

## 1. VÝZNAM VĚTRÁNÍ BUDOV

Již od dob starověku patřilo zajištění dostatečné výměny vzduchu v budovách mezi základní úkoly architektů.

Již před dvěma tisíci lety požadoval římský architekt Vitruvius, aby se vzduch v místnostech: „hodinu co hodinu obnavoval a nepůsobil tak člověku škodu“.

V současnosti bývá u nás toto staré pravidlo ignorováno, zejména při požadavku na snížení spotřeby energie na vytápění. Spáry oken se dokonale utěšňují a přirozená výměna vzduchu v bytech, ale i školách a společenských prostorách, klesá až na hodnoty  $n = 0,05$  až  $0,15 / h^1 /$ .

Přitom hygienický požadavek na větrání v celé řadě státních je skutečně dodržován v hodnotě až 15-ti násobně vyšší tj.  $n = 0,8$  až  $1,0 / h^1 /$ .

Stále platí, že kvalita vzduchu v budovách je všeobecně horší než kvalita vzduchu venkovního a větrání čerstvým venkovním vzduchem je pro lidské zdraví nepostradatelné a ničím nezastupitelné.

Dále se budeme zabývat prostředím, ve kterém žijeme, jednotlivými druhy škodlivin ve vzduchu a jejich působením na lidský organismus.

## 2. VNITŘNÍ PROSTŘEDÍ BUDOV

Složky vzduchového prostředí budov záměrně vytvářeného pro pobyt člověka v uzavřených prostorách lze obecně charakterizovat jako interní mikroklima:

- 2.1 tepelně - vlhkostní
- 2.2 mikrobiální
- 2.3 ionizační
- 2.4 aerosolové
- 2.5 oděrové
- 2.6 toxické

### 2.1. Tepelně - vlhkostní mikroklima

Patří k nejdůležitějším složkám pro zajištění vnitřního prostředí z hlediska zdraví a spokojenosti lidí. Je ale důležité i ve vztahu k životnosti stavebních materiálů, budov, výrobních technologií, atp.

Teplota a vlhkost vzduchu se v budovách úzce vzájemně ovlivňují a podmiňují.

Základními veličinami určujícími kvalitu tepelně - vlhkostního mikroklimatu v budovách jsou:

$t_{ai}$  ..... teplota vzduchu (ve °C), měřená rtuťovým teploměrem [prakticky nezohledňuje tepelné sálání okolních ploch]

$t_G$  ..... výsledná teplota (ve °C), měřená kulovým teploměrem uprostřed místnosti, s registrací tepelného sálání ploch okolních stěn a oken (je aritmetickým průměrem mezi  $t_{ai}$  a průměrnou

teplotou všech vnitřních povrchů]. Je základní veličinou při hodnocení mikroklimatu

$r_{hi}$  ..... relativní vlhkost vzduchu v interiéru (uvádí se v procentech a udává stupeň nasycení vzduchu vodní parou)

$x$  ..... měrná vlhkost vzduchu v interiéru, vyjadřuje hmotnost vodních par v g na 1 kg suchého vzduchu

$t_r$  ..... teplota rosného bodu (°C)

Zajištěním optimální teploty  $t_i$  v místnostech se dosahuje tepelné rovnováhy při odvodu tepla z organismu člověka do okolního prostředí (s korekcí na dané roční období), při konkrétním vývinu metabolického tepla.

V obytných a občanských stavbách se doporučuje dodržet hodnoty dle tabulky č. 1. V průmyslových provozech se stanoví optimální teploty v závislosti na druhu vykonávané práce člověkem (lehká až těžká, s metabolickým vývinem tepla 130 až 700 W / osoba).

Zatímco se zajištěním optimálních teplot v budovách většinou nebývají obtíže, díky současným kvalitním regulačním pružným otopným soustavám a zateplování obvodových stěn budov bývá často problematické dosáhnout vyhovující relativní vlhkosti. Zde si řada hledisek vzájemně odporuje.

Hygienicky doporučené vyšší relativní vlhkosti vzduchu v rozsahu 50 až 70 % zabraňující vysychání sliznic totiž pravidelně vedou ke vzniku plísní (například rodu *Alternaria*, *Aspergillus*, ..), hlavně v chladných a nevětraných rozích místností, nadpražích a ostěních s nebezpečnými zárodky patogenních spor. Důsledkem pak je zvýšená nemocnost obyvatel, časté nevolnosti, alergie, záněty průdušek, aj.

V současnosti nabývá tento fenomén nebývalých rozměrů při nezodpovědném utěšňování okenních spár v celém rozsahu bez alternativní náhrady. Přirozená výměna vzduchu pak v bytech často klesá až pod  $n = 0,1 / h^1 /$ . K výskytu plísní v bytech však dochází pravidelně již od ustálených relativních vlhkostí nad 55 %. V minulosti, při lokálním vytápění každé místnosti a odvodu spalin do komínů, fungovala výměna vzduchu přísávaním sparami oken bez problémů a plísně byly, až na výjimky, zcela neznámým pojmem. Lidská populace byla nesporně zdravější.

Současně se při vyšších relativních vlhkostech vzduchu nad 60 % zvyšuje až na dvojnásobek procento přežívajících mikroorganismů (např. *Staphylococcus*, *Streptococcus*) vůči výskytu mikroorganismů při relativní vlhkosti 30 až 40 %. Při poklesu relativní vlhkosti se naopak snižuje výhodně počet roztočů v textilích a výskyt následných alergií - astma.

Mezi hlavní zdroje vlhkostí v budovách patří:

- metabolismus člověka (produkce 50 až 250 g vodní páry / h / 1, podle druhu činnosti)
- koupelny (produkce 700 až 2600 g vodní páry / h)
- kuchyně (produkce 600 až 1500 g vodní páry / h)
- sušení prádla (produkce 200 až 500 g vodní páry / h / 5 kg)

Pro průměrný byt tak dosáhne celková produkce vodní páry 10 až 15 kg / den. Nárazová množství vlhkosti jsou pohlcena sorbcí omítek, a postupně odvětrána s větším, či menším efektem při absenci jiných větracích systémů pouze spárovou infiltrací oken.

V řadě vyspělých zemí se z těchto důvodů předepisuje nucené větrání bytů s rekuperací tepla, s intenzitou výměny vzduchu až  $n = 0,8$  až  $1,2 / h^1 /$ .

## 2.2. Mikrobiální mikroklima

Je vytvářeno mikroorganismy bakterií, virů, plísní, spor a pylů, které se vyskytují v interiéru budov, s přímými účinky na člověka. Vážným problémem se dnes stávají alergické syndromy způsobené sporama různých druhů, plísněmi a pylovými částicemi.

Hlavními nositeli mikroorganismů jsou kapalné aerosoly, vznikající v pračkách klimatizačních zařízení a pevné aerosoly (prachy, suchý ptačí trus, atd.), usazené ve vzduchovodech. Zvláště nebezpečné jsou pak bakterie tyčinkové - legionelly, vázané na kapalné aerosoly, způsobující až smrtelná zánětlivá onemocnění plic.

Ve všech typech filtrů se zachycují především prachové částice, ale i všechny druhy mikroorganismů, které se při silném zašpinění, případně i vlhnutí filtrů, intenzivně rozmnožují a pronikají zpětně do větracího vzduchu. Je proto velmi důležitá pravidelná kontrola a výměna filtrů v závislosti na druhu prostředí.

Obdobně je nutné zabránit zvlhnutí usazeného prachu v uzavřených a těžko přístupných vzduchovodech (pomocí zpětných klapek, garantovaného přetlaku atd.), neboť zde hrozí výskyt virů i plísní s neomezenou životností.

Kvalita mikrobiálního mikroklimatu se hodnotí podle únosné koncentrace mikrobů. Pro obytná prostředí činí max. 200 až 500 mikrobů /  $m^3$ , v operačních sálech max. 70 mikrobů /  $m^3$ . Ve venkovním prostředí měst jsou koncentrace až 1500 mikrobů /  $m^3$ .

Dosud nejúčinnějším způsobem, jak snížit mikrobiální koncentrace v budovách, je dokonalé větrání s přívodem kvalitního venkovního vzduchu, dále lze výhodně

použít deodorisace vzduchu proti hmyzu jako přenašeči mikrobů rozprašováním slabého roztoku oleje z himalájského cedru.

Použití chemické a fyzikální sterilizace vzduchu (trietylenglykolem, těkavými rostlinnými fytoncidy, germicidními výbojkami, ionisací) je již speciálním úkolem instalovaných vzduchotechnických zařízení.

## 2.3. Ionizační mikroklima

Je charakterizováno toky ionizujícího záření z přírodních radionuklidů a umělých zdrojů. V běžných podmínkách bytových a občanských staveb se jedná převážně o zdroje ionizujícího záření ze stavebních hmot, např. radioaktivních popílků s obsahem radia (Gamma záření udávané v jednotkách mikrosievert / hod) a emanaci radioaktivních plynů z podloží, případně ze stavebních hmot do interiérů budov.

Hlavním představitelem je Radon  $^{222}Rn$ , a následným rozpadem vzniklé dceřinné produkty radiové nebo thoronové řady  $^{218}Po$  (RaA),  $^{214}Pb$  (RaB),  $^{214}Bi$  (RaC),  $^{214}Po$  (RaC) a  $^{220}Th$  (Rn).

Samotný radon je inertní plyn, ale závažné jsou jeho dceřinné produkty vdechované spolu s nosnými pevnými či kapalnými aerosoly do plic. Zde se usazují a zářením alfa ozařují plicní epitel, čímž vytváří potenciální riziko pro vznik plicního karcinomu.

Jednotkou pro objemovou aktivitu radioaktivních látek je  $1 Bq / m^3$ , což udává jeden průměrný rozpad za sekundu v  $1 m^3$  látky, obdobně se udává měrná aktivita pro 1 kg látky. Jako přípustné se u nás uvádějí hodnoty EOAR (ekvivalentní objemové aktivity radonu) v interiéru:

- pro stávající budovy  $200 Bq / m^3$  vzduchu
- pro nové budovy  $100 Bq / m^3$  vzduchu

Obecně se udává i hodnota podle USA normy ASHRAE 1981 tj.  $74 Bq / m^3$ . V ČR se vyskytly extrémní hodnoty až  $18.000 Bq / m^3$  v místnostech, zatímco průměrná hodnota ve všech domech je asi  $68 Bq / m^3$ , a ve venkovním ovzduší  $7$  až  $12 Bq / m^3$ .

Jako ochrana nových staveb před účinky radonu se používá plynotěsná fólie pod základovou deskou. Pro stávající budovy je však osvědčenou nejúčinnější ochranou řízené větrání, výhodně s částečným přetlakem, s intenzitou výměny vzduchu  $0,5$  až  $1,0 / h^1 /$ . Tato intenzita větrání zaručuje snížení EOAR v interiéru budov až na hodnoty  $12 - 35 Bq / m^3$  i v oblastech extrémních výskytů zemního radonu (oblast Jáchymova, Sedlčansko, Krkonoše).

**TAB. 1: DOPORUČENÉ PARAMETRY VNITŘNÍHO PROSTŘEDÍ**

		v topném období		v letním období	
		optimální	přípustné	optimální	přípustné
výsledná teplota	$t_i$ (°C)	20,8 +/- 0,8	18 - 24	26 +/- 0,5	22,0 - 28,0
teplota podlahy	$t_p$ (°C)	min. 24,0	min. 17,5	min. 24,0	min. 17,5
relativní vlhkost	$r_{hi}$ (%)	30 - 55	20 - 70	-	-
rychlost proudění vzduchu	W (m/s)	max. 0,15	max. 0,20	max. 0,15	až 1,0

## 2.4. Aerosolové mikroklima

Aerosoly se v ovzduší vyskytují ve formě pevných částic (prachů), nebo kapalných částic (mlhy).

Pevné aerosoly jsou původu organického, anorganického, popř. smíšeného, s elektrickým nábojem kladným či záporným, s velikostí 0,1 až 100 mikrometrů, která zároveň limituje rychlost jejich gravitačního usazování v ovzduší v rozsahu 30 dnů až 4 sec.

Ve venkovním ovzduší velkoměst se spad prachu pohybuje v hodnotách až 1100 t / km<sup>2</sup> / rok, při běžné koncentraci 1 až 3 mg / m<sup>3</sup>. V čistém horském prostředí se vyskytují koncentrace od 0,05 do 0,5 mg / m<sup>3</sup>, ale v interiérech škol dosahují tyto koncentrace prachu až 10 mg / m<sup>3</sup>.

Domovní prach, zvláště částice pod 1 mikrometr, jsou hlavní příčinou postižení astmatem.

Jako přípustná hodnota v běžných budovách se uvádí koncentrace inertních pevných aerosolů 10 mg / m<sup>3</sup>. Pro speciální pracoviště pak řádově nižší hodnoty, zajišťované vysoce účinnou vícestupňovou filtrací, nebo ionisací vzduchu.

## 2.5. Odérové mikroklima

Obecně jsou odéry plynné složky ovzduší, vnímané jako vůně nebo zápachy, produkované člověkem nebo jeho činností. Mimo běžné odéry (kouření, příprava jídel) se v interiéru dnes vyskytují i styreny, formaldehydy a odpary z nátěrů, tedy látky dříve neznámé.

Z venkovního ovzduší do budov infiltruje především CO<sub>2</sub> a mnoho dalších odérů. Ve vnitřním prostředí vzniká při pobytu lidí hlavně CO<sub>2</sub> (až 18 l / hod / os) a tělesné pachy - antropotoxiny, které jsou obecně indikátorem kvality vnitřního vzduchu.

Jako kritériální a exaktně měřitelná hodnota se všeobecně udává koncentrace 0,10 % CO<sub>2</sub>, pro odstranění pocitu vydýchaného vzduchu z produkce tělesných odérů pak 0,07 % CO<sub>2</sub>, přičemž i podle standardu ASHRAE se připouští 20 % nespokojených respondentů s kvalitou interního ovzduší.

Zásadním způsobem lze kvalitu odérového mikroklimatu v budovách ovlivnit pouze dostatečným přívodem čerstvého vzduchu. Základní a ve světě uznávaná hodnota intenzity větrání se udává 25 m<sup>3</sup> / hod čerstvého venkovního vzduchu na jednu osobu pro odvedení běžných tělesných odérů. Tato hodnota platí obecně pro školní učebny i obytné místnosti. Pro jídelny a kanceláře se zvyšuje až na 36 m<sup>3</sup> / hod / os (ASHRAE 62 - 1989). Množství čerstvého vzduchu lze redukovat při větším volném prostoru připadajícím na jednu osobu. V provozních je nutno zajistit množství čerstvého vzduchu podle druhu vykonávané práce od 30 m<sup>3</sup> / hod / os pro velmi lehkou práci, až po 60 m<sup>3</sup> / hod / os pro velmi těžkou práci (hygienické předpisy SRN).

## 2.6. Toxické mikroklima

Je vytvářeno toxickými plyny s patologickými účinky. Charakteristickými jsou zejména oxidy síry (SO<sub>x</sub>), oxidy dusíku (NO<sub>x</sub>), oxid uhelnatý (CO), ozón (O<sub>3</sub>), smog, formaldehyd atd.

V interiéru budov je zdravotně nejzávažnějším plynem CO, vznikající hlavně nedokonalým spalováním fosilních paliv při nevyhovujícím přívodu vzduchu, nebo špatném odtahu, únikem svítivplynu a kouřením. Při dlouhodobé expozici může dojít až k chronické otravě s poruchami paměti a psychiky.

Obdobně vzniká ve špatně nebo cirkulačně větraných kuchyních s neodvětranými plynovými sporáky koncentrace oxidu dusíku NO<sub>x</sub> až 50 mikrogramů / m<sup>3</sup>, zatímco v jiných místnostech max. 20 mikrogramů / m<sup>3</sup>. Oxid dusičitý má přitom prokazatelně karcinogenní účinky. Formaldehyd způsobuje ve vyšších koncentracích dráždění očí a sliznic, současně je i alergenem a potenciálním karcinogenem. Zarážející je skutečnost, že i po 15 letech ještě převyšují koncentrace formaldehydu v objektech typu OKAL několikanásobně přípustné limitní hodnoty NPK-P, tj. 0,035 mg / m<sup>3</sup>.

Ekonomicky i technicky nejpříjemnějším řešením pro odstranění toxických plynů zůstává stále větrání, případně obtížná filtrace aktivním uhlím, nebo ionisace vzduchu.

## 3. SYSTÉMY VĚTRÁNÍ BUDOV

Zcela obecně se dělí větrací systémy u budov bytových, občanských i průmyslových na:

- 3.1 systémy přirozeného větrání
- 3.2 systémy nuceného větrání
- 3.3 systémy kombinovaného větrání

### 3.1. Systémy přirozeného větrání

Již od starověku byly empiricky a úspěšně využívány tlakové rozdíly způsobené jednak gravitačním vztlakem (tj. v zimě rozdílem hmotnosti vnitřního teplého a vnějšího chladného vzduchu) a dynamickým (náporovým) účinkem větru na fasádních a střešních plochách budovy. Gravitační větrání působí vždy již při minimálním rozdílu teplot vnitřního a vnějšího vzduchu (pokud není překonáno náporům větru) a lze je vhodně využít prakticky v celé délce topného období. Klasické využití tohoto principu představují světlíkové šachty uvnitř starých činžovních domů, kdy do obytných místností byl z uliční fasády sparami oken nasáván (tehdy ještě) čerstvý a čistý venkovní vzduch a procházel celým prostorem bytu až k WC, kde byl odsáván do rozměrné světlíkové šachty „vytápěné“ prostupem tepla přes zdi okolních bytů. Systém selhával až v letním období při inverzi, kdy stěny šachet byly chladnější než okolí, vzduch v šachtě se ochlazoval a proudil směrem dolů.

Podstatně v omezenější formě působí gravitační vztlak i po výšce oken v podlaží, kdy přibližně horní polovinou okenních spar je vnitřní teplejší vzduch z místnosti odváděn, spodní částí oken naopak je čerstvý vzduch přiváděn v závislosti na těsnosti spar:

U novodobých výškových budov (např. již 6-podlažních) dochází k nepříjemnému úkazu, kdy centrální otevřené schodiště, nebo neutěsněné výtahové a instalační chodbové šachty vytváří „vnitřní komín“. Tento komín odsává vzduch přes dveřní spáry spodních bytů a naopak tlačí vzduch do horních bytů. Výsledkem je značné infiltrační prochlazování bytů v nejnižších podlažích a hygienicky zcela nevhodné větrání horních bytů odpadním vzduchem ze schodiště. V řadě průzkumů se potvrdila vyšší nemocnost obyvatel právě v těchto nejvyšších podlažích. Řešením je samozřejmě dokonalé utěsnění spar dveří z bytů na schodiště.

Gravitační větrání v letním období většinou selhává při opačných gradientech teplot vnitřního a vnějšího vzduchu, kdy otevírání, a zvláště vyklápění oken na osluněných fasádách situaci ještě zhorší, neboť vrstva horkého vzduchu proudící těsně podél fasády vzhůru se dostává přímo do bytů.

U výrobních halových objektů dochází v topném období k intenzivnímu rozvrstvení teplot u podlahy a pod střechou haly, kdy rozdíly činí běžně 8 až 12 °C (v závislosti na výšce, charakteru výrobní technologie, a způsobu vytápění). Tím se vytváří tlakový spád po výšce haly.

Sparami a otvory světlíků je odváděn nejteplejší vzduch z haly (běžně i 35 °C) a naopak netěsněnými sparami vrat a oken se do pracovní zóny přivádí studený vzduch, působící nepříznivě průvanem u podlahy ve fyziologicky citlivé oblasti kotníků. Při otevření vrat pak dochází k neúnosnému nárazovému prochlazení haly v délce až několika desítek metrů.

Vůči prakticky ustálenému účinku teplot na větrání, je působení větru v našem podnebném pásmu zcela nahodilé jak četností, tak směrem. Účinky změny pohybové energie větru do tlakového náporu na fasádu, nebo střechu budovy se vyjadřují tzv. tlakovým součinitelem. Pro návětrnou stranu budov běžných tvarů lze uvažovat hodnotou  $A_n = 0,6$  (přetlak), pro závětrnou stranu  $A_z = -0,3$  (vyjadřuje podtlak). Obdobně u střešních ploch rozlehlých hal lze při návrhu větracích světlíků uvažovat se součinitelem  $A_s = -0,3$  výhodně podporující odvětrání i v letním období, kdy gravitační (aerační) systémy zcela selhávají.

U obytných budov je proto výhodné orientovat byty s rohovou, nebo lépe oboustrannou dispozicí, která zajišťuje tzv. „příčné“ náporové větrání součtovým účinkem větru. V našich podmínkách tomu vyhoví nejlépe orientace fasád východ - západ.

Pro výpočet přirozeného větrání je nutno vždy vycházet ze statisticky zjištěných hodnot četnosti výskytu teplot a rychlosti větru v průběhu uvažovaného období. Pro

letní a přechodné období přitom nelze uvažovat v našem podnebném pásmu s vyšší časovou účinností náporového větrání než 50 %.

### 3.2. Systémy nuceného větrání

Zajišťují nucený přívod a současně nucený odvod vzduchu z vnitřních prostor budov, pomocí mechanických strojních zařízení, nejčastěji ventilátorů.

Podle použití rozeznáváme nucené větrání nízkotlaké, které se rozděluje na celkové (podtlakové, rovnotlaké, přetlakové), oblastní, místní a havarijní. Dále větrání vysokotlaké, používané pro vysoké rychlosti proudění, hlavně pro klimatizaci.

Větrání u všech budov obytných, průmyslových i občanských se používá převážně v rovnotlakém systému při vyrovnané bilanci množství přiváděného a odváděného vzduchu. Nespornými výhodami těchto vzduchotechnických systémů nuceného větrání vůči přirozenému jsou:

- Ideální možnost zpětného získávání tepla z odváděného vzduchu pro předehřev vzduchu přiváděného. Náklady na větrání představují často nejvyšší provozní položku, při stále se zvyšujících cenách tepelné energie. Často lze instalací rekuperace odpadního tepla zcela vyloučit nutnost dalšího dohřevu přiváděného vzduchu, neboť se zároveň využívá i veškerých teplotních zisků v budovách z metabolismu osob, osvětlení, technologie, apod. Účinnost rekuperace běžně dosahuje 60 až 80 %. Tyto systémy se plně osvědčily při větrání rodinných domů, škol, bazénů, plynových kotelen, atd.
- Dokonalá filtrace přiváděného, případně cirkulačního vzduchu na speciálních tkaninových nebo i elektrostatických filtrech, zachycujících mikročástice velikosti 1 až 3 mikronu s účinností 95 až 99 %.
- Snadná automatická regulace výkonu podle momentálních požadavků (např. podle počtu osob v prostoru) na základě vyhodnocení údajů čidel vlhkosti, čidel oděrů, CO<sub>2</sub> nebo senzorů pohybu osob. Tím je dána možnost úplné hermetizace oken v budově, čímž se zcela vyloučí nežádoucí infiltrace prachu a výrazně se sníží přenos hluku z ulic do vnitřního prostředí budov (zvláště významné u škol, u frekventovaných ulic a pod.).
- Zaručená funkce systému i při nepříznivých tlakových podmínkách v budově (např. při letní inverzi).
- Možnost kombinace větracího systému budov s rekuperací tepla a teplovzdušného systému vytápění (případně cirkulačního „solárního“ přes prosklené pasívní zákryty, zimní zahrady, skleníky atp.).
- Možnost instalace výměníků pro chlazení, případně vlhčení přiváděného vzduchu.

Dříve byly převážně používány centrální vzduchotechnické sestavné jednotky pro přívod a odvod vzduchu do celé budovy. Tato koncepce vyžadovala velmi dlouhé a náročné rozvody po budově s rozlehlými strojovny

a s problematickým zaregulováním výustek. Celé VZT zařízení obsluhovalo i několik rozdílných sekcí budovy s odlišným časovým využitím, a bylo tak zcela neekonomicky provozováno.

Moderní systémy dnes preferují spíše dislokované větrací systémy, celkového rovnotlakého větrání, které přináší řadu výhod:

- a) Ekonomický provoz a regulace vzduchotechniky pouze pro jednu funkční zónu objektů (obdobně u halových objektů větrání pouze uceleného pracoviště systémem nástřešních, nebo nástěnných větracích jednotek s rekuperací tepla).
- b) Dislokované jednotky lze situovat do pomocných prostor, např. v podstropním uspořádání, bez jakýchkoli nároků na prostorově drahé strojovny (např. komfortní vzduchotechnický systém DUPLEX, standardně i s rekuperací tepla)
- c) Podstatně úspornější dimenzování potrubních rozvodů, s jednoduchým zaregulováním systému.

Podtlakové nucené větrání, charakterizované nižším výkonem přírodních ventilátorů vůči odsávacím, se používá hlavně při požadavku na lokalizaci škodlivin (např. u kuchyní, kdy postačí pouze 5 % podtlak, umožňující i efektivní použití rekuperačních výměníků tepla, dále v nebezpečných provozech, atd.).

Přetlakové větrání se používá naopak u hygienicky nejnáročnějších prostředí (tzv. „čistých provozů“) a tam, kde je požadováno sterilní ovzduší, zajišťované speciální filtrací přiváděného vzduchu.

Oblastní větrání je speciálním případem větrání v průmyslové hale, kdy oblast pohybu člověka (tzv. homosfera) je oddělena od oblasti škodlivin (tzv. noxosféry) zástěnami od stropu až do nezbytně manipulační, nebo podchodné výšky. Při dosažení ochranné rychlosti proudění pod zástěnou 0,2 až 0,5 m / s se vylučuje kontaminace přírodního vzduchu škodlivinami z výrobní technologie.

Místní větrání se používá především pro lokalizované odsávání od zdrojů škodlivin (digestoře kuchyň a laboratoří, štěrbinové odsávací zákryty u galvanických lázní), dále pro vzduchové clony a oasy.

Havarijní větrání je předepsáno bezpečnostními předpisy pro rychlé odvedení škodlivin z budovy (např. u velkých plynových kotelen).

### 3.3. Systémy kombinovaného větrání

V bytové a občanské výstavbě se používají především v kombinaci nuceného odtahu s přirozeným přívodem vzduchu okny a dveřmi (např. odsávání sociálních zařízení s přívodem z předsíní a chodeb, místní odsávání v kuchyních apod.).

Poměrně jednoduchý systém odsávání běžně používaný pro malé výkony však způsobuje potíže u větších výkonů, například při odsávání v kuchyních. Zde totiž dochází k nasávání buď silně znečištěného teplého vzduchu do

digestoří z přilehlých nečistých prostor, dokonce i z WC, nebo studeného nefiltrovaného vzduchu z oken. Oba případy způsobují u personálu silný pocit diskomfortu, a odsávací zařízení obsluha vypíná.

V průmyslu se pro větrání a současně vytápění používá naopak systém centrálního přívodu teplého filtrovaného vzduchu a gravitační odvod střešními ventilačními otvory, nebo aeračními světlíky do atmosféry. Při nutně vysoké teplotě přiváděného vzduchu do pracovní oblasti (z hygienických hledisek) dochází k stacionárnímu rozvrstvení teplot a k odtahu nejteplejšího vzduchu bez využití.

Oba systémy kombinovaného větrání pro větší výkony mají společnou zásadní nevýhodu - není zde možnost instalace zařízení pro zpětné získávání tepla, které by v současné energeticky vyjaté době mělo být již samozřejmostí prakticky u všech moderních vzduchotechnických systémů.

Je přitom na první pohled paradoxní, že při „revizi“ původních projektů vzduchotechniky s kombinovaným přetlakovým větráním dochází při „redesignu“ na rovnotlaké systémy s rekuperací k podstatným provozním úsporám a ke snížení původních pořizovacích nákladů i nároků na prostor.

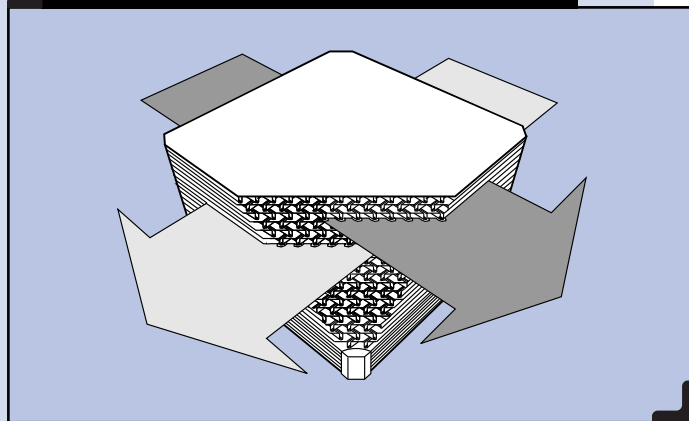
## 4. REKUPERACE ODPADNÍHO TEPLA A CHLADU PŘI VĚTRÁNÍ BUDOV

Firma ATREA s.r.o. vyvinula a vyrábí celou řadu deskových výměníků „vzduch - vzduch“ v progresivní technologii tepelných desek z plastické hmoty hPS (houževnatého polystyrénu).

Díky vynikajícím vlastnostem hPS při jejich tváření lze dosáhnout optimálních hydraulických charakteristik pro návrh různých typů i koncepcí výměníků pro speciální provozní požadavky.

Hlavním požadavkem je buď minimalizace tlakových ztrát (např. pro silně znečištěné prostředí) nebo extrémní zvýšení účinnosti (pro systémy větrání bez dalších nároků na dohřev vzduchu - protiproudé uspořádání). Speciálním požadavkem je asymetrické

ŘEZ DESKOVÝM VÝMĚNÍKEM hPS



provedení šikmých výměníků (určené pro rekuperační digestoře DiNER pro gravitační odtok kondenzátu). Všechny typy výměníků firmy ATREA jsou průběžně laboratorně zkoušeny a testovány, s hlavním cílem dosáhnout optimálního poměru mezi jejich základními charakteristikami, tj. základní tepelnou účinností rekuperace a tlakovou ztrátou.

#### 4.1. Vlastnosti rekuperačních výměníků hPS

Firma ATREA vyrábí dva základní typy rekuperačních výměníků tepla:

- s křížovým uspořádáním desek (ve tvaru čtverce)
- s protiproudým uspořádáním (ve tvaru šestiúhelníka)

V obou případech dochází ke sdílení tepla vzduchovým obtékáním teplosměnných ploch desek s různým stupněm turbulizace proudění v hydraulicky tvarovaných kanálcích. Teplo prostupuje přes tloušťku desek k druhému povrchu, kde se obdobně předává s účinností až 78 %. Na rozdíl od entalpických výměníků jsou desky hPS parotěsné a nedochází při rekuperaci k zpětnému přenosu vlhkosti. Proto lze výměníky hPS výhodně použít i pro odvětrávání vlhkosti z kuchyní, bazenů, při vysoušení, atd.

Přestože základním materiálem desek je umělá hmota (hPS) s velmi nízkým součinitelem tepelné vodivosti ( $\lambda = 0,16 \text{ W} / \text{m} / \text{K}$ ), není prakticky snížena účinnost rekuperace vůči běžně používaným kovovým materiálům. Při standardní tloušťce desek pouze 0,3 mm je zvýšení tepelného odporu minimální (řádově v několika procentech) a je plně kompensováno nižším povrchovým znečištěním hPS desek s několikanásobně nižším součinitelem drsnosti povrchu oproti například hliníkovým plechům.

Rekuperační výměníky se vyrábějí ve dvou základních provedeních. V základním provedení (typ A) jsou výměníky optimalizovány z hlediska jejich tlakové ztráty. Výměníky typu A se vyrábějí bez turbulizačních prolisů a jsou vhodné pro vyšší výkony vzduchu.

V provedení se zvýšenou účinností (typ B) jsou jednotlivé desky vybaveny diagonálně příčnými turbulizačními prolisy. Účinnost rekuperace těchto výměníků je cca o 10 % vyšší než účinnost výměníků bez prolisů.

Výměníky typu B mají ovšem vyšší tlakovou ztrátu, jsou proto vhodné pro menší průtoky vzduchu.

Vzájemná vzdálenost jednotlivých desek je omezena výškou vakuově prolisovaných kanálků (5 až 7,5 mm), vzájemná stabilita a tuhost bloků je zajištěna bodovým lepením v celé ploše a spojitým splením okrajů po obvodě. Nároží bloků jsou vytmelena a překryta rohovou nerez lištou. Tím se dosáhne hermetické těsnosti mezi oběma sektory vzdušin a nemůže docházet k zkratování.

#### 4.2. Tepelná odolnost

Tepelná odolnost rekuperačních výměníků hPS je zaručena v rozmezí teplot  $-25 \text{ }^\circ\text{C}$  až  $+85 \text{ }^\circ\text{C}$ .

#### 4.3. Protipožární odolnost

Protipožární odolnost je zajištěna retardéry hoření přímo v granulátu hPS a odpovídá normě UL 94.

#### 4.4. Tlaková odolnost

Přípustný tlakový rozdíl mezi oběma vzdušninami rekuperačních výměníků všech typů je 600 Pa, při běžných teplotách v rozsahu  $-10 \text{ }^\circ\text{C}$  až  $+30 \text{ }^\circ\text{C}$ .

#### 4.5. Korozní odolnost a bezpečnost

Korozní odolnost houževnatého polystyrenu s retardéry hoření (hPS-R) typu Krasten 562 umožňuje univerzální použití výměníků v oblastech pH v rozsahu 3,5 až 11,0, například v mokřích prostředích (bazény s chlórem), chemicky agresivních prostředích (galvanizovny - viz tabulka chemických odolností - kap. 10).

Výměníky nelze použít do prostředí s obsahem aromatických uhlovodíků (toluen, xylen, atd.) a do prostředí výbušných SNV 1 a SNV 2.

#### 4.6. Zkratová odolnost

Zkratová odolnost hermeticky lepených bloků se zaručuje při provozním přetlaku do 600 Pa max. 1 % objemového množství vzduchu netěsností mezi sektory.

#### 4.7. Odolnost proti znečištění

Rekuperační výměníky hPS s kanálky hydraulického průřezu  $15 \times 7,5 \text{ mm}$  až  $20 \times 5 \text{ mm}$  zaručují trvalou funkci i při vysokém provozním znečištění ovzduší. Při alespoň základní filtraci vzduchu EU1/G1 prakticky nemůže nikdy dojít k ztrátě průchodnosti kanálků (na rozdíl od například jemných lamel tepelných trubíc, kdy zanesení první řady trubíc zneprůchodní celý výměník).

Dalším faktorem ovlivňujícím znečištění je velmi nízká ekvivalentní drsnost povrchu desek hPS dosahující hodnot  $\epsilon = 0,005 \text{ mm}$ , na rozdíl od kovových povrchů s hodnotou  $\epsilon = 0,04 \text{ mm}$ .

Ve většině případů se však doporučuje již z hygienických důvodů předřadit před výměníky filtry ve třídě alespoň EU4/G4, čímž se znečištění prachem nad 1 mikrometr zcela eliminuje.

#### 4.8. Kondenzace

Ke kondenzaci par z odváděného odpadního vlhkého vzduchu dochází při jeho ochlazení uvnitř deskového rekuperačního výměníku hPS pod teplotu rosného bodu, na mezi nasycení par. Kondenzát se tvoří na stěnách jednotlivých desek, odkud gravitačně stéká - buď ze svislých ploch ke spodnímu rohu výměníku a do sběrné vany nebo z vodorovných ploch desek (s vlnami kanálků vždy nahoru!), postupně v celé šířce přes jednotlivé vrstvy až k spodnímu odvodňovacímu žlábků.

Při vodorovném uspořádání desek výměníků hPS je nutno vždy zajistit alespoň 3 % minimální spád směrem k vstupu odpadního vzduchu  $i_1$  pro odvod kondenzátu do teplejší zóny,

v opačném směru by hrozilo riziko zámrazu na výstupu  $i_2$  a postupné hromadění kondenzátu v celé ploše výměníku. Pro extrémně vlhká prostředí, například u kuchyňských rekuperačních digestoří, se výměníky hPS dodávají ve speciálním kosoúhlém tvaru pro odvod kondenzátu. Při kondenzaci se zvyšuje základní účinnost rekuperace až o 15 % podle relativní vlhkosti odpadního vzduchu v důsledku zvýšení tepelného toku při uvolnění skupenského tepla - viz graf č. 1., kap. 10.

Eliminátory kapek zařazované za výměník z důvodu separace vodních kapek unášených v proudu vzduchu je nutné instalovat pouze při překročení rychlosti proudění vzduchu  $w \gg 2,8 \text{ m/s}$ .

#### 4.9. Rozdílné průtoky vzduchu

Při rozdílném množství odpadního a přiváděného vzduchu se mění základní účinnost rekuperace v závislosti na poměru  $V_i / V_e$  (viz graf č. 2, kap. 10).

#### 4.10. Údržba a čištění

V běžném provozu (s předřazenými filtry) není nutné výměníky hPS prakticky vůbec čistit, v nejnútnejším případě postačí čelní plochy kanálku vysát vysavačem, nebo opláchnout vodou.

V extrémních podmínkách znečištěného vzduchu (odsávání prachu od strojů, svařovny bez filtrace, rekuperační digestoře kuchyní, mastné prachy a aerosoly) je nutné rekuperační výměníky vyjmout a promýt horkou vodou s detergentem (teploty do 70 °C). Všechny jednotky DUPLEX a kuchyňské digestoře DiNER jsou standardně vybaveny vodícími lyžinami pro vysunutí rekuperačních výměníků hPS.

#### 4.11. Protimrazová ochrana

Při vysokém stupni účinnosti rekuperace u rekuperačních výměníků hPS dochází při vyšší relativní vlhkosti odpadního vzduchu k postupnému zamrznutí tvořícího se kondenzátu směrem od rohového sektoru „ $i_2 - e_1$ “. Jako standardní a ekonomické řešení protimrazové ochrany výměníků hPS používá firma ATREA mikroprocesorem řízené snížení množství přiváděného mrazivého vzduchu  $e_1$  regulací otáček ventilátoru po dobu nezbytně nutnou k odmrazení teplým odpadním vzduchem. Touto protimrazovou ochranou jsou standardně vybaveny všechny jednotky DUPLEX s vestavěným digitálním regulačním modulem RMD i kuchyňské digestoře typu DiNER s rozvodnicí RG.

#### 4.12. Ekonomie rekuperačních systémů

Obecně rozhodující faktory:

- tepelná účinnost rekuperace
- výše pořizovacích nákladů
- doba využití systému (například směnnost)
- úspory investičních nákladů na jinak nutné zvýšení výkonů zdrojů tepla

- entalpie odsávaného vzduchu (teplota, vlhkost)
- provozní vícenásledky na systém s rekuperací tepla, vůči běžným větracím systémům
- roční amortizace, návratnost investičních prostředků
- cena tepelné a elektrické energie

#### 4.13 Základní účinnost rekuperace $\eta_0$

(bez přenosu vlhkosti)

$$\eta_0 = \frac{t_{e2} - t_{e1}}{t_{i1} - t_{e1}} \quad [\%]$$

Příklad výpočtu:

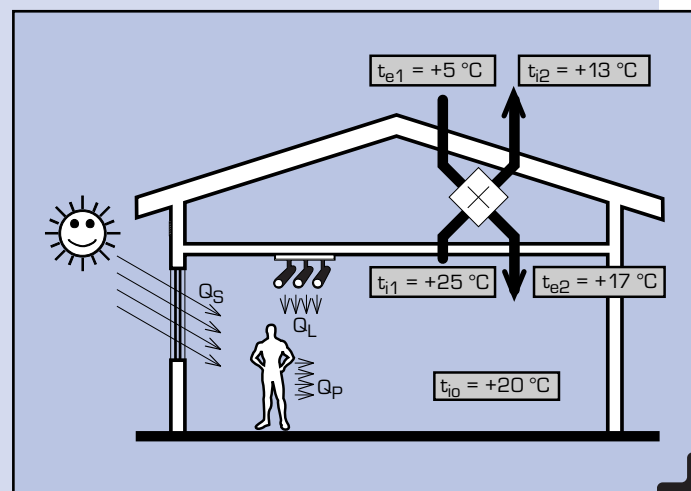
Zadání:

Pro restaurační provoz pro obsazení 30 lidí (kuřáků) navrhnout větrání s rekuperací.

Zadané údaje:

Celkové vnitřní zdroje v restauraci:

$$\Sigma Q_{P,S,L} = Q_P + Q_S + Q_L = 4,85 \text{ kW}$$



kde:  $Q_P$  .. tepelná produkce (metabolismus) od 30 lidí á 100 W / os = 3 kW

$Q_S$  .. solární zátěž transmisí okny (neuvažována)

$Q_L$  .. tepelná produkce instalovaného osvětlení a ostatních tepelných zdrojů (chladicí agregáty, hrací automaty, atd.) = 1,85 kW

$\eta_0$  .. = 60 % - základní účinnost rekuperace

$\rho$  .. objemová hmotnost vzduchu = 1,2 kg/m<sup>3</sup>

$c$  .. specifické teplo vzduchu = 1,1 kJ/kg/°C

$t_{i0}$  .. = + 20 °C - teplota v místnosti

$t_e$  .. = + 5 °C - venkovní teplota

Výpočet:

Potřebné množství větracího vzduchu:

$$V_e = V_i = 30 \times 60 \text{ m}^3/\text{h}/\text{os} = 1800 \text{ m}^3/\text{h} = 0,5 \text{ m}^3/\text{s}$$

Pro ohřev vzduchu od vnitřních zdrojů platí:

$$Q = V \times \rho \times c \times \Delta t \quad [\text{kW}]$$

odkud zvýšení teploty od vnitřních zdrojů činí:

$$\Delta t = Q / (V \times \rho \times c) = 4,85 / (0,5 \times 1,2 \times 1,01) = +8 \text{ °C}$$

Odhadneme teplotu odsávaného vzduchu se zahrnutím tepelných zisků:

$$t_{i1} = +25 \text{ °C}$$

Potom teplota přiváděného vzduchu do místnosti po rekuperaci:

$$t_{e2} = \eta_0 (t_{i1} - t_{e1}) + t_{e1} = 0,6 (25 - 5) + 5 = +17 \text{ °C}$$

Závěr:

Rozdíl teplot  $\Delta t = t_{i1} - t_{i2} = 25 - 17 = 8 \text{ °C}$  odpovídá přesně zvýšení teploty od vnitřních zdrojů, není tedy nutný další dohřev přiváděného vzduchu při větrání restauračního provozu (při venkovní teplotě  $t_e = +5 \text{ °C}$ ).

Poznámka:

Tento závěr platí pouze za předpokladu indukční rovnoměrné distribuce přívodu chladnějšího vzduchu  $+17 \text{ °C}$  s minimální rychlostí od stropu, do pobytové zóny.

#### 4.14. Bilanční účinnost rekuperace $\eta_B$

(bez přenosu vlhkosti)

$$\eta_B = \frac{t_{e2} - t_{e1}}{t_{i0} - t_{e1}} \quad [ \% ]$$

Bilanční účinnost rekuperace zahrnuje (oproti základní účinnosti rekuperace) i tepelnou produkci vnitřních zdrojů a slouží pro výpočty rentability využití rekuperace:

a) V běžných případech občanských i bytových staveb činí rozdíl základní a bilanční účinností 15 až 25 procentních bodů:

$$\eta_B = \eta_0 + (15 \text{ až } 25) \approx 75 \text{ až } 85 \text{ \%}$$

b) V průmyslových objektech s podstatně vyšší tepelnou zátěží vnitřních zdrojů však může dosáhnout rozdíl těchto účinností i 30 až 60 procentních bodů:

$$\eta_B = \eta_0 + (30 \text{ až } 60) \approx 90 \text{ až } 120 \text{ \%}$$

V praxi toto znamená, že teplota přiváděného vzduchu po rekuperaci  $t_{e2}$  je vyšší než teplota v pracovní oblasti  $t_{i0}$  a objekty lze teplovzdušně větrat i vytápět bez dalších nároků na otopný systém, pouze využitím odpadního tepla.

Příklad:

Pro hodnoty z příkladu v kapitole 4.13. činí bilanční účinnost rekuperace:

$$\eta_B = (t_{e2} - t_{e1}) / (t_{i0} - t_{e1}) = (17 - 5) / (20 - 5) = 80 \text{ \%}$$

Bilanční účinnost je tedy v tomto případě o 20 % vyšší než základní účinnost rekuperace  $\eta_0$ .

#### 4.15. Energetická účinnost rekuperace $e_R$

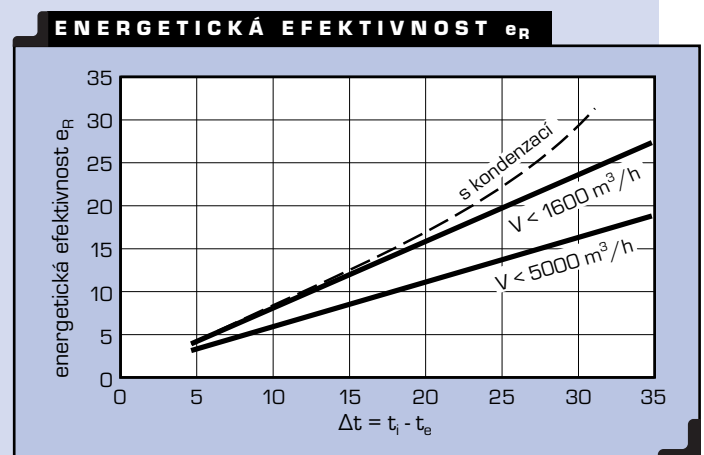
Energetická účinnost rekuperace tepla (příp. chladu) vyjadřuje poměr mezi tepelným výkonem získávaným z rekuperace a potřebným elektrickým příkonem pro pohon ventilátoru (přívodního a odvodního):

$$e_R = \frac{Q_R}{P} \quad [ - ]$$

Významově je tento poměr analogický s faktorem tepelné účinnosti u tepelných čerpadel, kde vyjadřuje poměr mezi celkovým tepelným výkonem na kondenzátoru vůči potřebnému příkonu kompresoru. U tepelných čerpadel dosahuje faktor účinnosti běžně hodnot 3 až 6 v závislosti na teplotě zdrojů, typu kompresorů a chladiva.

U rekuperačních cyklů „vzduch - vzduch“ lze obecně charakterizovat jejich energetickou účinnost (pro účely ohřevu i chlazení) v závislosti na:

- množství odváděného a přiváděného vzduchu (případně i jejich poměru)
- rozdílu teplot odváděného a přiváděného vzduchu
- účinnosti a příkonu ventilátoru
- základní účinnosti rekuperace  $\eta_0$  pro daný výměník
- tlakové ztrátě výměníku, tj. hydraulickém odporu  $\Delta p$
- stupni znečištění odpadního vzduchu a nutnosti filtrace
- vlhkosti odváděného vzduchu a rozsahu kondenzace



U progresivních systémů zpětného získávání tepla z odpadního vzduchu výměníky hPS dosahuje maximální energetická účinnost rekuperace hodnot až  $e_R = 22$  (v případě výpočtových hodnot), v případě kondenzace se zvyšuje až na hodnoty  $e_R = 28$ .

Pro bilanční výpočty se uvažuje s průměrnou venkovní teplotou:

$$t_{e, \text{stř.}} = +3 \text{ až } +5 \text{ °C}$$

potom pro obytné budovy:

$$\Delta t_{\text{stř.}} = 15 \text{ až } 17 \text{ °C}$$

a hodnota  $e_{R, \text{stř.}}$  se pak pohybuje podle grafu průměrně v rozsahu:

$$e_{R, \text{stř.}} = 9 \text{ až } 14$$

**Poznámka:**

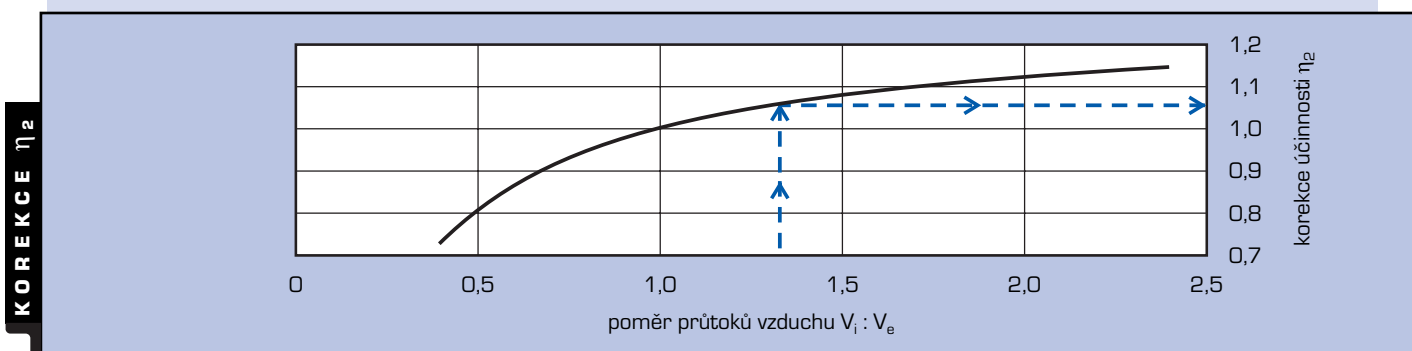
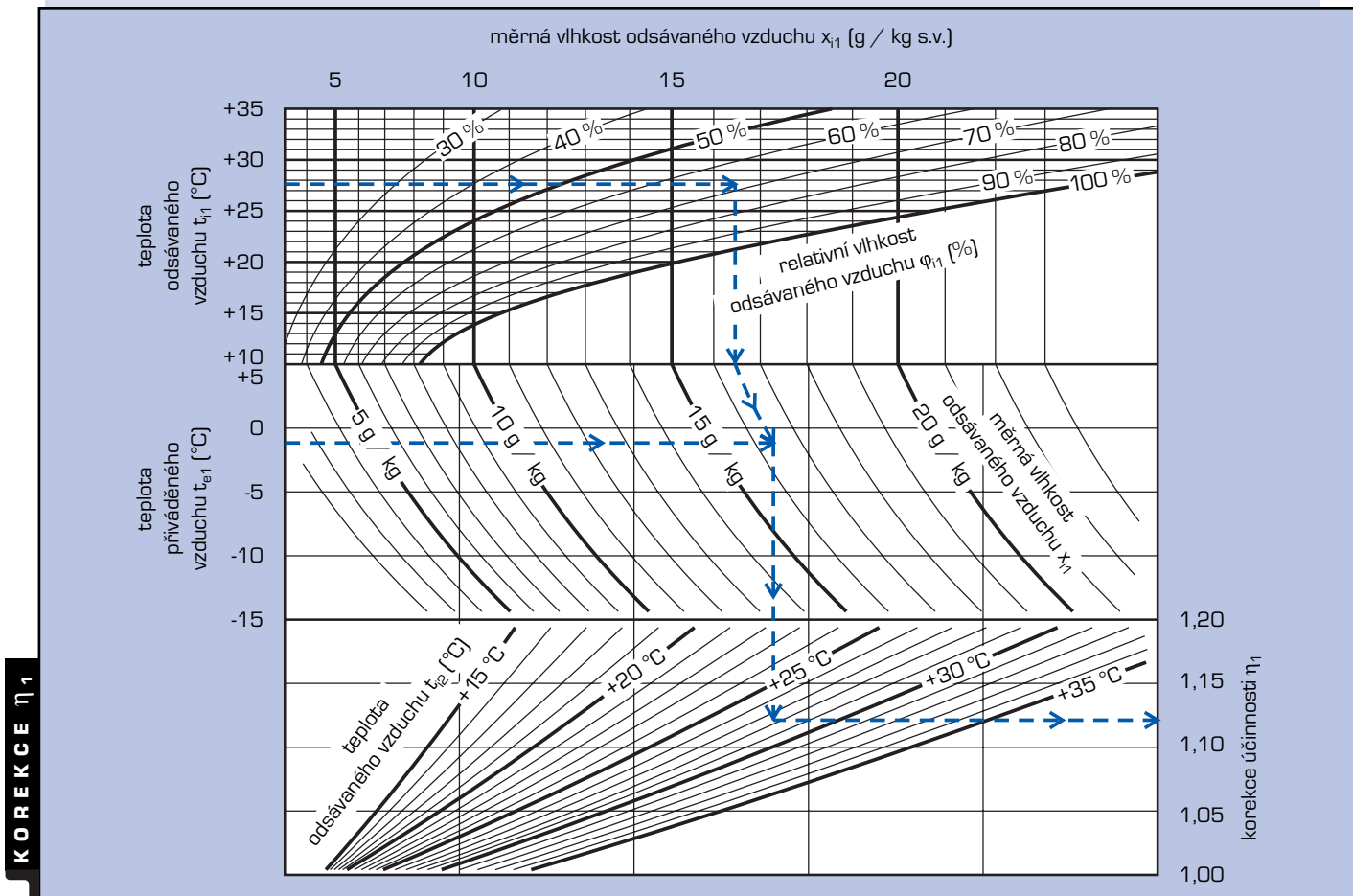
Celková energetická účinnost při rekuperaci chladu (se započtením nákladů jeho výroby) je až 5x vyšší než energetická účinnost rekuperace tepla.



# Korekce účinnosti rekuperace

## plastových rekuperačních výměníků hPS

$$\eta = \eta_0 \times \eta_1 \times \eta_2$$



### PŘÍKLAD VÝPOČTU:

#### zadání:

##### 1) odsávaný vzduch:

množství odsávaného vzduchu  
 teplota odsávaného vzduchu  
 relativní vlhkost ods. vzduchu

$V_i = 3500 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$   
 $t_i = 27,7 \text{ }^\circ\text{C}$   
 $\phi_i = 68 \%$

##### 2) přiváděný vzduch:

množství přiváděného vzduchu  
 teplota přiváděného vzduchu

$V_e = 2700 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$   
 $t_e = -2,0 \text{ }^\circ\text{C}$

##### 3) účinnost zařízení:

základní účinnost podle grafu  
 (viz katalogový list)

$\eta_0 = 55,0 \%$

#### výpočet:

##### 1) výpočet korekce $\eta_1$ :

odečet z grafu .....  $\eta_1 = 1,12$

##### 2) výpočet korekce $\eta_2$ :

poměr průtoku vzduchu:  $3500 : 2700 = 1,3$   
 odečet z grafu .....  $\eta_2 = 1,07$

##### 3) výpočet konečné účinnosti $\eta$ :

$\eta = \eta_0 \times \eta_1 \times \eta_2 = 55 \times 1,12 \times 1,07 = 65,9 \%$