlaku v učebnách nesmí převyšovat limitní hodnoty dané nařízením vlády č. 272/2011 Sb.

Přirozené větrání

Funkce přirozeného větrání závisí na přirozených zdrojích pohybu vzduchu:

- rozdílu teploty vnitřního a venkovního vzduchu a na vertikální vzdálenosti otvorů pro přívod a odvod vzduchu, případně na vertikálních rozměrech větracích šachet,
- tlakovém účinku větru,
- v letním období na rozdílu teploty vzduchu na osluněné a neosluněné fasádě.

Působení zdrojů pohybu vzduchu u přirozeného větrání je nahodilé a pro prostory s větším počtem osob (tedy například žáků v učebně) takto navržené větrání nemůže splnit požadavek na zajištění trvale kvalitního vnitřního prostředí.

Negativní skutečností, která provází přirozené větrání okny, je lokální přívod chladného venkovního vzduchu do učeben v zimním období roku a nemožnost filtrace venkovního vzduchu. Větrání okny je často hodnoceno jako problematické s ohledem na bezpečnost žáků.

Přirozené větrání učeben infiltrací a tzv. mikroventilací se nedoporučuje, neboť nelze splnit požadavky na větrání dle této metodiky.

Použití přirozeného větrání je možné při rekonstrukci památkově chráněných objektů, kde je instalace nuceného větrání problematická. Podmínkou je funkčnost nebo obnova původního systému přirozeného větrání (pokud existuje) s přívodem i odvodem vzduchu (větracími otvory, šachtami apod.) a vybavení min. učeben automatickým systémem měření koncentrace CO_2 , který bude podporovat plnění vyhlášky č. 410/2005 Sb. v platném znění, resp. vyhlášky č. 268/2009 Sb. v platném znění.

Přirozené větrání v podobě provětrávání ručně otevíratelnými okny se přípouští pouze u místností s malým počtem osob a u místností s občasným výskytem osob (např. učebny ZUŠ s 1 - 2 žáky a 1 učitelem, kabinety, apod.).

Přirozené větrání učeben okny neumožňuje vyhovět současnému požadavku na snížení energetické náročnosti budovy.

Nucené podtlakové větrání

Jedná se o přívod venkovního vzduchu podtlakem (přisávání) větracími otvory, které jsou integrovány do obálky budovy, v kombinaci s nuceným odvodem vzduchu. Odvod vzduchu zajišťuje ventilátor navržený na potřebný průtok venkovního vzduchu.

Prvky pro přívod venkovního vzduchu musí umožnit požadovaný průtok vzduchu a současně vyhovovat požadavkům na tepelně technické a akustické vlastnosti. V případě, že se jedná o přívodní prvky integrované přímo do oken, nesmí jimi být zhoršeny deklarované vlastnosti oken, resp. vlastnosti oken musí být deklarovány včetně těchto prvků a musí splňovat požadované vlastnosti, zejména tepelně-technické a akustické.

Nucené podtlakové větrání lze použít tam, kde vzduch ve venkovním prostředí má vyhovující kvalitu. Sání venkovního vzduchu je nutno realizovat v místech, kde venkovní vzduch není znehodnocen pachy, zvýšenou prašností, exhalacemi z dopravy, vysokou hlukovou zátěží apod.

Negativní skutečností, která provází nucené podtlakové větrání, je lokální přívod chladného venkovního vzduchu do učeben v zimním období roku s rizikem tepelného diskomfortu v blízkosti otvorů pro přívod vzduchu.

Nucené podtlakové větrání neumožňuje vyhovět současnému požadavku na snížení energetické náročnosti budovy.

Nucené rovnotlaké větrání

Nucené rovnotlaké větrání zajišťuje nucený přívod i odvod vzduchu (mechanicky ventilátorem) a představuje vyšší kvalitu větrání než nucené podtlakové větrání. **Nucené rovnotlaké větrání umožňuje využití zpětného získávání tepla (dále ZZT nebo rekuperace) a vyhovuje současnému požadavku na snížení energetické náročnosti budovy a pro větrání učeben je doporučovaným systémem.**

Pro větrání slouží větrací jednotka vybavená ventilátory, filtrace vzduchu, výměníkem ZZT, případně ohřívačem. Je-li jednotka vybavena ohřívačem vzduchu, jeho výkon se reguluje na konstantní teplotu přiváděného vzduchu.

Sání venkovního vzduchu u nuceného rovnotlakého větrání je nutno realizovat v neosluněných místech, kde venkovní vzduch není znehodnocen pachy, zvýšenou prašností, exhalacemi z dopravy apod.

Hybridní větrání s mechanicky otevíranými okny

K větrání se využívá přirozeného tlakového rozdílu na okně (vlivem rozdílu hustot vzduchu a účinku větru), při nedostatečném tlakovém rozdílu se uvádí automaticky do chodu ventilátor a systém pracuje jako podtlakový. Průtok vzduchu je regulován podle koncentrace CO_2 .

Pro přirozené větrání slouží dělená okna s výklopnými horními křídly ovládanými servopohonem na základě potřeby (koncentrace CO_2). Servopohony na oknech vyžadují kontrolu a sledování polohy otevíraných křidel, současně je nutné zajistit bezpečnost objektu proti násilnému vniknutí, uzavření všech oken při opuštění budovy atd. **Hybridní větrání učeben neumožňuje vyhovět současnému požadavku na snížení energetické náročnosti budovy.**

AKUSTIKA

Následující kapitola popisuje vhodná technická řešení akustiky v místnostech, zejména v učebnách. Akusticky kvalitní prostředí musí reflektovat, jak okolní zdroje hluku jako je například doprava, vzájemnou interakci sousedících místností, tak řešení hluku uvnitř místnosti samotné. V textu se věnujeme následujícím tématům:

- Důraz na soulad s legislativou a normami.
- Stanovení akustické kvality pro různé typy prostorů v souladu s legislativou, vyhodnocení parametrů.
- Možná technická řešení – Přehled akustických řešení vedoucích k zajištění požadované akustické kvality vnitřního prostředí
- Obsah zadání pro projekt řešení akustiky a kdo ho pro zadavatele vytvoří.
- Obsah technické dokumentace pro realizaci akustických opatření a kdo ji zpracuje.

Úvod

Školy, podobně jako jiné druhy budov, musí vyhovovat akustickým požadavkům, které na ně klade platná legislativa. Ve školách se sleduje především ochrana vnějších a vnitřních prostorů před hlukem, zvuková izolace mezi místnostmi, zvuková izolace vůči venkovnímu prostředí a vlastnosti místností z hlediska prostorové akustiky. Cílem požadavků je vytvoření vhodného prostředí pro žáky i pedagogy, a to zejména s ohledem na proces výchovy, výuky a vzdělávání.

Hlavním druhem chráněných vnitřních prostorů ve školách jsou učebny. V nich žáci a pedagogové tráví nejvíce času a jsou také místem, kde se realizuje dominantní část výše zmíněných procesů.

Akustické řešení učeben má být především takové, aby v nich byly vytvořeny optimální podmínky pro dobrou srozumitelnost řeči. Tu ovlivňuje zejména hluk pozadí, doba dozvuku místnosti a síla zvuku v místě poslechu (zvlášť u větších učeben a poslucháren). Vyšší hluk pozadí, delší doba dozvuku a menší síla zvuku zhoršují srozumitelnost. Hluk pozadí lze eliminovat preferencí stacionárních zdrojů s nižším akustickým výkonem, zvýšením zvukové izolace stavebních konstrukcí ohraničujících chráněný prostor a částečně též zvětšením zvukové pohltivosti povrchů a vnitřního vybavení učebny. Poslední úprava rovněž vede k příznivému zkrácení doby dozvuku, i když je třeba poznamenat, že v příliš zatlumených větších místnostech s malým podílem odraženého zvuku může být narušen komfort vyučujícího, vzhledem k nutnosti zvyšovat hlas. K větší síle zvuku může přispívat stavebně-architektonické řešení vnitřního prostoru (zejména rozmístění, velikost a orientace odrazivých povrchů) nebo lze zvuk zesílit elektroakusticky.

Nevhodné akustické podmínky v učebnách zvyšují nároky na soustředění, vedou k dřívější únavě žáků i pedagogů a celkově ztěžují výukový proces. Dopad může být významnější, jedná-li se o například o žáky s poruchami soustředění, vadou řeči či sluchu nebo o žáky se speciálními vzdělávacími potřebami, které jsou do výuky začleněni v rámci inkluze.

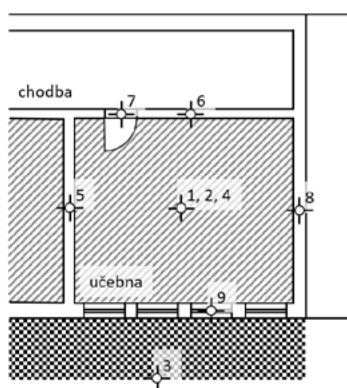
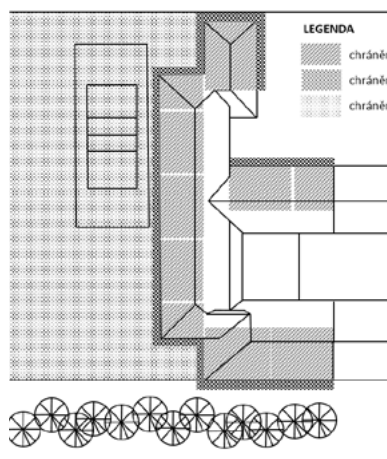
Z pohledu akustiky jsou učebny nejvýznamnějšími vnitřními prostory, avšak pozornost by měla být věnována i tělocvičnám a prostorům, kde žáci a studenti tráví čas mezi výukou (např. společné chodby a haly, školní jídelny a menzy). Hlavním kritériem je v tomto případě vytvoření vhodných podmínek pro sociální interakci, komunikaci a odpočinek žáků, a to především prostřednictvím snižování hlučnosti těchto prostorů.

Přehled základních legislativních požadavků

Akustické požadavky na prostory škol jsou obsaženy v českých právních předpisech a technických normách. Technické normy nejsou obecně závazné. Zezávaznění norem je zpravidla řešeno odkazem na normu nebo její část, uvedeným v některém z právních předpisů. Závaznými se mohou požadavky stát také na základě smluvních vztahů mezi jednotlivými účastníky stavebního procesu. Základními dokumenty, které se věnují akustice ve školách, jsou nařízení vlády č. 272/2011 Sb. o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací, ČSN 73 0532 Akustika - Ochrana proti hluku v budovách a posuzování akustických vlastností stavebních výrobků - Požadavky a ČSN 73 0527 Akustika - Projektování v oboru prostorové akustiky - Prostory pro kulturní účely - Prostory ve školách - Prostory pro veřejné účely. Mezi hlavní akustická kritéria, která se sledují, patří:

- ochrana před hlukem – dodržení limitních hodnot hluku z dopravy a stacionárních zdrojů v chráněném venkovním prostoru, chráněném venkovním prostoru stavby a chráněném vnitřním prostoru stavby;
- zvuková izolace – zajištění dostatečné vzduchové a kročejové neprůzvučnosti mezi místnostmi a vzduchové neprůzvučnosti obvodového pláště;
- prostorová akustika – dosažení optimální doby dozvuku v akusticky náročnějších prostorech.

Pro snazší představu je přehled požadavků uveden také schematicky na následujícím obrázku. Vysvětlení jednotlivých pojmů lze nalézt přímo v citovaných dokumentech.



Obrázek: půdorysné schéma školy s vyznačením požadavků:

- 1 = hluk z vnitřních zdrojů v chráněném vnitřním prostoru stavby,
- 2 = hluk z venkovních zdrojů v chráněném vnitřním prostoru stavby,
- 3 = hluk z venkovních zdrojů v chráněném venkovním prostoru stavby,
- 4 = doba dozvuku učebny,
- 5 až 8 = vzduchová neprůzvučnost mezi místnostmi,
- 9 = vzduchová neprůzvučnost vůči venkovnímu prostředí

Hluk z dopravy a stacionárních zdrojů vně i uvnitř budovy

Podle § 11 nařízení vlády č. 272/2011 Sb. nesmí hluk v přednáškových místnostech, učebnách a pobytových místnostech škol, jeslí a staveb pro předškolní a školní výchovu a vzdělávání, přesáhnout po dobu užívání hodnotu 45 dB. V případě hluku pronikajícího do chráněné místnosti vzduchem zvenčí (např. hluk z dopravy) se jedná o ekvivalentní hladinu akustického tlaku A. Jde-li o hluk šířící se ze zdrojů uvnitř objektu (např. hluk z technického zařízení budovy), limit je vyjádřen maximální hladinou akustického tlaku A.

V chráněném venkovním prostoru stavby školy a v chráněném venkovním prostoru školy nesmí být v souladu s § 12 téhož nařízení vlády překročena ekvivalentní hladina akustického tlaku A daná základní hodnotou 50 dB a příslušnými korekcemi v závislosti na povaze hluku.

Zvuková izolace mezi místnostmi a vůči venkovnímu prostředí

Podle § 14 odst. 3 vyhlášky č. 268/2009 Sb. je požadovaná vzduchová neprůzvučnost obvodových plášťů budov, stěn, příček a stropů mezi místnostmi a požadovaná kročejová neprůzvučnost stropních konstrukcí s podlahami dána normovými hodnotami. V ČSN 73 0532 jsou v kapitole 5 tab. 1 (část F) uvedeny požadavky na zvukovou izolaci mezi místnostmi ve školách.

Tabulka: Zvuková izolace mezi místnostmi (vybrané požadavky dle ČSN 73 0532)

Chráněný prostor				
Hlučný prostor	Požadavky na zvukovou izolaci			
	Stropy		Stěny	Dveře
	$R'_{w, D_{nT,w}}$	$L'_{n,w}, L'_{nT,w}$	$R'_{w, D_{nT,w}}$	R_w
	dB	dB	dB	dB
Školy a vzdělávací instituce – učebny, výukové prostory				
Učebny, výukové prostory	52	58	47	—
Společné prostory, chodby, schodiště	52	58	47	32 (27 ¹⁾)
Hlučné prostory (dílny, jídelny) $L_{A,max} \leq 85$ dB	55	48	52	—
Poznámka:				
¹⁾ Platí pro vstupní dveře, je-li chráněný prostor oddělen předsíní nebo zádveřím s dalšími dveřmi.				

V ČSN 73 0532 jsou v kapitole 6 tab. 2 uvedeny požadavky na zvukovou izolaci obvodových plášťů škol.

Tabulka: Zvuková izolace vůči venkovnímu prostředí (požadavky dle ČSN 73 0532)

Požadovaná zvuková izolace obvodového pláště, R'_{w} nebo $D_{nT,w}$ (dB)							
Druh chráněného vnitřního prostoru	Ekvivalentní hladina akustického tlaku A po dobu užívání ve vzdálenosti 2 m před fasádou $L_{A,eq}$ (dB)						
	≤ 50	> 50 ≤ 55	> 55 ≤ 60	> 60 ≤ 65	> 65 ≤ 70	> 70 ≤ 75	> 75 ≤ 80
Přednáškové sály, učebny, pobytové místnosti škol, jeslí, mateřských škol	30	30	30	30	33	38	-43

Prostorová akustika

Podle § 4b vyhlášky č. 410/2005 Sb. musí být v zařízeních pro výchovu a vzdělávání a provozovnách pro výchovu a vzdělávání dodrženy normové hodnoty optimální doby dozvuku podle příslušné české technické normy.

V ČSN 73 0527 jsou v části 4.2.2 tab. 2 uvedeny optimální doby dozvuku T_0 (s) v prostorech škol v závislosti na jejich objemu V (m³) a účelu. Jedná se například o učebny a posluchárny, jazykové učebny, učebny hudební výchovy, tělocvičny apod. Vybrané požadavky na typické prostory ve školách jsou uvedeny v tabulce 3.

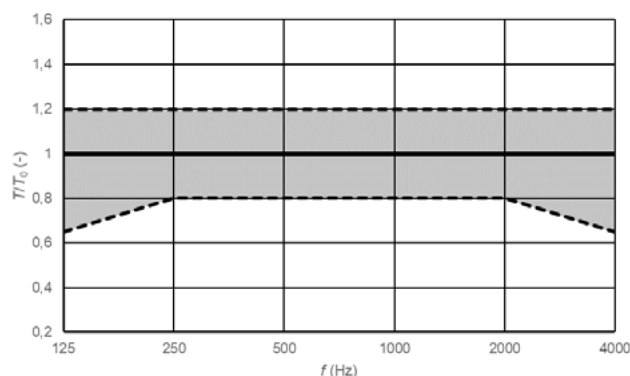
Tabulka: Optimální doba dozvuku ve školách (vybrané požadavky dle ČSN 73 0527)

Prostor	Orientační objem (m ³)	Optimální doba dozvuku T_0 (s)	Přípustné rozmezí T/T_0
Učebna a posluchárna	do 250	0,7	I
Posluchárna	nad 250	$= 0,3424 \cdot \log V - 0,185$	I
Jazyková učebna	130 až 180	0,45	I
Audiovizuální učebna	200	0,6	I
Učebna hudební výchovy	200	0,9	II
Tělocvična a plavecká hala	500 až 3 000 3 000 až 20 000	$= 0,3961 \cdot \log V + 0,023$ $= 1,0366 \cdot \log V - 2,204$	III

V méně akusticky náročných prostorech, kterými jsou sborovny, učebny pracovní výuky, školní jídelny apod. má být proveden širokopásmový obklad stropu. Požadavky se vztahují na prostor v obsazeném stavu.

Doba dozvuku se hodnotí v oktávových pásmech se středními kmitočty 125 Hz až 4 000 Hz, s výjimkou tělocvičen a plaveckých hal, kde je rozsah zúžen na pásma od 250 Hz do 2 000 Hz. Příпустné rozmezí poměru skutečné doby dozvuku T (s) a optimální doby dozvuku T_0 (s), tj. T/T_0 , je patrné z grafu na obrázku 2. Optimální doba dozvuku v učebnách a posluchárnách se vztahuje na obsazené prostory, tj. včetně žáků, studentů atp.

Za širokopásmový se považuje obklad s váženým činitelem zvukové pohltivosti $\alpha_w \geq 0,8$.



Obrázek: Přípustné rozmezí T/T_0 v učebnách

Vliv jednotlivých fází životního cyklu budovy na akustiku

Životní cyklus budovy lze zjednodušeně rozdělit na následující etapy: záměr a projektová příprava, realizace, užívání a likvidace. Z hlediska akustiky jsou nejdůležitější první tři fáze.

O tom, zda v hotové stavbě budou zajištěny optimální akustické podmínky, rozhoduje už projekt. Ten v první řadě musí respektovat požadavky platné legislativy, uvedené v předchozí kapitole. Na ty je však třeba pohlížet jako na povinný základ, který zpravidla negarantuje stoprocentní spokojenost budoucích uživatelů. Z těchto důvodů je vhodné, aby již od úvodních etap projektové přípravy byla vedena diskuze mezi architektem, projektantem, specialistou akustikem a investorem o tom, jak s ohledem na očekávanou úroveň akustických vlastností výsledné budovy mají být požadavky nastaveny.

Smluvní zpřísnění požadavků sice může zvýšit náklady stavby, ale vrátí se v podobě většího počtu spokojených uživatelů, v tomto případě pedagogů a žáků. Je třeba také dodat, že není výjimkou, když některé správní úřady přímo nevyžadují a nekontrolují dodržování všech legislativních akustických požadavků. Jako příklad lze uvést optimální dobu dozvuku, která bývá u novostaveb i rekonstrukcí škol často opomenuta. Částečně to může být i v důsledku toho, že akustika, na rozdíl například od vytápění, větrání nebo umělého osvětlení, nemá přímou souvislost s budoucími provozními náklady, tudíž její význam bývá v projektové fázi nedoceněn, ačkoliv při následném užívání se problémy s akustikou odhalí velmi rychle. Je zodpovědností architekta, projektanta, akustika specialisty a investora, aby projektová příprava nebyla zaměřená jen na plnění minimálních požadavků, ale na hledání optimálních vlastností, které budou zohledňovat aktuální potřeby uživatelů. K tomuto účelu lze využít některou z metodik obsažených v různých certifikačních nástrojích budov, v ČR např. SB TOOL CZ. Zajímavé je také srovnání požadavků na akustiku ve školách v České republice a v zahraničí. Zatímco požadavky na vzduchovou a kročejovou neprůzvučnost jsou na podobné úrovni, požadovaná doba dozvuku v ostatních zemích je nejrůzněji výrazně kratší, např. v Dánsku platí pro učebny $T \leq 0,6$ s v neobsazeném stavu. Podobně, požadavek na hluk z technického zařízení budovy, vyjádřený buď maximální, nebo ekvivalentní hladinou akustického tlaku A v rozmezí 30 až 35 dB, je výrazně přísnější, než limit stanovený nařízením vlády ČR. Vzhledem k tomu, že rozdíl mezi hladinou řeči a pozadím by měl být nejméně 15 dB, je zřejmé, že dodržení limitní hodnoty 45 dB nemusí být dostatečné.

Na výsledné akustické vlastnosti stavby má významný vliv také kvalita jejího provedení. Realizace musí probíhat podle projektu, zpracovaného nejlépe v úrovni pro provedení stavby, a musí být dodržovány technologické předpisy dodavatelů stavebních materiálů a výrobků. Veškeré změny oproti projektu by měly být odsouhlaseny projektantem. U stavebních prvků je z hlediska vlivu provedení na akustiku důležité zajistit:

- stěny zděné – kvalitní promaltování spár mezi zdícími prvky; dodržení předepsaného druhu a tloušťek omítek; napojení na okolní konstrukce v souladu s pokyny výrobce; omezení instalačních rozvodů (především vody a kanalizace), nik, drážek apod. v akusticky exponovaných stěnách;
- stěny lehké (např. sádkartonové) – napojení na okolní konstrukce v souladu s pokyny výrobce; přerušení bočních lehkých stavebních prvků v místě stěny; omezení instalačních rozvodů (především vody a kanalizace), nik, apod. v akusticky exponovaných stěnách;
- podlahy (těžké plovoucí) – zamezení průniku betonu nebo anhydritu při provádění roznášecí desky do vrstvy kročejové izolace; pružné oddělení roznášecí desky od všech stěn a konstrukcí nebo technologií, které procházejí skrz desku; rozdělení desky v místě prahu dveří; pokud jsou v podlaze vedeny rozvody instalací, nesmí zasahovat do vrstvy kročejové izolace; nášlapná vrstva nesmí být, podobně jako roznášecí deska, pevně spojena s okolními konstrukcemi;
- okna, dveře – utěsnění připojovacích spár (mezi stěnou a rámem okna nebo dveřní zárubní), nejlépe vložením zvuk pohlcujícího materiálu do spáry a oboustranným zatmelením nebo pomocí systémového řešení; správné seřízení oken a dveří (s ohledem na těsnost funkční spáry), příp. padacích prahů, jsou-li použity.

Technické zařízení budovy bývá zdrojem hluku vyzařovaného do vzduchu a současně zdrojem vibrací, které se do stavebních prvků přenášejí pevným kontaktem se zařízením. Přímému přenosu do vzduchu nelze zabránit, a proto se hlučné prvky umísťují nejlépe mimo chráněné místnosti, např. do strojoven, chodeb apod. Z hlediska vlivu na akustický komfort v budově tak často bývá důležitější přenos vibrací, který se

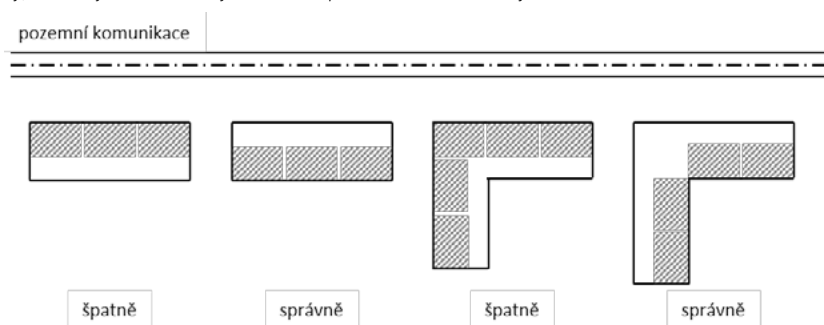
potlačuje pružným uložením strojů, zařízení a někdy i vlastních rozvodů. Účinnost pružného uložení je zásadně ovlivněna způsobem a kvalitou jeho provedení.

Významným zdrojem zvuku v budově je také sám uživatel. Pokud svými chováními nepřiměřeně zatěžuje okolí hlukem, nelze ani ve správně navržené a provedené budově dosáhnout akustické pohody. S tímto problémem se lze sice nejčastěji setkat v bytech obytných budov a velkoprostorových kancelářích administrativních budov, avšak výjimkou nejsou ani třídy ve školách. V případě škol je však toto riziko sníženo časovou organizací činností žáků a pravidly umožňujícími regulovat nevhodné chování žáků. Na tomto místě je však třeba poznamenat, že ve škole se odehrává celá řada hlučných činností spojených s výukou (hra na hudební nástroje, různé sportovní aktivity apod.), které například v obytných budovách jsou nežádoucí, ale ve školách jsou zcela běžné a akustické řešení stavby s nimi musí počítat.

Příklady vhodných akustických řešení vedoucích k požadované kvalitě vnitřního prostředí

Ochrana před hlukem

Při umísťování budovy školy do situace v okolí pozemní komunikace je vhodné vycházet z toho, že objekty orientované rovnoběžně s osou komunikace jsou vystaveny hluku pouze z jedné strany a zároveň tvoří překážku omezující šíření hluku do míst za budovou. To vytváří možnost zvýšit ochranu některých místností, nejlépe učeben, jejich umístěním na odvrácenou stranu budovy. Zároveň je možné za budovou vytvořit venkovní klidovou zónu. Na exponované straně objektu mohou být umístěny chodby. U budovy situované kolmo na osu komunikace jsou hlukem zatížené obě fasády, což zvýšení ochrany vnitřních prostorů znemožňuje.



Obrázek: Vliv orientace budovy vzhledem ke zdroji zvuku s ohledem na ochranu před hlukem

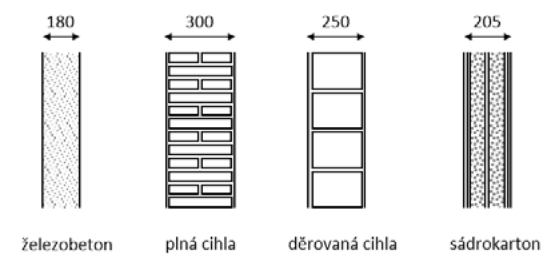
Není-li možné vyhnout se učebnám orientovaným směrem k hlučné komunikaci, pak je na místě zvážit jiný způsob větrání než otevíráním oken, a to i v případě, že nejsou překročeny hlukové limity v chráněném venkovním prostoru stavby. Nucené větrání s využitím vzduchotechniky zvyšuje komfort v interiéru především v průběhu výuky, kdy roste koncentrace CO₂ v interiéru, přispívající k únavě žáků a ztrátě koncentrace, a kdy je tedy nejvíce nutné učitelsky větrat. Je-li větrání zajištěno okny, ta po otevření ztrácejí svoji zvukově izolační schopnost, což se projevuje pronikáním hluku do interiéru a nežádoucím nárůstem hlukového pozadí. Současně je však třeba dodat, že i vlastní systém nuceného větrání je zdrojem hluku, který se může šířit potrubím od ventilátoru až k výústkům v učebnách. Součástí každého projektu vzduchotechniky by proto vždy měla být akustická studie zaměřená nejen na ochranu před hlukem na sání/výfuku v exteriéru, ale i před hlukem z výústek v jednotlivých učebnách.

Na ochranu před hlukem z vnitřních zdrojů má vliv dispoziční řešení budovy. Hlučné zdroje je vhodné navrhovat do místností, které nemají společnou dělicí konstrukci s učebnami. Zároveň je dobré zajistit, aby spolu vždy sousedily místnosti s podobným způsobem užívání.

Při výběru technického zařízení budovy mají být kromě technických parametrů zohledněny i parametry akustické. Preference zdrojů s nižší hlučností je neefektivnějším nástrojem ochrany před hlukem. Je proto žádoucí, aby se požadované akustické parametry technického zařízení, stanovené a předepsané akustickou studií, staly součástí zadání pro dodavatele.

Zvuková izolace

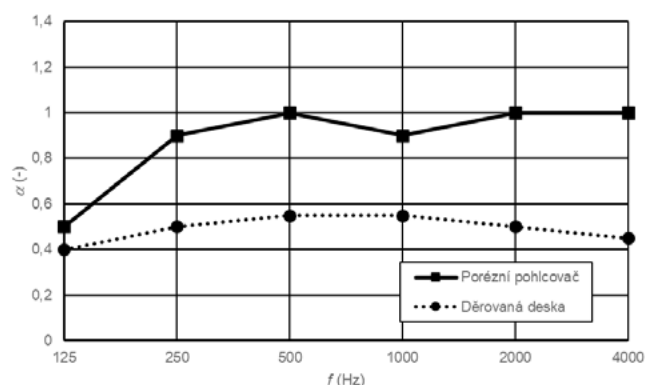
Na zvukovou izolaci vůči venkovnímu prostředí a mezi místnostmi mají zásadní vliv akustické vlastnosti dělicích konstrukcí, tj. obvodového pláště, stěn, příček, stropů a výplní otvorů. Stavební prvky mohou být buď těžké (tradiční zděné nebo betonové konstrukce) nebo lehké vrstvené (sádkokartonové příčky, obvodové stěny dřevostaveb apod.). Při volbě konkrétního materiálového řešení je vhodné upřednostňovat výrobky, jejichž akustické vlastnosti jsou deklarovány na základě laboratorních akustických zkoušek. Na vzduchovou neprůzvučnost těžkých stavebních prvků má zásadní vliv jejich plošná hmotnost. U lehkých vrstvených konstrukcí hraje roli nejen plošná hmotnost jednotlivých vrstev, ale též jejich dynamická tuhost, zvuková pohltivost, způsob spojování apod. Na následujícím obrázku jsou příklady vhodných dělicích konstrukcí pro použití mezi učebnami.



Obrázek: Příklady řešení dělicí konstrukce mezi učebnami

Prostorová akustika

Doba dozvuku v učebnách bez akustických úprav je obvykle delší, než požaduje norma. Pro její zkrácení na úroveň optimálních hodnot je třeba zvýšit zvukovou pohltivost. Toho lze dosáhnout buď zvukově pohltivými obklady vnitřních povrchů stavebních konstrukcí, nebo vybavením místnosti zvukově pohltivým nábytkem. V učebnách se běžně dává přednost použití akustických obkladů. Plocha obkladů se určuje individuálně, neboť závisí na velikosti místnosti, druhu vnitřních povrchů, způsobu vybavení, obsazenosti atp. Nejčastěji se obkládá strop, který představuje dostatečně rozsáhlou vnitřní plochu. Při návrhu obkladu stropu je třeba zohlednit prvky umělého osvětlení, vzduchotechniky a dalších případných technologií. Pokud je strop součástí střešní konstrukce, potom je vhodné návrh obkladu posoudit i z hlediska tepelné techniky (riziko kondenzace v prostoru nad podhledem). Obklad stropu je vhodné aplikovat zejména na střední a zadní část místnosti ve směru od tabule a doplnit jej částečným obložením stěn, především zadní stěny a boční stěny naproti oknům. V hlubokých učebnách, není-li obložena zadní stěna, existuje riziko odrazu zvuku zpět do předních řad. Odražený zvuk do těchto míst přichází s velkým zpožděním za přímým zvukem, což se může projevit narušením srozumitelnosti, a nakonec i vznikem tzv. koutové ozvěny. V místnostech, které mají akusticky obloženou pouze jednu konstrukci (nejčastěji strop), se nerovnoměrnost rozmístění pohltivosti projevuje prodloužením skutečné doby dozvuku oproti teoretickým předpokladům, a tedy i snížením účinnosti obkladu.

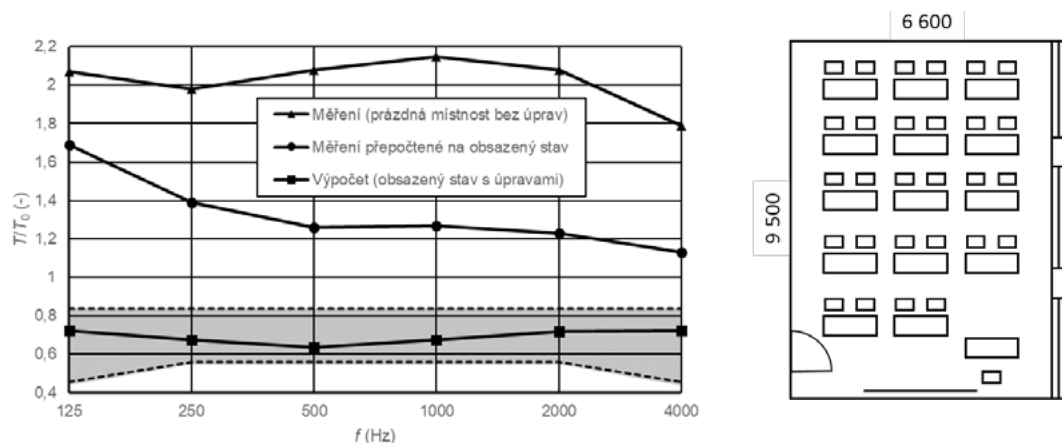


Obrázek: Činitel zvukové pohltivosti porézního pohlcovače a rezonátoru typu děrovaná deska

Výše popsané řešení je typické pro místnosti s klasickou organizací výuky (učitel provádí výklad před tabulí, žáci sedí v řadách směrem k tabuli). Při jiném uspořádání je vhodné akustiku řešit individuálně a například na stěnách místo zvukově pohltivého obkladu použít povrch zajišťující difúzní odraz zvuku.

Mezi nejčastěji používané prvky pro pohlcování zvuku patří porézní pohlcovače a dutinové rezonátory. První skupinu tvoří výrobky z pórovitého materiálu, obvykle minerálních nebo skleněných vláken, případně speciálních pěn, jejichž póry jsou propojené vzájemně i s vnějším prostředím. Tyto materiály se aplikují přímo na stěnu nebo se vkládají do nosného roštu s odstupem od stěny. Druhý způsob bývá efektivnější, neboť zvukovou pohltivost obkladu významně ovlivňuje jeho celková tloušťka (s narůstající tloušťkou roste činitel zvukové pohltivosti zejména v oblasti nízkých kmitočtů). Porézní pohlcovače jsou účinnější na vyšších kmitočtech, směrem k nižším kmitočtům jejich pohltivost rychle klesá – viz obrázek. Tato nevyrovnanost není příznivá s ohledem na požadavek dodržení stejné hodnoty optimální doby dozvuku ve všech kmitočtových pásmech, a proto je někdy nutné je kombinovat s jinými druhy pohlcovačů.

Odlišný průběh činitele zvukové pohltivosti v závislosti na kmitočtu mají pohlcovače rezonančního typu (viz obrázek 5). Ty dosahují maxima pohltivosti v okolí rezonančního kmitočtu, přičemž pohltivého efektu je dosaženo buď kmitáním vzduchu v otvorech obkladu upevněného na roštu (pohlcovače typu děrovaná deska nebo šterbinové rezonátory), nebo kmitáním desky nebo membrány pružně uchycené do nosného rastru. Nejčastěji se používají děrované desky ze sádkartonu, dřevotřísky či plechu, případně dřevěné latě montované s předepsanými mezerami na rošt. Zvuková pohltivost těchto prvků závisí na podílu děrování, rozměrech a tvaru dutin, tloušťce vzduchového polštáře a v neposlední řadě na výplni vzduchové mezery. Vložením porézního pohlcovače do nosného roštu lze vytvořit kombinovaný prvek, který bude mít širokopásmový účinek s maximem v požadované kmitočtové oblasti.



Obrázek: Vliv akustických úprav na dobu dozvuku typické učebny

V rámci navrhování akustických úprav učeben, jídelen, tělocvičen a dalších prostorů ve školách je třeba počítat s tím, že pro dosažení optimálních parametrů vnitřního prostředí je obvykle zapotřebí poměrně velká plocha pohltivých obkladů, tedy že akustické úpravy významně ovlivňují vzhled interiéru. Proto by je měl akustik od začátku navrhovat v součinnosti s architektem. Kromě estetických nároků se do návrhu mohou promítnout i některé další požadavky, např. na mechanickou odolnost, údržbu, trvanlivost apod., jejichž plnění je zodpovědností projektanta.

Postup při navrhování a realizaci akustických úprav ve školách

V rámci procesu navrhování a realizace staveb škol se uplatňují dva základní způsoby prokazování jejich akustických vlastností – výpočty a měření. V oboru akustiky se upřednostňuje měření, které má pro finální hodnocení budovy zásadní význam. Výpočty se používají zpravidla pouze pro předběžné hodnocení ve fázi zpracování projektové dokumentace, kdy je třeba příslušným správním orgánům prokázat, že stavba je navržena z pohledu akustiky správně a po dokončení bude splňovat požadavky platné legislativy.

Předběžné výpočtové hodnocení by měl provádět akustik specialista. Spolehlivé posouzení ochrany před hlukem z dopravy a vnějších stacionárních zdrojů mnohdy není možné provést bez použití specializovaného software. Při absenci relevantních vstupních údajů je nutné výpočty kombinovat s akustickými měřeními, která zmapují výchozí hlukovou situaci. Akustik zpracovává akustickou studii, která obsahuje část věnující se ochraně před hlukem, zvukové izolaci i prostorové akustice. Tato studie je součástí projektové dokumentace a spolu s ní se předkládá příslušným správním úřadům.

Po dokončení stavby, v rámci kolaudačního řízení, si správní úřady obvykle vyžádají provedení akustických zkoušek, jejichž výsledky musí prokázat splnění požadavků. Měření hluku musí provádět akreditované zkušební laboratoře. Pokud zkoušky odhalí nějaký problém s akustikou, je třeba jej ještě před uvedením stavby do provozu odstranit. V případě zvukové izolace bývají dodatečné úpravy problematické a nákladné. Naopak u prostorové akustiky je dobré vždy počítat s tím, že k dílčím úpravám po dokončení může dojít.

Použitá literatura v kapitole Akustika

- Vyhláška č. 410/2005 Sb. o hygienických požadavcích na prostory a provoz zařízení a provozoven pro výchovu a vzdělávání dětí a mladistvých.
- Vyhláška č. 268/2009 Sb. o technických požadavcích na stavby.
- Nařízení vlády č. 272/2011 Sb. o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací.
- ČSN 73 0532 Akustika - Ochrana proti hluku v budovách a posuzování akustických vlastností stavebních výrobků – Požadavky.
- ČSN 73 0527 Akustika - Projektování v oboru prostorové akustiky - Prostory pro kulturní účely - Prostory ve školách - Prostory pro veřejné účely.
- Stavební fyzika 3, Akustika pozemních staveb, Kaňka, J., Nováček, J., skriptum ČVUT, 2015.
- Ramsussen, B., Guigou-Carter, C., A pilot study on acoustic regulations for schools – Comparison between selected countries in Europe, sborník konference Inter-noise 2016, str. 886-893.

OSVĚTLENÍ

Tato kapitola popisuje vhodná technická řešení kvalitního osvětlení v učebnách. Kritické je nejen zajištění dostatku osvětlení, jeho rovnoměrného rozložení, ale také zabránění jeho nadbytku.

V textu se věnujeme následujícím tématům:

- Důraz na soulad s legislativou a normami.
- Stanovení kvality osvětlení pro různé typy prostorů v souladu s legislativou, vyhodnocení parametrů.
- Možná technická řešení – Přehled řešení kvalitního osvětlení vedoucího k zajištění požadované světelné kvality vnitřního prostředí.
- Obsah zadání pro projekt řešení osvětlení a kdo ho pro zadavatele vytvoří.
- Obsah technické dokumentace pro realizaci kvalitního osvětlení a kdo ji zpracuje.

Úvod

Prostory pro výuku by měly nabízet bezpečné, klidné a pohodlné prostředí, inspirující ke vzdělávání a vzdělávání se. Současné vědecké poznatky prokazují, že dostatek jasného světla během dne podporuje celkovou bdělost, schopnost soustředění a další kognitivní funkce i celkové zdraví studentů i učitelů. Výzkumy provedené v administrativních budovách prokázaly závislost spokojenosti s kvalitou vnitřního prostředí a produktivity pracovníků. Kvalitní vnitřní prostředí v učebnách tedy podmiňuje dosahování dobrých studijních výsledků.

Zdraví představuje jedno z nejdůležitějších témat budoucnosti. Současný člověk tráví 90 procent svého času uvnitř budov. Školní učebny jsou místem, kde lidé ve věku školní docházky tráví nezanedbatelné procento času, průměrně 6 až 8 hodin denně. Kvalitní vnitřní prostředí s velkým množstvím denního světla je klíčem k tomu, aby se školy mohly stát zdravými místy k životu a práci.

Osvětlení v prostorách pro výuku

Dobré osvětlení je takové, které zajišťuje nejlepší zrakovou výkonnost, snižuje energetickou náročnost a uspokojuje biologické potřeby uživatelů. Kvalita osvětlení ve školách ovlivňuje závažným způsobem pracovní výkon žáků.

Legislativa

Prostory musí vyhovovat požadavkům na denní osvětlení dle ČSN 730580-1 a ČSN 730580-3 a požadavkům na osvětlení pracovních prostorů dle ČSN EN 12464-1. Splnění těchto předpisů je díky Nařízení vlády 361/2007 Sb. a Vyhlášce 268/2009 Sb. o technických požadavcích na stavby a závazné. Pro vytvoření zdravého vnitřního prostředí a současně dosažení energetických úspor na elektrickém osvětlení je vhodné navrhovat budovy s vysokým činitelem závislosti na denním světle (viz ČSN EN 15193, příloha C). Dále byla v roce 2018 na evropské úrovni přijata nová norma pro denní světlo EN 17037:2018, která bude v postupně implementována i do české legislativy.

Z výše popsaných norem vyplývá požadavek zajistit denní světlo ve všech prostorech s trvalým pobytem osob (tj. více než 4 hodiny denně). V době nedostatku denního světla je třeba zajistit danou hladinu osvětlenosti, požadované rovnoměrné rozložení světla v prostoru a současně splnit požadavek energetické úspornosti. Normy specifikují požadavky na osvětlení vzhledem k funkci prostoru, tj. předpokládané zrakové činnosti. Z tohoto pohledu lze požadavky na osvětlení v učebnách srovnávat s požadavky na pracovní prostředí v administrativních budovách. Je však třeba přihlídnout ke dvěma specifickým faktorům, které mohou požadavky na vnitřního prostředí značně ovlivnit. Jedná se o nízký věk uživatelů, a velkou variabilitu aktivit včetně využívání moderních technologií, které jsou v rámci moderní výuky v prostoru učebny vykonávány.

Osvětlení pro děti a dospívající

Současné vědecké výzkumy jednoznačně prokazují neopominutelný vliv osvětlení ve vnitřním prostředí na pracovní výkon a zdraví člověka. Teprve po roce 2001 byla popsána funkce oka jako čidla synchronizace vnitřních biologických hodin organismu s vnějším časem ve společnosti. Intenzivní světlo ve dne je významným signálem pro zajištění časové synchronizace organismu s vnějším světem, tj. pro podporu aktivity, bdělosti, koncentrace během dne a současně pro umožnění regenerace v noci. Porušení této synchronizace znamená řadu velmi významných negativních vlivů na kvalitu života a zdraví, například sníženou kvalitu spánku a tím i dlouhodobě horší schopnost koncentrace a učení se. A právě školy jsou místa s vysokým zastoupením duševní práce. Učení se, kreativita, myšlení jsou hlavním úkolem studentů. Prostory v těchto budovách by mělo tyto činnosti v maximální míře podporovat. Současně jsou lidé během dospívání a v rané fázi dospělosti díky hormonálním změnám v organismu prokazatelně nejcitlivější skupinou na dodržování tzv. světelné hygieny, tj. pobyt v prostředí s jasným světlem během dne a redukce osvětlení v noční době. Důležitá je právě proměnlivost světla během dne a velký kontrast jasného denního světla ke tmě v noci. Nejnovější vědecké studie na příklad prokazují významně lepší studijní výsledky studentů sedících v blízkosti oken, tj. kteří mají dostatek denního světla. Toto poukazuje na významnost kvality a kvantity osvětlení ve školách. I přes tyto zásadní poznatky vlivu světla na zdraví a kognici nebyly prozatím biologické potřeby organismu zaneseny do legislativních podkladů.

Moderní technologie ve výuce

Dle požadavků normy by veškeré vzdělávací prostory měly v maximální míře využívat denní světlo jako primární zdroj světla. Na druhou stranu, přímé sluneční záření je v dnešních učebnách (obdobně jako v kancelářích) v podstatě nežádoucí, zejména z důvodů rizika oslnění, nepřiměřeně vysokých kontrastů v zorném poli, neheď na přehřívání učeben. Moderní výuka také stále častěji využívá elektronické zobrazovací pomůcky, jako jsou monitory počítačů, projektory a interaktivní tabule. Pro zajištění čitelnosti zobrazované informace je nutno dosáhnout dostatečného kontrastu promítaného textu. V praxi to často vede k nutnosti snížení celkové osvětlenosti v místnosti, zpravidla jsou dlouhodobě stíněna okna a je omezena intenzita umělého osvětlení. Toto však je v přímém rozporu s požadavky na zdravé světelné prostředí, jak je vyžaduje náš organismus pro zajištění dobré synchronizace biologických hodin, psychické pohody a podpory duševní činnosti. Aby osvětlení

učeben mohlo být dostatečně intenzivní a současně neomezovalo využívání moderních výukových metod, je třeba soustředit se na rovnoměrnou distribuci světla v prostoru, využívat zdroje rovnoměrně rozptýleného světla místo zdrojů světla pouze přímého, směrového a pomocí jednoduchého ovládání umožnit adaptaci osvětlení dle aktuální aktivity atd.

Požadavky vyplývající z výše popsaných fyziologických změn během dospívání a z proměny zrakových činností během výuky nejsou prozatím reflektována v legislativě. Pro dosažení kvalitního světelného prostředí a dobrého fungování prostor pro výuku jsou však zásadní.

Požadavky na osvětlení

Tento text není a ani se nesnaží být vyčerpávajícím přehledem legislativních požadavků. Jedná se spíše o upozornění na důležité, často opomíjené faktory specifické pro školské stavby, jejich komentář a uvedení do souvislostí. Splnění všech požadavků v praxi je často nemožné, jednotlivé potřeby mohou být vzájemně protikladné. Pochopení příčin a důsledků však umožňuje hledat vhodné kompromisy.

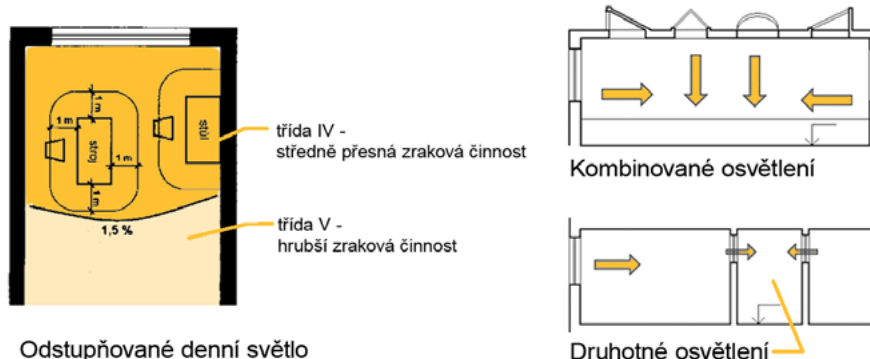
Přirozené osvětlení

Hmotové řešení a umístění na pozemku

Objekty je nutno umístit tak, aby byl zajištěn přístup denního světla k osvětlovacím otvorům učeben. Všechny učebny v nově navrhovaných budovách musí mít vyhovující denní osvětlení. Výjimkou mohou být pouze speciální učebny a posluchárny. Pro dosažení dobré distribuce denního světla ve výukových místnostech se doporučuje využití kombinovaného (boční a horní) nebo vícestranného bočního denního osvětlení.

Vhodně navržené kombinované či vícestranné osvětlení umožňují reagovat na aktuální polohu slunce, například stínit jednu fasádu žaluziemi, ale současně umožnit přístup dennímu světlu z jiné strany učebny. Kombinované či vícestranné osvětlení se nejlépe instaluje v budovách rozvolněného tvaru, pavilonové či hřebínkové dispozice. Kompaktní dispoziční řešení, monobloky s centrální chodbou jsou z tohoto pohledu méně vhodné řešení. Pokud je nutno, lze řešit část oken jako druhotné osvětlení (např. přisvětlení přes chodbu), okna bez výhledu do okolí (vysoký parapet pro zajištění soukromí) atd.

V rekonstruovaných objektech lze využít odstupňovaného denního světla, pokud prostorové řešení učebny odpovídá nárokům na příslušné zrakové činnosti.



Obrázek: Schématické znázornění prostorů s aplikací odstupňovaného denního světla (v půdoryse), kombinovaného a druhotného osvětlení (v řezu)

Pokud není z důvodů konstrukčních či dispozičních možno zajistit vícestranné denní osvětlení, je vhodné podpořit distribuci denního světla některým z pokročilých fasádních systémů, například anidolickými fasádními prvky, které díky odrazu světelného záření o světlý strop místnosti zvyšují dosah denního světla do hloubky prostoru. Pro zlepšení rovnoměrnosti lze doplnit alternativní prvky pro přívod denního světla, například světlovody. Nelze však očekávat, že tyto prvky zajistí samy o sobě denní světlo potřebné kvantity.



Obrázek: Anidolická fasáda: Řez fasádou (vlevo), počítačová simulace distribuce denního světla v prostoru s běžným zasklením (uprostřed) a anidolickou fasádou (vpravo).

Dostatečnost denního osvětlení se prokazuje výpočtem či měřením skutečného stavu.

Jako stínící prvky je třeba posuzovat i vzrostlou zeleň, což je v praxi často přehlíženo. Stromy s potenciálně rozlehlou korunou se tedy doporučuje umísťovat tak, aby v nadměrné míře nestínily učebny, tj. s odstupem od fasády či v místech mimo okenní otvory.

Přístup přímého slunečního záření výukových místností se nevyžaduje, u speciálních učeben (laboratoře, učebny s monitory) se z důvodu zvýšeného rizika oslnění nebo nedostatečného kontrastu (viditelnosti) na monitoru nedoporučuje.

Naopak, velmi vhodné je umožnit přístup přímého slunce do prostoru mimo učebny, jako jsou prostory školní družiny, pobytové relaxační místnosti, i další často přičleněné funkce, například mateřská školka.

Venkovní prostory určené pro pobyt žáků a zejména dětí z MŠ musí být dostatečně prosluněny, preferuje se jejich umístění na osluněné straně objektu.

Tento požadavek může značně ovlivnit umístění budovy na pozemku, ale také její hmotové i dispoziční řešení. Ideální je umožnit přímý přístup do exteriéru z učeben nejmladších žáků. Tento venkovní prostor by měl mít dostatek slunce, ale současně by přímé sluneční záření nemělo rušit zrakový komfort v učebnách.

Úroveň a rovnoměrnost denního osvětlení

Úroveň denního osvětlení se posuzuje dle činitele denního osvětlení D , tj. poměru mezi osvětleností venkovní horizontální nestíněné roviny k osvětlenosti v bodech měřicí sítě na vnitřní srovnávací rovině, která je umístěna ve výšce 0,85 m (u předškolních zařízení 0,45 m) nad podlahou místnosti. V prostorách pro sport je tato rovina shodná s úrovní podlahy. Činitel denního osvětlení lze stanovit měřením nebo výpočtem.

V běžných učebnách norma předepisuje třídu zrakové činnosti IV. Prostory s vyššími nároky na zrakovou činnost, například učebny výtvarné výchovy, laboratoře spadají z hlediska požadavků na denní osvětlení do třídy zrakové činnosti III. Shromažďovací haly, auly, jídelny atd. lze zařadit do zrakové třídy V, komunikace a šatny do třídy VI. U sousedících prostor, mezi kterými se často přechází, je třeba dodržovat poměr denního osvětlení max. 1 : 5.

V předškolních zařízeních jsou rozhodujícími zrakovými činnostmi dětské hry jak pohybové, tak s hračkami a hry s výtvarnými prvky, kreslením atd. zpravidla spadající do třídy IV. Závažnou úlohu hraje skutečnost, že zrakový orgán dětí se teprve vyvíjí.

Tabulka: Třídění zrakových činností a hodnoty činitele denního osvětlení (vybrané požadavky dle ČSN 73 0580-1)

Třída zrakové činnosti	Charakteristika zrakové činnosti	Příklady zrakových činností	Hodnota činitele denního osvětlení D v %	
			$D_{\min}$ minimální	D_m průměrná
III	přesná	rýsování, technické kreslení, obtížné laboratorní práce	2	6
IV	středně přesná	čtení, psaní rukou i strojem, běžné laboratorní práce	1,5	5
V	hrubší	Hrubší práce, manipulace s předměty, konzumace jídla, oddechové činnosti, základní a rekreační tělovýchova, čekání	1	3
VI	velmi hrubá	Udržování čistoty, mytí, převlékání, chůze po komunikacích přístupných veřejnosti	0,5	2

V učebnách je požadován vodorovný výhled oknem. Pro žáky ve věku 6-14 let je z tohoto důvodu požadavek na největší výšku spodní hrany zasklení maximálně 1,05 m, u věkové skupiny do 6 let 0,75 m, u starších než 14 let musí být spodní hrana zasklení ve výšce maximálně 1,2 m. Nová evropská norma dále kvantifikuje také vizuální kontakt s okolím. Stanovuje doporučený horizontální úhel, pod kterým by měl uživatel ze svého místa v prostoru vidět do exteriéru.

Rozmístění nábytku vůči osvětlovacím otvorům se navrhuje tak, aby při běžném směru pohledu nedocházelo k oslnění. Není možné umísťovat osvětlovací otvor ve stěně za tabulí, nebo je nutno umožnit zastínění otvoru neprůsvitným materiálem tak, aby jeho činitel odrazu nepřekračoval činitel odrazu okolní stěny.

Jak již bylo řečeno, prostory pro výuku je nutno chránit před vnikáním přímého slunečního záření, které by mohlo zhoršovat zrakovou pohodu a oslňovat, ale současně je důležité umožnit v maximální míře přístup denního světla a zrakové propojení s vnějším prostředím (zahradou) – např. vhodnou orientací okenních otvorů, využitím fasádních systémů např. viz příloha H.5.1 ČSN EN 15193.

Světlá malba na stěnách podporuje šíření světla v prostoru. Zasklení oken výukových místností je požadováno čiré, materiály nezkreslující barevný tón světla.

Dobré distribuci denního světla v místnostech napomáhá, pokud jsou okna osazena co nejbližší pod stropem s bílým povrchem. Barevné řešení interiéru má významný vliv na kvantitu i kvalitu denního světla.

Požadavky na zrakový komfort a stínění

Při bočním osvětlení pracovní místa orientována tak, aby žáci nebyli oslňováni jasným osvětlovacím otvorem a ani si nestínili místo zrakového úkolu. Hlavní směr světla nejlépe zleva, případně zleva zepředu. Povrchy pracovních ploch a ostatní povrchy v dolní části zorného pole se navrhuje matné, světlé.

Zejména v současnosti, kdy je během výuky často využívána projekce nebo světelné interaktivní technika, je důležitým faktorem možnost kontrolovat kvantitu světla přicházející z exteriéru. Pro dobrý zrakový komfort při práci v místnostech s monitory / interaktivními tabulemi /

obrazovkami nesmí osvětlenost v místnosti příliš snížit kontrast (viditelnost) na monitoru, vznikat rušivé odrazy v důsledku zrcadlení oken na lesklém povrchu obrazovky, nebo docházet k zrcadlení vysoký jas světelných zdrojů.

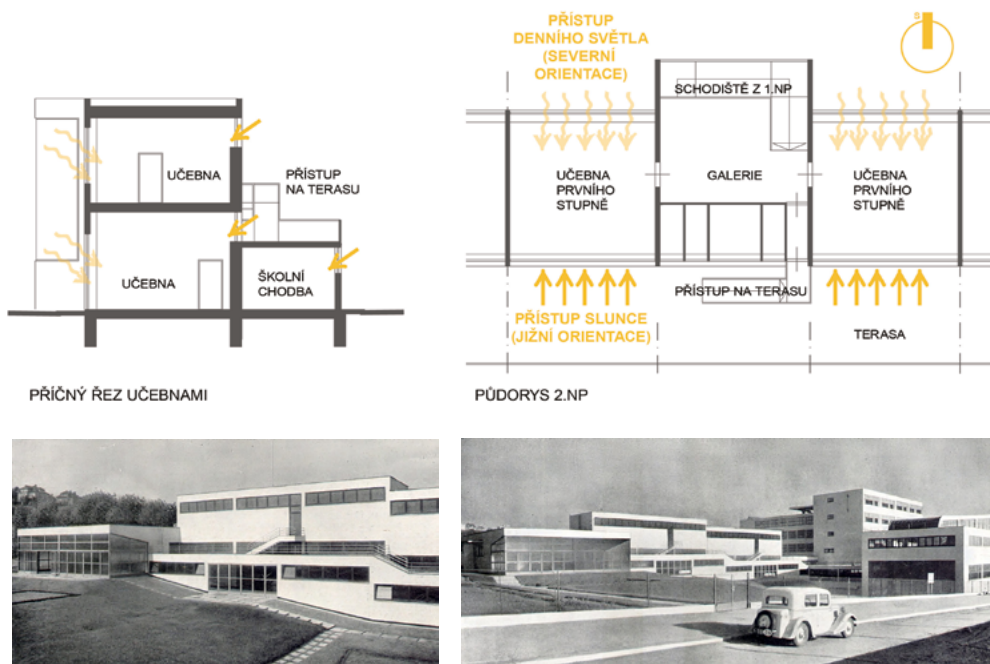
Regulace denního osvětlení musí být plynulá. Ochrana proti oslnění musí být funkční při všech typech oblohy.

Vzhledem k tomu, že není požadováno proslunění, lze místnosti orientovat na neosluněné strany. V ostatních případech je nutné mít systém pro regulaci přímého slunečního světla. Pro hodnocení rušivého oslnění okny lze použít různé výpočtové metody, prozatím neexistuje jednotný výpočtový postup, výpočet UGR je určen pouze pro umělé osvětlení.

Příklady realizací s nadstandardním denním osvětlením

Jako příklad dobrého řešení denního světla lze uvést budovu ZŠ Bílá, Praha Dejvice od architekta Gillara z roku 1934. Učebny prvního stupně jsou osvětleny ze dvou protilehlých stran. Velké prosklení severní fasády je orientováno do zahrady s přístupem přímo z učeben. Pod stropem protější (jižní) stěny je umístěn pás nízkých oken, který umožňuje přístup denního světla i přímého slunce, avšak lze stínit v době, kdy by přímé sluneční světlo mohlo rušit zrakový komfort v místnosti. Stále je však zajištěn stále dostatek denního světla a vizuální kontakt se zahradou díky severní orientaci hlavních oken. Předchází se také problémům s přehříváním.

„Hlavní zásadou řešení bylo podržeti co možná největší sluneční plochy, t. j. řešiti sestavení budov tak, aby nebyly překážkou slunci, které má pronikat do všech míst staveniště, volných prostorů i místností v budově. Přístup slunce do místností-učeben byl však regulován; jednalo se o to, získati dostatečné množství slunce k jakési desinfekci místností, ale jen tolik, aby nebylo překážkou vyučování a neškodilo zraku. Proto byly učebny řešeny s dvojími okny, tak umístěnými, že na neslunnou stranu navržena okna velká, t. zv. osvětlovací, a proti těmto pak okna menší, slunečná. Poměr těchto oken byl stanoven přesným výpočtem. Toto osvětlení má tu výhodu, že zamezuje tvoření vržených stínů a lze tudíž lavice žáků a tabuli situovati libovolně, a přizpůsobiti třídu nejrůznějším kombinacím pedagogického vyučování.“ ... a takto přemýšleli naši předkové v roce 1934.



Obrázek: Základní škola Bílá, Praha Dejvice od architekta Gillara z roku 1934. Řez učebnami, půdorys horního patra, archivní fotografie (zdroj archiweb.cz).

Umělé osvětlení

Denní světlo v době jeho nedostatku je třeba doplnit vhodným systémem umělého osvětlení. Požadavky na osvětlovací soustavy v prostorech na výuku jsou do značné míry specifické od běžných osvětlovacích soustav. Základem úspěchu je vytvoření takové distribuce světla v prostoru, která umožní dobrou čitelnost elektronické zobrazovací techniky i při relativně vysoké osvětlenosti. Dalším kritériem je volba vhodných světelných zdrojů, kvalitou blízkých přirozenému dennímu světlu. I přes zřejmou významnost problematiky a její důsledky na zdraví a kvalitu vzdělání nejsou prozatím k dispozici komplexní řešení optimalizovaná pro výukové prostory.

Sdružené osvětlení lze využívat pouze v případě krátkodobého uspořádání lavic jinak než čelem k tabuli.

Osvětlenost v místě zrakového úkolu, na pozadí úkolu

V normě Světlo a osvětlení – Osvětlení pracovních prostorů – Vnitřní pracovní prostory ČSN EN 12464-1:2002 je specifikován přehled požadavků na osvětlení dle funkce jednotlivých prostorů. Požadavky se týkají se převážně osvětlení umělého, přestože to není výslovně uvedeno. Pro každý typ prostoru je uveden požadavek na udržovanou osvětlenost E_m , maximální mezní hodnoty indexu oslnění podle UGR, minimální rovnoměrnosti osvětlení U_0 a minimální indexy podání barev Ra. Při sdruženém osvětlení nutné navýšení minimální celkové osvětlenosti. Výška horizontální srovnávací roviny ve školních učebnách 0,85m pro denní osvětlení, pro umělé odpovídá převládající výšce lavic.

Tabulka: Požadavky na osvětlení - Vzdělávací zařízení - Školské (vybrané požadavky dle ČSN 12464-1)

Druh prostoru, úkolu, činnosti	$\bar{E}_m$	UGR	U_0	R_a	Specifické požadavky
Učebny, konzultační místnosti	300	19	0,6	80	regulovatelné
Učebny pro večerní studium a vzdělávání dospělých	500	19	0,6	80	regulovatelné
Auditoria a posluchárny	500	19	0,6	80	Regulovatelné, musí splňovat požadavky na audiovizuální prezentace
Černé, zelené a bílé tabule	500	19	0,7	80	Zrcadlovým odrazům je nutno zabránit. Přednášející musí být osvětlen vhodnou vertikální osvětleností
Demonstrační stůl	500	19	0,7	80	V přednáškových sálech 750 lx.
Místnosti pro výtvarnou výchovu	500	19	0,6	80	
Místnosti pro výtvarnou výchovu v uměleckých školách	750	19	0,7	80	5000 K < T_{CP} 6500 K
Kreslárny pro technické kreslení	750	16	0,7	80	
Místnosti pro praktickou výuku a laboratoře	500	19	0,6	80	
Místnosti pro ruční práce	500	19	0,6	80	
Učební dílny	500	19	0,6	80	
Místnosti pro hudební cvičení	300	19	0,6	80	
Počítačové učebny	300	19	0,6	80	Další požadavky na práci s displeji!
Místnosti vyučujících	300	19	0,6	80	
Knihovny – police	200	19	0,6	80	
Knihovny – čítárny / místa pro čtení	500	19	0,6	80	
Sportovní haly, tělocvičny, plavecké bazény	300	22	0,6	80	Pro tréninkové prostory specifické požadavky
Školní jídelny	200	22	0,6	80	
Kuchyně	500	22	0,6	80	
Komunikační prostory, chodby	100	25	0,4	80	
Schodiště	150	25	0,4	80	
Společenské místnosti, shromažďovací haly pro studenty a žáky	200	22	0,6	80	

Tabulka: Požadavky na osvětlení - Vzdělávací zařízení - Mateřské školy, jesle (vybrané požadavky dle ČSN 12464-1)

Druh prostoru, úkolu, činnosti	$\bar{E}_m$	UGR	U_0	R_a	Specifické požadavky
Místnosti pro dětské hry	300	22	0,4	80	Velké jasy mají být vyloučeny pro směry pohledu zdola použitím rozptylných krytů
Dětské pokoje	300	22	0,4	80	Velké jasy mají být vyloučeny pro směry pohledu zdola použitím rozptylných krytů
Místnosti pro ruční práce	300	19	0,6	80	

Požadavek je definován pro místo zrakového úkolu, od tohoto místa se dále odvozují požadavky na okolí, například:

- Místo zrakového úkolu = prostor s lavicemi a stůl učitele.
- Bezprostřední okolí = prostor sloužící výuce, nejméně 0,5 m kolem místa zrakového úkolu v zorném poli.
- Pozadí úkolu = plocha přiléhající k bezprostřednímu okolí, široká alespoň 3 metry.

V prostorech pro administrativu a často také v učebnách se navrhuje zapojení svítidel do skupin dle vzdálenosti od okenních otvorů s cílem umožnit zvýšení osvětlenosti v hloubce místnosti. Tento systém zapojení svítidel není v případě učeben zcela vhodný. V prostoru u tabule je vhodné doplnit svítidla se samostatnou regulací, nezávisle na osvětlení v prostoru lavic žáků. Toto umožňuje zvýšit osvětlenost pro komfortní čtení tabule, nebo ji snížit při využívání světelné projekce. Je také třeba volit umístění a typy svítidel, které na lesklé ploše tabule nevytvářejí nežádoucí odlesky.

Jasové poměry v zorném poli, oslnění, směrovost světla, flicker

Pro umělé osvětlení se stanovuje index hodnocení oslnění od svítidel UGR v zorném poli. V učebnách je požadováno $UGR \leq 19$. Zrcadlení na tabuli při pohledu ze všech pracovních míst musí být vyloučeno. Pro posouzení dostatečného prosvětlení celého prostoru (stropu, stěn, tj. nejen vodorovné srovnávací roviny) se zjišťuje udržovaná válcová osvětlenost ($\bar{E}_z$), která by neměla být menší než 150 lx při rovnoměrnosti $U_0 > 0,10$. Míhání světla, tzv. flicker, je u osvětlení učeben nepřijatelné.

Ve výukových prostorách by měl být vyvážený poměr mezi směrovým a rozptýleným světlem, který pomáhá dobrému prostorovému rozložení světla a umožňuje přesné vnímání tvarů i detailů. Nekryté světelné zdroje v zorném poli jsou častou příčinou oslnění, proto je třeba volit svítidla s kvalitními difusory, a to i za cenu částečného snížení účinnosti.

Monitory a obrazovky

Při čtení z obrazovky nesmí osvětlenost v místnosti příliš snížit kontrast (viditelnost) na monitoru, nesmí vznikat rušivé odrazy (zrcadlení oken), nebo docházet k oslnění díky nadměrnému jasů okenních otvorů v zorném poli. Učebny, kde se využívají zobrazovací jednotky (monitory, světelné tabule, projektory...) je vhodné umisťovat do neoslněných prostor. Je třeba volit zobrazovací zařízení s vysokým jasnem, která jsou schopna zajistit dostatečnou míru kontrastu i za běžných hladin osvětlenosti.

Zobrazovací technika se v poslední době stala jednou z nejdůležitějších pomůcek při výuce. Její parametry jsou klíčové pro dobrou viditelnost a čitelnost informací a ve svém důsledku zásadně ovlivňují světelné podmínky v místnosti. Instalace kvalitní zobrazovací techniky je tedy určující pro vytvoření kvalitního světelného prostředí ve školách, s trochou nadsázky ji lze vnímat jako další světelný zdroj.

Barva světla, podání barev

Zasklení oken je z normy požadováno čiré, materiál zasklení nesmí zkreslovat přirozený barevný tón denního světla.

Barevný tón umělého osvětlení je v normě specifikován pouze při využití sdruženého osvětlení, kdy se světlo z umělého zdroje míchá se světlem denním. Pro osvětlenost 200 až 750 lx je doporučeno instalovat zdroje s náhradní teplotou chromatičnosti 4000-5000 K, tj. blízkou dennímu světlu.

Zdroje s barevným tónem blízkým dennímu světlu jsou vhodné v denní době, tj. v době, kdy je dostupné denní světlo. V případě, že se v učebnách předpokládá výuka po západu slunce, mohou zdroje s vyšší náhradní teplotou chromatičnosti působit rušivě. Pokročilé osvětlovací systémy využívají zdroje s proměnlivým spektrálním složením (až 5000 K ve dne a méně než 3000 K večer/ v noci), případně kombinují dva systémy osvětlení, optimalizované pro denní a večerní použití. Regulace těchto systémů je vhodná spojitá, řízení automatické dle časového algoritmu a údajů z čidla denního světla, doplněná možností manuální úpravy.

Požadavek normy na index podání barev (R_a) je nejméně 80. Jedná se o požadavek minimální, který historicky vychází z technologických možností běžných zářivek. Současné světelné zdroje jsou schopné zajistit R_a 90, 95 i více. Vzhledem k tomu, jak náročnou činnost žáci a studenti v učebnách vykonávají a že zde tráví velkou část bdělého dne, je žádoucí instalovat osvětlení s vyšší kvalitou.

Variabilita světla

Variabilita světla (světelné intenzity a spektrálního složení) během dne je důležitá pro lidské zdraví a celkovou pohodu. Pro podporu cirkadiánní synchronizace denního rytmu v organismu je vhodné vytvořit světelné prostředí s výrazně vyšší dynamikou, než je popsáno v normě. Pokročilé systémy umělého osvětlení jsou schopné částečně napodobit dynamiku přirozeného osvětlení. Je však třeba zajistit výrazně vyšší instalovaný výkon, než je obvyklé. Další požadavky jsou kladeny na jednoduché, intuitivní ovládání.

Koncept osvětlení

Koncept osvětlení, který předkládává architekt/projektant stavebníkovi, by měl vždy obsahovat následující informace:

- Výpočtem doložený průměrný a nejmenší činitel denní osvětlenosti, určit rovnoměrnost denního osvětlení v minimálně jedné nebo více referenční učebně základní školy.
- Popis konceptu ochrany proti vnikání přímého slunečního světla do učeben základní školy. Je možné například doložit pomocí diagramu zastínění, že přímé sluneční světlo do prostoru nevniká, nebo je jeho pronikání zabráněno vlastnostmi fasádního pláště, pevnými nebo mobilními stínícími prvky. Je vhodné doložit specifikaci fasádních elementů, popis řízení nebo ovládání systému.
- Vypracované varianty dispozičního řešení uspořádání nábytku v učebnách tak, aby nedocházelo k riziku oslnění žáků vysokým jasnem v zorném poli. V případě užití odstupňovaného osvětlení je nutné definovat jednotlivé zóny.

Při navrhování systému umělého osvětlení je vhodné pro jednotlivé prostory stanovit požadavky na osvětlenost včetně požadavků na stmívání, požadavky na světelné zdroje, směrovost světla, časovou a prostorovou regulaci (dynamika osvětlení, světelné režimy) a způsob řízení systému. Jednotlivé požadavky je třeba přesně specifikovat dle funkce prostorů, lišit se bude například učebna výtvarné výchovy, nebo počítačová učebna.

Dále je třeba posoudit navrhovaný koncept osvětlení z řady dalších pohledů. Je třeba určit energetickou náročnost nejen při provozu, ale i v pohotovostním režimu. Srozumitelnost a jednoduchost ovládání jsou klíčové pro správné používání systému. Provozní hlediska stanoví náročnost údržby, automatický monitoring technického stavu světelných zdrojů může předcházet poruchám atd. Samostatným projektem se řeší bezpečnostní a nouzové osvětlení.

Použitá literatura v kapitole Osvětlení

- Vyhláška č. 410/2005 Sb. o hygienických požadavcích na prostory a provoz zařízení a provozoven pro výchovu a vzdělávání dětí a mladistvých.
- Vyhláška č. 268/2009 Sb. o technických požadavcích na stavby.
- ČSN 73 0580-1 (2007). Denní osvětlení budov – Část 1: Základní požadavky. Česká technická norma (ČSN).
- ČSN 73 0580-3 (2007). Denní osvětlení budov – Část 3: Denní osvětlení škol. Česká technická norma (ČSN).
- ČSN EN 12464-1 (2003) Světlo a osvětlení – Osvětlení pracovních prostorů – Část 1: Vnitřní pracovní prostory. Česká technická norma (ČSN). Kat. čís.: 67592.



Česká rada pro šetrné budovy
www.czgbc.cz

Ve spolupráci s:



Univerzitní centrum energeticky
efektivních budov ČVUT
www.uceeb.cz



Frank Bold Advokáti
www.fbadvokati.cz

Partneři:



Svaz měst a obcí České republiky
www.smocr.cz



Národní centrum energetických úspor
www.nceu.cz



MINISTERSTVO
PRŮMYSLU A OBCHODU

Dílo bylo zpracováno za finanční podpory Státního programu na podporu úspor
energie na období 2017-2021 – Program EFEKT 2 pro rok 2018

www.mpo-efekt.cz

