

Historická okna a energetická náročnost: případ architektury funkcionalismu

Alexander KURIC; Kristýna SCHULZOVÁ

DOI: <https://doi.org/10.56112/zpp.2023.2.05>

ABSTRAKT: *Historická okna jsou v současné době zpřísňování požadavků na energetickou náročnost vystavena tlakům, jejichž následkem bývají v mnoha případech plošné výměny za okna nová. Památky funkcionalistické architektury, u níž jsou okna výjimečným nositelem nejen historické, ale také estetické hodnoty, jsou tímto trendem zranitelné obzvláště. Příspěvek si klade za cíl podrobněji prozkoumat tepelné izolační vlastnosti typických oken funkcionalismu a zároveň prověřit účinnost dodatečných opatření umožňujících jejich zlepšení. Využíváme k tomu modelových softwarových výpočtů v kombinaci s termovízními snímky. Z hlediska prvního cíle se ukázala, resp. potvrdila prakticky známá problematičnost oken kovových. Pozoruhodné je srovnání dvojitých a zdvojených oken, potvrzující některé progresivní názory z meziválečného období, jež se o zdvojená okna zasazovaly. U dodatečných opatření se pak jako efektivní a potenciálně široce uplatnitelné ukazují utěsnění křídél a výměna původního zasklení za dvojskla, přičemž s ohledem na další faktory je celkově nejvýhodnější výměna skel vnějších; v takovém případě lze tepelnou propustnost původního okna snížit až o 60 %. Příspěvek tím potvrzuje závěry předchozího výzkumu na toto téma a zároveň je rozšiřuje o další souvislosti a podrobnosti.*

KLÍČOVÁ SLOVA: okna; funkcionalismus; památková obnova; energetická náročnost; adaptace

Historical windows and energy performance: the case of Modernist architecture

ABSTRACT: *Historical windows are under pressure in the current environment of tightening energy performance requirements, resulting in many cases in widespread replacement with new windows. Monuments of modernist architecture, where windows are an exceptional carrier of not only historical but also aesthetic value, are particularly vulnerable to this trend. The aim of this paper is to investigate the thermal insulation properties of typical modernist windows in more detail and to examine the effectiveness of additional measures to improve them. To do so, we use model-based software calculations combined with thermal imaging. From the point of view of the first objective, the practically known problematic nature of metal windows was shown or, more precisely, confirmed. A comparison of double and double-hung windows is noteworthy, confirming some progressive views from the interwar period that advocated double-hung windows. In terms of additional measures, sealing the sashes and replacing the original glazing with double glazing are shown to be effective and potentially widely applicable, while, taking into account other factors, the replacement of the external glazing is generally the most advantageous; in this case the thermal transmittance of the original window can be reduced by up to 60%. The paper thus confirms the conclusions of previous research on this topic, while expanding them with further context and detail.*

KEYWORDS: windows; Modernism; monument renovation; energy performance; adaptation

Úvod

Okno je oknem do duše, praví známé úsloví. Naznačuje nám, že okna mají mezi architektonickými prvky výjimečné postavení. Je-li oko oknem do duše člověka, jsou naopak okna očima domu. Okno je bariérou i přechodem mezi dvěma světy a zároveň rámem, skrze nějž svět na druhé straně vnímáme. V souboru součástí každé stavby proto nese významnou symbolickou rovinu. Již od svých počátků architektura tyto významy okna vnímá a cíleně s nimi pracuje.¹

Jestliže okna mají významnou úlohu nejen v praktické, ale také symbolické rovině architektury, pro architekturu funkcionalismu to

platí dvojnásob. Rostislav Švácha upozorňuje, že modernistické avantgardě, redukující výrazové prostředky architektury na elementární geometrické tvary a hladké jednobarevné plochy, zůstala okna jako „jediný ornament“.² Zároveň v této souvislosti uvádí, jakou důležitost mělo pro avantgardu vytvoření dojmu obálky stavby jako co nejtenčího a hladkého obalu vnitřního objemu, což pro okna znamenalo důraz na precizní umístění v lici fasády a subtilnost jejich konstrukce.³ Ola Wedebrunn okno v kontextu modernismu popisuje jako důležitý funkční i symbolický nástroj ve vztahu k prostupnosti tohoto vnějšího povlaku, což hrálo stěžejní úlohu pro

modernistický program hygieny, denního světla a čerstvého vzduchu.⁴ V souvislosti s moderní

■ Poznámky

1 Bechir Kenzari, *Windows*, *Built Environment* 31, 2005, č. 1, s. 38–48, cit. s. 38–39.

2 Rostislav Švácha, *Okna a skleněné stěny*, in: Marie Báčová et al., *Obnova okenních výplní a výkladců*, Praha 2010, s. 90–93, cit. s. 90.

3 Ibidem.

4 Ola Wedebrunn, *Introduction*, in: Wessel de Jonge – Ola Wedebrunn (edd.), *Reframing the Moderns: Substitute Windows and Glass*, Delft 2000, s. 9–11, cit. s. 9.



1

architekturou nelze také opomenout zásadní historický zlom oproštění fasády od nosné funkce, který oknům otevřel do té doby nevídané rozměrové a tvarové možnosti.⁵ Ruku v ruce s tím šly inovace v technologii výroby skla, které dovolily skleněné tabule dodávat ve stále větších dimenzích.⁶ Technologie pak ovlivnila v tomto období okna ještě jiným, zásadnějším způsobem: v modernistickém programu zprůmyslnění, ekonomizace a standardizace bylo klíčovými tématem nalezení ideálního typu, což pro okna znamenalo řadu materiálových a konstrukčních experimentů. Byť se mnohé neosvědčily a byly záhy opuštěny,⁷ tvoří nenahraditelný doklad této technologicky překročné doby.

Můžeme tak snad říci, že v kontextu památek funkcionalistické architektury tvoří okna element obzvláště významný. Jsou svědky epochy, která je měla transformovat z výrobku řemeslného na průmyslový, a o tomto úsilí nesou historický záznam. Zároveň jsou estetickým článkem, který se zásadním způsobem podílí na celkovém architektonickém výrazu staveb modernismu.

Historická okna ale v současné době velice trpí. Alfréd Schubert připomíná skutečnost, že historická okna u nás bývají často plošně likvidována jen pro své stáří.⁸ Důvodem je i to, že musí čelit tlaku na snižování energetické náročnosti z jedné strany a intenzivní reklamě výrobců ze strany druhé.⁹ Vyměnit okna v bytě je otázkou relativně nízké investice a jednoho či dvou pracovních dnů sešrané čtyři montážníků; v situaci, kdy jsou zároveň historická okna považována za fundamentálně neslučitelná se současnými uživatelskými požadavky, pak vznikají pro jejich plošné výměny ideální podmínky. I když každá historická budova ztrátou původních oken samozřejmě utrpí, pro funkcio-

nalistickou architekturu, s ohledem na specifika načrtnutá výše, znamená takový zásah ránu obzvláště těžkou. Otázka ochrany oken je tak snad více než v jiných případech úzce spjata s ochranou architektury funkcionalismu jako takové.

Cíle

Alfréd Schubert ve výše citovaném textu zdůrazňuje, že nezbytným předpokladem péče o historická okna je důkladné poznání, což prakticky znamená také důslednou dokumentaci.¹⁰ Tak se zrodila myšlenka výzkumného projektu dokumentace funkcionalistických oken, v jehož rámci vznikl v roce 2020 na Ústavu teorie a dějin architektury FA ČVUT první výstup.¹¹ Jeho cílem bylo zdokumentovat nejobvyklejší typy oken československé moderní architektury z období od jejího počátku ve 20. letech až do roku 1948 a jejich konstrukční detaily. Výsledkem výzkumu byl katalog 10 oken, z nichž každé reprezentuje základní tvarový či materiálový typ.¹² Kromě slovní charakteristiky obsahovaly záznamy také podrobnou fotografickou a především výkresovou dokumentaci, vytvořenou na podkladě zaměření každého okna in situ.

Na dokončenou první část navazuje druhá etapa výzkumného projektu, jejíž výsledky jsou předmětem tohoto příspěvku. Jestliže je to právě otázka energetické úspornosti, která primárně stojí za silnými tlaky na historická okna, pak je nezbytné, chceme-li těmto tlakům čelit, tuto jejich stránku důkladněji prozkoumat. Odtud vyplývají dva cíle: Prvním je bezprostředně navázat na vypracovaný katalog typů funkcionalistických oken a rozšířit jej o vyhodnocení z tepelné technické stránky. Důkladnější poznání tohoto jejich aspektu může mít význam nejen

Obr. 1. Křehkou estetiku funkcionalistické architektury vytváří do značné míry právě okna. Jejich výměna za novodobá masivní a opticky těžkopádná okna obvykle znamená citelnou ztrátu architektonické hodnoty. Foto: Alexander Kuric, 2011.

jako historický dokument, ale také jako rozšíření informační báze pro budoucí zacházení s takovými okny v památkovém kontextu. Zároveň můžeme získat srovnání, jak se v tomto ohledu vzájemně odlišují jednotlivé typy tehdy běžně užívaných oken, přičemž zajímavé může být i porovnání získaných výsledků s představami platnými v tehdejší době.

Druhým cílem je pak prověření a vyhodnocení konkrétních možností úprav oken, které mohou vést ke snížení provozní energetické náročnosti. Zohledňujeme ty úpravy, které jsou ekonomicky relativně nejdostupnější, a pro běžné uživatele tedy atraktivní, a které zároveň v co nejmenší míře zasahují do autentické fyzické podstaty okna. Tyto požadavky splňují zejména dodatečné utěsnění okna, výměny částí původních skel za současná izolační dvojskla a případně také montáž rolet nebo závěsů; poslední dvě však lze považovat za spíše doplňkové opatření.

Podobné úpravy představují alternativu k úplné výměně autentických oken, která přitom nebývá výjimkou ani u památkově chráněných objektů; připomeňme např. v nedávné době dokončenou celkovou obnovu budovy Elektrických

■ Poznámky

5 Boje Lundgaard, Windows, in: Jonge – Wedeburnn (pozn. 4), s. 16–23, cit. s. 17–19.

6 T. Gunny Harboe, Window glass technology in the 20th Century, in: Jonge – Wedeburnn (pozn. 4), s. 3–40, cit. s. 34–36.

7 Bertond Burkhardt – Dieter Rentschler-Weissman, Modern buildings and their windows, in: Jonge – Wedeburnn (pozn. 4), s. 66–75, cit. s. 67.

8 Alfréd Schubert, Hodnota a význam historických výplní okenních otvorů, okenic a výkladců, in: Báčová et al. (pozn. 2), s. 36–70, cit. s. 37.

9 Chris Wood o této situaci v kontextu Velké Británie mluvil již na počátku tisíciletí; od té doby se, alespoň v našem prostředí, mnohé nezměnilo. Viz Chris Wood, Framing Opinions, in: Jonge – Wedeburnn (pozn. 4), s. 41–48, cit. s. 42–43.

10 Viz Schubert (pozn. 8).

11 Alexander Kuric, *Okna v architektuře funkcionalismu* [online], Praha 2020. Dostupné z: <https://dspa.ce.cvut.cz/handle/10467/92481>, vyhledáno 10. 10. 2021.

12 Reprezentativnost je zde nutné vnímat s určitými limity, jelikož jde pouze o „případové studie“, nikoli o skutečné zobecnění typu na základě studia mnoha exemplářů.



2

Obr. 2. Šestikřídlé okno (č. 1), 1930, nájemní dům, Praha-Dejvice. Foto: Alexander Kuric, 2020.

Obr. 3. Čtyřkřídlé okno (č. 2), 1939, nájemní dům, Praha-Dejvice. Foto: Alexander Kuric, 2020.



3

podniků, při níž všechna původní okna zanikla.¹³ Nejde přitom o alternativy radikálně nové nebo bezprecedentní. Již závěrem minulého století byly zvyšovány izolační vlastnosti oken vložení dvojskel do původních rámců např. ve vlastní vile švédského modernisty Hanse Westmana (1939), která si ponechala funkci bydlení,¹⁴ nebo v dívčí škole ve Stockholmu (autoři Nils Ahrbom a Helge Zimdahl, 1936), adaptované na kanceláře.¹⁵ To ilustruje, že tento přístup lze úspěšně aplikovat i u rozsáhlejších objektů nadále sloužících funkcím s přísnými nároky na tepelný komfort. V České republice se ve srovnatelné situaci podařilo s úspěchem realizovat takové úpravy například při nedávné obnově budovy Odboje 1941/1 pro potřeby sídla ostravského pracoviště NPÚ (2013–2015).¹⁶

Vyhodnocení podobných úprav typického funkcionalistického okna domácí produkce již dříve provedl Petr Všečeka.¹⁷ Jeho práce porovnala součinitel prostupu tepla U pro dřevěné dvojitě okno ve variantě náhrady vnějších a vnitřních křídel za nová s dvojsklem; jako nejvýhodnější možnou úpravu doporučil výměnu vnějších křídel.¹⁸ Tato analýza nicméně ponechává prostor i pro další průzkum tématu. Předně je úprava možná vztáhnout k více typům oken a srovnat jejich účinnost pro jednotlivé případy. Namísto varianty úplné výměny křídel je možné vyhodnotit pouze dodatečné vložení dvojskla a samostatně lze také posoudit vliv utěsnění křídel. Vyhodnocení lze také provést s pomocí podrobnějšího modelování průběhu teplot v okením rámu a konečně je srovnat s daty získanými

z pozorování okna in situ pomocí termokamery. Tyto body tak představují konkrétní cíle pro navrženou tepelně technickou analýzu.

Analogický výzkum proběhl ve Spojeném království, kde má koordinované úsilí o zachování a adaptaci historických oken již dlouhou tradici.¹⁹ Tento výzkum byl zaměřen na vlivy různých dodatečných úprav na jednoduchá dřevěná²⁰ a kovová okna.²¹ Prokázal, že u těchto oken má zásadní vliv například pouze dodatečná instalace rolet (snížení ztrát cca 35–45 % dle typu rolety),²² přičemž v kombinaci s dodatečným zasklením mohou dosáhnout úspory tepla více jak 60 %.²³ Jelikož citovaný výzkum probíhal pomocí laboratorního testování oken fyzicky ve zkušebně, bude zde představená analýza úprav nutně metodicky limitovanější. Přesto může poskytnout zajímavé srovnání a přenesení těchto otázek do kontextu historických oken našeho prostředí.

Metodika

Hodnocená okna

Předmětem výzkumu jsou okna zdokumentovaná během první fáze projektu.²⁴ Z deseti oken bylo tepelně hodnoceno pouze osm, jelikož dvě z oken se nacházejí v nevyužívaném objektu, kde proto nebylo možné provést vyhodnocení termokamerou. Prvním z nich je jednoduše zasklené okno, jehož tepelné vyhodnocení není stěžejní, jelikož s jednoduchými okny se v tomto období setkáváme zpravidla u podružných prostor s nízkými tepelnými nároky (schodiště, sklepy, spíže apod.). Druhým je dvojkřídlé dvojitě okno. Zde by již tepelné hodnocení relevancí mělo, dvojitá okna jsou nicméně zastoupena jinými příklady.

Právě dvojitá dřevěná okna tvoří nejhojněji zastoupený typologický druh. Okno č. 1 s průběžným poutcem a šesti křídly (nájemní dům, Praha-Dejvice, datace 1930, obr. 2) reprezentuje typ, který byl charakteristický pro puristickou

i dekorativní architekturu 20. let a přetrvával až do 2. světové války. Mladší, čtyřkřídlé okno č. 2 (nájemní dům, Praha-Dejvice, 1939, obr. 3) se

■ Poznámky

13 Kryštof Havlice, Obnova pražského paláce Elektrických podniků, *Propamátky* [online], 2021, č. 1, s. 8–12, cit. s. 12. Dostupné z: https://www.propamatky.info/dokumenty/Casopis_PROPAMATKY_2021_01_jednostrany.pdf, vyhledáno 16. 11. 2021.

14 Thomas Tägil, Retention and replacement: a careful balance, in: Wessel de Jonge – Ola Wedeburn (pozn. 4), s. 97–99.

15 Torbjörn Almqvist, Light and air in a poisonous and noisy world, in: Wessel de Jonge – Ola Wedeburn (pozn. 4), s. 104–107.

16 Marie Bartošová, Průběh památkové obnovy z pohledu stavebníka, in: Martin Strakoš (ed.), *Odboje 1941/1. Obnova památky moderní architektury*, Ostrava 2016, s. 61–72, cit. s. 64.

17 Petr Všečeka, Historická okna z pohledu stavební fyziky, in: Báčová et al. (pozn. 2), s. 81–88.

18 Ibidem, s. 86.

19 Viz Wood (pozn. 9).

20 Paul Baker et al., Thermal Performance of Traditional Windows and Low-Cost Energy Saving Retrofits, *APT Bulletin: The Journal of Preservation Technology*, 2010, s. 29–34.

21 Paul Baker, Improving the Thermal Performance of Traditional Windows: Metal Framed Windows, *Historic England. Building and Landscape Conservation. Research Report Series no. 15-2017* [online], Glasgow 2017, dostupné z: https://historicengland.org.uk/research/results/reports/6711/ImprovingtheThermalPerformanceofTraditionalWindows_Metal-FramedWindows, vyhledáno 16. 11. 2021.

22 Ibidem, s. 9.

23 Ibidem.

24 Viz Kuric (pozn. 11).



4



5



6



7



8

vyvinulo vypuštěním horní řady křídel a změnou celkové proporce na horizontální. Příklad č. 3 (rodinný dům, Brno, 1930–1940, obr. 4–6) je konstrukčně identické okno s vloženým výklopným ventilačním křídlem v horní části a okno č. 4 (tamtéž, obr. 7) zastupuje typický trojdílný typ, rovněž s vloženým ventilačním křídlem. První ze dvou výše jmenovaných oken je zajímavé tím, že na něm byla provedena dodatečná úprava přesklení vnějších křídel izolačními dvojskly (obr. 5 a 6). Nejmladším a také největším dvojitým oknem je pak č. 5 (Ústřední pošta, Praha-Dejvice, 1946, obr. 8), které je zajímavé zúžením meziokenní mezery oproti starším typům.

Druhým důležitým typem funkcionalistického okna zastoupeným ve vyhodnocení je okno zdvojené, vzniklé spojením vnějšího a vnitřního křídla k sobě. Okno č. 6 (Winternitzova vila, Praha, obr. 9) je příkladem takového typu již z roku 1932. Druhý příklad č. 7 (nájemní dům, Praha – Staré Město, 1936–1937, obr. 10) je zároveň reprezentantem pásového okna, pro funkcionalismus typického tvarového typu.

Poslední příklad č. 8 (Francouzské školy, Praha-Dejvice, 1931–1934, obr. 11) zastupuje okna kovová. V meziválečném Československu dodávala celá řada výrobců na trh ocelová okna vlastních konstrukcí a patentů, některá z nich velice originální – např. unikátně otočně-sklopná

okna firmy Kraus,²⁵ zde zkoumaným je patentní okno „Ippen“. Zobecnitelnost tohoto příkladu je tak více omezená než u oken dřevěných, jež se vzájemně lišila méně, přesto má však tepelná analýza platnost pro základní shodné znaky tehdejších kovových oken.²⁶

■ Poznámky

²⁵ Henrieta Moravčíková, *Friedrich Weinwurm. Architekt/architect*, Bratislava 2014, s. 162.

²⁶ Zejména principiálně neřešený tepelný most rámu. Viz Milan Žáček – Zdeněk Vácha, *Kov, sklo a povrchové úpravy těchto materiálů v meziválečné architektuře*, Brno 2020, s. 16.

Obr. 4. Čtyřdílné okno s výklopným ventilačním křídlem (č. 3), 1930–1940, rodinný dům, Brno. Foto: Alexander Kuric, 2020.

Obr. 5. Detail nově vloženého izolačního dvojskla u okna č. 3. Foto: Alexander Kuric, 2020.

Obr. 6. Detail nově vloženého izolačního dvojskla u okna č. 3. Foto: Alexander Kuric, 2020.

Obr. 7. Trojdílné okno s výklopným ventilačním křídlem (č. 4), 1930–1940, rodinný dům, Brno. Foto: Alexander Kuric, 2020.

Obr. 8. Šestikřídle okno s ventilačními křídly (č. 5), 1946, Ústřední pošta, Praha-Dejvice. Foto: Alexander Kuric, 2020.

Obr. 9. Zdvojené okno (č. 6), 1932, Winternitzova vila, Praha-Smíchov. Foto: Alexander Kuric, 2020.

Obr. 10. Pásové zdvojené okno (č. 7), 1937, nájemní dům, Praha – Staré Město. Foto: Alexander Kuric, 2020.

Obr. 11. Ocelové okno (č. 8), 1931–1934, Francouzské školy, Praha-Dejvice. Foto: Alexander Kuric, 2020.



9

Měření

Prvním krokem výzkumu bylo zaměření všech dříve dokumentovaných oken pomocí termokamery. Práce s termokamerou klade určité požadavky na vnější podmínky; základní zásady uvádí norma ČSN EN 13187.²⁷ Nejdůležitějším požadavkem je dostatečný rozdíl mezi teplotou vnitřního a vnějšího prostředí, který by měl být pokud možno co nejvyšší, alespoň však 15 °C.²⁸ Důležité rovněž je, aby na měřené plochy nesvítlo přímo slunce, jelikož odraz infračerveného záření ze slunečních paprsků výrazně ovlivňuje naměřené hodnoty. Jako ideální podmínky jsou uváděny ranní hodiny při zatažené obloze v období října až dubna.²⁹

Měření bylo provedeno během března a dubna 2021 v Praze a Brně, kde se nacházejí dotčená okna. Vzhledem k tomu, že u většiny případů jsou okna v budovách využívaných soukromými subjekty, bylo nutné přizpůsobit se jejich režimu a podmínkám. Limitující úlohu zde sehrála také v době měření trvající pandemie Covid-19 a s ní spojená omezení. S ohledem na to se nepodařilo měření vždy provádět v doporučených ranních hodinách či za ideálního počasí. To mělo nejzásadnější vliv u okna č. 5 (viz pozn. 47), menší též ještě u okna č. 7.³⁰

■ Poznámky

27 ČSN EN 13187 (730560) Tepelné chování budov – Kvalitativní určení tepelných nepravidlostí v pláštích budov, 1. 12. 1999.

28 Některé příručky ale uvádějí jako dostatečný i rozdíl pouze 10 °C. Viz Pavel Štajnrt, Úvod do práce s termokamerou Fliri7, Opava 2014, s. 8.

29 Ibidem.

30 To se nachází v soukromém bytě, jehož režim vlastníkům bylo nutné respektovat. V době měření byla venkovní teplota oproti předpovědi počasí vyšší, přibližně 7 °C,



10



11

Tab. 1

Okno	Přibližný čas měření	Vnitřní teplota (°C)	Vnější teplota (°C)
1. dvojité šestikřídlé	8:30	24,0	5,0
2. dvojité čtyřkřídlé	8:20	23,0	4,0
3. dvojité čtyřdílné s ventilací	21:00	19,2	3,1
4. dvojité trojdílné s ventilací	23:20	19,6	3,5
5. dvojité šestikřídlé s ventilací	8:40	22,0	6,0
6. zdvojené	23:00	20,5	4,5
7. zdvojené pásové	8:00	21,0	7,0
8. kovové	8:15	21,0	3,0

Tab. 1. Okrajové podmínky měření termosnímků. Zpracovali: autoři článku, 2022.

Vlastní snímání bylo prováděno pomocí termokamery Fluke Ti25. Vnitřní a vnější teplota byla měřena pomocí bezdrátové meteostanice EMOS E0352 a pro kontrolu zároveň digitálním pokojovým teploměrem (uvnitř) a spirálovým teploměrem (venku). V této souvislosti je nutné zmínit, že naměřené teploty z různých teploměrů nebyly vždy stejné; odchylky se pohybovaly kolem 1 °C. Tabulka č. 1 zaznamenává naměřené hodnoty vnitřní a vnější teploty a čas měření pro jednotlivá okna. Pokud se naměřené teploty na jednotlivých přístrojích lišily, uvedena je průměrná hodnota.

Výpočet

Všechna posuzovaná okna byla na základě zaměření vymodelována v programu Cube3D 2017 (Svoboda software), kde bylo také spočítáno jejich trojrozměrné teplotní pole. Výpočet byl proveden pro okrajové podmínky odpovídající snímkům z termokamery (tab. 1) a také pro standardní okrajové podmínky: teplota v interiéru $t_i = 20$ °C, teplota v exteriéru $t_e = -13$ °C. Tepelný odpor při přestupu tepla na vnější straně byl uvažován $R_{se} = 0,04$ km²/W, s výjimkou větraných vzduchových mezer (viz níže), na vnitřní straně $R_{si} = 0,13$ km²/W³¹. Tyto hodnoty tepelných odporů byly pro zjednodušení uvažovány také pro okrajové podmínky odpovídající snímkům z termokamery.

Kromě stávajícího stavu byly výpočtově prověřeny možnosti úpravy oken sloužící ke zlepšení jejich tepelně technických vlastností. Posuzované varianty byly následující:

- původní stav – se slabě větranou vzduchovou mezerou mezi křídly;
- utěsnění spár – s nevětranou vzduchovou mezerou;
- výměna vnějších křidel za nová s tepelně

- izolačními dvojskly + utěsnění spár;
- výměna vnitřních křidel za nová s tepelně izolačními dvojskly + utěsnění spár;
- výměna vnitřních křidel za nová s tepelně izolačními dvojskly a větranou mezerou mezi křídly.

Vzduchová vrstva mezi okenními křídly byla v původním stavu uvažována jako slabě větraná (podle EN ISO 6946 čl. 6.9 se jedná o takovou vrstvu, ve které je zajištěna pouze omezená výměna vzduchu s vnějším prostředím otvory v rozsahu od 500 do 1 500 mm² na každý 1 m délky svislé vzduchové vrstvy).³² Ve variantě b) bylo utěsnění spár dodatečným těsněním simulováno započtením uzavřené vzduchové mezery (podle EN ISO 6946 čl. 6.9 se jedná o takovou vrstvu, ve které nedochází k proudění vzduchu a není propojena s prostředím přilehlým ke konstrukci, nebo je spojena s vnějším prostředím malými otvory, jejichž plocha nepřesahuje 500 mm² na každý 1 m délky svislé vzduchové vrstvy).³³ Toto rozlišení je však pouze orientační, k přesnějšímu vyhodnocení utěsnění okna by bylo nutné provést měření průvzdušnosti.³⁴

U variant c), d) a e) je počítáno s nově vloženým dvojsklem o součiniteli prostupu tepla $U_g = 1,1$ W/K.m² s plastovými distančními rámečky, o celkové tloušťce zasklení 24 mm.³⁵ Dimenzování a profilace okenního rámu je uvažována shodná s původními křídly.³⁶ Varianta c) (tepelně izolační dvojskla ve vnějších křídlech) počítá s těsností křidel, a tedy s uzavřenou vzduchovou mezerou. Varianta d) je ve výpočtu uvažována, prakticky je však problematická tím, že v případě umístění dvojskla do vnitřních křidel je nutné meziokenní mezeru odvětrat, jelikož se stává chladnější než u původního stavu a hrozí v ní následně riziko kondenzace. Tento požadavek uvádí též Petr Všečka.³⁷ Doplnujeme proto jinak identickou variantu e), u níž je prostor odvětrán záměrným neutěsněním vnějších křidel. Vzduchová mezera je zde uvažována jako větraná (dle normové definice je to vrstva, u kte-

ré otvory mezi ní a venkovním prostředím jsou stejné nebo vyšší než 1 500 mm² na každý metr délky svislé vzduchové vrstvy)³⁸ a vnější křídlo se ve výpočtu teplotního pole a činitele prostupu tepla projeví pouze zvýšením odporu při přestupu tepla na vnější straně ($R_{se} = 0,13$ W/K.m²). U zdvojených oken by analogická úprava byla proveditelná utěsněním spáry co nejbližší rovině interiéru za předpokladu, že vnitřní a vnější křídlo na sebe nebudou těsně doléhat. Vzhledem k většímu počtu těsnících rovin mezi exteriérem a meziokenním prostorem však toto odvětrání nemusí být tak účinné, jako u okna dvojitého.

Z výsledků výpočtu byl za pomoci parametru tepelné propustnosti mezi vnitřním a vnějším prostředím L_e stanoven součinitel prostupu tepla U jednotlivých oken a variant jejich úpravy. Určení součinitele U vychází z normou stanove-

■ Poznámky

takže teplotní rozdíl mezi interiérem a exteriérem tvořil pouze 14 °C. To již nesplňuje požadavek rozdílu teplot 15 °C, avšak vyhoví požadavku 10 °C, jaký uvádí Štajnrt (viz pozn. 28).

31 ČSN 73 0540-3 (730540) Tepelná ochrana budov – Část 3: Návrhové hodnoty veličin.

32 ČSN EN ISO 6946 (730558) Stavební prvky a stavební konstrukce – Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla – Výpočtová metoda.

33 Ibidem.

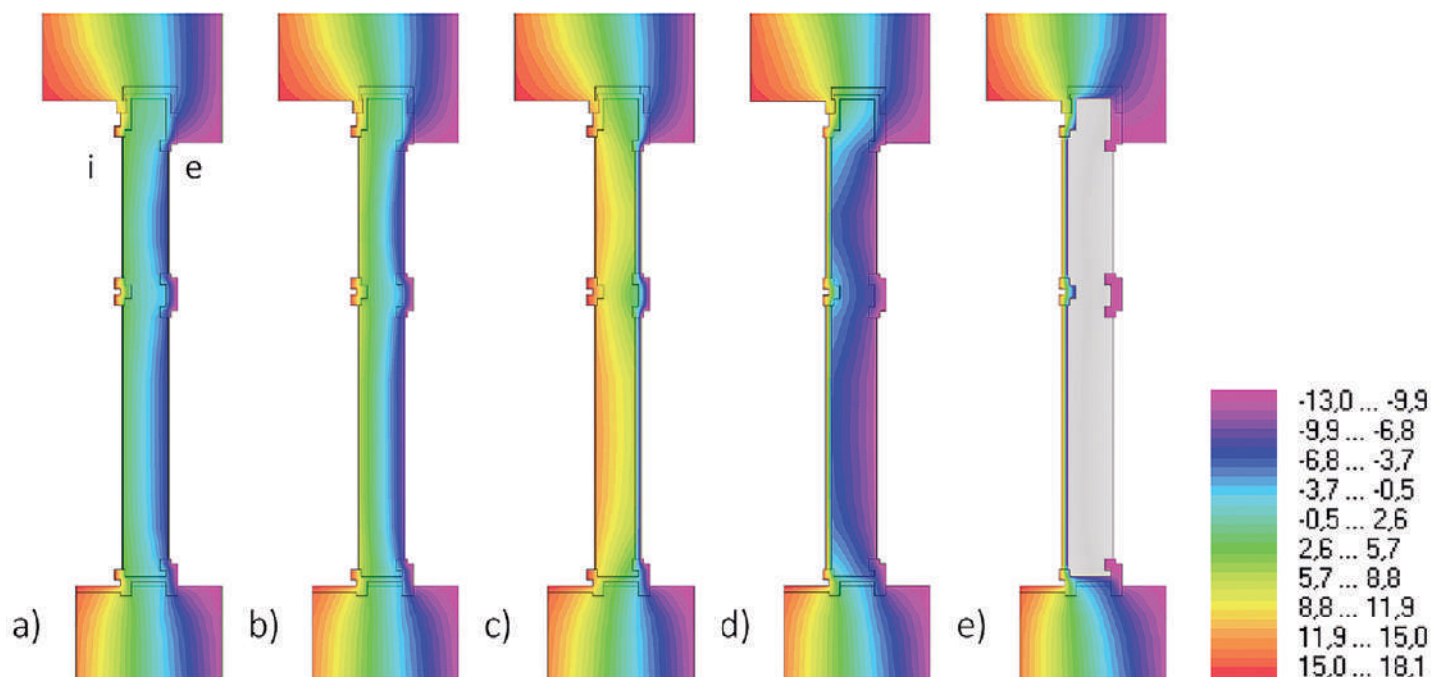
34 Srov. výše zmíněný výzkum Baker (pozn. 19).

35 Hodnota U 1,1 W/K.m² patří u nabízených dvojskel k lepším, na trhu jsou však izolační dvojskla se součinitelem prostupu tepla až 0,9 W/K.m². Rovněž celková tloušťka skla, pro instalaci do starých rámu poměrně zásadní, může být u dražších variant dvojskel při stejných izolačních vlastnostech menší.

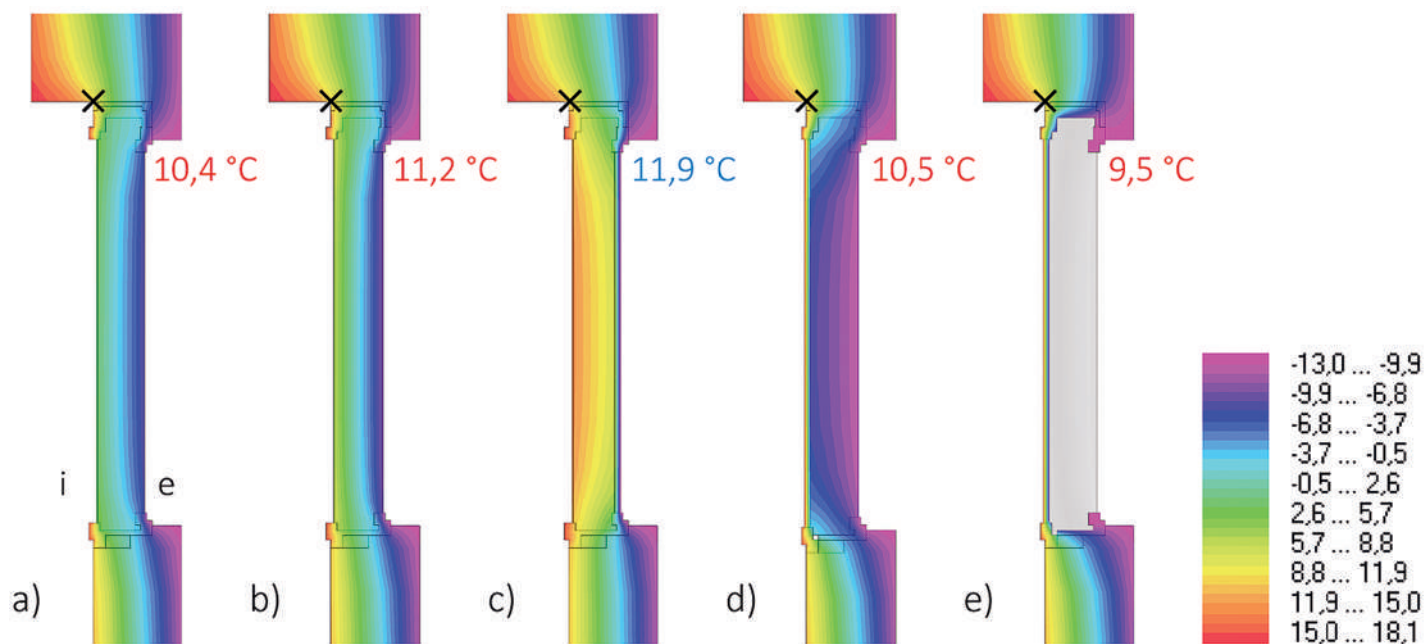
36 To je uvažováno především s ohledem na zjednodušení výpočtu a snadnou porovnatelnost výsledků. Reálně však při montáži může být nutné rám upravit, jelikož dvojsklo se obvykle nevejde do původní polodrážky.

37 Všečka (pozn. 17), s. 86.

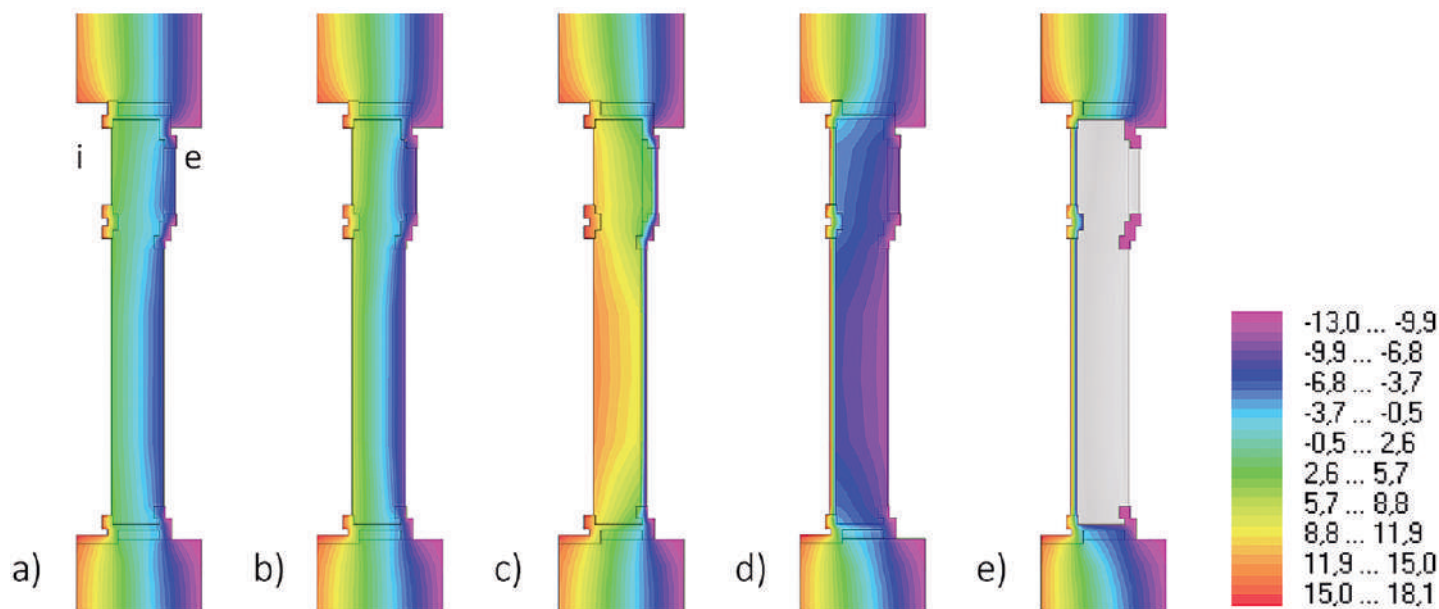
38 ČSN EN ISO 6946 (viz pozn. 32).



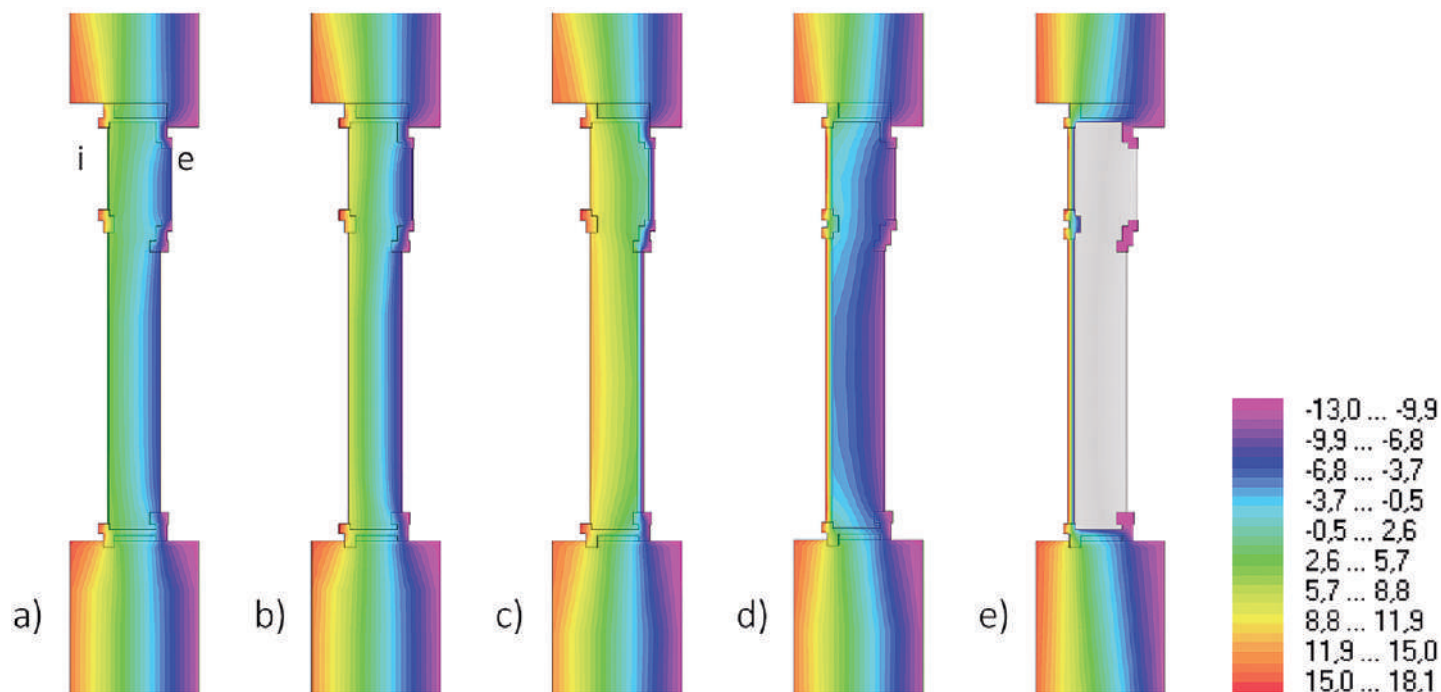
Obr. 12. Okno č. 1 (dvojitě šestikřídle), teplotní pole pro varianty úprav: a) současný stav $U = 3,02 W/K.m^2$; b) utěsněné spáry $U = 2,35 W/K.m^2$; c) dvojsklo vnější křídlo $U = 1,47 W/K.m^2$; d) dvojsklo vnitřní křídlo $U = 1,32 W/K.m^2$; e) dvojsklo vnitřní, větr. mezera $U = 1,70 W/K.m^2$. Zpracovala: Kristýna Schulzová, 2021.



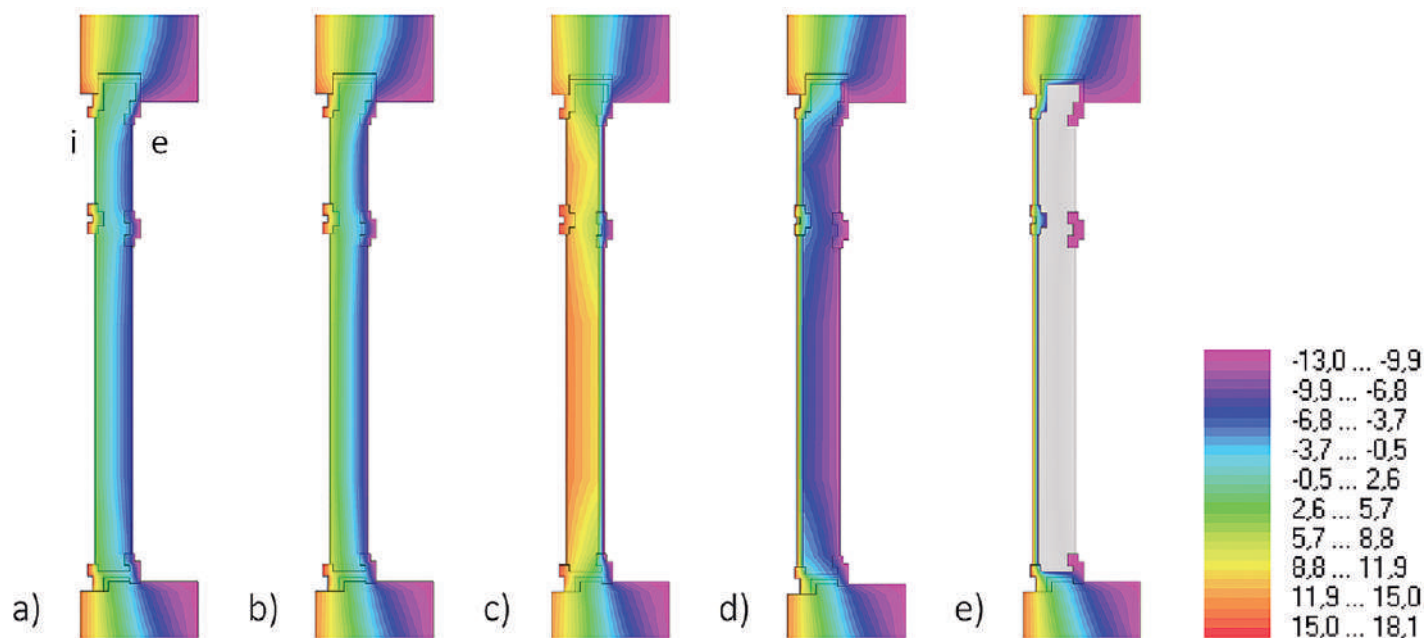
Obr. 13. Okno č. 2 (dvojitě čtyřkřídle), teplotní pole pro varianty úprav: a) současný stav $U = 3,10 W/K.m^2$; b) utěsněné spáry $U = 2,38 W/K.m^2$; c) dvojsklo vnější křídlo $U = 1,21 W/K.m^2$; d) dvojsklo vnitřní křídlo $U = 1,19 W/K.m^2$; e) dvojsklo vnitřní, větr. mezera $U = 1,30 W/K.m^2$. Křížky označují vnitřní kout ostění, jehož teplotu v jednotlivých případech lze porovnat s teplotou rosného bodu (11,68 °C). Foto: Kristýna Schulzová, 2021.



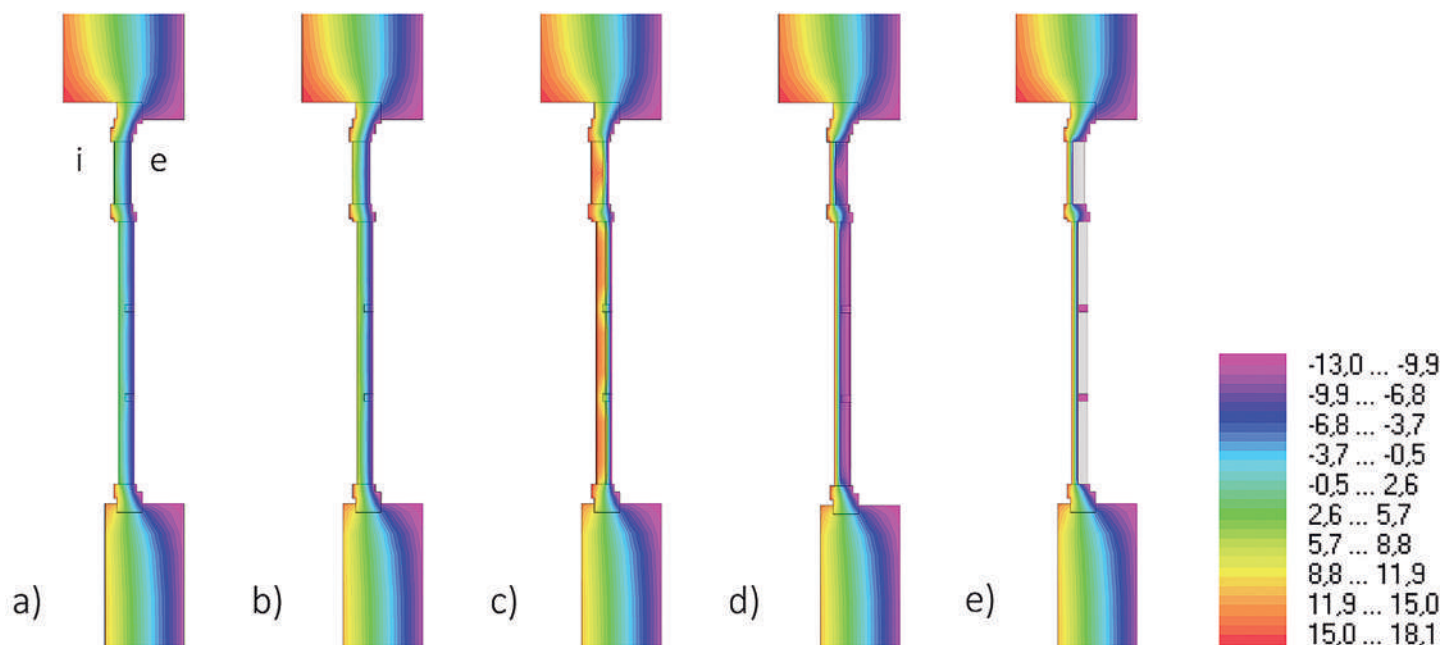
Obr. 14. Okno č. 3 (dvojitě čtyřdílné s ventilací), teplotní pole pro varianty úprav: a) současný stav $U = 3,26 \text{ W/K.m}^2$; b) utěsněné spáry $U = 2,49 \text{ W/K.m}^2$; c) dvojsklo vnější křídlo $U = 1,39 \text{ W/K.m}^2$; d) dvojsklo vnitřní křídlo $U = 1,31 \text{ W/K.m}^2$; e) dvojsklo vnitřní, větr. mezera $U = 1,67 \text{ W/K.m}^2$. Foto: Kristýna Schulzová, 2021.



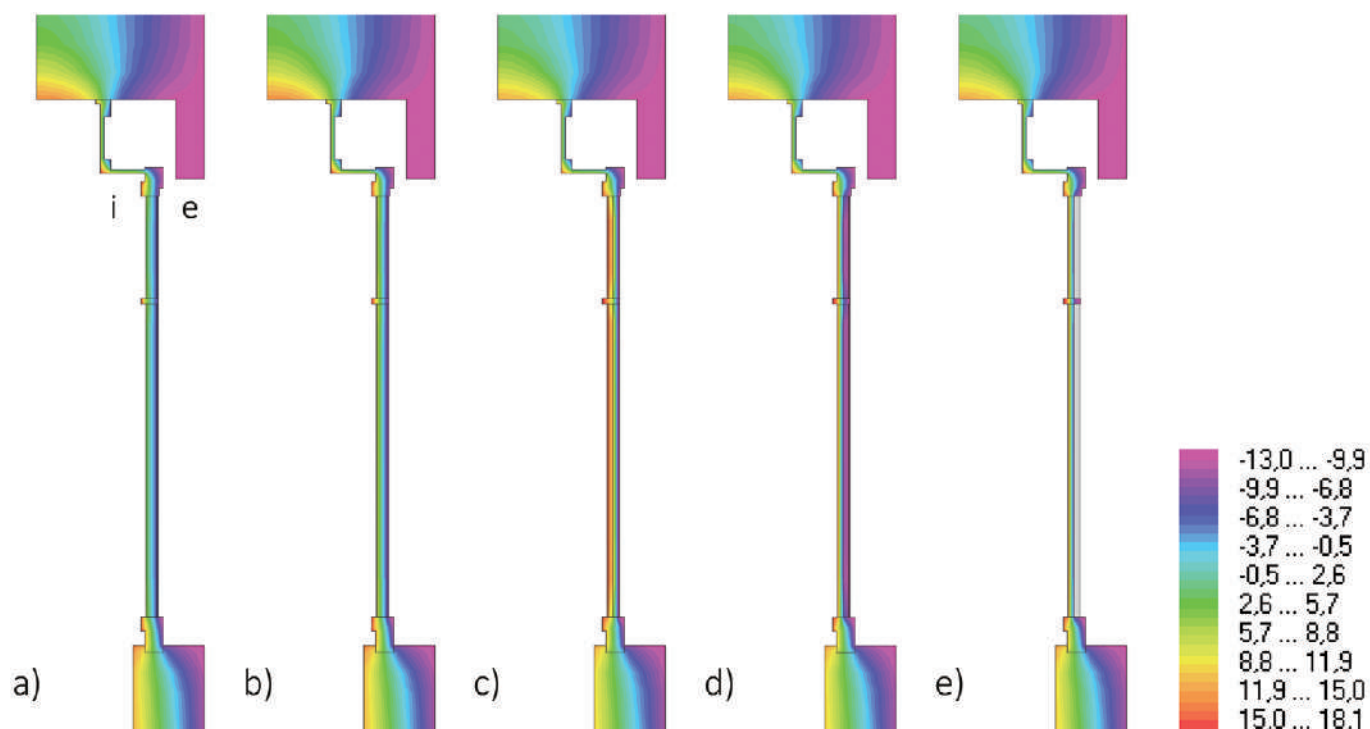
Obr. 15. Okno č. 4. (dvojitě trojdílné s ventilací), teplotní pole pro varianty úprav: a) současný stav $U = 3,17 \text{ W/K.m}^2$; b) utěsněné spáry $U = 2,42 \text{ W/K.m}^2$; c) dvojsklo vnější křídlo $U = 1,35 \text{ W/K.m}^2$; d) dvojsklo vnitřní křídlo $U = 1,29 \text{ W/K.m}^2$; e) dvojsklo vnitřní, větr. mezera $U = 1,73 \text{ W/K.m}^2$. Foto: Kristýna Schulzová, 2021.



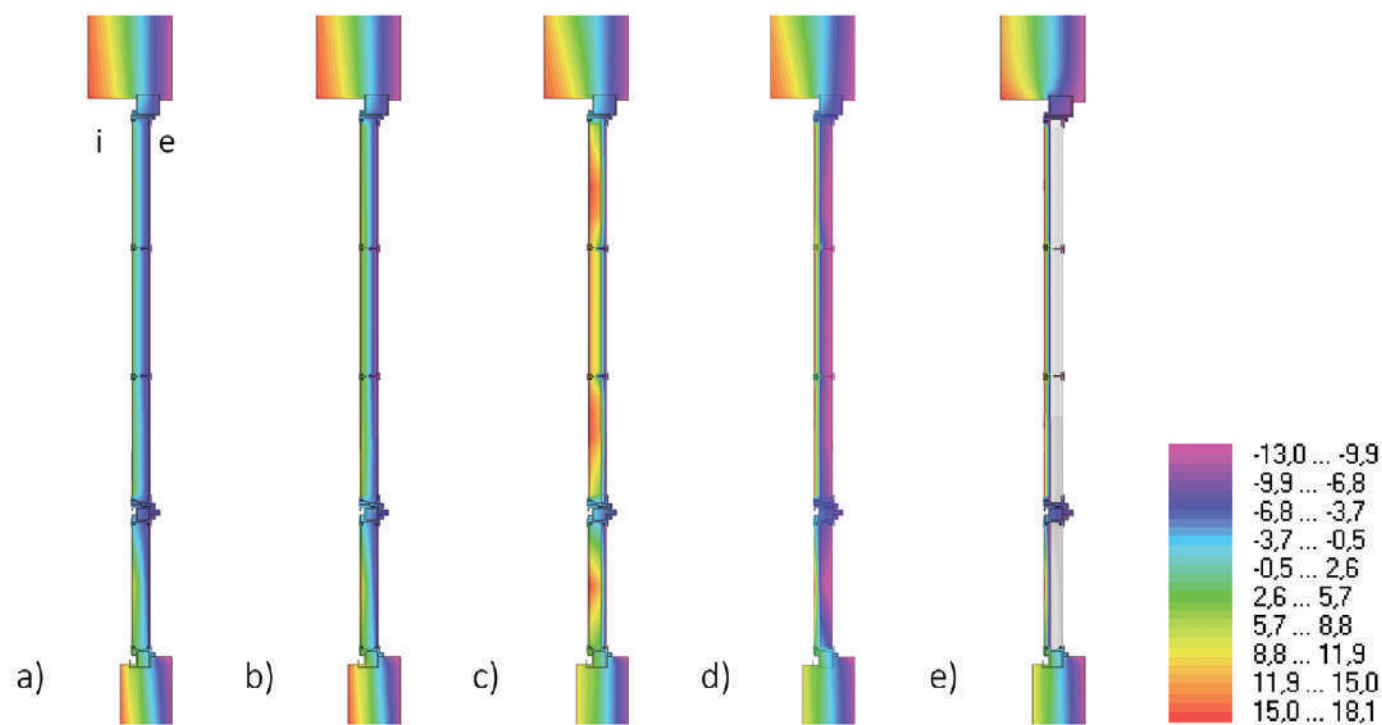
Obr. 16. Okno č. 5. (dvojité šestikřídle s ventilací), teplotní pole pro varianty úprav: a) současný stav $U = 3,19 \text{ W/K.m}^2$; b) utěsněné spáry $U = 2,49 \text{ W/K.m}^2$; c) dvojsklo vnější křídlo $U = 1,25 \text{ W/K.m}^2$; d) dvojsklo vnitřní křídlo $U = 1,22 \text{ W/K.m}^2$; e) dvojsklo vnitřní, větr. mezera $U = 1,48 \text{ W/K.m}^2$. Foto: Kristýna Schulzová, 2021.



Obr. 17. Okno č. 6. (zdvojené), teplotní pole pro varianty úprav: a) současný stav $U = 2,93 \text{ W/K.m}^2$; b) utěsněné spáry $U = 2,34 \text{ W/K.m}^2$; c) dvojsklo vnější křídlo $U = 1,29 \text{ W/K.m}^2$; d) dvojsklo vnitřní křídlo $U = 1,25 \text{ W/K.m}^2$; e) dvojsklo vnitřní, větr. mezera $U = 1,35 \text{ W/K.m}^2$ (viz pozn. u tab. 2). Foto: Kristýna Schulzová, 2021.



Obr. 18. Okno č. 7. (zdvojené pásové), teplotní pole pro varianty úprav: a) současný stav $U = 3,28 \text{ W/K.m}^2$; b) utěsněné spáry $U = 2,93 \text{ W/K.m}^2$; c) dvojsklo vnější křídlo $U = 1,81 \text{ W/K.m}^2$; d) dvojsklo vnitřní křídlo $U = 1,59 \text{ W/K.m}^2$; e) dvojsklo vnitřní, větr. mezera $U = 1,67 \text{ W/K.m}^2$ (viz pozn. u tab. 2). Foto: Kristýna Schulzová, 2021.



Obr. 19. Okno č. 8. (ocelové), teplotní pole pro varianty úprav: a) současný stav $U = 4,09 \text{ W/K.m}^2$; b) utěsněné spáry $U = 3,45 \text{ W/K.m}^2$; c) dvojsklo vnější křídlo $U = 2,31 \text{ W/K.m}^2$; d) dvojsklo vnitřní křídlo $U = 2,88 \text{ W/K.m}^2$; e) dvojsklo vnitřní, větr. mezera $U = 2,98 \text{ W/K.m}^2$ (viz pozn. u tab. 2). Foto: Kristýna Schulzová, 2021.

Obr. 20. Dvourozměrné vlhkostní pole okna č. 2 ilustruje problém kondenzace při vnitřním umístění dvojskla (d) ve srovnání s původním stavem (a). Jelikož se meziokenní prostor stává výrazně chladnějším, relativní vlhkost v něm stoupne až k hranici kondenzace. Umístění dvojskla do vnějších křídel problém eliminuje, jelikož je pak teplota mezi křídly vyšší (viz obr. 13). Foto: Kristýna Schulzová, 2021.

ného postupu,³⁹ a zahrnuje tedy okenní rámy a zasklení. Pro větší názornost a pro zachycení některých ve stavbách funkcionalismu často rizikových detailů (např. okenní nadpraží) byl však výpočet proveden ještě také se zahrnutím přiléhajících částí ostění. Tato varianta je ukázána na obrázcích teplotních polí (obr. 12–28).

Výsledky

Výpočet

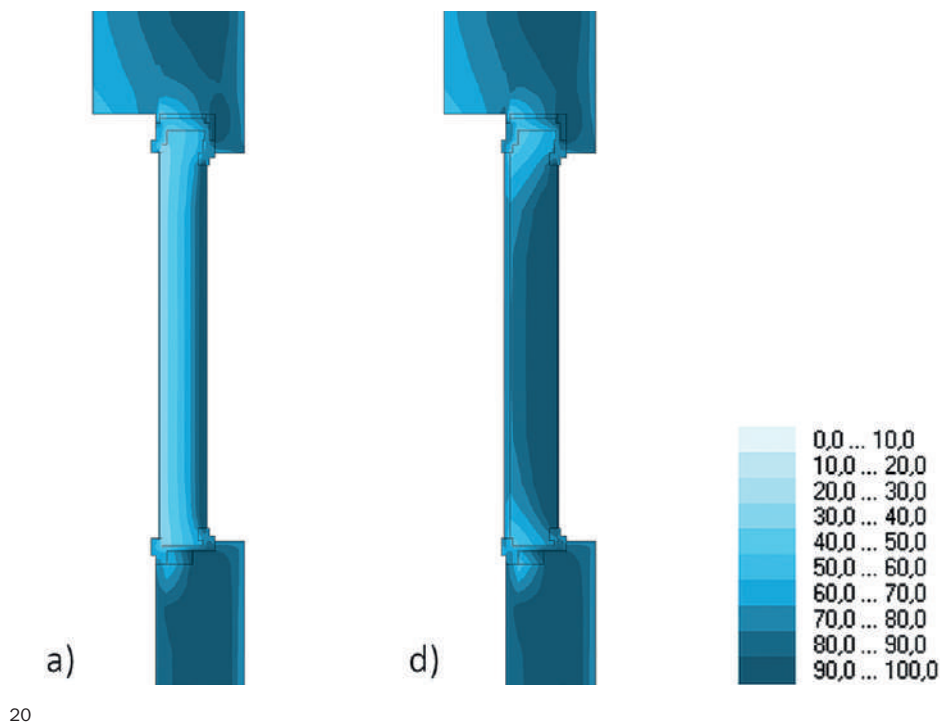
Dvourozměrné teplotní pole oken na svislém a vodorovném řezu je uvedeno na obr. 21–28 (pozn.: i = interiér, e = exteriér). Podmínky výpočtu zde odpovídají podmínkám při měření termokamerou a lze je tak porovnat se snímky zaměřenými v terénu (obr. 29–38).

Porovnání variant úprav je uvedeno na obrázcích 12–19, které zobrazují dvourozměrné teplotní pole na svislém řezu při standardních podmínkách ($t_i = 20\text{ °C}$, $t_e = -13\text{ °C}$), aby bylo možno srovnat jednotlivá okna mezi sebou.

Výsledky součinitele prostupu tepla (pouze pro okno se zasklením, bez zahrnutí ostění) jsou uvedeny v tab. 2. Za zvláštní pozornost stojí okno č. 3, jehož skutečný stav již vlastně odpovídá variantě c); v modelovém výpočtu nicméně zahrnuje me pro úplnost i verzi s jednoduchým zasklením.

Hodnoty součinitele prostupu tepla dřevěných špaletových oken se navzájem výrazně neliší. Odlišnost výsledků pro původní stav dvojitých oken od výsledků dřívějšího výzkumu, jenž u dvojitých oken udává součinitel $U = 2,45\text{ W/K.m}^2$,⁴⁰ vyplývá z rozdílného zahrnutí vlivu vzduchové mezery, která ve zmíněném případě byla uvažována jako uzavřená, tedy těsná. Tím vlastně odpovídá výsledkům ve variantě b). Z porovnání vyčnívají obě vývojově nejmladší okna: pásové okno nájemního domu na Starém Městě v Praze a ocelové výsuvně výklopné okno objektu Francouzských škol. V případě pásového okna je příčinou zhoršených tepelných vlastností schránka na rolety v nadpraží okna, do níž proudí studený venkovní vzduch, součinitel prostupu tepla samotného okna je srovnatelný s ostatními dřevěnými okny (obr. 15). U ocelového okna pak vzniká v rámu výrazný tepelný most.

Dodatečné úpravy znamenají citelné zlepšení tepelné technických vlastností. Pouhé utěsnění přináší u většiny oken snížení hodnoty U přibližně o 20–24 %. Výjimkou je okno ocelové, kde úspora kvůli výraznému nežádoucímu vlivu



rámu představuje pouze 15 %. Je nicméně zapotřebí mít na paměti, že zlepšení izolačních parametrů utěsněním výpočet simuluje značně abstraktním způsobem (viz kap. Metodika/Výpočet), a např. testování v laboratorních podmínkách by mohlo přinést odlišné výsledky.⁴¹

Další stupeň dodatečné úpravy představuje výměna původního zasklení za izolační dvojskla. Nejpriznivěji zde vychází varianta d), tedy výměna vnitřních křídel za nová s tepelně izolačními dvojskly.⁴² Důvodem je především skutečnost, že vnitřní křídlo má větší plochu zasklení v poměru k ploše rámu. Nahradíme-li jeho zasklení více izolujícím, efekt pro celé křídlo bude větší než v případě křídla vnějšího, kde sklo tvoří menší část z celkové plochy. Rozdíl se pak propíše do součinitele U celého okna. Jelikož však toto řešení přináší riziko kondenzace v meziokenním prostoru, je nutné jej při vnitřním dvojskle odvětrat; názorně tento problém ukazuje obr. 20 (viz kap. Metodika/Výpočet). Výsledky pro tuto variantu e) jsou pak ale již méně příznivé než dvojskla ve vnějších křídlech. Neplatí to pouze pro zdvojené pásové okno, u nějž je úprava e) nepatrně příznivější než výměna vnějších skel, což je způsobeno malou šířkou vzduchové vrstvy mezi křídly. U zdvojeného okna však může být problematické účinné odvětrání meziskleního prostoru (viz kap. Metodika/Výpočet).

Varianta c), výměna vnějších skel, se pak ukazuje jako celkově nejúčinnější úprava. To je konzistentní se závěry Petra Všečky.⁴³ Většina oken při ní (s výjimkou výše uvedeného pásového a kovového) splňuje požadavek ČSN 73 0540-2⁴⁴ na součinitel prostupu tepla výplně otvoru

$U_{n,20} = 1,5\text{ W/K.m}^2$ a v jednom případě (okno č. 2) se blíží doporučené hodnotě $U_{rec,20} = 1,2\text{ W/K.m}^2$. Zlepšení hodnoty U se u jednotlivých oken v takovém případě pohybuje v rozpětí 51–61 % oproti původnímu stavu. Stranou stojí i tady okno ocelové, u něhož je úspora nižší, pouze 43 %. Připomeňme ještě také, že výpočty uvažují dvojskla s hodnotou $U = 1,1\text{ W/K.m}^2$. Při použití skla s $U = 0,9\text{ W/K.m}^2$, což odpovídá nejkvalitnějším aktuálně na trhu dostupným dvojsklům, je celkový součinitel prostupu tepla pro variantu c) okna č. 2 (nejlépe vycházející varianta c) $1,12\text{ W/K.m}^2$, tedy ještě o dalších přibližně 7 % nižší.

Poznámky

39 ČSN EN ISO 10077-1 (730567) Tepelné chování oken, dveří a okenic – Výpočet součinitele prostupu tepla – Část 1: Zjednodušená metoda.

40 Všečka (pozn. 17), s. 83.

41 Takové laboratorní testování proběhlo ve Spojeném království, tamější výzkum nicméně hodnotil vliv utěsnění pouze na tepelnou propustnost skla (nikoliv celého okna), který pochopitelně není zásadní. Utěsnění samostatně prověřoval pomocí parametru průvzdušnosti, který vykázal více jak 90% redukci. Viz Baker (pozn. 20 a 21).

42 Výjimku tvoří ocelové okno, kde – opět kvůli tepelnému mostu rámu – je výhodnější umístit dvojsklo blíže exteriéru, aby lépe „odstínilo“ rám před chladem.

43 Pro výměnu vnějších křídel za repliky s dvojskly (skla o $U = 1,1$, tedy identická) udává hodnotu $U = 1,20\text{ W/K.m}^2$. Viz Petr Všečka (pozn. 17), s. 86.

44 ČSN 73 0540-2 (730540) Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky.

Tab. 2

Okno	Součinitel prostupu tepla okna U_w [W/K.m ²]				
	a) současný stav	b) utěsněné spáry	c) dvojsklo vnější (těsné spáry)	d) dvojsklo vnitřní (těsné spáry)	e) dvojsklo vnitřní (větr. mezera)
1. dvojité šestikřídle	3,02	2,35	1,47	1,32	1,70
2. dvojité čtyřkřídle	3,10	2,38	1,21	1,19	1,30
3. dvojité čtyřdílné s ventilací	3,26	2,49	1,39	1,31	1,67
4. dvojité trojdílné s ventilací	3,17	2,42	1,35	1,29	1,73
5. dvojité šestikřídle s ventilací	3,19	2,49	1,25	1,22	1,48
6. zdvojené	2,93	2,34	1,29	1,25	1,35*
7. pásové (včetně schrány)	3,28	2,93	1,81	1,59	1,67*
7. pásové (jen okno)	3,22	2,59	1,27	1,11	1,23*
8. ocelové	4,09	3,45	2,31	2,88	2,97*

*Pozn.: U zdvojených oken odvětrání mezery směrem ven nemusí být vždy snadno proveditelné.

Tab. 3

Okno	Dřevěné (W/K.m ²)		Ocelové (W/K.m ²)	
	netěsněné	těsněné	netěsněné	těsněné
jednoduché	8,41	6,40	9,30	7,56
zdvojené	5,23	3,49	6,40	4,65
dvojité	4,07	2,90	4,65	3,49

Tab. 2. Vypočtené součinitele prostupu tepla oken. Zpracovali: autoři článku, 2022.

Tab. 3. Hodnoty prostupu tepla oken dle Severina Ondřeje (1946) ve W/K.m². Zpracovali: autoři článku, 2022.

Výzkum Paula Bakera v Anglii prokázal při dodatečném zasklení srovnatelnou úsporu cca 63 % pro dřevěné⁴⁵ i kovové okno.⁴⁶ Absolutní hodnoty U jsou nicméně u tamějších i takto upravených oken vyšší, přibližně 1,9 W/K.m²,⁴⁷ jelikož tradiční anglická okna mají jen jednoduché zasklení (přičemž i dodatečné zasklení představuje pouze jedno sklo, nikoli dvojsklo), a výsledky tedy nelze přenést přímo.

Do rozhodnutí o umístění dvojskel do vnitřních či vnějších křidel vstupují ještě další faktory. Je-li dvojsklo umístěno uvnitř, přiléhající konstrukce jsou více odstíněny od tepla místnosti a silněji pak prochladají. Na obr. 13 jsou označeny teploty na vnitřním koutě ostění u okna č. 2, a pouze při variantě c), tedy u dvojskel ve vnějším křidle, je tato teplota vyšší než teplota rosného bodu při daných výpočtových podmínkách (11,68 °C; za int. t. 20 °C a r. v. 50 % a ext. t. -13 °C a r. v. 84 %). U ostatních případů tedy existuje riziko kondenzace na při-

lehých ostěních. Dlouhodobá zkušenost s užíváním okna č. 2, které je reálně utěsněno, ale ne přeskleno, nicméně žádné problémy s kondenzací na ostění neprokázala, riziko by však mohlo být závažnější v případě vnitřního dvojskla. Obecněji pak platí, že při utěsnění okna je nutné více dbát o pravidelné větrání místnosti, nejen kvůli stavební fyzice, ale také z důvodů hygienických.

Uvažíme-li požadavek zachování historických okenních ráků, je umístění dvojskla do vnějších křidel také výhodnější i kvůli jejich menší velikosti, a tedy menšímu zatížení závěsů. V této souvislosti porovnání výsledků s prací Petra Všečky (která uvažuje repliky křidel) ukazuje, že není znatelný rozdíl mezi izolačními schopnostmi nově vyrobených replik křidel a vložením dvojskel do stávajících ráků. Hlavním argumentem pro úplnou výměnu křidel tedy může být spíše jejich špatný stav, případně obava o únosnost původních ráků nebo závěsů. Zvláště druhá otázka je v této souvislosti důležitá a zasluhovala by další výzkum. Empirická uživatelská zkušenost u okna č. 3, kde jsou v roce 2021 dvojskla již sedmým rokem, nicméně neukázala za tuto dobu žádné závady.

Infračervené snímky

Přímé srovnání snímků s modelovými teplotními poli je spíše orientační, jelikož do měření vstupuje řada faktorů, které výsledek odchylojí od předpokládaných ideálních ustálených podmínek výpočtového modelu (např. heterogenní teplota prostředí způsobená přítomností zdrojů tepla, kolísání teploty v čase a nepřesnosti při jejím měření) či jej zkresluje (zejm. odrazy a různé hodnoty infračervené emisivity jednotlivých

■ Poznámky

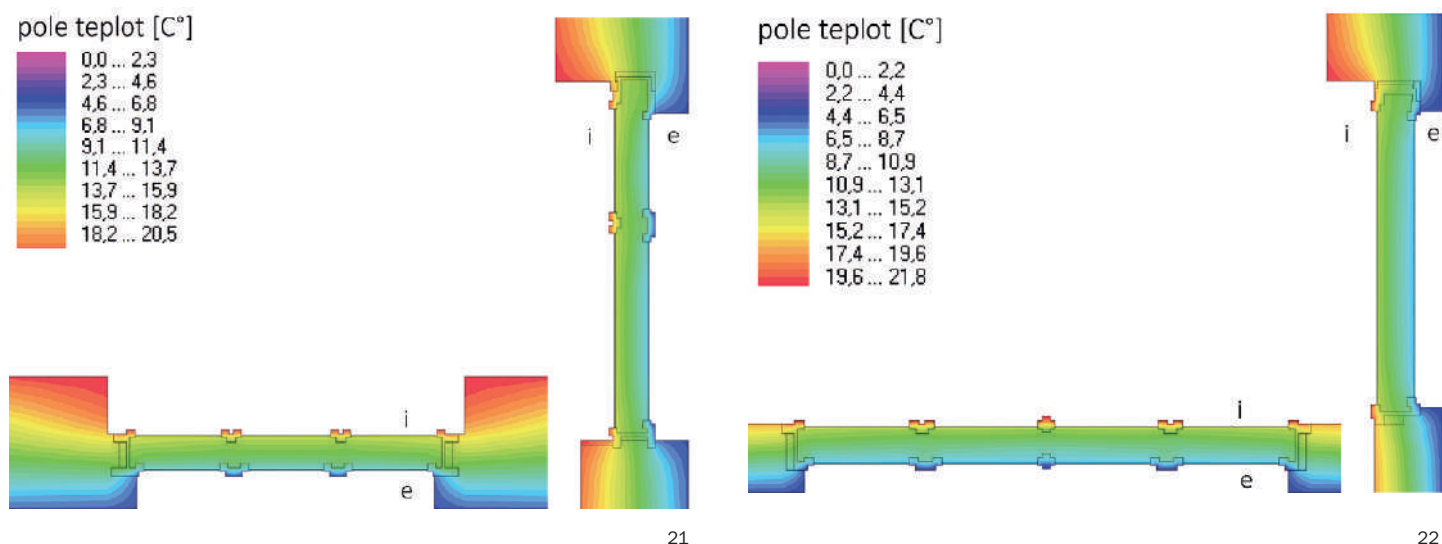
45 Baker (pozn. 20), s. 32.

46 Baker (pozn. 21), s. 6.

47 Ibidem.

48 Úspěšný příklad představuje např. přesklení oken Masarykova studentského domova v Brně. Viz Masarykův studentský domov – repase oken [online], Brno, 12. 11. 2018, dostupné z: <https://www.npu.cz/cs/uop-brno/pro-media/40330-masarykuv-studentsky-domov-repase-oken>, vyhledáno 28. 12. 2020.

49 U okna č. 5 s původními skly, která na termosnímku vypadají rovněž chladněji, je na vině odraz chladné oblohy, která byla v době měření příliš jasná. Nejde tedy o jiné vlastnosti okna, nýbrž o nepřesnost měření (viz kap. Metodika/Výpočet).



Obr. 21. Okno č. 1, teplotní pole v půdorysu a řezu při $t_i = 24,0\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_e = 5,0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Foto: Kristýna Schulzová, 2021.

Obr. 22. Okno č. 2, teplotní pole v půdorysu a řezu při $t_i = 23,0\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_e = 4,0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Foto: Kristýna Schulzová, 2021.

povrchů, přičemž kamera umí pracovat pouze s jednou pro celý snímek). Mezi snímky jednotlivých dřevěných oken nejsou viditelné zásadní rozdíly, jednoznačně se však odlišuje ocelové okno. Jestliže jsou u dřevěných oken vždy patrné největší úniky sklem, v případě ocelového okna na infračerveném snímku „zářící“ naopak rámy. To zdůrazňuje limitaci při možnostech památkově citlivých obnov těchto oken. Původní skla je možné při dostatečném zachování autenticity celku okna nahradit,⁴⁸ avšak odstranění tepelného mostu kovového rámu prakticky bez ztráty autenticity proveditelné není. Samozřejmě je nicméně dodatečné přesklení velice účinným krokem. Ilustruje to snímek okna č. 3 (obr. 31), kde jsou oproti ostatním oknům skla nápadně chladnější, a dokonce se v rámci nezatepleného pláště jeví jako vůbec nejchladnější, tedy nejlepše izolující konstrukce.⁴⁹

Termosnímky ze strany interiéru jsou ponechány záměrně ve vysokém barevném kontrastu (a neodpovídají tedy škále obrázků teplotních polí) a dokreslují některé detaily. Okno č. 7 (obr. 38) potvrzuje problematičnost typického dobového detailu roletové schránky, jejíž povrch, stejně jako povrch ostění nad ní, je viditelně chladný. Další snímek z interiéru (obr. 37, okno č. 7) pak podtrhuje, jak zásadní vliv na komfort vnitřního prostředí může mít netěsná okenní spára. Mimo hodnoty tepelných ztrát je totiž také zapotřebí vzít v úvahu pocitově nepříjemný vliv vnikajícího chladného vzduchu, o němž vysoce kontrastní snímek poskytne výstižnou představu. Dodatečné utěsnění spár tak vyplývá jako velice účinná úprava nejen z hlediska energetické náročnosti

nebo provozní ekonomie, ale také uživatelského komfortu.

Dobový pohled na tepelnou izolaci oken

Výsledky nabízejí rovněž příležitost ke srovnání s tehdejšími stavem poznání. Stavitelská příručka prof. Severina Ondřeje z roku 1946 uvádí hodnoty součinitele prostupu tepla k pro jednoduché, dvojité a zdvojené okno, pro variantu ocelových i dřevěných rámců.⁵⁰ Tab. 3 předkládá tyto hodnoty přepočítané na dnes užívaný součinitel prostupu tepla U .⁵¹

Snad nejzvrubnějším způsobem se otázce tepelných vlastností oken věnoval Vojtěch Krch, architekt, profesor a několik let také děkan na ČVUT. Zdůrazňoval jako nejdůležitější faktor těsnost spár a doporučoval jejich opatření plstěným nebo gumovým těsněním. Z toho vyplývala i snaha o minimalizaci celkového množství, resp. délky spár, docílená redukce počtu křídel.⁵² Zároveň na základě dobových výzkumů provedených v Německu doporučoval, aby meziokenní mezera byla s ohledem na izolační parametry co nejúžší, ideálně kolem 4 cm, jelikož větší mezera již nepřináší podstatné zvýšení izolačních schopností, a při velkých mezerách má dokonce docházet k jejich zhoršení kvůli proudění vzduchu. Tento požadavek přirozeně splňovala zdvojená okna, u dvojitých pak požadoval alespoň redukci mezery na minimum, které dle jeho úvah činí s ohledem na nutný prostor pro manipulaci a kování 13,5 cm.⁵³ Přestože i on připisoval celkově o něco lepší izolační schopnosti oknům dvojitým, dle jeho mínění se tento rozdíl stává úplně zanedbatelným za předpokladu, že je okno důsledně utěsněno, a vyjadřoval proto přání, aby odborná veřejnost přestala zdvojená okna „zcela neprávem“ odmítat.⁵⁴

Při porovnání výsledků s tehdy uváděnými údaji jsou na první pohled patrné výrazně niž-

ší, tedy lepší hodnoty U získané modelovým výpočtem. Severin Ondřej k tabulce nedoplňuje zdroj ani žádné další podrobnosti mimo informaci, že hodnoty byly zjištěny „zkouškami“, je tedy možné, že rozdíl vyplývá z odlišné metodiky výpočtu. Směrodatnější může proto být srovnání jednotlivých druhů oken navzájem. Tabulka sestavená Severinem Ondřejem uváděla jako nejlepší dvojité dřevěné okno, přičemž pro zdvojené udávala tepelné ztráty o více jak 28 % vyšší. Výsledky ovšem nejenže neukazují na výrazný rozdíl mezi dvojitými a zdvojenými okny v původním stavu (viz kap. *Výsledky/Výpočet*), ale dokonce jako izolačně vůbec nejlepší umísťují zdvojené okno č. 6 z Winternitzovy vily. Za pravdu tak dávají spíše Vojtěch Krchovi a jeho obhajobě zdvojených oken. V případě ocelového okna pak Severin

■ Poznámky

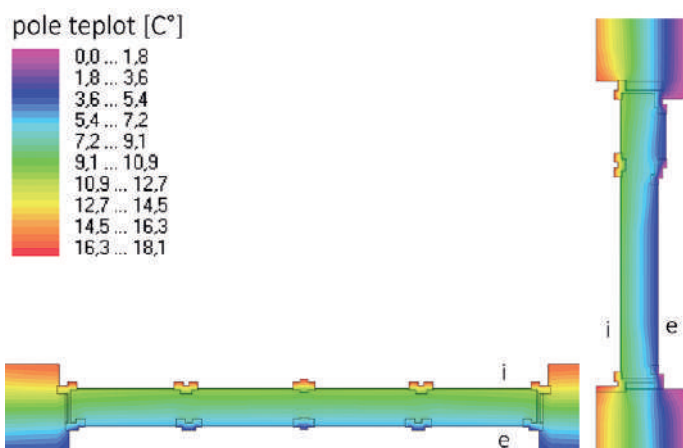
⁵⁰ Severin Ondřej, *Stavba domu v praxi*, Praha 1946, s. 164.

⁵¹ k principiálně popisuje totéž jako součinitel U , rozdílem je však použití jednotek energie v kilokaloriích namísto wattů a uvažování teplotního rozdílu v $^{\circ}\text{C}$ místo K . Přibližný přepočet k na U je: $1\text{ kcal}/^{\circ}\text{C}\cdot\text{m}^2 = 1,163\text{ W/K}\cdot\text{m}^2$. Viz: Torben Dahl – Ola Wedebunn, *Thermal Strategies: Towards a Modern Insulation*, in: Jos Tomlow (ed.), *Climate and Building Physics in the Modern Movement*, Paris 2006, s. 69–75, cit. s. 69.

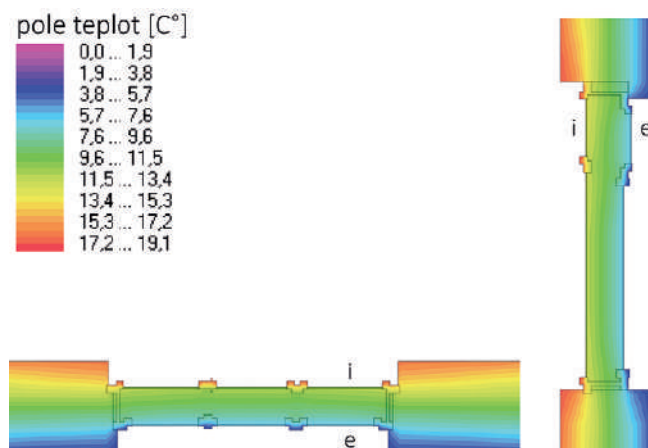
⁵² Vojtěch Krch, *Okno, studie a rozbor účelů*, nejvhodnější tvary a řešení, *Architekt SIA* 33, 1934, s. 144–152, 161–168, cit. s. 164.

⁵³ *Ibidem*, s. 165.

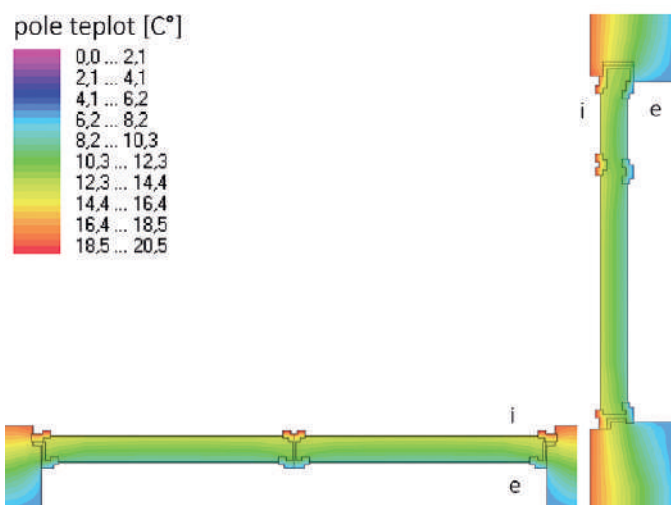
⁵⁴ *Ibidem*, s. 164. Na tyto Krchovy úvahy upozornila též Klára Witzanyová-Kroftová, *Konstrukční a materiálová analýza funkcionalistických staveb a metodika jejich obnovy* (disertační práce), Katedra architektury ČVUT, Praha 2004, s. 114–116.



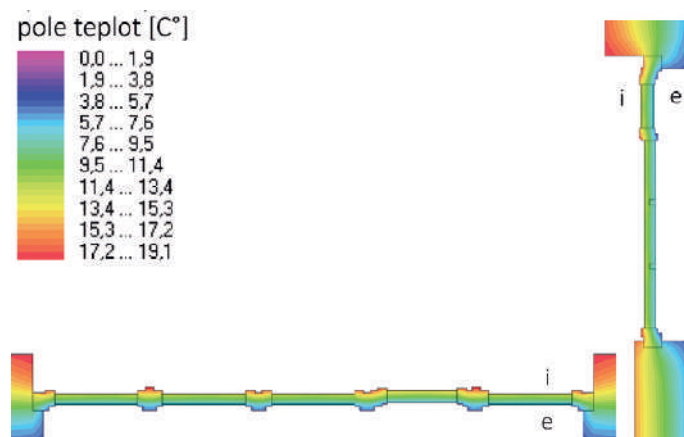
Obr. 23. Okno č. 3, teplotní pole v půdorysu a řezu při $t_i = 19,2\text{ °C}$, $t_e = 3,1\text{ °C}$. Foto: Kristýna Schulzová, 2021.



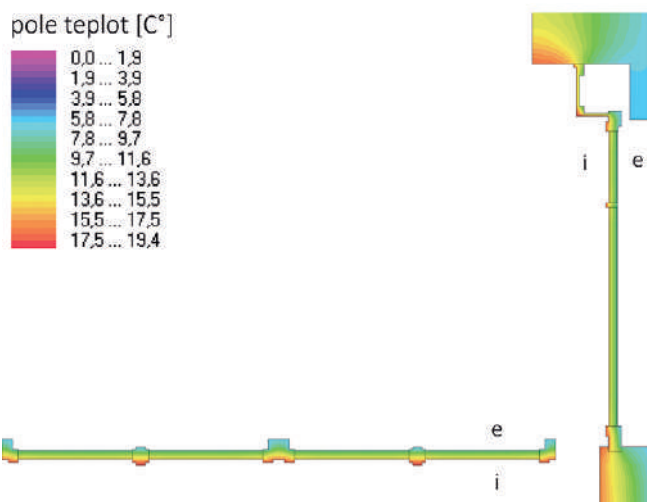
Obr. 24. Okno č. 4, teplotní pole v půdorysu a řezu při $t_i = 19,6\text{ °C}$, $t_e = 3,5\text{ °C}$. Foto: Kristýna Schulzová, 2021.



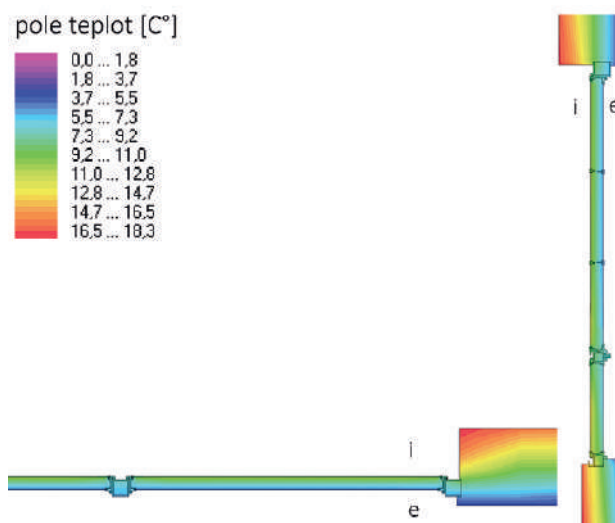
Obr. 25. Okno č. 5, teplotní pole v půdorysu a řezu při $t_i = 22,0\text{ °C}$, $t_e = 6,0\text{ °C}$. Foto: Kristýna Schulzová, 2021.



Obr. 26. Okno č. 6, teplotní pole v půdorysu a řezu při $t_i = 20,5\text{ °C}$, $t_e = 4,5\text{ °C}$. Foto: Kristýna Schulzová, 2021.



Obr. 27. Okno č. 7, teplotní pole v půdorysu a řezu při $t_i = 21,0\text{ °C}$, $t_e = 7,0\text{ °C}$. Foto: Kristýna Schulzová, 2021.



Obr. 28. Okno č. 8, teplotní pole v půdorysu a řezu při $t_i = 21,0\text{ °C}$, $t_e = 3,0\text{ °C}$. Foto: Kristýna Schulzová, 2021.



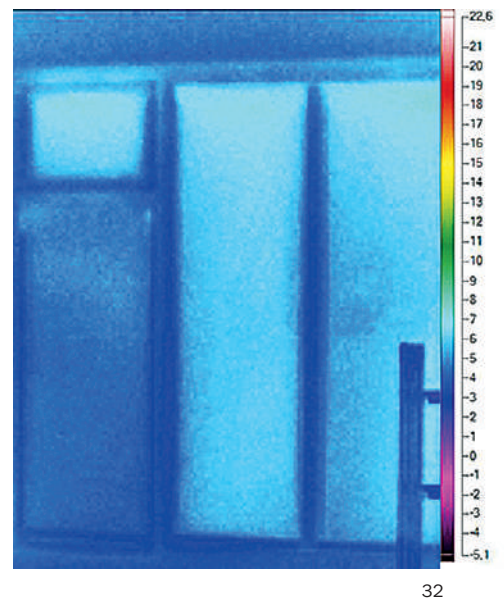
29



30



31



32

Obr. 29. Termovizní snímek okna č. 1 (dvojitě šestikřídlé).
Foto: Alexander Kuric, 2021.

Obr. 30. Termovizní snímek okna č. 2 (dvojitě čtyřkřídlé).
Foto: Alexander Kuric, 2021.

Obr. 31. Termovizní snímek okna č. 3 (dvojitě čtyřdílné s ventilací). Díky izolačním dvojsklům se zasklení stává nejlépe izolující částí pláště; u oken v původním stavu je tomu naopak.
Foto: Alexander Kuric, 2021.

Obr. 32. Termovizní snímek okna č. 4 (dvojitě trojdílné s ventilací). Foto: Alexander Kuric, 2021.

Ondřej uvedl ztráty o 57 % vyšší než u nejlepšího dřevěného. Výsledky ukazují u kovového okna (č. 8) ztráty o 35 % vyšší než u nejlepšího dvojitého (č. 1) a o 39 % vyšší než u celkově nejlepšího okna (č. 6). To je sice menší rozdíl, než jaký předpokládal Ondřej, nicméně vidíme, že špatné izolační vlastnosti kovových oken byly ve své době velmi dobře známou skutečností.

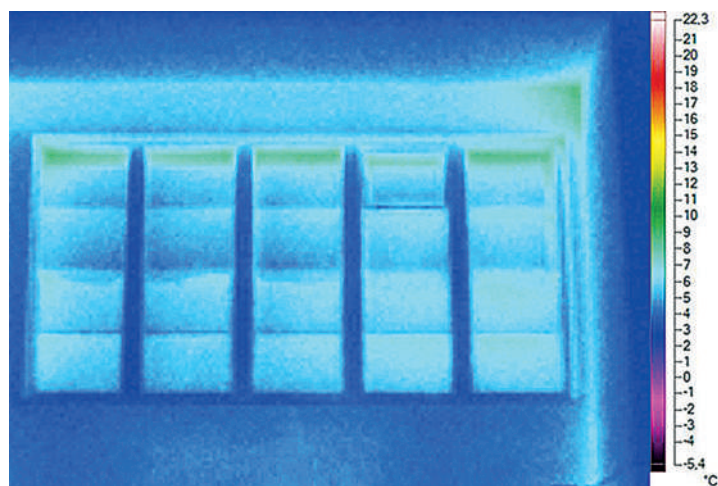
Oba citovaní doboví autoři zdůrazňovali důležitost dobrého utěsnění, což výsledky potvrzují; dosažená zlepšení jsou pouze o něco nižší (20–24 %) než Ondřejem udávané úspory cca 25–33 %. Výsledky neukázaly, že by okna s menším počtem křídel, a tedy i spár měla lepší izolační vlastnosti, jak předpokládal Vojtěch Krch.⁵⁵ To však vyplývá z metodické limitace výpočetního programu. Zatímco Krch zakládal svůj předpoklad na laboratorních měřeních průvzdušnosti, program Cube3D zohledňuje pouze přenos tepla vedením a úpravy spár byly simulovány změnou parametrů vzduchové mezery dle normových hodnot (viz kap. *Metodika/Výpočet*). Jak upozorňuje Kiel Moe, toto dnes téměř výhradně

■ Poznámky

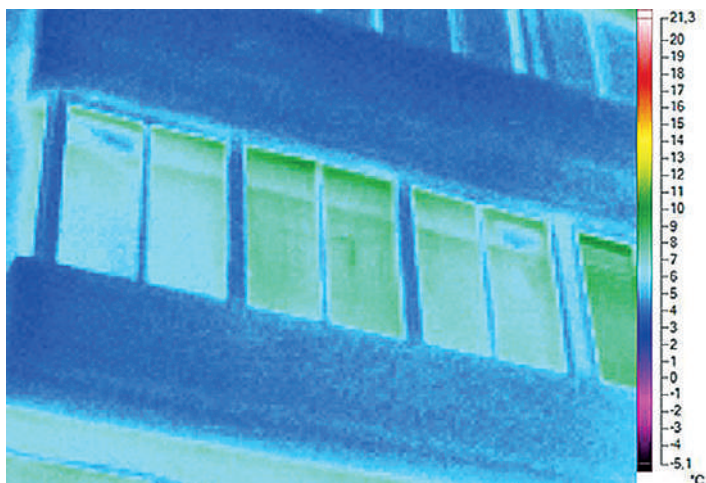
55 Krch (pozn. 52).



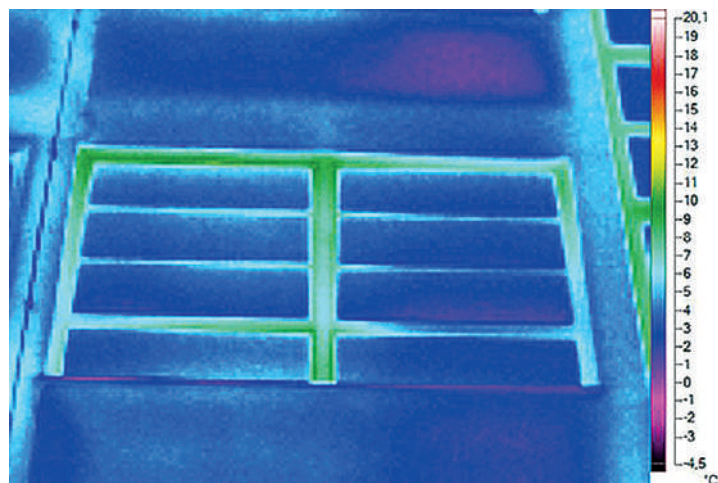
33



34



35



36

Obr. 33. Termovizní snímek okna č. 5 (dvojitě šestikřídlé s ventilací). Zdácnivě nižší teplota skel oproti rámcům je způsobena odrazem oblohy. Foto: Alexander Kuric, 2021.

Obr. 34. Termovizní snímek okna č. 6 (zdvojené). Foto: Alexander Kuric, 2021.

Obr. 35. Termovizní snímek okna č. 7 (zdvojené pásové). Foto: Alexander Kuric, 2021.

Obr. 36. Termovizní snímek okna č. 8 (ocelové). Kovové rámy tvoří výrazný tepelný most. Foto: Alexander Kuric, 2021.

užívané hodnocení tepelné úspornosti pomocí parametru U je obecně nutné vnímat jen jako určitým způsobem abstrahovaný výřez ve skutečnosti výrazně komplexnějšího fenoménu, právě pro jeho omezení na přenos tepla vedením.⁵⁶ Z tohoto hlediska je tak zajímavé, že se Vojtěch Krch ve 30. letech pokoušel o mnohostrannější pohled, než jaký je běžný dnes.

Závěr

Příspěvek analyzoval tepelně izolační vlastnosti oken typických pro architekturu funkcionalismu a zároveň prověřil některé možnosti dodatečných úprav umožňujících tyto vlastnosti zlepšit. Z hlediska vzájemného

srovnání historických oken výsledky zdůraznily, resp. potvrdily značně nižší izolační schopnosti oken kovových. Naopak mezi izolačními schopnostmi oken dvojitých a v meziválečné době nastupujících zdvojených (sdružených) se neprokázaly žádné zásadní rozdíly. To je v rozporu s tehdejšími všeobecnými povědomím a podporuje pozoruhodný progresivní pohled Vojtěcha Krcha, jenž ve své době používání zdvojených oken obhajoval.⁵⁷ Mimoto výpočet i termovizní snímky poukázaly ještě na problematičnost častého dobového detailu - roletové schránky, která tvoří tepelný most a izolační vlastnosti okna ztlačuje. Dodatečné úpravy se ve výzkumu potvrdily jako účinná cesta ke zlepšení tepelné izolačních vlastností funkcionalistických - a obecně historických - oken. Utěsnění křídel zlepšilo izolační parametry oken o přibližně pětinu až čtvrtinu původních hodnot⁵⁸ a termovizní snímky názorně dokreslují, jak výrazný vliv mohou neutěsněné spáry na úniky tepla mít. Utěsnění křídel je přitom úprava levná, rychlá a snadno proveditelná i v domácích podmínkách, a ne náhodou tak byla doporučována již zmíněným Vojtěchem Krchem před téměř 90 lety.⁵⁹

Další velice účinnou úpravou je výměna některých původních skel za izolační dvojskla. V tomto případě se při zahrnutí dalších specifik, zejména problematiky kondenzace, ukázala jako celkově nejvýhodnější náhrada skel ve vnějších křídlech, u zdvojených oken pak vnějších skel. Při kombinaci s utěsněním se u většiny oken podařilo dosáhnout zlepšení (tedy snížení) tepelné propustnosti o přibližně 50–60 %. Výjimku tvoří ocelová okna, u nichž jsou kvůli tepelnému mostu v rámu úpravy méně účinné a která tak představují z památkového hlediska specifickou výzvu. Výsledné součinitele prostupu tepla se pak pohybují mezi 1,2–1,5 W/K.m², což vyhovuje minimální hodnotě požadované stávající normou a v případě

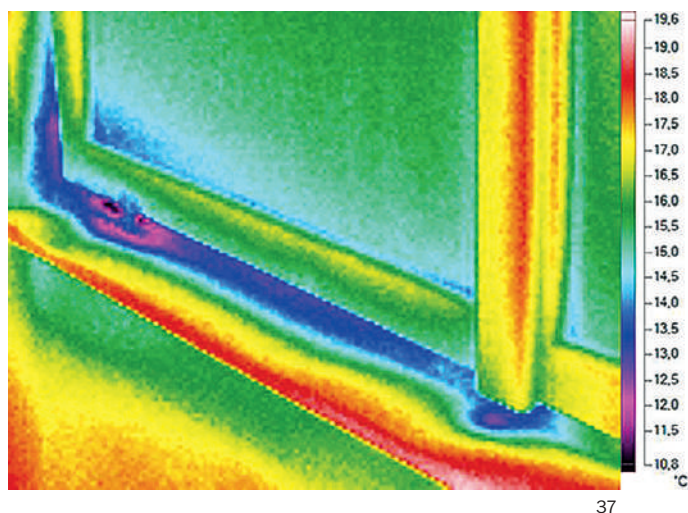
■ Poznámky

56 Kiel Moe, *Insulating Modernism: Isolated and Non-isolated Thermodynamics in Architecture*, Basel 2014, s. 21, 76.

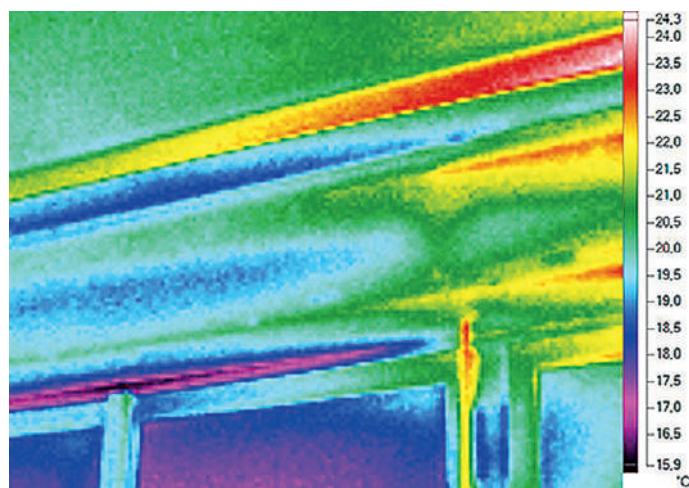
57 Krch (pozn. 52).

58 Je však nutné vzít v úvahu metodická omezení vyplývající ze způsobu výpočtové simulace utěsnění, viz kap. Metodika/Výpočet.

59 Krch (pozn. 52), s. 164.



37



38

Obr. 37. Únik tepla netěsnou dolní spárou (okno č. 7). Foto: Alexander Kuric, 2021.

Obr. 38. Detail chladné roletové schránky v nadpraží, kde vzniká tepelný most (okno č. 7). Foto: Alexander Kuric, 2021.

některých oken se blíží i hodnotě doporučené.⁶⁰ Platí přitom, že při použití kvalitnějších dvojskel lze dosáhnout hodnot ještě mírně lepších. V tématu dodatečných úprav tedy práce rozšířila předchozí výzkum provedený v našem prostředí, potvrdila však jeho závěry.⁶¹

Výsledky mohou podpořit argumenty pro zachování a adaptaci historických oken namísto jejich apriorní výměny, což je obzvláště u památek funkcionalismu problematika velice citlivá. V této souvislosti je ale nutné uvést, že i když úprava historických oken znamená výrazné zlepšení jejich izolačních schopností, nemohou se ani tak přiblížit oknům novým. Současná dřevěná okna s izolačním trojsklem dosahují prostupu tepla až 0,7 W/K.m², což je stále o více jak 40 % lepší hodnota než u nejlépe vycházejícího upraveného historického okna. Lze využít ještě jiných úprav než jen utěsnění a přesklení – zmiňované práce v Británii ukázaly, že zatažení vhodných záclon nebo rolet u přeskleného okna může zmírnit propustnost tepla ještě o dalších cca 10–20 %.⁶² To je však pochopitelně úprava využitelná jen příležitostně, navíc prakticky aplikovatelná i na nová okna. Nelze tedy přehlížet, že existují limity, jež při současných technologických možnostech historická okna nemohou překonat.

Výměna či zachování historických oken je ale otázkou, jejíž souvislosti přesahují pouhou změnu hodnoty součinitele prostupu tepla. Z hlediska stavební fyziky například Petr Všeček upozorňuje, že při výměně hlubokých dvojitých oken za novodobá dochází často ke kondenzaci a růstu plísní na okenních špaletách.⁶³ Zohlednit rovněž lze určité zhoršení světelných

podmínek v místnosti zapříčiněné obvykle mnohem mohutnějšími rámy nových oken. Můžeme však odhlédnout ještě dále a rozšířit úvahy i mimo pole stavební fyziky. Proč vlastně tolik zápasíme o každou desetinu hodnoty součinitele U a jsme ochotni jí obětovat i kontinuitu historické paměti? Zdánlivě samozřejmou odpovědí je, že tak činíme, protože nás k tomu nutí hrozba klimatické krize a snížení provozní energie budov je klíčovým nástrojem k jejímu odvrácení. Pracujeme však při této úvaze se správnými předpoklady, respektive zahrnujeme do ní předpoklady všechny?

Kiel Moe oprávněně kritizuje, že chápání otázky energie v architektuře výhradně skrze faktor tepelného odporu, respektive propustnosti, je příliš jednostranné a natolik zjednodušující, že nám neumožňuje porozumět problému v jeho celkových souvislostech.⁶⁴ Pouhé porovnání dvou hodnot U například nezohlední, kolik energie muselo být vynaloženo, abychom této úspory dosáhli. Jak by srovnání vycházelo, kdybychom do něj zahrnuli i energetickou cenu výroby, transportu a montáže nového okna, hodnotu, kterou znamenala uložená energie okna starého a konečně energetické vyčíslení úsilí, které by nás stálo jeho odstranění? Vyhodnocování finančních investic vždy vyvažuje vynaložené náklady proti předpokládaným ziskům; v případě investic energetických ale porovnáváme pouze zisky, aniž bychom si kladli otázku po jejich ceně. Chceme-li však usilovat při vytváření a obývání našeho stavěného prostředí o skutečnou udržitelnost, nemůžeme si dovolit tyto otázky pomíjet.

V této souvislosti nelze nezpomenout známý výrok Carla Elefanteho, že „nejzelenější budovou je ta, která již existuje“.⁶⁵ Vztáhnout jej můžeme i na užší téma historických oken. Úvahy o jejich renovaci a úpravách v tomto světle nejsou romantickým staromilstvím. Znamenají navázání na přirozeně udržitelné

principy recyklace, adaptace a energetické ekonomie, na mentalitu vytváření mnoha s málem, která byla v architektuře samozřejmou po tisíce let.

Práce vznikla v rámci projektu Studentské grantové soutěže ČVUT, číslo grantu SGS20/133/OHK1/2T/15.

Ing. arch. Alexander KURIC
ČVUT, Fakulta architektury
alexander.kuric@fa.cvut.cz

Ing. arch. Kristýna SCHULZOVÁ, Ph.D.
ČVUT, Fakulta architektury
kristyna.schulzova@fa.cvut.cz

■ Poznámky

60 ČSN73 0540-2 (pozn. 44).

61 Všeček (pozn. 17).

62 Platí při dodatečném zasklení jedním akrylátovým sklem. Viz Baker (pozn. 21), s. 7. Rolety jako dodatečné izolační opatření doporučoval také již Krch (pozn. 52), s. 167.

63 Všeček (pozn. 17), s. 86.

64 Moe (pozn. 56), s. 48–49, 70–71, 111, 168, 243.

65 Carl Elefante, *The Greenest Building Is... One That Is Already Built*, *Forum Journal*, 2007, roč. 21, č. 4, s. 26–37, cit. s. 26.