



**Ministerstvo výstavby a regionálneho rozvoja
Slovenskej republiky**



OBNOVA BUDOV ZÁKLADNÝCH ŠKÔL

Prípadová štúdia



Bratislava 2008



Obsah

| | |
|--|-----------|
| 1. Úvod | 5 |
| 2. Súčasný stav budov základných škôl v Slovenskej republike | 6 |
| 2.1 Zásady obnovy budov základných škôl | 8 |
| 3. Tepelná ochrana budov základných škôl | 10 |
| 3.1 Požiadavky na navrhovanie a posudzovanie stavebných konštrukcií a budov podľa STN 73 0540 | 10 |
| 3.2 Diagnostika pôvodného stavu | 14 |
| 3.3 Tepelnotechnická analýza vybraných konštrukčných detailov v pôvodnom stave | 17 |
| 3.4 Tepelnotechnická analýza vybraných detailov po navrhovanej obnove | 17 |
| 4. Termodynamické simulácie a tepelná pohoda | 21 |
| 4.1 Simulačný model typovej základnej školy | 21 |
| 4.2 Simulácie potreby energie na vykurovanie budovy základnej školy v pôvodnom stave | 25 |
| 4.3 Simulácie potreby energie na chladenie budovy základnej školy v pôvodnom stave | 26 |
| 4.4 Simulácie potreby energie na vykurovanie budovy základnej školy po navrhovanej obnove | 28 |
| 4.5 Simulácie potreby energie na chladenie budovy základnej školy po navrhovanej dodatočnej tepelnej izolácii obalového plášťa | 31 |
| 4.6 Simulácie tepelnej pohody v učebniach | 36 |
| 4.6.1 Hodnotenie tepelného stavu prostredia | 36 |
| 4.6.2 Aktuálne legislatívne požiadavky na tepelnú pohodu v Slovenskej republike | 37 |
| 4.6.3 Simulácie tepelnej pohody v učebniach základnej školy v pôvodnom stave a po navrhovanej obnove | 40 |
| 4.6.4 Vplyv protisľučných clôn na tepelnú pohodu a energetickú bilanciu | 47 |
| 5. Efektívne režimy výmeny vzduchu v učebniach | 49 |
| 5.1 Požiadavky na výmenu vzduchu v školách | 49 |
| 5.2 Simulácie spôsobov výmeny vzduchu v posudzovanej základnej škole | 52 |
| 6. Denné osvetlenie učební | 55 |
| 6.1 Hygienický význam denného svetla v školskom prostredí | 55 |
| 6.2 Normatívne kritéria denného osvetlenia vnútorných priestorov školských budov | 55 |
| 6.3 Posúdenie denného osvetlenia typovej kmeňovej učebne podľa STN 73 0580-1 | 55 |
| 6.4 Hodnotenie dynamickej dostupnosti denného svetla v učebni | 58 |
| 7. Simulácie akustiky učební | 63 |
| 7.1 Prehľad základných akustických parametrov a kritérií pre hodnotenie uzavretých priestorov | 63 |
| 7.1.1 Čas dozvuku | 63 |
| 7.1.2 Počiatočný čas dozvuku | 63 |
| 7.1.3 Hladina akustického tlaku | 64 |
| 7.1.4 Sila zvuku (relatívna hlasitosť) | 65 |

| | |
|---|-----------|
| 7.1.5 Zreteľnosť | 65 |
| 7.1.6 Jasnosť | 66 |
| 7.1.7 Indexy STI, RASTI a STIPA | 66 |
| 7.2 Akustické hodnotenie učební | 67 |
| 7.2.2 Simulácie a hodnotenie akustiky klasickej kmeňovej učebne | 67 |
| 7.2.3 Simulácie a hodnotenie akusticky upravených kmeňových učební | 70 |
| 8. Energetická hospodárnosť obnovy budov základných škôl | 76 |
| 8. 1 Potreba tepla na vykurovanie (energetické kritérium) | 76 |
| 8.2 Posúdenie budovy základnej školy z hľadiska energetického kritéria | 79 |
| 9. Rekonštrukcia technických zariadení základnej školy a spôsob zásobovania teplom | 82 |
| 9. 1 Východiská riešenia rekonštrukcie technických zariadení | 82 |
| 9.2 Návrh systému komplexného zásobovania teplom | 82 |
| 9.3 Popis navrhovaného systému | 83 |
| 9. 4 Popis jednotlivých pracovných režimov navrhnutého systému | 85 |
| 9.5 Princípy riadenej výmeny vzduchu v obnovovanej budove základnej školy | 90 |
| 10. Závery | 92 |
| 11. Literatúra | 94 |

1. Úvod

Výstavba školských zariadení úzko súvisí s vývojom názorov na vzdelávanie a vôbec s celkovým rozvojom spoločnosti. V stredoveku v školstve dominantne pôsobila cirkev, existovali školy kláštorné, katedrálne a farské. Dedinské školy na Slovensku vznikali v 16. a 17. storočí a boli súčasťou európskeho procesu reorganizácie škôl a vzdelávania, pričom vznikali katolícke a evanjelické školy. Tereziánska reforma zaviedla povinnú školskú dochádzku, posilnila štátny záujem v tejto oblasti a zvýšila centrálné riadenie. Školská reforma v Uhorsku (1777) sa týkala aj zriaďovania stredných škôl. Na základe reformy stredných škôl boli na Slovensku (najmä v rokoch 1850 - 1869) zakladané gymnáziá a reálne školy, v ktorých sa mohlo vyučovať aj v materskom jazyku. V druhej polovici 19. storočia vznikali priemyselné školy, obchodné akadémie. V roku 1922 bol v ČSR vydaný malý školský zákon, ktorý zaviedol povinnú osemročnú školu aj na Slovensku a výberové stredné školy s dôrazom na teoretické vzdelávanie. Pretože na Slovensku bol veľký nedostatok učiteľov a školských budov, zaviedla sa osemročná škola až od školského roku 1927/28. V tom čase sa ľudové školy delili na štátne, obecné, cirkevné a súkromné. Vo všeobecnosti bol stav školských budov nevyhovujúci. Najmä v 30. rokoch však prebiehala rozsiahla výstavba škôl. Na rozdiel od konca 19. a začiatku 20. storočia, keď sa u nás stavali mohutné a reprezentatívne školské budovy, prevládol pri ich výstavbe v 30. a 40. rokoch funkcionalizmus a striednosť ich celkového riešenia. Školský zákon v roku 1948 vytvoril jednotnú štátnu školskú sústavu, v roku 1960 sa zaviedla základná deväťročná škola, od roku 1978 sa dochádzka do základnej školy vymedzila na 8 rokov a uzákonila sa povinná desaťročná dochádzka do školy, od roku 1999 sa opäť zaviedla deväťročná základná škola. Počas 60. až 80. rokov minulého storočia sa postavilo na Slovensku množstvo budov základných škôl, prevažne typizovaných. Osobitne v 90. rokoch minulého storočia sa veľmi zanedbávala ich údržba a obnova.

Dnes sú mnohé budovy základných škôl značne zdevastované, s vysokou spotrebou energie, nevyhovujúce základným hygienickým požiadavkám. Najväčšie poruchy a nedostatky vykazuje obalový plášť týchto budov (strecha, obvodový plášť), často do budov zateká dažďová voda. Na hranici funkčnosti sa nachádzajú stavebné konštrukcie výplní otvorov (okná, dvere), tieniace zariadenia sú spravidla nefunkčné alebo dokonca úplne chýbajú. Tepelné mosty v obalovom plášti zapríčiňujú nízku vnútornú povrchovú teplotu a následnú kondenzáciu vodnej pary a vznik plesní. Technické zariadenia budov (vykurovanie, zásobovanie vodou, kanalizácia, elektroinštalácie) sú tiež často v havarijnom stave, prípadne po čase svojej technickej alebo morálnej životnosti.

Predkladaná publikácia si kladie za cieľ prispieť k metodike tvorby hygienického a energeticky efektívneho vnútorného prostredia v obnovovaných budovách základných škôl, niektoré riešenia ilustruje uvádzaná prípadová štúdia.

Publikácia sa člení na 8 základných kapitol, ktorých autori sú:

- súčasný stav budov základných škôl na Slovensku prof. Ing. Anton Puškár, PhD.
- tepelná ochrana budov základných škôl doc. Ing. Juraj Žilinský, PhD.
- termodynamické simulácie a tepelná pohoda prof. Ing. Jozef Hraška, PhD.
- efektívne režimy výmeny vzduchu v učebniach prof. Ing. Jozef Hraška, PhD.
- denné osvetlenie učební prof. Ing. Jozef Hraška, PhD.
- simulácie akustiky učební Ing. Monika Pavčeková
- energetická hospodárnosť obnovy budov základných škôl doc. Ing. Juraj Žilinský, PhD.
- rekonštrukcia technických zariadení základnej školy a spôsob zásobovania teplom Ing. Karol Macháč

2. Súčasný stav budov základných škôl na Slovensku

Základná škola (ZŠ) je zariadenie, ktoré poskytuje základné vzdelanie a výchovnú starostlivosť žiakom vo veku povinnej školskej dochádzky po dobu deviatich (ôsmich) rokov. Základný priestor, v ktorom prebieha vyučovanie je učebňa. Návrh učebne vychádza z typologických rozmerov a ich správneho usporiadania pre požadovaný počet žiakov. Na školách 1. a 2. cyklu ZŠ sa do učebne umiestňuje trieda ako základná vyučovacia skupina žiakov. Počet žiakov v triede sa v priebehu času mení. V minulosti mohlo byť prvých ročníkoch v triede až 34, v triede druhých až ôsmich (deviatich) ročníkov dokonca 40. V súčasnosti sú počty žiakov v triedach spravidla nižšie, čo sčasti súvisí aj s demografickým vývojom na Slovensku. Pripravovaný školský zákon výraznejším spôsobom obmedzí počty žiakov v triedach, čo by malo mať celý rad pozitívnych efektov.

Z hľadiska typologicko – architektonického riešenia môžu byť základné školy:

- monobloková - škola chodbového typu, býva vysoká dve, tri až štyri podlažia. Učebne sú obyčajne obdĺžnikové, jednostranne osvetlené. Telocvičňa je obvykle umiestnená mimo školy.
- pavilónová – škola s rozčlenenou zástavbou jednotlivých zložiek. Pavilóny sú spojené krytými chodníkmi alebo zasklenými koridormi. Nevýhodou školy sú väčšie prevádzkové náklady na vykurovanie.
- halová – škola, v ktorej sú učebne zhromaždené okolo veľkej haly, ktorá má funkciu komunikačnú a zhromažďovaciu.

Pre základnú deväťročnú školu ZDŠ (do roku 1984) bol určený počet tried 9, 13, 18, 22, 27.

Pre základnú školu osemročnú po roku 1984 bol určený počet tried 8, 12, 16, 20, 24.

Počet jednotlivých typov škôl na Slovensku v rokoch 1993 – 1997 sa uvádza v tab. 2.1 (Slovensko 1997)

Tabuľka 2.1 Počet jednotlivých typov škôl na Slovensku v rokoch 1993 – 1997. (Slovensko 1997)

| Základné školy | Počet škôl | | |
|----------------|------------|------|------|
| | 1993 | 1995 | 1997 |
| Štátne | 2411 | 2405 | 2411 |
| Súkromné | 1 | 5 | 6 |
| Cirkevné | 81 | 87 | 87 |
| Spolu | 2493 | 2497 | 2404 |

Tabuľka 2.2 uvádza priemernú spotrebu energie na vykurovanie v školách vo vlastníctve štátu podľa rôznych období výstavby (Sternová, Bendžalová 2003).

Tab. 2.2 Priemerná spotreba energie na vykurovanie v školách vo vlastníctve štátu (Sternová, Bendžalová 2003)

| Roky realizácie | Spotreba energie (kWh/m ³ .rok) |
|-----------------|--|
| do 1950 | 50,55 |
| 1951 - 1960 | 51,05 |
| 1961 - 1970 | 51,63 |
| 1971 - 1980 | 53,90 |
| 1981 - 1990 | 50,11 |
| po 1991 | 48,11 |

Z tabuľky 2.1 vyplýva, že počet škôl (školských budov) sa stabilizoval. Výstavba nových školských budov sa realizuje veľmi zriedka a 90 % z uvedených škôl vyžaduje viac alebo menej náročnú obnovu. Túto skutočnosť dokumentuje aj tabuľka 2.2, ktorá uvádza priemernú spotrebu energie na vykurovanie na školách podľa rokov realizácie. Z tabuľky vidieť, že priemerná spotreba energie (v kWh/m³.rok) sa prakticky nemení podľa rokov realizácie, pričom táto spotreba je vysoká.

Budovy základných škôl sa do r. 1990 navrhovali a realizovali na základe typizačných smerníc, typových podkladov ako opakované projekty. Typizácia základných škôl sa začala v roku 1950. Státni typizační ústav (STÚ) Praha vydal typizačný zborník so štúdiami všetkých typov škôl. Na Slovensku sa z týchto realizovali hlavne dvojtriedne školské pavilóny.

Materiálová základňa bola nasledovná:

- zvislé nosné konštrukcie - tehlové murivo,
- stropy – prefabrikované železobetónové trámy a dosky,
- prefabrikované strešné konštrukcie – drevené zbíjané alebo železobetónové väzníky.

Neskôr namiesto tradičného muriva boli použité konštrukcie z tehlových blokov.

V rokoch 1954 až 1970 sa uplatňovali opakované projekty. Materiálová základňa: prefabrikované železobetónové konštrukčné prvky, vytvárajúce skeletovú nosnú sústavu s obvodovými plášťami tehlovými, neskôr prefabrikované panely sendvičové alebo pórobetónové.

V rokoch 1965 až 1967 sa vývojom školských stavieb zaoberal Ústav pre vývoj a projektovanie školských a kultúrnych stavieb v Bratislave a v rokoch 1968 až 1978 IPO ŠS. V tomto období sa realizovali prevažne montované železobetónové skelety s plynosilikátovým obvodovým plášťom hrubým 250 mm, tehlovým hrubým 375 mm alebo 120 mm hrubým kovoplastickým plášťom.

V roku 1979 boli spracované typové podklady pre 8 – 24 triedne ZŠ v stavebnej sústave Montovaný skelet – Revidovaný Priemstav (MS–RP) a pre 8 – 32 triedne ZŠ v stavebnej sústave S 1.2. Typový podklad stavebného objektu na úrovni podrobnej dokumentácie spracovala Inžiniersko – projektová organizácia školských stavieb Bratislava pod názvom 16. triedna základná škola v stavebnej sústave MS–RP.

Budova školy je riešená ako monoblok pozostávajúci zo 7 dilatačných celkov s vnútorným átriom, jedno až trojpodlažná.

Nosnú konštrukciu tvorí montovaný železobetónový skelet MS-RP ako pozdĺžny nosný systém v module $n \times 6000$ mm, s konštrukčnou výškou 3600 mm.

Obvodový plášť je pórobetónový hrubý 250 mm a má tepelný odpor $R = 0,96 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$.

Jednoplášťová plocha strecha má projektovaný tepelný odpor $R = 2,479 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$.

Vykurovací systém je dvojúrkový, teplovodný s núteným obehom vody. Objekt má strojovňu pre vykurovanie. Kanalizácia, vodovod a plynovod sú napojené na verejnú sieť. Elektroinštalácia obsahuje slaboprúdové rozvody, bleskozvody a rozvody oznamovacieho zariadenia. Vzduchotechnika zabezpečuje centrálnu vetranie so strojovňou pre telocvičňu, jedáleň a kuchyňu.

V roku 1984 vypracovala Inžiniersko – projektová organizácia školských stavieb Bratislava ďalšie typové podklady 8, 12, 16, 20 a 24 triednej základnej školy v unifikovanej konštrukčnej stavebnicovej sústave montovaných skeletov S 1.2 STÚ II. kategórie.

Budova školy je rovnako ako pri MS-RP riešená ako monoblok pozostávajúci zo 4 až 6 dilatačných celkov, kde každý funkčný úsek je riešený samostatne. Funkčné celky sú jedno až štvorpodlažné.

Nosná konštrukcia je riešená z prvkov montovaného skeletu S 1.2 STÚ II. kategórie, pre telocvičňu s rozponom väčším ako 12 m ako bezväzníková hala.

Obvodový plášť je pórobetónový hrubý 300 mm, technológia CALSILOX s tepelným odporom $R = 1,17 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$. Dvojplášťová strešná konštrukcia má tepelný odpor $R = 2,8 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$.

Vzduchotechnika zabezpečuje vetranie a odsávanie kuchyne, výdajne stravy, skladov, spŕch WC a odborných učební.

2.1 Zásady obnovy budov základných škôl

Smernica Rady ministrov ES č. 89/106/EEC stanovuje hlavné požiadavky na stavebné materiály, prvky a konštrukcie, ktorými sú :

- mechanická pevnosť a stabilita,
- protipožiarna ochrana,
- zabezpečenie hygieny, ochrana zdravia a životného prostredia,
- bezpečnosť pri užívaní ochrana proti hluku,
- úspory energie a tepelná izolácia.

Analýza celého radu defektov budov základných škôl potvrdzuje, že ich príčiny sú najmä fyzikálno-technickej podstaty.

Nosné systavy objektov vo väčšine prípadov vyhovujú z hľadiska mechanickej pevnosti a stability. Pri návrhu obnovy je však potrebné previesť diagnostiku všetkých prvkov a konštrukcií nosnej sústavy a ich prípadné priťaženie stanoviť na základe podrobného statického posúdenia. V poslednom období nastalo zlepšenie aj z hľadiska protipožiarinej ochrany a bezpečnosti pri užívaní. Za nevyhovujúci a v mnohých prípadoch až nefunkčný možno považovať obalový plášť týchto budov.

Okrem hygienického kritéria (pozri časť 3) obvodové plášte , ale aj strešné plášte (s tepelným odporom $R < 2,8 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$) vytvárajú problémy so splnením energetického kritéria (pozri časť 3), ktoré stanovuje požiadavky na mernú potrebu tepla na vykurovanie.

Najslabším článkom z hľadiska požiadaviek Smernice Rady ministrov ES č. 89/106/EEC sú okenné konštrukcie. Na budovách ZŠ sú v prevažnej miere osadené drevené zdvojené okná. Tieto okná strácajú svoju funkčnosť. Pôvodné kovanie, kľučky, závesy sú poškodené a nezabezpečujú základnú požiadavku dostatočné pritlačenie okenného krídla do okenného rámu. Manipulácia s týmito oknami je nebezpečná. Vlysy okenných krídiel a rámov sú vplyvom nedostatočnej údržby poškodené. Majú nedostatočné tepelnoizolačné a akustické vlastnosti. Nevyhovujúce tepelnoizolačné a akustické vlastnosti majú aj okná na materiálovej báze kovov.

Vzhľadom na skutočnosť, že rekonštrukcia týchto okien je veľmi náročná technicky aj ekonomicky, odporúčame ich pri obnove vymeniť. Projektant pri návrhu obnovy musí brať do úvahy skutočnosť, že nové moderné okenné konštrukcie na všetkých materiálových bázach, drevo, plasty, kovy sú veľmi tesné, oproti pôvodným oknám sú takmer neprievzdušné a nezabezpečujú prirodzené vetranie. Po osadení takýchto okien sa v triedach mení prúdenie vzduchu, zvyšuje sa relatívna vlhkosť vzduchu a v miestach tepelných mostov môže dôjsť ku kondenzácii vodnej pary. Z uvedeného dôvodu jednoznačne odporúčame navrhovať a realizovať komplexnú obnovu obvodového plášťa, zvýšenie tepelnoizolačných vlastností netransparentných častí a odstránenie tepelných mostov zateplením a zároveň vymeniť okná a dverné konštrukcie.

Súčasťou obnovy musí byť aj zlepšenie tepelnoizolačných vlastností stiech a podlahových konštrukcií na teréne a nad nevykurovanými suterénnymi priestormi.

Dňa 8. novembra 2005 Národná rada Slovenskej republiky schválila zákon č. 555/2005 Z.z. o energetickej hospodárnosti budov.

Základným cieľom zákona o energetickej hospodárnosti budov je zabezpečiť zlepšenie energetickej hospodárnosti budov zmenou tepelnej ochrany obalového plášťa vo vzťahu k vonkajším klimatickým podmienkam, pričom je nutné zabezpečiť požadovanú kvalitu vnútorného prostredia.

Zlepšenie kvality obalového plášťa, jeho tepelnoizolačných vlastností, je dôležitým krokom smerom k energetickej hospodárnosti budov. Bez celého radu ďalších opatrení sa však zďaleka nedosiahnu potenciálne možnosti. Rovnako dôležité sú úpravy systému výroby a distribúcie tepla na vykurovanie a prípravu teplej vody. Sem patria napr. zvýšenie účinnosti zdroja osadením moderných kondenzačných kotlov s automatickou reguláciou, zmena palivovej základe, obnova teplovodných rozvodov, zníženie strát tepla pri distribúcii od zdroja, hydraulické vyregulovanie vykurovacieho systému, s osadením zariadení reagujúcich na tepelné zisky (termostatické ventily), meranie odobratého tepla a teplej vody.

Všetky tieto úpravy prispievajú k podstatnému zníženiu energetickej náročnosti. V budovách ZŠ je možné komplexnou obnovou znížiť spotrebu tepla o 40 až 60% oproti pôvodnému stavu, technicky náročnejšími opatreniami je možné dosiahnuť ešte vyššie úspory energie.

3. Tepelná ochrana budov základných škôl

Práce súvisiace s riešením obnovy budovy z hľadiska tepelnej ochrany budov možno rozdeliť na nasledovné etapy:

- stanovenie požadovaných kritérií a požiadaviek,
- podrobná diagnostika a s tým súvisiaci výber problémových miest a detailov,
- numerická analýza vytypovaných detailov s návrhom riešenia,
- realizácia numericky overených riešení v projektovom riešení a neskôr ich realizácia priamo na budove,
- vyhodnotenie realizovaného riešenia dlhodobým sledovaním spotreby energie vo vzťahu k pôvodnému riešeniu.

3.1 Požiadavky na navrhovanie a posudzovanie stavebných konštrukcií a budov podľa STN 73 0540

Základné požiadavky na tepelnú ochranu budov určuje STN 73 0540 z roku 2002.

Na hodnotenie stavu vnútorného prostredia (tepelnej pohody) a výpočet tepelných tokov cez konštrukcie sa počíta s vnútornou výpočtovou teplotou θ_i . Hodnota θ_i sa určuje podľa prevádzkových požiadaviek alebo podľa požiadaviek investora. Vo výpočtovom hodnotení stavebných konštrukcií a budov sa podľa uvedenej normy počíta s hodnotou $\theta_i = 20$ °C a s relatívnou vlhkosťou vnútorného vzduchu $\varphi_i = 50$ %.

Tepelnotechnické vlastnosti stavebných konštrukcií a budov zabezpečujú tieto veličiny:

- tepelný odpor stavebnej konštrukcie,
- súčiniteľ prechodu tepla konštrukcie,
- vnútorná povrchová teplota stavebnej konštrukcie,
- množstvo skondenzovanej a vyparenej vodnej pary v stavebnej konštrukcii za rok,
- vzduchová priepustnosť škár a stykov stavebných konštrukcií,
- tepelná prijímavosť podlahovej konštrukcie,
- potreba tepla na vykurovanie,
- tepelná stabilita miestnosti.

Funkčné požiadavky: zohľadňujú šírenie tepla (najnižšia povrchová teplota konštrukcie, súčiniteľ prechodu tepla a tepelný odpor konštrukcie), šírenie vlhkosti (skondenzované množstvo vodnej pary v konštrukcii, ročná bilancia skondenzovanej vodnej pary a vyparenej vody), šírenie vzduchu konštrukciou (škárová prievzdušnosť, intenzita výmeny vzduchu), tepelnú stabilitu miestnosti a mernú potrebu energie.

Pri navrhovaní stavebných konštrukcií a priestorov vymedzených určeným stavom vnútorného prostredia bytových a nebytových budov sa požaduje splnenie požiadaviek na stavebné konštrukcie a budovu. Formulované sú ako:

- kritérium minimálnych tepelnoizolačných vlastností stavebnej konštrukcie (maximálnej hodnoty súčiniteľa prechodu tepla konštrukciou U),
- kritérium výmeny vzduchu (minimálnej, v čase spriemerovanej výmeny vzduchu v miestnosti),
- hygienické kritérium (minimálnej teploty vnútorného povrchu),
- energetické kritérium (maximálnej mernej potreby tepla na vykurovanie).

Pri ostatných nebytových (nevýrobných) budovách treba splniť normové požiadavky na tepelnotechnické vlastnosti stavebných konštrukcií podľa čl. 3.1.3 a čl. 3.2.3 v STN 73 0540-2.

Tepelný odpor stavebnej konštrukcie a súčiniteľ prechodu tepla (kritérium minimálnych tepelnoizolačných vlastností)

Vzhľadom na splnenie podmienok tepelnej pohody v miestnosti v zimnom období a na splnenie energetických požiadaviek musia mať steny, strechy, stropy a podlahy vykurovaných alebo klimatizovaných bytových a nebytových budov (občianskej výstavby) v priestoroch s relatívnou vlhkosťou $\varphi_i \leq 80\%$ taký súčiniteľ prechodu tepla konštrukcie U alebo tepelný odpor konštrukcie R , aby bola splnená podmienka:

$$U \leq U_N, \text{ resp. } R \geq R_N$$

kde U_N je normová hodnota súčiniteľa prechodu tepla konštrukcie vo $W/(m^2.K)$; normové hodnoty U_N sú pre bytové a nebytové (občianske) budovy uvedené v tab. 3, STN 73 0540-2, U_N sú určené z hodnôt R_N a z príslušných odporov pri prestupe tepla na vnútornom a vonkajšom povrchu R_{si} a R_{se}

$$U_N = \frac{1}{R_{si} + R_N + R_{se}} \quad (W/(m^2.K))$$

kde R_N je normová hodnota tepelného odporu ($m^2.K/W$).

Tepelný odpor podláh na teréne sa určuje z vrstiev uložených nad hydroizolačnou vrstvou.

Súčiniteľ prechodu tepla konštrukcií, ktoré sú v kontakte so zeminou, sa určuje podľa STN EN ISO 13370.

Pri vnútorných zvislých a vodorovných konštrukciách oddeľujúcich miestnosti bytov s rozdielnym režimom vykurovania a regulácie uvažuje sa minimálny rozdiel teploty vnútorného vzduchu 15 K.

Pri ostatných budovách sa vyžaduje maximálna hodnota súčiniteľa prechodu tepla konštrukcie U , resp. minimálna hodnota tepelného odporu R taká, aby sa splnili všetky vyššie uvedené požiadavky.

Najväčší dovolený rozdiel teploty vnútorného vzduchu a teploty na vnútornom povrchu konštrukcie $\Delta\theta_{si}$ v prevádzkach s veľmi ľahkou a ľahkou prácou je:

- $\Delta\theta_{si} \leq 6$ K pre zvislé konštrukcie (oddeľujúce vnútorný priestor od vonkajšieho prostredia i vnútorné),
- $\Delta\theta_{si} \leq 3$ K pre podlahy,

pričom teplota na vnútornom povrchu konštrukcie musí spĺňať hygienickú podmienku podľa čl. 3.1.1 STN 73 0540-2 pre všetky triedy práce.

Vonkajšie okná a dvere musia mať súčiniteľ prechodu tepla konštrukcie:

$$U_{ok} \leq U_{ok.N}$$

kde U_{ok} je výpočtová hodnota ($W/(m^2.K)$), rovnajúca sa nameranej hodnote alebo vypočítaná z nameraných hodnôt zasklenia a rámu konštrukcie, normová hodnota

$U_{ok,N}$ sa stanoví z tab. 4 STN 73 0540-2 pre obnovované (rekonštruované) alebo nové budovy.

Hodnotu U_{ok} možno uvažovať ako výpočtovú hodnotu pre konkrétny výrobok, ak ju stanovila akreditovaná skúšobňa.

Celá výplňová otvorová konštrukcia ostatných budov má vyhovovať požiadavkám na zamedzenie povrchovej kondenzácie vodnej pary.

Maximálne hodnoty súčiniteľa prechodu tepla konštrukcie U_N stanovené pre obnovované bytové a nebytové budovy s dlhodobým pobytom ľudí definujú spodný limit tepelnoizolačných vlastností stavebných konštrukcií.

Vyššie hodnoty súčiniteľa prechodu tepla U , ako sú odporúčané hodnoty v tab. 4 STN 73 0540-2 môžu mať stavebné konštrukcie nových budov, ak je splnené energetické kritérium.

Najnižšia vnútorná povrchová teplota stavebnej konštrukcie (hygienické kritérium)

Steny, stropy a podlahy v priestoroch s relatívnou vlhkosťou vzduchu $\varphi_i \leq 80\%$ musia mať na každom mieste vnútorného povrchu teplotu θ_{si} vyjadrenú v $^{\circ}\text{C}$, ktorá je bezpečne nad teplotou rosného bodu a vylučuje riziko vzniku plesní.

$$\theta_{si} \geq \theta_{si,N} = \theta_{si,80} + \Delta \theta_{si} \text{ (}^{\circ}\text{C)}$$

kde $\theta_{si,N}$ je najnižšia vnútorná povrchová teplota, ktorá sa stanoví pre najmenej priaznivé vzájomné spolupôsobenie materiálovej skladby a geometrie stavebnej konštrukcie vrátane tepelných mostov,

$\theta_{si,80}$ – kritická povrchová teplota na vznik plesní zodpovedajúca 80% relatívnej vlhkosti vzduchu v tesnej blízkosti vnútorného povrchu stavebnej konštrukcie pri teplote vnútorného vzduchu θ_{ai} a relatívnej vlhkosti vzduchu φ_i pre normové podmienky vnútorného vzduchu pri teplote vnútorného vzduchu $\theta_{ai} = 20^{\circ}\text{C}$ a relatívnej vlhkosti vnútorného vzduchu $\varphi_i = 50\%$ je $\theta_{si,80} = 12,6^{\circ}\text{C}$,

$\Delta \theta_{si}$ – bezpečnostná prirážka zohľadňujúca spôsob vykurovania miestnosti a spôsob užívania miestnosti, ktorá sa stanoví z tab. 1 STN 73 0540-2,

Požiadavka podľa vyššie uvedeného vzťahu sa nevzťahuje na presklené výplne otvorových konštrukcií, ktoré sa hodnotia podľa požiadaviek stanovených pre otvorové konštrukcie podľa čl. 3.1.2 STN 73 0540-2.

Rámy, nepriesvitné a priesvitné výplne otvorov v priestoroch s relatívnou vlhkosťou vzduchu $\varphi_i < 50\%$ musia mať na každom mieste povrchovú teplotu $\Theta_{si,ok}$ ($^{\circ}\text{C}$) nad teplotou rosného bodu θ_{dp}

$$\theta_{si,ok} > \theta_{si,ok,N} = \theta_{dp} \text{ (}^{\circ}\text{C)}$$

kde $\theta_{si,OK}$ je požadovaná normová hodnota vnútornej povrchovej teploty výplne otvorov ($^{\circ}\text{C}$),

θ_{dp} – teplota rosného bodu zodpovedajúca výpočtovej teplote vnútorného vzduchu φ_i ($^{\circ}\text{C}$),

$\theta_{si,ok}$ – vnútorná povrchová teplota výplne otvoru zodpovedajúca výpočtovej teplote vnútorného vzduchu pozdĺž výplne otvoru $\theta_{ai,ok}$.

Kondenzácia vodnej pary a vyparovanie vlhkosti zo stavebných konštrukcií

Aby nemohla vodná para vo vnútri konštrukcie kondenzovať, majú sa vrstvy v konštrukcii radiť tak, aby ich difúzny odpor jednotlivých materiálových vrstiev v smere z interiéru k exteriéru postupne klesal. Zároveň sa odporúča, aby tepelný odpor jednotlivých vrstiev v tom istom smere stúpал.

Prvá vrstva z interiérovej strany má prepúšťať čo najmenej vodnej pary a posledná čo najviac. Bez kondenzácie vodnej pary v konštrukcii sa musia navrhnuť strechy, stropy a steny, v ktorých by skondenzovaná vodná para ohrozila ich požadovanú funkciu :

$$g_k = 0 \text{ (kg/ (m}^2\text{.rok))}$$

g_k je celoročné množstvo skondenzovanej vodnej pary v konštrukcii (kg/ (m².rok)).

S obmedzenou kondenzáciou vodnej pary v konštrukcii, ktorá sa určí bez uvažovania vplyvu slnečného žiarenia, možno navrhnuť strechy, stropy a steny, v ktorých sú splnené všetky tieto podmienky :

- skondenzovaná vodná para neohrozí požadovanú funkciu konštrukcie,
- ročná bilancia skondenzovanej vodnej pary a vyparenej vody je priaznivá,

$$g_k < g_v \text{ (kg/ (m}^2\text{.rok))}$$

kde g_v je celoročné množstvo vyparenej vody v kg/ (m².rok),

- prípustné celoročné množstvo skondenzovanej vodnej pary je :
 - pre jednoplášťové strechy
 $g_k \leq 0,1 \text{ (kg/ (m}^2\text{.rok))}$,
 - pre ostatné konštrukcie :
 $g_k \leq 0,5 \text{ (kg/ (m}^2\text{.rok))}$.

Tepelné mosty

Tepelné mosty rozoznávame :

- konštrukčné,
- geometrické.

Konštrukčné tepelné mosty vznikajú spravidla porušením tepelnofyzikálnej homogenity konštrukcie.

Geometrické tepelné mosty vznikajú najčastejšie lomením tepelnotechnickej homogénnej konštrukcie oddeľujúcej prostredia s rôznou klímou a tepelný most vzniká v dôsledku zmeny okrajových podmienok tepelného toku, napr. zväčšením ochladzovacej plochy steny v nároží budovy.

Obvodová stena na mieste tepelného mosta musí spĺňať kritérium minimálnej teploty vnútorného povrchu Θ_{si} .

Vo všeobecnosti sa odporúča, aby konštrukčné tepelné mosty nezvyšovali tepelné straty viac ako 15 % v porovnaní s tepelnými stratami cez typický fragment obvodovej konštrukcie. Pri navrhovaní nových nízkoenergetických budov sa vyžaduje takmer úplná eliminácia tepelných mostov.

Pozornosť tepelným mostom treba venovať aj na miestach otvorových konštrukcií, pričom okrem tepelnej izolácie treba dobre navrhnuť aj utesnenie škár v ostení a to z interiéru aj exteriéru.

Intenzita výmeny vzduchu v miestnosti (kritérium minimálnej priemernej výmeny vzduchu)

Intenzita výmeny vzduchu v miestnosti vyhovuje, ak sa škárovou prievzdušnosťou stykov a škár výplní otvorov (prirodzenou infiltráciou) splní podmienka :

$$n \geq n_N \text{ (1/h)}$$

kde n_N je požadovaná priemerná intenzita výmeny vzduchu (1/h).

Ak nie je splnená požiadavka na intenzitu výmeny vzduchu v miestnosti prirodzenou infiltráciou, treba zabezpečiť výmenu inými spôsobom.

Vo všetkých vnútorných priestoroch bytových a nebytových budov je priemerná hodnota $n_N = 0,5$ 1/h kritérium minimálnej výmeny vzduchu, ak hygienické predpisy a prevádzkové podmienky nevyžadujú iné hodnoty.

Požadované hodnoty n_N sú odvodené z požiadaviek na nízku potrebu tepla na krytie tepelných strát vetraním, pričom hygienické požiadavky sa považujú za prioritné. Hygienicky požadované hodnoty s vyššou intenzitou výmeny vzduchu sa obyčajne zabezpečujú vzduchotechnikou. V týchto prípadoch sa odporúča v rámci technického zariadenia budovy riešiť rekuperáciu tepla.

3.2 Diagnostika pôvodného stavu

Uvedená časť v celom komplexe obnovy budov z hľadiska tepelnej ochrany patrí medzi jedny z najdôležitejších. Vytypovať problémové miesta v budove je vhodné ponechať skúsenému odborníkovi v oblasti konštrukcií pozemných stavieb so zameraním na stavebnú fyziku. Do uvedenej problémovej skupiny častí objektov základných škôl (a nielen ich) patria hlavne:

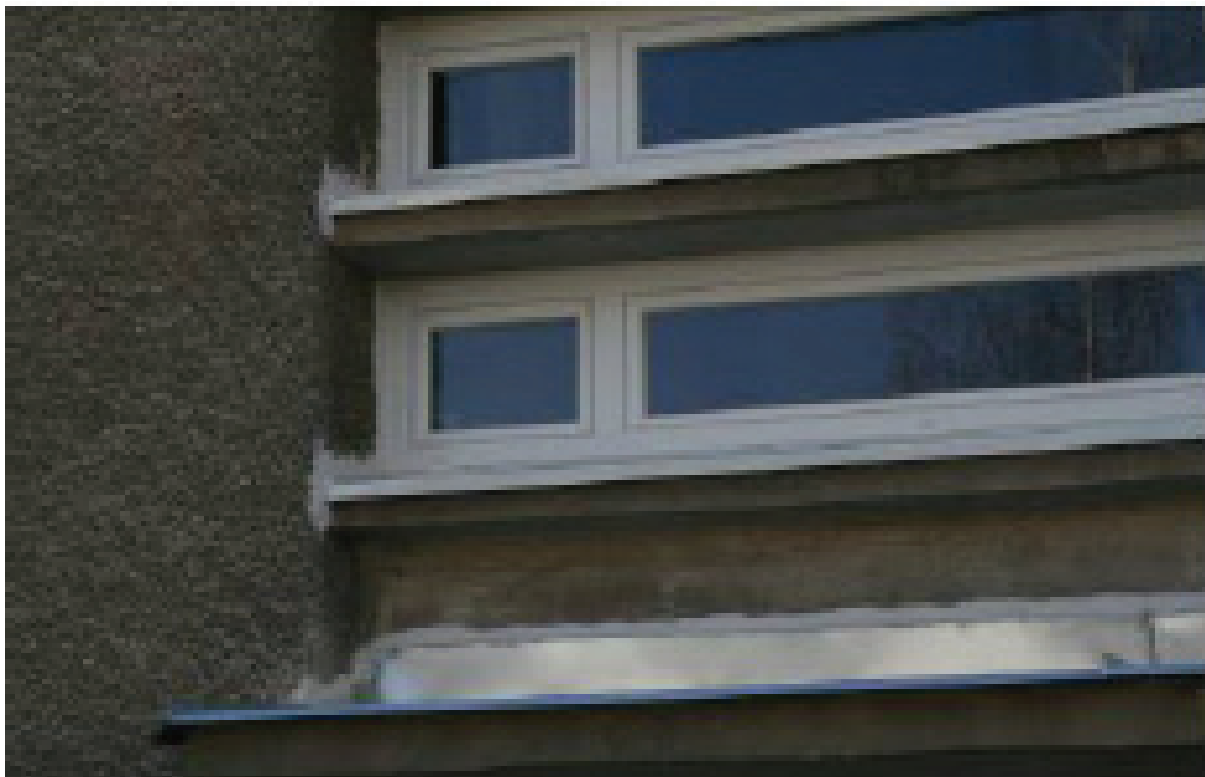
- obalové konštrukcie a to
 - strechy,
 - steny,
 - podlahy nad terénom resp. nad nevykurovanými priestormi,
 - okná,
- „necharakteristické“ detaily a to hlavne
 - detail osadenia okien,
 - detail okenného nadpražia,
 - detail obvodového venca,
 - detail kúta, resp. rohu stien,
 - detaily balkónov, ríms, atík.

Z veľkej skupiny vytypovaných a analyzovaných detailov v uvádzanej prípadovej štúdií uvádzame iba nasledovné:

- obr. 3.1 – ukazuje pohľad na tepelné mosty vznikajúce nevhodným návrhom prečnievajúcej železobetónovej rímsy,



Obr. 3.1 Tepelné mosty v mieste železobetónovej rímsy



Obr. 3.2 Detailný pohľad na horizontálne železobetónové nosníky



Obr. 3.3 Tepelné mosty v oblasti schodiska



Obr. 3.4 Pohľad na parapetné murivo zvyšujúce tepelné straty

- obr. 3.2 – uvádza pohľad na nevhodne navrhnuté horizontálne železobetónové nosníky v schodišťovom priestore,

- obr. 3.3 – uvádza pohľad na vertikálne medziokenné pilieriky vytvárajúce výrazné tepelné mosty,
- obr. 3.4 – uvádza pohľad na ustupujúce parapetné murivo, výrazne zvyšujúce tepelné straty.

3.3 Tepelnotechnická analýza vybraných konštrukčných detailov v pôvodnom stave

Na základe odbornej diagnostiky a stanovených kritérií bola spracovaná komplexná tepelnotechnická analýza prvkov a detailov obalových konštrukcií.

Vybrané vypočítané tepelnotechnické parametre posudzovanej typovej budovy základnej školy uvádza tab. 3.1

Tab. 3.1 Vypočítané tepelnotechnické vlastnosti obalových konštrukcií v pôvodnom stave

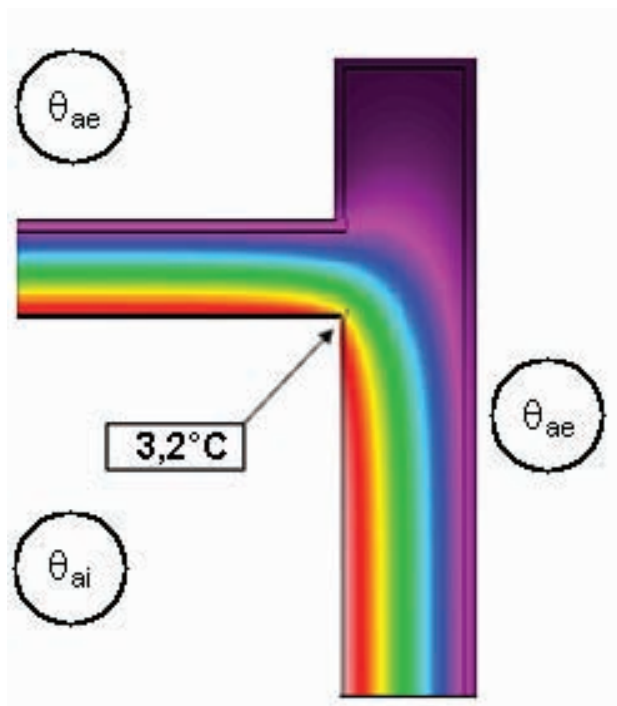
| Analyzovaná konštrukcia | U W/(m ² .K) |
|---|-------------------------|
| Obvodová stena hr. 250 mm (CDm) | 1,69 |
| Obvodová stena hr. 375 mm (CD Tým) | 0,83 |
| Strešný plášť školy (strešný panel PZD hr. 150 mm, škvárobeton hr. 60 mm, betón hr. 70 mm, hydroizolácia) | 1,16 |
| Strešný plášť šatní (strešný panel PZD hr. 150 mm, škvára hr. 50 mm, škvárobeton hr. 60 mm, betón hr. 70 mm, hydroizolácia) | 0,95 |
| Podlaha v učebni (betón hr. 80 mm, hydroizolácia, betón hr. 70 mm, drevené vlysky hr. 20 mm) | 1,87 |
| Podlaha na chodbe (betón hr. 80 mm, hydroizolácia, betón hr. 70 mm, keramická dlažba hr. 10 mm) | 2,05 |
| Drevené zdvojené okná | 2,85 |

Z uvedených vypočítaných hodnôt možno konštatovať, že obalové konštrukcie výrazne nevyhovujú aktuálnym požiadavkám na tepelnú ochranu budov podľa STN 73 0540-2. Vo vzťahu k splneniu požiadavky hygienického kritéria bolo v pilotnom projekte analyzovaných 27 „problémových“ detailov. Na obr.3.5 až 3.8 sú uvedené iba vybrané. Možno konštatovať, že prakticky všetky detaily nevyhovovali hygienickému kritériu definovanému v STN 73 0540-2.

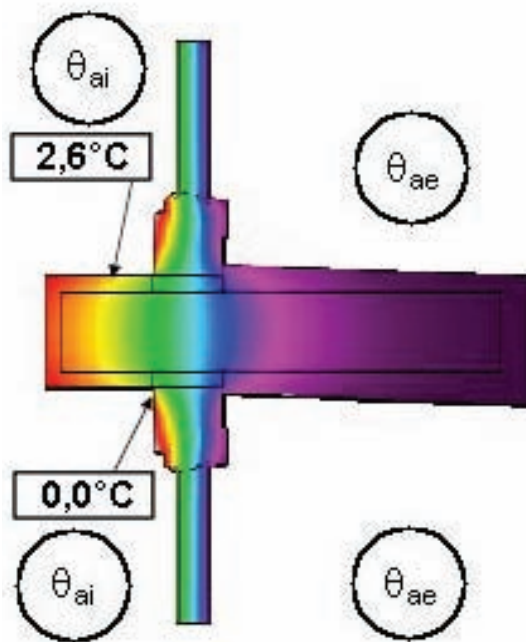
3.4 Tepelnotechnická analýza vybraných detailov po navrhovanej obnove

Na základe záverov z tepelnotechnickej a energetickej analýzy budovy v pôvodnom stave sa navrhli parametre tepelnej ochrany, ktoré charakterizujú údaje v tab. 3.2. Z výsledkov možno konštatovať, že navrhnuté fragmenty obalových konštrukcií v plnom rozsahu vyhovujú požiadavkám STN 73 0540 časť 2.

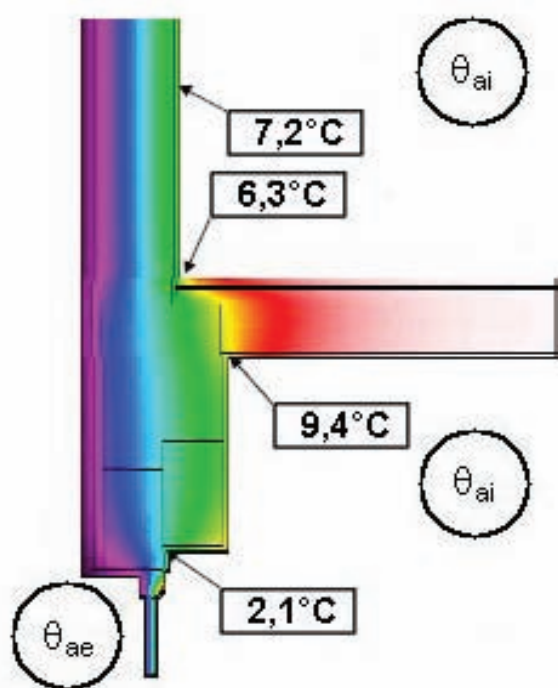
Vo vzťahu k splneniu požiadavky hygienického kritéria bolo v pilotnom projekte analyzovaných 20 „necharakteristických“ detailov. Na obr. 3.9 až 3.12 sú uvedené iba vybrané, z ktorých vyplýva, že uvedenými návrhmi konštrukčnej tvorby boli splnené požiadavky hygienického kritéria podľa STN 73 0540-2.



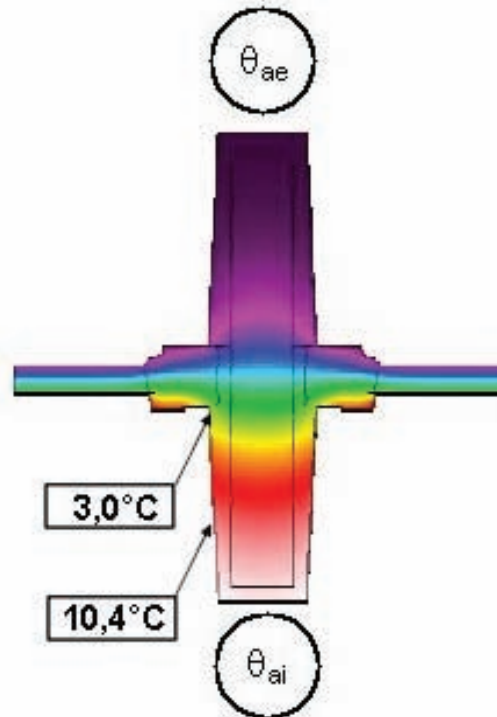
Obr. 3.5 Detail vertikálneho kúta obvodovej steny a parapetného muriva – pôvodný stav



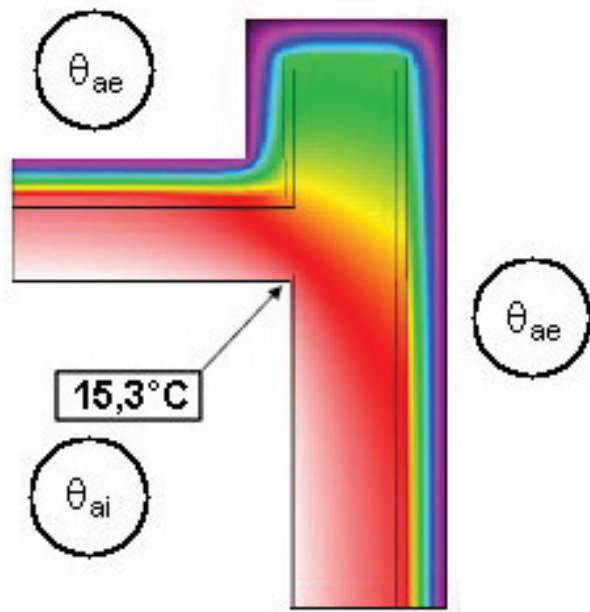
Obr. 3.6 Detail horizontálneho nosníka v schodiskovom priestore – pôvodný stav



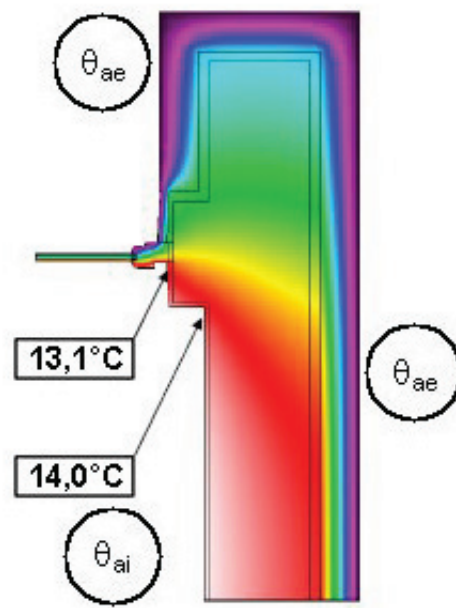
Obr.3.7 Detail okenného nadpražia – pôvodný stav



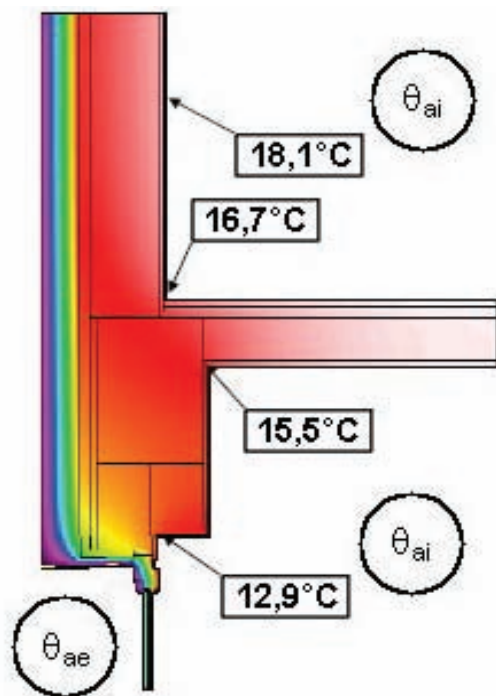
Obr.3.8 Detail vertikálneho medziokenného stĺpa – pôvodný stav



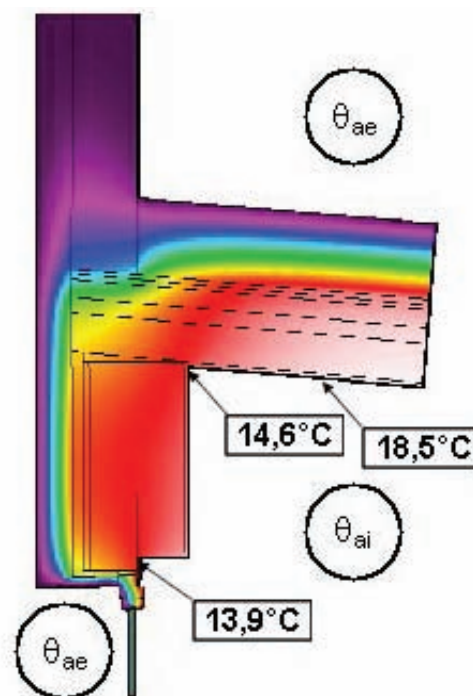
Obr. 3.9 Detail vertikálneho kúta obvodovej steny a parapetného muriva – navrhovaný nový stav



Obr. 3.10 Detail vertikálneho kúta v oblasti osadenia okna – navrhovaný nový stav



Obr.3.11 Detail okenného nadpražia – navrhovaný nový stav



Obr. 3.12 Detail v nadväznosti obvodovej steny a strechy – navrhovaný nový stav

Tab. 3.2 Vypočítané tepelnotechnické vlastnosti obalových konštrukcií po navrhovanej obnove budovy základnej školy

| Analyzovaná konštrukcia | U W/(m ² .K) |
|--|-------------------------|
| Obvodová stena (CDm hr. 240 mm, polystyrén hr. 140 mm) | 0,196 |
| Obvodová stena (CD Týn hr. 375 mm, polystyrén hr. 140 mm) | 0,174 |
| Strešný plášť školy (strešný panel PZD hr. 150 mm, škvárobotón hr. 60 mm, betón hr. 70 mm, hydroizolácia, polystyrén hr. 300 mm) | 0,095 |
| Strešný plášť šatní (strešný panel PZD hr. 150 mm, škvára hr. 50 mm, škvárobotón hr. 60 mm, betón hr. 70 mm, hydroizolácia, polystyrén hr. 300 mm) | 0,093 |
| Podlaha v učebni (betón hr. 80 mm, hydroizolácia, betón hr. 70 mm, polystyrén hr. 70 mm, PVC) | 0,332 |
| Podlaha na chodbe (betón hr. 80 mm, hydroizolácia, betón hr. 70 mm, polystyrén hr. 70 mm keramická dlažba hr. 10 mm) | 0,338 |
| PVC okná | 1,30 |

4. Termodynamické simulácie a tepelná pohoda

Vnútorne prostredie v budovách a ich energetická spotreba sú podmienené zložitými dynamickými väzbami, ktoré sú ovplyvňované vonkajším prostredím, architektonicko – konštrukčným riešením budov, technickými zariadeniami a ich užívateľmi. Počítačové simulácie môžu byť využité na hodnotenie riešenia stavebného prostredia v rôznych štádiách jeho projektovej prípravy, na optimalizáciu výberu materiálov, konštrukcií, techniky prostredia s ohľadom na tepelnú a vizuálnu pohodu, na úspory energie a na mnohé iné úlohy. Virtuálny fyzikálny simulačný model budovy má potenciál odpovedať na celý rad otázok, ktoré zaujímajú jednotlivých členov tímu projektantov, prípadne prevádzkovateľa budovy. Odpovede na tieto otázky sú obyčajne vzájomne podmienené.

Z komplexu pohodových faktorov stavu vnútorného prostredia majú na energetickú náročnosť školských stavieb relatívne najväčší vplyv požiadavky na:

- tepelnú pohodu,
- kvalitu vnútorného vzduchu,
- denné osvetlenie.

4.1 Simulačný model typovej základnej školy

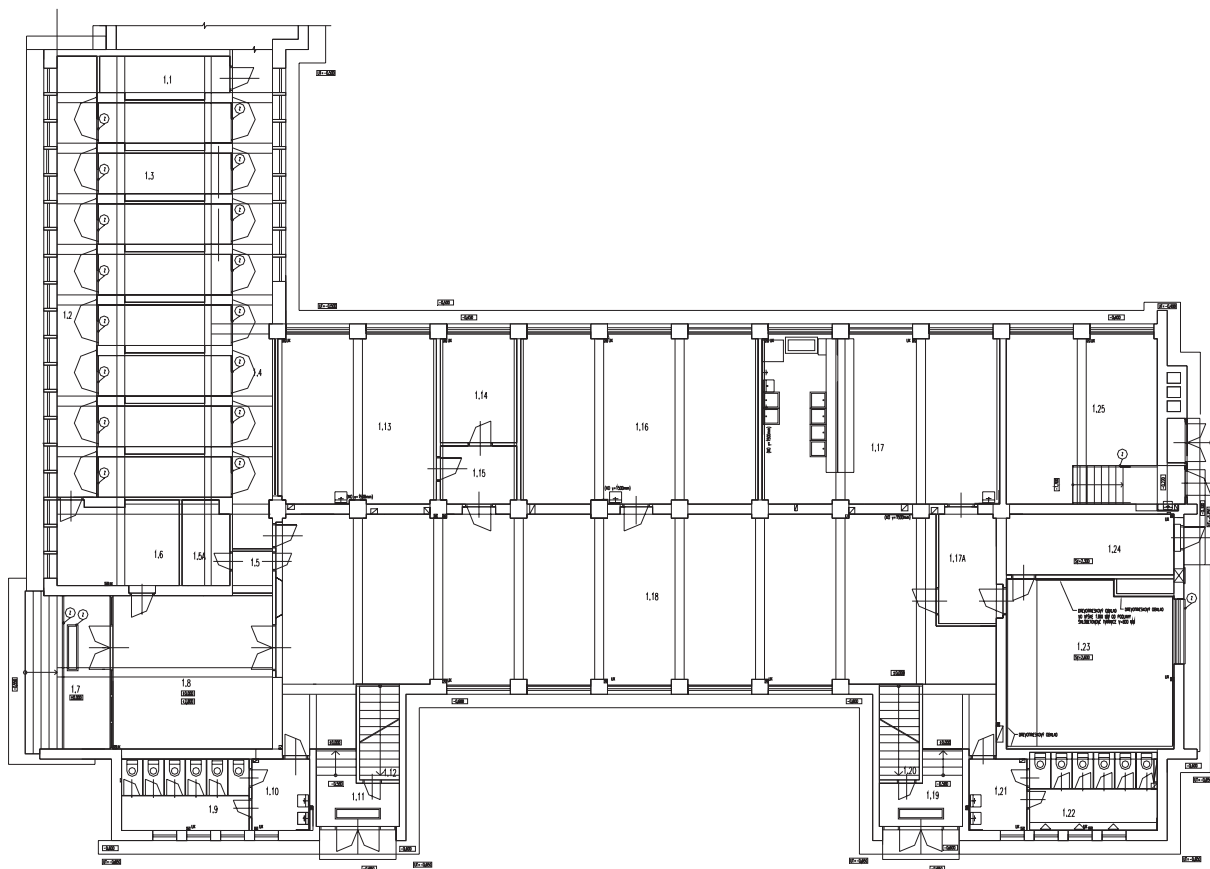
Simulačný model budovy predstavuje trojrozmerný geometrický model stavebnej časti, v ktorom všetky konštrukcie majú definované tepelnotechnické a optické vlastnosti. Ďalšími časťami modelu budovy je model vykurovania a chladenia, model vetrania, model náhodných javov ako sú prítomnosť ľudí, prevádzka prístrojov, umelého osvetlenia a podobne. Nad všetkými systémovými časťami modelu budovy má kontrolu model či už automatickej alebo manuálnej regulácie jednotlivých podsystémov. Okrajovú podmienku vonkajšej klímy v termodynamických programoch tvoria tzv. klimatické referenčné roky, ktoré obsahujú hodinové údaje o slnečnej ožiarenosti, teplote vzduchu, rýchlosti a smere vetra, relatívnej vlhkosti.

Výsledkom termodynamickej simulácie takéhoto modelu budovy je časovo premenlivý (dynamický) priebeh množstva fyzikálnych parametrov, napr. teploty vzduchu v miestnosti, povrchové teploty alebo teploty vo vnútri stavebných konštrukcií, hmotnostný tok vzduchu, potreby tepla či chladu a celý rad odvodených veličín.

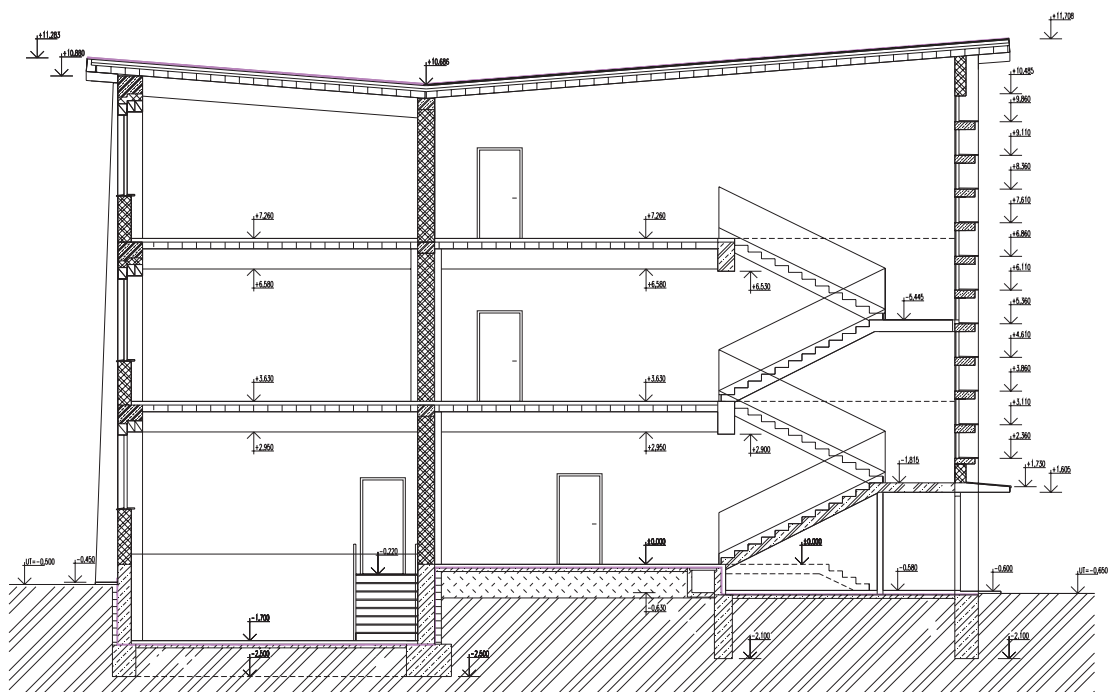
V tejto časti publikácie sa uvádzajú základy termodynamických simulácií aplikované na obnovu typovej základnej školy zo 60. rokov minulého storočia (Projekt stavby 1959), ktorú charakterizujú obr. 4.1 až 4.3.

Simulácie energetických tokov a parametrov vnútorného prostredia v uvedenej základnej škole bol vytvorený pomocou počítačového simulačného programu ESP-r (ESRU 2001).

V tab. 4.1 je popísaný model budovy školy v pôvodnom stave resp. jeho hlavné črty. Nachádzajú sa tu základné vstupné údaje potrebné pre definovanie problému v počítačovom simulačnom programe ESP-r - geometria budovy, obvodový plášť (obvodová stena, strecha, podlaha na teréne...), zasklenie, rámy okien, spôsob prevádzky, vykurovania a vetrania a podobne. Budova sa rozdelila na 28 samostatných zón, v ktorých je možné celoročne sledovať parametre vnútorného prostredia (tepelnotechnické, vlhkostné, insoláciu, osvetlenie denné aj umelé, kvalitu vnútorného vzduchu, atď.) a energetické toky.



Obr. 4.1 Schéma 1. nadzemného podlažia hodnotenej typovej budovy základnej školy



Obr. 4.2 Pričný rez budovou typovej základnej školy



Obr. 4.3 Pohľad na južné a západné priečelie posudzovanej typovej budovy základnej školy

Tab. 4.1 Základné údaje o simulačnom modeli - pôvodný stav

| a) Obalové konštrukcie | | | |
|-------------------------------|-------------------------------|--|-----------------------------------|
| S1 | - Obvodová stena: | Omietka 15 mm – 240 CDm – omietka 15 mm | |
| S2 | - Piliere: | Omietka 15 mm – 365 mm CD Tým – omietka 15 mm | |
| S3 | - Žb. preklady: | Omietka 15 mm – 525 mm železobet. – omietka 15 mm | |
| | | hr. 240 mm | U=1,69 W/(m².K) |
| | | hr. 375 mm | U=0,83 W/(m².K) |
| | | hr. 555 mm | U=1,77 W/(m².K) |
| St1 | - Strešný plášť školy: | Omietka 15 mm – dutinový panel PZD 150 mm – škvarobetón 60 mm – betón 70 mm – hydroizolácia | |
| St2 | - Strešný plášť šatní | Omietka 15 mm – dutinový panel PZD 150 mm – škvara 50 mm – škvarobetón 60 mm – betón 70 mm - hydroizolácia | |
| | | hr. 305 mm | U=1,16 W/(m².K) |
| | | hr. 355 mm | U=0,95 W/(m².K) |
| P1 | - Podlaha na teréne v učebni | Betón 80 mm – hydroizolácia 10 mm – betón+poter 70 mm – drevené vlysy 25 mm | |
| P2 | - Podlaha na teréne v chodbe: | Betón 80 mm – hydroizolácia 10 mm – betón+poter 70 mm – keramická dlažba 10 mm | |
| | | hr. 185 mm | U=1,87 W/(m².K) |
| | | hr. 170 mm | U=2,05 W/(m².K) |

Pokračovanie tab. 4.1

b) Vnútorne deliace konštrukcie

| | | | | |
|----|----------------------------|--|-------------------|-----------------------------------|
| NP | - Priečky: | Omietka 15 mm – CDm 115 mm – omietka 15 mm | hr. 145 mm | U=2,53 W/(m².K) |
| P3 | - Podlaha/strop v učebni | Omietka 15 mm – dutinový panel PZD 150 mm – betón+poter 55 mm – vlysky 25 mm | | |
| P4 | - : Podlaha/strop v chodbe | Omietka 15 mm – dutinový panel PZD 150 mm – betón+poter 55 mm – keramické dlaždice | hr. 245 mm | U=1,49 W/(m².K) |

c) Zasklenie

| | | |
|--|---|---|
| | Drevené zdvojené okná s dvoma sklami (číre sklá 4 - 40 - 4 vzduch). | |
| | - Súčiniteľ prechodu tepla | U = 2,85 (W.m⁻².K⁻¹) |
| | - Činiteľ prestupu svetla | τ= 0,84 (-) |
| | - Celková priepustnosť slnečnej energie | g= 0,75 (-) |
| | - Súčiniteľ škárovej prievzdušnosti | i_{LV}> 1,40.10⁻⁴.m³.m⁻¹.s⁻¹.Pa^{-0,67} |

d) Spôsob prevádzky

| | | |
|--|---|---|
| | Kapacita základnej školy | |
| | - žiaci | 268 |
| | - zamestnanci | 29 |
| | Obsadenie základnej školy | |
| | - pracovné dni (pondelok - piatok) | 8 ⁰⁰ -14 ⁰⁰ 100 % |
| | - dni pracovného pokoja (sobota - nedeľa) - prázdniny | - |

e) Vykurovanie a vetranie

| | | |
|--|--|--------------------------------|
| | - Výmena vzduchu v učebniach počas vyučovania | 3,0 / h |
| | - Výmena vzduchu v učebniach mimo vyučovania | 0,5 / h |
| | - Výmena vzduchu v kabinetoch v pracovnom čase | 1,0 / h |
| | - Výmena vzduchu v kabinetoch mimo pracovného času | 0,5 / h |
| | - Výmena vzduchu v chodbách a schodiskách počas vyučovania (mimo vyučovania) | 2,0 / h (0,5 / h) |
| | - Výmena vzduchu vo WC počas vyučovania (mimo vyučovania) | 5,0 / h (1,0 / h) |
| | - Výmena vzduchu v šatniach v čase vyučovania (mimo vyučovania) | 10,0 / h (2 / h) |
| | - Výmena vzduchu v kuchyni v pracovnom čase (mimo pracovného času) | 10,0 / h (0,5 / h) |
| | - Vnútorná teplota v lete vo všetkých priestoroch neregulovaná | - |
| | - Vnútorná teplota v zime v triedach a kabinetoch, v kuchyni, vo výdajni jedla | 20°C |
| | - Vnútorná teplota v zime v ostatných priestoroch (šatne, chodby, schodiská, WC) | 18°C resp. 15°C (alternatívne) |

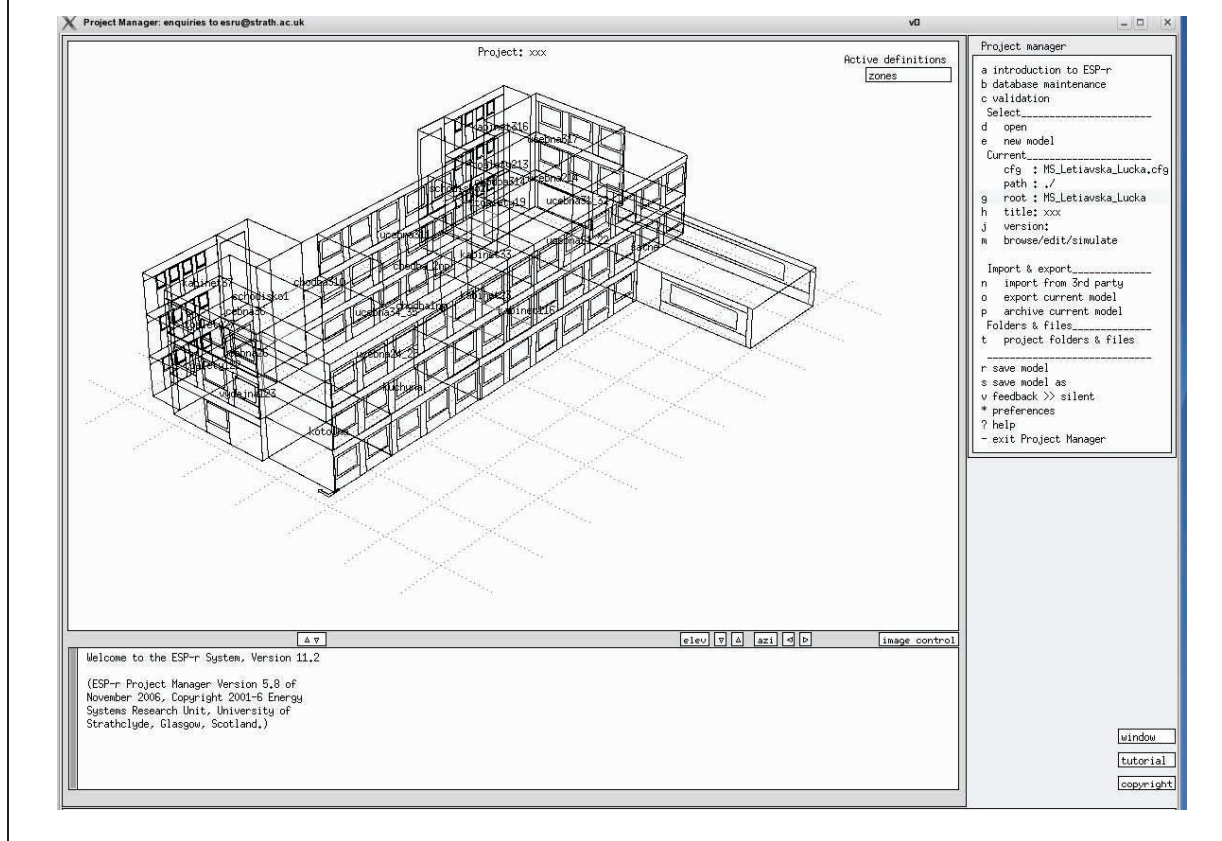
Pokračovanie tab. 4.1

f) Vnútorne tepelné zisky

| | |
|---|------------------|
| - V učebniach počas vyučovania (mimo vyučovania) | 2325 W (0) |
| - V kabinetoch v pracovnom čase (mimo vyučovania) | 99 W (0) |
| - V chodbách a schodiskách stále | 0,0 W |
| - Vo WC stále | 0,0 W |
| - V šatniach v čase nástupu na vyučovanie 7:00 -8:00 hod. v čase odchodu z vyučovania 12:00 – 14:00 hod. | 2000 W 1200 W |
| - V kuchyni v pracovnom čase (mimo pracovného času) | 3600 W (200 W) |

g) Model základnej školy

Zjednodušená geometrická reprezentácia simulačného modelu v programovom prostredí ESP-r.



4.2 Simulácie potreby energie na vykurovanie budovy základnej školy v pôvodnom stave

V tab. 4.2 a 4.3 sú prezentované výsledky potreby energie na vykurovanie budovy základnej školy v pôvodnom stave za predpokladu, že teplota v triedach sa udržiavala neustále na 20 °C a na chodbách 15 °C (na porovnanie sa uvažovalo aj 18 °C). Výpočtové podmienky sú uvedené v tab. 4.1, simulácie sa vykonali pre klimatický rok Sliacha. Výpočtové

podmienky sú určené tak, aby boli v súlade s aktuálnymi minimálnymi hygienickými požiadavkami na vnútorné prostredie. Tieto požiadavky, najmä na výmenu vzduchu, sú pravdepodobne citelne vyššie v porovnaní s tými, ktoré sa v prevádzke školy realizujú. Aj z tohto dôvodu nemožno výsledky simulácií porovnávať s potrebou tepla na vykurovanie, ktorá sa v jednotlivých rokoch v škole dosahovala. Neurčitost' intenzity ručne ovládaného vetrania oknami je všeobecným problémom ovplyvňujúcim presnosť výpočtov potreby tepla na vykurovanie, prípadne aj chladenie budov.

Tab. 4.2 Potreba energie na vykurovanie typovej školy v pôvodnom stave počas celého kalendárneho roka

| Mesiace | Spotreba energie na vykurovanie základnej školy pod výpočtovými podmienkami podľa tab. 4.1 (kWh) | |
|------------------|--|---|
| | Teplota na chodbách, schodiskách, WC, šatni 15 °C | Teplota na chodbách, schodiskách, WC, šatni 18 °C |
| Január | 80 826 | 86 400 |
| Február | 56 775 | 61 897 |
| Marec | 47 321 | 53 170 |
| April | 20731 | 24 900 |
| Máj | 7 541 | 10 449 |
| Jún | 2 207 | 3 306 |
| Júl | 662 | 1 270 |
| August | 1080 | 1 885 |
| September | 6 470 | 9 141 |
| Október | 22 512 | 27 190 |
| November | 51 366 | 56 942 |
| December | 79 361 | 84 576 |
| Rok | 376 852 | 421 126 |

Poznámka:

Potreba tepla na vykurovanie v letných mesiacoch vzniká počas krátkodobých poklesov teplôt vonkajšieho vzduchu, kedy v interiéri v niektorých zónach (najmä v modeli intenzívne vetranych šatniach) vzniknú teploty vnútorného vzduchu nižšie ako 20 °C.

Významným spôsobom spotrebu tepla na vykurovanie zvyšuje intenzívne vetranie šatní, ktoré je v simulačnom modeli zadané počas vyučovania desaťnásobnou výmenou vzduchu v súlade s minimálnou požiadavkou Nariadenia vlády SR č. 353/2006.

Ak by sa počas školského roka zvýšila teplota vzduchu na chodbách, schodiskách, vo WC a v šatni z 15 °C na 18 °C, znamenalo by to zvýšenie spotreby energie na vykurovanie pri uvažovanej výmene vzduchu v jednotlivých zónach budovy podľa tab. 4.1 o 11,2 %.

4.3 Simulácie potreby energie na chladenie budovy základnej školy v pôvodnom stave

V tab. 4.4 je vypočítaná potreba energie, ktorá by bola potrebná na to, aby sa teploty vzduchu v triedach a kabinetoch udržali v jednotlivých mesiacoch nižšie ako 26 °C resp. 28°C.

Tab. 4.3 Potreba energie na vykurovanie budovy školy v pôvodnom stave počas školského roka

| Potreba energie na vykurovanie počas školského roka v čase: | Potreba energie na vykurovanie pod výpočtovými podmienkami podľa tab. 4.1 (kWh) | |
|---|---|--|
| | Teplota na chodbách, schodiskách, WC, šatni 15 °C | Teplota na chodbách, schodiskách, WC, šatni 18 °C |
| 2. 9. – 23. 12. a 3. 1. – 30. 6. | 346 500 | 390 286 |

Tab. 4.4 Potreba energie na hypotetické chladenie základnej školy v pôvodnom stave počas celého kalendárneho roka

| Mesiace | Potreba energie na hypotetické chladenie s výpočtovými podmienkami podľa tab. 4.1 (kWh) | |
|------------------|--|--|
| | „Chladenie“ pri teplotách vzduchu v priestoroch s dlhodobým pobytom ľudí $\theta_{ai} > 26 \text{ °C}$ | „Chladenie“ pri teplotách vzduchu v priestoroch s dlhodobým pobytom ľudí $\theta_{ai} > 28 \text{ °C}$ |
| Január | 0 | 0 |
| Február | 0 | 0 |
| Marec | 0 | 0 |
| Apríl | 2 | 0 |
| Máj | 218 | 29 |
| Jún | 1029 | 344 |
| Júl | 4 749 | 3099 |
| August | 3 264 | 1842 |
| September | 166 | 29 |
| Október | 9 | 0 |
| November | 0 | 0 |
| December | 0 | 0 |
| Rok | 9 437 | 5 343 |

Poznámka:

Potreba tepla na chladenie v letných mesiacoch júl a august je vzhľadom na to, že v tomto čase sú prázdniny, iluzórna. Uvádza sa tu iba z dôvodu rámcovej predstavy o tom, aká by mohla byť spotreba energie na chladenie v prípade prevádzky v škole aj počas prázdnin so zabezpečením uvedených maximálnych teplôt vzduchu v učebniach a kabinetoch.

Potreba energie na chladenie počas letných prázdnin sa tu uvádza iba kvôli tomu, aby si čitateľ uvedomil, aký nárast potreby tepla na chladenie by sa zaznamenal v tomto čase. Počas samotného školského roka je potreba energie na chladenie malá, ako to dokumentujú údaje v tab. 4.5. Za povšimnutie stojí, že ak sa zvýši maximálne povolená teplota v triedach a kabinetoch z 26 °C na 28 °C, vedie to k niekoľkonásobnej úspore energie na chladenie. Tieto

údaje platia pre prirodzené a pomerne intenzívne vetranie školy v súlade s údajmi podľa tab. 4.1.

4.4 Simulácie potreby energie na vykurovanie budovy základnej školy po navrhovanej obnove

Najdôležitejšie a relatívne najjednoduchšie opatrenie na zníženie tepelných strát budov je dôsledné tepelné izolovanie každého prvku obalového plášťa. V obalových konštrukciách starších budov je často značný počet tepelných mostov spôsobených geometrickým tvarovaním plášťových konštrukcií a ešte častejšie vznikajú tepelné mosty v dôsledku nevhodného riešenia rôznych konštrukčných detailov. Straty energie tepelnými mostami sú vyššie ako sa bežne predpokladá, preto je dôležitá ich starostlivá eliminácia. Posudzovaná budova má mimoriadne veľký rozsah výrazných tepelných mostov.

Tab. 4.5 Potreba energie na hypotetické chladenie budovy základnej školy v pôvodnom stave počas školského roka, s predpokladom, že chladenie je v prevádzke iba v čase, v ktorom teplota vnútorného vzduchu má tendenciu prekročiť hodnotu 26 °C resp. 28 °C

| Potreba energie na chladenie počas školského roka v čase: | Potreba energie na chladenie pod výpočtovými podmienkami podľa tab. 4.1 (kWh) | |
|---|--|--|
| | „Chladenie“ pri teplotách vzduchu v priestoroch s dlhodobým pobytom ľudí $\theta_{ai} > 26 \text{ °C}$ | „Chladenie“ pri teplotách vzduchu v priestoroch s dlhodobým pobytom ľudí $\theta_{ai} > 28 \text{ °C}$ |
| 2. 9. – 23. 12. a 3. 1. – 30. 6. | 1 400 | 402 |

V tab. 4.6 sú uvedené základné údaje o simulačnom modeli novo navrhovaného stavu budovy po jej zateplení a po výmene okien. Predovšetkým sa enormne tepelne zaizolovala plochá strecha a to až na úroveň štandardu tzv. pasívnych budov. Tepelnoizolačné vlastnosti okien sa navrhli v relatívne vysokom štandarde, nie však s vlastnosťami obvyklými u pasívnych budov. Bránili tomu predovšetkým požiadavky na dobré denné osvetlenie učební ako aj veľkosti okien, požiadavky na manipuláciu a iné.

Údaje v tab. 4.7 je potrebné vnímať s uvedením si skutočnosti, že výmena vzduchu požadovaná hygienickými predpismi je značná. Z tohto hľadiska má vo výslednej energetickej bilancii tepelná ochrana budovy relatívne menší vplyv v porovnaní s očakávaniami, ktoré navodzujú údaje o úsporách energie v zateplených budovách na bývanie. Tieto údaje sú ovplyvnené pomerne nízkou výmenou vzduchu (0,5 / h), ktorá sa uvažuje vo výpočtoch energetickej bilancie budov na bývanie.

Aj pri uvažovaných vysokých výmenách vzduchu vo výrazne zateplenej budove školy sa výmenou okien dosiahne úspora energie na vykurovanie 18,6 % (tab. 4.7).

Ak za základ berieme potrebu energie na vykurovanie v pôvodnom stave s teplotami vzduchu v učebniach a kabinetoch 20 °C a ostatných priestoroch 15 °C hodnotou 376 852 kWh (tab. 4.2), potom výrazné zateplenie pôvodne tepelnotechnicky veľmi nevyhovujúceho obalového plášťa školy prinesie úsporu energie na vykurovanie 36,8 % a ak sa vymenia okná, zvýši sa úspora energie na vykurovanie na 46,7 %. V prípade menšej výmeny vzduchu, predovšetkým

Tab. 4.6 Základné údaje o obalových konštrukciách v simulačnom modeli budovy základnej školy – po navrhovanej obnove

| Obalové konštrukcie | | | |
|----------------------------|-------------------------------|--|--|
| S1 | - Obvodová stena: | Omietka 15 mm – 240 CDm – omietka 15 mm – polystyrén 140 mm – tenkovrstvová omietka | |
| S2 | - Piliere: | | |
| S3 | - Žb. preklady: | Omietka 15 mm – 365 mm CD Tým – omietka 15 mm – polystyrén 140 mm – tenkovrstvová omietka Omietka 15 mm – 525 mm železobet. – omietka 15 mm – polystyrén 140 mm – tenkovrstvová omietka | |
| | | | hr. 240 mm U=0,196 W/(m².K) |
| | | | hr. 375 mm U=0,174 W/(m².K) |
| | | | hr. 555 mm U=0,197 W/(m².K) |
| St1 | - Strešný plášť školy: | Omietka 15 mm – dutinový panel PZD 150 mm – škarobeton 60 mm – betón 70 mm – hydroizolácia – polystyrén 300 mm | |
| St2 | - Strešný plášť šatní | Omietka 15 mm – dutinový panel PZD 150 mm – škvara 50 mm – škarobeton 60 mm – betón 70 mm – hydroizolácia polystyrén 300 mm | |
| | | | hr. 305 mm U=0,095 W/(m².K) |
| | | | hr. 355 mm U=0,093 W/(m².K) |
| P1 | - Podlaha na teréne v učebni | Betón 80 mm – hydroizolácia 10 mm – betón+poter 70 mm – polystyrén 70 mm - PVC | |
| P2 | - Podlaha na teréne v chodbe: | Betón 80 mm – hydroizolácia 10 mm – betón+poter 70 mm – polystyrén 70 mm - keramická dlažba 10 mm | |
| | | | hr. 185 mm U=0,332 W/(m².K) |
| | | | hr. 170 mm U=0,338 W/(m².K) |

Zasklenie

| | |
|--|---|
| Plastové okná s tepelnoizolačnými dvojsklami | |
| - Súčiniteľ prechodu tepla | U = 1,30 (W.m⁻².K⁻¹) |
| - Činiteľ prestupu svetla | τ= 0,79 (-) |
| - Celková priepustnosť slnečnej energie | g= 0,63 (-) |

po výmene starých okien za nové plastové v čase mimo vyučovania, budú úspory energie na vykurovanie vyššie.

V tab. 4.8 je vyčíslená úspora energie na vykurovanie zateplenej školy spôsobená výmenou okien v čase, ktorý žiaci trávajú v škole.

Pod výpočtovými podmienkami uvedenými v tab. 4.1 a 4.6 po znížení hrúbky tepelnej izolácie stien z 200 mm na 140 mm sa zvýši potreba tepla na vykurovanie o zhruba 1,5 %, a na 80 mm približne o 4,5 % - pozri údaje v tab. 4.9. Tepelná izolácia strechy zostala v týchto výpočtoch hrubá 300 mm. Graficky sú tieto údaje zobrazené v obr. 4.4.

Z týchto údajov je zrejmé, že intenzívne prirodzené vetranie školy spôsobuje výrazné tepelné straty a ani extrémne hrúbky tepelnej izolácie na stenách nemajú významnejší vplyv na úsporu energie na vykurovanie. Z týchto dôvodov sa rozhodlo, že hrúbka tepelnej izolácie

Tab. 4.7 Potreba energie na vykurovanie po navrhovanej obnove počas celého kalendárneho roka po výraznom zateplení bez výmeny okien a zateplení spolu s výmenou okien (základné výpočtové podmienky sú v tab. 4.6)

| Mesiace | Potreba energie na vykurovanie modelovanej typovej budovy ZŠ pod výpočtovými podmienkami podľa tab. 4.1 a 4.6 (kWh) | |
|------------------|---|---|
| | Zateplenie strechy polystyrénom hrubým 300 mm a stien 200 mm, okná pôvodné | Zateplenie strechy polystyrénom hrubým 300 mm a stien 200 mm, okná nové |
| Január | 54 045 | 46 152 |
| Február | 37 118 | 31 624 |
| Marec | 29 809 | 25 171 |
| Apríl | 10 537 | 8 285 |
| Máj | 3 323 | 2 659 |
| Jún | 422 | 313 |
| Júl | 105 | 88 |
| August | 143 | 104 |
| September | 2 710 | 1 972 |
| Október | 12 685 | 10 243 |
| November | 33 572 | 28 375 |
| December | 53 812 | 45 923 |
| Rok | 238 281 | 200 909 |

Poznámka:

Potreba tepla na vykurovanie v letných mesiacoch vzniká počas krátkodobých poklesov teplôt vonkajšieho vzduchu, kedy v interiéri v niektorých zónach vzniknú teploty vnútorného vzduchu nižšie ako 20 °C (predovšetkým v skorých ranných hodinách v intenzívnejšie vetraných miestnostiach).

Tab. 4.8 Potreba energie na vykurovanie školy v pôvodnom stave počas školského roka

| Spotreba energie na vykurovanie počas školského roka v čase: | Spotreba energie na vykurovanie pod výpočtovými podmienkami podľa tab. 4.1 a 4.6 (kWh) | |
|--|--|---|
| | Zateplenie strechy polystyrénom hrubým 300 mm a stien 200 mm, okná pôvodné | Zateplenie strechy polystyrénom hrubým 300 mm a stien 200 mm, okná nové |
| 2. 9. – 23. 12. a 3. 1. – 30. 6. | 218 873 | 184 462 |

obvodových stien školy bude 140 mm (pozri tiež súvisiace informácie v časti 5). Táto hrúbka je odôvodnená aj tým, že pri mechanickom vetraní s rekuperáciou význam tepelnej izolácie z hľadiska úspor energie na vykurovanie stúpa. Efektívna hrúbka tepelnej izolácie je závislá od spôsobu prevádzky budovy a do istej miery aj od druhu techniky prostredia.

V prezentovaných energetických simuláciách mala na potrebu energie na vykurovanie celej budovy školy výrazný vplyv výpočtová (hygienickou službou požadovaná) výmena vzduchu v šatniach.

Ak porovnáваме vplyv rozličnej hrúbky zateplenia vybraných zón (dvoch susediacich tried na 3. nadzemnom podlaží a kabinetu 2. nadzemnom podlaží) získame trochu iný pohľad na vplyv hrúbky tepelnej izolácie stien na energetickú efektívnosť zateplenia – pozri tab. 4.10. Triedy 3.1 a 3.2 sa nachádzajú na nároží školy pod slabo izolovanou plochou strechou. Ak sa strecha a steny enormne zateplia (300 resp. 200 mm polystyrénu) a tepelnoizolačné vlastnosti okien dosiahnu súčasný štandard, potom potreba energie na vykurovanie klesne v porovnaní s terajším stavom pri rovnakej výmene vzduchu o 61,44 %. Ak bude hrúbka tepelnej izolácie 140 mm dosiahne sa úspora energie 60,57% a pri hrúbke polystyrénu 80 mm 58,76 %. V kabinete, v ktorom sa zateplí iba obvodová stena a vymení okno sa dosiahnu porovnateľné, ak keď o málo menšie, úspory tepla na vykurovanie, pozri údaje v tab. 4.10.

Regulovaná výmena vzduchu s rekuperáciou tepla znamená ďalší posun v energetickej bilancii – pozri časť 5. V takom prípade sa tepelná ochrana budovy prejavuje na celkovej energetickej efektívnosti ešte výraznejším spôsobom.

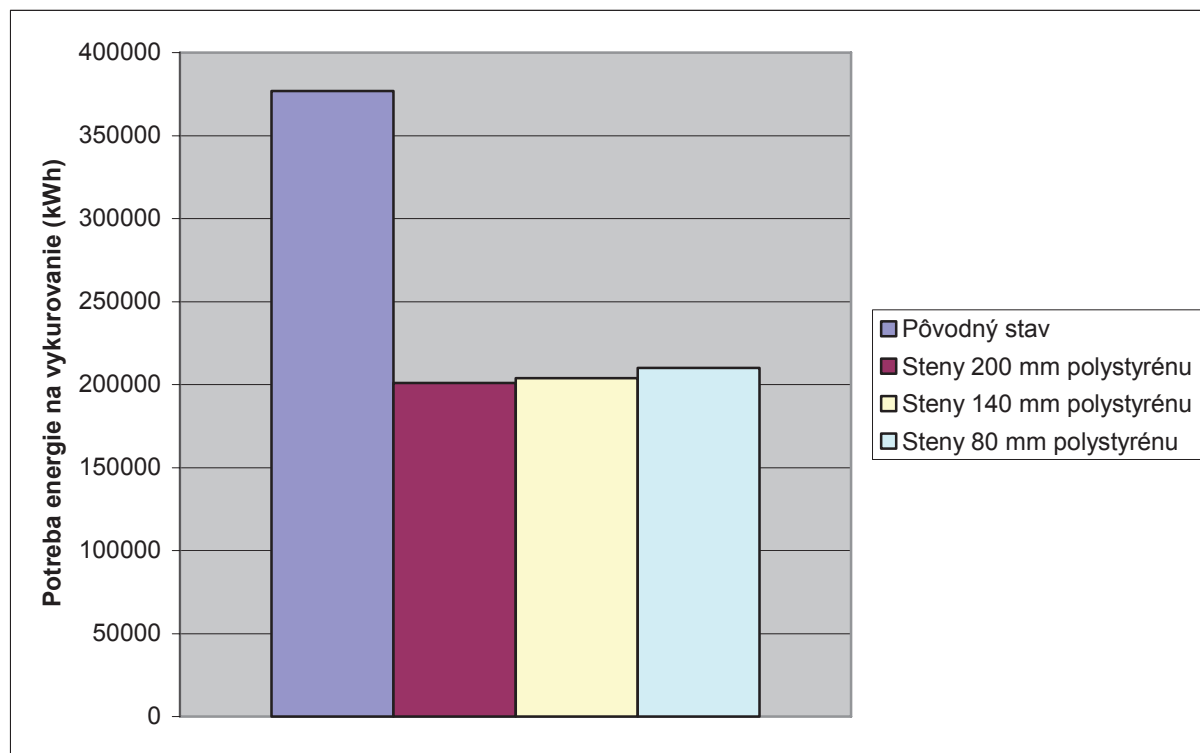
Tab. 4.9 Porovnanie potrieb energie na vykurovanie hodnotenej typovej školy v pôvodnom stave a v stave po navrhovanom zateplení s výmenou okien a s rôzne hrubou tepelnou izoláciou stien

| Mesiac | Pôvodný stav budovy ZŠ | Zateplenie kompletne, hrúbka izolácie stien 200 mm | Zateplenie kompletne, hrúbka izolácie stien 140 mm | Zateplenie kompletne, hrúbka izolácie stien 80 mm |
|------------------|------------------------|--|--|---|
| Január | 80 826 | 46 152 | 46 788 | 48 108 |
| Február | 56 775 | 31 624 | 32 058 | 32 961 |
| Marec | 47 321 | 25 171 | 25 552 | 26 340 |
| Apríl | 20731 | 8 285 | 8 459 | 8 820 |
| Máj | 7 541 | 2 659 | 2 714 | 2830 |
| Jún | 2 207 | 313 | 319 | 334 |
| Júl | 662 | 88 | 89 | 92 |
| August | 1080 | 104 | 107 | 112 |
| September | 6 470 | 1 972 | 2 027 | 2 144 |
| Október | 22 512 | 10 243 | 10 438 | 10 845 |
| November | 51 366 | 28 375 | 28 807 | 29 703 |
| December | 79 361 | 45 923 | 46 523 | 47 776 |
| Rok | 376 852 | 200 909 | 203 881 | 210 065 |

4.5 Simulácie potreby energie na chladenie budovy základnej školy po navrhovanej dodatočnej tepelnej izolácii obalového plášťa

V tab. 4.11 je uvedená potreba energie na chladenie analyzovanej budovy základnej školy po navrhovanom výraznom zateplení netransparentných častí obalového plášťa s tým,

že v jednej alternatíve sa výpočty uskutočnili s ponechaním pôvodných okien s čírym obyčajným zasklením a v druhej s nízkoemisným tepelnoizolačným zasklením. Tieto zasklenia sa výrazne líšia súčiniteľmi prestupu tepla (číre zasklenie má $U = 2,85 \text{ W} / (\text{m}^2 \text{ K})$) a nízkoemisné zasklenie $U = 1,10 \text{ W} / (\text{m}^2 \text{ K})$) a čiastočne celkovou priepustnosťou slnečnej energie.



Obr. 4.4 Porovnanie potrieb energie na vykurovanie posudzovanej budovy ZŠ v pôvodnom stave a po navrhovanom variantnom zateplení a výmene okien

Tab. 4.10 Porovnanie celoročných potrieb energie na vykurovanie vybraných zón po zateplení s výmenou okien a s rôzne hrubou tepelnou izoláciou stien (vzhľadom na pôvodný stav)

| Zóna | Pôvodný stav budovy ZŠ | Zateplenie kompletne, hrúbka izolácie stien 200 mm | Zateplenie kompletne, hrúbka izolácie stien 140 mm | Zateplenie kompletne, hrúbka izolácie stien 80 mm |
|-------------------------|------------------------|--|--|---|
| Učebne 3.1 a 3.2 | 21 449 | 8 271 | 8 456 | 8 844 |
| Kabinet 2.3 | 2 372 | 936 | 962 | 1 016 |

Číre zasklenie sa počítalo s hodnotou celkovej priepustnosti slnečnej energie $g = 0,75$ a nízkoemisné s hodnotou $g = 0,63$. Údaje sú uvedené za jednotlivé mesiace roka. Z údajov v tab. 4.11 je zrejmé, že nové okná budú spôsobovať v čase školského roka mierne zvyšovanie prehrievania, kým počas prázdnin, teda v čase slnečných a teplých dní mierne zníženie prehrievania. Z celoročného pohľadu je potreba energie na chladenie prakticky rovnaká. Mierne tendencia k prehrievaniu počas chladnejších a kratších dní v neskorých

jarných a v skorých jesenných mesiacoch je spôsobená tým, že okná s dobrou tepelnoizolačnou schopnosťou obmedzujú pasívne nočné chladenie budovy. V tomto čase sa z tohto hľadiska nepriaznivo prejavuje lepšie tepelnoizolačná schopnosť zasklenia. Naopak, počas krátkych letných nocí a dlhých teplých slnečných dní, ktoré sú charakteristické v júli a v auguste, sa dominantnejšie prejaví zníženie celkovej priepustnosti slnečnej energie uvažovaným zasklením.

Potreba energie na chladenie je v posudzovanom prípade v porovnaní s potrebou energie na vykurovanie malá. Je to najmä z dôvodu výpočtového intenzívneho vetrania budovy klimatických podmienok posudzovanej lokality (Sliač).

Tab. 4.11 Potreba energie na chladenie v novo navrhovanom stave počas celého kalendárneho roka, chladenie je v prevádzke iba v čase, v ktorom teplota vnútorného vzduchu má tendenciu prekročiť hodnotu 26 °C

| Mesiace | Potreba energie na chladenie učební a kabinetov pod výpočtovými podmienkami podľa tab. 4.1 a 4.6 (kWh) | |
|------------------|--|---|
| | Zateplenie strechy polystyrénom hrubým 300 mm a stien 200 mm, okná pôvodné $\theta_{ai} > 26\text{ °C}$ | Zateplenie strechy polystyrénom hrubým 300 mm a stien 200 mm, okná nové $\theta_{ai} > 26\text{ °C}$ |
| Január | 0 | 0 |
| Február | 0 | 0 |
| Marec | 0 | 0 |
| Apríl | 19 | 21 |
| Máj | 410 | 443 |
| Jún | 1 178 | 1 234 |
| Júl | 5 049 | 4 853 |
| August | 4 291 | 4 237 |
| September | 574 | 691 |
| Október | 118 | 147 |
| November | 0 | 0 |
| December | 0 | 0 |
| Rok | 11 639 | 11 626 |

Poznámka:

Potreba tepla na chladenie v letných mesiacoch júl a august je vzhľadom na to, že v tomto čase sú prázdniny, iluzórna. Uvádza sa tu iba z dôvodu rámcovej predstavy o tom, aká by mohla byť spotreba energie na chladenie v prípade prevádzky v škole aj počas prázdnin so zabezpečením uvedených maximálnych teplôt vzduchu v učebniach a kabinetoch.

Celkovo počas školského roka spôsobujú nové okná s dobrými tepelnoizolačnými vlastnosťami a pomerne dobrou celkovou priepustnosťou slnečnej energie mierne zvýšenie potreby energie na chladenie – tab. 4.12. Kvalitnou protisľnečnou ochranou je možné nielen túto skutočnosť eliminovať, ale v porovnaní s pôvodným stavom prehrievanie podstatným spôsobom znížiť.

Tab. 4.12 Potreba energie na chladenie učební a kabinetov po navrhovanej obnove počas školského roka, chladenie je v prevádzke iba v čase, v ktorom teplota vnútorného vzduchu má tendenciu prekročiť hodnotu 26 °C

| Potreba energie na chladenie počas školského roka v čase: | Potreba energie na chladenie pod výpočtovými podmienkami podľa tab. 4.1 a 4.6 (kWh) | |
|---|---|--|
| | Zateplenie strechy polystyrénom hrubým 300 mm a stien 200 mm, okná pôvodné $\theta_{ai} > 26\text{ °C}$ | Zateplenie strechy polystyrénom hrubým 300 mm a stien 200 mm, okná nové $\theta_{ai} > 26\text{ °C}$ |
| 2. 9. – 23. 12. a 3. 1. – 30. 6. | 2 299 | 2 536 |

Tab. 4.13 Porovnanie potrieb energie na chladenie v pôvodnom stave a po navrhovanom zateplení s výmenou okien s rôzne hrubou tepelnou izoláciou stien (teplota vzduchu v triedach a kabinetoch školy sa udržiava najviac 26 °C)

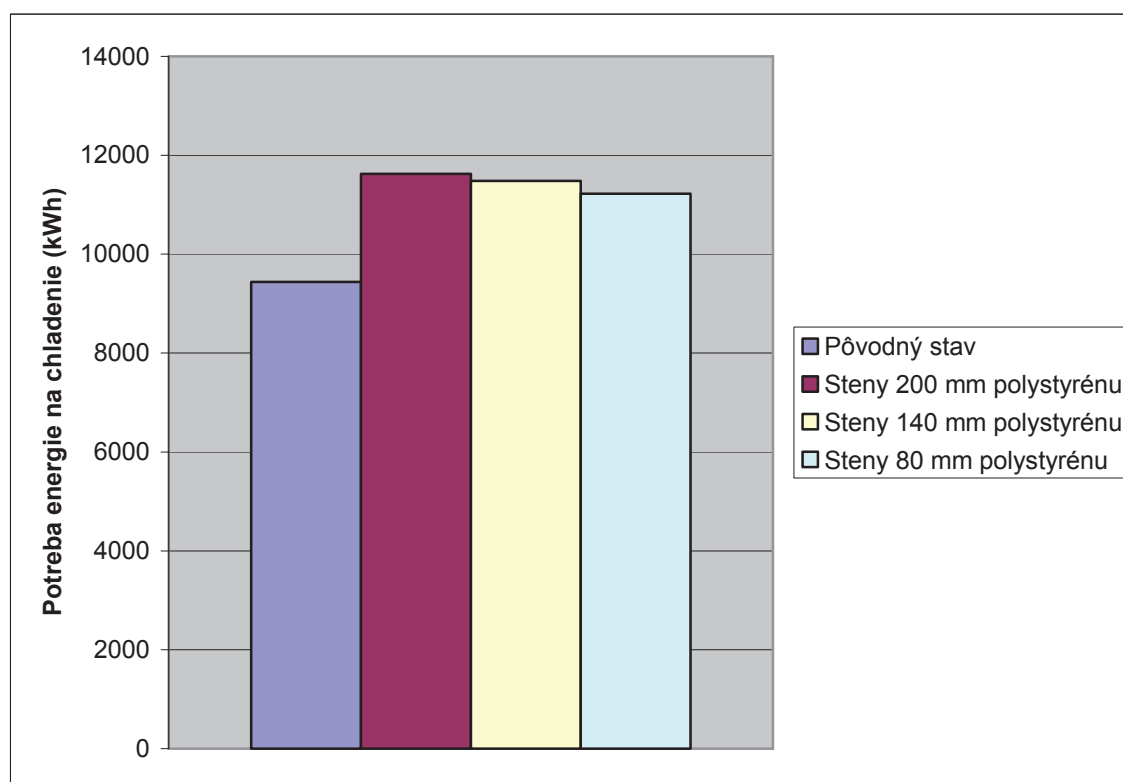
| Mesiac | Pôvodný stav budovy ZŠ | Zateplenie kompletne, hrúbka izolácie stien 200 mm | Zateplenie kompletne, hrúbka izolácie stien 140 mm | Zateplenie kompletne, hrúbka izolácie stien 80 mm |
|------------------|------------------------|--|--|---|
| Január | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Február | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Marec | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Apríl | 2 | 21 | 19 | 17 |
| Máj | 218 | 443 | 429 | 404 |
| Jún | 1 029 | 1 234 | 1 209 | 1 164 |
| Júl | 4 749 | 4 853 | 4 830 | 4 791 |
| August | 3 264 | 4 237 | 4 198 | 4 123 |
| September | 166 | 691 | 661 | 607 |
| Október | 9 | 147 | 138 | 121 |
| November | 0 | 0 | 0 | 0 |
| December | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Rok | 9 437 | 11 626 | 11 304 | 11 227 |

Na zvyšovaní prehrievania sa v určitej miere podieľa aj zateplenie netransparentných častí obalového plášťa školy. V tab. 4.13 je vidno, že so zhoršovaním tepelnoizolačnej schopnosti stien a strechy budovy školy mierne klesá potreba energie na chladenie. Táto tendencia je graficky dokumentovaná na obr. 4.5.

Kompletne zateplenie budovy a výmena okien zvýšia v prípade zateplenia stien polystyrénom hrubým 140 mm prehrievanie (potrebu energie na chladenie) v posudzovanej budove základnej školy vzhľadom na pôvodný stav o 16,5 %.

Tab. 4.14 Porovnanie potrieb energie na chladenie vybraných zón po navrhovanom zateplení s výmenou okien a s rôzne hrubou tepelnou izoláciou stien (v porovnaní s pôvodným stavom)

| Zóna | Pôvodný stav budovy ZŠ | Zateplenie kompletne, hrúbka izolácie stien 200 mm | Zateplenie kompletne, hrúbka izolácie stien 140 mm | Zateplenie kompletne, hrúbka izolácie stien 80 mm |
|-------------------------|------------------------|--|--|---|
| Učebne 3.1 a 3.2 | 1 542 | 1 516 | 1 494 | 1 453 |
| Kabinet 2.3 | 136 | 227 | 223 | 217 |



Obr. 4.5 Porovnanie potrieb energie na celoročné chladenie učební a kabinetov v pôvodnom stave a po navrhovanom zateplení s výmenou okien a s rôzne hrubou tepelnou izoláciou stien

V jednotlivých zónach je vplyv zateplenia na potrebu energie na chladenie resp. prehrievanie rôzny. V učebniach pod strechou sa v pôvodnom stave na prehrievaní podieľala aj slabo tepelne izolovaná strecha. Preto je potreba energie na ich chladenie relatívne vysoká. Po enormnom zateplení strešného plášťa sa tento zdroj prehrievania odstránil. Na druhej strane sa tu prejavila tendencia k prehrievaniu, ktorú spôsobujú nové tepelnoizolačné okná. V danom prípade sú tieto vplyvy v celoročnej rovnováhe, preto je v týchto učebniach prakticky rovnaká potreba tepla na chladenie v pôvodnom aj v novo navrhovanom stave – pozri tab. 4.14. Ak situáciu posudzujeme z hľadiska času, počas ktorého sú žiaci v škole, potom zateplenie a tepelnoizolačné zasklenie sa jednoznačne podieľajú na zvýšenom prehrievaní vzhľadom na pôvodné stavebné riešenie budovy základnej školy.

V malom kabinete č. 2.3, ktorý má iba jedno okno rovnako južne orientované ako okná učební 3.1 a 3.2 sa po zateplení stien a výmene okna tendencia k prehrievaniu prejavuje

relatívne významnejšie. Sčasti je to spôsobené aj uvažovanou stálou jednonásobnou výmenou objemu vzduchu počas vyučovania a polovičnou výmenou v ostatnom čase. Dá sa predpokladať, že počas teplých a slnečných dní by sa kabinet vetral intenzívnejšie. Intenzívnejšie vetranie by znížilo potrebu tepla na chladenie okrem veľmi teplých a slnečných dní, počas ktorých by intenzívne vetranie prehrievanie miestnosti zhoršovalo.

Z uvedeného je zrejmé, že nestačí sledovať kvantitatívne údaje na celej budove, ale je treba vyhodnocovať situáciu v jednotlivých zónach, najmä v tých, kde sa dlhodobo zdržujú ľudia. Hygienické parametre vnútorného prostredia sa môžu v jednotlivých miestnostiach podstatne odlišovať od „celkových“ ukazovateľov budovy.

Termodynamické simulácie umožňujú ďaleko detailnejšiu analýzu budovy v porovnaní s tou, ktorá tu bola prezentovaná. Čiastočne túto skutočnosť potvrdzuje nasledujúci odsek, v ktorom sa v základných črtách uvádzajú možnosti simulácií tepelnej pohody vo vnútornom prostredí budov základných škôl.

4.6 Simulácie tepelnej pohody v učebniach

V starších podkladoch pre projektovanie sa na dosiahnutie tepelnej pohody v zime požaduje splnenie jednoduchej podmienky, aby súčet teploty vzduchu θ_{ai} a priemernej teploty vnútorných povrchov θ_{si} nepresiahol 38 °C a v lete nebol vyšší ako 51 °C. Takýmto spôsobom definované podmienky nezaručujú tepelnú pohodu napr. v zime pre žiaka sediaceho v blízkosti okna s nedostatočnými tepelnoizolačnými vlastnosťami, alebo v lete pri nedostatočne tienenom okne.

Hlavným cieľom tvorby vnútorného životného prostredia je vytvorenie takých podmienok pre prácu, oddych a pobyt človeka, ktorých dôsledkom by bol pocit spokojnosti užívateľa s prostredím. Ide teda o tvorbu umelého životného prostredia, ktoré by malo čo najlepšie uspokojovať potreby jeho užívateľov pri najmenších nárokoch na energie a materiály.

4.6.1 Hodnotenie tepelného stavu prostredia

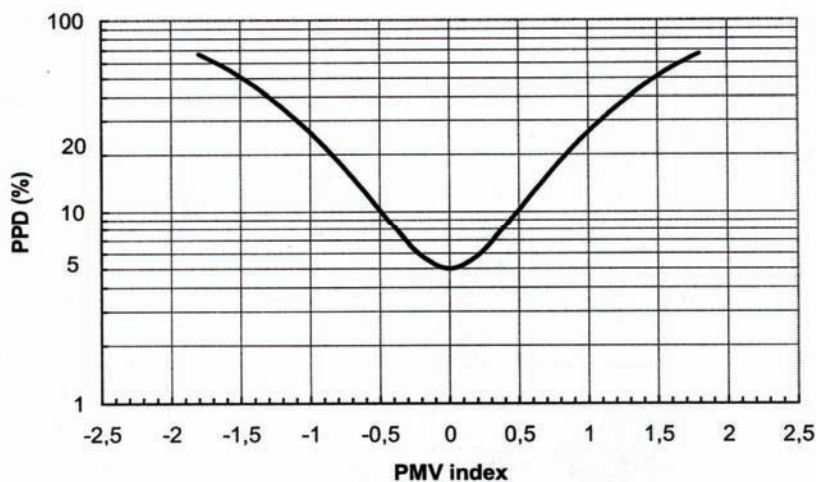
Na vyjadrenie tepelných pocitov používa sedemstupňová psychofyzikálna stupnica, ktorá je aj medzinárodne normovaná (STN EN ISO 7730), pričom:

| | |
|----|-------------------|
| -3 | - zima, |
| -2 | - chladno, |
| -1 | - mierne chladno, |
| 0 | - neutrálne, |
| +1 | - mierne teplo, |
| +2 | - teplo, |
| +3 | - horúco. |

Tepelný stav konkrétneho prostredia v tejto metóde vyjadruje PMV-index (Predicted Mean Vote), ktorý indikuje priemernú hodnotu tepelných pocitov veľkej skupiny subjektov - užívateľov, ktorí sa v ňom nachádzajú.

PMV-index síce predpovedá priemernú hodnotu tepelného pocitu veľkej skupiny užívateľov, ale individuálny pocit každého jednotlivca zo skupiny sa môže pohybovať okolo tejto hodnoty. Z toho dôvodu sa zaviedol PPD-index (Predicted Percentage of Dissatisfied), ktorý vyjadruje predpokladané percento nespokojných osôb s prostredím, t.j. tých, ktorí by v danom prostredí pocítovali nepohodu alebo značnú nepohodu.

Graficky je závislosť indexov PMV a PPD znázornená na obr. 4.6. Z vyjadrenia indexov PMV a PPD je zrejmé, že v optimálnom prípade bude 95% osôb zo skupiny spokojných s tepelným prostredím a 5% osôb bude s tepelným stavom prostredia naďalej nespokojných. Za akceptovateľné sa pokladá prostredie, v ktorom je najmenej 80 % užívateľov spokojných s jeho tepelným stavom. Hodnoty nižšie ako 80 % (napr. z dôvodov šetrenia energie) v pracovných prostrediach, osobitne v prípadoch, keď je predpísaný pracovný odev, sú už v rozpore s termoregulačnými procesmi človeka - užívateľa takéhoto prostredia.



Obr. 4.6 Predpokladané percento nespokojných (PPD) ako funkcia PMV indexu

4.6.2 Aktuálne legislatívne požiadavky na tepelnú pohodu v Slovenskej republike

V súčasnosti sú minimálne požiadavky na tepelnú pohodu v SR určené najmä Nariadením vlády č. 353/2006 (detailnejšie sú požiadavky špecifikované aj v ďalších hygienických predpisoch).

Optimálne a prípustné podmienky tepelno-vlhkostnej mikroklímy sa v tomto legislatívnom dokumente určujú v závislosti od oblečenia ľudí, od celkovej tepelnej produkcie ich organizmu podľa tried činností uvedených v tab. č. 4.15 a od ďalej uvedených fyzikálnych faktorov.

Základné veličiny na hodnotenie tepelno-vlhkostnej mikroklímy vo vnútornom prostredí sú: teplota vzduchu (θ_{ai}), operatívna teplota (θ_o), výsledná teplota guľového teplomeru (θ_g), relatívna vlhkosť vzduchu (ϕ alebo r_h) a rýchlosť prúdenia vzduchu (v_a). Ďalej sa podľa potreby určujú: celkový tepelný odpor odevu (R_{cl}), celkový energetický výdaj (q_M), teplota povrchu (θ_s) a ďalšie veličiny podľa osobitných predpisov a technických noriem.

Optimálne podmienky tepelno-vlhkostnej mikroklímy v priestoroch určených na dlhodobý pobyt ľudí v štandardnom oblečení a činnosť v triede 1a (sem možno zaradiť aj činnosť detí v škole) sú uvedené v tab. 4.16. V priestoroch určených na dlhodobý pobyt ľudí musia byť navyše splnené tieto požiadavky na ochranu pred lokálnou nepohodou:

- teplota povrchu podlahy medzi 19 °C a 26 °C,
- vertikálny rozdiel operatívnej teploty medzi úrovňou hlavy a členkov nesmie prekročiť limity uvedené v tab. 4.17,
- ožiarenosť hlavy sálavým teplom nesmie prekročiť 200 W.m⁻²; v prípade priameho slnečného žiarenia cez osvetľovacie otvory musí byť vzájomná poloha otvorov,

- protisľnečných clôn a miest riešená tak, aby v priebehu celého roka počas dlhodobého pobytu neboli hlavy ľudí vystavené priamemu slnečnému žiareniu viac ako 10 minút,
- splnené limity asymetrie teploty sáľania, vertikálneho rozdielu teploty vzduchu a obťažovania prievanom podľa príslušnej technickej normy.

Tab. 4.15 Triedy činnosti a celkový energetický výdaj osoby podľa (Nariadenie vlády č. 353/2006)

| Trieda | Celkový energetický výdaj | | Príklady činnosti* |
|--------|----------------------------|--------------|---|
| | q_M [W.m ⁻²] | q_M [met] | |
| 0 | ≤ 65 | ≤ 1,12 | Pokojné ležanie, uvoľnené sedenie (odpočinok, sledovanie programu) |
| 1a | 66 až 80 | 1,13 až 1,38 | Činnosť posediačky s minimálnou pohybovou aktivitou (administratívne práce, kontrolná činnosť v dozorniach a vo veľinoch), činnosť posediačky spojená s ľahkou manuálnou prácou rúk a ramien (písanie na stroji, práca s PC, jednoduché šitie, laboratórne práce, zostavovanie alebo triedenie drobných ľahkých predmetov). |
| 1b | 81 až 105 | 1,39 až 1,81 | Činnosť posediačky s manuálnou prácou rúk, ramien, občas nôh (výstupná kontrola, riadenie osobného vozidla v bežnej premávke). Činnosť postojačky občas spojená s pomalou chôdzou po rovnej podlahe s prenášaním ľahkých bremien alebo prekonávaním malého odporu (varenie, strojové opracovanie a montáž malých ľahkých dielcov, kusová práca mechanikov, činnosť predavačov). |
| 1c | 106 až 130 | 1,82 až 2,23 | Činnosť posediačky so stálym zapojením oboch rúk, ramien a nôh (práce v potravinárskej prevádzke a v kuchyniach, strojové opracovanie a montáž stredne ťažkých dielcov, riadenie nákladných vozidiel, traktorov a dráhových vozidiel). Činnosť postojačky s trvalým zapojením oboch rúk, ramien a nôh spojená s prenášaním bremien do 10 kg (práca predavačov pri veľkej frekvencii zákazníkov, lakovanie, zváranie, obsluha strojových vítačiek, sústruhov a fréz, ťahanie alebo tlačenie ľahkých vozíkov). |

Tab. 4.16 Optimálne podmienky tepelno-vlhkostnej mikroklímy v triede 1a

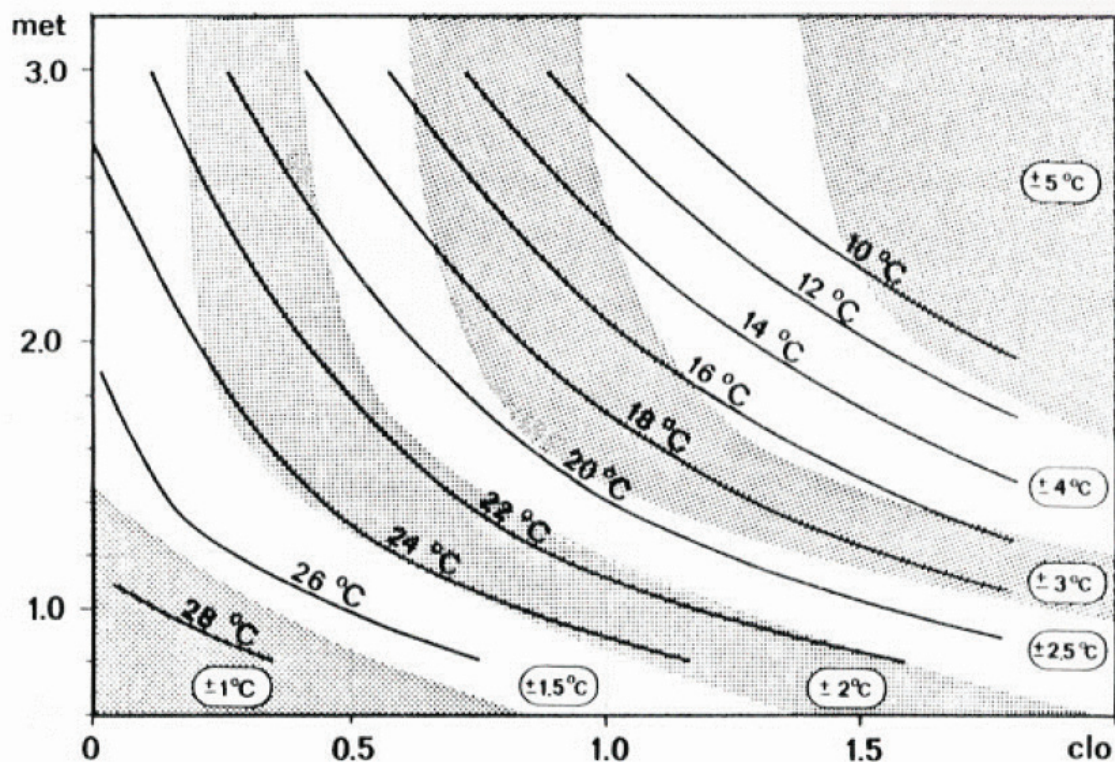
| Obdobie roka | Optimálne hodnoty ukazovateľov tepelno-vlhkostnej mikroklímy | | |
|--------------|--|---------------|----------------------------|
| | t_o [°C] | φ [%] | v_a [m.s ⁻¹] |
| chladné | 20 až 24 | 40 až 60 | ≤ 0,15 |
| teplé | ≤ 26 | 30 až 70 | ≤ 0,20 |

Poznámka: V Nariadení vlády č. 353/2006 sa teplota označuje „t“ a nie „θ“ ako je to v ISO, EN a STN normách a v modernej odbornej literatúre.

Tab. 4.17 Vertikálny rozdiel operatívnej teploty medzi úrovňou hlavy a členkov

| Obdobie roka | R_{cl} [clo] | $\Delta t_{o,max} = t_{o,hlava} - t_{o,členky}$ [K] |
|--------------|----------------|---|
| chladné | 1,0 | -8,0 |
| teplé | 0,5 | -4,0 |

Pre inú činnosť alebo oblečenie ako sú uvedené vyššie a pre veľmi teplé dni s vonkajšou teplotou nad 30 °C sa určujú prípustné podmienky tepelno-vlhkostnej mikroklímy týmito hodnotami: operatívna teplota podľa obr. 4.7; relatívna vlhkosť 30 % až 70 %; rýchlosť prúdenia vzduchu $v_a \leq 0,20$ m / s v chladnom období, $v_a \leq 0,25$ m / s v teplom období roka; povrchová teplota podlahy 19 °C až 29 °C.



Obr. 4.7 Oblasti optimálnej a prípustnej operatívnej teploty v závislosti od odevu a činnosti

Tab. 4.18 Príklady parametrov tepelno-vlhkostnej mikroklímy vo vybraných priestoroch s krátkodobým pobytom osôb

| Priestor | t_o [°C] | n [h ⁻¹] |
|----------------------------|------------|------------------------|
| chodby a schodiská | 15 – 18 | 2 – 3 |
| vstupné haly | 18 – 20 | – |
| WC | 15 – 20 | 5 – 10 |
| kúpeľne, umyvárne | 22 – 24 | 10 |
| čakárne | 18 – 20 | 3 |
| miestnosti pre upratovačky | 18 – 20 | 10 |
| sklady | 10 – 17 | 10 |
| sklady liekov | 15 – 20 | 2 – 10 |
| šatne | 20 – 22 | 10 |
| denné miestnosti | 20 – 22 | 5 |

V priestoroch s krátkodobým pobytom ľudí, najmä na chodbách, schodiskách, vo vstupných halách, v skladoch, zariadeniach osobnej hygieny, šatniach, čakárňach, a v priestoroch s osobitnými požiadavkami sa parametre tepelno-vlhkostnej mikroklímy musia upraviť podľa účelu a spôsobu využitia. Príklady parametrov tepelno-vlhkostnej mikroklímy vo vybraných priestoroch s krátkodobým pobytom osôb sú uvedené v tab. 4.18.

Ak sa vykurovacie telesá nachádzajú v blízkosti miest dlhodobého pobytu ľudí, musí sa kontrolovať ich vplyv na lokálnu nepohodu.

4.6.3 Simulácie tepelnej pohody v učebniach základnej školy v pôvodnom stave a po navrhovanej obnove

Tepelná pohoda sa tiež hodnotí pomocou špecificky určených teplôt prostredia. Sem patrí efektívna teplota, operatívna teplota, výsledná teplota suchého teplomera, ktoré sú definované nasledovne:

- Efektívna teplota ET*

je teplota priestoru pri relatívnej vlhkosti 50%, ktorá spôsobí rovnaké celkové tepelné straty z pokožky ako v skutočnom prostredí. Dva priestory s rovnakou efektívnou teplotou vyvolajú rovnaké reakcie organizmu, aj keď majú odlišnú teplotu a vlhkosť vzduchu. Podmienkou je však rovnaká rýchlosť prúdenia vzduchu.

- Operatívna teplota θ_o

je definovaná ako jednotná teplota uzavretej homogénnej izotermickej čiernej plochy, vnútri ktorej by medzi človekom a povrchmi nastala výmena rovnakého množstva tepla konvekciou a radiáciou ako v skutočnom prostredí. Vyjadruje sa podľa vzťahu:

$$\theta_o = \frac{h_{cv} \cdot \theta_{ai} + h_r \cdot \theta_{r,m}}{h_{cv} + h_r}$$

kde: h_{cv} súčiniteľ prestupu tepla prúdením na povrchu konštrukcie (W/(m²K)),
 θ_{ai} teplota vnútorného vzduchu (°C),
 h_r súčiniteľ prestupu tepla sálaním (W/(m²K)),
 $\theta_{r,m}$ stredná radiačná teplota (°C).

- Výsledná teplota

sa číselne rovná výslednej hodnote teploty guľového teplomera. Pre $v_a < 0,2$ m / s je číselne rovná operatívnej teplote a s dostatočnou presnosťou sa určuje ako aritmetický priemer medzi teplotou vzduchu a priemernou povrchovou teplotou konštrukcií ohraničujúcich miestnosť (STN 73 0540-1 2002).

Ak vezmeme do úvahy aj rýchlosť prúdenia vzduchu môže byť vyjadrená vzťahom (CIBSE 1986):

$$\theta_v = \frac{\theta_{s,m} + \theta_{ai} \sqrt{(10v_a)}}{1 + \sqrt{(10v_a)}}$$

kde: $\theta_{s,m}$ priemerná povrchová teplota konštrukcií (°C),
 v_a rýchlosť prúdenia vzduchu (m/s).

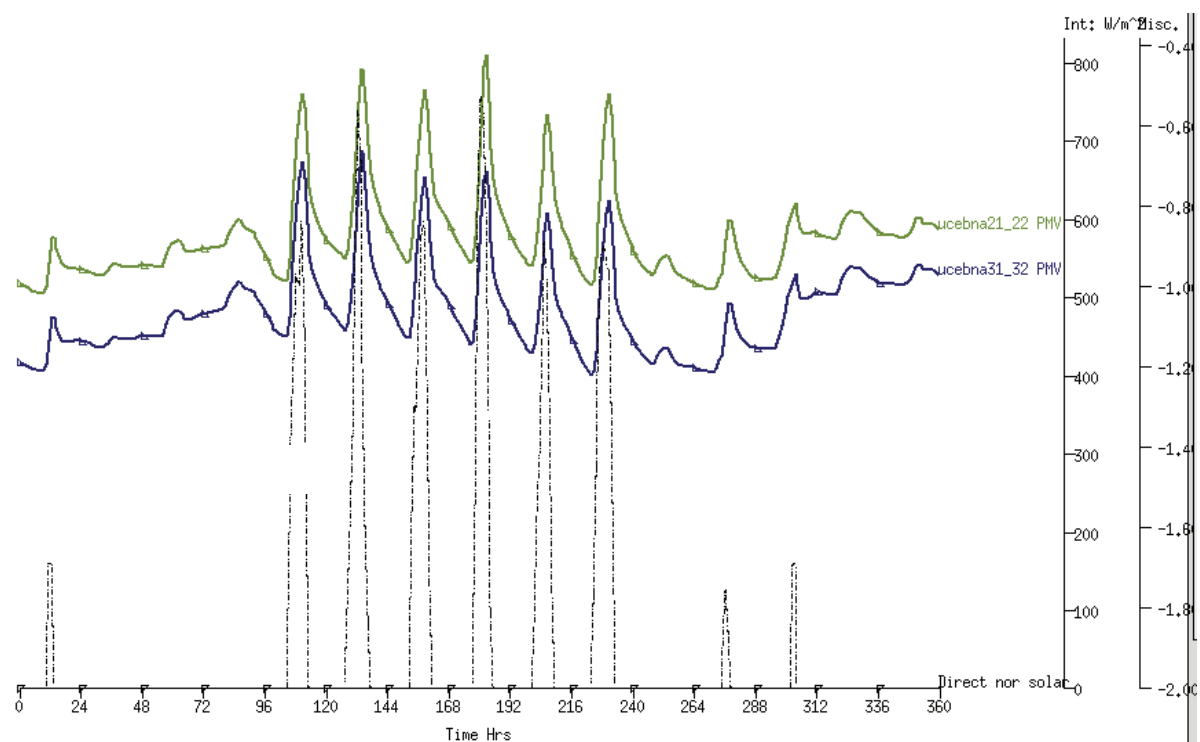
Program ESP-r (ESRU 2001) môže vyhodnocovať rôzne parametre tepelnej pohody v priebehu celého roka v každej zóne priemerne alebo v konkrétnych miestach interiéru. V predkladanej analýze sa uvádzajú rozdiely v tepelnej pohode vo vybraných triedach v pôvodnom stave a v navrhovanom stave po obnove, pričom v novom stave sa uvádzajú výsledky pre tepelnú izoláciu stien polystyrénom hrubým 140 mm. V ďalej uvádzaných obrázkoch sa oblečenie uvádza v jednotkách tepelného odporu oblečenia, ktoré sa označujú „clo“ (z anglického slova „clothes“). Vzťahy medzi tepelným odporom R_{cl} v $m^2 \cdot K / W$ a clo sú uvedené v tab. 4.19.

Tab. 4.19 Tepelný odpor oblečenia

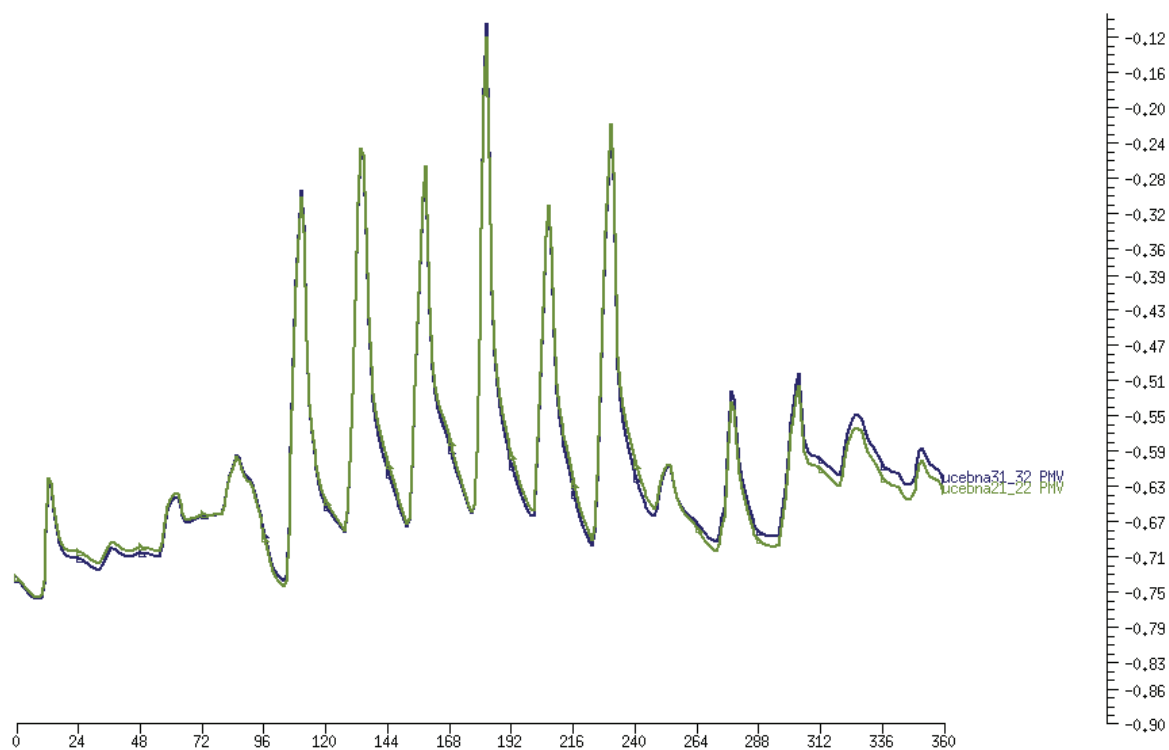
| Druh odevu | I_{cl} (clo) | R_{cl} ($m^2 \cdot K/W$) |
|---|-------------------|---------------------------------|
| Bez odevu | 0,0 | 0,000 |
| Šortky | 0,1 | 0,016 |
| Typický tropický odev: Nohavičky (spodky), rozhalenka s krátkym rukávom, Ľahké ponožky, sandále, šortky | 0,3 | 0,047 |
| Ľahký letný odev: Nohavičky (spodky), dlhé ľahké nohavice, rozhalenka s krátkym rukávom, ľahké ponožky, topánky | 0,5 | 0,078 |
| Pracovný odev: Spodná bielizeň, pracovná bavlnená košeľa s dlhým rukávom, Vlnené ponožky, topánky, nohavice | 0,8 | 0,124 |
| Typický zimný odev v interiéri: Spodná bielizeň, košeľa s dlhým rukávom, nohavice, Sveter s dlhým rukávom, hrubé ponožky, topánky | 1,0 | 0,155 |
| Klasický teplý európsky odev: Bavlnená teplá spodná bielizeň s dlhým rukávom, košeľa, Nohavice, sako a vesta, vlnené ponožky, topánky | 1,5 | 0,233 |
| Jednotka tepelného odporu oblečenia 1 clo = 0,155 $m^2 \cdot K / W$ | | |

Na obr. 4.8 je PMV index v učebniach 3.1 a 3.2 (v nároží budovy pod strechou, počítali sa spolu v jednej zóne) a v učebniach, ktoré sa nachádzajú pod nimi č. 2.1 a 2.2 v pôvodnom stave. PMV index sa počítal v čase od 1.1. do 15. 1., počas veľmi chladných dní, keď teploty vonkajšieho vzduchu v klimatickom roku klesali až pod $-20 \text{ }^\circ\text{C}$. Uvažovalo sa bežné trojvrstvé oblečenie t. j. clo = 1,0, bežná školská činnosť met = 1,2 a nízke rýchlosti prúdenia vnútorného vzduchu $v_a = 0,1 \text{ m / s}$. Uvádzané údaje sú priemerné v jednotlivých triedach. Základné klimatické parametre v tomto čase sú uvedené v obr. 4.10.

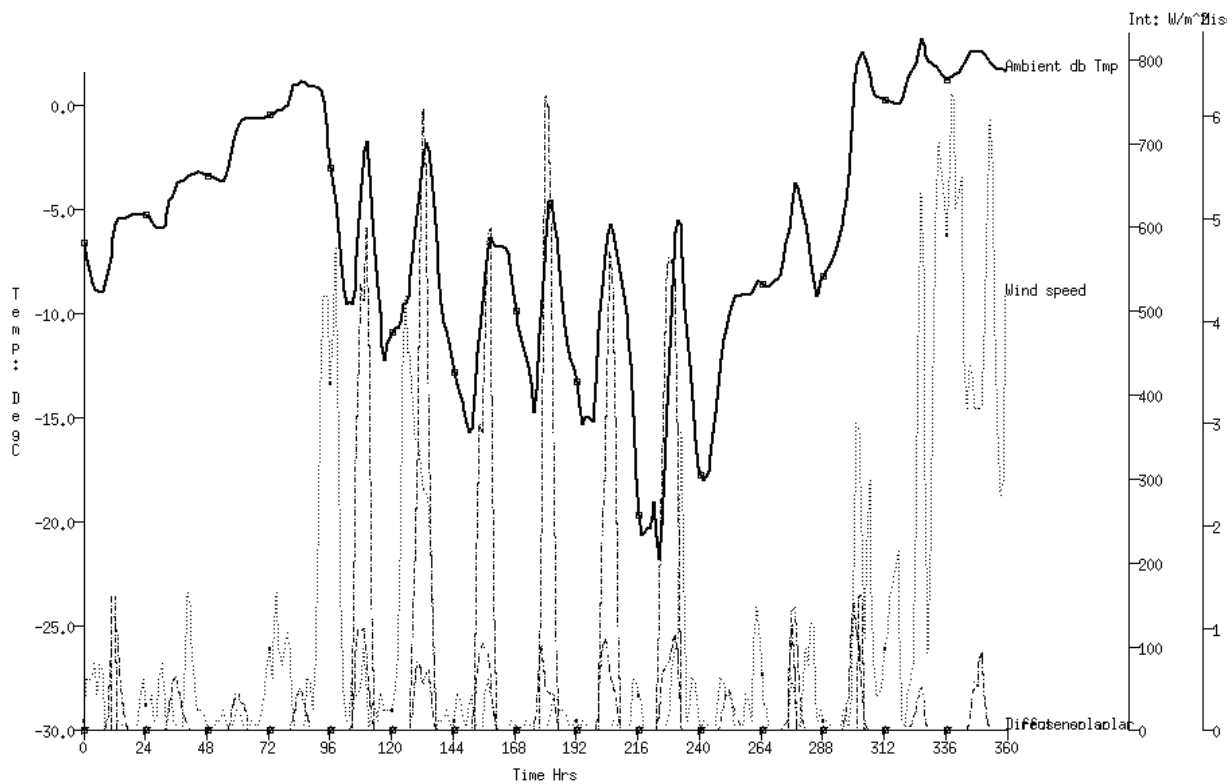
V pôvodnom stave sú veľké rozdiely v tepelnej pohode medzi jednotlivými triedami. Rozdiely sú spôsobené predovšetkým nízkymi vnútornými povrchovými teplotami slabo tepelne izolovanej plochej strechy. Všetky ostatné stavebné konštrukcie, obsadenie, prevádzka boli v porovnávaných triedach rovnaké.



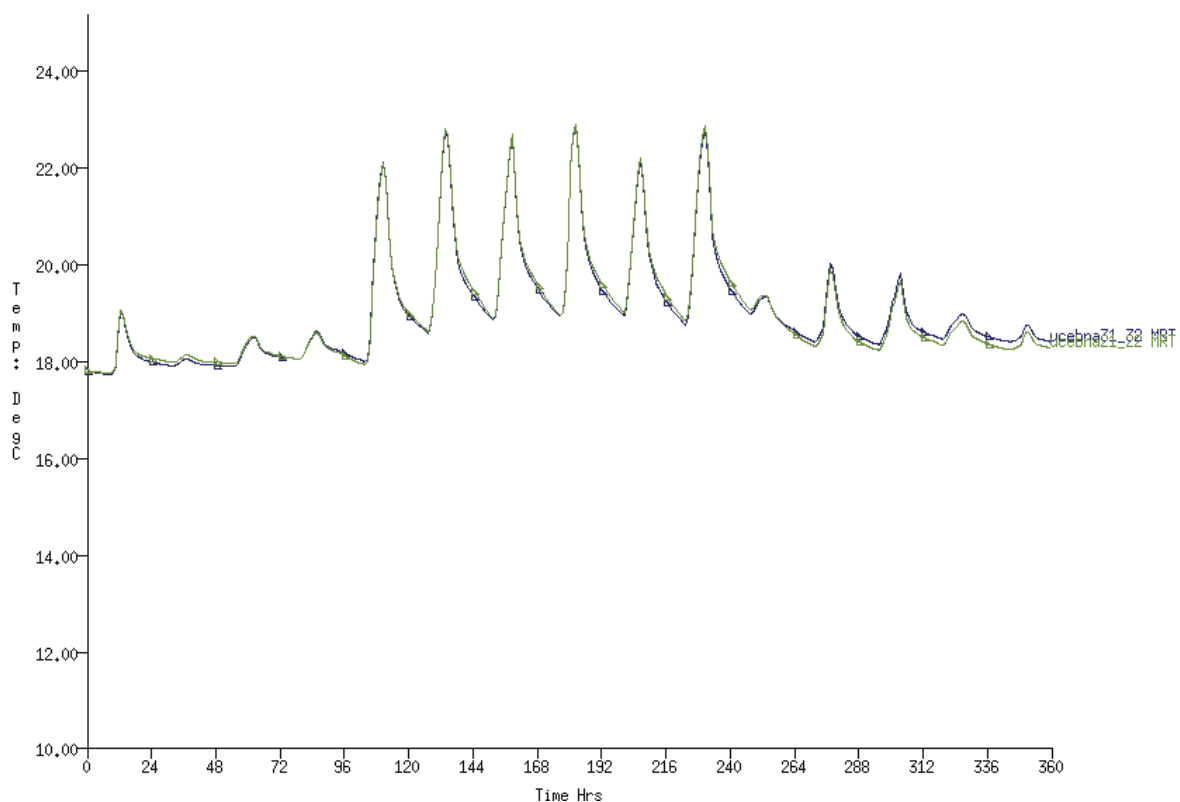
Obr. 4.8 PMV index v učebniach 3.1 a 3.2 (v nároží budovy pod strechou) a v učebniach 2.1 a 2.2 o podlažie nižšie v pôvodnom stave v čase od 1.1. do 15. 1. pri uvažovaní $c_{lo} = 1,0$, $met = 1,2$ a $v_a = 0,1$ m / s. V obrázku sú uvedené aj normálové intenzity priameho slnečného žiarenia v jednotlivých dňoch.



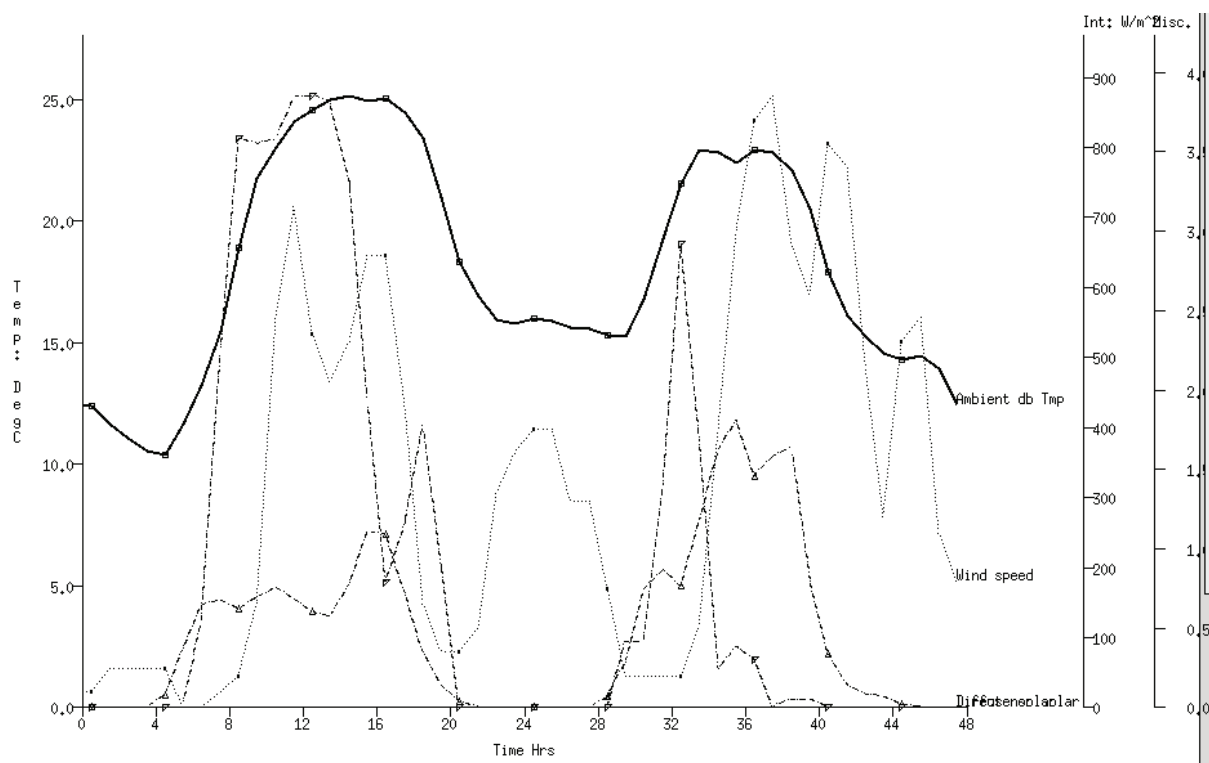
Obr. 4.9 PMV index v učebniach 3.1 a 3.2 (v nároží budovy pod strechou) a v učebniach 2.1 a 2.2 v novom stave po výmene okien, zateplení strechy 300 mm a stien 140 mm hrubým polystyrénom v čase od 1.1. do 15. 1. pri uvažovaní $c_{lo} = 1,0$, $met = 1,2$ a $v_a = 0,1$ m / s



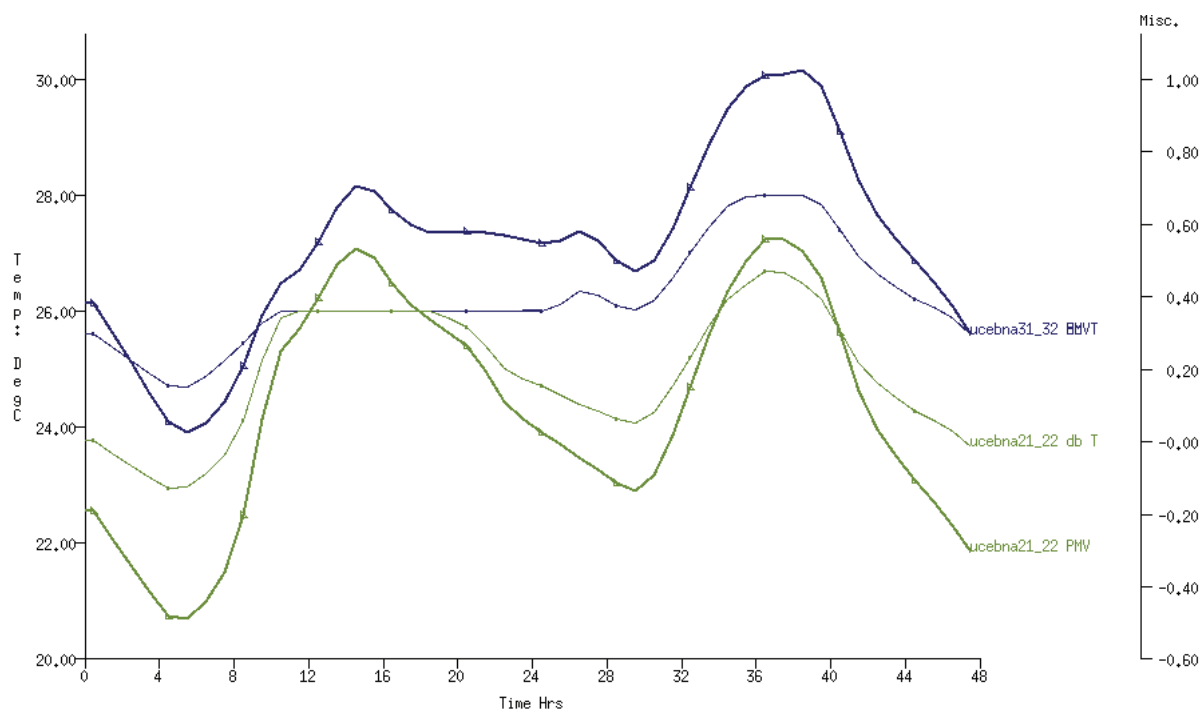
Obr. 4.10 Teplota vzduchu, slnečné žiarenie a rýchlosť vetra 1. 1. až 15. 1. v referenčnom klimatickom roku



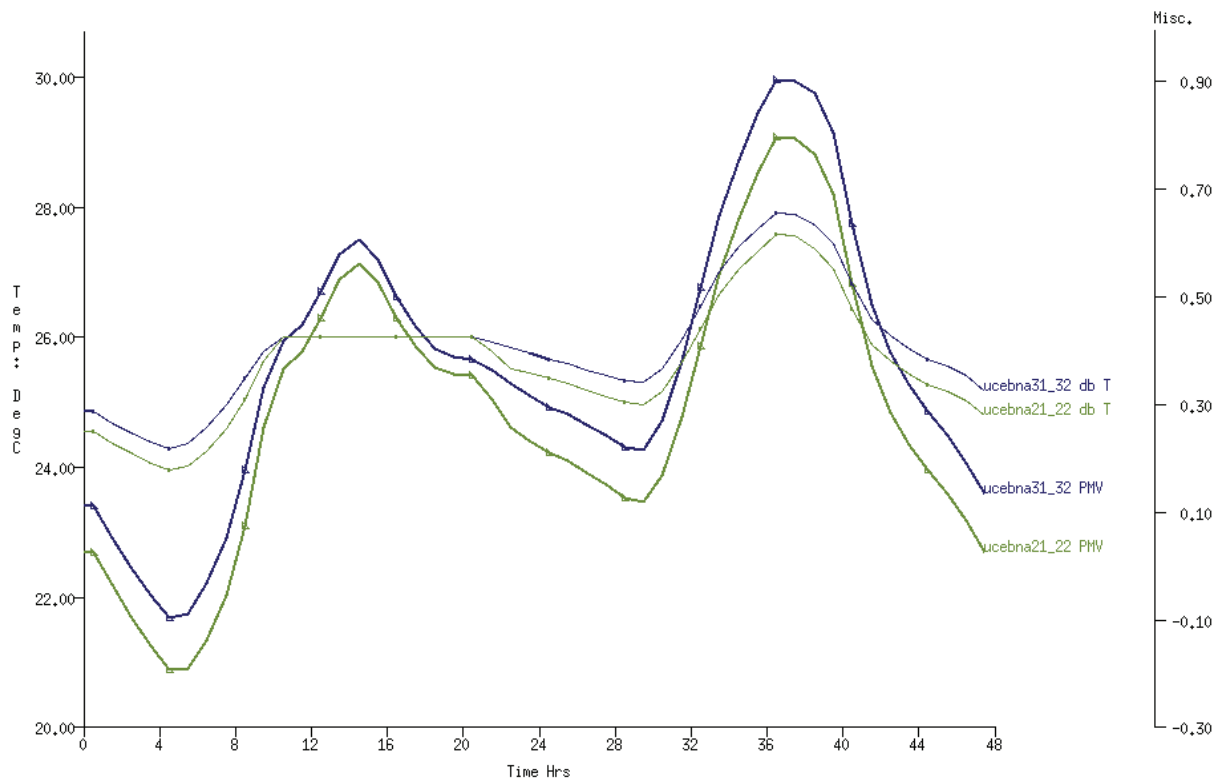
Obr. 4.11 Priemerná operatívna teplota v učebniach 3.1 a 3.2 a 2.1 a 2.2 v čase od 1. 1. do 15. 1. po ich zateplení



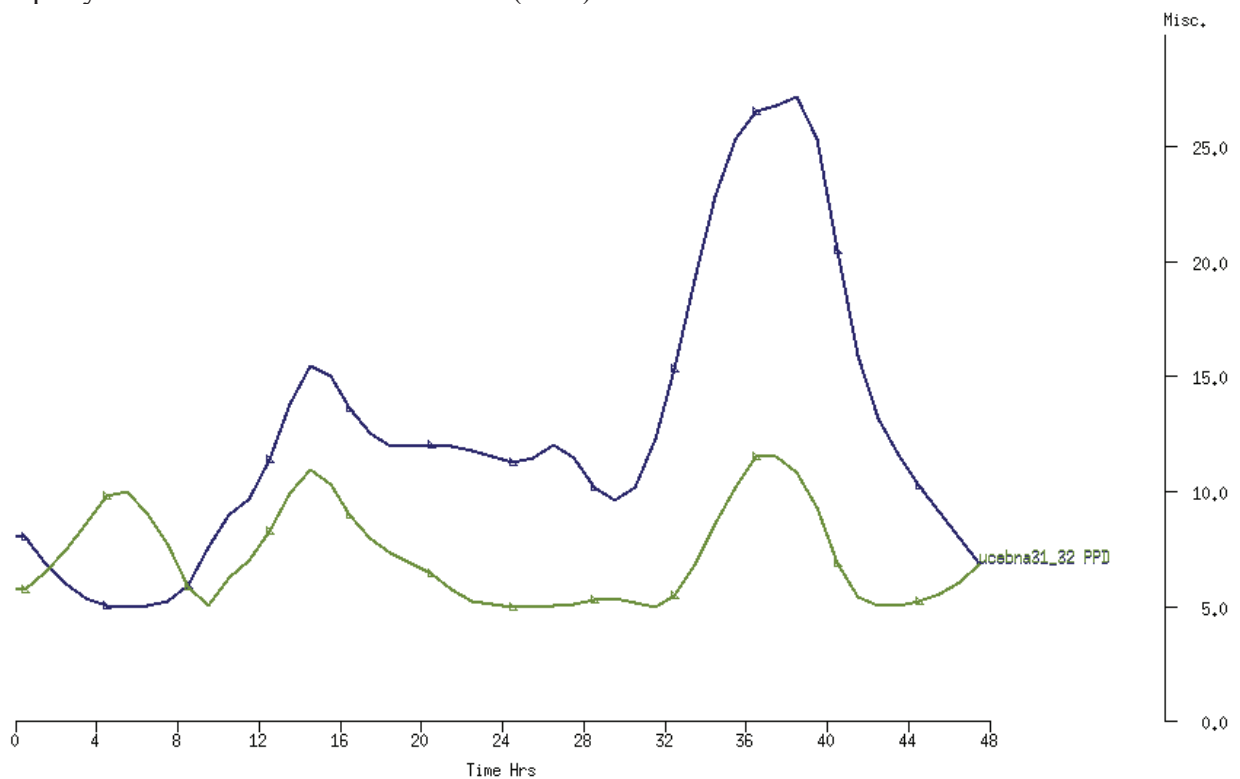
Obr. 4.12 Teplota vzduchu, slnečné žiarenie a rýchlosť vetra 23. 6. a 24. 6. v referenčnom klimatickom roku



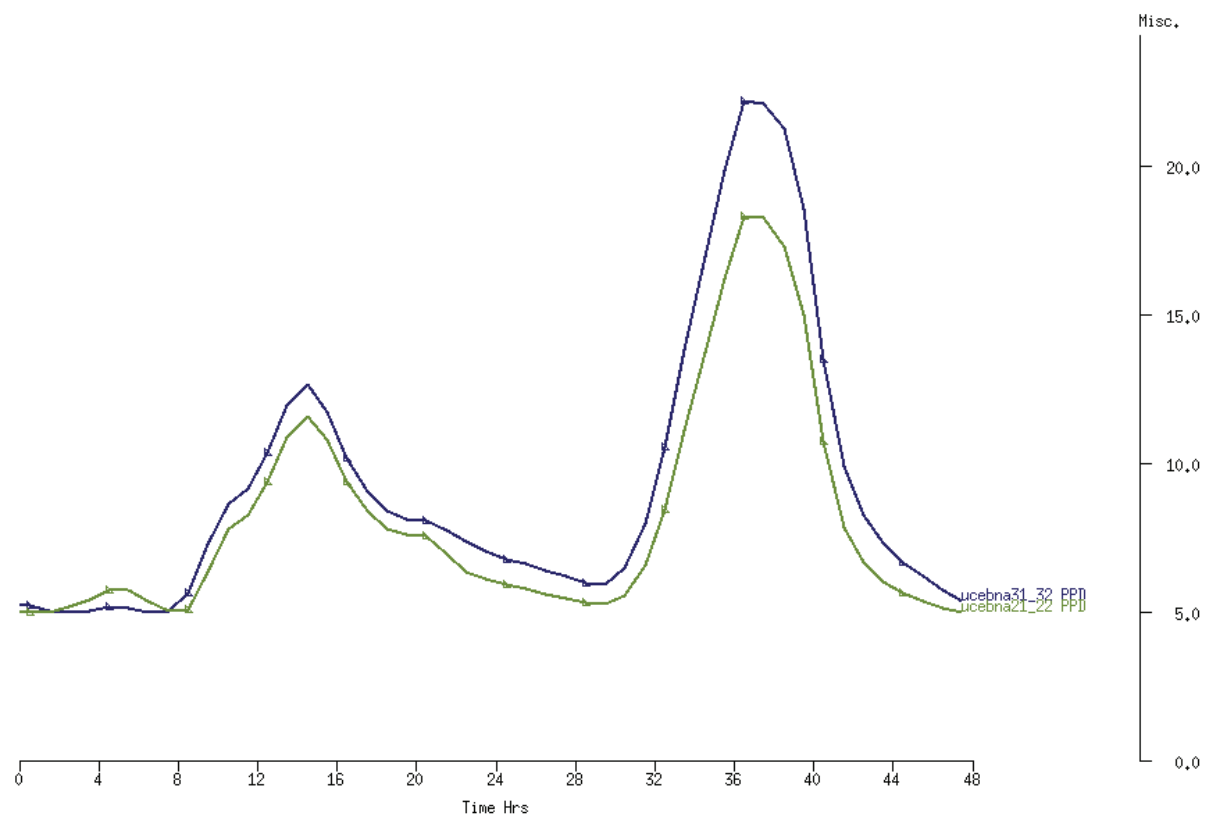
Obr. 4.13 PMV index v učebniach 3.1 a 3.2 (v nároží budovy pod strechou) a v učebniach 2.1 a 2.2 v pôvodnom stave v čase od 23. 6. do 24. 6. pri uvažovaní $clo = 0,5$, $met = 1,2$ a $v_a = 0,15$ m / s a teploty vnútorného vzduchu v triedach (db T)



Obr. 4.14 PMV index v učebniach 3.1 a 3.2 (v nároží budovy pod strechou) a v učebniach 2.1 a 2.2 v novom stave v čase od 23. 6. do 24. 6. pri uvažovaní $clo = 0,5$, $met = 1,2$ a $v = 0,15$ m / s a teploty vnútorného vzduchu v triedach (db T)



Obr. 4.15 PPD - index v učebniach 3.1 a 3.2 a 2.1 a 2.2 v dňoch 23. a 24. 6. v pôvodnom stave, $clo = 0,5$, $met = 1,2$, $v = 0,15$ m / s



Obr. 4.16 PPD - index v učebniach 3.1 a 3.2 a 2.1 a 2.2 v dňoch 23. a 24. 6. po navrhovanej obnove, clo = 0,5, met 1,2, v = 0,15 m / s

Priame slnečné žiarenie prenikajúce do južne orientovaných tried zlepšuje PMV-index. Počas zamračených dní sa v triedach 2.1 a 2.2 PMV-index pohyboval pri teplote vnútorného vzduchu +20 °C v rozsahu zhruba -0,8 až -1,0. Teda ide o neutrálne až mierne chladné prostredie. V triedach pod strechou sú počas zamračených chladných dní PMV-indexy v rozsahu -1,0 až -1,2, teda v triedach je podľa (STN EN ISO 7730: 2005) metódy mierne chladno.

Po výraznom zateplení plochej strechy rozdiely v tepelnej pohode medzi triedami pod strechou a triedami na 2. nadzemnom podlaží v hodnotenej škole prakticky nebudú – pozri obr. 4.9, ba dokonca v triede pod strechou bude v určitom čase tepelná pohoda nepatrne lepšia.

PMV-index je priamo zviazaný s operatívnou teplotou v jednotlivých zónach, čo dokumentuje aj obr. 4.11.

Tepelná pohoda v letnom období sa v rovnakých zónach porovnávala aj v dňoch 23. a 24. júna. Základné klimatické údaje v týchto dňoch podľa referenčného klimatického roka sú uvedené v obr. 4.12.

V klimatickom roku je 23. 6. piatok a 24. 6. sobota. V piatok sa uvažovalo, že v čase vyučovania nevystúpi teplota vnútorného vzduchu nad 26 °C (teda sa bude chladit'), kým v sobotu môžu teploty vnútorného vzduchu „bežať voľne“. Z dôvodu porovnávania pôvodného a novo navrhovaného stavebného riešenia sa takýto postup výpočtovo predpokladal v obidvoch porovnávaných prípadoch – pozri obr. 4.13 a 4.14.

V posudzovaných dňoch teplota vonkajšieho vzduchu kolísala okolo 20 °C. V obr. 4.13 a 4.14 sú okrem PMV indexov uvedené aj teploty vnútorného vzduchu v porovnávaných triedach. V pôvodnom stave sú teploty vnútorného vzduchu v triedach pod strechou zhruba o 2 °C vyššie ako v triedach, ktoré sú o poschodie nižšie. Tomu odpovedá aj hodnotenie tepelnej pohody. Kým v triedach pod strechou by väčšina užívateľov považovala vnútorné prostredie za mierne teplé, v triedach o poschodie nižšie je tepelne neutrálne prostredie. Po zateplení budovy budú rozdiely v teplotách vnútorného vzduchu aj v hodnotení tepelnej pohody v porovnávaných charakteristických triedach podstatne menšie – porovnaj obr. 4.13 a 4.14. Treba však poznamenať, že v triedach 2.1 a 2.2 sa v dôsledku dobrej tepelnej izolácie a tým oslabenia pasívneho chladenia počas nočných hodín resp. chladnejších dní zvýši tendencia k prehrievaniu.

Týmto údajom odpovedá aj predpokladané percento nespokojných s tepelnou pohodou – obr. 4.15 a 4.16. Po zateplení percento nespokojných v triede pod strechou mierne klesne a v triedach o poschodie nižšie sa citelnejším spôsobom zvýši. V analyzovanom čase vyučovania (23. 6.) sa však tepelná pohoda pohybuje v prijateľných hraniciach. Je tomu tak iba preto, lebo sa predpokladalo chladenie vnútorného vzduchu, jej udržiavanie na teplotu 26 °C.

4.6.4 Vplyv protislnečných clôn na tepelnú pohodu a energetickú bilanciu

Podľa Nariadenia vlády č. 353/2006 ožiarenosť hlavy sálavým teplom nesmie prekročiť 200 W/m²; v prípade priameho slnečného žiarenia cez osvetľovacie otvory musí byť vzájomná poloha otvorov, protislnečných clôn a miest riešená tak, aby v priebehu celého roka počas dlhodobého pobytu neboli hlavy ľudí vystavené priamemu slnečnému žiareniu viac ako 10 minút.

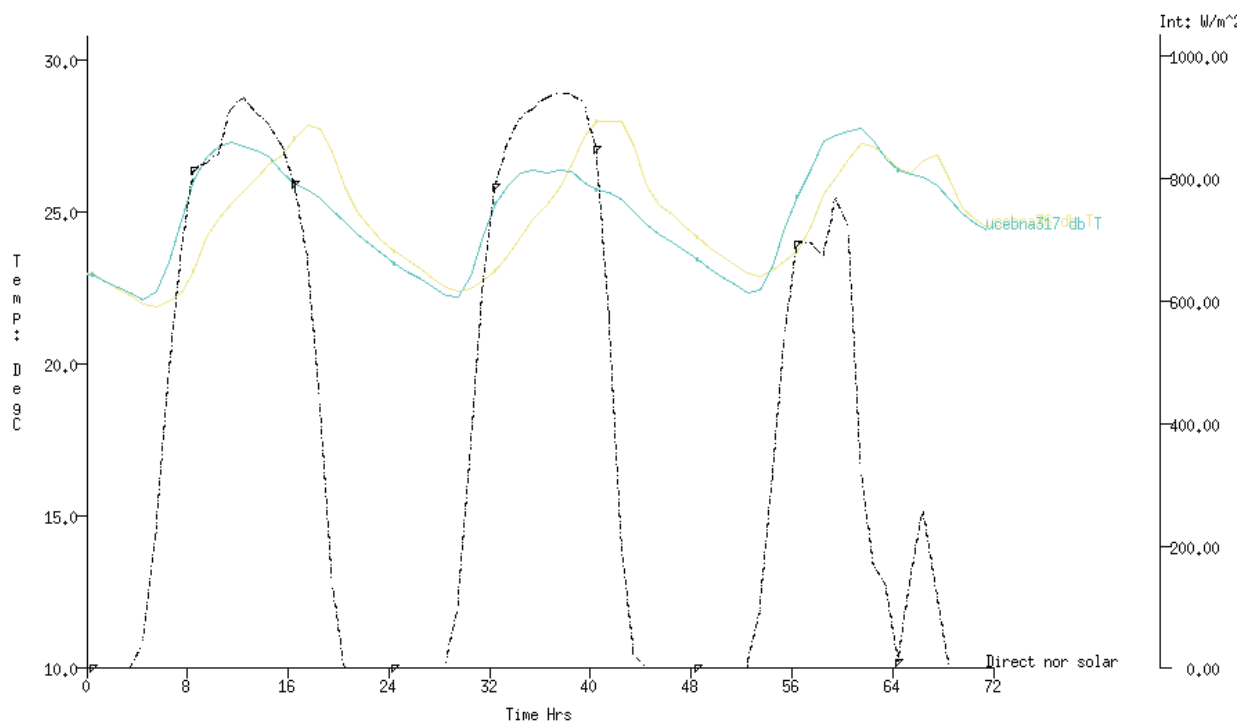
Táto požiadavka je prísna. V podstate to znamená, že okná musia byť vybavené účinnými slnečnými clonami (záclony alebo riedke tkaniny nestačia). Vzhľadom na to, že intenzity slnečného žiarenia, ktoré prechádza cez zasklenie, môžu dosahovať hodnoty vyše 700 W / m² (pozri intenzity priameho slnečného žiarenia v náhodne vybraných dňoch referenčného klimatického roka Sliača 23. – 25. 5. v obr. 4.17), mala by protislnečná clona znížiť intenzitu žiarenia najmenej o 70 % (ak uvažujeme aj zníženie intenzity ožiarovania vplyvom zasklenia). Zároveň je z tohto obrázka zrejmé, aký vzostup teploty vzduchu v učebniach 3.6 a 3.17 spôsobí slnečné žiarenie napriek ich intenzívnemu vetraníu. Intenzita slnečného žiarenia výrazne prevyšuje uvedené hygienické kritérium aj v zimnom období.

Vzhľadom na to, že v prechodných ročných obdobiach sa k ožiarenosti tela žiaka môže pridať aj sálavé teplo z radiátorov, mala by byť účinnosť protislnečných clôn vyššia ako 70 %. V teplom ročnom období je vzhľadom na riziko vzniku vysokých teplôt vzduchu v značne presklených triedach s pomerne vysokými počtami žiakov vhodné znížiť priepustnosť protislnečných clôn na minimum, teda po hranicu, ktorá zabezpečuje dostatočné denné osvetlenie.

Odporúča sa použiť na oknách učební a kabinetov resp. kanceláriách vonkajšie žalúzie s lamelami, ktoré sa dajú pootáčať. V uzatvorenej polohe má protislnečná clona znížiť transmitanciu slnečného žiarenia približne o 90 %. Inými slovami, protislnečná clona by mala mať celkovú priepustnosť slnečného žiarenia okolo 0,10.

Zároveň by slnečná clona mala mať svetlú povrchovú úpravu a mala by byť dostatočne subtilná, aby prúdenie vonkajšieho vzduchu v jej okolí mohlo účinne znižovať jej nadmerné ohriatie. Vhodným materiálom sú napr. hliníkové zliatiny. Takýmto spôsobom sa zníži tepelná záťaž interiéru a teda aj potreba energie na chladenie resp. tendencia k prehrievaniu

vnútorného prostredia. Dôležité je pamätať aj na jej odolnosť proti vetru a na to, aby vo veternom období nespôsobovala hluk.



Obr. 4.17 Intenzity normálového priameho slnečného žiarenia v dňoch 23. až 25. 5. referenčného klimatického roka a priebehy teplôt vzduchu v učebniach 3.6 (približne západná orientácia) a 3.17 (približne východná orientácia) bez protislnečných clôn

5. Efektívne režimy výmeny vzduchu v učebniach

Kvalitu vnútorného vzduchu spolu s dodržaním maximálnych rýchlostí prúdenia vzduchu a jeho teploty je problematické dosiahnuť počas celého roka iba prirodzeným vetraním. V priestoroch, v ktorých vzniká veľké množstvo škodlivín (napr. niektoré laboratóriá, prednáškové sály) sa primeraná kvalita vnútorného vzduchu nedá prirodzeným vetraním vôbec zabezpečiť. Vzhľadom na ekonomickú náročnosť umelého vetrania a klimatizácie sa v našich školách používa mechanické vetranie, prípadne klimatizácia iba občas a v nevyhnutnom rozsahu. Dosiahnuť súlad medzi hygienickými požiadavkami na kvalitu vnútorného vzduchu a nízkou energetickou náročnosťou možno iba premysleným a integrovaným návrhom budovy ako celku. Budovu základnej školy je potrebné chápať ako jednotný energetický celok so špecifickými prevádzkovými požiadavkami. V čase vyučovania sa požaduje vysoká výmena vzduchu. Väčšinu času, a to aj v priebehu školského roka, sa môže škola prevádzkovať s minimálnymi výmenami vzduchu. V takýchto riešeniach má mechanické vetranie s rekuperáciou energie dôležité miesto.

5.1 Požiadavky na výmenu vzduchu v školách

Dostatočné vetranie miestností je jednou z najzákladnejších podmienok zdravého vnútorného prostredia. Na ohrievanie čerstvého vetracieho vzduchu sa vynakladá značná časť energie potrebnej na vykurovanie budov. V našich podmienkach sa čerstvý vzduch dostáva do školských objektov obyčajne neregulovaným spôsobom cez škáry v obalových konštrukciách, najmä cez škáry okien a dverí. Zo skúseností vieme, že typické drevené otvárateľné okná bez tesnenia zabezpečujú relatívne dostatočnú výmenu vzduchu počas chladných dní. Počas veľkej väčšiny dní je však potrebné učebne a iné vnútorné priestory so zvýšenou koncentráciou osôb vetrať otváraním okien. Počas veľmi chladných a veterných dní však pri takomto spôsobe výmeny vzduchu v celej škole dochádza k nadmernej výmene vzduchu a k enormným tepelným stratám.

Vhodným tesnením je možné znížiť pôvodnú prievzdušnosť okien o 40 až 80 %. Niektoré typy nových okien z viacnásobnými tesneniami umožňujú iba 0,1 až 0,2 násobnú prirodzenú výmenu vzduchu v miestnostiach. Nízka výmena vzduchu v miestnostiach spôsobuje nárast vlhkosti vnútorného vzduchu a s tým často spojeného zamorenia ovzdušia mikróbmi a inými škodlivinami (formaldehyd, radón, oxidy dusíka...), čo môže spôsobovať zdravotné riziko. Neregulovaná výmena vzduchu infiltráciou a exfiltráciou vzduchu škárami a netesnosťami závisí nielen od rýchlosti a smeru vetra, od rozdielov teplôt vnútorného a vonkajšieho vzduchu, dĺžky a tesnosti škár, ale aj od tvaru budovy, jej dispozičného riešenia, osadenia v teréne resp. v zástavbe a ďalších vplyvov. Napríklad pri veľmi nepriaznivej polohe domu (náveterné strany kopcov, návršia) sa straty tepla infiltráciou vzduchu môžu zvýšiť viac ako dvojnásobne v porovnaní s „bežnou“ polohou.

Pre riešenie problému výmeny vzduchu v školských priestoroch je rozhodujúcim východiskovým bodom stanovenie hygienicky nevyhnutného množstva čerstvého vzduchu, ktoré potrebuje jeho užívateľ. Zdravý človek v pokoji potrebuje 15 až 18 m³ čerstvého vzduchu za hodinu. Pri ľahkej sedavej práci stúpa spotreba vzduchu na 20 až 40 m³/h, pri intenzívnejšej práci treba do miestnosti dodávať aj viac ako 60 m³/h a pri znehodnocovaní vzduchu napr. v laboratóriách potreba čerstvého vzduchu ďalej rastie. V mnohých krajinách sa na výmenu vzduchu v obytnom prostredí dlhodobo používa štandard 25 m³/h čerstvého vzduchu na osobu.

Treba tiež poznamenať, že množstvo vzduchu potrebné na vetranie závisí aj od kvality vonkajšieho vzduchu a rôznych pachov, prípadne aj škodlivín produkovaných nábytkom,

počítačmi, stavebnými materiálmi a pod.. Výmena vzduchu v miestnostiach je z dôvodov dynamických zmien počasia a zmien v spôsobe ich využívania a obsadenosti osobami značne premenlivá a je veľmi problematické ju dostatočne presne vypočítať. Navyiac, jednotliví užívatelia priestoru vetrajú veľmi rozdielne. Konkrétny užívateľ sa môže od „priemerného“ pri prirodzenom vetraní odlišovať až o $\pm 40\%$.

Rozsah údajov o potrebe čerstvého vzduchu v budovách je veľmi široký. Požiadavky na výmenu vzduchu v jednotlivých priestoroch škôl podľa (Kolektív 1985) sú v tab. 5.1. Od štandardu vetrania výrazne závisí energetická efektívnosť budovy.

V EN 13779: 2004 sa uvádzajú 4 kategórie kvality vnútorného vzduchu, pričom kritériá kvality vzduchu sú určené niekoľkými spôsobmi. Napríklad podľa obsahu CO_2 vo vzduchu v miestnosti alebo pociťovanej odorovej kvality vzduchu. Používajú sa tu aj nepriame kritériá definované výmenou vzduchu na osobu alebo na plochu miestnosti. V nefajčiarskom prostredí sa v kategórii IDA 1 požaduje viac ako $54 \text{ m}^3 / (\text{h} \cdot \text{osoba})$, v IDA 2 36 až $54 \text{ m}^3 / (\text{h} \cdot \text{osoba})$, v IDA 3 22 až $36 \text{ m}^3 / (\text{h} \cdot \text{osoba})$ v kategórii s nízkou kvalitou vzduchu v IDA 4 je menej ako $22 \text{ m}^3 / (\text{h} \cdot \text{osoba})$. Tieto hodnoty platia pre aktivity s výdajom energie menej ako 1,2 met (pozri tab. 4.15) a v budovách s nízkym výskytom škodlivín v ovzduší (zo stavebných konštrukcií, nábytku, samotného vetracieho systému a pod.). Pre jednotlivé kategórie sa v EN 13779 uvádzajú charakteristické preddefinované hodnoty. V kategórii IDA 4 (nízka kvalita vzduchu) je to hodnota $18 \text{ m}^3 / (\text{h} \cdot \text{osoba})$. Vo všeobecnosti sú požiadavky na výmenu vzduchu vo svetovom alebo aj európskom kontexte nie jednoznačné. V súčasnosti je v štádiu schvaľovania CEN EN 15251: 2006, v ktorej sa navrhujú odstupňované požiadavky na kvalitu vnútorného prostredia v budovách vrátane výmeny vzduchu. Značný rozptyl v požiadavkách obsahujú aj údaje v tab. 5.1.

Tab. 5.1 Výmena vzduchu v priestoroch školských budov

| Por. čís. | Účel priestoru | θ_{ai} v zime (°C) | Výmena vzduchu | | Druh vetrania |
|-----------|---|---------------------------------|----------------|--------------------------|--|
| | | | 1 / h | $\text{m}^3/\text{hod.}$ | |
| 1 | Univerzálne a odborné učebne, pracovne výtvarnej a hudobnej výchovy | 20 | 3 - 8 | 15 - 40 | prirodzené - leto nútené odsávanie - zima |
| 2 | Kabinety | 20 | - | - | prirodzené |
| 3 | Odborné pracovne, laboratóriá | 20 | 5 - 10 | 15 - 40 | nútené |
| 4 | Telocvičňa | 15 | 3 | - | prirodzené - leto nútené odsávanie - zima |
| 5 | Plaváreň | | | | klimatizácia |
| 6 | Umyvárne, sprchy pri telocvični | 24 | 10 - 20 | - | nútená výmena |
| 7 | Šatne pri telocvični | 20 | 4 - 6 | - | nútená výmena |
| 8 | Centrálne šatne | 15 | 4 - 6 | 20 - 30 | prirodzené |
| 9 | Čítárne a klubovne | 20 | 3 - 5 | 20 - 30 | prirodzené |
| 10 | Administratíva | 20 | 0,8 - 1 | 25 | prirodzené |
| 11 | Kuchyňa | 15 | 10 - 20 | - | nútené odhmlv. |
| 12 | Jedáleň | 20 | 3 - 5 | 20 - 30 | nútená výmena |
| 13 | WC pre žiakov | 15 | 10 | - | prirodzené |
| 14 | Chodby pre pobyt a odpočinok | 15 | 3 - 5 | - | prirodzené |

Minimálnu výmenu vzduchu v budovách v Slovenskej republike aktuálne stanovuje Nariadenie vlády SR č. 353/2006, pozri obr. 5.1.

V učebni s objemom 175 m^3 (učebňa č. 2.2 po odpočítaní objemu prievlakov), v ktorej sa nachádza 30 osôb pripadá na jednu osobu $5,83 \text{ m}^3$ priestoru. Podľa obr. 5.1 treba každú hodinu zabezpečiť na jednu osobu zhruba 27 m^3 čerstvého vzduchu. To znamená výmenu vzduchu $4,6 / \text{h}$. Pri takejto intenzite prirodzeného vetrania už začína byť pociťovaný prievan. Ak budeme uvažovať kategóriu IDA 4 podľa EN 13779 pre nízku kvalitu vnútorného vzduchu s hodnotou $18 \text{ m}^3 / (\text{h} \cdot \text{osoba})$, potom pri obsadenosti triedy 30 osobami je potrebná výmena vzduchu približne $3,0 / \text{hodina}$.

Takáto hodnota výmeny vzduchu sa uvažovala v prezentovaných simuláciách. Je potrebné zdôrazniť, že ide o spodný „európsky“ limit a naše hygienicky minimálne požiadavky na výmenu vzduchu sú vyššie.

Potrebné vysoké hodnoty výmeny vzduchu sú podmienené aj tým, že na veľkosť triedy je jej obsadenosť žiakmi v európskych meradlách vysoká. Podľa EN 13779 (tab. 22 tejto normy) pripadá na jedného žiaka 2 až 5 m^2 podlahovej plochy triedy. V posudzovanej typovej základnej škole v učebniach pripadá na jedného žiaka iba $1,9 \text{ m}^2$ podlahovej plochy.

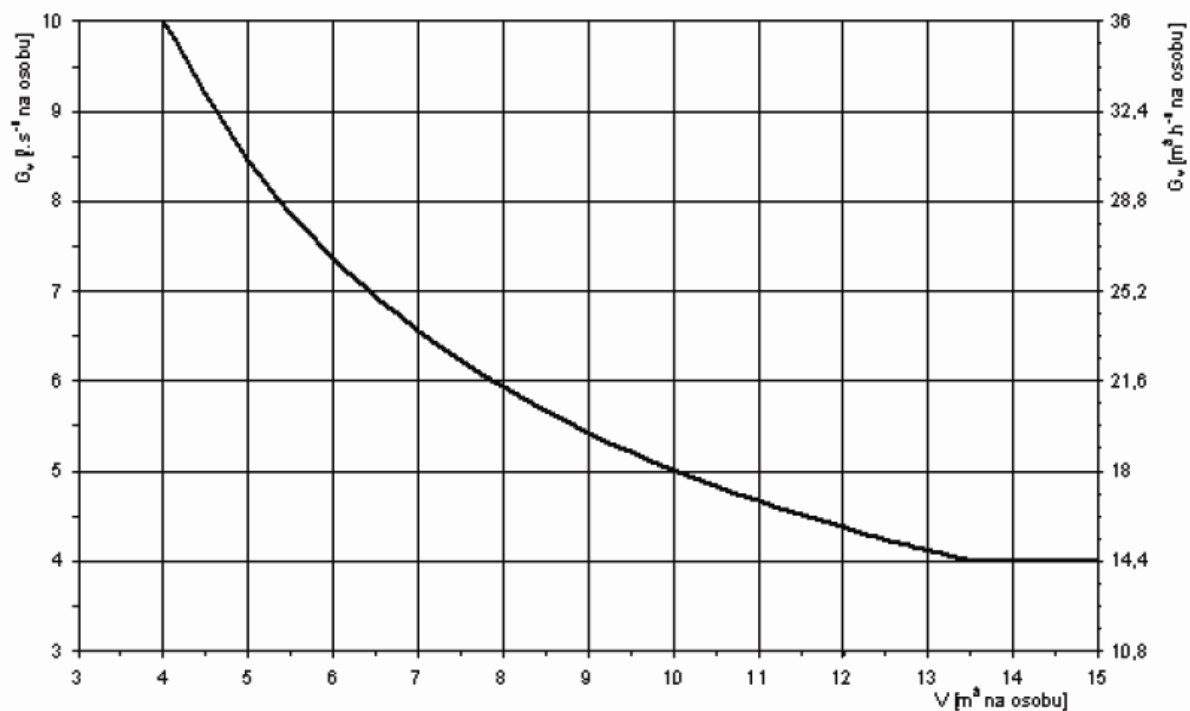
Rôzne úvahy o možnosti šetrenia energie znižovaním výmeny vzduchu v školských budovách treba posudzovať veľmi opatrne.

Z uvedených informácií vyplýva, že nadmerné utesňovanie okien môže bez častejšieho intenzívneho vetrania otvorenými oknami spôsobovať nedostatočnú kvalitu vnútorného vzduchu v školách s priamym negatívnym dopadom na chorobnosť, prípadne aj zdravie žiakov.

Účinnosť regulovaného mechanického vetrania je podmienená veľmi dobrou tesnosťou obalových konštrukcií ($0,1$ až $0,2 / \text{h}$). Zatvorené moderné plastové okná takúto požiadavku obyčajne spĺňajú.

Z energetického hľadiska môžeme systémy regulovaného vetrania domov v zime rozdeliť na dva základné typy :

- vetranie s prostou výmenou spotrebovaného vzduchu za chladný čerstvý vzduch,
- systémy vetrania s rekuperáciou tepla.



Obr. 5.1 Minimálne požiadavky na množstvo vymieňaného vzduchu na 1 osobu v priestoroch s dlhodobým pobytom podľa (Nariadenie vlády SR č. 353/2006)

V prvom prípade nejde o energeticky efektívnu budovu, pretože spotreba energie na ohrievanie vetracieho vzduchu by bola v dlhodobom užívaných priestoroch vysoká.

V druhom prípade sa privádzaný čerstvý vzduch predhrieva teplom z odvádzaného znehodnoteného vzduchu. Energeticky výhodné sú vetracie systémy, ktoré v danej miestnosti vymieňajú vzduch podľa koncentrácie škodlivín (podľa obsadenia miestnosti osobami a podľa ich činnosti) s účinnosťou rekuperácie tepla nad 70 %. V tejto súvislosti treba spomenúť, že mechanické vetranie spotrebuje na svoju prevádzku nie zanedbateľné množstvo elektrickej energie, zvyšuje investičné náklady stavby, vyžaduje istý stupeň kvalifikovanej obsluhy. Konečný energetický efekt regulovateľného vetrania treba posudzovať aj z toho hľadiska, že úspory energie na vykurovanie sú sprevádzané rastom spotreby elektrickej energie.

Mnohí stavební konštruktéri sa orientujú na vybavenie tesných okien špeciálnymi vetracími prvkami (napr. regulovateľnými štrbinami, prípadne klapkami). Takéto riešenia nedokážu obyčajne zabezpečiť v učebniach dostatočné výmeny vzduchu. V prípade ich nesprávnej obsluhy (otvorené v zime a v čase, keď školy nie sú v prevádzke), môžu spôsobovať zbytočné energetické straty.

V energeticky efektívnych budovách sa podiel spotreby energie na vetranie na celkovej energetickej spotrebe v porovnaní s "tradičnou" budovou relatívne zvyšuje. Vzhľadom na to, že spotreba čerstvého vzduchu je značná a nedá sa znižovať pod hygienicky prípustnú mieru, sa radikálne energetické úspory dajú dosiahnuť iba energeticky nenáročným regulovaným vetraním s účinnou rekuperáciou tepla.

Počas vyučovacej jednotky (obyčajne 45 minút) nemá koncentrácia CO₂ vo vzduchu učebne prevýšiť 0,14 % objemových. Pri vyššej koncentrácii dochádza k zvýšenej únave žiakov aj učiteľov. Podľa už vyššie zmieňovanej EN 13779:2004 aj v najhoršej kategórii IDA 4 sa požaduje úroveň CO₂ okolo 1200 ppm (teda 0,12 %).

V moderných stavbách je veľmi rozšírenou škodlivinou formaldehyd (nachádza sa v lepidlách, nábytku, kobercoch, papieroch a pod.), odporúčaná koncentrácia je do 35 µg / m³, maximálna dovolená krátkodobá koncentrácia je v školách 50 µg / m³. Limitné hodnoty podľa aktuálneho slovenského záväzného hygienického predpisu (Nariadenie vlády SR č. 353/2006) sú však vyššie.

Stojí za pozornosť, že aj keď sa v typizačných smerniciach na výstavbu školských budov zo začiatku 80. rokov (napr. Kolektív 1985) sa jednoznačne odporúča v zime vetrať učebne núteným spôsobom s rekuperáciou tepla, v praxi sa s takýmto riešením na Slovensku takmer vôbec nestretávame. Umelé vetranie sa riešilo v zásade iba tam, kde sa prirodzeným vetraním nedá dosiahnuť prijateľná kvalita vnútorného vzduchu (varne, špeciálne dielne a podobne).

Obehový vzduch je možné použiť len vtedy, ak nie je znečistený plynnými látkami a časticami pevných a kvapalných aerosólov. Ako obehový vzduch je možné použiť vzduch z tej istej miestnosti alebo zo skupiny miestností s rovnakým využitím. Obehový vzduch sa upravuje rovnakým spôsobom ako vonkajší vzduch, musí sa viesť cez rovnaké filtračné stupne, a to buď samostatne, alebo spolu s vonkajším vzduchom.

5.2 Simulácie spôsobov výmeny vzduchu v posudzovanej základnej škole

V časti 4 sa simulovala potreba tepla na vykurovanie a chladenie typovej základnej školy v terajšom (označovanom aj pôvodnom) stave s prirodzenými výmenami vzduchu podľa tab. 4.1. Vo variantoch tepelnej ochrany zateplením sa používali rovnaké prirodzené výmeny vzduchu.

Takýto postup sa zvolil z toho dôvodu, aby bolo možné porovnávať efekty rôzneho stupňa tepelnej izolácie a výmeny okien na potrebu energie na vykurovanie a chladenie.

V časti 5 prípadovej štúdie sa analyzujú energetické efekty mechanickej výmeny vzduchu v triedach s jeho odvodom cez priestory WC.

Simulácie sa najskôr robili s teoretickým predpokladom, že sa budú mechanicky vetrať iba učebne počas vyučovania s odvodom odpadového vzduchu cez priestory WC a ostatné priestory sa budú vetrať prirodzeným spôsobom (v kabinetoch a chodbách počas vyučovania sa uvažovala prirodzená výmena vzduchu 1,0 / h v ostatnom čase 0,5 / h, na schodisku počas vyučovania 2,0 / h a v šatni 5,0 / h, inak 0,5 / h, v kuchyni a výdajni jedla podľa tab. 4.1).

Potom sa analyzovala situácia so stálou mechanickou výmenou vzduchu vo všetkých priestoroch (okrem kuchyne a kotolne, v ktorých sa uvažovala výmena vzduchu podľa tab. 4.1) počas vyučovania 3,0 / h s účinnosťou rekuperácie tepla 75 %, v ostatnom čase prirodzená infiltrácia vzduchu 0,5 / h.

Z údajov uvedených v tab. 5.2 vyplýva, že mechanickým vetraním učební resp. celej školy s účinnou rekuperáciou tepla sa dajú dosiahnuť významné úspory tepla na vykurovanie. Ak budeme porovnávať potrebu tepla na vykurovanie školy v pôvodnom stave v hodnote 376 852 kWh (tab. 4.2) so stavom po zateplení a mechanickom vetraní s rekuperáciou tepla, kedy klesne potreba tepla na vykurovanie na 110 546 kWh vidíme, že možné úspory energie dosahujú až 70,6 %.

V nízkoenergetickej budove je mimoriadne dôležitý režim vetrania. V prípade vysokej tesnosti obalového plášťa a dôsledného zatvárania okien v čase, keď v škole neprebíha vyučovanie, je možné dosiahnuť ešte vyššie úspory energie na vykurovanie.

Tab. 5.2 Potreba energie na vykurovanie školy s mechanickou výmenou vzduchu počas vyučovania s účinnosťou rekuperácie tepla 75 %

| Mesiace | Potreba energie na vykurovanie posudzovanej školy s mechanickou výmenou vzduchu počas vyučovania s účinnosťou rekuperácie 75 % (kWh) | |
|------------------|--|---|
| | Mechanické vetranie iba učební $\theta_{ai} = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ | Mechanické vetranie učební, kabinetov, chodieb $\theta_{ai} = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ |
| Január | 30 823 | 27 386 |
| Február | 20 442 | 17 940 |
| Marec | 14 660 | 12 458 |
| Apríl | 4 040 | 3 532 |
| Máj | 1 082 | 862 |
| Jún | 29 | 24 |
| Júl | 11 | 11 |
| August | 16 | 15 |
| September | 450 | 301 |
| Október | 4 905 | 3 963 |
| November | 18 077 | 15 838 |
| December | 31 439 | 28 219 |
| Rok | 125 974 | 110 546 |

Poznámka:

V čase mimo vyučovania sa uvažovala prirodzená výmena vzduchu 0,5 / h

Tab. 5.3 Potreba energie na chladenie školy s mechanickou výmenou vzduchu počas vyučovania s účinnosťou rekuperácie tepla 75 %

| Mesiace | Potreba energie na chladenie školy s mechanickou výmenou vzduchu v s účinnosťou rekuperácie 75 % (kWh) | |
|------------------|--|---|
| | Mechanické vetranie iba učební $\theta_{ai} > 26\text{ }^{\circ}\text{C}$ | Mechanické vetranie učební, kabinetov, chodieb $\theta_{ai} > 26\text{ }^{\circ}\text{C}$ |
| Január | 0 | 0 |
| Február | 0 | 0 |
| Marec | 6 | 6 |
| Apríl | 155 | 161 |
| Máj | 1 228 | 1 279 |
| Jún | 2 256 | 2 355 |
| Júl | 5 655 | 5 778 |
| August | 5 012 | 5 100 |
| September | 1 613 | 1 694 |
| Október | 604 | 633 |
| November | 0 | 0 |
| December | 0 | 0 |
| Rok | 16 529 | 17 006 |

Poznámka:

V čase mimo vyučovania sa uvažovala prirodzená výmena vzduchu 0,5 / h. V teplom ročnom období je táto výmena vzduchu nízka a preto dochádza k výraznému prehrievaniu vzduchu.

Takýto postup však počas jarných a jesenných mesiacov by viedol k nárastu prehrievania budovy, ako to dokumentuje tab. 5.3. Údaje v letnom období uvedené v tejto tabuľke je potrebné vnímať s rezervou, lebo v tomto čase sa bude škola vetrať intenzívne otváraním okien. Výmena vzduchu bude v reálnej prevádzke pravdepodobne vyššia v porovnaní s výpočtovým predpokladom a teda tendencia k prehrievaniu nižšia. Realitu možno vystihnúť obťažne, dôležité bude aj používanie vonkajších žalúzií. Technika prostredia plánovaná v obnovovanej škole bude schopná sčasti vnútorný vzduch chladiť (uvažovalo sa použitie tepelných čerpadel).

6. Denné osvetlenie učební

Táto časť štúdie obsahuje analýzu denného osvetlenia učebne v dynamických podmienkach svetelnej klímy a posúdenie denného osvetlenia kmeňovej učebne analyzovanej typovej základnej školy podľa požiadaviek a kritérií Nariadenia vlády SR č. 269/2006 a STN 73 0580-1.

6.1 Hygienický význam denného svetla v školskom prostredí

Celkový pocit pohody a pracovnú výkonnosť v školskom prostredí významnou mierou determinuje prírodné svetlo a v širšom zmysle slnečné žiarenie. Slnečné žiarenie sa spolupodieľa na vytváraní tepelnej pohody, je to však len jeden z aspektov vplyvu slnečného žiarenia na človeka. Slnečné žiarenie ovplyvňuje základné biologické pochody v ľudskom organizme, napríklad produkciu hormónov, stav imunitného systému a nervovej sústavy.

Denné svetlo je dôležité pre videnie, rozlišovanie farieb, má pozitívny vplyv na vitálne funkcie organizmov a ľudskú psychiku (najmä vysoké úrovne denného – modrého - svetla), nie je plnohodnotne nahraditeľné umelým svetlom. Z hygienického hľadiska je dôležitá dynamika svetla, teda do učební by sa mali dostávať aj vyššie úrovne denného svetla, nielen hodnoty, ktoré sú potrebné na videnie.

Znižovanie energetickej náročnosti budov sa nemôže dostať do konfliktu so zásadami tvorby zdravého a pohodového vnútorného prostredia budov. Za všeobecne prijateľné sa dajú považovať iba tie techniky znižovania energetickej náročnosti, ktoré významnejším spôsobom nezhoršia hygienickú kvalitu životného prostredia.

6.2 Normatívne kritéria denného osvetlenia vnútorných priestorov školských budov

Zabezpečenie dobrých kvalitatívnych i kvantitatívnych pomerov denného osvetlenia v školských stavbách je zvlášť dôležité preto, lebo vyučovací priestor tvorí prvé vizuálne prostredie náročnej zrakovej práce detí, ktoré majú pomerne nižšiu svetelnú citlivosť. Súčasne v školskej výstavbe sa realizujú priestory, ktoré v určitom zmysle z hľadiska svetelnej techniky a zrakových prác sú akousi obdobou ostatných typov budov a majú aj ich čiastočné črty a podobné svetelnotechnické nároky.

Požiadavky na denné osvetlenie bežných školských priestorov sú uvedené v tab. 6.1 (ČSN 73 0580-3 1994).

6.3 Posúdenie denného osvetlenia typovej kmeňovej učebne podľa STN 73 0580-1

Podľa tab. 6.1 ú čítanie a písanie rukou aj strojom zaradené do IV. triedy zrakovej činnosti s požadovanou hodnotou minimálneho činiteľa dennej osvetlenosti (č.d.o.) pri bočnom dennom osvetlení 1,5 % aspoň na miestach, kde sa príslušné zrakové práce vykonávajú.

Výpočtová metóda a okrajové podmienky

Vo výpočtoch oblohovej, vnútornej a vonkajšej odrazenej zložky činiteľa dennej osvetlenosti sa použil výpočtový program OSV1 (Hraška, Šujber 1993), ktorý je založený na numerickej integrácii svetelných tokov z malých bodových svetelných zdrojov, na ktoré sú rozdelené veľkoplošné osvetľovacie otvory a využíva viaceré výpočtové metódy interreflexie svetla.

Vo výpočtoch sa uvažovali tieto činitele odrazu svetla od povrchov - od stropu posudzovanej miestnosti 0,70, priemerne od stien 0,50, od podlahy 0,25, od terénu 0,10 až 0,20, od tieniacich prekážok 0,30.

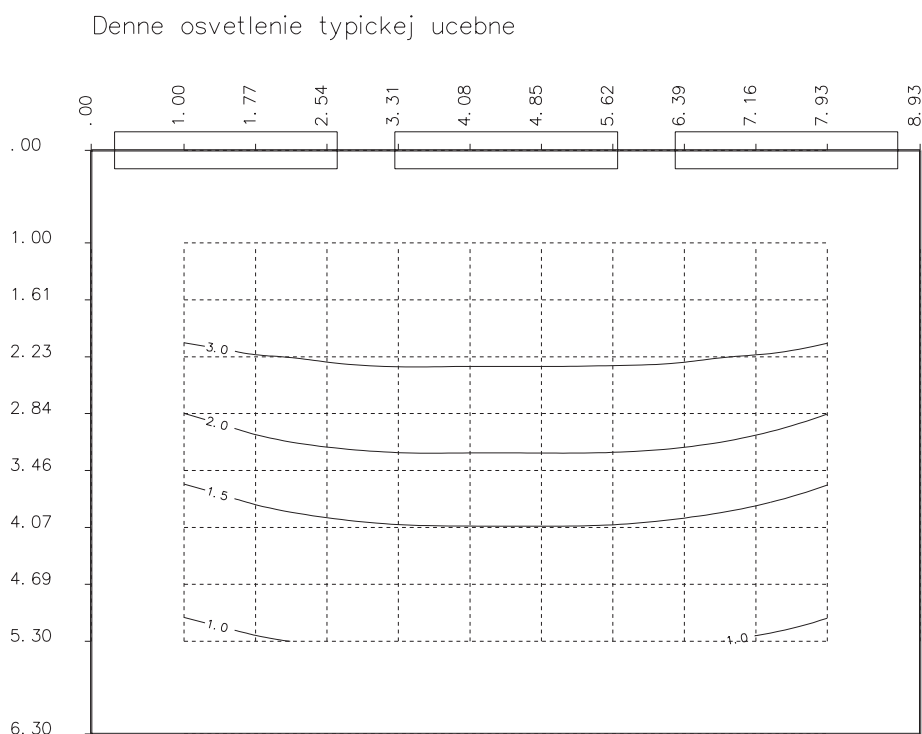
Tab. 6.1 Požiadavky na denné osvetlenie vnútorných priestorov školských budov a predškolských zariadení

| Druh vnútorného priestoru | Dlhodobý pobyt | Trieda zrakov. činnosti | Činiteľ dennej osvetlenosti v % | | Rovnomernosť bočného denného osvetl. |
|--|----------------|-------------------------|---------------------------------|-------|--------------------------------------|
| | | | e_{min} | e_m | |
| Učebne viacúčelové a kmeňové, pracovne, pracovné kúty, posluchárne, viacúčelové priestory, družiny | + | IV | 1,5 | 5 | 0,2 |
| Študovne, čítárne | + | IV | 1,5 | 5 | 0,2 |
| Pracovne výtvarnej výchovy, rysovne | - | III | 2,0 | 6 | 0,2 |
| Ostatné odborné pracovne a učebne, veľké učebne, cvičný byt | - | IV | 1,5 | 5 | 0,2 |
| Laboratóriá a dielne pre - bežné práce | - | IV | 1,5 | 5 | 0,2 |
| - jemné práce | - | III | 2,0 | 6 | 0,2 |
| Telocvične, plavecké učebne a haly - pre výuku | - | V | 1,0 | 3 | 0,15 |
| - pre pretek. | - | IV | 1,5 | 5 | 0,2 |
| športy | | | | | |
| Zhromažďovacie priestory, auly | - | V | 1,0 | 3 | 0,15 |
| Kabinety, pracovne vyučujúcich, kancelárie | + | IV | 1,5 | 5 | 0,2 |
| Zborovne - bez trvalého pobytu | - | V | 1,0 | 3 | 0,15 |
| - s trvalým pobytom | + | IV | 1,5 | 5 | 0,2 |
| Kuchyne, prípravne jedál, umyvárne riadu | + | IV | 1,5 | 5 | 0,2 |
| Šatne, hygienické zariadenia | - | VI | 0,5 | 2 | - |
| Ordinácia lekára, vyšetrovne | + | IV | 1,5 | 5 | 0,2 |
| Klubovne, spoločenské miestnosti, jedálne | - | V | 1,0 | 3 | 0,1 |
| Izolácia | - | V | 1,0 | 3 | 0,15 |
| Práčovne, žehliarne | + | IV | 1,5 | 5 | 0,2 |
| Kancelárie | + | IV | 1,5 | 5 | 0,2 |
| Komunikácie | - | VI | 0,5 | 2 | - |
| POZNÁMKA: Ak vyučujúci nemajú k dispozícii samostatné pracovne alebo kabinety, považujú sa zborovne za vnútorné priestory s dlhodobým pobytom. | | | | | |

Činiteľ prestupu svetla cez dvojnásobné číre zasklenie sa uvažoval 0,84 (pôvodný stav), pomer plochy zasklenia okien k skladobnej ploche okien 0,66, činiteľ znečistenia zvislých zasklených plôch 0,855. Okná učebne majú koordinačné rozmery 2,40 / 1,95 (0,93) m.

Výsledky výpočtov a ich vyhodnotenie – pôvodný stav

Na obr. 6.1 je schematicky vyznačená poloha izočiary činiteľa dennej osvetlenosti 1,5 % na porovnávacej rovine kmeňovej učebne vo výške 0,85 m nad podlahou.



Obr. 6.1 Denné osvetlenie kmeňovej učebne posudzovanej typovej školy – pôvodný stav

Na porovnávacej rovine učebne posudzovanej školy je minimálna hodnota činiteľa dennej osvetlenosti $e_{\min} = 0,94 \%$, maximálna hodnota $e_{\max} = 6,43 \%$ a priemerná hodnota na celej porovnávacej rovine $e_{\text{priem}} = 2,60 \%$.

Z uvedeného je zrejmé, že nie na všetkých pracovných pozíciách žiakov v kmeňovej učebni školy sa počas zamračených dní dosiahnu hodnoty činiteľa dennej osvetlenosti 1,5 %.

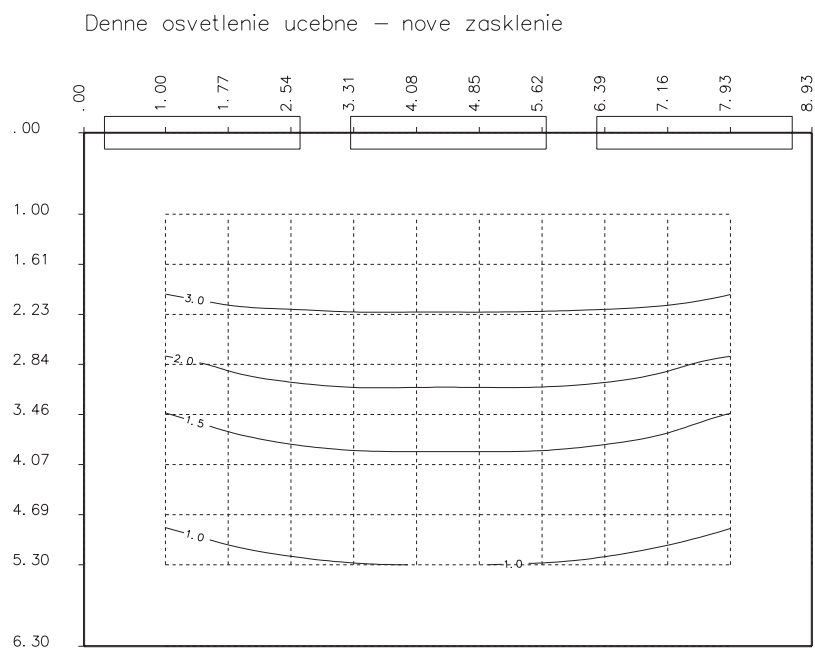
Možno konštatovať, že už v projektovanom stave sa na rade lavíc, ktoré sú najvzdialenejšie od okien, dostatočné denné osvetlenie v zmysle kritérií STN 73 0580-1 nedosiahlo. Príčinou je menšia výška okien (výška okien v kmeňových učebniach býva 2,4 m) a v menšej miere aj zvýšený podiel plochy rámov na ploche okna.

Výsledky výpočtov a ich vyhodnotenie – navrhovaný nový stav

Podľa (Nariadenie vlády SR č. 353/2006) sa pri dlhodobom pobyte ľudí vo vnútornom prostredí požaduje zasklenie s činiteľom prestupu svetla v smere normály najmenej 0,60. V rámci obnovy školy sa navrhlo zasklenie CLIMAPLUS N, ktoré uvedenú minimálnu legislatívnu požiadavku spĺňa resp. prekračuje, má činiteľ prestupu svetla 0,79.

Pri náročných zrakových činnostiach sa podľa rovnakého legislatívneho predpisu má použiť zasklenie s indexom podania farieb najmenej $R_a = 95$. Aj tomuto kritériu novo navrhované zasklenie vyhovuje.

Denné osvetlenie posudzovanej učebne sa po výmene okien so zasklením s činiteľom prestupu svetla 0,79 a po zateplení stien (hrubšie ostenie) vzhľadom na pôvodný stav zhorší, pozri izočiary činiteľa dennej osvetlenosti v obr. 6.2.



Obr. 2.10 Denné osvetlenie kmeňovej učebne posudzovanej typovej školy – navrhovaný nový stav

Pri aplikácii zasklenia s činiteľom prestupu svetla 0,79% sa minimálne hodnoty činiteľa dennej osvetlenosti v učebni zhoršia o 4,2% a priemerná osvetlenosť porovnávacej roviny učebne sa zníži o 5,8% (s predpokladom, že sa vnútorné povrchy budú udržiavať svetlé a čisté).

V praxi majú schvaľovacie orgány tendenciu nedopustiť akékoľvek zhoršenie už nevyhovujúceho denného osvetlenia vnútorných priestorov s dlhodobým pobytom ľudí.

V časti 6.4 sa detailnými simulačnými výpočtami preukázalo, že v reálnych klimatických podmienkach má zhoršenie minimálnych úrovní dennej osvetlenosti, predovšetkým z hľadiska jeho trvania počas vyučovania, menšie nepriaznivé dôsledky v porovnaní s tými, ktoré sa vypočítajú normalizovanými postupmi.

6.4 Hodnotenie dynamickej dostupnosti denného svetla v učebni

Vzhľadom na fakt, že experimentálne meranie dennej osvetlenosti v učebni s rôznou orientáciou a tienением počas celého roka je neefektívne a ťažko realizovateľné počas výučby, bola na hodnotenie jej dennej osvetlenosti použitá metóda matematického modelovania a simulácie.

Výpočty sa uskutočnili pomocou simulačného programu Radiance (Larson 1998).

Program Radiance je založený na kombinácii deterministických a stochastických techník sledovania lúča (ray-tracing). V princípe Radiance využíva techniku sledovania lúča pre rekurzívne vyhodnotenie integrálnej rovnice pre každú posudzovanú plošku modelu:

$$L_r(\theta_r, \phi_r) = L_e(\theta_r, \phi_r) + \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} L_i(\theta_i, \phi_i) \cdot \rho_{bd}(\theta_i, \phi_i; \theta_r, \phi_r) \cdot |\cos \theta_i| \cdot \sin \theta_i \cdot d\theta_i \cdot d\phi_i \quad (6.1)$$

kde:

θ je polárny uhol meraný od normály povrchu ($^{\circ}$),

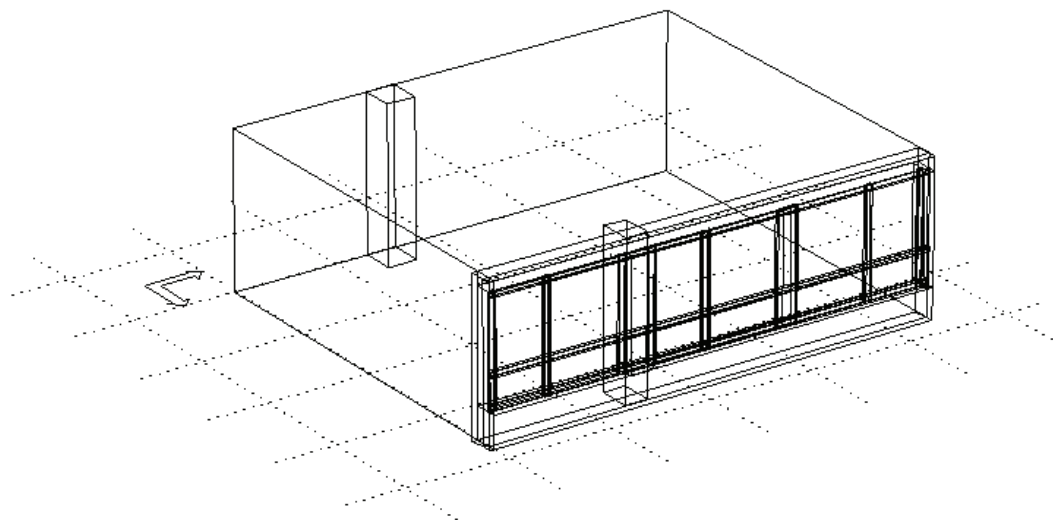
ϕ je azimutálny uhol meraný okolo normály povrchu ($^{\circ}$),

$L_e(\theta_r, \phi_r)$ je vyžiarená žiara ($W / (sr.m^2)$),

$L_r(\theta_r, \phi_r)$ je odrazená žiara ($W / sr.m^2$),

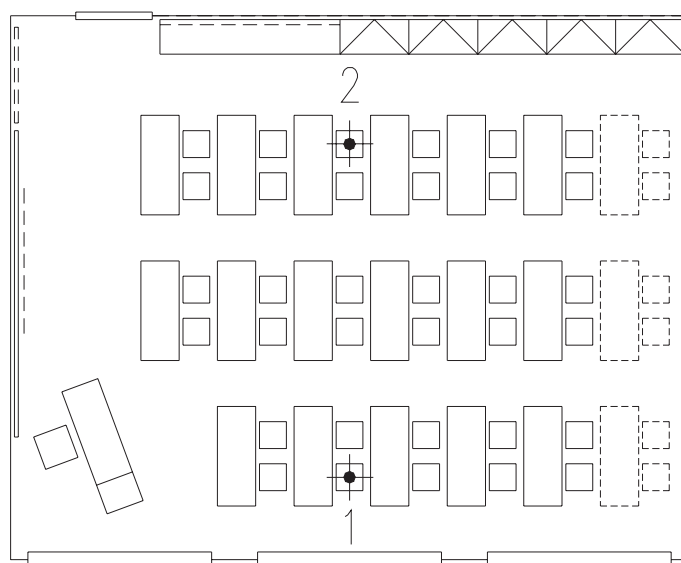
$L_i(\theta_i, \phi_i)$ je dopadajúca žiara ($W / sr.m^2$),

$\rho_{bd}(\theta_i, \phi_i; \theta_r, \phi_r)$ je obojsmerná funkcia distribúcie odrazu a prestupu žiarenia ($1 / sr$).

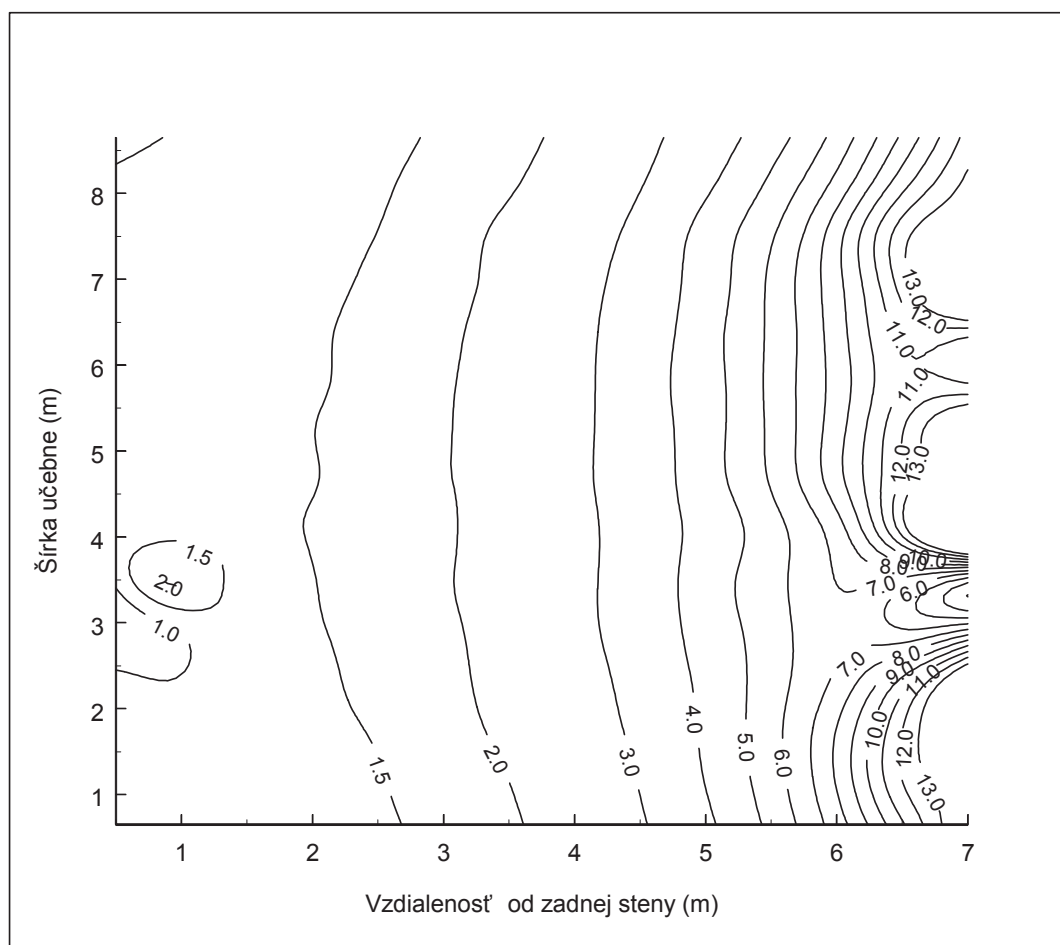


Obr. 6.1 Pohľad z exteriéru na schému modelu kmeňovej učebne

Činiteľ dennej osvetlenosti je pomerná hodnota medzi osvetlenosťou určitej plošky v interiéri a osvetlenosťou vonkajšej vodorovnej roviny celou zamračenou oblohou, ktorá sa vyjadruje v percentách. Z definície činiteľa dennej osvetlenosti vyplýva, že v prípade husto zamračenej oblohy, ktorá produkuje exteriérovú horizontálnu difúznú osvetlenosť 5000 lx, kritérium č.d.o. 1,5 % znamená minimálnu osvetlenosť učebne na úrovni 75 lx.



Obr. 6.2 Pôdorys posudzovanej kmeňovej učebne s vyznačením pozície dvoch zvolených senzorov



Obr. 6.3 Grafické znázornenie výsledných hodnôt činiteľa dennej osvetlenosti pre zamračenú oblohu v analyzovanej kmeňovej učebni. Pracovná rovina 0,85m na úrovňou podlahy.

Vzhľadom na stanovený cieľ štúdie sa uskutočnili celoročné simulácie interiérových osvetlení v kontrolných bodoch učebne, ktoré sú vyznačené v obr. 6.2. Z obr. 6.3 je zrejmé, že na od okna najvzdialenejšom rade pracovných miest je úroveň dennej osvetlenosti vyjadrená činiteľom dennej osvetlenosti pod normatívne minimálne požadovanou hodnotou 1,50 % (bez vonkajšieho tienenia, výška okien 2,10 m).

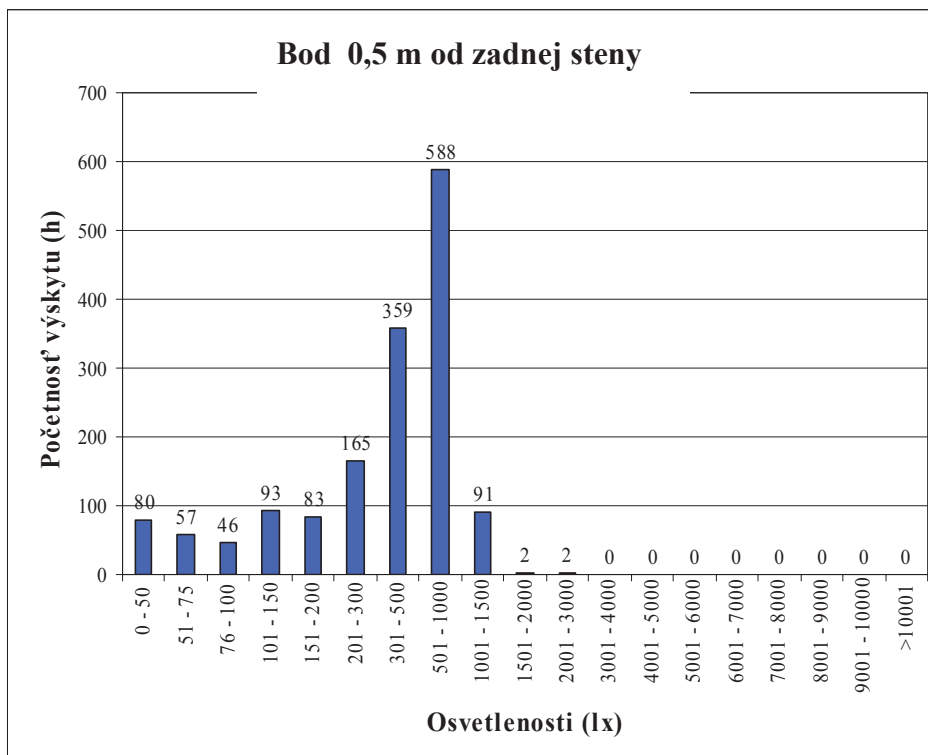
Denný čas využitia učebne na vyučovanie sa predpokladal od 8⁰⁰ do 14⁰⁰ hodiny. V simuláciách sa použil svetelný klimatický rok Bratislavy vzhľadom na to, že tu existujú dlhodobé merania svetelnej klímy.

Na obr. 6.4 a obr. 6.5 je graficky zobrazená iba veľmi malá časť výsledkov simulácie a to pre kontrolný bod 2 v učebni orientovanej oknami na východ. Počítalo sa iba s oblohovým svetlom, priame slnečné svetlo sa z výpočtov vylúčilo. Tieto výsledky nám umožňujú urobiť sa detailnejšiu predstavu o tom, čo percentuálne kritérium minimálneho činiteľa dennej osvetlenosti znamená vo svetelnotechnických veličinách. Tak napríklad v mieste č. 2 (obr. 2) je činiteľ dennej osvetlenosti v podmienkach štandardnej zamračenej oblohy rovný 1,50 % a v tomto bode je 108 hodín počas školského roka osvetlenie nižšie ako 75 lx (6,8% z času využitia učebne). V bode vzdialenom 0,5 m od zadnej steny učebne je činiteľ dennej osvetlenosti vypočítaný podľa normatívnych požiadaviek rovný 1,25 % a v tomto bode je 137 hodín (8,7 % času využitia učebne) osvetlenie nižšie ako 75 lx. Tento výsledok sa dá interpretovať aj tak, že zníženie činiteľa dennej osvetlenosti o 16,7 % (z hodnoty 1,50 % na

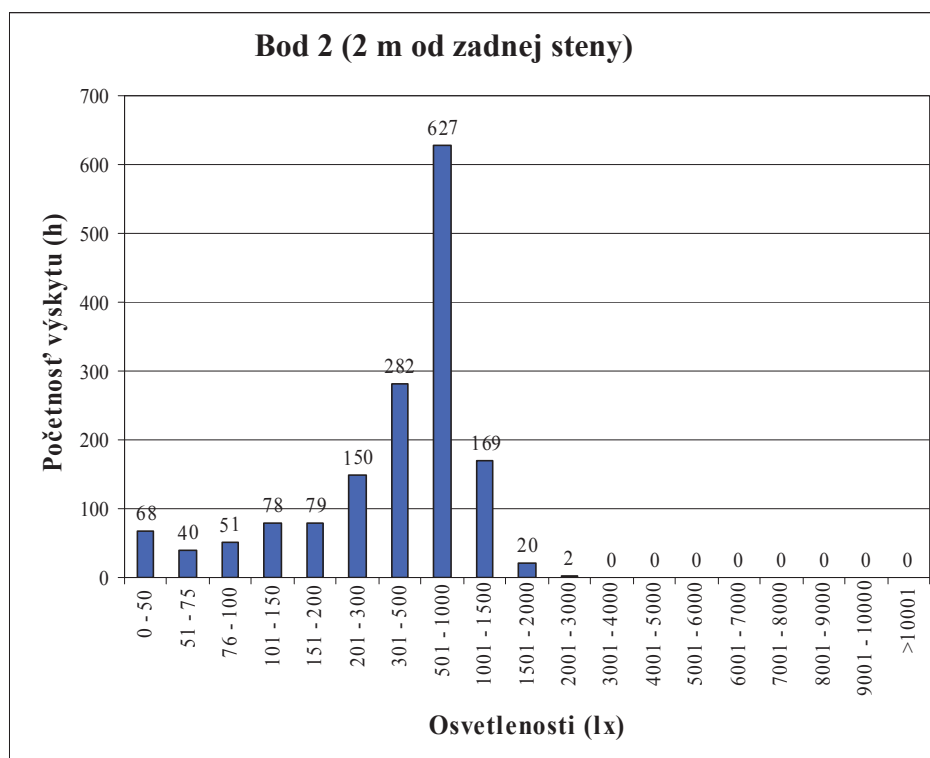
1,25 %) zhorší v posudzovanej učebni orientovanej na východ úroveň dennej osvetlenosti o 29 hodín za školský rok pod 75 lx (čo reprezentuje 1,9 % z uvažovaného času využitia učebne). Tieto výsledky sú podmienené tým, že výučba začína až od 8⁰⁰ hodiny, teda v čase keď už je počas väčšiny dní roka svetlo a obloha má spravidla vysoké jasy aj v blízkosti horizontu.

Na jednej strane uvedené zistenie znamená, že zníženie „normalizovaného“ činiteľa dennej osvetlenosti sa priamoúmerne nepremieta do zníženia „reálnych“ minimálnych hodnôt osvetlenosti. Na druhej strane to samozrejme znamená zníženie priepustnosti svetla cez okná pre všetky úrovne dennej osvetlenosti učebne. Z hygienického hľadiska sa dá v neprospech zasklení s horšou svetelnou priepustnosťou argumentovať výraznejším poklesom vysokých intenzít denného svetla v miestnosti. Tieto úrovne nie sú dôležité z hľadiska videnia, majú však mnohé pozitívne účinky na zdravie. Napríklad 614 hodín osvetlenosti v rozsahu 501 až 1000 lx, ktoré sa dosahovali v senzore 2 v severne orientovanej a netienenej učebni zasklenej čírym dvojsklom sa pri zasklení znížilo na 417 hodín (kategória 301 – 500 lux samozrejme primerane vzrástla). Je potrebné podotknúť, že vonkajšie tienenie vplyva na zhoršenie dennej osvetlenosti učebni výrazne. Ak budú okná učebne tienené rovnobežnou širokou vonkajšou prekážkou pod uhlom 20°, bude osvetlenosť v mieste senzora 2 pri použití číreho dvojnásobného zasklenia nižšia ako 75 lx 140 hodín. Čas 140 hodín predstavuje 11,6% z aktívneho pedagogického využitia učebne. Zvýšenie uhla tienenia okien učebne z hodnoty 20° na 30° zníži dostupnosť denného svetla v intenzitách pod 75 lx v mieste senzora 2 pri čírom zasklení o ďalších 82 hodín.

Z uvedeného vyplýva, že v dnešnom čase, keď sa prejavujú tendencie stavať v okolí škôl vysoké budovy, prípadne stavať priamo v školských areáloch, je dôležité nepovoliť výraznejšie tienenie učebni v základných školách. Na druhej strane niekoľko percentné



Obr. 6.4 Časová distribúcia dostupnosti denného svetla v bode vzdialenom 0,5 m od zadnej steny učebne orientovanej oknami na východ



Obr. 6.5 Časová distribúcia dostupnosti denného svetla v bode 2 učebne orientovanej oknami na východ

zhoršenie minimálnych činiteľov dennej osvetlenosti z dôvodu aplikácie moderných tepelnoizolačných (nízkoemisných) zasklení nemá z hľadiska reálnej dostupnosti denného svetla v učebniach výraznejšie negatívne dôsledky.

7. Simulácie akustiky učební

Akustické riešenie vnútorných priestorov je podmienené geometriou tvaru prostredia, akustickými vlastnosťami povrchových úprav, zdrojom zvuku, účelom využitia priestoru a podobne. Posudzuje sa celý rad akustických parametrov, ako sú napríklad čas dozvuku, zreteľnosť, jasnosť, hlasitosť atď. V súčasnosti sa v stavebnej akustike pomerne bežne používajú počítačové simulácie. Akustické simulácie sú moderný nástroj, ktorý umožňuje kvalitné a mnohorozmerné posúdenie akustických vlastností stavebných konštrukcií a priestorov.

Priestorovej akustike kmeňových učební sa u nás venuje nie dostatočná pozornosť. Pri obnove budov základných škôl, osobitne vtedy, ak sú k dispozícii dostatočné finančné prostriedky, sa otvárajú možnosti aj v tomto smere. V tejto kapitole sa uvádzajú výsledky parametrických simulácií niekoľkých povrchových úprav kmeňovej učebne a ich vplyv na jej akustické vlastnosti.

Vzhľadom na to, že vyučovací proces pozostáva prevažne z verbálnej komunikácie medzi žiakmi a učiteľom, vytvorenie vhodných akustických podmienok a hlavne zabezpečenie dobrej zrozumiteľnosti reči v učebniach je nevyhnutné. Dobrá zrozumiteľnosť reči v učebni je obzvlášť dôležitá pre deti, ktoré ešte nie sú schopné (vzhľadom na menšiu slovnú zásobu, vedomosti a skúsenosti) domyslieť si nezrozumiteľné slabiky, či slová z kontextu tak, ako je to u dospelých poslucháčov. Učenie v prostredí s veľkým dozvukom a hlukom pozadia, ktoré znižujú zrozumiteľnosť reči sa tak pre nich stáva únavným a vedie k podráždenosti, menšej sústredenosti, a tým aj k menšej efektívnosti výučby. Zlá zrozumiteľnosť reči však nemá negatívny vplyv len na žiakov, ale taktiež na učiteľov, ktorí sú v takomto prostredí nútení rozprávať hlasnejšie, čo môže viesť k hlasovému presileniu a z toho vyplývajúcim zdravotným problémom.

7.1 Prehľad základných akustických parametrov a kritérií pre hodnotenie uzavretých priestorov

7.1.1 Čas dozvuku

Čas dozvuku je definovaný ako čas potrebný na pokles hladiny akustického tlaku v uzavretom priestore o 60 dB po vypnutí zdroja zvuku. Keďže požadovaný dynamický rozsah 60 dB je zvyčajne ťažké dosiahnuť, čas dozvuku sa určuje meraním poklesu hladiny akustického tlaku v rozsahu od -5 dB do -35 dB a je potom definovaný ako T_{30} (Ballou 2002).

Pre výpočet času dozvuku existuje viacero vzťahov, z ktorých najznámejšie sú tzv. Sabinov vzťah a Eyringov vzťah.

Sabinov vzťah

Čas dozvuku podľa Sabina je daný v praxi zaužívaným vzťahom

$$RT = 0,161 \frac{V}{\sum_{i=1}^n S_i \alpha_i} \quad (\text{s}) \quad (7.1)$$

kde V je objem miestnosti (m^3),

$\sum_{i=1}^n S_i \alpha_i$ je celková pohltivosť miestnosti,

kde α_i sú súčinitele zvukovej pohltivosti jednotlivých povrchov s plochami S_i .

Sabinov vzťah je vhodný pre výpočet času dozvuku v miestnostiach s malou pohltivosťou a dobrou difúznosťou. So vzrastajúcou pohltivosťou miestnosti presnosť výsledkov získaných týmto vzťahom klesá (Maekawa 1994).

Eyringov vzťah

Nedostatok Sabinovho vzťahu sa pokúsil napraviť Eyring. Odvodil nový vzťah vhodný pre väčšie pohltivosti miestnosti, ktorý pripúšťa skokovú zmenu hustoty energie. Na rozdiel od Sabina, ktorý predpokladal že zvuk klesá spojito až pokiaľ nezanikne, Eyring vyšiel z predpokladu, že zvuková vlna s intenzitou I sa odražením skokovo zoslabí na hodnotu αI .

Eyringov vzťah pre výpočet času dozvuku má tvar

$$T = 0,161 \frac{V}{-S \log_e(1-\alpha)} \quad (\text{s}) \quad (7.2)$$

kde

V je objem miestnosti (m^3),

S je celková plocha povrchov (m^2),

α je priemerný súčiniteľ zvukovej pohltivosti (-) (Schauer 2002).

7.1.2 Počiatočný čas dozvuku

Pri súvislej reči alebo hudbe je práve počiatočná časť priebehu krivky poklesu zvuku zodpovedná za subjektívne vnímanie dozvuku, pretože neskoršiu časť obyčajne maskujú nasledujúce zvuky. Jordan preto v roku 1974 zaviedol počiatočný čas dozvuku, čo je čas potrebný pre pokles zvuku po vypnutí zdroja o 10 dB vynásobený šiestimi.

Optimálny čas dozvuku sa stanovuje podľa objemu a účelu miestnosti. Podľa STN 73 0527 je odporúčaný čas dozvuku pre učebne s objemom do 250 m^3 0,6 až 0,8 s a pre učebne hudobnej výchovy s objemom 200 m^3 0,7 až 1,1 s (pre reprodukciu slova a hudby čas dozvuku 0,5 s).

Čas dozvuku bol mnoho rokov považovaný za jediný parameter pre hodnotenie akustických podmienok uzavretých priestorov. Postupne sa však ukázalo, že rôzne miestnosti s rovnakým časom dozvuku boli subjektívne hodnotené ako odlišné. Z tohto dôvodu boli vytvorené i ďalšie kritériá, ako napr. jasnosť, zreteľnosť, atď. (Cremer, Müller 1982).

7.1.3 Hladina akustického tlaku

Hladina akustického tlaku je definovaná ako rozdiel, o ktorý prevyšuje logaritmická hodnota daného akustického tlaku (p) logaritmus prahovej hodnoty (p_0), $p_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}$.

$$L_p = \log \frac{p^2}{p_0^2} \quad (\text{B}) \quad (7.3)$$

Pre prax je 1 B (jeden bel) pomerne veľká jednotka. Preto sa často používa jednotka decibel (dB), pričom $1 \text{ B} = 10 \text{ dB}$.

Hladina akustického tlaku súvisí so subjektívnym vnímaním hlasitosti zvuku.

7.1.4 Sila zvuku (relatívna hlasitosť)

Sila zvuku je vyjadrená ako logaritmický pomer expozície akustickému tlaku (zdvojnásobenému a zintegrovanému akustickému tlaku) odmeranej impulzovej odozvy k expozícii akustickému tlaku impulzovej odozvy odmeranej vo vzdialenosti 10 m od toho istého zdroja zvuku vo voľnom poli.

$$G = 10 \log_{10} \frac{\int_0^{\infty} p^2(t) dt}{\int_0^{\infty} p_{10}^2(t) dt} \text{ (dB)} = L_{pE} - L_{pE,10} \quad (7.4)$$

kde $p(t)$ je okamžitý akustický tlak impulzovej odozvy získaný v meracom bode,

$p_{10}(t)$ je okamžitý akustický tlak impulzovej odozvy odmeraný vo vzdialenosti 10 m vo voľnom poli.

L_{pE} a $L_{pE,10}$ sú hladiny expozície akustickými tlakmi $p(t)$ a $p_{10}(t)$.

$$L_{pE} = 10 \log_{10} \left[\frac{1}{T_0} \int_0^{\infty} \frac{p^2(t) dt}{p_0^2} \right] \text{ (dB)} \quad (7.5)$$

$$L_{pE,10} = 10 \log_{10} \left[\frac{1}{T_0} \int_0^{\infty} \frac{p_{10}^2(t) dt}{p_0^2} \right] \text{ (dB)} \quad (7.6)$$

kde p_0 je referenčný akustický tlak, $p_0 = 20 \mu\text{Pa}$,

T_0 je referenčný čas dozvuku, $T_0 = 1 \text{ s}$ (STN EN ISO 3382).

Optimálne hodnoty G (dB) pre miestnosti určené pre hudbu a reč sa pohybujú medzi +1 dB a +10 dB, čo znamená, že hlasitosť na ktoromkoľvek mieste poslucháča v miestnosti by mala byť zhruba rovnaká alebo dvakrát vyššia ako vo voľnom priestore vo vzdialenosti 10 m od zdroja zvuku.

7.1.5 Zreteľnosť

Zreteľnosť D_{50} , zavedená Thielom (1953), predpokladá, že druhá mocnina okamžitého akustického tlaku do prvých 50 ms zosilňuje priamy zvuk. Je to pomer zvukovej energie prichádzajúcej v počiatočnom časovom úseku (do 50 ms) k celkovej akustickej energii.

$$D_{50} = \frac{\int_0^{50 \text{ ms}} p^2(t) dt}{\int_0^{\infty} p^2(t) dt} \text{ (%),} \quad (7.7)$$

kde $p(t)$ je okamžitý akustický tlak impulzovej odozvy získaný v meracom bode.

Zreteľnosť D_{50} sa používa pre rečové podmienky. Čím je jej hodnota vyššia, tým je väčšia zreteľnosť reči (STN EN ISO 3382).

7.1.6 Jasnosť

Jasnosť C_{50} opisuje zrozumiteľnosť reči a taktiež spevu. Je to pomer zvukovej energie prichádzajúcej v počiatočnom časovom úseku (do 50 ms) k neskoršej energii.

$$C_{50} = 10 \log \frac{\int_0^{50ms} p^2(t) dt}{\int_{50ms}^{\infty} p^2(t) dt} \quad (\text{dB}) \quad (7.8)$$

Vzťah medzi D_{50} and C_{50} je vyjadrený nasledovne

$$C_{50} = 10 \log \left(\frac{D_{50}}{1 - D_{50}} \right) \quad (\text{dB}) \quad (7.9)$$

preto nie je nutné merať obe veličiny.

Dobrá zrozumiteľnosť reči sa dosiahne vtedy, keď hodnoty C_{50} sú väčšie alebo rovné nule.

Jasnosť C_{80} je definovaná ako pomer zvukovej energie prichádzajúcej v počiatočnom časovom úseku (do 80 ms) k neskoršej energii a je to parameter vhodný pre hodnotenie priestorov pre hudbu.

Optimálne hodnoty C_{80} závisia od hudobného žánru. Pre romantickú hudbu sú za optimálne považované hodnoty približne od -3 dB do +4 dB, kým pre klasickú a modernú hudbu sú to hodnoty do +6 dB až +8 dB (STN EN ISO 3382).

7.1.7 Indexy STI, RASTI a STIPA

Indexy STI, RASTI a STIPA sa používajú na hodnotenie zrozumiteľnosti reči. Nadobúdajú hodnoty v rozsahu od 0 do 1. Nula vyjadruje úplnú nezrozumiteľnosť a hodnota 1 predstavuje perfektnú zrozumiteľnosť reči.

STI - Speech Transmission Index (index prenosu reči)

Určenie hodnôt STI je založené na meraní zníženia modulácie signálu medzi polohou zdroja zvuku a meracou pozíciou, ktoré môže byť spôsobené dozvukom a hlukom pozadia. Testovací signál imitujúci reč je rozdelený do siedmich oktávových pásiem v rozsahu od 125 Hz do 8 000 Hz. Každé z týchto pásiem je modulované štrnástimi modulačnými kmitočtami v tretinových oktávových pásmach v rozsahu od 0,63 Hz do 12,5 Hz, čím vzniká spolu 98 kombinácií.

Na mieste poslucháča je zvuk prijímaný mikrofónom. V mieste zdroja signálu je hĺbka modulácie maximálna. Vplyvom doznievania a hluku pozadia v miestnosti sa v mieste príjmu zvuku hĺbka modulácie zníži. Hladina a stupeň modulácie v každom oktávovom pásme sa používa na získanie indexu STI.

RASTI - Rapid (*alebo* Room Acoustic) Speech Transmission Index
(Rýchly index prenosu reči *alebo* Index prenosu reči pre priestorovú akustiku)

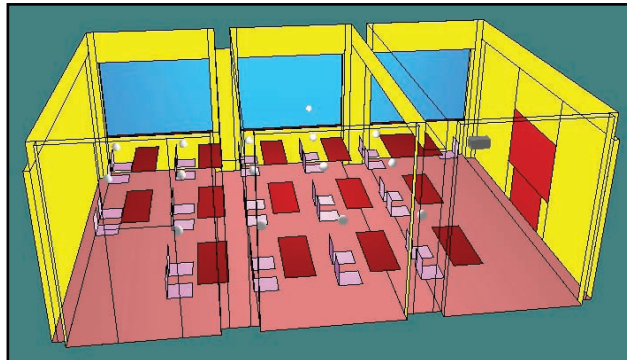
RASTI bol vyvinutý ako jednoduchšia verzia komplexnejšieho STI, pretože meranie a výpočet STI boli veľmi časovo náročné. Na rozdiel od STI, RASTI uvažuje iba dve oktávové pásma 500 Hz a 2000 Hz a 9 modulačných kmitočtov. Hoci získanie RASTI je rýchlejšie ako STI, v niektorých prípadoch neposkytuje dostatočne presné výsledky.

STIPA - Speech Transmission Index for Public Address Systems
(Index prenosu reči pre verejné rozhlasy)

Za účelom zvýšenia presnosti merania pri zachovaní rýchlosti merania bola vyvinutá metóda STIPA, ktorá používa všetkých sedem oktávových pásiem (rovnako ako metóda STI) a je meraných celkom 12 modulačných indexov. STIPA tiež dobre funguje pre priestorovú akustiku, a preto môže vo väčšine prípadov nahradiť metódu RASTI a poskytnúť výsledky bližšie k hodnotám získaným metódou STI.

7.2 Akustické hodnotenie učební

Posudzovali vyššie uvedené akustické parametre klasickej učebne s pôdorysnými rozmermi 8,925 m x 6,375 m a svetlou výškou 3,400 m. Objem učebne je 189 m³. V učebni sa nachádzajú drevené stoly a stoličky, povrch stien a stropu tvorí omietka a podlaha je drevená parketová. Na prednej stene je pripevnená drevená tabuľa, pozri obr. 7.1.



Obr. 7.1 Model pôvodného stavu učebne

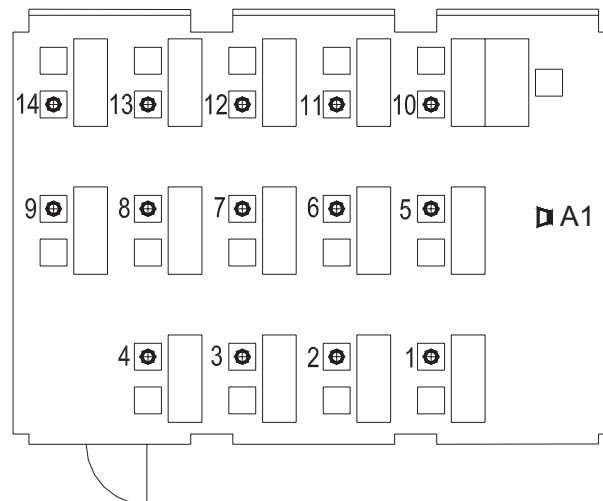
7.2.1 Simulácie a hodnotenie akustiky klasickej kmeňovej učebne

Simulácie boli vykonané akustickým simulačným softwarom CATT-Acoustic v8.0e. V simulácii bol použitý zdroj zvuku so smerovou charakteristikou človeka a frekvenčným spektrom ľudskej reči (Dalenbäck 2002) (tab. 7.1).

Tab. 7.1 Frekvenčné spektrum normálnej ľudskej reči

| f (Hz) | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 |
|---------|------|------|------|------|------|------|
| Lp (dB) | 51,2 | 57,2 | 59,8 | 53,5 | 48,4 | 43,8 |

Zdroj zvuku bol umiestnený približne v strede šírky učebne (v mieste predpokladaného pohybu učiteľa) vo výške 1,6 m nad podlahou. Prijímače zvuku (mikrofóny) boli umiestnené vo výške 1,2 m nad podlahou v troch radoch tak, aby bolo zabezpečené rovnomerné pokrytie miestnosti (obr. 7.2).



Obr. 7.2 Pôdorys riešenej učebne s vyznačením zdroja zvuku (A1) a mikrofónov (1 - 14)

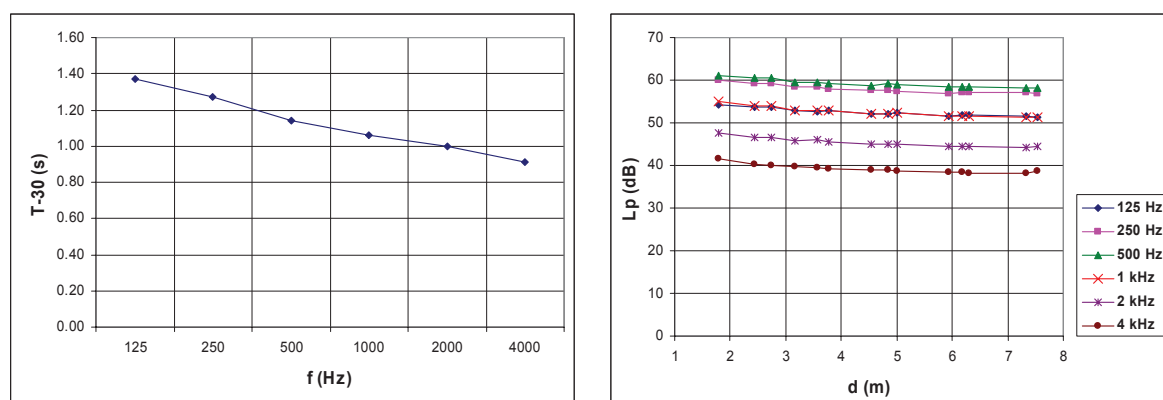
Posudzované boli nasledovné akustické parametre charakteristickej učebne:

- čas dozvuku T_{-30} (s),
- hladina akustického tlaku L_p (dB),
- zreteľnosť D-50 (%),
- index STI (%).

Čas dozvuku T_{-30} (s) a hladina akustického tlaku L_p (dB)

Čas dozvuku T_{-30} bol pre jednotlivé frekvencie vypočítaný ako priemerná hodnota zo všetkých štrnástich simulovaných pozícií.

Z grafu na obr. 7.3 (vľavo) je vidieť, že čas dozvuku nadobúda príliš vysoké hodnoty pre miestnosť využívanú ako učebňa.

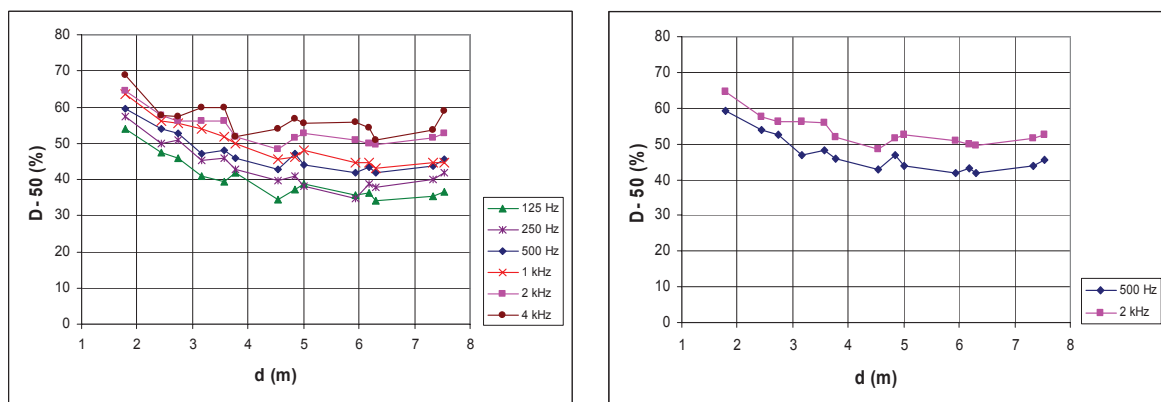


Obr. 7.3 Priemerný čas dozvuku T_{-30} (s) v závislosti od frekvencie (vľavo) a hladina akustického tlaku L_p (dB) v závislosti od vzdialenosti od zdroja zvuku (vpravo)

Z priebehu hladiny akustického tlaku L_p v závislosti od vzdialenosti od zdroja zvuku (obr. 7.3, vpravo) je zrejmé, že rozloženie zvukovej energie v učebni je viac-menej rovnomerné. Hladina akustického tlaku klesá so vzdialenosťou len minimálne, jej hodnoty sa pohybujú v rozmedzí 3 dB. Znamená to, že všetky miesta v učebni sú približne rovnako zásobené zvukom.

Zreteľnosť D-50 (%)

Na obr. 7.4 sú znázornené priebehy D-50 v závislosti od vzdialenosti od zdroja zvuku pre jednotlivé frekvencie (vľavo) a samostatne pre frekvencie 500 Hz a 2 kHz (vpravo), ktoré sú považované za najdôležitejšie z hľadiska zrozumiteľnosti reči.



Obr. 7.4 Zreteľnosť D-50 (%) v závislosti od vzdialenosti od zdroja zvuku

Z grafov vidieť, že zreteľnosť so vzrastajúcou vzdialenosťou od zdroja zvuku klesá. Pokles je najväčší približne do 4,5 m, čo je asi polovica dĺžky triedy. Vo väčších vzdialenostiach je pokles D-50 miernejší. Hodnoty zreteľnosti sa pohybujú v rozmedzí od 34 % do 68 % tiež v závislosti od frekvencie. Čím vyššia frekvencia, tým je zreteľnosť väčšia. Celkove však zreteľnosť v učebni nie je dostatočná.

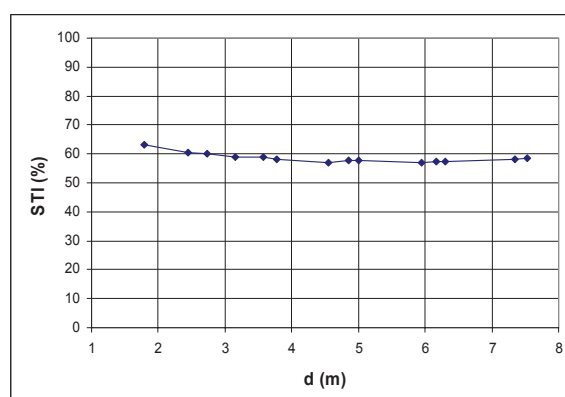
Index STI (%)

Ako už bolo spomenuté, STI vyjadruje zrozumiteľnosť hovoreného slova. Nadobúda hodnoty od 0 (úplná nezrozumiteľnosť) do 1 (perfektná zrozumiteľnosť). V tab. 7.2 je uvedené hodnotenie STI v percentách spolu so slovným hodnotením zrozumiteľnosti reči.

Tab. 7.2 Číselné i slovné hodnotenie zrozumiteľnosti reči v piatich stupňoch (Steeneken)

| STI (%) | Zrozumiteľnosť reči |
|----------|---------------------|
| 0 – 30 | ZLÁ |
| 30 – 45 | SLABÁ |
| 45 – 60 | USPOKOJIVÁ |
| 60 – 75 | DOBRÁ |
| 75 – 100 | VÝBORNÁ |

Hodnoty STI sa na väčšine pozícií v učebni pohybujú pod 60 %, čo je podľa tab. 7.2 hodnotené ako uspokojivá zrozumiteľnosť reči (obr. 7.5). Hoci je teda zrozumiteľnosť reči v učebni dosť nízka, vzhľadom na vzdialenosť od zdroja zvuku sa príliš nemení. Najväčší rozdiel medzi jednotlivými pozíciami je len 6%.



Obr. 7.5 Priebeh hodnôt STI (%) v závislosti od vzdialenosti od zdroja zvuku

7.2.2 Simulácie a hodnotenie akusticky upravených kmeňových učební

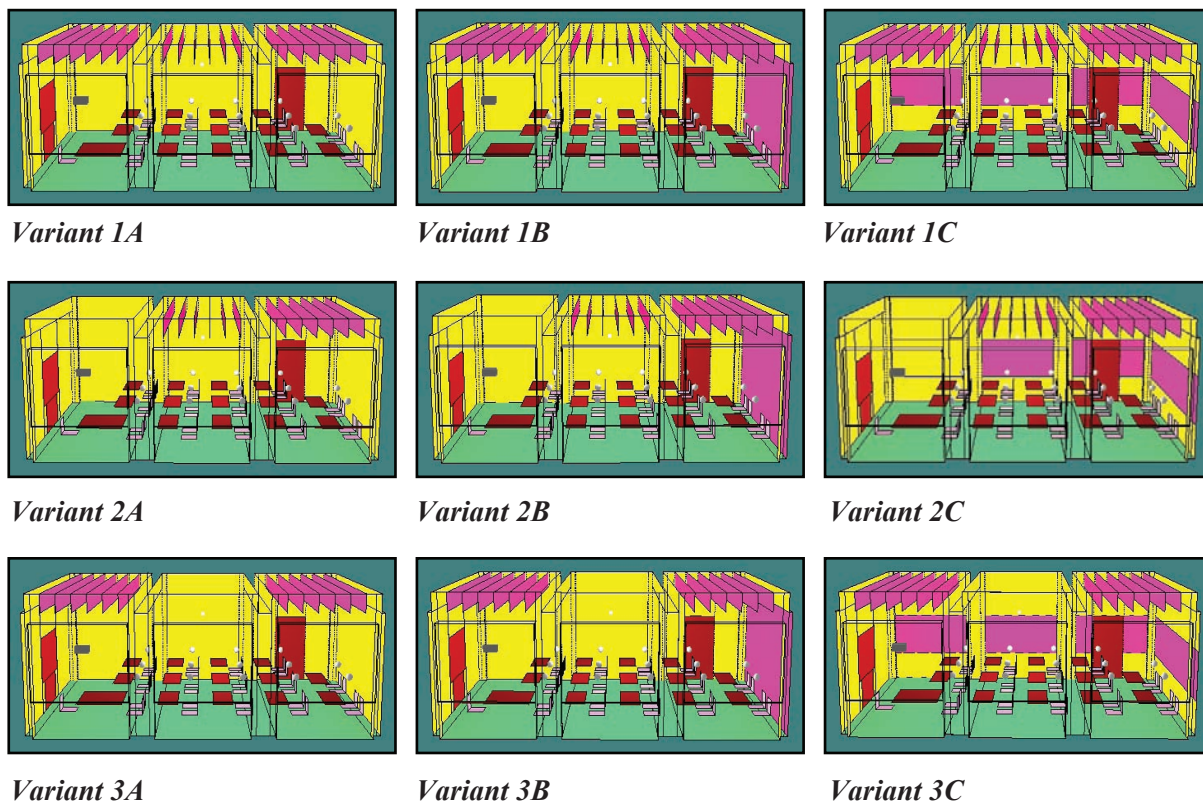
Z výsledkov simulácií vyplýva, že predmetná „klasická“ učebňa z hľadiska priestorovej akustiky nevyhovuje náročnejším požiadavkám a je potrebné vykonať akustické opatrenia hlavne pre zníženie času dozvuku v miestnosti a zvýšenie zrozumiteľnosti reči.

Varianty pre zlepšenie akustických podmienok v učebni pre bežnú výučbu

Vzhľadom na požiadavku zachovania pôvodného povrchu stropu z dôvodu jeho tepelno-akumulačnej schopnosti boli namiesto plošného akustického alebo kazetového podhl'adu použité vertikálne priestorové absorbéry zavesené pod celým stropom alebo jeho časťami, ktoré boli v jednotlivých variantoch kombinované s umiestnením pohltivých stenových panelov na zadnú, či bočnú stenu učebne. Drevené parkety podlahy boli nahradené podlahou s nášľapnou vrstvou z PVC. Riešené varianty sú uvedené v tab. 7.3. Modely jednotlivých variantov sú na obr. 7.6. Vlastnosti použitých akustických materiálov sú uvedené v tab. 7.4.

Tab. 7.3 Popis riešených variantov

| Variant | Strop | Stena zadná | Stena bočná |
|---------|--|---|---|
| 1A | vertikálny priestorový absorbér pod celým stropom | omietka | omietka |
| 1B | | pohltivý stenový panel na celej stene | omietka |
| 1C | | pohltivý stenový panel (výška pásu = 1,2 m) | pohltivý stenový panel (výška pásu = 1,2 m) |
| 2A | vertikálny priestorový absorbér okrem prednej časti | omietka | omietka |
| 2B | | pohltivý stenový panel na celej stene | omietka |
| 2C | | pohltivý stenový panel (výška pásu = 1,2 m) | pohltivý stenový panel (výška pásu = 1,2 m) |
| 3A | vertikálny priestorový absorbér okrem strednej časti | omietka | omietka |
| 3B | | pohltivý stenový panel na celej stene | omietka |
| 3C | | pohltivý stenový panel (výška pásu = 1,2 m) | pohltivý stenový panel (výška pásu = 1,2 m) |



Obr. 7.6 Modely jednotlivých variantov

Tab. 7.4 Hodnoty súčiniteľa zvukovej pohltivosti α (-) použitých akustických materiálov

| Materiál | 125 Hz | 250 Hz | 500 Hz | 1 kHz | 2 kHz | 4 kHz |
|---------------------------------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|
| Vertikálny priestorový absorbér | 0,22 | 0,65 | 0,93 | 0,97 | 0,93 | 0,88 |
| Pohltivý stenový panel | 0,20 | 0,70 | 0,99 | 0,99 | 0,99 | 0,95 |

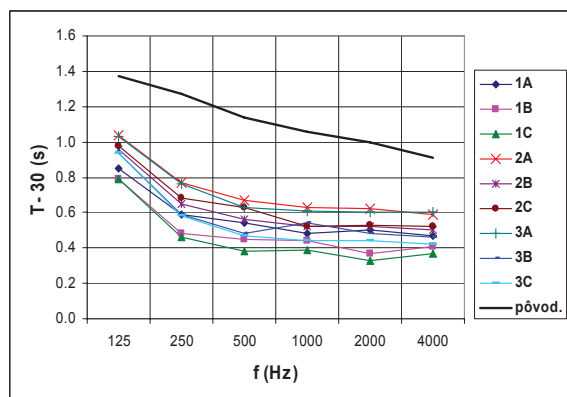
Tab. 7.5 Výmery použitých akustických materiálov

| Variant | Materiál | | |
|---------|---------------------------------|------------|--------------------------|
| | Vertikálny priestorový absorbér | | Pohltivý stenový panel |
| | Rozmer panelu (mm) | Počet (ks) | Plocha (m ²) |
| 1A | 1200 x 300 x 50 | 90 | – |
| 1B | | | 18 |
| 1C | | | 15 |
| 2A | 1200 x 300 x 50 | 60 | – |
| 2B | | | 18 |
| 2C | | | 12 |
| 3A | 1200 x 300 x 50 | 60 | – |
| 3B | | | 18 |
| 3C | | | 15 |

Analýza a vyhodnotenie výsledkov simulácií riešených variantov

Čas dozvuku T-30 (s)

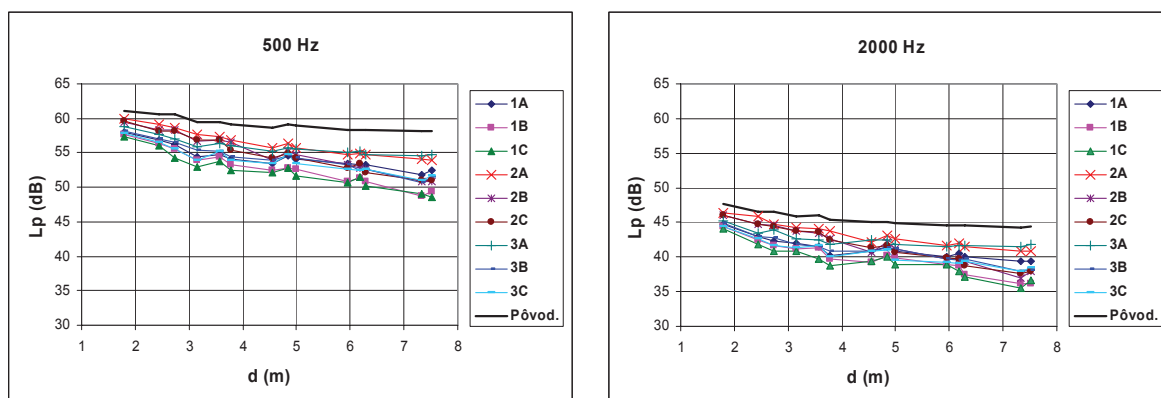
Čas dozvuku sa pre jednotlivé frekvencie vypočítal ako priemerná hodnota zo štrnástich pozícií v učebni. Ako vidieť z grafu na obr. 7.7, T-30 sa vplyvom akustických úprav v učebni značne znížil. Pri frekvencii 1000 Hz sa pohybuje od 0,39 s do 0,63 s v závislosti od jednotlivých variantov. Vo väčšine variantov teda čas dozvuku dosahuje nižšie hodnoty ako hodnoty odporúčané STN 73 05 27 (t.j. 0,6 až 0,8 s pri 1000 Hz).



Obr. 7.7 Priemerný čas dozvuku T-30 (s) v závislosti od frekvencie f (Hz) pre pôvodný stav a pre jednotlivé varianty učebne

Hladina akustického tlaku L_p (dB)

Porovnanie priebehu hladiny akustického tlaku bolo urobené pre frekvencie 500 Hz a 2000 Hz (obr. 7.8). Sú to frekvencie, ktoré sa považujú za najdôležitejšie pre počutie hovoreného slova. Pri oboch frekvenciách sa L_p oproti pôvodnému stavu znížila na jednotlivých pozíciách vo všetkých variantoch. Najväčší pokles nastal vo variantoch 1B a 1C a naopak, L_p poklesla najmenej vo variantoch 2A a 3A.

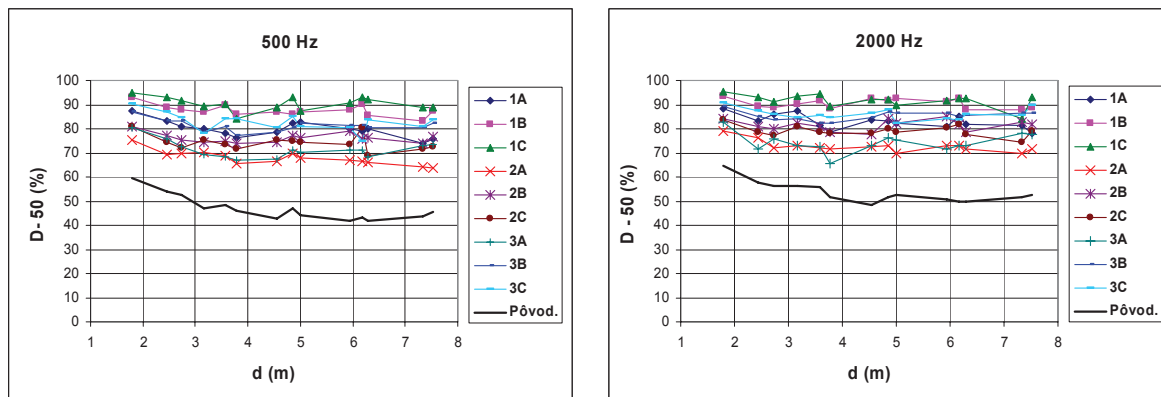


Obr. 7.8 Priebeh hladiny akustického tlaku L_p (dB) v závislosti od vzdialenosti od zdroja zvuku pre pôvodný stav a pre jednotlivé varianty učebne

Pokles hladiny akustického tlaku vplyvom vzdialenosti od zdroja zvuku je výraznejší ako v pôvodnej učebni, a to najmä vo variantoch s väčšou celkovou pohltivosťou miestnosti.

Zreteľnosť D-50 (%)

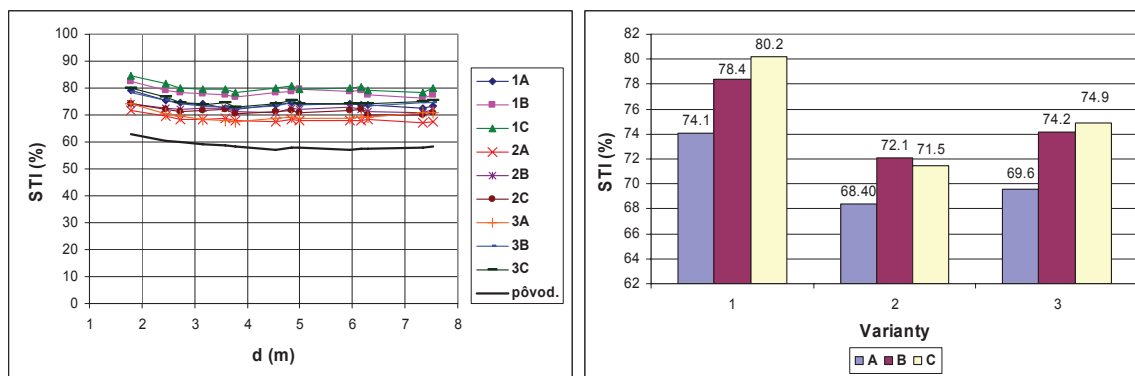
Čo sa týka zreteľnosti, akustické úpravy prispeli k jej zvýšeniu oproti pôvodnému stavu o 20 až 45 % v závislosti od riešených variantov (obr. 7.9). D-50 dosahuje hodnoty vyššie než 65 %, v niektorých variantoch (1B, 1C) dokonca presahujú 90 %. Z grafov na obr. 7.9 tiež možno vidieť, že D-50 sa so vzdialenosťou od zdroja zvuku príliš nemení, čo naznačuje, že zreteľnosť je približne rovnaká na všetkých pozíciách v učebni.



Obr. 7.9 Zreteľnosť D-50 (%) v závislosti od vzdialenosti od zdroja zvuku pre pôvodný stav a pre jednotlivé varianty učebne

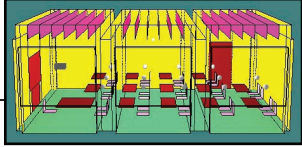
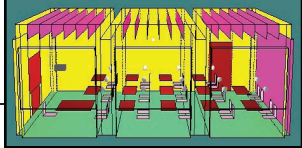
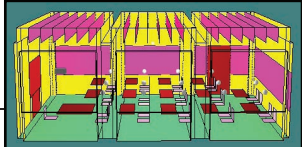

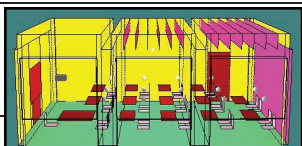
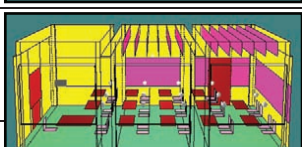
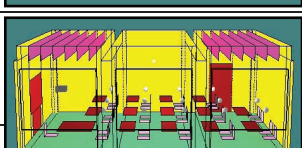
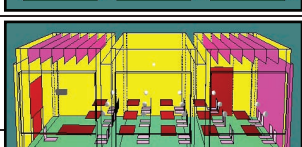


Index STI (%)

Zlepšenie oproti pôvodnému stavu je zrejme aj pri zrozumiteľnosti reči, ktorú vyjadruje STI. Zrozumiteľnosť sa zvýšila o 10 až 20 % v závislosti od jednotlivých variantov, čo je zlepšenie o jeden až dva stupne podľa tab. 7.2. STI dosahuje minimálne 67 % a najvyššie hodnoty sa pohybujú okolo 80 %. Celkove bola teda vo všetkých variantoch dosiahnutá dobrá alebo výborná zrozumiteľnosť reči (obr. 7.10). Rozdiely v hodnotách STI na jednotlivých pozíciách v miestnosti sú zanedbateľné. Je teda možné konštatovať, že zrozumiteľnosť reči sa v jednotlivých variantoch so vzdialenosťou od zdroja zvuku príliš nemení, čiže je na všetkých miestach v učebni približne rovnaká. V obr. 7.10 (vpravo) je porovnanie jednotlivých variantov pomocou priemerných hodnôt STI získaných zo všetkých štrnástich pozícií.



Obr. 7.10 Priebeh hodnôt STI (%) v závislosti od vzdialenosti od zdroja zvuku pre pôvodný stav a pre jednotlivé varianty učebne(vľavo) a porovnanie jednotlivých variantov (vpravo)

Tab. 7.6 Zhrnutie výsledkov simulácií priestorovej akustiky učebne

| Variant | T-30(s) | D-50 (%) | | STI (%) | Model učebne |
|---------|---------|----------|-------|---------|---|
| | 1 kHz | 500 Hz | 2 kHz | | |
| 1A | 0,48 | 79,9 | 83,0 | 74,1 |  |
| 1B | 0,44 | 87,7 | 90,4 | 78,4 |  |
| 1C | 0,39 | 90,5 | 91,8 | 80,2 |  |
| 2A | 0,63 | 67,9 | 72,7 | 68,4 |  |
| 2B | 0,52 | 76,2 | 81,5 | 72,1 |  |
| 2C | 0,52 | 74,3 | 79,1 | 71,5 |  |
| 3A | 0,61 | 71,4 | 74,3 | 69,6 |  |
| 3B | 0,54 | 81,2 | 85,4 | 74,2 |  |
| 3C | 0,44 | 82,7 | 86,0 | 74,9 |  |
| Pôvod. | 1,06 | 46,9 | 53,5 | 58,6 |  |

Poznámka: Hodnoty T-30 (s) a STI (%) sú priemerné hodnoty zo 14-tich pozícií

Z porovnaní a analýzy výsledkov vykonaných simulácií vyplýva, že všetky navrhnuté akustické úpravy povrchov zlepšili akustické podmienky v predmetnej učebni. Čas dozvuku poklesol na požadovanú úroveň, čím sa výrazne zvýšila zreteľnosť a zrozumiteľnosť reči v miestnosti. Ako najlepšie sa ukázali varianty 1B a 1C, v ktorých je pri čase dozvuku 0,39 s a 0,44 s (pri 1000 Hz) zreteľnosť D-50 až okolo 90 % a STI nadobúda hodnoty pohybujúce sa okolo 80 %, čo sa hodnotí ako výborná zrozumiteľnosť reči. Najnepriaznivejšie (ale stále celkom prijateľné) výsledky dosiahli varianty 2A a 3A, v ktorých čas dozvuku klesol na 0,63 s a 0,61 s (pri 1000 Hz), zreteľnosť sa pohybuje okolo 70 % a STI nadobúda hodnoty tiež približne 70 %, čo je hodnotené ako dobrá zrozumiteľnosť reči. Tieto varianty (2A, 3A) však na druhej strane ukazujú menší pokles a vyrovnanejší priebeh hodnôt hladiny akustického tlaku L_p ako varianty 1B a 1C. Prehľadné zhrnutie výsledkov simulácií jednotlivých variantov je uvedené v tabuľke 7.6.

8. Energetická hospodárnosť obnovy budov základných škôl

Pod pojmom energetická hospodárnosť je potrebné chápať efektívne využívanie energie, ktorá je potrebná na splnenie všetkých energetických potrieb súvisiacich s normalizovaným užívaním budovy, predovšetkým energie na vykurovanie, prípravu teplej vody, na chladenie, vetranie a na osvetlenie. Zákon č. 555/2005 Z. z. a vykonávací Vyhláška MVRR SR č. 625/2006 stanovujú požiadavky a opatrenia na zlepšenie energetickej hospodárnosti budov na Slovensku.

Významnou obnovou budovy na účely predmetného zákona sú stavebné úpravy existujúcej budovy alebo jej samostatnej časti, ktorými sa vykonáva zásah do tepelnej ochrany zateplením jej obalových konštrukcií, výmenou pôvodných otvorových výplní alebo energetického vybavenia budovy takým spôsobom, že to má vplyv na energetickú hospodárnosť budovy. Významná obnova budovy sa môže uskutočniť naraz alebo postupnými čiastkovými úpravami.

Globálnym ukazovateľom hodnotenia energetickej hospodárnosti budovy je celková dodaná energia, obyčajne za rok a vyjadrená na jednotku podlahovej plochy.

V tejto časti sa výpočtovo určuje iba merná potreba energie na vykurovanie posudzovanej budovy základnej školy v pôvodnom stave a po navrhovanej obnove.

8.1 Potreba tepla na vykurovanie (energetické kritérium)

Výpočet potreby tepla na vykurovanie Q_h sa určuje teoreticky vzhľadom na normové podmienky a referenčnú vykurovaciu sezónu, a teda predstavuje porovnávaciu hodnotu na hodnotenie budov.

Energetické kritérium stanovuje požiadavky na mernú potrebu tepla ako dohovorенú veličinu hodnotenia stavebného riešenia budovy špecifickú pre národnú normu.

Pri hodnotení obytných budov z hľadiska mernej potreby tepla (ďalej len potreby tepla) na vykurovanie sa vychádza:

- z obstavaného objemu jednotlivých podlaží a z obstavaného objemu budovy V_b (m^3) podľa STN 73 4055 a STN EN 832; základom na výpočet sú pôdorysné rozmery vymedzené vonkajším povrchom obvodových stien jednotlivých podlaží a budovy (pri styku obvodovej steny so zeminou rozmery vnútorného povrchu hydroizolácie); obstavaný objem podlažia je súčinom jeho pôdorysnej plochy a konštrukčnej výšky (pri bytovom podlaží pod šikmou strechou s priemernou konštrukčnou výškou) h_k (m); obstavaný objem budovy V_b je súčtom obstavaných objemov jednotlivých podlaží,
- z mernej tepelnej straty H (W/K) obstavaného objemu jednotlivých podlaží V_b ,
- z tepelných ziskov od slnečného žiarenia a z vnútorných tepelných ziskov,
- z normatívneho počtu dennostupňov $D = 3\,422$ K.deň a z porovnávacieho rozdielu teploty vnútorného a vonkajšieho vzduchu $\theta_{ai} - \theta_{ae} = 35$ K,
- z priemernej hodnoty výmeny vzduchu v budove podľa $n = 0,5$ l/h pre vnútorný objem budovy $V_{bi} = 0,75 \cdot V_b$ až $0,85 \cdot V_b$ (0,85 je pre pôvodné riešenia budov; 0,75 pre nové riešenia budov a rodinné domy; 0,8 pre ostatné budovy);
- z mernej plochy A_b (m^2), ktorá je súčtom pôdorysných plôch jednotlivých podlaží.

Obstavaný objem obytného podlažia v strešnej nadstavbe alebo v podkroví sa určí z vonkajších rozmerov pôdorysu podlažia a priemernej konštrukčnej výšky (svetlá výška a hrúbka strešnej konštrukcie ohraničená vonkajším povrchom tepelnoizolačnej vrstvy).

Ak je intenzita výmeny vzduchu v budove „n“ určená výpočtom vyššia ako 0,5 l/h, potreba tepla sa určí pre túto vypočítanú hodnotu intenzity výmeny vzduchu.

Potreba tepla „E“ sa stanoví pre neprerušované vykurovanie a pre rozdiel teplôt vnútorného a vonkajšieho vzduchu ($\theta_{ai} - \theta_{ae}$) uvažovaného pri stanovení tepelnej straty budovy.

Merná potreba tepla na vykurovanie (kWh/m^3) na celú vykurovaciu sezónu sa určí zo vzťahu:

$$E_1 = \frac{Q_h}{V_b} \quad (\text{kWh}/(\text{m}^3 \cdot \text{rok}))$$

kde Q_h je potreba tepla na vykurovanie (kWh) na celú vykurovaciu sezónu; určí sa podľa STN 73 0540-4

V_b – obstavaný objem budovy (m^3).

Merná potreba tepla na vykurovanie (kWh/m^2) na celú vykurovaciu sezónu sa určí zo vzťahu:

$$E_2 = \frac{Q_h}{A_b} \quad (\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok}))$$

kde A_b je merná plocha budovy (m^2).

Bytové budovy spĺňajú energetické kritérium, ak majú v závislosti od faktora tvaru budovy mernú potrebu tepla

$$E_1 \leq E_{1,N} \text{ alebo } E_2 \leq E_{2,N}$$

kde $E_{1,N}$ alebo $E_{2,N}$ je normová hodnota mernej potreby tepla ($\text{kWh}/(\text{m}^3 \cdot \text{rok})$), alebo ($\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$)

E_1 – merná potreba tepla v $\text{kWh}/(\text{m}^3 \cdot \text{rok})$,

E_2 – merná potreba tepla v $\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$.

Merná potreba tepla na vykurovanie stanovená podľa normy slúži na vzájomné porovnanie projektového riešenia budov, zohľadňuje vplyv osadenia budovy vzhľadom na svetové strany a tepelnotechnickú kvalitu stavebných konštrukcií. Nie je hodnotením skutočnej spotreby energie v konkrétnych podmienkach osadenia budovy.

Faktor tvaru budovy A/V_b v $1/\text{m}$ je podielom súčtu plôch teplovýmenných konštrukcií (plocha stavebných konštrukcií A v m^2 , ktorými sa uskutočňujú tepelné straty a tepelné zisky) a obstavaného priestoru V_b v m^3 .

Hodnoty E_N pre medziľahlé hodnoty A/V_b sa určia lineárnou interpoláciou tabuľkových hodnôt alebo podľa normy. Vypočítané hodnoty sa zaokrúhľujú na desatiny. Nadstavby a prístavby sa hodnotia podľa požiadaviek energetického kritéria stanoveného pre nové budovy.

Potreba tepla na vykurovanie ostatných budov E má byť nižšia ako potreba tepla $E_{1,N}$.

$$E_1 \leq E_{1,N} = 73,5 \cdot F_{VN} \cdot e_1 \quad (\text{kWh}/(\text{m}^3 \cdot \text{rok}))$$

kde F_{VN} je normová hodnota tepelnej charakteristiky budovy:
 $F_{VN} = 0,5 \text{ W}/(\text{m}^3 \cdot \text{K})$ – pre obnovované budovy (rekonštrukcie),
 $F_{VN} = 0,4 \text{ W}/(\text{m}^3 \cdot \text{K})$ – pre nové budovy;
 $e_1 = 1,2$ – pre prevádzky s veľmi ľahkou prácou,
 $e_1 = 1,5$ – pre prevádzky s ľahkou prácou,
 $e_1 = 1,8$ – pre prevádzky so stredne ťažkou a ťažkou prácou.

Ak teplo produkované z vnútorných zdrojov trvalo presahuje $25 \text{ W}/\text{m}^3$ vnútorného priestoru, hodnotenie mernej potreby tepla sa nevyžaduje.

Tab. 8.1 Výpočet potreby tepla na vykurovanie základnej školy v pôvodnom stave

| Energetické hodnotenie budov STN 73 0540-2 (požiadavky), STN 73 0540-4 (metóda výpočtu) | | | | Formulár | |
|--|------------------------------|--|--|---|-----------|
| 1. Budova: základná škola | | | | | |
| Obstavaný objem [m^3]: $V_b = 7\,946,83$ | | Merná plocha [m^2]: $A_b = 2\,146,82$ | | | |
| Obytná budova nie | | Priemerná konštrukčná výška vykurovaných podlaží [m]: $h_{k,pr} = 3,7$ | | | |
| Budova obnovovaná | | Verejná budova | | | |
| 2. Merná tepelná strata prechodom tepla H_T [W/K] | | | | | |
| Konštrukcia | Plocha A_i m^2 | U_i W/(m^2K) | Faktor b_x - | $b_x \cdot U_i \cdot A_i$ W/K | |
| Obvodová stena 375 mm | 816,23 | 0,83 | 1 | 677,4709 | |
| Obvodová stena 250 mm | 287,16 | 1,69 | 1 | 485,3007 | |
| Okná | 396,8 | 2,85 | 1 | 1 131,023 | |
| Vstupné dvere | 40,52 | 2,9 | 1 | 117,508 | |
| Podlaha na teréne P1 | 187,82 | 1,87 | 1 | 351,2234 | |
| Podlaha na teréne P2 | 24,47 | 1,87 | 1 | 45,7589 | |
| Podlaha na teréne P2* | 14,92 | 1,87 | 1 | 27,9004 | |
| Podlaha na teréne P3 | 477,21 | 1,87 | 1 | 892,3827 | |
| Podlaha na teréne P4 | 48,31 | 1,87 | 1 | 90,3397 | |
| Strecha STR1 | 678,97 | 1,16 | 1 | 787,6052 | |
| Strecha STR2 | 116,14 | 0,95 | 1 | 110,58 | |
| Súčty | $\Sigma A_i = 3\,088,86$ | | | $\Sigma b_x \cdot U_i \cdot A_i = 4\,717,092$ | |
| 3. Započítanie vplyvu tepelných mostov: paušálne | | | | | |
| Exaktne: | | | <input type="checkbox"/> $U =$ | | |
| Paušálne: | | | <input type="checkbox"/> $U = 0,1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ | | |
| Vplyv tepelných mostov [W/K]: | | $\Delta \square \square \square \square U \Sigma A_i =$ | | | 308,886 |
| Merná tepelná strata H_T [W/K]: | | $H_T = \square b_x \cdot U_i \cdot A_i + \square U \Sigma A_i =$ | | | 5 025,978 |
| Priemerný súčiniteľ prechodu tepla [W/(m^2K)]: | | $U_m = H_T / \Sigma A_i =$ | | | 1,63 |

Pokračovanie tab. 8.1

| | | | | |
|--|---------------------------------|----------------------|--------------------|--|
| 4. Merná tepelná strata vetraním H_v [W/K]: | | | | |
| Intenzita výmeny vzduchu v 1/h $n = 0,5$ | $H_v = 0,264 \cdot n \cdot V_b$ | | $H_v =$ | 1 048,982 |
| 5. Merná tepelná strata $H = H_T + H_v$ [W/K]: | | | | $H =$ |
| | | | | 6 074,96 |
| 6. Solárne zisky Q_s [kWh] | I_{sj} | g_{nj} | A_{nj} | $Q_{Sj} = I_{sj} \cdot 0,50 \cdot g_{nj} \cdot A_{nj}$ |
| Juh | 320 | 0,75 | 161,79 | 19 414,8 |
| Východ | 200 | 0,75 | 75,27 | 5 645,25 |
| Západ | 200 | 0,75 | 56,4 | 4 230,00 |
| Sever | 100 | 0,75 | 143,93 | 5 397,375 |
| Juhozápad/Juhovýchod | 260 | - | - | - |
| Severovýchod/Severozápad | 130 | - | - | - |
| Horizontálna | 340 | - | - | - |
| | | | | $Q_s = \Sigma Q_{Sj} =$ |
| | | | | 34 687,43 |
| 7. Vnútorne zisky Q_i [kWh] | $Q_i = 5 \cdot q_i \cdot A_b =$ | | $Q_i =$ | 64 404,6 |
| q_i [W/m ²] | $q_i = 6$ Verejná budova | | | |
| 8. Celkové vnútorné zisky $Q_i + Q_s$ [kWh] | | | | $Q_i + Q_s =$ |
| | | | | 99 092,03 |
| 9. Potreba tepla na vykurovanie [kWh/rok]: | | | | |
| $Q_h = 82,1(H_T + H_v) - 0,95 \cdot (Q_s + Q_i)$ | | | | $Q_h =$ |
| | | | | 404 616,8 |
| 10. Merná potreba tepla na vykurovanie [kWh/(m³.rok)]: | | | | |
| $E_1 = Q_h/V_b$ | | | | $E_1 =$ |
| | | | | 50,9 |
| 11. Merná potreba tepla na vykurovanie [kWh/(m².rok)]: | | | | |
| $E_2 = Q_h/A_b$ | | | | $E_2 =$ |
| | | | | 188,5 |
| 12. Faktor tvaru budovy $\Sigma A_i/V_b$ | | | $\Sigma A_i/V_b =$ | 0,39 |
| 13. Normové hodnoty | | | | |
| Obnovované budovy $E_{1N} = 15,79 + 30,71 \Sigma A_i/V_b = 27,77$ $E_{2N} = h_{k,pr} \cdot E_{1N} = 102,7$ | | | | |
| 14. Hodnotenie | | $E_1 < E_{1N}$ alebo | Vyhovuje ? | Nie |
| STN 73 0540-2: | | $E_2 < E_{2N}$ | | |

8.2 Posúdenie budovy základnej školy z hľadiska energetického kritéria

Budova základnej školy analyzovaná v prípadovej štúdii bola posudzovaná v pôvodnom ako i v novom (upravenom) stave.

Na základe vstupných údajov z posúdenia obalových konštrukcií v pôvodnom stave (časť 3.3) ako i v novom stave (časť 3.4) aplikáciou metodiky podľa STN 73 0540-4 sa vypočítali hodnoty mernej potreby tepla na vykurovanie, ako to uvádza tab. 8.1 a tab. 8.2.

Z výsledkov uvedených v tab. 8.1 a 8.2 možno konštatovať, že pôvodná budova nevyhovuje požiadavkám energetického kritéria, pretože

$$E_1 = 50,9 > E_{1,N} = 27,77 \text{ kWh/(m}^3\text{.rok)}$$

Taktiež možno konštatovať, že obnovená budova základnej školy vyhovuje požiadavkám energetického kritéria, pretože

$$E_1 = 12,2 < E_{1,N} = 27,77 \text{ kWh}/(\text{m}^3 \cdot \text{rok})$$

Tab. 8.2 Výpočet potreby tepla na vykurovanie základnej školy v upravenom stave

| Energetické hodnotenie budov STN 73 0540-2 (požiadavky), STN 73 0540-4 (metóda výpočtu) | | | | Formulár |
|--|---|-------------------------------|-------------------|---|
| 1. Budova: základná škola | | | | |
| Obostavaný objem [m ³]: $V_b = 8\,165,97$ | Merná plocha [m ²]: $A_b = 2\,205,95$ | | | |
| Obytná budova nie | Priemerná konštrukčná výška vykurovaných podlaží [m]: $h_{k,pr} = 3,7$ | | | |
| Budova obnovovaná | Verejná budova | | | |
| 2. Merná tepelná strata prechodom tepla H_T [W/K] | | | | |
| Konštrukcia | Plocha A_i m ² | U_i W/(m ² K) | Faktor b_x - | $b_x \cdot U_i \cdot A_i$ W/K |
| Obvodová stena 375 mm | 877,2 | 0,174 | 1 | 152,6328 |
| Obvodová stena 250 mm | 290,25 | 0,196 | 1 | 56,889 |
| Okná | 375,12 | 1,3 | 1 | 488,656 |
| Vstupné dvere | 40,52 | 1,3 | 1 | 52,676 |
| Podlaha na teréne P1 | 187,82 | 0,33 | 1 | 61,9806 |
| Podlaha na teréne P2 | 24,47 | 0,34 | 1 | 8,3198 |
| Podlaha na teréne P2* | 14,92 | 0,34 | 1 | 5,0728 |
| Podlaha na teréne P3 | 477,21 | 0,34 | 1 | 162,2514 |
| Podlaha na teréne P4 | 48,31 | 0,34 | 1 | 16,4254 |
| Strecha STR1 | 697,6 | 0,095 | 0,8 | 53,0176 |
| Strecha STR2 | 122,04 | 0,093 | 1 | 11,3497 |
| Súčty | $\Sigma A_i = 3\,155,46$ | | | $\Sigma b_x \cdot U_i \cdot A_i = 1\,068,271$ |
| 3. Započítanie vplyvu tepelných mostov: paušálne | | | | |
| Exaktne: | <input type="checkbox"/> $U =$ | | | |
| Paušálne: | <input type="checkbox"/> $U = 0,05 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ | | | |
| Vplyv tepelných mostov [W/K]: | $\Delta U = \text{input} \cdot \Sigma A_i =$ | | | 157,773 |
| Merná tepelná strata H_T [W/K]: | $H_T = \text{input} \cdot \Sigma b_x \cdot U_i \cdot A_i + \text{input} \cdot \Sigma A_i =$ | | | 1 226,044 |
| Priemerný súčiniteľ prechodu tepla [W/(m ² K)]: | $U_m = H_T / \Sigma A_i =$ | | | 0,39 |

Pokračovanie tab. 8.2

| | | | | |
|--|---------------------------------|-------------------|--|--|
| 4. Merná tepelná strata vetraním H_v [W/K]: | | | | |
| Intenzita výmeny vzduchu v 1/h $n = 0,5$ | $H_v = 0,264 \cdot n \cdot V_b$ | | $H_v =$ | 1 077,868 |
| 5. Merná tepelná strata $H = H_T + H_v$ [W/K]: | | | | $H =$ |
| | | | | 2 303,913 |
| 6. Solárne zisky Q_s [kWh] | I_{sj} | g_{nj} | A_{nj} | $Q_{Sj} = I_{sj} \cdot 0,50 \cdot g_{nj} \cdot A_{nj}$ |
| Juh | 320 | 0,63 | 161,79 | 16 308,43 |
| Východ | 200 | 0,63 | 48,38 | 3 047,94 |
| Západ | 200 | 0,63 | 75,27 | 4 742,01 |
| Sever | 100 | 0,63 | 121,2 | 3 817,8 |
| Juhozápad/Juhovýchod | 260 | - | - | - |
| Severovýchod/Severozápad | 130 | - | - | - |
| Horizontálna | 340 | - | - | - |
| | | | | $Q_s = \Sigma Q_{Sj} =$ |
| | | | | 27 916,18 |
| 7. Vnútorne zisky Q_i [kWh] | $Q_i = 5 \cdot q_i \cdot A_b =$ | | $Q_i =$ | 66 178,5 |
| q_i [W/m ²] | $q_i = 6$ Verejná budova | | | |
| 8. Celkové vnútorné zisky $Q_i + Q_s$ [kWh] | | | | $Q_i + Q_s =$ |
| | | | | 94 094,68 |
| 9. Potreba tepla na vykurovanie [kWh/rok]: | | | | |
| $Q_h = 82,1(H_T + H_v) - 0,95 \cdot (Q_s + Q_i)$ | | | $Q_h =$ | 99 761,3 |
| 10. Merná potreba tepla na vykurovanie [kWh/(m³·rok)]: | | | | |
| $E_1 = Q_h/V_b$ | | | $E_1 =$ | 12,2 |
| 11. Merná potreba tepla na vykurovanie [kWh/(m²·rok)]: | | | | |
| $E_2 = Q_h/A_b$ | | | $E_2 =$ | 45,2 |
| 12. Faktor tvaru budovy $\Sigma A_i/V_b$ | | | $\Sigma A_i/V_b =$ | 0,39 |
| 13. Normové hodnoty | | | Obnovované budovy $E_{1N} = 15,79 + 30,71 \Sigma A_i/V_b = 27,77$ $E_{2N} = h_{k,pr} \cdot E_{1N} = 102,7$ | |
| 14. Hodnotenie | $E_1 < E_{1N}$ alebo | Vyhovuje ? | | |
| STN 73 0540-2: | $E_2 < E_{2N}$ | Áno | | |

9. Rekonštrukcia technických zariadení základnej školy a spôsob zásobovania teplom

Snaha o znižovanie energetických nárokov objektov vyžaduje okrem stavebno-technických opatrení aj podstatné úpravy, respektíve výmenu existujúcich technických zariadení. Dôraz je potrebné klásť predovšetkým na progresívnosť riešenia, úsporu energie dosiahnutú vysokou efektívnosťou využitia disponibilných zdrojov a využitie obnoviteľných zdrojov energie.

9.1 Východiská riešenia rekonštrukcie technických zariadení

Hlavným predpokladom dosiahnutia uspokojivého výsledku rekonštrukcie vykurovacích a vetracích zariadení sú vhodné stavebno-technické opatrenia. Objekt musí dosahovať vysoko nadštandardné teplo-technické vlastnosti stavebných konštrukcií, ako sú napr. súčinitele prestupu tepla stavebnými konštrukciami a tesnosť výplní otvorov resp. obvodových konštrukcií. Regulovateľné tieniace opatrenia musia zamedziť prehrievaniu priestorov v teplom ročnom období a naopak umožniť v plnej miere využívanie pasívnych solárnych ziskov v chladných obdobiach.

Ďalším predpokladom efektívneho návrhu je diverzifikácia zdrojov energie. K tejto otázke je potrebné pristupovať veľmi citlivo, s ohľadom na dostupnosť a špecifické vlastnosti jednotlivých druhov energie. Je potrebné rozlišovať teplotný potenciál jednotlivých zdrojov a jeho zmysluplné nasadenie v navrhnutom systéme.

Ako najprístupnejšie zdroje sa v súčasnosti z technického a ekonomického hľadiska javia:

- slnečná energia,
- geotermálna energia,
- elektrická energia,
- zemný plyn.

Každý z týchto uvedených zdrojov má pre využitie svoje prednosti a nedostatky, ktoré je potrebné pri návrhu technického zariadenia zvážiť a hľadať možné synergické efekty pri ich kombinácii. Hlavným cieľom musí byť pritom aspekt maximálnej miery využitia energetického zdroja.

V ďalšom bude na konkrétnom príklade riešenia predstavený jeden z možných systémov komplexného zásobovania teplom budovy základnej školy.

9.2 Návrh systému komplexného zásobovania teplom

Riešená typová budova základnej školy pozostáva z troch nadzemných podlaží s celkovou plochou miestností približne 1.900 m². Ako zdroj tepla slúži plynová kotolňa pozostávajúca z 3 stacionárnych plynových kotlov s celkovým vykurovacím výkonom približne 270 kW. Vykurovanie objektu je zabezpečené oceľovými článkovými vykurovacími telesami, navrhnutými na teplotný spád 90/70°C. Vetranie objektu je prirodzené, otváraním okien. Škola sa nachádza na relatívne veľkom pozemku v severnej časti Slovenska.

Základné východiská návrhu systému zásobovania teplom:

- v súčasnosti sú ako zdroje využívané zemný plyn a elektrická energia,
- obnovená budova školy bude dôsledne tepelne izolovaná so súčasnou výmenou výplne otvorov,
- veľkosť vlastného pozemku oprávňuje úvahy o využití geotermálnej energie,
- orientácia objektu k svetovým stranám a tvar budúcej strechy sú vhodné na inštaláciu solárnych kolektorov,
- zemepisná poloha objektu trochu obmedzuje priame využitie slnečnej energie.

Z týchto úvah vyplynuli prvé obrisy nového systému:

1. Zateplením objektu sa značne zníži potrebný tepelný výkon. Pri zachovaní približnej veľkosti vykurovacích plôch bude teda možné využiť na vykurovanie nízkotepelný vykurovací systém. Na ďalšie zníženie potreby tepelného výkonu by bolo vhodné navrhnúť aj systém kontrolovaného vetrania.
2. Nízkotepelný vykurovací systém umožňuje navrhnúť zásobovanie teplom kombináciou tepelného čerpadla s geotermálnou a slnečnou energiou.
3. Na pokrytie špičkového tepelného výkonu pri extrémnych poveternostných podmienkach, resp. pri nedostatku primárnych zdrojov pre tepelné čerpadlo, pokryje nedostatkový výkon existujúci zdroj – zemný plyn.
4. Vetranie budovy nesmie podstatne zvyšovať potrebný tepelný výkon zdroja tepla – bude navrhnutý systém spätného získavania tepla s predpokladanou účinnosťou nad 90%.

9.3 Popis navrhovaného systému

Za hlavný zdroj tepla na vykurovanie a prípravu teplej úžitkovej vody s hľadiska pokrytia ročnej potreby tepla sa navrhuje tepelné čerpadlo so zemnými sondami s tepelným výkonom približne 68 kW. Ako doplnkové zdroje tepla budú slúžiť solárne kolektory a kondenzačný plynový kotol.

Primárnym zdrojom tepla na vykurovanie a prípravu teplej vody budú teda zemné sondy. V nich bude ohrievané cirkulačné médium na teplotu asi 8°C. Celkovo bude potrebných 10 zemných vrtov hlbokých približne 100 m. Solárne kolektory sa osadia na streche budovy, ich celková absorpčná plocha sa navrhuje približne 70 m². Špičkové potreby tepla bude pokrývať plynový kotol.

Teplonosné médium v okruhu solárnych kolektorov a v primárnom okruhu tepelného čerpadla bude nemrznúca zmes voda/glykol. Teplonosnou látkou v sekundárnom okruhu tepelného čerpadla a vo vykurovacích vetvách bude ekvitermicky regulovaná voda s maximálnou teplotou 55 °C, t.j. s teplotným spádom 10 K.

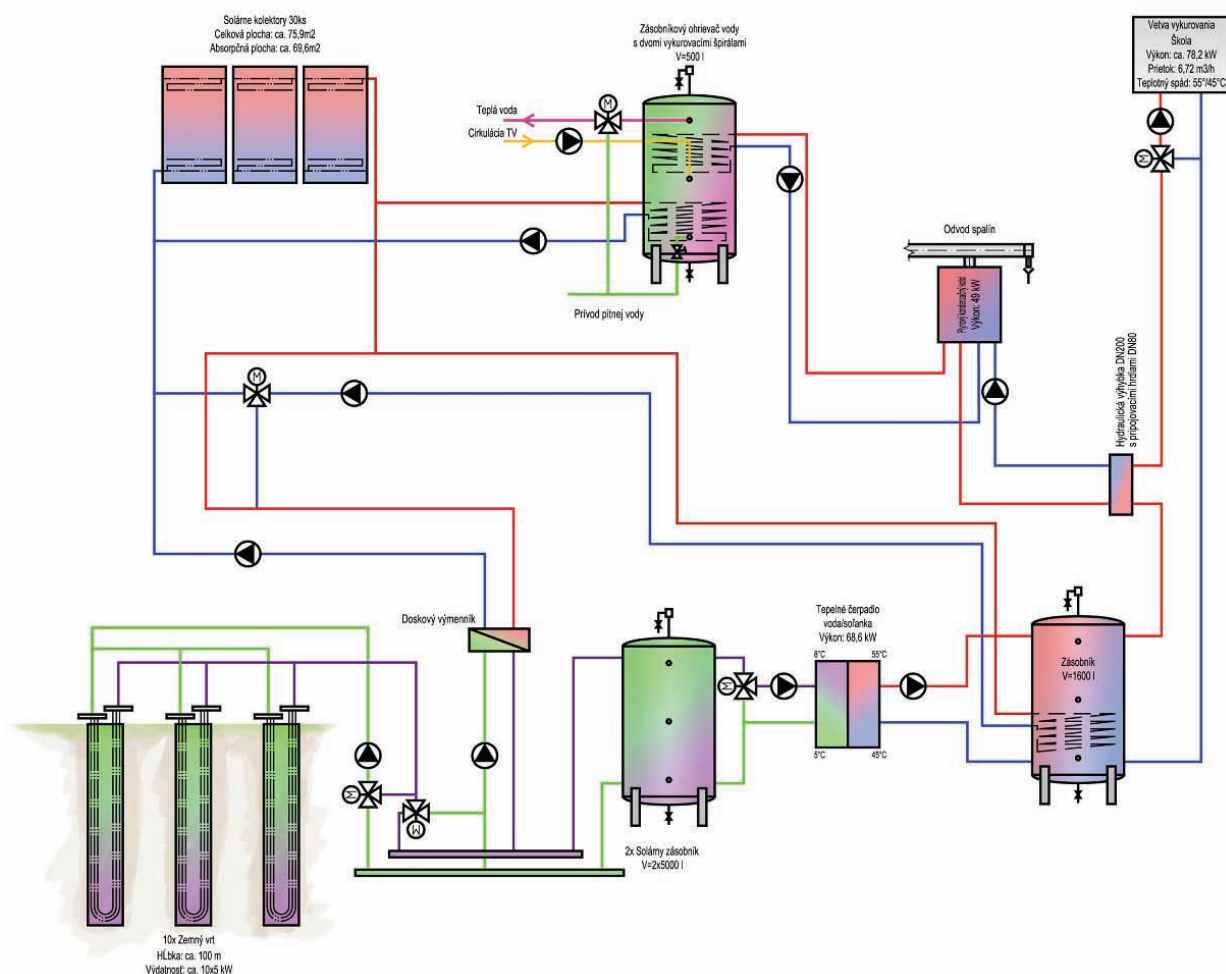
Principiálne zariadenie pozostáva z vysokoteplotnej časti, z nízkotepelnej časti a prípadného dohrevu vykurovacieho média.

Vysokoteplotnú časť predstavuje systém solárnych kolektorov s vykurovacími registrami v akumulačnom zásobníku vykurovacej vody, v zásobníkovom ohrievači pitnej vody a výmenníkom tepla, oddeľujúcim systém vysokoteplotný od nízkotepelného.

Nízkotepelný systém pozostáva z tepelného čerpadla soľanka/voda, akumulačných zásobníkov primárneho média, zemných vrtov a akumulačného zásobníka vykurovacej vody. Dohrievaciu časť zariadenia tvorí plynový kondenzačný kotol.

Navrhnuté zariadenie bude inštalované nasledovne:

v kotolni bude inštalované tepelné čerpadlo, nástenný kondenzačný plynový kotol s tepelným výkonom približne 50 kW a zásobníkový ohrievač ohriatej pitnej vody (OPV) s dvomi vykurovacími špirálami so zásobným objemom 500 l. V kotolni budú ďalej osadené dva solárne akumulčné zásobníky, každý s objemom 5000 l a akumulčný zásobník vykurovacej vody s objemom 1600 l.



Obr. 9.1 Principiálna schéma zásobovania teplom

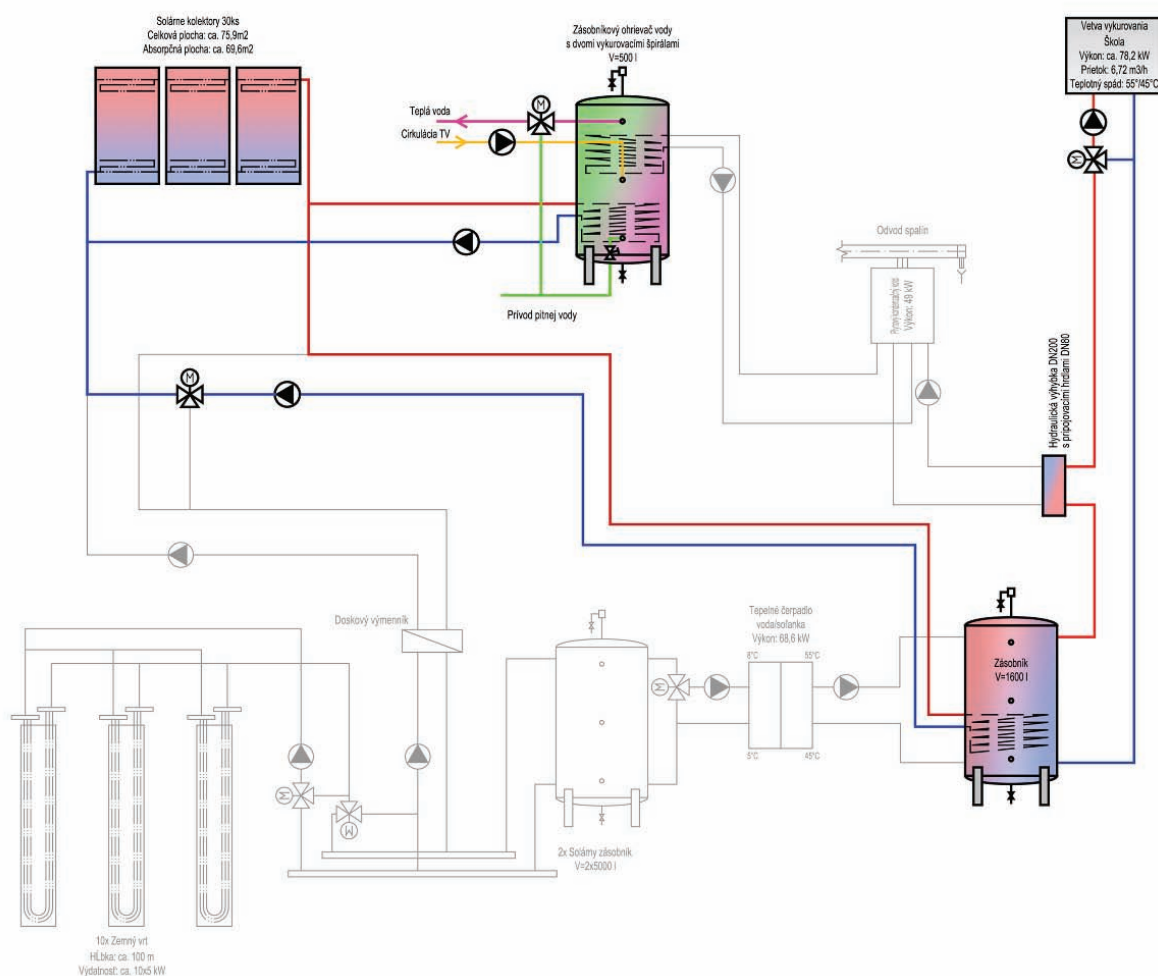
Prehľad parametrov navrhnutého systému:

- primárna strana:
 - tepelný výkon ca. 45 kW
 - elektrický príkon ca. 15 kW
 - teplota primárneho média 8/5°C
 - plocha slnečných kolektorov 70 m²
 - maximálny prevádzkový tlak systému 1,6 MPa

- sekundárna strana:
 - tepelný výkon plynových kotlov 50 kW
 - teplota média 55/45°C
 - maximálny prevádzkový tlak systému 0,6 MPa
 - tepelný výkon tepelného čerpadla 65 kW

9. 4 Popis jednotlivých pracovných režimov navrhnutého systému

A) Vysokoteplotný pracovný režim – zdroj tepla sú slnečné kolektory



Obr. 9.2 Principiálna schéma vysokoteplotný režim – slnečné kolektory

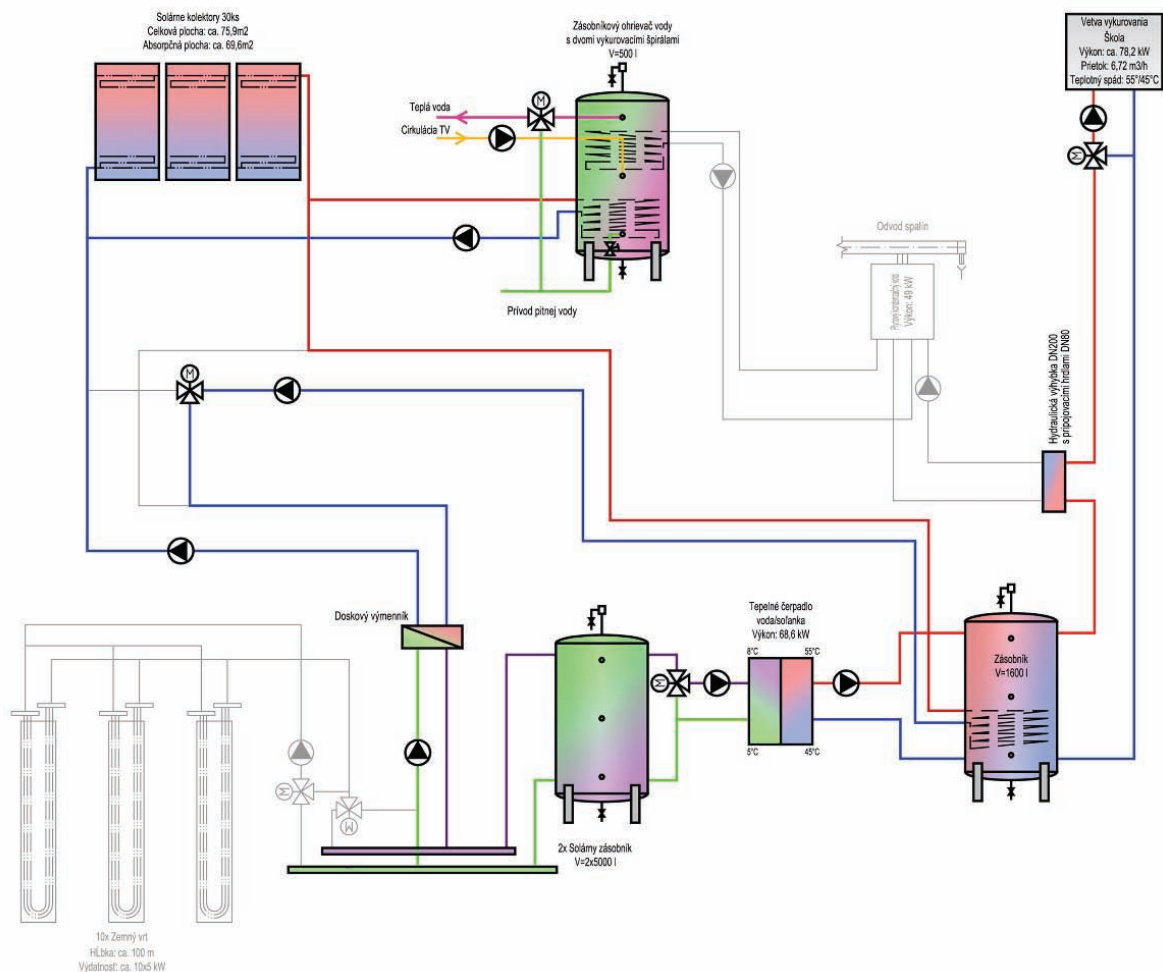
Zariadenie bude pracovať v nasledujúcich pracovných režimoch:

1. Vysokoteplotný pracovný režim – zdroj tepla slnečné kolektory.
2. Vysokoteplotný pracovný režim – zdroj tepla slnečné kolektory v kombinácii s tepelným čerpadlom.
3. Nízokoteplotný pracovný režim – zdroj tepla slnečné kolektory v kombinácii s tepelným čerpadlom.
4. Nízokoteplotný pracovný režim – zdroj tepla slnečné kolektory v kombinácii s tepelným

- čerpádom. Dohrev plynovými kotlami.
5. Nízko-teplotný pracovný režim – zdroj tepla tepelné čerpadlo.
 6. Nízko-teplotný pracovný režim – zdroj tepla tepelné čerpadlo. Dohrev plynovým kotlom.

Hlavným riadiacim prvkom navrhovanej zostavy bude modul energetického manažmentu (MEM). Tento pozostáva zo sústavy obehových čerpadiel, prepínacích ventilov a snímačov teplôt. Na základe vyhodnotených údajov potom určuje najvhodnejší režim a usmerňuje tok primárneho média. Cieľom je zabezpečiť optimálnu spoluprácu jednotlivých komponentov systému, a dosiahnuť čo najvyššiu účinnosť jednotlivých prvkov ako aj celého systému. Zohľadňované bude pritom aj ekonomické hľadisko prípravy tepla. MEM bude nepretržite vyhodnocovať náklady na prípravu tepla jednotlivými komponentmi systému a podľa výsledkov upravovať regulačné veličiny a prepínať jednotlivé pracovné režimy.

Zariadenie bude prednostne pracovať v tomto režime za predpokladu, že primárne médium bude v slnečných kolektoroch zahriate na teplotu vyššiu, ako je požadovaná teplota vykurovacej vody resp. ohriatej pitnej vody. V tomto režime bude výkon slnečných kolektorov postačujúci na pokrytie celkovej potreby tepla.



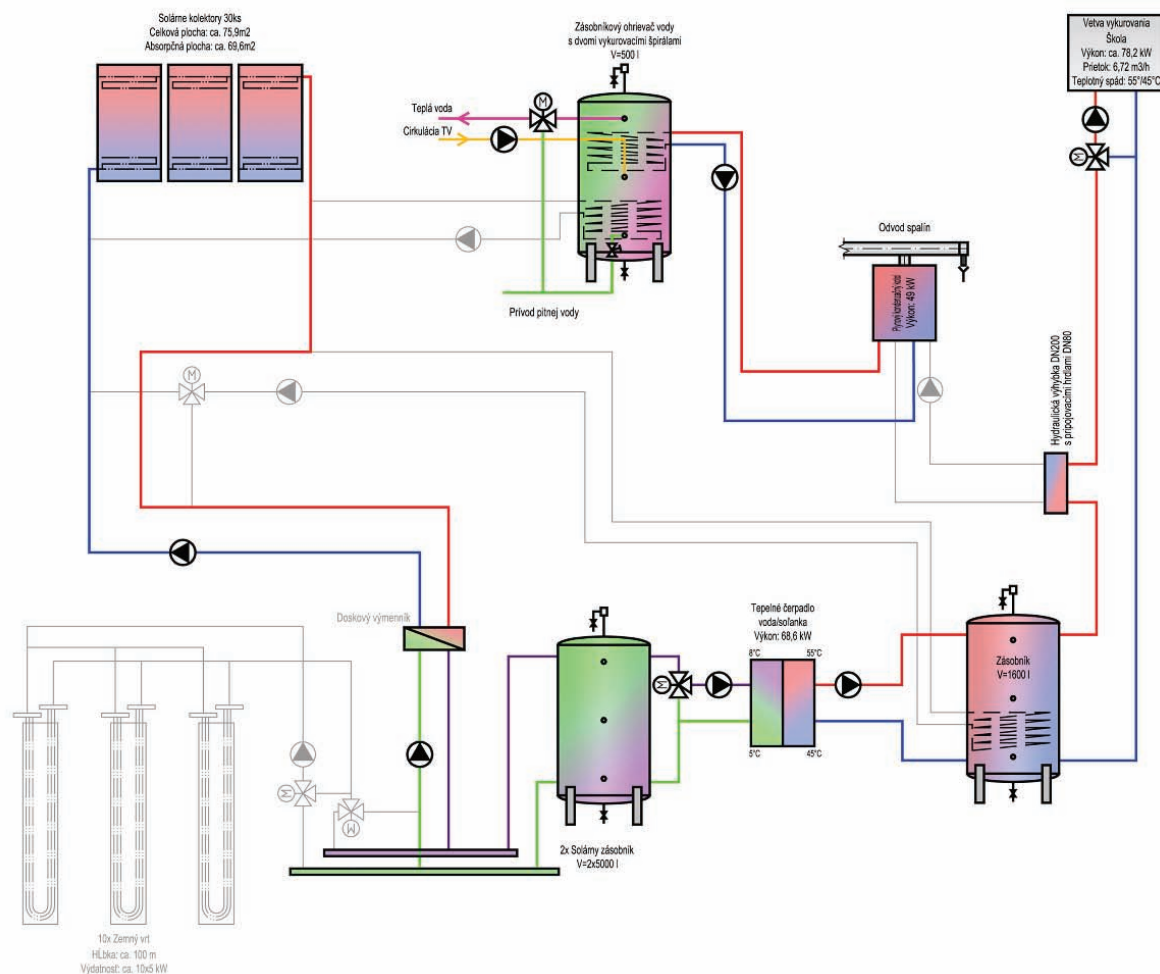
Obr. 9.3 Principiálna schéma vysokoteplotný režim – slnečné kolektory v kombinácii s tepelným čerpadlom.

Primárne médium bude privádzané do vykurovacích výmenníkov v akumuláčnom zásobníku vykurovacej vody a do zásobníkového ohrievača teplej vody. Prevádzka tepelného čerpadla a plynového kotla v tomto režime nie je potrebná.

B) Vysokoteplotný pracovný režim – zdrojom tepla sú slnečné kolektory v kombinácii s tepelným čerpadlom

Tento režim sa odporúča pri dostatočnej teplote primárneho média avšak nedostatočnom výkone solárnych kolektorov na pokrytie potreby tepla. Predpokladá sa, že teplota primárneho média bude po ochladení v akumuláčnom zásobníku vykurovacej vody ešte dostatočne vysoká na využitie ako primárne médium pre tepelné čerpadlo. Tepelné čerpadlo zabezpečí dohrev vykurovacej vody v akumuláčnom zásobníku na požadovanú teplotu.

C) Nízokoteplotný pracovný režim – zdrojom tepla sú slnečné kolektory v kombinácii s tepelným čerpadlom

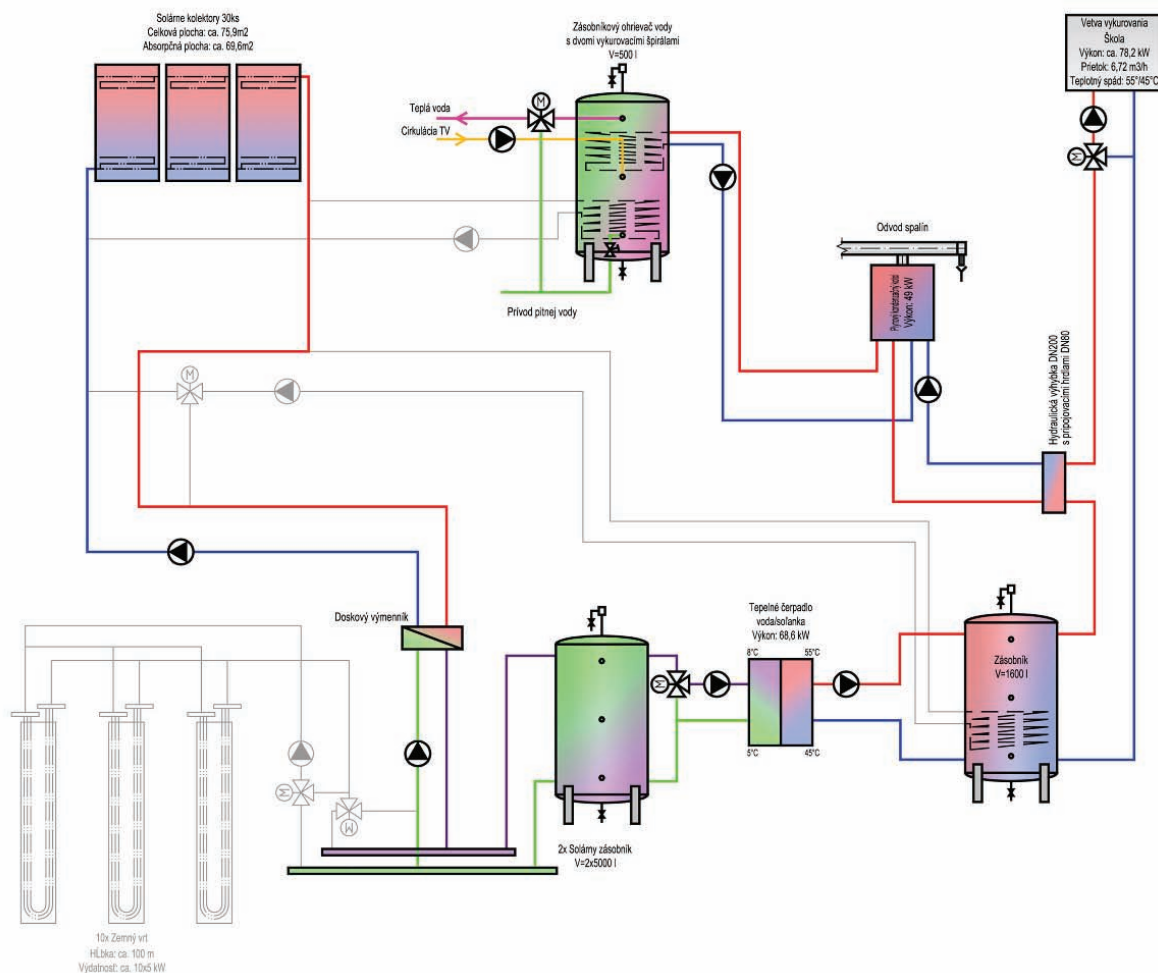


Obr. 9.4 Principiálna schéma nízokoteplotného režimu – slnečné kolektory v kombinácii s tepelným čerpadlom

Pri klesajúcej teplote obehového média v primárnom okruhu prepne MEM systém zariadenie do nízko-teplotného režimu. Teplo získané v slnečných kolektoroch síce už nepostačuje na priame vykurovanie, ale ešte stále dosahuje hodnoty, ktoré umožňujú jeho využitie tepelným čerpadlom. Získaná slnečná energia sa akumuluje v solárnych akumulčných zásobníkoch, resp. pri jej prebytku aj v zemných vrtoch.

Tepelné čerpadlo využíva akumulovanú energiu na prípravu vykurovacej vody.

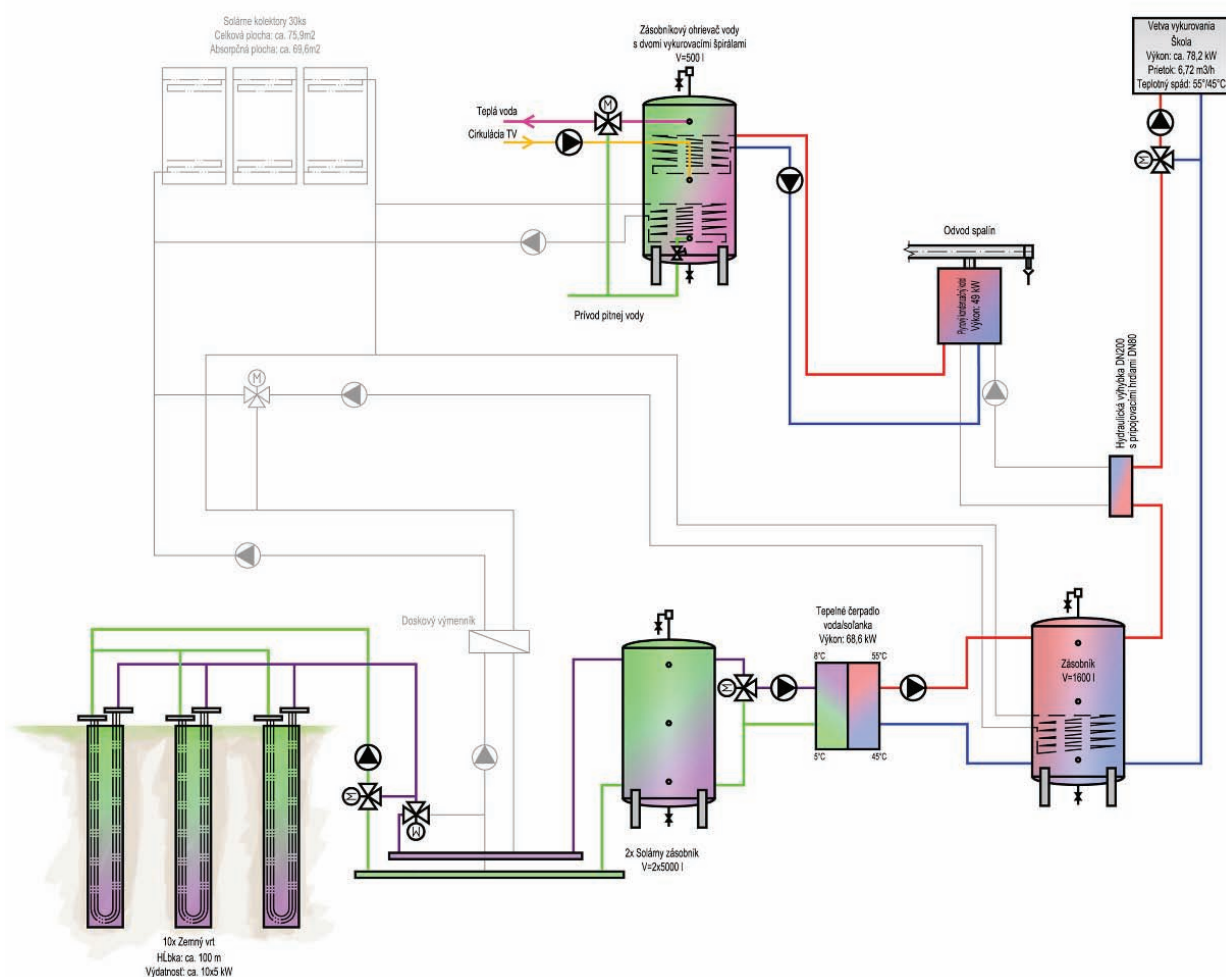
D) Nízko-teplotný pracovný režim – zdrojom tepla sú slnečné kolektory v kombinácii s tepelným čerpadlom, dohrev zabezpečuje plynový kotol



Obr. 9.5 Principiálna schéma nízko-teplotného režimu – slnečné kolektory v kombinácii s tepelným čerpadlom. Dohrev plynovým kotlom.

Rozšírením predchádzajúceho režimu o dohrev plynovým kotlom vzniká nový prevádzkový režim, ktorý sa bude využívať hlavne na konci vykurovacej sezóny pri vyčerpaní kapacity zemných vrtoch a nedostatočnom ohreve primárnej vody v slnečných kolektoroch. Výstupná teplota vykurovacej vody z tepelného čerpadla bude regulovaná s cieľom dosiahnuť maximálne možné pracovné číslo čerpadla. Chýbajúci výkon sa doplní prevádzkou plynového kondenzačného kotla, ktorý zabezpečí požadovanú teplotu vykurovacej vody.

E) Nízko-teplotný pracovný režim – zdrojom tepla je tepelné čerpadlo



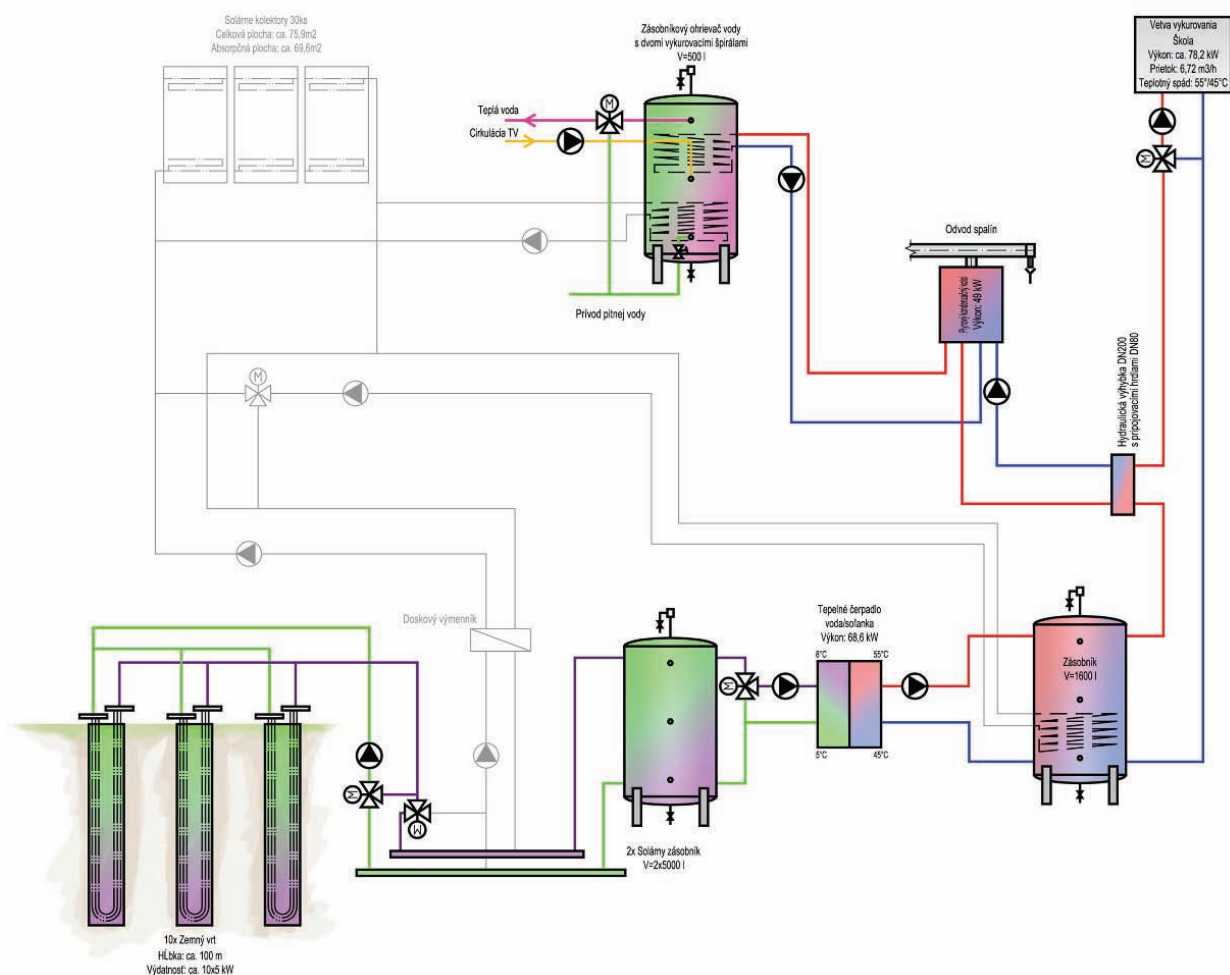
Obr. 9.6 Principiálna schéma nízko-teplotného režimu – zdrojom tepla je tepelné čerpadlo

Tento prevádzkový režim by mal predstavovať základný režim navrhovaného zariadenia v zimnom období. Teplonosné médium ohrievané v zemných sondách bude ukladané v dvoch akumuláčnych nádržiach po 5 000 l.

Zo zeme získané teplo bude privádzané k výparníku tepelného čerpadla. Kondenzátorová strana tepelného čerpadla sa napojí na teplovodný rozdeľovač vykurovacej vody cez akumuláčny zásobník vykurovacej vody.

F) Nízko-teplotný pracovný režim – zdrojom tepla je tepelné čerpadlo, dohrev plynovým kotlom

Pri extrémnych poveternostných podmienkach bude predchádzajúci režim doplnený o dohrev vykurovacej vody plynovým kotlom. Kotel bude slúžiť ako špičkový zdroj tepla a ako záložný zdroj v prípade poruchy solárneho systému alebo tepelného čerpadla. Vzhľadom na to, že kotel je s tepelným čerpadlom zapojený v sérii, je možné znížiť výstupnú teplotu vody z tepelného čerpadla a tým dosiahnuť zvýšenie jeho pracovného čísla.



Obr. 9.7 Principiálna schéma nízkoteplotný režim – zdroj tepla tepelné čerpadlo. Dohrev plynovým kotlom.

9.5 Princípy riadenej výmeny vzduchu v obnovovanej budove základnej školy

Ako sa v úvode tejto časti zdôrazňuje, na zníženie energetickej náročnosti objektu je potrebné v chladnom období zabezpečiť aj kontrolovanú výmenu vzduchu vo vnútorných priestoroch s účinným systémom spätného získavania tepla. Pri vonkajších teplotách nad 15 °C je spravidla výhodnejšie využívať prirodzené vetranie. Počas vyučovania, keď sú triedy obsadené väčším počtom žiakov a teda sú tu značné zisky tepla a osobitne v čase výskytu priameho slnečného žiarenie, je energeticky výhodné prirodzené vetranie aj pri nižších teplotách vonkajšieho vzduchu. Z hľadiska tepelnej pohody je prirodzené vetranie pri nižších teplotách vonkajšieho vzduchu problematické, najmä pri teplotách nižších ako 10 °C.

Vzduchotechnické zariadenie musí zabezpečiť predovšetkým požadované hygienické množstvo čerstvého vzduchu do priestorov učební, kabinetov, kancelárií a chodieb, čomu zodpovedá asi 3-násobná výmena vzduchu za hodinu v priestoroch učební (podrobnejšie informácie sú v časti 5). Na žiaka je pritom uvažovaná dávka čerstvého vzduchu 20m³/h.

Ďalšou požiadavkou je privádzať do objektu len také množstvo čerstvého vzduchu, ktoré je v danom čase potrebné. V neobsadených priestoroch je vhodné redukovať vetracie množstvo vzduchu a tým redukovať aj potrebný elektrický príkon potrebný na dopravu vzduchu.

Ventilátory vzduchotechnických jednotiek budú preto vybavené frekvenčnými meničmi, regulujúcimi otáčky a tým aj dopravované množstvo vzduchu. Rozvod vzduchu v objekte bude vybavený regulačnými boxmi pre premenlivý prietok vzduchu. Ich funkciou bude zabezpečiť prívod optimálneho množstva vzduchu v závislosti od obsadenia priestorov.

Nevyhnutný sa javí vysoko účinný systém spätného získavania tepla. Súčasná technológia umožňuje navrhnuť systémy spätného získavania tepla s tepelnou účinnosťou nad 90%. Pri takomto zariadení odpadá potreba inštalácie ohrievača vzduchu, pretože odpadový vzduch ohreje čerstvý vzduch na teplotu nad 16°C aj pri minimálnych výpočtových teplotách. Chýbajúci dohrev vetracieho vzduchu môžu zabezpečiť statické vykurovacie plochy.

10. Závery

Prezentované výsledky prípadovej štúdie obnovy budovy typovej základnej školy pochádzajúcej zo 60. rokov minulého storočia ukázali, že iba výrazným zateplením obalových konštrukcií a výmenou okien možno vzhľadom na existujúci stav dosiahnuť úspory energie na vykurovanie zhruba 46 %. Budovy základných škôl sú špecifické svojou prevádzkou. Jednotlivé priestory sa využívajú v rôznom čase (učebne, kabinety, jedáleň ...) a rôznym spôsobom. V priebehu roka sa dlhý čas mnohé priestory nevyužívajú (prázdniny, víkendy, štátne sviatky). Z tohto je zrejmé, že požiadavky na parametre vnútorného prostredia (teplota vzduchu, výmena vzduchu, osvetlenie ...) môžu byť iné v čase exploatácie priestorov a iné mimo tohto času. Potenciál energetických úspor je teda v porovnaní s uvedenými číslami ešte väčší. Napríklad mechanickým vetraním budovy s účinnou rekuperáciou tepla (účinnosť 75 %) možno zvýšiť úspory tepelnej energie na vykurovanie vzhľadom na pôvodný stav až o 70 %. Výrazné zateplenie zvyšuje tendenciu k prehrievaniu budovy. Aj z tohto dôvodu je potrebné pred okná priestorov s dlhodobým pobytom ľudí osadiť účinné vonkajšie protisľnečné clony, vhodné sú typy s pootáčateľnými lamelami (v úplne zatvorenom stave $g \approx 0,10$).

Navrhované zateplenie sa analyzovalo aj z hľadiska jeho vplyvu na tepelnopohodové parametre vnútorného prostredia. Preukázal sa pozitívny vplyv na tepelnú pohodu vo vybraných učebniach.

Výsledky prípadovej štúdie naznačujú, že je možné uvažovať s určitým kontrolovaným znížením minimálneho činiteľa dennej osvetlenosti požadovaného aktuálnymi hygienickými predpismi a technickými normami. Súčasným požiadavkám na denné osvetlenie riešenie mnohých starých učební nevyhovuje. Moderné tepelnoizolačné zasklenia majú spravidla o niekoľko percent horší činiteľ prestupu svetla v porovnaní s tradičným zasklením dvoma tenkými čírymi sklami. Často používané plastové okná majú obyčajne mohutnejšiu konštrukciu v porovnaní s v minulosti bežnými drevenými, teda je v nich menšia plocha zasklenia. Zateplením obvodových stien sa zvýši hrúbka ostení okien, čo tiež čiastočne znižuje dostupnosť denného svetla v interiéri. Ak hodnotíme tieto straty denného svetla v dynamických podmienkach svetelnej klímy (teda nie iba v podmienkach husto zamračenej zimnej oblohy) a v čase vyučovania, nie je úbytok denného svetla natoľko výrazný, ako vychádza vo výpočte podľa normalizovaných podmienok. Tieto informácie sa v žiadnom prípade nedajú interpretovať tak, že je možné pri obnove budov základných škôl v učebniach znižovať okná, používať reflexné zasklenia a podobne. Skôr ide o to, aby v prípadoch obnovy starších budov základných škôl, v ktorých denné osvetlenie nevyhovuje, sa nepovoľovalo žiadne zhoršenie denného osvetlenia, lebo by to bolo v príkrom rozpore s možnosťami zlepšenia vlastností budovy v mnohých smeroch.

V prípadovej štúdií sa venuje pozornosť aj možnostiam zlepšenia akustickej kvality učební. Táto problematika je u nás spravidla prehliadaná. Štúdia dokumentuje, že viacerými navrhovanými úpravami je možné výrazne zlepšiť parametre priestorovej akustiky učební.

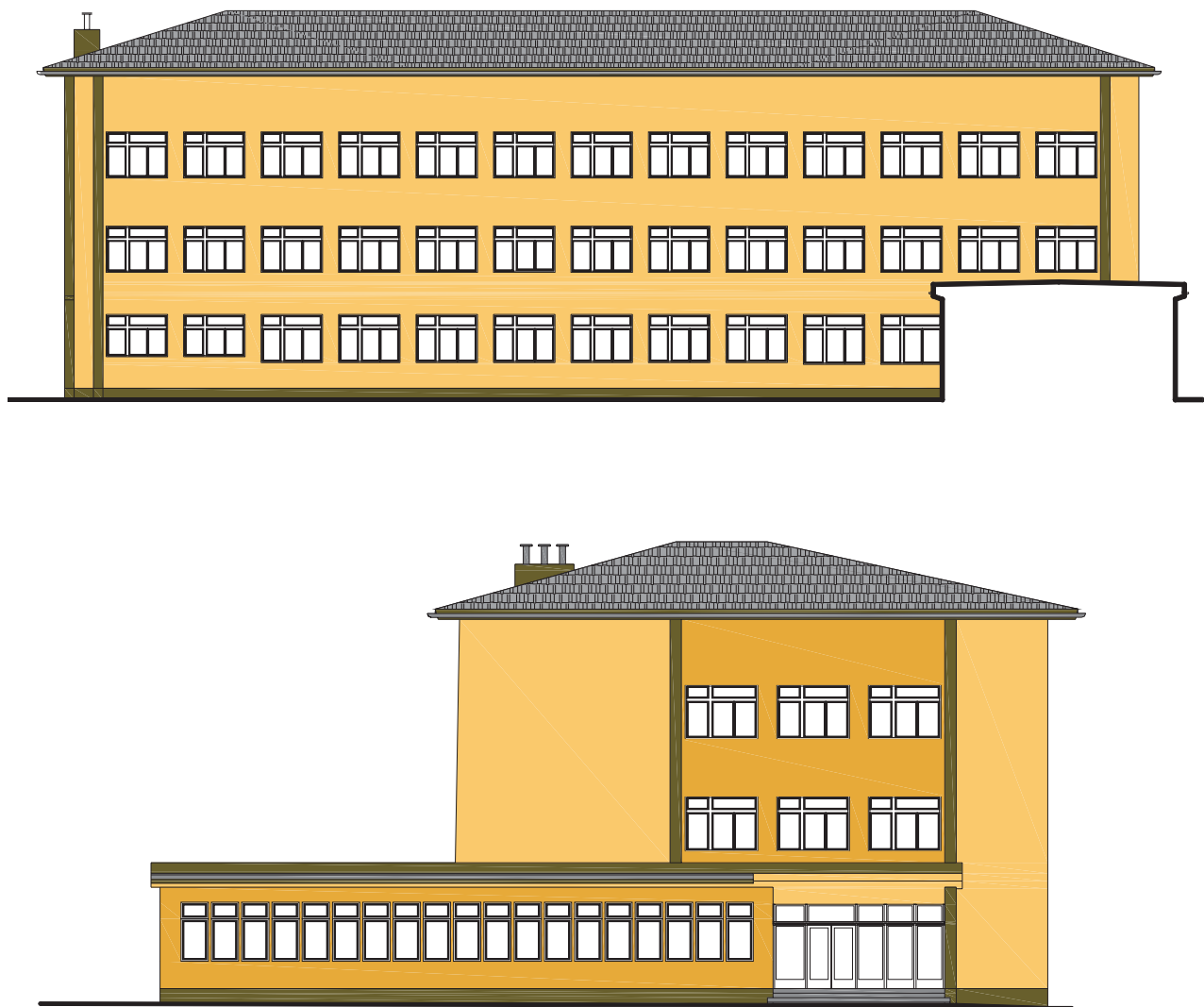
Uvádzané absolútne hodnoty potrieb energie na vykurovanie a chladenie je potrebné posudzovať iba s uvažovaním výpočtových podmienok. Režim vetrania podstatným spôsobom ovplyvňuje energetickú bilanciu. Prírodné vetranie je ťažko predvídateľné. Aj v prípade mechanického vetrania je značná neistota v spôsobe jeho prevádzkovania. Vzhľadom na dynamické zmeny počasia a spôsob využívania jednotlivých priestorov, je mimoriadne dôležitý výber techniky prostredia a jej regulácia. Jedno z možných inteligentných riešení zásobovania teplom sa prezentuje v tejto prípadovej štúdií.

Obnova budov základných škôl má okrem zlepšenia hygienickej kvality vnútorného prostredia, zvýšenia energetickej hospodárnosti a zlepšenie ich technického stavu nezanedbateľné sociálno-kultúrne efekty. Kultúrne prostredie má silu výchovne pôsobiť,

inovácie a technologicky vyspelé riešenia obnovy môžu žiaci bezprostredne zažiť a aj to prispieva k ich vzdelaniu.

Vo všeobecnosti je potrebné uviesť, že obnova budov základných škôl vyžaduje vysoko odborný, koordinovaný a integrovaný prístup jednotlivých projektantov – špecialistov. Z rozsahových dôvodov sa táto publikácia nezaobrá celou škálou problémov spojených s obnovou budov základných škôl. Na vybraných problémoch a v konkrétnych súvislostiach sa tu prezentujú charakteristické črty technicky náročnejšieho spôsobu obnovy staršieho typu základnej školy.

Pohľady na hodnotenú budovu základnej školy po navrhovanej obnove sú na obr. 10.1 (hore je pohľad z juhu a dolu z východu).



Obr. 10.1 Pohľady na budovu základnej školy po realizácii plánovanej obnovy

11. Literatúra

BALLOU, G. M.: Handbook for Sound Engineers. Focal Press, USA, 2002

CEN EN 15251: 2006 Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings – addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics. Document for formal vote.

CIBSE 1986: Internal Heat Gains. CIBSE Guide A7.

ČSN 73 0580-4: 1994 Denní osvětlení budov. Část 3: Denní osvětlení škol.

CREMER, L., MÜLLER, H.A.: Principles and Application of Room Acoustics. Vol. 1 Translated by T.J.Schultz, London : Applied Science, 1982

DALENBÄCK B.-I.: CATT-Acoustics v8, Room Acoustics Prediction and Desktop Auralization, User's Manual. Sweden, 2002

EN 13779: 2004 Ventilation for non-residential buildings – Performance requirements for ventilation and room-conditioning systems

ESRU 2001: „Data Model Summary, ESP-r“, Version 9 Series, ESRU Report, Glasgow, University of Strathclyde, Energy Systems Research Unit.

HRAŠKA, J. - ŠTUIBER, M.: Manuál výpočtového programu OSV1. Bratislava 1993.

CHMÚRNY, I.: Tepelná ochrana budov. Bratislava : Vydavateľstvo Jaga group, 2003.

KOLEKTÍV 1985: Typizačná smernica "Stredné odborné školy". Zborník technických riešení. Bratislava : Inžiniersko - projektová organizácia školských stavieb v Bratislave, (Spracované pre Ministerstvo školstva SSR.)

LARSON, G. W. – SHAKESPEARE, R.: Rendering with Radiance. San Francisco : Morgan Kaufmann Publishers, Inc., 1998.

MAEKAWA, Z., LORD, P.: Environmental and Architectural Acoustics. London : E & FN Spon, an imprint of Chapman & Hall, 1994

Nariadenie vlády Slovenskej republiky č. 269/2006 o podrobnostiach a požiadavkách na osvetlenie pri práci

Nariadenie vlády SR č. 353/2006 Z.z. o podrobnostiach o požiadavkách na vnútorné prostredie budov a o minimálnych požiadavkách na byty nižšieho štandardu a na ubytovacie zariadenia

Projekt stavby „9/14 triedna škola, opakovaný projekt“, ktorý v apríli 1959 vypracoval Krajský projektový ústav pre výstavbu miest a dedín v Žiline pre investora GIBOV Žilina.

SCHAUER, P.: Akustika. Brno : Akademické nakladatelství CERM, s r.o., 2002

Smernica Rady ministrov ES č.89/106/EHS zo dňa 21. 12. 1988 o prispôsobení právnych a správnych predpisov členských štátov vo veci stavebných výrobkov. Pozmenená smernicou č. 93/68/EHS zo dňa 22. 7. 1993 a rozhodnutím komisie č. 95/46/EHS zo dňa 10. 11. 1995.

STEENEKEN, H.J.M.: Standardisation of Performance Criteria and Assessments Methods for Speech Communication. (http://www.steeneken.nl/sti/Standardization_STI_web-site.pdf)

STERNOVÁ, Z. – BENDŽALOVÁ, J.: Nebytové budovy vo vlastníctve štátu a samospráv v číslach. Bratislava : VVÚPS – NOVA, MVRR SR, 2003

STN 73 0527: 2005 Projektování v oboru prostorové akustiky. Prostory pro kulturní a školní účely. Prostory pro veřejné účely.

STN EN ISO 3382: 2001 Akustika. Meranie času dozvuku miestností a sál s uvedením iných akustických parametrov.

STN 73 0580 – 1: 1987 Denné osvetlenie budov. Časť 1: Základné požiadavky. Zmena 2 STN 73 0580-1 s účinnosťou 1. 10. 2000.

STN 73 0540-1: 2002 Tepelnotechnické vlastnosti stavebných konštrukcií a budov. Tepelná ochrana budov Časť 1: Terminológia.

STN 73 0540-2: 2002 Tepelnotechnické vlastnosti stavebných konštrukcií a budov. Tepelná ochrana budov. Časť 2: Funkčné požiadavky.

STN 73 0540-3: 2002 Tepelnotechnické vlastnosti stavebných konštrukcií a budov. Tepelná ochrana budov. Časť 3: Vlastnosti prostredia, materiálov a konštrukcií.

STN 73 0540-4: 2002 Tepelnotechnické vlastnosti stavebných konštrukcií a budov. Tepelná ochrana budov. Časť 4: Výpočtové metódy.

STN 73 4055: 1962 Výpočet obostavaného priestoru pozemných stavebných objektov

STN EN 832 + AC: 2001 Tepelnotechnické vlastnosti budov. Výpočet potreby energie na vykurovanie. Budovy na bývanie

STN EN ISO 13370: 2001. Tepelnotechnické vlastnosti budov. Šírenie tepla zeminou. Výpočtové. metódy.

STN EN ISO 7730: 2005 Ergonómia tepelného prostredia. Analytické určovanie a interpretácia tepelnej pohody pomocou výpočtu ukazovateľov PMV a PPD a kritérií miestneho tepelného pohodlia.

Slovensko 1997. Súhrnná správa o stave spoločnosti a trendoch na rok 1998. (Inštitút pre verejné otázky , Bratislava 1998)

Vyhláška Ministerstva výstavby a regionálneho rozvoja SR č. 625/2006 Z.z., ktorou sa vykonáva zákon č. 555/2005 Z.z. o energetickej hospodárnosti budov a o zmene a doplnení niektorých zákonov

Zákon č. 555/2005 Z.z. o energetickej hospodárnosti budov a o zmene a doplnení niektorých zákonov

- Názov:* **Obnova budov základných škôl
Prípadová štúdia**
- Objednávateľ:* Ministerstvo výstavby a regionálneho rozvoja SR
Prievozska 2/B, 825 25 Bratislava 26
www.build.gov.sk
- Vydavateľ:* Ústav vzdelávania a služieb, s.r.o.
Bárdošova 33, 833 12 Bratislava, www.uvs.sk
V spolupráci so Zväzom stavebných podnikateľov Slovenska
Sabinovská 14, 821 02 Bratislava, www.zsps.sk
- Autori:* prof. Ing. Anton Puškár, PhD.
prof. Ing. Jozef Hraška, PhD.
doc. Ing. Juraj Žilinský, PhD.
Ing. Karol Macháč
Ing. Monika Pavčeková
- Spracovateľ:* Slovenská technická univerzita v Bratislave.
Stavebná fakulta
Radlinského 11, 813 68 Bratislava
- Oponenti:* Ing. Peter Matiašovský, PhD., ÚSTARCH – SAV, Bratislava
Ing. Jozef Paštrnák, projektant TZB
- Vydanie: prvé
Náklad: 500 kusov
Rok vydania: 2008

Účelová publikácia MVRR SR
Publikácia neprešla jazykovou úpravou.

© MVRR SR, Bratislava, 2008
ISBN 978 - 80 - 89073 - 16 - 0