

EXTRUDOVANÝ POLYSTYREN

S POVRCHOVOU ÚPRAVOU Z PLASTBETONU

V INVERZNÍCH STŘECHÁCH



INVERZNÍ STŘECHA JE
STŘECHA S OPAČNÝM
POŘADÍM IZOLAČNÍCH
VRSTEV, KDY TEPELNĚ
IZOLAČNÍ VRSTVA SPOČÍVÁ
NA HYDROIZOLAČNÍ
VRSTVĚ, KTERÁ PLNÍ
ZÁROVEŇ FUNKCI
PAROZÁBRANY. TEPELNÁ
IZOLACE INVERZNÍ
STŘECHY MUSÍ BÝT
NENASÁKAVÁ. TENTO
SYSTÉM STŘECH JE
VÝHODNÝ JAK Z TEPELNĚ-
TECHNICKÉHO HLEDISKA,
TAK Z POHLEDU OCHRANY
NEJDŮLEŽITĚJŠÍ
VRSTVY STŘECHY, TEDY
HYDROIZOLACE.

Nyní po letech užívání objektů s inverzními střechami je možno sledovat jejich stav a zhodnotit jednotlivé vrstvy střechy.

V rámci tohoto průzkumu jsme zvolili inverzní střechy s vrchní povrchovou úpravou z plastbetonu na extrudovaném polystyrenu*, protože jsme se v poslední době s touto povrchovou úpravou častěji setkávali. Tento systém představuje výhodné řešení z hlediska rychlosti provádění a minimalizace přetížení střechy.

** Desky z XPS se zámký s vrstvou polymerové malty ($\mu = \text{cca } 100$). Malta chrání XPS proti působení UV záření. Systém zámků zajišťuje spolupůsobení jednotlivých desek při sání větru. Vlastní plastbeton zajišťuje přetížení cca 20 kg/m^2 .*

Pro porovnání byly vybrány dvě střechy se stejnou vrchní povrchovou úpravou z plastbetonu na extrudovaném polystyrenu. První střecha, dále střecha A, je nad náročným provozem aquacentra v oblasti cca 400 m. n. m. Druhá střecha, dále střecha B, se nachází nad kulturními prostory cca v 600 m. n. m.

Na střechách jsme provedli podrobný průzkum včetně odebrání vzorků XPS ke zjištění případné vlhkosti v tepelné izolaci z XPS.

V mladém kolektivu Ateliéru stavebních izolací působí i studenti a doktorandi stavebních fakult. Témata jejich diplomových a disertačních prací ve většině případů vycházejí ze zaměření a činnosti Ateliéru stavebních izolací. V tomto čísle nahlédneme do diplomové práce Vladimíra Vymětalíka.



01

Na sledované střeše A v průběhu zimy nezůstávala sněhová pokrývka a povrch plastbetonu byl odkrytý. Objekt je po celou zimní sezónu vytápěn. Na rozdíl od střechy A byla střecha B po celé zimní období pokryta sněhem. Kulturní prostory byly využity a vytápěny jen narázově.

ODBĚR VZORKŮ

Místo odběru vzorků XPS jsme zvolili v blízkosti střešních vtoků, kde je nejméně příznivá situace z hlediska zdržení vody na hydroizolaci. Na obrázku /03/ je vidět nahromaděná voda ve vrstvě vzorku XPS tl. cca 20 mm pod vrstvou plastbetonu ze střechy B.



02

Již po odebrání vzorků přímo na střeše, měl vzorek XPS ze střechy B znatelně vyšší hmotnost (vyšší množství vlhkosti) než vzorek ze střechy A, což potvrzuje i vyhodnocení vlhkosti v tabulce /01/.

Vysoušení jednotlivých vzorků jsme provedli přirozeně bez použití sušárny v laboratorních podmínkách. Vzorek ze střechy A jsme sušili v celku a vzorek ze střechy B jsme rozdělili po výšce na šest vrstev vzhledem k jeho viditelnému nahromaděnému množství vody. Zajímaly nás hodnoty hmotnostní vlhkosti po výšce XPS.



03

V tabulce /02/ jsou uvedeny hmotnostní vlhkosti šesti dílčích vrstev odebraného vzorku ze střechy B.

Z tabulky je znatelné, že vlhkost dílčích vrstev XPS pod vrstvou plastbetonu je vyšší a směrem od plastbetonu se snižuje. Vlhkost je nahromaděná pod vrstvou plastbetonu.

DŮVOD VÝSKYTU VODY V XPS S PLASTBETONEM

Zjištěné rozložení vody ve vzorku dokazuje, že voda nepronikla do XPS nasáknutím, ale difúzí vodní páry, která se uvolňuje z vrstvy srážkové vody na hydroizolaci pod XPS a kondenzuje pod vrstvou plastbetonu.

Zjištěné skutečnosti vyvolávají následující otázky:

- Jak ovlivňuje množství vody na hydroizolaci, tedy pod

Odebraný vzorek	Hmotnostní vlhkost odebraného vzorku [%]	Objemová vlhkost odebraného vzorku [%]
střecha A	185,3	3,6
střecha B	476,2	17,9

TABULKA 01 – Vyhodnocení celkové zjištěné vlhkosti odebraných vzorků:

Odebraný vzorek	Označení dílčí vrstvy	Hmotnostní vlhkost odebraného vzorku [%]
střecha B	V1	1059,20
	V2	685,82
	V3	630,99
	V4	338,76
	V5	139,51
	V6	3,04

TABULKA 02 – Tabulka zjištěných vlhkostí dílčích vrstev odebraného vzorku ze střechy B pod vrstvou plastbetonu

Odebraný vzorek ze střechy B	Hmotnostní vlhkost odebraného vzorku [%]	Objemová vlhkost odebraného vzorku [%]
u vtoku	476,2	17,9
u atiky	296,7	11,4

TABULKA 03 – Srovnání hmotnostních a objemových vlhkostí vzorků dle místa odebrání na střeše

04

Exteriér
V1
V2
V3
V4
V5
V6
Interiér



04 | vzorek ze střechy B rozdělený na vrstvy pro zjištění dílčích hmotnostních vlhkostí jednotlivých vrstev, z povrchu desky odstraněna vrstva plastbetonu

tepelnou izolací z XPS, množství zkondenzované vodní páry v XPS s plastbetonem?

- Do jaké míry ovlivňuje hromadění vody v XPS vrchní úprava z plastbetonu?
- Jaký vliv má obsažená vlhkost v tepelné izolaci z XPS na součinitel tepelné vodivosti λ ?
- Je přetížení skladby střechy vlivem vody v XPS významné?
- Lze dimenzí tepelné izolace pod hydroizolační vrstvou kladně ovlivnit zkondenzované množství vodní páry v XPS?

VLIV MNOŽSTVÍ VODY NA HYDROIZOLACI

Odpověď na tuto otázku najdeme v tabulce /03/. Na střeše B jsme odebrali vzorek XPS u vtoku i u atiky. V blízkosti vtoku se držela trvale voda a v místě odběru

vzorku u atiky bylo nalezeno pouze malé množství vody držící se na hydroizolaci vlivem její nerovnosti.

Na základě hodnot tabulky /03/ můžeme konstatovat, že množství vody na hydroizolaci má vliv na zkondenzované množství vodní páry v tepelné izolaci z XPS s povrchovou úpravou z plastbetonu.

Chceme-li minimalizovat riziko kondenzace vodní páry v XPS musí být střecha správně vypádována směrem k střešním vtokům a ani u vtoku by se neměla hromadit voda. Povrch hydroizolace musí být takový, aby se netvořily kaluže.

VLIV VRCHNÍ ÚPRAVY XPS Z PLASTBETONU

Vzhledem k tomu, že vrstva plastbetonu je trvale vystavena působení vlhkosti a na podzim není

umožněno vyschnutí povrchové úpravy z plastbetonu, zastihne mraz povrchovou úpravu nasáknutou vodou. Voda ve struktuře plastbetonu zmrzne a vytvoří se tak vysoce difúzně nepropustná vrstva pro vodní páry.

Z principu vzniku difúzně nepropustné vrstvy vyplývá, že mezi rizikové patří i nasáklé vrstvy textilií a hydroakumulační vrstvy z pěnových plastů nebo minerálních vláken.

VLIV VLHKOSTI OBSAŽENÉ V TEPELNÉ IZOLACI Z XPS NA SOUČINITEL TEPELNÉ VODIVOSTI LAMBDA

Nástroje pro přepočítání charakteristické hodnoty součinitele tepelné vodivosti na návrhové hodnoty při určité hmotnostní, resp. objemové vlhkosti daného materiálu jsou uvedeny v ČSN 73 0540-3.



Přepočet charakteristické hodnoty součinitele tepelné vodivosti na návrhové hodnoty při okamžité hmotnostní vlhkosti materiálu uvádí následující vztah:

$$\lambda_u = \lambda_k \cdot (1 + z_1 \cdot Z_u \cdot z_{23}) \text{ [W/mK]},$$

kde je

λ_u návrhová hodnota součinitele tepelné vodivosti [W/mK],

λ_k charakteristická hodnota součinitele tepelné vodivosti [W/mK],

z_1 součinitel vnitřního prostředí pro vnitřní konstrukce, kde dochází ke kondenzaci vodní páry (ČSN 73 0540-3 - tabulka A.7),

Z_u vlhkostní součinitel materiálu (ČSN 73 0540-3 - tabulka A.1),
 z_{23} sdružený součinitel podmínek působení (součinitel materiálu a způsobu zabudování materiálu ve stavební konstrukci),

$z_{23} = u_{\text{exp}} - u_{23/80}$
 u_{exp} okamžitá hodnota hmotnostní

vlhkosti stavebního materiálu odebraného ze stavební konstrukce [%],
 $u_{23/80}$ charakteristická hmotnostní vlhkost materiálu [%].

Naopak pro výpočtové stanovení vlivu zmrzlé vody obsažené v tepelné izolaci z XPS žádný normový postup neexistuje. Proto jsme přistoupili k měření součinitele tepelné vodivosti desek z XPS za záporných teplot.



MĚŘENÍ SOUČiniteLE TEPELNÉ VODIVOSTI

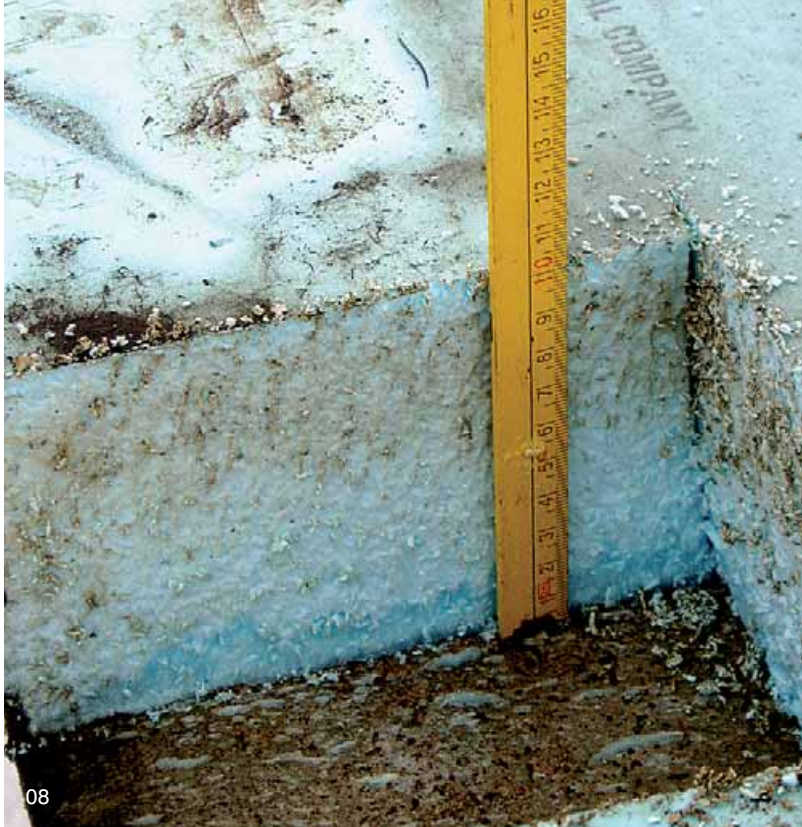
Pro měření součinitele tepelné vodivosti byla použita metoda nestacionárního teplotního pole, a to z důvodu rychlosti měření a dostupnosti této metody. ISOMET je mikroprocesorem řízený ruční přístroj na přímé měření součinitele tepelné vodivosti, měrné objemové tepelné kapacity, součinitele teplotní vodivosti a teploty kompaktních, sypkých a kapalných materiálů pomocí výměnných jehlových a plošných sond. Každá sonda obsahuje zabudovanou paměť, ve které jsou uloženy její kalibrační konstanty. Měření je založeno na analýze průběhu časové závislosti teplotní odezvy na impulsech tepelného toku do analyzovaného materiálu. Tepelný tok se vytváří rozptýleným elektrickým výkonem v odporu sondy, která je tepelně vodivě spojená s analyzovaným materiálem. Teplota odporu se snímá polovodičovým snímačem. Průběh teploty jako funkce času se v diskrétních bodech vzorkuje a těmito vzorky se prokládají regresní polynomy metodou „nejmenších čtverců“. Koefficienty regresních polynomů slouží k výpočtu termofyzikálních parametrů pomocí analytických vztahů.

V grafu /01/ jsou modrou barvou znázorněny vypočtené hodnoty součinitele tepelné vodivosti λ dle ČSN 73 0540-3 za předpokladu, že vlhkost obsažená v tepelné izolaci z XPS není zmrzlá. Výsledky měření součinitele tepelné vodivosti λ , v případech, kdy obsažená vlhkost ve vzorku XPS je zmrzlá, jsou znázorněny červenou barvou.

V tabulce /04/ je uvedeno procentuální zhoršení součinitele tepelné vodivosti λ [W/mK] v závislosti na skupenství vlhkosti odebraných vzorků.

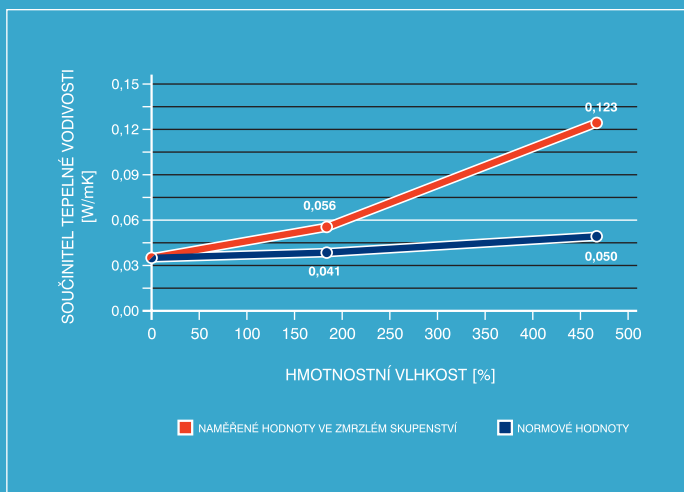
VLIV ZHORŠENÍ TEPELNĚ IZOLAČNÍCH VLASTNOSTÍ TEPELNÉ IZOLACE Z XPS NA CELKOVOU TEPELNOU ZTRÁTU

Z hlediska energetiky nás zajímá střecha B, kde byla nalezena vyšší vlhkost v XPS než u střechy A. Provedli jsme porovnání celkového tepelného toku suchou skladbou



- 05 | drží se voda v blízkosti vtokuna střeše B
- 06 | přístroj na měření součinitele tepelné vodivosti – ISOMET
- 07 | průběh měření součinitele tepelné vodivosti přístrojem ISOMET
- 08 | pohled na hydroizolaci v místě odebrání XPS v blízkosti atiky

GRAF 01 – závislost součinitele tepelné vodivosti na hmotnostní vlhkosti



TABULKA 04 – Procentuelní zhoršení součinitele tepelné vodivosti v závislosti na zjištěné vlhkosti dle normy ČSN 73 0540-3 a zjištěné vlhkosti ve zmrzlém stavu

Odebraný vzorek	Hmotnostní vlhkost [%]	Součinitel tepelné vodivosti λ XPS v suchém stavu [W/mK]	Vypočtený součinitel tepelné vodivosti λ XPS dle ČSN 73 0540-3 (voda není zmrzlá)		Naměřený součinitel tepelné vodivosti λ XPS v závislosti na naměřené vlhkosti ve zmrzlém stavu	
			λ [W/mK]	Zhoršení	λ [W/mK]	Zhoršení
střecha A	185,3	0,036	0,041	15 %	0,056	90 %
střecha B	476,2	0,036	0,050	38 %	0,123	340 %

TABULKA 05 – tepelná ztráta prostupem pro střechu B s vlivem sněhové pokrývky a zhoršených tepelně technických vlastností vlivem vlhkosti

Měsíc	Průměrné teploty [°C]	Výška sněhové pokrývky [mm] *	Teoretická tepelná ztráta skladbou střechy v suchém stavu Tl přepočítaná na 1 m ²		Tepelná ztráta skladbou střechy ve vlhkém stavu Tl přepočítaná na 1 m ² Q _{pv} [kWh]		Tepelná ztráta skladbou střechy ve zmrzlém stavu Tl přepočítaná na 1 m ² Q _{pz} [kWh]	
			Q _p [kWh]	Q _{pv} [kWh]	Nárůst [%]	Q _{pz} [kWh]	Nárůst [%]	
1	-3,7	730	3,00			4,58	52,9	
2	-2,3	810	2,55			3,90	52,9	
3	1,2	630	2,52	2,80	11,1			
4	5,8	210	1,94	2,25	15,8			
5	10,8	150	1,10	1,27	15,0			
6	14	0	0	0	0			
7	15,5	0	0	0	0			
8	15,0	0	0	0	0			
9	11,7	0	0,80	0,92	15,0			
10	7,0	50	1,93	2,22	15,0			
11	1,6	220	2,52	2,91	15,8			
12	-2,0	550	2,95			4,42	50,0	
			19,3	12,37		12,90		
Celkem			19,3	$\sum Q_{pv} + \sum Q_{pz} = 25,27$			30,9 %	

* Výšky sněhové pokrývky v jednotlivých měsících převzaty z dat z Českého hydrometeorologického ústavu (uvažováno se sněhem o průměrné hustotě 500 kg/m³ tzn. součinitelem tepelné vodivosti 1,0 W/mK).

** Délka otopného období uvažována 257 dní v rozdělení otopného období do koncového měsíce května 25 dní a do počátečního měsíce září 20 dní.

TABULKA 06 – Přetížení skladby střechy v podobě zjištění vlhkosti v tepelné izolaci z XPS

Umístění dle nadmořské výšky	Hmotnostní vlhkost [%]	Zatížení sněhem pro danou sněhovou oblast dle umístění střechy na 1m ² v návrhových hodnotách [kN/m ²] *	Přetížení skladby střechy vodou v XPS přepočtené na 1m ² v návrhových hodnotách [kN/m ²]	Procentní podíl přetížení střechy vodou v XPS z normového zatížení střechy sněhem [%]
střecha A	185,3	0,56 (I. sněhová oblast)	0,43	76
střecha B	476,2	1,68 (V. sněhová oblast)	2,15	127

* Pozn.: zatížení sněhem pro danou sněhovou oblast dle ČSN 73 0035

a vlhkou skladbou se započtením vlivu sněhu. Cílem bylo posoudit reálný vliv zhoršení tepelně izolačních vlastností tepelné izolace z XPS na celkovou tepelnou ztrátu. Sníh byl do skladby započten proto, aby bylo možno posoudit, zda v reálu nedojde ke kompenzaci zvýšeného tepelného toku vlhkým XPS tepelně izolačními schopnostmi sněhové pokrývky.

V posledním řádku tabulky /05/ je uveden celkový roční nárůst tepelné ztráty prostupem skladby střechy B během otopného období (257 dní) v závislosti na součiniteli tepelné vodivosti vlhké a v měsících se zápornou průměrnou měsíční teplotou zmrzlé tepelné izolace z XPS, což činí cca 31 %. Odpovídající ekvivalentní součinitel prostupu tepla s uvažováním průměrné sněhové pokrývky v otopném období činí pro suchý XPS 0,18 W/m²K a pro mokřý XPS 0,23 W/m²K. Vliv vody v XPS je tedy významný.

VLIV NA PŘÍTÍŽENÍ SKLADBY STŘECHY

Při zjištěné vlhkosti je přetížení na 1 m² uvedeno v tabulce /06/.

Z tabulky /06/ vyplývá, že zjištěné množství vody v porovnání s návrhovými hodnotami zatížení sněhem pro danou sněhovou oblast má významný vliv na návrhové zatížení skladby střechy.

VLIV TEPELNÉ IZOLACE POD HYDROIZOLAČNÍ VRSTVOU

Pro odpověď na otázku, jaký vliv má tepelná izolace pod hydroizolační vrstvou na zkondenzované množství vodní páry v XPS s plastbetonem, jsme provedli výpočet pro vzorovou inverzní skladbu střechy.

V tabulce /08/ je uveden vliv tloušťky tepelné izolace pod hydroizolací na zkondenzované množství vodní páry v tepelné izolaci z XPS s plastbetonem ve vzorové inverzní skladbě střechy ve vybraném kritickém měsíci lednu.

Z tabulky /08/, resp. z grafu /02/ je zřejmé, že vliv tloušťky tepelné izolace pod hydroizolací a tím vytvoření menšího poměru mezi



TABULKA 07 – skladba vzorové inverzní střechy od interiéru

Vrstva	Funkce vrstvy	Tloušťka [mm]
železobetonová deska	nosná	200
keramzibeton	spádová	100
pěnový polystyren EPS 100	tepelně izolační	proměnná tloušťka
polypropylenová textilie FILTEK 300	separační	-
folie Alkorplan 35 176	hydroizolační	1,5
polypropylenová textilie FILTEK 300	separační	-
extrudovaný polystyren XPS	tepelně izolační	140
plastbeton (*μ = 100)	ochranná	10

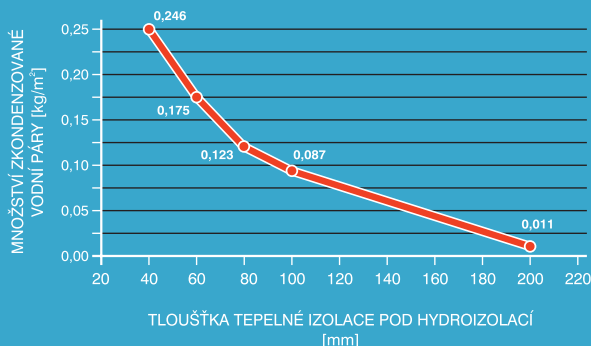
* Pozn.: návrhová hodnota faktoru difúzního odporu

TABULKA 08 – vliv tloušťky tepelné izolace pod hydroizolací na zkondenzované množství vodní páry v tepelné izolaci z XPS s plastbetonem

Tloušťka tepelné izolace pod hydroizolací [mm]	Tloušťka tepelné izolace nad hydroizolací [mm]	Průměrná výška sněhové pokrývky * [mm]	Teplota na hydroizolaci pro leden [°C]	Množství zkondenzované vodní páry v XPS pro leden [kg/m ²]
40	140	730	15,5	0,246
60		730	14,0	0,175
80		730	12,6	0,123
100		730	11,4	0,087
200		730	6,8	0,011

* Pozn.: uvažováno se sněhem o hustotě 200 kg/m³ tzn. součinitelem tepelné vodivosti 0,113 W/mK

GRAF 2 – Závislost tloušťky tepelné izolace pod hydroizolací na zkondenzované množství vodní páry v XPS s plastbetonem v měsíci lednu



tepelnými izolacemi pod a nad hydroizolací nemá při reálném návrhu tloušťek jednotlivých vrstev významné pozitivní vliv na zkondenzované množství vodní páry v XPS.

ZÁVĚR

Z rozboru jednotlivých otázek je zřejmé, že inverzní střechy s XPS s vrstvou plastbetonu jsou rizikové z celé řady hledisek a použití XPS s vrstvou plastbetonu je třeba pro každý případ dobře rozvážit. V úvahu je třeba vzít především klimatické poměry v místě stavby. Konstrukce střechy musí být dobře připravena tak, aby srážková voda protékající pod XPS plynule odtékala po hydroizolaci a nedocházelo k jejímu hromadění v nerovnostech. Některé otázky si vyžadují další, podrobnější posouzení.

<Vladimír Vymětalík>

<Čtibor Hůlka>

FOTO:

Vladimír Vymětalík
Petr Bohuslávek

LITERATURA:

- [1] ČSN 73 0540-3 Tepelná ochrana budov – Část 3: Návrhové hodnoty veličin
- [2] ČSN P ENV 1991-1 Zásady navrhování a zatížení konstrukcí – Část 1: Zásady navrhování (73 0035)