

The VELUX logo is positioned in the top right corner of the image. It consists of the word "VELUX" in a bold, white, sans-serif font, with a registered trademark symbol (®) to its upper right. The logo is set against a solid red rectangular background.

# ŠTAVÍME LEPŠÍ ŠKOLY

ŠEST ZPŮSOBŮ, JAK POMOCI DĚTEM S UČENÍM

---

# 64 mil.

Evropských dětí  
ve školním věku a

# 4,5 mil.

učitelů stráví asi

# 200

dnů za rok ve škole

---

Děti tráví asi

# 70 %

času v budovách,  
což odpovídá téměř

# 1

roku (platí pro celou  
základní školní docházku)

...a celá řada studií ukazuje,  
že dobře navržená škola pod-  
poruje nejen získávání znalostí  
a vědomostí, ale i zdraví a po-  
hodu dětí.

---

# ÚVOD

Tato otázka je dnes možná důležitější než kdy dříve. Vzhledem k demografickému vývoji lze nejen u nás, ale v celé kontinentální Evropě a ve Velké Británii v dohledné době očekávat velký boom ve výstavbě a rekonstrukci škol, jaký jsme nezažili od 70. let 20. století. Pro architekty i pedagogy je to skvělá příležitost znovu se zamyslet nad tím, jakou roli ve výchově mládeže škola hraje a jak lze rozvrhnout její fyzické prostředí, aby mělo pozitivní vliv na učení.

Přemýšleli jste někdy o tom, že 1,3 milionů českých dětí stráví ve škole více času než kdekoli jinde, vyjma svých domovů? Školu navštěvují asi 195 dnů v roce, což odpovídá téměř jednomu celému roku ve třídě po celou dobu základní školy<sup>1</sup>. Jak můžeme lépe navrhnout školní třídu, aby byla zdravější a více pomáhala výsledkům učení?

## Nové výzkumy

Nedávná studie zveřejněná profesorem Peterem Barrettem a jeho týmem odborníků na navrhování škol z univerzity v britském Salfordu přinesla jasné důkazy o tom, že dobře navržená základní škola může zásadně přispět ke zlepšování výsledků dětí ve čtení, psaní a matematice. Průlomová studie HEAD (Holistic Evidence and Design)<sup>1</sup> jež vchází z výzkumu za účasti 3766 žáků po dobu jednoho roku, dospěla k závěru, že rozdíly ve fyzických parametrech tříd mají 16 % podíl na rozdílech v prospěchu. Jednoduše řečeno, čím lépe je třída navržena, tím lepších výsledků děti dosahují.

## Hlavní prvky návrhu

Zjištění zveřejněná ve zmíněné studii HEAD ukazují, že některé prvky rozvržení třídy jsou klíčové pro lepší proces učení.

Jsou to:

1. Denní osvětlení
2. Kvalita vnitřního vzduchu
3. Teplota
4. Akustika místnosti
5. Rozvržení třídy
6. Stimulace

Studie jako první jasně prokázala vliv celkového fyzického rozvržení učebního prostoru na jeho uživatele, a to přímo v situacích ze skutečného života. Určité faktory jako např. kvalita vzduchu byly zkoumány už dříve, ale celkový vliv na žáky v reálných prostorech byl dosud jen odhadován na základě pocitů a přání. Výzkumníci projektu HEAD podrobně po dobu tří let zkoumali celkem 153 tříd v 27 různých školách a shromažďovali statistická data o prospěchu žáků.

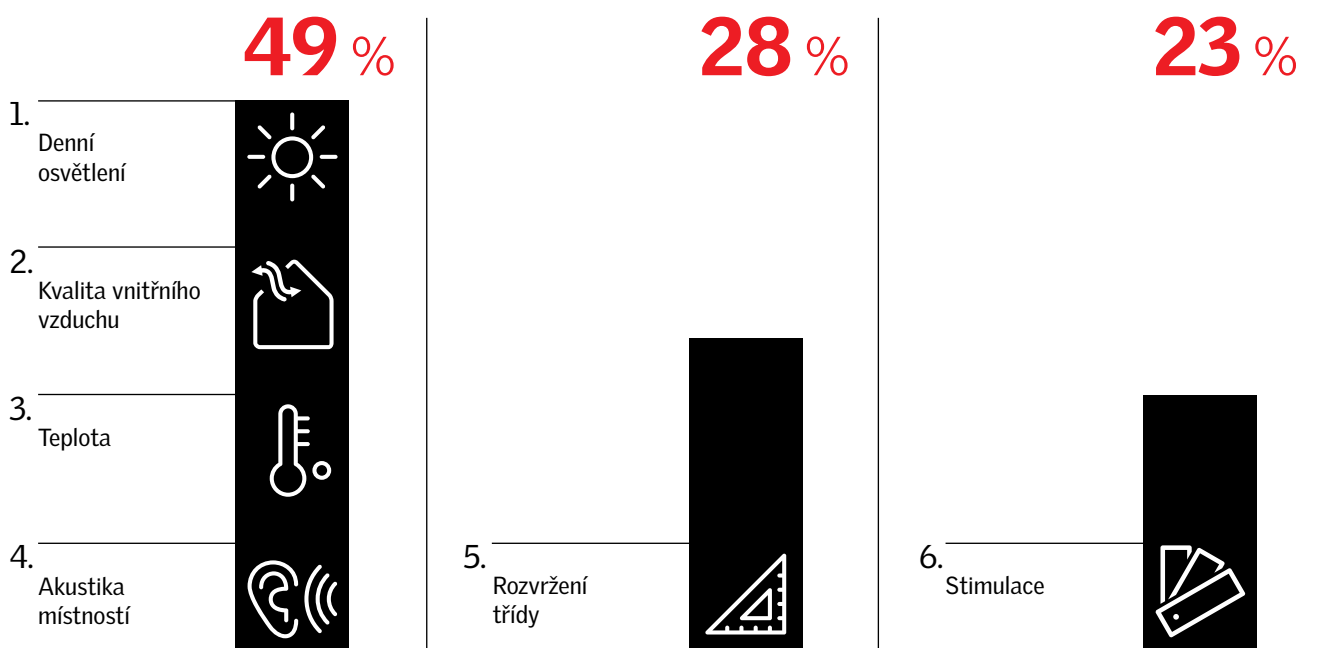
## Význam smyslových faktorů

Studie, která zohledňuje širokou škálu smyslových faktorů, prostřednictvím víceúrovňového statistického modelování izolovala vliv rozvržení třídy od jiných faktorů, jako jsou samotní žáci nebo jejich učitelé.

Jak vědci ve zprávě uvádí: „Překvapivě se ukázalo, že faktory na úrovni školy jako celku (např. rozměry, orientace, speciální vybavení, herní zařízení) nejsou ani zdaleka tak důležité, jako rozvržení jednotlivých tříd. Závěr je tedy jasný: třída musí být především dobře dispozičně navržena.“

<sup>2</sup> Clever Classrooms – Summary Report of the HEAD

## DOPAD NA UČENÍ





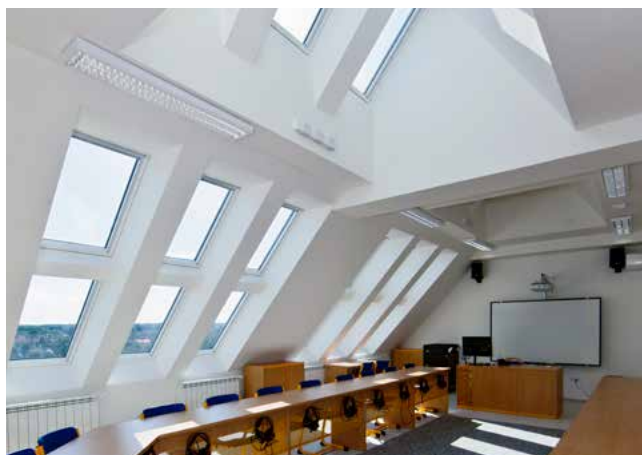


## OBSAH

Denní světlo	5
Příklad: ZŠ Radotín	10
Vnitřní kvalita vzduchu	14
Příklad: ZŠ Staré Město	16
Akustické prostředí	19
Teplota	21
Příklad: ZŠ a ZUŠ Líbeznice	24
Rozvržení třídy	27
Stimulace	30



DENNÍ SVĚTLO



PŘÍKLAD: ZŠ STARÉ MĚSTO



PŘÍKLAD: ZŠ A ZUŠ LÍBEZNICE



PŘÍKLAD: ZŠ RADOTÍN



VNITŘNÍ KVALITA OVZDUŠÍ



AKUSTICKÉ PROSTŘEDÍ



TEPLOTA



ROZVRŽENÍ TŘÍDY



STIMULACE









# 1. DENNÍ SVĚTLO

Všichni víme, že nejlepší protilátkou na „zimní chmury“ je odpočinek v teplejším, slunečnějším podnebí s písečnými plážemi a křišťálově modrou vodou. Osvěžující účinek přírodního světla a tepla můžeme pocítit i v menším měřítku a v nejrůznějších prostředí od našich domovů a kanceláří přes veřejné budovy až po školy a univerzity. Není tedy žádným překvapením, že nedávná studie<sup>1</sup>, která se zabývala fyzickým rozvržením vzdělávacích budov a jeho vlivem na výkony studentů, identifikovala osvětlení jako jeden z významných individuálních parametrů.

<sup>1</sup> Impact of Lighting on School Performance in European Classrooms (2016). C. Maesano a I. Annesi-Maesano, CLIMA 2016, 12th REHVA World

## VÍCE DENNÍHO SVĚTLA ZLEPŠUJE UČENÍ

Studenti ve třídách s nejsilnějším denním osvětlením se zlepšili o:

20 %      26 %

v testech  
z matematiky

v testech  
z čtení

Studenti ve třídách s dobře navrženým světlíkem a střešním oknem se zlepšovali o:

19–20 %

rychleji než ve třídách bez světlíku

Studenti ve třídách s otevíravými okny se zlepšovali o:

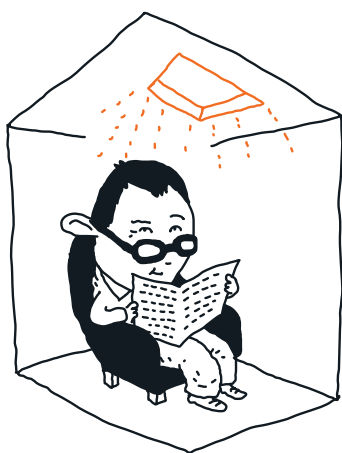
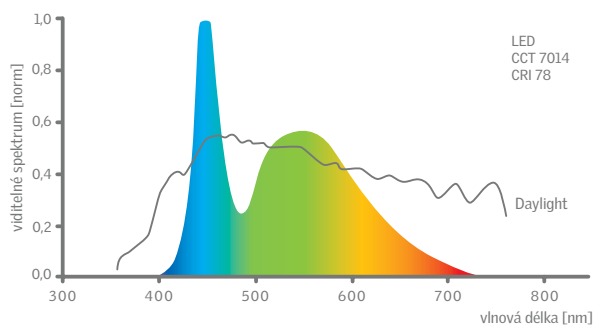
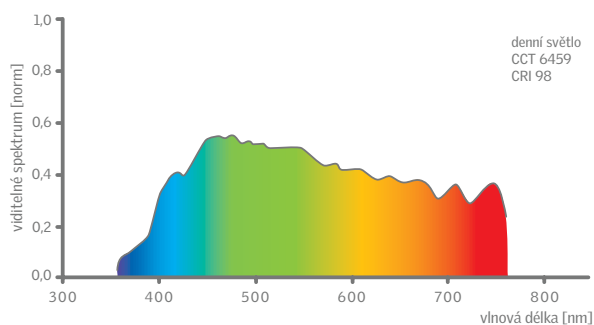
7–8 %

rychleji než ve třídách s pevnými okny

1999 by George Loisos for The California Board for Energy Efficiency Program. Data poskytl HESCHONG MAHONE GROUP  
Výsledky testů více než 21 000 studentů ve 2000 třídách z okresů v Orange County (Kalifornie), Seattlu (Washington) a Fort Collins (Colorado).

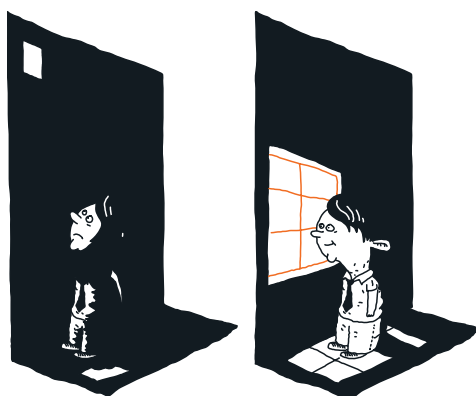
#### 4 způsoby, jak zlepšit denní osvětlení

1. Zajistit v projektu školy nebo třídy, aby denní světlo bylo dominantním zdrojem světla po většinu dne.
2. Zvolit takové systémy zastínění, které zaručí jeho vysokou kvalitu.
3. Soustředit se na nejvíce využívané prostory ve školách – investovat do řešení denního osvětlení tam, kde studenti skutečně pobývají – a v případě potřeby ponechat v místnosti i poněkud tmavší místa.
4. Zapracovat úspěšná architektonická řešení denního osvětlení do celkového návrhu školy.



#### Více denního světla zlepšuje učení

Žáci studující ve třídách s většími okny dosahovali o 15 % lepších výsledků v matematických a logických testech v porovnání s žáky z tříd s malými okny.



#### Doporučené hodnoty denního světla



schodiště  
150 LUX



šatna  
200 LUX



WC a koupelna  
200 LUX



jídélna  
300 LUX



třída  
300 LUX



počítačová učebna  
300 LUX



dílny  
500 LUX



laboratoře  
500 LUX



knihovna  
500 LUX

## Proč denní světlo?

Řada studií prokázala, že denní světlo je nejen dobré pro celkové zdraví a pohodu dětí, ale může výrazně zlepšit i jejich prospěch.

Pokud studenti pracují ve třídách s většími okny, mají o 15 % lepší prospěch, což je dáno jak větším přísunem denního světla, tak lepším výhledem do okolí.<sup>1</sup>

Studie Clever Classrooms<sup>2</sup>, kterou zpracovala univerzita v britském Salfordu, dospěla k závěru, že kvalitní denní osvětlení pomáhá vytvářet pocit fyzické a psychické pohody a jeho výhody jsou mnohem větší než jen lepší vidění.

## Jak v návrhu pracovat s denním světlem

Naši snahou by mělo být, aby denní světlo bylo ve školách tím hlavním zdrojem osvětlení. Při správné regulaci je denní světlo coby zdroj osvětlení v budovách žádoucí a vítané.

Jsou-li okna nebo střešní okna orientována na sever, je denní světlo proudící do interiéru měkčí a rozptýlenější a vykazuje v průběhu dne mírné změny v intenzitě a barevné struktuře. Při jiné orientaci zvyšuje sluneční světlo celkový jas v interiéru a vytváří silně osvětlená místa a velké kontrasty.

Práce s denním osvětlením je nejnáročnější ve třídách o velké hloubce, jejichž zadní stěna je daleko od oken. Výsledkem jsou velké rozdíly v intenzitě osvětlení – u oken je světla hodně, vzadu mnohem méně. V případech, kdy tvar nebo rozměry třídy neumožňují dostatečnou úroveň osvětlení a kde je omezený prostor pro fasádní okna, jsou často optimálním řešením střešní okna, světlíky nebo světlovody.

## Jak omezit oslňování

K oslňování dochází tehdy, jestliže máme v zorném poli příliš jasná místa, nebo při příliš velkém kontrastu. Oslňování způsobené denním světlem je nicméně jiné než

oslňování elektrickými světelnými zdroji, ať už se jedná o jeho intenzitu, komplexní rozložení svítivosti a subjektivní vnímání lidí (např. v prostředí s denním osvětlením jsou lidé k oslňování tolerantnější)<sup>4</sup>. Intenzivní denní světlo ve třídě prostřednictvím velkých oken a světlíků je sice optimální, ale i tak je nutno mít možnost jej regulovat, aby přímé sluneční záření nezpůsobovalo oslňování. Tento problém je v dnešní době stále naléhavější, protože ve školách stále více využíváme interaktivních tabulí a projektorů.

Jedním z důležitých faktorů, které je třeba v této souvislosti nutno vzít v úvahu, je orientace oken. Větší prosklené plochy by měly být ideálně orientovány na sever, aby dovnitř mohlo po celý den a po celý rok pronikat rozptýlené denní světlo. Další možností, jak účinně omezovat oslňování, je instalovat snadno ovladatelné neprůhledné vnitřní nebo venkovní rolety pro regulaci denního světla. Dále lze využít i dalších stínících prvků, jako jsou závěsy, zastíňovací rolety apod. z látky, fólie nebo perforovaných neprůhledných materiálů.

Neméně důležitá je i problematika kontrastů. Když se zamyslíme nad problémem oslňování a kontrastu, je zřejmé, že zásadním faktorem je rozdíl mezi absolutním a relativním jasnem. Vzpomeňte si, jak oslňující jsou dálková světla aut v noci, zatímco za dne si jich sotva všimnete. Podobně platí, že silný zdroj světla bude mnohem méně oslňovat a způsobovat menší kontrast v jinak dobře osvětlené místnosti než třeba jedno velké okno s přímým slunečním světlem v jinak tmavém prostoru. Doporučený „poměr jasů“ mezi místem vizuální činnosti a blízkým okolím v zorném poli je 1:10. Tato hodnota vyjadřuje poměr mezi jasnem ve středu zorného pole a jasnem prostředí na okrajích zorného pole<sup>3</sup>.



Ukládání vitamínu D



Vyšší produktivita



Hlubší spánek



Zrak



Spektrum

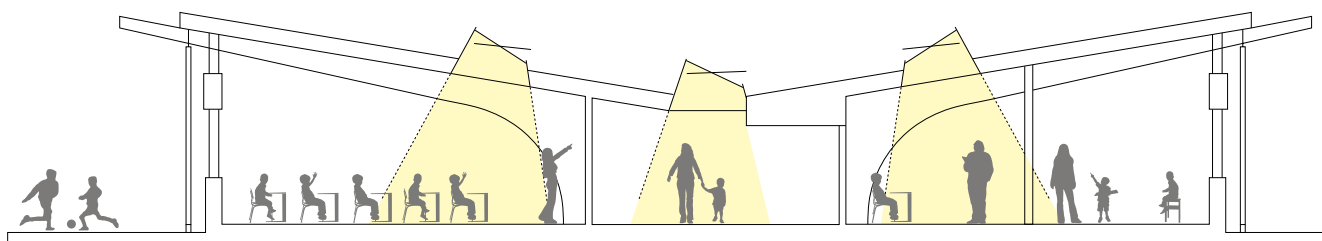


Úspora

<sup>1</sup> Impact of Lighting on School Performance in European Classrooms (2016)

C. Maesano a I. Annesi-Maesano, CLIMA 2016, 12th REHVA World Congress 2016, Aalborg

<sup>2</sup> Clever Classrooms (2015), Summary report of the HEAD project, University of Salford, Manchester





## Zajištění výhledu

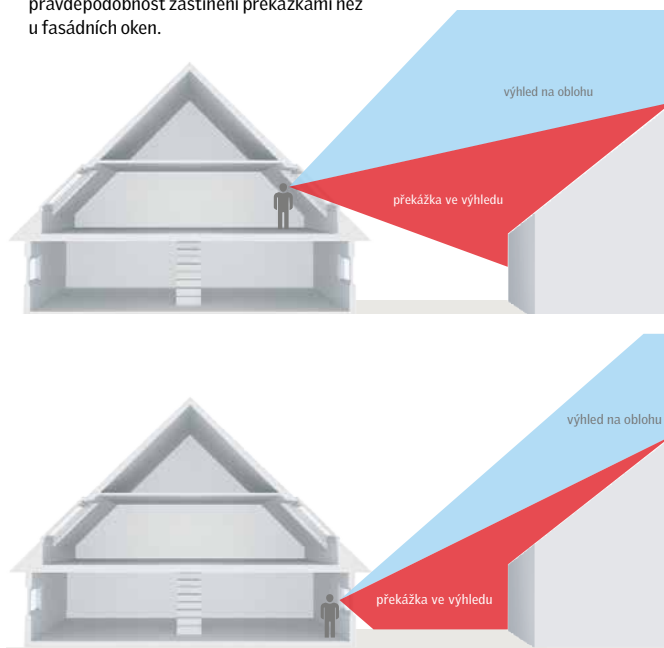
Jednou z dalších výhod oken je fakt, že nám umožňují kontakt s okolím a my tak můžeme sledovat změny počasí a střídání denní i roční doby.

Při určování množství denního světla získaného díky oknům nebo světlíkům je třeba vzít v úvahu řadu faktorů. Patří sem propustnost zasklení, tloušťka zdi, vnější překážky, konstrukce nad oknem (převisy, balkóny) a vedle něj (např. stěna budovy), hloubka místnosti atd. Když všechny tyto faktory zohledníme, poskytne střešní okno zpravidla více než dvojnásobek denního světla než fasádní okno o stejných rozměrech.

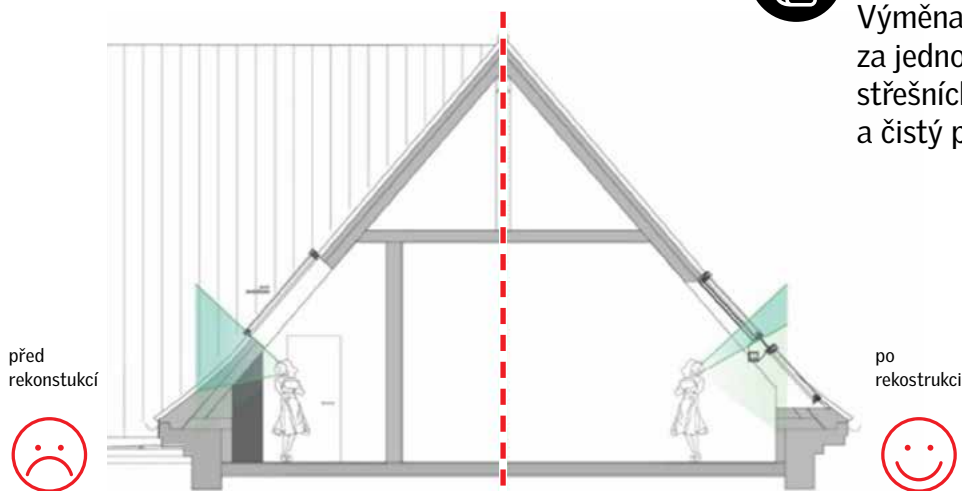
<sup>3</sup> CLEAR Luminance Ratios

<sup>4</sup> „Design Innovations for Contemporary Interiors and Civic Art“, Luciano Crespi, 2016

U střešních oken a světlíků hrozí menší pravděpodobnost zastínění překážkami než u fasádních oken.



## Příklad rekonstrukce podkrovní učebny vedoucí ke zlepšení výhledu



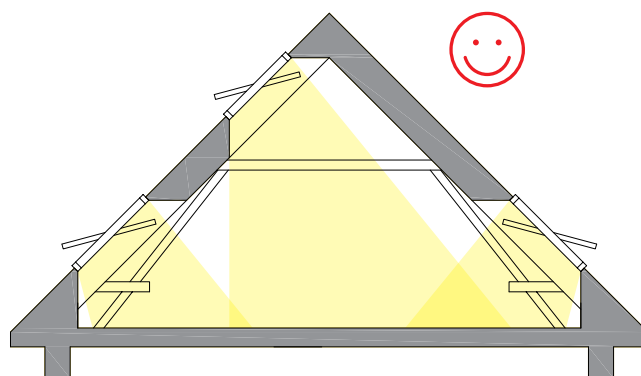
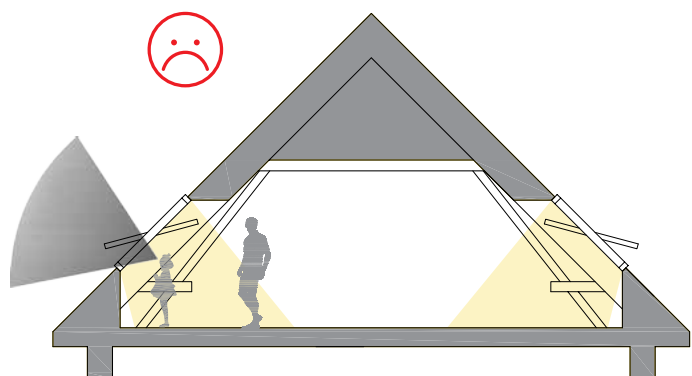
Výměna střešního okna za jedno, nebo více střešních oken je rychlý a čistý proces.



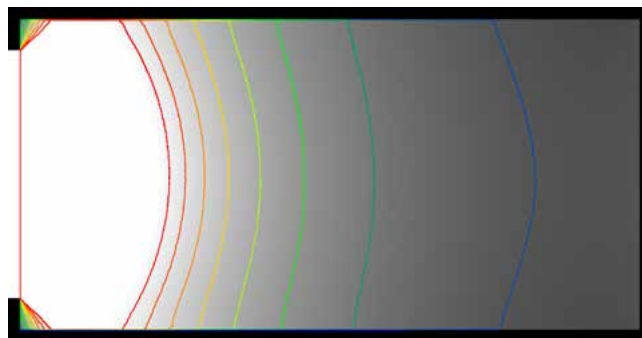
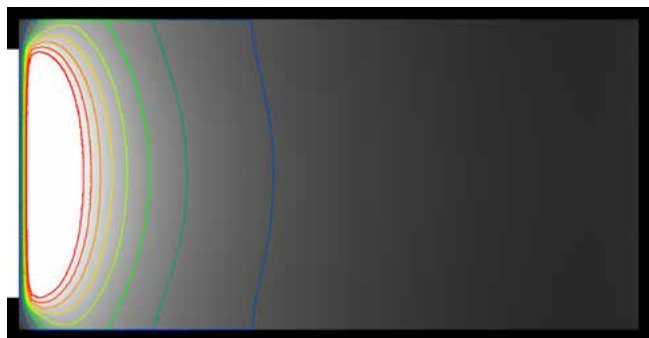
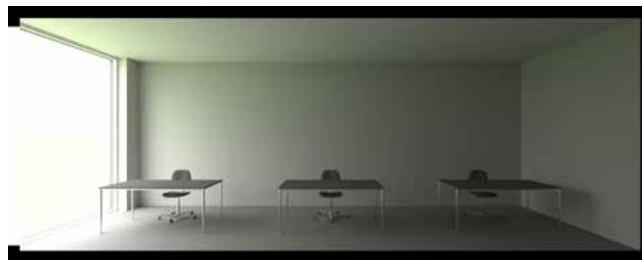
### Strategie rozmístění oken

Dobrého rozložení denního světla v místnosti můžeme v mnoha případech nejlépe dosáhnout pomocí více různých zdrojů denního světla, například kombinací střešních a fasádních oken. Zároveň tak můžeme omezit oslnění a kontrasty. Nezapomínejme ale na význam výhledu ven: „Když sedíme u okna, nebude nám nejspíše vadit silnější denní světlo;

než abychom zatáhli žaluzie a rozsvítili umělé světlo, budeme se raději dívat ven.“<sup>4</sup> Ovladatelná střešní okna rozmístěná strategicky po celé budově umožní osvětlit prostor spoustou denního světla i v tmavých zimních měsících a zároveň zajistit přísun čerstvého vzduchu po celý rok, čímž zlepšují kvalitu vnitřního ovzduší a pomáhají regulovat teplotu.



## Simulace kvality denního světla

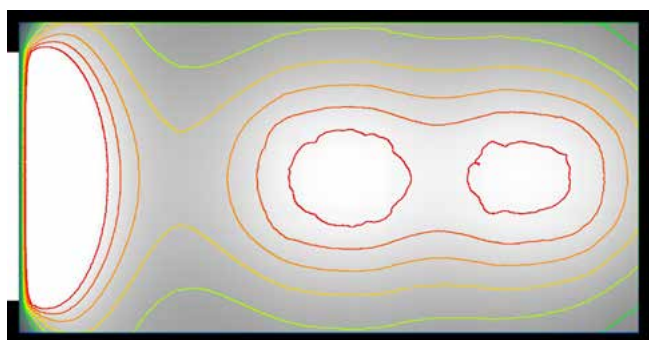


Malé fasádní okno  
(10 % prosklené plochy vůči ploše podlahy)

- ČDO nad 2 % pouze u fasády
- tmavá zadní část místnosti
- pouze první lavice má dostatek světla

Velké fasádní okno  
(30 % prosklené plochy vůči ploše podlahy)

- ČDO nad 2 % pouze 4,5 m od fasády
- přesvětlená přední část místnosti a nedosvětlená zadní část
- pouze první dvě lavice mají dostatek světla



Malé fasádní okno v kombinaci se světlíky (20 % prosklené plochy vůči ploše podlahy, 11 % fasádní okno, 9 % světlíky)

- kombinace bočního a horního osvětlení rovnoměrně osvětluje místnost na optimální úroveň
- nejvhodnější řešení pro vizuální komfort
- všechny lavice jsou osvětleny

Činitel denní osvětlenosti (ČDO) v %



Simulace jsou zpracovány v programu VELUX Daylight vizualizer, který je zdarma ke stažení na [www.velux.cz/odbornici](http://www.velux.cz/odbornici).









---

# ZŠ RADOTÍN

## Půdní vestavba základní školy Radotín

Místo: Radotín  
Autor: Ing. arch. Borek Strádal  
Projekt: 2018  
Realizace: 2019

*„Konstrukce střechy tvoří architektonicky velmi výrazný prvek, který zajímavě mění vzhled školy, který však nenarušil její důstojnost. Celá střecha se o jeden metr zvedla, tvar ale zůstal zachován. Fasádu doplnil ztmavený skleněný prstenec napevno nainstalovaného prosvětlení podkrovních prostor. Střešní okna jsou situována do školního dvora, vzhled střechy při pohledu od kostela či radnice tedy zůstal zachován a odpovídá době vzniku budovy, poskytují ale žákům mimořádný komfort a dostatek denního světla pro každodenní vzdělávání.“*

*Mgr. Miroslav Knotek  
Místostarosta Radotína*





Budova obecní školy v Radotíně byla postavena v roce 1901. Během prázdnin roku 1931 pak bylo přistavěno druhé patro. V té době již třetím rokem fungovala sousední měšťanská škola, dnešní gymnázium, takže děti z vyšších ročníků již nebyly odsouzeny chodit pěšky do měšťanky až na Smíchov. Přesto kapacita školy stávajícím potřebám nepostačovala. Po povodních v roce 2002 prošla budova nové školy celkovou rekonstrukcí. V roce 2010 bylo zrekonstruováno hřiště u budovy 1. stupně, v areálu 2. stupně byla vybudována běžecká dráha s doskočištěm. Ve stejném roce byla dokončena stavba protipovodňové stěny kolem areálu školy. V roce 2012 byla dokončena přístavba šaten a jedné třídy školní družiny. V roce 2017 začala zatím poslední etapa přestavby – v místě stávajícího nevyužívaného atria vznikl zastřešený multifunkční prostor s více než dvěma sty místy. Slouží nejen pro výuku hudební a dramatické výchovy, ale i pro konání školních koncer-

tů, dalších zájmových aktivity nebo i pro potřeby místní základní umělecké školy a kulturního střediska.

Vestavbou do střechy budovy prvního stupně Základní školy Praha – Radotín vznikly čtyři nové třídy. Cílem přestavby, iniciované Městskou částí Praha 16, je postupné navyšování kapacity základní školy tak, aby stále dostačovala potřebám místních občanů. Kromě nových tříd pod střechou vzniklo i zázemí pro kantory – kabinet; přistavovalo se i exteriérové únikové schodiště a výtah pro osoby se sníženou možností pohybu.

Celkově stavba stála 26 milionů korun, přičemž došlo k navýšení kapacity školy o dalších šedesát míst a dva nové prostory pro samotnou výuku. Nový prostor rozšiřuje prostorové možnosti u akcí, které se konají v Kulturním středisku a jsou vyprodané právě kvůli menší kapacitě velkého sálu domu U Koruny na náměstí Osvoboditelů.



## PRODUKTOVÉ DOPORUČENÍ

### Střešní okna



Bezúdržbová, dálkově ovládaná střešní okna

### Venkovní a vnitřní doplňky



Dálkově ovládané předokenní a vnitřní rolety

















## 2. KVALITA VNITŘNÍHO VZDUCHU

Špatná kvalita vnitřního vzduchu může nejen zásadně ztěžovat studentů koncentraci a snižovat jejich celkový výkon, ale může vést i k větším absencím kvůli nemocem. Dostatečná ventilace je proto nezbytná pro zdravé prostředí ve třídě, v němž budou studenti dobře prospívat.

### JAK NEJČASTĚJI VĚTRÁME VE ŠKOLÁCH

88 %

o přestávkách

70 %

ve vyučování

52 %

po vyučování

### LEPŠÍ KVALITA VNITŘNÍHO VZDUCHU:



zvyšuje výkon



zlepšuje pozornost a koncentraci



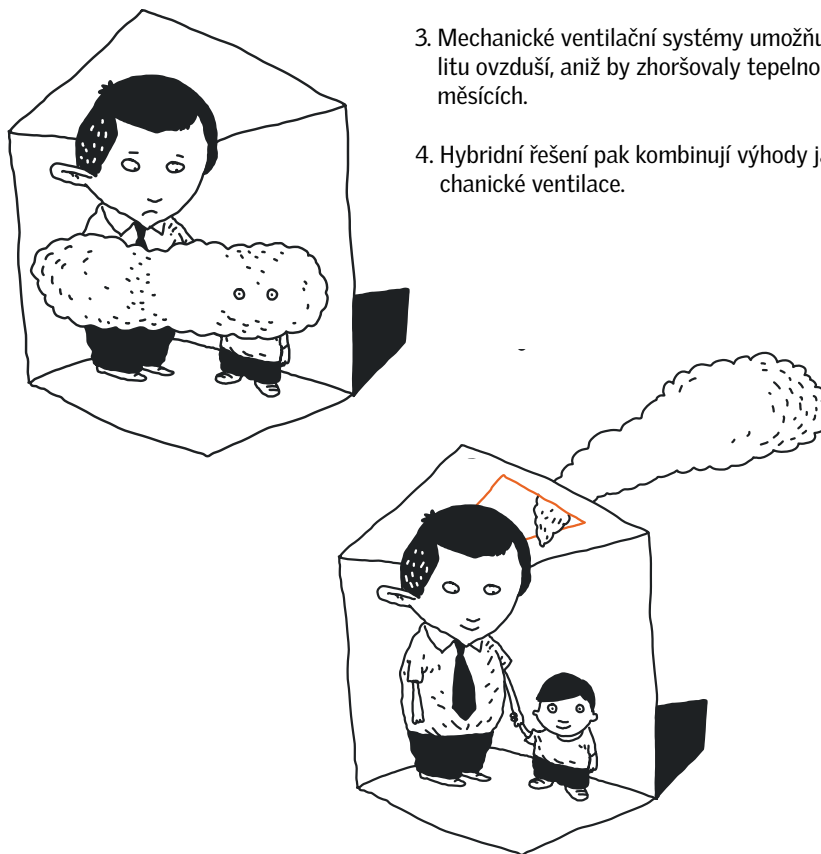
zvyšuje rychlost řešení úkolů



snižuje počet absencí

#### 4 způsoby, jak zlepšit kvalitu vnitřního ovzduší ve třídách

1. Během hodin otevřít okna a větrat. Většina škol v Evropě je stavěná na přirozené větrání.
2. Inovativní řešení přirozené ventilace – např. přirozená ventilace řízená potřebou – umožňuje udržovat koncentraci CO<sub>2</sub> v doporučeném rozmezí.
3. Mechanické ventilační systémy umožňují zajistit optimální kvalitu ovzduší, aniž by zhoršovaly tepelnou pohodu v chladnějších měsících.
4. Hybridní řešení pak kombinují výhody jak přirozené, tak mechanické ventilace.



#### ZLEPŠENÍ VÝKONU = EKONOMICKÝ RŮST



Zlepšení výkonu školních dětí bude mít významný vliv na ekonomický růst země.

#### Příklady koncentrace CO<sub>2</sub>



čerstvý vzduch  
v přírodě  
**360–400 ppm**



doporučená úroveň CO<sub>2</sub>  
ve vnitřních prostorách  
**800–1000 ppm**



nastávají příznaky únavy  
a snižování koncentrace  
**> 1000 ppm**



maximální bezpečná koncentrace  
bez zdravotních rizik  
**5000 ppm**



vydechaný vzduch  
dospělého člověka  
**35 000–50 000 ppm**

Špatná kvalita vnitřního ovzduší nemá vliv jen na schopnost studentů se soustředit, ale může také škodit jejich celkovému zdraví. Podle US Environmental Protection Agency (EPA) platí, že téměř každé třinácté dítě školního věku v USA trpí astmatem, které je hlavní příčinou školních absencí způsobených chronickým onemocněním<sup>1</sup>.

Výzkumy dále ukazují, že vývoj dětského těla je citlivější na škodlivé látky z okolního prostředí než u dospělých lidí. Dítě vdechne více vzduchu, sní více potravin a vypije více tekutin v poměru ke svojí tělesné váze než dospělý člověk.

Studie působení znečišťujících látek z ovzduší na člověka, které též zpracovala EPA, došly k alarmujícímu závěru, že koncentrace těchto látek v interiéru může být dvakrát až pětkrát – a někdy dokonce stokrát – vyšší než venku.

Nedostatečné větrání tak vede ke zvýšené koncentraci znečištění, což je problém zejména ve školních třídách, kde kvůli vysoké obsazenosti připadá malý objem vzduchu na dítě. Celá řada výzkumů přináší přesvědčivé důkazy o souvislosti mezi lepším výkonem studentů a vyšším výkonem ventilace ve třídách. Zlepšení výkonu při

vyšším výkonu ventilace se obvykle pohybuje od několika procent až po 15 %<sup>2</sup>. V rámci nedávné studie výzkumníci zlepšili výkon ventilace v 16 třídách. Ve třídách s vyšším výkonem ventilace žáci vykazovali výrazně rychlejší a přesnější reakci při volbě odpovědí, lepší rozpoznávání barev, obrazovou paměť a vnímání významu slov. Podle zjištění studie Clever Classrooms<sup>3</sup> platí pro dobrou ventilaci ve třídách následující požadavky:

### 1. Řízená ventilace

Okna a střešní okna s velkou otevíravou plochou – nejlépe s více otevíravými prvky – umožňují účinné větrání za různých podmínek. Okna s horní otevíravou částí a střešní okna umístěné vysoko v místnosti, které jsou ale opatřeny snadno ovladatelným mechanismem pro otevírání, umožňují nejúčinněji vyvětrat teplý a vydýchaný vzduch. Na těchto oknech a střešních oknech by neměly být osazeny rolety, pokud by bránily proudění vzduchu.

### 2. Objem místnosti

Čím větší je daná místnost, tím lépe se v ní může rozložit koncentrace oxidu uhličitého a tím déle pak je možné zachovat

dobrou kvalitu ovzduší. V průměrně velké třídě o objemu 181 metrů krychlových, kde je 30 žáků a není ventilace, zhorší se kvalita ovzduší za pouhých 30 minut.

### 3. Mechanická ventilace

Tam, kde přirozené větrání nestačí nebo je problematické, lze využít mechanickou ventilaci.

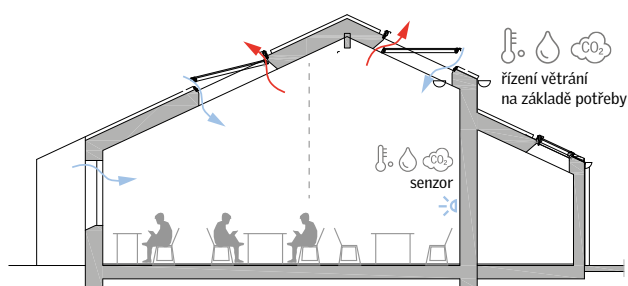
### 4. Čidla CO<sub>2</sub>

Čidla CO<sub>2</sub> ve třídě umožňují učitelům sledovat kvalitu vnitřního prostředí a vhodně upravovat výkon ventilace. Koncentrace CO<sub>2</sub> ve venkovním vzduchu činí zhruba 400 ppm. V interiéru platí, že koncentrace 1150 ppm znamená dostatečnou kvalitu ovzduší, hodnota 1400 ppm je ve většině situací uspokojivá a koncentrace 1600 ppm je nevyhovující (CEN, 2007)<sup>4</sup>.

Není pochyb, že snaha o kvalitní vnitřní klima musí být klíčovým tématem při jakékoli modernizaci nebo stavbě školy. Studenti tak získají celkově lepší prostředí pro učení a pedagogové budou moci efektivněji pracovat.

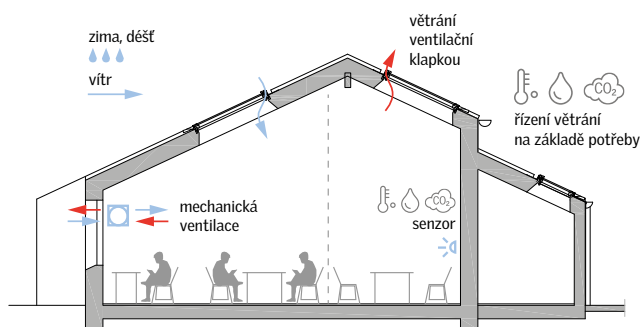
## PŘÍKLAD HYBRIDNÍ VENTILACE

### Dobré počasí



Přirozená ventilace zajišťuje čerstvý vzduch v případě dobrého počasí.

### Špatné počasí



Mechanická ventilace zajišťuje přívod čerstvého vzduchu při nepříznivém počasí.

<sup>1</sup> Why Indoor Air Quality is Important to Schools (EPA)

<sup>2</sup> Bako-Biro et al: Evaluation of indoor environmental quality conditions in elementary schools classrooms in the United Arab Emirates, 2012

<sup>3</sup> Clever Classrooms, Summary report of the HEAD project, University of Salford, Manchester (2015)

<sup>4</sup> CEN (2007) EN 15251: Vstupní parametry vnitřního prostředí pro návrh a posouzení energetické náročnosti budov.





---

# ZŠ STARÉ MĚSTO

Místo: Staré Město  
Autor: Ing. Jaroslav Mikulík  
Projekt: 2018  
Realizace: 2019

*„V minulém školním roce získala naše škola finance z fondů EU na výstavbu odborných učeben. Projekt s názvem Půdní vestavba dal vzniknout novým odborným učebnám s moderním designem a vybavením. Součástí stavebních úprav byla i montáž střešních oken od společnosti VELUX. Protože množství střešních oken je veliký, rozhodli jsme se řešit ovládání elektronicky. Firma VELUX dodala chytré technologie, které pracují s programy a čidly. Díky nim se udržuje optimální teplota větráním v nových prostorech. Žáci i učitelé budou mít možnost ovládat a sledovat nové technologie při práci přímo ve škole a tím očekáváme zvýšený zájem o technické obory.“*

*Ředitel školy Mgr. Jan Zábranský*



Základní škola ve Starém Městě prošla důkladnou a významnou rekonstrukcí, která skončila začátkem roku 2019. Výsledkem přestavby základní školy jsou nové odborné učebny fyziky, přírodopisu, chemie, 3 počítačové učebny, kuchyňky, učebna pro pracovní činnosti a jazykové učebny. Navíc byl zajištěn bezbariérový přístup vybudováním výtahu. Významnou změnou bylo zobytnění tradičního podkrovní historické budovy školy a jeho proměna

v chybějící prostory pro výuku žáků. Střecha byla osazena střešními okny v několika řadách, které jsou umístěny tak, aby kromě dostatku přirozeného světla během vyučování – a to v kteroukoli roční dobu – umožňovala i přirozené větrání objektu. Okna (jejichž nedílnou součástí je i stínicí roleta) jsou řízena elektronicky. Celkové náklady na rekonstrukci se vyšplhaly na 80 milionů korun.



## PRODUKTOVÉ DOPORUČENÍ

### Střešní okna



Bezúdržbová, dálkově ovládaná střešní okna

### Venkovní a vnitřní doplňky



Dálkově ovládané předokenní a vnitřní rolety





















## 3. TEPLOTA

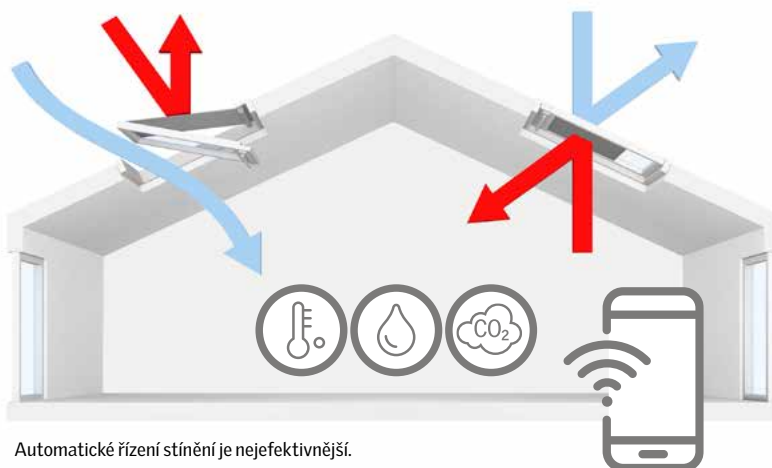
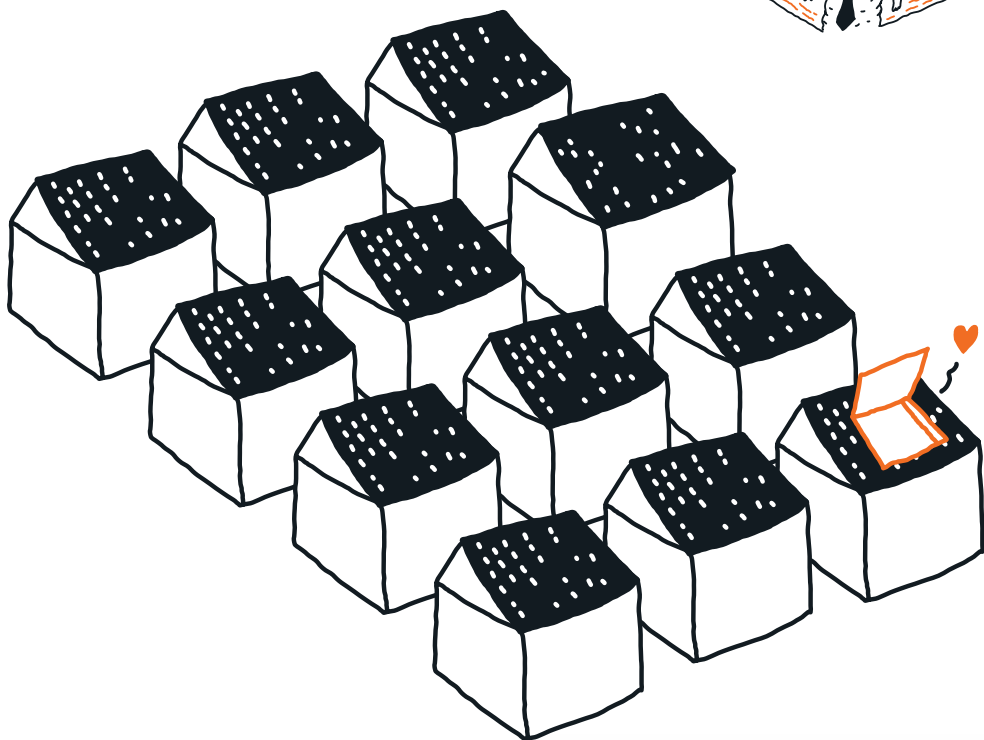
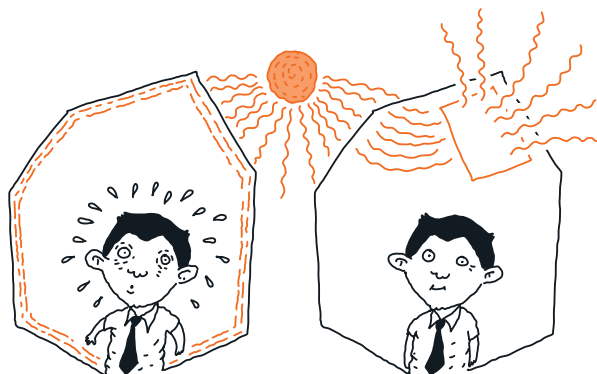
---

Tak jako v pohádce O chytré horákyni, nesmí být v učebách teplota ani příliš nízká, ani příliš vysoká.



#### 4 způsoby, jak zlepšit kvalitu vnitřního ovzduší ve třídách

1. Používat v létě stínění a přirozenou ventilaci a zabránit tak přehřívání interiéru, jež by vedlo k omezení schopnosti učení
2. Realizovat energeticky úspornou mechanickou ventilaci využívající systematicky i přirozené ventilace a dosáhnout tak energeticky neutrálního chlazení.
3. Využívat v projektu okna ve fasádě i ve střeše, aby mohl prostorem dobře proudit vzduch (např. příčné větrání, komínový efekt)
4. Zapracovat do projektu školy úspěšná řešení stínění na základě vzájemných vztahů mezi kvalitou ovzduší, teplotou vzduchu, výhledem ven a denním osvětlením s využitím iterativního výpočtu.



Automatické řízení stínění je neefektivnější.

Důležitým prvkem návrhu školní třídy je zajištění vhodných tepelných podmínek s využitím energeticky úsporných technologií, jako je přirozená ventilace, stínění či inteligentní návrh budovy (v teplejších měsících) a účinné regulovatelné vytápění (v chladnějším období). Obecný přístup se stále více kloní k názoru, že žádná „přirozená“ komfortní teplota neexistuje. Nejlepších výsledků z hlediska chlazení a topení lze dosáhnout tak, že uživatelům budovy umožníme osobní přizpůsobení prostředí, tj. například přístup k ovladatelným oknům, individuálnímu nastavení stínění. Obecně lze říci, že budova by měla v maximální možné míře umožňovat kontakt s okolím a zároveň před ním v potřebné míře chránit<sup>1</sup>. Všechny evropské země mají předpisy pro minimální vnitřní teplotu ve školní třídě, kterou stanovuje platná legislativa. Tato minimální teplota se v jednotlivých zemích a ročních obdobích sice liší, nicméně vždy se pohybuje v rozsahu 17 až 20 °C. Některé země mají předepsanou i maximální teplotu ve třídě, ale hodnoty se pohybují v rozsahu 22 až 29 °C pro nejlepší studijní výsledky. Zeiler a Boxem (2009)<sup>2</sup> realizovali rozsáhlý výzkum s cílem ukázat účinek tepelné kvality prostředí ve školách na studijní výsledky žáků. Mendell a Heath (2005)<sup>3</sup> zase

ověřovali důkazy účinku kvality vnitřního ovzduší jak na výsledky, tak na prezenci. Fisk (2017)<sup>4</sup> zpracoval rozsáhlou rešerši podkladů k problematice ventilace ve školách a jejího dopadu na prospěch, zdraví a absenci studentů. Tyto výzkumy dospěly k závěru, že s rostoucí teplotou a vlhkostí hlásí studenti nižší komfort a jejich výsledky a výkon se zhoršuje, protože udrží pozornost kratší dobu.

### Řešení chlazení

Přirozená ventilace větráním, tj. otevřením oken a světlíků, představuje rychlý a jednoduchý způsob, jak ovlivnit tepelné prostředí v interiéru. Otevřené okno zvyšuje míru pohybu vzduchu a pokud je venkovní teplota nižší než vnitřní, dojde k poklesu teploty uvnitř.

Přirozenou ventilaci lze realizovat dvěma způsoby: jako denní a noční větrání.

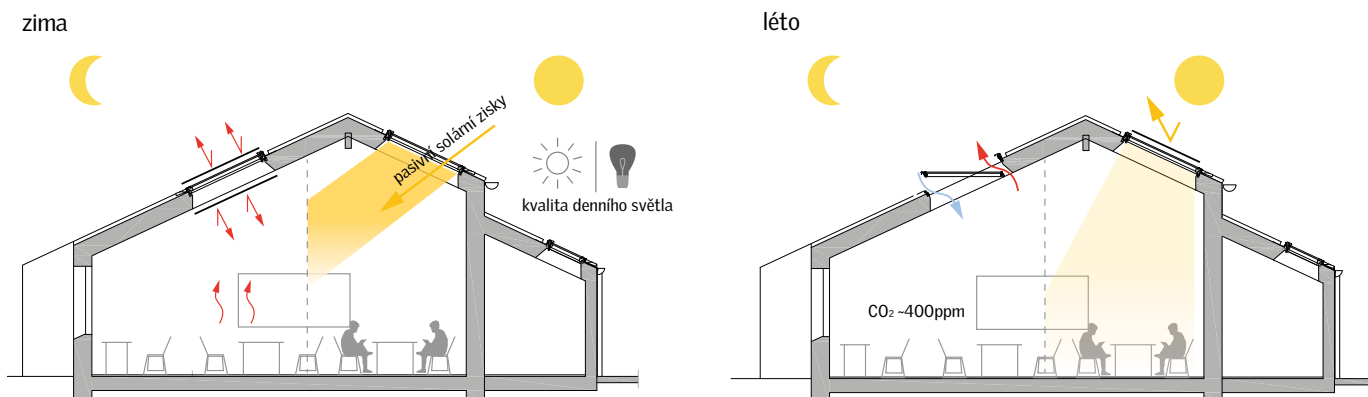
- Větrání během dne odvádí z interiéru budovy nadbytečné teplo, protože zajišťuje intenzivnější pohyb vzduchu.
- Noční větrání (známé také jako pod pojmem noční chlazení) snižuje teplotu hmoty budovy (stěny, podlahy, nábytku atd.) působením chladného venkovního vzduchu. Následující den pak stačí na chlazení budovy méně energie, protože hmota budovy je již ochlazená.

Důležitou roli při vytváření konzistentní tepelné pohody hraje také orientace třídy a regulace stínění. Fasádní a střešní okna by měla být orientována tak, aby propouštěly maximum slunečního svitu v zimě, zatímco stínění pohyblivými prvky umožňuje zamezit průniku slunečního záření v létě. Venkovní stínění je nejefektivnější, pokud je řízeno čidly.

Terénní výzkumy ukazují, že v přirozeně větraném prostoru člověk snese vyšší teplotu<sup>5</sup>. Přizpůsobení lidského těla okolnímu prostředí se nazývá adaptivní tepelná pohoda. V zemích s nejteplejším létem je někdy nutno přirozenou ventilaci doplnit použitím mechanických klimatizačních jednotek. Abychom dosáhli co nejmenší spotřeby energie na chlazení, je potřeba pracovat s dříve zmíněnými principy.

### Řešení vytápění

Studie Clever Classrooms (2015)<sup>6</sup> dospěla k závěru, že regulace teploty v zimním období je účinnější, pokud je místnost vybavena radiátory s termostatickou hlavicí. Podlahové topení se naopak vyznačuje omezenými možnostmi regulace v jednotlivých třídách z důvodu delší odezvy. Studie dále doporučuje, aby všechny systémy regulace teploty ve třídě umožňovaly snadné ovládání a aby je měl učitel pohotově k dispozici.



V zimě využíváme pasivní solární zisky během dne a v noci stínící technika pomáhá snižovat tepelné ztráty.

V létě automaticky řízené stínění chrání prostor před přehříváním během dne. V noci je využíváno noční chlazení pomocí větrání.

<sup>1</sup> <https://www.velux.com/article/2016/health-matters>

<sup>2</sup> Zeiler a Boxem (2009). Effects of thermal activated building systems in schools on thermal comfort in winter. Building and Environment.

<sup>3</sup> Mendell a Heath (2005). Do Indoor Pollutants and Thermal Conditions in Schools Influence Student Performance? A Critical Review of the Literature.

<sup>4</sup> Indoor Air Fisk (2017) The ventilation problem in schools: literature review. Indoor Air

<sup>5</sup> de Dear a Brager (1998). Developing an Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference.

<sup>6</sup> ASHRAE Transactions Clever Classrooms (2015), Summary report of the HEAD project, University of Salford, Manchester





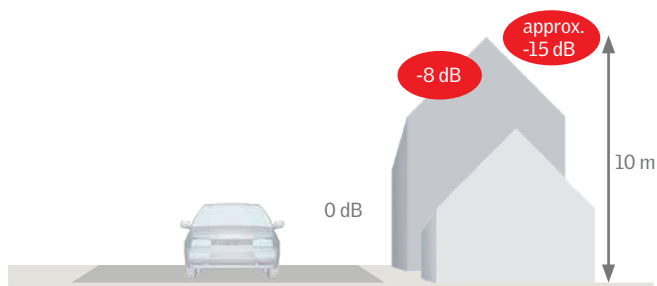




## 4. AKUSTICKÉ PROSTŘEDÍ

Jednou z důležitých funkcí pláště budovy je chránit interiér před nežádoucím venkovním hlukem. Zvuková izolace je důležitým parametrem stavebních prvků, protože venkovní hluk může mít negativní vliv na zdraví, náladu a schopnost se učit. Důležitou roli při určení, zda to, co slyšíme, je pouze zvuk nebo hluk, hraje naše vnímání. Nežádoucí hluk nás dráždí nebo obtěžuje a za určitých okolností může být škodlivý<sup>1</sup>. Komfortní sluchové vnímání a nezatíženost rušivým hlukem na pozadí je nezbytná pro komunikaci ve školních třídách i pro soustředění studentů.

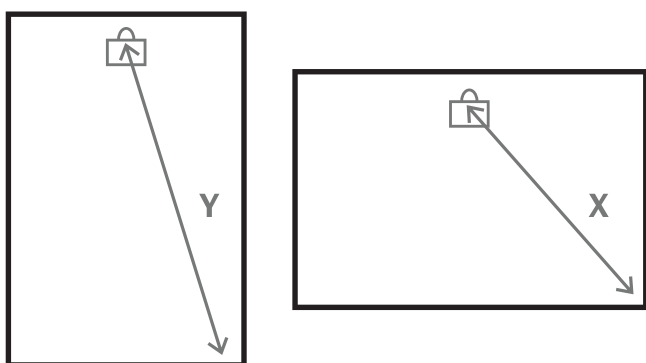
<sup>1</sup> <https://www.velux.com/deic/acoustics/noise-or-sound>



Porovnání mezi fasádním oknem a světlíkem. Na straně do ulice vykazuje střešní okno o 8 dB nižší hladinu hluku než fasádní okno. Přesuneme-li střešní okno na zadní stranu, dosáhneme ještě většího útlumu (cca 15 dB).

### 3 způsoby jak zajistit dobré akustické podmínky

1. Omezení venkovního hluku vhodnými konstrukcemi pohlcujícími hluk.
2. Eliminovat vnitřní hluk použitím materiálů s útlumem hluku v interiéru třídy.
3. Navrhnout uspořádání místnosti tak, aby umožňovalo dobrý poslech.



Jestliže je katedra umístěna uprostřed delší strany třídy, je vzdálenost do rohu (X) kratší než tehdy, je-li katedra ve středu kratší strany (Y).

### Typické úrovně hluku



listí ve vánku  
**10 dB**



šepot  
**20 dB**



ložnice  
**30 dB**



děšť  
**40 dB**



chod domácnosti  
**50 dB**



konverzace  
**60 dB**



open space kancelář  
**70 dB**



reproduktor  
**90 dB**



hluk z výroby  
**100 dB**



sbíječka  
**120 dB**



proudové letadlo  
**140 dB**

Při projektování učeben je cílem zajistit optimální podmínky pro produkci a vnímání žádoucích zvuků (učitel mluvící ke studentům a obráceně) a naopak eliminovat rušivé zvuky (např. hluk z hřiště nebo provoz na ulici). Akustické prostředí ve třídě je kritickým faktorem studijních i psychosociálních výsledků dětí. Zpráva *Clever Classrooms (2015)*<sup>3</sup> dále zdůrazňuje, že toto platí zejména v případě dětí se speciálními vzdělávacími potřebami. Mezi klíčové faktory, které mohou zlepšit akustické prostředí ve třídě, patří následující:

### **Omezení venkovního hluku**

Třídy umístěné dále od rušných prostor školy (hřiště, vrátnice apod.) trpí venkovním hlukem méně. V některých případech lze rušivý venkovní hluk omezit tak, že využijeme další prostory (chodby, toalety nebo sklady) jako „narázníkové zóny“. Škola by měla být ideálně umístěna mimo rušné ulice. Pokud se nicméně škola nachází na rušné ulici nebo v její blízkosti, lze hluk provozu omezit tak, že její třídy budou orientovány jiným směrem, a vybudujeme terénní svahy nebo náspy s rostlinami, které budou hluk tlumit. Vlastní konstrukční řešení stavby musí být navrženo dle platných předpisů. Pro většinu měst již máme k dispozici hlukové mapy. Jak ale omezit hluk, aniž bychom přišli o příliš mnoho denního světla, o možnost ventilace a o výhled ven? Jako řešení lze doporučit použití automaticky ovládaných střešních

oken, které se o přestávkách otevrou a zajistí tak dostatečné větrání a regulaci teploty, aniž by dovnitř propouštěly hluk provozu během vyučovacích hodin. Okna se speciálním zasklením pro útlum hluku jsou v běžném sortimentu výrobce.

### **Vnitřní hluk**

Zvuk vznikající uvnitř budovy můžeme obecně rozdělit na dva typy: zvuk přenášený vzduchem a zvuk přenášený vlastní konstrukcí budovy. Zvuk přenášený vzduchem, který vzniká při lidských činnostech v sousedních třídách nebo činnostech mechanických zařízení, proniká vzduchem, stěnami, podlahami a stropy. Ve třídě lze nežádoucí hluk omezit použitím stropního podhledu s akustickým obkladem, lavic a židlí s gumovými patkami na nohách a případně i dalších akustických panelů. K absorpci zvuku lze též s výhodou použít porézní materiály nebo závěsy, které tlumí ozvěny v místnosti.

### **Tvar místnosti**

Uspořádání míst k sezení ve třídě by mělo být takové, aby studenti dobře slyšeli učitele – tedy čím blíže, tím lépe. Takového uspořádání lze nejnáze dosáhnout v obdélníkové místnosti s větším poměrem délky k šířce. To samozřejmě neznamená, že tvar místnosti sám o sobě může nahradit dobré akustické vlastnosti jednotlivých konstrukcí.

<sup>1</sup> Crandell and Smaldino: *Classroom Acoustics for Children With Normal Hearing and With Hearing Impairment*, 2000

<sup>2</sup> Picard and Bradley: *Revisiting speech interference in classrooms*. 2001

<sup>3</sup> *Clever Classrooms*, Summary report of the HEAD project, University of Salford, Manchester (2015)





---

# ZŠ LÍBEZNICE

## Nástavba základní školy v Líbeznicích

Autoři: Jan Hájek  
Ateliér M1 architekti  
Spolupráce: Michal Tichý  
Výtvarné řešení: Barbora Zachovalová  
Projekt:  
Realizace: 2017

*„Poloha a velikost oken ve třídách zajišťuje dostatek denního světla. Třídy jsou dobře prosvětlené. I střešní okna svým rozmístěním zaručují více denního světla, plní i svou funkci pro rychlé vyvětrání tříd. Nemáme žádné námítky ani připomínky k oknům ve třídách v půdní nástavbě.“*

*Mgr. Ivana Pekárková, ředitelka školy*



Nutnost přestavby líbeznické základní školy si vyžádal prudký nárůst obyvatel Líbeznic – za posledních 15 let zdvojnásobil, nyní má obec zhruba 2600 obyvatel. Podle demografické prognózy může počet obyvatel do roku 2020 překročit hranici 3000.

Nástavba Základní školy a Základní umělecké školy v Líbeznicích u Prahy vznikla přestavbou půdních prostor hlavní školní budovy. Díky investici za 37,5 milionu korun vzniklo šest plnohodnotných učeben a aula. Kapacitu se díky tomu podařilo zvýšit z původních 450 žáků na nyníšších 1020. Výstavbu umožnila dotace od ministerstva financí a příspěvky spádových obcí Bašť, Měšice, Předboj a Nová Ves, přispěly také Bořanovice. Při návrhu přestavby se architekti snažili najít co

nejefektivnější řešení – díky promyšlenému návrhu stálo nakonec jedno žákovské místo stálo v upravených prostorách pouze 208 000 Kč. Průměrná cena v případě nových budov škol se pohybuje mezi 254 000 a 400 000 korunami. Čerstvě otevřené prostory jsou sice „jen“ nástavba, přesto se i tady podařilo najít prostor pro architekturu a neotřelé výtvarné řešení. Navíc je teď nové podkroví zároveň rozhledna – po obci i po krajině. Na jedné straně umožňuje výhled na Ještěd, Bezděz a České středohoří, na druhé se otevírá pohled na věž místního kostela... Nové prostory využívají i žáci základní umělecké školy. Jedna z učeben slouží pro výuku výtvarné výchovy a jako prostor pro výtvarné obory základní umělecké školy.



## PRODUKTOVÉ DOPORUČENÍ

### Střešní okna



Bezúdržbová, dálkově ovládaná střešní okna

### Venkovní a vnitřní doplňky



Dálkově ovládané předokenní a vnitřní rolety





















## 5. ROZVRŽENÍ TŘÍDY

Pokud děti považují třídu za svou, cítí za ni větší odpovědnost, což má celou řadu pozitivních dopadů jak na jejich studijní schopnosti, tak na formování jejich identity. Školní třída může také podporovat individualizaci, pokud nabízí širokou škálu příležitostí k různým způsobům učení; proto je další klíčovou vlastností flexibilita.

### Posilování pocitu identifikace

Fyziologický a psychologický výzkum ukazuje, že osobní přizpůsobení prostoru je důležitým faktorem při formování identity a zdravého sebevědomí jedince. Několik studií ukázalo, že intimní a personalizovaný prostor napomáhá přijímání a memorování informací a jejich vyvolávání z paměti<sup>1</sup>. Jestliže děti považují třídu skutečně za svou, lze lépe využít jejich pocit odpovědnosti<sup>2</sup>.

Aktivní účast a zapojení do procesu učení lze podpořit i tak, že ve třídě vystavíme výsledky duševní práce studentů – projekty, prezentace, modely apod.<sup>3</sup>

Studie *Clever Classrooms* rozpoznává dvě kategorie důležitých faktorů: aspekty podporující identifikaci studentů se „svojí“ třídou a aspekty přizpůsobené potřebám dětí.

Studie dospěla k následujícím doporučením:

- Třída musí mít takový charakteristický design nebo parametry, aby byla dětem na první pohled blízká.
- Měla by nabízet dostatek možností pro vystavení prací studentů na stěnách a speciálních prezentačních stolcích.
- Dále by ve třídě měly být prvky přizpůsobené na míru žákům – pojmenované háčky na oděv, skříňky nebo zásuvky.
- Vhodné je použít dobře provedený nábytek, který vytvoří prostředí zaměřené na děti. Lavice a židle by měly být pohodlné, zajímavé a ergonomicky provedené podle věku a vzrůstu dětí.

### Jak dosáhnout flexibility

Každá třída vyžaduje určitou míru flexibility, aby umožňovala různé způsoby

Dobře projektovaná třída může zlepšit studijní prospěch studentů o zhruba 16 % během jediného roku. Až čtvrtina pozitivního vlivu na učení připadá na míru identifikace s třídou a flexibilitu její dispozice. Podívejme se proto na tyto důležité faktory z hlediska rozvržení třídy.

učení. Studie *Clever Classrooms* dospěla k následujícím doporučením:

- Třídy s jasně vymezenými přestávkovými zónami nebo místnostmi mají pozitivní vliv na učení, protože umožňují podporu mezi jednotlivci a v malých skupinách v intimnějším prostředí. Přestávkové zóny oddělené od třídy naopak nejsou příliš efektivní.
- Místnosti se složitějším půdorysem nabízejí větší potenciál pro vytvoření různých prostor pro mladší žáky. V případě starších žáků je efektivnější spíše pravouhlá a rozměrnější místnost, která lépe napomáhá procesu učení.
- Důležité jsou také dostatečně velké a dobře dostupné úložné prostory, pokud ovšem příliš mnoho skříněk nezabírá zbytečně užitečný prostor. Dobrým řešením je umístit skříňky a šatní háčky v široké chodbě, pokud to nebrání volnému průchodu.
- Velká a volně přístupná stěna zase umožňuje promítání různých informací a prezentaci výsledků studentů.
- Pro menší děti, které tráví velké množství času učním hrou, je vhodné vytvořit větší počet různých hracích zón. Pozornost je třeba věnovat jasně vymezeným průchodům mezi jednotlivými zónami. Starší žáci tráví více času individuálním, formalizovaným učním nebo skupinovou prací, a proto stačí méně různých zón.

Důraz na potřeby dětí z hlediska pocitu vlastnictví a flexibility v „jejich“ třídě lze dále podtrhnout propojením s okolním přírodou a venkovním prostorem např. pomocí oken do zahrady, střešních oken nebo dveří vedoucích přímo do prostoru na hraní. Moderní a méně obvyklá možnost pak spočívá v tom umožnit flexibilitu v uspořádání míst k sezení.

McMillan: *Research in Education: A Conceptual Introduction*. 1997

DeVries a Zan: *Moral Classrooms, Moral Children: Creating a Constructivist Atmosphere in Early Education*. 1994

Ulrich: *A place of their own: children and the physical environment, Human Ecology*. 2004









## 6. STIMULACE

Různé teorie naznačují, že novinky či atypické prvky přinášejí optickou složitost, která má zase vliv na stimulaci. Existují ale různé názory na to, zda je v prostředí, kde se učí děti, vhodné spíše více nebo spíše méně stimulace. Nedávný výzkum citovaný ve studii *Clever Classrooms* například ukázal, že děti v podmínkách s „málo opticky rušivými prvky“ věnovaly více času zadání a dosáhly lepších výsledků než děti s „více opticky rušivými prvky“<sup>1</sup>. Studie také ukázala, že lepších studijních výsledků dosahují děti ve skromněji zařízených třídách než ve třídách bohatě zdobených. Read et al (1999)<sup>2</sup> dospěl k závěru, že diferencovaný prostor s různými výškami stropu a barvami stěn podporuje spolupráci, nicméně pokud je daný prostor příliš složitý, může být tento účinek kontraproduktivní.

### Jak velkou složitost?

Studie *Clever Classrooms*<sup>2</sup> tvrdí, že nadměrná nebo naopak nedostatečná míra složitosti vytváří horší podmínky pro učení, zatímco střední úroveň optické složitosti je optimální. Závěry studie jsou následující:

- Ke stimulaci pozornosti žáků postačuje optická rozmanitost půdorysného tvaru a stropu místnosti a zároveň pomáhá udržovat pořádek. Vyšší místnosti s jednoduchým stropem mohou zdánlivě „zvětšovat“ prostor, zatímco složitější tvary napomáhají celkové komplexitě, pokud nevyvolávají dojem nepořádku.
- Vizuální prezentace na stěnách by měly být vhodně provedené a uspořádané. Doporučuje se ponechat 20–50 % plochy stěn volné.
- Je třeba se vyvarovat vystavování předmětů na oknech, aby neomezovaly přísun světla.

### Jsou živé barvy nejlepší?

Živé barvy jsou pro děti bezpochyby zajímavé. Při funkčním návrhu třídy z hlediska barev je ale nutno pracovat s barvami tak, abychom dosáhli žádoucího výsledku, tj. abychom déle udrželi pozornost a omezili únavu očí.

Stimulace, barevnost a optická složitost hraje důležitou roli při vytváření živého prostředí pro učení; jaké důsledky má ale nedostatečná nebo naopak nadměrná stimulace?

Se stimulací dětí to lze snadno přehnat, když použijeme příliš živé barvy a nadměrně atraktivní výzdobu. Strohá bílá místnost ale také není řešením. Jak tedy nalézt při návrhu třídy žádoucí rovnováhu?

Např. studie Jalil et al (2012)<sup>3</sup> zkoumala, jak různé barvy ovlivňují pracovní výkon, jaké podporují chování, jakým negativním nebo pozitivním způsobem ovlivňují vnímání okolí a zadání úkolu a jaký účinek mají na náladu a emoce. A závěr? Barevné prostředí má významný vliv na schopnost učení u studentů i na jejich pohodu.

Studie uvádí, že barevný vkus je sice vysoce individuální, ale „mezi malými dětmi a seniory je nejoblíbenější červená barva interiéru, zatímco dospívající, zaměstnanci v kancelářích a studenti mužského pohlaví upřednostňují modrou.

Studie *Clever Classrooms* (2015)<sup>4</sup> posuzovala barevné prvky s málo jasnými barvami (bílá/světlá) a vysoce jasnými barvami (červená/oranžová). Stimulace barvami je podle závěrů kurvilineární, tj. optimální hodnoty leží uprostřed. Dále:

- Pokud jde o stěny, základní vliv je kurvilineární. Velké prostory ve světlých barvách získaly špatné hodnocení, což platí i pro bílé stěny s malým množstvím barevných prvků. Prostřední případ s převážně světlými stěnami doplněnými dekorativní stěnou ve světlé barvě se ukázal z hlediska optimalizace učení jako nejefektivnější.
- Barevné doplňky na poměrně jednoduchém pozadí hrají stimulační roli. Příkladem je relativně světlá barva podlahy, rolet, stolů a židlí, která tyto prvky zvýrazňuje a dodává třídě barevnost.

Úhrnem řečeno, třída na jednu stranu nesmí být tmavá a nudná, ale zároveň je třeba dávat pozor, abychom děti nestimulovali příliš.

<sup>1</sup> Godwin and Fisher: *Visual Environment, Attention Allocation, and Learning in Young Children: When Too Much of a Good Thing May Be Bad*. 2014

<sup>2</sup> Read et al: *Impact of Space and Color in the Physical Environment on Preschool Children's Cooperative Behavior, Environment and Behavior*. 1999

<sup>3</sup> Jalil et al: *Environmental Colour Impact upon Human Behaviour: A Review*. 2012.

<sup>4</sup> *Clever Classrooms* (2015), Summary report of the HEAD project, University of Salford, Manchester



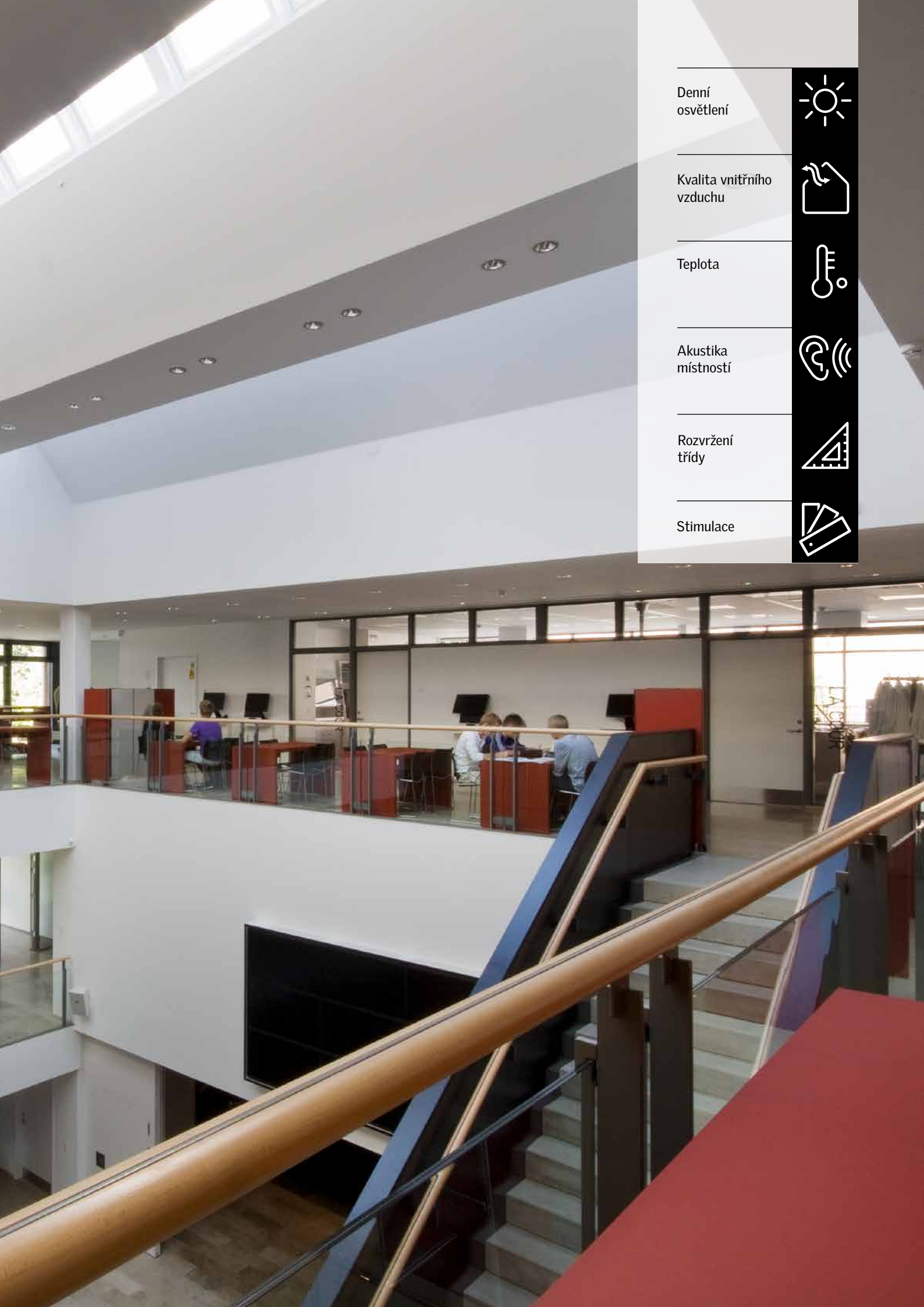
BRAHE

NEBU

END

DEKUM

EDGE



Denní osvětlení



Kvalita vnitřního vzduchu



Teplota



Akustika místností



Rozvržení třídy



Stimulace





