

Redakční rada, *nositelka ceny ČSAV 1986 za vynikající výsledky v popularizaci vědy a československého základního výzkumu*

† Doc. Ing. Dr. L. Oppl, CSc. (vedoucí redaktor) — Ing. V. Bašus (výkonný redaktor) — Doc. Ing. Dr. J. Cihelka — V. Fridrich, dipl. tech. — Doc. Ing. V. Chalupová, CSc. — Ing. arch. L. Chalupský — Doc. Ing. J. Chyský, CSc. — Ing. B. Jelen — Ing. L. Kubíček — Ing. Dr. M. Lázňovský — Ing. L. Strach, CSc. — Doc. Ing. J. Valchář, CSc.

Adresa redakce: Dvorecká 3, 147 00 Praha 4

## OBSAH

† Doc. Ing. Dr. L. Oppl, CSc.:	Péče o životní prostředí v ČSSR . . . . .	129
Doc. Ing. Dr. J. Cihelka:	Energetické fasády . . . . .	133
Ing. P. Janeček, CSc.:	Aplikace modelu založeného na kombinaci přímého a difúzního zvukového pole v průmyslových prostorech . . . . .	147
PhDr. A. Hladký, CSc.:	Nespokojenost s klimatizací. Psychologické příčiny . . . . .	159
M. Adamovský, A. Svoboda:	Aerace provozů s neustáleným provozním režimem . . . . .	173
Ing. M. Horák, CSc.:	Matematická simulácia zanášania výmenníka tepla počas prevádzky a čistenie výmenníkov . . . . .	185

## CONTENTS

† Doc. Ing. Dr. L. Oppl, CSc.:	The care of the environment in Czechoslovakia . . . . .	129
Doc. Ing. Dr. J. Cihelka:	Energetic fasades . . . . .	133
Ing. P. Janeček, CSc.:	The application of the model based on a combination of the direct and diffusion sound fields in industrial rooms . . . . .	147
PhDr. A. Hladký, CSc.:	The dissatisfaction with an air conditioning . . . . .	159
M. Adamovský, A. Svoboda:	The aeration of workshops with the unsteady operating regime . . . . .	173
Ing. M. Horák, CSc.:	The mathematical simulation of the fouling of the heat exchanger during its operation and cleaning of heat exchangers . . . . .	185

## СОДЕРЖАНИЕ

† Доц. Инж. Д-р Л. Оппл, к.т.н.:	Забота о окружающую среду в Чехословакии . . . . .	129
Доц. Инж. Д-р Я. Цигелка:	Энергетические фасады . . . . .	133
Инж. П. Янечек, к.т.н.:	Применение модели основанной на комбинации прямого и диффузионного полей в промышленных пространствах . . . . .	147
Д-р фил. А. Гладки, к.т.н.:	Недовольство с кондиционированием воздуха: Психологические причины . . . . .	159
М. Адамовски, А. Свобода:	Аэрация цехов с непостоянным режимом работы . . . . .	173
Инж. М. Горак, к.т.н.:	Математическая симуляция занесения теплообменников во время эксплуатации и очистка теплообменников . . . . .	185



## INHALT

† Doz. Ing. Dr. L. Oppl, CSc.:	Umweltfürsorge in der Tschechoslowakischen Sozialistischen Republik . . . . .	129
Doz. Ing. Dr. J. Cihelka:	Energetische Fassaden . . . . .	133
Ing. P. Janeček, CSc.:	Applikation eines auf der Kombination eines Direkt- und Diffusionsschallfeldes in den Industrieräumen beruhenden Modells . . . . .	147
PhDr. A. Hladký, CSc.:	Unzufriedenheit mit der Klimatisierung: Psychologische Ursachen . . . . .	159
M. Adamovský, A. Svoboda:	Lüftung der Betriebe mit dem instationären Regime . . . . .	173
Ing. M. Horák, CSc.:	Mathematische Simulation der Verstopfung eines Wärmeübertragers im Laufe des Betriebes und die Reinigung der Wärmeübertrager . . . . .	185



## SOMMAIRE

† Doc. Ing. Dr. L. Oppl, CSc.:	Soin de l'environnement dans la République tchécoslovaque socialiste . . . . .	129
Doc. Ing. Dr. J. Cihelka:	Façades énergétiques . . . . .	133
Ing. P. Janeček, CSc.:	Application d'un modèle fondé sur la combinaison d'un champ sonore direct et diffus dans les espaces industriels . . . . .	147
PhDr. A. Hladký, CSc.:	Mécontentement avec la climatisation: Causes psychologiques . . . . .	159
M. Adamovský, A. Svoboda:	Aéragé des exploitations avec le régime non-stationnaire . . . . .	173
Ing. M. Horák, CSc.:	Simulation mathématique du bouchement d'un échangeur de chaleur en cours de l'exploitation et le nettoyage des échangeurs . . . . .	185

## PÉČE O ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ V ČSSR

† Doc. Ing. Dr. LADISLAV OPPL, CSc.

*Institut hygieny a epidemiologie, Praha*

*Tento úvodník doc. Oppl již nedokončil. Přípravenou část otiskujeme na jeho památku bez úpravy.*

§ *Tvorba a ochrana životního prostředí v ČSSR se posuzuje jako část životní úrovně a patří proto k nejzávažnějším celospolečenským úkolům. Přitom je to úkol neobyčejně obtížný, neboť ČSSR je zemí vysoce industrializovanou, s intenzivní zemědělskou výrobou, s velkou frekvencí dopravy a se stále rostoucí urbanizací. Obtížnost úkolů péče o životní prostředí v ČSSR vyplývá z palivoenergetické základny, kterou tvoří převážně tuhá paliva, především hnědé uhlí s vysokým obsahem popela a síry. Přitom náš průmysl pracuje s řadou technologií, které jsou velmi náročné na primární energetické zdroje. Podle různých mezinárodních statistických údajů se ČSSR řadí na 3. místo ve světě spotřebou primárních zdrojů na 1 obyvatele, a to za USA a Kanadu (10 t měrného paliva na 1 obyvatele) spotřebou 7 t měrného paliva na 1 obyvatele<sup>1)</sup>.*

*Pokud jde o zásobování vodou, na území Československa máme jen horní a střední toky řek a jsme téměř výhradně odkázáni na vodu spadlou ve formě atmosférických srážek. Vodní fond v přepočtu na jednoho obyvatele je z hlediska množství jeden z nejmenších v Evropě. Máme sice tisíce vodoteší a vodních nádrží, ale porovnáme-li množství vody v nich s vodstvy jiných zemí, zjistíme, že jsme na vodu poměrně chudí. Nejvodnatější veletok patří ČSSR jen 172 km svého toku. Význam mají velké údolní přehradní nádrže, zejména Lipno (48,70 km<sup>2</sup>), Orlik, Orava a rybníky o celkové výměře 520 km<sup>2</sup>, z nich největší Rožmberský má plochu 4,89 km<sup>2</sup>. Přírodní jezera, např. Čertovo na Šumavě s plochou 0,2 km<sup>2</sup> a Štrbské pleso ve Vysokých Tatrách s rozlohou 0,16 km<sup>2</sup>; nejsou plošně srovnatelná s jinými evropskými jezery, jako např. s Balatonem o 600 km<sup>2</sup>, s Nežiderským jezerem (322 km<sup>2</sup>) a dalšími.*

*Závažné problémy jsou spojeny s odstraňováním tekutých i tuhých odpadů, jejichž produkce narůstá. Současně se změnila proti dřívější době kvalita tuhých odpadů, v nichž převládají podíly prakticky nerozložitelné, jako jsou plastické hmoty, sklo, velkoobjemový odpad ze stavebnictví, popílek a škvára ze spalování paliv. Další problémy jsou v ochraně půdy a zhodnocování krajiny, způsobované povrchovou těžbou, velkoplošným způsobem obhospodarování pozemků, nevhodnými melioracemi, vytvářením divokých skládek a zvyšující se erozi půdy.*

*Politické a státní orgány ČSSR věnují proto*

*ochraně životního prostředí mimořádnou pozornost v celém komplexu opatření, včetně mezinárodní spolupráce.*

*Na úseku legislativním nemáme sice dosud základní zákon pojednávající přímo a jen o péči o životní prostředí, ale příslušná ustanovení jsou obsažena v zákonech, vládních nařízeních, vyhláškách a směrnicích o jednotlivých složkách životního prostředí a v zákoně č. 69/1967 Sb. o národních výborech ve znění zákona č. 31/1983 Sb. a jeho novelizace z 1. 7. 1988. Podle § 2 citovaného zákona národní výbory zabezpečují komplexní ekonomický a sociální rozvoj svých územních obvodů a § 18 stanoví, že předním úkolem při zabezpečování tohoto rozvoje je zejména péče o tvorbu a ochranu životního prostředí.*

*Obecné zásadní požadavky na tvorbu a ochranu zdravých životních podmínek byly stanoveny zákonem č. 20/1966 Sb., o péči a zdraví lidu a vyhláškou ministerstva zdravotnictví č. 45/1966 Sb., o vytváření a ochraně zdravých životních podmínek ve znění zákona České národní rady č. 146/1971 Sb., příloha B, položka 16.*

*V Hlavních směrech hospodářského a sociálního rozvoje ČSSR na léta 1986–1990 a výhledu na období do roku 2000, přijatých XVII. sjezdem Komunistické strany Československa, je úkolům ochrany životního prostředí věnována samostatná kapitola XI, která řadí tyto úkoly mezi klíčové otázky zvyšování životní úrovně občanů.*

*Dne 26. 7. 1988 projednala a schválila federální vláda ČSSR návrh státní koncepce tvorby a ochrany životního prostředí a racionálního využívání přírodních zdrojů v Československu do r. 2000. Koncepce jednoznačně stanovuje dva základní cíle:*

- zásadně a bez výjimek napříště nedovolit, aby se realizace nových investic, modernizace a rekonstrukce základních fondů uskutečňovala bez současného vyřešení jejich vlivu na životní prostředí*
- u existujících zdrojů znečištění neodkladně budovat zařízení na ochranu čistoty vody a ovzduší a zařízení pro zneškodňování, likvidaci či zpracování odpadů.*

<sup>1)</sup> *Podle nejnovějších údajů je ČSSR se spotřebou 6,8 tmp na obyvatele na 4. místě za USA, Kanadou a NSR.*

Vláda rozhodla, že přijatá státní koncepce se stane závazným podkladem pro práce na směrnicí 9. pětiletky, uložila vypracovat a od příští pětiletky zavést finančně ekonomické nástroje, které povedou k podpoře tvorby a ochrany životního prostředí a zvýší potřebu zákona o životním prostředí.

Jaká je situace v hlavních složkách životního prostředí v ČSSR a jaká opatření se provádějí ke zlepšení současného stavu:

## 1. Ovzduší

Znečišťování ovzduší je jedním z nejzávažnějších problémů péče o prostředí v ČSSR. Spotřeba energie z primárních zdrojů vzrostla ze 2,4 miliónu tun měrného paliva v roce 1946 na 87,6 mil. t v roce 1970 a na více než 100 mil. t v současné době. Produkce surového železa vzrostla z 1,6 mil. t na 9,5 mil. t v r. 1979 a výroba oceli z 2,6 mil. t na 14,8 mil. t v témže období. Spalovací procesy výrazně převažují nad ostatními zdroji znečišťování ovzduší, což je dáno skladbou zdrojů energie a obsahem popelovin a síry v našich palivech. Obsah popelovin se u méně kvalitních druhů hnědého uhlí pohybuje kolem 25 až 30 %, někdy i více a obsah síry je v rozmezí 1,5 až 3,5 % a v některých případech i přes 5 %. Situaci v imisních hodnotách zhoršují nepříznivé klimatické podmínky pro rozptýl škodlivin v atmosféře (inverze) a dálkový přenos těchto látek ze sousedních průmyslových států.

Z přehledu podílu hlavních zdrojů na emisích v ČSSR vyplývá, že v plynných emisích z průmyslu a energetiky vedle dominantního oxidu siřičitého je významný podíl oxidů dusíku.

Základním legislativním opatřením v péči o čistotu ovzduší je zákon č. 35/1967 Sb. o opatřeních proti znečišťování ovzduší, ve znění vyplývajícím ze zákona České národní rady č. 146/1971 Sb. příloha B položka 17 až 19. Podle tohoto zákona působí při národních ministerstvech lesního a vodního hospodářství a dřevozpracujícího průmyslu Česká a Štátní v (SSR) technická inspekce ochrany ovzduší. Tyto inspekce vykonávají kontrolní činnost nad zařízeními na ochranu čistoty ovzduší od jejich projekce až po provoz, kontrolují množství úletu škodlivin, pomáhají organizacím při řešení technických otázek a národním výborům při ověřování údajů znečišťovatelů a při vyměřování poplatků a ukládání pokut. Přitom spolupracují s orgány hygienické služby. Příloha k zákonu č. 35/67 stanoví přípustné emisní limity v závislosti na druhu škodliviny a výšce komína. Za překročení těchto limitů platí organizace poplatek, z něhož 40% připadá ministerstvu lesního a vodního hospodářství a dřevozpracujícího průmyslu a 60% je příjmem národních výborů a slouží ke zmírnění

negativních vlivů emisí, jako např. pro výsadbu zelené a zvýšené nároky na čištění ulic a veřejných prostranství. Za neplnění uložených opatření a nesprávný provoz odlučovacího zařízení ukládají národní výbory na návrh ČTIO či ŠTIO pokuty organizaci a též odpovědnému pracovníkovi, který porušení povinnosti zavinil. Citovaný zákon č. 35/67 je v novelizaci.

Péče o čistotu ovzduší je určena směrnici min. zdravotnictví ČSR — hlavního hygienika č. 58/181 Sb. hygienických předpisů, o zásadních hygienických požadavcích, o nejvyšších přípustných koncentracích nejzávažnějších škodlivin v ovzduší a o hodnocení stupně jeho znečištění, reg. v části 14/1981 Sb. Nejvyšší přípustné koncentrace jsou udány dvoje: průměrné dvacetičtyřhodinové a krátkodobé, třicetiminutové. Např. pro poletavý netoxický prach bez biologicky aktivních složek platí hodnoty 150  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  a 500  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Stejně hodnoty platí i pro oxid siřičitý. Pro prach je dále uvedena roční průměrná hodnota 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  a pro oxid siřičitý 60  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Obě tyto hodnoty jsou doporučeny.

Aby se předešlo nadměrnému překročování nejvyšších přípustných koncentrací škodlivin v přízemní vrstvě atmosféry při nepříznivých meteorologických situacích se stagnací proudění a nepříznivými rozptylovými podmínkami, byl v exponovaných oblastech zaveden automatizovaný signální systém pracující s čs. monitory, které kontinuálním odběrem vzorků ovzduší hodnotí obsah hlavních plynných škodlivin. Při nepříznivé meteorologické situaci a dosažení či překročení určitých koncentrací  $\text{SO}_2$  se vyhlásují regulační stupně. Regulační opatření 1. stupně zahrnuje snižování emisí u stacionárních zdrojů, zejména omezením jejich provozu a spalováním kvalitnějších paliv. Regulační opatření 2. stupně zahrnuje zákaz provozu motorových vozidel v osobním vlastnictví a omezení provozu motorových vozidel organizací. Automatizovaný imisní monitorovací systém byl zaveden v r. 1981 v Severočeské hnědouhelné pánvi, později na Ostravsku a v Bratislavě a v letošním roce se zavádí v Praze.

Rozhodující ve snižování emisí jsou technická opatření.

V ČSSR se postupuje těmito směry:

1. Změna palivoenergetické základny a vhodná distribuce paliv.

Sem patří v prvé řadě výstavba jaderných elektráren, které v současné době pokrývají asi 24 % celkové výroby elektrické energie v ČSSR. Ve vytápění sídlišť, měst a závodů se nahrazují tuhá a kapalná paliva zemním plynem, v historických centrech měst a v některých místech v přírodních chráněných oblastech se přechází na vytápění elektrické. Rozšiřuje se využití solární energie, zejména pro přípravu teplé užitkové vody. Pro krytí energetických špiček se připravuje výstavba dalších hydroelektráren.

Rozšiřuje se centralizované zásobování teplem, při němž zdroj tepla je mimo sídelní útvar. Příkladem je elektrárna Mělník 3 určená pro dálkové zásobování Prahy teplem. Některé parní elektrárny se rekonstruují na teplárny a i u nových jaderných elektráren se bude využívat teplo pro dálkové vytápění měst, např. v budované elektrárně Temelín v jižních Čechách.

## 2. Racionalizace spotřeby paliv a energie

Z ekologického hlediska je racionalizace a úspory paliv a energie významným opatřením, neboť palivo, které se nemusí spálit je nejlepším příspěvkem k ochraně ovzduší. Usilujeme o snížení energetické náročnosti průmyslové výroby v široké míře se uplatňuje zpětné získávání tepla, snižování tepelných ztrát budov, zvýšení hospodárnosti výroby energie apod.

## 3. Odlučování tuhých a zachycování plyných škodlivin

V ČSSR se vyrábějí odlučovače a průmyslové filtry vysoké účinnosti, jimiž lze úspěšně řešit čištění plynů od tuhých příměsí. Tepelné elektrárny jsou vybaveny elektrickými odlučovači, jejichž odlučivost dosahují hodnot až 99 % při správné obsluze a údržbě. Běžná provozní odlučivost je vždy nižší. Podobně v cementárnách při výrobě slínku v krátkých rotačních pecích s výměníky tepla garantuje náš výrobce úlet slínku za elektrickými odlučovači hodnotou 50 mg/m<sup>3</sup>. Skutečné úlety se zvyšují při každém najždění pece po odstávce, neboť dokud spaliny nedosáhnou správnou teplotu nelze zapnout proud do elektrického odlučovače. Vysokého stupně vyčištění plynů se dosahuje kapsovými textilními filtry, které čistí na koncentrace 1 mg/m<sup>3</sup> i nižší. Zvyšujícími se odlučivostmi se dosáhlo, že přes narůstající počet zdrojů emisí se celkový úlet tuhých příměsí nezvětšoval.

Podstatně nepříznivější situace je u plyných emisí, zejména u oxidu siřičitého. Snižování imisních koncentrací na únosné hodnoty se dosahuje vysokými komíny a rozptylem škodlivin v ovzduší, což v kopcovitém terénu není vyhovující. Poškození lesů v horních pásmech hor v severních Čechách to dokazuje. Proto bylo přikročeno k výstavbě zkušebního odsiřovacího zařízení na 1. bloku elektrárny Tušimice II. Zařízení pracuje s regenerativní magnezitovou metodou. Produktem odstředění je kyselina sírová. Zařízení je v ověřovacím provozu a termín uvedení do řádného provozu se předpokládá

v polovině příštího roku. Po odzkoušení bude tento systém rozšířen na další bloky. Koncem července letošního roku byl podepsán kontrakt se západoněmeckými firmami Saarberg, Hölter a Lurgi na výstavbu odsiřovacího zařízení využívajícího metodu mokré vápencové vypírky, při níž je produktem odstředění sádrovec. Výstavba se uskuteční při padesátiprocentním podílu československých dodávek na jednom bloku elektrárny Počerady. Bylo zahájeno též jednání mezi Přerovskými strojírnami a zmíněnými západoněmeckými firmami o vytvoření společného podniku, který by dodával odsiřovací zařízení pro další elektrárny a teplárny a také na třetí trhy.

Další možností snížení emisí siry spatřujeme ve výstavbě fluidních kotelů s odsiřováním spalin. V tomto smyslu byla podepsána předběžná dohoda o kooperaci se západoněmeckou firmou Deutsche Babcock. Pro kotle malých a středních výkonů, používaných pro vytápění, se zkouší polosuchá metoda, při níž procházejí spaliny rozprašovací sušárnou, kde přicházejí do styku s vápenným mlékem. Vzniká sýran vápenatý, který se zachycuje v odlučovací zařízením ze sušárnou.

Realizace všech opatření ke snížení emisí siry se v ČSSR provádí v rámci plnění mezinárodní dohody, na kterou Československo přistoupilo a podle níž se má do roku 1995 snížit emise oxidu siřičitého o 30 % proti stavu roku 1980.

V prašnosti ovzduší v přízemní vrstvě atmosféry hraje významnou roli sekundární prašnost od malých zdrojů s nízkými komíny, jako jsou v průmyslu různá odsávací zařízení. Dále sem patří prašnost způsobená znovuzviřováním usazeného prachu dopravou a větrem. Sekundární prašnost znehodnocuje efekt dosahovaný nákladnými odlučovacími zařízeními u velkých zdrojů prachu. Příkladem je zkušenost z jedné cementárny se dvěma rotačními pecemi s výměníky tepla, kde po instalaci nových elektrických odlučovačů s předřazenými stabilizátory teplot se snížil úlet prachu při správném provozu odlučovačů asi na desetinu proti předchozímu stavu. Vlivem sekundárních zdrojů však hodnoty spadu prachu v okolí cementárny neklesly více než na polovinu. Na sympoziu „Ochrana životního prostředí — mezinárodní úkol“, které se konalo v roce 1985 uvedl prof. Johann, že v železářském a ocelářském průmyslu v NSR byly možnosti dalšího snižování emisí prachu od primárních zdrojů prakticky vyčerpány v polovině sedmdesátých let. Další snižování imisních hodnot je tedy možné dosáhnout jen snížením prašnosti ze sekundárních zdrojů.

říjen 1988

## ● Banka vzorků životního prostředí

V r. 1985 byla v Západním Berlíně založena banka životního prostředí. Otcové této myšlenky byli prof. F. Korte ze Společnosti pro výzkum záření a životního prostředí v Mnichově a F. Coulston z USA. Realizace se ujalo Spolkové ministerstvo pro výzkum a technologii. Banka má pro budoucnost systematickým zkoumáním životního prostředí umožnit fundované výpovědi ke stávajícím i očekávaným zátěžím prostředí chemikáliemi.

Dnes je na trhu cca 100 000 chemikálií a ročně jich přibývá kolem 1 000. O účincích většiny těchto látek na životní prostředí nevíme nic. Zejména naléhavé jsou tyto dosud zdaleka nezodpovězené otázky:

- kde se ukládají tyto látky a kde se obohacují;
- jaké mají dlouhodobé účinky na člověka a životní prostředí;
- na jaké jiné látky se přeměňují a za jak dlouho;
- vznikají také toxické substance, které jsou pak stabilní?

K řešení těchto a mnoha jiných otázek bylo nutné, aby spolupracovala řada odborných disciplín jako např. lékaři, chemici, biologové fyzikové, výzkumníci půdy, statistikové aj. Brzy by mohlo totiž dojít k tomu, že bychom již nebyli schopni řešit všechny ty komplexní otázky, které vzniknou v této souvislosti. Dnes také ještě nevíme, které nové problémy vyvstanou v nejbližších létech nebo desetiletích a proto vznikla myšlenka vybudovat sbírky, které by uchovaly pokud možno v nezměněné formě biologické vzorky a vzorky půdy jako podklad pro pozdější vědecké a praktické práce.

kkt 2/88

(Ku)

## ● Ozónem proti zápachu

Člověk reaguje mimořádně citlivě na všechny zápachy. Průmyslová a jiná lidská činnost představuje dnes velké množství zdrojů zápachu. Maskování pachů příjemně vonícími látkami ve většině případů nestačí — emise zápachu musí být na místě zachyceny a zneškodněny.

Jako příklady zdrojů silného zápachu lze uvést: čistírny odpadních vod, jatka, masný a rybný průmysl, chemické závody, slévárny, papírny, pražírny kávy, kuchyně aj. Nejčastějšími zapáchajícími látkami jsou aminy, sloučeniny síry, mastné kyseliny, ketony a estery.

Při potlačování zápachu se prakticky používá těchto pět způsobů:

- minimalizace tvorby zapáchajících látek a omezování kontaminovaného vzduchu;
- maskování překrýváním příjemnými pachy;
- selektivní odstraňování absorpcími a

adsorpčními látkami — tyto látky jsou na druhé straně výbornou živnou půdou pro mikroorganismy;

- biologické odbourávání;
- likvidace chemickými nebo tepelnými procesy, přitom se ničí mikroorganismy a viry.

Skutečné čistící procesy znečištěného vzduchu jsou jen takové, které pach ze vzduchu zachytí a zneškodní. Přednost z ekonomického hlediska mají tepelné, chemické nebo biologické procesy.

Chemický proces musí zneškodnit řadu organických, bakteriálních i virových substancí. K tomu se nejlépe hodí oxidační prostředky, především ozón. Ozónový čistící proces, odkoukaný jako mnoho jiných od přírody, pozůstává ze dvou kroků:

- oxidace ozónem;
- absorpce do vody.

Současné použití obou způsobů čištění dává výborné výsledky. Ozón oxiduje rychle většinu zapáchajících látek: olefiny, aminy, sloučeniny síry aj. a adsorpcí doplňuje a zesiluje jeho účinek, zejména u čpavku a mastných kyselin. Při reakci s ozónem nevznikají žádné halogenové organické látky, mikroorganismy a viry se prakticky zcela zneškodní. Ozón může, na rozdíl od chlóru, být vyráběn přímo na místě a jeho výroba, v případě potřeby ihned a automaticky přerušena.

Příkladem takového zařízení používaného s úspěchem po více než 15 let v čistírně odpadních vod a později i v jiných provozech je zařízení AIROZON vyráběné firmou Christ, NSR. Zařízení sestává z ozónového generátoru velkého výkonu (díky chlazení) a absorpčního zařízení s kolonami s náplní tělísk, kde se absorbují škodliviny nasycené ozónem při průtoku prací vodou optimální hodnoty pH. Prací kapalina, rovněž nasycená ozónem absorbuje i látky ve vodě nerozpustné a nersázlivé. Produkce ozónu je automaticky řízena podle potřeby a tak je provoz zařízení bezpečnější a hospodárnější.

V některých případech, k zachycení látek, které reagují na ozón pomalu, lze účinnost zařízení zvýšit připojením filtru s aktivním uhlím. Aktivní uhlí současně zachycuje přebytek ozónu, takže lze pracovat s jeho vyššími koncentracemi.

CCI 2/88

(Ku)

## ● Průhledné solární články

Japonská firma SANYO Electric vyvinula průhledné solární články, které lze vsadit do okna. Jedná se o amorfní materiál, který vyrábí elektřinu, ale přitom propouští sluneční světlo. Podle sdělení, provádí firma průzkum trhu z hlediska možného použití.

CCI 3/87

(Ku)

## ENERGETICKÉ FASÁDY

DOC. ING. DR. JAROMÍR CIHELKA

V článku je uveden postup výpočtu energetických fasád pro zachycování energie slunečního záření při zimním vytápění a pro odvádění vnější tepelné zátěže při letním chlazení. Na základě rozboru tepelné bilance jsou odvozeny hlavní zásady pro navrhování energetických fasád.

*Recenzoval: Vladimír Fridrich, dipl. tech.*

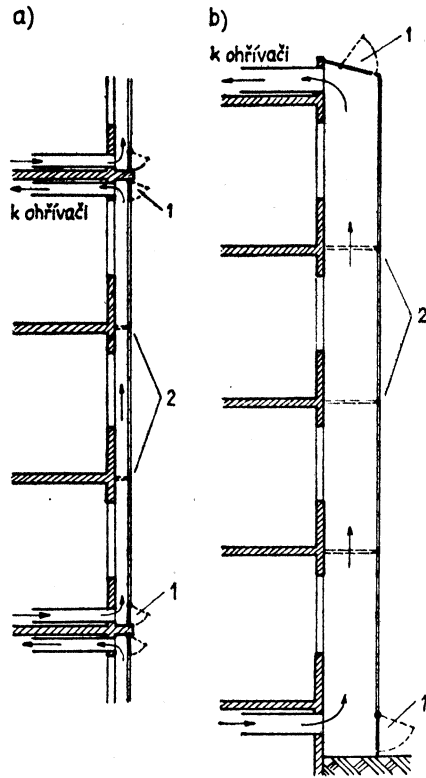
Energii slunečního záření lze pro účely vytápění zachycovat také pomocí tzv. energetických fasád. V podstatě jde o jednoduché vzduchové kolektory na osluněné straně budov, vytvořené tak, že se před normální fasádu zavěsí transparentní skleněná deska. Vzduch proudící dutinou mezi sklem a vlastní fasádou se slunečním zářením ohřívá a potom slouží k vytápění. Cirkulace vzduchu může být nucená pomocí ventilátoru, nebo přirozená vlivem vztaku ohřátého vzduchu. K akumulaci tepla slouží zpravidla sama stavební konstrukce; jen výjimečně se užívá zvláštních akumulátorů plněných kamenivem. V letním období může energetická fasáda sloužit k odvádění tepelné zátěže od slunečního záření, tj. ke chlazení budovy.

### 1. KONSTRUKCE A PROVOZ ENERGETICKÝCH FASÁD

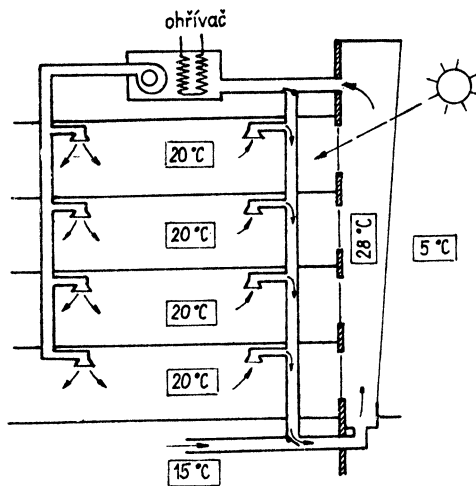
Jak již bylo uvedeno, jsou energetické fasády jednoduché vzduchové kolektory, jejichž transparentní vrstvu tvoří skleněná deska a absorpční povrch normální fasáda (*obr. 1*). Zasklení je nejčastěji jednoduché, jen výjimečně dvojitě. Tloušťka mezery (dutiny) mezi fasádou a sklem je buď jen 0,1 až 0,2 m (úzká neprůlezná dutina), nebo 0,6 m a více (široká průlezná dutina). Absorpční plocha a dutina jsou zpravidla svislé, a tato poloha má pak vliv nejen na množství dopadající energie slunečního záření, ale také na proudění vzduchu dutinou při přirozené cirkulaci. U vysokých budov může být energetická fasáda rozdělena na sekce s vlastním přívodem a odvodem vzduchu. U fasád s úzkou dutinou nemá být výška sekcí větší než 10 až 12 m (3 až 4 podlaží). Fasády se širokou dutinou mohou být v celé výšce budovy bez přerušení, tj. jako jedna sekce. Při větší výšce sekcí se zpravidla šířka vzduchové dutiny směrem nahoru mírně zvětšuje tak, jak se zvětšuje objem ohřátého vzduchu.

U budov s energetickou fasádou je třeba rozlišovat zimní provoz od letního provozu. Při zimním provozu (*obr. 2*) se teplo zachycené fasádou plně využije pro vytápění, a proto se vzduch ohřátý slunečním zářením rozvádí potrubím do jednotlivých místností. Cirkulace je nucená pomocí ventilátoru, před který je ještě zařazen klasický ohříváč vzduchu pro vytápění v době, kdy slunce nesvítí nebo kdy teplo získané fasádou nedostačuje. V době, kdy slunce nesvítí (zejména v noci), je samozřejmě také uzavřen průtok vzduchu energetickou fasádou. V každém případě jde při vytápění o uzavřený okruh; k fasádě nebo přímo k ohříváči se přivádí cirkulační vzduch z místností, jehož teplota je 20 °C. Menší množství vzduchu se nasává ze suterénních místností, kde je teplota přibližně 15 °C.

V letním období je energetická fasáda schopna odvádět větší část tepelné zátěže



Obr. 1. Svislý řez energetickou fasádou: a) s úzkou vzduchovou dutinou dělenou na sekce b) se širokou vzduchovou dutinou v celé výšce fasády (1 — klapky pro větrání dutiny při letním chlazení, 2 — upevnění skleněných desek)

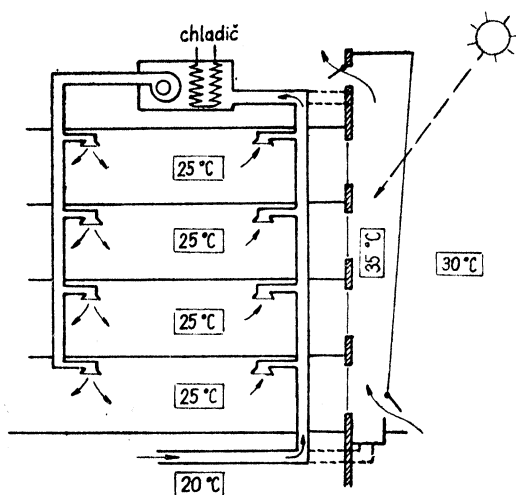


Obr. 2. Schéma vytápění domu s energetickou fasádou (zimní provoz)



dopadající na osluněnou stranu budovy. V tomto případě pracuje fasáda jako větrací šachta s přirozenou cirkulací vzduchu. Okruh fasády je otevřený; přivádí se venkovní vzduch a ohřátý vzduch se odvádí do okolního prostředí (obr. 3). V případě potřeby se místnosti mohou chladit klasickým způsobem s chladičem zařazeným do uzavřeného okruhu.

Sluneční systémy s energetickou fasádou jsou mnohem jednodušší než aktivní sluneční systémy s kolektory a dalším složitým příslušenstvím. Přitom jsou jen



Obr. 3. Schéma chlazení domu s energetickou fasádou (letní provoz)

nepatrně složitější než pasívní systémy, u nichž se energie slunečního záření zachycuje přímo některými prvky stavební konstrukce (např. okny). Také účinnost energetických fasád je vysoká — blíží se účinnosti slunečních oken (viz další text).

## 2. VÝPOČET ENERGETICKÝCH FASÁD

Při výpočtu je nutno rozlišovat případ s nucenou cirkulací vzduchu dutinou fasády od případu s přirozenou cirkulací. V prvním případě se při daném průtoku vzduchu  $M$  [ $\text{kg s}^{-1}$ ] přímo počítá zvýšení teploty vzduchu  $\Delta t = t_2 - t_1$ , kdežto ve druhém případě se současně s  $\Delta t$  počítá také  $M$  postupným přibližováním (iterací) ze dvou rovnic.

### a) Nucená cirkulace vzduchu

V tomto případě se postupuje stejně jako u vzduchových kolektorů, jejichž výpočet byl již v našem časopise popsán, viz ZTV 1983, č. 3, str. 137—145. S odvozením na schéma podle obr. 4 uvádíme tedy bez odvození přímo rovnici pro teplotu vzduchu ve vzdálenosti  $x$ :

$$t_x - t_e = (t_1 - t_e) e^{-\frac{k \cdot b}{M \cdot c} x} + \frac{q_s}{k} (1 - e^{-\frac{k \cdot b}{M \cdot c} x}), \quad (1)$$

kde  $q_s = p \cdot I$  je měrný tepelný tok procházející transparentní vrstvou energetické fasády [ $\text{W m}^{-2}$ ],

$p$  — poměrná propustnost transparentní vrstvy,

$I$  — intenzita slunečního záření,

$k = k_1 + k_2$  — součtová hodnota součinitelů prostupu tepla vrstev na přední a zadní straně dutiny [ $\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}$ ]; obvykle se zanedbá  $k_2$  a potom  $k = k_1$ ,

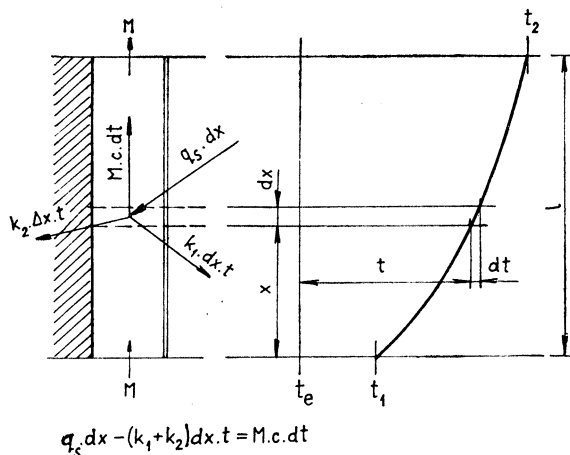
$M$  — hmotnostní průtok vzduchu dutinou fasády [ $\text{kg s}^{-1}$ ],

$c$  — měrná tepelná kapacita vzduchu;  $c = 1010 \text{ J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$ ,

$b$  — šířka fasády [m],

$t_1$  — teplota vzduchu přiváděného do dutiny fasády,

$t_e$  — teplota okolí (okolního vzduchu).



Obr. 4. Schéma pro výpočet energetické fasády

Z rovnice (1) lze také počítat konečnou teplotu  $t_2$ , tj. teplotu na konci fasády ve vzdálenosti  $x = l$ .

Při letním provozu se do dutiny fasády přivádí venkovní vzduch, takže  $t_1 = t_e$ . Potom lze počítat ze zjednodušené rovnice přímo rozdíl teplot

$$t_2 - t_1 = t_2 - t_e = \frac{q_s}{k} (1 - e^{-\frac{k \cdot b}{M \cdot c} l}). \quad (2)$$

Tepelný výkon energetické fasády o délce (výšce)  $l$  [m] je

$$Q = M \cdot c (t_2 - t_1) \quad [\text{W}] \quad (3)$$

<sup>1)</sup> Při výpočtu podle rovnice (1) a samozřejmě také podle základní rovnice tepelné rovnováhy znázorněné ve schématu na obr. 4 se předpokládá, že slunečním zářením se přímo zahřívá vzduch proudící dutinou. Ve skutečnosti však tepelný tok  $q_s$  dopadá nejdříve na protilehlou absorpční plochu, která se tím zahřívá. Absorpční plocha potom sdílí teplo přestupem (sáláním a konvekcí) do meziprostoru (do dutiny). S jistou přibližností však lze předpokládat, že výsledný efekt je v obou případech stejný, a proto výpočet podle rovnice (1) vyhovuje.

a účinnost

$$\eta = \frac{Q}{I \cdot b \cdot l} = \frac{M \cdot c(t_2 - t_1)}{I \cdot b \cdot l} \quad (4)$$

Konečná teplota  $t_2$  a tím i tepelný výkon  $Q$  [W] se počítají buď podle okamžité intenzity slunečního záření  $I$  [ $\text{W m}^{-2}$ ], nebo ještě častěji (např. při sledování dlouhodobé tepelné bilance) podle střední intenzity slunečního záření  $I_{\text{stř}}$  v určité době, např. v charakteristických dnech jednotlivých měsíců. Počítá-li se podle  $I_{\text{stř}}$  v charakteristických dnech, určí se také střední tepelný výkon  $Q_{\text{stř}}$  v těchto dnech, a potom je teplo zachycené energetickou fasádou za celý měsíc

$$Q_{\text{měs}} = \tau_{\text{skut}} \cdot Q_{\text{stř}} \quad [\text{W h}], \quad (5)$$

kde  $\tau_{\text{skut}}$  je skutečná doba slunečního svitu v příslušném měsíci [h].

Tab. 1 Střední intenzita slunečního záření  $I_{\text{stř}}$  [ $\text{W m}^{-2}$ ] na různě orientované *svíslé* plochy; platí pro  $50^\circ$  severní šířky

Azimutový úhel oslněné plochy $a_s$	Střední intenzita slunečního záření $I_{\text{stř}}$ [ $\text{W m}^{-2}$ ] v jednotlivých měsících						
	XII	I XI	II X	III IX	IV VIII	V VII	VI
$a_s = \pm 0^\circ$ (na jih)	396	479	494	463	373	286	264
$a_s = \pm 15^\circ$	383	418	440	445	352	275	250
$a_s = \pm 30^\circ$	332	361	440	399	360	290	271
$a_s = \pm 45^\circ$	279	311	353	400	358	315	300

Tab. 2. Skutečná doba slunečního svitu  $\tau_{\text{skut}}$  v jednotlivých měsících pro některá místa ČSSR

Měsíc	Skutečná doba slunečního svitu $\tau_{\text{skut}}$ [h]							přibližné hodnoty	
	Praha	České Budějovice	Hradec Králové	Brno	Bratislava	Košice			
							ČSR	SSR	
I	53	46	47	46	64	66	50	65	
II	90	82	77	88	98	89	85	100	
III	157	136	149	142	170	156	150	165	
IV	187	164	185	163	210	192	190	210	
V	247	207	241	232	272	257	245	270	
VI	266	226	249	258	291	264	270	295	
VII	266	238	252	270	317	280	270	290	
VIII	238	219	233	230	286	255	235	260	
IX	190	174	188	179	228	206	180	200	
X	117	108	115	116	148	146	110	140	
XI	53	55	48	56	61	66	50	60	
XII	35	36	42	30	49	55	35	50	

Tab. 3. Střední teplota vzduchu v době slunečního svitu  $t_e$  [°C] pro některá místa ČSSR

Měsíc	Střední teplota v době slunečního svitu $t_e$ [°C]					
	Praha	České Budějovice	Hradec Králové	Brno	Bratislava	Košice
I	2,2	1,7	1,6	1,7	2,1	0,1
II	3,4	2,4	2,4	2,8	3,6	1,7
III	6,5	6,2	6,0	7,0	8,5	6,6
IV	12,1	10,7	10,7	12,0	13,4	12,1
V	16,6	15,8	15,9	17,2	18,5	16,3
VI	20,6	18,6	18,9	20,2	21,6	20,5
VII	22,5	20,8	20,7	22,1	23,5	22,4
VIII	22,6	20,6	20,8	21,8	23,6	22,2
IX	19,4	17,4	18,0	18,5	20,5	18,7
X	13,8	12,1	12,7	13,1	14,7	13,1
XI	7,3	6,9	7,2	7,7	8,5	7,5
XII	3,5	3,3	3,3	3,5	4,2	2,8

Hodnoty střední intenzity slunečního záření  $I_{stř}$ , se kterými lze počítat pro různě orientované vstříčné plochy v našich podmínkách, jsou uvedeny v *tab. 1* a hodnoty  $\tau_{skut}$  pro 6 různých míst v ČSSR v *tab. 2*. Dále je v *tab. 3* uvedena střední teplota vzduchu v době slunečního svitu pro stejná místa, jako byla v *tab. 2* uvedena skutečná doba slunečního svitu.

V rovnicích (1) a (2) se dále doporučuje počítat s propustností transparentní vrstvy

při jednoduchém zasklení  $p = 0,9$   
 při dvojitém zasklení  $p = 0,8$

a se součinitelem prostupu tepla na přední straně dutiny (předpokládá se, že  $k_1 = k$ ) při jednoduchém zasklení

s úzkou štěrbínou  $k = 12 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$   
 se širokou štěrbínou  $k = 8 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$

a při dvojitém zasklení

bez ohledu na šířku dutiny  $k = 4 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ .

#### b) Přirozená cirkulace vzduchu

Při proměnlivé teplotě vzduchu v dutině fasády (*obr. 5*) lze podle práce [1] počítat účinný vztlak vyvolaný vlivem rozdílu teplot z rovnice

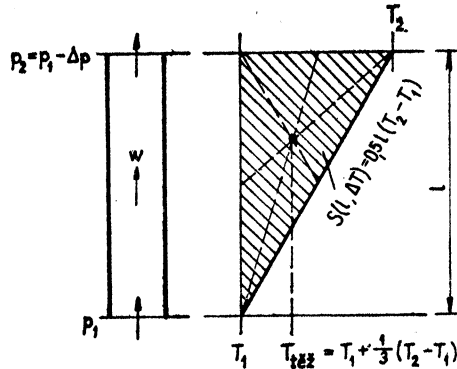
$$\Delta p = g \frac{\rho_{t_{\text{t}}}}{T_{t_{\text{t}}}} S(l, \Delta T),$$

kde  $S(l, \Delta T)$  je plocha omezená čarami znázorňujícími rozdíl teplot na úseku o délce  $l$ , viz čerchovaná plocha na *obr. 5*,

$T_{t_{\text{t}}}$  — teplota odpovídající těžišti plochy  $S(l, \Delta T)$ ,

$\rho_{t_{\text{t}}}$  — hustota vzduchu při teplotě  $T_{t_{\text{t}}}$  [ $\text{kg m}^{-3}$ ],

$g = 9,81 \text{ m s}^{-2}$  — tíhové zrychlení.



Obr. 5. Schéma pro výpočet účinného vztlaku při lineárním průběhu teploty vzduchu v dutině energetické fasády

Za předpokladu, že průběh teploty v dutině je lineární<sup>2)</sup>, má plocha  $S(l, \Delta T)$  tvar pravoúhlého trojúhelníku, pro který platí, že

$$S(l, \Delta T) = 0,5l(T_2 - T_1)$$

a účinný vztlak je potom dán vztahem

$$\Delta p = 0,5 \text{ g} \cdot l \cdot \frac{\rho_{\text{těž}}}{T_{\text{těž}}} \Delta T \quad [\text{Pa}], \quad (6)$$

kde  $\Delta T = T_2 - T_1$  je výsledné (konečné) zvýšení teploty vzduchu v dutině energetické fasády.

V rovnici (6) dále je

$$T_{\text{těž}} = \frac{2T_1 + T_2}{3} \quad [\text{K}], \quad (a)$$

$$\rho_{\text{těž}} = 273 \rho_0 \frac{1}{T_{\text{těž}}} = 273 \cdot 1,293 \frac{3}{2T_1 + T_2} = \frac{1\,059}{2T_1 + T_2} \quad [\text{kg m}^{-3}], \quad (b)$$

kde  $\rho_0 = 1,293 \text{ kg m}^{-3}$  je hustota vzduchu při teplotě 273 K (0 °C).<sup>3)</sup>

Účinný vztlak  $\Delta p$  se spotřebuje na urychlení proudu vzduchu a na překonání hydraulických odporů v dutině fasády

$$\Delta p = \left(1 + \lambda \frac{l}{d} + \Sigma \xi\right) \frac{w^2}{2} \rho_{\text{těž}} = Z \frac{w^2}{2} \rho_{\text{těž}},^4 \quad (7)$$

kde  $w$  je rychlost proudění vzduchu v dutině [ $\text{m s}^{-1}$ ].

<sup>2)</sup> Tento předpoklad platí přibližně pro omezenou výšku fasády, např. až do  $l = 10 \text{ m}$ , popř. až do  $15 \text{ m}$  (viz další text).

<sup>3)</sup> Dosadí-li se vztahy (a) a (b) do rovnice (6), platí pro výpočet účinného vztlaku  $\Delta p$  vztah

$$\Delta p = 1,588 \cdot 10^3 \text{ g} \cdot l \frac{\Delta T}{2T_1 + T_2} \quad [\text{Pa}]. \quad (6a)$$

<sup>4)</sup> Pro hydraulický odpor v dutině fasády je zde použito značek obvyklých v aerodynamice.

Z porovnání rovnic (6) a (7) vyplyne vztah pro rychlost proudění vzduchu v dutině

$$w = \left( \frac{g \cdot l \cdot \Delta T}{Z \cdot T_{\text{těž}}} \right)^{0,5} \quad [\text{m s}^{-1}]. \quad (8)$$

Potom je objemový průtok vzduchu dutinou

$$V = S \cdot w = a \cdot b \cdot w \quad [\text{m}^3 \text{s}^{-1}] \quad (9)$$

a hmotnostní průtok

$$M = S \cdot w \cdot \rho_{\text{těž}} = a \cdot b \cdot w \cdot \rho_{\text{těž}} \quad [\text{kg s}^{-1}], \quad (10)$$

kde  $S = a \cdot b$  je průřez dutinou fasády  $[\text{m}^2]$ .

Při výpočtu energetické fasády s přirozenou cirkulací vzduchu se postupuje tak, že se nejprve pro zvolenou hodnotu průtoku  $M$  počítá zvýšení teploty  $\Delta T = t_2 - t_1$  podle rovnice (2), a potom se pro toto zvýšení počítá z rovnice (8) rychlost proudění  $w$  a kontroluje se průtok vzduchu  $M$ . Postupným přibližováním se pak dosáhne shody mezi zvolenou a vypočítanou hodnotou  $M$ .

V praxi lze počítat s těmito hodnotami odporového součinitele  $Z$ :

při šířce mezery $a < 0,2$ m	$Z = 2,5$ až $3,0$
$a = 0,2$ až $0,5$ m	$Z = 2,0$ až $2,5$
$a > 0,5$ m	$Z = 1,5$ až $2,0^{,5}$

### 3. PROVOZNÍ PARAMETRY

Základní provozní parametr energetických fasád, tj. rozdíl teplot  $\Delta t = t_2 - t_1$ , byl sledován při průměrných podmínkách <sup>6)</sup>

pro zimní období (měsíce XI až III) při střední intenzitě slunečního záření venkovní teplotě v době slunečního svitu teplotě přiváděného vzduchu

$$\begin{aligned} I_{\text{stř}} &= 500 \text{ W m}^{-2} \\ t_e &= 5^\circ \text{C} \\ t_1 &= 20^\circ \text{C} \end{aligned}$$

pro letní období (měsíce VI až VIII) při střední intenzitě slunečního záření teplotě přiváděného vzduchu

$$\begin{aligned} I_{\text{stř}} &= 300 \text{ W m}^{-2} \\ t_1 = t_e &= 22,5^\circ \text{C}. \end{aligned}$$

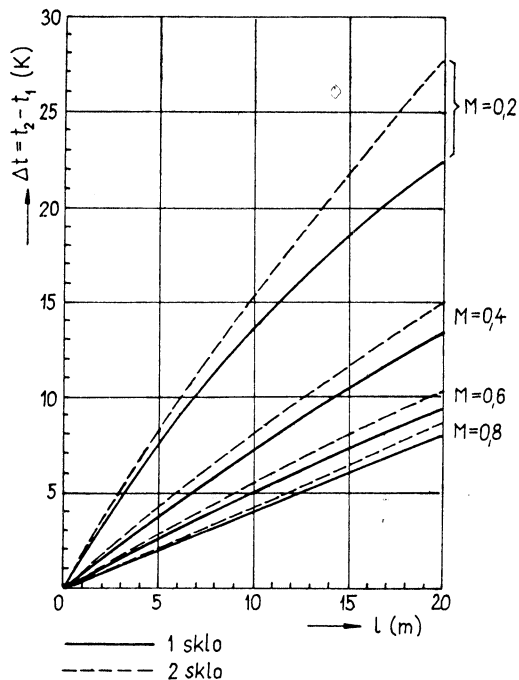
Závislost  $\Delta t = t_2 - t_1$  na výšce fasády  $l (= x)$  při různém průtoku vzduchu dutinou fasády  $M = 0,2, 0,4, 0,6$  a  $0,8 \text{ kg s}^{-1}$  na  $1$  m šířky je znázorněna v diagramech na obr. 6 a obr. 7 pro fasádu se širokou dutinou

- a) s jednoduchým zasklením ( $p = 0,9, k = 8,0 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ )  
 b) s dvojitým zasklením ( $p = 0,8, k = 4,0 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ ).

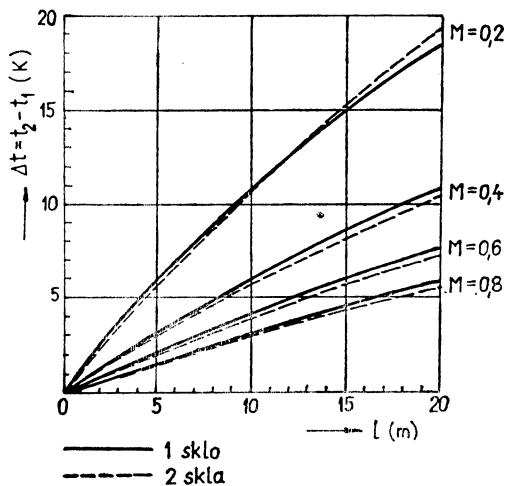
V zimním období (obr. 6) vykazuje fasáda s dvojitým zasklením poněkud větší  $\Delta t$  než fasáda s jednoduchým zasklením. Rozdíl v  $\Delta t$  u obou typů fasád je poměrně malý, s výjimkou případu s  $M = 0,2 \text{ kg s}^{-1}$  (tak malý průtok však nepřichází

<sup>5)</sup> Uvedené hodnoty součinitele  $Z$  platí pro fasády vysoké  $l = 5$  až  $15$  m. Dalším předpokladem je, že vtokový i výtokový otvor jsou volné, tj. bez odporových prvků (např. klapky, mřížky atp.).

<sup>6)</sup> Průměrné hodnoty  $I_{\text{stř}}$  a  $t_e$  jsou podle tab. 1 a 3.



Obr. 6. Závislost zvýšení teploty  $\Delta t = t_2 - t_1$  na výšce (délce) energetické fasády při zimním provozu; platí pro průtok vzduchu dutinou  $M = 0,2, 0,4, 0,6$  a  $0,8 \text{ kg s}^{-1}$  na 1 m šířky, střední intenzitu záření  $I_{\text{stř}} = 500 \text{ W m}^{-2}$ , teplotu přiváděného vzduchu  $t_1 = 20^\circ\text{C}$  a venkovní teplotu  $t_e = 5^\circ\text{C}$

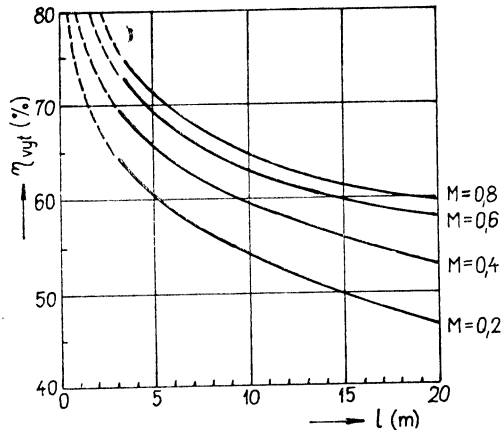


Obr. 7. Závislost zvýšení teploty  $\Delta t = t_2 - t_1$  na výšce (délce) energetické fasády při letním provozu; platí pro  $M = 0,2, 0,4, 0,6$  a  $0,8 \text{ kg s}^{-1}$  na 1 m šířky,  $I_{\text{stř}} = 300 \text{ W m}^{-2}$  a  $t_1 = t_e = 22,5^\circ\text{C}$

prakticky v úvahu). V letním období (obr. 7) je vlivem větší propustnosti slunečních paprsků rozdíl teplot  $\Delta t$  u fasády s jednoduchým zasklením dokonce větší než u fasády s dvojitým zasklením; rozdíl v hodnotách  $\Delta t$  je však opět nepatrný a prakticky zanedbatelný. Lze tedy říci, že fasáda s jednoduchým zasklením umožňuje přibližně stejné ohřátí vzduchu na požadovanou teplotu  $t_2$  jako fasáda s dvojitým zasklením. V praxi se proto většinou dává přednost jednoduššímu řešení s jedním sklem, a s tímto typem fasády se bude také počítat v dalším textu.

Z diagramů na obr. 6 a 7 také vyplývá, že průběh  $\Delta t$  je přibližně lineární, a proto je možno při přirozené cirkulaci v letním období počítat účinný vztlak  $\Delta p$  podle rovnice (6) a rychlost proudění vzduchu  $w$  podle rovnice (7).

Energetická fasáda má v zimním období ohřívat vzduch na teplotu 25 až 30 °C, tj. zvýšení nad teplotu přiváděného vzduchu odebíraného zpravidla z vytápěných místností, má být  $\Delta t = 5$  až 10 °C. To znamená, že při průtoku vzduchu  $M = 0,4$  až 0,8 kg s<sup>-1</sup> na 1 m šířky má být podle obr. 6 výška fasády nebo jejích sekcí alespoň  $l = 10$  až 15 m. Při menší výšce fasády než 10 m (nejméně však 5 m) by



Obr. 8. Závislost účinnosti  $\eta$  na výšce (délece) energetické fasády s jednoduchým zasklením ( $p = 0,9$ ,  $k = 8,0 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ ) při zimním provozu s  $I_{\text{str}} = 500 \text{ W m}^{-2}$ ,  $t_1 = 20^\circ\text{C}$  a  $t_e = 5^\circ\text{C}$

bylo třeba zmenšit průtok vzduchu. Podle diagramu na obr. 8 je pak účinnost energetické fasády při zimním vytápění 55 až 65 %, tj. jen o málo menší než u slunečních oken.

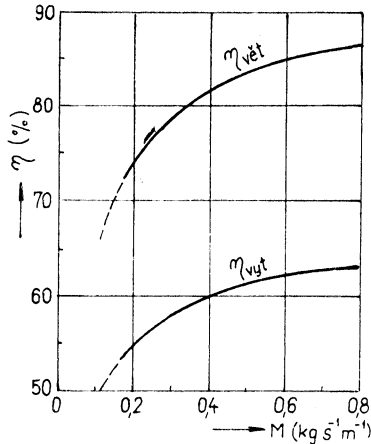
V letním období odvádí energetická fasáda teoreticky všechnu energii dopadajícího slunečního záření<sup>7)</sup>; část energie daná reflexní schopností transparentní vrstvy  $r = 1 - p$  ( $p$  je propustnost vrstvy) se přímo odráží do okolí, část se odvádí prostupem tepla transparentní vrstvou a největší část se odvádí větráním dutiny fasády. Účinnost při odvádění tepla větráním se počítá také z rovnice (4) a dosahuje značně vysokých hodnot, např. u fasády vysoké 10 až 15 m je  $\eta_{\text{v\text{et}}} = 80$  až 85 % při průtoku vzduchu  $M = 0,4$  až 0,6 kg s<sup>-1</sup> na 1 m šířky.

<sup>7)</sup> Předpokladem je, že okna na straně budovy s energetickou fasádou jsou stíněna proti přímému oslunění.



Závislost účinnosti  $\eta$  na průtoku vzduchu  $M$  je znázorněna v diagramu na obr. 9. Účinnost se zvětšuje až do hodnoty  $M = 0,8 \text{ kg s}^{-1}$  na 1 m šířky (další zvětšování průtoku  $M$  by už nebylo účelné), a naopak při  $M < 0,2 \text{ kg s}^{-1}$  na 1 m šířky by účinnost byla příliš malá.

Závislost účinnosti na průtoku vzduchu podle obr. 9 je však opačného smyslu než závislost na výšce fasády podle obr. 8. Volba nejvhodnější výšky fasády  $l$  [m]



Obr. 9. Závislost účinnosti  $\eta$  na průtoku vzduchu  $M = 0,2$  až  $0,8 \text{ kg s}^{-1}$  na 1 m šířky; platí pro fasádu dlouhou  $l = 10 \text{ m}$

a průtoku vzduchu její dutinou  $M$  [ $\text{kg s}^{-1}$ ] musí tedy respektovat obě vpředu jmenované závislosti a současně také základní požadavek na dostatečné ohřátí vzduchu. Z tohoto hlediska se jeví jako nejvhodnější výška energetické fasády již vpředu uvedená hodnota  $l = 10$  až  $15 \text{ m}$  při průtoku vzduchu

$$M = 0,6 \text{ až } 0,8 \text{ kg s}^{-1} \text{ na šířce } 1 \text{ m při získávání tepla v zimě,}$$

$$M = 0,4 \text{ až } 0,6 \text{ kg s}^{-1} \text{ na šířce } 1 \text{ m při odvádění tepla v létě.}$$

#### 4. PŘÍKLAD VÝPOČTU TEPELNÉ BILANCE

Při sledování celoroční tepelné bilance energetické fasády je ovšem nutno počítat, místo s průměrnými hodnotami  $I_{\text{stř}}$  a  $t_e$  v celém zimním nebo letním období, s průměrnými hodnotami těchto veličin v jednotlivých měsících podle tab. 1 a 3.<sup>8)</sup> Při výpočtu energie získané nebo odvedené za měsíc je pak nutno počítat se skutečnou dobou slunečního svitu  $\tau_{\text{skut}}$  podle tab. 2.

<sup>8)</sup> Bylo by ovšem také možno počítat s průměrnými hodnotami  $I_{\text{stř}}$  a  $t_e$  za kratší období než měsíc, nebo dokonce s okamžitými hodnotami podle denního průběhu. Pro praxi však zcela vyhovuje výpočet s průměrnými měsíčními hodnotami.

Tab. 4. Teplo získané jednoduše zasklenou energetickou fasádou orientovanou na jih ( $\alpha_s = \pm 0^\circ$ ) a dlouhou  $l = 10$  m v zimním období při průtoku vzduchu  $M = 0,8$  kg s<sup>-1</sup> na 1 m šířky

Měsíc	Střední intenzita slunečního záření $I_{str}$ [W m <sup>-2</sup> ]	Ohrátí vzduchu <sup>1)</sup> $\Delta t = t_2 - t_1$ [°C]	Střední tepelný výkon pro 10 m <sup>2</sup> $Q_{str}$ [W]	Účinnost fasády při vytápění $\eta_{vyt}$	Energie za měsíc	
					skutečná doba slun. svitu $\tau_{skut}$ [h]	získané teplo $Q_{m\acute{s}}$ [kW h]
X	494	4,7	3 798	0,77	117	444,4
XI	479	3,5	2 828	0,59	53	149,9
XII	396	2,7	2 182	0,55	35	76,4
I	479	3,4	2 747	0,57	53	145,6
II	494	3,7	2 990	0,61	90	269,1
III	463	3,6	2 909	0,63	157	456,7
IV	373	3,2	2 586	0,69	187	483,6
Celkem za zimní období						2 025,7

<sup>1)</sup> Platí pro  $t_e$  podle tab. 3 pro Prahu a pro  $t_1 = 20$  °C. Dále je pro jednoduše zasklenou fasádu  $p = 0,9$  a  $k = 8,0$  W m<sup>-2</sup> K<sup>-1</sup>.

Tab. 5. Teplo odvedené energetickou fasádou<sup>1)</sup> v letním období při průtoku vzduchu  $M = 0,6$  kg s<sup>-1</sup> na 1 m šířky

Měsíc	Střední intenzita slunečního záření $I_{str}$ [W m <sup>-2</sup> ]	Ohrátí vzduchu <sup>2)</sup> $\Delta t = t_2 - t_1$ [°C]	Střední tepelný výkon pro 10 m <sup>2</sup> $Q_{str}$ [W]	Účinnost fasády při odvádění tepla větráním $\eta_{v\acute{e}t}$	Energie za měsíc	
					skutečná doba slun. svitu $\tau_{skut}$ [h]	teplo odvedené větráním $Q_{m\acute{s}}$ [kW h]
V	286	4,0	2 424	0,85	247	598,7
VI	264	3,7	2 242	0,85	266	596,4
VII	286	4,0	2 424	0,85	266	644,8
VIII	373	5,2	3 151	0,85	238	749,9
IX	463	6,5	3 939	0,85	190	748,4
Celkem za letní období						3 338,2

<sup>1)</sup> Platí pro stejné podmínky jako v případě podle tab. 4.  
<sup>2)</sup> Platí pro  $t_1 = t_e$ ; venkovní teplota  $t_e$  je podle tab. 3 pro Prahu.

Příklad výpočtu pro jednoduše zasklenou fasádu vysokou 10 m a orientovanou na jih ( $\alpha_s = \pm 0^\circ$ ) je uveden v tab. 4 pro zimní období a v tab. 5 pro letní období.<sup>9)</sup> Z tab. 4 vyplývá, že na ploše 10 m<sup>2</sup> se získá pro vytápění 2 025,7 kWh při účin-

<sup>9)</sup> Redukce průtoku vzduchu z hodnoty  $M = 0,8$  kg s<sup>-1</sup> na šířce 1 m při nucené cirkulaci v zimním období (tab. 4) na hodnotu  $M = 0,6$  kg s<sup>-1</sup> na šířce 1 m při přirozené cirkulaci v letním období (tab. 5) vyplynula z postupného přibližování hodnot  $\Delta t$  podle rovnice (2) a hodnot  $w$  podle rovnice (8).

nosti 55 % a více, tj. přibližně 75 až 80 % energie, která by se získala stejně velkým slunečním oknem. Výhodou energetické fasády však je, že může prakticky na celé ploše pokrývat osluněnou stranu budovy, a přitom odpadají potíže s jejím zastíněním v létě.

V letním období je energetická fasáda schopna odvést skoro celé množství energie dopadajícího slunečního záření; např. v příkladu podle tab. 5 odráží fasáda 10 % energie zpět do okolí a 85 % energie odvádí větráním.

## 5. ZÁVĚRY PRO NAVRHOVÁNÍ ENERGETICKÝCH FASÁD

Z teoretického rozboru závislostí hlavních provozních parametrů a z výpočtu celoroční tepelné bilance vyplývají pro praktické řešení energetických fasád tyto závěry:

a) Z hlediska energetického účinku je fasáda s jednoduchým zasklením přibližně rovnocenná fasádě s dvojitým zasklením. Není tedy důvodu, proč by se v praxi nemohlo používat jednodušší a levnější řešení s jedním sklem. Fasáda s dvojitým zasklením by byla na místě jen v případech, kde je třeba ohřívát vzduch na vyšší teplotu, např. při akumulaci tepla ve zvláštních zásobnících plněných kamenivem.

Z praktického hlediska se většinou dává přednost fasádám se širokou průleznou dutinou s šířkou nejméně 0,6 m před fasádami s úzkou dutinou.

b) Za optimální výšku energetické fasády lze považovat 10 až 15 m (výjimečně až 20 m). Při této výšce se dosáhne dostatečně vysoké teploty (25 až 30 °C) pro vytápění v zimě a současně také dostatečného zvýšení teploty pro vyvolání přirozené cirkulace vzduchu v dutině fasády v létě. U vysokých budov (nad 20 m) je třeba dělit energetickou fasádu na sekce vysoké 10 až 15 m se samostatným přívodem a odvodem vzduchu.

c) Při zimním vytápění pracují energetické fasády s nucenou cirkulací vzduchu, neboť se musí překonávat hydraulický odpor uzavřeného okruhu, do kterého je zapojena celá budova i se strojovnou vytápění. Vzduch pro fasádu se nasává z vytápěných místností a potřebného zvýšení teploty se dosáhne při průtoku 0,6 až 0,8 kg s<sup>-1</sup> na 1 m šířky fasády. Účinnost fasády je 55 až 65 % a v našich klimatických podmínkách se za celé otopné období získá v průměru 200 kWh tepla na 1 m<sup>2</sup> osluněné plochy.

d) Při letním odvádění energie dopadajícího slunečního záření může energetická fasáda s výhodou pracovat s přirozenou cirkulací vzduchu v otevřeném okruhu. Vzduch se nasává přímo z okolního prostředí, a tam se opět po ohřátí vrací. V našich podmínkách se cirkulace u fasády vysoké 10 až 15 m nastává tak, že průtok vzduchu je přibližně 0,4 až 0,6 kg s<sup>-1</sup> na 1 m šířky.

Větranou fasádou lze prakticky odvést všechnu energii dopadajícího záření; 80 až 85 % energie se odvede větráním a zbytek reflexí a prostupem do okolí. Předpokladem ovšem je, že okna na straně s větranou fasádou se chrání proti přímému oslunění.

e) V našich klimatických podmínkách lze předpokládat, že energetickou fasádou instalovanou na celé jižní straně budovy se pro zimní vytápění získá přibližně stejné množství energie jako slunečními okny, tj. až 55 % z celkové spotřeby energie. Pro doplňkové vytápění v noci a ve dnech, kdy nesvítí slunce, je ovšem i zde nutný klasický zdroj tepla (nejčastěji ohřívák vzduchu ve strojovně teplo-vzdušného vytápění) dimenzovaný na maximální tepelný výkon.

## LITERATURA

- [1] *Cihelka, J.*: Větrání I (skripta pro studenty strojí fakulty). Vydavatelství ČVUT Praha, 1979.
- [2] *Cihelka, J.*: Vzduchové sluneční kolektory. Zdrav. technika a vzduchotechn. 26, 1983, č. 3, s. 137—145.
- [3] *Cihelka, J.*: Sluneční vytápěcí systémy. SNTL Praha, 1984.
- [4] *Cihelka, J.*: Přímé vytápění budov energií slunečního záření. Zdrav. technika a vzduchotechn. 30, 1987, č. 1, s. 1—17.
- [5] *Heidt, F. D.*: Möglichkeiten und vereinfachte Berechnungen zur passiven Solarenergieernutzung in Gebäuden. CCI 1984, č. 5, s. 51—56. In: ZTV 29, 1986, č. 1, s. 246—250.

## ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ФАСАДЫ

*Доц. Инж. Д-р Яромір Цицелка*

В статье приводится способ расчета энергетических фасадов для захватывания энергии солнечной радиации во время зимнего отопления и для отвода наружной тепловой нагрузки во время летнего охлаждения. На основе анализа теплового баланса выведены в статье главные принципы для проектирования энергетических фасадов.

## ENERGETIC FAÇADES

*Doc. Ing. Dr. Jaromír Cihelka*

The calculation method of energetic façades for solar energy absorption during the winter heating and for the external thermal load removal during the summer cooling is discussed in the article. The main principles for energetic façades design are deduced on the basis of the thermal balance analysis there.

## ENERGETISCHE FASSADEN

*Doz. Ing. Dr. Jaromír Cihelka*

Im Artikel führt man ein Berechnungsverfahren der energetischen Fassaden für die Gewinnung der Sonnenstrahlungsenergie bei der Winterheizung und für die Abfuhr der Aussenwärmebelastung bei der Sommerkühlung ein. Auf Grund einer Wärmebilanzanalyse werden die Hauptgrundsätze für einen Entwurf der energetischen Fassaden abgeleitet.

## FAÇADES ÉNERGÉTIQUES

*Doc. Ing. Dr. Jaromír Cihelka*

Dans l'article présenté, on fait savoir le procédé d'un calcul des façades énergétiques pour le captage de l'énergie d'un rayonnement solaire en cours du chauffage d'hiver et pour l'évacuation de la charge thermique extérieure en cours du refroidissement d'été. On déduit les principes essentiels pour un projet des façades énergétiques sur la base d'une analyse du bilan thermique.



# APLIKACE MODELU ZALOŽENÉHO NA KOMBINACI PŘÍMÉHO A DIFÚZNÍHO ZVUKOVÉHO POLE V PRŮMYSLOVÝCH PROSTORECH

ING. PAVEL JANEČEK, CSc.

*Výzkumný ústav bezpečnosti práce, Praha*

V článku je diskutována aplikovatelnost modelu založeného na kombinaci přímého a difúzního Sabinova pole pro výpočty rozložení zvukové energie v průmyslových prostorech. Je naznačeno odvození tohoto modelu, stručně jsou popsána měření přenosových charakteristik v ustáleném stavu a dozvukových charakteristik, která byla provedena v 22 prostorech. Z grafického a především ze statistického zpracování výsledků měření a výpočtů podle uvedeného modelu jednoznačně vyplývá, že nemůže být užít pro průmyslové prostory.

*Recenzovala: Doc. Ing. Věra Chalupová, CSc.*

## 1. ÚVOD

Výpočty rozložení zvukového pole v uzavřených průmyslových prostorech, které je vytvořeno zdroji hluku umístěnými uvnitř těchto prostorů, náleží k základním problémům řešeným při zpracování akustické studie [1]. Předmětem akustické studie je optimalizace hlukových podmínek na projektovaném pracovišti. Výpočtem stanovené hladiny zvuku  $A$ , resp. hladiny akustického tlaku ve frekvenčních pásmech jsou základem pro rozhodnutí, zda v projektovaném provozu lze předpokládat dodržení hygienických hlukových limitů, případně jsou podkladem pro návrh technických i náhradních opatření k omezení hluku.

K uvedeným výpočtům zvukových polí byl v poslední době nejčastěji užíván model vycházející z předpokladu existence kombinace přímého a difúzního zvukového pole v uzavřeném prostoru. Tento model (označovaný často nesprávně jako *Berankův* [2] — [6]) má nespornou výhodu v jednoduchosti popisu zvukového pole.

Na druhé straně předpoklady zavedené při odvozování modelu zjednodušují značně reálné podmínky, což vede k omezení jeho platnosti. Cílem tohoto příspěvku je ukázat výsledky při užití diskutovaného modelu pro výpočty zvukového pole v průmyslových prostorech.

## 2. ODVOZENÍ MODELU

Model založený na kombinaci přímého a difúzního zvukového pole vychází z předpokladu následujícího vzniku zvukového pole v uzavřeném prostoru. Po zapnutí zdroje zvuku umístěného v tomto prostoru se akustická energie šíří od zdroje rychlostí zvuku  $c$ , dopadá na ohraničující obvodové stěny, podlahu a strop, které tuto energii částečně pohlcují a částečně odrážejí (poměr pohlcené a dopadající akustické energie je vyjádřen činitelem pohltivosti). Odražená energie postupuje k jiným stěnám, na nichž je opět částečně pohlcována a částečně odrážena. Naznačený proces pokračuje do doby vytvoření ustáleného zvukového pole v da-

ném prostoru, tj. stavu, při kterém je energie vysílaná zdrojem zvuku pohlcována obvodovými stěnami, podlahou a stropem, pohlcována procesy probíhajícími ve vzduchu [7].

V každém bodu prostoru je pak objemová hustota akustické energie podle tohoto modelu tvořena dvěma částmi. První část představuje příspěvek přímé zvukové energie a v každém bodě prostoru je rovna objemové hustotě akustické energie, kterou by zdroj vyzařoval ve volném zvukovém poli při uvážení prostorového úhlu, do kterého zdroj vyzařuje. Pro bodový zdroj zvuku je objemová hustota akustické energie přímého pole dána rovnicí (vliv pohlcování zvuku ve vzduchu se zanedbává)

$$w_p = \frac{WQ \cdot \xi}{4\pi r^2 c}, \quad (1)$$

kde  $w_p$  je objemová hustota akustické energie přímého pole [ $J \cdot m^{-3}$ ],

$W$  — akustický výkon bodového zdroje zvuku [W],

$Q$  — činitel směrovosti zdroje zvuku [—],

$\xi$  — činitel prostorového vyzařování zdroje zvuku [—] (poměr prostorového úhlu, do něhož zdroj vyzařuje při určování  $Q$ , resp.  $W$  a prostorového úhlu, do kterého zdroj vyzařuje akustickou energii v řešeném případě),

$r$  — vzdálenost místa výpočtu od zdroje zvuku [m],

$c$  — rychlost zvuku [ $m \cdot s^{-1}$ ].

Druhá část pole je vytvořena zvukovými vlnami, které se alespoň jednou odrazily od různých ohraničujících ploch tvořících prostor a obecně se nazývá dozvukovým polem. Speciálním případem tohoto pole je pole difúzní, které je charakterizováno následujícími vlastnostmi:

- homogenita* — objemová hustota akustické energie je ve všech bodech prostoru stejná,
- izotropie* — směrové rozdělení toků akustické energie je ve všech bodech prostoru rovnoměrné,
- nekoherentnost* — fáze mezi jednotlivými zvukovými vlnami, které se v daném bodu skládají, jsou náhodné.

Objemová hustota difúzního zvukového pole je pro předpoklad spojitého pohlcování zvuku na stěnách podle Sabina dána rovnicí (viz odvození v [8])

$$w_d = \frac{4 \cdot W}{c(S\alpha_s + 4mV)}, \quad (2)$$

kde  $w_d$  je objemová hustota akustické energie difúzního zvukového pole [ $J \cdot m^{-3}$ ],

$\alpha_s$  — střední činitel pohltivosti celého prostoru [—],

$S$  — plošný obsah obvodových stěn, podlahy a stropu prostoru [ $m^2$ ],

$m$  — součinitel útluhu zvuku ve vzduchu [ $m^{-1}$ ],

$V$  — objem prostoru [ $m^3$ ].

Celková objemová hustota akustické energie podle diskutovaného modelu je v každém bodu prostoru dána rovnicí (3), která je odvozena z (1) a (2) s využitím zákona zachování energie

$$w = \frac{W}{c} \left[ \frac{Q \cdot \xi}{4\pi r^2} + \frac{4 \left( 1 - \alpha_s - \frac{4mV}{S} \right)}{S \cdot \alpha_s + 4mV} \right], \quad (3)$$

kde  $w$  je celková objemová hustota akustické energie [ $J \cdot m^{-3}$ ].

Převedením rovnice (3) na hladinové vyjádření dostaneme

$$L_v = L_w + 10 \cdot \log \left[ \frac{Q \cdot \xi}{4\pi r^2} + \frac{4 \left( 1 - \alpha_s - \frac{4mV}{S} \right)}{S \cdot \alpha_s + 4mV} \right] + 10 \cdot \log \frac{\rho c}{400}, \quad (4)$$

kde  $L_v$  je hladina akustického tlaku v místě výpočtu [dB],  
 $L_w$  — hladina akustického výkonu zdroje zvuku [dB],  
 $\rho$  — hustota vzduchu [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ].

Třetí člen pravé strany rovnice (4) se obvykle zanedbává. Pro teplotu vzduchu  $20^\circ\text{C}$  a tlak vzduchu  $101,325 \text{ kPa}$  je roven  $0,14 \text{ dB}$ . Definujme dále dobu dozvuku podle Sabina

$$T_s = 0,164 \cdot \frac{V}{S \cdot \alpha_s + 4 \cdot mV}, \quad (5)$$

kde  $T_s$  je doba dozvuku [s] podle Sabina.

Z rovnice (4) při zanedbání třetího členu a z rovnice (5) dostaneme konečný výraz

$$L_v = L_w + 10 \cdot \log \left[ \frac{Q \cdot \xi}{4\pi r^2} + \frac{4 \cdot (6,1 \cdot T_s S - V)}{SV} \right]. \quad (6)$$

### 3. EXPERIMENTÁLNÍ PRÁCE

Analýzou difuzity zvukového pole, na jejímž předpokladu je založena část modelu výše uvedeného, se zaměřením na průmyslové prostory a experimentálním ověřením difuzity se zabývá práce [8]. Z ní vyplývá, že v prostorech, které jsou charakteristické dominantně převládajícím jedním, resp. dvěma rozměry, dochází k významnému narušení difuzity. Otázkou řešenou zde je, zda tato skutečnost vede k neaplikovatelnosti modelu založeného na kombinaci přímého a difúzního zvukového pole v průmyslových prostorech, či zda chyby výpočtu jsou v praxi zanedbatelné. K řešení tohoto problému byl vytvořen soubor průmyslových prostorů, jejichž základní charakteristiky jsou uvedeny v *tab. 1*.

V prostorech uvedených v této tabulce bylo provedeno měření přenosových charakteristik v ustáleném stavu a měření přechodových konkrétně dozvukových charakteristik. K vybuzení zvukového pole byl v obou případech měření užit referenční zdroj zvuku EAS 100 elektroakustického typu [9], kterým byl modelován bodový monopólní zdroj zvuku. Přijímač byl představován mikrofonom, který byl postupně umísťován v řadě bodů ležících na liniích rovnoběžných s podélnou osou prostoru.

V bodech totožných s místy měření byl proveden výpočet hladin akustického tlaku v oktákových pásmech se středními kmitočty  $125$  až  $8000 \text{ Hz}$  podle rovnice (6). Dva příklady srovnání naměřených a vypočtených hladin akustického tlaku v oktákových pásmech se středními kmitočty  $500 \text{ Hz}$ ,  $1 \text{ kHz}$ ,  $2 \text{ kHz}$  a  $4 \text{ kHz}$  v závislosti na poloze přijímače jsou pro typické průmyslové haly na obr. 1 a 2. Zdroj zvuku v prostoru č. 2 (*obr. 1*) má souřadnice  $x_Z = 9,7$ ;  $y_Z = 4,95$ ;  $z_Z = 0,1 \text{ m}$ ; přijímač souřadnice  $x_M = 6,6$  až  $59,4$ ;  $y_M = 4,95$ ;  $z_M = 1,5 \text{ m}$ . Zdroj zvuku v prostoru č. 20 (*obr. 2*) má souřadnice  $x_Z = 72,2$ ;  $y_Z = 9,1$ ;  $z_Z = 0,1 \text{ m}$ ; přijímač souřadnice  $x_M = 7,54$  až  $67,86$ ;  $y_M = 2,75$ ;  $z_M = 1,5 \text{ m}$ .

Souhrnné zpracování výsledků měření a výpočtů pro tři základní oktáková

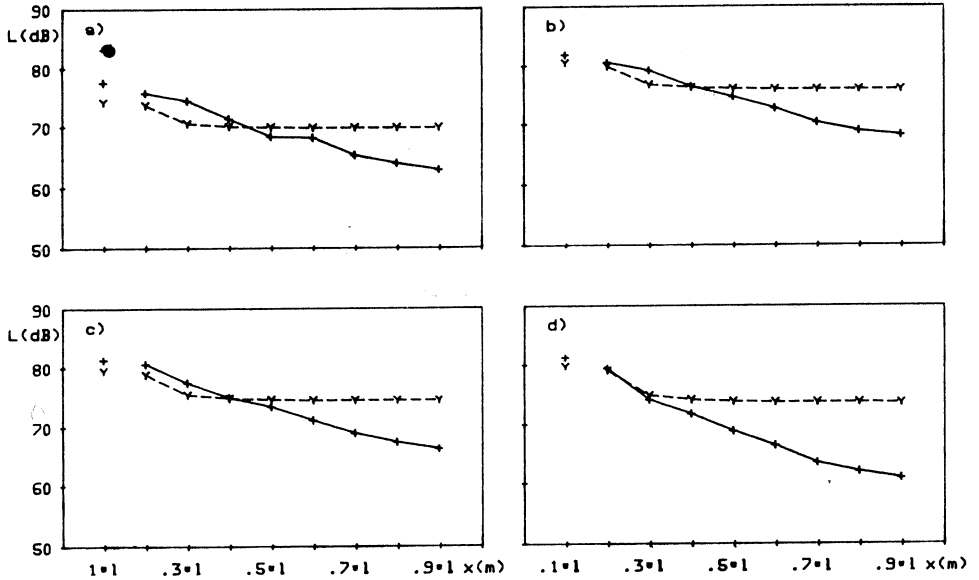
Tab. 1. Základní charakteristiky prostorů

Číslo měření	Podnik	Využití prostoru	Rozměry [m]		
			<i>l</i>	<i>b</i>	<i>h</i>
1	Perla n. p. závod Choceň	hala česacích strojů	64,9	17,5	4,2
2	PSO Michle	dřevarařská dílna	66,0	14,5	6,5
3	Tesla k. p. závod Lenešice	stříhárna vláken	7,3	6,3	3,0
4	Gramofonové závody n. p. Loděnice	tiskárna	31,8	14,3	5,0
5	Orion n. p. závod Modřany	výrobní čokolády	40,4	18,4	4,2
6	ČKD k. p. závod Choceň	těžká obrobna	87,7	20,2	7,8
7	ČKD k. p. závod Choceň	těžká montáž	59,1	28,3	7,8
8	ČKD k. p. závod Choceň	obrobna rotačních součástí	66,3	36,2	12,6
9	ČKD k. p. závod Choceň	lehká obrobna	47,0	29,0	4,4
10	Elektropřístroj n. p. závod Písek	lisovna kovů	88,5	24,5	6,0
11	Elektropřístroj n. p. závod Písek	obrobna silumínu	17,8	12,1	5,4
12	Elektropřístroj n. p. závod Písek	zámečnická dílna	22,7	15,0	7,1
13	Elektropřístroj n. p. závod Písek	montáž stykačů	21,6	13,6	4,5
14	ZEZ n. p. Hloubětín	plechárna	97,7	36,7	11,9
15	Pražské papírny n. p.	provoz lazony	23,0	16,1	4,3
16	Pražské papírny n. p.	ofsetový tisk	126,7	24,2	4,4
17	Tesla Strašnice k. p.	konstrukce	9,9	8,7	3,5
18	Liaz k. p. provozovna Liberec	dřevomodelárna	47,2	14,8	4,2
19	VÚM pracoviště Lysá n. Labem	zkušebna	96,9	17,6	11,6
20	Tiba n. p. závod Beroun	přádelna	75,4	52,5	5,2
21	Tepna n. p. závod Náchod	čistírna	42,6	21,6	5,0
22	Tepna n. p. závod Náchod	přádelna	84,7	34,4	5,0

pásma se středními kmitočty 500 Hz, 1 kHz a 2 kHz je uvedeno v regresních diagramech na obr. 3. Čárkovanými čarami jsou v těchto diagramech vyznačena pásma odchylek  $\pm 2$  dB od regresní přímky.

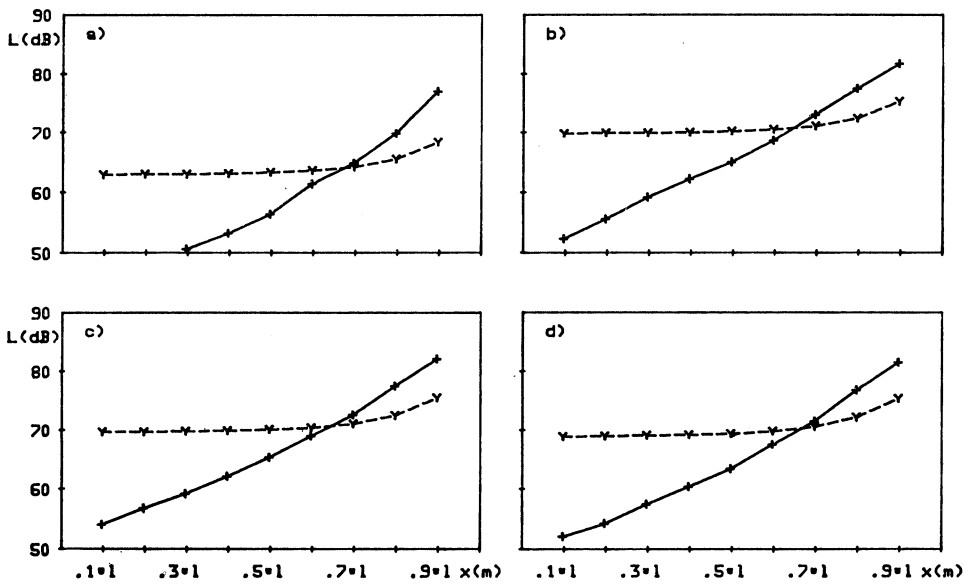
Vzhledem k tomu, že tyto regresní diagramy mají nízkou vypovídací schopnost, provedeme následující úpravu výsledků výpočtů a měření. Výsledky rozdělíme do tří skupin v závislosti na vzdálenosti místa příjmu od zdroje zvuku. Hranice pro rozdělení byly stanoveny experimentálně takto:  $r < 10$  m,  $10 \text{ m} \leq r < 25$  m,  $r \geq 25$  m. Regresní diagramy pro tento případ jsou uvedeny na obr. 4, přičemž jsou souhrnně zpracovány výsledky pro oktávová pásma se středními kmitočty 500 Hz, 1 kHz a 2 kHz.





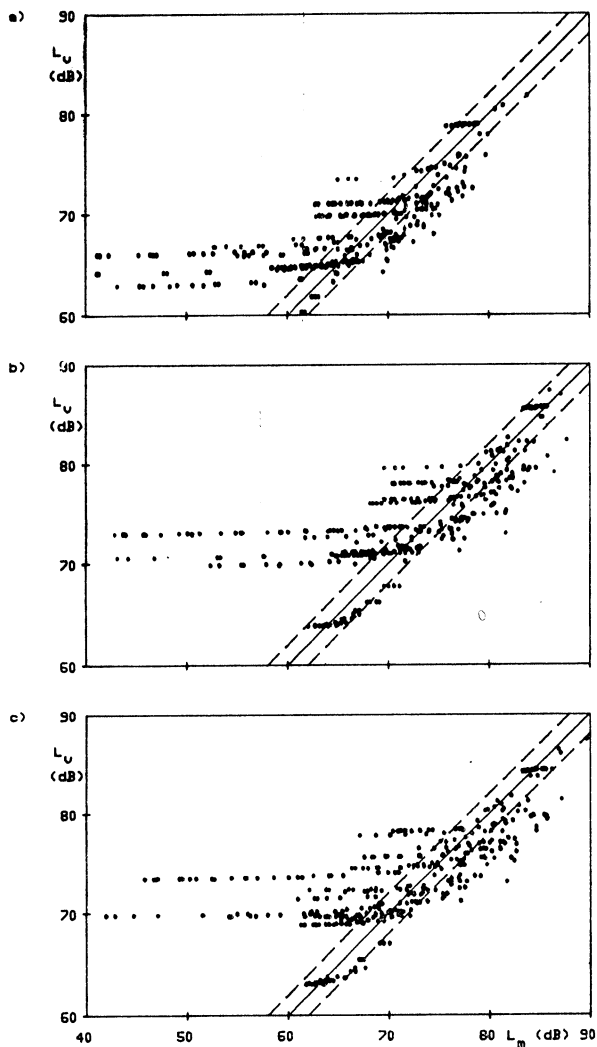
Obr. 1. Prostor č. 2 — měřené a vypočtené hladiny akustického tlaku v oktávnových pásmech: a) 500 Hz, b) 1 kHz, c) 2 kHz, d) 4 kHz.

Legenda: ————— měření; - - - - - výpočet podle rovnice (6).

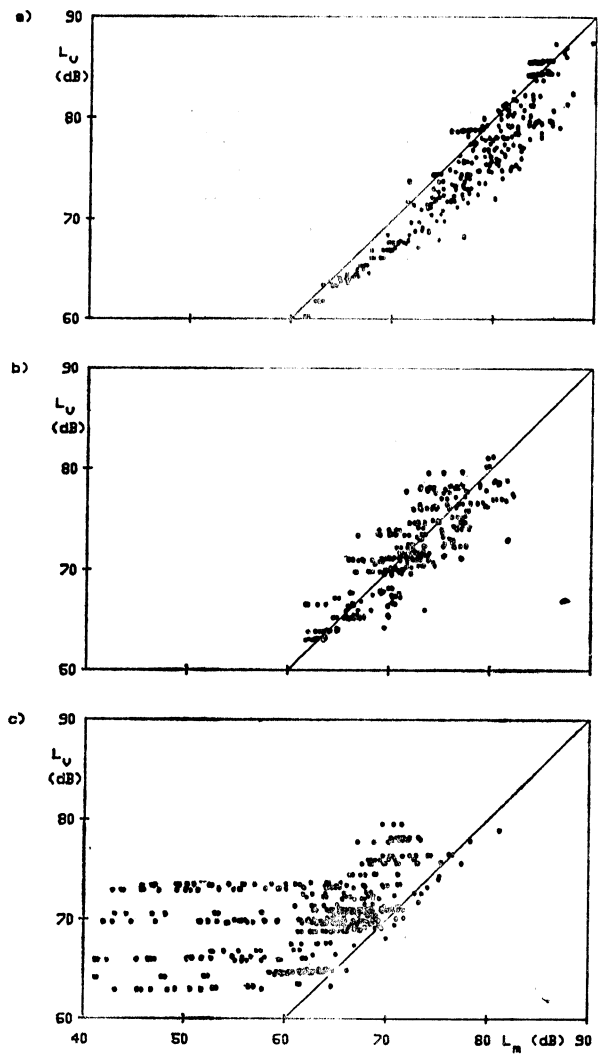


Obr. 2. Prostor č. 20 — měřené a vypočtené hladiny akustického tlaku v oktávnových pásmech: a) 500 Hz, b) 1 kHz, c) 2 kHz, d) 4 kHz.

Legenda: ————— měření; - - - - - výpočet podle rovnice (6).



Obr. 3. Regresní diagramy měřených ( $L_m$ ) a vypočtených hladin ( $L_u$ ) akustického tlaku v oktaóvových pásmech: a) 500 Hz, b) 1 kHz, c) 2 kHz.



Obr. 4. Regresní diagramy měřených ( $L_m$ ) a vypočtených hladin ( $L_v$ ) akustického tlaku v oktávových pásmech 500 Hz, 1 kHz a 2 kHz pro: a)  $r < 10$  m, b)  $10 \text{ m} \leq r < 25$  m, c)  $r \geq 25$  m.

#### 4. STATISTICKÉ ZPRACOVÁNÍ

V předechozí kapitole byly uvedeny ukázky grafického zpracování výsledků měření a výpočtů podle modelu založeného na kombinaci přímého a difúzního zvukového pole při uvažování spojitého procesu pohlcování na stěnách prostoru. Přestože již tyto ukazují na značné rozdíly, provedme statistické zpracování celého souboru s cílem zjištění jeho základních charakteristik. Řešíme otázku, zda výsledky měření potvrzují správnost užití modelu pro popis zvukového pole v průmyslových prostorech a zda rozdíly hladin akustického tlaku stanovených měřením a výpočtem jsou pouze chybami vzniklými při měření. Formulujeme pro tento účel nulovou hypotézu  $H_0$

$$H_0 : D_s = 0, \quad (7)$$

kde  $D_s$  je střední hodnota rozdílů výsledků měření a výsledků výpočtů podle testovaného modelu [dB],

oproti alternativní hypotéze  $H_1$

$$H_1 : D_s \neq 0. \quad (8)$$

Hypotézu  $H_0$  zamítáme, jestliže platí

$$|D_s| \geq \hat{\sigma} \frac{u\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{\sqrt{n_m}}, \quad (9)$$

kde  $u\left(\frac{\alpha}{2}\right)$  je kritická hodnota normálního rozdělení na hladině  $\frac{\alpha}{2}$ ,  
 $n_m$  — počet naměřených, resp. vypočtených hodnot [—],  
 $\hat{\sigma}$  — odhad směrodatné odchylky základního souboru [dB].

Pro hladinu testu  $\alpha = 0,05$  jsou výsledky statistických výpočtů pro oktávová pásma se středními kmitočty 125 Hz až 8 kHz uvedeny v tab. 2.

Tab. 2. Souhrn statistického zpracování výsledků výpočtů podle diskutovaného modelu a výsledků měření

$f_s$ [Hz]	125	250	500	1k	2k	4k	8k
$\hat{\sigma}$ [dB]	6,28	7,32	7,37	7,08	7,01	7,36	8,83
$D_s$ [dB]	-4,30	-4,09	-2,97	-2,75	-2,57	-5,08	-7,60
$\hat{\sigma} \frac{u\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{\sqrt{n_m}}$ [dB]	0,64	0,74	0,75	0,72	0,71	0,74	0,89

Z tab. 2 tedy vyplývá, že pro všechna oktávová pásma 125 Hz až 8 kHz zamítáme na hladině  $\alpha$  nulovou hypotézu a tvrdíme, že rozdíly mezi naměřenými a vypočtenými hladinami akustického tlaku jsou statisticky významné.

## 5. DISKUSE VÝSLEDKŮ

Z obr. 1 až 4 a především ze statistického zpracování souboru výsledků měření a výpočtů rozložení zvukového pole podle modelu založeného na kombinaci pole přímých zvukových vln a pole difúzního plyne, že tento model není vhodný pro užití pro průmyslové prostory. Výsledky výpočtů se systematicky odlišují od výsledků měření, a to tak, že v blízkosti zdroje zvuku jsou vypočtené hladiny akustického tlaku nižší než naměřené, zatímco ve větších vzdálenostech je tomu naopak (obr. 4). Přitom rozdíly vypočtených hladin akustického tlaku od měřených jsou velmi významné a jejich statistická hodnota je dána směrodatnými odchylkami rozdělení uvedenými v tab. 2.

V [11] je uvedena upravená verze modelu založeného na kombinaci přímého a difúzního zvukového pole. Základní rovnice pro tento model je

$$L_v = L_w + 10 \cdot \log \left[ \sum_{j=1}^7 \frac{1}{4\pi r_j^2} + \frac{4 \cdot (1 - \alpha_s)}{S \cdot \alpha_s} \right], \quad (10)$$

kde  $r_j$  je dráha zvukového paprsku přímého, resp. paprsku, který reprezentuje první odrazy od obvodových stěn, podlahy a stropu [m].

Pomineme-li skutečnost, že při odvozování modelu, jehož základem je rovnice (10), nebyl vzat v úvahu zákon zachování energie a provedeme-li statistické zpracování výsledků výpočtů podle (10) a výsledků měření, dostaneme výsledky uvedené v tab. 3.

Tab. 3. Souhrn statistického zpracování výsledků výpočtů podle modifikovaného modelu a výsledků měření

$f_s$ [Hz]	125	250	500	1k	2k	4k	8k
$\hat{\sigma}$ [dB]	7,07	7,87	7,96	7,66	7,66	8,23	10,04
$D_s$ [dB]	-4,46	-4,26	-3,13	-2,93	-2,75	-5,32	-7,97
$\hat{\sigma} \frac{u\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{\sqrt{n_m}}$ [dB]	0,72	0,80	0,81	0,78	0,78	0,83	1,02

Z tab. 3 vyplývá, že ani modifikovaný model není vhodný pro popis zvukového pole v průmyslových prostorech. Hodnoty směrodatných odchylek vypočtených a naměřených hladin akustického tlaku jsou v tomto případě větší než pro základní model, což je důsledek nerespektování zákona zachování energie.

## 6. ZÁVĚR

Z uvedeného rozboru vyplývá jednoznačný závěr, že model založený na kombinaci přímého a difúzního zvukového pole (viz základní rovnice (6) resp. (4)) nelze aplikovat pro výpočty zvukových polí v průmyslových prostorech. Stejný závěr platí pro modifikovaný model, viz rovnice (10). Přitom základem pro analýzy byly

hladiny akustického tlaku v oktávových pásmech vypočtené s využitím střední hodnoty doby dozvuku určené měřením v testovaných prostorech. Tím bylo vyvráceno obvyklé tvrzení, že rozdíly mezi naměřenými a vypočtenými hladinami podle diskutovaného modelu jsou důsledkem chybného stanovení akustických charakteristik prostoru, tj. nejčastěji činitele pohltivosti řešeného prostoru.

## LITERATURA

- [1] *Janeček, P.*: Akustická studie při projektování průmyslových provozů. Bulletin ČSVA. 1980, č. 3, s. 5—6.
- [2] *Beranek, L. L.*: Acoustics. 1 ed. New York, McGraw-Hill Book Company 1954.
- [3] *Hopkins, H. F.—Stryker, N. R.*: A Proposed Loudness-Efficiency Rating for Loudspeakers and the Determination of System Power Requirements for Enclosures. Proceedings of the I.R.E., 36, 1948, č. 3, s. 315—335.
- [4] *Young, R. W.*: Sabine Reverberation Equation and Sound Power Calculations. JASA, 31, 1959, č. 7, s. 912—921.
- [5] *Terrell, P. G.—Hanson, W. J.—Ramsey, M. D.*: Predicting Noise Reduction from Absorptive Treatments in Industrial Spaces: Alternatives to the "Sabine" Method. AIHA, 44, 1983, č. 11, s. 809—813.
- [6] *Peutz, V. M. A.*: Reverberation Times and Reverberation Levels. Conference NOISE CONTROL, Krakow 1985, s. 117—126.
- [7] *Janeček, P.*: Výpočet činitele útluhu zvuku ve vzduchu. Zdravotní technika a vzducho-technika, 28, 1985, č. 3, s. 153—161.
- [8] *Janeček, P.—Novotný, J.*: Difuzita zvukového pole v průmyslových prostorech. (V přípravě k publikaci.)
- [9] *Janeček, P.* a kol.: Akustické vlastnosti průmyslových interiérů. [Výzkumná zpráva I. etapa.] Praha, VÚBP 1982.
- [10] *Čechura, J.—Weiglová, J.*: Stavební tepelná technika, akustika a denní osvětlení. 2. díl: Denní osvětlení a stavební akustika. Praha, ČVUT 1984.
- [11] *Sedláček, J.*: Akustika interiéru průmyslových objektů spotřebního průmyslu. Typizační směrnice. Gottwaldov, Centroprojekt PIO 1985.
- [12] *Anděl, J.*: Matematická statistika. 1. vyd. Praha, SNTL—ALFA 1978.

## ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛИ ОСНОВАННОЙ НА КОМБИНАЦИИ ПРЯМОГО И ДИФфуЗИОННОГО ПОЛЕЙ В ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРОСТРАНСТВАХ

*Илж. Павел Янчек, к. т. н.*

В статье дискутируется возможность применения модели основанной на комбинации прямого и диффузионного полей Сабина для расчетов распределения звуковой энергии в промышленных пространствах. Описывается выведение этой модели, кратко описываются измерения характеристик передачи в стабильном состоянии и измерения реверберативных характеристик, проведенных в 22 пространствах. Из графической и главным образом из статистической обработки результатов измерения и расчетов по приведенной модели однозначно вытекает что невозможно модель применить для промышленных пространств.

## THE APPLICATION OF THE MODEL BASED ON A COMBINATION OF THE DIRECT AND DIFFUSION SOUND FIELDS IN INDUSTRIAL ROOMS

*Ing. Pavel Janeček, CSc.*

The possibilities of the application of the model based on a combination of the direct and diffusion Sabina's fields for the calculation of the sound energy distribution in industrial rooms are discussed there. The deduction process of the model is discussed there, the transfer characteristics' measurement in the stationary state and the reverberation characteristics' measurement carried out

in 22 rooms are briefly described there. As follows from the graphical and above all from the statistical measurement and calculation results processing the model can not be used for industrial rooms.

### APPLIKATION EINES AUF DER KOMBINATION EINES DIREKT- UND DIFFUSIONSSCHALLFELDES IN DEN INDUSTRIERÄUMEN BERUHENDEN MODELLS

*Ing. Pavel Janeček, CSc.*

Im Artikel diskutiert man das Anwendungsgebiet eines auf der Kombination eines Direkt- und Sabinov-Diffusionsfeldes beruhenden Modells für die Berechnungen der Schallenergie-ausbreitung in den Industrieräumen. Man gibt die Ableitung dieses Modells an, man beschreibt kurz die Messungen der Übertragungscharakteristiken im stationären Zustand und der Nachhallcharakteristiken, die in den 22 Räumen durchgeführt worden sind. Auf Grund der graphischen und vor allem statistischen Bearbeitung der Messungsergebnisse und der Berechnungen nach dem eingeführten Modell kommt man zur Schlussfolgerung, dass dieses Modell für die Industriegebäude nicht angewendet werden kann.

### APPLICATION D'UN MODÈLE FONDÉ SUR LA COMBINAISON D'UN CHAMP SONORE DIRECT ET DIFFUS DANS LES ESPACES INDUSTRIELS

*Ing. Pavel Janeček, CSc.*

Dans l'article présenté, on discute la possibilité de l'application d'un modèle fondé sur la combinaison d'un champ de Sabinov direct et diffus pour les calculs de la distribution d'une énergie sonore dans les espaces industriels. On indique la déduction de ce modèle, brièvement, on décrit les mesurages des caractéristiques de transmissions dans l'état stationnaire et des caractéristiques de retentissement qui ont été réalisés dans les 22 espaces. On tire une conclusion de l'élaboration graphique et statistique avant tout des résultats des mesurages et des calculs suivant le modèle cité que ce modèle ne peut pas être utilisé pour les espaces industriels.

### ● CLIMA 2000

Druhý světový kongres o větrání, vytápění, chlazení a klimatizaci CLIMA 2000 bude se konat 28. srpna až 1. září 1989 v Sarajevu v Jugoslávii. Spolu s kongresem bude uspořádána mezinárodní výstava vytápění, větrání, chlazení a klimatizace.

Organizátor akce je Jugoslávský komitét pro vytápění, chlazení a klimatizaci (JUKO KGH), sponzorem je REHVA, ASHRAE a IIR.

Bližší informace podává sekretariát kongresu: Organizing Committee of Clima 2000, Mašinski fakultet, prof. Dr. E. Kulič, 71000 Sarajevo, Omladinsko šetalište bb.



Letošní konference Inter-Noise měla důstojné místo konání — přes 600 let starý Papežský palác v jihofrancouzském Avignonu. Téměř 800 účastníků, 269 referátů a 109 plakátových vystoupení se, paralelně v 8 sálech, ve 4 patrech a nádvoří, konalo v pouhých třech dnech od 30. srpna do 1. září 1988. Konference tradičně pořádaná mezinárodní společností Noise Control Engineering každý druhý rok mimo Spojené státy americké byla letos zaměřena na zdroje hluku. To nebránilo, aby 8 plně obsazených sekcí nepokrývalo všechny specializace technické akustiky: Měření a analýzy, vyzářování hluku ze struktur, stacionární zdroje, hluk šířený konstrukcí a vibrace, aktivní snižování hluku a vibrací, různé pohyblivé se zdroje. Tyto sekce označované písmeny A až H v souladu s označením sálů byly doplněny plakátovými vystoupeními zejména o zástěnách a šíření hluku ve venkovním prostředí a pracovními schůzkami s názvy dopravní hluk, hluk v průmyslu a metrologie. Zajímavé je, že bylo předneseno 33 vyžádaných referátů, nejen od slavných autorů světové „hlukařské akustiky“ ale i 17 speciálních referátů celkem neznámých mladých, ale vynikajících autorů otevírajících jednotlivá zasedání. Dále bylo 6 vyžádaných plakátových vystoupení a 9 pracovních schůzek.

Sborník konference je třídílný asi o 1 600 stranách a změny vůči předem vytištěnému programu byly vskutku minimální, účast na přednáškách byla téměř 100 %. Z ČSSR se konference zúčastnili ještě dva další specialisté z VUZORT a ČVUT FEL z Prahy.

V odborné části byla překvapivá rozsáhlá řada referátů o snižování hluku převodovek, spojená s diagnostikou závad na základě analýzy akustických signálů, převážně vibrací. Technika snižování hluku převodovek je jednoznačně zaměřena na akustické řešení skříně. Dalším překvapením byl vysoký počet referátů (přes 20) z oblasti aktivního snižování jak hluku, tak vibrací na základě nejrůznějších principů i v oblasti středních slyšitelných kmitočtů. Avšak největší nárůst počtu velice kvalitních prací je v oblasti hluku šířeného konstrukcí, zejména o jeho charakterizaci a zásahy přímo na zdrojích na rozdíl od dřívější pouhé izolace.

Při snižování hluku je standardně používána technika akustické intenzity na klasické bázi dvou, zřídka kdy vícemikrofonového snímání gradientu akustické tlaku. Těžiště prací spočívá v automatizaci, resp. robotizaci snímání vektoru této veličiny a softwareovém zpracování výsledků.

Největší pokrok byl učiněn v sortimentu materiálů i výrobků pro snižování hluku strojů. Nejmodernější technologické postupy již zdaleka nevyužívají klasický axiom o tlumení pouze mechanicky poddajnými materiály.

Pokrok v oblasti akustické intenzity a materiálů byl demonstrován na paralelně běžící výstavě na nádvoří a jednom vestibulu Papežského paláce. Tato výstava „Silenceexpo“ se konala o den déle, kdy probíhala speciální pracovní setkání v oblasti zdrojů hluku ve venkovním prostředí, především z pozemní dopravy. Na výstavě bylo celkem 36 stánků. V měřicí technice si udržují klasické prvenství dánská firma Brüel a Kjaer a norská Norwegian elektronik, především v oblasti elektronicky složitějších přístrojů.

Menší firmy se pochopitelně sdružují do přístrojových sdružení. V úzké časové návaznosti (před i po konferenci Internoise) probíhala řada zasedání pracovních skupin ISO, především „Akustická intenzita“ a „Hluk šířený a vyzářovaný konstrukcí“, v nichž československá účast je aktivní.

Jelikož v organizaci konference hrálo klíčovou roli soukromé sdružení CETIM s centrem v Senlis na severu Paříže, tradičně organizující symposia o akustické intenzitě, tentokrát připravilo pro užší okruh specialistů kurs s názvem „Hluk převodů“ přímo v Senlis ve dnech 6 až 8. září pod vedením tří přednášejících profesorů z USA.

Přestože v organizačním i vědeckém přípravném výboru jsou výhradně osobnosti pořádatelky země, je politováníhodné, že ČSSR není v organizaci Internoise zastoupeno, jako naši socialističtí sousedé.

*Stěnička*

### ● Chladicí jednotky s mokřým vzduchem konzervují ovoce a zeleninu

Při uskladňování čerstvého ovoce a zeleniny jde především o to, aby skladované zboží bylo ochlazené na co nejnižší teplotu, ale přitom nezmrzlo, jinak by se zkazilo. Současné musí být vzduch udržován co nejvlhčí, aby nedošlo k úbytkům na váze.

Pro tyto speciální účely vyvinula firma Huckle Kühltürme und Apparatebau v NSR chladicí a vlhčicí jednotku, která se umísťuje přímo do uzavřených skladovacích prostorů a dodává do nich vzduch ochlazený vodou 0,5 °C. Vzduch pak cirkuluje mezi skladovaným zbožím.

Takovýto druh chladicí jednotky musí být patřičně konstruován, protože obíhající vzduch má téměř stále 100 % r. v. Zvláštností jednotky je plynulá regulace otáček ventilátoru. Speciální termostat v obvodu chladicí vody působí na otáčky ventilátoru tak, aby skutečná teplota vzduchu odpovídala požadované. Tak se objemový průtok vzduchu přizpůsobuje potřebě chlazení, což současně vede ke snížení spotřeby elektrické energie.

HLH 2/88

(Ku)



## NESPOKOJENOST S KLIMATIZACÍ: PSYCHOLOGICKÉ PŘÍČINY

PhDr. ALEŠ HLADKÝ, CSc.

*Institut hygieny a epidemiologie, Praha*

Článek navazuje na předcházející práci (ZTV 29, č. 1/86), ve které byly porovnány objektivní příčiny nespokojenosti se subjektivním hodnocením osob a zaměřuje se na psychologické příčiny stížností na klimatizaci. Aplikace statistických vyhodnocovacích metod potvrdila zkušenosti provozovatelů klimatizačních zařízení — tradí se výhrady proti neotevratelným oknům, stížnosti na nedostatek kyslíku a přetrvávají obavy z ohrožení zdraví v důsledku pobytu v klimatizovaných prostorech. Důsledkem tohoto stavu je varování před dalším rozvojem výstavby plně klimatizovaných budov.

*Recenzoval: Ing. Jiří Frýba*

### 1. ÚVOD

Klimatizační zařízení v budovách sloužících administrativním účelům se stalo trvalým terčem stížností a nespokojenosti zaměstnanců. Nejčastěji a nejintenzivněji si zaměstnanci stěžují v budovách vybavených plnou klimatizací s neotevratelnými okny. Četnost nespokojených osob bývá uváděna v rozsahu 16—75 % [2, 4, 7, 14]. Srovnání literních pramenů dokládá, že subjektivní stesky a nespokojenost zaměstnanců jsou rozšířeny alespoň v mírném klimatickém pásmu takřka po celém světě (USA, Kanada, Francie, Švýcarsko, NSR, Jugoslávie, SSSR, ČSSR). Obraz subjektivního diskomfortu zahrnuje bolesti hlavy, únavnost až malátnost, pocity suchosti sliznic, pálení v očích, pocity vydýchaného vzduchu a nedostatku kyslíku. Tyto symptomy byly nazvány „chorobou ze zvlhčovačů“ [9] či „building illness“ [13].

Doposud se nepodařilo jednoznačně prokázat příčinu diskomfortních pocitů lidí v klimatizovaných místnostech. Je nepochybné, že spolupůsobících činitelů je více a že jde o podmíněnost multifaktoriálního druhu. *Gubernskij a Korenevskaja* [5] soudí, že za normálních životních podmínek nemusí většina faktorů sama o sobě vyvolávat žádnou disbilanci organismu, avšak jejich kombinovaný vliv zvyšuje náročnost na mechanismy udržující homeostázu, čímž se zatěžují regulační schopnosti organismu.

Řada autorů poukázala na možné psychologické příčiny stesků na subjektivní diskomfort. *Šverko a Vukmirovič* [14] zjistili, že výrazně negativní postoj vůči klimatizaci projevily osoby starší 46 let, ženy a osoby s nižším vzděláním. Konstatují však, že nebyl nalezen objektivně příčinný faktor, který by významně ovlivňoval negativní postoj pracovníků. *Sivadon* [9] vyslovil domněnku, že negativní postoj a stížnosti na klimatizaci jsou projevem difúzní úzkosti, jejíž původ zatím nedokážeme identifikovat a kterou lidé tímto způsobem odreagovávají.

Vzhledem k této nejasnostem jsme si dali za úkol prozkoumat blíže toto psychologické pozadí stesků na klimatizaci. Jde zejména o otázku, jaká je spoluúčast a role různých faktorů objektivních i subjektivních při genezi syndromu nespokojenosti s klimatizací. Tato stať představuje dokončení dřívější studie [7], v níž byly popsány vztahy mezi subjektivními postoji a objektivními ukazateli.

## 2. METODA

Výzkum byl proveden ve výškové administrativní budově PZO Motokov v Praze. Metodický postup je uveden v předchozí studii [7], spočívá ve srovnávání skupiny extrémně spokojených osob se skupinou extrémně nespokojených. Jejich složení je patrné z *tab. 1*.

Tab. 1. Složení vybrané skupiny osob

Charakteristika	Absolutně			% řádkově			% sloupcově		
	muži	ženy	celkem	muži	ženy	celkem	muži	ženy	celkem
Spokojení	54	39	93	58,1	41,9	100	76,1	36,4	52,2
Nespokojení	17	68	85	20,0	80,0	100	23,9	63,6	47,8
Celkem	71	107	178	39,9	60,1	100	100	100	100

$\chi^2 = 27,87$  pro 1 st. v.,  $p = 0,001$

U této vybrané skupiny s extrémními postoji jsme provedli další vyšetření: dotazníkem EOD [15] byly zjišťovány základní osobní vlastnosti, dotazníkem HPZ [6] byla ověřována percepce pracovní zátěže a ze záznamů závodního lékaře byly zjišťovány údaje o návštěvách ordinace a o nemocnosti za dobu 4 let, později dodatečně doplněné o další dva roky.

Zpracování výsledků spočívá ve srovnání skupin krajně spokojených a krajně nespokojených osob statistickými testy (*t*-test,  $\chi^2$  test podle povahy dat). Ke zjištění závažnosti různých proměnných byl použit test analýzy diskriminační funkce a pro kontrolu též faktorová analýza.

## 3. VÝSLEDKY

Pro značný počet zkoumaných proměnných není možno všechny výsledky dokládat tabelárně nebo graficky. Omezujeme se proto na výčet znaků, které charakterizují rozdíly a shody mezi skupinou osob spokojených a nespokojených s klimatizací. Za rozdílné pokládáme znaky, které při konfrontaci obou skupin dosáhly hladiny významnosti  $p \leq 0,05$ . Některé významnější výsledky jsou znázorněny graficky nebo tabelárně.

### *Objektivně zjištěné parametry prostředí*

O této části je podrobně referováno v dřívější studii [7]. Zrekapitulujeme-li hlavní fakta, v místnostech, kde převládaly nespokojené osoby, byly naměřeny vyšší teploty ovzduší a pracovalo zde více osob ( $\geq 4$ ) než v místnostech s převahou spokojených ( $\leq 2$ ). Na druhé straně nebyla zjištěna závislost nespokojenosti na relativní vlhkosti a proudění vzduchu v místnosti, či na vzdálenosti pracovního stolu od okna či od zdi. Vyšší vnitřní teploty ovzduší byly zjištěny v místnostech orientovaných na jih a západ v závislosti na slunečním svitu; relativní rozložení spokojených a nespokojených odpovídá též tomuto prostorovému uspořádání.

Dodatečně jsme provedli výpočet plošné a prostorové výměry kanceláří a počet volné nezastavěné plochy a prostoru připadajícího na jednoho pracovníka. Ukázalo se, že na nespokojenost mají vliv kombinované účinky teploty vzduchu i prostorové výměry ve vzájemné podmíněnosti. V místnostech o výměře  $\geq 20 \text{ m}^3$  volného nezastavěného prostoru na osobu byla nespokojenost spojena zejména s vyšší teplotou vzduchu, kdežto v místnostech o výměře  $\leq 15 \text{ m}^3$  byli nespokojení v relativní převaze nad spokojenými i při komfortních tepelných podmínkách ( $\leq 23,7 \text{ }^\circ\text{C}$ ). Hygienická norma  $15 \text{ m}^3$  volného nezastavěného prostoru na osobu nebyla dodržena v 16 z 99 posuzovaných kanceláří, volný nezastavěný prostor na osobu zde činil 10,7—14,5  $\text{m}^3$ .

#### Objektivní údaje o osobách

Relativní poměr počtu mužů a žen svědčí o převaze nespokojených žen (viz tab. 1). S touto okolností souvisí zjevně i další znaky, jimiž se obě skupiny odlišují: skupina nespokojených má nižší průměrnou tělesnou výšku a hmotnost (167,7 proti 172,8 cm, 68,3 proti 73,2 kg), jsou zde relativně více zastoupeny osoby s nižším a středním vzděláním než s vysokoškolským a mezi nespokojenými je relativně daleko více pracovníků řadových nežli vedoucích. Na druhé straně jsme nezjistili rozdíly v těchto znacích: poměr mezi tělesnou výškou a hmotností (Brocův index), věk, rodinný stav, délka praxe, délka pobytu v klimatizované budově, rozdíl mezi vzděláním požadovaným a dosaženým, druh obytného domu, v němž pracovník bydlí, a způsob vytápění doma. Mezi nespokojenými tedy relativně více převládají ženy s nižším a středním vzděláním, řadové pracovnice.

#### Znaky spojené s osobností a životem pracovníků

Jak dokládá tab. 2, u pracovníků se zvýšeným skórem neuroticismu převládá tendence k nespokojenosti, zatímco u osob stabilnějších se projevuje téměř rovno-

Tab. 2. Rozložení skóre neuroticismu

Charakteristika	Absolutně			% řádkově			% sloupcově		
	nízký	zvýšený	celkem	nízký	zvýšený	celkem	nízký	zvýšený	celkem
Spokojení	79	13	92	85,9	14,1	100	58,1	31,7	52,0
Nespokojení	57	28	85	67,1	32,9	100	41,9	68,3	48,0
Celkem	136	41	177	76,8	23,2	100	100	100	100

Nízký skór  $\leq 11$ , zvýšený skór  $\geq 12$   
 $\chi^2 = 8,91$  pro 1 st. v.,  $p = 0,003$

měrné rozdělení obou postojových typů. U větší části nespokojených se dále projevuje tendence k celkové životní nespokojenosti, více těchto osob pokládá za závažnější problémy osobní nežli pracovní; u spokojených je tomu v obou těchto hlediscích naopak.

Rozdíly mezi spokojenými a nespokojenými jsme nezjistili v relativním zastoupení extravertů či introvertů, kuřáků či nekuřáků, v míře uváděné mimopracovní

zátěže a v subjektivně udávané tělovýchovné aktivitě. Rovněž v odpovědích na kontrolní otázku, zda v posledním půl roce došlo k nějaké závažné životní události ať už v práci, či v soukromí, se mezi oběma skupinami neprojeví rozdíly.

### *Subjektivní percepce pracovního prostředí*

Při subjektivním hodnocení se nespokojené osoby vyjadřovaly téměř ke všem faktorům pracovního prostředí podstatně kritičtěji než osoby neprojevující nespokojenost s klimatizací. Týká se to nejen faktorů teplotně vlhkostního mikroklimatu, ale i osvětlení denního a umělého, hluku na pracovišti, stavu hygienických zařízení a stravovacích prostor, celkové estetičnosti prostředí, ale dokonce i vibrací, které se v dané budově vyskytují minimálně. Svědčí to o tom, že nespokojenost s klimatizací má charakter syndromu, v němž se prolíná negativní vnímání téměř všech složek pracovního prostředí.

### *Subjektivní percepce pracovní zátěže*

Skupina nespokojených hodnotí ve srovnání se spokojenými svou práci jako náročnější na zrak a pozornost; naopak skupina spokojených pokládá svou práci za náročnější na jednání s lidmi a na operativní rozhodování, pocituje vyšší odpovědnost morálně politickou a odpovědnost za zdraví a bezpečnost jiných osob. Tyto rozdíly jsou dány především tím, že ve skupině spokojených převládá relativně více vedoucích pracovníků. Náročnost práce na sluch, fyzickou zdatnost, zručnost, obratnost, tvořivost, znalosti, vyjadřovací schopnosti, početní úkony, trpělivost a hmotnou odpovědnost byly oběma skupinami hodnoceny stejně. Rovněž jsme nezjistili rozdíly mezi uváděným odhadem průměrné spotřeby času v pracovní směně na práci vsedě (75 % času směny proti 74 %), vstoje (9 % proti 11 %) a při přecházení (16 % proti 15 %).

Nespokojení dále hodnotili svou práci ve větší míře jako monotonní, spíše otupující než duševně podnětnou, méně zajímavou. Relativně více nespokojených uvedlo, že v práci prožívá spíše zklamání než úspěchy, méně jich je spokojeno s pracovní dobou a jejich celková spokojenost v práci je menší než u skupiny spokojených. Nespokojení se dále cítí více připoutáni na pracoviště (menší volnost pohybu), kritičtěji se dívají na možnosti svého funkčního a platového postupu a na využití své kvalifikace v práci. U skupiny spokojených je tomu v těchto všech uvedených hlediscích naopak a navíc uváděli větší zátěž funkcemi ve společenských organizacích a vyšší celkovou duševní zátěž v práci, na druhé straně pocítují, že jsou svými nadřízenými pracovními hodnoceni kritičtěji. Mezi oběma skupinami se neprojeví rozdíly v hodnocení těchto okolností: spěch v práci, míra vyrušování při soustředěné práci, využití schopností v práci, vztahy k nadřízenému pracovníkovi a vztahy mezi lidmi v kolektivu, odměňování, tělesná zátěž v práci, ovlivnění životní spokojenosti pracovními problémy a celkové globální hodnocení pracovní zátěže.

Je patrné, že alespoň u části osob je nespokojenost s klimatizací spojena při rutinní povaze práce s menším zaujetím pro práci, méně se identifikují se svou prací, zatímco opačná skupina, v níž relativně více převládají muži ve vedoucích postaveních, nachází v práci více seberealizace.

Při subjektivním hodnocení únavy se projeví významné rozdíly mezi oběma skupinami: nespokojení si ve větší míře stěžují na celkovou únavu při práci, na bolesti v zádech, v horních a dolních končetinách a na únavu zraku. Neuvádějí však více symptomů nervozity v práci než skupina spokojených.

Tab. 3. Subjektivně udávané zdravotní potíže, uváděné do souvislosti s vlivy počasí a klimatizace

Zdravotní potíže	Potíže celkem			Pocitovaný vliv počasí			Pocitovaný vliv klimatizace			Rozdíly mezi skupinami
	celý soubor	spokojení	nespokojení	celý soubor	spokojení	nespokojení	celý soubor	spokojení	nespokojení	
										<i>p</i>
Bolesti hlavy	59,3	17,2	70,6	42,2	16,1	56,5	29,7	1,1	51,8	0,001
Katary horních cest dýchacích	38,0	19,4	71,8	9,8	7,5	14,1	19,0	4,3	40,0	0,001
Potíže s páteří	33,6	16,1	47,1	13,8	7,5	12,9	8,1	2,1	10,6	0,001
Svalové či kloubní potíže	26,5	11,8	41,2	18,4	8,6	32,9	7,8	1,1	14,1	0,001
Otoky končetin, očních víček	19,1	5,4	45,9	4,7	2,1	9,4	4,7	1,1	15,3	0,001
Zažívací potíže	18,8	15,1	34,1	2,7	3,2	2,4	3,8	2,1	10,8	0,013
Gynekologické potíže	15,2	0,0	14,3	1,5	0,0	0,0	5,3	0,0	2,9	0,001
Záněty spojivek	13,4	6,5	29,4	1,6	2,1	2,4	5,2	0,0	7,1	0,001
Potíže jiného druhu	12,9	20,4	22,4	6,2	3,2	7,1	5,2	1,1	9,4	0,001
Kožní afekce	12,1	3,2	16,5	0,9	0,0	0,0	1,3	0,0	7,1	0,002
Potíže s krevním tlakem	7,1	5,4	9,4	4,8	5,4	8,2	3,0	0,0	4,7	n. s.
Cévní potíže	6,4	3,2	22,4	2,9	3,3	4,7	3,2	0,0	10,6	0,001
Urologické potíže	6,3	2,1	10,6	0,7	1,1	0,0	2,0	0,0	7,1	n. s.
Astrmatické potíže	5,7	4,3	11,8	2,3	3,2	4,7	4,5	2,1	9,4	n. s.
Srdečně cévní potíže	4,0	3,2	11,8	3,1	3,2	7,1	4,7	3,2	10,6	n. s.

Údaje jsou uvedeny v %. Sloupec *p* udává hladinu významnosti rozdílu mezi skupinami spokojených a nespokojených ( $\chi^2$ ); rozdíly byly počítány po rozřídění dat do 4 skupin (neuvádí potíž, uvádí celkem, uvádí s vlivem počasí či klimatizace, uvádí bez vlivu počasí či klimatizace), tj. pro 3 stupně volnosti.

### Subjektivní zdravotní potíže

Skupina s vysokým skórem nespokojenosti subjektivně hodnotila svůj zdravotní stav relativně hůře a projevila ve větší míře obavy z možného rizika onemocnění chorobou, jež by mohla souviset s pracovními podmínkami, než skupina s nízkým skórem. Rovněž na dotaz o aktuálním zdravotním stavu při vyplňování dotazníku odpovědělo relativně více nespokojených, že se cítí hůře; dotaz na aktuální psychický stav však byl zodpovězen oběma skupinami stejně. Subjektivně uváděná konzumace léků u skupiny nespokojených je větší, zejména jde o prostředky proti bolestem hlavy, páteře, svalů a kloubů a o léky k uklidnění; naproti tomu u léků proti zažívacím potížím a ke spaní se údaje v uváděné spotřebě nelišily.

První dotazník, který vyplnilo 815 zaměstnanců, obsahoval i dotazy zaměřené na subjektivní potíže tělesného i duševního charakteru a jejich pociťované souvislosti s klimatizací v budově a s makroklimatickými vlivy. Vyčlenění skupin s extrémními skóry spokojenosti s klimatizací umožňuje porovnávat tyto dvě skupiny i vzhledem k celé základní skupině.

Přehled subjektivních potíží zdravotního charakteru je uveden v *tab. 3*. Rozdíly mezi spokojenými a nespokojenými osobami jsou vesměs signifikantní až na skupinu potíží urologických, astmatických, kardiovaskulárních a potíží s krevním tlakem. Spokojení ve srovnání jak s nespokojenými, tak s celým souborem uvádějí daleko méně svých zdravotních potíží a v zanedbatelné míře je spojují s vlivy klimatizace. U nespokojených osob je charakteristické, že je ve značné míře připisují klimatizaci, u některých položek dokonce více než vlivům počasí: zejména jde o katary horních cest dýchacích, otoky končetin či očních víček, zažívací potíže, kožní afekce, záněty spojivek, cévní a urologické potíže. Za povšimnutí stojí i okolnost, že všichni spokojení, kteří uvedli kardiovaskulární, cévní a potíže s TK, pociťují, že počasí ovlivňuje změny jejich stavu, kdežto klimatizace v budově působí pouze na kardiaky.

Četnost subjektivně udávaných zdravotních potíží u nespokojených vede k podezření, že alespoň část těchto osob při výčtu svých potíží projevila tendenci agravovat, a to jak celkově, tak vzhledem k pociťovaným účinkům klimatizace. Příčinou je zejména jejich úzkostlivost ke svému zdravotnímu stavu i ke všem podnětům, jež by jej mohly ohrozit. Dokládá to *tab. 4*, z níž je patrné, že nespokojenost s klimatizací je těsně spojena s úzkostlivostí, vztahující se k vlastnímu zdraví.

Vzhledem k tomu, že snášenlivost mikroklimatických podmínek může souviset

Tab. 4. Obavy z poškození zdraví klimatizací

Charakteristika	Absolutně			% řádkově			% sloupcově		
	ne	ano	celkem	ne	ano	celkem	ne	ano	celkem
Spokojení	82	11	93	88,2	11,8	100	88,2	12,9	52,2
Nespokojení	11	74	85	12,9	87,1	100	11,8	87,1	47,8
Celkem	93	85	178	52,2	47,8	100	100	100	100

$\chi^2 = 113,30$  pro 1 st. v.,  $p = 0,001$

Tab. 5. Pociťované vlivy počasí

Príznak	Celý soubor 815	Spokojení 93	Nespokojení 85	Významnost p
Neurčité tělesné pocity	37,4	20,9	53,2	0,001
Neurčité psychické pocity	29,2	15,2	36,5	0,002
Změna nálady	51,8	36,3	62,8	0,001
Roztěkanost	24,1	10,8	32,1	0,001
Zhoršení paměti	6,7	7,5	7,4	n. s.
Zhoršení psychické pohotovosti	22,7	17,2	27,5	n. s.
Špatné snášení horka	54,2	40,9	63,5	0,002
Špatné snášení chladu	50,7	43,0	60,0	0,023
Stísněné pocity v uzavřených místnostech	30,1	10,8	47,1	0,001

Údaje jsou uvedeny v %. Sloupec p udává hladinu významnosti rozdílu mezi spokojenými a nespokojenými.

i se snášenlivostí makroklimatických vlivů a po případě i s klaustrofobií, zkoumali jsme otázku rozdílů mezi spokojenými a nespokojenými v těchto oblastech. Výsledky jsou uvedeny v *tab. 5*. Rozdíly mezi oběma skupinami jsou opět — až na dvě položky — významné. U nespokojených nejvíce osob udává špatnou snášenlivost horka a chladu, vlivy počasí se odrážejí nejvíce ve změnách nálady. Velký počet osob uvádějících stísněné pocity v uzavřených prostorách naznačuje, že tato klaustrofobie není příčinou, nýbrž následkem a zjevně má souvislost s neotvíratelnými okny v klimatizovaných místnostech, s pocity „nedostatku kyslíku“ a s obavami z důsledků možné havárie klimatizačního zařízení.

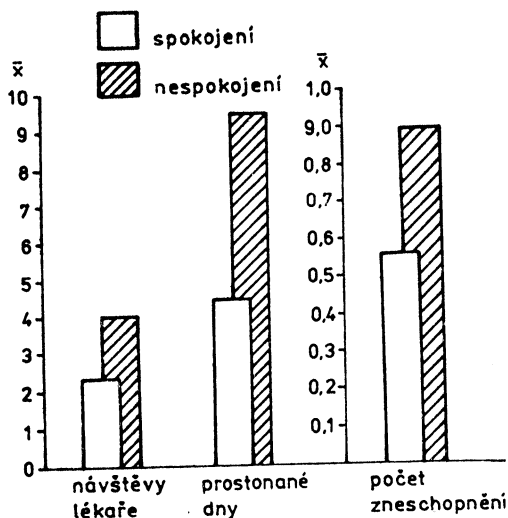
#### Objektivní údaje o nemocnosti

Sledovali jsme tři ukazatele: počet zneschopnění, počet prstonaných dnů a počet návštěv ordinace závodního lékaře. Jelikož ne všichni sledovaní pracovníci byli v podniku zaměstnáni po celou dobu 4 let, přepočítali jsme údaje každého jednotlivce na srovnatelný základ, tj. na průměrný počet za jeden rok. Výsledky jsou uvedeny v *obr. 1* a svědčí o tom, že nespokojení prstonali v průměru 2,1krát více dnů, byli zneschopnění 1,6krát více a navštívili závodního lékaře 1,7krát více než spokojení.

Srovnání s údaji oficiálních statistik [16] o nemocnosti pracovníků odborového svazu zaměstnanců státních orgánů a zahraničního obchodu za dobu 6 let ukázalo, že statisticky významné rozdíly mezi spokojenými a nespokojenými jsou pouze relativní, neboť nemocnost těchto dvou malých skupin v průměru nedosahuje hodnot tohoto velkého souboru.

#### Závažnost znaků, odlišujících obě skupiny

Dosavadním zpracováním výsledků jsme zjistili, že skupina extrémně nespokojených se od skupiny extrémně spokojených odlišuje řadou znaků, z nichž některé jsou vzájemně více spojeny a lze je vysvětlit např. příslušností k pohlaví, nebo zda



$\bar{x}_1$ □	2,35	9,92	0,56
$\bar{x}_2$ ▨	4,02	9,48	0,90
$t$	3,52 <sup>xxx</sup>	3,06 <sup>xx</sup>	3,08 <sup>xx</sup>
$s_1$ □	8,31	7,99	6,65
$s_2$ ▨	3,77	13,19	0,81
$F$	2,67 <sup>xx</sup>	2,73 <sup>xx</sup>	1,54 <sup>x</sup>
$x$	14,20 <sup>xxx [a]</sup>	16,55 <sup>xxx [b]</sup>	9,81 <sup>xx [c]</sup>

\*  $p < 5,0\%$

\*\*  $p < 1,0\%$

\*\*\*  $p < 0,1\%$

Obr. 1. Čísla v závorkách u  $\chi^2$  testu = počet stupňů volnosti

jde o pracovníka řadového, či vedoucího. V řadě znaků se obě skupiny odlišují pouze relativně, jako např. v míře neuroticismu či v údajích o nemocnosti. Dosa-  
 vadní způsob statistického zpracování výsledků však nic nevyovídá o tom, jakou  
 váhu či sílu mají jednotlivé proměnné pro hlavní rozlišující znak, kterým v našem  
 případě je nespokojenost s klimatizací. Statistický postup analýzy diskriminační  
 funkce umožňuje stanovit tuto závažnost a vytrdit z konfigurace proměnných ty,  
 které hrají roli primární, od proměnných sekundárního charakteru. Podle vý-  
 sledků diskriminace se provádí reklasifikace, tj. zpětné zařídění osob do jedné ze  
 zkoumaných skupin. Výsledky analýzy diskriminační funkce jsou uvedeny v tab. 6  
 a tab. 7.

Z celkového počtu 57 proměnných zaujímá ústřední roli 7 proměnných, v nichž  
 se v podstatě kombinují tři základní charakteristiky:

1. úzkostnost vzhledem k vlastnímu zdraví, subjektivně prožívané obavy (proměnná 1), spojené s počtem subjektivně uváděných zdravotních stesků (proměnná 3) a stísněností v uzavřených prostorách (proměnná 7);



Tab. 6. Diskriminační funkce

Proměnná	Významnost pro diskriminační funkce	Relativní průměry		Významnost rozdílu
		spokojení	nespokojení	
1. Obavy z poškození zdraví	0,001	-2,399	2,620	0,001
2. Skór hodnocení pracovního prostředí	0,001	-1,639	1,790	0,001
3. Skór subjektivních zdravotních potíží	0,001	-0,492	0,538	0,001
4. Pohlaví	0,001	-0,930	1,016	0,014
5. Skór užívání léků	0,004	3,804	-4,154	0,004
6. Počet připomínek ke klimatizaci	0,001	-0,289	0,315	0,013
7. Klaustrofobie	0,001	-1,072	1,171	0,014
Celkem	0,001	9,846	9,846	0,001

Tab. 7. REKLASIFIKACE podle diskriminační funkce

Skutečné zařazení do skupin	Zařazení podle diskriminační funkce		Celkem
	spokojení	nespokojení	
Spokojení	79	4	83
Nespokojení	4	72	76
Celkem	83	76	159

Chybně zařazeno celkem 8 osob, tj. 5 %.

2. kritický postoj vůči vlivům vnějšího prostředí, které mohou zdravotní stav ohrožovat (proměnná 2 a 6);
3. pohlaví (proměnná 4), tj. relativní převaha žen nad muži, které se vedle negativního postoje ke klimatizaci vyznačují i těmito zmíněnými charakteristikami.

Ačkoliv v proměnné č. 5 (užívání léků) jako v dílčí charakteristice se obě skupiny významně lišily, v konfiguraci s ostatními znaky nabývá opačného významu, tj. ti nespokojení, vyznačující se všemi dalšími šesti charakteristikami, užívají léky střídměji.

#### 4. DISKUSE

V diskriminační analýze se nemusí jako závažné projevit některé proměnné, které vykazují silnou korelaci s těmi proměnnými, jež byly v diskriminační funkci vyříděny jako hlavní rozlišující znaky. Abychom si ověřili, zda v daném případě

diskriminační funkce označila skutečně nejzávažnější znaky, provedli jsme faktorovou analýzu týchž proměnných s vynecháním proměnné „postoj ke klimatizaci“. S použitím rotace způsobem Varimax byl stanoven počet faktorů v prvním případě na dvacet (79,2 % celkové vyčerpané variance), v druhém případě na deset (60,8 % vyčerpané variance). V obou případech byl první faktor (při dvaceti faktorech 7,3 % variance, při deseti faktorech 11,2 % variance) sycen týmiž proměnnými, jaké vytřídila diskriminační funkce. Těchto deset, resp. dvacet faktorů jsme pak podrobili diskriminační analýze vzhledem k proměnné „postoj ke klimatizaci“. V obou případech diskriminoval základním způsobem pouze tento první faktor; při počtu dvaceti faktorů ještě nepatrně přispíval faktor č. 13, sycený proměnnými pracovních rizik, při počtu deseti faktorů pak faktor č. 7, sycený proměnnými, odlišujícími obě pohlaví (tělesná hmotnost, výška, pohlaví). Tím se potvrdilo, že ústředními proměnnými, odlišujícími skupinu extrémně nespokojených od spokojených osob, jsou u daného souboru skutečně ty znaky, jež vyplynuly z diskriminační analýzy.

Tyto výsledky hovoří proti Sivadonově teorii, která připisuje lidem iracionální motivy a příčiny nespokojenosti s klimatizací spatřuje v generalizované úzkosti — lidé si podle toho stěžují, proto, že jsou neurotičtí a svou osobní nespokojenost s životními okolnostmi i se sebou samým odreagovávají stížnostmi na prostředí. Je ovšem možné, že někteří jedinci jsou náchylni k podobnému iracionálnímu jednání, ne však většina osob. V našem případě projevilo nespokojenost s klimatizací 75 % pracovníků, extrémní nespokojenost pak 85 osob (tj. 10,4 % z celku). Pouze část ze skupiny extrémně nespokojených bylo možno označit za osoby s neurotickými tendencemi, a to ještě ne zcela vyhraněnými. Korelace mezi neuroticismem a nespokojeností s klimatizací se projevila nízká ( $r = 0,223$ ), základní příčinou tedy nemůže být generalizovaná anxiosnost. V jádru negativního postoje tkví specifická obava z možného ohrožení vlastního zdraví, v důsledku čehož jsou tyto osoby zvýšeně kritické a citlivé vůči možným vlivům prostředí, jež by mohly jejich zdravotní stav ohrožovat.

Racionálním jádrem těchto obav je možnost znečištění ovzduší mikroorganismy, které se klimatizací s nuceným oběhem vzduchu roznášejí po místnostech (jak se vyjádřilo několik dotazovaných: „když někdo kýchne v 1. poschodí, tak se to roznese až do 24. patra“). Základním motivem jsou ovšem obavy ze „zkaženého“ vzduchu a nedostatku kyslíku v ovzduší místnosti, což ve vědomí mnoha lidí vytváří hrozbu vzhledem k možným dlouhodobým účinkům na organismus. V době, kdy jsme prováděli toto šetření, vznikly mezi zaměstnanci pověsti o tom, že někteří lidé z podniku byli odmítnuti jako dobrovolní dárci krve pro údajný nedostatek kyslíku v krvi. Dotazem na transfúzní stanici jsme zjistili, že u odmítnutých dárců byl nalezen nižší obsah hemoglobinu, což nemůže být v žádném případě jednoznačnou známkou poklesu obsahu kyslíku v okolním vzduchu. Dalším racionálním důvodem jsou obavy z možných následků havárie klimatizačního zařízení, což při neotvíratelných oknech vytváří potencionální hrozbu.

Nemožnost otvírat okna je zjevně základním zdrojem pocitu pasivního vystavení ohrožujícím činitelům, proti nimž nemohou nic dělat („stísněný pocit jako v kleci“). Vysoký podíl „klastrofobů“ mezi nespokojenými svědčí o tom, že tato stísněnost je podmíněna nemožností aktivní činnosti člověka proti hrozbě nedostatku vzduchu a že tato fobie se v plně klimatizovaných místnostech s neotvíratelnými okny skutečně vytváří, na což upozornili již *Loriot et al.* [9].

Tyto obavy, byť i racionálně zdůvodněné, je obtížné racionálními argumenty

rozptýlit. Příčin toho je několik: především tomu brání postojová bariéra lidí, utvrzovaná ujišťováním různých kompetentních i méně kompetentních činitelů, že je vše v pořádku, dále mnohdy oprávněná nedůvěra v různá měření, která potvrzují hygienickou nezávadnost prostředí („dnes, kdy měříte, je to bezvadné, protože pustili klimatizaci naplno, to jste měli přijít včera, kdy tu bylo nedýcháтелно“). Postoje jsou posilovány tím, že se lidem nevěří a jsou podezírání z toho, že si své potíže vymýšlejí a jejich stížnosti nenacházejí příslušnou odezvu, takže se z toho stává boj proti větrným mlýnům. A konečně se jim doposud nedostalo věrohodného vysvětlení a místo toho jsou předkládány různé teorie, jako např. o iracionálním odreagování úzkosti nebo o klimamotononii.

Jelikož syndrom nespokojenosti je podmíněn velkou varietou podmínek a okolností, znamená to, že u různých jednotlivců může ve zrodu a výrazu jejich postoje hrát roli různá konfigurace faktorů. Hlavními nositeli nespokojenosti jsou osoby citlivé vůči možnému ohrožení vlastního zdraví. U jiných, méně citlivých osob, může hrát roli i určitá míra sugestibility, atmosféra obav, sociální přenos nespokojenosti, podlehnutí vlivu „bojovnic“, či prostá módnost naříkat na klimatizaci jako se konverzuje o počasí. Svědčí o tom i to, že v našem dotazníku, zaměřeném na zjištění postojů vůči klimatizaci, byla řadou osob šablonovitě přejímána nejen stejná hodnotící měřítka, ale kopírovány i stejné subjektivní zdravotní potíže připisované vlivům klimatizace. Příznačné je, že tato tendence se projevila pouze u nespokojených osob, kdežto u spokojených nikoliv. U nespokojených bylo takto možno místnost po místnosti sledovat vzájemné ovlivňování při vyplňování dotazníku. Původně malý okruh nespokojených osob se tak značně rozšiřuje.

Všechny tyto osoby, projevující obavy z poškození zdraví, nelze podezírat z vyslovené hypochondrie. Jednak je jich příliš mnoho a jednak proti tomu hovoří okolnost, že u závodního lékaře bylo ze souboru 178 sledovaných označeno pouze 8—10 osob za hypochondrické.

Jednou ze závažných okolností ovlivňující negativní postoje je přeplněnost kanceláří pracovníky, a tudíž i nábytkem. Nositelé extrémní nespokojenosti se v převážné míře rekrutovali právě z místností, v nichž pracoval větší počet osob. Ke vzniku nespokojenosti s klimatizací mohou z tohoto důvodu přispívat psychologické momenty vznikající jednak tím, že pracovníci se svou činností vzájemně vyrušují z nutné soustředěnosti při práci, jednak větší možností verbálního komunikací a sociálního přenosu. Za závažnou je však třeba pokládat zejména skutečnost, že přeplněnost vede v mnoha případech ke snížení prostoru pod normu stanovenou hygienickým předpisem č. 46, a že výkon klimatizačního zařízení pak nemůže zajistit dostatečnou výměnu vzduchu. I když jsme nezjistili lineární vztah mezi volným nezastavěným prostorem místností a rozložením osob spokojených či nespokojených, lze se domnívat, že subjektivní pocity vydýchaného vzduchu mohou být do určité míry oprávněné. Tento závěr však klademe spíše jako otázku, která by měla být zodpovězena exaktním a spolehlivým měřením kvality ovzduší v těchto přeplňovaných místnostech za plně objektivních a neovlivněných podmínek. I bez tohoto měření však lze doporučit, aby hygienická služba využívala ustanovení § 8 odst. (1) předpisu č. 46 a pro kanceláře v plně klimatizovaných budovách, kde je prováděna náročná duševní práce se značnou odpovědností, zvýšila požadavek na 3 m<sup>2</sup> volné podlahové plochy a na 20 m<sup>3</sup> vzdušného nezastavěného prostoru připadajícího na jednoho pracovníka. Lze odhadnout, že při dodržení tohoto požadavku se počet nespokojených osob sníží asi o 50 %.

## 5. ZÁVĚR

Zaměstnanci v administrativních budovách vybavených klimatizačním zařízením s nuceným oběhem vzduchu projevují nespokojenost a stěžují si na řadu subjektivních potíží. Stížnosti mají téměř ve všech budovách univerzální charakter a týkají se zejména pocitů vydýchaného vzduchu, bolestí hlavy, vysychání sliznic, únavy a malátnosti. Z těchto potíží bývá obviňováno klimatizační zařízení, jemuž jsou vytýkána neotvíratelná okna, špatná kvalita ovzduší a kolísání teplot.

Zjistili jsme, že hlavními nositeli nespokojenosti jsou osoby citlivé vůči vlastnímu zdraví, které zaujímají kritický postoj i vůči dalším faktorům prostředí, jež by mohly mít nepříznivý vliv na jejich zdravotní stav. Jádrem jejich nespokojenosti je doměnka o nedostatku kyslíku v ovzduší místností, což vede k obavám o nepříznivých následcích pro organismus. Obavy jsou podmíněny zejména tím, že v místnostech nelze otvírat okna a proti tomuto nebezpečí se nelze aktivně bránit. U citlivých osob vede tato situace k chronickým obavám, až ke klaustrofobii. Negativní postoje vůči klimatizaci jsou posilovány tím, že tyto potíže jsou bagatelizovány, a že dosud nebyly seriózně vysvětleny jejich příčiny. Tyto skutečnosti vedou k pocitům bezmocnosti, čímž se vytváří chronická stresová situace.

Nespokojenost vzniká zejména v místnostech s větším počtem pracovníků. V řadě těchto místností nebyl v zkoumané budově dodržen hygienický limit 15 m<sup>3</sup> volného nezastavěného prostoru na jednu osobu, což může být jednou z příčin subjektivních pocitů vydýchaného vzduchu. Diskomfortní subjektivní pocity jsou posilovány i tím, že v některých místnostech se v důsledku slunečního svitu zvyšuje teplota ovzduší.

Ke zlepšení situace v již existujících zařízeních bude nutno, aby provozovatelé budov dodržovali striktně hygienický předpis č. 46 s ohledem na plošnou a prostorovou výměru kanceláří. Lze doporučit, aby hygienická služba zvýšila požadavek na volnou plochu připadající na jednoho pracovníka ze 2 m<sup>2</sup> na 3 m<sup>2</sup> a na volný nezastavěný prostor z 15 m<sup>3</sup> na 20 m<sup>3</sup>. Je otázka, zda v našich makroklimatických podmínkách je vůbec třeba stavět administrativní budovy vybavené plnou klimatizací s neotvíratelnými okny. Tyto budovy nevyhovují z energetických, a jak je patrné, ani ze zdravotnických hledisek. Je třeba uvážit, zda budování nových staveb s neotvíratelnými okny by nemělo být omezeno a schvalováno hygienickou službou výjimečně, pouze na základě odůvodněných technologických požadavků, podobně jak je tomu u bezokenných provozů.

## LITERATURA

- [1] *Bakalář V.*: Hygienická problematika klimatizovaných budov. *Bezpečná práce*, 14, 1983, 2: 60—64.
- [2] *Berka I.*: Mikroklimatické podmínky v administrativních budovách s lehkým opláštěním. *Bezpečná práce*, 7, 1976, 1: 16—20.
- [3] *Dvořák M.*: Hygienická problematika budov s lehkým obvodovým pláštěm. In: *Budovy s lehkým obvodovým pláštěm v letním období*. ČVTS — Dům techniky Praha, 1975, s. 44—45.
- [4] *Grandjean E.*: Raumklimatische Untersuchungen in Büros während der warmen Jahreszeit. *Heiz., Lüft., Haustech.* 19, 1968: 118—123.
- [5] *Gubernskij J. D., Korenevskaia E. I.*: Hygienische Grundlagen der Klimagehaltung in Wohn- und Gesellschaftsbauten. VEB Verlag Volk und Gesundheit, Berlin, 1983.
- [6] *Hladký A.*: A questionnaire technique for assessing the stress at work. *JHEMI*, 28, 1984, 4: 383—398.
- [7] *Hladký A., Bakalář V.*: Nespokojenost s klimatizací: srovnání subjektivních a objektivních údajů. *Zdrav. tech. vztuchotech.*, 29, 1986, 1: 1—12.

- [8] *Humphreys M. A.*: Field studies of thermal comfort compared and applied. In: Physiological requirements on the microclimate in industry and problems of their technical realization. IHE, Praha, 1978, s. 115—181.
- [9] *Loriot J. et al.*: Existe-t-il une pathologie de l'air conditionné? Arch. mal. prof., 40, 1979, 10: 952—956.
- [10] *Luštinec K.*: Optimální a přípustné hodnoty klimatických faktorů. Pracov. Lék., 30, 1978, 3: 81—98.
- [11] *Máca F.*: Poznatky vědy použité při projekci budov z hlediska klimatizace. In: Budovy slehkým obvodovým pláštěm v letním období. ČVTS — Dům techniky Praha, 1975, s. 155—191.
- [12] *Peters T.*: Vollklimatisierte Räume. Zbl. Arbeitsmed., 26, 1976, 11: 243—246.
- [13] *Sterling E., Sterling T.*: The impact of different ventilation levels and fluorescent lighting types on building illness: an experimental study. Can. J. Publ. Health, 74, 1983, 385—392
- [14] *Šverko B., Vukmirovič Ž.*: Ispitivanje stava prema klimatizaciji radnog. Arh. Hig. Rada Toksikol., 30, 1979, 4: 323—332.
- [15] *Vonkomer J., Miglierini B.*: Eysenckov osobnostný dotazník — EOD. Psychodiagnostické a didaktické testy, Bratislava, 1979.
- [16] Zdravotnická statistika ČSR: Ukončené případy pracovní neschopnosti pro nemoc a úraz. Ústav zdravotnických informací a statistiky, Praha, 1980, 1981, 1982, 1983, 1984, 1985.

## НЕДОВОЛЬСТВО С КОНДИЦИОНИРОВАНИЕМ ВОЗДУХА: ПСИХОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИЧИНЫ

*Д-р фил. Алев Гладки, к. т. н.*

Статья исходит из предыдущей работы (ЗТВ 29 № 1/86) где сравнивались объективные причины недовольства и субъективная оценка и статья обратит внимание на психологические причины жалоб на кондиционирование воздуха. Применение статистических методов оценки подтвердил опыт эксплуатационников оборудования для кондиционирования воздуха — переходятся оговорки против неоткрывающихся окон, жалобы на недостаток кислорода и просуществуют опасения опасности здоровья вследствие пребывания в пространствах с кондиционированием воздуха. Результатом этого состояния предупреждения перед строительством полностью кондиционированных зданий.

## THE DISSATISFACTION WITH AN AIR CONDITIONING: PSYCHOLOGICAL REASONS

*PhDr. Aleš Hladký, CSc.*

The article follows from the foregoing work (ZTV 29 Nr. 1/86) where the objective causes of the dissatisfaction were compared with the subjective evaluation of individuals and the article is aimed at the psychological reasons of the complaints concerning the air conditioning. The application of the statistical evaluation methods sustained the experience of the keepers of the air conditioning equipment—there are exceptions to the windows which can not be open, there are complaints for lack of oxygen and apprehensions about health's jeopardy owing to stay in the rooms with an air conditioning. The warning against the development of fully conditioned buildings is the consequence of this state.

## UNZUFRIEDENHEIT MIT DER KLIMATISIERUNG: PSYCHOLOGISCHE URSACHEN

*PhDr. Aleš Hladký, CSc.*

Der Artikel bindet an den vorhergehenden Artikel (ZTV 29 Nr. 1/86), in dem die objektiven Ursachen einer Unzufriedenheit mit der subjektiven Beurteilung der Personen verglichen worden sind an und weiter macht er aufmerksam auf die psychologischen Ursachen der Beschwerden über die Klimatisierung. Die Applikation der statistischen Bewertungsmethoden hat die Betriebserfahrungen mit den Klimaanlage bestätigt — die Vorbehalte gegen die Fenster, die es nicht möglich aufzumachen ist, und die Beschwerden über den Sauerstoffmangel überwiegen und die Besorgnisse um die Gesundheitsgefährdung als die Schlussfolgerung eines Aufenthaltes in den klimatisierten Räumen überdauern. Die Warnung vor der weiteren Ausbauentwicklung der voll klimatisierten Gebäude ist eine Schlussfolgerung dieses Zustandes.

## MÉCONTENTEMENT AVEC LA CLIMATISATION: CAUSES PSYCHOLOGIQUES

PhDr. Aleš Hladký, CSc.

L'article présenté renoue avec l'article précédent (ZTV 29 No. 1/86) dans lequel les causes objectives d'un mécontentement avec l'appréciation subjective des personnes ont été comparées et il se rapporte aux causes psychologiques des plaintes contre la climatisation. L'application des méthodes d'appréciation statistiques a confirmé les expériences des exploitants des installations de conditionnement d'air — les réserves contre les fenêtres dormantes et les plaintes contre l'insuffisance de l'oxygène dominant et les craintes de l'endommagement de la santé sous l'influence d'un séjour dans les espaces climatisés survivent. L'avertissement avant le développement suivant de la construction des bâtiments climatisés pleinement est une conséquence de cet état.

### ● Chladiivo R 22 není kancerogenní

Vzhledem k velké pozornosti věnované nyní ve světě účinkům chladiv, kdy se doporučuje nahradit chladiivo R 12 chladivem R 22, protože toto nepůsobí „odbourávání“ ozónové vrstvy kolem zeměkoule, objevily se svého času v britském tisku zprávy o tom, že R 22 je podezřelý na kancerogenitu. K tomuto zjištění se došlo údajně na základě dlouhodobých výzkumů.

Jak nyní sděluje Německá společnost chladicí a klimatizační techniky (DKV) byl v NSR proveden důkladný výzkum, který zjistil, že příčinou výše uvedeného podezření bylo znečištění chladiva R 22 chlorofluorometanem (R 31). Čisté chladivo R 22 nemá kancerogenní účinky a pro takové se doporučuje NPK v hodnotě 500 ppm.

Z uvedeného pak vyplývá nutnost stanovit maximální přípustné znečištění R 22 chladivem R 31:

CCI 1/88

(Ku)

### ● Provozní souprava TRB-C1

Mezi exponáty oddělení pro vědu a výzkum pražské VŠCHT na XX. mezinárodním chemickém veletrhu Incheba '88 patřila také provozní souprava TRB-01 určená pro měření rosného bodu v topných, případně jiných plynech za tlaku 0,1 až 7,45 MPa. Měření vlhkosti je založeno na lithiumchloridové metodě. Horní hranice měření je 60 °C r. b., dolní hranice závisí na teplotě měřeného

plynu (při 20 °C a tlaku 6 MPa je —11 °C r. b.; s klesající teplotou se snižuje, takže při teplotě +8 °C je možné měřit rosný bod až —20 °C r. b.).

K vyhodnocování měřených hodnot je použito odporového teploměru Pt 100. Údaje je možné pomocí převodníku přenášet (0 až 20 mA) nebo použít zapisovačů Zepakord či měřících přístrojů Zepax. Celá souprava vyhovuje čs. bezpečnostním předpisům.

Zařízení se vyznačuje řadou předností:

- na rozdíl od všech ostatních systémů je možno vložit čidlo přímo do hlavního potrubí bez potřeby plyn filtrovat nebo zvláštním temperovaným potrubím přivádět k měřicí cele;
- vzhledem k principu měření je kalibrační křivka všech vyráběných a dodávaných čidel stejná (odpadá nutnost kalibrace při jejich výměně);
- čidla je možno jednoduchým způsobem regenerovat;
- nižší cenou v porovnání s ostatními v současné době vyráběnými přístroji;
- měření nevadí přítomnost kondenzujících uhlovodíků, ethylenglykolu ani alkoholů, používaných k inhibici tvorby hydrátů.

Některé další technické údaje čidla:

provozní napětí na elektrodách čidla	24 V
provozní proud elektrodami čidla	10 mA — max. 1 A
přesnost měření	±1 °C r. b.
provozní teplota na čidle	max. 130 °C
krytí dle ČSN	33 0330

(tes)

# AERACE PROVOZŮ S NEUSTÁLENÝM PROVOZNÍM REŽIMEM

MILOSLAV ADAMOVSKEÝ, ALEŠ SLOBODA

*Výzkumný ústav hutnictví železa, pobočka Ostrava*

Byla odvozena rovnice chladnutí hutních hal, které probíhá po skončení rozhodující tepelné zátěže. Pomocí kontinuálního měření teplot odcházejícího vzduchu, vzduchu v pracovní oblasti a teploty venkovní byl stanoven koeficient, udávající rychlost poklesu teplot v hale, tj. rychlost odvodu naakumulovaného tepla v hale větráním. Z diferenciální rovnice pro hmotnost vzduchu procházejícího halou byly vypočteny hodnoty celkové hmotnosti vyměňovaného vzduchu a odváděného tepla pro vysokopeceň halu a tepla akumulovaného v hale po skončení odpichu. Byla prokázána nutnost regulace přirozeného větrání v provozech s neustáleným provozním režimem.

*Recenzoval: † Doc. Ing. Dr. Ladislav Oppl, CSc.*

## 1. ÚVOD

Hutní technologie většinou nejsou provozovány jako tepelně ustálené procesy. Charakterizovat tepelný režim v halách hutních provozů má význam zejména pro rozhodování o použití regulovatelných větracích prvků v zájmu zachování přijatelných mikroklimatických podmínek na pracovištích. Přirozené větrání horkých hutních provozů má totiž značné provozní výhody. Dopravovaný průtok vzduchu pro větrání je u velkých provozních celků řádově nad  $10^5 \text{ m}^3$ , což by při nuceném větrání vyžadovalo značné energetické příkony.

Pokud vyhovuje hygienickým požadavkům i technologii, a škodliviny volně vypouštěné do ovzduší nezhoršují výrazně životní prostředí v okolí, pak je aerace velmi nenáročným způsobem větrání horkých provozů. Tato skutečnost vede často k mylnému názoru, že aerace je dána vybudovaným systémem větrání budov, který nevyžaduje údržbu a jakoukoliv pozornost provozovatele. I v případě, že proces probíhající v provozní hale je poměrně ustálený, nelze opomíjet údržbu přívodních a odváděcích aeračních prvků a jejich minimálně čtvrtletní nastavení.

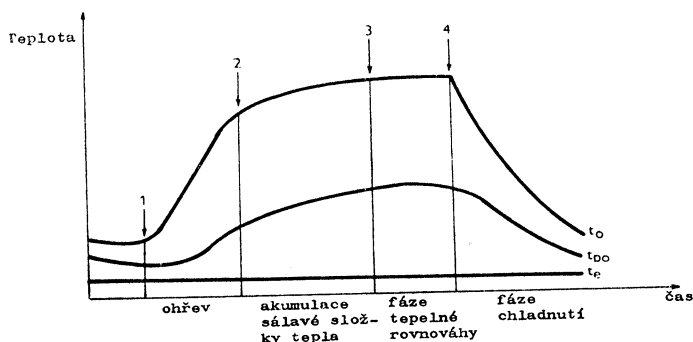
Méně příznivá je situace v provozech se značně rozdílnými tepelnými příkony, které se mění v průběhu směny opakovaně několikrát.

Typickým příkladem nestacionárního provozu je lící hala vysokých pecí. V průběhu první fáze odpichu dochází k zadýmování pracovního prostředí v důsledku omezené samoregulační schopnosti aerace. K tomu přistupuje často i nevhodné umístění přívodních a odváděcích otvorů mimo vertikální osu hlavních zdrojů tepla a škodlivin, jakými jsou žlaby a koncovky pro odvod surového železa a strusky. Proto při řešení je nutno přistoupit buďto k investičně a provozně nákladnému nucenému větrání nebo k účinné regulaci během pracovních cyklů.

Modelově idealizovaný průběh teploty odcházejícího vzduchu  $t_0$ , teploty v pracovní oblasti  $t_{p0}$  a vnějšího přiváděného vzduchu  $t_e$  je uveden na obr. 1. V provozních podmínkách vznikají na křivkách  $t_0$  i  $t_{p0}$  nerovnoměrnosti, které lze odůvodnit technologickými změnami a okamžitými změnami proudění. Pro posouzení účinnosti větrání za neustáleného stavu jsou rozhodující fáze ohřevu a fáze chladnutí, neboť fáze tepelné rovnováhy a přeměny sálavé složky v konvektivní na stě-

nách budovy a zařízení jsou dobře charakterizovány známými vztahy zakotvenými v oborových normách ON 747340 — 747344 aerace hutních provozů.

Při rozdílných provozních cyklech a v závislosti na charakteru technologického procesu mohou některé fáze průběhu teplot chybět nebo se překrývat. U zdroje s krátkodobým cyklem a vysokým podílem sálavé složky může například zcela



Obr. 1. Idealizovaný průběh teplot odcházejícího vzduchu  $t_0$ , teploty v pracovní oblasti  $t_{po}$  a vnějšího přiváděného vzduchu  $t_e$  v podmínkách pracovního cyklu neustálého provozu (1... Počátek cyklu, 2... Konvekční teplo je v rovnováze, stěny se ohřívají radiací, 3... Veškeré přivedené teplo je v rovnováze s odvedeným teplem, 4... Přívod tepla je přerušen.)

chybět fáze tepelné rovnováhy, což je běžně možno pozorovat u vysokopecních hal.

Uvedený průběh má ovšem vliv nejen na stav pracovního prostředí a účinnost větrání, ale je nezbytné vzít jej v úvahu při měření rozhodujících veličin aerace. Mimo oblast tepelné rovnováhy nelze např. charakterizovat měřením vztahy založené na bilanci tepla, které vycházejí z rovnovážných stavů, ani provádět časové průměrování naměřených fyzikálních veličin přes různé fáze provozního cyklu. Pokud se uvažuje nejméně příznivý stav tepelné zátěže haly, pak se výpočtem dosahuje v zimních měsících podchlazení v klidovém stavu, což má ovšem též nepříznivé důsledky na větrání v počáteční fázi následujícího pracovního cyklu. Průměrování během pracovního cyklu vede proti tomu k poddimenzování plochy větracích prvků.

Prvá fáze ohřevu je plně závislá na technologii. Např. v lící hale vysokých pecí se může v počáteční fázi odpouštět horním odpichovým otvorem struska. Při poklesu hladiny strusky pak probíhá vlastní odpich surového železa, které vtéká do hlavního žlabu. Po jeho naplnění odtéká surové železo železovými žlaby do pánví nebo mísičů. Když překročí hladina strusky hradítko, odtéká struskovému žlabem do pánve přes koncovku. V průběhu tohoto cyklu narůstá tepelná zátěž haly víceméně diskontinuálně podle ploch zaplněných žlabů. Obdobný stav byl sledován při zaplňování chladníku válečkovy jednotlivými válečkovými profily.

Situaci při ohřevu lze charakterizovat poměrně dobře nárůstem celkového účinného tlaku  $\Delta p$ . Jeho přímé měření je však obtížné stejně jako přímé měření rychlosti vstupního a výstupního proudu větracího vzduchu. Podstatně lepší možnosti pro charakterizování nestacionárních stavů v provozní hale se nabízejí při spontánním chlazení, které není přímo ovlivňováno technologickými zásahy.



## 2. PRŮBĚH CHLADNUTÍ HALY

Teploty v odváděcích otvorech byly registrovány větranými termistorovými sondami, zapojenými na šestibodový zapisovač Zeparex 24 přes zesilovač. Průběh poklesu teplot  $t_o$  byl sledován při měření vysokopecních hal v TŽ VŘSR a VSŽ Košice a při měření chladníku profilové trati v NHKG. Podobnost tvaru vychlazovacích křivek a stejná doba potřebná pro praktické vychlazení haly nasvědčovala exponenciálnímu průběhu. Z pokusů vyplynulo, že v rozhodující fázi vychlazování platí závislost

$$\frac{dt}{d\tau} = -k(t_o - t_e), \quad (1)$$

kde  $t_o$  je teplota odcházejícího vzduchu,

$t_e$  — teplota vstupujícího vzduchu,

$k$  — konstanta charakterizující rychlost teplotní změny v čase  $\tau$ .

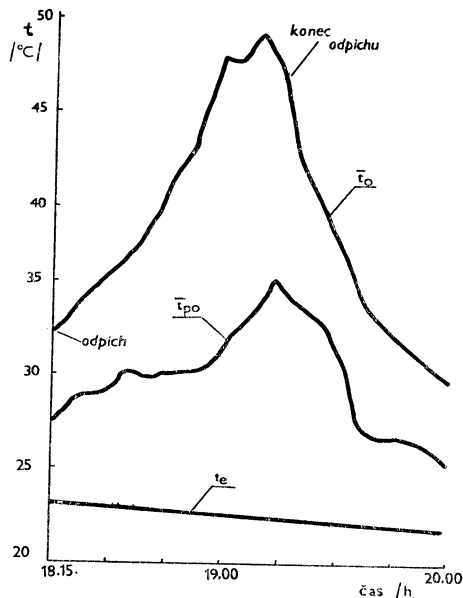
Odtud pak

$$\int_{t_o}^{t_{o_x}} \frac{dt}{t_o - t_e} = - \int_0^{\tau} k d\tau. \quad (2)$$

Pak platí

$$\ln \frac{t_{o_0} - t_e}{t_{o_x} - t_e} = k\tau, \quad (3)$$

kde  $t_{o_0}$  je teplota v okamžiku zastavení přívodu rozhodující tepelné zátěže pro  $\tau = 0$ ,  
 $t_o$  je teplota odcházejícího vzduchu v čase  $\tau$ .



Obr. 2. Průběh průměrných teplot ( $\bar{t}_o$  a  $\bar{t}_{po}$ ) v lici haly vysokopecního provozu během odpichu a chladnutí.

Označíme-li  $t_o - t_e = \Delta t_{o_0}$  a  $t_o - t_e = \Delta t_o$ , pak je možno psát

$$\Delta t_o = \Delta t_{o_0} e^{-k\tau}. \quad (4)$$

Koeficient  $k$  představuje veličinu charakterizující rychlost odvádění akumulovaného tepla ze sledované provozní haly.

Hodnota  $k$  je reprezentativní hodnotou pro dané tepelné podmínky a skutečný systém větrání. Pro ilustraci lze uvést měření vysokopecní haly ve VSŽ Košice, u něhož byly dobře definovány teplotní podmínky na výstupu a v pracovním ovzduší. Větrané termistorové sondy byly rozmístěny tak, aby teploty nebyly ovlivněny sálavým teplem.

Průběh průměrných teplot ( $t_e$ ,  $\bar{t}_o$  a  $\bar{t}_{po}$ ) zaznamenaný kotinuální registrací je uveden na obr. 2 pro celou fázi odpichu. Průběh chladnutí je pak uveden v tab. 1 vedle základních teplotních rozdílů a vyrovnaných hodnot podle vztahu (4).

Pro ilustraci lze uvést změřené průměrné hodnoty rychlostního koeficientu z 9 měření vysokopecních hal a 1 měření chladníku profilové válcovny (tab. 2).

Při testování významnosti rozdílu hodnot  $k$  bylo prokázáno, že se hodnoty pro obě haly vysokých pecí velmi významně liší. Přesnost stanovení je tedy uspokojivá

Tab. 1. Průběh změřených hodnot teplot při chladnutí vysokopecní haly

Měřené hodnoty						Vyrovnané hodnoty	Rozdíl
Čas $\tau$ [s]	$t_e$ [°C]	$\bar{t}_{po}$ [°C]	$\bar{t}_o$ [°C]	$\Delta t_{po} = \bar{t}_{po} - t_e$ [°C]	$\Delta t_{om} = \bar{t}_o - t_e$ [°C]	$\Delta t_{o_v}$ [°C]	$\Delta t_{om} - \Delta t_{o_v}$ [°C]
0	22,0	35,3	46,2	13,3	24,2	22,4	+1,8
300	22,0	34,0	41,9	12,0	19,9	19,9	0,0
600	22,0	33,2	39,4	11,2	17,4	17,6	-0,2
900	22,0	31,7	37,5	9,7	15,5	15,5	0,0
1 200	21,9	28,1	35,0	6,1	13,0	13,7	-0,7
1 500	21,9	26,9	33,2	5,0	11,3	12,1	-0,8
1 800	21,9	26,7	32,2	4,8	10,3	10,7	-0,4
2 100	21,9	26,7	31,3	4,8	9,4	9,5	-0,1
2 400	21,9	25,9	30,6	4,0	8,7	8,4	+0,3
2 700	21,9	25,3	29,8	3,4	7,9	7,4	+0,5

Rychlostní koeficient odvětrání  $k = 4,103 \cdot 10^{-4} \cdot s^{-1}$   
 Směrodatná odchylka  $s = \pm 0,78 \text{ } ^\circ\text{C}$   
 Koeficient korelace  $r = 0,991$

Tab. 2. Koeficient rychlosti odvětrání pro tři různé haly

Provozní hala	Počet měření	$k$ [s <sup>-1</sup> ]	$s$ [s <sup>-1</sup> ]
VP č. 4 TŽ VŘSR	5	$10,91 \cdot 10^{-4}$	$1,4 \cdot 10^{-4}$
VP č. 3 VSŽ	4	$4,35 \cdot 10^{-4}$	$1,6 \cdot 10^{-4}$
HCC válc. NHKG	1	$3,77 \cdot 10^{-4}$	

pro rozlišení rychlosti odvětrání. Rozlišení hodnot pro HCC halu a VP č. 3 se pohybuje na hranici významnosti, z čehož vyplývá, že jedno stanovení nepostačuje ke spolehlivému rozlišení takto blízkých hodnot.

### 3. MATEMATICKÉ VYJÁDŘENÍ PRŮBĚHU CHLADNUTÍ

Vyjdeme ze vztahu

$$\dot{M} = S_o \bar{\mu}_o (2\rho_o \Delta p_o)^{0,5} \quad (5)$$

kde  $\dot{M}$  — okamžitý hmotnostní tok vzduchu,  
 $S_o$  — plocha aeračních otvorů pro odvod vzduchu,  
 $\bar{\mu}_o$  — průměrný průtokový součinitel aeračních otvorů pro odvod vzduchu,  
 $\rho_o$  — hustota odcházejícího vzduchu,  
 $\Delta p_o$  — přetlak v rovině osy odváděcích otvorů.

Pro závislost mezi hustotou vzduchu a teplotou použijeme empirický vztah vyhovující hodnotám tabelovaným v ON 747340 v rozmezí od 0 do 50 °C s maximálně 3% chybou

$$\rho = 1,243 - 0,0038t. \quad (6)$$

Pak je možno pro celkový účinný tlakový rozdíl  $\Delta p$  psát

$$\Delta p = \frac{1}{2} \cdot 0,0038h g[(\bar{t}_{po} - t_e) + (\bar{t}_o - t_e)], \quad (7)$$

kde  $\Delta p$  — celkový účinný tlakový rozdíl v hale,  
 $\bar{t}_{po}$  — průměrná teplota vzduchu v pracovní oblasti,  
 $\bar{t}_o$  — průměrná teplota vzduchu odcházejícího,  
 $t_e$  — teplota vnějšího vzduchu,  
 $h$  — svislá vzdálenost středů aeračních otvorů pro přívod a odvod vzduchu,  
 $g$  — tíhové zrychlení.

Považujeme-li poměr  $a$  za konstantní v průběhu procesu chlazení

$$a = \frac{h_p}{h}, \quad (8)$$

kde  $h_p$  — výška neutrální roviny nad osou přívodních otvorů,

pro okamžitý hmotnostní průtok platí

$$\dot{M} = \frac{dM}{d\tau} = S_o \mu_o [2(1,243 - 0,0038t_o) \cdot (1 - a) \Delta p]^{0,5}. \quad (9)$$

Dosazením vztahu (7) do vztahu (9) a úpravou je možno okamžitý hmotnostní průtok vyjádřit

$$\frac{dM}{d\tau} = S_o \mu_o [0,0038 \cdot h \cdot g(1 - a)]^{0,5} \cdot [(\rho_e - 0,0038 \Delta t_o) (\Delta t_o + \Delta t_{po})]^{0,5}, \quad (10)$$

kde  $\rho_e$  — hustota vnějšího vzduchu při teplotě  $t_e$ ,  
 $\Delta t_{po}$  — rozdíl teplot v pracovní oblasti  $\bar{t}_{po}$  a venkovní teploty  $t_e$ .

Položíme-li hodnoty, které v průběhu chlazení zůstávají konstantní

$$K = S_o \mu_o [0,0038 \cdot h \cdot g(1 - a)]^{0,5},$$

pak okamžitý průtok

$$\frac{dM}{d\tau} = K[(\varrho_e - 0,0038 \Delta t_0) (\Delta t_0 + \Delta t_{po})]^{0,5}. \quad (11)$$

Pro stanovení celkového množství větracího vzduchu v čase prošlého halou v průběhu chladnutí je nutno použít vhodného vztahu mezi  $\Delta t_0$  a  $\Delta t_{po}$ .

Pokud uvažujeme, že průběh chladnutí je v pracovním ovzduší rovněž exponenciální

$$\Delta t_{po} = \Delta t_{po_0} e^{-k_1\tau}, \quad (12)$$

kde  $t_{po_0}$  — teplota pracovního ovzduší v čase  $\tau = 0$  a  
 $\Delta t_{po_0} = (t_{po_0} - t_e)$ ,

pak je možno psát po dosazení ze vztahů (4) a (5)

$$M = K \int_0^{\tau} [(\varrho_e - 0,0038 \Delta t_{0_0} e^{-k\tau}) (\Delta t_{0_0} e^{-k\tau} + \Delta t_{po_0} e^{-k_1\tau})]^{0,5} d\tau, \quad (13)$$

kde  $M$  — hmotnost vzduchu prošlého v rozmezí od  $\tau = 0$  do  $\tau$  v kg.

Vycházíme-li z hodnot uvedených v tab. 1, je možno stanovit použitelnost vztahu (12) pro výpočet, jak je uvedeno v tab. 3.

Tab. 3.

Měření		Vyrovnnání podle vztahu (12)	Rozdíl
Čas $\tau$ [s]	$\Delta t_{po_m}$ [°C]	$\Delta t_{po_v}$ [°C]	$\Delta t_{po_m} - \Delta t_{po_v}$ [°C]
0	13,3	13,7	-0,4
5	12,0	11,6	+0,4
10	11,2	9,9	+1,2
15	9,7	8,4	+1,3
20	6,1	7,2	-1,1
25	5,0	6,1	-1,1
30	4,8	5,2	-0,3
35	4,8	4,4	+0,4
40	4,0	3,8	+0,2
45	3,4	3,2	+0,2

Rychlostní koeficient  $k_1 = 5,44 \cdot 10^{-4} \text{ s}^{-1}$   
 Koeficient korelace  $r = 0,974$   
 Směrodatná odchylka  $s = \pm 0,92 \text{ °C}$

Celkové množství tepla odvětraného v průběhu chladnutí je dáno pro časový interval  $< 0, \tau >$

$$Q = M c_p \Delta t_{0_0} e^{-k\tau}, \quad (14)$$

kde  $c_p$  — měrná tepelná kapacita vzduchu [ $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ].

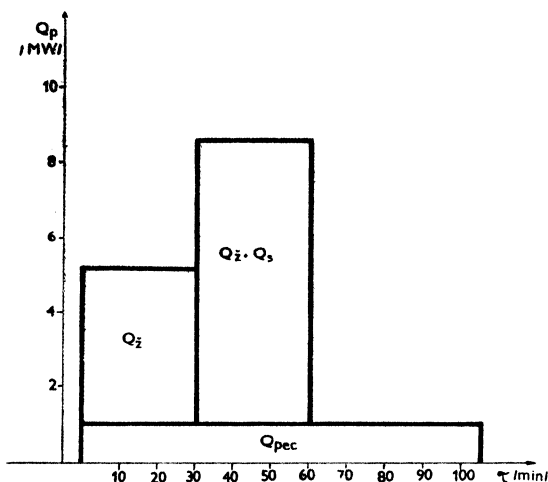
#### 4. ROZBOR VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ

Integraci vztahu (13) lze provést numericky s použitím výpočetní techniky nebo graficky ze záznamu průběhu teplot v pracovním prostředí a teplot odcházejícího vzduchu.

Pro halu VP č. 3 ve VSŽ byly získány numerickou integrací hodnoty uvedené v tab. 4.

Tab. 4. Vypočtené integrální hodnoty celkové hmotnosti větracího vzduchu  $M$  a celkového odvětraného tepla  $Q$  pro vysokopeční halu ve VSŽ

$\tau$ [s]	$M$ [kg]	$Q$ [MJ]	$\dot{M}$ [kg · s <sup>-1</sup> ]
1	244	5,5	244
300	70 673	1 420	227
600	136 540	2 427	212
1 800	358 332	3 872	160
2 700	488 625	3 998	130



Obr. 3. Přivedené teplo v časovém intervalu odpichu reprezentované plochami.

$Q_{pec}$  — teplo přiváděné tělesem vysoké pece  
 $Q_z$  — teplo přiváděné z hladiny tekutého železa  
 $Q_s$  — teplo přiváděné tekoucí struskou

Celkové množství odvětraného tepla se blíží hodnotě 4 GJ. Celková tepelná akumulace haly je pak součtem odvětraného tepla  $Q$  a ztrát  $Q_z$  odvedených stěnami a střechou.

Předpokládáme-li, že  $Q_z$  činí asi 25 % z celkového tepla přivedeného do haly technologií [1], pak lze odhadovat akumulaci tepla v hale na 5 GJ. Teplo obsažené ve vzdušnině v úseku haly o objemu 13 500 m<sup>3</sup> je dáno vztahem

$$Q = V_h \rho_i \cdot c_p (t_i - t_e), \quad (15)$$

kde  $\rho_i$  je hustota vnitřního vzduchu při teplotě

$$t_i = \frac{t_{po} + t_o}{2},$$

$V_h$  je objem větraného úseku haly.

V našem případě činí v počátku chladnutí, tedy po uzavření odpichového otvoru 0,278 GJ.

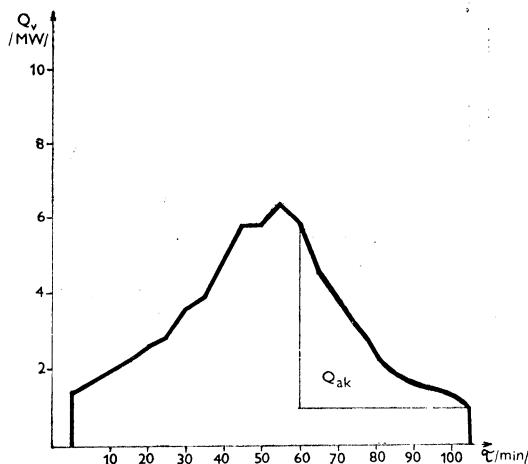
Zbývající teplo akumulované hmotou haly činí podle výpočtu 3,7 GJ.

■ Přivedené teplo v časovém intervalu odpichu a chladnutí uvádí graf na obr. 3. Tepelný příkon do haly se skládá z přívodu tepla tělesem vysoké pece —  $Q_{pec}$ , dále z konvekčního a radiačního tepla přivedeného při průtoku železa  $Q_z$  a konečně konvekčního i radiačního tepla z celého žlabového systému  $Q_z + Q_s$  včetně pánví při průtoku železa i strusky. Postup výpočtu je uveden v [1], [3], [4]. Vypočtené hodnoty jsou v tab. 5.

Tab. 5. Hodnoty tepelných příkonů do vysokopecní haly VP č. 3 ve VSŽ

	[MW]		
	konvekční	radiační	celkem
$Q_{pec}$	1,0		1,0
$Q_z$	0,2	4,0	4,2
$Q_s$	0,2	3,4	3,6

$Q_z$  zahrnuje tepelný příkon z hlavního žlabu, železového žlabu a pánve na železo,  
 $Q_s$  zahrnuje příkon ze struskového žlabu a struskové pánve.



Obr. 4. Teplo odvedené větráním aerací v průběhu odpichu a chladnutí,  $Q_{ak}$  — akumulované teplo v hale po uzavření odpichového otvoru.

Odvětrané teplo aerací  $\dot{Q}_v$  bylo vypočteno pro celý průběh odpichu ze vztahu

$$\dot{Q}_v = \dot{M}_v c_p \Delta t_o, \quad (16)$$

$$\dot{M} = S_o \mu_o [2(1 - a) h \cdot g \rho_o (\rho_e - \rho_i)]^{0,5}. \quad (17)$$

kde  $\rho_o$  — hustota vzduchu pro okamžitou střední teplotu  $t_o$

$\rho_e$  — hustota vzduchu pro okamžitou teplotu  $t_e$

$\rho_i$  — hustota vnitřního vzduchu pro teplotu  $t_i$

$$\text{kde } t_i = \frac{t_{po} + t_o}{2}. \quad (18)$$

Hodnoty  $\rho$  byly po celý průběh vypočteny ze vztahu

$$\rho = \frac{342,76}{T} - 0,0033, \quad (19)$$

kde  $T$  — příslušná termodynamická teplota [K].

Vztah je platný pro podmínky barometrického tlaku 981 kPa a suchý vzduch.

Hodnoty  $\dot{Q}_v$  jsou vyneseny v grafu na obr. 4. Plochy uzavřené křivkami a osou  $\tau$  reprezentují celkové teplo přivedené (obr. 3) a odvedené aerací (obr. 4).

Na základě plošné integrace během fáze odpichu a chladnutí je možno provést bilanci tepla.

$$Q_p = Q_z + Q_v, \quad [\text{GJ}]$$

kde  $Q_p$  = celkové přivedené teplo během fáze odpichu

$Q_v$  = celkové teplo odvedené aerací

$Q_z$  = celkové ztráty tepla odvodem stěnami haly

$Q_p = 27,47 \text{ GJ}$ ,  $Q_v = 22,5 \text{ GJ}$

Odtud vypočtené  $Q_z = 4,97 \text{ GJ}$ . Tato hodnota činí 18% z celkového přivedeného tepla a 22% z tepla přivedeného do haly radiací. Pole uvedené v grafu na obr. 4 jako  $Q_{ak}$  zahrnuje celkové akumulované teplo v hale a činí 4,72 GJ, je tudíž o 0,72 GJ vyšší, než bylo stanoveno numerickou integrací ze vztahů (13 a 14).

## 5. ZÁVĚR

Kontinuálním sledováním průběhu teplot v halách s neustálým provozním režimem je možno získat kromě informací o průběhu vlastní aerace též další poznatky využitelné pro potřeby úprav a navrhování technických opatření ke zlepšení stavu pracovního prostředí. Rychlost chladnutí uvedená v exponenciálním vztahu (1) dává možnost posoudit vzájemně obdobné provozy.

Na základě matematického vyjádření průběhu chladnutí byla odvozena celková tepelná akumulace haly i průběh větrání během spontánního chladnutí.

Potřeba zachovat hygienicky přijatelné teplotní podmínky a dosáhnout dobrého odvětrání škodlivin z pracovního ovzduší vyžaduje v provozech s neustálým provozním režimem regulaci průběhu aerace. Měření průběhu ohřevu a chladnutí poskytuje podklady pro stanovení rozsahu potřebné regulace větrání horkých hutních provozů.

Je možno dále provést tepelné bilance haly a stanovit podmínky odvětrání tepelné zátěže. Akumulované teplo je závislé na účinnosti aerace.

Stanovené teploty v pracovním ovzduší lící haly vysoké pece č. 3 ve VSŽ

nasvědčují, že při venkovních teplotách přes 20 °C nevyhovují požadavku hygienické normy více než polovinu doby celého cyklu ohřevu a chladnutí. Situováním odváděcích otvorů po obou stranách haly mimo vertikální osu hlavních zdrojů tepelné zátěže haly dochází k nedokonalému provětrávání pracovních míst ležících mimo přímý dosah přiváděného vzduchu mezi žlaby.

Podstatně lepší podmínky jsou na pracovištích haly vysoké pece č. 4 v TŽ VŘSR, což vysvětluje též více než dvojnásobná rychlost odvětrání akumulovaného tepla po odpichu.

Posuzujeme-li chladník HCC válcovny v NHKG, pak v důsledku pomalého odvodu tepla dochází ke špatnému chladnutí válcovaných profilů a tudíž k technologickým závadám. Chladník nemá potřebný chladicí výkon.

Vzhledem k obtížným pracovním podmínkám v horkých hutních provozech je nezbytné věnovat pozornost otázkám nestacionárního provozu v zájmu optimalizace vnitřního mikroklimatu a zejména s ohledem na možná opatření, případně projektované rekonstrukce a generální opravy provozních budov.

#### LITERATURA

- [1] *Oppl, L.*: Měření výměny vzduchu při aeraci nepřímým způsobem — Materiál pro VÚHŽ Dobrá 1984.
- [2] *Adamovský, M. a kol.*: Snižování nepříznivých vlivů pracovního prostředí a rizik na pracovištích v hutích. Závěr. zpráva VÚ H 99-781-061 VÚHŽ 1987.
- [3] *Hottel, H. C.*: Přenos tepla zářením, SNTL Praha 1979.
- [4] *Cihelka, J. a kol.*: Vytápění, větrání a klimatizace, SNTL Praha 1985.

#### АЭРАЦИЯ ЦЕХОВ С НЕПОСТОЯННЫМ РЕЖИМОМ РАБОТЫ

*Милослав Адамовски, Алев Свобода*

В статье было выведено уравнение остывания металлургических цехов, которое проходит после окончания решающей тепловой нагрузки. С помощью непрерывного измерения температур удаляемого воздуха, воздуха в рабочей зоне и наружной температуры был определен коэффициент скорости падения температуры в цехе, т. е. скорость отвода в цехе аккумулярованного тепла вентиляцией. Из дифференциального уравнения для массы протекающего цехом воздуха были рассчитаны данные доменного цеха и тепла аккумулярованного в цехе окончании выпуска. Была доказана необходимость регуляции естественной вентиляции в цехах с непостоянным режимом работы.

#### THE AERATION OF WORKSHOPS WITH THE UNSTEADY OPERATING REGIME

*Miloslav Adamovský, Aleš Svoboda*

The equation of the cooling of metallurgical rooms after ending of the crucial heat load has been derived there. The coefficient of the rate of the temperature drop which is the rate of the accumulated heat removal by ventilating of the room has been estimated there by means of the continuous temperature measurements of the exhausted air, the air in the working zone and the outdoor temperature. Values of the total mass of the exchanged air and the removed heat for the furnace room and the accumulated heat in the room after tapping were calculated from the differential equation for the mass of the air flow through the hall. The necessity of the regulation of the natural ventilation in workshops with the unsteady regime has been sustained there.



## LÜFTUNG DER BETRIEBE MIT DEM INSTATIONÄREN REGIME

Miloslav Adamovský, Aleš Svoboda

Die Gleichung der Abkühlung der metallurgischen Hallen, die nach der Beendigung der massgeblichen Wärmebelastung durchläuft, ist abgeleitet worden. Mit Hilfe einer stetigen Temperaturmessung der Abluft, der Luft in einem Arbeitsgebiet und der Aussentemperatur ist der die Geschwindigkeit der Temperaturabnahme in einer Halle, das heisst die Abfuhrgeschwindigkeit der akkumulierten Wärme in einer Halle durch die Lüftung, angegebene Koeffizient bestimmt worden. Auf Grund einer Differentialgleichung für die Masse der durch eine Halle durchgehenden Luft sind die Werte der Totalmasse der ausgetauschten Luft und der abgeführten Wärme für eine Hochofenhalle und der in einer Halle nach der Abstichbeendigung akkumulierten Wärme berechnet worden. Die Regulierungsnotwendigkeit der natürlichen Lüftung in den Betrieben mit dem instationären Betriebsregime ist bewiesen worden.

## AÉRAGE DES EXPLOITATIONS AVEC LE RÉGIME NON-STATIONNAIRE

Miloslav Adamovský, Aleš Svoboda

L'équation de la réfrigération des halls métallurgiques qui se passe après la fin de la charge thermique décidante a été déduite. Le coefficient indiquant la vitesse de la diminution des températures dans un hall, c'est la vitesse de l'évacuation de la chaleur accumulée dans un hall par une ventilation, a été déterminé à l'aide d'un mesurage continu des températures de l'air sortant, de l'air dans un domaine de travail et de la température extérieure. Les valeurs de la masse générale de l'air échangé et de la chaleur évacuée pour un hall avec les fourneaux hauts et de la chaleur accumulée dans un hall après la fin d'une piquée métallurgique ont été calculées d'une équation différentielle pour la masse de l'air traversant un hall. La nécessité d'une régulation de la ventilation naturelle dans les exploitations avec le régime non-stationnaire a été montrée.



ZÁVĚRY ZE SEMINÁŘE „REGULACE, VZDUCHOTECHNIKA, VYTÁPĚNÍ — SPOLEČNÉ PROBLÉMY“, KONANÉHO VE DNECH 21. 11. AŽ 23. 11. 1988 V KLUČENICÍCH

Cílem semináře bylo projednat společné problémy vzduchotechniků, topenářů a regulačních techniků při zajišťování spolehlivé a hospodárné funkce vzduchotechnických a vytápěcích zařízení.

Účastníci se shodli, že je nezbytné prohlubovat vzájemnou spolupráci, neboť řada nedostatků vyskytujících se v praxi vyplývá z malé informovanosti o požadavcích a možnostech spolupracujících profesí. Z jednání vyplynula tato doporučení:

1. Pro zajištění výsledné hygienické, technologické i bezpečnostní funkce vzduchotechnických a vytápěcích zařízení je bezpodmínečně nutná spolehlivá činnost všech navazujících zařízení — zdrojů tepla a chladu, rozvodů tepla a chladu i zařízení pro měření a regulaci.
2. Požadavky na zdroj tepla a chladu (výkon, parametry, časové změny výkonu), musí být formulovány s ohledem na vlastnosti vzduchotechnických, po případě vytápěcích zařízení a zařízení na přípravu teplé užitkové vody a s ohledem na jejich časové využívání. Podkladem pro návrh zdrojů tepla a chladu musí být denní časové a výkonové odběrové diagramy.
3. Při návrhu zdrojů tepla je třeba využívat, s ohledem na požadavky větrání a klimatizace, vhodné způsoby zapojení, např. kas-

kádové zapojení více kotlových jednotek (regulaci pro plynové kotelny vyvinul Výzkumný ústav automatizačních prostředků, Praha). Pro krytí denních špičkových odběrů se doporučuje více využívat akumulátorů tepla.

4. Provoz zdrojů tepla a chladu musí být řízen s ohledem na nárazové odběry tepla a chladu při denních startech vzduchotechnických zařízení.
5. Zásadně je třeba oddělovat rozvody topných médií pro vzduchotechniku a vytápění z důvodů různých časových i kvalitativních odběrových požadavků. Mnohá vzduchotechnická zařízení vyžadují dodávku tepla i v letním období.
6. Při návrhu vzduchotechnických výměníků se doporučuje uvažovat teplotu topné vody asi o 10 až 20 °C nižší, než jsou maximální parametry zdroje tepla.
7. Vzduchotechnické výměníky u systémů, kde je zdrojem tepla centrální zásobování teplem, je třeba navrhovat na letní parametry primárního zdroje.
8. U systémů centralizovaného zásobování teplem je třeba při připojování výměníků respektovat požadavek na maximální vychlazení vratné vody.
9. Regulaci topného výkonu výměníků v závislosti na venkovní teplotě (ekvitermní

- regulaci) lze ve vzduchotechnice použít pouze pro centrální předúpravu vzduchu a pro větrací zařízení, která udržují konstantní teplotu přiváděného vzduchu.
10. Pro ohříváče, které je nutno chránit proti zamrznutí, se doporučuje přednostně uplatňovat kvalitativní regulaci. Tuto regulaci se doporučuje používat i pro jiné případy, zvláště pro výměníky větších výkonů. V ostatních případech lze použít i méně nákladnou regulaci kvantitativní (škrcením); je však třeba provést opatření v síti topné vody, aby změnou průtoku nebyly narušeny hydraulické poměry.
  11. Jedním ze základních požadavků racionalizace spotřeby energie pro vzduchotechniku a vytápění je vyregulování sítě topné vody na projektované průtoky. Měřicí technika, převážně z dovozu, by měla být plně využívána, k čemuž by přispělo, aby součástí projektu bylo i schéma, umožňující snadnou instalaci měřiče průtoku. Na kontrolních bodech sítě (před čerpadlem, výměníkem, regulačním ventilem, za čerpadlem, výměníkem, regulačním ventilem) se požaduje instalace odběrů tlaku. V potrubí topné vody před a za výměníkem je třeba instalovat teploměrné jímky. Hydraulická regulace by měla být prováděna i u všech složitějších chladicích sítí pro klimatizační zařízení.
  12. K spolehlivé funkci systémů vzduchotechniky a vytápění je třeba instalovat zařízení pro měření a regulaci podle zákona č. 89/87 Sb., vyhlášky Federálního ministerstva paliv a energetiky č. 94/87 Sb. a typizační směrnice STÚ Praha „Vybavování otopných soustav KBV měřicím a regulačním zařízením“. Současnou problematikou měřicí a regulační techniky se zabývá usnesení předsednictva vlády ČSSR č. 136 ze dne 3. 11. 1988 — o výsledku prověrky zabezpečení vývoje a výroby měřicí a regulační techniky pro racionalizaci spotřeby tepla.
  13. Z hlediska racionalizace spotřeby energie je třeba uplatňovat regulaci na zdrojích tepla, po případě na vstupu do objektu. Přednostně je třeba zavést zónovou regulaci podle vytápěných fasád. Je však třeba urychleně zajistit vhodná čidla, která v současné době nejsou k dispozici.
  14. Pro regulaci větracích, klimatizačních a vytápěcích zařízení má projektovní praxe k dispozici typová schémata jednotek BKC (systém ESK 2), BKC-A (mikroprocesorová řídicí jednotka SŘJ — Janka ZRL) a obecná typová schémata větracích, klimatizačních zařízení a zařízení vytápěcích (obsažena ve sborníku technických řešení měření a regulace, část I — vytápění a část II — vzduchotechnika, vydává STÚ Praha).
  15. Při návrhu regulačních ventilů se doporučuje vycházet z požadavku na lineární změnu výkonu výměníku. Výpočet musí respektovat autoritu ventilu v síti; při řešení lze využít podkladů projekce podniku Janka ZRL.
  16. Spolehlivá funkce protimrazové ochrany ohříváčů vzduchu by měla být zajišťována na straně vzduchu i na straně vody. Teplotní čidlo by mělo být instalováno v proudu vzduchu za výměníkem i v potrubí vody vystupující z výměníku. Protimrazová ochrana musí být v činnosti jak při chodu vzduchotechnického zařízení, tak při jeho klidovém stavu.
  17. Perspektivní regulaci vytápěcích zařízení i zařízení vzduchotechnických jsou mikroprocesorové systémy. Tyto systémy zjednodušují funkci, zvyšují hospodárnost, spolehlivost a přesnost a umožňují realizovat dispečerské zařízení i další kontrolní funkce v objektu. V současné době jsou k dispozici tyto mikroprocesorové systémy vyráběné v ČSSR:
    - RMV — Výzkumný ústav vzduchotechniky Praha,
    - SŘJ — Janka ZRL Praha,
    - UPR — Liberecké vzduchotechnické závody Liberec,
    - DIAMO — VZUP Příbram.
  18. Rychlému uplatnění automatické regulace brání v současné době výrazný nedostatek přístrojů regulační techniky, zvláště servopohonů a regulačních i uzavíracích ventilů.
  19. Pro spolehlivou funkci vzduchotechniky a vytápění je třeba zajistit po celou provozní dobu kvalifikovanou obsluhu. Počet pracovníků obsluhy, jejich profesní skladbu i směnnost musí určit projektant, ve shodě s vyhláškou 5/87 Sb.
  20. Je nezbytné, aby zvláště u rozsáhlých zařízení, zajistil provozovatel účast budoucí obsluhy vzduchotechnických a vytápěcích zařízení již při montáži. Ve shodě s vyhláškou 5/87 Sb. je třeba tento požadavek uvést již v úvodním projektu.
  21. Řádné uvádění do provozu vzduchotechnických zařízení i zařízení vytápěcích je v současné době znesnadněno naprostým nedostatkem kapacit organizací zabývajících se touto činností. Činnost organizací zabývajících se uváděním do hospodárního provozu a servisem by měla zahrnovat profese vzduchotechnické, topenářské, chlazení, úpravy vody i měření a regulaci. Tyto kapacity by měly být rozšířeny u stávajících organizací i vybudováním nových pracovišť.
- V závěru semináře bylo konstatováno, že seminář umožnil velmi dobrou bezprostřední výměnu názorů a zkušeností vzduchotechniků, topenářů a regulačních techniků. Účastníci doporučili, aby bylo pokračováno v organizování obdobných akcí a zvláště aby byla podporována publikace odborných materiálů zabývajících se hraničními problémy spolupracujících profesí.

*Ing. František Drkal, CSc.*  
odborný garant semináře

# MATEMATICKÁ SIMULÁCIA ZANÁŠANIA VÝMENNÍKA TEPLA POČAS PREVÁDZKY A ČISTENIE VÝMENNÍKOV

ING. MILOSLAV HORÁK, CSc.

*Strojnícká fakulta SVŠT, Bratislava*

Článok je stručnou informáciou o výpočtovom programe vypracovanom na Sjf SVŠT pro výpočet trubkových výmenníkov voda—voda. Dále podává popis čišťení metodou TUBECLEANER 2000.

*Recenzovali: Ing. V. Hlavačka, CSc., František Máca*

## 1. Matematická simulácia zanášania výmenníka inkrustami

Počas prevádzky výmenníka tepla s vodou bohatou na minerálne látky (napr. geotermálna) môže dojsť k zanášaniam výmenníka pevnými usadeninami. Narastaním hrúbky pevnej usadeniny sa znižuje vnútorný priemer rúrky a zväčšuje sa vonkajší priemer. Tým sa zvyšuje rýchlosť vody v rúrke i plášti a narastajú tlakové straty. Prenášaný tepelný výkon výmenníka tepla poklesne. Vychádzajúc zo základných matematických vzťahov pre výpočet výmenníkov tepla a z literatúry [1], [2], [3], [4] a z dátových údajov z [5], [6], [7] bol zostavený výpočtový program pre výpočet výmenníkov tepla ČSN 69110+2, t. j. pevná rúrkovnica, plávajúca hlava a U-rúrkovnica s pracovnými látkami voda—voda. Program bol spracovaný v programovacom jazyku BASIC na mikro počítači ZX-Spectrum. Matematický model je vetvený na 3 výpočty (podprogramy):

### 1.1. Návrhový výpočet výmenníka tepla

Na základe vstupných zadávajúcich parametrov, s ktorými má výmenník tepla pracovať v prevádzke, a obmedzujúcich podmienok projektanta, počítač navrhne z dátového súboru príslušných výmenníkov vhodný vý-

menník tepla s najmenšou teplovýmennou plochou (obr. 1) Z návrhového výpočtu výmenníka tepla sa riešiteľ môže vrátiť ku kontrolnému výpočtu vybraného výmenníka a overiť si jeho spôsobilosť pri zmenených podmienkach prevádzky (napr. zmenené hmotnostné toky), alebo simulovať zanášanie počas prevádzky.

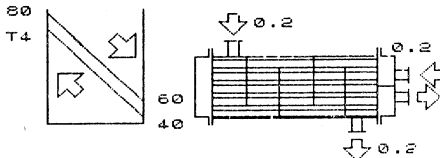
### 1.2. Kontrolný výpočet výmenníkov tepla

Zo vstupných konštrukčných parametrov výmenníka (typ, priemer, dĺžka ...), vstupných teplôt a hmotnostných tokov vypočíta výstupné teploty, tepelný výkon, tlakové straty atď.

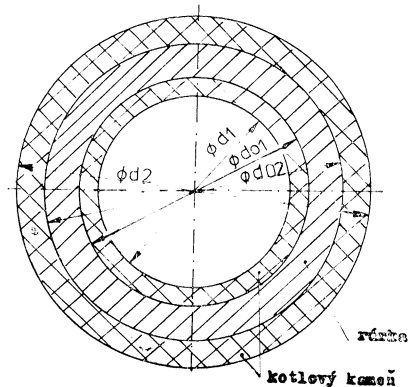
### 1.3. Simulácia zanášania počas prevádzky

Pomocou tohto podprogramu sa dajú simulovať pomery výmenníka počas prevádzky, jeho rovnomerné zanášanie inkrustami. Je len potrebné zadať overené a experimentálne zistené hodnoty  $kz_1$ ,  $kz_2$ , t. j. hod-

© MECARIK K. - HORÁK M. U Y M E N  
N I K Y T E P L A C S N 6 9 1 1 0  
-pevná rúrkovnica



Obr. 1. Schéma výmenníka na TV-obrazovke mikro počítača.



Obr. 2. Rez zanášanou rúrkou výmenníka z oboch strán.

noty narastania inkrustov vo výmenníkových rúrkach v závislosti na dobe prevádzky. Podľa skúseností z Vysokiej školy technickej v Budapešti pri tvrdej vode dosahujú usadeniny za jeden mesiac až hrúbku 1 mm. Pre úhrnný súčiniteľ prestupu tepla „k“ zanášaného rúrkového výmenníka tepla platí vzťah (obr. 2)

$$k = \frac{1}{\frac{d_2}{d_1} \frac{1}{\alpha_R} + \frac{d_2}{d_1} \frac{1}{\alpha_{ZR}} + \frac{d_{o2} \ln \left( \frac{d_{o2}}{d_{o1}} \right)}{2 \lambda_B} + \frac{1}{\alpha_P} + \frac{1}{\alpha_{ZP}}} + \frac{d_{o1} \ln \left( \frac{d_{o1}}{d_1} \right)}{2 \lambda_K} + \frac{d_2 \ln \left( \frac{d_2}{d_{o2}} \right)}{2 \lambda_K} + \frac{1}{\alpha_P} + \frac{1}{\alpha_{ZP}}, \quad (1)$$

$$\text{kde } d_1 = d_{o1} - 2k_{z1} \cdot \tau \quad (2)$$

$$d_2 = d_{o2} + 2k_{z2} \cdot \tau. \quad (3)$$

Pričom

- $d_{o1}$  — pôvodný (nezanesený) vnútorný priemer rúrky [m]
- $d_{o2}$  — pôvodný (nezanesený) vonkajší priemer rúrky [m]
- $d_1$  — zanesený vnútorný priemer rúrky [m]
- $d_2$  — zanesený vonkajší priemer rúrky [m]
- $\lambda_K$  — tepelná vodivosť vodného kameňa [ $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ ]
- $k_{z1}$  — koeficient zanášania rúrky zvnútra [m deň<sup>-1</sup>]

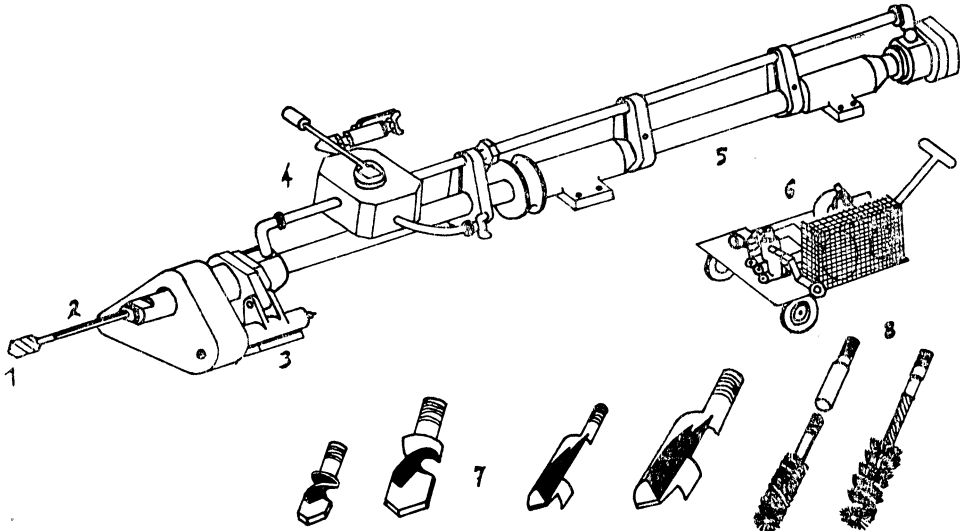
- $k_{z2}$  — koeficient zanášania rúrky zvonka [m deň<sup>-1</sup>]
- $\tau$  — doba prevádzky [deň]
- $\alpha_R$  — súčiniteľ prestupu tepla v rúrke [ $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ ]
- $\alpha_P$  — súčiniteľ prestupu tepla na vonkajšej stene rúrky [ $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ ]
- $\lambda_B$  — tepelná vodivosť materiálu rúriek [ $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ ]
- $\alpha_{ZR}$  — základný koeficient znečistenia na vnútornej stene rúriek [ $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ ]
- $\alpha_{ZP}$  — základný koeficient znečistenia na vonkajšej stene rúrky [ $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ ]

## 2. Čistenie výmenníkov

Vyčistenie rúrok výmenníkov bol vždy problém, najmä ak išlo o odstránenie pevných usadenín. Následkom je vyradenie takéhoto výmenníka z prevádzky, ak vrstva usadenín nadobudla istú hrúbku. Výmenník bolo treba doteraz úplne vymontovať a vyčistiť.

Rakúska firma XAVER RADLER predáva špeciálne zariadenie „TUBECLEANER 2000“ na odstraňovanie rozličných usadenín v rúrach tepelných výmenníkov, včetně odstraňovania kotlového kameňa (obr. 3). Rúry sú vyčistené týmto zariadením až na 100% prevádzku. Tubecleaner 2000 prináša tri dôležité ekonomické výhody:

1. Úsporu energie až do 300 %, dokonalým prečistením rúrok,
2. Časovú úsporu, pretože celé čistenie po-



Obr. 3. Zariadenie na čistenie výmenníkov „Tubecleaner 2000“.

- 1 — vŕtacia hlavica
- 2 — vŕtacia žrd
- 3 — vzduchová turbína
- 4 — regulácia hydrauliky

- 5 — hydraulický válec
- 6 — čerpadlo hydrauliky
- 7 — vŕtáky
- 8 — rotačné kefy

mocou tohoto zariadenia obstráva jeden pracovník, ktorý dosahuje veľké výkony (výmenník o 800 rúrkach čistí asi 4 hodiny),

3. Úsporu materiálov rúrok spätným získaním výmenníkov tepla pre prevádzku.

Pri čistení Tubecleanerom 2000 netreba výmenníky vymontovávať, ale čistí výmenníky tam, kde sú zabudované. Jedná sa napr. o výmenníky ČSN 69110 — s pevnou rúrkovnicou a ČSN 69111 — výmenníky plávajúca hlava. Tubecleaner 2000 je prístroj, ktorý vďaka konštrukcii z hliníka má hmotnosť iba 30 kg. Obsluhuje ho vo vertikálnej alebo hori-

zontálnej polohe jeden pracovník. Prístroj poháňajú dva vzduchové motory, resp. jeden elektromotor, ktoré umožňujú otáčať vrtneou hlavou do otáčok 2000 min<sup>-1</sup>. Pomocou hydrauliky, ktorú uvádza do pohybu čerpadlo s výkonom 2,5 kW, dostáva vrtná hlava spolu s unášanou žrdou potrebný posuv až 12 m. Chladenie vrtnej hlavice je zabezpečené vodou, ktorá zabráňuje chveniu, poškodzovaniu rúr a súčasne aj vyplavuje odvrátnu usadeninu. Takto sa dosiahne absolútna čistota rúr aj pri najtvrdších povlakoch.

### 3. Príklady výpočtov

```

*****
*                               *
*   Kontrolny vypocet         *
*   vymennika tepla          *
*                               *
*****
Typ vymennika:Pevna rurkovnica
KONTROLNE PARAMETRE VYMESSNIKA
Hmot.tok teplej vody(kg/s)=12.5
Vstup.tep.teplej vody(s.C)=90
Hmot.tok stud. vody (kg/s)=12.5
Vstup.tep.stud.vody (s.C)=50
Priemer vymenika (m):0.6
Dlзка vymenika (m):4
Pocet chodov (-):6
Pocet otvorov (-):350
Uspor.ruriek (-):3
Vzdial.prepaz. (m):0.3
Osova vzd.rur. (m):.026
V Y S L E D K Y:
DTS-str.log.tep.(st.C)=18.29
t1-vstupna tepla(st.C)=90
t2-vystup.tepla (st.C)=68.29
t3-vstupna stud.(st.C)=50
t4-vystup.stud. (st.C)=71.76
Koeff.pr.tepla (w/m^2K)=1024
Tep.vykon (kw)=1127
Re-cislo v rurkach =44866
Re-cislo v plasti =10444
Tlak.str.v rur. (kPa)=24.478
Tlak.str.v plasti(kPa)=7.326

```

```

*****
*                               *
*   Kontrolny vypocet         *
*   vymennika tepla          *
*                               *
*****
Typ vymennika:Pevna rurkovnica
Simulacia zahasania
Koeff.zanas. rurky z vnutra(mik.)=20
Koeff.zanas. rurky z vonka (mik)=3
Doba prevadzky (den)=120
KONTROLNE PARAMETRE VYMESSNIKA
Hmot.tok teplej vody(kg/s)=12.5
Vstup.tep.teplej vody(s.C)=90
Hmot.tok stud. vody (kg/s)=12.5
Vstup.tep.stud.vody (s.C)=50
Priemer vymenika (m):0.6
Dlзка vymenika (m):4
Pocet chodov (-):6
Pocet otvorov (-):350
Uspor.ruriek (-):3
Vzdial.prepaz. (m):0.3
Osova vzd.rur. (m):.026
V Y S L E D K Y:
DTS-str.log.tep.(st.C)=25.02
t1-vstupna tepla(st.C)=90
t2-vystup.tepla (st.C)=74.87
t3-vstupna stud.(st.C)=50
t4-vystup.stud. (st.C)=65.17
Koeff.pr.tepla (w/m^2K)=379
Tep.vykon (kw)=778
Re-cislo v rurkach =67015
Re-cislo v plasti =9923
Tlak.str.v rur. (kPa)=127
Tlak.str.v plasti(kPa)=8.536

```

### LITERATURA

- [1] Cihkart, J., Polanský, A.: Výměníky tepla v tepelných sítích, SNTL, Praha 1970
- [2] Schmidt, E.: Properties of Water and Steam in SI-Units, München, 1969
- [3] Slavíček, E.: Výpočetní technika pro chemiky, SNTL, Praha 1983
- [4] Cihkart, J.: Předávací stanice tepelných sítí, SNTL, Praha 1981
- [5], [6], [7] ČSN 69110 až 2 Teplosmenné trubkové aparáty
- [8] Mečářík, K., Horák, M., Kabát, E.: Výměníky tepla v systéme geotermálních

výmenníkových stanic, Výskumná správa Bratislava 1985

Математическая симуляция занесения теплообменников во время эксплуатации и очистка теплообменников

Инж. М. Горак, к. т. н.

Статья представляет собой краткую информацию о программе вычислений, разработанной на Сф СВШТ для расчета трубчатых теплообменников вода — вода. Дальше описывается в статье очистка

ТЕПЛООБМЕНИКОВ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА ТУ-  
БЕЦЛЕАНЕР 2000.

The mathematical simulation of the fouling  
of the heat exchanger during its operation and  
cleaning of heat exchangers

Ing. Miloslav Horák, CSc.

The article is a short information about  
software drawn up in the SF SVŠT for calcula-  
tion of water-water heat exchangers. The  
TUBECLEANER 2000 cleaning method is  
described there, too.

Mathematische Simulation der Verstopfung  
eines Wärmeübertragers im Laufe des Betriebes  
und die Reinigung der Wärmeübertrager

Ing. Miloslav Horák, CSc.

Der Artikel gibt eine kurze Information zu  
einem auf der Maschinenfakultät SVŠT

ausgearbeiteten Berechnungsprogramm für die  
Berechnung der Rohrwärmeübertrager „Wa-  
sser-Wasser“ an. Weiter beschreibt er die  
Reinigung mit Hilfe der Methode „TUBE-  
CLEANER 2000“.

Simulation mathématique du bouchement d'un  
échangeur de chaleur en cours de l'exploitation  
et le nettoyage des échangeurs

Ing. Miloslav Horák, CSc.

L'article présenté informe d'un programme de  
calcul élaboré sur la Faculté mécanique SVŠT  
pour le calcul des échangeurs tubulaires  
„eau-eau“. Plus loin, il décrit le nettoyage  
à l'aide de la méthode „TUBECLEANER  
2000“.

## NOISE CONTROL 88

Ve dnech 5. až 7. září 1988 se konala v Kra-  
kově mezinárodní akustická konference zam-  
ěřená především na otázky snižování hluku  
a vibrací.

Institut Mechaniky a Vibroakustiky v Kra-  
kově, který byl hlavní pořádatel organizací  
konference představuje špičkové pracoviště  
oboru v PLR a je velmi dobře personálně  
i přístrojově vybaven.

Vysoká úroveň pracoviště se projevila  
i v organizačním a programovém uspořádání  
konference. Na konferenci byla přednesena  
řada velmi zajímavých referátů, které velmi  
úzce souvisí s vědecko výzkumnou činností  
na pracovištích v ČSSR. Chtěla bych uvést  
především referát *prof. Sadowského* a *prof. Engela*, týkající se vlivu hluku a vibrací na kva-  
litu životního prostředí v PLR, dále referát  
*prof. Kraaka* z Technické univerzity v Drážda-  
nech týkající se impulsního hluku. Velmi za-  
jímavý a inspirující byl referát *prof. Lyona*  
z MIT v Bostonu týkající se využití cepstrální  
analýzy. Referát *Dr. Briela T. Jacobsena*  
z Dánska se týká měřících metod v akustice  
a otázek měření akustické intenzity. Referáty  
byly jednak přednášeny na plenárním zasedání,  
dále v řadě paralelně probíhajících sekcí  
(celkem 10 sekcí) a na konferenci byla použita  
i plakátová forma. Referáty z konference  
jsou zahrnuty ve dvoudílném sborníku, který  
je k dispozici na katedře fyziky ČVUT FEL,

v pracovní skupině životního prostředí FEL.  
Z konference byly dovezeny i některé firemní  
materiály B a K — tato firma měla na kon-  
ferenci mobilní expozici.

Chalupová



## 27. AKUSTICKÁ KONFERENCE

Tradičně byla na Štrbském plese v hotelu  
Patria v prvním říjnovém týdnu (od 4. do  
7. října) uspořádána akustická konference  
s mezinárodní účastí. V tomto roce byla  
hlavním tématem elektroakustika.

Referáty byly zaměřeny na problematiku  
elektroakustických měničů, zvukovou digitální  
techniku, záznam a reprodukci signálů, zpra-  
cování signálů, studiovou techniku, ozvučová-  
ní, elektroakustická měření, optoakustiku  
a kmitání v pevné fázi.

Již z uvedeného výpočtu je patrné, že se  
jedná o problematiku, která svými odborný-  
mi výsledky ovlivňuje řadu dalších oborů  
a velmi významně se podílí na vytváření  
akustické pohody prostředí.

Tématem 28. akustické konference v roce  
1989 je fyziologická akustika, psychoakustika,  
akustika hudby a řeči.

Chalupová

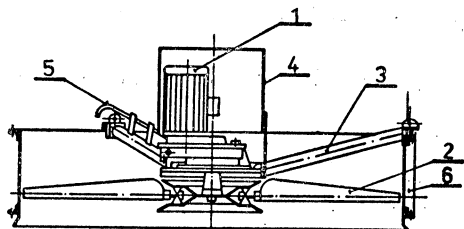
AXIÁLNÍ PŘETLAKOVÉ VENTILÁTORY APMB PRO MIKROCHLADIČE

Ing. Slavomil Novotný

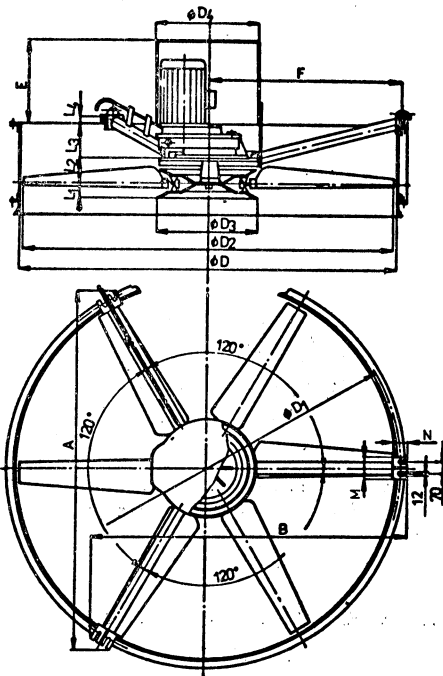
ZVVZ k. p. Milevska vyvinul a zavedl do výroby axiální přetlakové ventilátory APMB pro mikrochladiče Armabeton typu SAV 24 a 32. Mikrochladiče jsou určeny pro chlazení vody.

Popis užití, pracovní podmínky

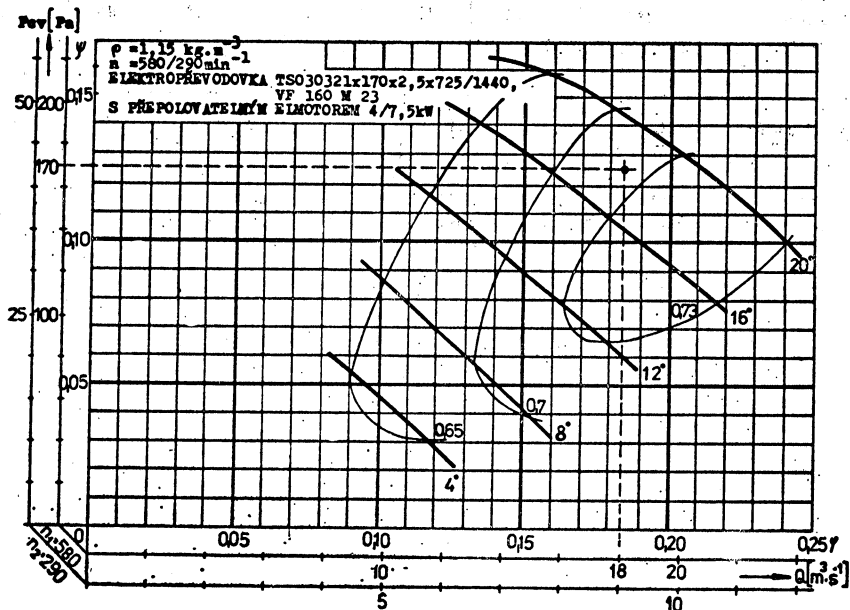
Ventilátor APMB (obr. 1) sestává z oběžného kola (2) s šesti oběžnými profilovými lopatkami, za klidu přestavitelnými, v dělených objímkách, které jsou uloženy v dvoudílném náboji. Oběžné kolo je vyváženo a je nasazeno na výstupní hřídel převodovky (1). Převodovka s elektromotorem je nesena rámem (3)



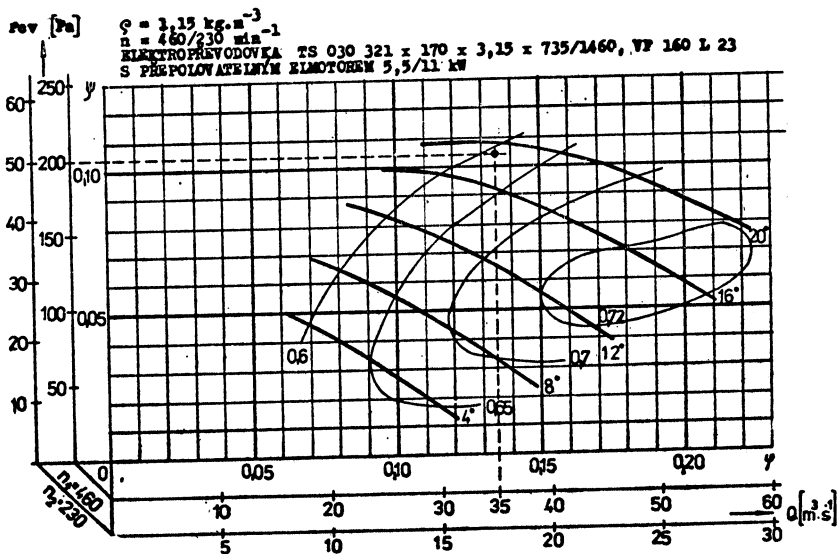
Obr. 1. Hlavní díly ventilátoru APMB  
1 – elektropřevodovka, 2 – oběžné kolo, 3 – rám elektropřevodovky, 4 – kryt, 5 – od-  
vzdušňovací trubka, 6 – skříň ventilátoru



Obr. 2. Hlavní rozměry ventilátorů APMB 1600 a 2400 viz tab. 1



Obr. 3. Charakteristiky ventilátoru APMB 1600 – závislosti průtoku a celkového tlaku pro různé úhly natožení lopatek 4 až 20°



Obr. 4. Charakteristiky ventilátoru APMB 2400 – závislosti průtoku a celkového tlaku pro různé úhly natočení lopatek

Tab. 1. Hlavní rozměry viz obr. 2

Typ/rozměr	$D$	$D_1$	$D_2$	$D_4$	$D$	$L_1$	$L_2$
APMB 1600	1600	1670	1580	630	630	85	140
APMB 2400	2400	2470	2370	630	630	85	140

Typ/rozměr	$L_3$	$L_4$	$A$	$B$	$M$	$N$	$E$	$F$
APMB 1600	45	1610	1610	1400	140	100	600	795
APMB 2400	45	2300	2300	2000	140	100	490	1197

Tab. 2. Hlavní technické údaje

Parametry	APMB	
	1600	2400
Průtok $Q_1/Q_2$ [ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ]	18/9	35/17,5
Celkový tlak $\Delta p_{\text{cv} 1,2}$ [Pa]	170/42,5	200/50
Otáčky ventilátoru $n_1/n_2$ [ $\text{min}^{-1}$ ]	580/290	460/230
Úhel lopatky $\alpha$ [°]	18	19
Měrná hmotnost vzdušiny $\rho$ [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ]	1,2	1,2
Celková hmotnost ventilátoru s pohonem [kg]	285	335



s třemi rameny, zakončenými patkami. Skříň ventilátoru (6) není součástí dodávky. Elektropřevodovka je od vzdušněna trubicou (5).

Lopatky jsou vyvažovány na stejný hmotový moment k ose ventilátoru. Velikost momentu s datem výroby jsou vyznačeny na listu lopatky. Elektropřevodovka má trojfázový asynchronní elektromotor speciálního provedení s napětím buď 380 V, nebo 500 V. Provedení s přepínáním pólů 8/4 poskytuje možnost změny výkonu ventilátoru v provozu. Ložiska elmotoru jsou mazána tukem. Jednostupňová převodovka je mazána olejem. Od vzdušnění převodovky je provedeno měděnou trubicou do prostoru mimo skříň mikrochladiče.

Elektropřevodovka je chráněna odnímatelným plechovým krytem proti přímým účinkům povětrnosti.

Do příslušenství ventilátoru patří rezervní sada lopatek a objímek i montážní přípravek pro demontáž a montáž oběžného kola.

Ventilátory APMB jsou v mikrochladičích instalovány ve vertikální poloze (svislá osa

rotace). Lze je použít i pro horizontální polohu, ale tento požadavek musí být v objednávce jasně uveden. Mohou pracovat v podmínkách odpovídajících mikrochladičům. SAV 24 a SAV 32 v teplotním rozsahu +5° až +45 °C krátkodobě po dobu nejvíce jedné hodiny až +80 °C.

Dopravovaná vzdušina nesmí obsahovat abrazivní příměsi a nesmí být výbušná. Vzduchový výkon ventilátoru lze regulovat změnou nastavení lopatek za klidu, podle rozsahu uvedeného v charakteristikách na obr. 3 a obr. 4. Elektromotory vyhovují prostředí se ztíženými klimatickými podmínkami T 2 dle ČSN 34 5609 a ČSN 03 8805. U ventilátorů je možné zajistit reverzaci. Objednávka ventilátoru musí obsahovat všechny podrobnosti uvedené v podnikové normě PM 12 2521, tj. typ, velikost, číslo normy (včetně doplňkové číslice), výkon elektropřevodovky při různých otáčkách, napětí elmotoru.

Provedení vertikální je podle PM 12 2521.1 Provedení horizontální je podle PM 12 2521.2

Tab. 3. Hladina hluku  $L_A$

Hladina hluku $L_A$ (dB)							
Měřeno v úrovni horní hrany skříň ventilátoru							
Vzdálenost od osy ventilátorů [m]		2	3	5	10	15	20
APMB 1600	$n = 580 T$	82	79	74	70	68	67
	$n = 290 T$	74	71	69	66	65	65
APMB 2400	$n = 460 T$	85	83	79	74	72	70
	$n = 230 T$	76	73	70	67	66	66
Hlukové pozadí 65							

Tab. 4. Hladiny akustického tlaku v oktákových pásmech  $L_{okt}$

Hladina akustického tlaku v oktákových pásmech $L_{okt}$ (dB)									
Měřeno ve vzdálenosti 5 m									
Hz		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
APMB 1600	$n = 580 T$	75	73	74	72	68	66	61	59
	$n = 290 T$	65	68	61	63	65	60	61	59
APMB 2400	$n = 460 T$	81	80	81	76	71	66	65	63
	$n = 230 T$	70	69	70	72	64	60	59	57
Hlukové pozadí 65									

## Hlavní rozměry, výkony, technické údaje

Hlavní rozměry plynou z obr. 2 a tab. 1. Charakteristiky ventilátoru, tj. závislosti průtoku a celkového tlaku, účinnosti ventilátoru i přítkony jsou uvedeny na obr. 3 a obr. 4 při teplotě +20 °C. Pro dosažovanou přesnost platí dovolené úchytky A podle ČSN 12 2001.

Hlavní technické údaje jsou v tab. 2.

## Hluk a chvění

Hodnoty hladiny hluku jsou uvedeny v tab. 3, hodnoty hladiny akustického tlaku v oktávových pásmech jsou uvedeny v tab. 4.

Chvění se řídí ČSN 12 3063 — ventilátory APMB jsou zařazeny do třídy A.

## Materiál a povrchová úprava

Jednotlivé části ventilátoru APMB jsou vyrobeny z oceli (plechu a profilového materiálu) třídy 11. Nosné disky oběžného kola jsou zhotoveny z ocelového pozinkovaného plechu. Lopatky a objímky jsou vyrobeny z plněného polypropylenu.

Díly z plastických hmot se povrchově neupravují. Obrobené plochy se konzervují. Ostatní díly ventilátoru jsou chráněny 2× základním nátěrem a 2× vrchním nátěrem.

## Bezpečnost

Smysl otáčení oběžného kola je označen směrovým štítkem. Kolo se otáčí doleva při pohledu ze strany sání, tj. strany odvrácené od motoru.

Elektroinstalace musí odpovídat platným předpisům a normám — ČSN 332 190. Do prostoru skříně nesmí nikdo vstupovat, dokud se oběžné kolo nezastaví a nezajistí proti samovolnému otáčení.

Provozovatel je povinen zajistit účinná opatření proti vniknutí cizích těles do ventilátoru.

## Zkoušení

Vzduchotechnické parametry ventilátoru

prokázala měření podle ČSN 12 3061. Pro měření hluku platí ČSN 12 3062 a chvění ČSN 12 3063.

## Montáž a provoz

Montáž ventilátoru musí provádět odborník podle montážních a provozních předpisů PM 12 2521, přílohy 1.

Spolehlivý, hospodárný a bezpečný provoz ventilátoru vyžaduje dodržování uvedených pokynů a předpisů a dále všech všeobecných bezpečnostních předpisů.

Doporučuje se, aby během uvádění do provozu byla zaškolená obsluha ventilátoru.

Před uvedením ventilátoru do provozu se zajišťuje důkladná kontrola, zejména dotažení všech spojovacích elementů, neporušenost svarů. Svěrná spojení lopatek u oběžného kola, neporušenost a čistota lopatek, hladina oleje v elektropřevodovce, stav těsnění, povrchová ochrana, čitelnost štítků a výstražných značek. Zda se kolo volně otáčí, krátkým zapnutím se ověřuje správný smysl otáčení oběžného kola.

## Regulace výkonu

Podle požadovaných parametrů lze měnit úhel natočení oběžných lopatek za klidu a získat rozmanité parametry v rámci výkonu elektromotoru. V žádném případě nesmí být překračováno proudové zatížení podle štítku motoru.

## Kontrola provozu

Každou směnu se kontroluje chod ventilátoru poslechem. Při zvýšení hlučnosti je třeba ventilátor odstavit, zjistit a odstranit příčinu.

Jedenkrát týdně se při krátkém odstavení kontroluje teplota převodovky a elektromotoru.

Jedenkrát měsíčně se kontroluje proudový odběr.

Provoz ventilátoru je možný při teplotě nad 0 °C, tj. aby chladicí okruh byl vždy v činnosti.

**ztv**  
**3**

Zdravotní technika a vzduchotechnika. Ročník 32, číslo 3, 1989. Vydává český výbor komitétu pro životní prostředí ČSVTS v Academii, nakladatelství Československé akademie věd, Vodičkova 40, 112 29 Praha 1. Adresa redakce: Dvorecká 3, 147 00 Praha 4. — Tiskne Tisk, knižní výroba, n. p., 656 01 Brno, závod 1. — Vychází šestkrát ročně. Rozšiřuje PNS. Informace o předplatném podá a objednávky přijímá každá administrace PNS, pošta, doručovatel a PNS-ÚED Praha, ACT Kalkova 19, 160 00 Praha 6, PNS-ÚED Praha, závod 02, Obránců míru č. 2, 656 07 Brno, PNS-ÚED Praha, závod 03, Gottwaldova 206, 709 90 Ostrava 9. Ojednávký do zahraničí vyřizuje PNS-ústřední expedice a dovoz tisku Praha, administrace vývozu tisku, Kovpakova 26, 160 00 Praha 6. Návštěvní dny: středa 7,00—15,00 hodin  
pátek 7,00—13,00 hodin.

Cena jednoho čísla Kčs 8,—, roční předplatné Kčs 48,—. (Tyto ceny jsou platné pouze pro Československo.)

Distribution rights in the western countries: Kubon & Sagner, P.O. Box 340 108, D-8000 München 34, GFR.

Annual subscription: Vol. 32, 1989 (6 issues) DM 118,—.

Toto číslo vyšlo v květnu 1989.

© Academia, Praha 1989.