

ZŘÍCENÍ STŘEŠNÍ KONSTRUKCE Z DŘEVĚNÝCH SBÍJENÝCH PŘÍHRADOVÝCH VAZNÍKŮ

Miloš Lavický¹, Jan Pěncík²

Abstrakt

Zimní období 2005 - 2006 se vyznačovalo neobvykle velkým množstvím sněhu a docházelo k častému přetížení střech sněhem. Příčin havárií bylo zpravidla více a nejsou ověřené údaje, z kterých by bylo možno vytvořit celkové závěry, zda tyto havárie byly převážně způsobeny značným přetížením sněhem nebo zda k nim došlo zejména v důsledku jejich špatného stavu, zaviněného chybným návrhem nebo provedením, případně nedostatečnou údržbou. V příspěvku je představen případ, kdy došlo ke zřícení střešní konstrukce z dřevěných sbíjených příhradových vazníků při sněhové pokrývce přesahující normovými předpisy stanovené zatížení sněhem, avšak rozhodují příčinou bylo chybné provedení hřebíkových spojů.

ZIMA 2005 - 2006

Ve vzpomínkách příznivců zimních sportů a především majitelů lyžařských vleků zůstává zima 2005 – 2006 jako skvělá sezóna, kdy napadlo velké množství sněhu, které umožňovalo provoz lyžařských středisek dlouho do jara. Chmurné vzpomínky mají majitelé zřícených a poškozených objektů a všichni ti, kterých se tyto havárie svými následky dotkly, neboť nezůstalo pouze u materiálních škod, ale došlo i k ztrátám lidských životů. Hasičskému záchrannému sboru ČR bylo nahlášeno 258 havarovaných střech, avšak předpokládá se, že skutečný počet je ještě větší.

HODNĚ NASNĚŽILO A NASTALA OBLEVA

Toto se pak několikrát opakovalo. Sněhová vrstva slehávala a nasycovala se vodou a její objemová tíha se významně zvětšovala. Zvýšené zatížení tak často převyšovalo hodnoty, které byly předepsány platnými normami, pro jejich stanovení [3], [5], [6]. V odborné literatuře např. [2] se uvádí, že objemová tíha, která činí u suchého čerstvého sněhu (prašanu) přibližně 0,8 kN/m², může dosáhnout, pokud je sníh ulehlý a nasáklý vodou, až hodnoty 4,0 až 5,5 kN/m².

Případ, na který je předložený příspěvek zaměřen, se stal v noci z 20. na 21. 2. 2006. Jedná se o zřícení části střechy výrobního objektu. Střešní konstrukci tvořily pultové dřevěné sbíjené vazníky, které byly po vzdálenosti 1 m osazeny na obvodové podélné stěny a střední stěnu v jednotlivých řadách zrcadlově, takže vytvářely šikmou sedlovou střechu s malým spádem 13°. V místech uložení byly dřevěné sbíjené vazníky ukotveny k železobetonovému ztužujícímu věnci z betonu B20 prostřednictvím ocelových úhelníků zabetonovaných ve věncích. V podélném směru byla provedena ztužidla Ondřejovými kříži z diagonálně překřížených prken v každém poli mezi vazníky. Na horních pásech střešních vazníků bylo přibito bednění z dřevěných prknem tl. 25 mm, na kterém byla osazena krytina Onduline. Na spodních pásech

¹ Lavický, Miloš, Ing., Ph.D. – Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavební mechaniky, Veveří 95, 5 41 14 73 81, lavicky.m@fce.vutbr.cz

² Pěncík, Jan, Ing., Ph.D. – Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavební mechaniky, Veveří 95, 5 41 14 73 63, pencik.j@fce.vutbr.cz

střešních vazníků byl připevněn podhled ze sádkartonových desek RF 12,5 na kovovém roštu z tenkostěnných CD profilů, na kterém byla umístěna parozábrana a tepelná izolace.

Nepršelo, však byla obleva a velmi vysoká vlhkost vzduchu. V době havárie se na střeše vyskytovala vrstva sněhu v tloušťce cca 0,5 m a u volného štítu budovy byla sněhová návěj. Sněhová pokrývka měla charakter zvlhlého firnu. Svědci v cca 21 hodin zaslechli zřetelné praskání střešní konstrukce a po určité době náhle došlo v porušení vazníku v třetí řadě od volného štítu v části objektu přiléhající ke komunikaci. Byl zavolán Hasičský záchranný sbor a byl zahájen zásah zaměřený na odstranění sněhu z této části střechy. Akustické projevy postupně zesilovaly, narůstalo jak lokální prohnutí pohledu v místě prvotně havarovaného vazníku, tak i průhyb celého podhledu této části objektu a v cca 22:15 se nastalo zřícení střešní konstrukce (Foto č. 1 až 4).

Při havárii nebyl nikdo zraněn, vnikla však značná materiálová škoda zničením střešní konstrukce, poškozením zděných meziokenních pilířů, zničením nebo poškozením technologických rozvodů, strojního zařízení a výpadkem výroby.



Foto č. 1 - Noční snímek zachycující stav těsně po havárii střechy



Foto č. 2 - Snímek zřícené střešní konstrukce těsně po její havárii střechu zevnitř objektu



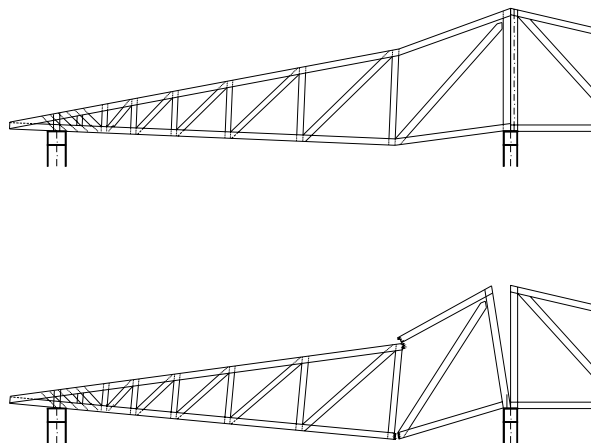
Foto č. 3 - Ranní snímek zachycující stav po havárii střechy



Foto č. 4 - Odstraňování sněhu na havarované části střechy

MECHANISMUS PORUŠENÍ

Poloha zřícených vazníků, způsob a místa porušení jednotlivých konstrukčních částí vazníků, jejich zatížení od vlastní tíhy, od tíhy podhledu a střešního pláště vč. krytiny a od zatížení vrstvou mokrého sněhu, znaky zaznamenané před havárií, tzn. výrazné vyboulení sádkokartonového podhledu v místě vazníku v třetí řadě od volného štítu budovy, rychlý další



Obrázek č. 1 - Mechanismus porušení

nárůst jeho deformace a postupné zvětšení průhybu v celé ploše pohledu ukazovaly, že primární příčinou havárie bylo porušení dřevěného příhradového sbíjeného pultového vazníku v třetím poli od volného štítu budovy v krajním horním styčnicku na straně vazníku uložené na střední zdi. Zde se v důsledku selhání hřebíkového spoje vytrhl ze styčnicku nejvíce namáhaný diagonální tažený prut tvořený jedním prknem 30/160 mm - 1. fáze kolapsu (Obrázek č. 1, Foto č. 5).

Po uvolnění tohoto prutu ze styčnicků bylo narušeno statické chování sbíjeného vazníku a prudce se zvětšilo namáhání horního a dolního pásu ohybovým momentem. V nejvíce namáhaných průřezech, tj. v průřezu na okraji krajního pole u prvního vnitřního styčnicku v dolním a horním pásu, došlo k překročení meze únosnosti a pásy se zde zlomily - 2. fáze kolapsu (Obrázek č. 1, Foto č. 6).



Foto č. 5 - Vytržená diagonála z horního krajního styčnicku krajního vazníku

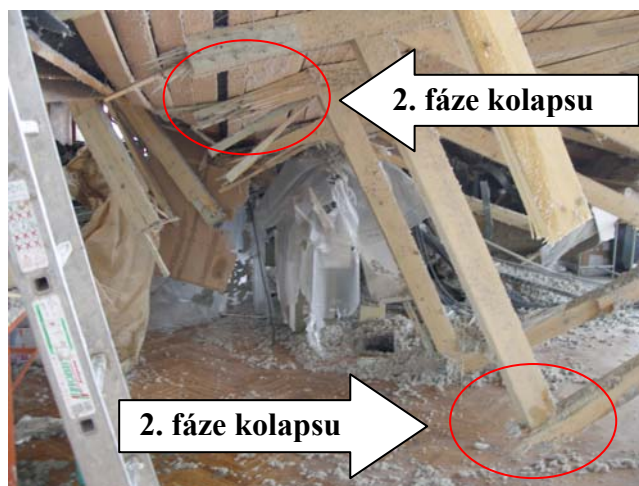


Foto č. 6 - Místa na dolním a horním pásu vazníku, kde se po vytržení diagonály ze styčnicku, zlomily pásy

Vazník tak pozbyl svou nosnou schopnost, což se projevilo značným vyboulením sádrokartonového podhledu v místě jeho umístění. K jeho zřícení zatím nedošlo, protože tomu bránily konstrukční prvky kolmé k vazníkům, tj. dřevěné bednění z prken tl. 25 mm, vnitřní podélné diagonální ztužidlo a tenkostěnné CD profily kovového roštu sádrokartonového podhledu, avšak v důsledku ztráty jeho nosnosti se značně zvětšilo namáhání sousedních vazníků. Jejich značné průhyby a zřetelné akustické projevy (praskání) signalizovaly pokračující vznik dalších poškození nosné konstrukce střechy. Po cca 1:15 hod. došlo k řetězovému zřícení všech vazníků v přední části objektu. Způsob porušení vazníků byl stejný jako u vazníku, který se porušil jako první a který inicioval řetězové zřícení ostatních vazníků.



Foto č. 7 - Vazník se zlomeným spodním pásem
v místě styčnicku



Foto č. 8 - Nezřícené ale silně porušené
vazníky

HLEDÁNÍ PŘÍČIN

Místo stavby v obci Borová u Poličky se nacházelo podle tehdy platné mapy sněhových oblastí, která tvořila Přílohu 4 ČSN 73 0035 *Zatížení stavebních konstrukcí* [3] ve sněhové oblasti IV, kde se základní tíha sněhu uvažovala $1,5 \text{ kN/m}^2$ v těsné blízkosti hranice se sněhovou oblastí III, kde se základní tíha sněhu uvažovala $1,0 \text{ kN/m}^2$.

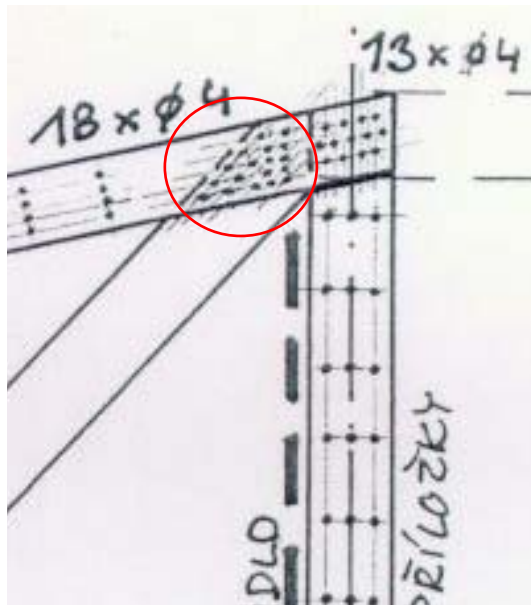
Z projektové dokumentace vyplývalo, že byla uvažována v souladu s normovými ustanoveními sněhová oblast IV. Výrobní dokumentací vazníku bylo předepsáno hraněné jehličnaté řezivo SI. Fyzikálně mechanické vlastnosti vyplývající z tohoto zařazení byly uvažovány ve statickém výpočtu, který byl proveden pro alternativní výpočtové modely.

U *výpočtového modelu 1* byla geometrie vytvořena ze střednic jednotlivých prvků vazníků podle výrobní dokumentace, tj. střednice diagonálních prutů a svislic se neprotínají se střednicemi pásů ve stejných uzlech.

U *výpočtového modelu 2* byly diagonální pruty idealizovány tak, aby se jejich střednice stýkaly se střednicemi svislic a pásů ve stejných styčnicích.

V obou výpočtových modelech připojení diagonálních prutů a svislic k hornímu a dolnímu pásu bylo uvažováno jako kloubové. Při posouzení dřevěných prvků vazníku výsledky výpočtu ukázaly, že u obou výpočtových modelů dřevěné prvky vazníku vyhověly. Rovněž vyhověly hřebíkové spoje navržené ve výrobní dokumentaci dřevěného sbíjeného příhradového vazníku a navržené vzájemné vzdálenosti hřebíků a vzdálenosti hřebíků od okrajů byly v souladu s platnou normou ČSN 73 1701 [4]. Skutečné provedení hřebíkových spojů se však

lišilo od návrhu daného výrobní dokumentací. Nebyl dodržen jejich počet ani uspořádání. Hřebíkový spoj krajní tažené diagonály měl být podle výrobní dokumentace vytvořen osmnácti hřebíky $\phi 4/90$ (Obrázek č. 2). Ve spoji však, jak je patrné z fotodokumentace (Foto č. 9), nebyl dostatečný počet hřebíků a byly rozmístěny nepravidelně



Obrázek č. 2 - Návrh spoje s 18-i hřebíky



Foto č. 9 - Provedení spoje jen s 11-i hřebíky

Únosnost, vyplývající z počtu hřebíků ve skutečně provedených stycích, byla ve srovnání s únosností vyplývající z navrženého počtu hřebíků menší o cca 64 %. Oproti požadavkům na únosnost podle statického výčtu na zatížení podle tehdy platného znění normy byly hřebíkové spoje krajního diagonálního prutu poddimenzovány cca o 40 % (o 38 % u výpočtového modelu 1 a o 42 % u výpočtového modelu 2).

Pro objemovou hmotnost ulehleho sněhu 400 kg/m^3 a výšku sněhu s návějí 0,8 m činí plošné zatížení $3,2 \text{ kN/m}^2$. Pro toto zatížení, uvažované jako zatížení mezní se součinitelem zatížení rovným hodnotě 1, byl proveden statický výpočet pro idealizaci stejnými výpočtovými modely 1 a 2 jako pro zatížení stanovené z normových hodnot. Výsledky výpočtu ukázaly, že dřevěné prvky na zatížení v okamžiku havárie vyhověly. Z porovnání těchto výpočtových normálových sil s výpočtovou únosností stanovených z počtu hřebíků skutečně provedeného hřebíkového spoje, se ukázalo, že hřebíkový spoj byl pro zatížení v okamžiku havárie poddimenzován cca o 70% (o 73% u 1. výpočtového modelu a 68 % u 2. výpočtového modelu).

ZÁVĚR

K havárii střešní konstrukce z dřevěných sbíjených příhradových vazníků sice došlo v době, kdy na střeše spočívala vrstva ulehleho sněhu, jejíž tíha překračovala normovými předpisy předpokládané zatížení sněhem v sněhové oblasti, k níž obec Borová u Poličky náleží, avšak jako rozhodující příčina této havárie se ukázalo chybné provedení hřebíkových spojů u krajní tažené diagonály. Na základě výše uvedených zjištěných okolností, týkajících se provedení konstrukce střechy, zatížení v době havárie, a rozboru výsledků statických výpočtů vyplynulo, že k havárii by nemuselo dojít, kdyby bylo provedení konstrukce vazníku v soula-

du s požadavky, které stanovují platné normy pro navrhování konstrukcí, a neodchylovalo se od konstrukčního návrhu daného výrobní dokumentací.

Sníh ještě padal a další střechy také, když se rozproudila diskuze o výstižnosti normou stanovených hodnot jeho zatížením. I když převládal názor, že u většiny konstrukcí střech nebylo příčinou pouze jejich přetížení sněhem, jak tomu bylo v uvedeném konkrétním případě, ukazovalo se jako nezbytné učinit úpravy normových předpisů pro stanovování zatížení sněhem [7], [8]. V ČHMÚ byla zpracována nová mapa sněhových oblastí, která byla vydána s platností od listopadu 2006 jako změna Z3 k ČSN 73 0035 [3] a Z1 k ČSN P ENV 1991-2-3 [5] a ČSN EN 1991-1-2 [6].

Příspěvek vznikl s pomocí výzkumného záměru MSM 0021630511 „Progresivní stavební materiály s využitím druhotných surovin a jejich vliv na životnost konstrukcí“ na Vysokém učení technickém v Brně, Fakultě stavební.

LITERATURA

- [1] LAVICKÝ, M.: *Znalecký posudek 015/2006*. 2006, Brno
- [2] TICHÝ, M. a kol.: *Zatížení stavebních konstrukcí, Technický průvodce 45*. SNTL, 1987, Praha
- [3] *ČSN 73 0035: Zatížení stavebních konstrukcí*. ÚNM, 1986, Praha
- [4] *ČSN 73 1701: Navrhovanie drevených stavebných konštrukcií*. ÚNM, 1983, Praha
- [5] *ČSN P ENV 1991-2-3: Zásady navrhování a zatížení konstrukcí – Část 2-3: Zatížení konstrukcí – Zatížení sněhem*. ČNI, 1996, Praha
- [6] *ČSN P EN 1991-1-3: Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem*. ČNI, 2005, Praha
- [7] STUDNIČKOVÁ, M.: *Zatížení sněhem na území České republiky*. Stavební listy 3/2006, Praha, ISSN 1211-4790
- [8] STUDNIČKOVÁ, M.: *Zatížení sněhem a mapy sněhových oblastí aktuálně*. Stavební listy 11-12/2006, Praha, ISSN 1211-4790