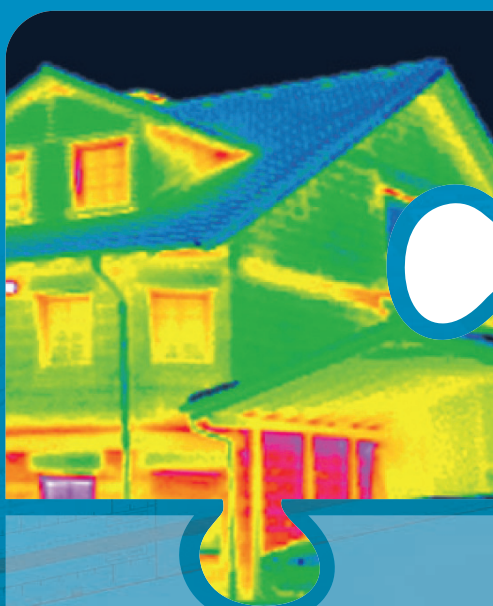


STAVEBNÍ FYZIKA INTELIGENTNÍ MATERIÁLY A MEMBRÁNY



Stavební fyzika

Ideální skladba 6

Vadná neprodyšná izolace a její následky 7

Cesty vlhkosti 10

Studie potenciálu bezškodnosti staveb 12

Sanační studie 34



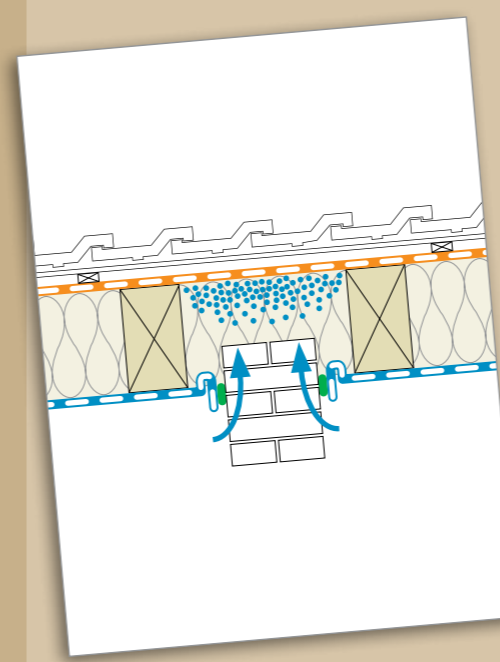
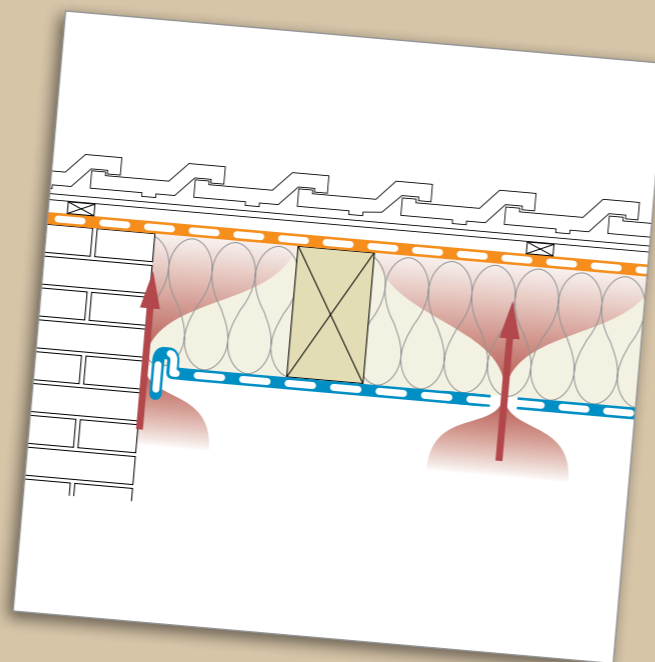
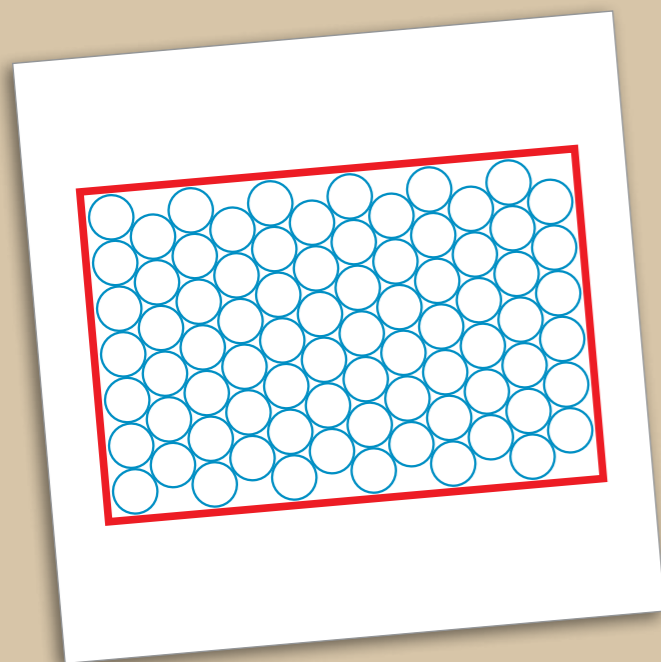
Ideální skladba

Vadná neprodyšná izolace a její následky

Cesty vlhkosti

Studie k výpočtu potenciálu bezškodnosti staveb

Sanační studie



6

7

10

12

34

Stavební fyzika

... s příslušnými technickými informacemi o stavební fyzice a vzduchotěsnosti – žádný problém

Ideální skladba

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

Vadná neprodyšná izolace a její následky

Již malé netěsnosti v parobrzdě, které vznikají např. díky špatným 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.

Cesty vlhkosti

Tepelně izolační konstrukce musí být chráněny před vlhkostní zátěží a kondenzací vody z teplého interiérového vzduchu. Tuto úlohu plní parobrzdné a neprodyšné pásoviny tím, že snižují průnik vlhkosti.

Inteligentní parobrzdy s proměnným difúzním odporem poskytují navíc v létě vysoký potenciál zpětného vysychání. Toto je důležité zejména při nepředvídaném vlhkostním zatížení konstrukce, neboť vlhkost může do konstrukce proniknout nejrůznějšími způsoby.

Studie k výpočtu potenciálu bezškodnosti staveb

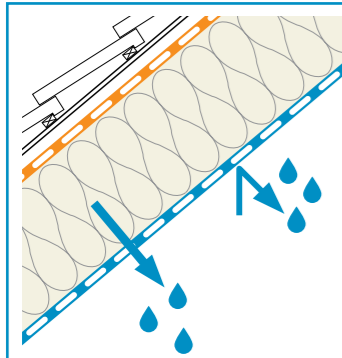
Studie k výpočtu potenciálu bezškodnosti staveb tepelně izolačních konstrukcí v dřevostavbách a ocelových stavbách ukazuje jak bezpečné jsou konstrukce s inteligentní pásovinou při nepředvídaném zvlhnutí. Počítačové simulace transportu tepla a vlhkosti při zohlednění reálných klimatických podmínek ukazují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

Sanační studie

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 bezpečnostní opatření pro sanovaný stavební díl.

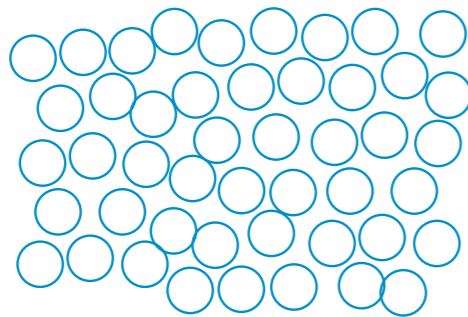
Cílem sanační studie je prozkoumat, vyhodnotit jednotlivé varianty a dát doporučení pro bezpečné konstrukce, které disponují pokud možno velkým potenciálem bezškodnosti staveb.

Ideální skladba



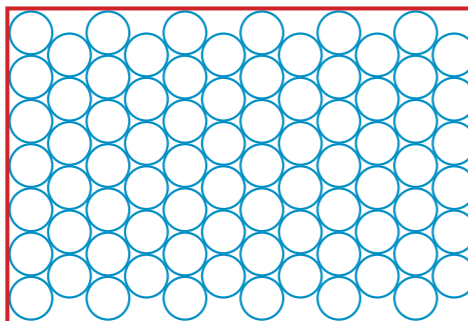
Účinnost všech tepelných izolací je založena na vzduchových komůrkách v izolačním materiálu (celulózové vločky, korek, minerální vlákna nebo jiné materiály). Předpokladem izolačního účinku těchto komůrek je jejich ochrana před pohybu vzduchu. Proto je v ideální izolační konstrukci izolační materiál ze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

Izolace statickým vzduchem



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

Chráněný izolační materiál

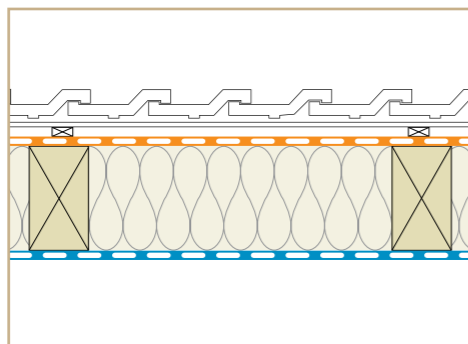


Chráněný izolační materiál: ve struktuře pórů není možný pohyb vzduchu, plný izolační účinek.

Příklad:

I tepelně izolační účinek svetrů 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 svetrů.

Uvnitř neprodyšné, zvenku větrotěsné



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.

Větrotěsnicí 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 zkondenzovanou vodou a plísní.

Upozornění:

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

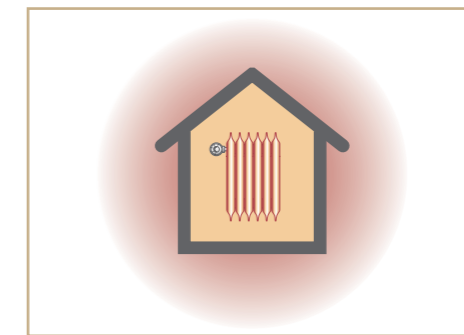
Vadná neprodyšná izolace a její následky

Ekonomie + ekologie / tepelné ztráty, oteplování klimatu

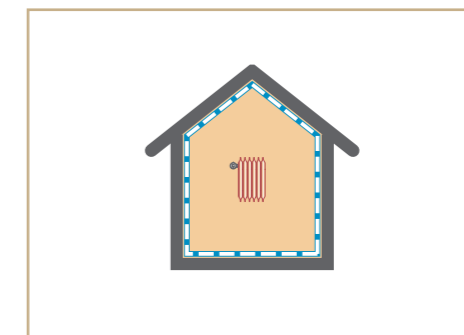
Již sebemenší netěsnosti v parobrzdné izolační vrstvě, ať již vadnými lepenými spoji přesahů pásoviny, nebo napojeními na konstrukce, mají dalekosáhlé následky. Takováto vadná místa mají stejný účinek, jako například spára mezi okenním rámem a zdívkou. Takovouto spáru by nikdo nebyl ochoten tolerovat. 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 CO₂, než by docházelo při vytápění neprodyšně zaizolovaného objektu. Dle studie Institutu stavební fyziky ve Stuttgartu se hodnota U tepelně izolační konstrukce zhoršuje o faktor 4,8. Přeneseno do reality to znamená, že dům o obytné ploše 80 m², u něhož existují netěsnosti v neprodyšné izolační vrstvě, potřebuje k vytápění tak velké množství energie, jako neprodyšně zaizolovaný dům o obytné ploše 400 m². Nekontrolované emise CO₂ podporují vznik skleníkového efektu, což se projevuje například rostoucím množstvím přírodních katastrof. Proto by snížení emise CO₂ mělo být naším cílem a to nejen zřeknutím se nevhodných technologií, ale i aplikací inteligentních řešení, kterým pomáháme životnímu prostředí.

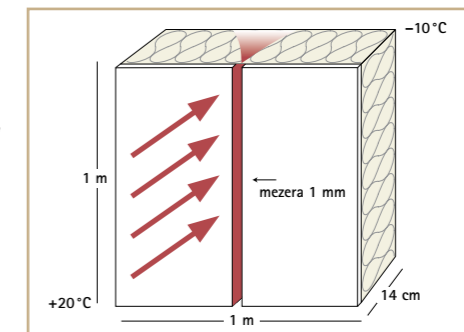
Domy ve střední Evropě spotřebují dle studie z roku 2000 v průměru 22 litrů topného oleje na 1 m² (220 kWh/m²) obytné plochy na vytápění, pasivní dům spotřebuje jen 1 litr, třílitrový dům – jak již jeho jméno napovídá, spotřebuje 3 litry na 1 m² – vše za předpokladu perfektní neprodyšnosti. Spáry v neprodyšné izolační vrstvě objektů vedou k zmnohónásobení spotřeby energie na každý m² obytné plochy.



Netěsný plášť budovy: vysoké náklady na vytápění a vysoké emise CO₂



Těsný plášť budovy: nízké náklady a ochrana životního prostředí

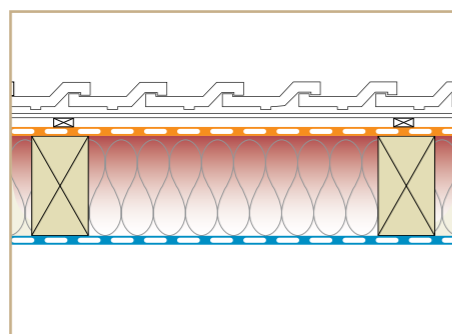


Pouze tepelně-izolační konstrukce beze spár má plný izolační účinek

Nepříjemné klima v interiéru v létě

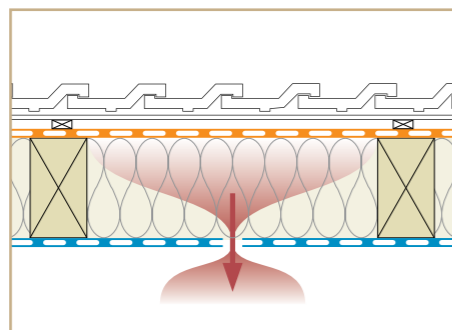
Letní tepelná ochrana je charakterizována dobou v hodinách, během které pronikne teplo z prostoru pod střešní krytinou až na vnitřní stranu konstrukce (fázový posuv) a s tím spojený nárůst teploty interiéru ve stupních Celsia (°C) v porovnání s venkovní teplotou (amplitudový útlum).

Chladné místnosti při letním horku



Pro letní ochranu před horkem se vypočítává fázový posun a amplitudový útlum. Předpokladem pro to je neprodyšná tepelně izolační konstrukce, kterou se teplo musí postupně propracovávat do interiéru.

Rychlé ohřátí prouděním vzduchu

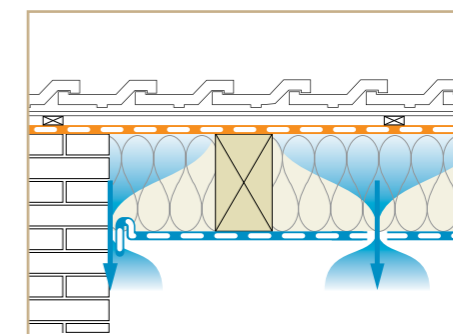


Spáry v neprodyšné izolační vrstvě vedou k tomu, že na základě rozdílu teploty a tlaku dochází k proudění vzduchu zvenčí dovnitř a tím dochází k vysoké výměně vzduchu. Tepelná izolace pak nemůže přispět k letní ochraně před teplem a vzniká nepříjemné a teplé interiérové klima.

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.

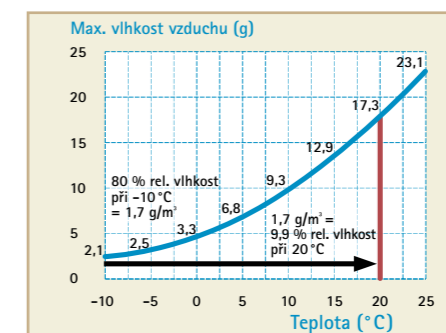
Často pozorovaný fenomén suchého vzduchu v interiéru během zimních měsíců vzniká tím, že chladný vzduch zvenku vniká spárami do domu. Ohřeje-li se chladný vzduch vytápěním, snižuje se objem jeho relativní vlhkosti. Proto jsou v zimě domy se špatnou neprodyšností více náchylné k suchému vzduchu v interiéru,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



Suchý chladný vzduch proniká spárami

Příklad:

10°C chladný vzduch může při 80% relativní vlhkosti vzduch 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

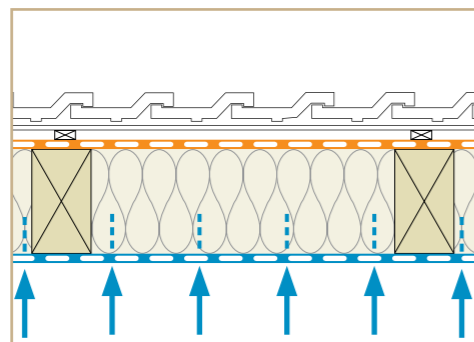
Cesty vlhkosti

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

Difúze probíhá dle plánu

Upozornění:

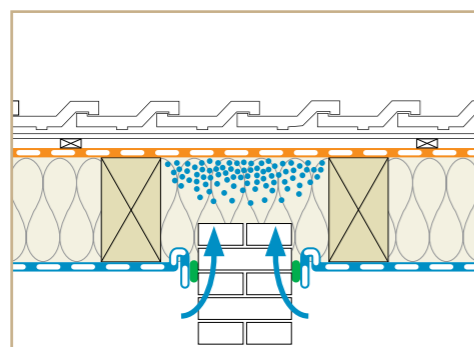
Parobrzda s hodnotou s_d 2,3 m umožní dle DIN 4108-3 denně proniknout do konstrukce cca 5g vlhkosti na čtvereční metr.



Difúze

K difúzi dochází díky rozdílu tlaku mezi interiérem a exteriérem. Přitom nedochází k této výměně přes spáry, nýbrž monolitickou, neprodyšnou vrstvu materiálu. Difúze směřuje v zimě zpravidla zevnitř ven a v létě zvenku 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.

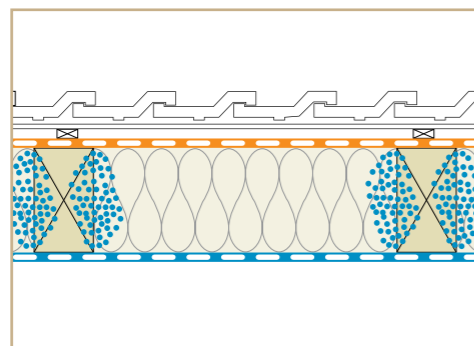
Nepředvídané: transport vlhkosti do konstrukce z boku.



Boční difúze

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

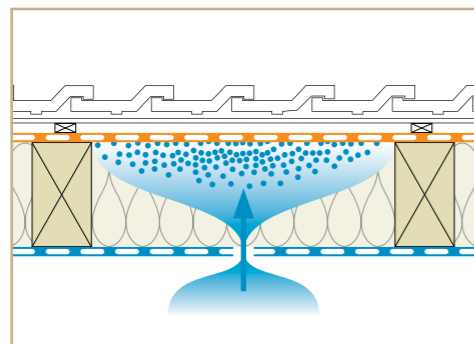
Nepředvídané: vlhkost ze stavebních hmot.



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 krokvi 6/22, $e=70$ cm a váze dřeva 500 kg na metr krychlový, případně na jeden běžný metr krokve cca 10 kg dřeva. Při vysychání dřeva o pouze 1% se při tom uvolní 100 g vody na metr krychlový, u 10% je to 1000g, u 20% 2000g vody, které vysychají z konstrukce a mohou se dostat do jiných částí konstrukce.

Nepředvídané: proudění vzduchu (konvekce).



Konvekce

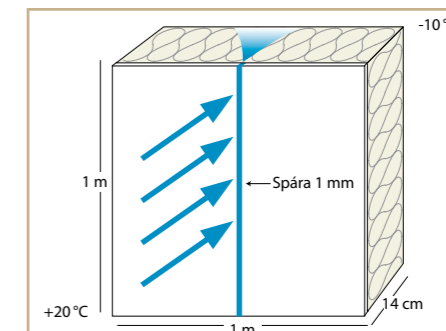
Pohybuje-li se vzduch formou proudění, hovoříme o konvekci. K této může docházet v tepelně-izolační konstrukci, když jsou v parobrzdě spáry. Mezi klimatem interiéru a exteriéru existuje tlakový spád podmíněný teplotním rozdílem, který se vyrovnává prouděním vzduchu. Konvekci je možné v jednom jediném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

Příklad:

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

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

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



800 g kondenzátu spárou o šířce 1 mm

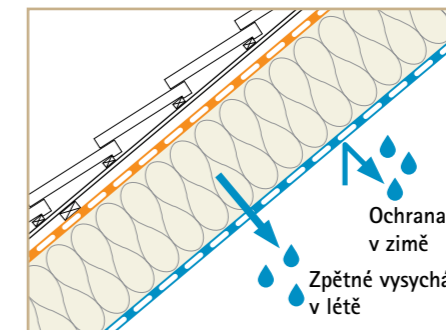


Plísně vzniklé zkondenzováním vody

- 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.

Nelepší bezpečnost

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



Nelepší prostředek: inteligentní pásovina

STUDIE

Výpočet potenciálu stavební bezškodnosti tepelných izolací v dřevěných a ocelových konstrukcích.

Parobrzdy s vlhkostně proměnlivým difúzním odporem pro clima DB+ a INTELLO s inteligentním managementem vlhkosti.

- střecha, stěna, strop -
NĚMECKO

Počítačové simulované výpočty za současného transportu tepla a vlhkosti konstrukcí stěn a střech při zohlednění přirozených klimatických podmínek a transportu kapalin ve vnitřních stavebních materiálech.

www.pro-clima.cz



CIUR a.s.
Pražská 1012
250 01 Brandýs nad Labem
Česká republika
Tel: +420 326 901 411
Fax: +420 326 901 456
E-mail: info@ciur.cz



**Literatura –
zdroje s původními názvy**

[1] Konsenspapier des 2. Internationalen Holz[Bau]Physik-Kongresses: 10./11.02.2011 Leipzig, http://holzbauphysik-kongress.eu/mediapool/69/694318/data/Konsens_Flach-daecher_2011_03_END.pdf

[2] Ten Wolde, A. et al.: "Air pressures in wood frame walls, proceedings thermal VII." Ashrae Publication Atlanta, 1999

[3] IBP Mitteilungen 355: »Dampfdiffusionsberechnung nach Glaser – quo vadis?«

[4] Deutsche Bauzeitung; Heft 12/89 Seite 1639 ff.

[5] DAB 1995; Seite 1479; Heft 8

[6] Klopfer, Heinz; Bauschäden-Sammlung, Band 11, Günter Zimmermann (Hrsg.), Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 1997

[7] Klopfer, Heinz; ARCONIS: Wissen zum Planen und Bauen und zum Baumarkt: Flankenübertragung bei der Wasserdampfdiffusion Heft 1/1997, Seite 8-10

[8] H.M. Künzel; Tauwasserschäden im Dach aufgrund von Diffusion durch angrenzendes Mauerwerk wksb 41/1996; Heft 37; Seite 34-36

[9] WUFI 2D 2.1 (Wärme und Feuchte instationär); PC-Programm zur Berechnung des gekoppelten 2-dimensionalen Wärme- und Feuchtetransports in Bauteilen; Fraunhofer-Institut für Bauphysik; Infos unter www.wufi.de

[10] DIN 4108-3: Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden – Klimabedingter Feuchteschutz, Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung, Beuth-Verlag, Berlin, 07/2001

[11] DIN EN 13788: Wärme- und feuchte-technisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen – Raumseitige Oberflächentemperatur zur Vermeidung kritischer Oberflächenfeuchte und Tauwasserbildung im Bauteilinneren – Berechnungsverfahren, Beuth-Verlag, Berlin, 11/2001

[12] WUFI 5.1 pro (Wärme und Feuchte instationär); PC-Programm zur Berechnung des gekoppelten Wärme- und Feuchtetransports in Bauteilen; Fraunhofer-Institut für Bauphysik; Infos unter www.wufi.de

[13] Meteotest; Globale und meteorologische Datenbank für jeden Ort der Welt; Meteotest; Infos unter www.meteotest.com

[14] DIN EN 15026: Wärme- und feuchte-technisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen – Bewertung der Feuchteübertragung durch numerische Simulation, Beuth-Verlag, Berlin, 07/2007

[15] E-DIN 68800-2: Holzschutz – Teil 2: Vorbeugende bauliche Maßnahmen im Hochbau, Beuth-Verlag, Berlin, 11/2009

Stavební fyzika – studie

Literatura / kontakt	14	4. Konstrukční doporučení	
1. Stavební bezškodnost tepelných izolací v dřevěných konstrukcích		4.1 Konstrukce	30
1.1 Přehled a úvod	16	4.2 Vnitřní opláštění	30
1.2 Kondenzace – rosný bod – množství kondenzátu	16	4.3 Trvale vlhké místnosti	30
1.3 Vlhkostní zatížení konstrukce	17	4.4 Vlhkost u novostaveb. Pravidlo 60/2	30
1.3.1 Vlhkostní zatížení difúzí	17	4.5 Vlhké místnosti v bytech	30
1.3.2 Vlhkostní zatížení konvekci	18	4.6 Zvýšená vzdušná vlhkost během fáze výstavby. Pravidlo 70/1,5	30
1.3.3 Konstrukcí podmíněná vlhkost – boční difúze	18	4.7 Spodní konstrukce střechy / spodní záklop	31
1.3.4 Vysoká vlhkost stavebních materiálů při montáži	18	4.8 Šikmé konstrukce střech	31
1.3.5 Složení vlhkostních zatížení	19	4.9 Konstrukce plochých a ozeleněných střech	31
		4.10 Konstrukce šikmých střech ve vysokohorských oblastech	31
		4.11 Stěny	31
2. Inteligentní parobrzdy		5. Kladení a zpracování INTELLO, INTELLO PLUS a DB+	
2.1 Vysychání konstrukce směrem dovnitř	20	5.1 Pro deskové a rohožové izolační materiály	32
2.2 Způsob účinnosti vlhkostně proměnlivého difúzního odporu	30	5.2 Směr kladení	32
2.2.1 Vysoký difúzní odpor v zimě	30	5.3 Doporučené systémové prvky pro lepení pro clima	32
2.2.2 Nizký difúzní odpor v létě	21	5.4 Vláknité foukané izolační materiály	32
2.2.3 Vyvážený difúzní profil	21	5.5 Pěnové izolační materiály	32
2.2.3.1 Novostavby: pravidlo 60/2	21	5.6 Rozměrová stabilita	32
2.2.3.2 Fáze výstavby: pravidlo 70/1,5	21	5.7 Mechanická pevnost	33
2.2.4 Nejvyšší bezpečnost	21	5.8 Okamžik kladení parobrzdy	33
		5.9 Průsvitná struktura	33
		5.10 Recyklace a ekologie	33
3. Zjištění potenciálu stavební bezškodnosti střešní konstrukce		6. Závěr	33
3.1 Výpočet proudění vlhkosti různými postupy	22		
3.1.1 Výpočet dle Glasera, DIN EN ISO 13 788	22		
3.1.2 Výpočet spřaženého proudění tepla a vlhkosti, DIN EN 15026 (14)	22		
3.2 Výpočet potenciálu stavební bezškodnosti	23		
3.2.1 Definice potenciálu stavební bezškodnosti	23		
3.2.2 Střešní konstrukce	23		
3.2.3 Faktory vlivu na výši potenciálu stavební bezškodnosti	23		
3.2.4 Klimatické údaje lokality Holzkirchen	24		
3.2.5 Potenciál stavební bezškodnosti šikmé střechy v Holzkirchenu, severní strana, 40°sklon střechy	24		
3.2.6 Potenciál stavební bezškodnosti plochých střech	24		
3.2.6.1 Plochá střecha s kačirkem	24		
3.2.6.2 Ozeleněná plochá střecha	25		
3.2.7 Vliv tloušťky izolační vrstvy	25		
3.2.8 Klimatické údaje lokality Davos	26		
3.2.9 Potenciál stavební bezškodnosti šikmé střechy v Davosu, severní strana, 40°sklon střechy	26		
3.2.10 Potenciál stavební bezškodnosti ozeleněné a ploché střechy	26		
3.2.11 Závěry k potenciálu stavební bezškodnosti	26		
3.3 Zjištění použitelnosti	27		
3.3.1 Konstrukce plochých střech u kterých není zapotřebí prokazování vhodnosti	27		
3.3.2 Způsob prokazování	27		
3.3.3 Použitelnost šikmých střešních konstrukcí	27		
3.3.4 Použitelnost střešních konstrukcí s kačirkem	28		
3.3.5 Použitelnost ozeleněných střešních konstrukcí	28		
3.3.6 Závěry k použitelnosti	28		
3.4 Boční difúze	28		
3.4.1 Výsledky dvojdimenzionálního simulačního výpočtu	29		
3.4.2 Závěry k boční difúzi	29		
3.4.3 Konstrukce stěn	29		

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

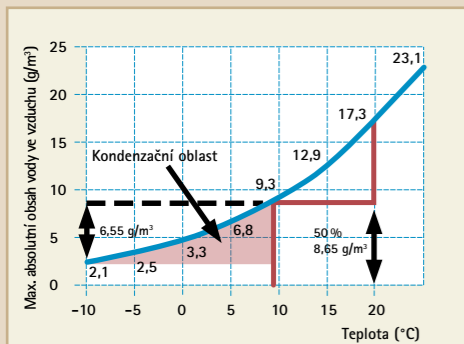
Vlhkostní fyzika vzduchu

Při chladnutí vzduchu se zvyšuje vlhkost vzduchu.

Při snížení teploty pod rosný bod se tvoří kondenzát.

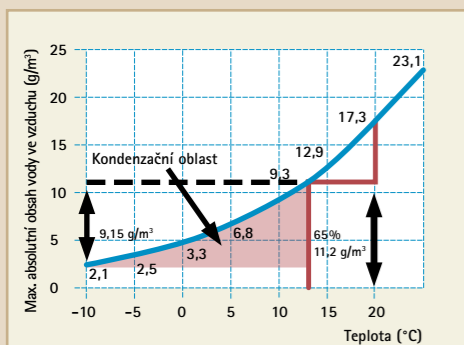
Při vyšší vlhkosti interiérového vzduchu se zvyšuje teplota rosného bodu – kondenzát se tvoří dříve.

1. Fyzika vlhkosti 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. Fyzika vlhkosti 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, která nelze zcela vyloučit. Aby se zabránilo stavebním škodám a plísním, je zapotřebí se soustředit především na schopnost vysychání vlhkosti z konstrukce. Konstrukce s vysokou schopností vysychání při současně sníženém vlhkostním zatížení, jako jej například umožňují parobrzdly 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. Z vlhkosti obsažené ve vzduchu může dojít ke zkonduování vody. Příčinou této tvorby vody jsou fyzikální vlastnosti vzduchu: teplý vzduch je schopen pojmut 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 problematické 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 nepórpnou membránou, např. SOLITEX UD, SOLITEX METNO a SOLITEX PLUS zde poskytují výhody, jelikož difúze probíhá ne pasivně skrz póry, nýbrž aktivně podél řetězců molekul. Difúzní odpor SOLITEXu UD a SOLITEXu PLUS 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 zkonduje v konstrukci voda pod izolační pásovinou pro použití bez záklopu, resp. spodní konstrukci střechy může dojít k tvorbě námrazy nebo ledu. Led je pro vodní páry nepropustný a tvoří parozábranu na venkovní straně. 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 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, např. ve střeše, může mít různé 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, tzv. proudění vzduchu (netěsnosti v neprodyšné vrstvě)
- konstrukčně podmíněné transporty vlhkosti (např. boční difúzí skrz přilehlé zdivo)
- zvýšená montážní vlhkost použitých materiálů
- nekoordinovaný průběh výstavby

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 stavební fyzikálními výpočty již před 15 lety při uvedení pro clima DB+ s hodnotou s_d 2,30 m na trh.

Aktuálně již neodpovídají tyto tzv. nepropustné – stavební díly u konstrukci plochých střech (uvnitř parozábrana $s_d > 100$ m – zvenku parotěsná izolace) dle vyjádření uznávaných stavebních fyziků z vědy i praxe „stavu techniky“.

Dokument o dohodě, který byl zveřejněn jako výsledek 2. mezinárodního kongresu fyziky dřevostaveb v únoru 2011 uvádí k nevětraným konstrukcím plochých střech u dřevostaveb následující údaj: Parozábrana brání obrácené letní difúzi, které je zapotřebí k odvedení vlhkosti vniklé v zimě prouděním vzduchu (konvekci) spárami, kterým nelze zabránit“ (1).

Proto mohou být takové konstrukce provedeny pouze s funkčním odvětráním, nebo je-li prokázáno, že stavební díly disponují potenciálem zpětného vysychání. Toto může být například volbou vhodné parobrzdly a neprodyšné izolující pásovinu na vnitřní straně stavebního dílu.

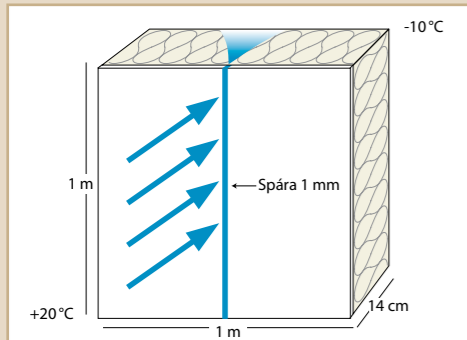
Dále ukázala šetření venkovních stěn v Severní Americe z roku 1999, že pronikání vlhkosti skrz parozábranu následkem konvekce i při její odborné instalaci činí cca 250g/m² za jedno období tání. To odpovídá množství kondenzátu, které během jedné zimy pronikne parozábranou s hodnotou s_d 2,30 m (3).

Závěr:

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

Proniknutí vlhkosti do konstrukce netěsnostmi v parobrzdě

3. Množství vlhkosti konvekci



Transport vlhkosti

parobrzdou: $0,5 \text{ g/m}^2 \times 24\text{h}$
skrz spáru 1 mm širokou: $800 \text{ g/m}^2 \times 24\text{h}$

Zvýšení faktoru: 1.600

Mezní podmínky:

parobrzda o hodnotě $s_d = 30 \text{ m}$
vnitřní teplota $= + 20 \text{ °C}$
venkovní teplota $= - 10 \text{ °C}$
rozdíl tlaku $= 20 \text{ Pa}$
odpovídající síla větru 2-3

Měření: Institut stavební fyziky, Stuttgart (3)

1.3.2 Vlhkostní zatížení konvekci

Konvekci, 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). Vlhkost proniká konvekci má pro konstrukce s vnější difúzně nepropustnou vrstvou za následek rychlé stavební škody. Množství vlhkosti přivedené konvekci může být ale kvůli své vysoké vlhkostní zátěži nebezpečné i pro stavební konstrukce s vnější difúzně otevřenou stranou, zejména vytvořil-li se již kondenzát.

1.3.3 Konstrukčně podmíněná vlhkost – boční difúze

V praxi se vyskytly škody na stavbách, které nešly vysvětlit pouze difúzními a konvektivními procesy. Ruhe (5) a Klopfer(6) upozornili roku 1995 resp. 1997 u jedné ze stavebních škod na problém boční difúze(7).

Konstrukce:

Střecha, venkovní dřevěný záklop a asfaltová pásovina, na vnitřní straně plastové fólie z polyetylenu (PE) a mezi nimi minerální vlna. I přes perfektní vzduchotěsnost kapala v létě voda z míst spojů fólie na stavebních 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. Přitom vlhkost vniká do střechy přes boční neprodyšné napojení, v tomto případě pórězní zdivo.

Proud vlhkosti prakticky obchází parobrzdu (viz vyobrazení 4 a 5). Mezi stavebními fyziky byla tato problematika zprvu kontroverzně diskutována až do doby, kdy Künzel (8) roku 1997 boční difúzi výpočtově prokázal pomocí dvojdimenzionálního transportu tepla a vlhka WUFI 2D (9). Dle výpočtu se zvýšila vlhkost dřeva přes zdivo po jednom roce na cca 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 6/24 a odstupem krokvi $e=0,70 \text{ m}$ 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 novostavby přivedeno do konstrukce další množství vlhkosti. Když se pak na vnitřní straně nachází difúzně nepropustná fólie z polyetylenu 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 management vlhkosti: Vzoreček bezpečnosti:

schopnost vysychání > vlhkostní zatížení
→ bezškodnost stavby

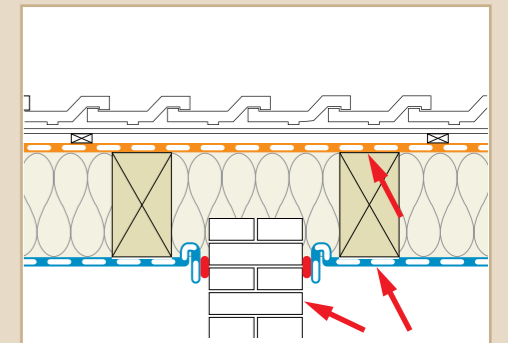
Jen když je schopnost vysychání menší než vlhkostní zatížení, může dojít ke škodě na stavbě.

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

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

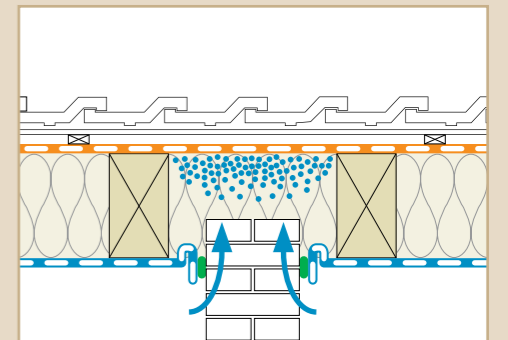
Boční difúze

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.

„Inteligentní“ parobrzdy

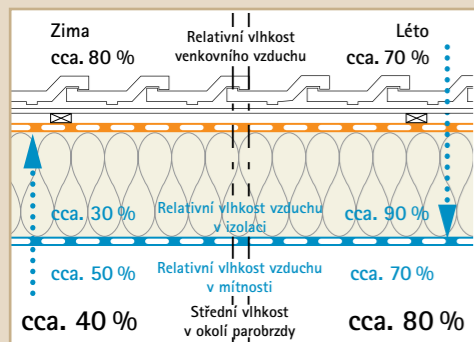
Vlhkostní situace v konstrukci

Difúzní proud proudí vždy od teplé ke chladné straně:

V zimě: zvýšená vlhkost na venkovní straně

V létě: zvýšená vlhkost na vnitřní straně

6. Princip funkce vlhkostně proměnlivých pásovin



Znázornění relativní vlhkosti vzduchu na parobrdě v závislosti na ročním období.

Okolní vlhkost parobrzdy

- v zimě v prostoru s nízkou vlhkostí vzduchu > parobrzda s vlhkostně proměnlivým difúzním odporem je difúzně nepropustnější
- v létě v prostoru s vysokou vlhkostí vzduchu > parobrzda s vlhkostně proměnlivým difúzním odporem je difúzně propustnější

7. Difúzní proudy v parobrdě pro clima s vlhkostně proměnlivým difúzním odporem

Difúzní proud	Hodnota WDD v g/m ² za týden	
	v zimě	v létě
Směr difúze	směrem ven ke spodnímu záklopu	směrem dovnitř k parobrdě
DB+	28	175
INTELLO INTELLO PLUS INTESANA	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 tomuto 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 parozábran 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. Jelikož tyto stavební díly zvýhodňují vlhkostní pasti, bylo na 2. kongresu stavební fyziky dřevostavby v únoru 2011 tento druh řešení plochých střech zařazen mezi řešení, která neodpovídají současnému stavu uznávaných pravidel techniky.

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 propustnější a umožňují tím vysychání vlhkosti, která se případně v konstrukci nachází, směrem do interiéru.

2.2 Způsob účinku vlhkostně proměnlivého difúzního odporu

Směr difúzního proudění je určován tlakovým spádem podílu vodní páry. Ten 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 ke 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 krokví nachází parobrzda v průměrné okolní vlhkosti cca 40%. V letním klimatu dochází naopak v prostoru krokví ke zvýšení relativní vlhkosti na parobrdě, 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 položenými čtverečnými metry. Její difúzní odpor se pohybuje mezi hodnotou s_d 0,6 a 4 m.

V roce 2004 vyvinula firma MOLL vysoce výkonnou parobrzdu pro clima INTELLO. INTELLO stejně jako INTELLO PLUS a INTESANA má ve všech klimatických podmínkách 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, INTELLO PLUS a INTESANA byl tak nastaven, aby pásovina mohla mít v zimním klimatu hodnotou s_d větší než 25 m. To má za následek, že v zimě, když je vlhkostní tlak na konstrukci nejvyšší, nepropustí parobrzda téměř žádnou vlhkost do stavebního dílu.

Funkce vlhkostně proměnlivého difúzního odporu je nezávislá na nadmořské výšce budovy. I při dlouhých zimách zůstává tato vlastnost zachována. U konstrukcí s difúzně nepropustnými izolačními pásovinami na venkovní straně mohou pásovinami regulovat obsah vlhkosti a účinně chránit stavební díly před vlhkostí. Vysoká hodnota s_d má své výhody i u střech difúzně propustných z venkovní strany, když se jedná o tvorbu námrazy (parozábrana) 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 hodnotou 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 tato kapacita vysychání 5 - 12 g/m² H₂O za hodinu, což znamená cca 80 g/m² H₂O za den, resp. 560 g/m² H₂O za týden. Tato vysoká kapacita vysychání má za následek, že stavební díl rychle vysychá již na jaře. Parobrzdy, které dosáhnou ve vlhkém prostředí pouze hodnotu s_d 1 m, neposkytují přídatnou bezpečnost, která by stále za minku.

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 a vlhkých místnostech obytných domů (koupelny, kuchyně) panuje zvýšená vlhkost vzduchu ve výši cca 70% podmíněná stavbou samou a jejím obyváním. Difúzní odpor parobrzdy by měl být proto nastaven tak, aby při této vlhkosti byl docílen difúzní odpor minimálně 2 m, aby byla konstrukce dostatečně chráněna před vniknutím vlhkosti a tím i před tvorbou plísní. INTELLO, INTELLO PLUS a INTESANA má při relativní vlhkosti vzduchu 60% (70% vlhkosti vzduchu v místnosti a 50% vlhkosti na tepelné izolaci) hodnotu s_d cca 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 (částečně více než 90%). Hodnota s_d parobrzdy by měla činit více než 1,5 m, aby chránila konstrukci před příliš vysokým vniknutím vlhkosti z okolního prostředí stavby. INTELLO, INTELLO PLUS a INTESANA má při relativní vlhkosti vzduchu 70% (90% vlhkosti vzduchu v místnosti a 50% v izolační vrstvě) hodnotu s_d cca 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, případně je zapotřebí použít stavební vysoušeče. (viz obr. 10)

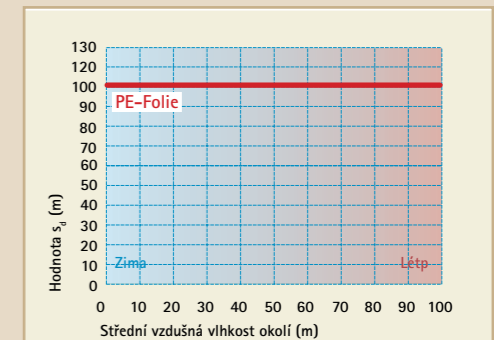
2.2.4 Nejvyšší potenciál bezpečnosti

„Inteligentní“ chování parobrzdy s proměnou hodnotou závislou na vlhkosti od pro clima činí izolační konstrukce dle druhu stavby a polohy velmi bezpečně 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.

Chování hodnoty s_d v parobrdách

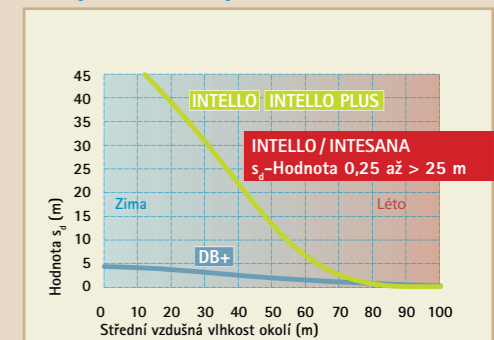
Čím větší je proměnlivost difúzního odporu mezi zimou a létem, tím větší bezpečnost poskytuje parobrzda.

8. Průběh hodnoty s_d v PE-fólii.



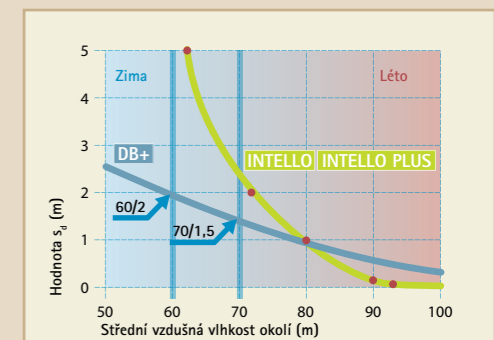
Bez vlhkostně proměnlivé hodnoty

9. Průběh hodnoty s_d v parobrdných pásovinách pro clima



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

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

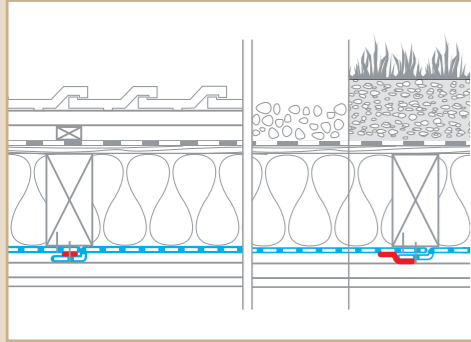


Doporučená minimální hodnota s_d během fáze výstavby a u vlhkých místností obytných domů.

Stanovení potenciálu bezpečnosti střešní konstrukce

Stavebně-fyzikální posouzení střešních konstrukcí

11. Skladba střešní konstrukce



Vrstvy stavebního dílu:

- zvenku difúzně nepropustná (asfaltová pásovina s hodnotou $s_d = 300$ m)
- celodřevěný záklop 20 mm
- vláknitá izolace (minerální vata) 200 mm
- parobrzdy s různými hodnotami s_d
- instalační vrstva 25 mm
- 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 intenzivním ozeleněním: 10 cm rostlinného substrátu

Všechny konstrukce nezastíněné.

3.1 Výpočet proudění vlhkosti různými postupy

K výpočtu vlhkostního zatížení uvnitř stavebního dílu jsou k dispozici stacionární a dynamické výpočtové metody. I nadále jsou stacionární výpočtové metody dle Glasera přípustné pro všechny druhy střešních konstrukcí s výjimkou ozeleněných střeš. Nejsou však schopné zohlednit specifické vlivy druhu materiálu, konstrukce polohy a klimatu. Tak je chování materiálu jako například schopnost kapilárního vedení a sorpční chování možné zohlednit pouze v dynamických způsobech výpočtů.

3.1.1 Výpočet dle Glasera – DIN 4108-3

V DIN 4108-3(10) a DIN EN ISO 13788 (11) 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: „Postup dle Glasera“ (stacionární)**

Zima (doba trvání 60 dní)

interiér:

+20 °C/50 % relativní vlhkost vzduchu

exteriér:

-10 °C/80 % relativní vlhkost vzduchu

Léto (doba trvání 90 dní)

interiér:

+12 °C/70 % relativní vlhkost vzduchu

exteriér:

-12 °C/70 % relativní vlhkost vzduchu

3.1.2 Výpočet spřaženého transportu tepla a vlhkosti při přirozených klimatických podmínkách, DIN EN 15026 (14)

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(10) proto upozorňuje na to, že tento postup není vhodný pro prokázání bezškodnosti stavby u ozeleněných střeš, nebo střeš 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 (12) 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, vlivu slunečního svitu (přímo a difúzí), větru, tepla difúzního odpařování a též sorpce a kapilarity stavebních materiálů. Tyto programy byly mnohokrát ověřeny. To znamená, 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 údaje několika tisíc měřících stanic kolem celého světa. Software, který zpřístupňuje tyto údaje pro výpočty Wufi, je například Metronom (13). Software obsahuje jak mírná, tak i extrémní klimatické oblasti. 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 se na dobu několika let. Pak je zřetelné, zda-li se vlhkost ve stavebním dílu akumuluje, tzn. celkové množství vlhkosti se 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 Definice potenciálu stavební bezškodnosti

Potenciál stavební bezškodnosti udává, kolik vlhkosti může nepředvídaně proniknou netěsnostmi, boční difúzí, vlhkými stavebními materiály do konstrukce bez toho, aby došlo ke škodě na stavbě nebo napadení plísní.

3.2.1 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 používá následující postup: Tepelnou izolaci na začátku výpočtu navlhčíme. Výpočet nám ukáže jak rychle vlhkost opět 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 střeš), v různých klimatických pásmech (např. v horách), s různými tvary střeš (šikmá střeš, plochá střeš s kačirkem nebo ozeleněná střeš). Konstrukce výhodnější ze stavebně fyzikálního hlediska poskytují příslušně vyšší bezpečnost.

Dalším kritériem pro funkčnost konstrukce je maximální obsah vlhkosti, ke kterému dojde v jednotlivých vrstvách stavebního dílu. Tato zjišťování použitelnosti jsou popsána v odstavci 3.3.

3.2.2 Střešní konstrukce

Podívejme se nyní na několik konstrukcí, na které je z hlediska fyziky staveb nahlíženo jako na kritické. Obsaženy jsou různé lokality a parobrzdy.

Skladba konstrukce:

Jedná se o šikmou střeš orientovanou na sever s izolací o tloušťce 200 mm (minerální vata). Ta je zakryta krytinou z červených střešních tašek (viz obr. 11 vlevo).

Parobrzdy:	hodnota s_d
• PE-fólie	100 m konstantní
• parobrzda	5 m konstantní
• pro clima DB+	0,6 – 4 m proměnná v závislosti na vlhkosti
• pro clima INTELLO	0,25 – 25 m proměnná v závislosti na vlhkosti

Druhy střeš:

- Šikmá střeš se sklonem 40° k severní straně, červené tašky
- Plochá střeš s 5 cm kačirkou
- Ozeleněná střeš s 10 cm rostlinného substrátu

Lokality:

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

Výpočet

- Pomocí WUFI pro (12)
- Počáteční vlhkost v tepelné izolaci 4000 g/m²

Zastínění (např. solárními panely, odskoky budovy, vysokými stromy nebo topografií) nejsou ve výpočtech zohledněny.

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 střeš/stěny než je teplota vzduchu. Dobu, kterou teplo potřebuje, aby se dostalo zvenku až k tepelné izolaci je rozhodující. U šikmé střeš k tomu dojde rychleji než u střeš s kačirkem nebo ozeleněné ploché střeš. U šikmé střeš závisí výška povrchové teploty na sklonu střeš, orientaci střeš (sever/jih) a barvě střešní krytiny (světlá/tmavá). Potenciál stavební bezškodnosti je ovlivňován i nadále zvolenou tloušťkou izolační vrstvy. Velké tloušťky vedou zpravidla ke snížení množství vysychané vlhkosti, jelikož k prohřátí stavebního dílu dochází pomaleji a tím je období, při kterém dochází ke zpětnému vysychání kratší.

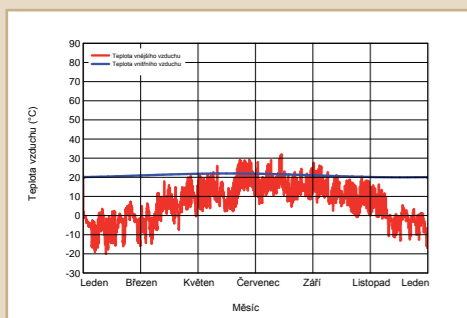
Nevýhodnými faktory jsou:

- sklon střeš na sever
- vysoký sklon střeš (> 25°)
- světlá barva střešní šikminy (nebo izolační pásoviny)
- difúzně nepropustná spodní střeš
- chladné klima, např. v horách
- velké tloušťky izolačních vrstev
- kačírek/vrstvy ozelenění nad izolací

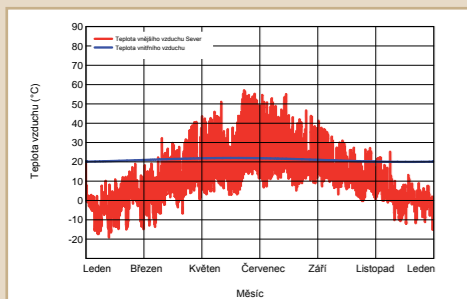
Abysme si lépe uvědomili vliv parobrzdy na potenciál stavební bezškodnosti, pracujeme při výpočtu s difúzně nepropustnou spodní střešou. Navíc se v zimě mohou difúzně propustné spodní střeš díky zamrzající kondenzující vodě stát parozábranou vrstvou.

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

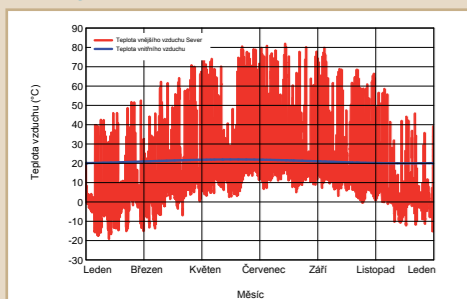
12. Teplota vzduchu (vlhkostní referenční klima)



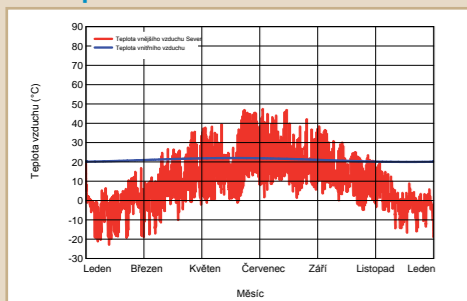
13. Povrchová teplota střechy, severní strana, 40° sklon střechy



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



15. Povrchová teplota střechy, plochá střecha s kačírkem.



3.2.4 Klimatické údaje lokality Holzkirchen

Holzkirchen leží mezi Mnichovem a Salzburgem v nadmořské výšce 680 m, s drsným chladným klimatem. Pro klimatické podmínky byl z Wufi zvolen vlhkostní referenční rok, který se vyznačuje obzvláště vlhkým a chladným ročním počasím. Následující diagramy ukazují teplotní průběh po jeden rok. Modrá čára ukazuje 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 předmětném příkladu výpočtu bylo pracováno s nejnepohodněnějšími podmínkami. Severní orientace střechy s 40°sklonem.

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

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 (hodnota s_d 100 m) neumožňuje žádné vysychání. Vlhkost, která se v konstrukci nachází, již nemůže uniknout. U parobrzdy s konstantní hodnotou s_d 5 m existují jen malé rezervy vysychání. Konstrukce s pro clima DB+ vede k podstatně rychlejšímu vysychání a vykazuje zásadní bezpečnostní rezervy ve výši 1.800 g/m² za rok.

Vysokovýkonná parobrzda INTELLO poskytuje konstrukci největší bezpečnostní potenciál. V průběhu roku může být konstrukce dle výpočtů WUFi pro (10) zatížena 3.400 g/m² vody bez toho, aby došlo ke stavební škodě.

3.2.6 Potenciál stavební bezškodnosti ploché střechy

Pro výpočet ozeleněných střech a střech s kačírkem jsou aktuálně k dispozici nové sady dat od Frauenhoferova Institutu stavební techniky (IBP). Tyto údaje byly získány na základě měření na nejrůznějších konstrukcích ozeleněných střech a střech s kačírkem v různých lokalitách.

Nové je, že jsou silněji zohledňovány časové změny v konstrukcích ozeleněných střech a střech s kačírkem. Tak jsou v sadách dat kupříkladu silněji zohledněny efekty způsobené porostem (zastínění rostlinami a trávou). Frauenhoferův Institut stavební fyziky je označuje za současný stav výzkumu.

3.2.6.1 Plochá střecha s kačírkem

Plochá střecha s kačírkem vykazuje nižší bezpečnost než šikmá střecha, jelikož se vrstva kačírku nad tepelnou izolací jen pomalu ohřívá. Následkem toho se pomaleji prohřeje střešní konstrukce včetně její tepelné izolace. Obr. 13 až 15 ukazují teploty šikmé střechy se sklonem k jihu a severu v porovnání s plochou střechou s kačírkem. Zejména zřetelný je rozdíl u šikmé střechy se sklonem na jih, ale i šikmá střecha se sklonem na sever má teploty o 8–10°C vyšší než plochá střecha s kačírkem. Stejně jako u šikmé střechy nedochází u ploché střechy s kačírkem s PE-fólií k vysychání díky vysokému difúznímu odporu s hodnotou s_d 100 m. I parobrzda s konstantní hodnotou s_d 5 m neposkytuje střešní konstrukci s kačírkem velkou bezpečnost vysychání. Toto je následek snížené teploty stavebního dílu, která snižuje zpětnou difúzi. Již při malém nepředvídaném vlhkostním zatížení dochází ke stavebním škodám.

Oproti tomu disponuje konstrukce s pro clima DB+ potenciálem stavební bezškodnosti ve výši 700 g/m² za rok. Přesto, že jsou povrchové teploty střechy s kačírkem ztlačeny, poskytuje vysoko výkonná parobrzda INTELLO konstrukci značný bezpečnostní potenciál. V průběhu jednoho roku

může být stavební díl dle výpočtů WUFi pro (12) zatížen cca 1.500 g vody na m² bez toho, aby došlo ke stavební škodě. (viz obr. 17).

3.2.6.2 Ozeleněná plochá střecha

Ozeleněné konstrukce plochých střech se chovají díky silné vrstvě substrátu, a v něm akumulované vlhkosti, ještě trochu pomaleji než varianty s kačírkem. Teploty na izolační pásovině dosáhnou v létě maximálních hodnot 35 – 40 °C. Přesto disponují nezastíněné konstrukce s tloušťkou izolace 200 mm a pásovinou INTELLO, resp. INTELLO PLUS, potenciálem stavební bezškodnosti 700 g/m² za rok. Stavební díl disponuje dostatečnou bezpečností při nepředpokládaném zvlhnutí. Pro ozeleněné střechy jsou INTELLO a INTELLO PLUS první volbou. DB+ poskytuje ozeleněným střešním konstrukcím dostatečnou bezpečnost do nadmořské výšky 400 m.

3.2.7. Vliv tloušťky izolační vrstvy

V posledních letech se v neposlední řadě díky stále stoupajícím požadavkům na úsporu energie stále zvyšovala tloušťka izolační vrstvy. Tloušťka izolační vrstvy na 300 mm a více, kterou jste u běžných obytných budov v minulosti našli jen zřídka, se objevuje čím dál častěji.

Vysoce tepelně izolující konstrukce mají snížený potenciál stavební bezškodnosti. Důvodem je, že se stoupající tloušťkou izolace probíhá prohřívání stavebního dílu pomaleji. Tím se zpomalí proces odpařování nepředvídaného zvlhnutí. Jelikož venkovní klima ale zůstává identické, snižuje se množství zpětně odpařené vlhkosti za rok.

INTELLO: Obr. 19 ukazuje potenciál stavební bezškodnosti výše uvedené konstrukce s INTELLO v tloušťkách izolace 200, 300 a 400 mm.

Při tloušťce izolace 200 mm činí potenciál stavební bezškodnosti cca 3.400, při 300 mm cca 3.000 a při 400 mm je 2.500 g/m² za rok.

DB+: I u DB+ má tloušťka vrstvy izolace vliv na potenciál stavební bezškodnosti. Konstrukce disponuje při 200 mm potenciálem stavební bezškodnosti 1.800 g/m² za rok, při 300 mm 900 g/m² za rok a při 400 mm potenciálem stavební bezškodnosti 700 g/m² za rok.

Hodnota s_d 5 m: Při tloušťce izolace 200 mm má konstrukce s parobrzdou o konstantní hodnotě s_d 5 m již velmi nízký potenciál stavební bezškodnosti. Při vyšších tloušťkách izolace ještě více klesá. Bezpečnost je již při velmi malých tloušťkách izolační vrstvy tak nízká, že její použití u stavebních dílů, které jsou vně difúzně nepropustné, nelze doporučit jak u malých, tak ani u velkých tlouštěk izolace. (Viz obr. 19)

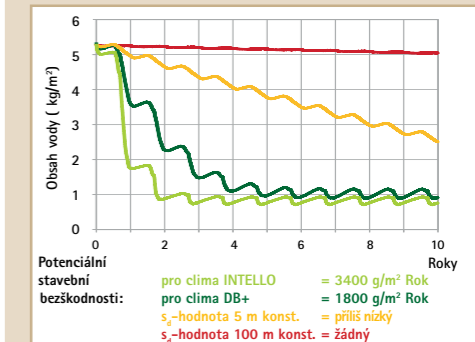
Pro INTELO a DB+ proto platí: i u konstrukci šikmých střech orientovaných na sever (40°) s velkými tloušťkami a červenými střešními taškami jsou stavební díly bezpečné do nadmořské výšky 1.000 m (DB+) resp. 1.600 m (INTELLO).

Ozeleněné konstrukce nebo konstrukce s kačírkem by měly být při velkých tloušťkách izolace posuzovány individuálně, případ od případu.

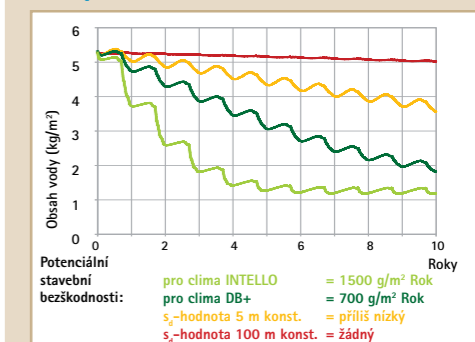
Výpočet potenciálu stavební bezškodnosti lokality Holzkirchen, střecha

Výchozí předpokládaná vlhkost na začátku: 4.000 g/m²
Obsah vlhkosti v konstrukci v suchém stavu (= obsah vlhkosti dřevěného záklopu u 15%): 1.700 g/m²

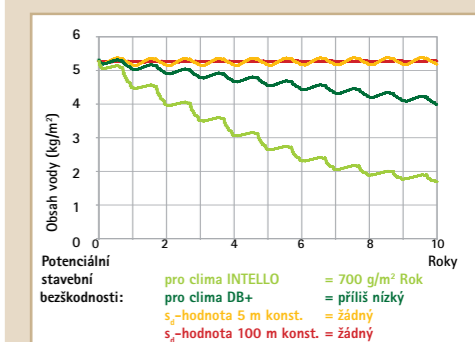
16. Potenciál stavební bezškodnosti, šikmá střecha, severní strana, 40° sklon střechy



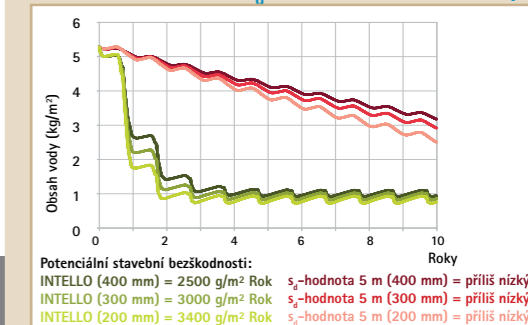
17. Potenciál stavební bezškodnosti, plochá střecha s 5 cm kačírku



18. Potenciál stavební bezškodnosti, ozeleněná střecha s 10 cm skladbou



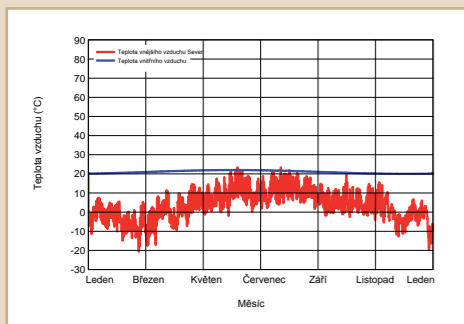
19. Potenciál stavební bezškodnosti s INTELO a hodnotou s_d 5m: různé tloušťky izola



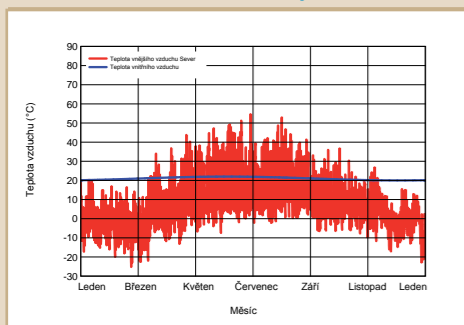
... a izolace je perfektní

Roční průběh teplot Davos, Švýcarsko Nadmořská výška: 1.560 m, červené střešní tašky / kačírky

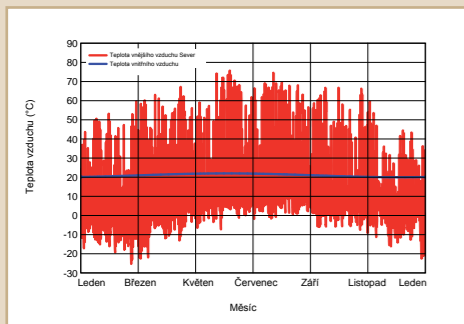
20. Teploty vzduchu (Davos, chladno)



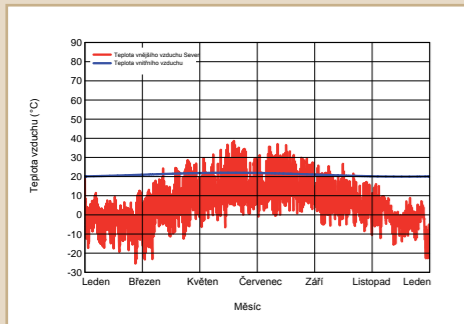
21. Teploty povrchu střechy, severní strana, sklon střechy 40°



22. Teploty povrchu střechy, jižní strana, sklon střechy 40°



23. Teploty povrchu střechy, plochá střecha s kačírky



3.2.8 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) Sledujeme-li teplotu vzduchu 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 střech orientovaných svým sklonem k severu jsou však teploty podstatně nižší než v Holzkirchenu. V porovnání je jen několik dní v roce možná zpětná difúze. U střech 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.

3.2.9 Potenciál stavební bezškodnosti šikmých střechy v Davosu, severní strana, 40°sklon střechy

Aby se minimalizovalo sluneční ozáření, bylo pro výpočet počítáno se severní orientací střechy se sklonem 40°. Velmi nízká teplota v zimě vede k vysoké tvorbě kondenzátu, takže dokonce provlhne i konstrukce s PE fólií a to i tehdy, nepředpokládáme-li výskyt nepředvídaného vlhkostního zatížení. U parobrzdy s konstantní hodnotou s_d 5 m není viditelný žádný potenciál stavební bezškodnosti. Potenciál stavební bezškodnosti konstrukce s DB+ je příliš nízký - vysychání je nedostačující. 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 (12) pro zatížena cca 1.300 g/m² vody bez toho, aby došlo ke stavební škodě. (viz obr. 25).

3.2.10 Potenciál stavební bezškodnosti ozeleněné střechy a ploché střechy

Do náročného horského klimatu Davosu je současný způsob konstrukcí střech s kačírky a ozeleněných střech nedostačující. INTELLO sice nabízí minimální rezervu, tato je však s 200 g/m² za rok příliš malá (viz obr. 25). U těchto stavebních dílů musí být v horských oblastech nosná dřevěná konstrukce v závislosti na výpočtu ke konkrétnímu objektu částečně nebo zcela zaizolována. Prosím oslovte distributora.

3.2.11 Závěry pro střešní konstrukce

S parobrdami a neprodyšně izolujícími pásovinami INTELLO/INTELLO PLUS a DB+ lze při vypočítané tloušťce izolace 200 mm u šikmých střešní konstrukce v nadmořských výškách do 1.000 m nad mořem realizovat konstrukce s vysokým potenciálem stavební bezškodnosti. I u přídatného zvlhnutí nepředvídanými vlivy zůstávají konstrukce bez stavebních škod. INTELLO, INTELLO PLUS a DB+ dokáží kompenzovat boční difúzi u zděné konstrukce tak, jak je popsáno od Ruheho (4), Klopfera(5), (6) a Künzela (7). Ta by však u vyšších nadmořských poloh měla být díky detailnímu plánování minimalizována. Pro clima DB+ se se svým potenciálem stavební bezškodnosti osvědčila již po více než 20 let v kritických konstrukcích mnoha milionech metrech čtverečních. I při použití ve střešních konstrukcích s kačírky dle obr. 11 existuje vysoká bezpečnost v nadmořských polohách kupříkladu Holzkirchenu, která podporuje potenciál stavební bezškodnosti stavebního dílu. V těchto výškových polohách lze pomocí pásovin INTELLO a INTELLO PLUS realizovat bezpečně ozeleněné střešní konstrukce. S DB+ je nejvyšší realizovatelná nadmořská výška 400 m. V horských polohách mají difúzně nepropustné konstrukce šikmých střech dostačující potenciál stavební bezškodnosti. Tež zde má tloušťka izolační vrstvy vliv na potenciál stavební bezškodnosti. Dle výpočtových příkladů je u šikmých střech dána dostatečná bezpečnost do běžné tloušťky izolační vrstvy 400 mm. U ozeleněných střech a střech s kačírky může být nutné v závislosti na požadované tloušťce izolace upravit skladbu střechy tak, že část izolační tloušťky bude umístěna mezi nosnou dřevěnou konstrukcí a část nad touto nosnou konstrukcí. Takovéto konstrukce Vám pomůže schválit distributor.

Dle možností by konstrukce plochých střech měly být plánovány bez vnějších přídatných vrstev. Obzvláště vysokou bezpečnost mají nezastíněné konstrukce s černými pásovinami ($a \geq 80\%$). Dodržte-li další parametry (mimo jiné nízký obsah vlhkosti materiálů, zkouškou překontrolovaná a zaručená neprodyšnost), není potřeba u této konstrukce prokazovat její vhodnost pomocí výpočtů (1).

3.3 Zjištění použitelnosti

Mimo potenciálu stavební bezškodnosti je dále rozhodující, jaký obsah vlhkosti se v konstrukci vytvoří během jejího používání.

3.3.1 Konstrukce plochých střech, u kterých není zapotřebí prokazování vhodnosti

Pro zjednodušení posouzení bylo v dokumentu o dohodě ohledně plochých střech uvedeném v bodu 1.3.1 identifikováno «7 zlatých pravidel pro plochou střechu bez nutnosti kontrolního výpočtu vhodnosti» (1) pro obytné prostory dle DIN EN 15026:

1. Plochá střecha má spád $\geq 3\%$, respektive $\geq 2\%$ po deformaci a
2. je tmavá (absorpce záření $a \geq 80\%$) nezastíněná a
3. nemá žádnou krycí vrstvu (kačírky, ozeleněná střecha, terasová podlahová krytina), ale
4. má vlhkostně proměnlivou parobrzdu a
5. nemá nekontrolovatelné dutiny na chladné straně izolační vrstvy a
6. má přezkoušenou neprodyšnost a
7. před uzavřením skladby byly naměřeny a zdokumentovány hodnoty vlhkosti dřevěné nosné konstrukce ($u \leq 15 \pm 3 M\%$).

3.3.2 Prokazování vhodnosti

Jedná-li se o konstrukci, která nespĺňuje předpoklady, aby u ní nemusela být prokazována vhodnost, lze její použitelnost zjistit při zohlednění vzduchového infiltračního modelu Frauenhoferova institutu stavební fyziky. Tento model umožňuje simulaci

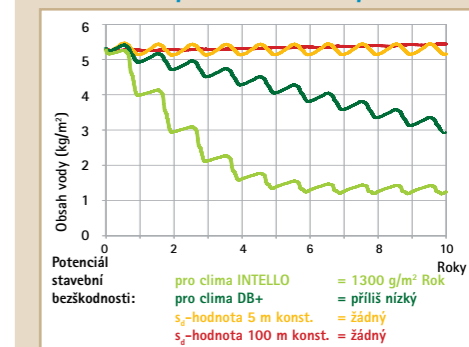
postupných nepředpokládaných zanesení vlhkosti díky konvekci. Měřítkem je výměna vzduchu vztažená na plochu obálky q_{50} , který se nevztahuje jako hodnota n_{50} k objemu, nýbrž k vnější obálce budovy. Vzduchový infiltrační model rozlišuje standardně tři třídy neprodyšnosti A, B, C, které odpovídají hodnotě q_{50} 1 m³/m² x h (třída A), 3 m³/m² x h (třída B) a 5 m³/m² x h (třída C). Třidu A lze použít u prefabrikovaných stavebních dílů respektive u přezkoušené neprodyšnosti se zjištěním míst netěsnosti, třídu B u přezkoušené neprodyšnosti a třídu C u konstrukcí s nepřezkoušenou neprodyšností, aby bylo možné simulovat nepředpokládané zatížení vlhkostí skrz netěsnosti. Pro maximálně bezpečnou konstrukci by mělo být provedeno přezkoušení neprodyšnosti se zjištěním míst netěsnosti na každém stavebním dílu. Pak je pro prokázání vhodnosti použita třída A.

3.3.3 Použitelnost šikmých střešních konstrukcí

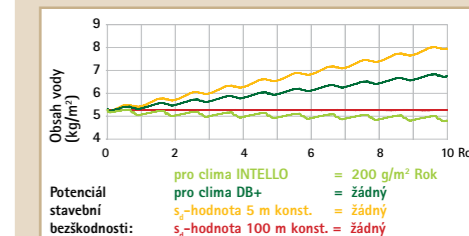
Pro zjištění použitelnosti byly vypočítány šikmých střešních konstrukce z obr. 11 v Holzkirchenu při tloušťce izolační vrstvy 400 mm se třemi třídami vzduchotěsnosti a klimatem Holzkirchenu. Mimo to byly provedeny variace parobrzdné a neprodyšné vrstvy - použita byla pro clima INTELLO a parobrzda s konstantní hodnotou s_d 5 m. Obr. 26 ukazuje obsah vlhkosti v 20 mm tlustém záklopu ze smrkového dřeva pod asfaltovou lepenkou po dobu 10 let. Dle aktuálního převládajícího školního názoru je rozhodující, aby obsah vlhkosti smrkového záklopu pod izolací nepřekročil 20% (desky OSB 18%). Pak se považuje bezpečnost stavby za dostačující. S pásovinou INTELLO nevykazovala konstrukce u žádné ze 3 tříd neprodyšnosti zvýšený obsah vlhkosti materiálu - použitelnost je potvrzena. Navíc existují další faktory bezpečnosti před nepředpokládaným vlhkostním zatížením. Parobrzda s hodnotou s_d 5 m má ve stejné konstrukci za následek mnohem vyšší relativní vlhkost vzduchu ve smrkovém záklopu. Při třídě neprodyšnosti C dojde k překročení 20% vlhkosti dřeva v záklopu. Již drobné, nepředpokládané vlhkostní zatížení může rychle vést k obsahu vlhkosti na 20 %. Tím je pravděpodobnost vzniku stavební škody mnohem větší.

Výpočet potenciálu stavební bezškodnosti lokality Davos, střecha

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

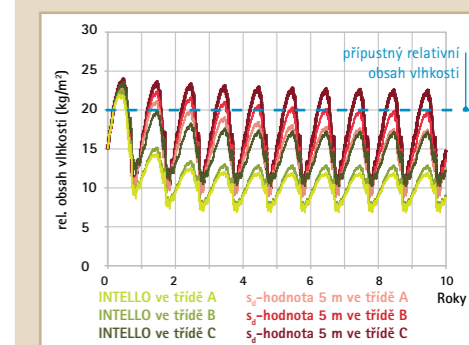


25. Potenciál stavební bezškodnosti, ozeleněná střecha a střecha s kačírky

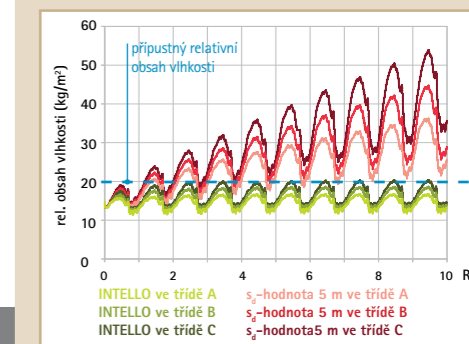


Zjištění použitelnosti

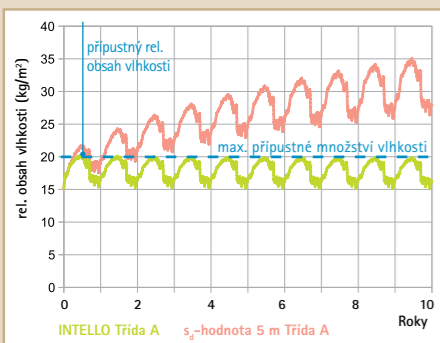
26. Použitelnost šikmých střešních konstrukcí (40°/do 400 mm izolace / Holzkirchen)



27. Použitelnost šikmých střech s kačírky (do 300 mm izolace / Holzkirchen)

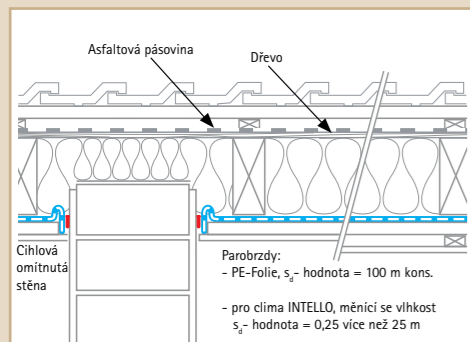


28. Použitelnost ozeleněných střech (do 200 mm izolace / Holzkirchen)



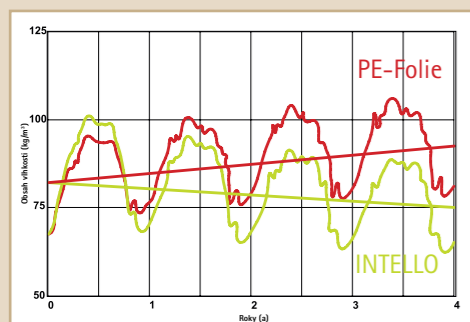
2-dimenzionální výpočet tepelného a vlhkovního proudění pomocí WUFI 2D

29. Skladba konstrukce: začleněná stěna



30. Zvýšení vlhkosti u PE-fólie >>> zvlhnutí = stavební škody

Snížení vlhkosti pomocí INTELLO >>> vysychání = bezškodnost stavby



Zvyšující se obsah vlhkosti ve stavebním dílu s PE-fólií – konstantní hodnota s_d 100 m

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

3.3.4 Použitelnost střech s kačirkem

Střešní konstrukce s povrchem z kačírku byly vypočítány obdobně jako u konstrukce na obr. 11 s tloušťkou izolace 300 mm pro klima Holzkirchenu. Obsah vlhkosti ve smrkovém záklopu v tomto stavebním dílu je při použití INTELLO nižší než uvedených 20%, takže použitelnost této konstrukce je potvrzena (viz obr. 27). Střechy s kačirkem a parobrdou s hodnotou s_d 5 m tuto podmínku zkoušky použitelnosti nesplňují. Obsahy vlhkosti ve smrkovém záklopu jsou u všech tříd neprodyšnosti zřetelně nad 20%. Tuto kombinaci nelze doporučit. U větších tloušťek izolace může být nutné umístit část izolace nad nosnou konstrukci a vlhkovně-technicky oddělit od izolace mezi nosnou konstrukcí. Plánujete-li větší tloušťky izolace, obraťte se prosím na distributora.

3.3.5 Použitelnost ozeleněných střech

Použitelnost ozeleněných střech za použití INTELLO a INTELLO PLUS v klimatu Holzkirchenu lze dle obr. 11 potvrdit při tloušťce izolace 200 mm. K tomuto účelu musí být neprodyšná vrstva pečlivě nainstalována a zalepena – následně je nutné provést zkoušku těsnosti podtlakem a identifikovat netěsná místa, aby se zabránilo konvektivnímu pronikání vlhkosti. V případě, že má být budova zbudována ve vyšší nadmořské výšce nebo větší tloušťkou izolace, může být nutné umístit část izolace nad nosnou konstrukci. V tomto případě se prosím obraťte na distributora. Použití parobrdy s konstantní hodnotou s_d 5 m nelze u ozeleněných střech doporučit (viz obr. 28).

3.3.6 Závěry k použitelnosti

Těž konstrukce plochých střech, které jsou směrem ven difúzně nepropustné, lze dle 3.3.1 provést za použití parobrd INTELLO, INTELLO PLUS a INTESANA i bez kontrolního výpočtu použitelnosti. Použitelnost vně difúzně nepropustných šikmých i plochých střešních konstrukcí s kačirkem a ozeleněných plochých střech byla pro lokalitu Holzkirchen potvrzena pro tloušťky izolace uvedené ve výpočtu a pro smrkový záklop. V případě odlišné konstrukce se obraťte na distributora.

Parobrzdy s konstantní hodnotou s_d 5 m vedou u šikmých střech k výrazně vyššímu obsahu vlhkosti. U počítaných střech s kačirkem a ozeleněných střech je hranice 20% z části znatelně překročena, takže při předpokládaných podmínkách je vznik škody na stavbě pravděpodobný. Veškeré výpočty použitelnosti předpokládají, že konstrukce není zastíněna. U všech stavebních dílů je rozhodující aby byla provedena zkouška těsnosti podtlakem a identifikace netěsných míst, aby se zabránilo konvektivnímu pronikání vlhkosti.

3.4 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. 29). Zdivo má podstatně nižší difúzní odpor než parobrdná 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/m³. Vlákňatá tepelná izolace je instalována v suchém stavu, relativní vlhkost dřeva střešní konstrukce činí 15%. Jako parobrdná a neprodyšná izolace je použita difúzi tlumící PE fólie (hodnota s_d 100 m, u druhé konstrukce je použito pro clima INTELLO s variabilní hodnotou závislou na vlhkosti (hodnota s_d 0,25 až více než 25 m).

3.4.1 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 do sledovanou dobu 4 let pozorovat každoročně nárůst celkového obsahu vody (červená křivka). 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 parobrdou INTELLO může vlhkost unikat do interiéru. Stavební díl je chráněn před akumulací vlhkosti – tato je plynule odváděna do interiéru (zelená křivka). Tím klesá plynule obsah vlhkosti po celé sledované období 4 let.

Konstrukce s INTELLO a DB+ disponují vysokým potenciálem stavební bezškodnosti.

3.4.2 Závěry k boční difúzi

Vlhkost proniká díky boční difúzi u stěny začleněné do tepelně-izolační konstrukce, tak jak je popsána Ruhem (5), Klopferem (6), (7) a Künzelem (8), může být za pomoci INTELLO a DB+ opět odvedena ze stavebního dílu. U konstrukci s malým potenciálem stavební bezškodnosti by mělo být konstrukčními opatřeními zabráněno procesům boční difúze.

3.4.3 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, už 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. 31 až 34).

Vysokovýkonná parobrzda INTELLO poskytuje i u konstrukce stěn podstatný potenciál stavební bezškodnosti. Vypočítáme-li pomocí WUFI pro (10) venkovní stěnu orientovanou na sever s difúzně nepropustným venkovním pláštěm světlé barvy v klimatických

podmínkách Holzkirchenu, poskytuje konstrukce při použití parobrdy INTELLO a INTELLO PLUS stále ještě podstatný bezpečnostní potenciál.

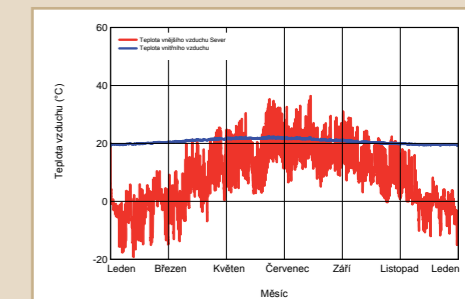
Tím jsou INTELLO a INTELLO PLUS i při venkovním obložení z desek z aglomerovaného dřeva (OSB nebo dřevotříská) ideálním řešením pro vysoký potenciál stavební bezškodnosti. Nebezpečí plísní se znatelně zmenší.

Také v chladnějších klimatických oblastech až po vysokohorské lokality, jako je Davos, jsou konstrukce stěn s konstrukčními vrstvami vně tepelné izolace s hodnotou s_d až 3 m, jako má vysokovýkonná parobrzda INTELLO, bezpečné. V klimatických podmínkách Holzkirchenu smí mít stavební díly nalézající se vně tepelné izolace maximální hodnotu s_d 6 m, v podmínkách Davosu pak maximálně 0,10 m.

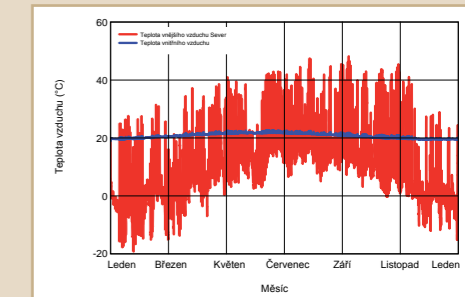
Průběh teploty v Holzkirchenu a Davosu, stěna, omítnutá fasáda světlá

Holzkirchen

31. Teplota severní strany

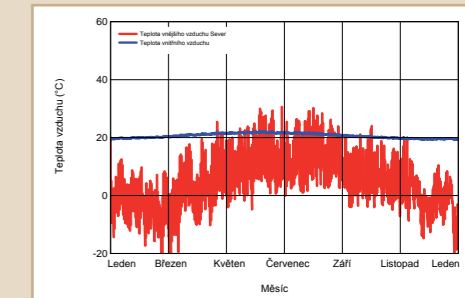


32. Teplota jižní strany

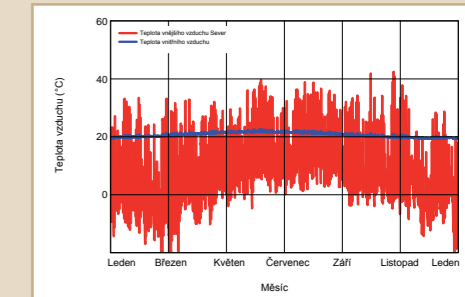


Davos

33. Teplota severní strany



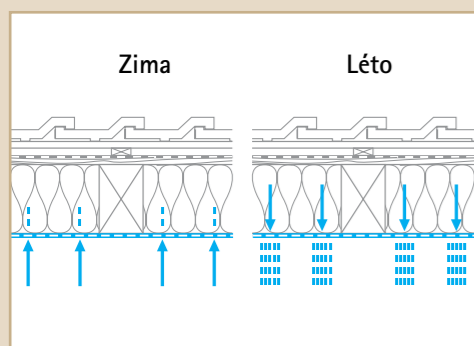
34. Teplota jižní strany



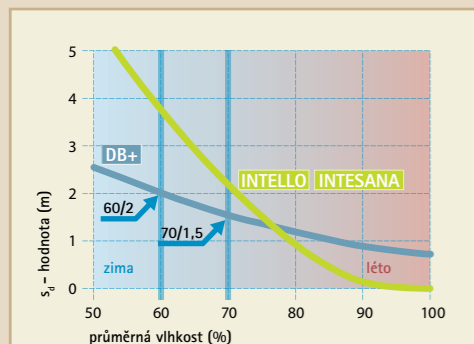
Konstrukční doporučení

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

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



35. Ochrana tepelně izolační konstrukce v novostavbě během fáze výstavby



Hodnota s_d pásoviny se přizpůsobí různým okolním vlhkostem. Dodržení pravidel 60/2 a 70/1,5 zajistí vysoký potenciál stavební bezškodnosti tepelně izolační 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, INTELLO PLUS a INTESANA s obzvláště velkým difúzním odporem závislým na vlhkosti účinným ve všech klimatických oblastech, a již po 20 let osvědčené parobrzd s difúzním odporem závislým na vlhkosti pro clima DB+.

S parobrdami pro clima s vlhkostně proměnlivým difúzním odporem a neprodyšnými pásovinami dosahují konstrukce i při zvýšeném vlhkostním zatížení vysoké bezpečnosti proti stavebním škodám. Předpokladem je, aby konstrukce nebyly zastíněny například stromy, sousedními objekty, solárními panely nebo okolním terémem.

4.2 Vnitřní opláštění

Předpokladem pro vysoké bezpečnostní rezervy je neomezované 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.

Konstrukce s difúzně nepropustnými vrstvami stavebních dílů na venkovní straně by měly být kombinovány výlučně s difúzně propustným interiérovým obložením. Tak se u těchto stavebních dílů dosáhne maximální bezpečnosti před stavební škodou.

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

Dodržení pravidla 60/2 jsou tepelně-izolační konstrukce v novostavbách, které jsou z principu vystaveny vyšší

vlhkosti vzduchu, účinně chráněny. Pro clima INTELLO/INTESANA a DB+ splňují oba tyto požadavky a podporují vysoký potenciál stavební bezškodnosti stavebních dílů.

4.5 Vlhké prostory v obytných prostorách

Vlhké prostory v obytných budovách mají dočasně zvýšenou vlhkost. Parobrzd s proměnnou hodnotou závislou na vlhkosti pro clima INTELLO/INTESANA a DB+ poskytují při dodržení pravidla 60/2 – při 70% prostorové vlhkosti vzduchu a 50% vlhkosti v izolační vrstvě (60% střední vlhkosti) s hodnotou s_d vyšší než 2 m – i pro tyto místnosti optimální ochranu. Tím je konstrukce i při vlhkosti podmíněně podmínkami novostavby a obývání dostatečně chráněna před vniknutím vlhkosti z vzduchu z interiéru a částečně před tvorbou plísní (viz obr. 35).

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 vlhkostnímu zatížení. Hodnoty s_d by měly i u tohoto zvýšeného tlaku vlhkosti být nad 1,5 m. INTELLO/INTESANA má u 70% střední relativní vlhkosti vzduchu (90% prostorové vlhkosti vzduchu a 50% vlhkosti vzduchu v izolaci) hodnotou s_d cca 2 m. (Viz obr. 35)

Tímto mají konstrukce s parobrdou 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 a důsledně odvětrávána trvalým větráním. Vysoušeče pomáhají snižovat vlhkostní zatížení. Tím se zabrání dlouhodobě vysoké vlhkosti vzduchu během fáze výstavby.

4.7 Spodní konstrukce střechy / spodní záklop

Optimální je volba difúzně propustných materiálů na spodní střechu (např. dřevovláknitých desek nebo pásoviny 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 (spodní konstrukce střechy), jako např. asfaltová pásovina, ploché střechy a ozeleněné střechy, jakož i střechy s plechovou krytinou, snižují stavebně fyzikální bezpečnost stavebního 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/INTESANA 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 parobrd pro clima INTELLO/INTELLO PLUS, INTESANA a DB+ 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 obr. 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. Zpravidla 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 vysokovýkonné parobrzd INTELLO/INTESANA 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/INTESANA 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 parobrzd INTELLO/INTESANA. Při podmínkách odlišných od obr. 37 může být nutné umístit část izolace nad nosnou konstrukci. Obě izolační vrstvy pak musí být od sebe vlhkostně-technicky odděleny. V tomto případě se obraťte prosím na distributora.

4.10 Konstrukce šikmé střechy ve vysokohorských podmínkách

Šikmé střechy difúzně nepropustné směrem ven mohou být až do nadmořské výšky 1.200 m bezpečně vybaveny parobrdou INTELLO/INTESANA a mají vysoký potenciál stavební bezškodnosti. Stavební záměry nad 1.200 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. Prosím informujte se o tom u distributora.

4.11 Stěny

Díky nízkému slunečnímu záření mají konstrukce stěn malý potenciál zpětné difúze a tím podmíněně malé bezpečnostní rezervy. Pro stěny platí difúzní odpory na venkovní straně izolace dle obr. 38.

Oblasti použití DB+ a INTELLO/INTESANA

36. Konstrukce šikmých střech

Konstrukce	INTELLO/INTESANA	DB+
Vně difúzně nepropustná konstrukce do 400 mm izolace bez zadního odvětrávání (přezkoušená neprodyšnost, ničím nezastiňovaná, na vnitřní straně žádné brzdící vrstvy)	Do 1.200 m nad mořem	Do 1.000 m nad mořem žádné desky z aglomerovaného dřeva
U konstrukci, které jsou vně difúzně propustné	Bez výškového omezení	Bez výškového omezení

37. Střecha s kačirkem a ozeleněná střecha

Konstrukce	INTELLO/INTESANA	DB+
Plochá střecha s max. 5 cm vrstvou kačírku bez zadního odvětrávání (přezkoušená neprodyšnost, ničím nezastiňovaná, na vnitřní straně žádné brzdící vrstvy)	Do 1.000 m nad mořem	Do 1.000 m nad mořem žádné desky z aglomerovaného dřeva
Ozeleněná střecha s max. 10 cm substrátu bez zadního odvětrávání (přezkoušená neprodyšnost, ničím nezastiňovaná, na vnitřní straně žádné brzdící vrstvy)	Do 800 m nad mořem žádné desky z aglomerovaného dřeva	Bez výškového omezení

U střešních konstrukcí nad výškovou polohu uvedenou na obr. 36 a 37, může použití umožnit doplňková izolace nad nosnou konstrukci – prosím kontaktujte distributora.

38. Stěny

Konstrukce	INTELLO/INTESANA	DB+
Venkovní vrstvy stavebních materiálů u stěn do 700 m nad mořem (na vnitřní straně žádné brzdící vrstvy)	Neomezený difúzní odpor	Difúzní odpor max. 6 m
Venkovní vrstvy stavebních materiálů u stěn nad 700 m nad mořem (na vnitřní straně žádné brzdící vrstvy)	Difúzní odpor max. 3 m	Difúzní odpor max. 0,10 m: Bez výškového omezení
U vně difúzně propustných konstrukci	Bez výškového omezení	

Upozornění

U stavebně fyzikálního hodnocení stěn hraje barva venkovních vrstev rozhodující roli. Ohledně detailů se prosím obraťte na distributora.

Pokládání a zpracování INTELLO, INTELLO PLUS a DB+

Postup kladení

1. Položit / připevnit



2. Navzájem slepit



3. Napojit na štít



4. Napojit na okna



5. Napojit na prostupy



5.1 Izolační materiály deskového a rohožového typu

INTELLO a INTELLO PLUS se klade stranou popisem směrem do místnosti. Položíte-li pásoviny textilní stranou směrem k místnosti, není její stavebně-fyzikální funkce omezena. Lepicí pásky pevně přitlačte například pomocí pro clima PRESSFIX. Slepování je lepší provádět na straně s popisem. 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 – INTELLO PLUS 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 rozstup nosné konstrukce omezen na maximálně 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 a ORCON CLASSIC (pro INTELLO) resp. ECO COLL (pro DB+), lze provést bezpečné napojení na přiléhající minerální stavební díly (např. omítnuté štítové stěny). Napojovací lepicí páska CONTEGA PV s integrovanou omítkovou výztuží slouží k realizaci definitivního napojení na neomítnuté zdivo. Další detaily naleznete v podkladech pro projektování od pro climy.

5.4 Vlákenné foukané izolační materiály

Pro clima DB+ může být použita jako ohraničující vrstva pro foukané 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 průtažnosti vhodná pro použití jako vnitřní ohraničení pro foukané 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. Další detaily naleznete v podkladech pro projektování od pro climy.

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 ve stavebně-fyzikálně náročných a kritických konstrukcích, které jsou např. z venkovní strany difúzně nepropustné, aby bylo zaručeno zpětné vysychání skrze vlhkostně proměnlivé parobrzdy pro clima. Výjimku tvoří kombinované konstrukce z vláknenných izolací mezi dřevěnou nosnou konstrukcí a svrchní střešní izolací z pěnového materiálu. Jako alternativu lze použít vláknenný izolační materiál – v obou případech od sebe musí být obě izolační vrstvy vlhkostně technicky odděleny (například střešní izolační pásovinou).

5.6 Rozměrová stabilita

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

5.7 Mechanická pevnost

INTELLO, INTELLO PLUS 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 musí být především v zimě bezprostředně po instalaci zakryty neprodyšně lepenou parobrzdou. 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 respektive ORCON CLASSIC u omítnutého zdiva a CONTEGA PV u zatím neomítnutého zdiva. Při použití foukaných izolačních materiálů musí být

zejména v zimě izolační materiál zafoukán do určených dutin bezprostředně po položení a přilepení pásoviny.

5.9 Průsvitná struktura

Vysokovýkonná parobrzda INTELLO a INTELLO PLUS je průsvitná, tzn. materiály umístěné za pásovinou jsou zřetelné. INTELLO a INTELLO PLUS není zcela průhledná, takže 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 polyethylencopolymeru a textílie 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, resp. INTELLO PLUS a INTESANA, mají v závislosti na poloze a konstrukci enormě vysoké bezpečnostní rezervy a předchází inteligentním managementem vlhkosti stavebním škodám a tvorbě plísní. I u nepředvídaného vlhkostního zatížení nebo vlhkostního zatížení, kterému se ve stavební praxi nelze vyhnout, mají konstrukce díky vysokým rezervám schnutí vysokovýkonných parobrzdy s proměnnou hodnotou difúzního odporu závislou na vlhkosti, velmi vysoký potenciál stavební bezškodnosti. Vysokovýkonná parobrzda INTELLO, INTELLO PLUS a INTESANA mají obzvláště velkou a ve všech klimatických podmínkách

účinnou proměnlivost difúzního odporu a poskytují tak tepelně-izolačním 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 dle zadání.

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 šikmým střešním konstrukcím.

V souladu s předpoklady DIN 68 800–2 (15) lze při použití parobrzdy s proměnným difúzním odporem v závislosti na vlhkosti upustit od použití chemické ochrany dřeva. Další bezpečnost nabízí pro clima 6-ti letou systémovou zárukou.

S parobrzdnými a vzduchotěsníci pásovinami INTELLO, INTELLO PLUS, INTESANA 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
Tel: +420 326 901 411
Fax: +420 326 901 456
E-Mail: info@ciur.cz

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 parobrd s různou hodnotou s_d .

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

www.pro-clima.cz



CIUR a.s.
Pražská 1012
250 01 Brandýs nad Labem
Česká republika
Tel: +420 326 901 411
Fax: +420 326 901 456
E-Mail: info@ciur.cz



**Literatura – zdroje
s původními názvy**

[1] DIN 4108-7: »Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden – Teil 7: Luftdichtheit von Gebäuden, Anforderungen, Planungs- und Ausführungsempfehlungen sowie –beispiele«, Beuth-Verlag, Berlin, 01/2011

[2] DIN 4108-3: »Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden – Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz; Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung«, Beuth-Verlag, Berlin, 07/2001

[3] Tagung Schimmelpilze im Wohnbereich: »Schimmelpilz aus bauphysikalischer Sicht – Beurteilung durch aw-Werte oder Isolethensysteme?«, Klaus Sedlbauer, Martin Krus, Fraunhofer IBP, Holzkirchen, 26.06.2002

[4] DIN EN 15026: »Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen – Bewertung der Feuchteübertragung durch numerische Simulation«, Beuth-Verlag, Berlin, 07/2007

[5] WUFI Pro 4.2: »Berechnung des ein-dimensionalen hygrothermischen Verhaltens von Baukonstruktionen unter realen Bedingungen«, Fraunhofer IBP, Holzkirchen, 08/2008

[6] WUFI 2D 3.2: »Berechnung des zwei-dimensionalen hygrothermischen Verhaltens von Baukonstruktionen unter realen Bedingungen«, Fraunhofer IBP, Holzkirchen

[7] Delphin 5: »Numerisches Simulationsprogramm für den gekoppelten Wärme-, Feuchte- und Stofftransport«, Institut für Bauklimatik, Fakultät Architektur, TU Dresden, Dresden

[8] DIN EN ISO 12572: »Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Baustoffen und Bauprodukten – Bestimmung der Wasserdampfdurchlässigkeit«, Beuth-Verlag, Berlin, 09/2001

[9] WTA Merkblatt 6-2-01/D: »Simulation wärme- und feuchtetechnischer Prozesse«, Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. -WTA-Referat 6 Physikalisch-Chemische Grundlagen, München, 05/2002

[10] Studie: »Berechnung des Bauschadensfreiheitspotenzials von Wärmedämmkonstruktionen in Holz- und Stahlbauweise«, Moll bauökologische Produkte GmbH, 08/2006

[11] Deutsche Bauzeitung; Heft 12/89, Seite 1639 ff.

Sanační řešení s vysokou bezpečností

Literatura	36
Úvod	38
Část A. Funkčně-technické umístění neprodyšné izolace v konstrukcích	38
Zlaté pravidlo 1/3 k 2/3	38
Zdroje průniku vlhkosti	38
Výpočetní modely difúzních procesů	39
Výpočet dle DIN 4108-3 (2)	39
a) Postup dle Glasera	39
b) postup dle Glasera s Jenischovými klimatickými údaji	39
Výpočet dle DIN EN 15026 (4)	39
Výpočtové modely pro konvektivní průnik	40
Nárůst množství vlhka následkem vnitřní konvekce	40
Zledovatělé vrstvy jsou parozábranami	40
Hodnota s_d a hodnota μ	40
Nepřesnosti měření u vysoce difúzně propustných materiálů	41
Vyhodnocení vlhkostních vlivů, definice kritéria stavební bezškodnosti	41
Zkoumané konstrukce	42
Případ 1: 35 mm spodní záklopová deska z dřevovláknna	43
Případ 2: řešení 1:1	43
Případ 3: řešení 2:1	43
Případ 4: řešení Sub-and-Top	43
Diskuze o výsledcích	43
Výpočty	44
35 mm dřevovláknitá deska jako svrchní střešní izolace. Bez neprodyšné izolační vrstvy (např. sádrokartonové desky) zevnitř (případ 1a)	44
35 mm dřevovláknitá deska jako svrchní střešní izolace. S perfektní neprodyšnou izolační vrstvou (např. sádrokartonovou deskou) zevnitř (případ 1b)	44
Řešení 1:1. Bez neprodyšné izolace (např. sádrokartonové desky) zevnitř (případ 2)	45
Řešení 2:1. Bez neprodyšné izolace (např. sádrokartonové desky) zevnitř (případ 3)	45
Neprodyšně izolující pásoviny s monolitickou funkční vrstvou	46
Řešení Sub-and-Top. Bez neprodyšné izolační vrstvy (např. sádrokartonové desky) zevnitř (případ 4)	46
Závěr porovnání vně umístěné neprodyšné vrstvy s neprodyšnou a parobrzdou izolační vrstvou umístěnou na straně interiéru	47
10 bodů vedoucích k trvale bezpečné konstrukci	47
Část B. Porovnání Sub-and-Top potenciálu stavební bezškodnosti u parobrzd s různou hodnotou s_d	48
Srovnávací pohled na rezervy zpětného vysychání	48
Výpočet potenciálu stavební bezškodnosti	49
Zkoumané konstrukce	49
Případ 1: Difúzně otevřená spodní konstrukce střechy	49
Případ 2: Záklop spodní konstrukce střechy z 60 mm dřevovláknitě desky	49
Případ 3: Záklop spodní konstrukce střechy z 50 mm polyuretan	49
Diskuze o výsledcích	50
Závěr porovnání parobrzdových a neprodyšně izolujících systémů instalovaných metodou Sub-and-Top	50
Cíl stavby 101	
8 bodů vedoucích k trvale bezpečné konstrukci a zpracování	51

Neprodyšnost stávajících střešních konstrukcí – jaké možnosti zlepšení 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 tepelně izolační vrstvy během velmi krátké doby velké množství vlhkosti, a tím ohrozit nosnou konstrukci jakož i tepelnou izolaci v její funkci. Toto vede často k tvorbě plísni a omezení funkce konstrukce. U stávajících střešních konstrukcí se nabízí otázka, jakými možnostmi lze zpravidla zlepšit nekvalitní neprodyšnost společně s větší tloušťkou tepelně 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 pod bodem 5 (plánování a provedení) 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

vyšokou 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

Zlaté pravidlo 1/3 k 2/3

DIN 4108-3 (2) odkazuje na tzv. 20% - pravidlo, které říká, že bez výpočetního důkazu může být umístěno 20% celkového odporu tepelné propustnosti (při konstantních skupinách tepelné vodivosti uvnitř konstrukcí je to 1/5 tloušťky tepelně 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 cca 1/3 celkové tloušťky tepelně izolačního materiálu hodnoty pod teplotou rosného bodu (9,2°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°C a 50 °C dosaženy podmínky pro růst téměř všech plísní (3).

Navíc může u neprodyšné izolační pásoviny umístěné v promrzávající části 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 dojít k další tvorbě škodlivé 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 blíží nestacionární výpočet pomocí charakteristických reálných klimatických údajů a údajů o stavebních hmotách dle DIN EN 15026 (4).

Transporty vlhkosti díky konvekci nejsou vypočítatelné a vedou mnohdy k množství vlhkosti v konstrukci, která může být v porovnání s difúzí mnohem 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 přízpusobených klimatických podmínek. Obě metody uvedené v DIN 4108-3 neumožňují detailní pozorování proudění tepla a vlhka. Není možné určit obsah vlhkosti dosažených materiálů. Postup podle Glasera slouží ve stavebnictví po desítky let pouze k 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.

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 pojmout 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 (u postupu dle Glasera u - 10 °C) a v létě

dle regionu kolem 18 °C (u 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.

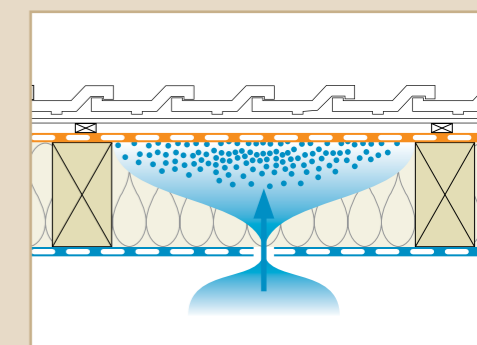
Výpočet dle DIN EN 15026 (4)

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, absorpce, 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

Obr. 2.

Průnik vlhka do tepelně izolační vrstvy netěsnostmi



Přes 1 mm širokou spáru může 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

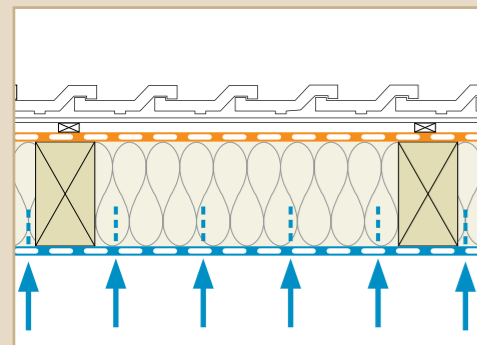
Nestacionární modely

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

Difúzní procesy lze spolehlivě vyhodnotit

Obr. 1.

Vliv vlhkosti na tepelně-izolační konstrukci v zimě

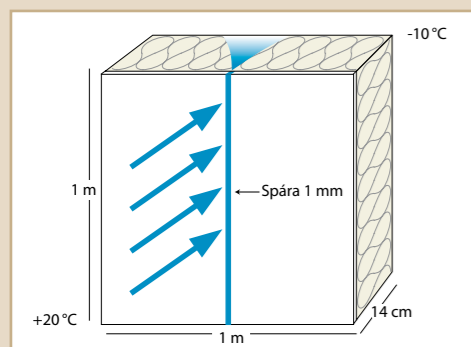


Přes parobrzdnou a neprodyšnou izolační vrstvu s hodnotou s_d 3 m pronikne do konstrukce jen 5 g vody na 1 m² denně.

Průnik vlhka do konstrukce netěsnostmi v parobrzdě

Obr. 3.

1 mm spára = 800 g/24hod
na 1 m délky spáry



Transport vlhkosti
skrz parobzdú: 0,5g/m x 24 hod,
skrz 1 mm spáru: 800 g/m x 24 hod
zvýšení o faktor: 1.600

Okrajové podmínky:
parobrzda 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 konvekce jsou vyšší. Vysoké hodnoty μ zvýhodňují tvorbu kondenzátu.

Výpočtové modely pro konvekční průnik

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. Od verze WUFI pro 5.0 je pro výpočet konvekčního pronikání vlhkosti k dispozici model vzduchové infiltrace. Na základě výměny se vzduchem v interiéru dokáže simulovat konvekční pronikání vlhkosti. Toto však předpokládá, že jsou známy netěsnosti v konstrukci, protože to slouží ke kvantifikaci průniku vlhkosti.

Při sanaci lze kvalitu vnitřního opláštění jen velmi zřídka přesně zjistit. To má však rozhodující vliv na průnik vlhka difúze a konvekce.

Z důvodu bezpečnosti stavebního dílu se proto vypočítává transport vlhkosti netěsnostmi konstrukce, přičemž difúzi parobrzdné vrstvy nebo vnitřní obložení zůstávají nezohledněné. Jelikož se jedná pouze o difúzní proudění a chybí pohon z rozdílu tlaků, jsou ve skutečnosti vlhkostní zatížení konvekce podstatně vyšší. Při proudění vzduchu netěsnostmi se průnik vlhka soustřeďuje na malou plochu.

Tímto je průnik mnohonásobně vyšší než jej lze znázornit výpočtovými výsledky. Konvekce může do tepelně-izolační konstrukce proniknout spárou o šíři 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 izolační pásoviny pro použití bez záklopu, když navíc difúzní proud slabého 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 konstrukci. 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 parobrzdami

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 znemožnění vysychání konstrukce směrem ven dochází k další tvorbě velmi velkého množství kondenzátu, který též zamrzá. 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 brzdný 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 střeš dojít k tvorbě kondenzátu.

Mikroporézní pásoviny umožňují mnohem méně vysychání vlhkosti, než by se mohlo zdát, na základě hodnoty μ a hodnoty s_d . Důvodem je malý/chybějící tlakový rozdíl tenkého stavebního dílu za proměnlivých klimatických podmínek.

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, takže se můžeme soustředit na rozdíly v relativní vlhkosti vzduchu. Tyto jsou naštěstí 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

střeš 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 DASAPLANO 0,01 connect – nebezpečí tvorby kondenzátu se snižuje. U mikroporézni membrán dochází oproti tomu při tvorbě kondenzátu ke snížené schopnosti difúze. Vlhkost může proniknout skrz pásoviny 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 (tzn. s hodnotou s_d < 0,1 m). Z popsanych důvodů musí být do normy DIN 4108-3, pro 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 popsany na obr. 1 + 2 může 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 tzv. „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 plísní, 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 plísní v době zvýšeného obsahu vlhkosti se pohybuje v oblasti mezi 0 °C a 50 °C. Ideální teplotou pro růst je cca 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 plísní 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 plísní. Tyto mezni podmínky mají vliv na výši potřebné relativní vlhkosti vzduchu, respektive teploty, která je potřebná pro tvorbu plísní.

Teploty podléhají v rytmu den-noc výkyvům, které mohou vést k tomu, že po určitou dobu nepanují podmínky vhodné pro růst plísní. 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%.

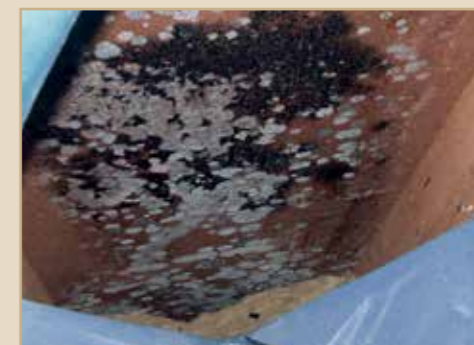
Kritérium pro konstrukci ohroženou možným růstem plísní může být definováno následně:

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.

Obr. 4.

Plísně rostou také za nepříznivých okolních podmínek



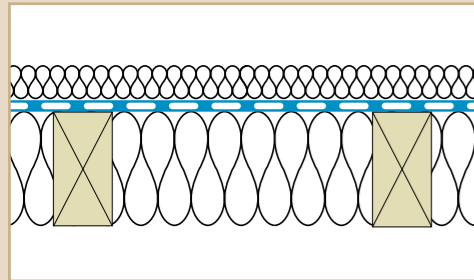
Sedlbauer a Krus (3) udávají pro dosažení podmínek pro růst téměř všech druhů plísní relevantních pro stavební prostory relativní vlhkost vzduchu 80%. Optimální oblast leží dle druhu plísně mezi 90% a 96% relativní vlhkosti vzduchu.

Čtyři konstrukce v porovnání

Případ 1: 35 mm dřevovláknna jako svrchní izolace střechy

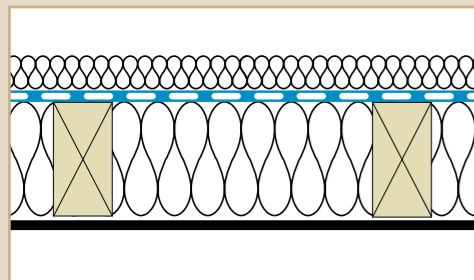
Konstrukce s vnější neprodyšnou izolační vrstvou.

Obr. 5 1a: Bez neprodyšné izolace uvnitř



- dřevovláknitá záklopová deska 35 mm
- difúzně propustná neprodyšná izolace ($s_d = 0,02$ m)
- vláknitá nesorpční izolační hmota minerální vata 120 mm
- bez vnitřního záklopu

Obr. 6 1b: Bez neprodyšné izolace uvnitř



- dřevovláknitá záklopová deska 35 mm
- difúzně propustná neprodyšná izolace ($s_d = 0,02$ m)
- vláknitá nenasávající izolační hmota minerální vata 120 mm
- se sádrokartonovou deskou

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.
 - a. Výška krokví: 12 cm s plnou izolací mezikrokevního prostoru z vláknité izolace, např. minerální vaty (objemová hmotnost = 60 kg/m³)
 - Izolační materiál schopný sorpce (např. dřevovláknno nebo celulóza)
 - Izolační materiál neschopný sorpce (např. minerální vata) (objemová hmotnost = 60 kg/m³)

Izolační materiály schopné sorpce poskytují další výhody pro bezpečnost. Jsou schopné vyrovnávat vlhkostní špičky na přechodových vrstvách ve stavebním dílu. To se děje například u dřevovláknitých nebo celulózových izolačních materiálů akumulací vlhkosti v buňkách obsaženého dřevitého podílu.

Klima interiéru se stanovuje dle předpokladů návodu WTA 6-2-01-D (9) (obsaženo ve WUFI) s normální vlhkostní 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 sádrokartonovou deskou (tloušťky 10 mm) a bez sádrokartonové desky, aby bylo možné zohlednit vliv záklopu z palubek, respektive nedostatečně neprodyšného vnitřního záklopu.

Případ 1: 35 mm dřevovláknno: (obr. 5 + 6)

Přeizolování krokví pomocí desek z měkkého dřevovláknna 35 mm, pod nimi umístěná difúzně propustná neprodyšná izolační vrstva ($s_d = 0,02$ m). Mezikrokevní izolace z nesorpčního materiálu.

(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: Řešení 1:1 (obr. 7)

Neprodyšně izolující vrstva leží mezi dvěma stejně silnými vrstvami izolace: 50% tepelné izolace před neprodyšně izolující vrstvou – 50% tepelné izolace na krokvích. Obě tepelné izolace mají stejný koeficient tepelné vodivosti λ . Přeizolování krokví pomocí dřevovláknna 120 mm, pod tím vprostřed umístěná difúzně propustná neprodyšná izolační vrstva ($s_d = 0,02$ m). Mezikrokevní izolace z nesorpčního materiálu.

(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: Řešení 2:1 (obr. 8)

Přeizolování krokví pomocí dřevovláknna 60 mm, pod tím umístěná difúzně propustná neprodyšná izolace ($s_d = 0,02$). Mezikrokevní izolace ze sorpčního materiálu (např. dřevovláknna nebo celulózy) o tloušťce 120 mm.

Fall 4: Případ 4: Řešení Sub-and-Top (obr. 9)

Neprodyšně izolující vrstva se položí smýčkovitě (Sub-and-Top) na vnitřní záklop a přes nosnou konstrukci. Přeizolování krokví pomocí 35 mm dřevovláknna, uvnitř umístěná neprodyšná izolace, uložená způsobem Sub-and-Top (s_d proměnné v závislosti na vlhkosti 0,05 – 2,0 m). Mezikrokevní izolace z nesorpčního materiálu.

Diskuze o výsledcích:

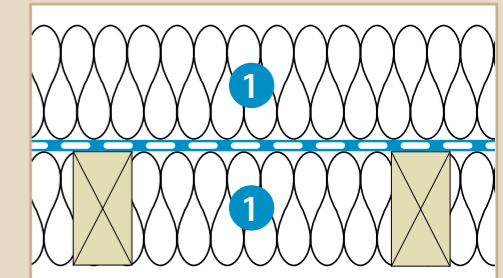
Zjišťovaná vlhkostní situace na přechodové ploše. K tomuto účelu

- se vypočítává vlhkost vzduchu v závislosti na panující teplotě v přechodové oblasti neprodyšně izolující pásoviny (případ 1, 3, 4) resp. dřevovláknitě desky (případ 2).
- obsah vody v tepelné izolaci na přechodové vrstvě.

Cíl:

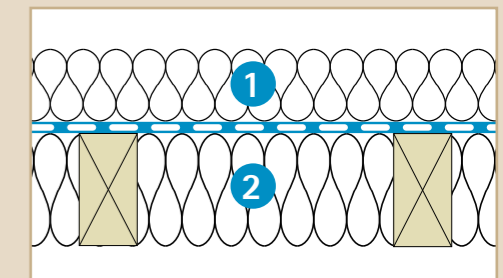
Uvnitř tepelně-izolační konstrukce dochází k vysoké relativní vzdušné vlhkosti resp. obsahu vlhkosti na přechodové vrstvě mezi různými materiály s rozdílnými hodnotami μ . Obsah vody ve vnější vrstvě tepelné izolace (1 mm) a relativní vzdušná vlhkost by se neměly výrazně zvýšit.

Obr. 7 Případ 2: Řešení 1:1



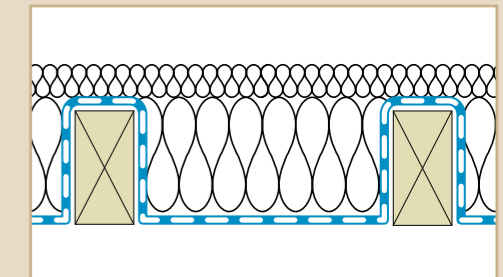
- dřevovláknitá záklopová deska 120 mm
- difúzně propustná neprodyšná izolační vrstva ($s_d = 0,02$ m)
- vláknitý nesorpční izolační materiál 120 mm

Obr. 8 Případ 3: u sorpčních izolačních materiálů a pravidla 2:1



- dřevovláknitá záklopová deska 60 mm
- difúzně propustná neprodyšná izolační vrstva ($s_d = 0,02$ m)
- vláknitý sorpční izolační materiál 120 mm

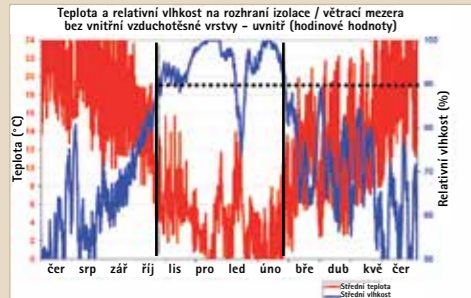
Obr. 9 Případ 4: Řešení Sub-and-Top



- dřevovláknno 35 mm
- neprodyšná izolace položená způsobem Sub-and-Top (s_d = proměnná v závislosti na vlhkosti 0,05 – 2,0 m)
- vláknitý izolační materiál 120 mm

Obr. 10 + 11

Výsledek pro případ 1a: 35 mm deska z měkkého dřevovláknna: vnější neprodyšná izolace, vnitřní záklop se spárami.



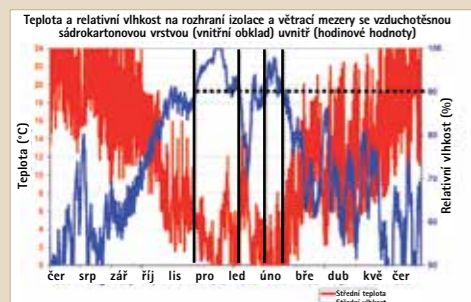
Vlhkost během 157 dní > 90% relativní vlhkosti vzduchu, během 15 dní kondenzace => vysoká pravděpodobnost tvorby plísní



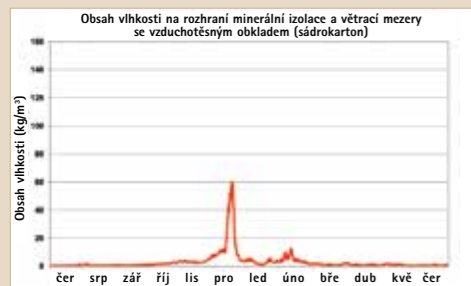
Maximální obsah vlhkosti na rozhraní vrstev během více měsíců zvýšený – přes 150 kg/m³

Obr. 12 + 13

Výsledek pro případ 1b: 35 mm deska z měkkého dřevovláknna: vnější neprodyšná izolace, neprodyšný vnitřní záklop.



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

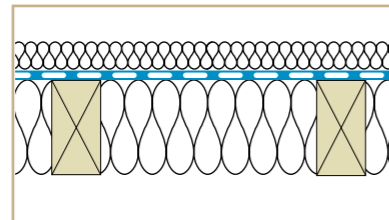


Maximální obsah vlhkosti na rozhraní vrstev déle než jeden měsíc zvýšený – přes 60 kg/m³

Výpočty:

35 mm dřevovláknno jako vrchní střešní izolace. Bez vnitřní neprodyšné izolační vrstvy (např. sádrokartonová deska), (případ 1a)

Konstrukce s vnější neprodyšně izolující vrstvou.



- dřevovláknitá záklopová deska 35 mm
- difúzně propustná neprodyšná izolační vrstva ($s_d = 0,02$ m)
- vláknitý nesorpční izolační materiál 120 mm

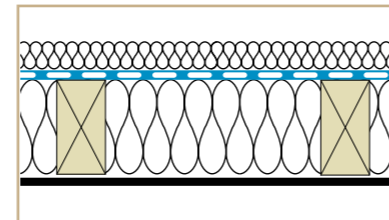
Tento případ simuluje konstrukce s nedokonalou neprodyšností u sádrokartonových desek, omítnutých ploch dřevěných záklopů z palubek.

Takovéto konstrukce obsahují dle výsledku zobrazeného na obr. 10 + 11 na rozhraní mezi vrstvami velmi vysokou relativní vzdušnou vlhkost, větší než 90% až po oblast tvorby kondenzátu. Během 157 dnů v roce je relativní vzdušná vlhkost na rozhraní vrstev nad 90% – během 15 dní dochází dokonce k tvorbě kondenzátu. Existuje velmi vysoké nebezpečí tvorby kondenzátu, jelikož vysoká relativní vzdušná vlhkost je v časové souvislosti s teplotami vysoko na 0°C. Obsah vody nastoupá na rozhraní vrstev až nad 150 kg/m³.

U takovýchto konstrukcí s nedokonalou neprodyšností existuje nebezpečí stavební škody.

35 mm dřevovláknno jako vrchní střešní izolace. S bezvadnou vnitřní neprodyšnou izolační vrstvou (např. sádrokartonová deska), (případ 1b)

Konstrukce s vnější neprodyšně izolující vrstvou.



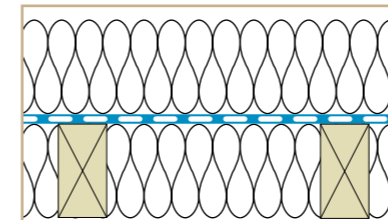
- dřevovláknitá záklopová deska 35 mm
- difúzně propustná neprodyšná izolační vrstva ($s_d = 0,02$ m)
- vláknitý nesorpční izolační materiál 120 mm
- sádrokartonová deska (neprodyšná) 10 mm

Je-li v konstrukci celoplošný vnitřní záklop ze sádrokartonových desek, bude se pro účely výpočtu považovat za neprodyšný. Pronikání vlhkosti do konstrukce se děje výlučně difúzí.

Konstrukce vykazuje dle obr. 12 během 84 dní v roce velmi vysokou relativní vzdušnou vlhkost nad 90% – během 6 dní dochází dokonce k tvorbě kondenzátu. Tepelná izolace je krátkodobě v přechodové vrstvě k neprodyšně izolující pásovině zatížena až 60 kg/m³ vlhkosti (obr. 13). U této konstrukce existuje i přes funkční vnitřní neprodyšný záklop zvýšená pravděpodobnost tvorby plísní na rozhraní vrstev izolačního materiálu – neprodyšná pásovina.

Řešení 1:1
Bez vnitřní neprodyšné izolační vrstvy (např. sádrokartonová deska), (případ 2)

Konstrukce s neprodyšnou izolační vrstvou umístěnou uprostřed bez vnitřního záklopu.

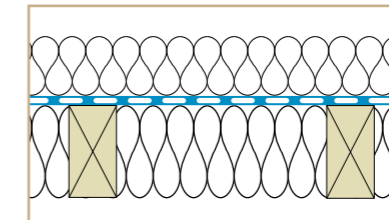


- dřevovláknitá záklopová deska 120 mm
- difúzně propustná neprodyšná izolace ($s_d = 0,02$ m)
- vláknitý nesorpční izolační materiál 120 mm

Je-li umístěno 50% tepelné izolace (celkového tepelného odporu) před neprodyšnou izolační vrstvou, vyskytuje se relativní vzdušná vlhkost nad 90% jen během jednoho týdne v zimním období (viz obr. 14). Nedochází k tvorbě kondenzátu. Na rozhraní vrstev nevzniká žádné zásadní množství vlhkosti (viz obr. 15). Má-li konstrukce neporušený vnitřní záklop, je relativní vzdušná vlhkost 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.

Řešení 2:1
Bez vnitřní neprodyšné izolační vrstvy (např. sádrokartonová deska), (případ 3)

Konstrukce s jedním dílem nad krokviemi a dvěma díly mezi krokviemi.



- dřevovláknitá záklopová deska 20 mm
- difúzně propustná neprodyšná izolace ($s_d = 0,02$ m)
- vláknitý sorpční izolační materiál (celulóza) 120 mm

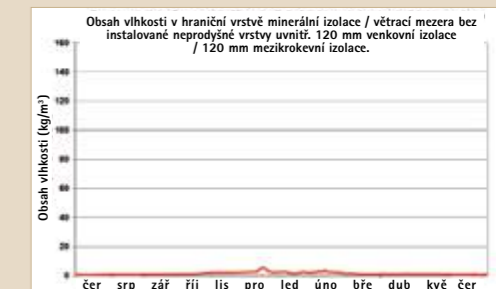
Použijí-li se izolační materiály, které jsou schopné krátkodobě akumulovat vlhkost díky sorpci, lze stanovit poměr rozdělení izolačního materiálu na vrchní střešní izolaci a mezikrokevní izolaci na 1/3 do nadkrokevní izolace a 2/3 do mezikrokevní izolace. Předpokladem je, aby oba izolační materiály měly stejný koeficient tepelné vodivosti. U uvedeného příkladu jsou od sebe obě vrstvy izolačního materiálu – 120 mm mezikrokevní izolace a 60 mm vrchní střešní izolace – odděleny neprodyšně izolující pásovinou. U této konstrukce se na rozmezí vrstev vyskytuje po delší dobu obsah vlhkosti nad 90%. Částečně je tato hranice i překročena. Díky sorpčním vlastnostem, např. celulózy nebo dřevovláknna, lze tento obsah vlhkosti tolerovat (obr. 16). Obsah vlhkosti na rozhraní vrstev mezi izolační vrstvou a neprodyšnou pásovinou není kritický (obr. 17). Při sanaci může nesorpční materiál (minerální vata), který je již instalován v konstrukci, zůstat, když lze její vrstvu doplnit k neprodyšně izolující vrstvě (svrchní hrana krokvi) o minimálně 40 mm sorpčním izolačním materiálem (např. celulózu nebo dřevovláknem).

Obr. 14 + 15

Výsledek pro případ 2: Řešení 1:1, neprodyšná vrstva instalovaná uprostřed, vnitřní záklop se spárami



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



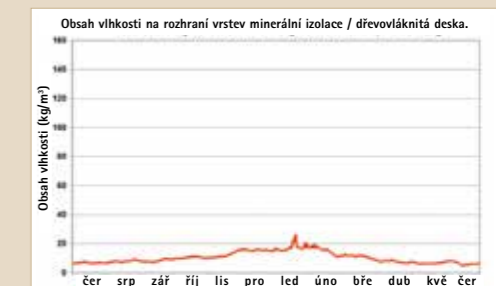
Jen velmi malý obsah vlhkosti na rozhraní vrstev.

Obr. 16 + 17

Výsledek pro případ 3: Řešení 2:1, neprodyšná vrstva uvnitř izolační vrstvy, vnitřní záklop se spárami



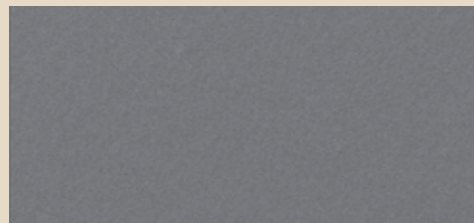
Vlhkost během 45 dnů > 90% bez kondenzátu => se sorpčním materiálem plísně velmi nepravděpodobně.



Obsah vlhkosti na rozhraní vrstev v nekritických hodnotách.

Obr. 18

Zvětšenina monolitického neporézního funkčního filmu pásovin DASAPLANO



Aktivní transport vlhkosti podél molekulárních řetězců zvyšuje schopnost vysychání.

Obr. 19

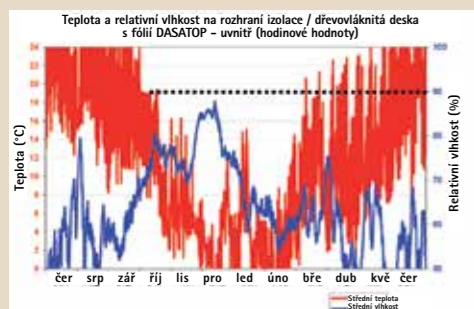
Zvětšenina mikroporézního funkčního filmu



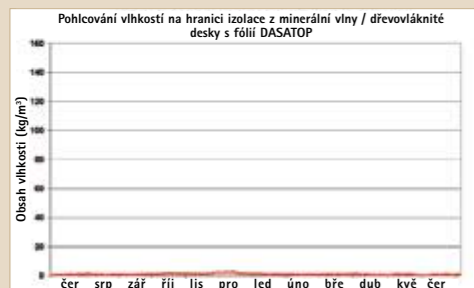
Pasivní transport vlhkosti skrz póry (výměna plynů) zvětšuje nebezpečí tvorby ledu ve stavebním dílu.

Obr. 20 + 21

Výsledek pro případ 4: Řešení Sub-and-Top, vnitřní neprodyšná vrstva, vnitřní záklop se spárami



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



Obsah vlhkosti na rozhraní vrstev v nekritických hodnotách.

Neprodyšně izolující pásovinu s monolitickou funkční vrstvou

V případě, že bude neprodyšná izolační vrstva umístěna nad krokve tak, jak je popsáno v případě 2 (řešení 1:1) resp. případě 3 (řešení 2:1), měla by být použita difúzně propustná neprodyšná pásovinu s vlhkostně proměnlivou hodnotou difúzního odporu s monolitickým funkčním filmem. Pásovinu pro clima DASAPLANO disponují příslušným filmem z monolitické polymerové směsi a poskytují konstrukci následující výhody:

– Neprodyšnost

Monolitický funkční film pásovin DASAPLANO zaručuje 100% neprodyšnost. Oproti běžným neprodyšně izolujícím pásovinám s mikroporézním filmem (obr. 19) je DASAPLANO absolutně neporézní (obr. 18).

– Difúzní propustnost

Monolitický funkční film umožňuje aktivní transport vlhkosti skrz materiál pásovinu. Vznikne-li na vnitřní straně kondenzát v kapkovité podobě na pásovině DASAPLANO, je tento podél molekulárních řetězců aktivně transportován směrem ven. Tím se výrazně sníží nebezpečí tvorby ledu (= parozábrana) na neprodyšně izolující pásovině oproti pásovině s mikroporézním funkčním filmem.

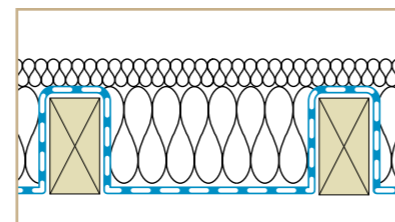
– Vlhkostní proměnlivost

Funkční film DASAPLANO 0,01 connect má vlhkostně proměnlivé vlastnosti. Tím se sníží difúzní odpor pásovinu při tvorbě kondenzátu až na hodnotu s_d pod 0,01 m. To je optimální prevencí proti běžnému zvýšení difúzního odporu, například uzavřením pórů vodou.

V případě, že má být pásovinu položena nad krokve, poskytují pásovinu DASAPLANO při aplikaci řešení 1:1, resp. 2:1, v porovnání s mikroporézními pásovinami znatelně vyšší bezpečnost stavebního dílu.

Řešení Sub-and-Top Bez vnitřní neprodyšné izolační vrstvy (např. sádkartonová deska), (případ 4)

Konstrukce s neprodyšnou izolační vrstvou uvnitř bez vnitřního záklopu.



- dřevovláknitá záklopková deska 35 mm
- neprodyšná izolační vrstva položená způsobem Sub-and-Top (s_d = proměnná v závislosti na vlhkosti 0,05 – 2,0 m)
- vláknitá izolační hmota 120 mm

Kladení sanační parobrzdy DASATOP způsobem Sub-and-Top vytvoří bezpečnou neprodyšnost a chrání tepelnou izolaci ve všech vrstvách díky proměnlivé hodnotě s_d 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 dřevovláknitá na neškodlivé úrovni. Vrchol vlhkosti ve výši 85% je dosažen jen velmi krátce při teplotách kolem bodu mrazu (viz obr. 20). Za těchto okolních podmínek nemohou plísně ani vzniknout (viz obr. 21).

Konstrukce s DASATOP nejsou při neprodyšném položení a slepení vystaveny žádnému nebezpečí tvorby plísní ve stavebním dílu. Poskytují nejvyšší bezpečnost tepelně izolačnímu materiálu a konstrukci.

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

Výpočty s nestacionárním simulačním postupem umožňují znázornění rizik a tvorby kondenzátu a umožňují závěry k potenciálu stavební bezškodnosti konstrukce. Pozorujeme-li konstrukce s vně umístěnou neprodyšnou vrstvou bez dostatečného vnějšího tepelného zaizolování, ukazuje výsledek relativní vzdušnou vlhkost nad 90% a vysokou tvorbu kondenzátu na rozhraní vrstev tepelné izolace a neprodyšné izolace. Vzniká nebezpečí 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 zdívu 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 pásovinu 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 (řešení 1:1), klesne relativní vlhkost vzduchu na rozhraní vrstev pod kritické hodnoty. Při tomto postupu mohou být mezi krokve použity veškeré vláknité izolační materiály. Alternativně lze při použití sorpčních izolačních materiálů, jako např. dřevovláknitá a celulóza, snížit tloušťku vrchní střešní izolace na 1/3 celkové tloušťky izolace (řešení 2:1). Je-li již v konstrukci tepelná izolace umístěna, musí být minimálně 40 mm tloušťky izolace před neprodyšně izolující vrstvou ze sorpčního izolačního materiálu. Obě představená řešení byla zjištěna na základě různých kvalit dřevovláknitých

desek, které se nachází na trhu. Výrobci desek mohou doporučovat jiné skladby konstrukce, které se liší od těchto představených konstrukcí. Výrobci mají přesné znalosti o technických vlastnostech svých výrobků, takže potřebná tloušťka izolace může být menší. V případě, že se stavební díly budou odlišovat od našich údajů, obraťte se prosím na dodavatele/ výrobce dřevovláknitých záklopkových desek, aby Vám doporučil konstrukci.

Nejbezpečnějším řešením je v porovnání konstrukce se střešní sanační parobrzdou DASATOP položenou způsobem Sub-and-Top. Tato pásovinu může být kombinována se všemi vláknitými izolačními materiály. Tepelná izolace je díky parobrzdě s hodnotou s_d až 2 m instalovaná na vnitřní straně konstrukce dostatečně chráněná před zvlhnutím z interiéru. Na žádném místě v rámci konstrukce se nevyskytují hodnoty kritické pro tvorbu plísní. S pásovinou DASATOP není nutné vybavit stavební díl na ochranu před škodlivou tvorbou kondenzátu doplňující vrchní střešní izolaci.

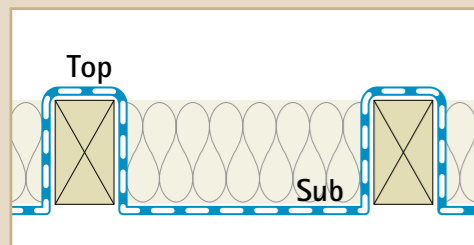
10. Bodů vedoucích k trvale bezpečné konstrukci

1. Za optimálně bezpečné se považují konstrukce, které dodržují pravidlo parobrzdné izolační vrstvy a neprodyšné izolační vrstvy 1/3 k 2/3 (1/3 uvnitř, 2/3 vně).
v teplé oblasti (teplejší než teplota rosného bodu). Na krokvicích dokáže nastavit difúzní odpor pásovinu pro použití bez záklopu.
2. Čím více je umístěna neprodyšná izolační vrstva směrem k interiéru, o to bezpečnější jsou konstrukce. Čím dále směrem k venku se nachází neprodyšná izolační vrstva, tím problematictější 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 pásovinami DASATOP nabízí největší potenciál stavební bezškodnosti se všemi vláknitými izolačními materiály nalézajícími se pod tepelnou izolací
5. Použijí-li se sorpční materiály, jako např. dřevovláknitá nebo celulóza, lze řešení 2:1 ve spojení s neprodyšně izolující pásovinou s vlhkostně aktivní, neprodyšnou, monolitickou membránou s DASAPLANO 0,01 connect, použít jako neprodyšně izolující vrstvu.
6. Konstrukce s nesorpčními izolačními materiály, jako např. minerální vatou, lze považovat za bezpečné, je-li za neprodyšně izolační vrstvou směrem do interiéru umístěno 50% celkového tepelného odporu.
7. U případu 2 a případu 3 je výhodné použití neprodyšně izolační pásovinu s monolitickou membránou, např. DASAPLANO 0,01 connect, která dokáže aktivně transportovat vlhkost
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 neprodyšně izolačních pásovin musí být velmi přesně dodržen a platit i u relativně vysoké vlhkosti.
10. Neprodyšná vrstva by se dle možnosti měla nalézat v nepromrzajícím prostoru.

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

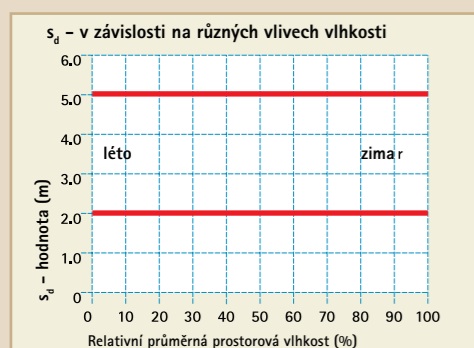
Obzvláštní bezpečnost při sanaci s pásovinami s hodnotou s_d proměnou v závislosti na vlhkosti, kladenými způsobem Sub-and-Top

Obr. 22
Princip Sub-and-Top



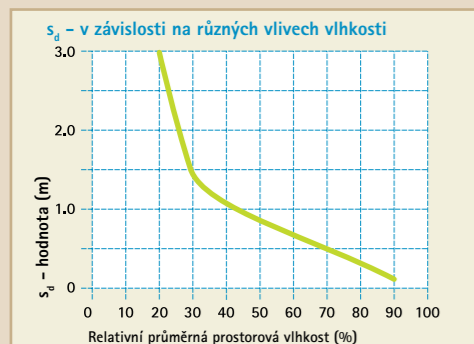
V prohlubni (Sub) difúzně nepropustnější: ochrana před vlhkostí. Na krokvičích (Top) vysoce difúzně propustné: rychlé vysychání směrem ven

Obr. 23
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

Obr. 24
DASATOP hodnota s_d 0,05 m až 2 m



V suchém okolí:
hodnota s_d 2 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 pásovinové systémy s řešeními, která jsou zároveň difúzně brzdicí.

V následném vypracování budeme pozorovat pouze řešení čistě způsobem 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 parobrdy DASATOP lze tuto hodnotu vykazovat v rozmezí mezi 0,05 a 2 m (viz obr. 24) dle toho, jaká relativní vlhkost vzduchu se vyskytuje v bezprostřední blízkosti pásovin. 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 na obr. 23.

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 umožňovaly vyschnutí co největšího množství vlhkosti z krokvi. Parobrdy s proměnou hodnotou v závislosti na vlhkosti určené 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 ($\text{kg}/\text{m}^2 \times \text{h}$), bude zřetelná výkonnost různé nepropustných pásovin.

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

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

Hodnoty W_{DP} pro různé hodnoty s_d

hodnota s_d (m)	W_{DP} ($\text{g}/\text{m}^2 \times 24 \text{ h}$)
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 snižuje 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_e díky reálnému klimatu použitému ve výpočtu v závislosti na poloze konstrukce neustále mění. Pro situaci vysychání jsou například hodnoty na obou stranách pásovinové 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 krokvi k tvorbě kondenzátu. Tento kondenzát musí mít možnost vyschnout skrz materiál pásovinové konstrukce ven. Za tímto účelem je nutné pozorovat proudění tepla a vlhkosti dvoj-dímezionálně. K proudění tepla a vlhka nedochází pouze výlučně zevnitř ven. K difúznímu proudění může docházet i v rámci konstrukce z boku krokve skrz vhodný parobrdný a neprodyšný materiál pásovinové do tepelně-izolační vrstvy.

Aby bylo možné výkon vysychání znázornit, přidá se prostřednictvím vlhkosti dřeva do krokvi další množství vlhkosti. Toto množství zohledníme ve výpočtu obsahem vlhkosti v materiálu 80 % (= 2.300 g vody na jeden běžný metr krokvi) a simulujeme vznik vlhkosti mezi parobrdnou/neprodyšnou pásovinou a krokvi. Z vypočítaného vyschlého množství vlhkosti lze poté vypočítat potenciál stavební bezškodnosti v ($\text{g H}_2\text{O}/\text{m}$) krokvi za rok. V normálním případě mají krokve obsah vlhkosti cca 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 se 40° sklonem střechy severním směrem, střešní krytina ze šedých tašek
2. Výška krokvi 12 cm s úplnou krokevní izolací z minerální vaty (hustota = 60 kg/m^3)

Stanovení klimatu interiéru se provede s normální vlhkostní zátěží.

Případ 1: Difúzně propustná spodní konstrukce střechy (Obr. 25)

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

Případ 2: Spodní konstrukce střechy z 60 mm desky z dřevovlákná (Obr. 26)

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

Případ 3: Spodní konstrukce střechy z 35 mm polyuretanu s nakaširovanou vrstvou textílie. (Obr. 27)

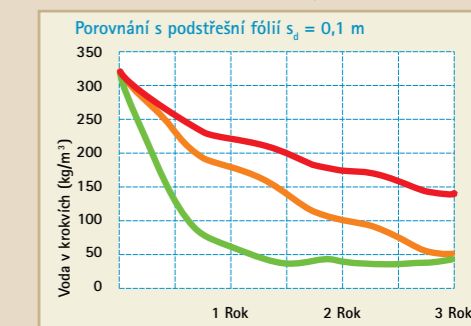
Nadkrokevní izolace jako v případě 2 však s hodnotou s_d 2,5 m.

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

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

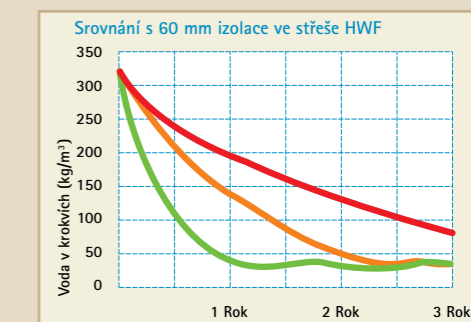
Výpočet potenciálu bezškodnosti stavby lokality Holzkirchen, střecha

(Obr. 25)
Výsledek pro difúzně propustné spodní konstrukce střechy ($s_d = 0,1 \text{ m}$)



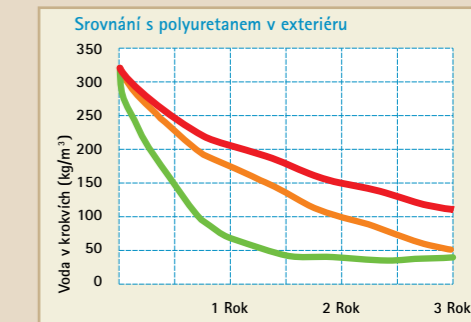
Potenciál bezškodnosti stavby: — DASATOP 1.900 g/m
— s_d 2 m: příliš malá — s_d 5 m: příliš malá

(Obr. 26)
Výsledek pro 60 mm dřevovláknitou desku ve spodní konstrukci střechy, vně ($s_d = 0,3 \text{ m}$)



Potenciál bezškodnosti stavby: — DASATOP 2.100 g/m
— s_d 2 m: příliš malá — s_d 5 m: příliš malá

(Obr. 27)
Výsledek pro 35 mm polyuretan vně ($s_d = 2,5 \text{ m}$)



Potenciál bezškodnosti stavby: — DASATOP 1.800 g/m
— s_d 2 m: příliš malá — s_d 5 m: příliš malá

Bezpečnostní vzorec pro clima

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

Diskuze o výsledcích

Zkoumá se výkon vysychání zvýšeného obsahu vlhkosti obsažené v krovkách. 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 krovkách jsou pak dosaženy při hodnotách nižších než je bod nasycenosti vláken dřeva. Použijeme-li pro porovnání rychlosti vysychání, schne kroky 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 konstrukci s vrchní izolací střechy. U konstrukci 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 neprodyšné izolačních systémů instalovaných způsobem Sub-and-Top

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

Při použití DASATOP na krovkách 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 izolací funkci parobrzdy, při kladení přes kroky (Top) je její funkce jako pásovina pro použití do konstrukce se záklopem výhodou, takže vlhkost může pokud možno bez překážek vysychat. Pak může u pásovin, která nedoléhá perfektně na kroky vysychat obsah vlhkosti bokem kroky. Parobrzdy s proměnnou hodnotou závislou na vlhkosti použité při mezikrokové tepelné izolaci dosahují hodnoty s_d cca 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. Pásovina lze klást jak podélně, tak příčně. Výhodou se ukázalo použití difúzně propustných pásovin vně, respektive umístění difúzně propustné svrchní třešni tepelné izolace z vláknitých izolačních materiálů.

Použijeme-li pro instalaci způsobem Sub-and-Top pásovina 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 žádně další možnosti vysychání vlhkosti z konstrukce. Vysráží-li se na vrchní straně krovky 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 vlhkového 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 neprodyšné 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 výstavby

Cílem výstavby 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; extremity plísní (MVOC) mohou vést k fyzické a psychické zátěži. Nacházejí-li se plísně v suchém klimatu, ztrácejí mnoho ze své nebezpečnosti. Naopak zvlhnou-li plísně, reaktivuje se opět jejich nebezpečnost.

Nacházejí-li se plísně na povrchu stavebních dílů směrem do interiéru (například díky tepelným mostům nebo povrchové kondenzaci), 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.

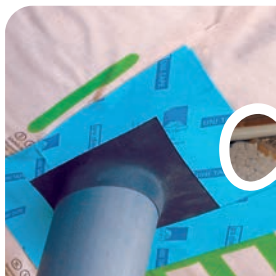
Cílem výstavby by nemělo být maximální využití stavebně fyzikálních možností, nýbrž právě v ohledu na plísně vygenerování co možná největšího bezpečnostního potenciálu.

8 Bodů vedoucích k trvale bezpečné konstrukci a zpracování

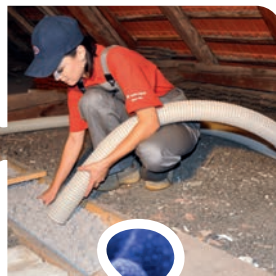
- Optimálně bezpečnými jsou konstrukce s parobrzdami s proměnlivou hodnotou v závislosti na vlhkosti a s neprodyšně izolujícími pásovinami s obzvláště nízkým difúzním odporem ve vlhkém prostředí $< 0,10$ m.
- Pásovin pro instalaci způsobem Sub-and-Top s obzvláště nízkým difúzním odporem při kondenzaci vlhkosti mohou v prostoru nad krovkami ležet v promrzající oblasti. Nebezpečí tvorby ledu je díky vysokým možnostem vysychání a difúzní charakteristice konstrukce prakticky vyloučeno.
- Nekritické vlhkosti krovky se dosáhne při použití DASATOP třikrát, respektive pětikrát (z části osmkrát) rychleji. Zvýšená ochrana proti plísním je přitom zaručena.
- Tepelná izolace je v prostoru prohlubně před vlhkostí z provozu v interiéru chráněna hodnotami s_d až 2 m. Nemůže tak dojít ke škodlivé tvorbě kondenzátu.
- Konstrukce vně difúzně propustné mají větší rezervy zpětného vysychání než konstrukce s vrstvami stavebního dílu brzdícími difúzi (např. pěnové tepelně izolační hmoty).
- 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.
- Upevnění pásovin 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 krovky.
- Z důvodů prevence nehod a komfortu kladení upřednostňujte pásovinu tmavé barvy před světlými, zejména bílými pásovinami, které oslňují.



Těsnost budov
FÓLIE, LEPIDLA, PÁSKY



Tepelné
izolace



Diagnostika
TERMOKAMERA, BLOWER DOOR



Zvukové
izolace



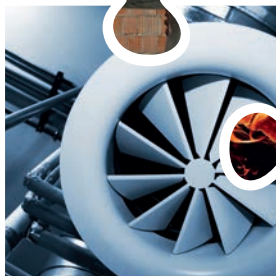
Konzultace
a návrhy



Vnitřní
zateplení



Tepelná čerpadla
Klimatizace
Vzduchotechnika



Protipožární
odolnost



Rekuperace
pro pasivní domy



Expandery
ŘEŠENÍ DODATEČNÉHO
ZATEPLENÍ

