

TOTÁLNA REKONŠTRUKCIA STRECHY VÝROBNEJ HALY POČAS PREVÁDZKY

HISTÓRIA PROBLEMATIKY OBJEKTU

Majiteľ výrobnjej haly /foto 01/ sa pred niekoľkými rokmi rozhodol pre odstránenie heraklitového podhľadu vo výrobnjej hale, pretože jeho časti začínali odpadávať do výrobnjej prevádzky. Pri odstraňovaní tohto podhľadu si všimol vlhké mapy na spodnom povrchu nosnej konštrukcie strechy, do tej doby očiam skryté nad podhľadom. Usúdil, že vzhľadom k veku strechy už jej krytina prestala plniť funkciu, a tak nechal pôvodnú krytinu z asfaltovaných pásov nahradiť pásmi novými.

Po čase sa na nás správca majiteľa objektu obrátil s prostým problémom: „Pred piatimi rokmi sme si nechali zrealizovať novú hydroizoláciu strechy, ale strechou nám neustále tečie a jej stav

sa naďalej viditeľne zhoršuje. Potrebovali by sme od vás posudok“. Je nutné podotknúť, že neriadené odkvapky zo strechy predstavovali pre majiteľa značne nežiaduci vplyv na unikátnu technológiu výroby, rozhorčenosť správcu objektu bola pochopiteľná.

Po prvotnej obhliadke na mieste nám už začínalo byť zrejmé, že nebudeme hľadať príčinu v relatívne novej hydroizolácii strechy, ktorá bola zrealizovaná kvalitne /foto 02/.

VÝCHODISKOVÝ STAV

Jedno loďová výrobnja hala pôdorysných rozmerov 104 × 15 m bola realizovaná začiatkom 2. polovice 20. storočia. Nosnú konštrukciu tvorí železobetónový skelet. Obvodové steny sú do skeletu vymurované z plných tehál. Na stĺpoch sú uložené

železobetónové priehradové väzníky, ktoré vymedzujú sedlový tvar strechy o sklone 19% /foto 03/. Na väzníkoch bola zrealizovaná subtílna tzv. Číževského doska (1), ďalej pórobetón s cementovým záterom povrchu a potom už len hydroizolačné súvrstvie. Ide teda o šikmú jednoplášťovú strechu.

(1) Číževského doska: tenkostenná železobetónová doska vlnitého profilu spodného povrchu. Hrúbka dosky v mieste medzi vlnami obvykle cca 20 mm, vystužená tenkou oceľovou sieťou. Vo vlne je uložený prút oceľovej výstuže. Realizované obvykle ako nosná konštrukcia strechy halových objektov stavaných začiatkom druhej polovice 20. storočia. Autorom konštrukčného princípu je Ing. Feodosij Číževský z vtedajšieho Výskumného pracoviska tenkostenných konštrukcií.



STRECHY BUDOV S VHLKOU VNÚTORNOU PREVÁDZKOU PATRIA MEDZI ZNAČNE NAMÁHANÉ KONŠTRUKCIE. MÔŽETE SA O TOM PRESVEDČIŤ V NÁSLEDUJÚCICH RIADKOCH, KDE VÁS ZOZNÁMIME SO SEDLOVOU STRECHOU HALY NAD NIE LEN VHLKOU, ALE AJ HLUČNOU VÝROBNOU PREVÁDZKOU. UŽ LEN SAMOTNÝ TEPELNO-TECHNICKÝ NÁVRH KONŠTRUKCIE NIE JE TRIVIÁLNY, POSUDZUJE SA NIEKOĽKO PREVÁDZKOVÝCH STAVOV V INTERIÉRI A STAVOV VONKAJŠIEHO PROSTREDIA. V DANOM PRÍPADO DO HRY VÝZNAMNE PREHOVORILI EŠTE POŽIADAVKY STAVEBNEJ AKUSTIKY A PREVÁDZKOVÉ POŽIADAVKY INVESTORA.

Skladba strechy bola upresnená realizovaním niekoľkých sond /foto 04/. Bližšou obhliadkou na mieste bola zistená pokročilá degradácia ŽB dosky /foto 05/, betón bol odobratý pre podrobnejšie posúdenie z hľadiska pevnosti a korózie výstuže. Vo vrstve pórobetónu bolo akumulované značné množstvo vody (hmotnostná vlhkosť cca 28 %, čo predstavovalo cca 18 kg vody na m²). Ďalej bola realizovaná obhliadka prevádzky a zameraná teplota a vlhkosť vnútorného prostredia.

Na základe obhliadky sme mohli formulovať skutočné príčiny nežiaducich odkvapov zo strechy do výrobnjej prevádzky:

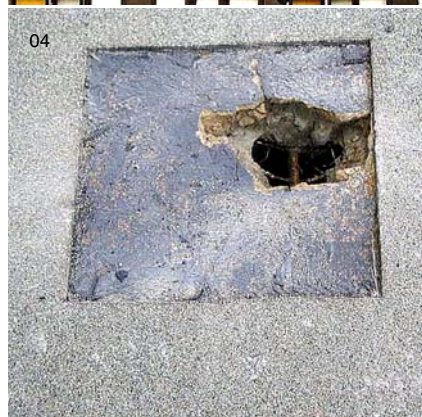
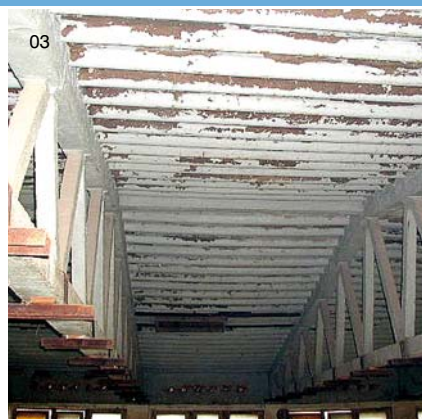
- prevádzka so značnou produkciou tepla a vlhkosti bez riadeného odvodu vzduchotechnikou, prirodzené vetranie oknami v stenách s manuálnou obsluhou a obmedzenou využiteľnosťou kvôli hluku z prevádzky výrobnjej technológie. Zistená teplota vnútorného vzduchu 25–27 °C a relatívna vlhkosť nárazovo až 80 %.
- strecha bez parotesniacej vrstvy a v podstate bez tepelnej izolácie (vrstva pórobetónu bola príliš tenká a obsahovala množstvo vody).

V dôsledku zistených skutočností dochádzalo po väčšinu roka ku kondenzácii v skladbe strechy a na

jej spodnom povrchu následne k odkvapávaniu kondenzátu do prevádzky. Je pravdepodobné, že pred zrealizovaním novej hydroizolácie strechy tiež zatekalo netesnou pôvodnou hydroizoláciou, samotná jej obnova ale nemohla viesť k vylúčeniu nežiaducich odkvapov. Konceptný návrh viedol k formulácii základných princípov nápravných opatrení s cieľom vylúčiť kondenzáciu v konštrukcii a na jej spodnom povrchu:

- doplnenie parotesniacej vrstvy a zateplenie strechy v potrebnej miere podľa parametrov vnútorného prostredia dosiahnutých opatreniami podľa ďalšieho bodu,
- riadený odvod produkovaného tepla a vlhkosti vzduchotechnikou s rekuperáciou v kombinácii s prirodzeným odvetraním.

Vzduchotechniku prevádzky majiteľ už nezávisle na riešenej problematike plánoval z hygienických dôvodov, bolo teda možné tento zámer včas skoordinať s našimi požiadavkami a pre majiteľa tak toto nepredstavovalo neočakávané investičné výdavky. Výsledkom postupnej koordinácie s projektantom vzduchotechniky bol návrh systému odsávačov produkovaného tepla a vlhkosti umiestnených tesne nad zdrojmi vo výrobnjej linke v kombinácii s návrhom priebežného uzatvárateľného otvoru pre



prirodené odvetranie v hrebeni strechy (hrebeňový svetlík). Neprijemným zistením však bol staticom potvrdený celoplošný havarijný stav ŽB dosky, a to vplyvom pokročilej karbonizácie betónu tejto subtilnej konštrukcie. Stav ostatných prvkov nosnej konštrukcie bol naopak uspokojivý.

Na základe vyššie uvedených činností realizovaných v rámci predprojektovej prípravy sme mohli formulovať konkrétne zadanie pre spracovanie projektovej dokumentácie opravy strechy:

- návrh kompletnej demontáže ŽB dosky strechy a obnovy zachovávaných nosných konštrukcií (odhad nákladov na statické zaistenie ŽB dosky významne prevyšoval náklad na jej kompletnú náhradu),
- návrh a posúdenie skladby strechy pre rôzne prevádzkové stavy vnútorného prostredia viz Tabuľka /01/,
- návrh priebežného hrebeňového svetlíka zaisťujúceho možnosť prirodzeného odvetrania do exteriéru,
- návrh konštrukcie proti šíreniu nadmerného hluku z prevádzky cez nový hrebeňový svetlík.

K týmto rýdzo technickým bodom je nutné uviesť ešte jednu okrajovú podmienku majiteľa, ktorá

významne ovplyvnila navrhnutú technológiu a postup rekonštrukcie strechy:

- realizácia rekonštrukcie strechy bez prerušenia výrobnjej prevádzky.

NÁVRH A REALIZÁCIA OPRAVY STRECHY

Požiadavka majiteľa na zachovanie výroby pri rekonštrukcii viedla k návrhu ochrannej deliacej konštrukcie pod budúcou rovinou strechy. S výhodou bola využitá priehradová konštrukcia väzníkov – na ich spodnej pásnici bola realizovaná plošná povala, pričom zostava montážna povala – väzník bola staticom overená na pád demontovaných častí ŽB dosky. Pod povalou bol zavesený trapézový plech so spádom a odvodnením k bočným stenám haly, zaisťoval bariéru proti prenikaniu prachu a prípadných zrážok do výrobnjej prevádzky v čase do zrealizovania parotesniacej a súčasne provizórnej hydroizolačnej vrstvy strechy /obr. 01/. Celá ochranná zostava bola realizovaná na veľkosť 4 polí haly a tak etapizovala postup prác. Po odstránení zánovnej hydroizolácie /foto 06/ a demontáži dosky /foto 07/ sa zrealizovalo otryskávanie a reprofiliácia priehradových väzníkov. Statické

posúdenie určilo limitované zaťaženie ponechávaných konštrukcií novým záklopom, funkčnými vrstvami skladby strechy, konštrukciou hrebeňového svetlíka s protihlukovou clonou a súvisiacim náhodilým zaťažením.

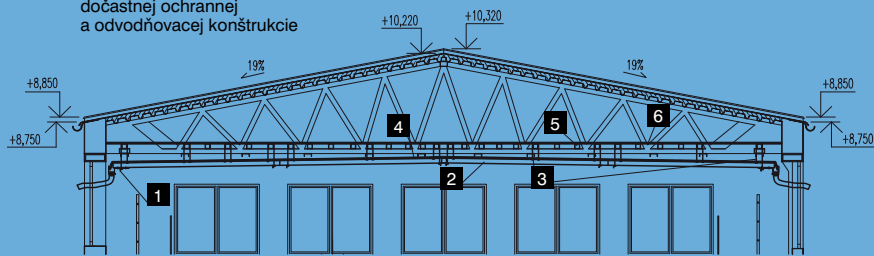
Nový záklop sa musel opätovne zaistiť zavetrovaním strechy v pozdĺžnom smere, súčasne musel byť pomerne ľahký, musel umožniť spoľahlivé zrealizovanie parotesniacej vrstvy a samozrejme musel byť ekonomicky prijateľný, preto bol navrhnutý ako spriahnutá oceľobetónová doska. Nosná konštrukcia svetlíka a protihlukové clony boli navrhnuté ako oceľové pre svoj výhodný pomer únosnosť /vlastná váha, s uchytením nad styčnikom priehrady smerom od vrcholu /obr. 02/. Záklop z trapézového plechu bol realizovaný bezprostredne po reprofiliácii väzníkov /foto 08/, nasledovala betonáž dosky /foto 09/. Na takto zrealizovaný záklop sa po nutnej technologickej prestávke navarila parotesniaca a provizórna hydroizolačná vrstva z SBS modifikovaného asfaltovaného pásu s hliníkovou vložkou ROOFTEK AL MINERAL (v detailoch nahradená pásom bez hliníkovej vložky GLASTEK 40 SPECIAL MINERAL z dôvodu spoľahlivejšieho tesného opracovania) /foto 10/.

Tabuľka 01 | Sledované požiadavky a voľba okrajových podmienok v závislosti na prevádzkovom stave

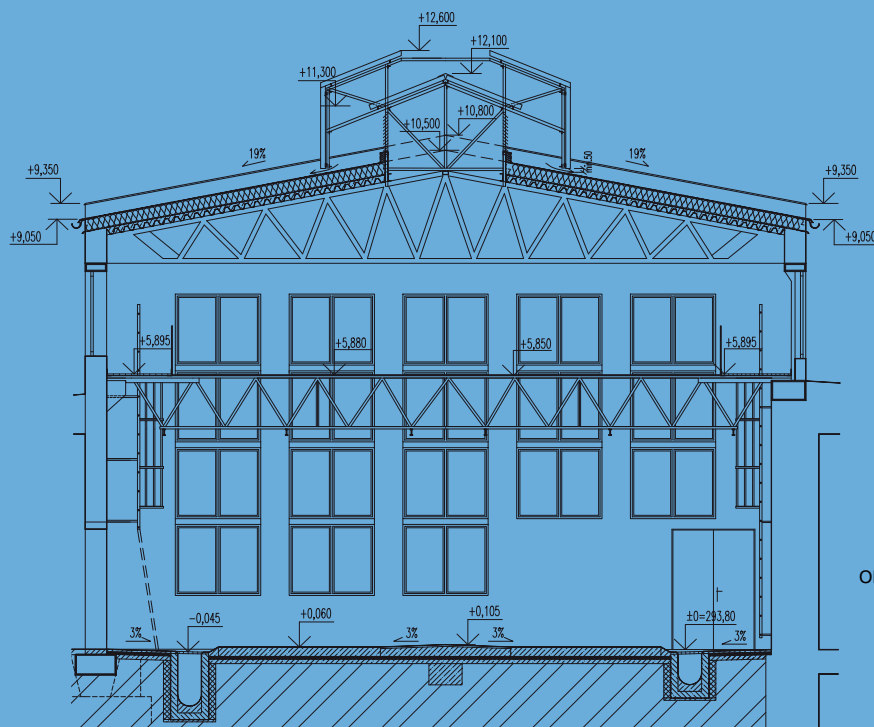
Prevádzkový stav	Sledovaná požiadavka	Vnútorné návrhové podmienky	Vonkajšie návrhové podmienky
obvyklý (prevádzka VZT)	<ul style="list-style-type: none"> • súčiniteľ prestupu tepla, • množstvo a bilancia vlhkosti, • teplota vnútorného povrchu strechy z hľadiska povrchovej kondenzácie, – teplota vnútorného povrchu strechy z hľadiska rizika rastu plesní 	18 °C, 65 + 5 %	<p>obdobie december – február: -15 °C a 84 %, pre vyhodnotenie súčiniteľa prestupu tepla, teploty vnútorného povrchu strechy z hľadiska povrchovej kondenzácie, teploty vnútorného povrchu strechy z hľadiska rastu plesní</p> <p>obdobie marec – november: návrhové priemerné mesačné hodnoty podľa STN 730540-3 pre vyhodnotenie bilancie vlhkosti a teploty vnútorného povrchu strechy z hľadiska rastu plesní</p>
havarijný (porucha VZT)	<ul style="list-style-type: none"> • teplota vnútorného povrchu strechy z hľadiska povrchovej kondenzácie 	<p>obdobie marec – november: 27 °C, 80 %</p> <p>obdobie december – február: 25 °C, 80 %</p>	<p>návrhové priemerné mesačné hodnoty podľa STN 73 0540-3 [1]</p>

Pozn.: údaje v tabuľke vychádzajú zo stavu noriem platných v dobe spracovania posudku a projektu opravy strechy

Obr. 01 | Schématický rez so zázornením dočasnej ochranej a odvodňovacej konštrukcie



- 1 | oceleové úholníky podpierajúce VSŽ plech
- 2 | VSŽ plech 10 001
- 3 | závesy z oceleových závitových tyčí
- 4 | textília na zachytávanie prachu
- 5 | trámy 150/150
- 6 | podlážka z fošien 50/200



Obr. 02 | Pričný rez halou – nový stav

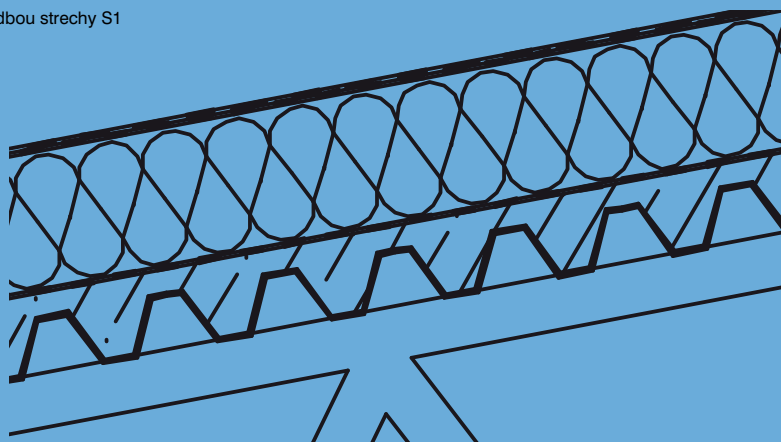




Vrstva (od exteriéru)	Účel
SBS modifikovaný asfaltovaný pás s hrubozrným ochranným bridlicovým posypom, hr. 4 mm (ELASTEK 40 ŠPECIÁL DEKOR)	2. hydroizolačná vrstva
kompletizované dielce z expandovaného stabilizovaného samozhášivého polystyrénu hr. 260 mm s nakaširovaným SBS modifikovaným asfaltovaným pásom so sklenenou vložkou hr. 3,5mm, kotvený k podkladu (POLYDEK EPS 100 S Stabil TOP)	1. hydroizolačná vrstva a zároveň tepelno-izolačná vrstva
parozábrana z bodovo navareného SBS modifikovaného asfaltovaného pásu s hliníkovou vložkou, hr. 3,5 mm (ROOFTEK Al MINERAL), v detailoch GLASTEK 40 ŠPECIÁL MINERAL	parotesniaca, provizorne hydroizolačná
ocelobetónová strešná doska z trapézového plechu VSŽ 12 004 s nadbetónovanou žel. bet. doskou	nosná

Tabuľka 02| Navrhnutá a zrealizovaná skladba S1 strechy haly

Obr. 03| Rez skladbou strechy S1



Parameter	Hodnota
súčiniteľ prechodu tepla	$U = 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
požiarna odolnosť	REI 15 DP1
požiarna klasifikácia v zmysle STN EN 13 501-5 [2]	<ul style="list-style-type: none"> v mieste požiariarne 2 m širokého deliaceho pásu $B_{\text{ROOF}}(t1)$ po obvode otvoreného svetlíka $B_{\text{ROOF}}(t3)$ (ELASTEK 40 SPECIAL DEKOR nahradený asfaltovaným pásom ELASTEK 40 FIRESTOP)

Tabuľka 03| Vybraté parametre skladby strechy

Časť strechy tak bola v tejto fáze zabezpečená proti prenikaniu zrážok, preto bolo možné ochranné pole posunúť a pokračovať vyššie uvedenými krokmi na susednú etapu.

Po zrealizovaní výmeny záklopu v celom rozsahu haly bola začatá montáž nosnej oceľovej konštrukcie hrebeňového svetlíka s protihlukovou clonou /foto 11/.

Nasledovalo zrealizovanie zateplenia strechy z kompletizovaných dielcov POLYDEK kotvených do nového záklopu a navarenie hlavnej hydroizolácie z asfaltovaného pásu ELASTEK 40 SPECIAL DEKOR. Kompletná skladba je znázornená na obr. /03/ a jej parametre uvedené v tabuľke /02 a 03/.

Finálnym krokom bolo opláštenie hrebeňového svetlíka sendvičovými panelmi a panelmi protihlukovej clony /foto 12, 13, 14/.

PODROBNEJŠIE K NÁVRHU PROTIHLUKOVEJ CLONY

Požiadavka na priame vetranie haly, ktorú sme v danom prípade museli zaistiť, býva obvykle v rozpore s požiadavkou na zaistenie dostatočného útlmu hluku

medzi zdrojom hluku (výrobnou prevádzkou) a okolitými chránenými priestormi.

V bezprostrednej blízkosti výrobnnej haly sa v tomto prípade nachádza administratívna budova spoločnosti, v okolí areálu je potom situovaná škola (chránený vonkajší priestor stavby) a športovisko (chránený vonkajší priestor). Z týchto vstupných podmienok vzišla požiadavka na zaistenie dostatočného útlmu hluku. Pri návrhu akustických opatrení sme museli prihliadať na náročné podmienky v interiéri, kde dochádza mimo produkcie tepla a vlhkosti aj k produkcii pevných prachových častíc. Na tieto okrajové podmienky bolo nutné dimenzovať akusticky účinné konštrukcie.

K vlastnému projektu rekonštrukcie strechy sme spracovali hlukový štúdiu hodnotenia možnosti zníženia prenosu hluku z výrobného procesu. Pre možnosť predikcie šírenia hluku z výrobnnej haly do okolitých chránených vonkajších priestorov a chránených vonkajších priestorov stavieb sme vo výpočtovom software vytvorili matematický model záujmového územia. Tento model



Expertní a znalecká kancelář
Doc. Ing. Zdeněk KUTNAR, CSc.
IZOLACE & KONSTRUKCE
STAVEB

OBJEKTY

bytové, občanské, sportovní,
kulturní, průmyslové, zemědělské,
inženýrské a dopravní

KONSTRUKCE

ploché střechy a terasy, střešní zahrady, šikmé střechy a obytná podkroví, obvodové pláště, spodní stavba, základy, sanace vlhkého zdiva, dodatečné tepelné izolace, vlhké, mokré a horké provozy, chladírny a mrazírny, bazény, jímký, nádrže, trubní rozvody, kolektory, mosty, tunely, metro, skládky, speciální konstrukce

DEFEKTY

průsaky vody, vlhnutí konstrukcí, povrchové i vnitřní kondenzace, destrukce materiálů a konstrukcí vyvolané vodou, vlhkostí a teplotními vlivy

POUČENÍ

tvorba strategie navrhování, realizace, údržby, oprav a rekonstrukcí spolehlivých staveb od koncepce až po detail

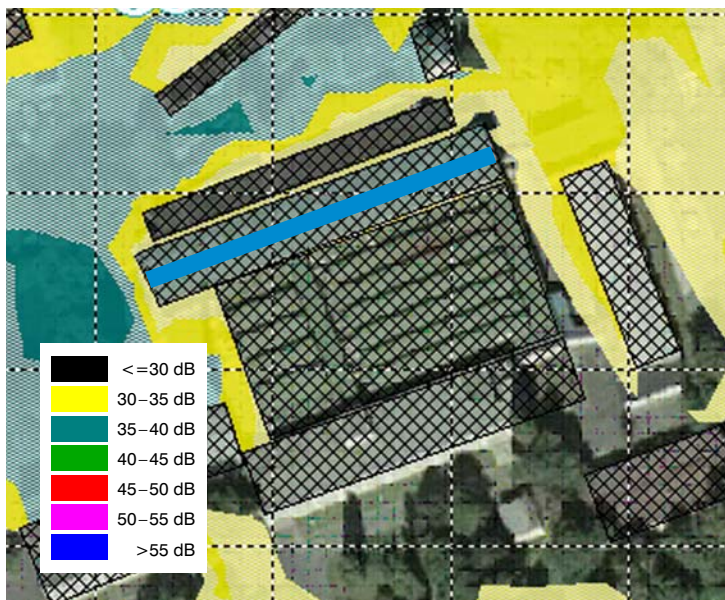
TECHNICKÁ POMOC

expertní a znalecké posudky vad, poruch a havárií izolací staveb, koncepce oprav

KONTAKTY:

KUTNAR
IZOLACE & KONSTRUKCE STAVEB
expertní a znalecká kancelář

- ČVUT Praha, fakulta architektury, Thákurova 9, 160 00 Praha 6, tel.: 224 356 304
- Stálá služba: Tiskařská 10, Praha 10, tel.: 233 333 134 e-mail: kutnar@kutnar.cz
- Operativně mobil: 603 884 984



Obr. 4 | Výpočtové rozloženie hladín hluku v území

nám umožnil realizovať simuláciu rôznych stavov šírenia hluku a zisťovať hladiny akustického tlaku A [dB] v jednotlivých bodoch pred fasádami okolitých budov a v chránených priestoroch /obr. 04/.

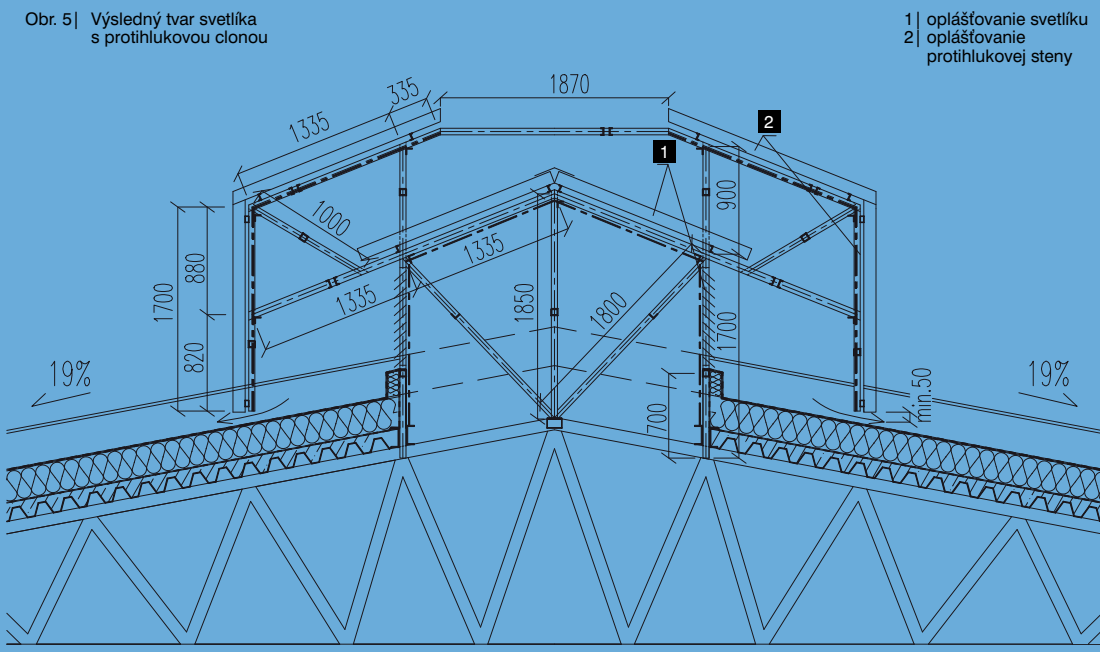
Pre možnosť regulácie priameho vetrania haly a súčasne pre čiastočné rozptýlenie akustickej energie sme navrhli vetracie otvory svetlíka opatří plechovými žalúziami. Samotný vplyv vetracích žalúzií bez akusticky pohltivých

prvkov, alebo účinného tienenia by samozrejme nebol pre zaistenie výraznejšieho zníženia prenosu hluku dostatočný. Z tohoto dôvodu sme pristúpili k návrhu akustickej clony po celej dĺžke vetracieho svetlíka. Vzhľadom k povahe rekonštrukcie a statickým požiadavkám sme museli zrealizovať návrh akustickej clony aj s ohľadom na jej nízke priráženie konštrukcie strechy pri zachovaní požadovanej účinnosti. Výsledný tvar je zrejmy z obr. /05/.

Konštrukcia akustickej clony musí poskytovať dostatočnú vzduchovú nepriezvučnosť najmenej v úrovni požadovaného vloženého útlmu. Ďalej musí byť konštrukcia na strane smerujúcej k zdroju hluku opatrená akusticky pohltivou úpravou, aby nedochádzalo k odrazom dopadajúcej akustickej energie a tým k zvyšovaniu celkovej hladiny akustického tlaku A [dB] v priestore svetlíka. Princíp akustickej clony je možné zhrnúť do nasledujúcej skladby (od zdroja zvuku):

- ochranná vrstva,
- akusticky pohltivá vrstva,
- akusticky tieniaca vrstva – nepriezvučná vrstva.

Obr. 5 | Výsledný tvar svetlíka s protihlukovou clonou



- 1 | oplášťovanie svetlíku
- 2 | oplášťovanie protihlukovej steny

Pre plochu akustickej steny sme nakoniec vybrali prefabrikované panely určené k použitiu do vonkajšieho prostredia, s hrúbkou minerálnej izolácie 100 mm. Výhodou použitia izolácie s vyššou hrúbkou je skutočnosť, že vykazujú vyššie hodnoty akustickej pohltivosti aj v nižších kmitočtových pásmach (v oktávových pásmach so strednými kmitočtami 125 Hz a 250 Hz). Skladba použitých akusticky pohltivých panelov je nasledujúca (od zdroja hluku):

- ochranná vrstva: dierovaný oceľový plech,
- akusticky pohltivá vrstva: minerálna izolácia hr. 100 mm,
- akusticky tieniaca vrstva – nepriezvučná vrstva: plný oceľový plech.

Jednotlivé panely boli montované na priehradovú oceľovú konštrukciu vytvorenú okolo hrebeňového svetlíka. Pre zaistenie odtoku vody z priestoru svetlíka sme navrhli ponechať medzi bočnou stenou panelov a rovinou strechy škáru o výške cca 50 mm. Toto opatrenie malo samozrejme negatívny vplyv na vložený útlm hluku navrhnujej akustickej clony, vzhľadom

k rozmeru škáry sa ale nejednalo o podstatné zhoršenie akustických parametrov clony.

Účinnosť navrhnujej akustickej clony sme overili výpočtom v rámci spracovávanej hlukovej štúdie pre stavebné povolenie /obr. 06/. Po dokončení rekonštrukcie strechy vrátane realizovaného svetlíka bola účinnosť navrhnutého akustického opatrenia overená praktickým meraním hluku v rámci kolaudačného konania s pozitívnym výsledkom. Meraním bolo potvrdené, že pri otvorení vetracích otvorov dochádza k nárastu hluku v okolitých priestoroch najviac o niekoľko desiatín decibelov.

Realizovanú opravu strechy aj naďalej sledujeme. V súčasnej dobe začína majiteľ objektu riešiť nápravné opatrenia tiež na konštrukcii stien, vychádza pri tom opätovne z odborného posudku Ateliéru DEK. Veríme, že realizáciu tohoto opatrenia si budeme môcť predstaviť v niektorom z budúcich čísel.

<Jan Matička>
<Jan Pešta>
<Helena Pavelková>
<Marek Farárik>

Literatura

- [1] súbor noriem STN 73 0540 (73 0540) Tepelnotechnické vlastnosti stavebných konštrukcií a budov. Tepelná ochrana budov
- [2] súbor noriem STN EN 13 501 (92 0850) Klasifikácia požiarnych charakteristík stavebných výrobkov a prvkov stavieb.

Podklady:

Odborný posudok, projektová dokumentácia, hluková štúdia, autorský dozor : DEKPROJEKT s.r.o. Statika: Ing. Jiří Kohout a DEKPROJEKT s.r.o.

Obr. 6| Schéma šírenia hluku cez svetlák s akustickou clonou

