



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV TECHNOLOGIE STAVEBNÍCH HMOT A DÍLCŮ

INSTITUTE OF TECHNOLOGY OF BUILDING MATERIALS AND COMPONENTS

STUDIUM ODOLNOSTI SKLÁDANÉ STŘEŠNÍ KRYTINY PROTI ZAFOUKÁVÁNÍ SNĚHU

STUDY OF THE RESISTANCE OF ROOFING TILES CONSTRUCTION AGAINST SNOW
PENETRATION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Veronika Staňková

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. JIŘÍ ZACH, Ph.D.

BRNO 2022



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607R020 Stavebně materiálové inženýrství
Pracoviště	Ústav technologie stavebních hmot a dílců

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Veronika Staňková
Název	Studium odolnosti skládané střešní krytiny proti zafoukávání sněhu
Vedoucí práce	doc. Ing. Jiří Zach, Ph.D.
Datum zadání	30. 11. 2021
Datum odevzdání	27. 5. 2022

V Brně dne 30. 11. 2021

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA,
dr.h.c.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

- [1] ČSN 73 1901-1: Navrhování střech - Část 1: Základní ustanovení, 2020.
- [2] ČSN 73 1901-2: Navrhování střech - Část 2: Střechy se skládanou střešní krytinou, 2020.
- [3] Xuanyi Zhou, Yu Zhang, Luyang Kang, Ming Gu, CFD simulation of snow redistribution on gable roofs: Impact of roof slope, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Volume 185, 2019, Pages 16-32, ISSN 0167-6105,
- [4] Vivian Meloysund, Kim Robert Liso, Hans Olav Hygen, Karl V. Hoiseth, Bernt Leira, Effects of wind exposure on roof snow loads, Building and Environment, Volume 42, Issue 10, 2007, Pages 3726-3736, ISSN 0360-1323,
- [5] Thomas K. Thiis, Peter Barfoed, Philippe Delpech, Arild Gustavsen, Vidar Hofseth, Sivert Uvslokk, Marc Dufresne de Virel, Penetration of snow into roof constructions—Wind tunnel testing of different eave cover designs, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Volume 95, Issues 9–11, 2007, Pages 1476-1485, ISSN 0167-6105,
- [6] Qiang, Shengguan & Zhou, Xuanyi & Kosugi, Kenji & Gu, Ming. (2019). A study of snow drifting on a flat roof during snowfall based on simulations in a cryogenic wind tunnel. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. 188C. 269-279.

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Bakalářská práce se bude věnovat problematice zafoukávání sněhu pod skládané střešní krytiny. Při řešení bakalářské práce bude provedena rešerše současného stavu poznání v oblasti skládaných střešních krytin a jejich vlastností z pohledu minimálních sklonů, které vychází v současné době především z problematiky větrem hnaného deště. Snahou bude především zmapování současného poznání v dané problematice, možných proměnných mající vliv na možnost zafoukávání sněhu a metod pro sledování zafoukávání sněhu do střešní konstrukce ze skládané krytiny.

V rámci praktické části práce bude navržena metodika provádění zkoušky (včetně zkušebního zařízení), pomocí které bude možné stanovit pro skládanou střešní krytinu bezpečný sklon, aby nedocházelo k zafoukávání sněhu do konstrukce a bude také obecně použitelná pro možné srovnání různých typů krytin a jejich chování při stejném sklonu konstrukce. V závěru práce pak bude provedeno celkové zhodnocení výsledků a jejich možného využití pro praxi. (rozsah práce 40-50 stran)

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část závěrečné práce zpracovaná podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (povinná součást závěrečné práce).
2. Přílohy textové části závěrečné práce zpracované podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání, a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (nepovinná součást závěrečné práce v případě, že přílohy nejsou součástí textové části závěrečné práce, ale textovou část doplňují).

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá problematikou zafoukávání sněhu pod skládané střešní krytiny. Při řešení teoretické části bylo zjištěno, že v současné době neexistuje zkušební metoda, kterou by se možnost zafoukávání sněhu pod skládanou střešní krytinu měřilo. Proto byla navržena zcela nová metodika pro provádění zkoušky včetně zkušebního zařízení, pomocí které se dá měřit množství sněhu, které se dostane pod skládanou střešní krytinu.

KLÍČOVÁ SLOVA

zafoukávání sněhu, skládaná střešní krytina, střešní taška, celulózová vlákna, umělý sníh

ABSTRACT

This Bachelor's thesis deals with problematics with underblowing snow under a roof covering. When solving the theoretical part it was found that there is currently no method of testing the underblowed snow under the roof covering. Therefore, a completely new methodology was proposed for conducting tests including test equipment, which can be used to measure the quantity of snow that gets under the roof covering.

KEYWORDS

underblowing snow, roof covering, roof tile, cellulose fibers, artificial snow

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Veronika Staňková *Studium odolnosti skládané střešní krytiny proti zafoukávání sněhu*. Brno, 2022. 56 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce doc. Ing. Jiří Zach, Ph.D.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Veronika Staňková *Studium odolnosti skládané střešní krytiny proti zafoukávání sněhu*. Brno, 2022. 56 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce doc. Ing. Jiří Zach, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce s názvem *Studium odolnosti skládané střešní krytiny proti zafoukávání sněhu* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 23. 5. 2022

Veronika Staňková
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem *Studium odolnosti skládané střešní krytiny proti zafoukávání sněhu* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 23. 5. 2022

Veronika Staňková
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych poděkovala vedoucímu své bakalářské práce doc. Ing. Jiřímu Zachovi, Ph.D. za odborné vedení, rady a cenné připomínky při zpracovávání práce. Dále bych chtěla poděkovat Ing. Vítězslavu Novákovi Ph.D. za rady a čas, který mi během psaní bakalářské práce věnoval. Velké poděkování patří také mé rodině a mým nejbližším, kteří mě po celou dobu studia podporovali.

OBSAH

TEORETICKÁ ČÁST.....	10
1 ÚVOD	10
2 STŘEŠNÍ KONSTRUKCE	11
2.1 VLIVY PŮSOBÍCÍ NA STŘEŠNÍ KONSTRUKCE.....	11
2.2 ZÁKLADNÍ POŽADAVKY NA STŘECHY	12
2.3 ŠIKMÉ STŘEŠNÍ KONSTRUKCE	13
2.4 BEZPEČNÝ A MINIMÁLNÍ SKLON	13
3 ZÁKLADNÍ PRVKY A SKLADBY STŘEŠNÍHO PLÁŠTĚ ŠIKMÝCH STŘECH	15
3.1 NOSNÁ VRSTVA.....	15
3.2 HLAVNÍ HYDROIZOLAČNÍ VRSTVA.....	15
3.2.1 Skládání střešní krytiny z pálených střešních tašek	16
3.2.2 Skládání střešní krytiny z betonových tašek	17
3.2.3 Skládání střešní krytiny z plechu	18
3.2.4 Skládání střešní krytiny z vláknocementových desek a tvarovek.....	20
3.2.5 Skládání střešní krytiny z asfaltových šindelů	21
3.2.6 Skládání střešní krytiny z dřevěného šindele	21
3.2.7 Skládání střešní krytiny z plastů.....	22
3.2.8 Skládání střešní krytiny z břidlice a přírodního kamene.....	22
3.2.9 Skládání střešní krytiny z došků	22
3.3 TEPELNĚ IZOLAČNÍ VRSTVA.....	22
3.4 PAROTĚSNÁ VRSTVA.....	22
3.5 VĚTRANÁ VZDUCHOVÁ VRSTVA	23
3.5.1 Jednoplášťové šikmé střechy.....	23
3.5.2 Dvoupplášťové šikmé střechy.....	23
3.5.3 Tři a více plášťové šikmé střechy.....	24
3.6 DOPLŇKOVÁ HYDROIZOLAČNÍ VRSTVA	24
4 ZAFOUKÁVÁNÍ SNĚHU POD STŘEŠNÍ KRYTINU	25
4.1 PROMĚNNÉ MAJÍCÍ VLIV NA ZAFOUKÁVÁNÍ SNĚHU POD SKLÁDANOU STŘEŠNÍ KRYTINU	25
4.1.1 Materiálové a konstrukční řešení.....	25
4.1.2 Sklon střešní konstrukce.....	26
4.1.3 Druhy sněhu	26
4.1.4 Vítr	27
4.2 SOUČASNÝ STAV POZNÁNÍ V OBLASTI ZKOUŠEBNÍCH METOD PRO ZAFOUKÁVÁNÍ SNĚHU POD SKLÁDANOU STŘEŠNÍ KRYTINU	27
PRAKTICKÁ ČÁST	29
5 CÍL PRÁCE	29
6 METODIKA	30
6.1 METODIKA PROVÁDĚNÍ ZKOUŠEK PRO VÝBĚR VHODNÉHO MATERIÁLU URČENÉHO PRO NÁHRADU KLASICKÉHO SNĚHU	30
6.1.1 Velikost částic pomocí laserové difrakce.....	31
6.1.2 Objemová hmotnost částic	31
6.1.3 Sféricita	31
6.1.4 Sypná hmotnost	32
6.1.5 Sypný úhel	33
6.1.6 Porovnání sněhové vločky se zkušenými materiály pomocí mikroskopu	33
6.1.7 Prahová rychlost fluidace	33
7 NÁVRH METODIKY PROVÁDĚNÍ ZKOUŠKY ZAFOUKÁVÁNÍ SNĚHU POD SKLÁDANOU STŘEŠNÍ KRYTINU	35

7.1	ZKUŠEBNÍ APARATURA	35
7.2	ZÁKLADNÍ NÁVRH METODIKY PRO PROVÁDĚNÍ ZKOUŠKY	36
7.3	VÝBĚR OPTIMÁLNÍHO ZKUŠEBNÍHO MATERIÁLU – NÁHRADA SNĚHU	37
7.3.1	<i>Velikost částic pomocí laserové difrakce</i>	37
7.3.2	<i>Objemová hmotnost částic</i>	38
7.3.3	<i>Sféricita</i>	39
7.3.4	<i>Sypná hmotnost</i>	40
7.3.5	<i>Sypný úhel</i>	41
7.3.6	<i>Porovnání sněhové vločky se zkoušenými materiály pomocí mikroskopu</i>	42
7.3.7	<i>Prahová rychlost fluidace</i>	43
7.3.8	<i>Výběr vhodného materiálu</i>	43
7.4	PROVEDENÍ A VYHODNOCENÍ ZKOUŠKY POMOCÍ ZÁKLADNÍHO NÁVRHU METODIKY	44
7.5	MODIFIKACE NÁVRHU METODIKY	46
7.6	PROVEDENÍ A VYHODNOCENÍ ZKOUŠKY PROVEDENÉ POMOCÍ UPRAVENÉHO NÁVRHU METODIKY	46
7.7	FINÁLNÍ NÁVRH METODIKY PROVÁDĚNÍ ZKOUŠKY	48
8	ZÁVĚR	49
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	52
	SEZNAM TABULEK	55
	SEZNAM OBRÁZKŮ	55

TEORETICKÁ ČÁST

1 ÚVOD

Střechy jsou konstrukce, které odnepaměti chrání člověka a jeho obydlí před nepřízní počasí. Každý den jsou tyto konstrukce vystavovány působení vnějších vlivů jako je déšť, vítr, sníh a sluneční záření, změny teplot atd. kterým musí odolávat. S postupem času prošly vývojem až do podob, jak je vidáme dnes. Nejčastěji se setkáváme s šikmými a plochými střechami. Na šikmé střechy se nejčastěji pokládá skládaná střešní krytina, jejíž primární funkce je odvod srážkové vody z povrchu střechy. Většina druhů skládaných střešních krytin není těsná, proto se pod střešní krytinu může dostat zafoukaný sníh, voda při větrem hnaném dešti nebo prachové částice nečistot. A právě tématu zafoukávání sněhu pod střešní krytinu se ve věnuje tato práce.

Při řešení teoretické části bude provedena rešerše současného stavu poznání v oblasti skládaných střešních krytin a jejich vlastností z pohledu minimálních sklonů. Bude snahou zmapovat současné poznání a možné proměnné, které mohou mít vliv na zafoukávání sněhu do konstrukce se skládanou krytinou. V rámci praktické části bude navržena metodika provádění zkoušky včetně zkušebního zařízení, pomocí které by se dalo zafoukávání sněhu pod střešní krytinu hodnotit.

2 STŘEŠNÍ KONSTRUKCE

Střešní konstrukce (střechy) jsou stavební konstrukce, které shora ohraničují a chrání pozemní stavbu před působením povětrnostních vlivů .

Nezákladnější rozdělení střech je dle sklonu vnějšího povrchu střechy α na ploché se sklonem $\alpha \leq 5^\circ$, šikmé se sklonem $5^\circ < \alpha \leq 45^\circ$, strmé se sklonem $\alpha > 45^\circ$. Z hlediska počtu střešních pláštů se střechy dělí na jednoplášťové, dvouplášťové, několikaplášťové. Další možností rozdělení střech je dle pořadí vrstev na střechy se skladbou s klasickým pořadím vrstev, střechy se skladbou s obráceným pořadím vrstev (inverzním) a střechy kombinované a dle využití střešní plochy na střechy bez provozu (nepochůzná) a s provozem (provozní, pochůzná) [1–3].

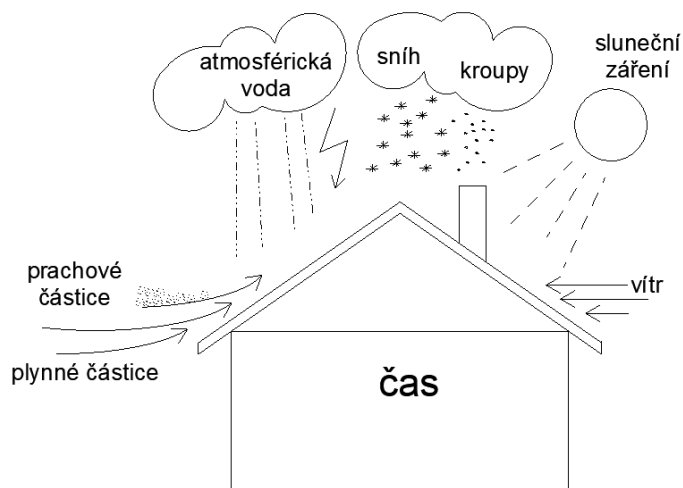
2.1 VLIVY PŮSOBÍCÍ NA STŘEŠNÍ KONSTRUKCE

Střešní konstrukce je součástí obvodového pláště objektu, který odděluje vnitřní prostředí od vnějšího. Na tuto konstrukci nebo její části působí řada vlivů, které ji ovlivňují, a to se musí zohlednit při návrhu střešního pláště. Tyto vlivy musíme při návrhu zohlednit.

Jsou to například:

- klimatické vlivy (sníh, vítr, teplota vzduchu, déšť, UV záření, kroupy, blesky apod.),
- mikroklimatické vlivy (teplota, vlhkost, proudění vzduchu, zkondenzovaná voda apod.),
- chemické,
- biologické a bakteriologické vlivy,
- akustické,
- seizmické a dynamické.

Doba, intenzita a délka působení se u jednotlivých vlivů liší. Vlivy je možné rozdělit dle délky na stálé (zeměpisná poloha, vlastní tíha konstrukce), dlouhodobé (exhalace), periodicky se opakující (kolísání teplot v periodách nebo sluneční záření), krátkodobé (déšť, vítr, sníh) a mimořádné (seismicita) [2–4].



Obr. 1: Některé vlivy působící na střešní konstrukce [4]

2.2 ZÁKLADNÍ POŽADAVKY NA STŘECHY

Dle vyhlášky 268/2009 [5] a související norma ČSN 73 1901 jsou na střešní konstrukce kladeny základní požadavky v následujících oblastech:

- mechanická odolnost a stabilita,
- požární bezpečnost,
- ochrana zdraví osob a zvířat, zdravých životních podmínek a životního prostředí,
- ochrana proti hluku,
- bezpečnost při užívání,
- úspora energie a tepelná ochrana [3].

Tyto požadavky musí konstrukce splňovat při běžné údržbě a působení běžně předvídatelných vlivů po celou dobu plánované životnosti stavby [3].

Mezi základní požadavky kladené na střešní pláště patří: ochrana objektu před povětrnostními podmínkami, vodotěsnost, požární odolnost, bezpečnost při užívání, tepelné či akustické vlastnosti. Kromě těchto požadavků je nutné zohlednit také ekonomickou, estetickou či ekologickou stránku [4].

Ekonomický návrh je takový návrh, při kterém se vybere vhodný typ nosné konstrukce, skladba střešního pláště, materiálové a technologické řešení střechy. Například je možné uskutečnit ekonomicky výhodný výběr krytiny s ohledem na sklon střechy [4].

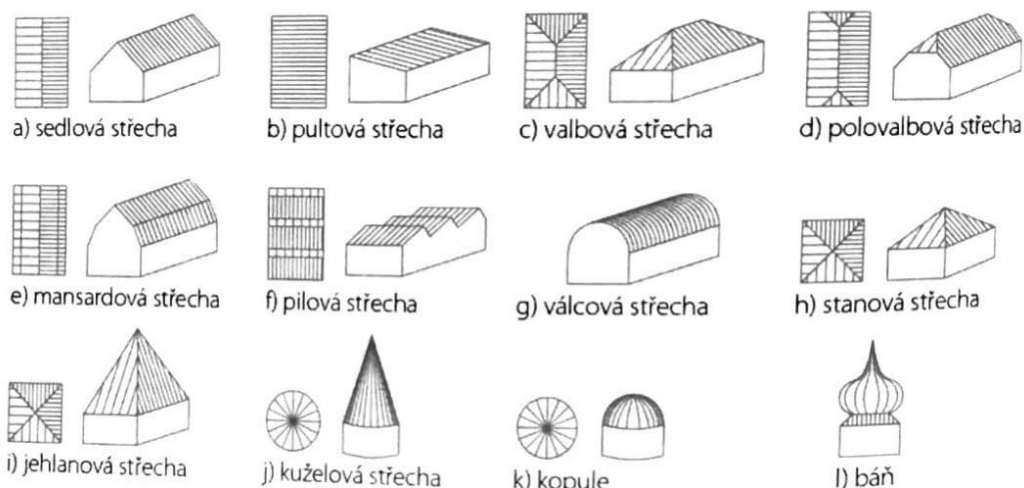
Estetické požadavky jsou obvykle dány z územních a regulačních plánů pro konkrétní území a z požadavků investora. V návrhu střechy se musíme také zabývat využitelností podstřešních prostorů a s tím souvisejícího umístění střešních oken a vikýřů [4].

V současné době se velmi dbá na používání přírodních surovin, které výrazně nezatěžují přírodní prostředí, nejlépe po celou dobu jejich životnosti. Dalším z požadavků je také ekologická likvidace nebo recyklace použitých materiálů [4].

2.3 ŠIKMÉ STŘEŠNÍ KONSTRUKCE

Na území České republiky mají šikmé střechy mnohem větší tradici než střechy ploché. V minulosti sloužily půdní prostory především jako sklady, v současné době se stále častěji využívají k bydlení. Proto musí skladby střech splňovat kromě primární hydroizolační funkce také tepelně technické požadavky a zohledňovat další aspekty jako jsou: rozdílné parametry okrajových podmínek vnitřního a vnějšího prostředí, snaha omezit kondenzaci, zachování trvanlivosti prvků, akustické požadavky, požární bezpečnost atd. [6].

Základními typy šikmých střech jsou střechy sedlové, pultové, valbové, polovalbové, mansardové, pilové, válcové, stanové, jehlanové, kuželové, dále pak kopule a bání (obr. 2) [1,4].



Obr. 2: Typy šikmých střech [1]

2.4 BEZPEČNÝ A MINIMÁLNÍ SKLON

Bezpečný sklon je takový úhel střechy, od kterého se pod střešní krytinu v charakteristickém výseku střešní plochy nedostane volně stékající voda a volně stékající déšť. Stanovuje se pro jednotlivé výrobky dle postupu Cechu klempířů, pokrývačů a tesařů a jeho hodnota vychází z mnohaletých zkušeností s konkrétním materiálem. Obecně jsou pro jednotlivé typy skládaných krytin uvedeny bezpečné sklony v ČSN 73 1901-2 v příloze A [7]. Pokud použijeme střešní krytinu na sklon nižší, než je sklon bezpečný je nutné provést další opatření, které zabrání zatečení vody do konstrukce střechy. Toto opatření nazýváme doplňková hydroizolační vrstva. Dělí se na

šest tříd těsnosti. To, jaká třída doplňkové hydroizolační vrstvy se musí pro danou konstrukci použít se stanovuje dle sklonu a skladby střechy, klimatických podmínek a dalších. Po zvážení všech proměnných je možné, že nutnost použít doplňkovou hydroizolační vrstvu s přísnější třídou těsnosti bude nutné i při bezpečném sklonu střechy. Minimální sklon udává nejnižší možný úhel střechy pro použití dané střešní krytiny, při splnění přísnějších požadavků na těsnost doplňkové hydroizolační vrstvy [8, 9].

Při nedodržení minimálního sklonu pro použití dané střešní krytiny vzniká riziko, že do podstřeší bude zafoukávat velké množství sněhu nebo zatékat voda. Sníh pak zůstává na doplňkové hydroizolační vrstvě nebo se při změnách teplot přemění na led, který může způsobit namáhání této vrstvy. Voda se pak může dostat do půdních prostorů nebo do tepelné izolace znehodnotit ji.

Výrobci střešních krytin uvádějí ve svých technický listech nutnou úpravu střešního pláště, kterou je nutné respektovat při nedodržení bezpečného sklonu pro použití dané krytiny. Nalezneme tam bezpečný sklon s těsným podstřeším – s pojistnou hydroizolací uloženou na bednění s netěsnými spoji, používá se zde difúzní fólie s přesahem nebo bezpečný sklon s vodotěsným podstřeším – s pojistnou hydroizolací plnoplošně podepřenou, vytvořenou například ze dvou asfaltových pásů spojovaných natavením, případně svařovaných nebo lepených hydroizolačních fólií. Bezpečné sklony krytin, především při skladbě s vodotěsným podstřeším, jsou výrazně nižší než sklony doporučené. Nejčastěji však používáme úpravu s těsným podstřeším, úprava s vodotěsným podstřeším se provádí pouze v extrémně nepříznivých podmínkách [2]

3 ZÁKLADNÍ PRVKY A SKLADBY STŘEŠNÍHO PLÁŠTĚ ŠIKMÝCH STŘECH

V současné době se setkáváme s velkým množstvím výrobků a materiálů, které můžeme na konstrukci střešního pláště použít. Střešní pláště se navrhují s ohledem na základní požadavky na střešní pláště a také s ohledem na další podmínky – způsob využití podstřešního prostoru, sklon a tvar střechy, typ použité střešní krytiny, nadmořská výška, počet větraných mezer atd. [1,4].

Základní vrstvy tvořící střešní plášť jsou: provozní vrstva, nosná vrstva, hydroizolační vrstva – povlaková nebo skládaná, tepelně izolační vrstva, tepelně akumulační vrstva, vzduchová vrstva (větraná nebo nevětraná), parotěsná vrstva, nosná vrstva, dilatační vrstva, separační vrstva, spojovací vrstva, drenážní vrstva, filtrační vrstva, větrotěsná vrstva, vzduchotěsná vrstva, hydroakumulační vrstva, pomocná vrstva [3].

3.1 NOSNÁ VRSTVA

Jedná se o nosnou konstrukci střechy a nosnou konstrukci pro střešní krytinu jako je laťování nebo celoplošné bednění. Existují různé konstrukční systémy, které můžeme rozdělovat podle jednotlivých charakteristik. Nejčastěji se provádějí krokevní a hambálkové soustavy nebo soustavy vaznicové. Nejčastěji se nosné konstrukční systémy vyrábí z kombinace dřeva a oceli, případně velká rozpětí z lepeného lamelového dřeva nebo z oceli [4,7].

3.2 HLAVNÍ HYDROIZOLAČNÍ VRSTVA

Hlavní hydroizolační vrstva je konstrukce střešního pláště, která zachycuje a odvádí srážkovou vodu. Brání tím vniknutí vody do konstrukcí. Může se skládat z jedné nebo více vrstev. Navrhuje se jako povlaková nebo skládaná. U šikmých střech používáme především skládanou střešní krytinu, povlakovou vrstvu navrhujeme pro střechy s nízkým sklonem (ploché střechy) [3,4,7].

Skládaná střešní krytina se navrhuje ze základních prvků, které jsou kladeny se vzájemným překrytím a doplňkových prvků krytiny. Tato krytina odvádí srážkovou vodu z povrchu střechy, není těsná proti vodě, která působí hydrostatickým tlakem. Odvod vody je zajištěn dostatečným sklonem střechy. Doporučené minimální sklony skládaných krytin tzv. bezpečné sklony udává norma ČSN 73 1901–2 Tabulka A.1 [2,4,7].

Výrobci skládaných krytin by měli ve svých podkladech stanovit:

- nejmenší (bezpečný) sklon pro užití dané krytiny a potřebná opatření při menších bezpečných sklonech,

- přesahy jednotlivých prvků, případně vzdálenost podpůrných prvků a jejich rozměr (např. nosných latí),
- způsob kotvení jednotlivých prvků (při větších sklonech, v oblastech s intenzivními větry),
- doplňková opatření zvyšující použitelnost krytiny, např. při extrémních klimatických zátěžích),
- technická řešení kritických míst a detailů, např. únava krytiny u štítů, nároží, úžlabí, komínu apod.,
- požadavky na dilataci krytiny, zejména u velkoplošných kovových krytin,
- zásady pro větrání části střechy pod krytinou,
- další podstatné skutečnosti, např. podmínky realizace, životnost, požadavky na údržbu, odolnost proti korozi, kyselinovzdornost [4].

Mezi nejběžnější druhy skládané střešní krytiny patří: pálené střešní tašky, betonové střešní tašky, plechové střešní krytiny (z plechových rovinných desek, krytina imitující tvar taškových krytin), vláknocementové střešní krytiny, asfaltové šindele, dřevěné šindele, střešní krytiny z plastů, krytiny z břidlice a jiného přírodního kamene, rákosové a slaměné došky [7].

3.2.1 Skládaná střešní krytina z pálených střešních tašek

Pálené střešní tašky se vyrábí z cihlářské hlíny, která se ve výrobním závodě zpracuje a následně se z ní táhnou nebo razí jednotlivé tašky. Ty se nejprve vysuší v sušárně a následně se umístí do pece, kde se vypalují při teplotě kolem 1100 °C. Doba sušení a teplota výpalu je různá v závislosti na použité surovině [1,4].

Povrch tašky může být bez jakékoliv povrchové úpravy, pak se jedná tzv. tašky režné. Barva tašek je dána barvou vypáleného cihlářského střepu. Nebo mohou být před výpalem opatřeny povrchovou úpravou– engobou nebo glazurou. Engoba je velmi naředěná jílovitá hmota obohacená o oxidy a minerály. Vytváří hladký, matný, prodyšný, stejnobarevný povrch. Základem glazury je hmota s vysokým obsahem oxidu křemíku. Po výpalu taška získá lesklý, hladký a neprodyšný povrch. Úprava povrchu střešních tašek neprodlužuje jejich životnost, jedná se pouze o estetickou záležitost (upravené tašky více odolávají usazováním nečistot) [1,4].

Pálené střešní tašky mají různé tvary (obr. 3). Můžeme je z hlediska konstrukce rozdělit na bezdrážkovou a drážkovou. Většinou se setkáváme s bočními a hlavovými (horními) drážkami, minimální počet drážek jsou dvě, u některých typů mohou být i tři. Tašky bezdrážkové se vyrábí pouze ve tvaru bobrovky. Drážkované střešní tašky mají větší předpoklad odolávat průniku srážkové vody např. větrem hnané. Pokud jsou boční

a hlavové drážky v různé výškové úrovni a navzájem odděleny hovoříme o taškách s přerušovanou vodní drážkou. Když mají tašky boční a hlavové drážky navzájem propojeny ve stejné úrovni, jedná se o tašky se spojitou vodní drážkou [1,6].



Obr. 3: Ukázka typů pálených střešních krytin [10]

Každý typ střešní tašky má výrobcem předepsaný minimální bezpečný sklon např. většina střešních tašek Tondach firmy Wienerberger má předepsaný bezpečný sklon 30 ° a minimální 20 °, najdeme zde střešní tašku s bezpečným sklonem 22 ° a minimálním 12 ° toto splňuje např. střešní taška Samba 11. Při použití krytiny pro střechy s nižším sklonem, než je sklon bezpečný je vždy nutné provést doplňkovou hydroizolační vrstvu dle předpisu výrobce. Na svislé plochy je možná pokládka do 90 °. Od jakého sklonu musíme střešní tašky kotvit dle předpisu. Montáž střešních tašek se provádí na sucho pokládkou na závěsné latě. Klást krytinu zplna do malty, popř. do rámu je možné pouze u střešní krytiny z prejzů a taškovou krytinu bobrovku [1,7,10].

Pro správně fungující střešní plášť je důležité jeho odvětrání. Odvětrání se provádí v okapní části, ve střední části plochy střechy a v části hřebene a nároží. Větrací otvor je určen výškou kontratátí. Velikost větracích otvorů se ověřuje výpočtem. Pokud je nedostatečný větrací průřez u hřebene je nutné do plochy střechy osadit větrací tašky. Výrobci u některých typů tašek vyrábí větrací tašky pro připojení hřebene do poslední řady u hřebene, čímž se zvětší větrací průřez a nemusí se dávat větrací tašky do plochy. Při použití větracích tašek do plochy se zvyšuje riziko, že přes tyto tašky může zafoukávat sníh a větrem hnaný déšť do podstřeší [1].

3.2.2 Skládaná střešní krytina z betonových tašek

Tato krytina se vyrábí z klasické betonové směsi, která se skládá z písku, portlandského cementu a vody. Do směsi se přidávají různé pigmenty a přísady, které se podílí na následné barvě, pevnosti a životnosti těchto tašek. Z takovéto směsi se vyrábí

nejdříve tažením nekonečný pás, který se rozdělí a následně se z jednotlivých částí, které jsou vyskládány na podložkách, lisují požadované tvary tašek [1].

Z hlediska geometrie rozdělujeme krytinu z betonových střešních tašek na drážkovou s vyvýšenou boční drážkou, drážkovou se sníženou boční drážkou jednoduchou nebo dvojitou a betonovou střešní tašku plochou (obr. 4) [7].



Obr. 4: Typy betonových střešních tašek BRAMAC [11]

Například jednotlivé typy tašek BRAMAC mají většinou předepsaný bezpečný sklon 22 ° a 25 °, minimální předepsané sklony jsou pak 12 ° a 15 °, dle typu tašky. V nabídce je také možné najít střešní tašku, která při předepsaném systémovém řešení má minimální sklon 7°, jedná se o střešní tašku Bramac MAX 7°. Při použití krytiny na sklon menší než bezpečný, musíme použít předepsanou doplňkovou hydroizolační vrstvu. Maximální sklon, při kterém je možné tašky pokládat je 90°. Při sklonu vyšším než 45° je nutné tašky ukotvit dle předpisu. Všechny tašky po obvodu střechy je nutné ukotvit. Montáž střešních tašek se provádí stejně jako u pálené střešní krytiny na latě [1,11].

Neméně důležité je také správné odvětrání střešního pláště, které se provádí obdobně jako u pálené střešní tašky, a to v okapní části, ve střední části plochy střechy a v části hřebene a nároží. Větrací otvor je určen výškou kontralatí. Velikost větracích otvorů se ověřuje výpočtem. Pokud je odvětrání nedostatečné, používají se betonové větrací tašky do lochy střechy [1].

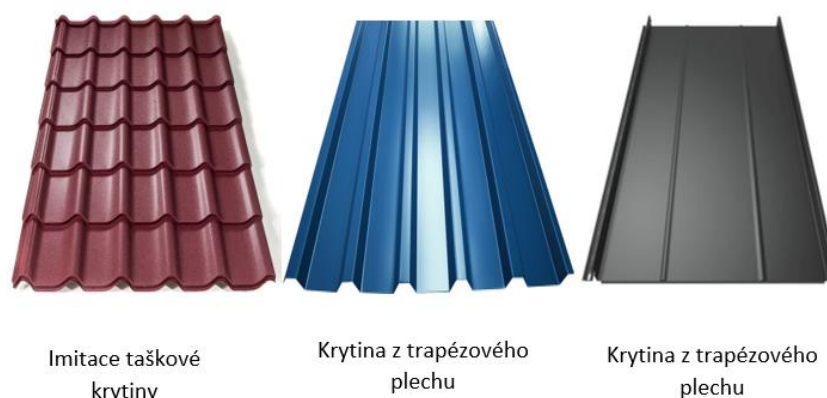
3.2.3 Skládání střešní krytiny z plechu

Plechová skládaná střešní krytina se rozděluje na: krytinu z rovinných plechových desek, krytinu z plechů imitující tvar taškových krytin, krytina z trapézových nebo vlnitých plechů, krytina z tabulí s podélnými zámky imitující hladkou krytinu s podélnými drážkami nebo krytina hladká spojovaná na drážky nebo lišty [7].

Vyrábí se z kovů (měď, hliník, zinek a jejich slitiny), které jsou buď odolné proti účinkům klimatických vlivů bez úprav nebo mohou mít různé povrchové úpravy, zlepšující jejich vlastnosti (žárově pokoveným hliníkem a ocelí, organickými povlaky) [7].

3.2.3.1 Plechové střešní krytiny imitující tvar taškových krytin, krytina z trapézových nebo vlnitých plechů, plechová krytina hladká na drážky nebo lišty

Tento typ krytiny se obvykle vyrábí z velkoplošných prvků (obr. 5), které jsou spojovány přesahem. Plechové krytiny patří mezi nejlehčí druhy střešních krytin. Minimální sklony jsou předepsány výrobcem, obvykle se pohybují kolem 5 °, u hladké plechové krytiny se můžeme s minimálním sklonem 3 ° [1,7].



Obr. 5: Příklad typů plechových krytin z velkoplošných prvků [12–14]

Taškové a trapézové plechové krytiny pokládáme obvykle na latě a kotvíme speciálními samořeznými vruty. Hladké plechové krytiny pokládáme nejčastěji na prkenné bedněni. Tato krytina se kotví rovněž vruty, do předem připravených otvorů [1,7].

Protože je plechová krytina vzduchotěsná, je nutné dbát při realizaci na správné provedení větrací vzduchové mezery, která je umístěna pod nosnou konstrukcí krytiny [1].

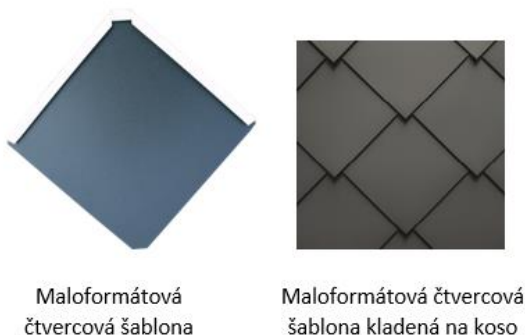
Plechová krytina hladká nebo na lišty je složena z rovinných plechových desek, které se napojují příčnými nebo podélnými spoji. Tloušťky jsou různé podle použitého materiálu, pohybují se od 0,5 mm do 1 mm [1,4].

3.2.3.2 Plechová střešní krytina z šablon

Jedná se o maloplošné rovinné prvky (šablony), které jsou spojovány přesahem. Předepsané minimální sklony jsou různé, záleží na velikosti a typu šablon [1,4].

Můžeme se setkat s hladkými šablonami ve tvaru čtverce (obr. 6), obdélníku nebo kosočtverce, s šablonami z tvarovaného plechu, s plechovými taškami nebo šupinami, které mohou být opatřené zdobením [1,4].

Pokládají se na latě nebo podkladní bednění [1,4].



Obr. 6: Příklad maloformátové šablony [15,16]

3.2.4 Skládaná střešní krytina z vláknocementových desek a tvarovek

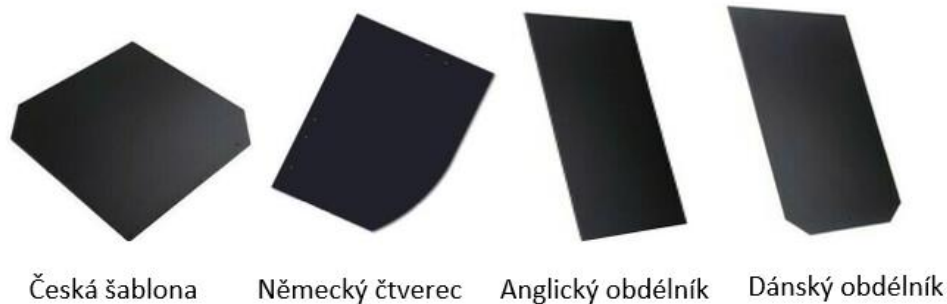
Vláknocementová krytina je taky známá pod názvem eternit. Eternitové krytiny se vyráběly z cementu a azbestu. Nyní se vláknocementová krytina vyrábí ze směsi vláken buničiny a umělých vláken. Tato směs se lisuje válcováním, poté se rozdělí na požadované tvary a opatří povrchovou úpravou [1,4].

Můžeme se setkat se střešní krytinou z vláknových desek a tvarovek z rovinných maloformátových prvků nebo vlnitých desek [7].

3.2.4.1 Maloplošná skládaná střešní krytina

Vyrábí se v různých tvarech a rozměrech (obr. 7). Jeden z nejpoužívanějších tvarů na našem území je česká šablona, dále se můžeme setkat s německým čtvercem, dánským a anglickým obdélníkem nebo s tvarem bobrovky [1].

Minimální sklo střechy pro použití vláknocementové maloformátové krytiny se velice liší, dle tvaru a dle klimatických podmínek, minimální sklon může být 30 °, 25 ° i 18 ° [1].



Obr. 7: *Nejběžnější typy vláknocementových šablon [17–20]*

3.2.4.2 Velkoplošná vlnitá vláknocementová krytina

Vyrábí se ve tvaru vlnitých desek, které se využívají především na zastřešení průmyslových objektů, skladových hal, hospodářských objektů apod. Minimální sklon u těchto krytin bývá uváděn od 10 ° [1].

3.2.5 Skládaná střešní krytina z asfaltových šindelů

Tento typ střešní krytiny se vyrábí z asfaltu, který se za horka nanáší na nosnou vrstvu (obvykle ze skelné rohože) z obou stran. Z jedné strany je pak povrch opatřen barevným posypem [1,21].

Můžeme se setkat s celou řadou tvarů a barev. Nejběžnější tvary jsou obdélník, bobrovka, kosočtverec a šestiúhelník [1,21].

Nejčastěji minimální sklon udávaný výrobcem je 15 °. Šindele se pokládají přes podkladní pás na celoplošné bednění. Kotvení se provádí korozivzdornými hřebíky s velkou hlavou. Všechny typy asfaltových šindelů mají na horním nebo dolním povrchu šindele samolepící nebo teplem aktivované body či proužky. Toto opatření slouží pro přilepení jednotlivých šindelů k sobě. Díky tomuto opatření je krytina z asfaltových šindelů vzduchotěsná. Proto musíme věnovat pozornost odvětrání vzduchové vrstvy [1,7,21].

3.2.6 Skládaná střešní krytina z dřevěného šindele

Tento druh střešní krytiny se používá pro památkové objekty. Jedná se o jednu z nejtradičnějších střešních krytin [1,7].

Zpravidla se používá od minimálních sklonů střech 30 °. Dřevěné šindele se ve většině případů pokládají na střešní latě, kotví se pomocí korozivzdorných hřebíků [1,7].

3.2.7 Skládaná střešní krytina z plastů

Tato krytina obvykle imituje běžné krytiny z tradičních materiálů. Použití, minimální sklon a způsob pokládky se většinou řídí pravidly typu krytiny, kterou napodobuje [7].

3.2.8 Skládaná střešní krytina z břidlice a přírodního kamene

Břidlicovou střešní krytinu můžeme navrhovat z různých tvarů, velikostí a technologických způsobů montáže [1].

Minimální sklony pro pokládku se udávají většinou od 22 ° (pro krytinu z pravoúhlých obdélníků), pro ostatní tvary se minimální sklon udává většinou 25 ° nebo 30 °. Nosná vrstva pro pokládku této krytiny je obvykle plnoplošné bednění z dřevěných prken nebo velkoplošných desek. Stabilita se zajišťuje pomocí měděných hřebíků se závitem, korozivzdorných hřebíků nebo speciálních háčků. Tyto krytiny lze považovat za krytiny s vysokým difúzním otvorem, proto se musí věnovat zvýšená pozornost odvětrání střešního pláště [1,7].

3.2.9 Skládaná střešní krytina z došků

Střešní krytina z došků bývá většinou ze slámy nebo rákosů. Obvykle se používá na historické objekty [1,7].

Minimální sklon pro použití této krytiny se pohybuje většinou až od sklonu 45 ° [7].

3.3 TEPELNĚ IZOLAČNÍ VRSTVA

Tepelně izolační vrstva minimalizuje tepelné ztráty v objektu v zimním období a brání přehřívání v letním období. Může být umístěna v úrovni nosné konstrukce, pod úrovní nosné konstrukce, nad úrovní nosné konstrukce nebo kombinovaně.

Při výběru materiálu zohledňujeme tyto parametry: součinitel tepelné vodivosti, odolnost proti vlhkosti, napětí v tlaku při stlačení, třída reakce na oheň, akustické parametry atd. [1,3,7].

3.4 PAROTĚSNÁ VRSTVA

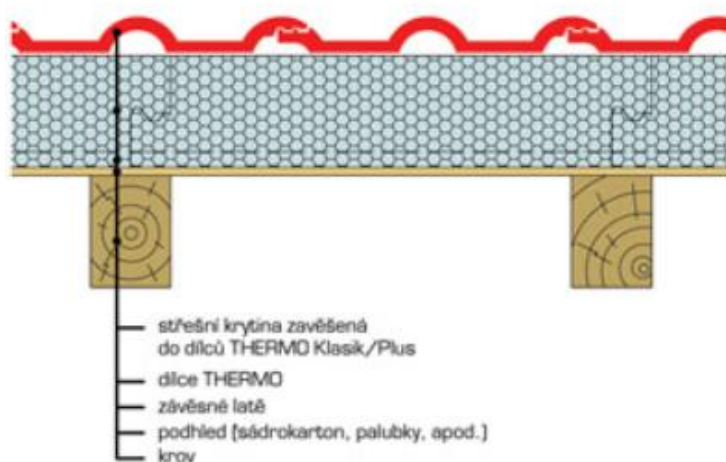
Parotěsná vrstva, zkráceně parozábrana, je poslední vrstva střešního pláště. Má zabránit pronikání vlhkého vzduchu z vnitřního prostředí do dalších vrstev střešního pláště. Pro tuto vrstvu se nejčastěji používají fólie lehkého typu, asfaltové pásy, vhodné deskové výrobky s dostatečnou ekvivalentní tloušťkou [1,3,7].

3.5 VĚTRANÁ VZDUCHOVÁ VRSTVA

Vzduchová vrstva mezi doplňkovou hydroizolační vrstvou a skládanou střešní krytinou musí být navržena jako větraná. V případě víceplášťových střech musí být také větraná vzduchová vrstva mezi doplňkovou hydroizolační vrstvou a tepelnou izolací. Protože proudění vzduchu snižuje riziko kondenzace vodní páry a odvádí přebytečnou vlhkost do vnějšího prostředí, navrhuje se odvětrávaná vrstva v místě, kde se předpokládá, že by mohla vodní pára zkondenzovat. Skladby střešního pláště můžeme rozdělit podle počtu větraných vzduchových mezer na jednoplášťové, dvou plášťové, tříplášťové [2,7].

3.5.1 Jednoplášťové šikmé střechy

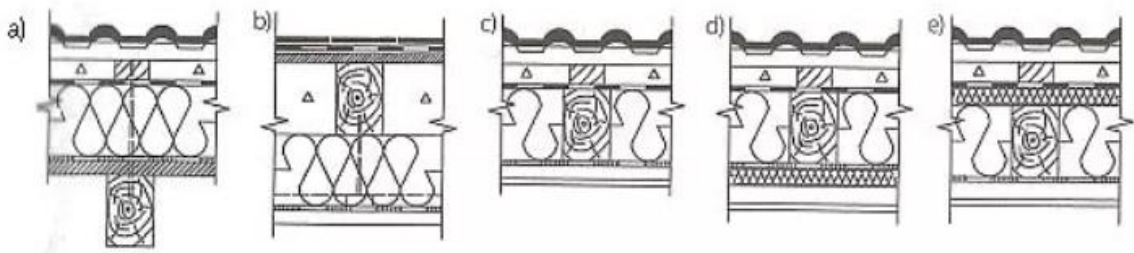
Tato konstrukce střechy nemá žádnou vzduchovou mezeru, vrstvy střešního pláště jsou uloženy kontaktně. Mezi základní skladby jednoplášťových šikmých střech patří střechy bez tepelné izolace, střechy se slámovými nebo rákosovými došky, střecha s nadkroevní tepelnou izolací bez větrané vzduchové mezery (tepelná izolace je buď mechanicky zakotvená nebo může být přitížena těžkou skládanou střešní krytinou), kompaktní skladba (lepená skladba ve které se jako tepelná izolace používá pěnové), nebo skladba střechy vegetační [3,4].



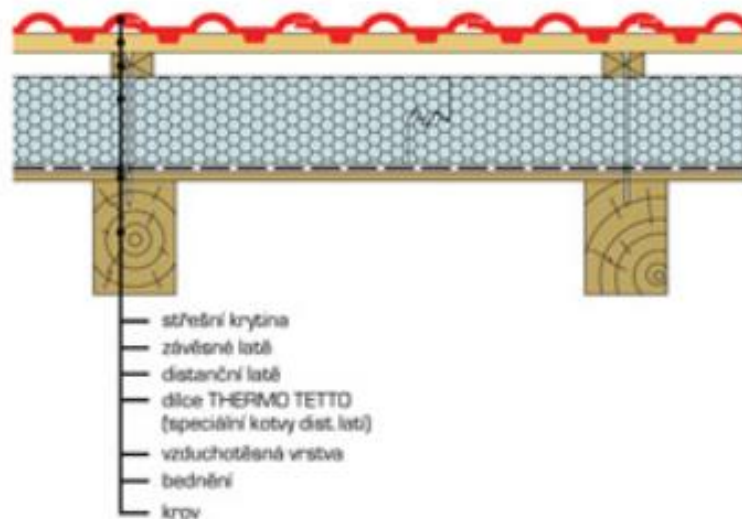
Obr. 8: Příklad skladby jednoplášťové šikmé střechy s nadkroevní izolací [22]

3.5.2 Dvouplášťové šikmé střechy

Jedná se o konstrukci, která má ve skladbě jednu větranou vzduchovou mezeru. Tento typ skladby je používanější než skladba jednoplášťové šikmé střechy. U těchto střešních plášťů můžeme umísťovat tepelně izolační vrstvu variabilně (pod nosné prvky střechy, nad nosnými prvky, mezi nosnými prvky střechy a pod a mezi nosnými prvky), proto existuje mnoho variant skladby dvouplášťové šikmé střechy [3,4].



Obr. 9: Příklady různých skladeb dvouplášťových střech: a) nadkrokevní tepelný izolace, b) tepelná izolace pod krokve, c) tepelná izolace mezi krokve, d) tepelná izolace mezi i pod krokve, e) tepelná izolace mezi a nad krokve [4]



Obr. 10: Příklad skladby dvouplášťové střechy s nadkrokevní izolací [22]

3.5.3 Tři a více plášťové šikmé střechy

Střecha, která je vytvořena střešními pláště a v případě tříplášťové skladby dvěma větranými vzduchovými mezerami. Tuto skladbu používáme především u objektů s využívaným podstřešním prostorem. Tepelnou izolaci ve skladbě umísťujeme mezi krokve a pod krokve, pod krokve nebo pod nosnou konstrukci krovu [3,4].

3.6 DOPLŇKOVÁ HYDROIZOLAČNÍ VRSTVA

Doplňková hydroizolační vrstva, chrání vrstvy střešního pláště proti větrem hnanému dešti, proti zalétávání prachového sněhu, proti působení větru, prachu, který se může dostat pod skládanou krytinu z důvodu netěsnosti nebo při jejím náhlém poškození. Jedná se většinou o souvislou vrstvu, tvořenou pomocí fólií. Tato vrstva musí být odvodněna tak, aby voda, kterou tato vrstva zachytí nepronikala do vrstev střešního pláště, ale byla odvedena mimo chráněnou konstrukci [1,3,4,7].

4 ZAFOUKÁVÁNÍ SNĚHU POD STŘEŠNÍ KRYTINU

Skládaná střešní krytina prováděna ze střešních tašek odvádí srážkovou vodu z povrchu, avšak není často těsná vůči větrem hnanému dešti a zafoukávání prachového sněhu pod krytinu [4].

Při správném provedení doplňkové hydroizolace, dešťová voda, která se pod krytinu vlivem větrem hnaného deště dostala, odteče vlivem gravitace po jejím povrchu pryč z konstrukce. Zafoukaný sních zůstává na doplňkové hydroizolační vrstvě. Může mít za následek tlakové namáhání doplňkové hydroizolační vrstvy, díky kterému se mohou rozevírat mezery a při roztání sněhu se voda může dostat do tepelné izolace nebo do podstřeší. Ze zafoukaného sněhu se taktéž může vytvořit vlivem povětrnostních podmínek led, který rovněž může způsobit namáhání doplňkové hydroizolace.

4.1 PROMĚNNÉ MAJÍCÍ VLIV NA ZAFOUKÁVÁNÍ SNĚHU POD SKLÁDANOU STŘEŠNÍ KRYTINU

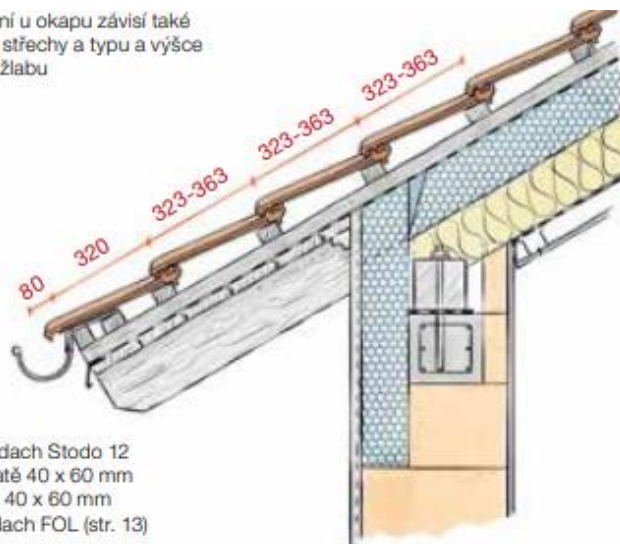
Zafoukávání sněhu a celkovou těsnost střešní krytiny mohou ovlivňovat různé proměnné.

4.1.1 Materiálové a konstrukční řešení

Způsob provádění skládané střešní krytiny se liší v závislosti na použitém materiálu. Například keramická nebo betonová střešní krytina (střešní tašky) nemají těsné spojení mezi jednotlivými taškami, proto je se pod tyto krytiny dostává zafoukaný sních, voda nebo prachové nečistoty. Z tohoto důvodu jsou tyto krytiny z pohledu zafoukávání sněhu daleko rizikovější než ostatní skládané střešní krytiny, které jsou vzduchotěsné (například střešní krytina z asfaltových šindelů).

Při provádění se musí dbát na způsob pokládky střešních tašek. Je třeba dodržovat vzdálenost laťování, dle použité krytiny a předpisu výrobce. Vzdálenost laťování určuje velikost přesahu jednotlivých tašek, který se může lišit v daném rozmezí (obr. 11) a pro zafouknutí sněhu pod krytinu je rovněž důležitý [23].

Rozlaťování u okapu závisí také na sklonu střechy a typu a výšce okapního žlabu



Obr. 11: Ukázka možného rozptylu délek přesahu u pálené střešní tašky Tondach Stodo 12 [24]

Vliv může mít také samotný materiál střešní krytiny, protože každý materiál má jiné rozměrové tolerance. Příkladem může být například srovnání betonové a pálené střešní krytiny, kde keramická střešní krytina může být méně těsná z důvodu větší rozměrové tolerance. Větší rozměrové tolerance jsou zde z důvodu smrštění sušením a pálením. U keramických pálených střešních tašek hraje určitou roli i způsob výroby. Když se podíváme na střešní tašku lisovanou, tak na ní ve většině případů uvidíme drážky, spoje těchto tašek jsou tak těsnější než u střešní tašky tažené, které jsou bezdrážkové.

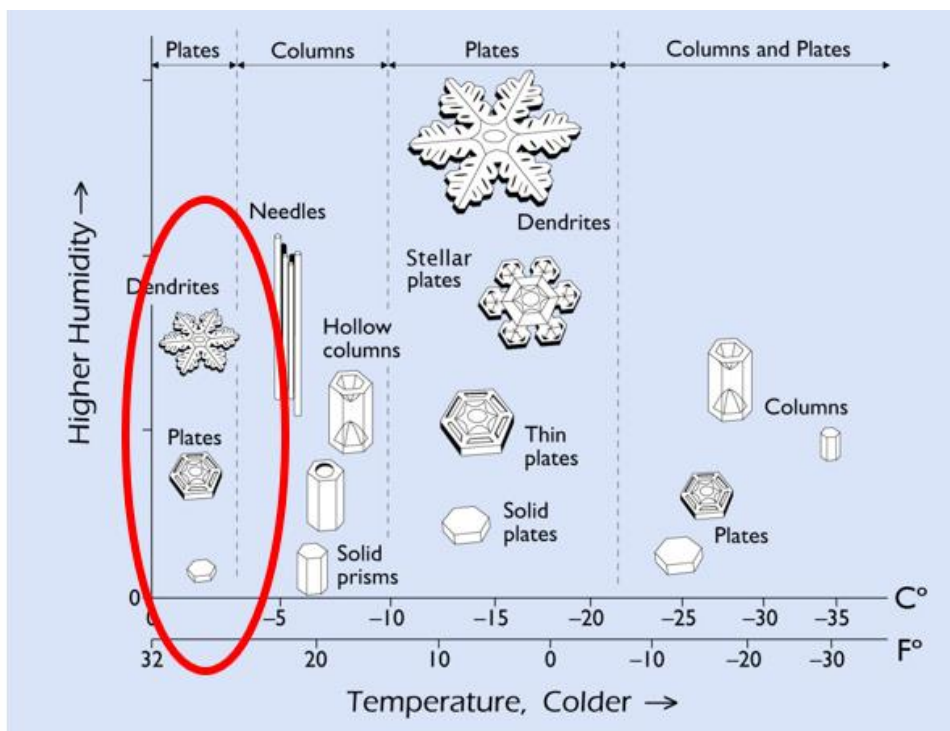
4.1.2 Sklon střešní konstrukce

Dodržování předepsaného minimálního a bezpečného sklonu jednotlivých střešních krytin je zásadní, pro správnou funkčnost střešní krytiny.

4.1.3 Druhy sněhu

Pokud se podíváme na obecné složení sněhu, jedná se o zmrzlou vodu, která přijala pevnou krystalickou strukturu. V závislosti na způsobu zamrznání H_2O má krystal sněhu různé tvary a vlastnosti (obr. 12). Může se vyskytovat v pěti obecných typech: graupel (měkké kroupy nebo sněhové pelety), talíře (plates), jehličky (needles), sloupce (columns) a dendrity. Každý typ vzniká při jiné teplotě a vlhkosti vzduchu [24].

Předpokládáme, že nejkritičtější duh sněhu pro zafouknutí pod střešní krytinu, bude sníh prachový, který se skládá z malých dendritových a talířových vloček. Tento sníh je „sušší“ a lehčí.



Obr. 12: Tvary sněžových vloček a závislost na vlhkosti a teplotě [26]; vyznačený nejkritičtější druh sněhu pro případ zafoukávání pod skládanou střešní krytinu

4.1.4 Vítr

Vlastnosti větru jako je směr a rychlost mohou ovlivnit množství sněhu, které se pod střešní krytinu dostane.

Parametry proudění vzduchu – vítr mohou mít zásadní vliv na množství sněhu, které je zafoukáváno pod skládanou střešní krytinu. Jednoznačný vliv má rychlost proudění vzduchu, konkrétně prahová úletová rychlost sněhu. Při překročení prahové úletové rychlosti se sníh dostává vznosu – stav fluidace, díky čemuž je umožněno jeho zafoukávání pod skládanou střešní krytinu [27].

4.2 SOUČASNÝ STAV POZNÁNÍ V OBLASTI ZKUŠEBNÍCH METOD PRO ZAFOUKÁVÁNÍ SNĚHU POD SKLÁDANOU STŘEŠNÍ KRYTINU

V současné době zatím neexistuje zkušební metoda, pro sledování zafoukávání sněhu pod střešní krytinu. Metoda zkoušení zafoukávání sněhu pod skládanou střešní krytinu není dána normou, ani není popsána v žádných renomovaných vědeckých pracích. Je známo, že se skládané střešní krytiny se zkouší ve větrném tunelu, kde se zkouší jejich odolnost proti větrem hnanému dešti, tato metodika zkoušení je dána normou CEN/TR 15601:2012 - driven rain of roof. Některé vědecké články se věnují problematice redistribuce sněhu na střeších. Většina zkoušek redistribuce sněhu na střeších probíhá v klimatických komorách za použití přírodního sněhu. V článku „Wind tunnel test of snow loads on a stepped flat roof using different granular materials“ [28] se jeho

autoři věnují výpočtu redistribuce sněhu na šikmé střeše a k ověření výpočtů používá zmenšený model střechy, na který foukají materiál simulují sních v tomto případě byl použitý křemičitý písek. Jako další uvažované materiály byly vybrány dřevěný popel a kuličkový polystyrén. Tyto materiály byly vyřazeny experimentální části z důvodu jejich vlastností (tab. 2) a porovnání s příslušnými parametry sněhu (tab. 1) [28].

Tab. 1: Parametry klasického sněhu [28]

Materiál	Průměrná velikost částic d_{50} [mm]	Objemová hmotnost částic ρ_p [kg/m³]	Prahová rychlost fluidace u [m/s]	Sypný úhel α [°]
Sněhová částice	0,15-0,20	50-700	0,15-0,36	50

Tab. 2: Parametry zkoušených materiálů pro použití místo sněhu [28]

Materiál	Průměrná velikost částic d_{50} [mm]	Objemová hmotnost částic ρ_p [kg/m³]	Prahová rychlost fluidace u [m/s]	Sypný úhel α [°]
Křemičitý písek	0,2	2784	0,33	34
Plastové částice	0,4	1223	0,22	21
Dřevěný popel	0,5	297	0,15	43

PRAKTICKÁ ČÁST

5 CÍL PRÁCE

Cílem práce je zmapování současného stavu poznání v oblasti skládaných střešních krytin a jejich vlastností z pohledů minimálních sklonů. Stanovení možných proměnných, které mají vliv na zafoukávání sněhu a metod pro sledování zafoukávání sněhu pod skládanou střešní krytinu. V rámci praktické části je cílem navrhnout metodiku pro provádění zkoušky, pomocí které bude možné stanovit pro skládanou střešní krytinu bezpečný sklon, aby nedocházelo k zafoukávání sněhu do konstrukce. Zkouška by měla být použitelná také pro srovnání chování jednotlivých krytin při stejném sklonu konstrukce.

6 METODIKA

Na základě teoretické rešerše jsme navrhli metodiku pro měření zafoukávání sněhu pod skládanou střešní krytinu. Při řešení praktické části jsme postupovali následovně:

- návrh zkušební aparatury,
- základní návrh metodiky provádění zkoušky zafoukávání sněhu pod skládanou střešní krytinu,
- výběr vhodného materiálu pro náhradu klasického sněhu – pro porovnání vlastností zkoušených materiálů s klasickým sněhem jsme stanovili u zkoušených materiálů tyto vlastnosti:
 - velikost částic – pomocí laserové difrakce,
 - objemová hmotnost částic,
 - sféricita,
 - sypná hmotnost,
 - sypný úhel,
 - prahová rychlost fluidace,
- provedení a vyhodnocení zkoušky základního návrhu metodiky a zkušební aparatury pro zkoušení zafoukávání sněhu pod skládanou střešní krytinu bude možné zkoušku provádět,
- na základě provedení zkoušky podle základního návrhu upravení návrhu metodiky provádění zkoušky zafoukávání sněhu pod skládanou střešní krytinu,
- provedení zkoušky pomocí upravené metodiky zkoušení zafoukávání sněhu pod skládanou střešní krytinu, při zkoušce jsme zkoušeli dva různé sklony modelu střechy
- finální návrh metodiky provádění zkoušky zafoukávání sněhu pod skládanou střešní krytinu.

Pro ověření metodiky provádění zkoušky zafoukávání sněhu pod skládanou střešní krytinu byla použita pálená střešní taška Tondach Stodo 12 od firmy Wienerberger.

6.1 METODIKA PROVÁDĚNÍ ZKOUŠEK PRO VÝBĚR VHODNÉHO MATERIÁLU URČENÉHO PRO NÁHRADU KLASICKÉHO SNĚHU

Abychom mohli zkoušku prakticky provést bylo nutné vybrat vhodný materiál jako náhradu klasického sněhu. Pro výběr optimálního zkušebního materiálu jsme zvolili zkoušky, kterými zjistíme některé důležité vlastnosti materiálu, které budou sloužit pro následné porovnání a vyhodnocení vhodnosti použití jako náhradu za přírodní sníh.

V odborné literatuře je uvedeno použití tří nejčastějších materiálů, které se používají jako náhrada za přírodní sníh, při simulacích (křemičitý písek, plastové částice a dřevěný popel) [28]. V rámci praktické části práce byl testován umělý sníh, který se využívá ve filmovém průmyslu (označení v práci: celulóza 1) a celulózová vlákna používaná pro foukané izolace (označení v práci: celulóza 2) získávaná rozvlákněním papíru na jemnost (jednalo se o materiál Climatizer+ of firmy CIUR a.s.).

Před stanovením jednotlivých vlastností jsme z vybraných materiálů odstranili částice větší než 1,5 mm pomocí síta.

6.1.1 Velikost částic pomocí laserové difrakce

Laserová difrakce se využívá pro stanovení velikosti částic. Může se aplikovat na celou řadu sypkých materiálů. Metoda je vhodná pro měření velikosti částic v rozmezí 0,1 μm až 3000 μm . Metoda stanovení velikosti částic je založena na ohybu (difrakci) laserového paprsku na částicích vzorku. Vzorek prochází skrz monochromatický zdroj světla (laser). Částice světlo rozptýlí při různých úhlech, to měří fotodetektory. Hodnoty z fotodetektoru jsou zaznamenány pro analýzu [29].

Pro měření bylo nutné připravit vzorky. Částice ve vzorku by měly být s max. velikostí zrn 1 mm, pokud jsou částice větší je nutné je přesít. Takto připravený vzorek se umístí do měřícího zařízení. Výsledkem měření je graf distribuce velikosti částic [30].

6.1.2 Objemová hmotnost částic

Pro orientační stanovení objemové hmotnosti částic byl zvolený tento postup. Vzhledem k charakteru zkoušených materiálů jsme pro stanovení objemové hmotnosti částic použili přístroj, který slisuje materiál do tablet ve tvaru válce (obr. 18). Takto připravené vzorky se zváží a změří se jejich rozměry. Z naměřených veličin jsme spočetli objemovou hmotnost částic jednotlivých vzorků [31].

Vzorec pro výpočet objemové hmotnosti částic:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad [\text{kg/m}^3]$$

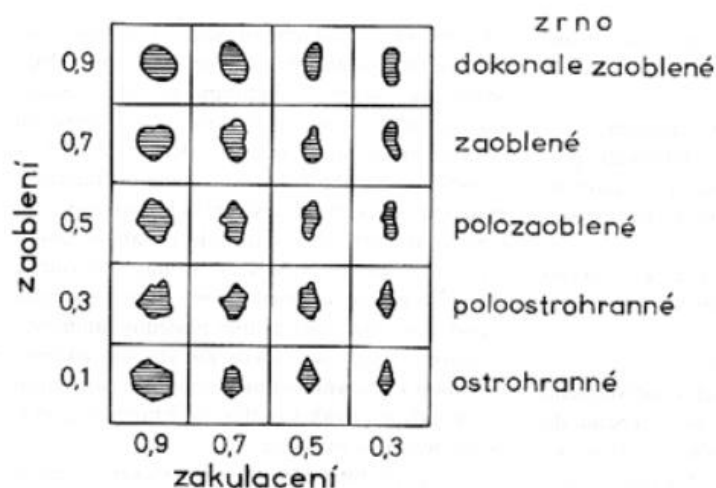
kde: ρ = objemová hmotnost částic [kg/m³]

m = hmotnost [kg]

V = objem [m³]

6.1.3 Sféricita

Sféricita neboli míra zakulacení vyjadřuje, jak moc se částice přibližuje tvaru koule (obr.13). Udává se jako číslo od 0 do 1, kdy 1 je tvar dokonalé koule. Určovali jsme ji na vzorcích, které byly umístěny pod mikroskopem. Vzorky byly 30krát zvětšeny. U každého vzorku jsme určili sféricitu 100 částic, které jsme následně zprůměrovali [32].



Obr. 13: Schéma pro vizuální odhad sféricity [32]

6.1.4 Sypná hmotnost

Zkouška byla provedena dle ČSN EN 1097–3. Sypná hmotnost je hmotnost materiálu, který je volně nasypáný do nádoby se známým objemem. Naměřená hmotnost se potom vydělí objemem této nádoby, výsledkem je sypná hmotnost. Jako zkušební zařízení se používá vodotěsná válcová nádoba. Minimální objem nádoby je dán horní velikostí zrna kameniva. Pro zrna menší, než 4 mm je minimální objem nádoby 1 l. Postup zkoušky je takový, že se předem zváží prázdná nádoba (suchá a čistá) se známým objemem (m_1). Následně se do nádoby nasype zkoušený materiál, ten se potom zarovná pravítkem a zváží se hmotnost nádoby s materiálem (m_2) [33].

Vzhledem k hmotnosti materiálu jsme pro stanovení sypné hmotnosti použili plastovou nádobu ve tvaru válce s objemem $V = 1$ l, hmotnost nádoby $m_1 = 452,060$ g.

Vzorec pro výpočet sypné hmotnosti:

$$\rho_s = \frac{m_2 - m_1}{V}$$

kde: ρ_s = sypná hmotnost [kg/m³]

m_1 = hmotnost prázdné nádoby [kg]

m_2 = hmotnost naplněné nádoby [kg]

V = objem nádoby [m³]

6.1.5 Sypný úhel

Sypný úhel určuje maximální úhel sklonu, který může svírat volně nasypaný materiál vzhledem k vodorovné rovině. Při provádění zkoušky se postupuje tak, že na desku, se známým poloměrem sype z násypky materiál. Násypka se postupně zvedá, aby byla vždy v konstantní vzdálenosti od vrcholu kužele. Když se materiál začne přepadávat zkouška se ukončí, změří se výška kužele a vypočte se sypný úhel. Sypný úhel α jsme určovali podle uvedeného postupu na podkladní desce s poloměrem 67,5 mm [34].

Vzorec pro výpočet sypného úhlu:

$$\alpha = \arctg(h/r)$$

kde: α = sypný úhel [°]

h = výška kužele

r = poloměr podložky

6.1.6 Porovnání sněhové vločky se zkoušenými materiály pomocí mikroskopu

Na částice materiálů jsme se ještě jednou podívali pomocí mikroskopu abychom zjistili, zda se některé částice budou podobat sněhové vločce. Materiál byl pod mikroskopem 100krát zvětšen.

6.1.7 Prahová rychlost fluidace

Fluidace je děj, kdy na pevnou částici působí plyn nebo kapalina ve směru opačném, než je působení gravitační síly. V gravitačním poli na částici působí gravitační, vztlačková a odporová síla. Na rychlosti je závislá pouze odporová síla a to tak, že se zvyšující se rychlosti roste. Když dojde při určité rychlosti k vyrovnání sil, částice se dostávají do stavu fluidace (vznosu). Rychlost, při které k tomuto stavu dojde se nazývá prahová (minimální) rychlost fluidace. V případě překročení této rychlosti se částice dostávají do stavu fluidace [27].

Vzorce pro výpočet Archimedova a Reynoldsova čísla:

$$Ar = \frac{d_m^3 \cdot \rho_g \cdot (\rho_s - \rho_g) \cdot g}{\mu^2}$$

$$Re = \frac{d_m \cdot u \cdot \rho_g}{\mu}$$

Zjednodušená a upravená Ergunova rovnice, která se může použít jsou-li částice větší jak 100 μm :

$$Re = \sqrt{33,7^2 + 0,0408 Ar} - 33,7$$

Upravený vzorec pro výpočet prahové rychlosti fluidace:

$$u = \frac{Re \cdot u \cdot \rho_g}{\rho_g \cdot d_m}$$

kde: d_m = střední průměr částic fluidní vrstvy [m]

ρ_g = hustota vzduchu [kg/m³]

ρ_s = hustota částice [kg/m³]

g = gravitační zrychlení [m/s²]

μ = dynamická viskozita [Pa · s]

u = prahová rychlost fluidace [m/s]

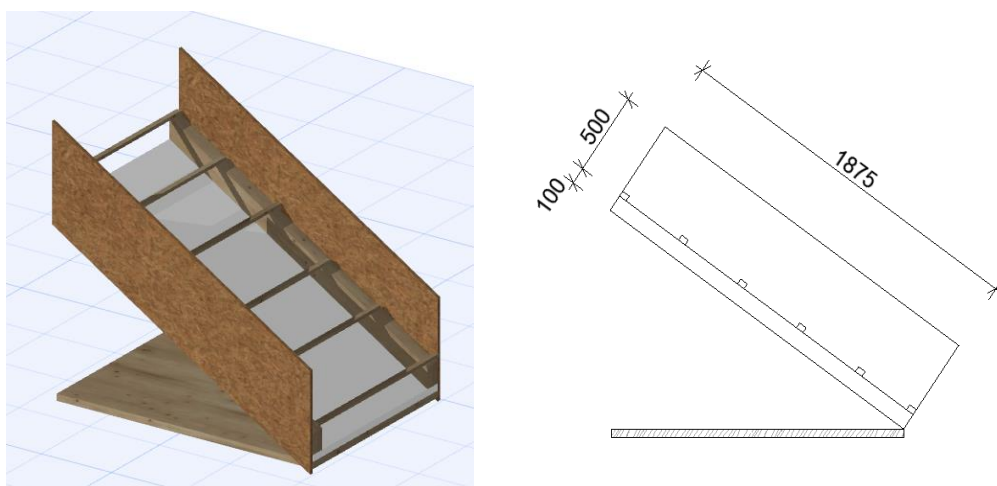
7 NÁVRH METODIKY PROVÁDĚNÍ ZKOUŠKY ZAFOUKÁVÁNÍ SNĚHU POD SKLÁDNOU STŘEŠNÍ KRYTINU

Na základě teoretické rešerše jsme navrhli základní metodiku provádění zkoušky. Tuto metodiku jsme ověřili praktickým zkoušením. Po provedení zkoušky jsme zjistili drobné nedostatky, a proto jsme metodiku upravili. Upravený návrh jsme následně znovu otestovali. Abychom zjistili, jaký bude rozdíl v množství zafouknutého sněhu, tak jsme zkoušku provedli dvakrát vždy při jiném sklonu. Všechny zkoušky byly prováděny vždy se střešní taškou Tondach Stodo 12 od firmy Wienerberger. Po odzkoušení upraveného návrhu jsme navrhli finální podobu metodiky provádění zkoušky.

7.1 ZKUŠEBNÍ APARATURA

V rámci praktické části práce byl proveden návrh zkušební aparatury, která vychází z aparatury využívané na zkoušení větrem hnaného deště, ale je výrazně upravena pro potřeby testování zafoukávání sněhu.

Zkušební aparaturu tvoří tři základní části – model střešní konstrukce, koryto a fukar. Model střešní konstrukce (obr. 14) umožňuje pokládku různých druhů skládaných střešních krytin (před pokládkou je nutné upravit laťování). Model je navržen tak, aby bylo možné položení 5 řad skládané střešní krytiny, každá řada je tvořena třemi taškami. Úhel sklonu střešní konstrukce je nastavitelný, proto je na něm možné zkoušet jednotlivé střešní krytiny v různých sklonech. Dále bylo navrženo koryto z plechu, které je 1,2 m dlouhé a slouží pro rozfoukání sněhu na střešní rovinu. Pro rozfoukání sněhu byl zvolen fukar s maximální rychlostí proudění vzduchu u ústí 6,5 m/s. Navržený model a koryto je z vrchní strany zakryto fólií tak, aby nedocházelo k nechtěnému odlétání sněhových částic v průběhu zafoukávání.



Obr. 14: Navržený model střešní konstrukce

7.2 ZÁKLADNÍ NÁVRH METODIKY PRO PROVÁDĚNÍ ZKOUŠKY

Příprava zkoušky

Před začátkem zkoušky je nutné nastavit model – provede se laťování podle technických listů výrobce zkoušené střešní krytiny a nastaví se do sklonu, ve kterém chceme krytinu zkoušet. Na takto připravený model provedeme pokládku střešní krytiny. K modelu přisuneme koryto, na které vysypeme 250 g umělého sněhu (celulóza 1). Umělý sníh musí být předem prosetý pře síto s velikostí otvorů 1,5 mm. Umělý sníh rovnoměrně rozsypeme po korytu, cca ve vzdálenosti 1 m od umístění fukaru. Model i s korytem se zakryje fólií, která se po bocích utěsní lepící páskou. Pro rozfoukání sněhu byl zvolen fukar s rychlostí foukání u ústí 6,5 m/s. Fukar se umístí na začátek koryta konec fukaru je ve vzdálenosti 1 m od modelu střechy. Poloha fukaru je stabilizována pomocí latě, která fixuje výškovou i vzdálenostní polohu. Střed fukaru je 30 cm nad korytem.

Postup zkoušky

Fukar, který je umístěn na lati se zapne a zároveň sním se spustí stopky. Fouká se ve směru střešní roviny, fukarem při foukání nehýbeme. Fouká se po dobu 20 s, po uplynutí této doby fukar vypneme a odložíme jej stranou. Po ukončení foukání umělý sníh, který zůstal v korytě přemístíme pomocí malého smetáku do misky a zvážíme – $m_n [g]$. Dále se stejným způsobem zváží množství sněhu, který sjel při foukání ze střechy $m_d [g]$. Množství umělého sněhu, které zůstalo na střeše je označeno $m_s [g]$ a množství sněhu, které se zachytilo ve spárách fólie je označeno $m_f [g]$. Nakonec se sundá střešní krytina, kde se sleduje rozmístění zafouknutého sněhu, poté se zváží množství tohoto sněhu $m_p [g]$.

Vyhodnocení

Vyhodnocuje se množství umělého sněhu, které zůstalo po zkoušce v jednotlivých částech modelu:

- množství sněhu, které zůstalo v korytu a nebylo vyfoukáno $m_n [g]$,
- množství sněhu, co sjelo ze střechy dolů $m_d [g]$,
- množství sněhu, které zůstalo na střeše $m_s [g]$,
- množství sněhu, zachyceného ve fólii $m_f [g]$,
- množství sněhu, které se pod krytinu dostalo $m_p [g]$.

7.3 VÝBĚR OPTIMÁLNÍHO ZKUŠEBNÍHO MATERIÁLU – NÁHRADA SNĚHU

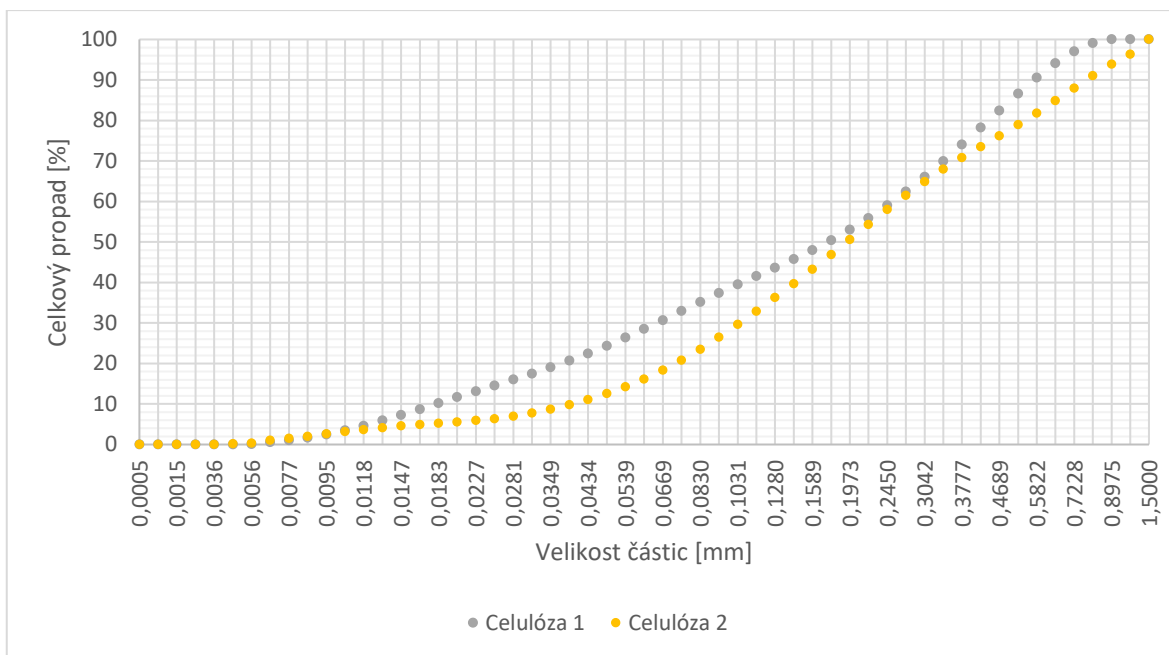
Vhodný materiál jsme vybírali ze dvou vzorků, které jsme měli k dispozici. Jednalo se o umělý sníh, využívaný ve filmovém průmyslu (označení v práci: celulóza 1) a celulózová vlákna používaná pro foukané izolace (označení v práci: celulóza 2) získávaná rozvlákněním papíru na jemnost (jednalo se o materiál Climatizer+ of firmy CIUR a.s.).



Obr. 15: Ukázka zkoušených materiálů – vlevo celulóza 2 (používaná pro foukané izolace; vpravo celulóza 1 (používaná jako ve filmovém průmyslu)

7.3.1 Velikost částic pomocí laserové difrakce

Pro porovnání velikosti částic byla zvolena hodnota d_{50} . Pro přírodní sníh je tato hodnota rovna 0,150 – 0,200 mm. Naměřená hodnota celulózy 1 je 0,170 mm a celulózy 2 byla naměřena hodnota 0,190 mm. Oba zkoušené materiály mají velikost částic podobou jako klasický sníh.



Obr. 16: Graf zrnitosti zkoušených materiálů

7.3.2 Objemová hmotnost částic

Orientačně stanovená objemová hmotnost částic celulózy 1 (tab. 3) vychází 917 kg/m^3 , orientačně stanovena objemová hmotnost částic celulózy 2 (tab.4) vychází 803 kg/m^3 . Při porovnání těchto hodnot s objemovou hmotností částic sněhu, která je (dle tab. 1) $50\text{--}700 \text{ kg/m}^3$ se hodnota celulózy 2 víc přibližuje hodnotě klasického sněhu



Obr. 17: Slisované vzorky, připravené pro určování zdánlivé objemové hmotnosti

Tab. 3: Naměřené hodnoty a vypočtená objemová hmotnost částic celulózy 1

Celulóza 1	<i>m</i>[g]	<i>ø_v</i>[mm]	<i>ø_d</i>[mm]	<i>V</i>[m³]	<i>ρ</i>[kg/m³]
Vzorek 1	1,8193	8,96	16,29	1,9·10 ⁻⁶	974,2
Vzorek 2	2,0217	11,60	16,39	2,4·10 ⁻⁶	826,2
Vzorek 3	1,8461	9,35	16,29	1,9·10 ⁻⁶	947,4
Vzorek 4	1,8574	9,68	16,31	1,9·10 ⁻⁶	919,1
Průměr					916,7

Tab. 4: Naměřené hodnoty a vypočtená objemová hmotnost částic celulózy 2

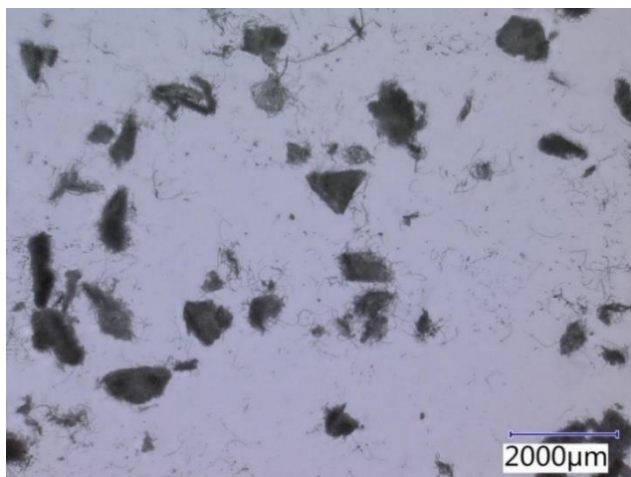
Celulóza 2	<i>m</i>[g]	<i>ø_v</i>[m]	<i>ø_d</i>[mm]	<i>V</i>[m³]	<i>ρ</i>[kg/m³]
Vzorek 1	1,0198	5,86	16,45	1,2·10 ⁻⁷	819,6
Vzorek 2	1,0549	6,35	16,31	1,3·10 ⁻⁷	794,7
Vzorek 3	1,0521	6,34	16,30	1,3·10 ⁻⁷	796,0
Průměr					803,4

7.3.3 Sféricita

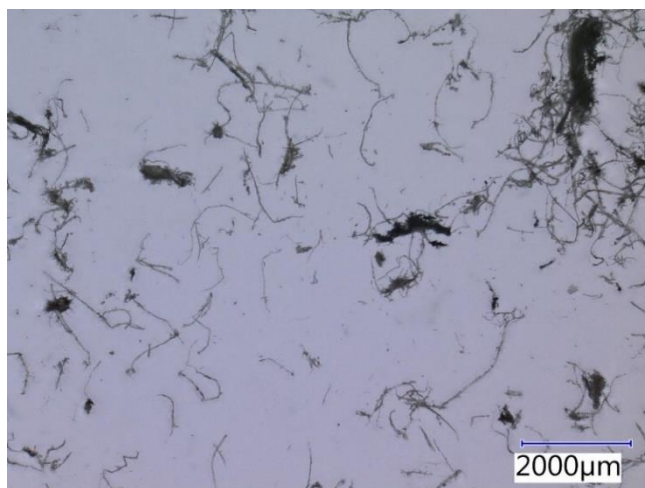
Průměrná hodnota sféricity stanovená pomocí mikroskopu, který vzorky zvětšil 30krát, byla stanovena u celulózy 1 (umělý sníh) na hodnotu 0,61 a průměrná hodnota u celulózy 2 (používaná pro foukané izolace) na hodnotu 0,14. Rozdíl mezi oběma typy materiálů je zobrazený na obr. 16 a obr. 17. Je vidět, že částice celulózy 1 jsou mnohem víc zakulacené než částice celulózy 2.

Tab. 5: Hodnota kulovitosti částic celulózy 1 a celulózy 2

Materiál	<i>ø</i> Sféricita
Celulóza 1	0,61
Celulóza 2	0,14



Obr. 18: Celulóza 1 pod mikroskopem 30 x zvětšená



Obr. 19: Celulóza 2 pod mikroskopem 30 x zvětšená

7.3.4 Sypná hmotnost

Po porovnání výsledků zkoušek stanovení sypné hmotnosti bylo zjištěno, že celulóza 1 má vyšší sypnou hmotnost $91,85 \text{ kg/m}^3$ než celulóza 2, která má sypnou hmotnost $38,45 \text{ kg/m}^3$. Sypná hmotnost se pro částice sněhu neuvádí.

Tab. 6: Naměřené hodnoty a stanovená sypná hmotnost celulózy 1

Celulóza 1	Plná nádoba m_2 [g]	Sypná hmotnost ρ [kg/m^3]
1	543,440	91,4
2	558,940	106,9
3	529,350	77,3
průměr		91,9

Tab. 7: Naměřené hodnoty a stanovená sypná hmotnost celulózy 2

Celulóza 2	Plná nádoba m_2 [g]	Sypná hmotnost ρ [kg/m³]
1	495,02	43,0
2	490,70	38,6
3	485,80	33,7
průměr		38,5

7.3.5 Sypný úhel

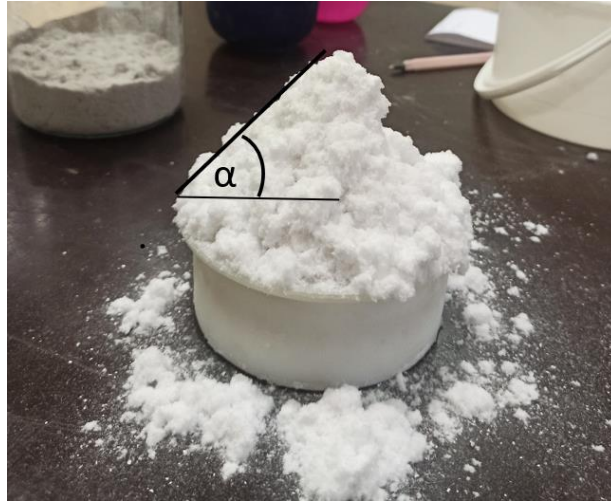
Při porovnání sypného úhlu celulózy 1 (obr. 21) a celulózy 2 (obr.22) je vidět, že sypný úhel celulózy 1 je větší než sypný úhel celulózy 2. Při srovnání celulózy 1 (umělého sněhu) (tab.8), který má hodnotu 48,91 ° a hodnotou celulózy 2 (pro foukané izolace) (tab.9), která je 45,60 ° se celulóza 1 víc přibližuje klasickému sněhu, jehož sypný úhel je 50 ° (tab. 1).

Tab. 8: Naměřené hodnoty a sypný úhel celulózy 1

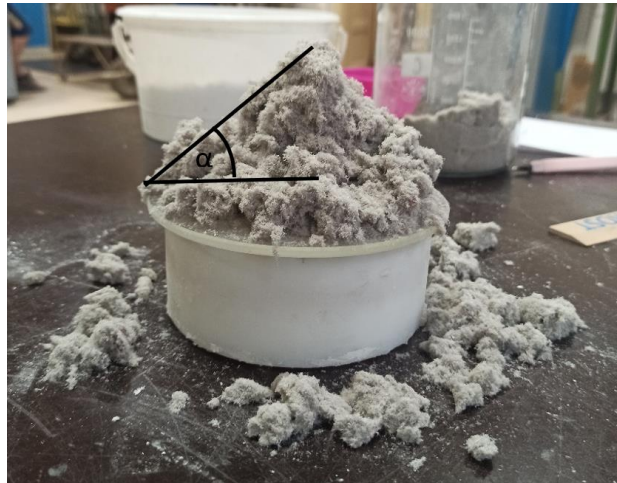
Celulóza 1	Výška kužele h [mm]	Sypný úhel α [°]
měření 1	77,19	48,83
měření 2	77,01	48,77
měření 3	78,04	49,14
průměr		48,91

Tab. 9: Neměřené hodnoty a sypný úhel celulózy 2

Celulóza 2	Výška kužele h [mm]	sypný úhel α [°]
měření 1	70,07	46,07
měření 2	67,70	45,08
měření 3	69,07	45,66
průměr		45,60



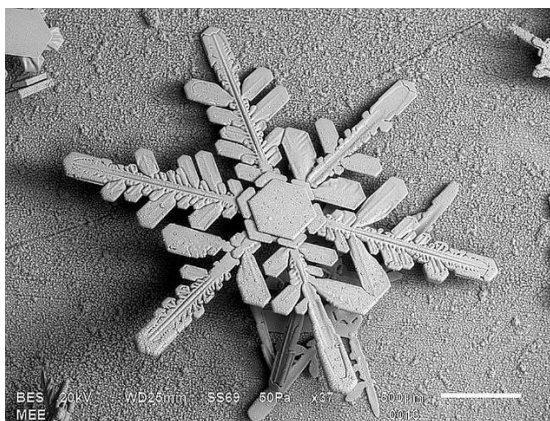
Obr. 20: Kužel po provedení zkoušky sypného úhlu s celulózou 1 + vyznačení sypného úhlu α



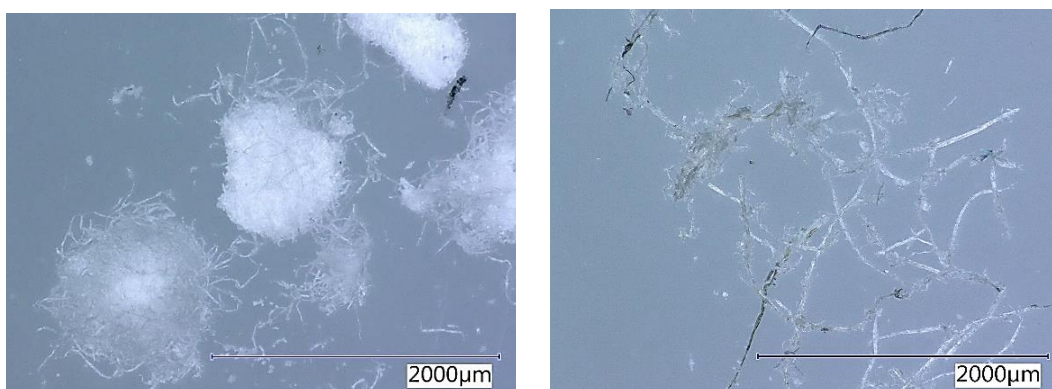
Obr. 21: Kužel po provedení zkoušky sypného úhlu s celulózou 2 + vyznačení sypného úhlu α

7.3.6 Porovnání sněhové vločky se zkoušenými materiály pomocí mikroskopu

Po prohlédnutí obou materiálů, který byl 100krát zvětšený pod mikroskopem jsme viděli, že větší podobnost se sněhovou vločkou mají částice celulózy 1.



Obr. 22: Dendritová sněhová vločka pod mikroskopem [35]



Obr. 23: Částice celulózy 1 zvětšená 100krát (vlevo); částice celulózy 2 zvětšená 100krát (vpravo)

7.3.7 Prahová rychlost fluidace

Prahovou rychlost fluidace jsme chtěli vypočítat dle kap. 6.1.7, to se nám nepodařilo, protože přístroj na měření viskozity nebyl schopný změřit viskozitu našich materiálů, materiály v sypaném stavu kladou velmi nízký odpor. Rychlost fluidace jsme museli určovat experimentálně. Rychlost, při které začínají odlétat nejjemnější částice celulózy 1 (umělý sníh) je 0,8 – 1,0 m/s, zbylé hrubší částice odlétnou při rychlosti 1,5 – 1,75 m/s. Vzhledem k výsledkům ostatních parametrů celulózy 2 nebylo předpokládáno použití tohoto materiálu, proto nebyla stanovována prahová rychlost fluidace. Prahová rychlost vznosu prachového sněhu je 0,33 m/s.

7.3.8 Výběr vhodného materiálu

Na základě zkoušených vlastností porovnávaných materiálů a vlastností klasického sněhu, byla zvolena pro zkoušku zafoukávání sněhu pod střešní krytinu celulóza 1. Celulóza 1 (umělý sníh) a celulóza 2 nemají moc rozdílné vlastnosti. Mají však rozdílný tvar částic. V tomto parametru mnohem víc vyhovuje tvarem svých částic celulóza 1. Částice celulózy 1 se víc podobají sněhovým vločkám.

Tab. 10: Porovnání částic sněhu s celulózou 1 a celulózou 2

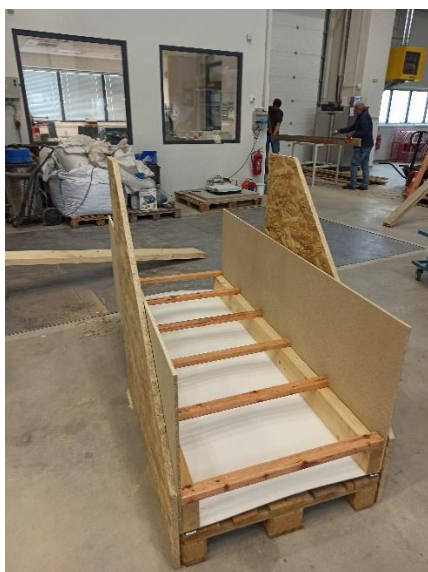
Materiál	Velikost částic d_{50} [mm]	Objemová hmotnost částic ρ_p [kg/m ³]	Prahová rychlost fluidace u [m/s]	Sypný úhel α [°]
Sněhová částice	0,15 – 0,20	50 – 700	0,15 – 0,36	50
Celulóza 1	0,17	917	0,8 – 1,0	48,91
Celulóza 2	0,19	803	–	45,60

7.4 PROVEDENÍ A VYHODNOCENÍ ZKOUŠKY POMOCÍ ZÁKLADNÍHO NÁVRHU METODIKY

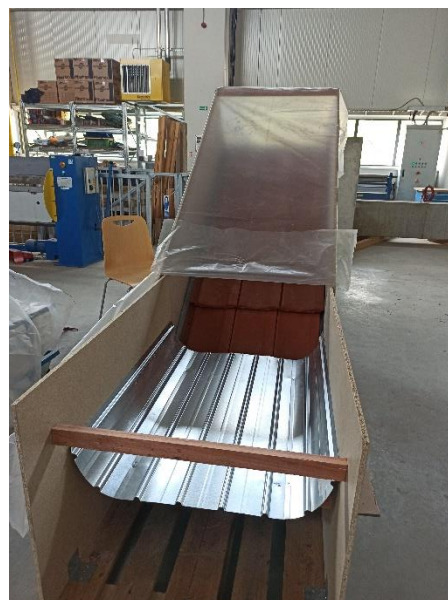
Abychom mohli provádět zkoušku bylo nutné postavit zkušební aparaturu (obr. 24) podle návrhu (kap. 7.1), nastavit na modelu střechy požadovaný sklon (obr. 25) a provést pokládku střešní tašky (obr. 26).



Obr. 24: Příprava modelu střechy: vlevo jsou vidět jen krokve a laťování; vpravo je vidět podbití bílou deskou a chystá se připevňování bočnice



Obr. 25: Příprava modelu střechy: vlevo připravený model střechy v horizontální poloze; vpravo detail pro zvednutí modelu do požadovaného sklonu



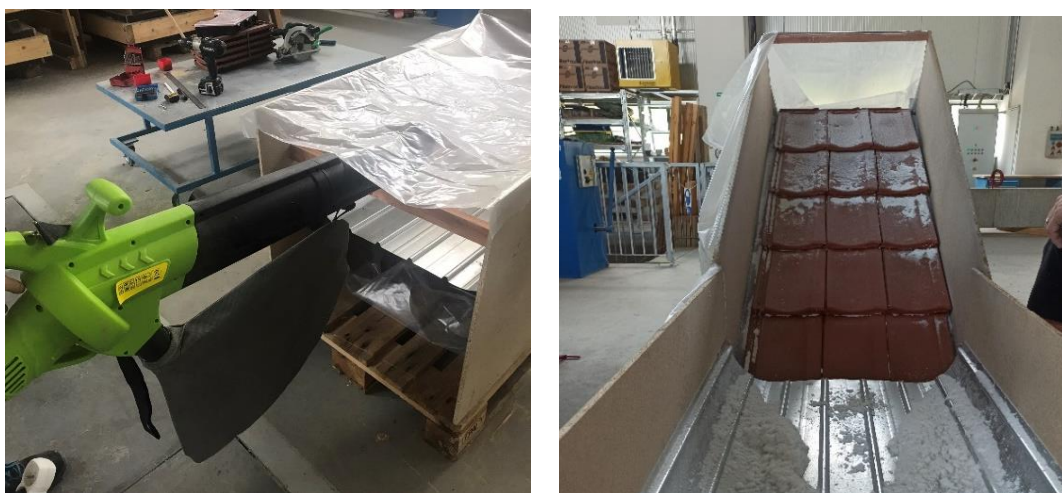
Obr. 26: Vlevo ukázka pokládky střešních tašek; vpravo model připravený na nasypání umělého sněhu do koryta

Pro všechna měření byla zvolena střešní taška Tondach Stodo 12 firmy Wienerberger. Zkoušení probíhalo při sklonu 40 °. Zkoušelo se na koryto se sněhem foukat fukarem, který byl umístěný na lati (obr. 27). Střed fukaru byl 30 cm nad umělým sněhem (celulóza 1). Foukalo se 20 s. Celková navážka umělého sněhu byla 250 g. Změřilo se množství sněhu, který zůstal v jednotlivých částech modelu:

- množství sněhu, které zůstalo v korytu a nebylo vyfoukáno $m_n = 130$ g,
- množství sněhu, co sjelo ze střechy dolů $m_d = 18,4$ g,
- množství sněhu, které zůstalo na střeše $m_s = 33,4$ g,

- množství sněhu, zachyceného ve fólii $m_f = 23,3$ g,
- množství sněhu, které se pod krytinu dostalo $m_p = 5,31$ g.

Při takto malém množství profouknutého sněhu může vzniknout nepřesností měření velká chyba. Z tohoto důvodu byla první metoda upravena, tak aby se zajistilo, že bude rozfoukán všechen umělý sníh z koryta. Dále se upravilo také vyhodnocení, kde se bude sledovat pouze množství sněhu, který se dostane pod střešní krytinu.



Obr. 27: Vlevo ukázka polohy fukaru; vpravo model střechy po provedené zkoušce (v korytu je vidět velké množství nevyfoukaného sněhu)

7.5 MODIFIKACE NÁVRHU METODIKY

Po odzkoušení základního návrhu jsme zjistili, že by bylo dobré, pro lepší výsledky zkoušky, některé parametry změnit. Změnili jsme polohu fukaru. Fukar jsme umístili těsně nad koryto, abychom foukali přímým směrem na umělý sníh. Dále jsme určili, že fukar nebude na místě, ale v průběhu foukání se jím bude pohybovat zprava doleva. Foukat se bude tak dlouho, dokud nevyfoukáme všechen umělý sníh z koryta. Dále jsme rozhodli, že sníh, který se nedostal pod střešní krytinu, není pro vyhodnocení zkoušky zásadní, navíc v průběhu zkoušení dochází k drobným ztrátám netěsnostmi modelu. Z těchto důvodů se bude měřit jen množství sněhu, které se zafoukne pod krytinu. Po odzkoušení těchto úprav, vznikl finální postup zkoušky.

7.6 PROVEDENÍ A VYHODNOCENÍ ZKOUŠKY PROVEDENÉ POMOCÍ UPRAVENÉHO NÁVRHU METODIKY

Při měření pomocí modifikované metodiky, jsme chtěli zjistit, jak ovlivní sklon modelu střechy množství zafouknutého sněhu pod střešní krytinu, provedli jsme zkoušku dvakrát pokaždé s jiným sklonem. První zkouška probíhala při sklonu 40° a druhá zkouška při sklonu 25° . Pro obě zkoušky jsme použili střešní tašku Tondach Stodo 12.



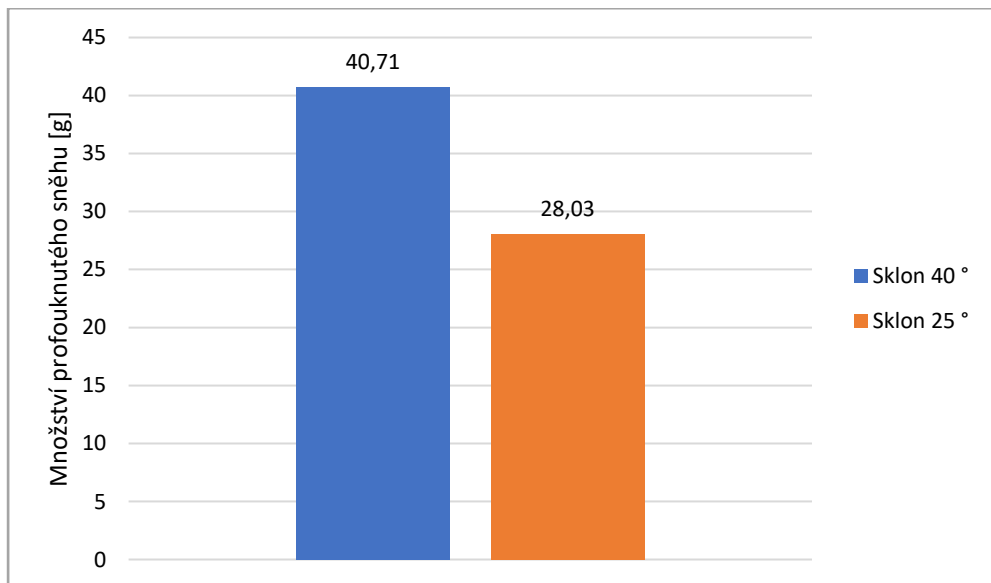
Obr. 28: Vlevo poloha fukaru před zkoušením; vpravo ukázka zafoukaného umělého sněhu pod taškami

První varianta – sklon modelu střechy 40°

Po ukončení foukání (po 50 s) v korytu nezbyl žádný nevyfoukaný sníh. Množství profouknutého sněhu bylo mnohem vyšší $m_p = 40,71$ g.

Druhá varianta – sklon modelu střechy 25°

Po ukončení foukání (po 50 s) v korytu nezbyl žádný nevyfoukaný sníh. Množství profouknutého sněhu bylo nižší než při sklonu 40° a to $m_p = 28,03$ g.



Obr. 29: Porovnání množství profouknutého sněhu střešní krytiny Tondach Stodo 12 u druhého a třetího měření

7.7 FINÁLNÍ NÁVRH METODIKY PROVÁDĚNÍ ZKOUŠKY

Příprava zkoušky

Před začátkem zkoušky je nutné nastavit model – provede se laťování podle technických listů výrobce zkoušené střešní krytiny a nastaví se do sklonu, ve kterém chceme krytinu zkoušet. Na takto připravený model provedeme pokládku střešní krytiny. K modelu přisuneme koryto, na které vysypeme 250 g umělého sněhu (celulóza 1). Umělý sníh musí být předem prosetý pře síto s velikostí otvorů 1,5 mm. Model i s korytem se zakryje fólií, která se po bocích utěsní lepící páskou. Pro rozfoukání sněhu byl zvolen fukar s rychlostí foukání u ústí 6,5 m/s. Fukar se umístí na začátek koryta konec fukaru je ve vzdálenosti 1 m od modelu střechy. Umístí se na koryto, tak aby se foukalo ve směru střešní roviny. Střed fukaru je 15 cm nad korytem.

Sledované parametry

Sleduje se, rozmístění umělého sněhu pod taškami a množství sněhu, které se dostalo pod střešní krytinu.

Postup zkoušky

Fukar, který je umístěn těsně nad korytem se zapne a zároveň sním se spustí stopky. Fouká se přímým směrem na umělý sníh, při foukání se fukarem pohybuje zprava doleva. Fouká se po dobu 50 s, po uplynutí této doby fukar vypneme a odložíme jej stranou. (Experimentálně bylo stanoveno, že doba potřebná vyfoukání celkového množství sněhu je 50 s). Umělý sníh, který zůstal na střeše nebo zůstal v jiných částech zkušební aparátu pomocí smetáku odstraníme. Po odstranění umělého sněhu od shora zvedáme jednotlivé střešní tašky a odkládáme je mimo zkušební aparaturu. Při odstraňování jednotlivých střešních tašek sledujeme také polohu zafoukaného sněhu mezi krytinu. Když máme všechny tašky odstraněné, provede se vizuální kontrola, kde se sleduje rozmístění sněhu pod taškami. V dalším kroku se smete zafoukaný sníh, umístí se do připravené misky a stanovíme jeho hmotnost m_p [g].

Vyhodnocení

Vyhodnocuje se množství sněhu m_p [g], které bylo zafoukáno pod střešní krytinu.

8 ZÁVĚR

V rámci řešení teoretické části byl zmapován současný stav poznání v oblasti skládaných střešních krytin. Byly stanoveny možné proměnné, které mají vliv na zafoukávání sněhu pod skládanou střešní krytinu. Při provádění literární rešerše nebyla nalezena žádná zkušební metoda týkající se problematiky zafoukávání sněhu pod skládanou střešní krytinu.

V praktické části práce byla navržena zcela nová metodika včetně zkušební aparatury pro provádění zkoušky zafoukávání sněhu pod skládanou střešní krytinu. Nejprve byla navržena základní metodika, která byla ověřena praktickou zkouškou. Následně byla metodika upravena. Upravená metodika se znovu ověřila a následně byla navržena její finální podoba. Aby se zkouška dala provádět v kterémkoliv ročním období, hledal se vhodný materiál pro náhradu klasického sněhu. Z tohoto důvodu se stanovily parametry dvou druhů celulózy – celulózy 1 (umělý sníh využívaný ve filmovém průmyslu) a celulózy 2 (materiál pro foukané izolace). Po porovnání výsledných hodnot s hodnotami klasického sněhu, byla pro provádění zkoušky zvolena celulóza 1. Aby se ověřilo, zda bude navržená metodika fungovat byla vyrobena zkušební aparatura a následně byla zkouška provedena. Pro provádění zkoušek byla zvolena střešní taška Tondach Stodo 12 od firmy Wienerberger. Po odzkoušení základního návrhu metodiky, se došlo k závěru, že by bylo dobré některé parametry upravit. Upravila se poloha fukaru a vyhodnocení zkoušky. Po úpravě metodiky byla zkouška opět provedena.

Pomocí upravené metodiky se zkušelo kolik umělého sněhu se zafouká pod stejné střešní tašky při dvou různých skonech. Byl zvolen sklon 40° a 25° . Předpoklad byl takový, že se při nižším sklonu modelu střechy dostane pod střešní krytinu víc umělého sněhu. Tento předpoklad se nenaplnil. Pod střešní tašky, které byly položeny na modelu se sklonem 25° se dostalo menší množství sněhu (o 10 g) než pod střešní tašky, které byly uloženy ve sklonu 40° . Může to být způsobeno tím, že při foukání na strmější konstrukci, vítr do konstrukce víc naráží.

Po odzkoušení upraveného návrhu metodiky následoval finální návrh metodiky provádění zkoušky zafoukávání sněhu pod skládanou střešní krytinu. V následující části je popsána zjednodušeně finální metodika provádění zkoušky.

Příprava zkoušky:

- nastavení modelu – úprava laťování a nastavení požadovaného sklonu,
- pokládka střešní krytiny,
- přísun koryta k modelu,
- nasypání 250 g umělého sněhu (celulóza 1) na koryto,
- model i s korytem zakryjeme fólií,

- fukar s rychlostí 6,5 m/s u ústí se umístí na začátek koryta (konec je ve vzdálenosti 1 m od modelu střechy),
- fukar se umístí na koryto, tak aby se foukalo ve směru střešní roviny (střed fukaru je 15 cm nad korytem).

Sledované parametry:

- rozmístění umělého sněhu pod taškami,
- množství sněhu, které se dostalo pod střešní krytinu.

Postup zkoušky:

- fukar zapneme a zároveň sním spustíme stopky,
- fouká se přímým směrem na umělý sníh, fukarem se pohybuje zprava doleva,
- fouká se po dobu 50 s,
- po uplynutí této doby fukar vypneme a odložíme stranou,
- umělý sníh, který zůstal na střeše nebo zůstal v jiných částech zkušebního aparátu pomocí smetáku odstraníme,
- po odstranění umělého sněhu od shora zvedáme jednotlivé střešní tašky,
- sledujeme polohu zafoukaného sněhu mezi krytinu,
- po odstranění všech tašek se provede vizuální kontrola
- smete zafoukaný sníh do misky,
- zváží se hmotnost zafoukaného sněhu.

Vyhodnocení:

- množství sněhu $m_p [g]$, které bylo zafoukáno pod střešní krytinu.



Obr. 30: vlevo model střechy po ukončení foukání a odstranění fólie a koryta; vpravo sníh, který byl profouknut pod střešní krytinu

Finální navržená metodika se jeví jako použitelná. Bylo by ale zapotřebí provést rozsáhlejší testování několika typů střešních krytin při různých sklonech. Zkušební metoda, by se potom v praxi mohla využívat pro určování bezpečného sklonu pro použití daného typu skládané střešní krytiny nebo pro porovnání chování několika druhů skládané střešní krytiny při stejném sklonu.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] KOPTA, Pavel a Jana JANOUŠKOVÁ. Šikmé střechy. Praha: Grada Publishing, 2012. ISBN 978-80-247-3484-2.
- [2] FAJKOŠ, Antonín a Miroslav NOVOTNÝ. Střechy: Základní konstrukce. Praha: Grada Publishing, 2003. ISBN 80-247-0681-4.
- [3] ČSN 73 1901-1. Navrhování střech – Část 1: Základní ustanovení. 2020. Česká agentura pro standardizaci, 2020, 32 s.
- [4] STRAKA, Bohumil, Miloslav NOVOTNÝ, Jana KRUPICOVÁ, Milan ŠMAK, Karel ŠUHAJDA a Zdeněk VEJPUSTEK. Konstrukce šikmých střech. Praha: Grada Publishing, 2013. ISBN 978-80-247-4205-2.
- [5] Vyhláška č. 268/2009 Sb.: o technických požadavcích na stavby. Ministerstvo pro místní rozvoj, ze dne 12. srpna 2009.
- [6] PETŘÍČEK Tomáš. Vybrané stati z pozemního stavitelství – CH04: Modul M01 Střechy. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2015.
- [7] ČSN 73 1901-2. Navrhování střech – Část 2: Střechy se skládanou střešní krytinou. Česká agentura pro standardizaci, 2020, 28 s.
- [8] Pravidla pro navrhování a provádění střech. Uoravené vydání. Praha: Cech klempířů, pokrývačů a tesařů ČR, 2014. ISBN 80-238-6892-6.
- [9] Nízké sklony střech a pálené tašky [online]. [cit. 2022-14-22]. Dostupné z: <https://www.wienerberger.cz/strecha-tondach/proc/rady-a-navody/nizke-sklony-strech-a-palene-tasky.htm>
- [10] Wienerberger, Tondach, Řešení pro šikmé střechy, Přehledné technické informace, Základní technické detaily produktů [online]. [cit. 2022-03-31]. Dostupné z: https://www.wienerberger.cz/content/dam/wienerberger/czech-republic/marketing/documents-magazines/technical/technical-product-info-sheet/roof/CZ_Prehledne_technicke_informace_Tondach.pdf
- [11] BMI BRAMAC: Betonové tašky [online]. [cit. 2022-04-22]. Dostupné z: <https://www.bramac.cz/rozcestnik/betonove-tasky/vypis>
- [12] KRYTINY – STŘECHY: Rocca Royal [online]. [cit. 2022-04-22]. Dostupné z: <https://www.krytiny-strechy.cz/katalog/plechove-skladane-krytiny/plechove-imitace-taskovych-krytin/rocca/rocca-royal-p.html?image=3>
- [13] STŘECHY COMAX: COMAX TRAPÉZ – TR 35/207 s hliníkovým jádrem [online]. [cit. 2022-04-22]. Dostupné z: <https://www.strechycomax.cz/tr-35-hlinikovy/>
- [14] PRVNÍ CHODSKÁ SPECIALISTA NA STŘECHY: RUUKKI CLASSIC PUREX 40 0,5MM RR23 GRAFITOVÁ [online]. [cit. 2022-04-22]. Dostupné z: https://eshop.chodska.cz/ruukki-classic-purex-40-0-5mm-rr23-grafitova_p52455?gclid=EAlaIQobChMlv-Tc1q6n9wIVwqfVCh3G9AJ4EAYYCCABEgLGkfd_BwE
- [15] BURKON střešní krytiny: COMAX BOCO 330 [online]. [cit. 2022-04-22]. Dostupné z: <https://www.strechy-burkon.cz/comax-boco-330>
- [16] KRYTINY – STŘECHY: SATJAM ROMBO PREMIUM [online]. [cit. 2022-04-22]. Dostupné z: <https://www.krytiny-strechy.cz/katalog/plechove-skladane->

- krytiny/tvarovane-plechove-sablony/satjam-1/1364757-1364757-maloformatova-krytiny-satjam-rombo-premium-p.html
- [17] DEK: Střešní krytina vláknocementová CEMBRIT Horal Česká šablona černá [online]. [cit. 2022-04-22]. Dostupné z: <https://www.dek.cz/produkty/detail/1235101170-cembrit-horal-ceska-sablona-cr-600ks-pal>
- [18] Blix: VLÁKNOCEMENTOVÁ ŠABLONA ETERNIT [online]. [cit. 2022-04-22]. Dostupné z: <http://www.blix.cz/eternit-1/>
- [19] DEK: Střešní krytina vláknocementová CEMBRIT Betternit Anglický obdélník černá [online]. [cit. 2022-04-22]. Dostupné z: <https://www.dek.cz/produkty/detail/1235101140-cembrit-betternit-angl-obdelnik-cr-1000ks-pal>
- [20] DEK: Střešní krytina vláknocementová CEMBRIT Betternit Dánský obdélník černá [online]. [cit. 2022-04-22]. Dostupné z: <https://www.dek.cz/produkty/detail/1235101100-cembrit-betternit-dansky-obdelnik-cr-1000ks-pal>
- [21] Charvát: charBIT střešní šindel DELTA [online]. [cit. 2022-04-30]. Dostupné z: <https://www.charvat.cz/charbit-stresni-sindel-delta>
- [22] Bydlení IQ: THERMO – víceúčelová nadkroevní izolace [online]. [cit. 2022-04-30]. Dostupné z: <http://www.bydleni-iq.cz/katalog-firem/prezentace-firem/strechy/thermo-strechy-s-r-o/>
- [23] Wienerberger: Rady a návody ke střechám:10 nejčastějších chyb při pokládce střešní krytiny [online]. [cit. 2022-05-08]. Dostupné z: <https://www.wienerberger.cz/strecha-tondach/proc/rady-a-navody/10-nejcastejsich-chyb-pri-pokladce-stresni-krytiny.html>
- [24] Wienerberger: Technický list – střešní taška Tondach Stodo 12 [online]. [cit. 2022-05-08]. Dostupné z: https://www.wienerberger.cz/content/dam/wienerberger/czech-republic/marketing/documents-magazines/technical/technical-product-info-sheet/roof/CZ_TON_TEC_Stodo_12.pdf
- [25] Grand Mesa Nordic Council: Different Types of Snow and How they are formed [online]. [cit. 2022-05-8]. Dostupné z: <https://gmnc.org/news/different-types-snow-and-how-they-are-formed>
- [26] SnowBrains: Snow Ski & Ride News, Weather, Photo, and Video [online]. [cit. 2022-05-22]. Dostupné z: <https://snowbrains.com/wp-content/uploads/2019/01/SnowflakeMorphology2med.jpg>
- [27] Určení prahové rychlosti fluidace [online]. [cit. 2022-05-15]. Dostupné z: http://energetika.cvut.cz/wp-content/uploads/C_fluidace-2.pdf. ČVUT.
- [28] ZHOU, Xuanyi, Jinhai HU a Ming GU. Wind tunnel test of snow loads on a stepped flat roof using different granular materials. Natural Hazards [online]. 2014, 74(3), 1629-1648 [cit. 2022-05-22]. ISSN 0921-030X. Dostupné z: doi:10.1007/s11069-014-1296-z
- [29] ISO standard 13320: 2020 Particle size analysis – Laser diffraction methods

- [30] KOSÍKOVÁ, Jana. Laserová difrakce pro měření velikost částic: Podpora vzdělávání pracovníků center pokročilých stavebních materiálů Registrační. [online]. [cit. 2022-05-15]. Dostupné z: <https://slideplayer.cz/slide/11230056/>
- [31] Stanovení hustoty pevných a kapalných láte [online]. In: . [cit. 2022-05-15]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/7410739-Stanoveni-hustoty-pevnych-a-kapalnych-latek.html>
- [32] PETRÁNEK, Jan. Geologická encyklopedie [online]. Česká geologická služba, © 2007 [cit. 2022-05-15]. Dostupné z: http://www.geology.cz/aplikace/encyklopedie/term.pl?tvar_klastickyh__casti c#
- [33] ČSN EN 1097–3 Zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností kameniva – Část 3: Stanovení sypné hmotnosti a mezerovitosti volně sypaného kameniva, 1999.
- [34] Příloha 3 - Sypné vlastnosti. In: ČVUT [online]. [cit. 2022-05-15]. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/69054/F2-DP-2017-Cebak-Jiri-priloha-Navrh%20linky%20na%20zpracovani%20praskoveho%20materialu%20-%20Priloha%203%20Sypne%20vlastnosti.pdf?sequence=6&isAllowed=y>
- [35] Materials Evaluation and Engineering [online]. In: [cit. 2022-05-22]. Dostupné z: <https://www.mee-inc.com/blog/wp-content/uploads/2020/01/snowflake-for-gallery.jpg>

SEZNAM TABULEK

Tab. 1: Parametry klasického sněhu [28]	28
Tab. 2: Parametry zkoušených materiálů pro použití místo sněhu [28]	28
Tab. 3: Naměřené hodnoty a vypočtená objemová hmotnost částic celulózy 1	39
Tab. 4: Naměřené hodnoty a vypočtená objemová hmotnost částic celulózy 2	39
Tab. 5: Hodnota kulovitosti částic celulózy 1 a celulózy 2.....	39
Tab. 6: Naměřené hodnoty a stanovená sypná hmotnost celulózy 1	40
Tab. 7: Naměřené hodnoty a stanovená sypná hmotnost celulózy 2	41
Tab. 8: Naměřené hodnoty a sypný úhel celulózy 1	41
Tab. 9: Neměřené hodnoty a sypný úhel celulózy 2	41
Tab. 10: Porovnání částic sněhu s celulózou 1 a celulózou 2	44

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Některé vlivy působící na střešní konstrukce [4].....	12
Obr. 2: Typy šikmých střech [1]	13
Obr. 3: Ukázka typů pálených střešních krytin [10]	17
Obr. 4: Typy betonových střešních tašek BRAMAC [11]	18
Obr. 5: Příklad typů plechových krytin z velkoplošných prvků [12–14]	19
Obr. 6: Příklad maloformátové šablony [15,16]	20
Obr. 7: Nejběžnější typy vláknocementových šablon [17–20].....	21
Obr. 8: Příklad skladby jednoplášťové šikmé střechy s nadkroevní izolací [22].....	23
Obr. 9: Příklady různých skladeb dvouplášťových střech: a) nadkroevní tepelný izolace, b) tepelná izolace pod krokviemi, c) tepelná izolace mezi krokviemi, d) tepelná izolace mezi i pod krokviemi, e) tepelná izolace mezi a nad krokviemi [4].....	24
Obr. 10: Příklad skladby dvouplášťové střechy s nadkroevní izolací [22]	24
Obr. 11: Ukázka možného rozptylu délek přesahu u pálené střešní tašky Tondach Stodo 12 [24].....	26
Obr. 12: Tvary sněhových vloček a závislost na vlhkosti a teplotě [26]; vyznačený nejkritičtější druh sněhu pro případ zafoukávání pod skládanou střešní krytinu	27
Obr. 13: Schéma pro vizuální odhad sféricity [32]	32
Obr. 14: Navržený model střešní konstrukce	35
Obr. 15: Ukázka zkoušených materiálů – vlevo celulóza 2 (používaná pro foukané izolace; vpravo celulóza 1 (používaná jako ve filmovém průmyslu)	37
Obr. 16: Graf zrnitosti zkoušených materiálů.....	38
Obr. 17: Slisované vzorky, připravené pro určování zdánlivé objemové hmotnosti	38
Obr. 18: Celulóza 1 pod mikroskopem 30 x zvětšená	40
Obr. 19: Celulóza 2 pod mikroskopem 30 x zvětšená	40

Obr. 20: Kužel po provedení zkoušky sypného úhlu s celulózou 1 + vyznačení sypného úhlu α	42
Obr. 21: Kužel po provedení zkoušky sypného úhlu s celulózou 2 + vyznačení sypného úhlu α	42
Obr. 22: Dendritová sněhová vločka pod mikroskopem [35].....	43
Obr. 23: Částice celulózy 1 zvětšená 100krát (vlevo); částice celulózy 2 zvětšená 100krát (vpravo)	43
Obr. 24: Příprava modelu střechy: vlevo jsou vidět jen krokve a laťování; vpravo je vidět podbití bílou deskou a chystá se připevňování bočnice	44
Obr. 25: Příprava modelu střechy: vlevo připravený model střechy v horizontální poloze; vpravo detail pro zvednutí modelu do požadovaného sklonu	45
Obr. 26: Vlevo ukázka pokládky střešních tašek; vpravo model připravený na nasypání umělého sněhu do koryta	45
Vlevo ukázka polohy fukaru; vpravo model střechy po provedené zkoušce (v korytu je vidět velké množství nevyfoukaného sněhu)	46
Obr. 27:	46
Obr. 28: Vlevo poloha fukaru před zkoušením; vpravo ukázka zafoukaného umělého sněhu pod taškami.....	47
Obr. 29: Porovnání množství profouknutého sněhu střešní krytiny Tondach Stodo 12 u druhého a třetího měření	47
Obr. 30: vlevo model střechy po ukončení foukání a odstranění fólie a koryta; vpravo sních, který byl profouknut pod střešní krytinu	50