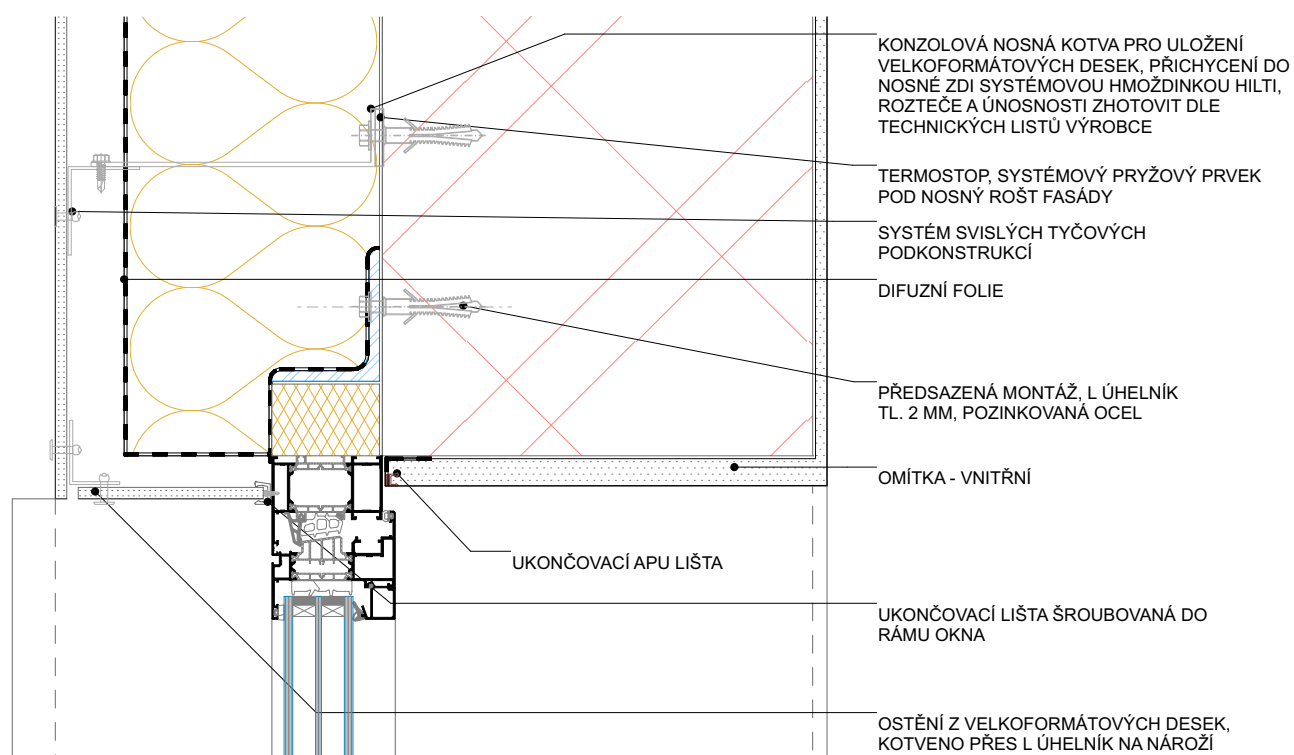


# Provětrávané fasády

## Konstrukční detaily v kontextu informačního modelování





# Provětrávané fasády

## **Konstrukční detaily v kontextu informačního modelování**

### **Upozornění pro čtenáře a uživatele této knihy**

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

Miloš Rehberger, Ondřej Vápeník

## **Provětrávané fasády**

**Konstrukční detaily v kontextu informačního modelování**

Vydala Grada Publishing, a.s.

U Průhonu 22, Praha 7

obchod@grada.cz, www.grada.cz

tel.: +420 234 264 401

jako svou 8632. publikaci

Odpovědná redaktorka Eva Škrabalová

Sazba a jazyková korektura Martina Mojzesová

Počet stran 176

První vydání, Praha 2023

Vytiskly Tiskárny Havlíčkův Brod, a.s.

© Grada Publishing, a.s., 2023

Cover Design © Grada Publishing, a.s., 2023

Názvy produktů, firem apod. použité v knize mohou být ochrannými známkami nebo registrovanými ochrannými známkami příslušných vlastníků.

ISBN 978–80–271–7002–9 (pdf)

ISBN 978–80–247–5151–1 (print)



# Obsah

---

Úvod	9
Obvodový plášť budovy jako pojem a zařazení konstrukce obvodového pláště do aktuálního kontextu doby	11
Historie vývoje, cesta k provětrávaným fasádám	15
Základní dělení konstrukcí obvodových plášťů	16
Jednovrstvá homogenní konstrukce obvodového pláště	17
Vývojová větev oddělení plášťů jednovrstvé homogenní konstrukce	19
Kontaktní zateplovací systémy ETICS	20
Kompaktní vícevrstvé konstrukce obvodových plášťů s tepelnou izolací vloženou mezi vnitřním a vnějším pláštěm	23
Dvoupplášťové konstrukce obvodových plášťů s provětrávanou mezerou jako difuzně otevřené konstrukce obvodových plášťů	24
Typická skladba dvoupplášťové konstrukce obvodového pláště s provětrávanou mezerou	25
Výhody dvoupplášťové konstrukce obvodového pláště s provětrávanou mezerou	39
Nevýhody dvoupplášťové konstrukce obvodového pláště s provětrávanou mezerou	42
Legislativní požadavky na konstrukce obvodových plášťů s provětrávanou mezerou	43
Existence tuzemských technických norem pro konstrukce obvodových plášťů s provětrávanou mezerou	44
ČSN 74 7251 Skládané pláště, obklady a pláště z panelů – Požadavky na přesnost osazení, kvalitu a vzhled – březen 2018	44
Příklady zahraničních regulativů pro konstrukci obvodových plášťů s větranou mezerou	45
FVHF – Fachverbandes Vorgehängte Hinterlüftete Fassaden	45
EOTA – European Organisation For Technical Approvals – ETAG 034 Guideline For European Technical Approval of Kits For External Wall Claddings – Part I: Ventilated Cladding Kits Comprising Cladding Components And Associated Fixings	45
Základní kategorie požadavků z hlediska základní řady tepelnotechnických norem řady ČSN 73 0540	46
Aerodynamické požadavky na konstrukci obvodových plášťů	49
Hydrodynamické požadavky na konstrukci obvodových plášťů	50
Požadavky z hlediska požární bezpečnosti	51
Obecně	51
Materiálové a konstrukční požadavky z hlediska požární bezpečnosti	53
Požární bezpečnost provětrávaných obvodových plášťů dle DIN	54
Akustické požadavky na konstrukci obvodových plášťů	55
Statické požadavky na konstrukci obvodových plášťů	57
Kategorizace okrajových podmínek pro návrh obvodových plášťů s provětrávanou mezerou	59
Vnější podmínky expozice z hlediska tepelné techniky	60
Návrhová teplota venkovního vzduchu v zimním období	61
Návrhová teplota venkovního vzduchu v letním období	61
Návrhová rychlost a směr větru v zimním období	62

Návrhová střední intenzita globálního slunečního záření v letním období	62
Návrhová relativní vlhkost venkovního vzduchu	67
Referenční klimatický rok	67
Tepelný tok mezi fasádou a oblohou jako důležitý parametr hodnocení konstrukce provětrávané fasády v zimním období	68
Závěr pro stanovení vnějších podmínek expozice z hlediska tepelné techniky	69
Vnitřní podmínky expozice z hlediska tepelné techniky	69
Návrhová vnitřní teplota v zimním období	69
Návrhová relativní vlhkost vnitřního vzduchu	70
Standardní postup posouzení a možná metodika podrobnějšího posouzení provětrávané fasády	70
Zásady standardního postupu posouzení provětrávané fasády	70
Nabídka možné metodiky podrobnější analýzy provětrávané fasády	77
<b>Úloha BIM v projekčním procesu, výhody a nevýhody návrhu pomocí BIM</b>	<b>103</b>
Používané zkratky a jejich vysvětlení	106
Současné legislativní prostředí BIM	107
ČSN EN ISO 19650 Část 1–4	108
Soukromá a veřejná sféra	108
CDE – společné datové prostředí	108
Klasifikace a její význam	111
BEP	112
BIM a obvodové pláště	112
Simulace a analýzy, které ovlivňují návrh obvodového pláště	113
Návod ke čtení katalogové části	114
Závěr	114
<b>Závěr textové části</b>	<b>115</b>
Doporučení z hlediska konstrukčních charakteristik provětrávané fasády	116
Doporučení z hlediska materiálových charakteristik provětrávané fasády	119
Poznámky k tvorbě projektové dokumentace obvodových plášťů	120
Závěr	123
<b>Katalogová část</b>	<b>125</b>
Provětrávaný obvodový plášť s obkladem z režného zdiva	126
Provětrávaný obvodový plášť s obkladem z kusových keramických tvarovek	134
Provětrávaný obvodový plášť s obkladem z přírodního kamene	142
Provětrávaný obvodový plášť z velkoplošných obkladových desek	150
Provětrávaný obvodový plášť z bezesparého systému Sto Ventec	158
Provětrávaný obvodový plášť z velkoformátových keramických desek	166
O autorech	174





## Úvod

---

Předkládaná publikace se věnuje problematice dvouplášťových konstrukcí fasád s provětrávanou mezerou, zjednodušeně řečeno provětrávaných fasád, které jsou v praxi po boku vícevrstevných kompaktních konstrukcí obvodových plášťů a lehkých obvodových plášťů jedním ze tří nejběžnějších typů fasádních konstrukcí. Konstrukce provětrávané fasády poskytuje architektovi volnost materiálového, tvarového a estetického řešení. Tento typ konstrukce obvodového pláště si s sebou nese mnoho zjednodušujících faktů, jež jsou v běžné stavební praxi chápány téměř axiomatically. Objevuje se ale také řada odborných prací a analýz, které konstrukce provětrávaných fasád hodnotí z řady hledisek: z hlediska čistě architektonického, nebo stavebnětechnického, konstrukčního a materiálového, nebo také z hlediska energetického. Publikace je určena nejen odborné veřejnosti, architektům, projektantům, investorům a výrobcům materiálových a systémových řešení v konstrukcích obvodových plášťů s provětrávanou mezerou běžně užívaných, ale také laické veřejnosti, majitelům a uživatelům staveb, jejichž převážnou část obvodového pláště tvoří dvouplášťová konstrukce obvodového pláště s provětrávanou mezerou.

Publikace by také měla čtenáře uvést do problematiky informačního modelování, které se již hojně využívá ve větších soukromých zakázkách a ve veřejném sektoru vrcholí příprava standardizace a uzákonění informačního modelování. BIM (Building Information Modeling/Management) je inovativní metodou digitálního modelování budov a jako taková získává celosvětově na popularitě. Tato metoda umožňuje navzájem lépe spolupracovat všem účastníkům stavebního procesu, včetně provozovatelů a uživatelů již hotových staveb. BIM umožňuje efektivnější a přesnější plánování, návrh, výstavbu a správu budov, což výrazně snižuje náklady a zvyšuje kvalitu práce. Informace zde uvedené budou rozděleny do dvou samostatných celků. Prvním bude letmý úvod do tematiky informačního modelování. Porovnáme současný stav ve světě a ČR, uvedeme jednotlivé nástroje, které se běžně používají, a jejich účel, zásady, principy, výhody a nevýhody jednotlivých systémových řešení. Druhým celkem bude následně podrobné vysvětlení aplikace této metody na problematiku obvodových plášťů s provětrávanou mezerou v katalogové části.



Obvodový plášť budovy jako pojem  
a zařazení konstrukce obvodového  
pláště do aktuálního kontextu doby

Technický termín „obvodový plášť budovy“ obecně zahrnuje všechny materiály a konstrukce, které člověk použil při stavbě nejjednodušších, čistě utilitárních druhů staveb, až po nejnáročnější architektonická díla. Architektura a stavitelství patří mezi druhy lidské činnosti, se kterými přicházíme do každodenního styku. Jsou potřebami, které zabezpečovaly a zabezpečují jeden ze základních požadavků přežití a existence člověka vůbec: vytvářejí prostory, ve kterých se člověk ukrývá před nepříznivými vlivy okolního prostředí.<sup>1</sup>

**Nejobecnější definici obvodového pláště lze shrnout takto:** obvodové pláště se definují jako stavební konstrukce tvořící vnější obálku budovy, chránící vnitřní prostředí před nepříznivými vlivy prostředí vnějšího. Pojmy „vnitřní“ a „vnější“ však vždy závisí na volbě kritérií, jež je popisují. Architektura, jako subjekt vnějšího prostoru, má i své prostory vnitřní a tyto prostory se od prostoru vnějšího liší pouze svým ohraničením. Toto ohraničení je vytvořeno fyzickými prvky různého charakteru, v různé poloze vůči sobě i vůči takto utvářenému prostoru. Tyto prvky, které utvářejí vnitřní prostor, pak lze podle jejich pozice vůči člověku v prostoru se nacházejícímu klasifikovat jako ty, které jsou v horizontální poloze nad a pod vnitřním prostorem, a na ty, které se nacházejí v poloze vertikální, jež vytvářejí materializované ohraničení, které jsme zvyklí obecně nazývat obvodovým pláštěm nebo fasádou.<sup>2</sup>

**Nejdůležitějšími faktory spolupůsobícími navzájem a podílejícími se na tvorbě obvodového pláště jsou:**

- **funkční požadavky**, které bychom v dnešní době obecně definovali základními legislativními požadavky shrnutými ve stavebním zákoně (mechanická odolnost a stabilita, požární bezpečnost, hygiena, ochrana zdraví a životního prostředí, bezpečnost při užívání stavby a úspora energie a tepelná ochrana), přičemž se dají zobecnit do hledisek staticko-mechanických, stavebněfyzikálních, bezpečnostních a architektonicko-estetických;
- **ekonomicko-společenské požadavky**, v dnešní době odrážející požadavky investora a budoucího uživatele na ekonomii a standard projektu a zájmy zhotovitele na celkové ekonomii realizace díla za účelem generování zisku a dosažení dostatečné reference vedoucí k dalšímu vzestupu podnikatelské činnosti;
- **fyzikální vlastnosti materiálů a úroveň technického rozvoje stavební techniky**, přičemž toto hledisko dále zohledňuje nejen funkčnost a ekonomizaci uvedenou výše, ale také hledisko realizační. Obvodový plášť prioritně vyjadřuje architektonické ztvárnění stavby, ale musí přitom být konstrukčně jednoduchý, zhotovitelný ze snadno dostupných materiálů, snadno montovatelný i demontovatelný, ideálně nezávisle na hlavní nosné konstrukci stavby.<sup>3</sup>

Obvodový plášť také tvoří dominantní výrazový prostředek ve struktuře architektonického díla. Spolu s konstrukcemi výplní otvorů se výraznou mírou podílí na tvorbě vnitřního prostředí tím, že chrání budovu a její vnitřní prostor před účinky vnějšího prostředí. Obvodový plášť rozhodující mírou ovlivňuje svým estetickým působením architektonický výraz budovy. Tektonika uspořádání jednotlivých částí konstrukce jako celku a konstrukční možnosti materiálů, z nichž je obvodový plášť složen, významně ovlivňují jeho výraz a vzhled. Obvodový plášť, jako vyjádření statických vlastností hmoty a konstrukce, souvisí z hlediska estetiky s konstrukčním uspořádáním a volbou skladby jednotlivých konstrukčních prvků mezi sebou.

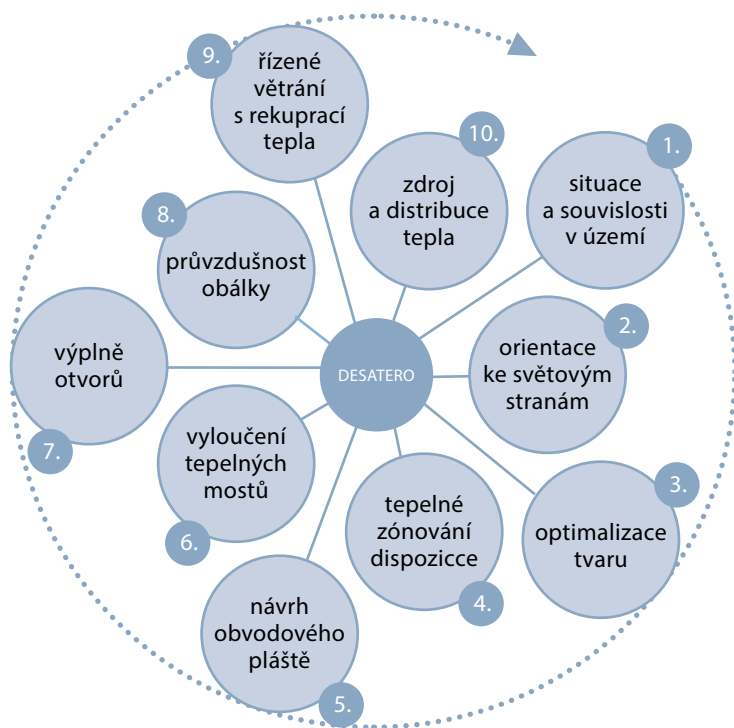
Období, ve kterém se nacházíme, umožňuje aplikaci aktuálního stavu vývoje stavební techniky pro návrhy a realizaci konstrukcí obvodových plášťů splňujících nejnáročnější požadavky z hlediska stavební fyziky obecně, především pak z hlediska tepelné techniky a efektivní aplikace požadavků energetické soběstačnosti staveb, ale také aktivní přístup v oblasti údržby a rekonstrukce staveb.

Vývoj jednoznačně směřuje k trvalé udržitelnosti vývoje architektury a stavitelství, jehož základem by mělo být odstranění zdánlivého paradoxu, že jím není myšlen pouhý růst kvantity, který je neudržitelný

1 PUŠKÁR, Anton. *Obvodové pláště budov – fasády*. Bratislava: Jaga, 2002. ISBN 80-88905-72-9, s. 11

2 Tamtéž, s. 1.

3 Tamtéž, s. 37–100.



1 Deset hlavních tezí vedoucích k nízké spotřebě energie. Zdroj: TLUSTÝ 2021, 7 tezí ČKA k udržitelnosti, s. 2, <https://www.cka.cz/cs/cka/kontakty/pracovni-skupiny/ps-udrzitelnost>

v prostředí konečných zdrojů, ale především rozvoj kvality lidského života, jeho nároků a technologických řešení. Udržitelnost v architektuře je myšlena dlouhodobá udržitelnost, přínosnost a návratnost investic do proměny prostředí a minimalizace negativních dopadů na okolí s plným vědomím omezování energetické náročnosti staveb, využívání obnovitelných zdrojů, šetření vodou, zajištění zdravého a užitelsky příjemného životního prostředí a efektivní nakládání s existujícím stavebním fondem.

Na udržitelnost ve výstavbě lze jistě nahlížet z mnoha úhlů pohledu. Jedním z nich je např. hledisko energetické náročnosti. Hodnotící analýzy a nástroje jsou u odborné veřejnosti poměrně rozšířené. Jedním z nich je např. návrhový program PHPP (Passivhaus Projektierungspaket) Passivhaus Institutu v Darmstadtu, který předkládá jakési desatero – deset hlavních tezí vedoucích k nízké potřebě energie (obr. 1).

Vedle klasických architektonických disciplín, týkajících se osazení navrhované stavby do daného území, se v tomto desateru objevují teze týkající se obecně návrhu a technického řešení obvodových plášťů. Tyto teze jsou úzce svázány jak se zájmovým územím výstavby, tak s technologiemi zajišťujícími kvalitu vnitřního prostředí stavby. Obvodový plášť se tak stává hlavním činitelem nesoucím zodpovědnost za kvalitu vnitřního prostředí stavby, energetickou náročnost jejího provozu a v konečném důsledku spokojenosti uživatele s výsledkem realizace stavby.

Účelem však není pouhá koncentrace na hlavní problém energetické náročnosti budov a dodržení základních hygienických požadavků na kvalitu vnitřního prostředí, odrážejících se i v problematice návrhu obvodových plášťů budov. Z hlediska dlouhodobé ekonomie je třeba konstrukce obvodových plášťů ošetřit ve smyslu prodloužení jejich životnosti v kombinaci s dosažením jejich dlouhodobé estetiky bez rizika rychlého stárnutí stavebních materiálů a stavebních konstrukcí z těchto materiálů realizovaných, což může v dlouhodobém horizontu vést ke zlepšení estetiky vnějšího prostředí a zvýšení společenské úrovně místa. Pro návrh a realizaci takových konstrukcí obvodových plášťů je ovšem nutné jít pod jejich povrch a snažit se pochopit procesy, které v těchto konstrukcích probíhají.

Tato publikace jde pod povrch úzkého segmentu jedné z konstrukcí obvodových plášťů a snaží se pochopit a specifikovat stavebněfyzikální procesy, jež mají vliv na její správnou funkci a trvanlivost v čase.

Konstrukce provětrávaných fasád se v běžné projekční praxi navrhují převážně na základě empirických zkušeností projektanta, samozřejmě při respektování aktuálních legislativních požadavků tepelnětechnických, akustických, požadavků požární bezpečnosti a požadavků mechanické odolnosti a stability, ale také s přihlédnutím k maximálnímu možnému snížení investičních nákladů na realizaci navržené konstrukce.

Tento způsob návrhu je ve velké většině úspěšný, navržená konstrukce splňuje legislativní požadavky a je realizována s optimalizovanými investičními náklady. Mezi návrhem projektanta a vlastní realizací stojí zhotovitel konstrukce, který konstrukci přizpůsobí svým zvyklostem a komponentům, jež zamýšlí zabudovat. Zhotovitel předkládá k odsouhlasení dílenskou dokumentaci (je-li tato požadována), nebo pouze vytyčí zásady realizace konstrukce v technologickém postupu, který většinou doplní jednoduchými schémata typových detailů. Na hlubší zkoumání navrhované konstrukce většinou není čas a téměř nikdo jej v běžné projekční praxi neprovádí. Řešení případných následných reklamačních případů je pak problematické, dochází při něm k přenosu zodpovědnosti mezi jednotlivými subjekty projekčního procesu a většina reklamačních kauz nakonec skončí vzájemnou dohodou všech účastníků a opravou konstrukce ze strany zhotovitele.

# 01

Historie vývoje, cesta  
k provětrávaným fasádám

## Základní dělení konstrukcí obvodových plášťů

---

Z konstrukčního hlediska lze jednotlivé konstrukční typy obvodových plášťů rozdělit takto:

- jednovrstvé „homogenní“ konstrukce obvodových plášťů;
- přechodová varianta víceplášťové konstrukce obvodového pláště se vzduchovou mezerou nenapojenou na vnější/vnitřní prostředí;
- kompaktní vrstvené sendvičové konstrukce obvodových plášťů;
- dvouplášťové konstrukce obvodových plášťů s provětrávanou mezerou jako difuzně otevřené konstrukce;
- lehké obvodové pláště na metalicko-chemické nebo přírodní bázi;
- dvojité fasády;
- novodobé konstrukce obvodových plášťů (např. aktivní fotovoltaické fasády, vegetační zelené fasády apod.).

Každá z těchto konstrukcí má své charakteristické vlastnosti, vyplývající z historie vývoje stavební techniky a stavební fyziky. Vývoj konstrukcí obvodových plášťů probíhal v podstatě dvěma cestami.

**První linií byla cesta zlepšování kvalitativních charakteristik stavebních materiálů používaných pro realizaci konstrukcí obvodových plášťů.**

- Tato linie se uplatňovala jak ve vývoji klasických obvodových plášťů realizovaných vyzdíváním z kusových staviv, tak v následném vývoji tepelněizolačních materiálů tzv. nového typu, které následně vedly k realizaci obvodových plášťů na způsob kombinace materiálů a jejich vrstvení směrem k homogenním vícevrstevným konstrukcím.
- Tepelnětechnické vlastnosti čistého obvodového zdiva brzy přestaly vyhovovat běžnému použití, v druhé polovině 20. století začaly být vyvíjeny tepelněizolační tvarovky, splňující tehdejší tepelnětechnické požadavky. Dochází k poznání, že tloušťka zdiva není dána pouze na základě požadavku statického (únosnosti zdiva), ale závisí také na tepelnětechnických požadavcích vztahených na konstrukci obvodové stěny.
- Mnohé stavební materiály, které vyhovují na pevnost a únosnost (např. kámen, prostý beton, železobeton, hutný keramický střep atd.), jsou ale dobrými vodiči tepla. Proto při svém použití v obvodových konstrukcích nemohou plnit tepelněizolační funkci bez toho, že by docházelo k neúměrnému zvětšení celkové tloušťky obvodové konstrukce, což má vliv na úbytek užité plochy, resp. stěnové konstrukce mají větší nárok na zastavěnou plochu.

**Druhou linií tvoří cesta kombinace různých materiálů a jejich vrstvení,** kdy dochází k oddělení funkce statické pro nosnou konstrukci obvodových plášťů a jejího doplnění o vrstvy řešící funkci tepelněizolační. Tato linie následně vede k realizaci sendvičových konstrukcí, ať již kontaktních konstrukcí, kdy se jedná o kompaktní souvrství, nebo k realizaci obvodových plášťů, kdy se vybrané vrstvy začínají oddělovat od sebe navzájem.

- Tepelněizolační funkci plní materiály porézní nebo vrstvy tepelné izolace aplikované na vnějším povrchu nosné konstrukce.
- Tak dochází k realizaci vrstvených obvodových plášťů, při jejichž navrhování byla dodržována jednoduchá konstrukční zásada: tepelný odpor vrstev řazených směrem z interiéru do exteriéru má růst a jejich difuzní odpor klesat.
- Aplikace této jednoduché zásady pak vede k eliminaci kondenzace vodních par uvnitř konstrukce, obvodová stěna dobře akumuluje teplo, vyrovnává teplotní rozdíly mezi interiérem a exteriérem a způsobuje fázový posun mezi teplotní amplitudou v exteriéru a ve vnitřním prostředí, nicméně požadavek na klesající difuzní odpor směrem k exteriérové straně konstrukce výrazným způsobem omezuje výběr materiálů majících vliv na architektonické a estetické působení obvodového pláště. Většina materiálů



splňujících estetické požadavky má však vysoký difuzní odpor a vysokou tepelnou vodivost, a působí tak nepříznivě na celkový tepelně-vlhkostní stav konstrukce obvodového pláště jako celku. Na základě poznání zákonitostí stavební fyziky a tepelné techniky tak dochází k oddělení povrchové vrstvy fasády řešící estetiku a architektonický výraz od vrstev podkladních a funkčních z hlediska statiky a z hlediska tepelněizolačního. Vzniká tak dvouplášťová difuzně otevřená konstrukce, kdy je mezi vnější plášť a vnitřní plášť vkládána provětrávaná vzduchová mezera napojená na vnější prostředí.

Samostatnou linii vývoje obvodových plášťů staveb pak tvoří lehké obvodové pláště na metalicko-chemické nebo přírodní bázi, jež se dále vyvíjejí do novodobých konstrukcí lehkých obvodových plášťů, dvojitých fasád apod.

## Jednovrstvá homogenní konstrukce obvodového pláště

V rozvoji architektury a stavitelství hrála dominantní roli bezpečnost a obranyschopnost sídel, která dala možnost rozvoji monumentálních staveb fortifikačních, palácových, klášterních a sakrálních. Tyto typy staveb dále ovlivnily technologii stavitelství na dlouhou dobu dopředu. Nejčastěji využívanými stavebními materiály se v důsledku toho stala kusová staviva – kámen a cihla, které na našem území zakládají dlouhodobou tradici, byť nejsou z dnešního energetického pohledu zcela vhodné pro naše klima v oboru konstrukcí obvodových plášťů. Tento rozvoj architektury a stavitelství zákonitě vedl k energeticky velmi náročnému výrobnímu procesu nejen ve vlastní konstrukci obvodových plášťů, ale i v oblasti zakládání staveb, získávání a zpracování stavebních materiálů a při vlastním užívání a provozu staveb.

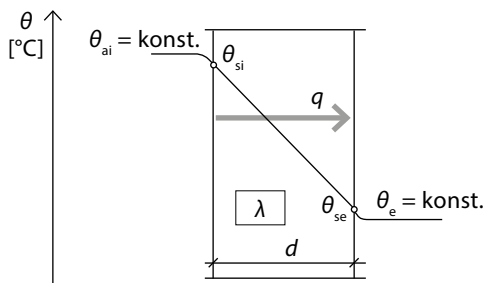
Oproti prehistorickým konstrukcím tak vzniká obvodový plášť, který lze systematicky zařadit jako jednovrstvou homogenní konstrukci, realizovanou jako zděnou konstrukci z kusových staviv. Tento typ obvodového pláště se stává dominantní konstrukcí obvodových plášťů staveb ještě i na přelomu 19. a 20. století.

Nejčastějším způsobem výstavby v tomto časovém období byl stěnový systém z masivního nosného zdiva. Již na přelomu 19. a 20. století se však projevuje snaha o oddělení funkce nosné a výplňové, a to např. kombinací zdicích materiálů u nosných pilířů z cihel a malt vyšších pevností a výplňového zdiva z cihel s lepšími izolačními vlastnostmi, např. v oblasti parapetních částí výplní otvorů.

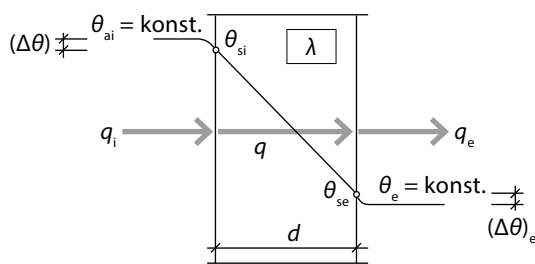
Obvodové pláště starších domů byly realizovány ze smíšeného zdiva z cihel a lomového kamene. Později se kámen používal jen na podružné konstrukce, např. na suterénní části staveb. V nadzemních částech staveb byl pak obvodový plášť vyzdíván z plných pálených cihel. Tloušťky stěn byly proměnné a lišily se podle podlažnosti staveb. Jako ekvivalent nejmenší možné tloušťky obvodového zdiva nejvyššího podlaží z důvodu promrzání byla používána minimální tloušťka zdiva 450 mm z cihel plných pálených a směrem dolů se zvětšovala s ohledem na statiku obvodové stěny a její vazby na vodorovné nosné konstrukce. Základní rozměry stěn se řídily ustanoveními stavebních řádů.

Nejstarším a nejpoužívanějším kusovým stavivem byla pálená keramika ve formě různých cihel, tvárnic a zdicích prvků různých tvarů. Nejpoužívanějším materiálem byla klasická plná pálená cihla, jejíž součinitel tepelné vodivosti se dle objemové hmotnosti pohyboval okolo hodnoty  $\lambda = 0,65 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ . Hodnota součinitele tepelné vodivosti klasického zdiva z plných pálených cihel se pak dle použitých malt a dosažených hodnot praktické vlhkosti zdiva pohybovala v hodnotách  $\lambda = 0,8\text{--}0,86 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ . Onen ekvivalent tloušťky zdiva min. 450 mm z cihel plných odolný proti promrzání byl výsledkem empirických zkušeností a stal se dlouhodobým standardem tepelnětechnických vlastností obvodové stěny na našem území. Další vlastnosti konstrukce se nehodnotily, uvedený ekvivalent se z dnešního pohledu vztahoval pouze na hodnotu tepelného odporu obvodové stěny, který se pohyboval v referenčních hodnotách  $R = 0,52\text{--}0,56 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$ .

Tyto jednovrstvé homogenní konstrukce obvodových plášťů se z hlediska stavení fyziky a tepelné techniky vyznačují charakteristickým průběhem rozložení teplot a tlaků vodní páry. Předpokládán je ustálený teplotní stav, jednovrstvá homogenní konstrukce odděluje vnější a vnitřní prostředí, dochází k tepelnému



2 Schematické znázornění charakteristického průběhu teplot jednovrstvou homogenní konstrukcí obvodového pláště. Zdroj: CHMÚRNÝ, Ivan. Stavebná tepelná technika: Základy tepelnej ochrany budov. Bratislava: STU Bratislava. ISBN 978-80-227-4147-7, s. 52

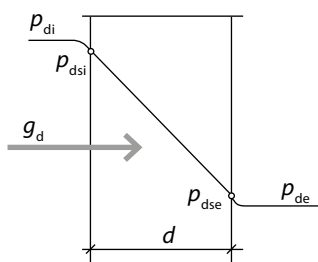


3 Schematické znázornění průběhu teplot jednovrstvou homogenní konstrukcí obvodového pláště s vlivem přestupu tepla na vnitřní a vnější straně konstrukce. Zdroj: CHMÚRNÝ, Ivan. Stavebná tepelná technika: Základy tepelnej ochrany budov. Bratislava: STU Bratislava. ISBN 978-80-227-4147-7, s. 59

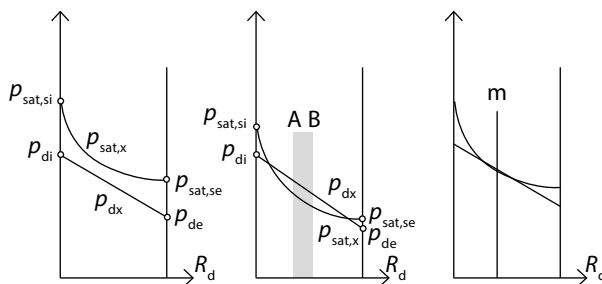
toku od vyšší teploty k teplotě nižší. Hustota tepelného toku, který přes konstrukci projde, je přímo úměrná rozdílu teplot a závisí na tepelnotechnických vlastnostech konstrukce. V zimním období za předpokladu  $\theta_{ai} > \theta_e$  je průběh tepelného toku směrem z interiéru do exteriéru. Vnitřní povrchová teplota konstrukce  $\theta_{si} < \theta_{ai}$ , vnější povrchová teplota je  $\theta_{se} > \theta_e$ .

Na obou stranách konstrukce pak dochází k přestupu tepla mezi povrchem konstrukce a okolním vzduchem. K přestupu nedochází za předpokladu vyrovnání teploty povrchu a teploty okolního vzduchu. Na vnitřní straně konstrukce dochází k přestupu tepla vlivem přirozeného proudění vzduchu a sálání v důsledku výměny tepla obvodové konstrukce a ostatních stavebních konstrukcí. Na vnější straně pak v důsledku proudění vzduchu vlivem větru a sáláním povrchu konstrukce a oblohou, popřípadě sousedními budovami a přilehlým terénem. Přestup tepla je pak charakterizován součinitelem přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce  $h_{si}$  [W/(m<sup>2</sup>·K)] a součinitelem přestupu tepla na vnější straně konstrukce  $h_{se}$  [W/(m<sup>2</sup>·K)], jejichž hodnoty závisí na teplotě vzduchu a teplotě povrchu konstrukce, drsnosti povrchu, pohltivosti tepelného záření konstrukce, rychlosti a směru proudění vzduchu a směru tepelného toku. Ve skutečnosti jsou jejich hodnoty proměnnými, při výpočtech se však používají normalizované konstantní hodnoty charakteristické pro typické stavy. V důsledku přestupu tepla se pak charakteristický průběh teplot jednovrstvou homogenní konstrukcí mírně mění (obr. 3).

Analogickým jevem průběhu teplot jednovrstvou homogenní konstrukcí je pak i jev difuze vodních par, který probíhá v důsledku rozdílu parciálních tlaků vodní páry na obou stranách konstrukce. Vodní pára difunduje z prostředí s vyšším parciálním tlakem do prostředí s tlakem nižším a ve směru tepelného toku. V zimním období tedy opět směrem z interiéru do exteriéru. Jedná se o analogický jev s prostupem tepla, zjednodušeně lze konstatovat, že všechny zásady platící pro tepelnou vodivost platí i pro difuzi vodních par a charakteristický průběh difuze vodních par lze zobrazit obdobným způsobem (obr. 4).



4 Schematické znázornění průběhu difuze vodních par jednovrstvou homogenní konstrukcí obvodového pláště s vlivem přestupu vodní páry na vnitřní a vnější straně konstrukce. Zdroj: CHMÚRNÝ, Ivan. Stavebná tepelná technika: Základy tepelnej ochrany budov. Bratislava: STU Bratislava. ISBN 978-80-227-4147-7, s. 180



5 Schematické znázornění průběhu parciálních tlaků vodní páry jednovrstvou homogenní konstrukcí obvodového pláště bez kondenzace a s kondenzací. Zdroj: CHMÚRNÝ, Ivan. Stavebná tepelná technika: Základy tepelnej ochrany budov. Bratislava: STU Bratislava. ISBN 978-80-227-4147-7, s. 181

Za určitých podmínek může uvnitř konstrukce dojít ke kondenzaci difundující vodní páry. Ke kondenzaci dojde v případě, že parciální tlak vodní páry v místě  $x$  parciální tlak nasycené vodní páry ( $p_{dx} > p_{sat,x}$ , obr. 5).

Případný vznik kondenzace vodních par uvnitř stavební konstrukce pak může být příčinou kolizních jevů. Ke kondenzaci může docházet nejčastěji v povrchových vrstvách konstrukce nebo na přechodech mezi jednotlivými materiály (jednovrstvá homogenní konstrukce jako taková neexistuje, konstrukce zděná z kusových staviv je aglomerovanou konstrukcí složenou jak z vlastních zdicích prvků a pojiva (malty), tak jsou její povrchy omítány).

## Vývojová větev oddělení plášťů jednovrstvé homogenní konstrukce

Tepelnětechnické vlastnosti čistého obvodového zdiva ale brzy přestaly vyhovovat běžnému použití. Po druhé světové válce došlo k zúžení sortimentu používaných zdicích prvků kusových staviv. Těžiště nadále bylo v používání plných pálených cihel, dutinových tvárnic a tvárnic z lehčených betonů, nejčastěji ze škvárobetonu a tvárnic ze struskové pemzy. Vznikaly první typizované zděné bytové domy, např. tzv. „dvouletky“.

V polovině 20. století došlo k poznání, že tloušťka zdiva není dána pouze na základě požadavku statického (únosnosti zdiva), ale závisí také na tepelnětechnických požadavcích vztažených na konstrukci obvodové stěny. Tyto postupy, realizované u ploch výplňového zdiva, se však i nadále řídily ekvivalencí minimální tloušťky zdiva z plných pálených cihel 450 mm, resp. zdivo nejčastěji z dutých cihel nebo tvárnic (keramických i z lehčených betonů) muselo z hlediska jeho tepelněizolační schopnosti odpovídat vlastnostem stěny z cihel plných pálených tloušťky 450 mm.

K vylehčení zdiva a zlepšení jeho tepelněizolačních vlastností se kromě používání materiálů s lepšími tepelněizolačními vlastnostmi využívaly např. i různé vazby zdiva. Dutiny ve zdicích prvcích tak vytvářely buď průběžné kanálky, nebo izolované komůrky. Vylehčování zdiva obvodových plášťů se při současném zachování jeho tepelněizolačních vlastností řešilo i vkládáním vzduchových dutin nenapojených na vnitřní či vnější prostředí. Tloušťka takových vzduchových dutin byla obvykle na čtvrt nebo na půl cihly a dutiny zůstávaly buď prázdné (jako vzduchové dutiny), nebo se zasypávaly např. škvárou. Tak vzniká víceplášťová konstrukce obvodového pláště, ve které dochází k oddělení jednotlivých plášťů vzduchovou mezerou, prozatím však nenapojenou na vnitřní ani vnější prostředí. Jako u každé vrstvené konstrukce je i u těchto prvních víceplášťových konstrukcí rizikovým jevem problém kondenzace difundující vodní páry, a to jak v jejích vrstvách povrchových, tak na rozhraní jednotlivých materiálů. V tehdejší době však byly principy stavební fyziky prakticky neznámé, takže tato rizika a z nich vyplývající kolizní stavy nebyly analyzovány ani řešeny.<sup>4</sup> Paralelně s vývojem konstrukcí obvodových plášťů tak docházelo k vývoji tepelnětechnických vlastností konstrukcí (tab. 1–3).

1 *Orientační hodnoty součinitele prostupu tepla pro konstrukce nosných obvodových stěn staveb do roku 1920. Zdroj: BÁČOVÁ, Marie. Manuál energeticky úsporné architektury: novostavby, panelové domy, změny staveb, historické objekty. Praha: Státní fond životního prostředí ve spolupráci s Českou komorou architektů. ISBN 978-80-904577-1-3, s.162*

Časové období	Popis konstrukce	Součinitel prostupu tepla $U$ [W/(m <sup>2</sup> ·K)]
Do roku 1920	Zdivo smíšené z cihel a kamene v různém poměru a v různých tloušťkách	1,6–1,1
	Zdivo z plných pálených cihel v tl. 450 mm	1,4
	Zdivo z plných pálených cihel v tl. 600 mm	1,1
	Zdivo z plných pálených cihel v tl. 900 mm	0,8

4 BÁČOVÁ, Marie. *Manuál energeticky úsporné architektury: novostavby, panelové domy, změny staveb, historické objekty*. Praha: Státní fond životního prostředí ve spolupráci s Českou komorou architektů, 2010. ISBN 978-80-904577-1-3, s. 162–165.