

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

Analýza možných dopadů změny klimatických okrajových podmínek na obytné budovy v České republice

Analysis of Possible Impacts of Change in Climatic Boundary Conditions on Residential Buildings in the Czech Republic

Recenzenti:
Mgr. Michal Žák, Ph.D.
doc. Ing. Tomáš Matuška, Ph.D.

Klimatické změny v budoucnu mimo jiné ovlivní budovy, technické systémy v budovách a vystavěné prostředí obecně. Příspěvek se zabývá možnými změnami klimatických okrajových podmínek v České republice v budoucnosti. Porovnáva klimatické podmínky odpovídající nedávné minulosti (referenční období 1960–1990) s očekávanými klimatickými podmínkami v období 2020–2050, resp. 2070–2100. K porovnání se využívají modelové klimatické údaje pro město Praha pocházející z modelu REMO. Výsledky ukazují na postupné prodloužení letního období, se značným navýšením počtu tropických a letních dnů, prodloužením souvislých období veder a zvýšením denních maximálních teplot. Patrně také dojde ke zkrácení zimního období, se značným snížením četnosti výskytu teplot pod bodem mrazu a ledových dnů. Dopady změny klimatických veličin jsou posléze kvantifikovány v případové studii modelového rodinného domu.

Klíčová slova: klimatické změny, okrajové podmínky, tepelná bilance budov, přehřívání

Climate change will, among other things, affects buildings, technical systems in buildings and built environment in general. This paper deals with the expected future changes of environmental boundary conditions in the Czech Republic. The climatic conditions corresponding to the recent past (the reference period 1960–1990) are compared with the expected climatic conditions in 2020–2050, respectively in 2070–2100. Hourly climate data calculated by regional meteorological model are used. The results show a gradual prolongation of the summer season, a significant increase in the number of tropical and summer days, the prolongation of continuous hot spells and the increase in daily maximum temperatures. There will also be a shorter winter season, with a significant decrease of the frequency of temperatures below freezing point. The impacts of change in boundary conditions are then quantified in a case study of a model family house.

Keywords: climate change, environmental boundary conditions, thermal balance of buildings, overheating

ÚVOD

Stále častěji zaznamenáváme tání ledu a permafrostu v arktických oblastech, zvyšování průměrné teploty vody a hladiny oceánu, zvyšování teploty vzduchu, změny v cirkulaci atmosféry i vody v oceánech a častější výskyt extrémních atmosférických událostí [1]. Změna klimatických podmínek vyvolává komplexní změny, které patrně v nějaké míře ovlivní život na Zemi. Základní shrnutí očekávaných změn klimatu v České republice a jejich možných dopadů (z pohledu člověka) je dostupné z [2].

Klimatické předpovědní modely umožňují prognózu vývoje klimatu v budoucnosti, viz [3], přičemž ale není zcela jisté, jak rychle a jak intenzivně klimatické změny budou probíhat. Výpočty jsou proto často prováděny odlišnými předpovědními modely a pro různé předpokládané globální scénáře vývoje. Změny klimatických veličin jsou vztahovány ke stavu klimatu v nedávné minulosti, za které se obvykle považuje období 1960–1990 (tzv. normálové období podle Světové meteorologické organizace).

Za předpokladu naplnění IPCC scénáře A1B [4] je ve druhé polovině 21. století předpokládáno zvýšení průměrné roční hodnoty teploty vzduchu v České republice o 2 až 3 K. Scénář A1B předpokládá rychlý hospodářský růst a vývoj nových technologií, růst počtu obyvatel do roku 2050 a vyvážené využívání všech zdrojů energie.

Budovy jsou ovlivňovány klimatickými podmínkami v dané lokalitě, přičemž obálka budovy má za úkol co nejlépe ochránit vnitřní prostředí

před venkovními vlivy. Stavebně-energetická koncepce budovy, jako například výběr vhodných stavebních materiálů, řazení vrstev obálky, tvar budovy, velikost a orientace prosklených ploch či způsob stínění a větrání, to vše do značné míry souvisí s klimatickým zatížením působícím v dané lokalitě. Klimatické podmínky a stavebně-energetické řešení ovlivňují potřebu tepla na vytápění a chlazení budov, špičkové výkony vytápění a chlazení a mají vliv na kvalitu vnitřního prostředí v budovách. Klimatické změny v neposlední řadě mohou vést ke změně tepelně-vlhkostní bilance stavebních prvků či jednotlivých materiálů s dopadem na jejich trvanlivost.

Rodinné a bytové domy jsou v současných klimatických podmínkách České republiky běžně provozovány bez strojního chlazení. K tomu je potřeba dobrá souhra několika opatření, jako například účinné odstínění dopadajícího slunečního záření, přiměřená velikost a orientace oken vůči světovým stranám, vhodné zónování objektu a vodič tepelně akumulací hmoty zabudovaná v blízkosti vnitřního líce stavebních prvků. Obyvatelé zároveň musí teplo přes den uložené v budově odvádět nočním větráním. U některých budov je už dnes i s těmito opatřeními obtížné udržet teplotu vnitřního vzduchu nižší než 27 °C, viz [5].

Cílem článku je provést analýzu možných budoucích změn klimatických veličin v České republice. U jednoduché modelové budovy (rodinný dům) se následně vyčísluje, jak klimatické změny mohou změnit potřeby tepla na vytápění a chlazení, hodnoty špičkových výkonů vytápění a chlazení, teplotu vnitřního vzduchu.

METODIKA

Modelové klimatické údaje

Byly použity klimatické údaje z projektu Climate for Culture [6] pro Prahu. Jedná se o hodinové klimatické údaje, vypočítané numerickým regionálním klimatickým modelem REMO [7], který předpokládá naplnění scénáře A1B podle [4].

Modelové klimatické údaje byly vypočítány pro tři časové úseky: 1960–1990, 2020–2050, 2070–2100. Každé časové období je tedy dlouhé 31 let, což představuje dostatečně reprezentativní soubor pro statistické vyhodnocení klimatických veličin. V datových souborech jsou dostupné hodinové údaje o teplotě venkovního vzduchu, relativní vlhkosti venkovního vzduchu, globálním i difuzním slunečním záření dopadajícím na horizontální rovinu, intenzitě srážek, rychlosti a směru větru a oblačnosti.

Sledované klimatické veličiny

Pro každé časové období se sledují průměrné roční a měsíční hodnoty teploty venkovního vzduchu, měrné vlhkosti vzduchu, dávky globálního slunečního ozáření a roční úhrny srážek. U teploty venkovního vzduchu a měrné vlhkosti se sleduje i rozdělení četnosti.

Pro každé časové období byly sledovány počty ledových dnů, mrazových dnů, letních dnů, tropických dnů a tropických nocí (definice termínů je shrnuta v tab. 1). Sledovaly se také počty po sobě souvisle jdoucích tropických dnů (délka velmi teplého období) a počty po sobě souvisle jdoucích ledových dnů (délka velmi chladného období).

Tab. 1 Definice meteorologických pojmů

Tab. 1 Definitions of meteorological terms

Ukazatel	Podmínka
Ledový den	denní nejvyšší teplota venkovního vzduchu nižší než 0 °C
Mrazový den	denní nejnižší teplota venkovního vzduchu nižší než 0 °C
Letní den	denní nejvyšší teplota venkovního vzduchu alespoň 25 °C
Tropický den	denní nejvyšší teplota venkovního vzduchu alespoň 30 °C
Tropická noc	denní nejnižší teplota venkovního vzduchu neklesla pod 20 °C

Pro jednotlivá časová období byly také vypočítány hodinostupně pro vytápění (pro referenční teplotu 13 °C), hodinostupně pro chlazení (pro referenční teplotu 25 °C), a entalpihodiny (pro referenční entalpii $h_{25/40}$ odpovídající teplotě 25 °C a relativní vlhkosti 40 %), podle vztahů:

$$HDH_{13} = \sum (13 - t_{ae})^+ \quad \text{resp.} \quad CDH_{25} = \sum (t_{ae} - 25)^+ \quad (1)$$

$$EH_{25/40} = \sum (h_{ae} - h_{25/40})^+ \quad (2)$$

Entalpie h byla vypočítána ze vztahu:

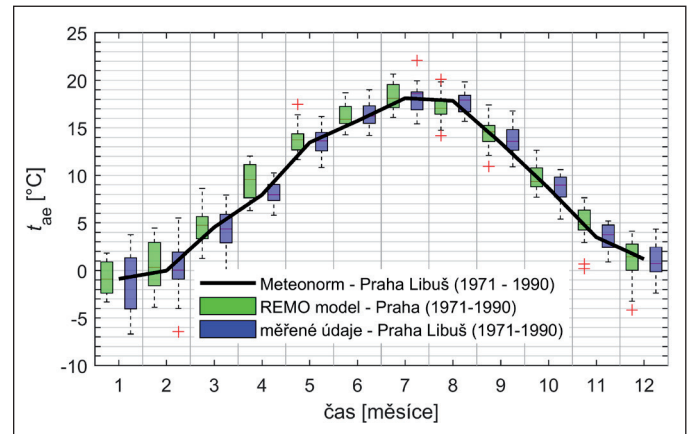
$$h = c_a t + x(c_v t + l_v) \quad (3)$$

Tepelný simulační model budovy

Výpočty potřeb tepla na vytápění a chlazení byly provedeny vlastním simulačním modelem implementovaným v prostředí Matlab a Simulink [8]. Model byl podrobněji popsán v příspěvku [9].

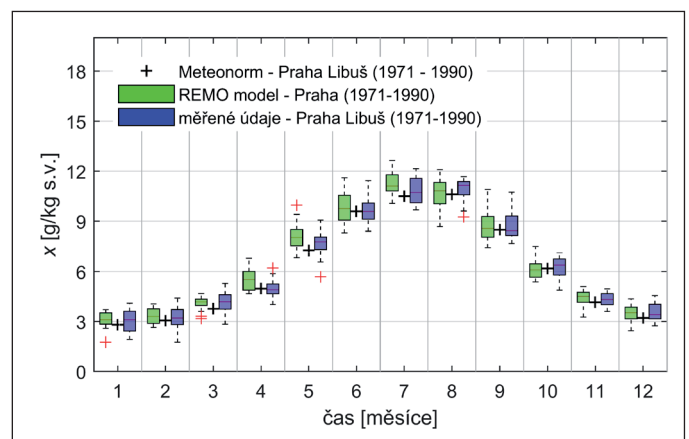
VERIFIKACE MODELOVÝCH KLIMATICKÝCH ÚDAJŮ

Nejprve bylo potřeba zjistit, zda modelové klimatické údaje dostatečně věrně vyjadřují reálné klimatické podmínky v dané lokalitě. Modelové



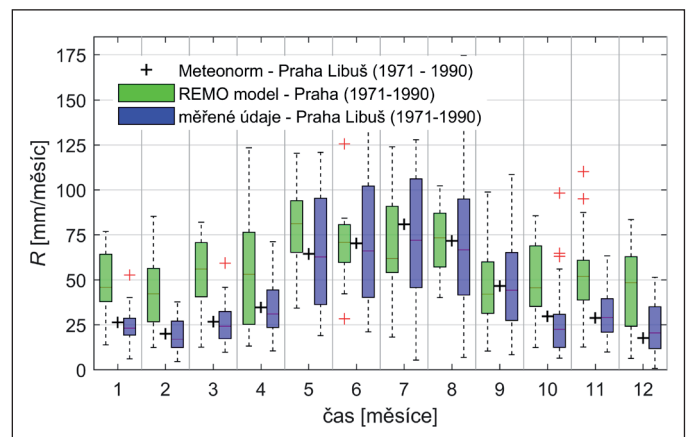
Obr. 1 Porovnání údajů z modelu REMO a měřených údajů ze stanice Praha Libuš: průměrné měsíční teploty venkovního vzduchu

Fig. 1 Comparison of data from REMO model and data measured at Prague Libuš station: monthly average outdoor air temperatures



Obr. 2 Porovnání modelových a měřených údajů ze stanice Praha Libuš: průměrné měsíční měrné vlhkosti venkovního vzduchu

Fig. 2 Comparison of modelled data and data measured at Prague Libuš station: monthly average humidity ratio of outdoor air



Obr. 3 Porovnání REMO modelu a měřených údajů ze stanice Praha Libuš: měsíční srážkové úhrny

Fig. 3 Comparison of REMO model and data measured at Prague Libuš station: monthly total precipitation

klimatické údaje pro Prahu [6] proto byly porovnány s měřeními klimatickými údaji ze stanice Praha Libuš [10]. Pro porovnání byly použity údaje z časového období 1971–1990. Vzájemné porovnání je navíc doplněno průměrnými měsíčními hodnotami získanými ze softwaru Meteororm [11].

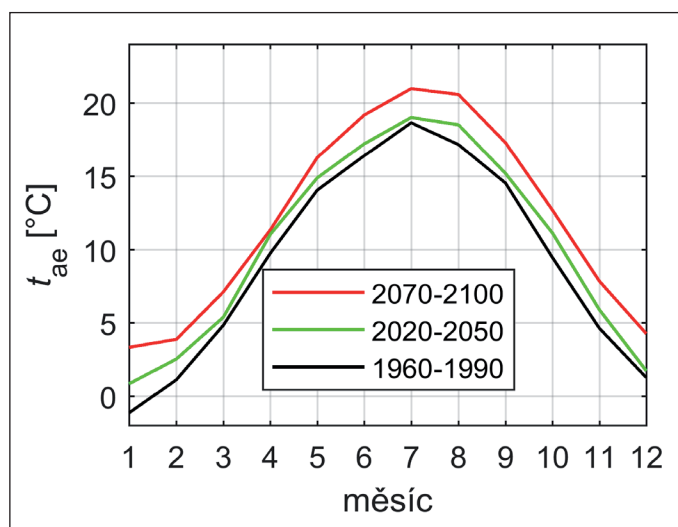
Z průměrných měsíčních hodnot teploty, měrné vlhkosti a srážek byly vytvořeny krabicové grafy (viz obr. 1 až 3). Krabicový graf zobrazuje rozložení veličiny pomocí kvartilů. Spodní a horní hrana krabice představuje 1. a 3. kvartil, a tedy mezi oběma hranami se nachází 50 % hodnot z datového souboru. Čára uvnitř krabice vyznačuje medián. Horní a spodní hrana „fousu“ krabicového diagramu představuje vzdálenost 1,5násobku rozdílu mezi hodnotou 1. a 3. kvartilu od horní a spodní hrany krabice. Pokud mají data normální rozdělení pravděpodobnosti, tak mezi oběma „fousy“ se nachází 99,3 % hodnot. Červené křížky jsou odlehle hodnoty. Z důvodu zachování viditelnosti jsou krabicové diagramy na obr. 1 až 3 posunuty nalevo a napravo od svislých čar vyznačujících jednotlivé měsíce.

Modelové údaje pro teplotu venkovního vzduchu (viz obr. 1) a měrnou vlhkost (viz obr. 2) v období 1960–1990 jsou posazeny o něco výše, než jsou měřené údaje. Průměrná roční teplota dopočítaná z měřených údajů v Praze Libuši byla 8,7 °C, zatímco průměrná roční teplota dopočítaná z modelových údajů je 9,3 °C. Průměrná roční měrná vlhkost dopočítaná z měřených údajů byla 6,4 g/kg_{s.v.}, zatímco průměrná roční měrná vlhkost dopočítaná z modelových údajů je 6,6 g/kg_{s.v.}.

V případě srážkových úhrnů (viz obr. 3) je patrný výraznější nesoulad mezi modelem a měřeními údaji. Roční srážkový úhrn dopočítaný z měřených údajů byl 527 mm, zatímco průměrný roční úhrn srážek dopočítaný z modelových údajů byl 675 mm.

Při pohledu na jednotlivé měsíční hodnoty není teplotní rozdíl příliš výrazný. K nadhodnocení teploty dochází zejména u jarních měsíců. Srážkové úhrny jsou výrazně nadhodnoceny zejména v chladné části roku (viz obr. 3), zatímco shoda údajů v teplé části roku je o dost lepší. Rozdíl v měrné vlhkosti je patrný zejména během jarních měsíců a patrně souvisí s nadhodnocením srážek a teplot.

Teplota venkovního vzduchu je modelem předpovídána s menší chybou než vlhkost vzduchu či srážky. Srážkové úhrny jsou značně nadhodnoceny. S tímto je potřeba přistupovat k výsledkům prezentovaným v následujících kapitolách.



Obr. 4 Průběh měsíčních průměrných hodnot teploty venkovního vzduchu (Praha) pro jednotlivá časová období

Fig. 4 The course of monthly average values of outdoor air temperature (Praha) for each time period

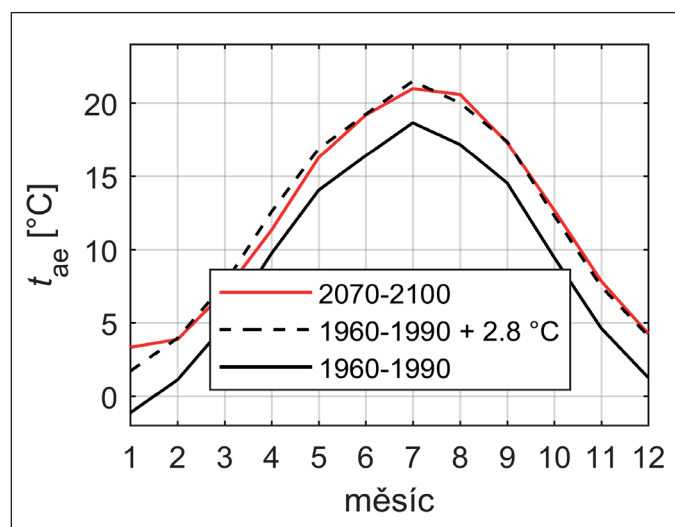
ANALÝZA ZMĚN KLIMATICKÝCH VELIČIN

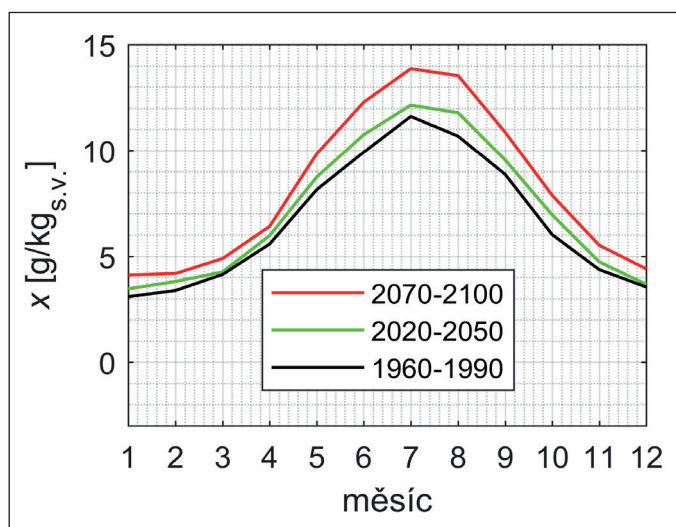
Změna ročních hodnot

Změny ročních hodnot klimatických veličin jsou shrnuty v tab. 2. Průměrná roční teplota venkovního vzduchu je v období 2070–2100 vyšší o 2,8 °C. Průměrná roční měrná vlhkost je v období 2070–2100 vyšší o 1,6 g/kg_{s.v.}. Průměrná roční dávka globálního ozáření je nižší o 44 kWh/m² (pokles o cca 4 %). Počet tropických dnů je v období 2070–2100 více než trojnásobný, zatímco počet ledových dnů klesá přibližně na jednu třetinu.

Tab. 2 Roční klimatické ukazatele (Praha, REMO model, vypočítáno pro IPCC scénář A1B)
Tab. 2 Annual climatic indicators (Prague, REMO model, calculated for IPCC scenario A1B)

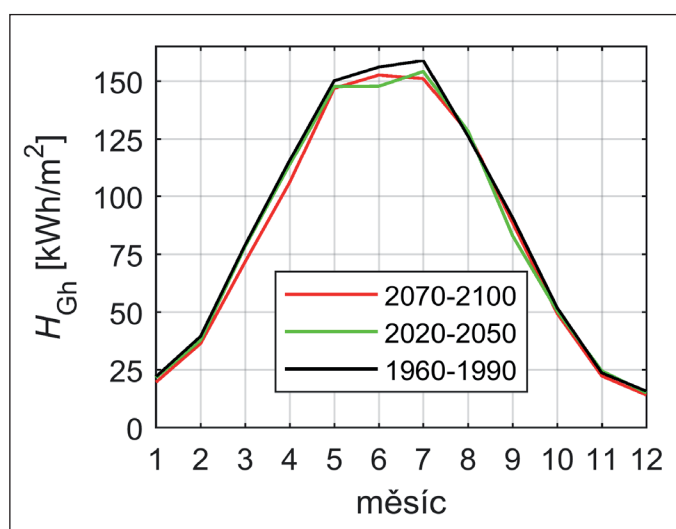
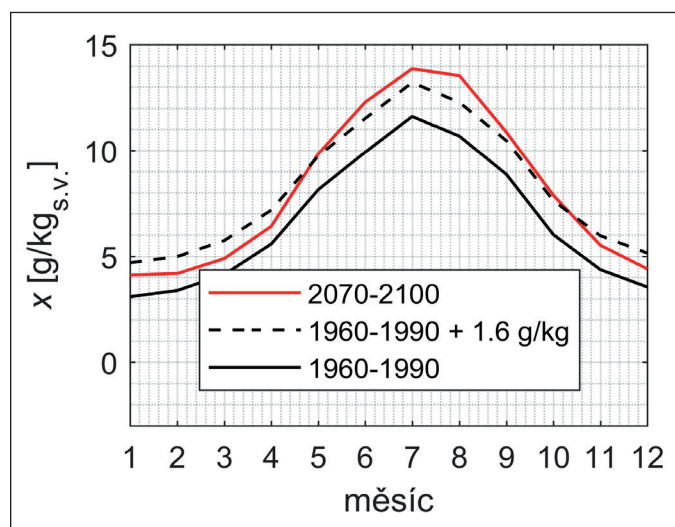
Veličina	Jednotka	1960–1990	2020–2050	2070–2100
Průměrná roční teplota venkovního vzduchu	[°C]	9,3	10,3	12,1
Průměrná roční maximální teplota venkovního vzduchu	[°C]	32,9	33,6	37,0
Průměrná roční minimální teplota venkovního vzduchu	[°C]	-14,9	-10,5	-6,3
Průměrná roční relativní vlhkost vzduchu	[%]	74	74	74
Průměrná roční měrná vlhkost vzduchu	[g/kg _{s.v.}]	6,6	7,2	8,2
Průměrná roční dávka globálního slunečního ozáření na horizontální rovinu	[kWh/(m ² rok)]	1031	1004	987
Průměrný počet ledových dnů	[dny/rok]	35	25	10
Průměrný počet mrazových dnů	[dny/rok]	74	59	33
Průměrný počet letních dnů	[dny/rok]	33	41	63
Průměrný počet tropických dnů	[dny/rok]	6	8	20
Průměrný počet tropických nocí	[dny/rok]	1	1	8
Průměrný roční srážkový úhrn	[mm/rok]	675	713	743
Průměrný počet srážkových dní s úhrnem ≥ 5 mm	[dny/rok]	44	44	46
Průměrný počet srážkových dní s úhrnem ≥ 10 mm	[dny/rok]	14	16	17
Průměrný maximální denní srážkový úhrn	[mm/den]	29	39	41





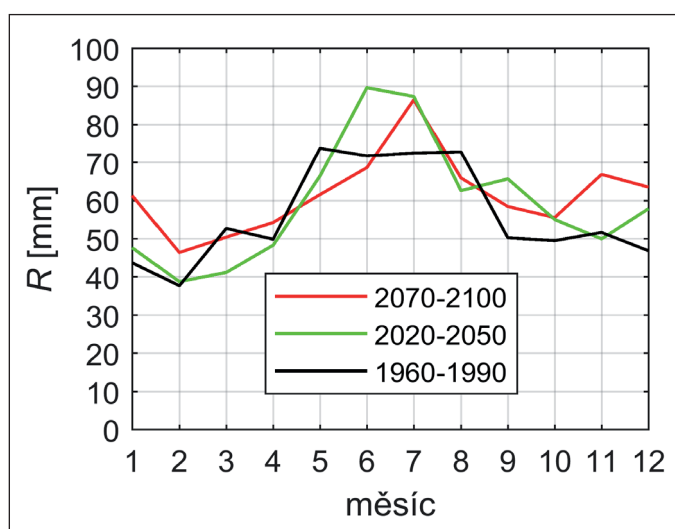
Obr. 5 Průběh měsíčních průměrných hodnot měrné vlhkosti venkovního vzduchu (Praha) pro jednotlivá časová období

Fig. 5 The course of monthly average values of humidity ratio of outdoor air (Prague) for each time period



Obr. 6 Průběh měsíčních průměrných dávek globálního slunečního ozáření na vodorovnou rovinu pro jednotlivá časová období

Fig. 6 The course of monthly average values of global horizontal solar irradiation for each time period



Obr. 7 Průběh měsíčních úhrnů srážek na horizontální rovině pro jednotlivá časová období

Fig. 7 The course of monthly total precipitation on the horizontal plane for each time period

Změna měsíčních hodnot

Průběh měsíčních průměrných hodnot teploty venkovního vzduchu je zobrazený na obr. 4 vlevo. Posun teplot směrem vzhůru mezi časovými obdobími není stejně výrazný pro všechny měsíce, nejvýraznější je v nejméně chladném měsíci roku (leden) a nejméně výrazný na jaře (duben). Obr. 4 vpravo zobrazuje odhad měsíčních průměrných teplot venkovního vzduchu v období 2070–2100, pokud by se průběh odpovídající období 1960–1990 jednoduše posunul vzhůru o vhodnou konstantní hodnotu, a to o 2,8 °C (2,8 °C představuje rozdíl průměrných ročních teplot venkovního vzduchu v období 2070–2100 a období 1960–1990, viz tab. 2).

Průběh měsíčních průměrných hodnot měrné vlhkosti venkovního vzduchu je zobrazený na obr. 5 vlevo. Měrná vlhkost venkovního vzduchu v období 2070–2100 je vyšší než v období 1960–1990. Zvýšení je nejvýraznější během letního období (přibližně 2,5 g/kg_{s.v.}). V zimních měsících není zvýšení tak výrazné (přibližně 0,8 g/kg_{s.v.}). Použití konstantního posunutí (1,6 g/kg_{s.v.} je rozdíl průměrných měrných vlhkostí mezi 2070–2100 a 1960–1990, viz tab. 2) tedy vede k výraznější

chybě, než tomu bylo u teplot venkovního vzduchu (viz obr. 5 vpravo).

Průběh měsíčních průměrných dávek globálního slunečního ozáření je znázorněn na obr. 6. Budoucí období vykazují malý, ale zaznamatelný pokles měsíčních dávek ozáření (<10 kWh/m²měsíc).

Průběh průměrných měsíčních úhrnů srážek je zobrazený na obr. 7. Měsíční srážkové úhrny v období 2070–2100 jsou systematicky vyšší v zimních měsících než srážky v období 1960–1990.

Změny v četnosti výskytu

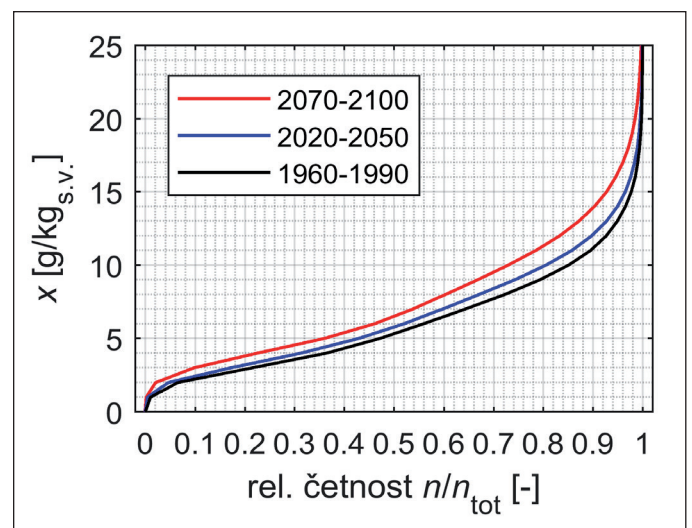
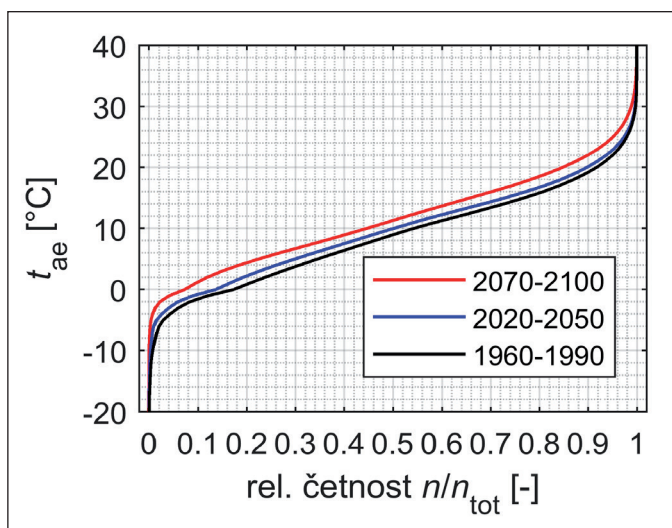
Změny absolutních četností výskytu teploty a měrné vlhkosti venkovního vzduchu v daném období jsou shrnuty v tab. 3. Změna relativní četnosti teploty a měrné vlhkosti je zobrazena na obr. 8. Změny v rozložení pravděpodobnosti výskytu teplot pro nejméně chladný a nejteplejší měsíc v roce jsou zobrazeny na obr. 9. Změna četnosti počtu po sobě souvisle jdoucích ledových dnů (délka velmi chladného období) je zobrazena na obr. 10 vlevo a změna četnosti počtu po sobě souvisle jdoucích tropických dnů (délka velmi teplého období) na obr. 10 vpravo.

Tab. 3 Průměrná absolutní četnost výskytu teplot a měrné vlhkosti v daném intervalu během časového období

Tab. 3 Average absolute frequency of temperature and humidity ratio in a given period during the time span

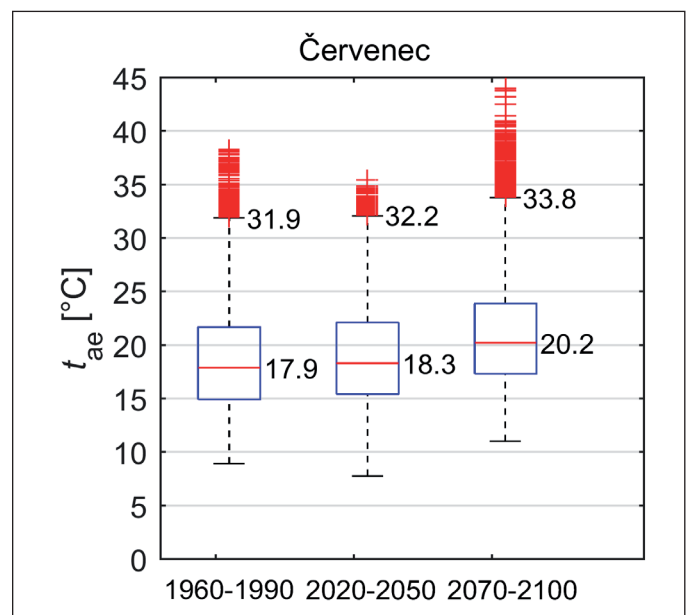
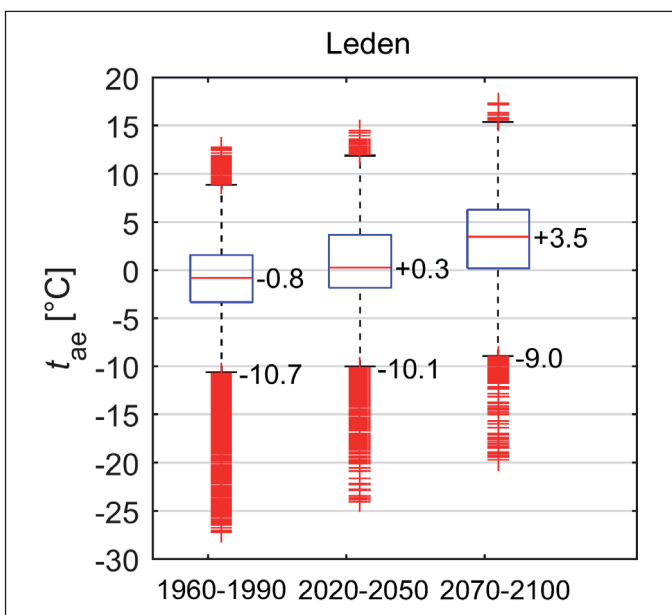
Interval teplot [°C]	Met*)	Praha (REMO model [7])			Interval měrných vlhkostí [g/kg]	Met*)	(REMO model [7])		
	1960–1990	1960–1990	2020–2050	2070–2100		1960–1990	1960–1990	2020–2050	2070–2100
≤ -20	0	6	1	0	≤ 3	1537	1129	879	434
(-20, -10>	52	52	25	4	(3, 6>	3368	3391	3296	3192
(-10, 0>	1288	1182	925	466	(6, 9>	2039	2126	2024	1944
(0, 10>	3573	3292	3216	3209	(9, 12>	1153	1347	1502	1527
(10, 20>	2998	3395	3569	3592	(12, 15>	448	520	690	930
(20, 30)	843	802	984	1365	(15, 18)	188	178	254	437
≥ 30	6	30	40	123	≥ 18	27	66	112	267

*) údaje ze softwaru Meteonorm [11]



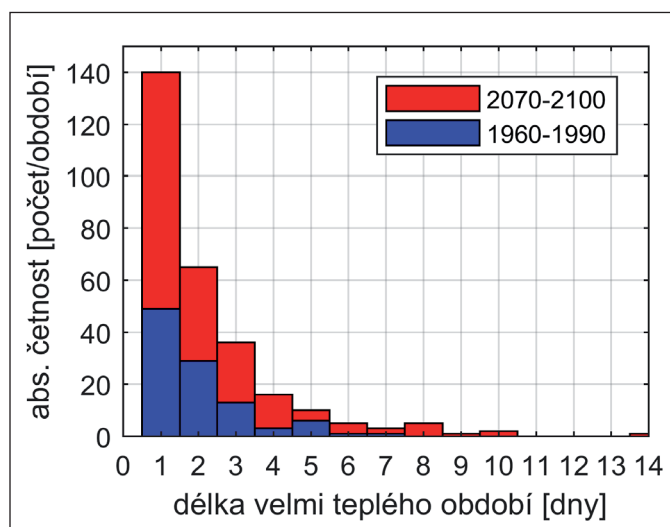
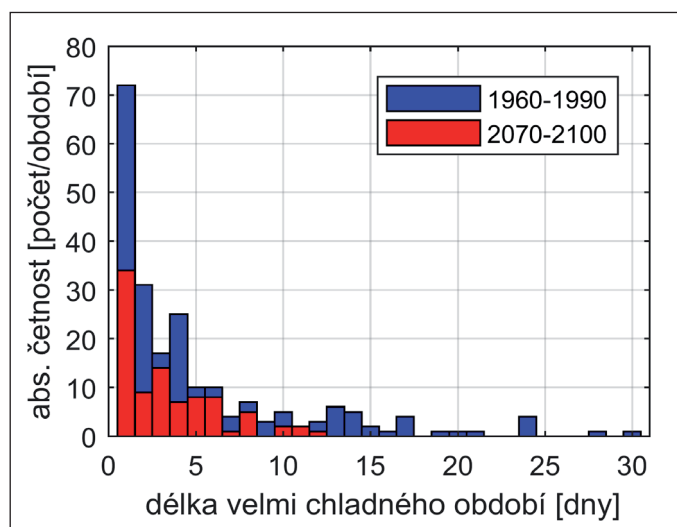
Obr. 8 Změna relativní četnosti teploty (vlevo) a měrné vlhkosti (vpravo) venkovního vzduchu

Fig. 8 Change in relative frequency of temperature (left) and humidity ratio (right) of the outdoor air



Obr. 9 Rozložení pravděpodobnosti výskytu teploty venkovního vzduchu pro nejstudenější (vlevo) a nejteplejší měsíc (vpravo) v roce (červeně vyznačeny odlehlé hodnoty)

Fig. 9 Probability distribution of outdoor air temperature for the coldest (left) and warmest month (right) of the year (outliers marked red)



Obr. 10 Absolutní četnosti délky velmi chladného a velmi teplého období (porovnání mezi obdobími 1960–1990 a 2070–2100)

Fig. 10 Absolute frequency of the length of very cold and very warm periods (comparison between the periods 1960–1990 and 2070–2100)

Změny v hodinostupních a entalpihodinách

Hodinostupně pro vytápění a chlazení vypočítané podle vztahu (1), resp. entalpihodiny vypočítané podle vztahu (2) jsou shrnuty v tab. 4. Potřeba tepla na vytápění a potřeba tepla na chlazení budov je do jisté míry ovlivňována počtem hodinostupňů. Pokud budeme zjednodušeně uvažovat potřeby jako přímo úměrné počtu hodinostupňů, tak potřeba tepla na vytápění v období 2070–2100 může klesnout přibližně o jednu třetinu v porovnání se stavem v nedávné minulosti a potřeba tepla na chlazení (jen citelné teplo) se může přibližně 3× zvýšit. Obdobný vzestupný trend lze také sledovat u entalpihodin.

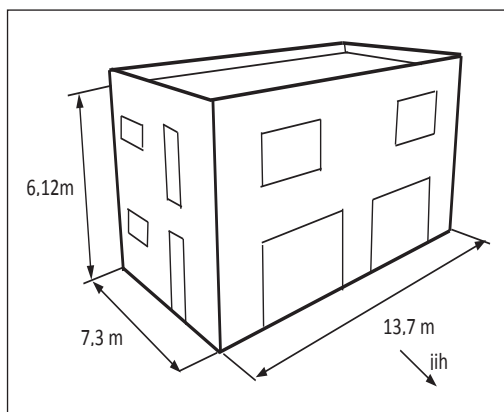
 Tab. 4 Hodinostupně pro vytápění a chlazení a entalpihodiny
 Tab. 4 Heating and cooling degree-hours and enthalpy-hours

Veličina	Praha		
	1960–1990	2020–2050	2070–2100
HDH13 [K·h]	47937	41608	32574
CDH25 [K·h]	558	712	1667
EH25/40 [(kJ/kg _{s,v})·h]	11996	16600	29979

PŘÍPADOVÁ STUDIE

Modelový objekt

Modelový objekt (viz obr. 11) představuje rodinný dům s jednoduchou geometrií (rozměry 13,7 × 7,3 × 6,12 m). Budova svou velikostí a rozlo-



Zastavěná plocha [m ²]	100
Objem [m ³]	612
Ochlazovaná plocha [m ²]	457
Objemový faktor tvaru [m ² /m ³]	0,75
Vytápěná podlahová plocha z celkových vnitřních rozměrů [m ²]	159–170 (V1) 172–184 (V2) *
* nejvyšší hodnoty odpovídají variantě REF, nejnižší hodnoty odpovídají variantě PH	

 Obr. 11 Modelový rodinný dům (pohled na jižní a západní fasádu) a jeho základní geometrické parametry
 Fig. 11 Model family house (view of south and west façade) and its basic geometric parameters

žením průsvitných ploch v rámci fasády odpovídá dnešnímu standardu výstavby rodinných domů. Uvažují se dvě konstrukční varianty – zděná budova (V1) a dřevostavba (V2) a tři varianty úrovně tepelné izolace obálky budovy (RF – referenční varianta, LE – obálka budovy s parametry nízkoenergetického domu, PH – obálka budovy s parametry pasivního domu). Venkovní objem modelového objektu zůstává v jednotlivých variantách stále stejný.

Součinitele prostupu tepla a plochy stavebních prvků jsou shrnuty v tab. 5. Podlaha na zemině se pro zjednodušení považuje za dokonale tepelně izolovanou. Toto zjednodušení mírně podhodnocuje potřebu tepla na vytápění a mírně nadhodnocuje potřebu tepla na chlazení. Zjednodušení nicméně zásadně neovlivňuje trendy výstupních veličin (porovnání mezi jednotlivými časovými obdobími).

Předpokládá se, že uvnitř budovy žije čtyřčlenná rodina. Obsazenost a časový profil vnitřních tepelných zisků přesně odpovídá „Rodině 2“ z literatury [14], průměrně 348 W/dům, tj. 2 W/m² podlahové plochy. Rodinu tvoří dva dospělí (rodiče) a dvě děti. Jeden rodič je přes den pryč, druhý je s menším dítětem v domácnosti. Větší dítě je přes den ve škole.

Přívod čerstvého vzduchu do modelového domu je zajištěn mechanickým větráním se zpětným získáváním tepla (účinnost ZZT 85 % pro variantu PH, 75 % pro variantu LE, resp. 0 % pro variantu RF, bypass rekuperátoru je aktivován, když $T_{ae} > 15$ °C, bypass je deaktivován, když $T_{ae} < 5$ °C). Množství čerstvého vzduchu je ve všech variantách uvažováno jako závislé na počtu přítomných osob (dávka 25 m³/(h·os)). Do větrací jednotky se přivádí vzduch s teplotou rovnající se teplotě venkovního vzduchu. Zvýšení intenzity větrání během noci se neuvažuje. Toto zjednodušení vede k nadhodnocení maximální teploty vnitřního vzduchu a potřeby tepla na chlazení.

Předpokládá se, že systém vytápění a chlazení má neomezený a okamžitě dostupný výkon. Systém udržuje požadované teploty vnitřního vzduchu 21 °C (vytápění) a 26 °C (chlazení). Předpokládá se, že teplo od systému vytápění a chlazení se předává ze 100 % prouděním.

Tab. 5 Plochy a součinitele prostupu tepla stavebních prvků
Tab. 5 Area and thermal transmittance of building elements

Stavební prvek	Plochy	RF	LE	PH	
	A [m ²]	U [W/(m ² K)]			
Venkovní stěna	201,83	0,30	0,24	0,15	
Střecha	100	0,24	0,18	0,13	
Podlaha na zemině	100	0	0	0	
Okna	východ	7,68	1,5	1,0	0,7
	jih	28,32			
	západ	7,68			
	sever	11,52			
Tepelné mosty a vazby	-	0,05	0,02	0	
Agregované tepelné charakteristiky obálky budovy	průměrný součinitel prostupu tepla obálky budovy U_{em} [W/(m ² K)]	0,39	0,27	0,17	
	celková tepelná kapacita budovy, vztažená k ochlazované ploše obálky C [MJ/(m ² K)]	0,30 pro V1 0,10 pro V2			

Vysvětlivky: RF – referenční varianta, LE – nízkoenergetický dům, PE – pasivní dům, V1 – zděná budova, V2 – dřevostavba

Modelová budova je také vybavena venkovním pohyblivým stínícím systémem. Činitel stínění v aktivovaném stavu se uvažuje hodnotou 0,3 (snížení hodnoty globálního slunečního ozáření venkovní roviny skla na 30 %). Uvažuje se, že stínění je aktivováno právě tehdy, když průměrná vnitřní operativní teplota překročí 25 °C. Stínění je naopak deaktivováno, když operativní teplota klesne pod 22 °C (za předpokladu, že stínění již předtím bylo v aktivovaném stavu).

Scénáře simulace

Simulace modelového rodinného domu byly provedeny pro tři různé scénáře využití systému vytápění, chlazení a venkovního stínění (viz tab. 6).

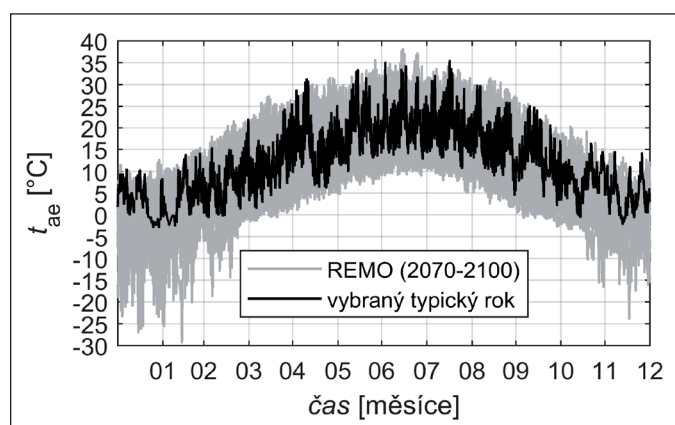
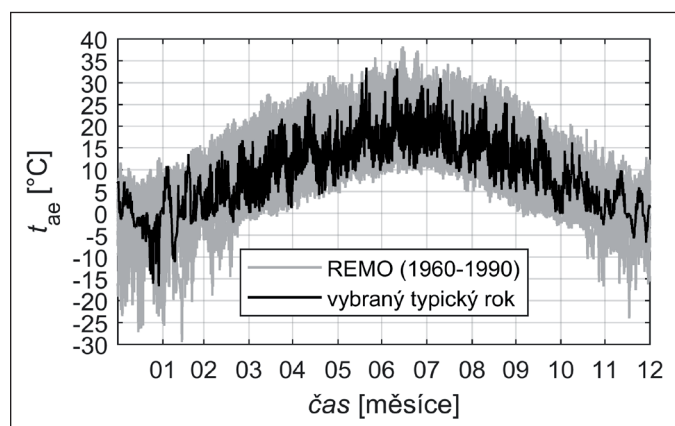
Tab. 6 Scénáře simulace modelové budovy
Tab. 6 Simulation scenarios of model building

Scénář	Vytápění	Chlazení	Stínění
Simulace 1	ano	ne	ano
Simulace 2	ano	ano	ne
Simulace 3	ano	ano	ano

Okrajové podmínky simulace

Tepelné simulace modelového objektu nebyly provedeny pro každý rok z datového souboru, což by bylo příliš časově náročné. Místo toho byl z každého datového souboru vybrán typický rok (viz obr. 12). S vybranými typickými roky byly pro každé časové období provedeny tepelné simulace modelové budovy.

Použitá metoda výběru typického roku byla v principu obdobná metodě výběru typického meteorologického roku popsané v literatuře [12]. Z hodinových teplotních údajů se pro každý měsíc a rok vytvořilo kumulativní rozdělení četnosti (distribuční funkce), které se posléze porovnávalo s kumulativním rozdělením četnosti dopočítaným pro každý měsíc ze všech let v datovém souboru. Typický rok je posléze složen z měsíců, které vykazují nejmenší odchylku svojí distribuční funkce od rozdělení četnosti vytvořeného ze všech let v datovém souboru. Výběr typických měsíců byl zjednodušeně proveden pouze na základě teploty venkovního vzduchu, ostatní klimatické veličiny při výběru nehrály roli.

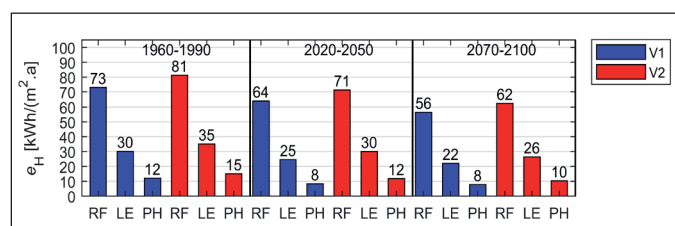


Obr. 12 Vybrané typické roky pro časová období 1960–1990 a 2070–2100 (průběh teploty venkovního vzduchu)

Fig. 12 Selected typical years for the periods 1960–1990 and 2070–2100 (outdoor air temperature course)

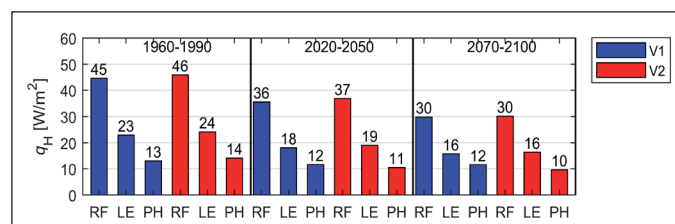
Vypočítané výsledky

Vypočítané měrné potřeby tepla a měrné špičkové výkony vytápění jsou zobrazeny na obr. 13, resp. obr. 14. Roční maximální teplota vnitřního vzduchu a počet hodin, kdy je teplota vnitřního vzduchu vyšší než 27 °C, jsou zobrazeny na obr. 15 a 16. Počet hodin, kdy teplota vnitřního vzduchu přesáhla 27 °C, je zobrazený na obr. 17.



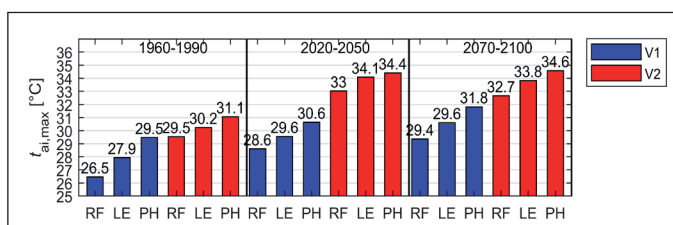
Obr. 13 Simulace 1 – měrná potřeba tepla na vytápění

Fig. 13 Simulation 1 – space heating demand



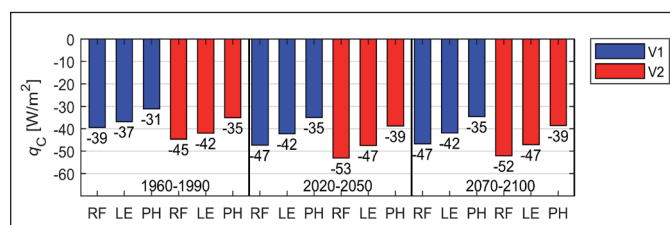
Obr. 14 Simulace 1 – špičkový výkon vytápění

Fig. 14 Simulation 1 – peak heating power



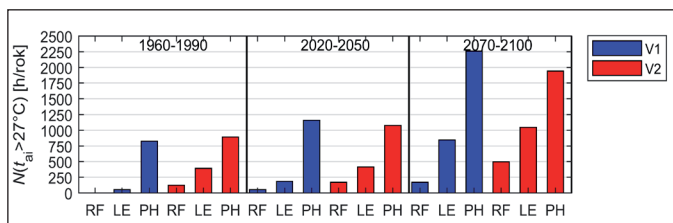
Obr. 15 Simulace 1 – roční maximální teplota vnitřního vzduchu

Fig. 15 Simulation 1 – annual maximum internal air temperature



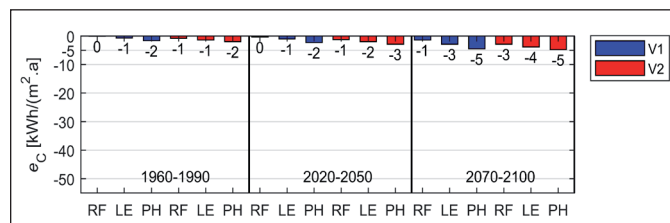
Obr. 19 Simulace 2 – špičkový výkon chlazení

Fig. 19 Simulation 2 – peak cooling power



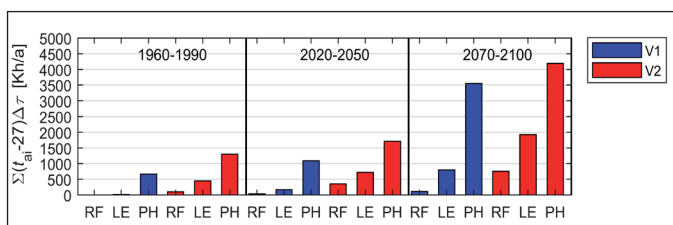
Obr. 16 Simulace 1 – četnost teploty vnitřního vzduchu vyšší než 27 °C

Fig. 16 Simulation 1 – frequency of internal air temperature over 27 °C



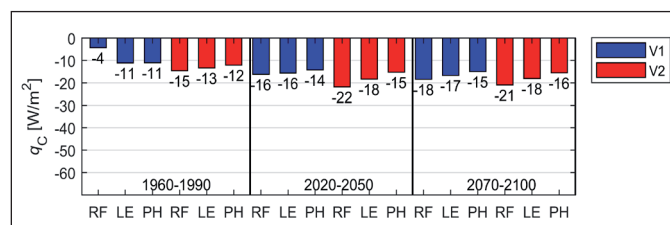
Obr. 20 Simulace 3 – měrná potřeba tepla na chlazení

Fig. 20 Simulation 3 – space cooling demand



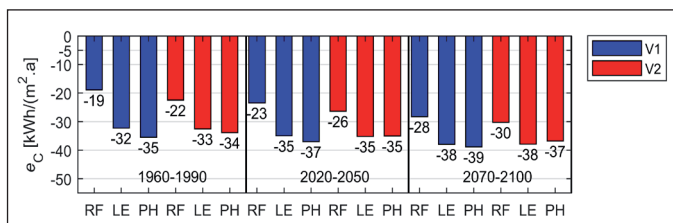
Obr. 17 Simulace 1 – počet hodinostupňů, kdy teplota vnitřního vzduchu přesáhla 27 °C

Fig. 17 Simulation 1 – number of degree-hours when the internal air temperature exceeded 27 °C



Obr. 21 Simulace 3 – špičkový výkon chlazení

Fig. 21 Simulation 3 – peak cooling power



Obr. 18 Simulace 2 – měrná potřeba tepla na chlazení

Fig. 18 Simulation 2 – space cooling demand

DISKUSE VÝSLEDKŮ

Změny klimatických podmínek pro Českou republiku

Nejprve je vhodné znovu připomenout, že nejistota předpovědi změn klimatických údajů je velmi vysoká. Není například vůbec jisté, zda dojde k naplnění předpokládaného scénáře A1B (vývoj lidské společnosti se těžko odhaduje). Existuje ale také nejistota globálního i regionálního výpočtového modelu. Modelovaný systém je složitý a je jisté, že matematický popis není zcela kompletní. Účelem využití modelových klimatických údajů tedy nemůže být co nejpřesnější předpověď absolutních hodnot klimatických veličin. Data spíše slouží k odhalení možných trendů v dlouhodobějším pohledu.

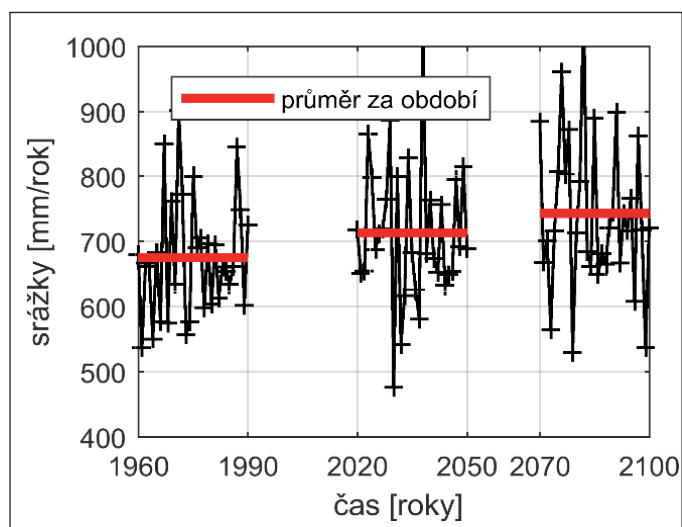
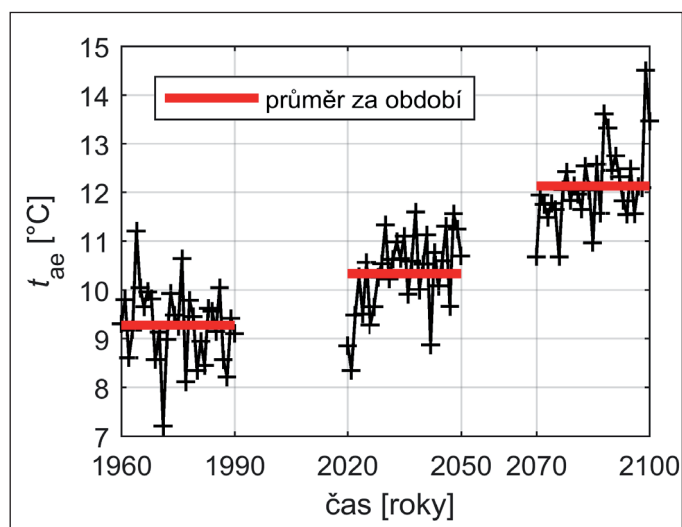
V budoucnosti mohou nastávat kratší a mírnější zimní období, než je dnes běžné, což se mimo jiné může projevit značným poklesem počtu ledových a mrazových dnů (viz tab. 2). Prakticky to může znamenat, že z lokalit

v nížinách postupně zmizí sněh. I na horách bude sněhu ubývat, přičemž se bude zkracovat období, po které bude ležet souvislá sněhová pokrývka.

V budoucnosti naopak mohou v letní polovině roku nastávat delší a teplejší období, než je dnes běžné, což se mimo jiné může projevit nárůstem počtu letních dnů, tropických dnů a tropických nocí a nárůstem maximálních denních teplot (viz tab. 2). Souběh tropických dnů a tropických nocí znamená, že období veder je pro člověka hůře snesitelné, protože jeho odpočinek v noci není kvalitní. Špatný odpočinek vede k nižší pracovní produktivitě a větší chybivosti, projevující se například zvýšením počtu dopravních nehod. V této souvislosti je také vhodné připomenout, že modelové klimatické údaje v sobě neobsahují vliv tepelného ostrova vytvořeného větším městem či urbanizovaným prostorem, které může lokální klimatické podmínky ještě zhoršit [15].

Pozorovaný trend zvýšení teploty venkovního vzduchu není lineární. Vzestup průměrné teploty celého časového období je mezi obdobími 2020–2050 a 2070–2100 vyšší (změna z 10,3 °C na 12,1 °C) než vzestup průměrné teploty mezi obdobími 1960–1990 a 2020–2050 (změna z 9,3 °C na 10,3 °C), viz tab. 2. Zároveň je zřejmé, že rok považovaný za výjimečně teplý v období 1960–1990 může být považovaný za teplotně podprůměrný v období 2070–2100, resp. rok považovaný za teplotně normální v období 1960–1990 může být v období 2070–2100 rokem naprosto výjimečně chladným (viz obr. 22 vlevo).

Modelové klimatické údaje naznačují, že venkovní vzduch by v budoucnosti mohl být o něco vlhčí než dnes. Vyšší absolutní vlhkost venkovního vzduchu patrně souvisí s vyšším výparem při vyšší průměrné teplotě venkovního vzduchu. Teplejší a zároveň vlhčí vzduch může znamenat, že



Obr. 22 Meziroční proměnlivost průměrných ročních teplot a srážek během jednotlivých období (modelové údaje [7] pro Prahu, scénář A1B)

Fig. 22 Year-on-year variability of average annual temperatures and precipitations in each period (model data [7] for Prague, scenario A1B)

zvládnout období veder bude obtížnější, protože potenciál pro ochlazení odparem z povrchu lidského těla bude nižší. Vlhčí vzduch zároveň může znamenat nárůst energie potřebné na jeho odvlhčení, pokud bude prováděno (viz entalpihodiny v tab. 4).

Změna vlhkostních okrajových podmínek může vést ke změně poměrů ve vlhkostní bilanci obálky budov. Například může dojít ke zvýšení zatížení obálky budovy kapalnou vodou v chladnějších obdobích roku (viz obr. 7). Změna vlhkosti vzduchu případně může vést k vlhkostním problémům ve studených prostorech větraných venkovním vzduchem, a to zejména na jaře (např. kondenzace vodní páry na spodní straně průlezného prostoru pod dřevostavbami, či na vnitřních stěnách těžkých objektů s velkou tepelnou setrvačností).

Roční úhrn srážek by se v budoucnosti mohl mírně zvyšovat. Pozorovaná tendence se zdá být logicky v souladu s vyšší měrou vlhkosti vzduchu, resp. vyšším odpařeným množstvím. Je patrný také trend růstu intenzity srážek směrem k vyšším maximálním hodnotám, viz tab. 2, ale také trend vyšší meziroční proměnlivosti ročního úhrnu srážek (viz obr. 22 vpravo). Více srážek v ročním úhrnu ale nemusí znamenat více vody v zásobnících. Hrají roli i jiné okolnosti, jako například spotřeba vody, snížená retenční schopnost krajiny (kvalita půdy, množství zastavěných ploch) a časové rozložení srážek v průběhu roku, přičemž modely indikují sklon k častějšímu výskytu intenzivních srážek přívalového typu střídaných suchými obdobími prakticky beze srážek.

Budovy a jejich blízké okolí mohou pomáhat šetrně hospodařit s vodou, pokud k tomu budou uzpůsobeny. Zadržování dešťové vody v blízkosti budovy (např. v rámci zelené střechy, fasády, nebo v jezírcích či mokřadech umístěných v blízkosti budov), přítomnost stromů a rostlin i snížení plochy betonu a asfaltu v okolí budov mohou pomoci zlepšit místní tepelně-vlhkostní bilanci. Skupenské teplo potřebné na následné postupné odpaření zadržené vody přispívá k ochlazení blízkého okolí a tím ke zlepšení teplotních podmínek v samotné budově.

Diskuze výsledků případové studie modelové budovy

Změny potřeb tepla na vytápění a chlazení a změny teploty vnitřního vzduchu byly kvantifikovány simulačním výpočtem modelového rodinného domu (dvě konstrukční varianty, tři úrovně kvality tepelné izolace obálky). Jelikož byly v simulaci použity vybrané typické roky, představují výsledky ze simulace odhad průměrných hodnot pro každé časové období. Proměnlivost potřeb tepla během časových období nebyla sledována.

Potřeba tepla na vytápění a špičkový výkon vytápění v období 2070–2100 by mohly přibližně klesnout na dvě třetiny až tři čtvrtiny v porovnání s obdobím 1960–1990. U velmi dobře tepelně izolovaných staveb bude potřeba předávat velmi nízké výkony vytápění během většiny otopné sezóny ($< 10 \text{ W/m}^2$ podlahové plochy, viz obr. 14).

Výsledky simulace 1 zobrazují zřetelnou tendenci k přehřívání v budoucnosti (viz obr. 15 až 17). Stav přehřátí budovy (počet hodin, kdy je teplota vnitřního vzduchu nad $27 \text{ }^\circ\text{C}$) může v budoucnu trvat po značnou část roku, a to i v případě, že solární tepelné zisky jsou redukovány stínícím systémem (viz obr. 16). Stav přehřátí může být v období 2070–2100 až čtyřnásobně četnější než v období 1960–1990.

Modelová budova s vyšší akumulací (V1) vykazovala o něco vyšší počet hodin, kdy teplota vnitřního vzduchu přesáhla $27 \text{ }^\circ\text{C}$. Modelová budova s nižší akumulací (V2) naopak dosahovala vyšších maximálních teplot (viz obr. 15) a vyššího počtu hodinostupňů nad $27 \text{ }^\circ\text{C}$, viz obr. 17.

Roční měrná potřeba tepla na chlazení nestíněného, velmi dobře tepelně izolovaného domu v období 2070–2100 se přibližovala k hodnotě $40 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$, viz obr. 18. Měrná potřeba tepla na chlazení nestíněného referenční varianty modelové budovy se naproti tomu pohybovala blízko hodnoty $30 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$. Nárůst potřeby tepla na chlazení oproti období 1960–1990 je mezi 8 až 47 %. Nárůst je nejvýraznější u masivní referenční varianty modelového domu, nejméně výrazný je naopak u velmi dobře tepelně izolované dřevostavby.

Měrnou potřebu tepla na chlazení a měrný špičkový výkon chlazení lze do značné míry redukovat účinným stíněním (viz obr. 20 a 21). Při použití systému venkovního stínění ovládaného dle předpokládaného scénáře zůstávala potřeba tepla na chlazení pod hodnotou $5 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$, a to i v případě velmi dobře tepelně izolovaných budov. Odpovídá to využití chladicího systému přibližně ve třech až čtyřech týdenních vlnách vedra.

Rozdíl ve špičkových výkonech chlazení mezi jednotlivými časovými obdobími není výrazný. Měrný špičkový výkon chlazení souvisí zejména s velikostí solárních tepelných zisků (vnitřní tepelné zisky byly nastaveny pro všechny varianty stejně) a příliš nesouvisí s tepelněizolační kvalitou obálky budovy (s tepelnými zisky přes neprůsvitnou část obálky). Hodnota špičkového měrného chladicího výkonu 50 W/m^2 odpovídá u modelového domu hodnotě celkového chladicího výkonu vyšší než 8 kW. O něco nižší hodnoty špičkového výkonu chlazení u pasivních

domů jsou způsobeny předpokládanou nižší energetickou propustností oken (u varianty PH se předpokládá o něco masivnější rám okna a nižší hodnota energetické propustnosti zasklení než u variant LE a RF).

Omezení platnosti výsledků

V roce 2014 byly zveřejněny nové scénáře možného vývoje koncentrací skleníkových plynů v atmosféře [4] (tzv. reprezentativní směry vývoje koncentrací, značeno jako RCP). Autoři tohoto článku bohužel neměli k dispozici klimatické údaje vypočítané na základě nejnovějších scénářů. Výsledky by tedy v budoucnu měly být přepočítány pro nejnovější scénáře vývoje koncentrací skleníkových plynů.

Změny klimatických veličin byly ilustrovány na příkladu Prahy. Lze očekávat, že změny budou podobné v lokalitách v rámci České republiky ležících v nadmořské výšce nižší než 400 m n.m. Analýza klimatických změn pro lokality ve vyšších nadmořských výškách nebyla provedena.

Výsledky simulačních výpočtů tepelného chování modelové budovy jsou zatíženy nejistotami. Nejistota výsledků existuje jednak kvůli nedokonalosti samotného výpočtového modelu, kdy je například velmi obtížné přesně předpovídat potřeby tepla na chlazení či vytápění, pokud se hodnoty přibližují k nule. Nejistota výsledků také existuje kvůli nepřesnosti okrajových podmínek (klimatické veličiny, obsazenost budovy a chování uživatele atp.). Předpokládaný způsob provozu systému venkovního stínění (aktivace či deaktivace systému stínění podle úrovně vnitřní operační teploty) velmi zjednodušeně modeloval možné chování uživatele. Chování obyvatelů budov k systému stínění se nicméně může lišit, a proto může existovat značný rozptyl spotřeby tepla na chlazení (pro jinak stejnou budovu). Pro potřebu analýzy trendů však uvedené nejistoty nejsou zásadní.

Výsledky jedné případové studie (modelový rodinný dům) nelze jednoduše zobecnit. Lze však kvalifikovaně odhadnout, že trendy výstupních veličin by zůstaly podobné i pro větší bytové domy. Jiné chování mohou naopak vykazovat budovy s výrazně odlišným charakterem provozu či odlišnými geometrickými charakteristikami (například administrativní budovy, halové stavby, školky a školy). Zhodnotit dopad změny klimatu na takové budovy by bylo potřeba provést v samostatné analýze.

ZÁVĚRY

Studie analyzovala možné změny budoucích klimatických podmínek v České republice. Analýza byla založena na porovnání modelových klimatických údajů budoucnosti (období 2020–2050, resp. 2070–2100) s referenčním obdobím nedávné minulosti (1960–1990). Následná případová studie modelového rodinného domu se pokusila kvantitativně vyjádřit změny potřeb tepla na vytápění a chlazení a teploty vnitřního vzduchu v nedaleké budoucnosti.

Hlavní pozorované trendy změny klimatických údajů

- ❑ Vzestup průměrné roční teploty venkovního vzduchu o 2 až 3 °C, s tím související zkrácení zimního období a prodloužení teplé části roku.
- ❑ Prodloužení souvislé délky velmi teplých období, kdy denní maximální teplota venkovního vzduchu přesáhne 30 °C.
- ❑ Zvýšení absolutní vlhkosti vzduchu.
- ❑ Malý pokles (cca o 4 %) roční dávky slunečního ozáření.
- ❑ Větší variabilita srážkových úhrnů.

Hlavní výsledky případové studie modelové budovy

- ❑ Potřeba tepla na vytápění obytných budov v budoucnu pravděpodobně klesne na přibližně dvě třetiny v porovnání s obdobím v nedávné minulosti 1960–1990.

- ❑ Pro dosahování velmi nízkých měrných potřeb tepla na vytápění bude i v budoucnosti potřeba vysoká tepelněizolační kvalita obálky budovy.
- ❑ Teplota vnitřního vzduchu v nechlazených obytných budovách se v budoucnu patrně bude stále častěji dostávat nad 27 °C (přibližně čtyřnásobný nárůst počtu hodin nad 27 °C v porovnání s nedávnou minulostí).
- ❑ Tendence k přehřívání byla viditelná u zděného modelového rodinného domu i u dřevostavby; zároveň byla nejsilnější u domů s vysokou tepelněizolační kvalitou obálky. Období přehřívání se v budoucnu patrně značně prodlouží, stejně tak se zvýší maximální hodnota teploty, na kterou se vnitřní prostředí v budovách během roku dostane.
- ❑ I při využití systému venkovního stínění budou v nedaleké budoucnosti existovat období, ve kterých bude teplota vnitřního vzduchu zejména ve velmi dobře tepelně izolovaných budovách překračovat 27 °C.
- ❑ Pokud budou obytné budovy vybaveny systémem venkovního stínění a zároveň bude tento systém důsledně používán, zůstane roční měrná potřeba tepla na chlazení a měrný špičkový výkon chlazení na nízkých hodnotách (pod 5 kWh/(m²a), resp. ≈15 W/m²), a to i v případě velmi dobře tepelně izolovaných budov.

Další související závěry

- ❑ Potřeba tepla na vytápění a chlazení obytných budov s vysokou tepelněizolační kvalitou obálky a funkčním systémem stínění dosahuje i v budoucnu velmi nízkých hodnot (< 10 kWh/(m²a)). Provozování takových budov má velmi nízký dopad na životní prostředí. Nárůst teploty spojený se změnou klimatu tedy nepředstavuje argument pro snižování požadavků na tepelněizolační kvality obálky budovy.
- ❑ Potřeba tepla na vytápění a chlazení obytných budov s vysokou tepelněizolační kvalitou obálky a funkčním systémem stínění dosahuje řádově obdobných hodnot. I přes oteplení bude vytápění v takových budovách o něco větší položkou (z pohledu ročních potřeb). Bez účinného systému stínění by však potřeba tepla na chlazení v budoucnu několikanásobně převýšila potřebu tepla na vytápění.
- ❑ Důležitou roli v omezení přehřívání může sehrát noční větrání budovy. Popis koncepce větrání budovy (nejen nočního) by měl být nedílnou součástí projektové dokumentace.
- ❑ Pokud budou na střeše, fasádě či v těsné blízkosti budovy umístěny fotovoltaické kolektory, existuje časový souběh produkce elektřiny ze slunce a potřeby tepla na chlazení.
- ❑ Předchozí bod představuje logický argument k využití tepelného čerpadla pro vytápění i chlazení (reverzní chod tepelného čerpadla).

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

Poděkování: Tento článek vznikl za finanční podpory MŠMT v rámci programu NPU I č. L01605 – Univerzitní centrum energeticky efektivních budov – Fáze udržitelnosti a projektu TAČR TH 03030230.

Použité zdroje:

- [1] <https://climate.nasa.gov/evidence/>
- [2] <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/zmena-klimatu/zakladni-informace>
- [3] <http://www.climatewizard.org>
- [4] <http://www.ipcc.ch/>
- [5] STANĚK, K. Přednáška k předmětu Dřevostavby [online]. Dostupné pouze studentům ČVUT, FSv po přihlášení: http://kps.fsv.cvut.cz/file_download.php?fid=7674.
- [6] EU projekt Climate for Culture [online]. Dostupné z: <https://www.climatefor-culture.eu>. Klimatické údaje laskavě poskytl Jos van Schijndel z Technické Univerzity v Eindhovenu.

- [7] Model REMO [online]. Dostupné z: <https://www.remo-rcm.de/059966/index.php.en>
- [8] Matlab a Simulink [online]. Dostupné z: <https://www.mathworks.com/>
- [9] KOPECKÝ, P., SOJKOVÁ, K. O přiměřeném prosklení administrativních budov. *Vytápění, Větrání, Instalace*. 3/2018.
- [10] Denní klimatické údaje pro Prahu Libuň z období 1971–2017 [online]. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/denni-data#>
- [11] Software Meteororm [online]. Dostupné z: www.meteotest.ch
- [12] *Typical meteorological year TMY*. User's manual TD – 9763. National Climatic Center Asheville, North Carolina, 1981.
- [13] STANĚK, K. *Fotovoltaika pro budovy*. GRADA, 2012.
- [14] SOJKOVÁ, K. Potřeba tepla na vytápění a letní tepelná stabilita – rozdíly v závislosti na užívání budovy. In: *Simulace budov a techniky prostředí*. Praha, 8.–9. 11. 2010. Praha: IBPSA-CZ. 2010, s. 49–53. ISBN 978-80-254-8661-0.
- [15] ASIMAKOPOULOS, D. N. *Energy and Climate in Urban Built Environment*. Earthscan, 2001.

Seznam označení:

t_{ae}	teplota venkovního vzduchu [°C]
t_{ai}	teplota vnitřního vzduchu [°C]
H_{gh}	dávka globálního slunečního ozáření dopadající na horizontální rovinu [kWh/m ²]
R	srážkový úhrn [mm]
HDH	hodinostupně pro vytápění [K·h]
CDH	hodinostupně pro chlazení [K·h]
EH	entalpíhodiny [(kJ/kg _{s,v})·h]
e_h	měrná roční potřeba tepla na vytápění [kWh/(m ² a)]
e_c	měrná roční potřeba tepla na chlazení [kWh/(m ² a)]
q_h	měrný špičkový výkon vytápění [W/m ²]
q_c	měrný špičkový výkon chlazení [W/m ²]
c_a	měrná tepelná kapacita vzduchu (= 1006) [J/(kg·K)]
c_v	měrná tepelná kapacita vodní páry (= 1840) [J/(kg·K)]
h	entalpie vlhkého vzduchu [J/kg]
x	měrná vlhkost vzduchu [kg/kg _{s,v}]
l_v	skupenské teplo vypařování (= 2,5·10 ⁶) [J/kg]

Měření vlhkosti a teploty v náročných meteorologických úlohách

Snímač EE33-M od rakouské společnosti E+E Elektronik je optimalizován pro dlouhodobé spolehlivé měření v náročných povětrnostních podmínkách. Kromě velmi přesného měření relativní vlhkosti a teploty vyhodnocuje i odvozené fyzikální veličiny, jakými jsou rosny bod, teplota mokrého teploměru, parciální tlak vodní páry, měrnou vlhkost, absolutní vlhkost a entalpii. Systém teplotní a vyhřívání teplotně-vlhkostní sondy zaručuje rychlou odezvu měření na měnící se podmínky a poradí si i s kondenzací v měřeném vzduchu. Teplotně-vlhkostní sonda je vybavena vyhříváním senzorem vlhkosti a senzorem teploty. Senzor vlhkosti je vyhříván na teplotu, která je o něco málo vyšší než teplota okolního prostředí. Tím je zabráněno kondenzaci a relativní vlhkost v nejbližším okolí senzoru vlhkosti se pohybuje nanejvýš okolo 85 %, což je hodnota, při které je stále zaručena vynikající přesnost měření. Navíc nehrozí, že by se na senzoru nebo na krytu sondy vysrážela zkondenzovaná vodní pára. Senzor vlhkosti podává informaci o relativní vlhkosti ve svém nejbližším okolí a senzor teploty udává, při jaké teplotě je této relativní vlhkosti dosaže-

no. Z těchto dvou hodnot je elektronika snímače schopna vypočítat rosny bod, který je stejný v celém prostoru se snímačem, nikoliv pouze v zahřátém okolí teplotně-vlhkostní sondy. Relativní vlhkost celého prostředí kolem snímače se měří v místě samostatného senzoru teploty, který umožňuje vypočítání relativní vlhkosti na základě informace o rosném bodu a hodnotě teploty naměřené tímto senzorem.

Senzor vlhkosti je kromě toho vybaven patentovanou ochrannou vrstvou, aby k senzoru nepronikaly jiné molekuly než molekuly vodní páry. Výsledkem použití této ochranné vrstvy je dlouhodobá odolnost proti korozi a chemickému znečištění, které by mohly nepříznivě ovlivnit životnost senzoru nebo přesnost měření. Oba dva senzory teplotně-vlhkostní sondy jsou navíc kryty filtrem s příměsí teflonu, na kterém neulpívají nečistoty.

Snímače jsou obzvláště vhodné pro úlohy, jakými jsou měření v náročných povětrnostních podmínkách na větrných elektrárnách, na moři apod. Díky krytu snímač odolává nejen slunečnímu záření, ale i dešti, sněhu nebo námraze.

Volitelně je k dispozici i rozhraní s konfiguračním softwarem, které uživateli dovoluje konfigurovat výstupy nebo kalibrovat teplotu a relativní vlhkost. Se sadou ampulí s nenasyceným solným roztokem a kalibrační komůrkou, kterou výrobce rovněž nabízí, může uživatel snímač kalibrovat v podstatě kdekoliv, aniž by potřeboval vlastní kalibrační laboratoř. V případě požadavku na velmi přesnou kalibraci za speciálních podmínek se uživatel navíc může obrátit na výrobce, jehož kalibrační laboratoř je držitelem rakouského vlhkostního standardu.

Zdroj: AUTOMA 7/2018

(VZ)

BIM optimalizuje plánování budov

BIM – „Building Information Modelling“ – softwarově podporovaná metoda optimalizuje plánování budov. Data budov se ve virtuálním 3D modelu, jenž zobrazuje geometrii reálného modelu, na němž spolupracují všechny obory, digitálně vytvářejí, zpracovávají a tvoří síť. S každým stavebním dílem a prvkem 3D modelu lze mnohostranně informace (např. hmoty, materiály a cykly údržby) propojit a v průběhu plánování budovy vylepšit. Budovy tak lze pomocí BIM optimalizovat, simulovat a modelovat, počínaje plánováním, přes provedení až po provoz. Pomocí 3D modelu tak lze již ve fázi plánování odhalit potenciální závady a zabránit jejich důsledkům. Navíc se již v této fázi dají vyjádřit odhady nákladů stavby, náklady životního cyklu a intervaly údržby. Finálním výsledkem BIM je 3D model, který představuje obraz reálné budovy a obsahuje data důležitá pro její další provoz.

Pramen: CCI 02/2018, s. 26

(AB)

Koroze hliníku ve vodních rozvodech tepla i chladu

Pro rozvody chladu i tepla platí, že u hliníku rozhoduje pH prostředí. Hliník a jeho slitiny jsou rozpustné při pH 8,5 a výše. Podle směrnice VDI 2035 list 2 (teplotní rozvody) platí pro ocelové rozvody bez hliníku přípustná oblast pH od 8,2 do 10,0, s hliníkem od 8,2 do 8,5. Podle pravidla BTGA (Technická zařízení budov Spolkového svazu průmyslu) č. 3.003 pro ocelové rozvody je přípustné pH od 8,2 do 9,5, pro ocelové rozvody s hliníkem pH od 8,2 do 8,5. Určité hliníkové slitiny jsou stabilní v prostředí o pH 9,5 (podle VDI 2035 list 2). Omezení pH směrem nahoru jde vstříct alkalizací oběhové vody, jiná opatření korigující pH směrem dolů omezují i korozi ochranu směrem dolů. U příliš vysokého pH je třeba počítat s dlouhodobým poškozením hliníkových dílů.

Pramen: CCI 02/2018, s. 28

(AB)

Nejlepší portály

o stavebnictví



Největší stavební portál
pro odborníky v ČR

ESTAV.cz

Portál pro širokou
stavební veřejnost