

Ing. Pavel KOPECKÝ, Ph.D.
Ing. Kateřina SOJKOVÁ, Ph.D.
ČVUT v Praze, Fakulta stavební,
Univerzitní centrum energeticky
efektivních budov

Agregované tepelné charakteristiky budov

Část 2: Průměrný součinitel prostupu tepla obálky budovy

Aggregated Thermal Characteristics of Buildings Part 2: Mean Thermal Transmittance of Building Envelope

Recenzent
Ing. Marek Ženka, Ph.D.

Tento článek se zabývá průměrným součinitelem prostupu tepla obálky budovy. Jedná se o charakteristiku, která ovlivňuje tepelnou ztrátu prostupem tepla obálkou budovy. Průměrný součinitel prostupu tepla tak do značné míry ovlivňuje celkovou tepelnou charakteristiku budovy H/V. Průměrný součinitel prostupu tepla obálky budovy patří mezi veličiny, na něž se vztahují současné normové požadavky. V příspěvku se odvozuje parametrické vyjádření průměrného součinitele prostupu tepla obálky budovy. Na základě analýzy parametrického vztahu se zjistila závislost průměrného součinitele prostupu tepla obálky budovy na dvou parametrech popisujících geometrické uspořádání budovy – podílu zastavěné plochy k celkové teplosměnné ploše obálky budovy a podílu plochy oken v ploše fasády. V příspěvku se uvádí příklad výpočtu průměrného součinitele prostupu tepla obálky budovy pro různé kategorie budov, diskutují se závislosti a současné normové požadavky.

Klíčová slova: průměrný součinitel prostupu tepla, geometrické charakteristiky budovy

The article deals with the mean thermal transmittance of building envelope. It is a characteristic that determines the heat loss by heat transfer through the building envelope. Thus the mean thermal transmittance substantially determines the overall thermal characteristics of the building H/V. The mean thermal transmittance of building envelope belongs to the characteristics covered by the current normative requirements. The parametric expression of the mean thermal transmittance of building envelope is derived in the paper. Based on the analysis of the parametric relations it is found dependence of the mean thermal transmittance of building envelope on two parameters describing the geometrical arrangement of the building - the ratio of the built-up area to the total heat transfer surface of the building envelope and the ratio of the window surface to the surface of the facade. The paper presents an example of calculation of the mean thermal transmittance of building envelope for different categories of buildings, discussing the relations and the current normative requirements.

Keywords: mean thermal transmittance, building geometric characteristics

ÚVOD

V předchozím příspěvku [1] bylo odvozeno, že měrná potřeba tepla na vytápění nebo chlazení budovy závisí mimo jiné na poměru mezi měrným tepelným tokem budovy a objemem budovy. Velikost celkového měrného tepelného toku souvisí s tloušťkou a celistvostí tepelné izolace v obvodových konstrukcích, intenzitou větrání, účinností zpětného získávání tepla, ale také s kvalitou a relativním zastoupením oken v obvodovém plášti budovy. Celkový měrný tepelný tok lze vyjádřit jako (viz [2]):

$$H = H_T + H_V \quad [\text{W/K}] \quad (1)$$

kde je:

H_T tepelný tok prostupem tepla obálkou budovy při jednotkovém teplotním rozdílu [W/K],

H_V tepelný tok větráním budovy při jednotkovém teplotním rozdílu [W/K].

Měrný tepelný tok prostupem tepla H_T tvoří část, u starších budov zpravidla dominantní, z celkového měrného tepelného toku. Vztáhneme-li měrný tepelný tok prostupem k celkové teplosměnné ploše obálky budovy, získáme veličinu nazvanou průměrný součinitel prostupu tepla obálky budovy:

$$U_{em} = \frac{H_T}{A} \quad [\text{W}/(\text{m}^2\text{K})] \quad (2)$$

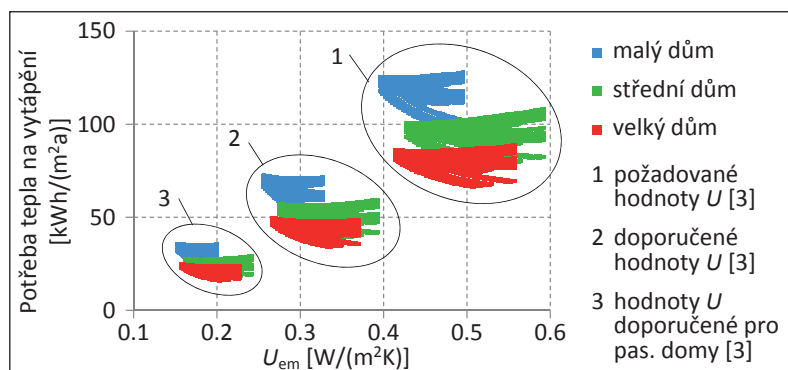
kde je:

U_{em} průměrný součinitel prostupu tepla obálky budovy [W/(m²K)],
 A teplosměnná plocha obálky [m²].

Průměrný součinitel prostupu tepla obálky budovy je důležitým ukazatelem při návrhu budovy. Jedná se o jednoduché srozumitelné vyjádření tepelněizolační kvality obvodového pláště celé budovy. Veličina se v praxi používá pro zařazení obálky budovy do jednotlivých tříd, viz [3]. Měrná potřeba tepla na vytápění budovy do určité míry souvisí s hodnotou průměrného součinitele prostupu tepla obálky budovy, viz obr. 1.

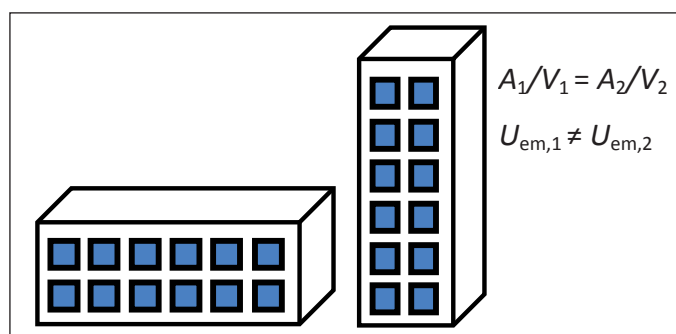
Kromě tepelněizolační kvality obálky budovy ovlivňuje hodnotu průměrného součinitele prostupu tepla i geometrický tvar budovy. Uvažujme například dvě budovy o stejném objemu a ploše obálky a totožné ploše prosklení (viz obr. 2). První budova má větší zastoupení střechy a podlahy v celkové teplosměnné ploše obálky než druhá budova a je možné předpokládat, že $U_{em,1} \neq U_{em,2}$.

Cílem tohoto příspěvku je odvodit parametrické vyjádření průměrného součinitele prostupu tepla obálky budovy využívající základní dostupné informace o budově. Parametrický vztah bude podroben rozboru. Parametrický vztah umožňuje kvalitativní i kvantitativní hodnocení ovlivňujících faktorů. Dalším cílem je zjistit dnes dosažitelnou úroveň průměrného součinitele prostupu tepla pro různé typy obytných budov (rodinné a bytové domy). Bude diskutována úroveň současných normových požadavků podle [3], [10].



Obr. 1 Závislost měrné potřeby tepla na vytápění na hodnotě průměrného součinitele prostupu tepla obálky budovy – různé varianty modelového rodinného domu [4] (pro výpočet potřeby tepla bylo ve všech variantách uvažováno shodné větrání i vnitřní zisky (stanoveno dle [11]), měnila se míra prosklení fasád a stínění jižních oken)

Fig. 1 Dependence of the specific heat demand on the value of the mean thermal transmittance of building envelope – different variants of the model family house [4] (for calculation of the heat demand were considered identical ventilation and internal gains in all the variants (determined according to [11]), it was changed the rate of the facade glazing and shading of the southern windows)

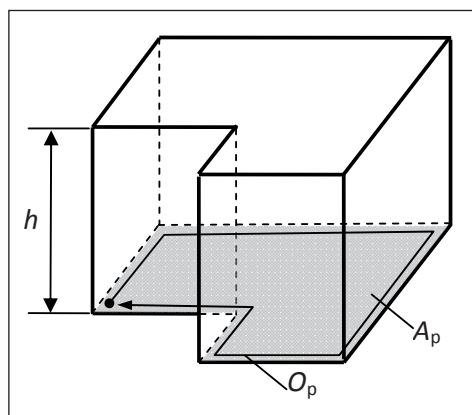


Obr. 2 Vliv tvaru budovy na průměrný součinitel prostupu tepla obálky budovy
Fig. 2 The influence of the building shape on the mean thermal transmittance

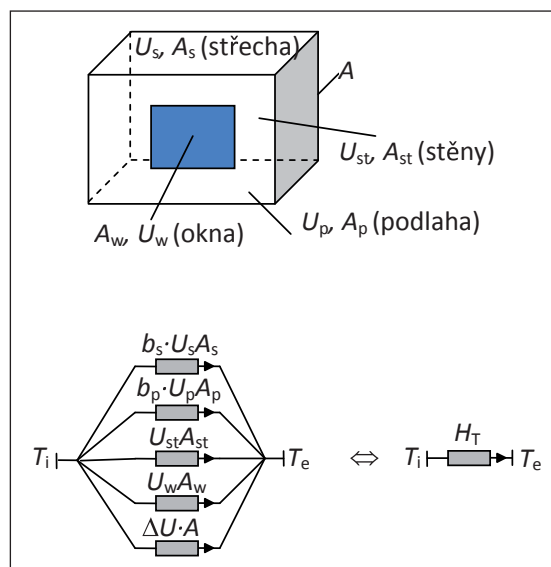
PARAMETRICKÉ VYJÁDRĚNÍ PRŮMĚRNÉHO SOUČINITELE PROSTUPU TEPLA

Dostupné informace o budově

V příspěvku se předpokládá, že není k dispozici podrobná projektová dokumentace k budově. Z běžně dostupných elektronických mapových podkladů [5] lze nicméně zjistit základní geometrické charakteristiky – zastavěnou plochu A_p , obvod zastavěné plochy O_p (viz obr. 3). Pohledy na fasády bývají dnes také často dostupné [6]. Z nich je možné odhadovat velikost oken, resp. podíl plochy oken v ploše fasády a výšku budovy h . Ze znalosti roku výstavby, popřípadě z informace o provedeném dodatečném za-teplení, je možné odhadovat tepelněizolační kvalitu jednotlivých stavebních prvků tvořících obálku budovy, přičemž lze předpokládat, že



Obr. 3 Běžně dostupné informace o geometrii budovy
Fig. 3 Commonly available information about the building geometry



Obr. 4 Nahoře: schéma jednoduché budovy; dole: znázornění dílčích tepelných toků pomocí elektrické analogie

Fig. 4 Up: scheme of a simple building; bottom: representation of the partial heat flows by the electric analogy

obálka budovy splňovala v té době platné požadavky, viz [7]. V případě nově navrhovaných budov jsou uvedené základní geometrické charakteristiky a informace o tepelněizolační úrovni stavebních prvků rovněž dostupné, a to již od počátku procesu návrhu.

Odvození parametrického vztahu pro U_{em}

Celkový tepelný tok prostupem obálkou budovy Φ_T [W] se skládá z dílčích tepelných toků – například přes střechu, podlahu, stěny, okna a tepelné vazby (viz obr. 4):

$$\Phi_T = H_T (T_i - T_e) = (b_s U_s A_s + b_p U_p A_p + U_{st} A_{st} + U_w A_w + \Delta U \cdot A) (T_i - T_e) \quad [\text{W}] \quad (3)$$

kde je:

- U součinitel prostupu tepla (U_s střecha, U_p podlahy, U_{st} stěn, U_w oken) [W/(m²K)],
- ΔU přírážka na tepelné vazby [W/(m²K)], A plocha (A_s střecha, A_p podlahy, A_{st} stěn, A_w oken, A celková teplosměnná plocha obálky budovy) [m²],
- T_i vnitřní teplota [°C],
- T_e venkovní teplota [°C],

Veličiny označené jako b [-] jsou redukční činitele vyjadřující například tepelněizolační vliv zeminy nebo nevytápěného suterénu (b_p), viz [8], nebo nevytápěné půdy (b_s).

Vydělením rovnice (3) celkovou teplosměnnou plochou obálky budovy A dostaneme:

$$\frac{\Phi_T}{A} = U_{em} (T_i - T_e) \quad [\text{W/m}^2] \quad (4)$$

kde U_{em} [W/(m²K)] je průměrný součinitel prostupu tepla obálky budovy.

Průměrný součinitel prostupu tepla obálky budovy je tedy váženým průměrem součinitelů prostupu tepla dílčích stavebních prvků přes jejich plochy:

$$U_{em} = b_s U_s \frac{A_s}{A} + b_p U_p \frac{A_p}{A} + U_{st} \frac{A_{st}}{A} + U_w \frac{A_w}{A} + \Delta U \quad [\text{W/(m}^2\text{K)}] \quad (5)$$

Plocha střechy A_s může být s jistou nepřesností vyjádřena pomocí plochy podlahy A_p jako:

$$A_s = \frac{1}{\cos \beta} A_p \quad [\text{m}^2] \quad (6)$$

kde β [°] je sklon střechy.

U nízkých sklonů střechy tedy přibližně platí $A_s \approx A_p$ a lze předpokládat, že plocha stěn A_{st} je dána jako:

$$A_{st} = A - 2A_p - A_w \quad [\text{m}^2] \quad (7)$$

kde A_w [m²] je plocha oken.

Pro budovy s plochou střechou nebo s šikmou střechou o mírném sklonu potom můžeme psát:

$$U_{em} = (b_s U_s + b_p U_p) \frac{A_p}{A} + U_{st} \frac{A - 2A_p - A_w}{A} + U_w \frac{A_w}{A} + \Delta U \quad [\text{W}/(\text{m}^2\text{K})] \quad (8)$$

V rovnici (8) vystupují dvě geometrické charakteristiky: poměr zastavěné plochy k celkové teplosměnné ploše obálky A_p/A a poměr plochy oken k celkové teplosměnné ploše obálky A_w/A . Okna bývají umístěna ve fasádách, a proto se plocha oken běžněji vztahuje k celkové ploše fasády A_{fas} . Poměr A_w/A_{fas} vyjadřuje, jakou část z celkové plochy fasády tvoří plocha oken (hovorově též nazývaný procento zasklení). Celková plocha fasády v sobě může zahrnovat i vliv její členitosti. V případě, že se změní členitost fasády, změní se i hodnota A_w/A_{fas} (i když se plocha oken nezmění). S poměrem A_w/A_{fas} lze rovnici (8) rozepsat jako:

$$U_{em} = (b_s U_s + b_p U_p) \frac{A_p}{A} + U_{st} \left(1 - \frac{2A_p}{A} - \frac{A_w A_{fas}}{A} \right) + U_w \frac{A_w A_{fas}}{A} + \Delta U \quad [\text{W}/(\text{m}^2\text{K})] \quad (9)$$

Pro zjednodušení zápisu zavedeme následující označení:

$$F_w = \frac{A_w}{A_{fas}} \quad (\text{podíl plochy oken v ploše fasády})$$

$$F_p = \frac{A_p}{A} \quad (\text{poměr zastavěné plochy k celkové teplosměnné ploše obálky}) \quad [-] \quad (10)$$

S označením veličin podle (10) a po algebraické úpravě lze rovnici (9) přepsat následovně:

$$U_{em} = F_p (b_s U_s + b_p U_p) + (1 - 2F_p) ((1 - F_w) U_{st} + F_w U_w) + \Delta U \quad [\text{W}/(\text{m}^2\text{K})] \quad (11)$$

kde výraz $((1 - F_w) U_{st} + F_w U_w)$ je součinitel prostupu tepla fasády.

Členy $(1 - 2F_p)$ a F_p představují váhy, které mají fasáda, podlaha a střecha ve výsledné hodnotě průměrného součinitele prostupu tepla obálky budovy. Pokud by se například poměr F_p rovnal 0,15, potom 70 % z výsledného U_{em} tvoří součinitel prostupu tepla fasády, zbývajících 30 % připadá na podlahu a střechu.

Vztah (11) platí pro budovy s plochou střechou, případně s šikmou střechou o mírném sklonu. Po aplikaci korekce na sklon střechy dostaneme obecnější vyjádření:

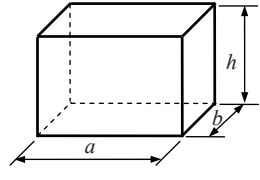
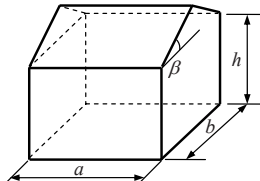
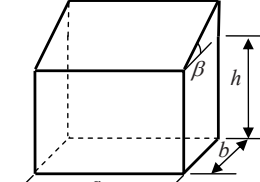
$$U_{em} = F_p \left(\frac{b_s U_s}{\cos \beta} + b_p U_p \right) + \left(1 - \left(1 + \frac{1}{\cos \beta} \right) F_p \right) ((1 - F_w) U_{st} + F_w U_w) + \Delta U \quad [\text{W}/(\text{m}^2\text{K})] \quad (12)$$

kde β [°] je sklon střechy.

Průměrný součinitel prostupu tepla obálky je tedy funkcí součinitelů prostupu tepla jednotlivých stavebních prvků (stěn, střechy, podlahy a oken) a dvou geometrických charakteristik – poměru zastavěné plochy k celkové teplosměnné ploše obálky a podílu plochy oken v ploše fasády. Poměr F_p vyjadřuje, jakou část z ochlazované plochy obálky budovy tvoří plocha podlahy. Vyšší hodnoty představují přizemní rozsáhlé budovy. Nižší hodnoty naopak představují domy s malou plochou podlahy vzhledem k teplosměnné ploše (a tedy relativně velkou plochou fasád), mohou to být např. bodové domy nebo domy s výrazně členitou fasádou. Poměr F_p lze odhadovat z dostupných informací o budově (viz tab. 1).

Tab. 1 Poměr F_p

Tab. 1 Ratio F_p

	$F_p = \frac{1}{2 + h \frac{O_p}{A_p}}$
	$F_p = \frac{1}{\left(1 + \frac{1}{\cos \beta} \right) + \frac{O_p}{A_p} h + \frac{b^2}{2A_p} \tan \beta}$
	$F_p = \frac{1}{\left(1 + \frac{1}{\cos \beta} \right) + \frac{O_p}{A_p} \left(h + \frac{b}{2} \tan \beta \right)}$

Vzájemný vztah mezi U_{em} a A/V

Poměr zastavěné plochy a teplosměnné plochy obálky budovy F_p není ve stavební tepelné technice běžně používanou geometrickou charakteristikou budovy. Zavedenou geometrickou charakteristikou je objemový faktor tvaru budovy A/V (poměr teplosměnné plochy obálky a objemu, který teplosměnná obálka vytváří). Proto je žádoucí zjistit, jestli vztah (11) nemůže být zapsán jako závislost na objemovém faktoru. Pro budovy s plochou střechou platí:

$$F_p = \frac{1}{h \frac{A}{V}} \quad [-] \quad (13)$$

kde je:

h výška budovy [m],

A/V objemový faktor tvaru [m²/m³].

Po dosažení vztahu (13) do (11) dostaneme:

$$U_{em} = \frac{1}{h \frac{A}{V}} (b_s U_s + b_p U_p) + \left(1 - \frac{2}{h \frac{A}{V}} \right) \left((1 - F_w) U_{st} + F_w U_w \right) + \Delta U \quad [W/(m^2K)] \quad (14)$$

Nevýhodou takového vyjádření je, že faktor tvaru A/V a výška budovy h nejsou zcela nezávislé veličiny. Vysoké budovy bývají zároveň objemově veliké a dosahují nižších hodnot A/V než budovy nízké.

PŘÍKLADY A ANALÝZA ZÁVISLOSTÍ

Definice typů budov

Rozsahy geometrických parametrů jednotlivých typů obytných budov, uvažovaných v následujících příkladech, jsou definovány v tab. 2. Předpokládá se, že obestavěný prostor budovy má tvar kvádrů s plochou střechou. Délka a a šířka b jsou na sobě nezávislé. V případě bytových domů se délka předpokládá vždy větší než šířka. Předpokládá se, že vstupní údaje jsou rozloženy mezi minimálními (min.) a maximálními (max.) hodnotami se stejnou pravděpodobností. Hodnoty součinitelů prostupu tepla obvodových konstrukcí jsou definovány v tab. 3.

Z intervalů vstupních hodnot bylo pro každý typ domu náhodně vybráno 1000 vzorků metodou Latinských hyperkrychlí [9]. Pro jednotlivé vzorky byly dopočítány hodnoty geometrického parametru F_p (viz obr. 5). Fasády byly uvažovány bez členitosti.

Tab. 2 Typy a geometrické parametry obytných budov

Tab. 2 Types and geometrical parameters of residential buildings

Typ			a [m]		b [m]		h [m]		F _w [-]		Poznámka
			min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	
Rodinné domy	Jednopodlažní	R1	10	17	10	17	3,3	3,8	0,05	0,50	-
	Dvoupodlažní	R2	8	13	8	13	6,6	7,6			
Bytové domy	Malé	B1	15	36	10	15	10	18	0,15	0,50	3–6 podlaží
	Velké	B2	36	100	10	15	18	36			6–12 podlaží

Tab. 3 Součinitele prostupu tepla stavebních prvků

Tab. 3 Thermal transmittance of the building elements

Rok	U _{st}	U _s	U _p	U _w	ΔU	b _p [-] ^{xxx}		
	[W/(m ² K)]					R1, R2	B1	B2
1977	0,89	0,51	1,09	3,7	0,20 ^{xx}	0,47	0,30	0,19
1994	0,46*	0,32*	1,03	2,9	0,15 ^{xx}	0,48	0,31	0,20
2002	0,38*	0,30*	0,60	1,8	0,12 ^{xx}	0,57	0,40	0,26
2011a – požadované*	0,30	0,24	0,45	1,5	0,10	0,62	0,48	0,31
2011b – doporučené**	0,25	0,16	0,30	1,2	0,02	0,71	0,56	0,40
2011c – doporučené pro pasivní budovy***	0,15	0,12	0,18	0,7	0	0,80	0,68	0,50

* Součinitele prostupu tepla obvodových konstrukcí splňují požadované hodnoty [3].

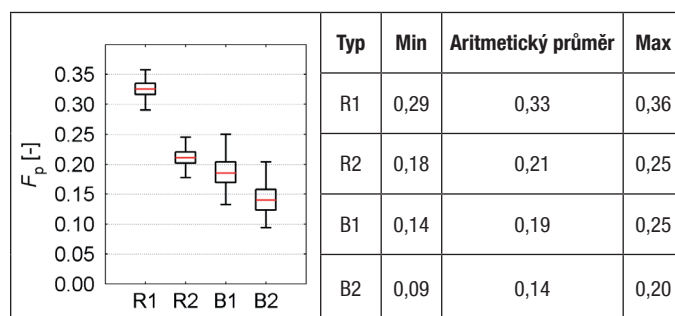
** Součinitele prostupu tepla obvodových konstrukcí splňují doporučené hodnoty [3].

*** Součinitele prostupu tepla obvodových konstrukcí spadají do intervalu doporučených hodnot pro pasivní budovy [3].

^x Hodnoty součinitelů prostupu tepla pro těžké konstrukce dle [7].

^{xx} Hodnoty přírážky na vliv tepelných vazeb stanoveny odhadem.

^{xxx} Hodnoty redukčního činitele odečteny z grafu 2.2.1 v [8].



Obr. 5 Geometrický parametr F_p pro různé typy budov

Fig. 5 Geometrical parameter F_p for different building types

Příklad 1

Zjišťuje se závislost průměrného součinitele prostupu tepla obálky budovy na geometrických parametrech F_p a F_w . Pro každou kombinaci geometrických parametrů F_p a F_w byla dopočítána hodnota průměrného součinitele prostupu tepla obálky budovy (viz obr. 6). Zvolené rozmezí hodnot geometrického parametru F_p pochází z vypočítaných hodnot zobrazených na obr. 5. Rozmezí hodnot geometrického parametru F_w se zde liší od rozsahu uvedeného v tab. 2 a reprezentuje velmi široký interval od velmi malého prosklení až po úplné prosklení fasád. Hodnoty součinitelů prostupu tepla dílčích stavebních prvků byly zafixovány na úrovni 2011a a 2011b dle tab. 3.

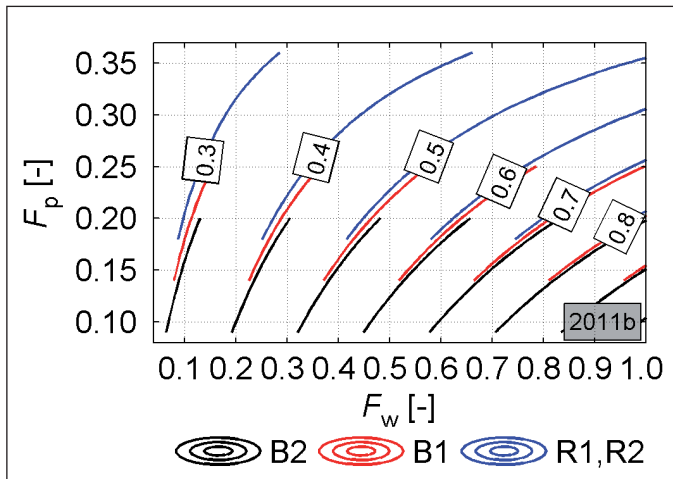
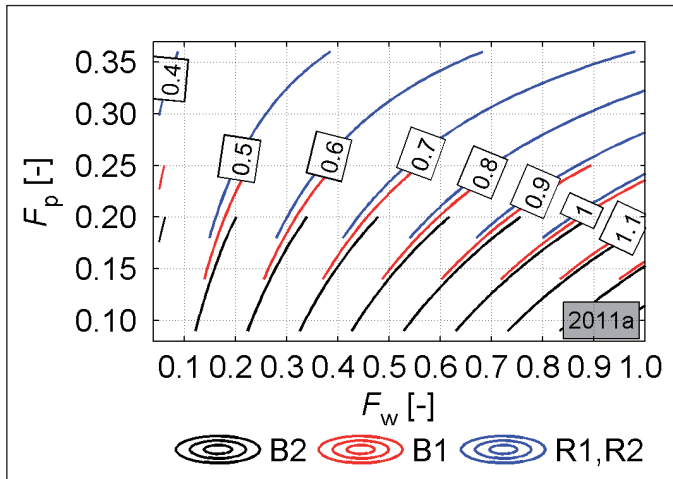
Závislost hodnoty průměrného součinitele prostupu tepla na geometrických charakteristikách budovy je zobrazena na obr. 6. Hodnoty U_{em} byly vypočítány pomocí vzorce (11). Nedokonalé napojení vrstevnic jednotlivých typů budov vzniká v důsledku závislosti činitele teplotní redukce b_p na velikosti zastavěné plochy (viz tab. 3).

Pokud poměr F_p vzrůstá a poměr F_w se nemění, průměrný součinitel prostupu tepla obálky budovy klesá (viz obr. 6). To je důsledek vyššího zastoupení nejlépe tepelně izolujícího stavebního prvku (střechy) v celkové teplosměnné ploše obálky. Pokud se poměr F_w zvyšuje a poměr F_p se nemění, průměrný součinitel prostupu tepla obálky budovy roste (viz obr. 6). To je důsledek vyššího zastoupení nejhůře tepelně izolujícího stavebního prvku (okna) v teplosměnné obálce budovy.

Citlivost U_{em} na změnu geometrických parametrů F_w a F_p není konstantní (viz obr. 6). Při vysokých hodnotách F_w vzrůstá i citlivost U_{em} na změnu F_p . Při nízkých hodnotách F_p je naopak citlivost U_{em} na změnu F_w vyšší než při vyšších hodnotách F_p . Silnějším ovlivňujícím parametrem je podíl plochy oken v ploše fasády F_w .

Geometrické charakteristiky F_w a F_p nejsou bohužel zcela nezávislé. Pokud se například vlivem členitosti zvětší plocha fasády a zároveň se zachová plocha oken, klesne poměr F_p , ale zároveň se sníží podíl plochy oken v ploše fasády (viz definice poměru F_w). Vliv členitosti fasády na hodnotu U_{em} lze v tomto případě očekávat slabý. Je to logické, protože zvýšením členitosti fasády se pouze zvýší zastoupení plochy tepelně izolovaných stěn v celkové teplosměnné ploše obálky budovy. Zvýšení členitosti fasády s sebou nicméně často přináší i zvýšení plochy oken. V takovém případě klesne

poměr F_p , a zároveň dokonce může i vzrůst poměr F_w . Hodnota U_{em} by se v tomto případě zvýšila.



Obr. 6 Průměrný součinitel prostupu tepla obálky jako funkce parametrů F_p a F_w
Fig. 6 Mean thermal transmittance as a function of the parameters F_p a F_w

Příklad 2

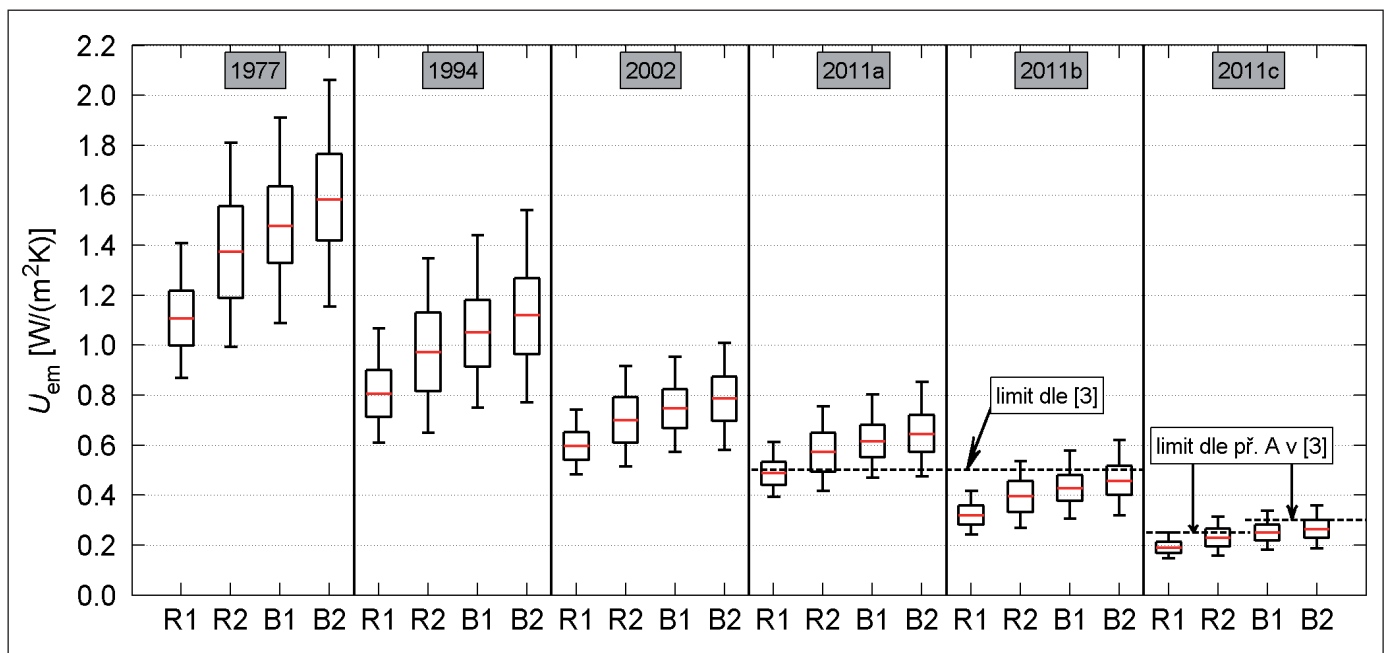
Sleduje se vývoj hodnot průměrného součinitele prostupu tepla obálky budovy v čase. Pro každý vzorek z daného typu budovy byla podle vzorce (11) dopočítána hodnota průměrného součinitele prostupu tepla obálky budovy. Vypočítané hodnoty průměrného součinitele prostupu tepla pro různé kategorie budov a pro různá období jsou zobrazeny na obr. 7.

V průběhu posledních téměř čtyřiceti let se hodnoty průměrného součinitele prostupu tepla obálky budovy odpovídající požadovaným hodnotám součinitelů prostupu tepla jednotlivých obvodových konstrukcí snížily přibližně na polovinu v závislosti na typu budovy (viz obr. 7). Dosažitelná hodnota průměrného součinitele prostupu tepla obálky budovy se při současné úrovni technologií u rodinných domů pohybuje v blízkosti 0,20 W/(m²K). K takovému výsledku jsou potřeba součinitele prostupu tepla obvodových konstrukcí na úrovni doporučených hodnot pro pasivní budovy [3] a přiměřená plocha oken.

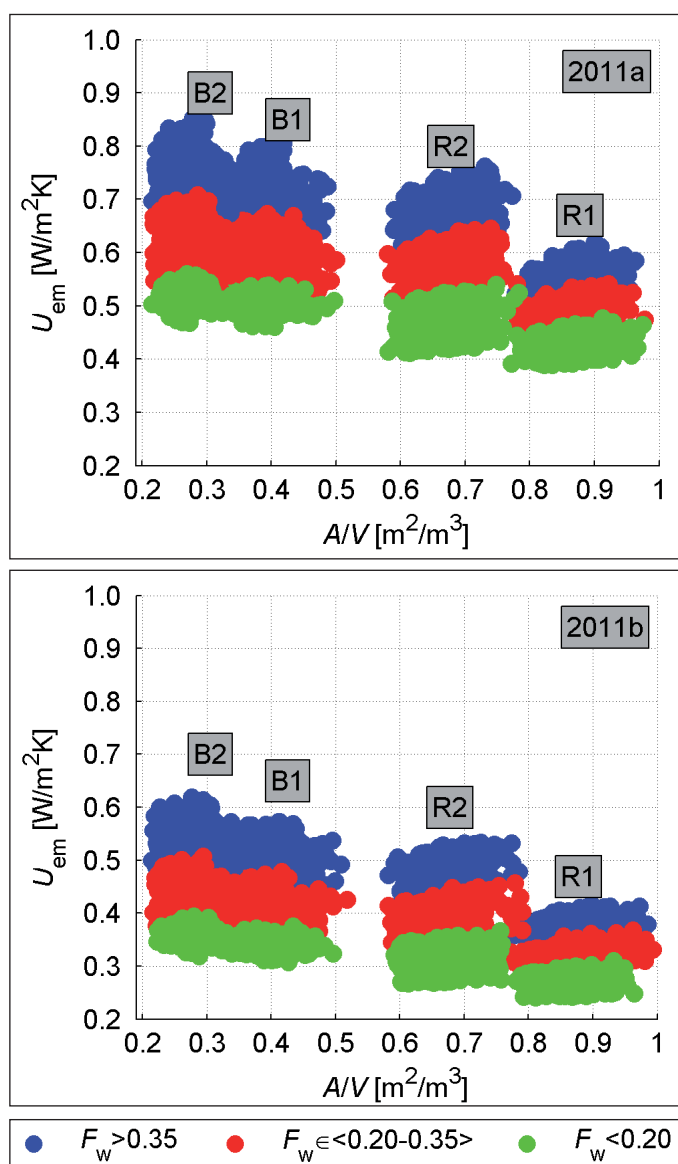
Závislost U_{em} na geometrické konfiguraci budovy je viditelná. V zásadě platí, že čím je budova objemově větší, tím hůře dosahuje nižších hodnot průměrného součinitele prostupu tepla. Nejnižších hodnot průměrného součinitele prostupu tepla dosahují jednopodlažní rodinné domy. Bytové domy dosahují v porovnání s malými rodinnými domy vyšších hodnot průměrného součinitele prostupu tepla obálky. Bytové domy jsou jednak penalizovány vyšším zastoupením plochy fasády v teplosměnné ploše, ale zároveň bývají i více proskleny než rodinné domy. Poměrně velký rozptyl výsledků je způsoben zejména zvoleným rozmezím podílu zasklení. Odpovídá to nicméně tvůrčí svobodě architekta při návrhu budovy.

SOUČASNÉ POŽADAVKY NA U_{em}

Současné požadavky na U_{em} jsou v normě [3] formulovány tak, že se hodnotí, zda navrhovaná budova má nižší U_{em} než budova referenční. Referenční budovu definuje [3] takto: „Referenční budova je virtuální budova stejných rozměrů a stejného prostorového uspořádání jako budova hodnocená, shodného účelu a shodného umístění, na jejichž všech plochách obálky budovy jsou použity konstrukce se součiniteli prostupu tepla právě odpovídajícími příslušné normové požadované hodnotě. Pokud součet průsvitných ploch tvoří více než 50 % plochy teplosměnné



Obr. 7 Historie vývoje průměrného součinitele prostupu tepla obálky budovy
Fig. 7 History of the evolution of the mean thermal transmittance of building envelope



Obr. 8 Průměrný součinitel prostupu tepla obálky budovy zobrazený jako funkce objemového faktoru tvaru A/V

Fig. 8 The mean thermal transmittance of building envelope shown as a function of the volumetric shape factor A/V

části obvodových stěn budovy (neprůsvitných i průsvitných, přilehlých k venkovnímu prostředí), započte se na 50 % plochy teplosměnné části obvodových stěn budovy odpovídající požadovaná hodnota součinitele prostupu tepla výplní otvorů a ve zbytku se uvažuje požadovaná hodnota součinitele prostupu tepla neprůsvitného obvodového pláště.“

Požadované hodnoty U_{em} dle [3] jsou ještě omezeny shora limitní hodnotou $0,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ pro nové obytné budovy. Pro ostatní budovy jsou hodnoty U_{em} omezeny funkcí $0,30+0,15/(A/V)$. Princip referenční budovy využívá vyhláška [10], která pro nové budovy dokonce vyžaduje dosažení 80 % z hodnoty průměrného součinitele prostupu tepla obálky referenční budovy ($0,8U_{em,ref}$). Prakticky to znamená, že požadovaná hodnota průměrného součinitele prostupu tepla obálky budovy vychází téměř vždy nižší než $0,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ a limitní hodnota se uplatní jen v případě velkých a zároveň vysokých bytových domů.

Pro budovy, jejichž obvodové konstrukce by splnily požadované (2011a) a doporučené (2011b) hodnoty součinitelů prostupu tepla (viz tab. 3), byly vypočítané hodnoty U_{em} rozříděny podle objemového faktoru tvaru A/V (osa x) a barevně podle poměru F_w (viz obr. 8).

Větší budovy dosahují o něco vyšších hodnot U_{em} než malé budovy (viz obr. 8). To znamená, že i průměrný součinitel prostupu tepla obálky referenční budovy $U_{em,ref}$ se mění s velikostí budovy – jeho hodnoty jsou nižší u malých rodinných domů než u velkých bytových domů. S požadovanými hodnotami součinitelů prostupu tepla obvodových konstrukcí lze dosáhnout průměrného součinitele prostupu tepla nižšího než $0,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ jen s přiměřeně nízkým podílem prosklení (viz obr. 8, nahoře). Nicméně, protože dnes jsou běžně dostupná okna s celkovým součinitelem prostupu tepla menším než $1,2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ a zároveň se u nových staveb obvodové konstrukce obvykle navrhuji na doporučené hodnoty, je snadné dosahovat i výrazně nižších hodnot průměrného součinitele prostupu tepla než $0,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ (viz obr. 8, dole). Současný požadavek $0,8U_{em,ref}$ dle [10] je nastavený tak, že v praxi vede k využití doporučených hodnot součinitelů prostupu tepla obvodových konstrukcí podle [3]. Výsledek výpočtu je značně citlivý na velikost přírážky na tepelné vazby. Hodnota $0,10 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, odpovídající vlastnostem obálky se součiniteli prostupu tepla na úrovni požadovaných hodnot, tvoří 20 % z horního limitu na U_{em} .

I přes vyšší hodnotu U_{em} bude měrná potřeba tepla na vytápění velké budovy s vysokou pravděpodobností nižší než měrná potřeba tepla na vytápění malé budovy. Větší budovy totiž vyrovnávají mírně vyšší hodnoty U_{em} nižšími hodnotami objemového faktoru tvaru A/V . Otázkou tedy je, jak postupovat při dalším zpřísňování požadavků – kam až, resp. jakým způsobem je rozumné snižovat požadované hodnoty U_{em} . Principiální otázkou je, zdali nevyjadřovat celkovou tepelněizolační kvalitu budovy jinou veličinou, takovou, která by explicitně zahrnu-la i vliv tvaru budovy. Takovou veličinou může být například tepelná charakteristika budovy, viz [1]. V případě hodnocení tepelněizolační kvality obálky budovy se jedná o součin $U_{em} \times (A/V)$. Tato veličina bude předmětem dalšího navazujícího článku.

ZÁVĚRY

Kvalita obálky budovy je v klimatických podmínkách ČR tradičně hodnocena zejména podle její tepelněizolační schopnosti. Průměrný součinitel prostupu tepla obálky budovy vyjadřuje tepelněizolační schopnost obálky budovy a lze jej řadit mezi agregované charakteristiky. Příspěvek provedl rozbor závislosti průměrného součinitele prostupu tepla obálky budovy na součinitelích prostupu tepla jednotlivých stavebních prvků (stěn, střechy, podlahy a oken) a geometrických charakteristikách budovy. Geometrické charakteristiky, které hodnotu průměrného součinitele prostupu tepla ovlivňují, jsou podíl plochy oken v ploše fasády a podíl zastavěné plochy k celkové teplosměnné ploše obálky. Vzhledem k tomu, že okna jsou nejslabší prvek (nejhůře tepelně izolují), je vliv podílu prosklení silnější než vliv poměru zastavěné plochy k celkové ploše obálky budovy. Protože podíl zastavěné plochy a teplosměnné plochy obálky není běžně používaná geometrická charakteristika budovy, byla odvozena i závislost průměrného součinitele prostupu tepla obálky budovy na objemovém faktoru tvaru. V příkladech byly ilustrovány hlavní závislosti, citlivost na změnu geometrických parametrů, historický vývoj hodnot a dnes dosažitelné hodnoty. Průměrný součinitel prostupu tepla mírně roste s velikostí budovy. Větší budovy nicméně vyrovnávají tento nedostatek nižšími hodnotami objemového faktoru tvaru, který příznivě ovlivní jejich měrnou potřebu tepla.

Poděkování: Tento článek vznikl za podpory Evropské unie, projektu OP VaVpl č. CZ.1.05/2.1.00/03.0091 – Univerzitní centrum energeticky efektivních budov.

Kontakt na autora: pavel.kopecky@fsv.cvut.cz

Použité veličiny:

A_p	zastavěná plocha [m ²]
O_p	obvod zastavěné plochy [m]
h	výška budovy [m]
F_p	podíl zastavěné plochy a celkové teplosměnné plochy obálky budovy [-]
F_w	podíl plochy oken a celkové plochy fasády [-]
A	celková teplosměnná plocha obálky budovy [m ²]
V	objem budovy [m ³]
U	součinitel prostupu tepla [W/(m ² K)]
U_{em}	průměrný součinitel prostupu tepla obálky budovy [W/(m ² K)]
ΔU	korekce průměrného součinitele prostupu tepla obálky budovy na vliv tepelných vazeb [W/(m ² K)]
H_T	měrný tepelný tok vstupem [W/K]
Φ_T	tepelný tok vstupem [W]
b	činitel teplotní redukce [-]
β	sklon střechy [°]

Indexy spodní:

st	stěny
s	střecha
p	podlaha
w	okna
fas	fasády (stěny včetně otvorů)

Německá podpora palivových článků

Spolkové ministerstvo pro dopravu a digitální infrastrukturu (BMVI) se rozhodlo podporovat investice do vývoje a uvádění do provozu zařízení s vysoce účinnými palivovými články pro kombinovanou výrobu proudu a tepla (KWK zařízení), která jsou stále velmi drahá. Podporována budou užití např. pro větší sídliště, pro čtvrti řemesel a průmyslu a zásobování domů se spotřebou do 20 kW elektrického výkonu. Forma podpory bude jednorázový příspěvek na úhradu vícenákladů oproti běžným zdrojům tepla a proudu stejné kapacity. Podpora činí až 45 % v závislosti na výkonu a nejvýše 10 600 €. Podrobnosti k nové směrnici uvádí web organizace Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellen-technologie (NOW), jenž uvádí i praktické návody k využití podpory: www.brennstoffzellenkwk.de

Pramen: CCI 07/2015, s. 1

(AB)

Význam sítí Smart Grid a Smart Metering pro větrání, klimatizaci a chlazení

Jaký je reálný stav inteligentních sítí budoucnosti v Německu? Podle stanoviska spolkového ministerstva hospodářství k otázce zavádění inteligentních elektroměrů Smart Metering by mohl být 1. leden 2017 startovacím termínem uvedení na trh, za předpokladu, že se podaří včas stanovit pravidla pro výměnu dat mezi účastníky trhu.

Podle plánu by měli být do sítí vtaženi i velcí spotřebitelé s více než 20 MWh/rok. Teprve v roce 2021 dojde na domácnosti a spotřebitele s 6 až 10 MWh/rok. Na začátku tak bude počet elektroměrů velmi malý na to, aby byl systém hospodárný. Jako by nebylo dost nejistot, přichází VDE s novou celoněmeckou komunikační sítí 450 MHz. Vlastní síť má možná technické přednosti, avšak kritika poukazuje na to, že mohou být použity stávající sítě. Opatření ke splnění požadavků výrobců proudu jsou sice nutná, avšak mají být cenově výhodná. Jestli tomu tak bude, závisí i na EU. Proti tomu také stojí otázky přenosových standardů, licencí a financování infrastruktury. Kdo to zaplatí, když ne daňový poplatník? Zatím není spuštění Smart-Meterů v dohledu.

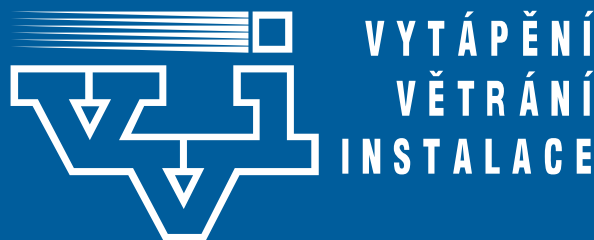
Co to znamená pro obor větrání, klimatizaci a chlazení? Obory výrobců energie mohou spustit vlastní obchodní model a nabídnout webové služby. Takové, spíše přidané hodnoty jsou však utopické a mohou posunout domácnosti k využití virtuálních elektráren. Pro výrobce zařízení je posun problému směrem k ukládání energie určitou obchodní možností.

Pramen: CCI 07/2015, s. 2

(AB)

Použité zdroje:

- [1] KOPECKÝ, P., SOJKOVÁ, K. Agregované tepelné charakteristiky budov, část 1: Motivace a odvození hlavních charakteristik. *Vytápění, Větrání, instalace*. 2016, č. 2.
- [2] ČSN EN ISO 13789. Tepelné chování budov – Měrné tepelné toky vstupem tepla a větráním – Výpočtová metoda. 2009.
- [3] ČSN 730540-2. Tepelná ochrana budov – Požadavky. 2011.
- [4] SOJKOVÁ, K. Vliv oken a jejich stínění na tepelnou bilanci domů s odlišnými parametry. *TZB info* [online]. 2011, roč. 13, číslo 49. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/okna-dvere/8098-vliv-oken-a-jejich-stineni-na-tepelnou-bilanci-domu-s-odlisnymi-parametry>
- [5] Mapový geoportál [online]. Dostupné z: <https://geoportal.gov.cz>
- [6] Google Streetview [online]. Dostupné z: <https://www.google.com/maps>
- [7] ŠÁLA, J., KEIM, L., SVOBODA, Z., TYWONIAK J. Komentář k ČSN 730540, kapitola 6.3 a příloha H.
- [8] BARTOVIČOVÁ, J. *Přenos tepla pod základovou deskou – parametrické výpočty*. Praha, 2008. Bakalářská práce. ČVUT v Praze.
- [9] http://en.wikipedia.org/wiki/Latin_hypercube_sampling
- [10] Vyhláška 78/2013 o energetické náročnosti budov.
- [11] TNI 73 0329. Zjednodušené výpočtové hodnocení a klasifikace obytných budov s velmi nízkou potřebou tepla na vytápění – Rodinné domy. ■



Vážení přátelé,

Společnost pro techniku prostředí nabízí
2. přepracované vydání

Názvoslovního výkladového slovníku z oboru Technika prostředí

v Č-N-A, A-Č-N, N-Č-A mutacích

Obsahuje terminologii oborů:

Vytápění, Solární technika, Tepelná izolace, Chladicí technika, Tepelná čerpadla, Větrání, Klimatizace, Hluk a ořesky, Průmyslová vzduchotechnika, Pneumatická doprava, Čistota ovzduší, Odprašování, Hygiena, Automatická regulace, Ekonomika investic, Domovní vodovody, Plynovody, Kanalizace.

Slovník je možno zakoupit:

- v Univerzitním knihkupectví ČVUT, budova NTK, Technická 6, 160 80 Praha 6 nebo si nechat zaslat dobírkou: e-mail: vera.mikulkova@ctn.cvut.cz – tel. 224 355 003;
- osobně v sekretariátu Společnosti pro techniku prostředí: Novotného lávka 5, 116 68 Praha 1 nebo
- v redakci VVI – Fakulta strojní, 8. p., Technická 4, 166 07 Praha 6.

Cena 110 Kč vč DPH