

Lineární činitel prostupu tepla

Zbyněk Svoboda, FSv ČVUT

Původní text ze skript „Stavební fyzika 31“ z roku 2004. Částečně aktualizováno v roce 2018 především s ohledem na změny v normách.

Lineární činitel prostupu tepla je poměrně nová veličina, která charakterizuje tepelně technické vlastnosti dvourozměrných tepelných mostů a vazeb. Obecně jde o korekci tepelných toků prostupem přes rovinné konstrukce v místě jejich tepelné vazby. V řadě případů pak lineární činitel prostupu tepla vyjadřuje přímo množství tepla ve W (tj. v J/s), které prochází při jednotkovém teplotním rozdílu jednotkovou délkou tepelné vazby. Ovšem nikoli vždy - lineární činitel může totiž vzhledem ke svému charakteru nabývat i záporných hodnot.

1.1. Požadavky

Požadavky na lineární činitel prostupu tepla uvádí ČSN 730540-2 v čl. 5.4. Pro každou tepelnou vazbu mezi konstrukcemi musí být splněna podmínka

$$\psi \leq \psi_N, \quad [W/(m \cdot K)] \quad (1)$$

kde ψ je vypočtený lineární činitel prostupu tepla tepelné vazby mezi konstrukcemi a ψ_N je jeho normou požadovaná hodnota ve W/(m.K), která je uvedena v Tab. 1.

Tab. 1: Požadovaný lineární činitel prostupu tepla ψ_N podle ČSN 730540-2

	Požadované hodnoty ψ_N	Doporučené hodnoty ψ_{rec}	Doporučené hodnoty pro pasivní budovy ψ_{pas}
	[W/(m·K)]	[W/(m·K)]	[W/(m·K)]
Styk vnější stěny a další konstrukce s výjimkou výplně otvoru (např. styk se základem, stropem, jinou stěnou, střešou, balkonem apod.)	0,20	0,10	0,05
Styk vnější stěny a výplně otvoru (parapet, ostění, nadpraží)	0,10	0,03	0,01
Styk střechy a výplně otvoru (střešní okno, světlík apod.)	0,30	0,10	0,02

Splnění požadavků na lineární činitel prostupu tepla se nemusí hodnotit, je-li návrhem i provedením zaručeno, že je působení tepelných vazeb mezi konstrukcemi velmi malé (ČSN 730540-2 konkrétně uvádí, že musí být menší než 5 % nejnižšího součinitele prostupu tepla navazujících konstrukcí). Obvykle se jedná o případy s tepelnou izolací kontinuálně probíhající přes veškeré styky konstrukcí (např. při venkovním zateplení).

1.2. Postup výpočtu

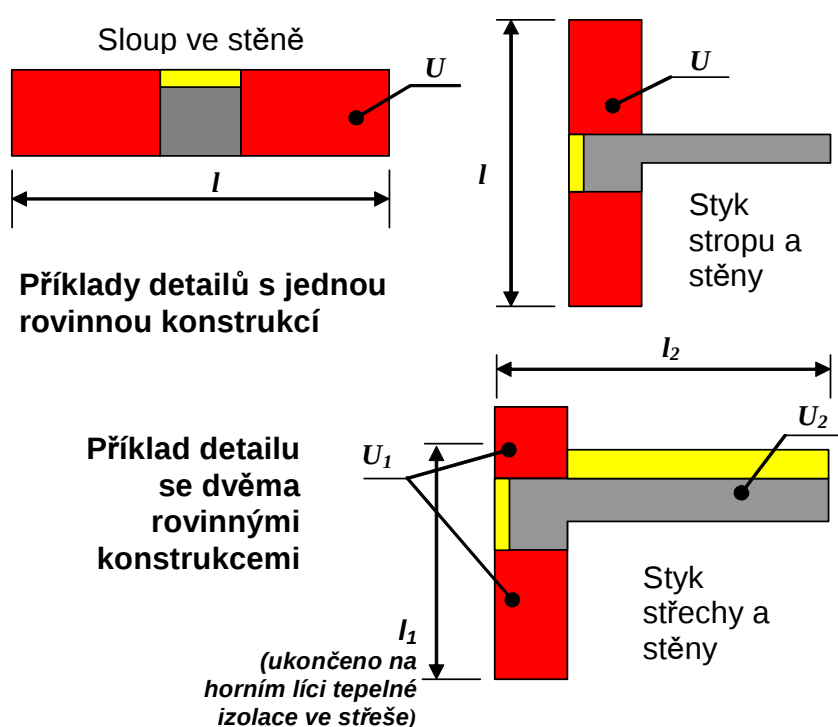
Orientační (tabulkové) hodnoty lineárních činitelů prostupu tepla uvádí pro vybrané detaily ČSN EN ISO 14683. Jejich použití je omezené pravidly uvedenými v citované normě a je pochopitelně vždy zatíženo chybou (až ± 20 %). Lineární činitel prostupu tepla lze ovšem relativně snadno i vypočítat a

získat tak jeho dosti **přesnou hodnotu**. Pro details, na které působí pouze **dvě okrajové teploty**, se lineární činitel prostupu tepla určí ze vztahu

$$\psi = L - \sum U_j \cdot l_j, \quad [W/(m.K)] \quad (2)$$

kde L je vypočtená tepelná propustnost hodnoceným detailem ve $W/(m.K)$, U_j je součinitel prostupu tepla j -té dílčí plošné konstrukce ve $W/(m^2.K)$ a l_j je délka/šířka/výška j -té konstrukce v m.

Vztah (2) představuje rozdíl celkového tepelného toku prostupem tepelnou vazbou L a součtu tepelných toků prostupem rovinnými konstrukcemi (tj. $\sum U_j \cdot l_j$), které vazbu tvoří. Pro vysvětlení se podívejme na Obr. 1, kde jsou vidět běžné příklady stavebních detailů s jednou či dvěma dílčími rovinnými konstrukcemi. Ze schématu je zřejmé umístění dílčích rovinných konstrukcí a volba rozměrů l . Na Obr. 1 jsou zásadně používány rozměry l_j měřené z vnější strany, které jsou v ČR standardně používány pro daný typ výpočtu (a pro navazující hodnocení energetické náročnosti budov).



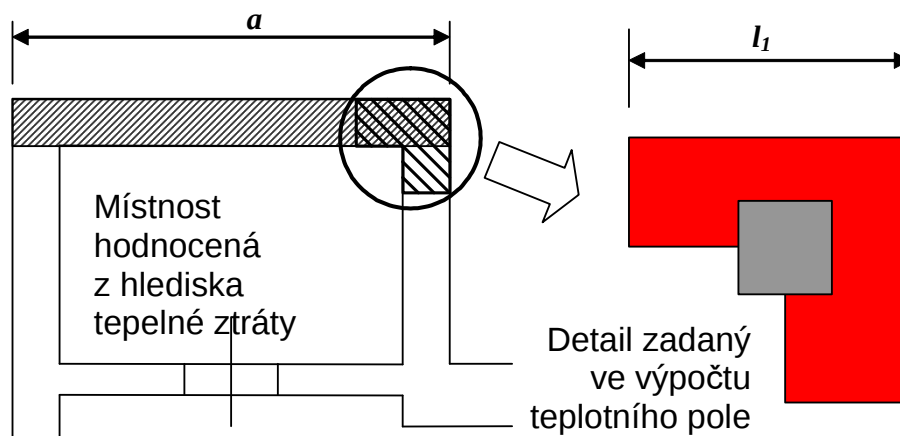
Obr. 1 Dílčí rovinné konstrukce v detailu

Vraťme se však ještě na okamžik ke vztahu (2). Zvědavější čtenáři si totiž možná kladou otázku, proč je vůbec nutné odečítat člen $\sum U_j \cdot l_j$ od tepelné propustnosti L . Pro objasnění se podívejme na Obr. 2, kde je vidět modelová místnost, pro kterou se stanovuje tepelná ztráta prostupem, a vybraný detail koutu dvou vnějších stěn. Tepelnou ztrátu prostupem s vlivem dvourozměrných tepelných vazeb je možné obecně vyjádřit vztahem

$$\Phi_T = \sum U_j \cdot A_j \cdot \Delta\theta + \sum \psi_j \cdot h_j \cdot \Delta\theta, \quad [W] \quad (3)$$

kde U_j je součinitel prostupu tepla j -té rovinné konstrukce ve $W/(m^2.K)$, A_j je její plocha v m^2 , ψ_j je lineární činitel prostupu tepla j -té tepelné vazby ve $W/(m.K)$, h_j je jeho délka/výška v m a $\Delta\theta$ je rozdíl mezi návrhovou vnitřní teplotou a teplotou na vnější straně j -té konstrukce či vazby ve $^{\circ}C$. Ze vztahu (3) je zřejmé, že hodnota ψ nesmí vyjadřovat nic více, než jednotkový prostup tepla tepelnou vazbou.

Pokud bychom totiž lineární činitel prostupu tepla koutu dvou stěn na Obr. 2 ztotožnili s vypočtenou tepelnou propustností (tj. $\psi = L$), obsahoval by i vliv prostupu tepla přes části obvodových stěn tvořících kout. Po dosažení takové hodnoty do vztahu (3) by pak celková tepelná ztráta místnosti prostupem obsahovala dvakrát tu část obvodového pláště, kde se stěna a hodnocené tepelná vazba překrývají. Na Obr. 2 je tato část označena překrývajícím se šrafováním. Lineární činitel prostupu tepla je proto třeba vždy vyčíslit tak, aby neobsahoval vliv těch rovinných stavebních konstrukcí, které se při výpočtu tepelné ztráty místnosti prostupem hodnotí samostatně.



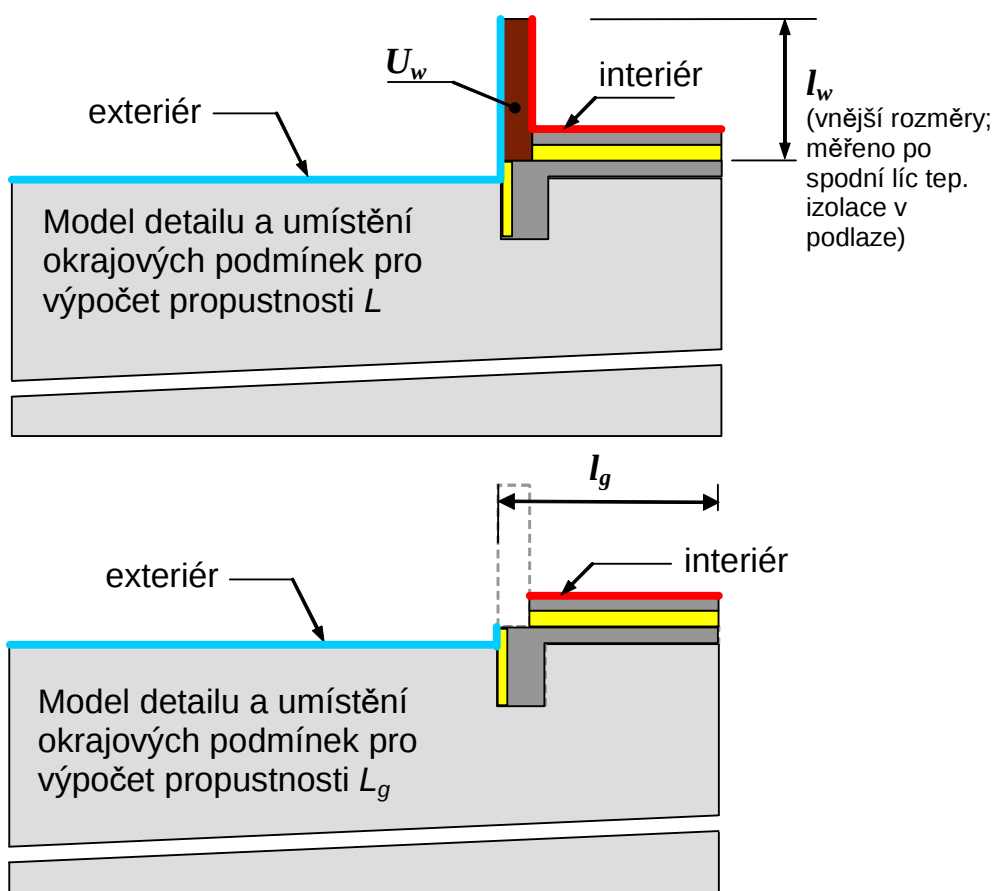
Obr. 2 Hodnocený detail a jeho vztah k hodnocené místnosti

A ještě jedno velmi důležité upozornění. Všechny veličiny ve vztahu (2) musí být vypočteny při použití **shodných tepelných odporů při přestupu tepla**. Pokud by tomu tak nebylo, výsledný lineární činitel prostupu tepla by vykazoval výraznou chybu.

Protože jde o korekci tepelných toků přes rovinné konstrukce, může lineární činitel prostupu tepla vycházet **kladný i záporný**. Kladná hodnota znamená, že přes hodnocenou tepelnou vazbu dochází k přídavnému tepelnému toku prostupem. Záporná hodnota obvykle znamená, že vliv hodnocené tepelné vazby na tepelný tok prostupem obálky budovy je již obsažen v tepelném toku přes rovinné konstrukce.

Působí-li na hodnocený detail **více než dvě teploty**, je nutné stanovit více lineárních činitelů prostupu tepla (například pro tři prostředí by bylo nutné stanovit celkem tři hodnoty ψ). Podrobný postup výpočtu pro tento méně častý případ uvádí EN ISO 10211.

Podívejme se závěrem ještě na jeden specifický postup výpočtu, který je definován v EN ISO 10211 a který se používá při hodnocení **styku obvodové stěny a podlahy na zemině** (Obr. 3). Lze jej použít ve vhodných modifikacích i u dalších detailů v kontaktu se zemí. Při zadávání detailu do programu pro výpočet 2D teplotních polí se hranice zeminy volí podle Obr. 2 v části **Okrajové podmínky** (varianta pro výpočet tepelných toků). Hodnota **b** na Obr. 2 v části **Okrajové podmínky** se uvažuje buď jako menší půdorysný rozměr objektu, nebo jako charakteristický rozměr podlahy podle vztahu (20) v části **Součinitel prostupu tepla**, a nebo jako 8 m, pokud není o budově nic bližšího známo.



Obr. 3 Modely základu stěny

Samotný **lineární činitel prostupu tepla** tepelné vazby mezi stěnou a podlahou na zemině lze stanovit pro standardní vnější rozměry ze vztahu

$$\psi = L - U_w \cdot l_w - L_g, \quad [\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})] \quad (4)$$

kde L je tepelná propustnost celým detailem ve $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$, U_w je součinitel prostupu tepla stěny ve $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, l_w je výška stěny měřená z vnější strany v m a L_g je tepelná propustnost podlahou včetně vlivu zeminy ve $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$.

Výpočet tepelné propustnosti L ve vztahu (4) se provádí pro celý detail, přičemž se okrajové podmínky zadávají na všech površích, které jsou v kontaktu s vnitřním a s vnějším vzduchem.

Výpočet tepelné propustnosti L_g se provádí pro upravený detail, v němž je vynechána obvodová stěna až do úrovně spodního líce tepelné izolace v podlaze (tj. do úrovně, od které se standardně měří výška stěny). Základ a jeho případné svislé či vodorovné tepelné izolace pod úrovní spodního líce tepelné izolace v podlaze v detailu zůstanou¹. Okrajové podmínky se pak zadávají pouze na vnitřním povrchu podlahy a na vnějším povrchu původní zeminy. Názorně tento postup ukazuje Obr. 3. Uvedený postup je nutné použít proto, že v tepelné propustnosti L_g je přímo vyjádřen kompletní přenos tepla mezi interiérem a exteriérem přes plochu podlahy, a to včetně vlivu zeminy a základu (hodnota L_g vlastně odpovídá součinu šířky podlahy l_g a jejího součinitele prostupu tepla U_g stanoveného s vlivem zeminy).

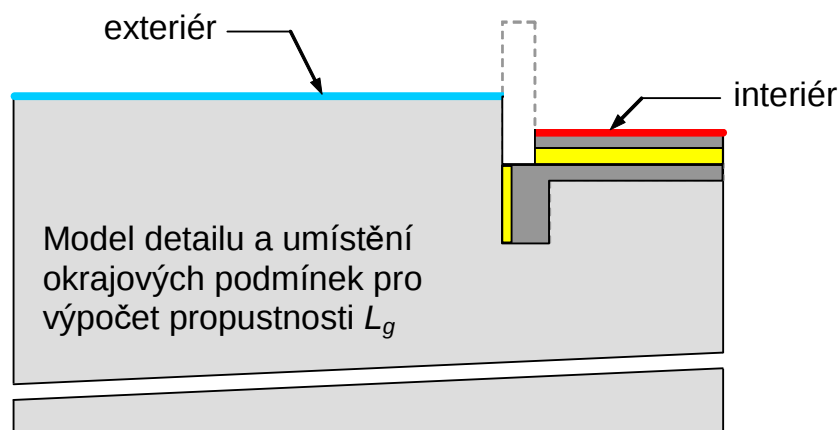
Alternativně ke vztahu (4) lze podle EN ISO 10211 použít - opět pro vnější rozměry - i dosti

¹ Ponechání základu a jeho tepelných izolací v upraveném detailu je novinkou revidované normy EN ISO 10211 z roku 2018. Podle předchozích verzí normy se základ nahrazoval zeminou.

diskutabilní vztah

$$\psi = L - U_w \cdot l_w - U_g \cdot l_g, \quad [W/(m.K)] \quad (5)$$

kde U_g je součinitel prostupu tepla podlahy včetně vlivu zeminy stanovený podle EN ISO 13370 ve $W/(m^2.K)$ a l_g je vodorovný rozměr podlahy měřený z vnější strany² v m (viz Obr. 3). Při použití vztahu (5) postačí provést pouze výpočet tepelné propustnosti celým detailem L , výpočet tepelné propustnosti podlahou L_g není třeba. Problémem vztahu (5) je nicméně součinitel prostupu tepla podlahy s vlivem zeminy U_g , protože tato hodnota závisí rozhodujícím způsobem na tvaru podlahy (např. pro podlahu ve tvaru dlouhého úzkého obdélníku bude výrazně vyšší než pro podlahu ve tvaru čtverce o stejné ploše). Lineární činitel prostupu tepla podle vztahu (5) tak může pro naprosto stejný detail styku stěny, základu a podlahy vycházet u geometricky různých podlah různě, což znemožňuje využití vztahu (5) při tvorbě katalogů tepelných vazeb. Otázkou je i použití pro energetické hodnocení konkrétní budovy, protože součin $U_g \cdot l_g$ ve vztahu (5) bude těžko kdy skutečně odpovídat tepelné propustnosti L_g stanovené výpočtem hodnocené 2D tepelné vazby. Chyba vnesená touto nekonzistencí může být i dosti významná.



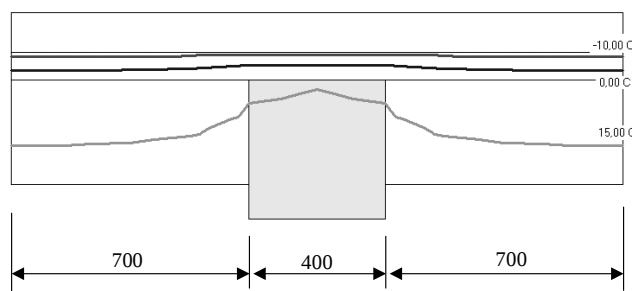
Obr. 4 Model podlahy s tep. izolací pod terénem pro výpočet hodnoty L_g

Za upozornění ještě stojí specifický případ, kdy je tepelná izolace v podlaze umístěna pod úrovní okolního terénu. V takovém případě je třeba v souladu s EN ISO 10211:2018 vytvořit model pro výpočet tepelné propustnosti L_g podle Obr. 4, tj. odstranit stěnu i pod úrovní terénu, a to opět až na spodní líc tepelné izolace v podlaze. Při jiném postupu by hodnota tepelné propustnosti L_g vykazovala výraznou chybu.

1.4. Příklady

Na Obr. 5 je uveden první příklad výpočtu lineárního činitele prostupu tepla. Jedná se o železobetonový sloup 400 x 400 mm umístěný v sendvičové stěně (děrované cihly 300 mm, polystyren 80 mm, lícové cihly 115 mm) o součiniteli prostupu tepla $U = 0,30 W/(m^2.K)$.

² Standardně by mělo jít o polovinu šířky celé podlahy, nebo o polovinu charakteristického rozměru podlahy, nebo o 4 m, nejsou-li o podlaze žádné informace (viz Obr. 2 v části **Okrajové podmínky**).



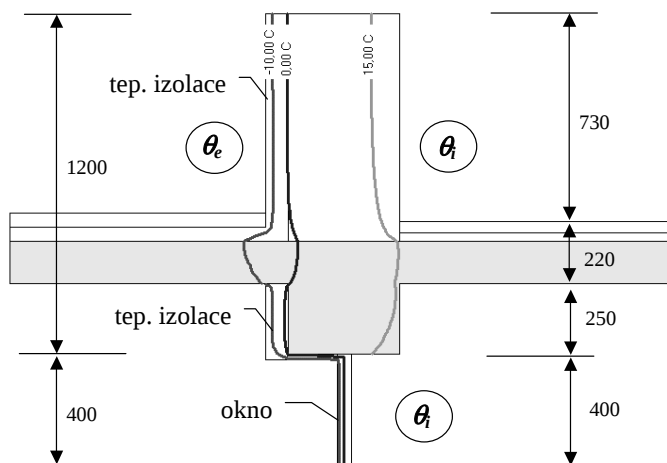
Obr. 5 Detail železobetonového sloupu

Výpočtem s pomocí programu Area byla stanovena tepelná propustnost $L = 0,618 \text{ W/(m.K)}$. Lineární činitel prostupu tepla stanovený podle vztahu (3) činí:

$$\psi_e = \psi_i = 0,618 - 1,8 \cdot 0,30 = \mathbf{0,08 \text{ W/(m.K)}}.$$

Hodnocený tepelný most splňuje požadavek ČSN 730540-2 na lineární činitel prostupu tepla, protože jeho vypočtená hodnota je nižší než požadovaných $0,20 \text{ W/(m.K)}$.

Na Obr. 6 je další hodnocený detail – v tomto případě konzola nad oknem o součiniteli prostupu tepla $U_w = 1,4 \text{ W/(m}^2\text{.K)}$. Obvodová stěna z děrovaných cihel tl. 400 mm je opatřena vnějším kontaktním zateplením tl. 80 mm. Součinitel prostupu tepla stěny je $0,24 \text{ W/(m}^2\text{.K)}$.



Obr. 6 Detail konzoly nad oknem

Při výpočtu programem Area byl detail vhodným způsobem zjednodušen - okno bylo nahrazeno jediným obdélníkem tl. 50 mm o ekvivalentní tepelné vodivosti $0,092 \text{ W/(m.K)}$. Takto lze zajistit, aby jak ve výpočtu teplotního pole, tak ve vztahu (3) figurovalo okno přesně stejným způsobem.

Tepelná propustnost stanovená výpočtem činí $L = 1,522 \text{ W/(m.K)}$. Lineární činitel prostupu tepla bude v tomto případě odlišný pro vnitřní a pro vnější rozměry.

$$\text{Pro vnitřní rozměry bude } \psi_i = 1,522 - 0,4 \cdot 1,4 - (0,25 + 0,73) \cdot 0,24 = \mathbf{0,73 \text{ W/(m.K)}}.$$

$$\text{Pro vnější rozměry bude poněkud nižší: } \psi_e = 1,522 - 0,4 \cdot 1,4 - 1,2 \cdot 0,24 = \mathbf{0,67 \text{ W/(m.K)}}.$$

Hodnocená tepelná vazba v tomto případě nesplňuje požadavek ČSN 730540-2 na lineární činitel prostupu tepla – vypočtená hodnota je vyšší než požadovaných $0,20 \text{ W/(m.K)}$.