

Prof. Ing. Karel KABELA, CSc.,
Ing. Miroslav URBAN, PhD.,
Ing. Daniel ADAMOVSKEJ, PhD.,
Ing. Michal KABRHEL, PhD.
ČVUT v Praze, Fakulta stavební,
Katedra technických zařízení
budov

Energetická náročnost budov a vzduchotechnika

Energy Performance of Buildings and HVAC

Recenzent
Ing. Zdeněk Lerl

Hodnocení energetické náročnosti budov je v současnosti založeno na principech, požadovaných směrnicí 91/2002 ES o energetické náročnosti budov (EPBD), která požaduje do hodnocení budovy zahrnout roční potřebu energie na vytápění, chlazení, větrání, osvětlení a přípravu teplé vody. Příspěvek popisuje genezi implementace směrnice EPBD v České republice a metodiku výpočtu energetické náročnosti se zaměřením na problematiku vzduchotechnických zařízení a větrání budov s ohledem na požadavky vyhlášky 148/2007 Sb. a dostupných technických normách v době vzniku.

Klíčová slova: simulační programy ESP-r, TRNSYS, energetická náročnost budovy, Národní kalkulační nástroj

The assessment of the energy performance (demand) of buildings is currently established on principles required by Directive 91/2002 ES on Energy Performance of Buildings (EPBD), which requires to include the annual demand for the energy for heating, cooling, ventilation, lighting and preparation of hot water in the assessment of the building. The genesis of the implementation of the EPBD in the Czech Republic and the methodology of the calculation of the energy demand focused on the problems of HVAC equipment and building ventilation is described in the article.

Key words: energy performance of buildings, energy consumption for heating

ÚVOD

Snaha o popis předpokládaného energetického chování budov ve smyslu předvídání spotřeby energie budovou se datuje do počátků stavitelství v regionech, kde bylo nutné budovy vytápět. Každého uživatele vždy zajímalo, kolik paliva si má připravit na zimu, každého stavitele pak zajímalo, jak velký prostor pro uskladnění paliva má v budově vyčlenit. S rozvojem technologií v budovách se k potřebě energie na vytápění přidala energie na chlazení, přípravu teplé vody i osvětlení. Bylo vyvinuto mnoho metod, které více či méně přesně tyto potřeby počítaly – jmenujme například denostupňovou metodu pro výpočet energie na vytápění nebo jednoduché výpočty dle měrné potřeby tepla pro typické objekty. Tyto metody jsou vcelku bezpečné pro účely

návrhu systémů, kdy údaj o roční potřebě energie na vytápění nebo chlazení je podkladem pro jednání s dodavatelem energie, případně pro stanovení velikosti úložiště paliva v budově. Tyto metody jsou však prakticky nepoužitelné v okamžiku, kdy chceme mezi sebou porovnat více alternativních řešení jednotlivých prvků budovy, které potřebu a spotřebu energie ovlivňují. Důvodem je malá citlivost těchto metod na změnu vstupních parametrů a neprovázanost energetických potřeb budovy s dodanou energií.

Chceme-li tak stanovit očekávanou potřebu energie dodané do budovy a rozlišit různé zdroje, způsob regulace, nastavení parametrů vnitřního prostředí nebo způsob využívání obnovitelných zdrojů energie, musíme provést komplexní výpočet, který umožní tyto vlivy zohlednit. Do 80. let minulého století se datují počátky rozvoje metod počítačové simulace energetického chování budov, kdy tehdy na sálových počítačích vznikaly první pokusy o detailnější popis budovy a jejích technických systémů s cílem vypočítat spotřebu energie a průběhy parametrů vnitřního prostředí budov za daných klimatických podmínek. Přes počáteční euforii a od té doby pokrok ve výpočetní technice nelze do dnešního dne považovat za ukončený vývoj softwarových nástrojů pro modelování energetického chování budov. K nejvyvinutějším nástrojům v této oblasti patří simulační programy ESP-r, TRNSYS, EnergyPlus, IDA a další, které v podstatě na obdobném principu výpočtu řeší komplexní modelování a simulaci energetického chování budovy a systémů technických zařízení budov. Tyto nástroje jsou ve svém základním provedení postaveny pro modelování nejširšího spektra problémů – od tepelně-technického

řešení stavebních prvků přes modely systémů technických zařízení budov po komplexní modely budov. Tato univerzálnost je vykoupena poměrně náročným způsobem formulace problémů a tvorby modelu, což předpokládá u uživatele jednak hlubokou znalost fyzikální podstaty problému, jednak schopnost abstraktního myšlení při tvorbě modelu a vede k užívání především na specializovaných pracovištích při univerzitách a konzultačních firmách.

ZÁKLADNÍ POŽADAVKY

Evropská komise ve snaze zvýšit hospodárné využití energie v budovách vydala již mnohokrát citovanou směrnicí 91/2002/ES, v níž se mimo jiné požaduje, aby v jednotlivých členských státech byla vytvořena legislativně podpořená metodika pro hodnocení budov na základě celkové dodané energie do objektu. Tato metodika má zohledňovat nejen stavební řešení objektu, ale i řešení jednotlivých energetických systémů jako je vytápění, chlazení, klimatizace, příprava teplé vody, větrání a umělé osvětlení. Dopusud byly budovy hodnoceny podle legislativních a normových požadavků pouze metodou zohledňující měrnou potřebu tepla na vytápění objektu, kdy jediným faktorem, který ovlivňoval výsledné hodnocení, byly tepelně-technické vlastnosti budovy. Energetickou náročnost budovy však ovlivňují všechny systémy podílející se na spotřebě a výrobě energie. Uvedené požadavky směrnice 91/2002/ES se promítly v ČR do zákona č. 406/2000 Sb. o hospodaření energií, v jeho pozdějších zněních, a do prováděcí vyhlášky k tomuto zákonu č. 148/2007 Sb. o energetické náročnosti budov. Základním hodnotícím ukazatelem ENB je podle požadavků Směrnice celková roční dodaná energie, která je chápána jako množství energie dodané do budovy, včetně energie vyrobené v budově obnovitelnými zdroji energie a spotřebované v budově. Celková dodaná energie tak představuje potřebu energie pro vytápění, chlazení, vzduchotechniku, přípravu teplé vody, osvětlení a provoz zařízení zajišťující provoz jednotlivých systémů, tzn. souhrn energetických potřeb zahrnující účinnost technických zařízení a ztráty při transportu a potřeby energie na provoz zařízení. Jednotným požadovaným výstupem je průkaz energetické náročnosti, který je tvořen protokolem obsahujícím textový popis a hodnocení budovy a systémů TZB a grafickým znázorněním průkazu energetické náročnosti budovy ve formě štítku. Kromě zařazení navrhovaného řešení budovy je možné v průkazu energetické náročnosti vyhodnotit i důsledek energeticky úsporného opatření.

VÝCHOZÍ PODMÍNKY PRO VÝPOČET

Princip výpočtu dodané energie respektuje základní schéma toku energie, kdy dodaná energie je transformována ve zdroji energetického systému. Výstup energie ze zdroje je dodáván do distribučního systému budovy a distribuční systém předává energii do jednotlivých systémů sdílení energie v různých zónách budovy. Dodaná energie pro pokrytí potřeb užitečné energie pro zajištění vytápění, chlazení, větrání, osvětlení a přípravu teplé vody v předepsaném množství a kvalitě zahrnuje účinnosti technických zařízení použitých v energetických systémech budovy, ztráty vzniklé v těchto systémech, pomocnou energii a respektuje využitelné zisky. Celková dodaná energie je stanovena jako součet jednotlivých potřeb energií pro každou zónu za časový interval (hodina/den/měsíc). Celková potřeba dodané energie EP představuje krytí jednotlivých potřeb energie různými instalovanými energetickými systémy v budově, které jsou ve výpočtu definovány přímo typem nebo sekundárně technologií přeměny primární energie dodané do budovy (zemní plyn, elektřina) na příslušnou energii potřebnou v budově a účinnosti této transformace.

Postup výpočtu pro hodnocení energetické náročnosti budovy je založen na principu zónového modelu budovy, energetických zdrojů (např. kotelny, zdroje chladu, solární kolektory, kogenerační jednotky) a jednotlivých energetických systémů – otopná soustava, rozvod chladu, vzduchotechnická zařízení, příprava teplé vody a osvětlení. Budovu z hlediska výpočtu celkové dodané energie EP nelze považovat za homogenní celek. Celková dodaná energie do budovy je součet jednotlivých potřeb, které se vyskytují pouze v části objektu a jejich výši určují okrajové podmínky dané části budovy. Z tohoto důvodu je budova jako celek členěna do jednotlivých částí – zón, pro které se následně stanovuje celková dodaná energie na základě specifických potřeb v těchto zónách.

Zóny se navzájem odlišují svojí funkcí, specifiky provozu a vnitřními podmínkami. Ze způsobu využití vyplývají nároky, které vytvářejí požadavky definující standardizované užívání budovy/zóny pro potřeby stanovení energetické náročnosti budovy. Na každou zónu působí vnější a vnitřní vlivy, které vyvolávají potřebu dodávky energie na vytápění, větrání, chlazení a/nebo vlhčení (je-li v objektu požadováno). Vnější vlivy působící na zónu jsou dány syntetickými klimatickými daty, vygenerovanými pro účely tohoto výpočtu a základním požadavkem na rozdělení výpočtu do dílčích j-tých časových úseků, které představuje měsíc, nebo přesněji hodina. Výhodou hodinového kroku výpočtu je potřeba rozlišení časového úseku během dne, kdy je objekt v plném provozním režimu, v režimu útlumu, včetně provozní charakteristiky jednotlivých energetických systémů. Zatržení budovy do příslušné třídy energetické náročnosti, znázorněné v průkazu ENB, je dáno celkovou roční měrnou dodanou energií udávanou jako EP_A v kWh/(m².rok). V případě vypovídající měrné hodnoty energie vztážené na měrnou jednotku užité plochy objektu podle této metodiky hovoříme o měrné potřebě dodané energie do budovy, která zahrnuje jak celkovou potřebu energie, tak účinnost s jakou je tato potřeba energie kryta a pomocnou energii, kterou spotřebovávají jednotlivé energetické systémy zajišťující krytí této potřeby. Energie dodaná do budovy je údaj, který má být prostým hodnotícím měřítkem, prostředkem pro zařazení budovy do třídy energetické náročnosti v rozsahu A-G. Toto označení jasně hodnotí budovu a investorovi – laikovi je srozumitelné.

VÝPOČET, VÝPOČETNÍ PROSTŘEDKY

Z důvodu komplikovanosti výpočtu je nezbytná algoritmicizace popsaného problému, který vychází ze základních cyklů ve výpočtu, tzn. počtu jednotlivých opakování ve výpočetním algoritmu, která jsou dána na základě:

- multizónovosti budovy (každá budova může mít několik zón, kdy pro kterou je třeba provést samostatný výpočet),
- variability energetických systémů, které mohou vzájemně zásobovat libovolnou skladbu zón,

- periodicity opakování cyklu (části výpočtu) v závislosti na časovém kroku, v kterém je výpočet prováděn (v posloupnosti: hodina – den – měsíc).

V současné době jsou dostupné dvě varianty prostředků pro výpočet. První skupinu zastupuje pilotní volně šiřitelná výpočetní pomůcka NKN – Národní kalkulační nástroj. NKN byl vytvořen na katedře technických zařízení budov, fakulty stavební ČVUT v Praze a je stále rozvíjen. Výpočetní nástroj NKN je vytvořen jako pilotní pomůcka pro výpočet energetické náročnosti budov ve smyslu zpracování průkazu energetické náročnosti budov ve formě protokolu průkazu ENB a grafického znázornění průkazu ENB. Výpočetní nástroj NKN ověřuje správnou interakci mezi navrhovanými výpočtovými kroky, které v této kombinaci dosud nebyly použity, ověřuje podmínkové vazby mezi jednotlivými kroky ve výpočtu, je řešen jako otevřený s možností zobrazení všech vazeb a vztahů ve výpočtovém algoritmu. Jeho používání je zdarma a stažení je po registraci možné na webovém portálu věnujícímu se této problematice na adrese <http://tzb.fsv.cvut.cz/projects/nkn/>. Druhou skupinu zastupuje komerční výpočetní software. V současné době se jedná o komerční software ENB firmy Protech Nový Bor a software Energie 2008 firmy Svoboda Software. Volba výpočetního prostředku je na uživateli. Každý výpočetní prostředek má vlastní specifika, styl práce. Nicméně přístup k výpočtu ze strany uživatele by měl být vždy zodpovědný a s vědomím, že je to on uživatel, kdo z největší části zodpovídá za výsledky výpočtu. Věrohodnost výsledků záleží nikoliv na výpočetním nástroji, který je v tomto smyslu pouze vyjadřovací prostředek pro vytvořený model budovy, ale na zadávaných vstupech a kvalitě tohoto výpočetního modelu. V případě modelu budovy pak rozhoduje především odborná způsobilost, zkušenosti a také zodpovědnost zadávající osoby, která může výsledek negativně ovlivnit.

ENERGETICKÉ SYSTÉMY BUDOVY – VZDUCHOTECHNIKA

Do celkového hodnocení v současné době spolu s ostatními energetickými systémy také vstupují systémy vzduchotechniky, klimatizace. Výsledná potřeba energie Q_{fuel} závisí na podobě typu skladby energetických systémů budovy a účinnosti užití energie prostřednictvím sdílení, distribuce a přeměny dodané primární energie, která je transformována na energii s cílem krytí konkrétní potřeby energie Q_{nd} . Směr výpočtu je potom opačný než vlastní tok energie. Výpočet začíná potřebou energie dané zóny, a končí stanovením potřeby energie daného energetického systému. Celková roční dodaná energie do budovy EP se při bilančním výpočtu stanoví jako součet jednotlivých vypočtených dílčích dodaných energií pro všechny časové úseky v roce a pro všechny hodnocené zóny budovy, která se stanoví z obecného vztahu

$$EP = Q_{fuel,tot} = EP_H + EP_C + EP_F + EP_W + EP_L - EP_{PV} - EP_{CHP} \quad (1)$$

kde $Q_{fuel,tot}$ je celková roční dodaná energie obsažená v energonositelích zásobujících budovu, [GJ], EP_H je roční dodaná energie na vytápění, včetně pomocné energie na provoz vytápěcího zařízení [GJ], EP_C je roční dodaná energie na chlazení, včetně pomocné energie na provoz chladicího zařízení [GJ], EP_F je roční dodaná energie na mechanické větrání a úpravu vlhkosti větracího vzduchu, včetně pomocné energie na mechanické větrání a úpravu vlhkosti větracího vzduchu [GJ], EP_L je roční dodaná energie na osvětlení [GJ], EP_W je roční dodaná energie na přípravu teplé vody, včetně pomocné energie na provoz zařízení na přípravu teplé vody [GJ], EP_{PV} je roční produkce energie fotovoltaickým systémem [GJ], EP_{CHP} je roční produkce energie systémem kombinované výroby elektřiny a tepla [GJ].

Roční dodaná energie na vytápění a ohřev větracího vzduchu

Roční dodaná energie na vytápění, včetně roční dodané pomocné energie při vytápění budovy EP_H se stanoví podle vztahu

$$EP_H = Q_{fuel,H} + Q_{aux,H} \quad (2)$$

kde $Q_{fuel,H}$ je roční dodaná energie na vytápění [GJ], $Q_{aux,H}$ je roční dodaná pomocná energie systému vytápění [GJ], zahrnující potřebu energie oběhových čerpadel a systémů měření a regulace.

Výpočet potřeby energie na vytápění, $Q_{H,nd}$, která zahrnuje veškeré tepelné toky, se provádí podle ČSN EN ISO 13790 s měsíčním nebo hodinovým časovým krokem výpočtu. Vliv energetických systémů, především systémů vzduchotechniky je zohledněn níže uvedeným výpočtním principem. Norma připouští možnost popsat distribuci energie na vytápění vytápěcími zařízeními (teplovodní otopná soustava, elektrické přímotopy) a/nebo vzduchotechnickým zařízením (např. teplovzdušné větrání nebo teplovzdušné vytápění). Vzduchotechnické zařízení obsluhovaných prostor – zón je ve výpočtu začleněno jako popis a způsob krytí potřeby energie na vytápění a chlazení. Do budovy je na její systémovou hranici dodávána dílčí energie na vytápění $Q_{fuel,H}$ (3). Primární dodaná energie je přeměněna ve zdroji „f“ (3) a následně rozvedena (4) do jednotlivých zón „z“ (5). Zdrojem pro přeměnu energie na tepelnou pro vytápění je například tepelné čerpadlo, plynový kotel nebo předávací stanice napojená na CZT. Výstup energie ze zdroje $Q_{H,dis,z,j}$ (4) je dodáván do distribučního systému budovy „sys“. Distribuční systém „sys“ předává energii $Q_{H,ahu,z,j}$ prostřednictvím VZT systémů do z-té zóny.

Roční dodaná energie na vytápění $Q_{fuel,H}$ se stanoví podle vztahu, kde platí vztah

$$Q_{fuel,H} = \sum_{j=1}^n \left(\sum_{sys=1}^n \left(\sum_{z=1}^n \frac{Q_{H,dis,z,j} \cdot f_{H,z,sys}}{\eta_{H,sys}} \right) \right) \quad (3)$$

kde $Q_{H,dis,z,j}$ je dodaná energie do distribučního systému vytápění v j-tém časovém úseku pro z-tou zónu [GJ], $f_{H,z,sys}$ je podíl dodané energie do z-té zóny připadající na příslušný zdroj tepla [-], $\eta_{H,sys}$ je celková účinnost výroby energie příslušným zdrojem tepla [-].

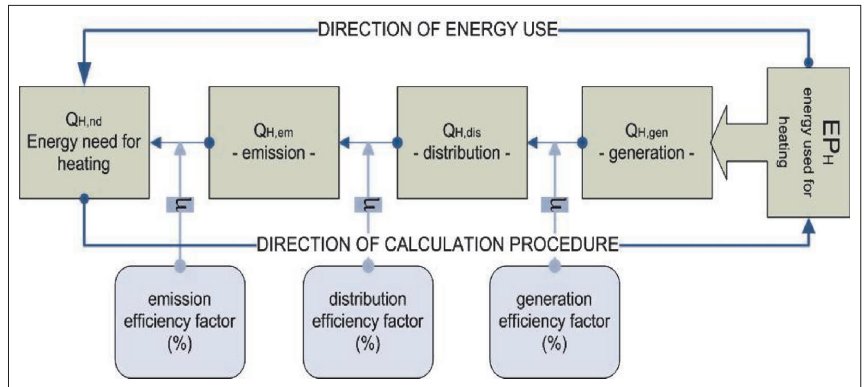
Výpočet umožňuje popsat distribuci energie na vytápění vytápěcími zařízeními (teplovodní otopná soustava, elektrické přímotopy) a/nebo vzduchotechnickým zařízením (např. teplovzdušné větrání nebo teplovzdušné vytápění). Pokud je do z-té zóny dodávána energie na vytápění systémem vytápění a vzduchotechnickým zařízením, potom se dodaná energie na vytápění do distribučního systému $Q_{H,dis,z,j}$ stanoví podle vztahu

$$Q_{H,dis,z,j} = Q_{H,heat,z,j} + Q_{H,ahu,z,j} - Q_{H,sc,z,j} \quad (4)$$

kde $Q_{H,heat,z,j}$ je energie na vytápění dodávaná do vytápěné z-té zóny v j-tém časovém úseku teplovodním systémem [GJ], $Q_{H,ahu,z,j}$ je energie na vytápění dodávaná do vytápěné z-té zóny v j-tém časovém úseku systémem vzduchotechniky [GJ], $Q_{H,sc,z,j}$ je energie vyrobená prostřednictvím systému solárních kolektorů pro vytápění z-té zóny v j-tém časovém úseku [GJ]. Energie na vytápění $Q_{H,heat,z,j}$ dodávaná do vytápěné zóny teplovodním systémem se stanoví podle vztahu

$$Q_{H,heat,z,j} = \frac{Q_{H,nd,z,j} \cdot (1 - f_{H,ahu,z} \cdot f_{ahu,sys})}{\eta_{H,em,z} \cdot \eta_{H,dis,z}} \quad (5)$$

kde $f_{H,ahu,z}$ je podíl potřeby energie na vytápění dodávaný do zóny systémem vzduchotechniky [-], $f_{ahu,sys}$ je časový podíl spuštěného systému mechanického větrání [-], stanoví se jako podíl z posuzovaného časového úseku, $\eta_{H,em,z}$ je účinnost sdílení tepla mezi vytápěnou z-tou zónou a systémem sdílení tepla do z-té zóny [-], $\eta_{H,dis,z}$ je účinnost systému distribuce energie na vytápění do z-té zóny [-].



Obr. 1 – Základní princip stanovení dílčí dodané energie na vytápění

Energie na vytápění $Q_{H,ahu,z,j}$ dodávaná do vytápěné zóny systémem vzduchotechniky se stanoví podle základního vztahu

$$Q_{H,ahu,z,j} = \frac{Q_{H,nd,z,j} \cdot f_{H,ahu,z} \cdot f_{ahu,sys}}{\eta_{H,ahu,em,z} \cdot \eta_{H,ahu,dis,z}} \quad (6)$$

kde $\eta_{H,ahu,em,z}$ je účinnost sdílení energie na vytápění mezi vytápěnou z-tou zónou a distribučními elementy systému vzduchotechniky podílejícími se na vytápění z-té zóny [-], $\eta_{H,ahu,dis,z}$ je účinnost systému distribuce energie na vytápění do z-té zóny systémem vzduchotechniky [-], $Q_{H,nd,z,j}$ je potřeba energie na vytápění v j-tém časovém úseku a v z-té zóně, která se stanoví na základě ČSN EN ISO 13 790, $Q_{H,PH,z,j}$ je potřeba energie na dohřev vzduchu v případě vodního vlhčení v j-tém časovém úseku a v z-té zóně [GJ]. Pokud systém vzduchotechniky zajišťuje ohřev vzduchu, pak se energie dodaná do systému vzduchotechniky $Q_{H,ahu,z,j}$ započítává do dodané energie na vytápění. Systém vzduchotechniky je definován objemovým tokem čerstvého vzduchu, celkovým objemovým tokem větracího vzduchu, účinností zařízení pro zpětné získávání tepla a teplotou přiváděného vzduchu.

Pokud systém vzduchotechniky zajišťuje ohřev vzduchu, pak se energie dodaná do systému vzduchotechniky započítává do energie na vytápění. Systém vzduchotechniky je definován objemovým tokem čerstvého vzduchu, celkovým objemovým tokem větracího vzduchu, účinností zařízení pro zpětné získávání tepla a teplotou přiváděného vzduchu.

Tyto údaje jsou uvedeny v projektové dokumentaci, případně se určí výpočtem z podílu pokrytí potřeby energie na vytápění vytápěcími zařízeními a vzduchotechnickým zařízením. Na základě těchto parametrů se energie dodaná do systému vzduchotechniky $Q_{H,ahu,z,j}$ potřebná na ohřev přiváděného vzduchu do z-té zóny v j-tém časovém úseku, stanoví v závislosti na objemovém průtoku vzduchu, měrné tepelné kapacitě a rozdílu teplot vzduchu podle vztahu

$$Q_{H,ahu,z,j} = 3,6 \cdot 10^{-6} \cdot H_{H,ahu,z,j} \cdot (\theta_{H,sup,z,j} - \theta_{e,j}) \cdot t_j \quad (7)$$

kde $Q_{H,ahu,z,j}$ je energie dodaná do systému vzduchotechniky [GJ], $H_{H,ahu,z,j}$ je měrný tepelný tok připadající na systém vzduchotechniky v režimu vytápění v z-té zóně v j-tém časovém úseku [W/K], $\theta_{H,sup,z,j}$ je průměrná teplota vzduchu přiváděného do z-té zóny systémem vzduchotechniky v režimu vytápění v j-tém časovém úseku [°C] – ve výpočtním nástroji NKN se rozdíl teploty přiváděného vzduchu ku teplotě interiéru stanovuje ve vztahu k objemovému množství přiváděného vzduchu do zóny, $\theta_{e,j}$ je průměrná venkovní teplota v j-tém časovém úseku [°C], t_j je délka časového úseku [h].

Měrný tepelný tok připadající na systém vzduchotechniky v režimu vytápění $H_{H,ahu,z,j}$ se stanoví pro:

□ pro případy, kdy platí $V_{H,ahu,z} > V_{V,z}$

$$H_{H,ahu,j} = \rho_a \cdot c_a \cdot \left[V_{H,ahu,z,j} \cdot \frac{\theta_{H,sup,z,j} - \theta_{i,z,j}}{\theta_{H,sup,z,j} - \theta_{e,j}} + \left[(1 - f_{H,rc,z}) \cdot V_{H,ahu,z,j} - V_{V,z,j} \right] \cdot (1 - \eta_{H,hr,sys}) \cdot \frac{\theta_{i,z,j} - \theta_{e,j}}{\theta_{H,sup,z,j} - \theta_{e,j}} \right] \quad (8)$$

□ pro ostatní případy

$$H_{H,ahu,z,j} = \rho_a \cdot c_a \cdot V_{H,ahu,z,j} \cdot \frac{\theta_{H,sup,z,j} - \theta_{i,z,j}}{\theta_{H,sup,z,j} - \theta_{e,j}} \quad (9)$$

kde ρ_a je hustota vzduchu [kg/m³], c_a je měrná tepelná kapacita vzduchu [J/(kg.K)], $\theta_{H,i,z,j}$ je návrhová vnitřní teplota vzduchu v z-té zóně v režimu vytápění v j-tém časovém úseku [°C], $f_{H,rc,z,j}$ je číselník recirkulace vzduchu v z-té zóně v j-tém časovém úseku [-], množství cirkulačního vzduchu musí odpovídat hygienickým požadavkům na výměnu vzduchu, $\zeta_{H,hr,sys}$ je účinnost zpětného získávání tepla v příslušném systému vzduchotechniky [-], $V_{V,z,j}$ je objemový tok přiváděného čerstvého vzduchu do z-té zóny v j-tém časovém úseku [m³/s], $V_{H,ahu,z,j}$ je objemový tok přiváděného vzduchu potřebného k pokrytí částečné, nebo plné potřeby energie na vytápění v z-té zóně a j-tém časovém úseku [m³/s], který se stanoví podle vztahu

$$V_{H,ahu,z,j} = 277,8 \cdot 10^3 \cdot \frac{\theta_{H,nd,z,j} \cdot f_{H,ahu,z} \cdot f_{ahu,sys}}{\rho \cdot c \cdot (\theta_{H,sup,z,j} - \theta_{i,z,j}) \cdot t_i} \quad (10)$$

Pro použití výpočetního postupu musí být splněny podmínky, že číselník recirkulace musí splnit vztah

$$f_{H,rc,z,j} \leq \frac{V_{H,ahu,z,j} - V_{V,z,j}}{V_{H,ahu,z,j}} \quad (11)$$

a zároveň hodnota dodané energie systému vzduchotechniky $Q_{H,ahu,z,j}$ musí splnit podmínku proti neodůvodněnému poklesu teploty na vytápění.

$$Q_{H,ahu,z,j} \geq Q_{H,nd,z,j} \cdot f_{H,ahu,z} \cdot f_{ahu,sys} \quad (12)$$

Roční dodaná energie na chlazení

Výpočet potřeby energie na chlazení, $Q_{H,nd}$, která zahrnuje veškeré tepelné toky, se provádí podle ČSN EN ISO 13790 s měsíčním nebo nejlépe s hodinovým časovým krokem výpočtu. Vliv energetických systémů, především systémů vzduchotechniky, je zohledněn níže uvedeným výpočetním principem. Vzduchotechnické zařízení obsluhovaných prostor – zón je ve výpočtu začleněno jako popis a způsob krytí potřeby energie na vytápění a chlazení. Do budovy je na její systémovou hranici dodávána dílčí energie na chlazení $Q_{fuel,C}$ (14). Primární dodaná energie je přeměněna ve zdroji „z“ (14) a následně rozvedena – analogicky s rovnicí (4) do jednotlivých zón „z“ – analogicky s rovnicí (5). Zdrojem chladu může být kompresorová jednotka, nebo absorpční zdroj chladu. Výstup energie ze zdroje $Q_{C,dis,z,j}$ – analogicky s rovnicí (4) je dodáván do distribučního systému budovy „sys“. Distribuční systém „sys“ předává energii $Q_{C,ahu,z,j}$ prostřednictvím VZT systémů do z-té zóny.

Roční dodaná energie na chlazení, včetně roční dodané pomocné energie při chlazení budovy EP_C , se stanoví analogicky jako EP_H podle vztahu

$$EP_C = Q_{fuel,C} + Q_{aux,C} \quad (13)$$

kde $Q_{fuel,C}$ je roční dodaná energie na chlazení [GJ] stanovená podle DIN V 18599-7, $Q_{aux,C}$ je roční dodaná pomocná energie systému chlazení [GJ], která reprezentuje potřebu energie oběhových čerpadel a systémů měření a regulace. Roční dodaná energie na chlazení $Q_{fuel,C}$ se stanoví jako součet dodané energie na chlazení ve všech z-tých zónách vyrobené ve všech energetických systémech sys $Q_{fuel,C,j}$ za j-tý časový úsek. Roční dodaná energie na chlazení $Q_{fuel,C}$ se stanoví podle vztahu

$$Q_{fuel,C} = \sum_{j=1}^{12} \left(\sum_{sys=1}^n \left(\sum_{z=1}^n Q_{C,dis,z,j} \cdot f_{C,sys,z} \cdot \left[\frac{1}{\eta_{C,gen,sys}} + \left(1 + \frac{1}{EER_{C,sys}} \right) \cdot e_{r,sys} \cdot f_{r,sys} \right] \right) \right) \quad (14)$$

kde $Q_{C,dis,z,j}$ je dodaná energie do distribučního systému chlazení v j-tém časovém úseku pro z-tou zónu [GJ], $f_{C,sys,z}$ je podíl dodané energie do z-té zóny připadající na příslušný zdroj chladu [-], $EER_{C,sys}$ je poměr mezi průměrným chladícím výkonem a příkonem elektrické, nebo tepelné energie příslušného zdroje chladu [-], pro absorpční chlazení je parametr značen jako $EER_{H,sys}$, $e_{r,sys}$ je specifický součinitel odběru elektřiny ventilátoru závislý na typu zpětného chlazení [-], $f_{r,sys}$ je střední součinitel provozu zpětného chlazení [-], $\eta_{C,gen,sys}$ je celková účinnost výroby energie v příslušném zdroji chladu [-]. Dále je postup výpočtu analogický, jako u výše popsaného výpočetního postupu pro tepelnou energii dodanou do zóny prostřednictvím VZT systému.

Roční dodaná energie na zvlhčování

Roční dodaná energie na zvlhčování vnitřního vzduchu $Q_{fuel,RH+}$ se stanoví jako součet dodané energie ve všech z-tých zónách za j-tý časový úsek pro příslušný systém zvlhčování. Výpočetní postup rozlišuje zvlhčování na základě použitého principu zvlhčování, kdy pro vlhčení:

a) parou platí vztah

$$Q_{fuel,RH+} = \sum_{j=1}^n \left(\sum_{z=1}^n \left(\sum_{sys=1}^n \frac{Q_{RH+,dis,z,j} \cdot f_{RH+,sys,j}}{\eta_{RH+,gen,sys}} \right) \right) \quad (15)$$

b) vodou platí vztah

$$Q_{fuel,RH+} = Q_{H,RH+} = \sum_{j=1}^n \left(\sum_{z=1}^n \left(\sum_{sys=1}^n \frac{Q_{RH+,dis,z,j} \cdot f_{RH+,sys,j}}{\eta_{RH+,gen,sys}} \right) \right) \quad (16)$$

kde $Q_{H,RH+,z,j}$ je potřeba energie na dohřev vzduchu v případě vodního vlhčení v j-tém časovém úseku a v z-té zóně [GJ], $f_{RH+,sys,j}$ je podíl z dodané energie připadající na příslušný zdroj úpravy vlhkosti pro zvlhčování vnitřního vzduchu v j-tém časovém úseku [-], $\eta_{RH+,gen,sys}$ je účinnost příslušného zdroje úpravy vlhkosti pro zvlhčování vnitřního vzduchu [-], $Q_{RH+,dis,z,j}$ je energie dodaná do distribučního systému úpravy vlhkosti pro zvlhčování vnitřního vzduchu pro z-tou zónu v j-tém časovém úseku [GJ], která se stanoví jako

$$Q_{RH+,dis,z,j} = \frac{Q_{RH+,nd,z,j}}{\eta_{RH+,dis,sys}} \quad (17)$$

kde $\eta_{RH+,dis,sys}$ je účinnost systému distribuce vlhkosti příslušného systému úpravy vlhkosti pro zvlhčování vnitřního vzduchu [-], $Q_{RH+,nd,z,j}$ je potřeba energie na zvlhčování v j-tém časovém úseku v z-té zóně [GJ]. Jak je patrné ze vztahů (18) a (19), v případě vodního a parního vlhčení, je pro zjednodušení výpočetního algoritmu uvažován stejný postup výpočtu. Výpočet roční dodané energie na zvlhčování vychází z postupu uvedeného v DIN V 18599-7.

Pomocná energie pro mechanické větrání

Roční dodaná pomocná energie na mechanické větrání $Q_{aux,F}$ představuje energii potřebnou na provoz systému mechanického větrání. Stanoví se

jako součet dodané pomocné energie pro příslušný systém pro z-tou zónu za j -tý časový úsek podle vztahu

$$Q_{aux,F} = 3,6 \cdot 10^{-6} \cdot \sum_{j=1}^n \left(\sum_{sys=1}^n f_{ahu,sys,j} \cdot f_{F,ctl,sys,j} \cdot P_{F,p,sys} + \sum_{sys=1}^n f_{ahu,sys,j} \cdot P_{F,ar,sys} \right) \cdot t_j \quad (18)$$

kde $f_{ahu,sys,j}$ je časový podíl provozu příslušného systému mechanického větrání v j -tém časovém úseku [-], $f_{F,ctl,sys,j}$ je váhový číselník regulace ventilátorů příslušného systému mechanického větrání v j -tém časovém úseku [-], pro ventilátory s plynulou změnou otáček se uvažuje $f_{F,ctl,sys,j} = 0,4$, t_j je délka j -tého časového úseku [h], $P_{F,p,sys}$ je instalovaný elektrický příkon ventilátorů [W], $P_{F,ar,sys,z}$ je instalovaný příkon ostatních částí systému mechanického větrání redukován v závislosti na provozu zařízení [W], tato hodnota představuje příkon systémů zpětného získávání tepla, vlhkosti, vlhčení, příkon regulace a ovládání systému VZT, apod. Instalovaný elektrický příkon ventilátorů příslušného systému mechanického větrání $P_{F,p,sys}$ se stanoví podle vztahu

$$P_{F,p,sys} = e_{ahu,sys} \cdot \max(V_{v,z1}, V_{ahu,sys}) \quad (19)$$

kde $V_{v,z}$ je nejvyšší objemový tok větracího vzduchu v případě mechanického větrání pro příslušný systém mechanického větrání [m^3/s], $V_{ahu,sys}$ je nejvyšší objemový tok větracího vzduchu v případě mechanického větrání pro příslušný systém mechanického větrání [m^3/s], $e_{ahu,sys}$ je měrná potřeba elektřiny ventilátorů příslušného systému mechanického větrání [$W \cdot s/m^3$], stanovená podle DIN V 18599-3 a DIN V 18599-7, informativní hodnoty uvedeny v tab. 2.

Tab. 2 – Měrná potřeba elektřiny ventilátorů systému mechanického větrání $e_{ahu,sys}$

Typ ventilátoru	$e_{ahu,sys}$ [$W \cdot s/m^3$]	Tlaková diference ventilátoru (při 60% zatížení)
		$\Delta p_{ahu,tot}$ (60%) [Pa]
Odvodní ventilátor	1250	750
Přívodní ventilátor (VZT jednotka – ohřev)	1600	960
Přívodní ventilátor (klimatizační jednotka)	2000	1200

Příkon ostatních částí systému mechanického větrání $P_{F,ar,sys,z}$ (hodnota představuje např. pohon výměníku zpětného získávání tepla, apod.) lze stanovit podle DIN V 18599-7 v závislosti na systémovém řešení. Pro nepřímé zpětné získávání tepla (kapalina – vzduch) se příkon oběhových čerpadel pro provoz systému stanoví podle vztahu

$$P_{F,ar,sys,z} = e_{ahu,hr,sys} \cdot \max(V_{v,z1}, V_{ahu,sys}) \quad (20)$$

kde $e_{ahu,hr,sys}$ je měrná potřeba elektřiny čerpadel nepřímého získávání tepla příslušného systému mechanického větrání [$W \cdot s/m^3$], která se podle DIN V 18599-7 stanoví, viz tab. 3.

Tab. 3 – Měrná potřeba elektřiny čerpadel systému nepřímého získávání tepla $e_{ahu,hr,sys}$

Typ čerpadla	$e_{ahu,hr,sys}$ [$W \cdot h/m^3$]
Bez regulace otáček čerpadla	$8,30 \cdot 10^{-6}$
S regulací otáček čerpadla	$4,16 \cdot 10^{-6}$

Pro rotační výměníky zpětného získávání tepla se příkon pohonu oběžného kola $P_{F,ar,sys,z}$ stanoví podle tab. 4.

Tab. 4 – Příkon pohonu oběžného kola rotačního výměníku $P_{F,ar,sys,z}$

Maximální objemový průtok vzduchu $V_{v,z}$ [m^3/h]	$P_{F,ar,sys,z}$ [W]
do 7500 m^3/h	90
> 7500 m^3/h do 25 000 m^3/h	180
> 25 000 m^3/h do 65 000 m^3/h	370
nad 65 000 m^3/h	750

Pro čerpadla systému zvlhčování se příkon $P_{F,ar,sys,z}$ stanoví jako

$$P_{F,ar,sys,z} = V_{v,z} \cdot e_{RH+,sys} \cdot f_{RH+,sys,ctl} \quad (21)$$

kde $V_{v,z}$ je nejvyšší objemový tok větracího vzduchu v případě mechanického větrání pro z-tou zónu [m^3/s], $e_{RH+,sys}$ je měrná potřeba elektřiny čerpadel nepřímého získávání tepla příslušného systému mechanického větrání [$W \cdot s/m^3$], která se stanoví podle tab. 5, $f_{RH+,sys}$ je korekční faktor regulace systému vlhčení [-].

Tab. 5 – Parametry pro stanovení příkonu čerpadel vodního vlhčení

Typ vlhčení	Regulace vlhčení	$e_{RH+,sys}$	< 6 g/kg	> 6 g/kg
			$f_{RH+,sys}$	$f_{RH+,sys}$
Vodní vlhčení – pouze skrápění	–	$2,78 \cdot 10^{-6}$	1	1
Vodní vlhčení – cirkulace (oběh)	není	$5,55 \cdot 10^{-5}$	1	1
	P-regulace	$5,55 \cdot 10^{-5}$	0,35	0,50

vytápění a systému chlazení. Z důvodu rozsahu a zaměření článku především na systém vzduchotechniky nejsou dále reflektovány.

Poznámka ke zvolenému kroku výpočtu

V případě použití měsíčního kroku výpočtu, je nezbytné některé parametry uvedené ve výše uvedených rovnicích modifikovat pro potřeby měsíčního kroku výpočtu podle ČSN EN ISO 13790. Při použití měsíčního kroku výpočtu, především při výpočtu dodané energie na vytápění a chlazení, nelze použít hodnoty pro parametry \check{c}_{Hj} a \check{c}_{Cj} . Hodnoty pro vnitřní výpočtovou teplotu pro vytápění \check{c}_{Hj} a chlazení \check{c}_{Cj} je v tomto případě nezbytné modifikovat jako průměrnou měsíční hodnotu těchto parametrů podle ČSN EN 13790 na základě předpokládaného časového rozložení. Ostatní parametry relevantní pro výpočet s měsíčním krokem je možné použít pro tento výpočet v souladu s ČSN EN ISO 13790.

KLIMATICKÁ DATA PRO VÝPOČET

V článku prezentovaný výpočetní postup je určen pro výpočet provedený v definované délce časového kroku. Výpočet energetické náročnosti se v souladu s platnými normami provádí v hodinovém kroku nebo měsíčním kroku výpočtu. Z důvodu nutnosti srovnatelného porovnání budov, které jsou primárně navrhovány na dané klimatické podmínky v místě stavby, musí tomuto požadavku odpovídat jednotná klimatická data. V případě výpočetního nástroje NKN zpracovaného pro aplikaci národní metodiky výpočtu energetické náročnosti budov bylo použito hodinového časového kroku a referenčních dnů, reprezentujících jednotlivé měsíce roku pro čtyři klimatické oblasti ČR. Klimatické oblasti geograficky odpovídají tzv. teplotním oblastem podle ČSN 730540-3, příloha H1. Pro každou klimatickou oblast byl vytvořen soubor dvanácti syntetických referenčních dnů s hodinovým průběhem teplot, kdy každý z dnů reprezentuje jeden měsíc. Při tvorbě datového souboru popisujícího průběh teploty venkovního vzduchu se vycházelo z průměrných měsíčních hodinových hodnot se zohledněním denní amplitudy. Hodnoty intenzity slunečního záření a měrné vlhkosti byly pro tento účel uvažovány shodné pro všechny čtyři teplotní oblasti. Průměrné hodnoty pro 12 typických dnů byly stanoveny na základě interpolace údajů obsažených v příslušných referenčních dnech k daným čty-

řem klimatickým oblastem. Při tvorbě datového souboru se vycházelo z klimatických dat TM2 (TRNsys 16 Climate Database) následujících lokalit:

- oblast 1 – Praha,
- oblast 2 – Ostrava – Poruba,
- oblast 3 – Churáňov,
- oblast 4 – oblast se řadí do horských oblastí, ke kterým nebyla dostupná klimatická data v průběhu celého roku. Proto byla provedena výšková interpolace, kdy výsledná korekce teploty vzhledem k oblasti č. 3 je vyšší o 0,5°C (ČSN 730540–3).

Zdrojová data jsou ve formě hodinových údajů teplot po celý rok, což celkem činí 8760 hodnot. Vlastní klimatická data pro metodiku byla zpracována ve formě typického dne, každý měsíc reprezentován jedním typickým dnem. Pro zimní teploty je typický den průměrem všech jednotlivých teplot v měsíci v daném časovém úseku. Pro letní období bylo nutné zohlednit zvýšenou teplotu v letních měsících, která bývá výrazně vyšší než pouhá průměrná hodnota. Pro měsíce červen – srpen byla teplota určena na základě průměrných hodnot, ale se zohledněním amplitudy teploty v letním období.

Použití metody hodinového kroku a referenčních dnů bylo testováno a validováno porovnáním s výsledky dynamického simulačního výpočtu v ESP-r s klimatickými daty určenými pro tento typ výpočtu (IWECC).

Pro výpočet s měsíčním krokem výpočtu budou zachovány podmínky pro určení klimatické oblasti, jak je uvedeno v úvodu. Pro výpočet celkové dodané energie do budovy s měsíčním krokem výpočtu je nutné použít klimatická data určená pro tento účel. Klimatická data pro potřeby metodiky bilančního výpočtu energetické náročnosti budov pro měsíční krok výpočtu lze stanovit podle ČSN 730540–3, nebo průměrné měsíční hodnoty lze odvodit z váženého průměru na základě naměřených dat, např. ČHMÚ.

ZÁVĚR

Úspora energie představuje pojem, který je globálně vnímán z různých úhlů pohledu a s tím souvisejí také různé způsoby její kvantifikace a klasifikace. Popsaným způsobem hodnocení budovy vyjádřením její energetické náročnosti podle všeobecně platného a přijímaného postupu lze dosáhnout v globálním měřítku jasného porovnatelného hodnocení. Na základě uvedených souvislostí je zřejmé, že technická zařízení budov, resp. všechny energetické systémy budov, hrají stále významnější roli v provozní energetické náročnosti budov. Soubor energetických systémů zajišťuje

požadovaný provoz budovy a úroveň jejího vnitřního prostředí. Energetické systémy v budovách v současné době vyžadují co možná nejužší interakci s vnitřními podmínkami, vnitřním provozem a vnějšími vlivy, které přímo i nepřímo ovlivňují provoz objektu nebo jeho součástí. Uvedený výpočetní postup představuje zjednodušený matematický model použitelný pro nejširší spektrum budov se systémy mechanického větrání a klimatizace. V případě, že budova obsahuje specifické systémové řešení, uvedený obecný matematický model umožňuje adaptaci tohoto postupu. Uvedený výpočetní model si neklade za cíl konkurovat dynamickým matematickým modelům určeným pro detailní simulace provozních stavů budov. Uvedený matematický model, resp. jeho prezentovaná část, slouží pro základní rámcový výpočet celkové roční dodané energie pro potřeby uvedených legislativních předpisů.

Poděkování:

Příspěvek vznikl v rámci výzkumného záměru CEZ MSM 6840770003

Kontakt na autory ; miroslav.urban@fsv.cvut.cz

Použité zdroje:

- [1] Směrnice 2002/91/ES, o energetické náročnosti budov (EPBD).
- [2] Vyhláška MPO ČR č. 148/2007 Sb., o energetické náročnosti budov.
- [3] Zákon č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií ve znění pozdějších předpisů.
- [4] ČSN EN ISO 13790 Energetická náročnost budov – Výpočet spotřeby energie na vytápění a chlazení
- [5] Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung – Teil 3: Nutzenergiebedarf für die energetische Luftaufbereitung, platnost v Německu od 2005.
- [6] Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung – Teil 7: Endenergiebedarf von Raumlufttechnik- und Klimakältesystemen für den Nichtwohnungsbau, platnost v Německu od 2005.
- [7] Kabele, K., Urban, M., Adamovský, D., Kabrhel, M. *Národní kalkulační nástroj NKN* [počítačová aplikace]. Ver. 2.066 Praha, 2010. Dostupné z <http://tzb.fsv.cvut.cz/projects/nkn>. Výpočetní nástroj pro stanovení energetické náročnosti budov, 61 MB.
- [8] Kabele, K., Urban, M., Adamovský, D., Kabrhel, M. *Energetická náročnost budov v souvislostech s platnou legislativou ČR*. 1. vyd., Praha, ABF – nakladatelství ARCH, 2008, 144s., ISBN 978-80-86905-45-7.
- [9] Urban, M., Svoboda, Z., Kabale, K., Kabrhel, M., Adamovský, D. *Metodika bilančního výpočtu energetické náročnosti budov*. Ministerstvo průmyslu a obchodu 2008. ■

* Směrnice o celkové energetické účinnosti budov schválena

Směrnice EU 2002/91/EG o celkové energetické účinnosti budov (Energy Performance of Buildings Directive – EPBD) byly schválena 16. prosince 2009. Při tom se vychází z toho, že musí být stanoveny minimální nároky členských států na celkovou energetickou účinnost nových a stávajících budov, pro které vystavení energetických průkazů přináší veškerou péči a zavádí pravidelné inspekce kotlů pro vytápění a klimatizačních zařízení v budovách.

Nové předpisy budou platit pro soukromé budovy od roku 2021, pro veřejné budovy od roku 2023. Spotřeba energie se musí snížit proti stávající o 90 %, což odpovídá tzv. Standardu blízkému nule, a novostavby přitom nemusí být budovami s nulovou energií. Stávající potřeba tepla či chladu se v podstatě pokryje regenerativní energií. Kdo to zaplatí? Členskými státy ukládá nová směrnice vedení katalogu opatření, který uvádí i způsob financování. Komise EU roku 2020 ocení opatření a zveřejní možnosti ve světle dodatečných prostředků. Regulace bude ukončena roku 2023.

Ekologické organizace kritizují opatření jako široce nedostatečná. Pro stávající budovy nejsou uvedeny žádné zdroje financování renovací a cílů účinnosti. Zvláště je

omezen paušální příspěvek pro staré budovy pod 1 000 m², které jsou směrnici podhodnoceny.

Nově vytvořená směrnice definuje poprvé a v evropském měřítku standard nulové energie. Doposud mělo pouze několik málo států definici nízké energie, plus energie nebo budovy bez CO₂. Nová definice podporuje nízkou energetickou spotřebu a využívání regenerativních energií.

CCI 14/2009 (AB)

* Uspořit 60 % CO₂

Spotřeba energie v budovách je po celém světě zodpovědná za cca 40 % emisí CO₂. Do roku 2050 mohou být tyto emise o 60 % redukovány. Tím by bylo v budovách zhruba tolik CO₂ ušetřeno jako v oblasti dopravy. To jsou významné výsledky studie „Energy Efficiency in Buildings“ (Energetická účinnost v budovách) vypracované Světovou obchodní radou pro udržitelný rozvoj (WBCSD), zveřejněnou koncem dubna 2009 v Ženevě.

CCI 07/2009

(Ku)