

Jan Tywoniak a kolektiv

Pozemní stavitelství VI

pro SPŠ stavební

Stavební fyzika, zdravotní nezávadnost
a požární bezpečnost staveb



Pozemní stavitelství I – VIII pro SPŠ stavební

Výstavba budov zaznamenala v posledních dvaceti letech výrazné změny v koncepci navrhování, v užívaných materiálech, technologiích i postupech návrhu konstrukcí. Uvedený vývoj je motivem pro vydání nového souboru učebnic, který je přednostně určen pro výuku studentů na středních odborných školách stavebního zaměření, ale může sloužit i jako základní studijní materiál pro jiné formy studia. Široká tematika navrhování budov je rozdělena do osmi dílů, které postupně seznámí studenty s aktuálním stavem a trendy jednotlivých oblastí, ale současně i se způsoby stavění v předchozích obdobích, jejichž znalost je nutnou podmínkou pro efektivní navrhování rekonstrukcí a modernizací budov.

Soubor učebnic je členěn takto:

- Pozemní stavitelství I** – **Základní požadavky a konstrukční systémy budov,**
- Pozemní stavitelství II** – **Nosné konstrukce budov – svíslé, stropní a předsazené,**
- Pozemní stavitelství III** – **Schodiště, základové konstrukce, spodní stavba,**
- Pozemní stavitelství IV** – **Zastřešení budov, obvodové pláště, výplně otvorů,**
- Pozemní stavitelství V** – **Kompletační konstrukce,**
- Pozemní stavitelství VI** – **Stavební fyzika, zdravotní nezávadnost a požární bezpečnost staveb,**
- Pozemní stavitelství VII** – **Technická zařízení budov,**
- Pozemní stavitelství VIII** – **Typologie budov, udržitelná výstavba.**

Rychlý vývoj techniky vyžaduje soustavné sledování nových informací v daných oblastech. Proto je třeba neomezovat se na informace předkládané v učebnicích, ale studovat i odbornou literaturu, časopisy, informace na internetu, a to vše včetně zahraničních. Proto jsou u hlavních kapitol uvedeny slovníčky se základními termíny v angličtině, které mohou usnadnit orientaci v zahraničních informačních zdrojích.

Autory souboru učebnic jsou specialisté z Fakulty stavební ČVUT v Praze, kteří se snaží aktuální informace o stavu a vývojových trendech výstavby budov podat co nejsrozumitelnější formou. Záměrem je poskytnout kvalitní vzdělání v oblasti pozemních staveb pro odborníky, kteří odcházejí přímo do stavební praxe, současně připravit nové zájemce pro studium na vysoké škole a zajistit tak novou generaci projektantů a stavitelů vysoce kvalitních budov respektujících současné požadavky udržitelného rozvoje společnosti.

Jan Tywoniak
Jiří Nováček
Jan Kaňka
Marek Pokorný
Petr Hejtmánek
Hana Najmanová
Martin Jiránek



Pozemní stavitelství VI

pro SPŠ stavební

Stavební fyzika, zdravotní nezávadnost
a požární bezpečnost staveb

Učebnici připravil kolektiv pracovníků Katedry konstrukcí pozemních staveb, Fakulty stavební ČVUT v Praze pod vedením prof. Ing. Jana Tywoniaka, CSc. (úvod, stavební tepelná technika): Ing. Jiří Nováček, Ph.D. (akustika budov), doc. Ing. Jan Kaňka, Ph.D. (stavební světelná technika), Ing. Marek Pokorný, Ph.D., Ing. Petr Hejtmánek, Ing. Hana Najmanová (požární bezpečnost staveb), doc. Ing. Martin Jiránek, CSc. (zdravotní nezávadnost staveb), spolupráce Ing. Kateřina Sojková a Ing. Jiří Novák, Ph.D.

Lektoroval: prof. Ing. Josef Chybík, CSc.



Jan Tywoniak a kolektiv

Pozemní stavitelství VI

pro SPŠ stavební

Stavební fyzika, zdravotní nezávadnost a požární bezpečnost staveb

Vydala Grada Publishing, a. s.
U Průhonu 22, Praha 7
obchod@grada.cz, www.grada.cz
tel.: +420 234 264 401, fax: +420 134 264 400
jako svou 5649. publikaci

Odpovědná redaktorka Eva Škrabalová
Grafická úprava a sazba Eva Hradiláková
Fotografie na obálce DEKTRADE, a.s
Obrázky v textu z archivu autorů, pokud není uvedeno jinak
Počet stran 148
První vydání, Praha 2014
Vytiskly Tiskárny Havlíčkův Brod, a. s.

© Grada Publishing, a. s., 2014
Cover Design © Eva Hradiláková, 2014

Vše, co je v knize uvedeno, bylo autory napsáno v upřímné snaze zprostředkovat čtenářům přístupnou formou co nejlepší informace. Z jejich praktického uplatnění nevyplývají pro autory ani pro redakci žádné právní důsledky. Názvy produktů, firem apod. použité v knize mohou být ochrannými známkami nebo registrovanými ochrannými známkami příslušných vlastníků.

Upozornění pro čtenáře a uživatele této knihy

*Všechna práva vyhrazena. Žádná část této tištěné či elektronické knihy nesmí být reprodukována ani šířena v papírové, elektronické či jiné podobě bez předchozího písemného souhlasu nakladatele. Neoprávněné užití této knihy bude **restně stíháno**.*

ISBN 978-80-247-5102-3

Obsah

Předmluva	9
1 Stavební tepelná technika	11
1.1 Prostup tepla stavebními konstrukcemi	12
1.2 Tepelná vodivost	12
1.3 Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla	14
1.4 Tepelné mosty a tepelné vazby	20
1.5 Vlhkost	22
1.5.1 Výskyt kondenzace na povrchu konstrukcí	22
1.5.2 Kondenzace a vypařování vodní páry uvnitř konstrukcí	22
1.6 Vzduchotěsnost	24
1.7 Tepelná setrvačnost a tepelná stabilita budov	26
1.7.1 Teplotní útlum	26
1.7.2 Tepelná stabilita	27
1.8 Odnímání tepla konstrukcemi	28
1.9 Přehledná energetická bilance budovy	30
1.9.1 Ztráta prostupem tepla	31
1.9.2 Přímý vstup tepla do vnějšího prostředí	32
1.9.3 Tepelná propustnost přes spodní stavbu a zeminu	32
1.9.4 Tepelná ztráta přes nevytápěné prostory	32
1.9.5 Tepelná ztráta větráním	32
1.9.6 Vnitřní tepelné zisky	33
1.9.7 Pasivní solární zisky	33
1.10 Budovy s nízkou energetickou náročností	33
1.10.1 Budovy nízkoenergetické a pasivní	34
1.10.2 Budovy s minimální energetickou náročností	34
2 Akustika budov	37
2.1 Základní akustické veličiny a jednotky	38
2.2 Urbanistická akustika	41
2.3 Prostorová akustika	44
2.4 Stavební akustika	48
2.4.1 Vzduchová neprůzvučnost	49
2.4.2 Kročejový zvuk	59

3	Stavební světelná technika	63
3.1	Úvod	64
3.2	Proslunění	65
3.2.1	Sluneční záření	65
3.2.2	Požadavky na proslunění	66
3.2.3	Prokazování proslunění	67
3.3	Denní osvětlení	68
3.3.1	Fyziologie vidění	69
3.3.2	Kritéria denního osvětlení	71
3.3.3	Požadavky	73
3.3.4	Denní osvětlení stávajících budov	76
3.3.5	Stanovení činitele denní osvětlenosti	76
4	Požární bezpečnost staveb	79
4.1	Úvod do tématu	81
4.1.1	Požární prevence a represe	81
4.1.2	Aktivní a pasivní požární ochrana staveb	82
4.1.3	Pojem požárně bezpečnostní řešení	82
4.1.4	Rozbor průběhu požáru	83
4.1.5	Požární výška a výšková poloha podlaží	85
4.2	Výrobek, konstrukce, budova	87
4.2.1	Výrobky	87
4.2.2	Konstrukce	90
4.2.3	Budovy a jejich konstrukční systémy	91
4.3	Požární úsek	93
4.3.1	Limity požárních úseků	94
4.3.2	Značení požárních úseků	95
4.4	Požární riziko a stupeň požární bezpečnosti	97
4.4.1	Požární zatížení	97
4.4.2	Stupeň požární bezpečnosti (SPB)	98
4.5	Stavební konstrukce a požární odolnost	100
4.5.1	Požární odolnost	100
4.5.2	Zvýšení požární odolnosti	104
4.5.3	Prostupy instalačních rozvodů	105
4.5.4	Povrchové úpravy konstrukcí	106
4.6	Únikové cesty	109
4.6.1	Obsazení osobami	109
4.6.2	Typ a počet únikových cest	110
4.6.3	Nechráněné únikové cesty (NÚC)	111

4.6.4	Chráněné únikové cesty (CHÚC)	113
4.6.5	Nouzové únikové osvětlení a značení únikových cest	115
4.7	Odstupové vzdálenosti a požárně nebezpečný prostor	116
4.7.1	Odstupová vzdálenost z hlediska sálání tepla	117
4.7.2	Odstupová vzdálenost z hlediska odpadávání hořících konstrukcí	118
4.7.3	Odstupová vzdálenost dřevostaveb	119
4.7.4	Umístění budovy do požárně nebezpečného prostoru stávající budovy	119
4.8	Zařízení pro protipožární zásah	121
4.8.1	Přístupové komunikace	121
4.8.2	Zásahové cesty	122
4.8.3	Technická zařízení – zásobování požární vodou	122
4.8.4	Technická zařízení – přenosné hasicí přístroje	123
4.8.5	Technická zařízení – požárněbezpečnostní zařízení	124
5	Zdravotní nezávadnost staveb	127
5.1	Chemické škodliviny	128
5.1.1	Typy chemických škodlivin	128
5.1.2	Způsoby snížení koncentrace chemických škodlivin	130
5.2	Aerosoly	131
5.2.1	Vláknitý prach	133
5.2.2	Těžké kovy	135
5.2.3	Odstraňování aerosolů z vnitřního vzduchu	135
5.3	Škodliviny biologického původu	136
5.4	Přírodní radionuklidy	138
5.4.1	Ochrana nových staveb proti radonu	139
5.4.2	Ochrana stávajících staveb proti radonu a gama-záření	142
	Literatura	145
	Rejstřík	147

Předmluva

Označení stavební fyzika zahrnuje několik svébytných oblastí, které jsou spolu do určité míry provázány. Znalost jejich základů umožní pochopení dějů v konstrukcích a budovách, pomůže objasnit smysl požadavků a doporučení. Ty vycházejí jak z povinnosti zajistit zdravé vnitřní prostředí v budovách (hygienické požadavky), tak z požadavků na nízkou energetickou náročnost a splnění požadavků z hlediska udržitelné výstavby budov [1]. Evropské předpisy obecně uvádějí sedm tzv. základních požadavků na stavby [2]. Ty můžeme chápat jako rámec pro odvození konkrétních požadavků, předpisů a norem:

1. Mechanická odolnost a stabilita,
2. Požární bezpečnost,
3. Hygiena, ochrana zdraví a životního prostředí,
4. Bezpečnost a přístupnost při užívání,
5. Ochrana proti hluku,
6. Úspora energie a ochrana tepla,
7. Udržitelné využívání přírodních zdrojů.

Tato učebnice se zabývá tématy druhého, třetího, pátého a šestého požadavku, s pochopitelnou vazbou na sedmý z nich. Patří sem stavební tepelná technika, často označovaná také jako tepelná ochrana budov, která se především zabývá tepelnými a vlhkostními ději ve stavebních konstrukcích a budovách a dále do jisté míry energetickou náročností budov. Akustika řeší zejména pronikání zvuku konstrukcemi (stavební akustika), šíření zvuku ve vnitřním prostoru (prostorová akustika) a šíření zvuku ve venkovním prostoru (urbanistická akustika). Další významné složky stavební fyziky tvoří hodnocení budov a místností z hlediska denního osvětlení a proslunění.

Učebnice se dále zabývá problémy spojenými s přítomností závadných látek v interiérech budov a požární bezpečností. I tato témata jsou někdy řazena pod společné označení stavební fyzika. Přirozeným cílem by mělo být propojení všech poznatků a požadavků s atraktivní funkční a vizuální složkou architektury v jeden harmonický celek. V této souvislosti je potřebné zmínit metodu integrovaného navrhování budov, kde by právě poznatky z jednotlivých specializací bylo možné vhodně a včasné uplatňovat ve prospěch uživatelů staveb i životního prostředí. Stavební fyzika patří k tradičním součástem výuky pozemního stavitelství a architektury, protože dobře aplikované poznatky vedou ke kvalitnějšímu návrhu a kvalitnější realizaci budov.

V řadě témat došlo v nedávné době k významným změnám – změnám v metodách výpočtů, aplikaci nových konstrukčních materiálů a výrobků, důrazu na nízkou energetickou náročnost budov. Objevují se nové poznatky i z oblasti zdravotní nezávadnosti a bezpečnosti staveb. Je dobré si uvědomit, že budovy jsou zpravidla stále složitější, komplexnější, obsahují velké množství stavebních a technických systémů. Jedním z klíčů k porozumění může být právě stavební fyzika.

)
Autoři, specialisté v jednotlivých odborných oblastech z Fakulty stavební ČVUT v Praze, jsou si velmi dobře vědomi obtížnosti studia textů v odborných publikacích, technických normách a legislativních předpisech. O to více by se učebnice měla stát základním průvodcem a měla by přispět k lepší orientaci a kvalifikaci studentů i dalších zájemců. Rozsah je volen s ohledem na výuku na středních průmyslových školách stavebního směru. Na konci knihy je uveden seznam literatury vhodné pro samostatné prohlubující studium.

Praha, červen 2014

Jan Tywoniak

slovníček

stavební fyzika – building physics
stavební tepelná technika – thermal performance of buildings
tepelná ochrana budov – thermal protection of buildings
akustika – acoustics
denní osvětlení – daylighting
proslunění – insolation (solar access)
integrované navrhování budov – integrated building design
udržitelná výstavba – sustainable building
šíření tepla vedením – heat conduction
jednorozměrné vedení tepla – one-dimensional heat conduction
vícerozměrné vedení tepla – more-dimensional heat conduction
šíření tepla prouděním – heat convection
šíření tepla sáláním – radiation heat transfer
tepelná vodivost – thermal conductivity
měrná tepelná kapacita – specific thermal capacity
tepelný odpor – thermal resistance
součinitel prostupu tepla – thermal transmittance, U-value
tepelný most – thermal bridge
tepelná vazba – thermal bridge, thermal coupling
difuze vodních par – water vapor diffusion
kondenzace – condensation
faktor difuzního odporu – water vapor diffusion coefficient, μ -value
ekvivalentní difuzní tloušťka – equivalent diffusion thickness
tepelná setrvačnost – thermal inertia
tepelná stabilita – thermal stability
riziko přehřívání – risk of overheating
průvzdušnost – air permeability
vzduchotěsnost – airtightness
tepelná ztráta – heat loss
tepelný zisk – heat gain
energetická bilance – energy balance
energetická náročnost budovy – energy performance of building
pasivní budova – passive building
nízkoenergetická budova – low-energy building

Stavební tepelná technika

1

- 1.1 Prostup tepla stavebními konstrukcemi
- 1.2 Tepelná vodivost
- 1.3 Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla
- 1.4 Tepelné mosty a tepelné vazby
- 1.5 Vlhkost
- 1.6 Vzduchotěsnost
- 1.7 Tepelná setrvačnost a tepelná stabilita budov
- 1.8 Odnímání tepla konstrukcemi
- 1.9 Přehledná energetická bilance budovy
- 1.10 Budovy s nízkou energetickou náročností

Stavební tepelná technika spojuje snahu o zajištění kvalitního vnitřního prostředí v budovách s nízkou energetickou náročností jejich provozu. To je spojeno i s nižším zatížením životního prostředí. Nedostatky stavebních konstrukcí z hlediska stavební tepelné techniky se mohou projevit i jejich degradací a zkrácením životnosti.

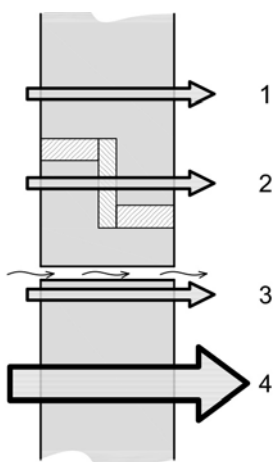
Hodnocení vlastností materiálů, konstrukcí a celých budov vychází ze základních fyzikálních poznatků o šíření tepla (termodynamika), šíření vlhkosti a vzduchu. K tomu jsou potřebné znalosti o struktuře hmot, klimatické údaje i parametry vnitřního prostředí v budovách (stanovení okrajových podmínek výpočtů).

V technické praxi jsou často užívány výpočty ve více úrovních – od nejjednodušších, orientačních, až po velmi podrobné a náročné na výpočetní techniku, určené specialistům a výzkumným pracovníkům. Většina výpočetních postupů pro praxi je popsána v technických normách nebo v jiných předpisech. Jednodušší výpočtové hodnocení by použitým postupem a volbou okrajových podmínek mělo vždy být „více na straně bezpečnosti“ s ohledem na účel hodnocení.

Současně s výpočty se často používají i měřicí metody. Ty můžeme rozdělit na laboratorní (slouží mj. ke stanovení vlastností materiálů a konstrukcí pro další výpočty a pro úřední deklaraci vlastností i pro ověření vyvíjených konstrukčních prvků, například obvodových plášťů) a na metody používané k průzkumu realizovaných staveb a jejich částí.

1.1 Prostup tepla stavebními konstrukcemi

Oddělíme-li dvě prostředí o různých teplotách nějakou překážkou, bude přes ni docházet k šíření tepla (obr. 1.1). Představuje-li jeden prostor vnitřní prostředí (interiér budovy), druhý prostor prostředí venkovní (exteriér), může uvedená překážka představovat obvodovou stěnu, střechu apod. Dochází v ní k **šíření tepla vedením**. **Jednorozměrné vedení tepla** můžeme předpokládat tam, kde jsou vrstvy obvodové stěny rovnoběžné a nenarušené. **Vícerozměrné ve-**



dení tepla se projeví všude tam, kde jsou v konstrukční skladbě přítomny místní nepravidlosti, tepelná izolace je oslabená nebo chybí, jsou zde umístěny spojovací prvky s vyšší tepelnou vodivostí apod. Pokud je v konstrukci souvislá netěsnost ve spojích, trhlina apod., může se zde navíc projevit **šíření tepla prouděním**, kdy vzduch proniká na druhou stranu konstrukce a nese si s sebou svůj tepelný (a vlhkostní – viz kap. 1.5) obsah. Jak detailně budeme každou stěnu posuzovat, záleží na účelu výpočtů. Pro některé z nich postačí celkové vyjádření, vhodným způsobem zahrnující i zmíněné nepravidlosti.

Obr. 1.1 Šíření tepla mezi dvěma prostředími přes překážku představující obvodovou konstrukci (1 – jednorozměrné vedení tepla, 2 – vícerozměrné vedení tepla, 3 – šíření tepla prouděním vzduchu, 4 – vyjádření celkového prostupu tepla)

1.2 Tepelná vodivost

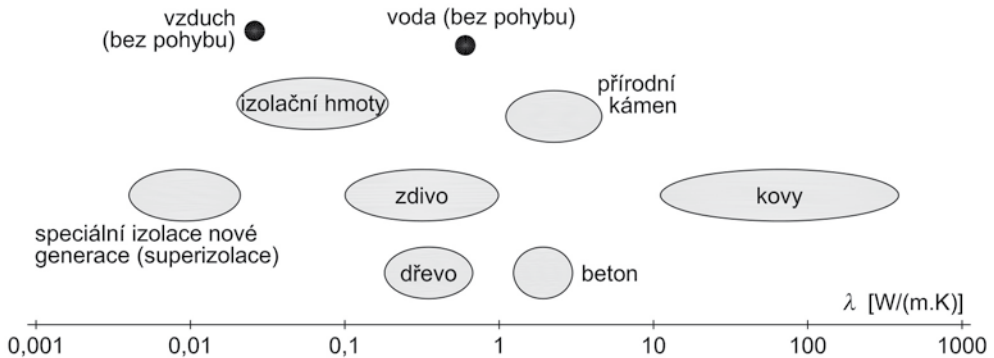
Tepelná vodivost (také **součinitel tepelné vodivosti**) patří s **objemovou hmotností** a **měrnou tepelnou kapacitou** k základním tepelně-technickým vlastnostem každého materiálu. Vyjadřuje schopnost sourodého materiálu vést teplo. Obvykle se označuje λ (čti: lambda). Má fyzikální rozměr $W/(m \cdot K)$.

Některé typické hodnoty jsou uvedeny v *tabulce 1.1* a na *obrázku 1.2*. Tepelná vodivost se liší v rozsahu několika řádů, největší je u kovových materiálů, nejmenší u tepelněizolačních hmot. Vývoj izolačních hmot stále pokračuje, mezi materiály s nejnižší tepelnou vodivostí se řadí vakuové izolace, aerogely a další.

Tepelná vodivost mírně roste s rostoucí teplotou prostředí a obvykle velmi výrazně roste s rostoucí vlhkostí materiálu. Ve výpočtech se proto musí vliv očekávané vlhkosti v konstrukci zohlednit. U materiálů s odlišnou strukturou v různých směrech (neizotropní) je třeba udávat pro každý směr odlišnou hodnotu tepelné vodivosti (dřevo ve směru podélném s vlákny a kolmém, dutinové keramické tvarovky apod.). Podle povahy stavebního materiálu se může také projevit zhoršující vliv stlačení při nesprávném způsobu zabudování (měkké vláknité izolace).

Poznámka: Obecnému popisu kvality tepelné izolace slouží třídy tepelné vodivosti, užívané v některých zemích, odstupňované po pěti. Třída 035 pak odpovídá hodnotám tepelné

vodivosti v intervalu 0,031 až 0,035 W/(m·K), třída 040 hodnotám tepelné vodivosti v intervalu 0,036 až 0,040 W/(m·K) atd.



Obr. 1.2 Tepelná vodivost vybraných hmot (logaritmická stupnice)

Tab. 1.1 Porovnání obvyklých hodnot tepelné vodivosti vybraných stavebních materiálů

Materiál	Tepelná vodivost λ [W/(m·K)]	Porovnání se zdivem z plných cihel
Hliník	204	237krát větší
Ocel	50	58×
Vysoce legovaná ocel, tzv. antikoroziční	15	17×
Železobeton	1,5	1,7×
Zdivo z plných cihel	0,86	1×
Lehčený beton autoklávovaný	0,20	0,23×
Dřevo měkké, tepelný tok kolmo k vláknům	0,18	0,21×
Izolační desky z minerálních vláken	0,040	0,05×
Pěnový polystyren	0,035	0,04×
Resolová pěna	0,022	0,03×
Aerogel	0,014	0,01×
Vakuová izolace (hodnota pro dlouhodobou aplikaci ve stavebnictví)	0,006	0,007×

Poznámka: Uvedené hodnoty jsou pouze orientační a slouží pro základní porovnání. Pro konkrétní výrobky a způsob jejich zabudování se mohou odlišovat, někdy i značně. Podrobné údaje jsou uvedeny v technických normách [4], kde jsou uvedeny i metody přepočtu podle způsobu zabudování.

1.3 Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla

Tepelný odpor R [$\text{m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$] charakterizuje izolační schopnost konstrukční vrstvy o tloušťce d [m]: $R = d/\lambda$. Pokud se konstrukce skládá z většího počtu rovnoběžných vrstev, sečtením tepelných odporů jednotlivých vrstev zjistíme tepelný odpor konstrukce (obr. 1.3):

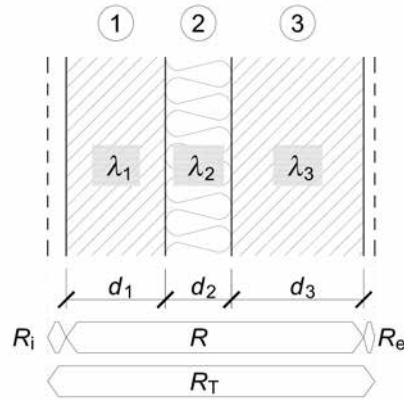
$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots = d_1/\lambda_1 + d_2/\lambda_2 + d_3/\lambda_3$$

...

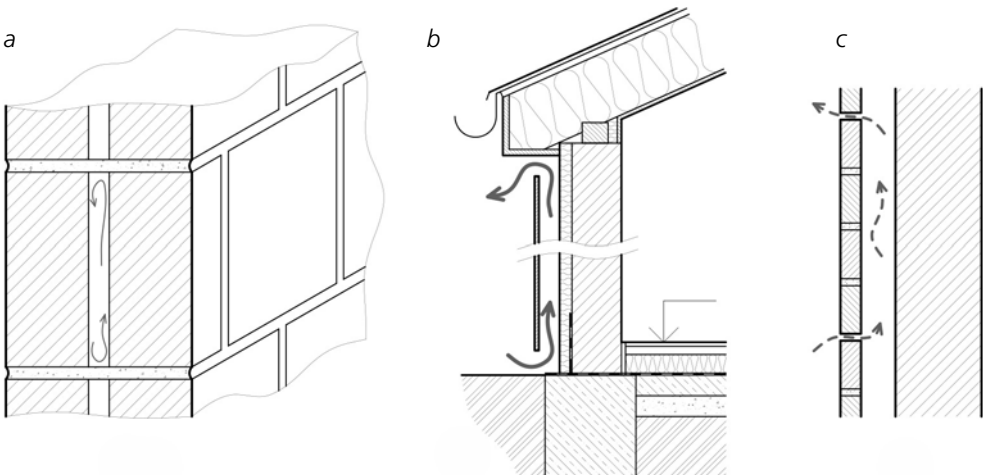
Určitý tepelný odpor se projevuje i při povrchích konstrukce, na rozhraní s obklopujícím vzduchem, jako důsledek šíření tepla prouděním vzduchu a sálavé výměny tepla s obklopujícími povrchy (*šíření tepla sáláním*). V technické praxi jsou tyto jevy zjednodušeně popsány prostřednictvím **odporu při přestupu tepla** (R_i , R_e) a konkrétní hodnoty uvedeny v tabulkách (tab. 1.2).

Souvislé **vzduchové vrstvy** v konstrukčním souvrství se ve výpočtech rozlišují podle způsobu propojení s okolním prostředím (obr. 1.4):

- a) **nevětrané** (uzavřené) považujeme za zvláštní vrstvu konstrukce. Kromě vedení tepla se zde projevuje proudění a sálání. Proto jsou hodnoty tepelného odporu této vrstvy závislé i na směru tepelného toku, tloušťce vrstvy a orientaci (svislé, vodorovné). Hodnoty tepelného odporu jsou uvedeny v *tabulce 1.3*;
- b) **větrané** (otevřené), kde se předpokládá propojení s venkovním prostředím. Tím vzniká dvouplášťová (větraná) konstrukce. Zjednodušeně se předpokládá, že v dutině je stejná teplota jako venku. Propojení vzduchové dutiny s vnitřním prostředím je zpravidla nevhodné;



Obr. 1.3



Obr. 1.4 Vzduchová vrstva: a) nevětraná; b) větraná (otevřená); c) slabě větraná

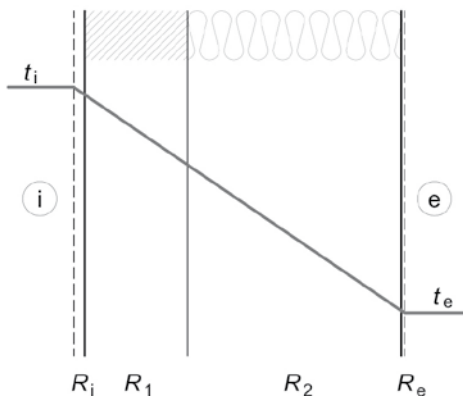
c) jako **slabě větrané** se označují takové vrstvy, které mají částečné propojení s venkovním prostředím. Může se například jednat o průběžnou dutinu za venkovním režným zdívkem, kde jsou záměrně ponechávány některé svislé spáry volné (nevyplněné maltou) pro zajištění odvodu pronikající vlhkosti a podporu vysychání zdiva. Tepelný odpor se zjednodušeně uvažuje jako polovina tepelného odporu vzduchové vrstvy uzavřené, nejvýše však hodnotou $0,15 \text{ m}^2\text{K/W}$.

Tab. 1.2 *Odpor při přestupu tepla*

Směr tepelného toku	Typická konstrukce	Odpor při přestupu tepla na vnitřní straně R_i [$\text{m}^2\cdot\text{K/W}$]	Odpor při přestupu tepla na venkovní straně R_e [$\text{m}^2\cdot\text{K/W}$]
Vodorovně	Stěna, okno	0,13	0,04
Svisle nahoru	Strop	0,10	
Svisle dolů	Podlaha	0,17	

Tab. 1.3 *Tepelný odpor vzduchových vrstev podle směru tepelného toku*

Tloušťka vzduchové vrstvy [mm]	Tepelný odpor [$\text{m}^2\cdot\text{K/W}$]		
	Nahoru	Vodorovně	Dolů
10	0,15	0,15	0,15
15	0,16	0,17	0,17
25		0,18	0,19
50			0,21
100			0,22
300			0,23



Při znalosti tepelného odporu konstrukce, teploty vzduchu v místnosti a teploty ve venkovním prostředí můžeme zjednodušeně určit průběh teploty v konstrukci (obr. 1.5, obr. 1.6).

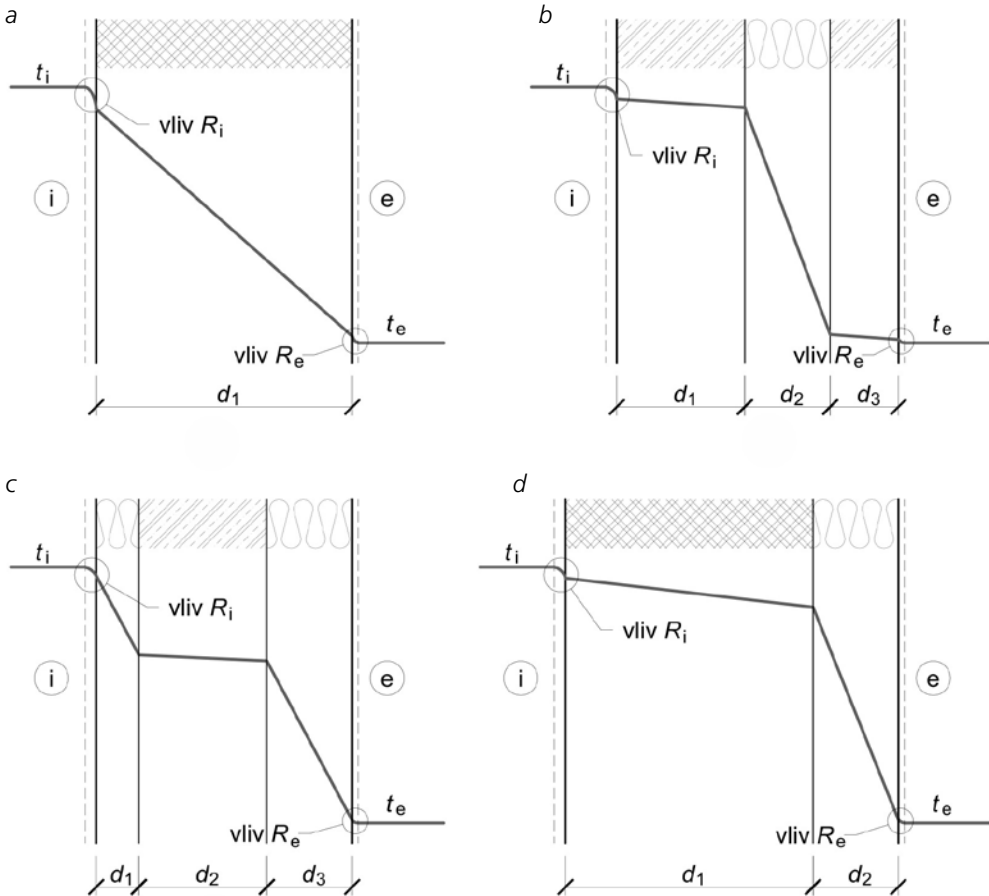
Obr. 1.5 Vyneseme-li tepelný odpor konstrukce spolu s odpory při přestupu tepla na vodorovnou osu grafu, bude průběh teploty v konstrukci za neměnných podmínek přímkový (t_i – teplota v místnosti, t_e – zimní venkovní teplota)

Jako **součinitel prostupu tepla U** [$W/(m^2 \cdot K)$] se označuje převrácená hodnota celkového odporu konstrukce při prostupu tepla R_T :

$$U = 1/R_T = 1/(R_i + R + R_e).$$

Pokud jsou v konstrukci přítomny nepravidelnosti a jiná oslabení tepelněizolačních vrstev, musí se odpovídajícím způsobem hodnota součinitele prostupu tepla zvýšit (kap. 1.4).

Hodnoty součinitele prostupu tepla běžných konstrukcí se obvykle stanovují výpočtem, hodnoty pro okna a dveře se stanovují především měřením v laboratoři.



Obr. 1.6 Průběh teploty v konstrukci v závislosti na tloušťce vrstev (omítky zanedbány):

- a) *přímkový průběh jednovrstvou konstrukcí,*
- b) *lomený průběh u tradiční sendvičové konstrukce (beton – polystyren – beton),*
- c) *lomený průběh u sendvičové konstrukce vzniklé litím betonu do polystyrenových bednicích tvarovek,*
- d) *lomený průběh u stěny z plných cihel, doplněné o vnější kontaktní zateplovací systém*

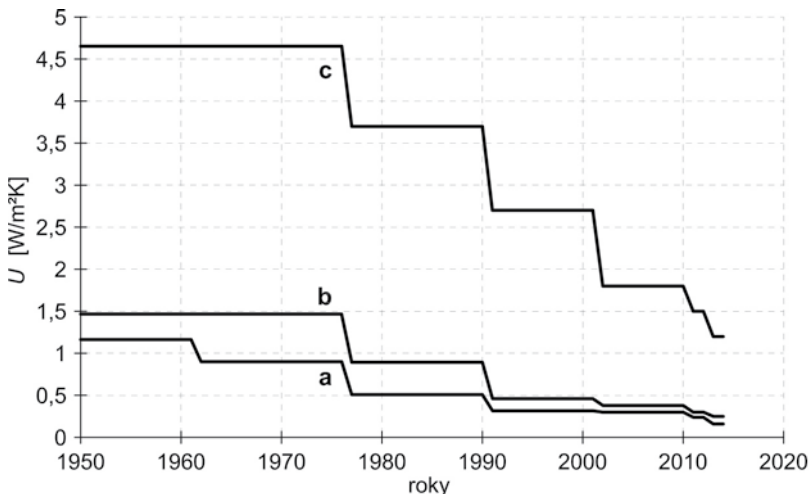
PŘÍKLAD

Trojvrstvá konstrukce ve skladbě (v pořadí z vnitřní strany) 150 mm železobeton, 60 mm pěnový polystyren, 60 mm železobeton byla doplněna o kontaktní zateplovací systém z minerálních vláken o tloušťce 80 mm. Určete tepelný odpor a součinitel prostupu tepla v původním a novém stavu. Jak by se musela zvětšit tloušťka přidané tepelné izolace, aby součinitel prostupu tepla klesl na čtvrtinu oproti původnímu stavu? Jak se změní tepelný odpor při obrácení pořadí vrstev? Omítky zanedbejte.

Ve stavebně-energetických předpisech jsou stanoveny požadavky a doporučení:

- pro maximální hodnoty součinitele prostupu tepla (obr. 1.7 a tab. 1.4). Požadované hodnoty součinitele prostupu tepla se použijí pro základní hodnocení konstrukcí a jako vstupní údaj pro výpočet referenční budovy v hodnocení energetické náročnosti [5]. Použití hodnot doporučených je vhodné všude tam, kde tomu nebrání technické, ekonomické nebo legislativní překážky. Hodnoty doporučené pro pasivní budovy se použijí zejména pro předběžný návrh konstrukcí takových budov. Můžeme je tedy považovat za cílové hodnoty v budoucnu;
- pro maximální hodnoty průměrného součinitele prostupu tepla obálky budovy (vážený průměr podle plošného zastoupení) – kap. 1.10.

Požadavky na izolační kvalitu konstrukcí se v průběhu let postupně zpříšňovaly. Z obrázku 1.7 je možné si udělat i představu, jak významného zlepšení je možné dosahovat při dodatečných úpravách budov (po doplnění izolačních vrstev).



Obr. 1.7 Vývoj požadavků na obvodové konstrukce z hlediska součinitele prostupu tepla (zjednodušeno):

- ploché střechy,
- obvodové stěny,
- okna

Tab. 1.4 Přehled součinitelů prostupu tepla pro obvykle vytápěné budovy [3]

Popis konstrukce	Součinitel prostupu tepla [W/(m ² ·K)]		
	Požadované hodnoty	Doporučené hodnoty	Doporučené hodnoty pro pasivní budovy (cílové hodnoty)
Stěna vnější	0,30	těžká ¹⁾ : 0,25	0,18 až 0,12
		lehká: 0,20	
Střecha strmá se sklonem nad 45°	0,30	0,20	0,18 až 0,12
Střecha plochá a šikmá se sklonem do 45°	0,24	0,16	0,15 až 0,10
Strop s podlahou nad venkovním prostorem	0,24	0,16	0,15 až 0,10
Strop pod nevytápěnou půdou (se střechou bez tepelné izolace)	0,30	0,20	0,15 až 0,10
Stěna k nevytápěné půdě (se střechou bez tepelné izolace)	0,30	těžké ¹⁾ : 0,25	0,18 až 0,12
		lehké: 0,20	
Podlaha a stěna vytápěného prostoru přilehlá k zemině	0,45	0,30	0,22 až 0,15
Strop a stěna vnitřní z vytápěného k nevytápěnému prostoru	0,60	0,40	0,30 až 0,20
Strop a stěna vnitřní z vytápěného k temperovanému prostoru	0,75	0,50	0,38 až 0,25
Strop a stěna vnější z temperovaného prostoru k venkovnímu prostředí	0,75	0,50	0,38 až 0,25
Podlaha a stěna temperovaného prostoru přilehlá k zemině	0,85	0,60	0,45 až 0,30
Stěna mezi sousedními budovami	1,05	0,70	0,5
Strop mezi prostory s rozdílem teplot do 10 °C včetně	1,05	0,70	–
Stěna mezi prostory s rozdílem teplot do 10 °C včetně	1,30	0,90	–
Strop vnitřní mezi prostory s rozdílem teplot do 5 °C včetně	2,2	1,45	–
Stěna vnitřní mezi prostory s rozdílem teplot do 5 °C včetně	2,7	1,80	–

Popis konstrukce	Součinitel prostupu tepla [W/(m ² ·K)]		
	Požadované hodnoty	Doporučené hodnoty	Doporučené hodnoty pro pasivní budovy (cílové hodnoty)
Výplň otvoru ve vnější stěně a strmé střeše, z vytápěného prostoru do venkovního prostředí, kromě dveří	1,5	1,2	0,8 až 0,6
Šikmá výplň otvoru se sklonem do 45°, z vytápěného prostoru do venkovního prostředí	1,4	1,1	0,9
Dveřní výplň otvoru z vytápěného prostoru do venkovního prostředí (včetně rámu)	1,7	1,2	0,9
Výplň otvoru vedoucí z vytápěného do temperovaného prostoru	3,5	2,3	1,7
Výplň otvoru vedoucí z temperovaného prostoru do venkovního prostředí	3,5	2,3	1,7
Šikmá výplň otvoru se sklonem do 45° vedoucí z temperovaného prostoru do venkovního prostředí	2,6	1,7	1,4
Lehký obvodový plášť (LOP), hodnocený jako smontovaná sestava včetně nosných prvků, s poměrnou plochou průsvitné výplně otvoru $f_w = A_w/A$ [m ² /m ²], kde je: A ... celková plocha lehkého obvodového pláště (LOP) [m ²]; A _w ... plocha průsvitné výplně otvoru sloužící převážně k osvětlení interiéru včetně příslušných částí rámu v LOP [m ²].	$f_w \leq 0,5$	$0,3 + 1,4 \cdot f_w$	0,15 + 0,85 · f _w
	$f_w > 0,5$	$0,7 + 0,6 \cdot f_w$	
Kovový rám výplně otvoru	–	1,8	1,0
Nekovový rám výplně otvoru	–	1,3	0,9 až 0,7
Rám lehkého obvodového pláště	–	1,8	1,2

¹ Za těžkou se považuje taková konstrukce, jejíž plošná hmotnost je větší než 100 kg/m².