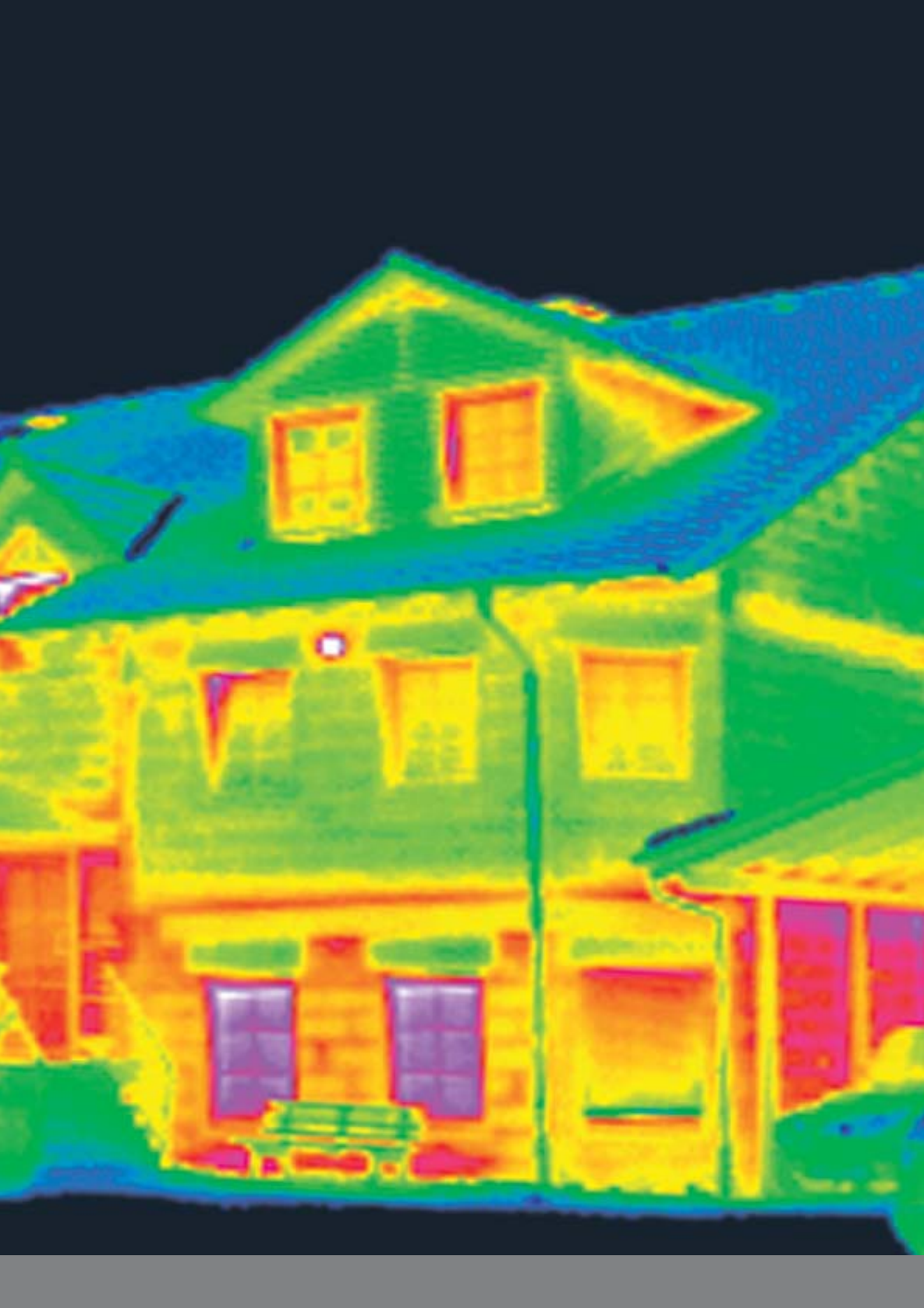


Stavební fyzika

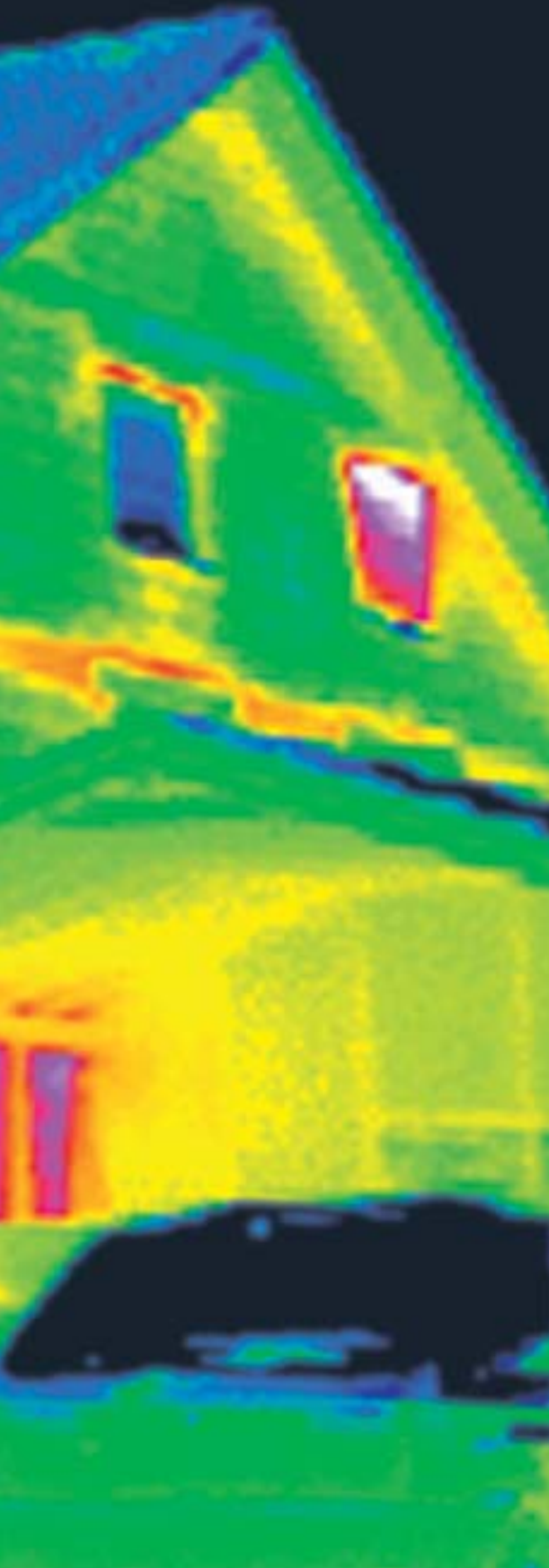
Materiály a membrány pro kontrolu průchodu vlhkosti
a vzduchu stavebními konstrukcemi.





STAVEBNÍ FYZIKA

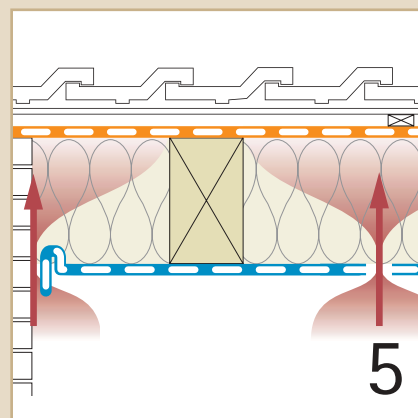
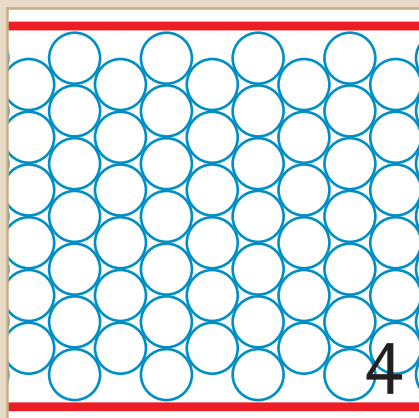
Ideální skladba	4
Vadná neprodyšná izolace a její následky	5
Cesty vlhkosti	8
Potenciál bezškodnosti staveb	10
Sanační studie	28



Stavební fyzika

Ideální skladba

Vadná izolace
a její následky



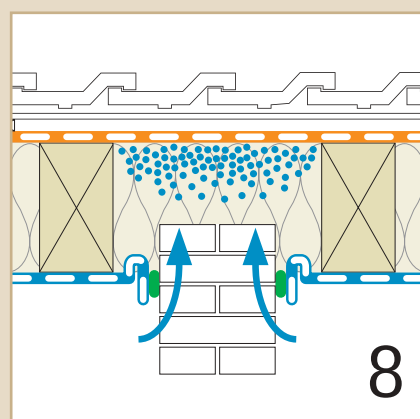
Účinnost tepelné izolace je založena na vzduchových komůrkách v izolačním materiálu. Předpokladem pro izolační účinek těchto komůrek je jejich ochrana před pohyby vzduchu. Proto je v ideální izolační konstrukci izolační materiál ze všech stran uzavřen: zevnitř neprodyšně – z venčí větrotěsně.

Již malé netěsnosti v parobrzdě, které vznikají např. díky špatně lepeným spojům mezi jednotlivými pásy nebo jejich napojení mají dalekosáhlé následky.

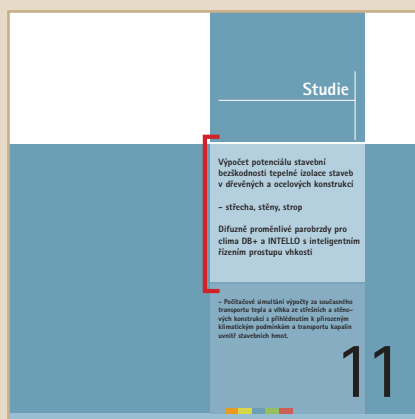
Pro bezškodné stavební konstrukce a zdravé, příjemné obytné prostředí je bezpodmínečně nutné zabránit vzniku spár v izolační a parobrzdné vrstvě.

plánování staveb, které mají být bezškodné a pro zdravé bydlení a klimatu...
... s příslušnými technickými informacemi o stavební fyzice a vzduchotěsnosti – není žádný problém

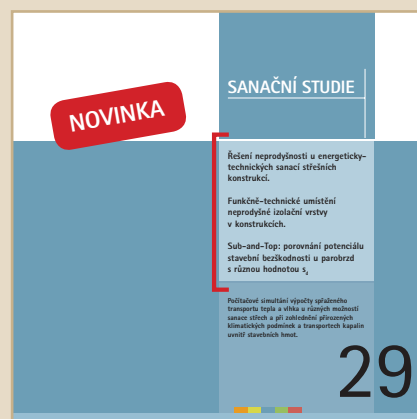
Cesty vlhkosti



Studie k výpočtu potenciálu bezškodnosti staveb



Sanační studie



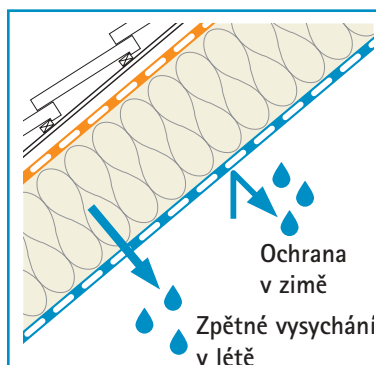
Tepelně izolační konstrukce musí být chráněny před zátěží z vlhkosti a kondenzační vody z teplého interiérového vzduchu. Tuto úlohu plní parobrzdné a neprodyšné folie tím, že snižují zvlhnutí difúzí.

Studie k výpočtu potenciálu bezškodnosti staveb tepelně izolačních konstrukcí v dřevostavbách a ocelových stavbách zkoumají, jak bezpečné jsou konstrukce s inteligentní pásovinou při nepředvídaném zvlhnutí. Počítačové simulace spřaženého transportu tepla a vlhkosti při zohlednění reálných klimatických podmínek ukazují na konkrétních příkladech zvláštní schopnosti ochrany před stavebními škodami a plísní – i v náročných stavebně-fyzikálních konstrukcích.

Energetické sanace konstrukcí staví další nároky na použité materiály. Postupy, respektive možné varianty při vytvoření neprodyšnosti (a potřebné parobrzdy) se mohou podstatně lišit od situace u novostaveb. Z toho vyplývají nejrůznější bezpečnosti pro sanovaný stavební díl.

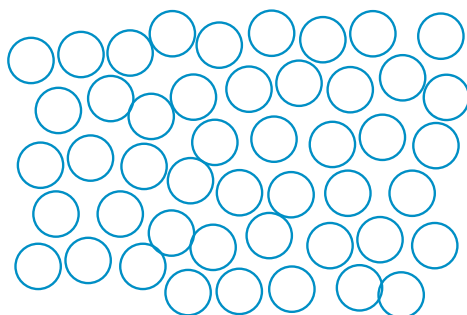
Cílem sanační studie je prozkoumat, vyhodnotit jednotlivé varianty a dát doporučení pro bezpečné konstrukce, které disponují pokud možno velkým potenciálem bezškodnosti staveb.

Ideální skladba



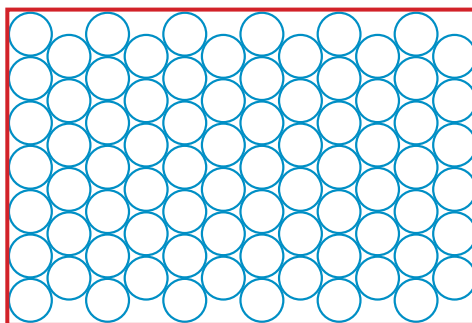
- Účinnost všech tepelných izolací je založena na vzduchových komůrkách v izolačním materiálu (celulozové vločky, korek, minerální vlákna, nebo jiné materiály). Předpokladem izolačního účinku těchto komůrek je jejich ochrana před pohybu vzduchu. Proto je v ideální izolační konstrukci izolační materiál ze všech stran uzavřen: zevnitř neprodyšně – z venčí větrotěsně.

Izolace statickým vzduchem



Nechráněný izolační materiál: pohybu vzduchu ve struktuře pórů snižují izolační účinek.

Chráněný izolační materiál



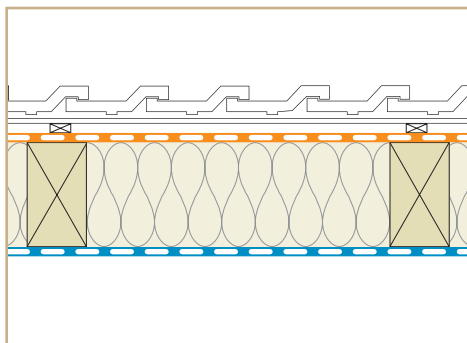
Chráněný izolační materiál: ve struktuře pórů není možný pohyb vzduchu, plný izolační účinek.

Příklad: i tepelně izolační účinek svetru spočívá na statickém vzduchu ve vzduchových komůrkách ve vláknech. V okamžiku, kdy vane studený vítr, ustupuje izolační účinek. oblečete-li si přes svetr slabou větrovku, která sama o sobě nemá žádné významné tepelně-izolační schopnosti, vrátí se opět tepelně izolační účinek svetru.

Uvnitř neprodyšné, zvenku větrotěsné

Upozornění:

Při instalaci neprodyšné izolační vrstvy je důležité perfektní provedení, neboť netěsnosti v ploše a v napojeních mají své následky.



Proto je v ideální izolační konstrukci izolační materiál ze všech stran uzavřen: zvenčí větrotěsně, např. pomocí fasádní nebo střešní pásoviny, zevnitř pomocí neprodyšné izolační vrstvy, například parobrzdy.

Větrotěsníci izolační vrstva zamezuje tomu, aby izolačním materiálem proudil zvenčí studený vzduch. Neprodyšná izolační vrstva chrání proti průniku vlhkosti z vlhkého interiérového vzduchu a tím před z kondenzovanou vodou a plísní.

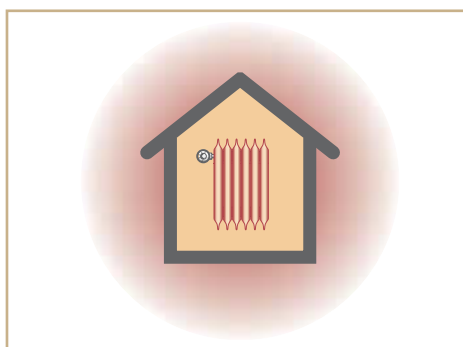
Vadná neprodyšná izolace a její následky

Ekonomie + ekologie / tepelné ztráty, oteplování klimatu

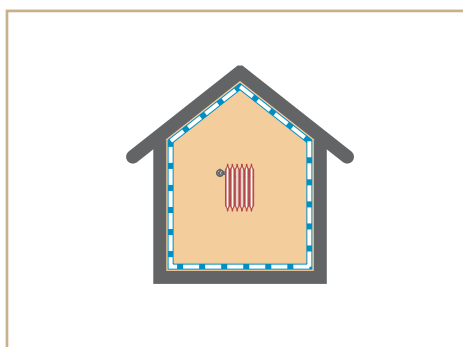
Již sebemenší netěsnosti v parobrzdné izolační vrstvě, ať již vadnými lepenými spoji přesahů pásoviny, nebo napojeními na konstrukce, mají dalekosáhlé následky. Takováto vadná místa mají stejný účinek, jako například spára mezi okenním rámem a zdí. Takovou spáru by nikdo nebyl ochoten tolerovat. Právě tak si Vaši pozornost zaslouží spáry v parobrzdné izolaci.

Netěsnosti způsobují odpovídající měrou vyšší náklady na vytápění, které vedou k nižší rentabilitě tepelné izolace pro stavebníka. Navíc dochází k vyšším emisím CO_2 , než by docházelo při vytápění neprodyšně zaizolovaného objektu. Dle studie Institutu stavební fyziky ve Stuttgartu se hodnota u tepelné izolační konstrukce zhoršuje o faktor 4,8. Přeneseno do reality to znamená, že dům o obytné ploše 80 m^2 , u něhož existují netěsnosti v neprodyšné izolační vrstvě, potřebuje k vytápění tak velké množství energie, jako neprodyšně zaizolovaný dům o obytné ploše 400 m^2 . Nekontrolované emise CO_2 podporují vznik skleníkového efektu, což se na naší civilizaci projevuje například rostoucím množstvím přírodních katastrof. Proto by snížení emise CO_2 mělo být naším cílem a to nejen zřeknutím se nevhodných technologií, ale i aplikací inteligentních řešení, kterými pomáháme životnímu prostředí.

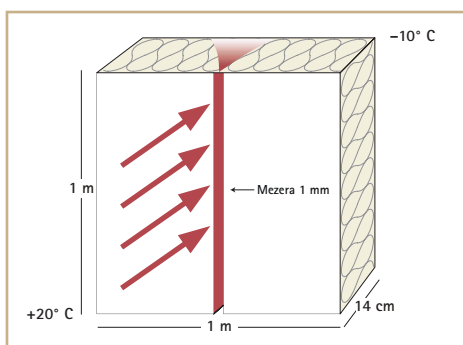
Domy ve střední Evropě spotřebují dle studie z roku 2000 v průměru 22 litrů topného oleje na 1 m^2 (220 kWh/m^2) obytné plochy na vytápění, pasivní dům spotřebuje jen 1 litr, třílitrový dům – jak již jeho jméno napovídá, spotřebuje 3 litry na 1 m^2 – vše za předpokladu perfektní neprodyšnosti. Spáry v neprodyšné izolační vrstvě objektů vedou k mnohonásobení spotřeby energie na každý m^2 obytné plochy.



**Netěsný plášť budovy:
vysoké náklady na
vytápění a vysoké emise
 CO_2**



**Těsný plášť budovy:
nízké náklady
a ochrana životního
prostředí**

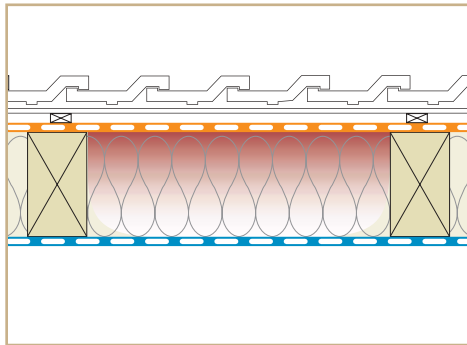


**Pouze tepelně-
izolační konstrukce
bez spár má plný
izolační účinek**

Nepříjemné klima v interiéru v létě

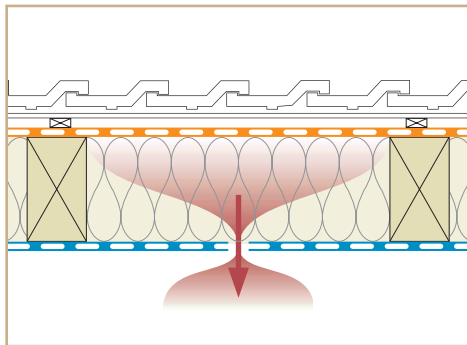
Letní tepelná ochrana je charakterizována dobou v hodinách, během které pronikne teplo z prostoru pod střešní krytinou až na vnitřní stranu konstrukce (fázový posuv) a s tím spojený nárůst teploty interiéru ve stupních Celsia ($^{\circ}\text{C}$) v porovnání s venkovní teplotou (amplitudový útlum).

Chladné místnosti při letním horku



Pro letní ochranu před horkem se vypočítává fázový posuv a amplitudový útlum. Předpokladem pro to je neprodyšná tepelně izolační konstrukce, kterou se teplo musí postupně propracovávat do interiéru. K tomu přispívá jednolitá tepelná izolace s vysokou hodnotou měrného tepla.

Rychlé ohřátí prouděním vzduchu

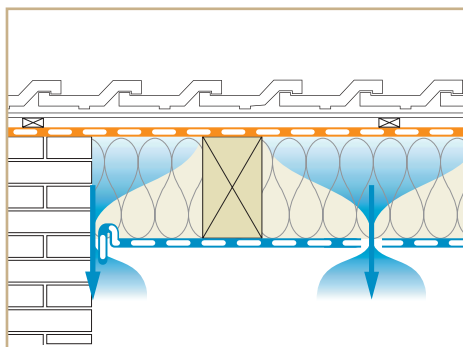


Spáry v neprodyšné izolační vrstvě vedou k tomu, že na základě rozdílu teploty a tlaku dochází k proudění vzduchu zvenčí dovnitř a tím dochází k vysoké výměně vzduchu. Tepelná izolace pak nemůže přispět k letní ochraně před teplem a vzniká nepříjemné a teplé interiérové klima.

Nezdravé klima v interiéru v zimě

Během topného období by měla vlhkost vzduchu v obytných místnostech činit příjemných 40 – 60 %. Příliš suché klima v interiéru je zdraví škodlivé.

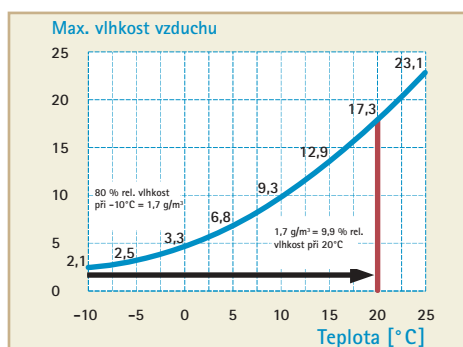
Často pozorovaný fenomén suchého vzduchu v interiéru během zimních měsíců vzniká tím, že chladný vzduch z venku vniká spárami do domu. Ohřeje-li se chladný vzduch vytápěním snižuje se objem jeho relativní vlhkosti. Proto domy se špatnou neprodyšností trendují v zimě k suchému vzduchu v interiéru, jehož vlhkost se i pomocí zvlhčovačů vzduchu téměř nenechá zvýšit. Následkem je nepříjemné klima v interiéru.



Suchý chladný vzduch proniká spárami v nekontrolovatelném množství

Příklad:

10 °C chladný vzduch může při 80% relativní vlhkosti vzduchu pojmout maximálně 1,7 g/m³ vlhkosti (normová hodnota venkovního zimního klimatu dle DIN 4108-3). Ohřeje-li se tento vzduch na 20 °C snižuje se relativní vlhkost vzduchu na 9,9 %.



Příliš nízká relativní vlhkost vzduchu je nepříznivá pro zdraví a příjemný pocit

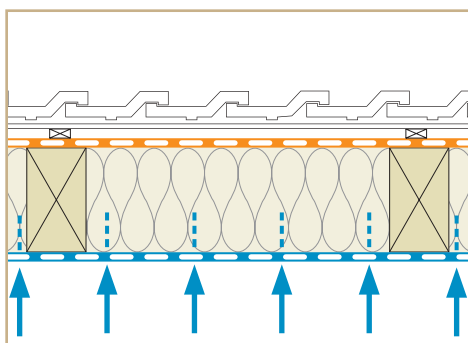
Cesty vlhkosti

Tepelné izolace musí být chráněny před vlhkostní zátěží z teplého interiérového vzduchu. Tuto úlohu splňují parabrzdné a neprodyšné izolační pásoviny.

Difúze probíhá dle plánu.

Upozornění:

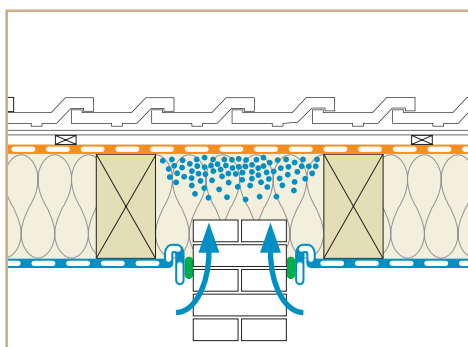
parobrzdza s hodnotou s_d 2,3 m umožní dle DIN 4108-3 denně proniknout do konstrukce ca. 5g vlhkosti na čtvereční metr.



Difúze

K difúzi dochází díky rozdílu tlaku mezi vnitřkem a venkem. Přitom nedochází k této výměně přes spáry, nýbrž monolitickou, neprodyšnou vrstvou materiálu. Difúze směřuje v zimě zpravidla zevnitř ven a v létě z venku dovnitř. Transport vlhkosti do konstrukce je závislý na difúzním odporu materiálu (hodnota s_d). Období teplých venkovních podmínek je ve střední Evropě delší než období se zimními teplotami, tak že z konstrukce může vyschnout více vlhkosti.

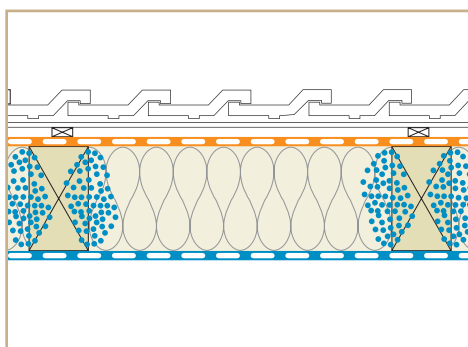
Nepředvídané: vlhkost proniká z boku



Boční difúze

Vlhkost proniká do tepelné izolace z boku stavebního dílu. Bok stavebního dílu bývá zpravidla vzduchotěsný, vykazuje ale nižší hodnotu s_d než parobrzdza. Příklad: svázaná, neprodyšně omítnutá zděná stěna. Je-li vnější nedifúzní konstrukce opatřena zevnitř parabrzdou, která neumožňuje buď vůbec žádnou, nebo jen malé zpětné vysychání, hrozí zvlhnutí izolace a s tím i stavební škody i při neprodyšné konstrukci s těsným provedením.

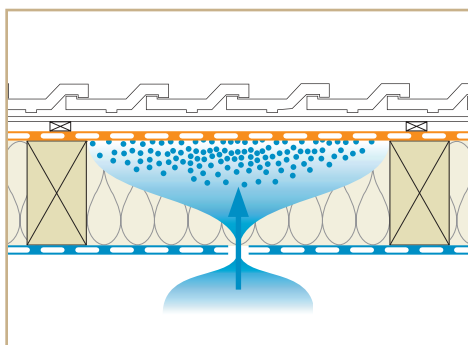
Nepředvídané: vlhkost ze stavebních materiálů



Vlhké stavební hmoty

Spolu se stavebními hmotami vneseme do konstrukce často mnoho vody. Příklad ukazuje o jaké množství se může jednat. U dřevěné střechy s krokve 6/22, $e=70$ cm a váze dřeva 500 kg na metr krychlový, případně na jeden běžný metr krokve ca. 10 kg dřeva. Při vysychání dřeva o pouze 1 % se při tom uvolní 100 g vody na metr krychlový, u 10 % je to 1000 g, u 20 % 2000g vody, které vysychají z dřevěné konstrukce a mohou se dostat do jiných částí konstrukce.

Nepředvídané: proudění vzduchu (konvekce)



Konvekce

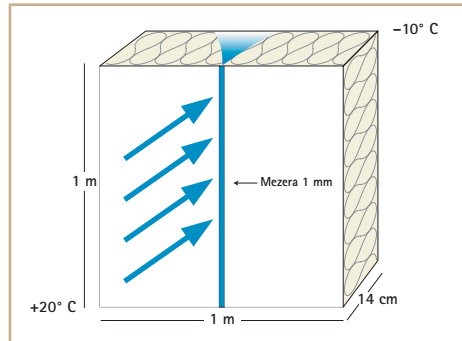
Pohybuje-li se vzduch formou proudění, hovoříme o konvekci. K té může docházet v tepelně-izolační konstrukci, když jsou v parabrzdě spáry. Mezi klimatem interiéru a exteriéru existuje tlakový spád podmíněný teplotním rozdílem, který se vyrovnává prouděním vzduchu. Konvekci je možné v jednom jediném dni vnést do tepelné izolace několik set gramů vlhkosti, která zde zkonduje.

Příklad:

Bezspárovou izolační konstrukcí s parobrzdou o hodnotě s_d 30 m difúzuje během jednoho normového zimního dne 0,5 g vody na metr čtvereční konstrukce.

Během stejné doby pronikne konvekci do konstrukce spárou v parobrdě o šířce 1 mm 800 g vlhkosti. To odpovídá zhoršení o faktor 1600.

Stavební škody plísními hrozí například když v zimě proniká teplý, vlhký interiérový vzduch spárami v parobrdné a neprodyšné izolační vrstvě do tepelně izolační konstrukce, a v ní se zkondenzuje velké množství vody. Řada plísní produkuje jako druhotné produkty látkové výměny jedovaté látky, mimo jiné MVOC (těkavé organické sloučeniny) a spóry, které ohrožují lidské zdraví. Považují se za původce alergií číslo jedna. Člověk by se měl bezpodmínečně vyvarovat kontaktu s plísními. Přitom není podstatné, zda-li se MVOC nebo spóry dostanou do těla přes jídlo, čili žaludek, nebo vzduchem do plic.



**800 g kondenzátu
spárou o šířce 1 mm**

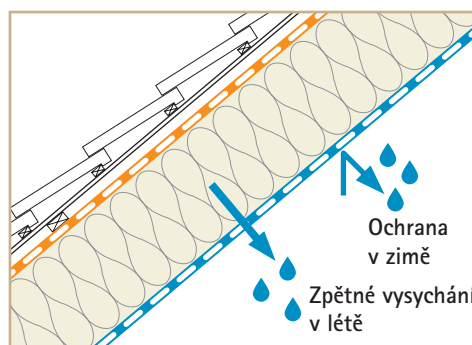


**Plísně vzniklé ze
zkondenzované vody**

- **Vlhkost může proniknout do konstrukce nejrůznějšími způsoby. Vlhkostní zatížení nelze zcela vyloučit.**
- **Je-li vlhkostní zatížení příliš vysoké, vznikají stavební škody.**
- **Parobrzdy jsou bezpečnější než parozábrany. Parozábrany s vysokým difúzním odporem téměř neumožňují žádné zpětné vysychání vlhkosti ze stavebního dílu do interiéru a vytváří tak vlhkostní pasti.**
- **Rozhodující pro stavební bezškodnost konstrukce je: vysoká rezerva vysychání.**

Nejlepší bezpečnost

Parobrdné pásoviny s vlhkostně variabilním difúzním odporem. V zimě jsou difúzně nepropustnější a chrání optimálně tepelnou izolaci před vnikáním vlhkosti. V létě dokáží svůj difúzní odpor velmi snížit a zaručují tak nejlepší možné podmínky pro zpětné vysychání.



**Nejlepší prostředek:
inteligentní pásovina**

Ukázka aplikace produktů pro clima



Použití pásoviny pro clima DB+ v kombinaci s lepicí páskou UNI TAPE v půdních prostorech.



Použití pásky pro clima TESCOON PROFIL v rohových spojích v kombinaci s pásovinou pro clima DB+.



Ukázka použití parobrzdý pro clima INTELLO



Použití parobrzdý pro clima INTELLO v kombinaci s těsnícím kroužkem ROFLEX a páskou TESCOON No. 1.

Studie

Výpočet potenciálu stavební bezškodnosti tepelné izolace staveb v dřevěných a ocelových konstrukcích

- střecha, stěny, strop

Difuzně proměnlivé parobrzdy pro clima DB+ a INTELLO s inteligentním řízením prostupu vlhkosti

- Počítačové simultání výpočty za současného transportu tepla a vlhka ze střešních a stěnových konstrukcí s přihlédnutím k přirozeným klimatickým podmínkám a transportu kapalin uvnitř stavebních hmot.



Stavební bezškodnost tepelných izolací v dřevěných konstrukcích: otázka rezerv schnutí a inteligentního vlhkostního managementu

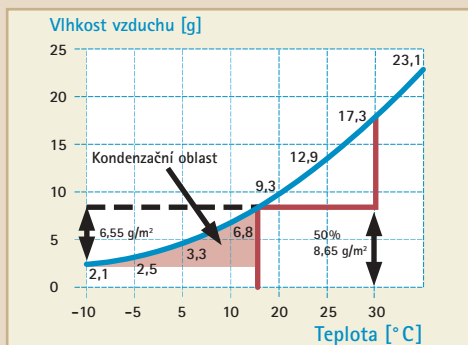
Vlhkostní fyzika vzduchu

Při chladnutí vzduchu se zvyšuje vlhkost vzduchu.

Při snížení teploty pod rosný bod se tvoří kondenzát

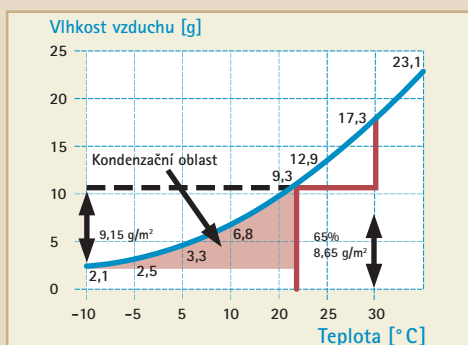
Při vyšší vlhkosti interiérového vzduchu se zvyšuje teplota rosného bodu – kondenzát se tvoří dříve.

1. Vlhkostní fyzika vzduchu při 50% relativní vlhkosti vzduchu.



Za normálních klimatických podmínek (20 °C/50 % relativní vlhkosti vzduchu) je rosný bod dosažen při 9,2 °C. Při - 10 °C se vytváří kondenzát v množství 6,55 g/m³ vzduchu.

2. Vlhkostní fyzika vzduchu při 65% relativní vlhkosti vzduchu.



Při zvýšené vlhkosti vzduchu v interiéru je rosný bod dosažen již při 13,2 °C. Při - 10 °C se vytváří kondenzát v množství 9,15 g/m³ vzduchu.

1.1 Přehled a úvod

Studie popisuje potenciál stavební bezškodnosti konstrukce, jak vznikají stavební škody v tepelně-izolačních konstrukcích a jak lze konstrukce bezpečně chránit proti stavebním škodám.

Stavební škody vznikají, když vlhkostní zatížení konstrukce je vyšší než schopnost konstrukce vysychat. Aby se zabránilo stavebním škodám, soustřeďuje se pozornost většinou na snížení vlhkostního zatížení. Stavební konstrukce však nelze zcela chránit proti vlivům vlhkosti. Předvídatelná vlhkostní zatížení difúzí nejsou téměř nikdy příčinou stavebních škod, zpravidla jsou to nepředvídatelná vlhkostní zatížení, nelze je však díky stavebním možnostem zcela vyloučit.

Aby se zabránilo stavebním škodám a plísním, je zapotřebí se vedle vlhkostního zatížení soustředit především na schopnost vysychání konstrukce. Konstrukce s vysokou schopností vysychání při současně sníženém vlhkostním zatížení, jako například umožňují parobrzdý s proměnlivou hodnotou s_d , poskytují vysokou bezpečnost proti stavebním škodám i při nepředvídaném vlhkostním zatížení.

1.2 Kondenzace – rosný bod – množství kondenzátu

Tepelná izolace v dřevěných konstrukcích odděluje teplý vzduch interiéru s vysokým obsahem vlhkosti od chladného venkovního vzduchu s nízkou absolutní vlhkostí. Pronikne-li teplý vzduch z interiéru do stavební konstrukce, ochladí se při zimním venkovním klimatu na své cestě skrz konstrukci. Přitom může dojít ke kondenzaci vody. Příčinou této tvorby vody jsou fyzikální vlastnosti vzduchu: teplý vzduch je schopen pojmout více vody než vzduch studený. Při vyšší relativní vlhkosti vzduchu v místnosti (např. u novostaveb 65 %) se zvyšuje teplota rosného bodu a jako bezprostřední následek i množství kondenzátu (viz obr. 1 a 2). Kondenzát se tvoří, když se difúzně nepropustnější vrstva stavební konstrukce nalézá pod teplotou rosného bodu. To znamená: z hlediska stavební fyziky jsou nevhodné vrstvy stavebních konstrukcí, které

jsou na vnější straně tepelné izolace difúzně nepropustnější než vrstvy stavební konstrukce na vnitřní straně. Velmi problematickým je, když může v důsledku netěsností na úrovni neprodyšné vrstvy proniknout teplý vzduch konvektivním prouděním do stavební konstrukce. Za difúzně otevřené se počítají dle DIN 4108-3 stavební díly, jejichž ekvivalentní tloušťka vzduchové mezery (hodnota s_d) je nižší než 0,50 m. Hodnota s_d je definována jako výsledek čísla difúzního odporu par (hodnota μ), materiálové konstanty a tloušťky stavebního dílu v metrech:

$$s_d = \mu \times s \text{ (m)}$$

Nízké hodnoty s_d může být dosaženo prostřednictvím nízké hodnoty μ při větší tloušťce vzduchové vrstvy (např. dřevovláknité izolační desky), nebo prostřednictvím vyšší hodnoty μ při velmi nízké tloušťce vzduchové vrstvy (např. pásové izolace pro použití bez záklopu). Vodní pára se nejprve orientuje na hodnotě μ , teprve potom na tloušťce vrstvy stavebního materiálu. To znamená, že při vyšší hodnotě μ se vyskytne tvorba kondenzátu rychleji, než při nižší hodnotě μ . V oblasti izolační pásovin pro použití bez záklopu dochází díky často chybějícímu rozdílu teplotního a vlhkostního rozdílu pouze k nepatrnému tlakovému spádu par. To vysvětluje, proč i u difúzně otevřených izolačních pásovin pro použití bez záklopu dochází ke stavebním škodám, když je zvýšené proudění vlhkosti ve stavebním dílu. Izolační pásovin pro použití bez záklopu a pro použití se záklopem s monolitickou nepórezí membránou, např. SOLITEX UD, METNO a PLUS zde poskytují výhody, jelikož difúze neprobíhá pasivně skrz póry, nýbrž aktivně podél řetězců molekul. Difúzní odpor SOLITEXu je proměnný. Při nebezpečí tvorby kondenzátu se snižuje na hodnotu pod 0,02 m. Pásovina pak umožňuje extrémně rychlý a aktivní transport vlhkosti a chrání optimálně konstrukci proti kondenzátu a tvorbě plísní. Když se zkondenzuje v konstrukci voda, může v chladném zimním klimatu dojít k tvorbě námrazy nebo ledu na izolační pásovině pro použití bez záklopu

resp. spodní konstrukci střechy. Voda a led jsou pro vodní páry nepropustné a mohou takto z izolační pásoviny pro použití bez záklopu učinit parobrzdu na venkovní straně konstrukce. Konstrukce, které mají difúzně potlačující, nebo difúzně nepropustné vrstvy, jsou z hlediska stavební fyziky kritičtější než vrstvy stavebních konstrukcí, které jsou směrem ven difúzně otevřené. K difúzně nepropustným konstrukcím patří například šikmé střechy s difúzí potlačující svrchní krytinou např. asfaltovými pásovinami, střechy s plechovou krytinou, ploché střechy a ozeleněné střechy. Na difúzně nepropustné vrstvě se hromadí vlhkost v konstrukci a dochází k tvorbě kondenzátu.

1.3 Vlhkostní zatížení konstrukce

Vlhkostní zatížení konstrukcí uvnitř tepelně-izolační konstrukce v dřevěné stavbě, např. ve střeše, může mít různě příčiny. Například netěsným pláštěm střechy může vniknout voda. Může se jednat o velké množství vlhkosti, při kterém může voda kapat do obytných místností. Menší netěsnosti mohou vést k plíživé tvorbě vlhkosti. To bývá často provázeno tvorbou plísní na materiálech obsažených v konstrukci. K vlhkostnímu zatížení konstrukce však může dojít i zevnitř:

Předvídatelné vlhkostní zatížení:

- difúzní procesy

Nepředvídatelné vlhkostní zatížení:

- konvekce, t.z. proudění vzduchu (netěsnosti v neprodyšné vrstvě)
- konstrukčně podmíněné transporty vlhkosti (např. boční difúzí skrz přilehlé zdivo)
- zvýšená montážní vlhkost použitých materiálů.

1.3.1 Vlhkostní zatížení difúzí

Čím méně vlhkosti může vniknout do konstrukce, tím menší je nebezpečí stavebních škod - tak se uvažovalo dříve. To znamená, použití velmi nepropustných parozábran by zamezilo škodám na stavbě. Že realita je však jiná, bylo prokázáno stavebně fyzikálními výpočty již před 15 lety při uvedení pro clima DB+ s hodnotou s_d 2,30 m na trh.

Dále ukázala šetření venkovních stěn v Severní Americe z roku 1999, že pronikání vlhkosti skrz parozábranu následkem konvekce i při její odborné instalaci činí ca. 250g/m² za jedno období tání. To odpovídá množství kondenzátu, které během jedné zimy pronikne parozábranou s hodnotou s_d 2,30 m.

Závěr:

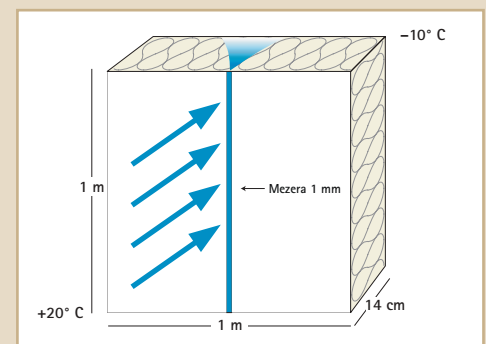
I konstrukce s parozábranou jejichž vypočtené hodnoty s_d činí 50m, 100m nebo více, propustí v konečném důsledku podstatné množství vlhkosti. Parozábrany však neumožňují zpětné vysychání. Vznikají tak vlhkostní pasti.

1.3.2 Vlhkostní zatížení konvekcí

Konvekcí, čili prouděním vzduchu je do konstrukce transportováno podstatně větší množství vlhkosti než difúzí. Konvenktivně přivedená vlhkost může klidně tisícinásobně překročit množství vlhkosti přivedené difúzí (viz obr. 3). Kondenzace vlhkosti má pro konstrukce s vnější difúzně nepropustnou vrstvou za následek rychlé stavební škody. Množství vlhkosti přivedené konvekcí může být ale kvůli své vysoké vlhkostní zátěži nebezpečné i pro stavební konstrukce s vnější difúzně otevřenou stranou, zejména vytvořil-li již se kondenzát.

Proniknutí vlhkosti do konstrukce netěsnostmi v parobrdě

3: 1 mm spáry = 800g/24h na každý jeden metr délky spáry.



Transport vlhkosti parobrdou: 0,5 g/m² x 24h skrz spáru 1 mm širokou: 800 g/m² x 24h
Zvýšení faktoru: 1.600

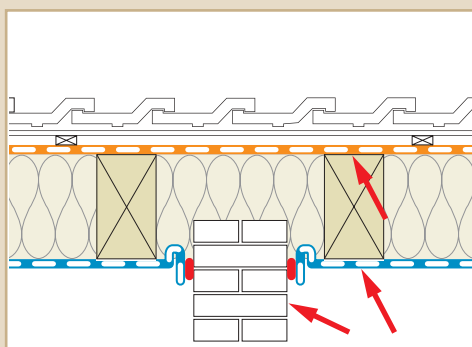
Podmínky:

parobrdza o hodnotě s_d	= 30 m
vnitřní teplota	= + 20 °C
venkovní teplota	= - 10 °C
rozdíl tlaku	= 20 Pa
	odpovídající síla větru 2-3

Měření: institut stavební fyziky, Stuttgart (3)

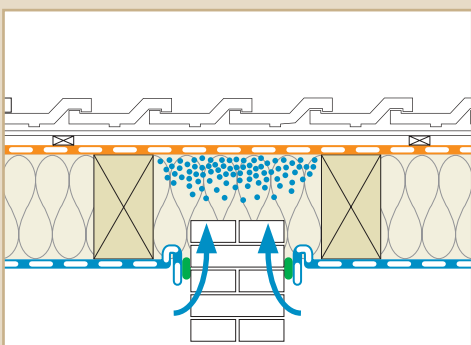
Boční difúze

4. Stavební škody: průnik vlhkosti i přes neprodyšné napojení a použití parozábrany



Neprodyšná konstrukce s PE-fólií a neprodyšnou vrstvou omítky, zvenku asfaltová střešní pásovina.

5. Příčina průniku vlhkosti: transport vlhkosti do boku, zde přes zdivo.



Proniknutí vlhkosti boční difúzí přes sousední zdivo.

1.3.3 Konstrukčně podmíněná vlhkost – boční difúze

V praxi se vyskytly škody na stavbách, které nešly vysvětlit pouze difúzními a konvektivními procesy. Ruhe (4) a Klopfer(5) upozornili roku 1995 resp. 1997 u jedné ze stavebních škod na problém boční difúze.

Konstrukce:

Střecha, venkovní dřevěný záklop a asfaltová pásovina, na vnitřní straně plastové fólie z polyethylenu (PE) a mezi nimi minerální vlna. I přes perfektní vzduchotěsnost kapala v létě voda z míst spojů fólie na stavební díly pod ní. Zprvu vyvstala domněnka, že příčinou je zvýšená montážní vlhkost. Jelikož ale odkapávání přibývalo rok od roku na intenzitě, byla tato příčina vyloučena. Po 5 letech byla střecha otevřena, dřevěný záklop byl již z větší části shnilý. Diskuze došla na proniknutí vlhkosti pomocí boční difúze. Tím se rozumí, že vlhkost vniká do střechy přes boční neprodyšné napojení, v tomto případě pórězní zdivo. Proud vlhkosti prakticky obchází parobrzdou (viz vyobrazení 4 a 5). Mezi stavebními fyziky byla tato problematika zprvu kontroverzně diskutována až do doby, kdy Künzel (7) roku 1997 boční difúzi výpočtově prokázal pomocí dvojdimenzionálního transportu tepla a vlhka WUFI 2D (8). Dle výpočtu se zvýšila vlhkost dřeva přes zdivo po jednom roce na ca. 20 % a tím již nad kritickou hranici pro tvorbu plísní, po 3 letech stoupla na 40 % a po 5 letech na 50 %.

1.3.4. Vysoká montážní vlhkost stavebních hmot

Zpracovávají-li se materiály se zvýšeným obsahem vlhkosti, je konstrukce odkázána na to, aby byla schopna sama opět vyschnout. I když se dnes prosadilo používání suchého stavebního dřeva, mohou dešťové přeháňky vést k jeho zvýšené vlhkosti.

V konkrétních číslech to znamená:

Střecha s krokvi 8/18 a odstupem krokvi $e=0,70$ má na 1 m^2 střešní plochy 1,5 běžného metru krokve. Při 10% vlhkosti obsahuje tento podíl krokvi cca. 1,1 l vody.

To znamená:

Když činí vlhkost dřeva na počátku 30 %, musí, aby byla dosaženo hodnoty pod hranici vlhkosti kritickou pro tvorbu plísní, vyschnout 1,1 litru vody na 1 m^2 plochy střechy.

Tento početní příklad platí i pro dřevěné opláštění o síle 20 mm. Zde činí obsah vody cca. 1,2 litru na 1 m^2 . Při 30% relativní počáteční vlhkosti, což po deštivém dni není žádnou výjimkou, musí, aby byla dosaženo hodnoty pod hranici vlhkosti kritickou pro tvorbu plísní, vyschnout 1,2 litru vody na 1 m^2 plochy střechy.

Pro krokve a dřevěný záklop je to dohromady 2,3 litru vody na 1 m^2 plochy střechy.

Celkové množství vlhkosti je často podceňováno. U zděné stavby může být vlhkostí přivedeno do konstrukce další množství vlhkosti. Když se pak na vnitřní straně nachází difúzně nepropustná fólie z polyethylenu a na venkovní straně střešní pásovina z asfaltu, jako první vrstva střešní krytiny, může velmi rychle dojít ke stavební škodě.

1.3.5 Shrnutí vlhkostního zatížení

Četné možnosti proniknutí vlhkosti do konstrukce ukazují, že v běžné stavební praxi nelze vlhkostní zatížení vyloučit. Když jde o to, stavět bez škod a plísní, je zvýšení potenciálu schnutí mnohem efektivnější a jistější řešení, než se soustředit na to, aby do konstrukce mohlo vniknout pokud možno co nejméně vlhkosti.

Inteligentní vlhkostní management:

Vzoreček bezpečnosti:

schopnost vysychání > vlhkostní zatížení = > bezškodnost stavby

Jen když je schopnost vysychání menší než vlhkostní zatížení, může dojít ke škodě na stavbě.

„Čím větší je rezerva schnutí konstrukce, tím větší může být nepředpokládané vlhkostní zatížení a přesto zůstane konstrukce bez škod“.

Konstrukce, které jsou na venkovní straně difúzně otevřené, mají větší rezervy vysychání než difúzně nepropustné konstrukce.

"Inteligentní" Parobrzdy

Vlhkostní situace v konstrukci

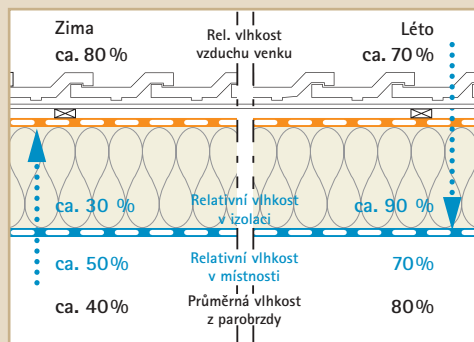
Difúzní proud proudí vždy od teplé ke chladné straně:

V zimě:
zvýšená vlhkost na venkovní straně

V létě:
zvýšená vlhkost na vnitřní straně

6. Parobrzda se nalézá

- v zimě v prostoru s nízkou vlhkostí vzduchu (suchý vzduch) > parobrzda s vlhkostně proměnlivou difúzní hodnotou je difúzně nepropustnější
- v létě v prostoru s vysokou vlhkostí vzduchu (suchý vzduch) > parobrzda s vlhkostně proměnlivou difúzní hodnotou je difúzně otevřenější



Znárodnění relativní vlhkosti vzduchu na parobrzdě v závislosti na ročním období

7. Difúzní proudy v parobrzdě s vlhkostně proměnlivou difúzní hodnotou pro clima

Difúzní proudění	Hodnota W_{DD} v g/m^2 za týden	
	v zimě	v létě
Směr difúze	Směrem ven ke spodní konstrukci střechy	Směrem dovnitř k parobrzdě
DB+	28	175
INTELLO	7	560

2.1 Vysychání konstrukcí dovnitř

Jednu z rozhodujících možností vysychání nabízí stavební konstrukce směrem dovnitř:

vždy když je teplota na venkovní straně izolace vyšší než na vnitřní straně, obrací se difúzní proudění - vlhkost ze stavebního dílu proudí dovnitř. K tomu dochází již za slunných dní na jaře a na podzim, jakož i intenzivněji v letních měsících.

Kdyby byla parobrzdná a neprodyšná izolační vrstva difúzně otevřená, mohla by vlhkost, která se eventuálně nachází v konstrukci vysychat směrem ven. Difúzně otevřená parobrzda by ale v zimě propouštěla příliš mnoho vlhkosti do konstrukce a tím způsobila stavební škodu.

Na první pohled se při použití parozábrany zdá být konstrukce chráněná před vlhkostí. Dojde-li však k vniknutí vlhkosti do konstrukce konvekci, boční difúzí nebo zvýšenou vlhkostí stavebních materiálů, není vysychání směrem dovnitř v letních měsících možné. Tak se z parozábrany stane velmi rychle past na vlhkost.

Ideální je parobrzda s vysokým difúzním odporem v zimě a nízkým difúzním odporem v létě. Již po léta se tato inteligentní parobrzda s vlhkostně proměnlivou difúzní hodnotou s_d osvědčila. Tyto parobrzdy mění svůj difúzní odpor podle okolní relativní vlhkosti vzduchu. V zimním klimatu jsou difúzně nepropustnější a chrání konstrukci před vlhkostí, v letním klimatu jsou difúzně prostupnější a umožňují tím vysychání vlhkosti, která se případně v konstrukci nalézá, směrem ven.

2.2 Způsob účinku vlhkostně proměnlivého difúzního odporu

Směr difúzního proudění je určováno tlakovým spádem podílu vodní páry. Tento je závislý na teplotě a obsahu vlhkosti ve vzduchu v budově, resp. vně budovy. Posuzujeme-li věc zjednodušeně pouze podle teploty, proudí vlhkost z teplé strany směrem k straně chladné. V zimě zevnitř směrem ven a v létě z venku směrem dovnitř.

Měření ve střešní konstrukci ukázala, že v zimním klimatu se transportem vlhkosti v místě krokvi nachází parobrzda v průměrné okolní vlhkosti ca. 40 %. V letním klimatu dochází naopak v prostoru krokvi ke zvýšení relativní vlhkosti na parobrzdě, z části dokonce k letní kondenzaci (viz obr. 6).

Parobrzdy s vlhkostně proměnlivým difúzním odporem jsou v suchém prostředí difúzně nepropustnější a ve vlhkém prostředí difúzně propustnější.

Od roku 1991 se pro clima DB+ osvědčila milióny položených metrů čtverečních. Její difúzní odpor se pohybuje mezi 0,6 a 4 m.

V roce 2004 vyvinula firma MOLL ekologické stavební výrobky s.r.o. vysoko výkonnou parobrzdu pro clima INTELLO. INTELLO má ve všech klimatických podmínkách celosvětově největší vlhkostně proměnlivý difúzní odpor od 0,25 do více než 10 m (viz obr. 9).

2.2.1 Vysoký difúzní odpor v zimě

Difúzní odpor parobrzdy INTELLO byl tak nastaven, aby pásovina mohla mít v zimním klimatu hodnotou s_d větší než 10 m. To má za následek, že v zimě, když je vlhkovostní tlak na konstrukci nejvyšší, nepropustí parobrzda téměř žádnou vlhkost do stavebního dílu.

To platí i v extrémních klimatických podmínkách jako například ve velehořácích, při studených a dlouhých zimách. Ale i u plochých a ozeleněných střech s difúzně nepropustnou krytinovou izolační pásovinou (například asfaltová pásovina) a u střech s plechovou krytinou je konstrukce účinně chráněna před vlhkostí.

Vysoká hodnota s_d má své výhody i u střech s difúzně propustných z venkovní strany, když se jedná o tvorbu námrazy (difúzní zábrana) na difúzně prodyšné izolační pásovině pro použití bez záklopu. (viz obr. 9)

2.2.2 Nízký difúzní odpor v létě

Difúzní odpor může v letním klimatu klesnout na hodnotu s_d 0,25 m. Toto má za následek rychlé vysychání vlhkosti, která se případně nalézá v konstrukci, směrem dovnitř. Podle spádu tlaku páry odpovídá toto kapacitě vysychání 5 - 12 g/m² H₂O za hodinu, což znamená ca. 80 g/m² H₂O za den, resp. 560 g/m² H₂O za týden.

(viz obr. 7)

Tato vysoká kapacita vysychání má za následek, že stavební díl rychle vysychá již na jaře.

2.2.3 Vyvážený difúzní profil

V době lepších neprodyšných izolací a tím zvýšené vlhkosti vzduchu ve zděných novostavbách náleží difúznímu odporu při vyšší relativní vlhkosti vzduchu velký význam.

2.2.3.1 Novostavby: pravidlo 60/2

V novostavbách panuje zvýšená vlhkost vzduchu podmíněná stavbou samou a jejím obyváním. Difúzní odpor parobrzdy by měl být proto nastaven tak, aby při střední relativní vlhkosti

vzduchu 60 % byla dosažena hodnota s_d minimálně 2 m, aby byla konstrukce dostatečně chráněna před vniknutím vlhkosti a tím i před tvorbou plísní. INTELLO má při relativní vlhkosti vzduchu 60 % hodnotu s_d ca. 4 m. (viz obr. 10)

2.2.3.2 Fáze výstavby: pravidlo 70/1,5

Během fáze výstavby, po provedení omítkářských prací nebo stěrkování, panuje v budově velmi vysoká vlhkost vzduchu. Hodnota s_d parobrzdy by měla činit při relativní střední vlhkosti vzduchu 70 % více než 1,5 m, aby chránila konstrukci před příliš vysokým vniknutím vlhkosti z okolního prostředí stavby a před tvorbou plísní. Zejména u desek z aglomerovaného dřeva na venkovní straně konstrukce je zapotřebí vysoké ochrany proti vlhkosti. INTELLO má při relativní vlhkosti vzduchu 70 % hodnotu s_d ca. 2 m. Nadměrná vlhkost vzduchu během fáze výstavby po příliš dlouhou dobu může vést principiálně k provlhnutí konstrukce. Vlhkost ze stavebních prací by proto měla být pravidelně odváděna větráním. Vysoušeče urychlují vysychání. (viz obr. 10)

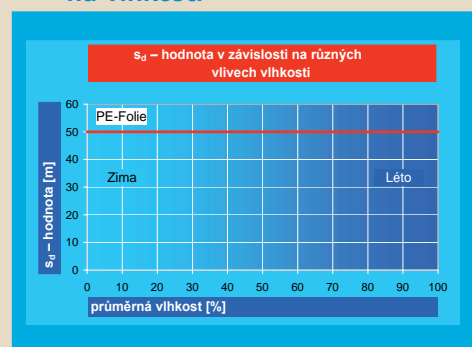
2.2.4 Nejvyšší potenciál bezpečnosti

„Inteligentní“ chování parobrzdy s proměnou hodnotou závislou na vlhkosti od pro clima činí izolační konstrukce velmi bezpečné, i při nepředvídaném proniknutí vlhkosti do konstrukce, např. nepříznivými klimatickými podmínkami, netěsnostmi, boční difúzí nebo zvýšenou montážní vlhkostí stavebního dřeva nebo izolace. Parobrzdy s variabilní hodnotou závislou na vlhkosti od pro clima fungují jako čerpadla k odvodu vlhkosti, aktivně odvádějí vlhkost ze stavebního dílu, která se v něm případně nepředpokládáně vyskytla.

Průběhy difúze v parobrdách

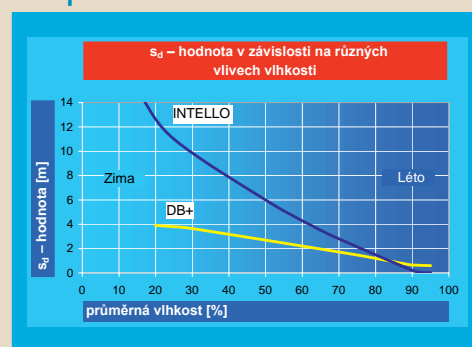
Čím větší je proměnlivost difúzního odporu mezi zimou a létem, tím větší bezpečnost poskytuje parobrzda.

8. Průběh difúze v PE-fólii. Bez proměnlivé hodnoty v závislosti na vlhkosti



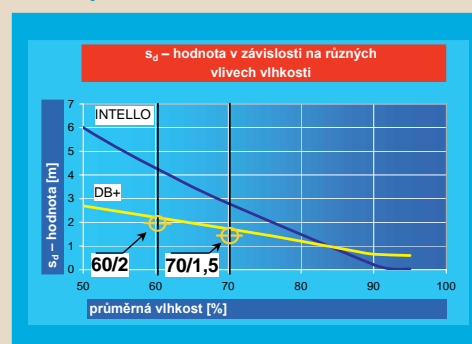
Konstantní hodnota s_d u PE fólie

9. Průběh difúze v parobrdách pro clima



DB+: střední proměnlivost v závislosti na vlhkosti
INTELLO: vysoká proměnlivost v závislosti na vlhkosti

10. Novostavba a stavební fáze, pravidlo 60/2 a 70/1,5

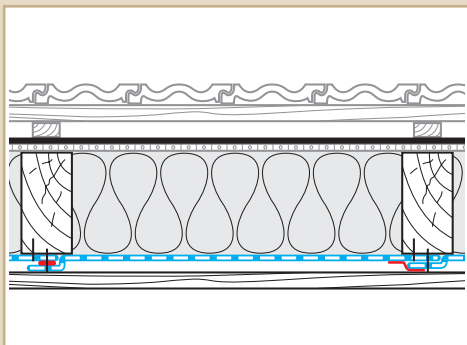


Doporučená minimální hodnota s_d během stavební fáze a u vlhkosti z novostavby.

Stanovení potenciálu bezpečnosti střešní konstrukce

Stavebně-fyzikální posouzení
střešních konstrukcí

11. Skladba střešní konstrukce



Vrstvy stavebního dílu:

- zvenku difúzně nepropustné (asfaltová pásovina s hodnotou $s_d = 300 \text{ m}$)
- celodřevěný záklop 24 mm
- vláknitá izolace
- parobrzdy s různými hodnotami s_d
- instalační vrstva
- sádrokartonové desky

Posuzované střešní varianty:

- šikmá střecha s 40° sklonem na sever, střešní krytina červené tašky
- plochá střecha s 5 cm vrstvou kačírku
- ozeleněná střecha s 5 cm vrstvou kačírku (18/32) a 8 cm rostlinného substrátu s venkovním ozeleněním.

3.1 Výpočet proudění vlhkosti
různými postupy

Rezervy schnutí vyplývají nejen z difúzních procesů, nýbrž též ze sorpčních a kapilárních procesů uvnitř vrstev stavebního dílu.

3.1.1 Výpočet dle Glasera
– DIN 4108-3

V DIN 4108-3(9) se i nadále odkazuje na postup dle Glasera. Glaser vypočítává vzniklé množství kondenzátu za použití bloku zimního klimatu a bloku letního klimatu:

Okrajové podmínky DIN 4108-3(9)
„Postup dle Glasera“ (stacionární)

Zima (doba trvání 60 dní)

interier: $+20^\circ\text{C}/50\%$ relativní vlhkost vzduchu

exterieur: $-10^\circ\text{C}/80\%$ relativní vlhkost vzduchu

Léto (doba trvání 90 dní)

interier: $+12^\circ\text{C}/70\%$ relativní vlhkost vzduchu

exterieur: $+12^\circ\text{C}/70\%$ relativní vlhkost vzduchu

3.1.2 Výpočet spřaženého
transportu tepla
a vlhkosti při přirozených
klimatických podmínkách

Postup dle Glasera je aproximací pro posouzení konstrukcí, neodpovídá však realitě. Na jedné straně se odlišují údaje blokových klimat od skutečného klimatu, na druhé straně nejsou zohledněny důležité mechanismy transportu jako sorpce a kapilarita. DIN 4108-3(9) proto upozorňuje na to, že tento postup není vhodný pro prokázání bezškodnosti stavby u ozeleněných střech, nebo střech opatřených kačirkem, nýbrž musí být použity nestacionární simulované postupy. Mezi známá softwarová řešení patří Delphin od Institutu pro stavební klima v Drážďanech a WUFI pro od Fraunhoferova institutu stavební fyziky v Holzkirchenu. Tyto programy vypočítávají spřažený transport tepla a vlhkosti ve vícevrstvých stavebních dílech za přirozených klimatických podmínek včetně zohlednění teploty a vlhkosti, absorpce

slunečního svitu, větru, tepla difúzního odpařování a též sorpce a kapilarity stavebních materiálů. Tyto programy byly mnohokrát ověřeny, t.z. že výsledky výpočtů byly porovnány s pokusy v reálném venkovním prostředí. Pro výpočet je zapotřebí použít klimatické údaje jednoho roku v podobě hodinových údajů. K dispozici jsou klimatické údaje Evropy, Severní Ameriky a Asie, jak z mírných pásem, tak i z pásem s extrémním klimatem.

K simulovanému výpočtu se do programu zadá stavební díl s pořadím vrstev a analyzuje na dobu několika let. Pak je zřetelné, zda-li se vlhkost ve stavebním dílu akumuluje, t.z. celkové množství vlhkosti v konstrukci za pozorované období zvyšuje, nebo stavební díl zůstává suchý. Z tohoto způsobu však není rozpoznatelné, jak vysoká je rezerva schnutí konstrukce.

3.2 Výpočet potenciálu
stavební bezškodnosti pro
konstrukce

Ke zjištění, jak bezpečná je konstrukce proti nepředvídanému vniknutí vlhkosti, např. následkem konvekce, boční difúze nebo zvýšené montážní vlhkosti se používají doplňkové podmínky: tepelnou izolaci na začátku výpočtu navlhčíme a pozorujeme, jak rychle vlhkost vyschne. Množství vlhkosti, které za jeden rok může za předpokladu zvýšené počáteční vlhkosti vyschnout z konstrukce, označujeme jako potenciál stavební bezškodnosti konstrukce. Výpočty se provádí za nepříznivých podmínek (např. na severní straně šikmé střechy), v různých klimatických pásech (např. v horách), s různými tvary střech (šikmá střecha, plochá střecha, ozeleněná střecha). Konstrukce výhodnější ze stavebně fyzikálního hlediska poskytují příslušně vyšší bezpečnost.

3.2.1 Definice potenciálu stavební bezškodnosti

Za potenciál stavební bezškodnosti označujeme množství nepředpokládané vlhkosti, která během jednoho roku může vniknout do konstrukce a tato konstrukce přesto zůstane bez škod a napadení plísněmi.

3.2.2 Střešní konstrukce

Podívejme se nyní na několik konstrukcí, na které je z hlediska fyziky staveb nahlíženo jako na kritické.

Skladba konstrukce: (viz obr. 11 vlevo)

Parobrzdzy:	hodnota s_d
• PE-fólie	50 m konstantní
• parobrzdza	2,3 m konstantní
• pro clima DB+	0,6 - 4 m proměnná v závislosti na vlhkosti
• pro clima INTELLO	0,25 - 10 m proměnná v závislosti na vlhkosti

Druhy střech:

- Šikmá střecha se sklonem 40° k severní straně, červené tašky
- Plochá střecha s 5 cm kačírku
- Ozeleněná střecha s 5 cm kačírku (18/32) a 8 cm rostlinného substrátu

Lokality:

- Holzkirchen, Německo, poloha 680 m nad mořem
- Davos, Švýcarsko, poloha 1.560 m nad mořem

Výpočet

- Pomocí WUFI pro
- Počáteční vlhkost v tepelné izolaci 4000 g/m²

3.2.3 Faktory vlivu na výši potenciálu stavební bezškodnosti

Podstatnou veličinou pro stavební bezškodnost a nenapadení plísněmi je zpětná difúze v létě a s tím spojené vysychání konstrukce směrem dovnitř. Její velikost je závislá na venkovní teplotě, přesněji řečeno na teplotě venkovní strany tepelné izolace. Sluneční záření způsobuje vyšší teplotu povrchu střechy/stěny než je teplota vzduchu.

Dobu, kterou teplo potřebuje, aby se dostalo z venku až k tepelné izolaci je rozhodující. U šikmé střechy k tomu dojde rychleji než u střechy s kačírkem nebo ozeleněné ploché střechy. U šikmé střechy závisí výška povrchové teploty na sklonu střechy, orientaci střechy (sever/jih) a barvě střešní krytiny (světlá/tmavá).

Nevýhodnými faktory jsou:

- sklon střechy na sever
- vysoký sklon střechy (> 25°)
- světlá barva střešní šikminy
- difúzně nepropustná spodní střecha
- chladné klima, např. v horách

Abysme si lépe uvědomili vliv parobrzdzy na potenciál stavební bezškodnosti, pracujeme při výpočtu s difúzně nepropustnou spodní střechou. Navíc se v zimě mohou difúzně propustné spodní střechy díky zamrzající kondenzující vodě stát parozábranou vrstvou.

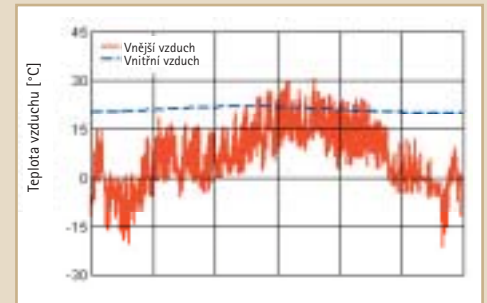
3.2.4 Klimatické údaje lokality Holzkirchen

Holzkirchen leží mezi Mnichovem a Salzburgem v nadmořské výšce 680 m, s drsným chladným klimatem. Následující diagramy ukazují teplotní průběh po jeden rok. Modrá čára ukazuje je vnitřní teplotu, červené čáry venkovní teplotu (viz obr. 12 až 15).

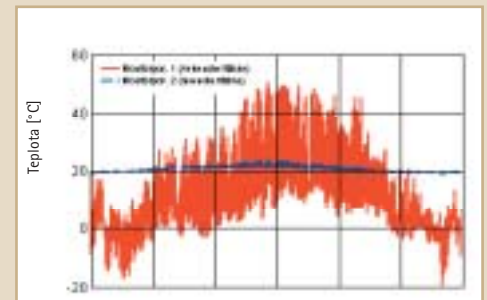
Zohledníme-li letní a globální sluneční záření, ukazuje se ve srovnání s teplotou vzduchu částečně podstatně vyšší teplota povrchu střechy. Překročí-li venkovní teplota (červená) teplotu vnitřní (modrá) dochází v parobrzdě s proměnnou hodnotou závislou na vlhkosti vysychání směrem dovnitř. Dokonce i při severní orientaci v Holzkirchenu je tímto po mnoho dní v roce možná zpětná difúze, u jižní orientace již během slunečných dní v zimě. V předemném příkladu výpočtu bylo pracováno s nejnevýhodnějšími podmínkami. Severní orientace střechy s 40°sklonem. Výpočtové období činí 10 let.

Teplotní průběhy v Holzkirchenu: 680 m. n. m., jižní Bavorsko, Německo. Střecha: červené tašky, resp. kačírek

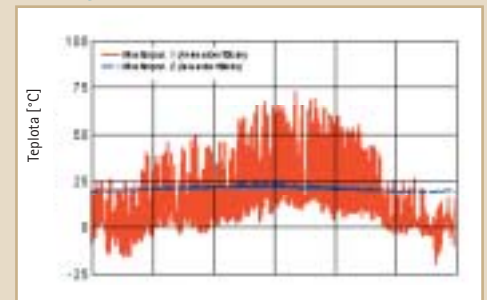
12. Teplota vzduchu



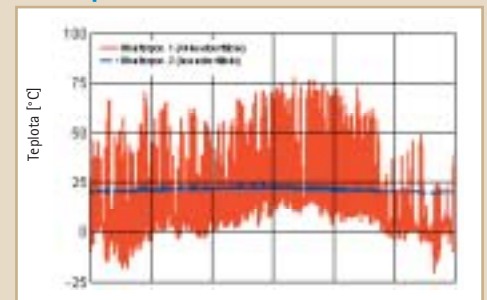
13. Povrchová teplota střechy



14. Povrchová teplota střechy, jižní strana, 40° sklon střechy



15. Povrchová teplota střechy, plochá střecha



Výpočet potenciálu stavební bezškodnosti lokality Holzkirchen, střecha

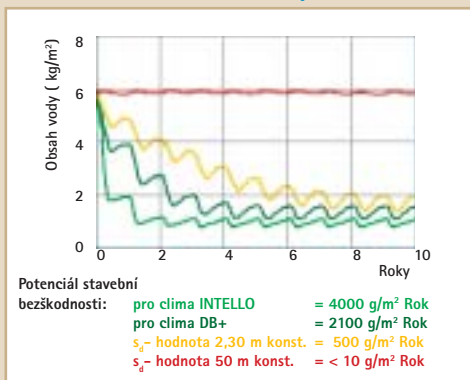
Přijato dodatečně.

Vlhkosti na začátku: 4.000 g/m²

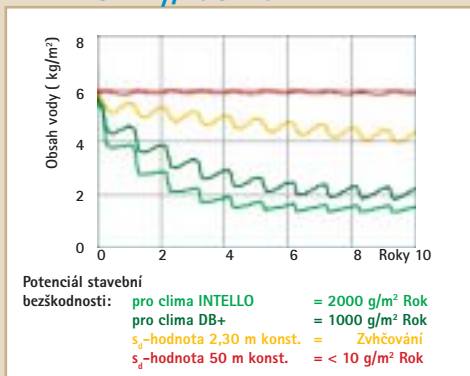
Vlhkost v suché konstrukci

(vlhkost dřeva krytiny 15 %): 1.700 g/m²

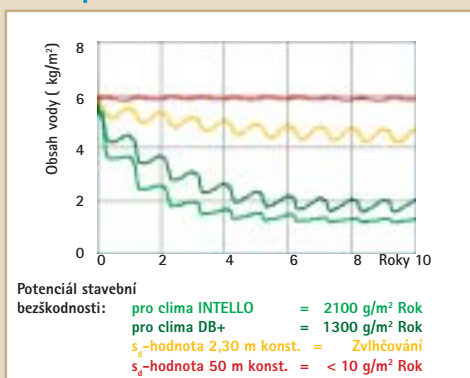
16. Potenciál stavební bezškodnosti, šikmá střecha, severní strana, 40° sklon střechy



17. Potenciál stavební bezškodnosti, ozeleněná střecha s 13 cm zeminy/kačírku



18. Potenciál stavební bezškodnosti, plochá střecha s 5 cm kačírku



3.2.5 Potenciál stavební bezškodnosti šikmé střechy v Holzkirchenu, severní strana, 40° sklon střechy

(Viz obr. 16)

Rychlost schnutí v případě, že počítáme se zvýšenou počáteční vlhkostí, popisuje potenciál bezškodnosti stavby konstrukce proti nepředvídané vlhkosti (konvekce, boční difúze atd.). Výpočet ukazuje, že PE-fólie neumožňuje žádné vysychání. Vlhkost, která se v konstrukci nachází, již nemůže uniknout. U parobrzd s konstantní hodnotou s_d 2,30 m existují jen malé rezervy vysychání. Konstrukce s pro clima DB+ vede k podstatně rychlejšímu vysychání a vykazuje zásadní bezpečnostní rezervy. Vysokovýkonná parobrzd INTELLO poskytuje konstrukci největší bezpečnostní potenciál. V průběhu roku může být konstrukce dle výpočtů WUFI pro (10) zatížena 4.000 g/m² vody bez toho aby došlo ke stavební škodě.

3.2.6 Potenciál stavební bezškodnosti ozeleněné střechy a ploché střechy

(Viz obr. 17 a 18)

Obě konstrukce vykazují podstatně menší bezpečnost než šikmá střecha, jelikož se silné vrstvy stavebního dílu nacházející se nad tepelnou izolací pomaleji prohřívají. Plochá střecha poskytuje díky tenčí vrstvě kačírku větší bezpečnost než ozeleněná střecha.

Stejně jako u šikmé střechy neumožňuje PE folie vysychání. Již při malém nepředvídaném vlhkostním zatížení dochází ke stavebním škodám. U parobrzd s konstantní hodnotou s_d 2,30 m dochází stále ještě k přílišnému hromadění celkové vlhkosti v konstrukci. I zde by došlo ke stavební škodě. Konstrukce opatřená pro clima DB+ vede k vysychání a vykazuje navíc ještě bezpečnostní rezervy. Vysokovýkonná parobrzd INTELLO poskytuje konstrukci největší bezpečnostní potenciál. V průběhu roku může být konstrukce dle výpočtů WUFI pro (10) zatížena 2.000 g/m² respektive 2.100 g/m² vody bez toho, aby došlo ke stavební škodě.

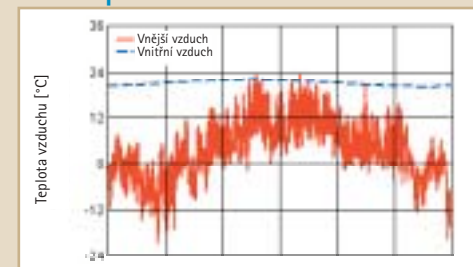
3.2.7 Klimatické údaje lokality Davos

Davos leží v nadmořské výšce 1.560 m a jeho klima patří do vysokohorské klimatické zóny. Následující diagramy ukazují průběh teploty během jednoho roku. Modrá čára ukazuje vnitřní teplotu, červené čáry venkovní teplotu.

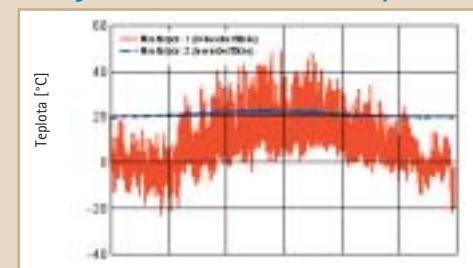
(Viz obr. 19 až 22)

Teplotní průběh v Davosu nadmořská výška: 1,560 m nad mořem, Švýcarsko, červeně cihlová / šterková

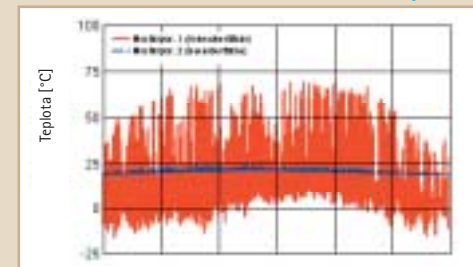
19. Teplota vzduchu



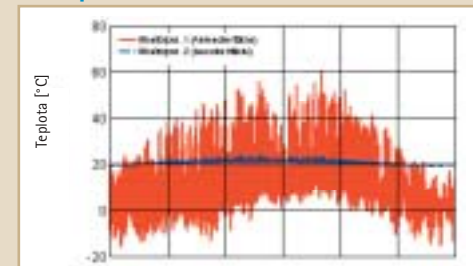
20. Povrchová teplota střechy, jižní strana, sklon střechy 40°



21. Povrchová teplota střechy, severní strana, sklon střechy 40°



22. Povrchová teplota střechy, plochá střecha



Sledujeme-li teplotu vzduch v Davosu, všimneme si, že jen několik málo dní v roce je venkovní teplota vyšší než teplota vnitřní. Zohledníme-li letní a globální sluneční záření, ukazuje se ve srovnání s teplotou vzduchu podstatně vyšší teplota povrchu střechy. U střeš orientovaných svým sklonem k severu jsou však teploty podstatně nižší než v Holzkirchenu. Jen několik dní v roce je možná zpětná difúze. U střeš s orientací sklonu na jih jsou v Davosu dosahovány téměř stejné teploty jako v Holzkirchenu.

Zimní noční teploty jsou typické pro vysokohorskou polohu a leží podstatně níže.

Aby bylo minimalizováno sluneční záření, byl pro výpočet použit opět nejnevýhodnější případ, to znamená severní orientace střechy se sklonem 40° .

3.2.8 Potenciál stavební bezškodnosti šikmé střechy v Davosu, severní strana, 40° sklon střechy

(viz obr. 23)

Velmi nízká teplota v zimě vede k vysoké tvorbě kondenzátu, tak že dokonce provlhne i konstrukce s PE fólií a to i tehdy, nepředpokládáme-li výskyt nepředvídaného vlhkostního zatížení. U parobrzdy s konstantní hodnotou s_d 2,30 m dojde velmi rychle k provlhnutí. Ani pro clima DB+ nedokáže udržet konstrukci suchou. Jen vysokovýkonná parobrzda INTELLO nabízí ze stavebně fyzikálního hlediska bezvadnou konstrukci a doplňkový bezpečnostní potenciál. V průběhu jednoho roku může být konstrukce dle výpočtů WUFI pro zatížena ca. 1.500 g/m^2 vody bez toho, aby došlo ke stavební škodě.

3.2.9 Potenciál stavební bezškodnosti ozeleněné střechy a ploché střechy

(viz obr. 24 a 25)

Obě konstrukce vykazují menší bezpečnost než šikmá střecha, jelikož silné vrstvy stavebního dílu se pomaleji prohřívají. Přes PE fólii není stejně jako v Holzkirchen možné žádné vysychání konstrukce. Již u drobného

nepředvídaného vlhkostního zatížení dochází ke stavební škodě. U parobrzdy s konstantní hodnotou s_d 2,30 m dojde u obou konstrukcí velmi rychle k provlhnutí. Konstrukce ploché střechy s pro clima DB+ vede k vysoké vlhkosti. Vysokovýkonná parobrzda INTELLO poskytuje ploché střeše s 5 cm kačírku řešení s vysokým bezpečnostním potenciálem. Pro ozeleněnou střechu v Davosu již venkovní teplota k zpětnému vysychání již nedostačuje.

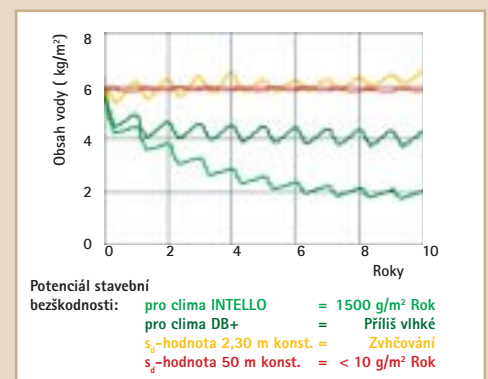
3.2.10 Závěry pro střešní konstrukce

S DB+ a INTELLO se v prostoru střechy dosáhne velmi vysokého potenciálu stavební bezškodnosti. I u přídavného zvlhnutí nepředvídanými vlivy zůstávají konstrukce bez stavebních škod. INTELLO a DB+ dokáží kompenzovat boční difúzi tak, jak je popsáno od Ruheho (4), Klopfera (5), (6) a Künzela (7).

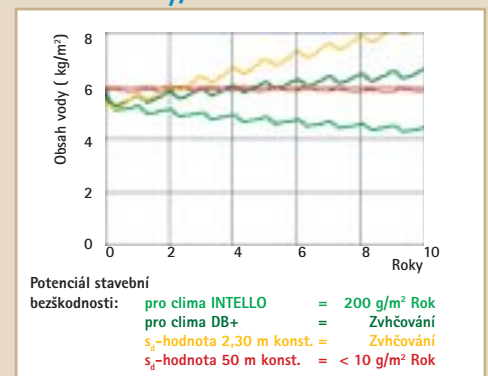
Pro clima DB+ se svým potenciálem stavební bezškodnosti již po více než deset let osvědčila v mnoha milionech metrech čtverečních v kritických konstrukcích. S INTELLO mají dostatečný potenciál stavební bezškodnosti i venkovně difúzně nepropustné šikmé střechy a ploché střechy s vrstvou kačírku ve vysokohorských oblastech.

Výpočet potenciálu stavební bezškodnosti lokality Davos, střecha

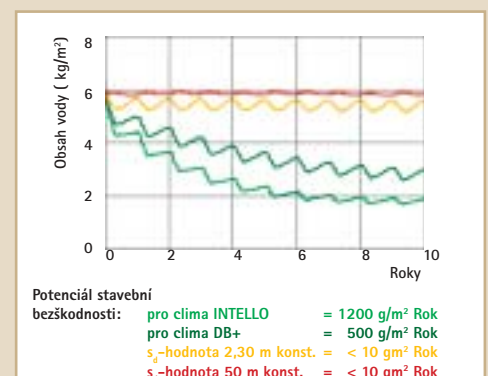
23. Potenciál stavební bezškodnosti, šikmá střecha, severní strana, 40° sklon střechy



24. Potenciál stavební bezškodnosti, ozeleněná střecha s 13 cm zeminy/kačírku

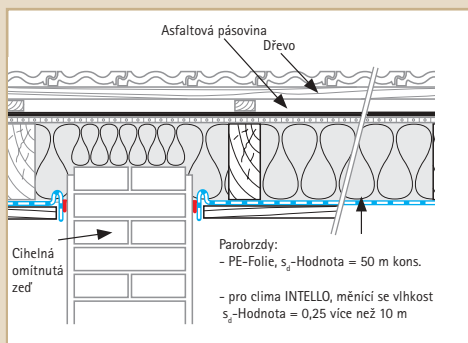


25. Potenciál stavební bezškodnosti, plochá střecha s 5 cm kačírku



2-dimenzionální výpočet tepelného a vlhkostního proudění pomocí WUFI 2D

26. Skladba konstrukce: začleněná stěna

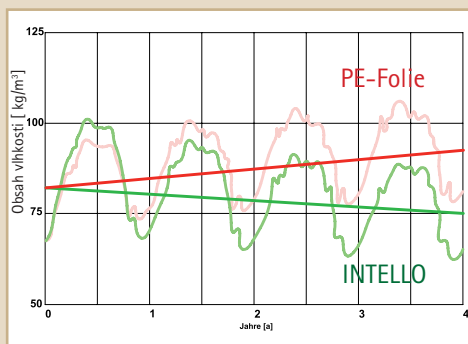


27. Zvýšení vlhkosti u PE-fólie - zvlhnutí = stavebí škody

>>>

Snížení vlhkosti pomocí INTELLO - vysychání = bezškodnost stavby

>>>



zvýšující se obsah vlhkosti ve stavebním dílu
s PE-fólií – konstantní hodnota s_d 50 m

snížující se obsah vlhkosti ve stavebním dílu
díky pro clima INTELLO – hodnota s_d 0,25 až
více než 10 m

3.2.11 Boční difúze

Pro zjištění vlivu proniknutí vlhka přes boky stavebních dílů je zapotřebí se podívat na napojení přilehlé venkovní stěny na tepelně-izolační konstrukci. Konstrukce je vybavena na venkovní straně v prostoru spodní konstrukce střechy difúzně nepropustnou asfaltovou pásovinou (viz obr. 26).

Zdivo má podstatně nižší difúzní odpor než parobrzdná a neprodyšná izolace přiléhající dřevěné konstrukce. Toto umožňuje aby docházelo k difúzi vlhkosti přes bok konstrukce do tepelně-izolační konstrukce.

Pro tento příklad jsme zvolili situaci novostavby. Zdivo a omítka mají běžný obsah vlhkosti 30 kg/m^3 . Vlákniatá tepelná izolace je instalována v suchém stavu, relativní vlhkost dřeva střešní konstrukce činí 15 %.

Jako parobrzdná a vzduchotěsná izolace je použita difúzi tlumící PE fólie (hodnota s_d 50 m, u druhé konstrukce je použita pro clima INTELLO s variabilní hodnotou závislou na vlhkosti (hodnota s_d 0,25 až více než 10 m)

3.2.12 Výsledky dvojdimenzionální výpočtové simulace proudění tepla a vlhkosti

Počítá-li se takováto konstrukce pomocí 2-dimenzionálního výpočtového postupu pro proudění tepla a vlhkosti, který je implementován v WUFI 2D (8), dojdeme k následujícímu výsledku: (viz obr. 27)

Po nárůstu vlhkosti v obou konstrukcích podmíněném ročním obdobím se obě nachází na přibližně stejné úrovni.

U varianty s PE folií použité jako neprodyšné izolace a parobrzdy, lze po sledované dobu 4 let pozorovat každoročně nárůst celkového obsahu vody (červený graf). V této konstrukci dochází k akumulaci vlhkosti v použitých stavebních materiálech, jelikož skrz PE folii není možné zpětné vysychání směrem do interiéru.

Následek: tvorba plísní na dřevu resp. začínající tlení.

U konstrukci s vysokovýkonnou parobrzdou INTELLO může vlhkost unikat do interiéru. Stavební díl je chráněn před akumulací vlhkosti – tato je plynule odváděna do interiéru (zelený graf). Tím klesá plynule obsah vlhkosti po celé sledované období 4 let.

Konstrukce s INTELLO a DB+ disponují vysokým potenciálem bezškodnosti.

3.2.13 Výsledky boční difúze

INTELLO a DB+ mohou kompenzovat boční difúze u zdiva tak, jak je popsáno od Ruheho (4), Klopfera (5), (6) a Künzela (7).

3.2.14 Konstrukce stěn

Konstrukce stěn mají díky své svislé poloze menší absorpci slunečního záření než střechy. Zpětná difúze je zde tudíž nižší. Z pravidla nejsou stěny na venkovní straně oproti střechám difúzně nepropustné. Nepoužívají se zde žádné asfaltové pásoviny. Vysoké požadavky na vodotěsnost, tak jak tomu je v prostoru ploché nebo ozeleněné střechy, nejsou u stěn dány. Teploty ve venkovní stěně jsou závislé v podstatné části na barvě fasády. Na světlých fasádách se nedosahuje slunečním zářením tak vysokých teplot jako u fasád tmavých. Znázorněné teplotní profily na venkovní stěně vznikají u normální světlé fasádní omítky (viz obr. 28 až 31).

Vysokovýkonná parobrzdá INTELLO poskytuje i u konstrukce stěn podstatný potenciál stavební bezškodnosti. Vypočítáme-li pomocí WUFI pro (10) venkovní stěnu orientovanou na sever s asfaltovou střešní pásovinou s hodnotou s_d 300 m na venkovní straně, s normální světlou barvou fasády v klimatických podmínkách Holzkirchenu, poskytuje konstrukce při použití parobrzdý INTELLO stále ještě podstatný bezpečnostní potenciál.

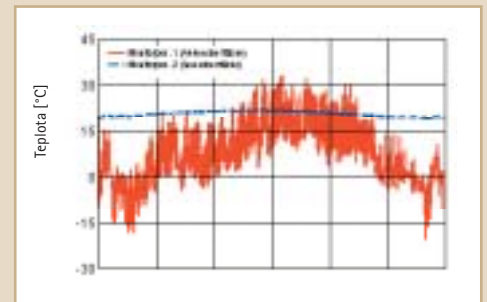
Také v chladnějším klimatických oblastech až po vysokohorské lokality jako je Davos, jsou konstrukce stěn s konstrukčními vrstvami vně tepelné izolace s hodnotou s_d až 10 m, jako má vysokovýkonná parobrzdá INTELLO, bezpečné.

V klimatických podmínkách Holzkirchenu smí mít stavební díly nalézající se vně tepelné izolace maximální hodnotu $s_d \leq 6$ m, v podmínkách Davosu pak 10 m.

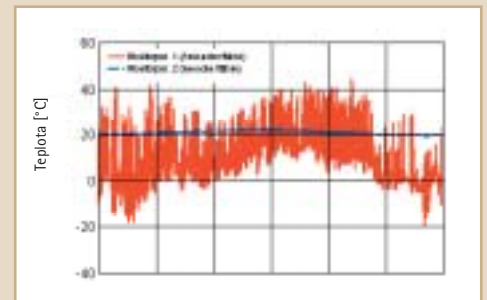
Průběh teploty v Holzkirchenu a Davosu, stěna, omítnutá fasáda světlá

Teplota stěny v Holzkirchenu

28. Teplota severní strany

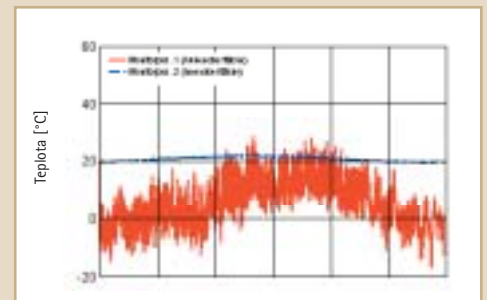


29. Teplota jižní strany

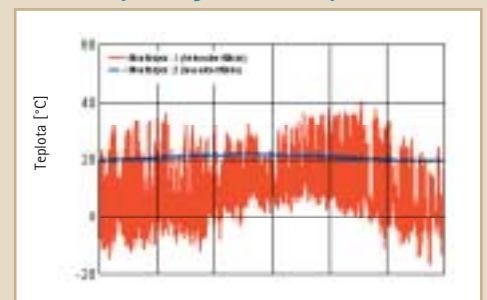


Teplota stěny v Davosu

30. Teplota severní strany



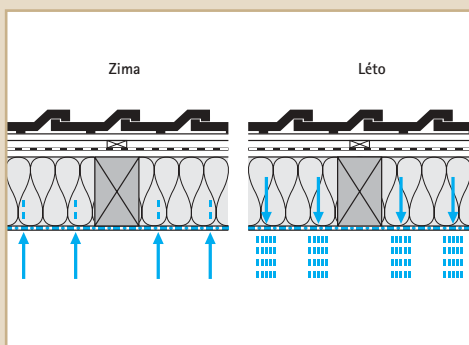
31. Teplota jižní strany



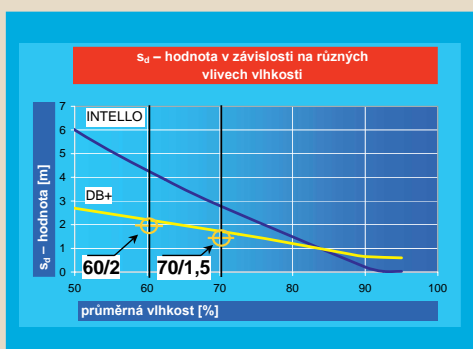
Konstrukční doporučení

Předpoklad pro účinnost parobrd s proměnnou hodnotou difúzního odporu v závislosti na vlhkosti

Na vnitřní straně se smí nalézat pouze difúzně propustné stavební vrstvy, aby nebylo bráněno zpětnému vysychání vlhkosti do interiéru.



32. Ochrana tepelně izolační konstrukce v novostavbě během stavební fáze



Dodržení pravidel 60/2 a 70/1,5 zajistí vysoký potenciál stavební bezškodnosti tepelněizolační konstrukce

4.1 Konstrukce

Stavebně-fyzikální průzkumy s reálnými klimatickými údaji ukazují enormě vysoký potenciál stavební bezškodnosti konstrukcí při použití vysokovýkonné parobrzd pro clima INTELLO s celosvětově největším difúzním odporem závislým na vlhkosti účinným ve všech klimatických oblastech a již po deset let osvědčené parobrzd s difúzním odporem závislým na vlhkosti pro clima DB+. S pro clima DB+ a INTELLO dosahují konstrukce i při zvýšeném vlhkosním zatížení vysoké bezpečnosti proti stavebním škodám. Předpokladem je nezaštiněná lokalita, například bez stromů nebo sousedních objektů

4.2 Vnitřní opláštění

Předpokladem pro vysoké bezpečnostní rezervy je neomezené vysychání do interiéru. Na vnitřní straně instalované opláštění s parobrdou s proměnnou hodnotou závislou na vlhkosti s difúzí omezujícím účinkem, jako například dřevité materiály, omezují množství vlhkosti která může vysychat směrem do interiéru a snižují tím potenciál stavební bezškodnosti. Výhodné jsou materiály s otevřenou strukturou, např. opláštění z palubek, desky z dřevité vlny s omítkou a sádrokartonové desky.

4.3 Trvale vlhké prostory

Parobrzd s proměnnou hodnotou závislou na vlhkosti nemohou být používány v trvale vlhkých klimatických podmínkách, jako např. bazénech, lázních, zahradnictvích nebo velkokapacitních kuchyních.

4.4 Vlhkost novostaveb odvislá od obývání – pravidlo 60/2

Dodržením pravidla 60/2 jsou tepelněizolační konstrukce v novostavbách, které jsou z principu vystaveny vyšší vlhkosti vzduchu, účinně chráněny. Pro clima DB+ a INTELLO splňují oba tyto požadavky a podporují vysoký potenciál stavební bezškodnosti stavebních dilů.

4.5 Vlhké prostory v bytech

Vlhké prostory v obytných budovách mají dočasně zvýšenou vlhkost. Parobrzd s proměnnou hodnotou závislou na vlhkosti pro clima DB+ a INTELLO poskytují při dodržení pravidla 60/2 i pro tyto místnosti optimální ochranu. Tím je konstrukce i při vlhkosti podmíněné podmínkami novostavby a obývání dostatečně chráněna před vniknutím vlhkosti z vzduchu v interiéru a částečně před tvorbou plísní.(viz obr. 32)

4.6 Zvýšená vlhkost během fáze výstavby – pravidlo 70/1,2

Pro clima DB+ a INTELLO splňují obě pravidla 70/1,5 a poskytují stavebnímu dílu během fáze výstavby vysokou ochranu proti vlhkosnímu zatížení. Hodnoty s_d jsou i u tohoto zvýšeného tlaku vlhkosti na 1,5 m (INTELLO má u 70% relativní vlhkosti vzduchu hodnotou s_d ca. 2 m). (Viz obr. 32)

Tímto mají konstrukce s parobrdnou pásovinou s proměnnou hodnotou závislou na vlhkosti i během fáze výstavby dobrou ochranu proti tvorbě plísní.

Nadměrná vlhkost vzduchu během fáze výstavby po delší časové období může vést principiálně ke zvlhnutí konstrukce. Vlhkost by měla být plynule odvětrávána. Vysoušeče pomáhají snižovat vlhkosní zatížení. Tím se zabrání dlouhodobě vysoké vlhkosti vzduchu během fáze výstavby.

4.7 Spodní konstrukce střechy

Optimální je volba difúzně propustných materiálů na spodní střechu (např. dřevovláknitých desek nebo pásovinu SOLITEX s nepórzní membránou pro použití se záklopem a pro použití bez záklopu, umožňující účinné vysychání směrem ven. Konstrukce s difúzně nepropustnými venkovními stavebními díly, jako např. asfaltová pásovinu, ploché střechy a ozeleněné střechy, jakož i střechy s plechovou krytinou, snižují stavebně fyzikální bezpečnost stavební-

ho dílu. Dřevěný záklop poskytuje větší bezpečnost než desky z aglomerovaného dřeva, jelikož dřevo má proměnný difúzní odpor závislý na vlhkosti a je kapilárně vodivé. INTELLO nabízí díky vysoké proměnlivosti difúzního odporu závislé na vlhkosti velmi vysoký bezpečnostní potenciál, i u aglomerovaného dřeva. Při použití pro clima DB+ by neměly být na spodní konstrukci střechy používány desky z aglomerovaného dřeva.

4.8 Konstrukce šikmé střechy

Ve spojení s konstrukcí difúzně propustnou směrem ven jsou k dispozici tak velké rezervy schnutí, že při použití parobrzdy pro clima DB+ a INTELLO není dáno žádné omezení lokality co se nadmořské výšky týče. I ve výškových polohách nad 3.000 m jsou tyto konstrukce bezpečné. Pro konstrukce šikmých střech difúzně nepropustné směrem ven (například s krytinou z asfaltové pásoviny) platí omezení dle vyobrazení 33.

4.9 Konstrukce ploché a ozeleněné střechy

Ploché a ozeleněné střechy mají směrem ven vždy difúzně nepropustný plášť, který slouží jako vodotěsná izolace a ochrana před kořeny. Z pravidla je nelze účinně podvětrávat, jelikož díky chybějícímu sklonu střechy prakticky neexistuje vzestupné proudění vzduchu. Čím silnější vrstva kačírku nebo substrátu (ozeleněná střecha) se na ploché střeše nalézá, tím nižší je prohrátí izolační vrstvy slunečním zářením. Zpětná difúze do interiéru a tím i bezpečnostní rezervy se snižují. I zde poskytuje vysokovýkonná parobrzda INTELLO proměnným difúzním odporem konstrukci stěn vysokou bezpečnost proti stavebním škodám, i při neplánovaném vlhkostním zatížení. Ze simulačních výpočtů s reálnými klimatickými údaji vyplývají rezervy použití. Ploché a ozeleněné střechy patří ze stavebně-fyzikálního hlediska k nejnáročnějším a nejkritičtějším tepelně-izolačním konstrukcím ve stavebnictví. Pro clima INTELLO nabízí svým

extrémně vysokým proměnným difúzním odporem nejbezpečnější řešení. Vlhkost, která případně do konstrukce pronikla, nebo se v ní nalézá, může ve velmi vysoké míře vysychat, bez toho, aby došlo k opětovnému škodlivému zvlhnutí. Mají-li ploché a ozeleněné střechy disponovat nejvyšší bezpečností, měla by být použita parobrzda INTELLO.

4.10 Konstrukce šikmé střechy ve vysokohorských podmínkách

Šikmé střechy difúzně nepropustné směrem ven mohou být až do nadmořské výšky 1.600 m bezpečně vybaveny parobrzdou INTELLO a mají vysoký potenciál stavební bezškodnosti. Stavební záměry nad 1.500 m nejsou časté, ale též existují, např. v lyžařských oblastech. Pro výpočet potenciálu stavební bezškodnosti máme k dispozici klimatické údaje až do nadmořské výšky 2.962 m (Zugspitze). Výpočty ukazují, že dokonce i pro difúzně neprodyšné šikmé střechy v tomto klimatu je dán dostatečný potenciál stavební bezškodnosti. Při plánování je však nutno dodržet některé příslušné podmínky. Prosím informujte se o tom na informační lince pro clima.

4.11 Stěny

Díky nízkému slunečnímu záření mají konstrukce stěn malý potenciál zpětné difúze a tím podmíněné malé bezpečnostní rezervy. Pro stěny platí difúzní odpory na venkovní straně izolace dle vyobrazení 35.

Oblasti použití DB+ a INTELLO

33. Konstrukce šikmých střech

Konstrukce	DB+	INTELLO
Vně difúzně nepropustná konstrukce bez zadního odvětrávání (ničím nezastiňovaná, na vnitřní straně žádné brzdící vrstvy)	Do 1.000 m nad mořem žádné desky z aglomerovaného dřeva	Do 1.600 m nad mořem
U konstrukcí, které jsou vně difúzně propustné	Bez výškového omezení	Bez výškového omezení

34. Plochá střecha a ozeleněná střecha

Konstrukce	DB+	INTELLO
Plochá střecha s max. 5 cm vrstvou kačírku bez zadního odvětrávání (ničím nezastiňovaná, na vnitřní straně žádné brzdící vrstvy)	Do 800 m nad mořem žádné desky z aglomerovaného dřeva	Do 1.600 m nad mořem
Ozeleněná střecha s max. 5 cm vrstvou kačírku bez zadního odvětrávání (ničím nezastiňovaná, na vnitřní straně žádné brzdící vrstvy)	Do 800 m nad mořem žádné desky z aglomerovaného dřeva	Do 1.000 m nad mořem

35. Stěny

Konstrukce	DB+	INTELLO
Vně vrstvy ze stavebních materiálů u stěn do 700 m nad mořem (na vnitřní straně žádné brzdící vrstvy)	Difúzní odpor max. 6 m	Neomezený difúzní odpor
Vně vrstvy ze stavebních materiálů u stěn do 1.600 m nad mořem (na vnitřní straně žádné brzdící vrstvy)	Difúzní odpor max. 6 m	Difúzní odpor max. 10 m
U vně difúzně propustných konstrukcí	Bez výškového omezení	Bez výškového omezení

Pokládání a zpracování INTELLO, INTELLO PLUS a DB

Postup kladení

1. Položit, připevnit



2. Navzájem slepit



3. Napojení na štít



4. Napojení na okna



5. Napojení na prostupy



5.1 Izolační materiály deskového a rohožového typu

INTELLO se pokládá stranou s fólií (s popisem) směrem do místnosti. Položíte-li INTELLO její textilní stranou směrem k místnosti, není její stavebně-fyzikální funkce omezena. Lepicí pásky pevně přitlačte. Slepování je lepší provádět na straně s fólií. Pro clima DB+ je konstruována symetricky a tudíž je na Vaší volbě, kterou stranou parobrzdu k místnosti položíte.

5.2 Směr pokládání

Pásoviny pro clima INTELLO a DB+ mohou být položeny podélně i napříč k nosné konstrukci. Při podélném pokládání se musí spoj jednotlivých pásů nalézat na nosné konstrukci. Při příčném pokládání je rozestup nosné konstrukce omezen maximálně na 100 cm

5.3 Doporučené systémové komponenty pro clima na lepení

Pro slepování přesahů pásů jsou vhodná všechna lepidla pro clima. Optimální je, když základní materiál lepicí pásky odpovídá mechanickým hodnotám parobrzdy, zejména při příčném pokládání. Pro INTELLO je tudíž velmi vhodným Tescon No. 1 a TESCON VANA, pro DB+ UNI TAPE. Pro napojení na okna, dveře a rohové spoje je velmi vhodný TESCON PROFIL s vysokou odolností proti protržení a jeho separační fólii rozdělenou na dvě části.

S napojovacími lepidly ORCON F (pro INTELLO) resp. ECO COLL (pro DB+) lze provést bezpečné napojení na přiléhající stavební díly (např. omítnuté štitové stěny).

Napojovací lepicí páska CONTEGA PV s integrovanou omítkovou výztuží slouží k realizaci definitivního napojení na neomítnuté zdivo.

5.4 Vlákenné fukané izolační materiály

Pro clima DB+ může být použita jako ohraničující vrstva pro fukané izolační materiály všeho druhu. Na vnitřní straně má váhu izolace nést příčné laťování s odstupem max. 65 cm.

Vysokovýkonná parobrzda INTELLO není díky své vysoké pružnosti vhodná pro použití jako vnitřní ohraničení pro fukané izolační materiály. K tomuto účelu je k dispozici INTELLO PLUS vyztužené silnou textilií PP. Tato parobrzda poskytuje stejný potenciál stavební bezškodnosti jako INTELLO. Na vnitřní straně má váhu izolace nést příčné laťování s odstupem max. 50 cm.

5.5 U pěnových izolačních materiálů

U pěnových izolačních materiálů se difúzní odpor téměř neuplatňuje, jelikož zpětná difúze je podstatně ztížena. Pěnové izolační materiály by tudíž neměly být použity v stavebně-fyzikálně náročných a kritických konstrukcích, které jsou např. z venkovní strany difúzně nepropustné.

5.6 Rozměrová stabilita

Vysokovýkonná parobrzda INTELLO se nesmršťuje. Může být pokládána napnutá bez provisu. INTELLO má velkou pružnost, aniž by se trhala. U pro clima DB+ má navlhnutí a následné uschnutí za následek malé smrštění. Tudíž by se tato pásovina neměla instalovat pevně napnutá. Napojení na přiléhající stavební díly musí být provedeno s dilatační smýčkou, schopnou pojmout pohyby stavebních dílů.

5.7 Mechanická pevnost

INTELLO a DB+ mají vysokou odolnost proti vytržení z hřebíků. To znamená, že pásovina je na svorkovaných místech dobře chráněna proti vytržení a roztržení.

5.8 Doba pokládky

Při pokládání izolace a parobrzdy musíte mít na paměti, že izolační materiály nesmí být především v zimě dlouho bez parobrzdy. Bez parobrzdy vniká vlhkost z interiéru bez překážky do konstrukce, ochlazuje se v izolačním materiálu, zejména v noci a to vede k tvorbě kondenzátu.

Je důležité, aby izolační materiál a parobrzda byly pokládány hned za sebou. Parobrzda má být ihned po položení napojena na přiléhající stavební díly, aby se zabránilo tvorbě kondenzátu v prostoru styku s konstrukcí, s ORCON F u omítnutého zdiva a CONTEGA PV u zatím neomítnutého zdiva.

5.9 Průsvitná struktura

Vysokovýkonná parobrzda INTELLO je průsvitná, t.z. materiály umístěné za pásovinou jsou zřetelné. INTELLO není zcela průhledná, tak že okraje pásoviny jsou dobře viditelné. To je výhodné při napojování na přiléhající stavební díly, jako např. na hřebenovou vaznici, střední vaznici, střešní okna a komíny, jakož i při slepování přesahů pásoviny

5.10 Recyklace a ekologie

Vysokovýkonné parobrzdy INTELLO a INTELLO PLUS sestávají ze 100% Polyolefinu - speciální membrány z Polyetylenopolymery a textilie z polypropylenu. Toto umožňuje jednoduchou recyklaci.

U pro clima DB+ sestává papír z 50% recyklované celulózy a 50% nové celulózy. Díky vrstvě ze skelného hedvábí může být likvidována pouze tepelně.

6. Závěr

Konstrukce s DB+ a INTELLO mají enormě vysoké bezpečnostní rezervy a předchází inteligentním managementem vlhkosti stavebním škodám. I u nepředvídaného vlhkostního zatížení, nebo vlhkostního zatížení, kterému se ve stavební praxi nelze vyhnout, mají konstrukce díky vysokým rezervám schnutí vysokovýkonných parobrd s proměnnou hodnotou závislou na vlhkosti, velmi vysoký potenciál stavební bezškodnosti.

Vysokovýkonná parobrzda INTELLO má celosvětově největší variabilitu difúzního odporu a poskytuje tak tepelně-izolač-

ním konstrukcím doposud nedosaženou bezpečnost - ať již u konstrukcí difúzně propustných na venkovní straně, nebo i konstrukcí náročných z hlediska stavební fyziky, jako např. ploché střechy, ozeleněné střechy, střechy s plechovou krytinou, jakož i střechy se spodní difúzně nepropustnou vrstvou krytiny.

Vysoká výkonnost INTELLO se ukazuje i při extrémních klimatických podmínkách, jako například v horách. Osvědčená pro clima DB+ poskytuje do středních poloh (např. Holzkirchen) vysokou bezpečnost střechním konstrukcím.

V souladu s předpoklady DIN 68 800-2 lze při použití parobrd s proměnným difúzním odporem v závislosti na vlhkosti upustit od použití chemické ochrany dřeva. Další bezpečnost nabízí pro clima 6ti letou systémovou zárukou.

S parobrdnými a vzduchotěsníci pásoviny INTELLO a DB+ se opět jednou realizuje bezpečnostní pravidlo pro clima:

„Čím je vyšší rezerva schnutí konstrukce, tím vyšší může být nepředvídaná vlhkostní zátěž a přesto zůstane konstrukce bez stavebních škod“.

CIUR a.s.
Pražská 1012, 250 01 Brandýs nad Labem
Tel.: +420 326 901 411
Fax: +420 326 901 456
e-mail: info@ciur.cz
Již od roku 1991 www.ciur.cz

Literatura

- (1) tenWolde, A et. al.: „Air pressure in wood frame walls,proceeding thermal VII.“ Ashrae Publication Atlanta, 1999
- (2) IBP Mitteilungen 355, „Dampfdiffusionsberechnungen nach Glaser – quo vadis? (Výpočty parní difúze dle Glasera – quo vadis)“
- (3) Deutsche Bauzeitung; Heft 12/89 Seite 1639 (Německé stavební noviny; číslo 12/89, strana 1639 a následující.
- (4) DAB 1995, Seite 1479; heft 8 (DAB 1995, strana 1479; číslo 8)
- (5) Klopfer, Heinz; Bauschäden-Sammlung, Band 11 (Přehled stavebních škod, svazek 11), Günter Zimmermann (vydavatel), Stuttgart; Frauenhofer IRB Verlag, 1997
- (6) Klopfer, Heinz; ARCONIS: Wissen zum Planen und Bauen und zum Baumarkt: Flankenübertragung bei der Wasserdampfdiffusion, Heft 1/1997, Seite 8-10 (ARCONIS. Znalosti k plánování a stavění a k stavebnímu trhu: boční přenos u difúze vodních par, číslo 1/1997, strana 8 – 10)
- (7) H.M.Künzel; Tauwasserschäden im Dach aufgrund von Diffusion durch angrenzendes Mauerwerk; 41/1996; Heft 37; Seite 34-36 (Škody z kondenzátu ve střeše z důvodu difúze skrze sousední zdivo; 41/1996; číslo 37, strana 34 – 36).
- (8) WUFI 2D 2.1 (Wärme- und Feuchte instationär); počítačový program pro platformu PC pro výpočet spřaženého 2-dimenzionálního transportu tepla a vlhka ve stavebních dílech; Frauenhoferův institut stavební fyziky.
- (9) DIN 4108-3. Tepelná ochrana a úspora energií v budovách – klimaticky podmíněná ochrana proti vlhkosti, požadavky, výpočetní postupy a informace pro plánování a provádění, Beuth-Verlag, Berlín, 07/2001.
- (10) WUFI 4.1 pro (Wärme- und Feuchte instationär); počítačový program pro platformu PC pro výpočet spřaženého transportu tepla a vlhka ve stavebních dílech; Frauenhoferův institut stavební fyziky.

SANAČNÍ STUDIE

Řešení neprodyšnosti u energeticky-technických sanací střešních konstrukcí.

Funkčně-technické umístění neprodyšné izolační vrstvy v konstrukcích.

Sub-and-Top: porovnání potenciálu stavební bezškodnosti u parobrzd s různou hodnotou s_d

Počítačové simultání výpočty spřaženého transportu tepla a vlhka u různých možností sanace střech a při zohlednění přirozených klimatických podmínek a transportech kapalin uvnitř stavebních hmot.



Literatura

- (1) DIN 4108-7: „Tepelná ochrana a úspora energie v budovách – díl 7: Neprodyšnost budov, požadavky, doporučení pro plánování a provádění, jakož i příklady“, Beuth-Verlag, Berlín, 08/2001.
- (2) DIN 4108-3. Tepelná ochrana a úspora energií v budovách – díl 3; klimaticky podmíněná ochrana proti vlhkosti, požadavky, výpočetní postupy a informace pro plánování a provádění, Beuth-Verlag, Berlín, 07/2001.
- (3) Konference Plísně v obytných prostorech: „Plísně ze stavebně-fyzikálního hlediska – posouzení pomocí hodnot-aw nebo systémy Izoplet?“, Klaus Sedlbauer, Martin Krus, Fraunhoferův institut stavební fyziky, Holzkirchen, 26.06.2002.
- (4) DIN EN 15026: „Tepelně-technické a vlhkostně-technické chování stavebních dílů a stavebních prvků – posouzení přenosu vlhkosti pomocí matematické simulace“ Beuth-Verlag, Berlín, 07/2007
- (5) WUFI Pro 4.2: „Výpočet jednodimenzionálního hygrotermického chování stavebních konstrukcí za reálných podmínek“, Fraunhoferův institut stavební fyziky, Holzkirchen
- (6) WUFI 2D 3.2: „Výpočet dvojdimenzionálního hygrotermického chování stavebních konstrukcí za reálných podmínek“, Fraunhoferův institut stavební fyziky, Holzkirchen
- (7) Delphin 5: program pro matematické simulace spřaženého transportu tepla, vlhkosti a látek“, Institut klimatu staveb, fakulty Architektury, Technické univerzity Drážďany.
- (8) DIN EN 12572 „Tepelně-technické a vlhkostně-technické chování stavebních hmot a stavebních výrobků – stanovení propustnosti vodních par“ Beuth-Verlag, Berlín, 09/2001
- (9) WTA Merkblatt 6-2-01/D: „Simulace tepelně-technických a vlhkostně-technických procesů“, Vědecko-technická pracovní skupina pro zachování stavebních děl a památkovou péči, registrovaný spolek – WTA- referát 6 fyzikálně-chemické základy, Mnichov, 05/2002
- (10) Studie: „Výpočet bezškodního potenciálu staveb tepelně-izolačních konstrukcí u dřevěných a ocelových staveb“ Moll bauökologische Produkte GmbH, 08/2006
- (11) Deutsche Bauzeitung (Německé stavební noviny); číslo 12/89, strana 1693 a následující

Sanační řešení s vysokou bezpečností

Literatura	30
Úvod	32
Část A Funkčně-technické umístění neprodyšné izolace v konstrukcích	32
Zlaté pravidlo 1/3 k 2/3	32
Zdroje průniku vlhkosti	32
Výpočet difúzních procesů	33
Výpočet dle DIN 4108-3 (2)	33
a) Postup dle Gläsera	33
b) postup dle Gläsera s Jinoschovými klimatickými údaji	33
Výpočet dle DIN EN 15026 (4)	33
Výpočtové modely pro konvektivní průnik	34
Nárůst množství vlhka následkem vnitřní konvekce	34
Zledovatělé vrstvy jsou parozábranami	34
Hodnota s_d a hodnota μ	34
Nepřesnosti měření u vysoce difúzně propustných materiálů	35
Vyhodnocení vlhkostních vlivů, definice kritéria stavební bezškodnosti	35
Zkoumané konstrukce	
Případ 1: vně umístěná neprodyšná izolace	36
Případ 2: neprodyšná izolace umístěná ve středu	36
Případ 3: neprodyšná izolace umístěná na straně interiéru	36
Diskuze o výsledcích	37
Výpočty	
Konstrukce s vně umístěnou neprodyšnou izolační vrstvou	37
Chybné, resp. chybějící vnitřní neprodyšnost (vnitřní záklop) (případ 1a)	37
Celoplošně existující neprodyšná izolace umístěná na straně interiéru (případ 1b)	37
Konstrukce s neprodyšnou izolační vrstvou umístěnou ve středu bez vnitřního záklopu (případ 2)	38
Konstrukce s neprodyšnou a parobrzdou izolační vrstvou umístěnou na straně interiéru bez vnitřního záklopu (případ 2)	38
Závěr porovnání vně umístěné neprodyšné vrstvy s neprodyšnou a parobrzdou izolační vrstvou umístěnou na straně interiéru	39
10 bodů vedoucích k trvale bezpečné konstrukci	39
Část B. Porovnání Sub-and-Top potenciálu stavební bezškodnosti u parobrzd s různou hodnotou s_d	40
Výpočet potenciálu stavební bezškodnosti	41
Zkoumané konstrukce	41
Případ 1: Difúzně otevřená spodní konstrukce střechy	41
Případ 2: Záklop spodní konstrukce střechy z 60 mm měkké dřevovláknité desky	41
Případ 3: Záklop spodní konstrukce střechy z 60 mm měkké dřevovláknité desky	41
Diskuze o výsledcích	42
Závěr porovnání parobrzdých a neprodyšně izolujících systémů instalovaných metodou Sub-and-Top	42
Cíl stavby	42
8 bodů vedoucích k trvale bezpečné konstrukci a zpracování	43

Neprodyšnost stávajících střešních konstrukcí – jaké možnosti se nabízí?

Úvod:

Je všeobecně známo, že neprodyšnost je předpokladem pro funkčnost tepelně-izolační konstrukce. Neprodyšné konstrukce zajišťují příjemné klima a pomáhají zabránit stavebním škodám následkem zvlhnutí kondenzátem. Zejména konvektivní proudy vlhkosti mohou vnést do tepelné izolační vrstvy během velmi krátké doby velká množství vlhkosti a tím ohrozit nosnou konstrukci jakož i tepelnou izolaci v její funkci. Často toto vede k tvorbě plísní a omezení funkce konstrukce. U stávajících střešních konstrukcí se nabízí otázka, jakými možnostmi lze zpravidla zlepšit nekvalitní neprodyšnost společně s větší tloušťkou tepelné izolačního materiálu při sanaci zaměřené na úsporu energií. Přitom je nejprve zapotřebí přezkoumat možnosti dané místem instalace. V aktuálně platné DIN 4108-7 (1) je v doporučení pro plánování uvedeno, že

neprodyšná vrstva „by zpravidla měla být instalována na straně tepelné izolace směrem do interiéru a také na straně nosné konstrukce směrem do interiéru. Toto doporučení normy předpokládá typický ideální případ novostavby, který lze v případě sanace střechy dosáhnout jen za velkého nasazení prostředků a spojené s nepohodlím pro obyvatele sanovaného objektu. Adekvátně lze neprodyšnost budov v souladu s doporučeními normy realizovat v každé vrstvě stavebního dílu.

Při volbě polohy neprodyšné vrstvy je nutné zohlednit tvorbu kondenzátu v konstrukci v souladu s požadavky DIN 4108-3 (2). Disponuje-li neprodyšná vrstva instalovaná směrem do interiéru příliš nízkým difúzním odporem (hodnotou s_d), může do konstrukce proniknout případně příliš vlhkosti a v závislosti na složení následujících vrstev stavebního dílu zkondenzovat na vodu – má-li

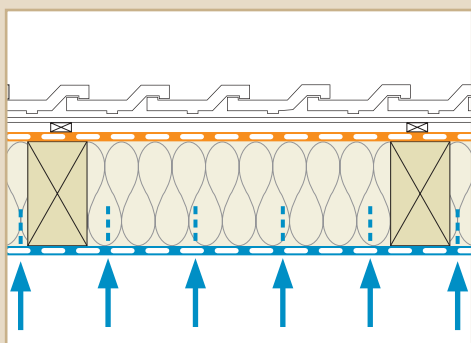
neprodyšná vrstva instalovaná směrem k venkovní straně stavebního dílu příliš vysokou brzdicí hodnotu, může při příliš nízkém odporu docházet též k akumulaci vlhkosti v konstrukci.

Cílem této studie je prozkoumat tyto jednotlivé varianty, vyhodnotit je a dát doporučení pro trvanlivé konstrukce disponující co největším možným potenciálem stavební bezškodnosti. Při stavbě je velmi důležitým předpokladem zachování chybovosti v rámci povolených tolerancí.

A. Funkčně-technické umístění neprodyšné izolace v konstrukcích

Výpočetní modely pro difúzní procesy

1. Vliv vlhkosti na tepelně-izolační konstrukci v zimě



Přes parobrzdnou a neprodyšnou izolační vrstvu s hodnotou s_d 3 m pronikne do konstrukce jen 5g vody na 1 metr čtvereční denně.

Zlaté pravidlo 1/3 k 2/3

DIN 4108-3 (2) odkazuje na tak zvané 20% pravidlo, které říká, že bez výpočetního důkazu může být umístěno 20 % celkového odporu tepelné propustnosti (při běžných materiálech v konstrukci je to 1/5 tloušťky tepelné izolačního materiálu) pod difúzi tlumící vrstvou stavebního dílu. Překročí-li se toto pravidlo, je zapotřebí provést matematický výpočet vhodnosti.

Důvodem je, že při zohlednění normových klimatických podmínek u konstrukcí s tepelně izolačními materiály stejné skupiny tepelné vodivosti se dosáhne po ca. 1/3 celkové tloušťky tepelné izolačního materiálu hodnoty pod teplotou rosného bodu ($9,2\text{ }^\circ\text{C}$). Je-li neprodyšná izolační vrstva umístěna za rosným bodem, může dojít k tvorbě kondenzátu v neznámém množství. Kritického obsahu vlhkosti může být dosaženo již od relativní vlhkosti vzduchu 80 %. Od této úrovně vlhkosti jsou při teplotě mezi $0\text{ }^\circ\text{C}$ a $50\text{ }^\circ\text{C}$ dosaženy podmínky pro růst téměř všech plísní (3). Navíc může u neprodyšné izolační pasoviny umístěné v promrzávající čas-

ti konstrukce vést tvorba kondenzátu k tvorbě ledové vrstvy. Tato zabraňuje jakémukoliv transportu vlhkosti skrz neprodyšně izolující vrstvu (např. difúzi nebo výměnu plynů póry), jelikož led je prakticky paronepropustný. Následkem může být další tvorba vlhkosti škodlivá pro stavební díl.

Zdroje průniku vlhkosti

Dvě zásadní příčiny pro průnik vlhka do tepelně-izolační konstrukce se dělí na: průnik pomocí difúze
průnik pomocí konvekce
Transporty vlhkosti z difúzních procesů lze vypočítat pomocí aplikování paušálních stacionárních klimatických údajů (např. dle DIN 4108-3 (2), nebo jako realitě se blížící nestacionární výpočet pomocí charakteristických reálných klimatických údajů a údajů o stavebních hmotách dle DIN EN 15026 (4).

Transporty vlhkosti díky konvekci nejsou vypočitatelné a vedou mnohdy k množství vlhkosti v konstrukci, která může být v porovnání s difúzí mnohokrát vyšší.

Výpočetní modely pro difúzní procesy

Pro výpočet transportu vlhka difúzí v rámci konstrukce jsou k dispozici různé výpočetní modely s různou přesností. V DIN 4108-3 (2) se množství kondenzované vody resp. vypařené množství, které se pomocí difúze může dostat do pozorovaného stavebního dílu, nebo z něj, počítá se standardizovanými klimatickými podmínkami. Pro výpočet jsou k dispozici dva bloky klimat (zima, resp. léto).

Jako další možnost je v DIN 4108-3 uveden postup podle Jenische. Tento způsob poskytuje diferencovanější výsledky na základě regionálně přizpůsobených klimatických podmínek. Obě metody uvedené v DIN 4108-3 neumožňují detailní pozorování proudění tepla a vlhka. Není možné určit obsah vlhkosti dosazených materiálů. Postup podle Glasera slouží ve stavebnictví po desítky let pouze hrubému odhadu množství kondenzátu respektive odpařené vody.

Nestacionární výpočetní modely dle DIN EN 15026 (4), jaké jsou obsaženy ve WUFI 2D (6) nebo v Delphin (7), simulují proudění vlhkosti a tepla uvnitř konstrukcí. Použijeme-li hodinově zaznamenané klimatické údaje, poskytnou tyto modely s velkým odstupem ty nejpřesnější údaje.

Veškeré popsané výpočtové modely vychází z toho, že vrstvy ve stavebním dílu jsou neprodyšné.

Výpočet dle DIN 4108-3 (2)

a) Postup dle Glasera

Vlhkostní proudění se vypočítává při paušálním klimatu 60 dní v zimě (-10 °C venkovní teploty / 80% relativní vlhkosti vzduchu a 20 °C vnitřní teploty / 50% relativní vlhkosti vzduchu) a 90 dní v létě (+12 °C uvnitř a venku / 70% relativní vlhkosti vzduchu, v prostoru střechy 20 °C venkovní teploty). Konstrukce musí dodržet následující hraniční hodnoty:

množství kondenzátu nesmí u stavebních dílů, které nejsou schopné pojmát kapilárně vlhkost, (např. fólie), překročit 500g/m². Množství kondenzátu během zimního období musí být nižší, než odpařované množství v létě.

b) Postup dle Glasera s Jenischovými klimatickými údaji

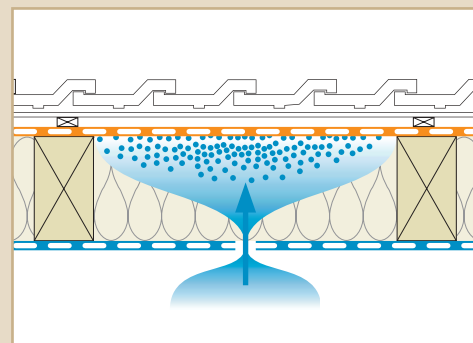
Postup dle Jenische počítá dle regionu s 12 paušálními sadami údajů, pro každý měsíc jedna klimatická sada s průměrnou teplotou venku a uvnitř. V zimě se údaje o venkovních teplotách pohybují kolem 0 °C (a ne jako při postupu dle Glasera u -10 °C) a v létě dle regionu kolem 18 °C (a ne jako při postupu dle Glasera u 12 °C). Konstrukce jsou tudíž vypočítávány bez venkovního období mrazu a tudíž ukazují mnohem méně kritické výsledky než při postupu dle Glasera. Podle toho je tudíž nutné výsledky příslušně vyhodnocovat. Postup dle Jenische je sice zmíněn v DIN 4108-3, dnes se však prakticky již nepoužívá. Pro přesné výsledky se používají nestacionární výpočtové postupy.

Výpočet dle DIN EN 15026 (4)

Skutečně realistické výsledky poskytuje nestacionární výpočetní postup jako WUFI pro (5), WUFI 2D (6) nebo Delphin (7). Ty vypočítávají transport vlhka a tepla v konstrukci na základě reálných klimatických údajů (teplota, vlhkost vzduchu, (přivalový-) déšť, slunce, vítr atd.), respektive vlastností stavebních hmot (difúze, absorbce, akumulace a transport vlhkosti atd.) a geografické orientace budovy (sklon, světové strany). Obsah vlhkosti a teplotu lze zjistit pro každý bod posuzované konstrukce.

Nezvážitelné aspekty: Průnik vlhka spárami (konvekci), lze dnes vypočítat pouze orientačně

2. Průnik vlhka do tepelné izolační vrstvy netěsnostmi



Přes 1 mm širokou spáru může na 1 m² proniknout během dne až 800 g vody

Přesné výsledky s nestacionárními výpočetními modely

Stacionární modely

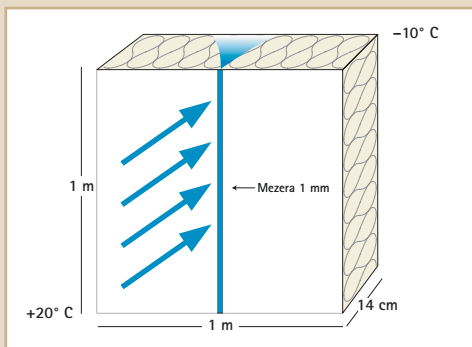
- postup dle Glasera
- postup dle Glasera s Jenischovými klimatickými údaji
- => poskytují hrubé orientační hodnoty

Nestacionární modely

- WUFI pro / WUFI 2D
- Delphin
- => poskytují nejpřesnější hodnoty pro obsah vlhkosti na každé pozici ve stavebním dílu – ideální pro výpočet bezpečnosti stavebního dílu.

Průnik vlhka do konstrukce netěsnostmi v parobrdě

3. 1 mm - spára = 800 g/24hod na jeden m délky spáry



Transport vlhkosti skrz parobzdu: 05g/m x 24 hod, skrz 1 mm-spáru: 800 g/m x 24 hod zvýšení o faktor: 1.600

Okrajové podmínky:
parobzda s hodnotou s_d 30 m
vnitřní teplota = +20 °C
venkovní teplota = -10 °C
rozdíl tlaku = 20 Pa
odpovídající síle větru 2-3
měření: Institut stavební fyziky, Stuttgart (11)

Konvekce a simulace

Konvekční proudění skrz netěsnosti lze vypočítat jen orientačně. Vynecháme-li při výpočtu vnitřní záklop, dochází k průniku vlhka výlučně difúzí. Skutečné průniky konvekci jsou vyšší. Vysoké hodnoty μ zvýhodňují tvorbu kondenzátu.

Výpočtové modely pro konvekční průnik

Průnik vlhkosti do konstrukce konvekci (prouděním vlhkého teplého vzduchu) doposud nelze komerčními softwarovými řešeními simulovat. Pohonem konvekce je rozdíl mezi tlakem uvnitř budovy a venkovním tlakem. Tento rozdíl tlaku vyplývá z proudění způsobeném větrem na venkovní plášť budovy a stoupáním ohřátého vzduchu v obývaném interiéru. Velmi orientačně lze transport vlhkosti do konstrukce netěsnostmi vypočítat tím, že zůstanou nezohledněny difúzi brzdící vnitřní vrstvy stavebního dílu (například parobrdná vrstva nebo vnitřní záklop). Jelikož se jedná pouze o difúzní proudění a chybí pohon z rozdílu tlaků, jsou ve skutečnosti vlhkostní zatížení konvekci podstatně vyšší. Při proudění vzduchu netěsnostmi se průnik vlhka soustřeďuje na malou plochu.

Tímto je průnik mnohonásobně vyšší, než jej lze znázornit výpočtovými výsledky. Konvekci může do tepelně-izolační konstrukce proniknout spára o šířce 1 mm a délce 1 m (= 1/1000 m² za jeden den vlhkost v množství 800 g/m a den.

Tolik vlhkosti nemůže vyschnout ani přes difúzně otevřenou pojistnou hydroizolační pásoviny pro použití bez záklopu, když navíc difúzní proud tenkého stavebního dílu je v praxi při malém/chybějícím rozdílu tlaku mnohokrát nižší, než lze dovozovat z hodnot s_d (viz odstavce o hodnotě s_d a hodnotě μ).

Nárůst množství vlhka následkem vnitřní konvekce.

Ke konvekčnímu proudění může dojít také v uvnitř konstrukcí. Ohřátím konstrukce zvenčí při přímém oslunění může vlhkost uvnitř stavebního dílu stoupat a případně se shromažďovat na místech, na kterých jsou další konvekční postupy přerušeny.

Zledovatělé vrstvy jsou parobrdami

Dojde-li k tvorbě kondenzátu na vrstvách materiálu, které se nalézají v promrzajících částech, (např. vně

instalované neprodyšné izolační pásoviny), může se na nich při teplotách pod bodem mrazu tvořit zledovatělá vrstva. Následkem je znemožnění vysychání konstrukce směrem ven, dochází k další tvorbě velmi velkých množství kondenzátu, které též zamrzají. Výsledkem je snížená izolační účinnost použité tepelné izolace, jakož i velké ohrožení materiálů použitých v konstrukci.

Hodnota s_d a hodnota μ

Rozhodující pro tvorbu kondenzátu je v první řadě hodnota μ (číslo odporu parní difúze) Toto číslo popisuje „kvalitu“ stavebního materiálu s ohledem na jeho brzdící účinek. Hodnota s_d (ekvivalentní tloušťka vzduchu (m)) zohledňuje navíc tloušťku stavební hmoty. S přibývajícím tloušťkou materiálu se prodlužuje doba, kterou potřebuje molekula vody na svůj transport skrz stavební hmotu. Izolační pásoviny pro použití bez záklopu jsou difúzně propustné a mají nízkou hodnotu s_d . Z důvodů malé tloušťky vrstvy je jejich hodnota μ poměrně vysoká.

V číslech: izolační pásovina pro použití bez záklopu s mikroporézni funkční vrstvou má při hodnotě s_d 0,02 m tloušťce 0,50 mm hodnotu μ 40.

V porovnání s vláknitou izolační hmotou (hodnota μ = 1) má pásovina difúzní nepropustnost vyšší o faktor 40. Tím může i u difúzně propustných izolačních pásovin pro použití do spodních konstrukcí střež dojít k tvorbě kondenzátu.

Difúzně propustné izolační pásoviny pro použití do spodních konstrukcí střež/vnější neprodyšné izolační pásoviny umožňují mimo to mnohem méně vysychání vlhkosti než by se mohl člověk domnívat. Důvodem je malý/chybějící tlakový rozdíl tenkého stavebního dílu za klimaticky podmíněných situací. Důvod: pohonem difúzního proudění je vždy tlakový rozdíl. Nachází-li se na obou stranách materiálu stejné klima (např. 10 °C a 80 % vlhkosti vzduchu) nedochází k žádnému transportu vlhkosti. Teprve, když je teplota, nebo relativní vlhkost vzduchu na obou stranách stavebního dílu různá, začnou se pohybovat molekuly difúzí z jedné strany na druhou. U izolační pásoviny pro použití bez záklopu/vnější neprodyšné izolační

pásoviny nedochází díky malé tloušťce materiálu k žádným teplotním rozdílům, tak že se můžeme soustředit na rozdíly v relativní vlhkosti vzduchu. Tyto jsou bohužel v zimě při nebezpečí tvorby kondenzátu na izolační pásovině pro použití bez záklopu nízké, když na vnitřní straně pásoviny panuje 80% vlhkost vzduchu a více a na venkovní straně panuje obdobná vlhkostní situace.

Bezpečnostní výhody zde nabízí izolační pásoviny pro použití do spodních konstrukcí střech s monolitickou funkční vrstvou. V případě tvorby kondenzátu na vnitřní straně pásoviny v konstrukci je vlhkost transportována aktivně difúzí podél řetězců molekul ze stavebního dílu. Pod vlivem vlhkosti se snižuje difúzní odpor pásoviny pro klima SOLITEX – nebezpečí tvorby kondenzátu se snižuje. U mikroporézních membrán dochází oproti tomu při tvorbě kondenzátu ke snížené schopnosti difúze. Vlhkost může proniknout skrz pásovinu pasivně v plynném skupenství – nebezpečí tvorby námrazy je větší než u monolitických membrán.

Nepřesnosti měření u vysoce difúzně propustných materiálů

Jedna z norem určujících stanovení difúzního odporu, DIN EN ISO 12572 (8), obsahuje v odstavci 9 „Nepřesnost měření“ výčet možných zdrojů chyb. Mimo kvality zkušebního tělesa, jakož i přesnosti měřicího zařízení jsou zde uvedeny okrajové klimatické podmínky během měření (kolísání tlaku vzduchu) jako důvody ovlivňující chybovost výsledků měření. DIN EN ISO 12572 není dle údajů v odstavci 9.8 vhodná pro měření vlastností vysokých koeficientů propustnosti vodních par (t.z. s hodnotou $s_d < 0,1$ m). Z popsaných důvodů musí být do normy DIN 4108-3, při provádění měření na difúzně propustnějších materiálech dle DIN EN ISO 12572, dosazena hodnota s_d 0,1 m.

Vyhodnocení vlhkostních vlivů, definice kritéria stavební bezškodnosti

Průnik vlhkosti popsaný ve vyobrazení 1 + 2 mohou vést uvnitř stavebního dílu

ke zvýšené relativní vlhkosti vzduchu až ke kondenzaci. V kombinaci s dostatečně vysokou teplotou na místě zvýšeného obsahu vlhkosti může dojít při dostatečně dlouhé době a vhodném zdroji živin k tvorbě plísňových spórů. Plísňové spóry se počítají mezi tak zvané „první kolonisty“, jelikož se jim daří i za biologicky nepříznivých okolních podmínek. Sedlbauer a Krus (3) udávají pro dosažení podmínek pro růst téměř všech druhů plísni relevantních pro stavební prostory relativní vlhkost vzduchu 80 %. Optimální oblast leží dle druhu plísně mezi 90 % a 96 % relativní vlhkosti vzduchu. Teplota potřebná ke vzniku spórů, resp. růstu plísni v době zvýšeného obsahu vlhkosti se pohybuje v oblasti mezi 0 °C a 50 °C. Ideální teplotou pro růst je ca. 30 °C.

Při této teplotě mohou plísně na minerální vatě vzniknout a růst od relativní vlhkosti vzduchu 92 %. Je-li teplota nižší, je pro rozmnožování plísni zapotřebí zvýšené relativní vlhkosti vzduchu. „Znečištění prachem, otisky prstů a znečištění vzduchu (kuchyně, usazeniny ze sprchování atd.) nebo lidské výpary stačí pro to, aby se i na méně vhodném podkladu vytvořily lepší podmínky pro růst plísni. Tyto mezní podmínky mají vliv na výši potřebné relativní vlhkosti vzduchu, respektive teploty, která je potřebná pro tvorbu plísni.

Teploty podléhají v rytmu den–noc výkyvům, které mohou vést k tomu, že po určitou dobu nepanují podmínky vhodné pro růst plísni. V (3) se dle Zölda udává, že při teplotě pod 20 °C je dáno nebezpečí napadení plísněmi v případě, že po dobu 5 dnů a více než 12 hodin panuje v konstrukci relativní vlhkost vzduchu nad 75%.

Kritérium pro konstrukci ohroženou možným růstem plísni může být definováno následně:

1. Průměrná denní teplota nad 0 °C
2. Relativní průměrná denní vlhkost vzduchu trvale nad 90%
3. Teplota a relativní vlhkost vzduchu musí zůstat v této oblasti po dlouhou dobu

Průnik vlhkosti do konstrukce může vést ke stavebním škodám a plísním.

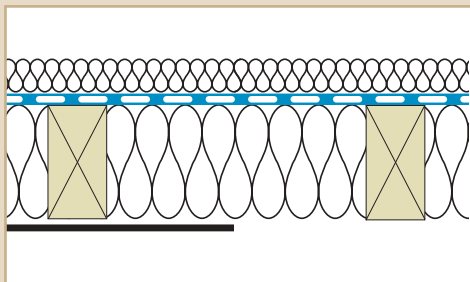
4. Plísně rostou také za nepříznivých okolních podmínek



Sedlbauer a Krus (3) udávají pro dosažení podmínek pro růst téměř všech druhů plísni relevantních pro stavební prostory relativní vlhkost vzduchu 80 %. Optimální oblast leží dle druhu plísně mezi 90 % a 96 % relativní vlhkosti vzduchu.

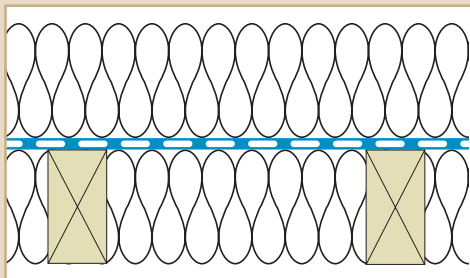
Tři konstrukce v porovnání

5. Případ 1: Vnější neprodyšná izolace s vnitřním prodyšným záklopem (1a) a s vnitřním neprodyšným záklopem (1b)



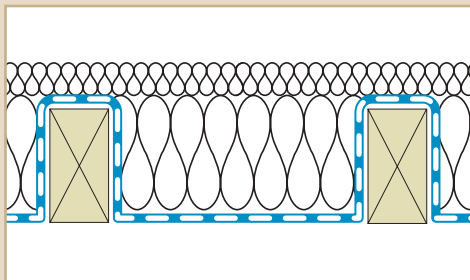
- dřevovláknó 35 mm
- difúzně propustná neprodyšná izolace ($s_d = 0,02$ m)
- vláknitá izolační hmota (minerální vata) 120 mm

6. Případ 2: Neprodyšná izolace uprostřed



- dřevovláknó 120 mm
- difúzně propustná neprodyšná izolace ($s_d = 0,02$ m)
- vláknitá izolační hmota (minerální vata) 120 mm

7. Případ 3: Neprodyšná izolace uvnitř



- dřevovláknó 35 mm
- neprodyšná izolace položená způsobem Sub-and-Top ($s_d =$ proměnná v závislosti na vlhkosti 0,05 – 2,0 m)
- vláknitá izolační hmota (minerální vata) 120 mm

Zkoumané konstrukce

V první části této studie se na základě formulovaných kritérií zkoumají následující konstrukce na možnosti pravděpodobnosti napadení plísněmi. Tyto jsou porovnávány pomocí WuFi pro (5) Fraunhoferova institutu se sadami klimatických údajů platnými pro Holzkirchen u následujících konstrukcí:

1. Šikmá střecha se sklonem střechy 40° směrem na sever, střešní krytina z šedých tašek.
2. Výška krokví: 12 cm s plnou izolací mezikrokevního prostoru z vláknité izolace, např. minerální vaty (objemová hmotnost = 60 kg/m^3)

Klima interiéru se stanovuje dle předpokladů návodu WTA 6-2-01-D (9) (obsaženo ve WUFI) s normální vlhkostí zátěží tak, jak panuje v prostorách obytných domů (ložnice a obytné prostory, koupelny a kuchyně).

Uvedené konstrukce se pro účely odhadu vlivu hustoty vnitřního záklopu vypočítávají celoplošně se sádkartonovou deskou (tloušťky 10 mm) a bez sádkartonové desky, aby bylo možné zohlednit vliv záklopu z palubek, respektive nedostatečně neprodyšného vnitřního záklopu.

Případ 1: vně umístěná neprodyšná izolace:

Přezizolování krokví pomocí desek z měkkého dřevovlákná 35 mm, pod nimi umístěná difúzně propustná neprodyšná izolační vrstva ($s_d = 0,02$ m).

Na rozdíl od doporučení normy DIN EN ISO 12572 resp. DIN 4108-3 se výpočet provádí s hodnotou $s_d = 0,02$ m namísto normou stanovených 0,10 m)

Případ 2: neprodyšná izolace umístěná ve středu

Přezizolování krokví pomocí desek z měkkého dřevovlákná 120 mm, pod nimi umístěná difúzně propustná neprodyšná izolační vrstva ($s_d = 0,02$ m).

(Na rozdíl od doporučení normy DIN EN ISO 12572 resp. DIN 4108-3 se výpočet provádí s hodnotou $s_d = 0,02$ m namísto normou stanovených 0,10 m)

Případ 3: neprodyšná izolace umístěná na straně interiéru

Přezizolování krokví pomocí desek z měkkého dřevovlákná 35 mm, uvnitř umístěná neprodyšná izolace, Su-and-Top (s_d proměnná v závislosti na vlhkosti 0,05 – 2,0 m).

Diskuze o výsledcích

Zkoumá se vlhkostní situace na ploše hraničící s neprodyšnou izolační pásovinou. Za tímto účelem se

- vypočítá relativní vlhkost vzduchu v závislosti na panující teplotě v místě přechodu k neprodyšné izolační pásovině (případ 1 a 3) respektive k desce z měkkého dřevovlákná (případ 2)
- obsah vody v tepelné izolaci na rozhraní vrstev.

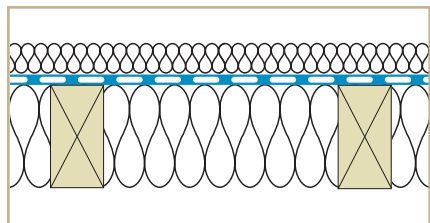
Cíl:

Uvnitř tepelně izolační konstrukce se vyskytuje nejvyšší relativní vlhkost vzduchu, respektive obsah vlhkosti na rozhraní mezi materiály s různými hodnotami μ . Obsah vody v tepelné izolaci v nejkrajnější vrstvě (1 mm) a relativní vlhkost vzduchu by neměly být nikterak signifikantně zvýšené.

Výpočet:

Konstrukce s vnější neprodyšnou vrstvou

Chybná vnitřní neprodyšná vrstva (vnitřní opláštění) (případ 1a)



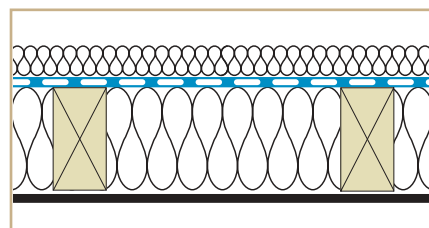
- dřevovlákná 35 mm
- difúzně propustná neprodyšná izolace ($s_d = 0,02$ m)
- vláknitá izolační hmota (minerální vata) 120 mm

Tento případ simuluje konstrukce s nedokonalou neprodyšností u sádrokartonových desek, omítnuté ploše a palubkových záklopů.

Takovéto konstrukce mají dle výsledku zobrazeného ve vyobrazení 8 a 9 na rozhraní mezi tepelně izolační hmotou a venkovní neprodyšnou vrstvou velmi vysoké relativní vlhkosti, daleko nad 90% až po kondenzaci. Během 157 dní v roce je relativní vlhkost vzduchu na rozhraní vrstev přes 90% - během 15 dní dochází dokonce k tvorbě kondenzátu. Existuje velmi vysoké nebezpečí tvorby plísní, jelikož vysoké relativní vlhkosti jsou v časové souvislosti s teplotami daleko nad 0°C. Obsah vody na tomto rozhraní vrstev stoupá až nad 150 kg/m³.

U takovýchto konstrukcí s nedokonalou neprodyšnou vrstvou existuje nebezpečí stavebních škod.

Perfektní neprodyšná izolační vrstva na vnitřní straně (vnitřní opláštění) (případ 1b)

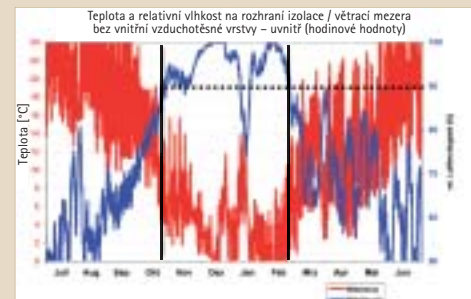


- dřevovlákná 35 mm
- difúzně propustná neprodyšná izolace ($s_d = 0,02$ m)
- vláknitá izolační hmota (minerální vata) 120 mm
- sádrokartonové desky

Je-li v konstrukci obsažen celoplošný vnitřní záklop ze sádrokartonových desek, považuje se tento ve výpočtu za neprodyšný. K průniku vlhkosti do konstrukce dochází výlučně difúzí.

Tato konstrukce vykazuje během 84 dní v roce velmi vysokou relativní vlhkost nad 90% - během 6 dní dochází dokonce k tvorbě kondenzátu. Tepelná izolace je tak na rozhraní vrstev k neprodyšné izolační pásovině zatížena více než 150 kg/m³ vlhkosti. V této konstrukci existuje i přes neprodyšné vnitřní opláštění zvýšená pravděpodobnost tvorby plísní na rozhraní vrstev tepelné izolace a neprodyšné pásovině.

8. + 9. Výsledek pro případ 1a: vnější neprodyšná izolace, prodyšný vnitřní záklop.

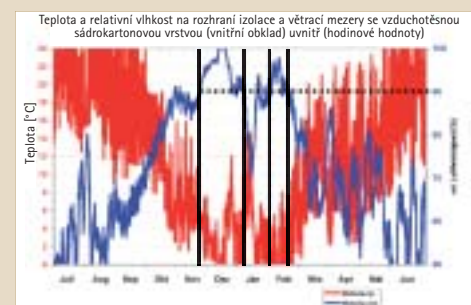


Vlhkost během 157 dní > 90 % relativní vlhkosti vzduchu, během 15 dní kondenzace => vysoká pravděpodobnost tvorby plísní

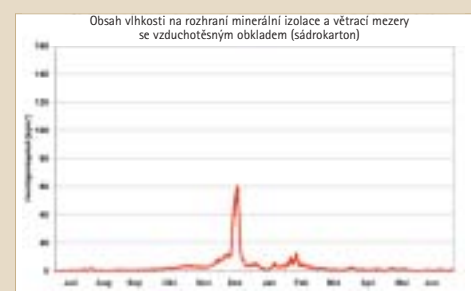


Maximální obsah vlhkosti na rozhraní vrstev během více měsíců zvýšený - přes 150 kg/m³

10. + 11. Výsledek pro případ 1b: vnější neprodyšná izolace, dokonalá vnitřní neprodyšná vrstva.



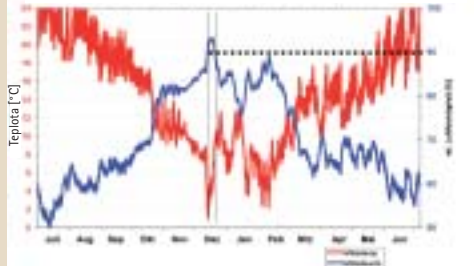
Vlhkost během 84 dní > 90%, během 6 dní kondenzace => vysoká pravděpodobnost tvorby plísní



Maximální obsah vlhkosti na rozhraní vrstev během více měsíců zvýšený - přes 150 kg/m³

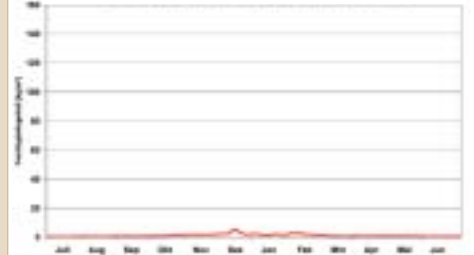
12. + 13. výsledek pro případ 2: neprodyšná vrstva instalovaná uprostřed, bez neprodyšné vrstvy uvnitř

Teplota a relativní vlhkost vzduchu na hranici izolační vrstvy / větrací mezery bez vnitřního obložení. 120 mm venkovní izolace / 120 mm mezikrokevní izolace.



Vlhkost během 7 dní > 90 % bez kondenzátu => menší pravděpodobnost tvorby plísní.

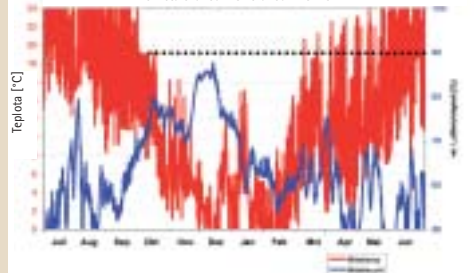
Obsah vlhkosti v hraniční vrstvě minerální izolace / větrací mezera bez instalované neprodyšné vrstvy uvnitř. 120 mm venkovní izolace / 120 mm mezikrokevní izolace.



Jen velmi malý obsah vlhkosti na rozhraní vrstev

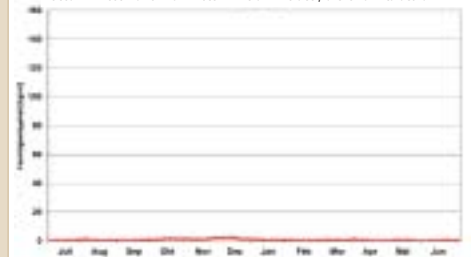
14. + 15. výsledek pro případ 3: neprodyšná vrstva uvnitř, bez neprodyšné vrstvy uvnitř

Teplota a relativní vlhkost vzduchu na rozhraní izolace / záklopová deska s instalovanou membránou DASATOP



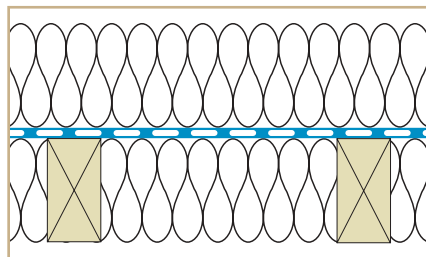
Bez vlhkosti > 90 % bez kondenzátu => plísně velmi nepravděpodobné.

Obsah vlhkosti na rozhraní vrstev minerální izolace / dřevotřísková deska.



Obsah vlhkosti na rozhraní vrstev v nekritických hodnotách

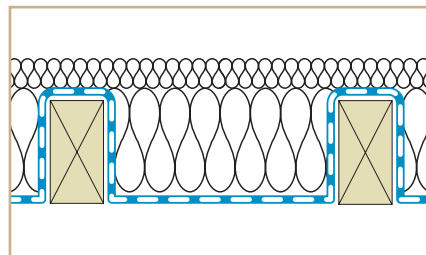
Konstrukce s neprodyšnou izolační vrstvou umístěnou uprostřed bez vnitřního záklopu



- dřevotřísková deska 120 mm
- difúzně propustná neprodyšná izolace
- ($s_{d,1} = 0,02$ m)
- vláknitá izolační hmota (minerální vata) 120 mm

Je-li umístěno 50 % tepelné izolace (celkového odporu tepelné propustnosti) před neprodyšnou izolační vrstvou, vyskytuje se relativní vlhkost vzduchu nad 90 % jen během jednoho týdne v zimním období nedochází k tvorbě kondenzátu. Má-li konstrukce neporušený vnitřní záklop, je relativní vlhkost vzduchu na rozhraní vrstev tepelné izolace – neprodyšná izolační pásovina celoročně pod 90 %, proto zde nemůže dojít k růstu plísní (3), i když vnitřní neprodyšná vrstva (vnitřní záklop) vykazuje netěsná místa.

Konstrukce s neprodyšnou izolační vrstvou uvnitř bez vnitřního záklopu (případ 3)



- dřevotřísková deska 35 mm
- neprodyšná izolace položená způsobem Sub-and-Top ($s_{d,1}$ = proměnná v závislosti na vlhkosti 0,05 – 2,0 m)
- vláknitá izolační hmota (minerální vata) 120 mm

Kladení sanační parobrzdě DASATOP způsobem Sub-and-Top vytvoří bezpečnou neprodyšnost a chrání tepelnou izolaci ve všech vrstvách díky proměnlivé hodnotě $s_{d,1}$ v závislosti na vlhkosti proti zvýšenému obsahu vlhkosti škodící

stavebnímu dílu. Neprodyšná izolační vrstva umístěná nad mezikrokevní tepelnou izolací v tomto případě není zapotřebí. Díky použití DASATOP se pohybuje vlhkostní úroveň bezprostředně pod deskami z měkkého dřevotřískového dřeva na neškodlivé úrovni. Vrchol vlhkosti ve výšce 85% je dosažen jen velmi krátce při teplotách kolem bodu mrazu. Za těchto okolních podmínek nemohou plísně ani vzniknout, ani se dále rozrůstat. Konstrukce s DASATOP nejsou při neprodyšném položení a slepení vystaveny žádnému nebezpečí tvorby plísní ve stavebním dílu. Poskytují nejvyšší bezpečnost tepelné izolačnímu materiálu a konstrukci.

Posuzování dle ČSN EN ISO 13788

V České republice je zavedena metodika výpočtu, která vychází z dostupných klimatických údajů v různých teplotních oblastech. Nejčastěji používaný software „Stavební Fyzika – Teplo“ od autora Zbyňka Svobody umožňuje zadání dvou různých hodnot $s_{d,1}$, zvláště pro letní i pro zimní období. Rovněž je možné zohlednit distribuci vlhkosti uvnitř konstrukce. Detailní výpočty dle EN 15026 jsou v podmínkách ČR obtížné, jelikož nejsou v dostatečném rozsahu dostupné detailní hodinové klimatické informace ze všech míst území ČR.

Závěr porovnání vnější neprodyšné vrstvy s vnitřní neprodyšnou vrstvou a parobrzdou.

Výpočty se nestacionárním simulačním postupem umožňují znázornění skutečných procesů v konstrukci. Dokáží znázornit rizika tvorby kondenzátu a umožňují závěry k potenciálu stavební bezškodnosti konstrukce. Pozorujeme-li konstrukce bez dostatečného tepelného zaizolování, ukazuje výsledek relativní vzdušnou vlhkost nad 90 % a vysokou tvorbu kondenzátu na rozhraní vrstev tepelné izolace a neprodyšné izolace. Následkem je u konstrukcí dle případu 1 zvýšená pravděpodobnost tvorby plísní v konstrukci.

Není-li konstrukce vybavena celoplošným vnitřním záklopem bez spár, může docházet k vysoké tvorbě kondenzátu uvnitř konstrukce. Vnitřní tepelně-izolační vrstvou v prostoru vnitřních

příček může například v případě netěsnosti ve štitovém zdivu proudit vzduch – během chladných ročních období se může tvořit velké množství kondenzátu. Pravděpodobnost tvorby plísní narůstá ještě více.

Stanovení hodnot s_d vysoce difúzně propustných materiálů může dle poznámek v DIN EN ISO 12572 podléhat vysoké chybě měření. Zvýšení difúzního odporu o 0,01 m (z 0,02 na 0,03 m) způsobí zvýšení maximálního obsahu vlhkosti na rozhraní vrstev tepelně-izolační materiál/neprodyšná izolační pásovina ve výpočtu případu 1 s vnitřním záklopem o více než 60 %. Vzroste-li hodnota na 0,04 m, zvýší se maximální obsah vlhkosti na dvojnásobek (120 %) výchozí hodnoty. Malé odchylky v difúzním odporu tudíž zvyšují enormně nebezpečí tvorby plísní.

Nainstaluje-li se neprodyšná izolační vrstva doprostřed tepelně izolační vrstvy, klesne relativní vlhkost vzduchu na rozhraní vrstev pod kritické hodnoty.

Nejbezpečnějším řešením je v porovnání konstrukce se střešní sanační parobrzdou položenou způsobem Sub-and-Top. Tepelná izolace je díky parobrzdě s hodnotou s_d až 2 m instalované na vnitřní straně konstrukce dostatečně chráněná před zvlhnutím z interiéru. Na žádném místě v rámci konstrukce se nevyskytují hodnoty kritické pro tvorbu plísní.

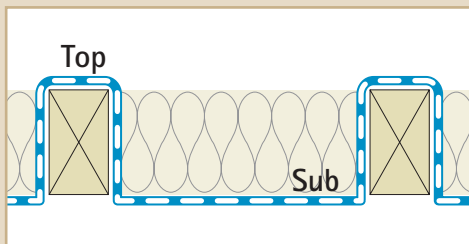
10. Bodů vedoucích k trvale bezpečné konstrukci

1. Za optimálně bezpečné se považují konstrukce, které dodržují pravidlo parobrzdné izolační vrstvy a neprodyšné izolační vrstvy 1/3 k 2/3.
2. Čím více je umístěná neprodyšná izolační vrstva směrem k interiéru, o to bezpečnější jsou konstrukce. Čím dále směrem k vnější straně se nachází neprodyšná izolační vrstva, tím problematičtější je konstrukce. Potenciál stavební bezškodnosti se pak snižuje.
3. Celoplošný bezspárový vnitřní záklop zamezuje při vně instalované neprodyšné izolační vrstvě průniku vlhkosti díky konvekci.
4. Řešení Sub-and-Top s parobrzdnými izolačními vrstvami s proměnnou hodnotou v závislosti na vlhkosti a neprodyšnými izolačními vrstvami snižují riziko stavebních škod, jelikož se nacházejí pod tepelnou izolací v teplém prostoru (teplejším než teplota rosného bodu). V prostoru tepelné izolace krokvi můžete počítat s difúzním odporem pásoviny pro použití bez záklopu.
5. Konstrukce lze dle nestacionární výpočtové metody považovat za bezpečné, když na za neprodyšnou vrstvou směrem do interiéru je umístěno 50% celkového tepelného odporu. Tím se zamezí nebezpečnému obsahu vlhkosti na rozhraní vrstev.
6. Výhodou je použití střešní izolační pásoviny pro použití bez záklopu s monolitickou membránou (SOLITEX) jako neprodyšné izolační vrstvy, která dokáže aktivně transportovat vlhkost podél řetězců molekul. Tím se snižuje nebezpečí tvorby ledu při nepředvídaném průniku vlhkosti.
7. Použití mezikroevní tepelné izolace z vláken absorbujících vlhkost je výhodou při instalaci dle bodu 5 a 6, jelikož se snižuje množství vlhkosti v konstrukci a zvyšuje se potenciál stavební bezškodnosti.
8. Vždy se doporučuje provést doprovodnou kontrolu kvality. Při sanaci zvenčí lze provést kontrolu neprodyšnosti přetlakovou zkouškou kombinovanou s umělou mlhou. Netěsnosti tak lze identifikovat a utěsnit.
9. Difúzní odpor difúzně propustných neprodyšných izolačních pásovin musí být velmi přesně dodržen a platit i u relativně vysoké vlhkosti.
10. Neprodyšná vrstva by se dle možností měla nalézat v nepromrzajícím prostoru.

B. Porovnání Sub-and-Top potenciálu stavební bezškodnosti u parobrd s různou hodnotou s_d

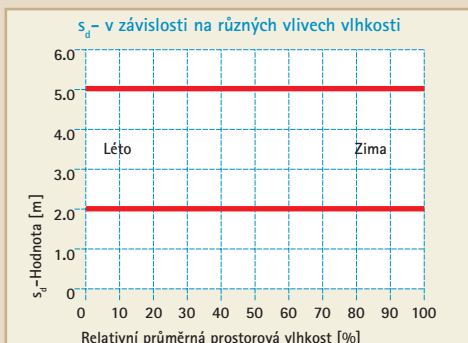
Sanace membránou s vlhkostně variabilními vlastnostmi kladenou systémem Sub-and-Top

16. Princip Sub-and-Top



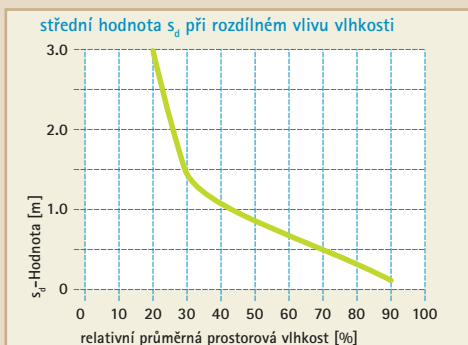
V prohlubni (Sub) difúzně nepropustnější: ochrana před vlhkostí. Na krokách (Top) vysoce difúzně propustné: rychlé vysychání směrem ven

17. Pásovina s hodnotou s_d 2 m a 5 m.



V suchém okolí: hodnota s_d 2 m resp. 5 m odpovídá parobrdě ve vlhkém okolí

18. DASATOP hodnota s_d 0,05 m až 2 m



V suchém okolí: hodnota s_d 2 m resp. 5 m odpovídá parobrdě ve vlhkém okolí hodnota s_d 0,05 m odpovídá pásovině pro použití se záklopem

V první části této studie bylo rozlišováno mezi sanačními systémy, které jsou vhodné pro sanaci střechy zvenčí. přitom byly porovnány difúzně propustné pásoviny se systémovými řešeními, která jsou zároveň difúzně brzdící.

V následném vypracování budeme pozorovat pouze řešení čistě způsobu Sub-and-Top, které jsou položeny jak pod, tak i nad nosnou konstrukcí.

Přitom se musí rozlišovat mezi dvěma základními variantami:

1. Systémy z parobrdných a neprodyšně izolujících pásovin s difúzním odporem proměnným v závislosti na vlhkosti

Tyto disponují proměnným difúzním odporem závislým na střední relativní vlhkosti okolí. U střešní sanační parobrdě DASATOP lze tuto hodnotu vykazovat v rozmezí mezi 0,05 a 2 m (viz obr. 18), dle toho, jaká relativní vlhkost vzduchu se vyskytuje v bezprostřední blízkosti pásoviny. Informace k přesnějšímu způsobu fungování proměnlivosti v závislosti na vlhkosti obsahuje studie „Výpočet potenciálu stavební bezškodnosti tepelně izolačních konstrukcí v dřevo- a ocelostavbách“ (10)

2. Systémy z parobrdných a neprodyšně izolujících pásovin s konstantním (neproměnným) difúzním odporem

U tohoto konceptu použití pásovin se nepoužívají žádné funkční filmy, který vykazují proměnlivost difúzního odporu při různé vlhkosti vzduchu. Příklad je znázorněn na difúzním odporu dvou pásovin s hodnotou s_d 2 a 5 m ve vyobrazení 17.

Porovnání rezerv zpětného vysychání

Je-li pásovina kladena způsobem Sub-and-Top, je jasné, že musí nad nosnou konstrukcí vykazovat pokud možno co nejnižší difúzní odpor. Hodnoty pod 0,1 m jsou ideální, aby umožňovala vyschnutí co největšího množství vlhkosti z kroků. Parobrdy s proměnou hodnotou v závislosti na vlhkosti urč-

né pro mezikrokevní izolaci dosahují ve vlhkém prostředí hodnoty s_d kolem 0,25 m, poskytují tudíž menší potenciál stavební bezškodnosti než DASATOP.

Znázorníme-li difúzní proudění skrz materiál dle DIN 4108-3 (2) ve stacionárním stavu prostřednictvím výpočtu hustoty difúzního proudění vodních par g ($\text{kg/m}^2 \times \text{h}$), bude zřetelná výkonnost různě nepropustných pásovin.

Hustota difúzního proudění vodních par se zjistí rozdílem dílčího mostu vodních par p_i (uvnitř) (Pa) a p_a (venku) (Pa) děleno odporem prostupu vodních par Z ($\text{m}^2 \times \text{h} \times \text{Pa/kg}$). Násobením 24 dostaneme prostupnost vodních par (WDD) ($\text{g/m}^2 \times 24 \text{ h}$).

Jako příklad vypočítáme difúzní proudění při dosažení rosného bodu kombinované se zimními venkovními teplotami. Jako p_i dosadíme hodnotu 1.163 Pa (9,2 °C / 100 % relativní vlhkost vzduchu (teplota rosného bodu při normálním klimatu)) a jako p_a dosadíme hodnotu 208 Pa (-10 °C / 80 % relativní vlhkost vzduchu).

Hodnoty W_{DD} pro různé hodnoty s_d

hodnota s_d (m)	W_{DD} ($\text{g/m}^2 \times 24 \text{ h}$)
0,05	~ 320
0,10	~ 160
0,50	~ 32
2,0	~ 8
5,0	~ 3
50,0	~ 0,3

Možná prostupnost vodních par se výrazně sníží již při nepatrném zvýšení hodnoty s_d . To má vliv na bezpečnost konstrukce.

Toto pozorování nelze bezprostředně přenést na nestacionární výpočty, jelikož se p_i a p_a díky reálnému klimatu použitému ve výpočtu v závislosti na poloze konstrukce neustále mění. Pro situaci vysychání jsou například hodnoty na obou stranách pásoviny díky velmi malému rozdílu tlaku menší.

Výpočet potenciálu stavební bezškodnosti konstrukcí

Pro výpočet konstrukcí s pásovinou položenou způsobem Sub-and-Top je rozhodující věnovat se výkonu vysychání nosné konstrukce (zde krokvi). V případě, že pásovina nepřiléhá těsně na krokve, může během chladného ročního období docházet nad krokvemi k tvorbě kondenzátu. Tento kondenzát musí mít možnost vyschnout skrz materiál pásovinu z konstrukce ven. Za tímto účelem je nutné pozorovat proudění tepla a vlhkosti dvojdimenzionálně. K proudění tepla a vlhka nedochází pouze výlučně zevnitř ven. K difúznímu proudění může docházet i v rámci konstrukce z boku krokve skrz vhodný parobrzdný a neprodyšný materiál pásovinu do tepelně-izolační vrstvy.

Aby bylo možné výkon vysychání znázornit, přidá se prostřednictvím vlhkosti dřeva do krokví další množství vlhkosti. Toto množství zohledníme ve výpočtu obsahem vlhkosti v materiálu 80 % (= 2.300 g vody na jeden běžný metr krokví) a simulujeme vznik vlhkosti mezi parobrzdnou/neprodyšnou pásovinou a krokví. Z vypočítaného vyschlého množství vlhkosti lze poté vypočítat potenciál stavební bezškodnosti v (g) H₂O/m) krokví za rok. V normálním případě mají krokve obsah vlhkosti ca. 300g na běžný metr.

Potenciál stavební bezškodnosti popisuje:

- jak tolerantní je konstrukce při nepředvídané vlhkostní zátěži
- kolik vody může vniknout (nepředvídaně) do konstrukce a konstrukce zůstane přesto bez stavebních škod.

Zkoumané konstrukce

1. Šikmá střecha s 40° sklonu střechy severním směrem, střešní krytina ze šedých tašek
2. Výška krokví 12 cm s úplnou krokevní izolací z minerální vaty (hustota = 60 kg/m³)

Stanovení klimatu interiéru se provede s normální vlhkostní zátěží.

Případ 1: Difúzně propustná spodní konstrukce střechy

Spodní konstrukce střechy má ve výpočtu hodnotu s_d 0,1 m.

Případ: Spodní konstrukce střechy z 60 mm desky z měkkých dřevitých vláken

Tento materiál se používá k zabránění tvorby tepelných mostů jako doplňková tepelná izolace krokví (hodnota s_d 0,3 m).

Případ 3: Spodní konstrukce střechy z 35 mm polyuretanu

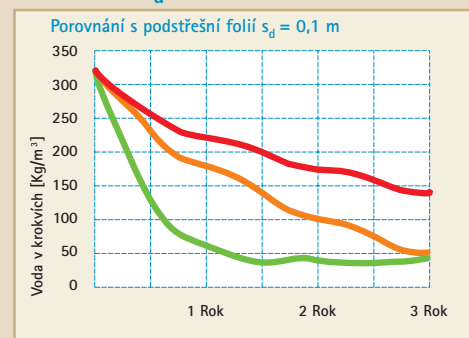
Izolace krokví jak v případě 2 avšak s hodnotou s_d 3,5 m.

Každý z těchto 3 případů posuzujeme s různými parobrzdnými kladenými způsobem Sub-and-Top:

- parobrzda DASATOT s hodnotou s_d proměnou v závislosti na vlhkosti 0,05 až po více než 2 m.
- parobrzda s konstantní hodnotou s_d 2 m
- parobrzda s konstantní hodnotou s_d 5 m

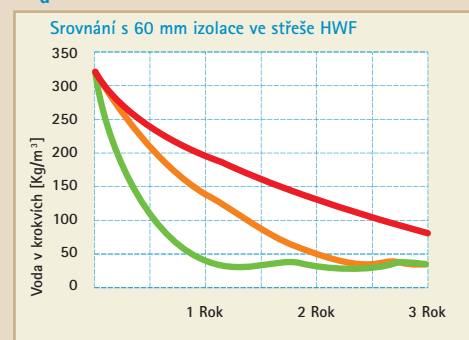
Výpočet potenciálu bezškodnosti stavby lokality Holzkirchen, střecha

19. Výsledek pro difúzně propustné spodní konstrukce střechy ($s_d = 0,1$ m)



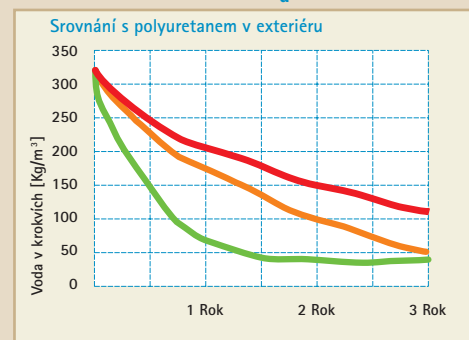
potenciál bezškodnosti stavby: — DASATOP 2. 100 g/m
— s_d 2 m; 1.200 g/m — s_d 5 m; 900 g/m

20. Výsledek pro 60 mm desku z měkkých dřevitých vláken vně ($s_d = 0,3$ m)



Potenciál bezškodnosti stavby: — DASATOP 2.100 g/m
— s_d 2 m; 1.200 g/m — s_d 5 m; 900 g/m

21. Výsledek pro 35 mm polyuretan vně ($s_d = 3,5$ m)



potenciál bezškodnosti stavby: — DASATOP 1.800 g/m
— s_d 2 m; 1.000 g/m — s_d 5 m; 800 g/m

Bezpečnostní vzorec pro clima

Čím vyšší je bezpečnostní rezerva konstrukce, to znamená potenciál stavební bezškodnosti, tím lépe je konstrukce chráněna při nepředvídaném vlhkostním zatížení před plísněmi.

Diskuze o výsledcích

Zkoumá se výkon vysychání zvýšeného obsahu vlhkosti obsažené v krokvech. Tento se zobrazuje v porovnání s různými parobrzdami pro každý z případů po dobu tří let.

U všech konstrukcí je rozpoznatelné, že varianty s DASATOP s proměnou hodnotou v závislosti na vlhkosti umožňují nejrychlejšímu vyschnutí vlhkosti z materiálu.

Nekritické obsahy vlhkosti v krokvech jsou pak dosaženy při hodnotách nižších, než je bod nasycenosti vláken dřeva. Použijeme-li pro porovnání rychlosti vysychání, schne krokv v konstrukci s DASATOP zhruba třikrát rychleji než v konstrukci s parobrzdou s konstantní hodnotou s_d 2 m. V porovnání s parobrzdou s konstantní hodnotou s_d 5 m umožňuje DASATO pětikrát rychlejší vysychání konstrukcí s vrchní izolací střechy. U konstrukcí s výlučně difúzně propustnými pásovinami pro použití se záklopem poskytuje DASATOP dokonce osmkrát rychlejší vysychání, než konstrukce s parobrzdou s hodnotou s_d 5 m.

Závěr porovnání parobrzdných a neprodyšně izolačních systémů instalovaných způsobem Sub-and-Top

Instalace parobrzdných pásovin s proměnným difúzním odporem v závislosti na vlhkosti a neprodyšně izolačních pásovin je ze stavebně fyzikálního hlediska nejlepším řešením pro bezpečnost konstrukce a poskytuje při nepředvídaném vlhkostním zatížení největší potenciál bezškodnosti stavby.

Při použití DASATOP na krokvech se dosáhne nekritických hodnot vlhkosti dřeva cca. třikrát, respektive pětikrát (z části dokonce osmkrát) rychleji, než v porovnání s pásovinami s hodnotou s_d 2 m resp. 5 m.

Při instalaci způsobem Sub-and-Top přebírá pásovina pod tepelnou izolaci funkci parobrzdy, při kladení přes krokv (Top) je její funkce jako pásovina pro použití do konstrukce se záklopem výhodou, tak že vlhkost může pokud možno bez překážek vysychat. Pak může

u pásovin, která nedoléhá perfektně na krokv vysychat obsah vlhkosti bokem krokv. Parobrzdy s proměnnou hodnotou závislou na vlhkosti použité při mezikrokvě tepelné izolaci dosahují hodnoty s_d ca. 0,25 m. Poskytují tudíž menší potenciál stavební bezškodnosti než DASATOP.

Difúzní odpor řízený vlhkostí poskytuje bezpečné kladení pásovin ve všech detailech, např. na výměnách, úžlabích a hřebenech, respektive členěných konstrukcích. Difúzní odpor se může na každém místě pásovin přizpůsobit okolnímu klimatu v rozmezí hodnot s_d 0,05 až 2 m. Pásovinu lze klást jak podélně, tak příčně. Výhodou se ukázalo použití difúzně propustných pásovin vně, respektive umístění difúzně propustné svrchní tepelné izolace z vláknitých izolačních materiálů. Difúzi omezující pěnové tepelné izolační materiály lze použít – mají však za následek malé rezervy ve zpětném vysychání a tím i menší bezpečnost pro stavební díl.

Použijeme-li pro instalaci způsobem Sub-and-Top pásovinu s konstantní hodnotou s_d , sníží se výrazně potenciál stavební bezškodnosti. V zimě chrání pásovina v prostoru Sub tepelnou izolaci stejně jako pásovina s proměnnou hodnotou závislou na vlhkosti před proniknutím vlhkosti. V létě však neposkytuje žádné další možnosti vysychání vlhkosti z konstrukce. Vysráží-li se na vrchní straně krokv kondenzát, má možnost jen velmi pomalého vysychání: drasticky se zvětšuje nebezpečí stavební škody.

Tepelně izolační konstrukce mají mít zásadně pokud možno vysoké bezpečnostní rezervy. Tím je v případě neočekávaného vlhkostního zatížení dána dodatečná ochrana před stavebními škodami a plísněmi. Tím je též zhotovitel optimálně chráněn před škodou a nároky z odpovědnosti za dílo. Kladení způsobem Sub-and-Top parobrzdných pásovin s proměnnou hodnotou závislou na vlhkosti a neprodyšně izolujících pásovin s pokud možno nízkou hodnotou s_d , poskytuje při sanaci střechy zvenčí a vysoké relativní vlhkosti vzduchu nejlepší ochranu ze stavebně fyzikálního hlediska.

Cíl stavění

Cílem stavění nejsou jen energeticky efektivní objekty a vysoký klimatický komfort bydlení, nýbrž zejména objekty se zdravým klimatem pro bydlení. Zde hrají roli nejen toxikologické aspekty, například z emisí ze stavebních hmot (viz. www.sentinel-haus.eu), nýbrž zejména bezplísňovost na povrchu a uvnitř konstrukce. Spóry plísní škodí imunitnímu systému a podporují/vedou k alergiím; exkrementy plísní (MVOC) mohou vést k fyzické a psychické zátěži. Nacházejí-li se plísně v suchém klimatu, ztrácejí mnoho ze své nebezpečnosti. Zvlhnou-li plísně naopak, reaktivuje se opět jejich nebezpečnost.

Nacházejí-li se plísně na povrchu stavebních dílů směrem do interiéru

(například díky tepelným mostům nebo povrchové kondenzace), jsou viditelné, mohou být rozpoznány a v případě potřeby odstraněny. Nacházejí-li se ale zdroje plísní uvnitř konstrukce, zůstanou nerozpoznány. V ročním odstupu jsou pak vlhkostí reaktivovány – zdraví obyvatel je neustále ohrožováno.

Cílem stavění by nemělo být využít stavebně fyzikální možnosti až do posledního, nýbrž právě v ohledu na plísně vygenerovat co možná největší bezpečnostní potenciál.

8 Bodů vedoucích k trvale bezpečné konstrukci a zpracování

1. Optimálně bezpečnými jsou konstrukce s parobrzdami s proměnlivou hodnotou v závislosti na vlhkosti a s neprodyšně izolujícími pásovinami s obzvláště nízkým difúzním odporem ve vlhkém prostředí $< 0,10$ m.
2. Pásoviny pro instalaci způsobem Sub-and-Top s obzvláště nízkým difúzním odporem při kondenzaci vlhkosti mohou v prostoru nad krokvemi ležet v promrzající oblasti. Nebezpečí tvorby ledu je díky vysokým možnostem vysychání a difúzní charakteristice konstrukce prakticky vyloučeno.
3. Nekritické vlhkosti krokví se dosáhne při použití DASATOP třikrát, respektive pětkrát (z části osmkrát) rychleji. Zvýšená ochrana proti plísním je přitom zaručena.
4. Tepelná izolace je v prostoru prohlubně před vlhkostí z provozu v interiéru chráněna hodnotami $s_{p,0}$ až 2 m. Nemůže tak dojít ke škodlivé tvorbě kondenzátu.
5. Konstrukce vně difúzně propustné mají větší rezervy zpětného vysychání než konstrukce s vrstvami stavebního dílu brzdícími difúzi (např. pěnové tepelně izolační hmoty).
6. Vždy se doporučuje provést doprovodnou kontrolu kvality. Při sanaci zvenčí lze provést kontrolu neprodyšnosti přetlakovou zkouškou kombinovanou s umělou mlhou. Netěsnosti tak lze identifikovat a utěsnit.
7. Upevnění pásoviny při kladení způsobem Sub-and-Top by mělo být prováděno mechanicky pomocí tenkých lišt. Navíc je možné provést slepení neprodyšně izolujícím napojovacím lepidlem. Lepicí pásy nedrží na prašných podkladech starých krokví.
8. Z důvodů prevence nehod a komfortu kladení upřednostňujte pásoviny tmavé barvy před světlými, zejména bílými pásovinami, které oslňují.

CLIMATIZER PLUS PRO VÁŠ DŮM

TEPELNÁ A AKUSTICKÁ IZOLACE



Možné úspory: Váš reálný příspěvek k omezení emisí skleníkových plynů.



Nezateplený
100%
Spotřeba energií ročně



Zateplená střecha
nebo strop
65%
Spotřeba energií ročně



Zateplený celý
45%
Spotřeba energií ročně

Systém řízení jakosti procesu výroby ISO 9001

Fyzikální vlastnosti

Součinitel tepelné vodivosti 0,039 - 0,043 W/m.K
Použití v tepelném rozsahu.....od -50 °C do +105 °C
Tepelný odpor při tloušťce vrstvy 20 cm
(orientačně).....R=5m² K/W
Tloušťka pro U = 0,2W/m²K
(max.součinitel prostupu tepla).....cca 20 cm
Objemová hmotnost po aplikaci.....28 - 65 kg/m³
Vlhkost (při expedici).....cca 8%

Reakce na oheň v suchém stavu
(dle ČSN EN 13501-1).....C-s2,d0
Hořlavost dle zpracování
(klasifikace dle ČSN 730862).....C1 - B
Šíření plamene..... 0 mm/min
Měrná tepelná kapacita
- (suchý stav).....Cd=1907 J/kg.K
Korozivní účinkyNa kovy nepůsobí korozivně

Schválení hygienika ČR z 02/1992, 04/1993 a 04/2001.
Ekologicky šetrný výrobek č. 01 - 01
(známka propůjčena v roce 1994).
Evropská technická atestace ETA-06/0086

Technologické parametry

Ukládání tepelné izolace..... pneumaticky - strojem
Balení.....v polyetylenových pytlích
Hmotnost naplněného pytle..... 13,6 kg - 15 kg



CLIMATIZER PLUS – tepelně izolační materiál vyráběný na bázi celulózových vláken obohacených boritými solemi, které odpuzují hlodavce a hmyz. Jedná se o materiál se zvýšenou odolností proti ohni, houbám a plísním použitelný do 105 °C. Nezpůsobuje korozi kovů. CLIMATIZER Plus je zejména vhodný k tepelné a akustické izolaci:

- stropních konstrukcí
- šikmých střech
- podlah
- stěn

rodinných domů, chat, skladových, továren a jiných objektů.

- 1 střešní krytina
- 2 laťování
- 3 křížové laťování
- 4 kontaktní difúzní folie
- 5 interiérový pohled
- 6 CLIMATIZER PLUS
- 7 parotěsná zábrana nebo parobrzdá
- 8 interiérový obklad stěny (sádkokarton...)



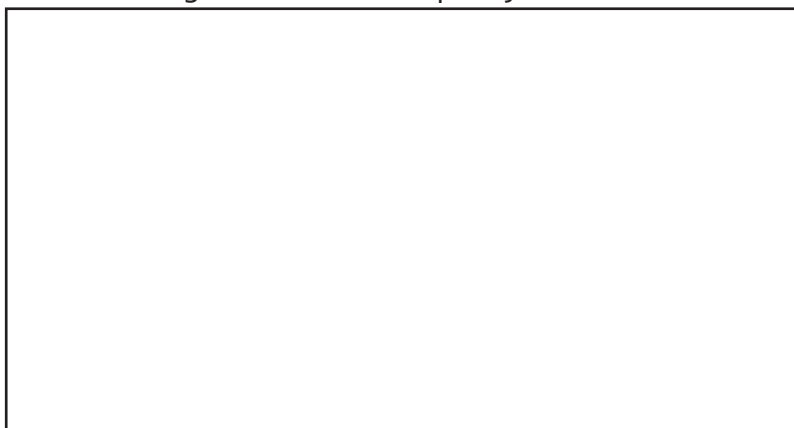
Vyrábí a dodává:

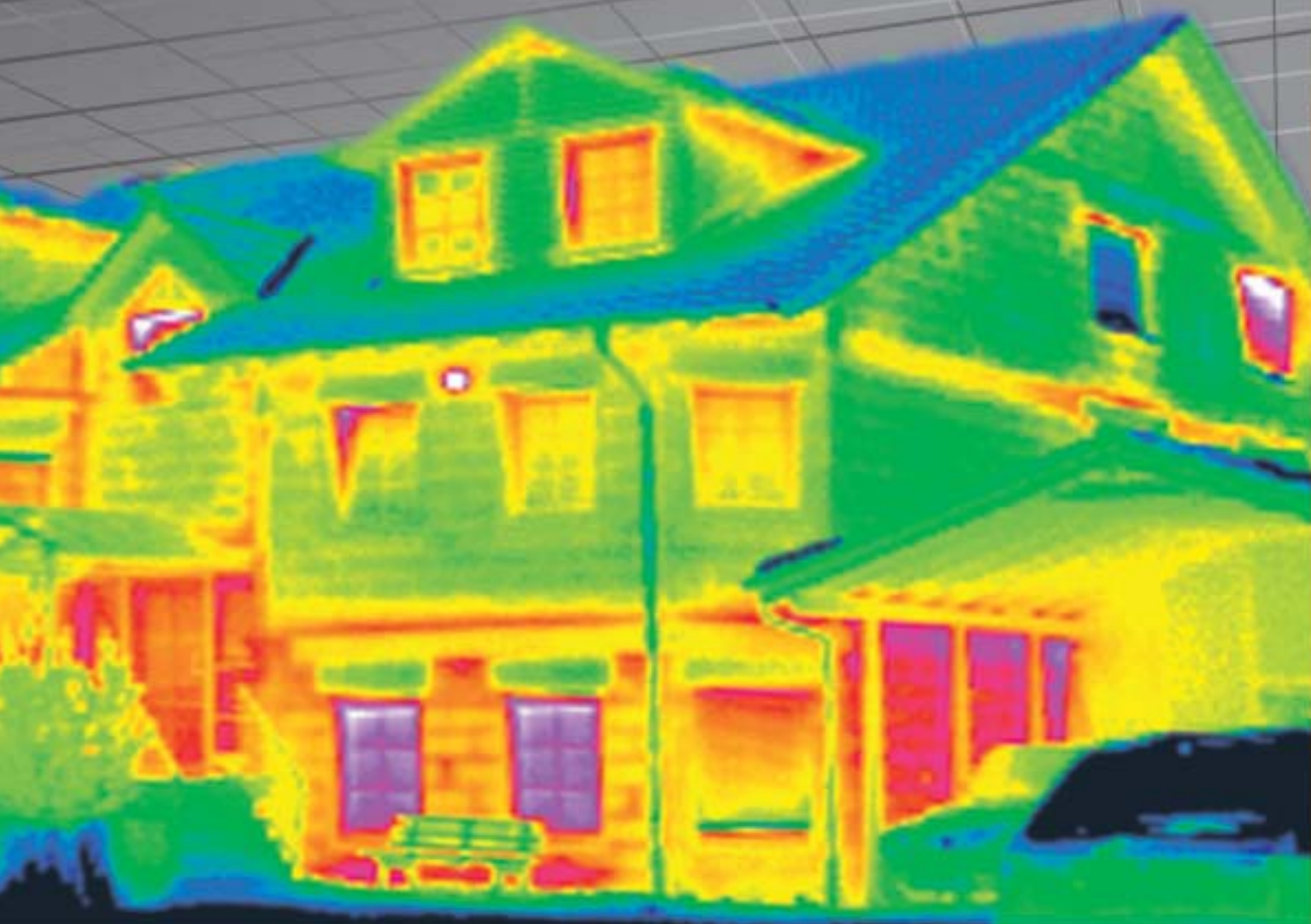
CIUR a.s., Pražská 1012
250 01 Brandýs nad Labem
Tel.: (00420) 326 901 444, 326 901 411
Fax: (00420) 326 901 456
E-mail: info@ciur.cz
www.ciur.cz

Zastoupení pro Slovensko:

VUNO HREUS
Kragujevská 393/17, 010 01 ŽILINA,
SLOVENSKO
Tel./fax: 00421 (0) 41/5626 799, 564 0519,
0905 649 422
E-mail: vuno@vuno.sk
www.climatizer.com

Ve Vašem regionu dodává a aplikuje:





CIUR a.s.

Pražská 1012
250 01 Brandýs nad Labem
Tel: +420 326 901 411,
Fax: +420 326 901 456,
GSM brána: +420 737 250 055
E-mail: info@ciur.cz
www.ciur.cz

**Zastoupení pro Slovensko:
VUNO HREUS, s.r.o.**

Kragujevská 393/17
010 01 Žilina
tel./fax: +421 41 5626799; 5640519
e-mail: vuno@vuno.sk
www.climatizer.com