



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

NÁVRH SANACE HLINĚNÉ STŘECHY
THE CONCEPT OF REPAIR TECHNOLOGY OF EARTHEN ROOFS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Jaroslav Trchalík

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. NIKOL ŽIŽKOVÁ, Ph.D.

BRNO 2017



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	Jaroslav Trchalík
Název	Technologie sanace hliněné střechy
Vedoucí práce	doc. Ing. Nikol Žižková, Ph.D.
Datum zadání	30. 11. 2016
Datum odevzdání	26. 5. 2017

V Brně dne 30. 11. 2016

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
vedoucí ústavu

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

ŽABIČKOVÁ, I., Hliněné stavby, ERA group, Praha, 2002, ISBN 80-86517-21-7.

HOUBEN, H., GUILLARD, H., Earth Construction: A Comprehensive Guide, Intermediate Technology Publications, 1994, ISBN 978-1853391934.

MINKE, G., Building with Earth: Design and Technology of a Sustainable Architecture, Ökobuch Verlag, Staufen, 1994, ISBN 978-3034608220

Články v odborných časopisech a sbornících, jiná odborná literatura.

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

K tradičním materiálům používaným v oblasti Indického Himálaje patří nepálená hlína. S ohledem na nedostupnost jiných materiálů je hlína ve vysokých nadmořských výškách používána nejen k výrobě nepálených hliněných cihel a hliněných omítek, ale také na střeších. Hlína s různým obsahem jílových složek je postupně v několika vrstvách aplikována na dřevěnou střešní konstrukci a tvoří tak finální povrch. Díky klimatickým změnám se stále častěji i v oblastech tzv. Himálajské pouště vyskytují monzunové deště, díky kterým se klasické střešní konstrukce stávají naprosto nevyhovujícími. Bakalářská práce bude zaměřena na návrh technologie sanace hliněné střechy s použitím moderních hydroizolačních materiálů. V práci proveďte:

- 1.) Zpracujte rešerši zaměřenou na problematiku tradičních hliněných střešch, zejména s ohledem na měnící se klimatické podmínky v oblasti Indického Himálaje.
- 2.) Na základě dokumentace pořízené během rekonstrukce střechy svatyně Gonkhang v buddhistickém klášteře v městečku Diskit (severní Indie) v roce 2012 a z podkladů získaných během monitoringu této střechy navrhnete parametry použitelné hydroizolace.
- 3.) Navrhnete způsob ověření kompatibility vybraných hydroizolací s hliněnou hmotou v rámci sendvičové skladby sanované hliněné střechy.
- 4.) Navrhnete technologii sanace tradiční hliněné střechy za použití moderních hydroizolačních membrán.

Rozsah práce cca 50 stran včetně příloh.

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

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

doc. Ing. Nikol Žižková, Ph.D.
Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá problematikou technologie sanace hliněné střechy v oblasti Indického Himálaje. V rámci teoretické části práce je popsána historie hliněných staveb ve světě až po současnost. Dále je součástí práce popis hlíny jako stavebního materiálu. Také je popsán kraj Ladak, který se nachází v oblasti Indického Himálaje a rekonstrukce střechy svatyně Gonkhang v buddhistickém klášteře ve vesnici Diskit. Praktická část je zaměřena na návrh jednotlivých částí skladeb střechy a zkoumání jejich kompatibility s vybranou fólií.

KLÍČOVÁ SLOVA

Hlína, Indický Himálaj, svatyně Gonkhang, skladba střechy, fólie

ABSTRACT

The bachelor thesis deals with the technology of redevelopment rehabilitation of the clay roof in the area of the Indian Himalayas. Within the theoretical part is described the history of clay structures in the world to the present. Next part of the thesis describes clay as a building material. Also described is Ladak Country, which is located in the area of the Indian Himalayas, and the reconstruction of the Gonkhang Sanctuary roof in the Buddhist monastery in the village of Diskit. The partical part is focused on the design of mixtures of individual part sof the roof compositions and the examination of their kompatibility with the selected foil

KEYWORDS

Clay, Indian Hymalayas, Gonkhang Sanctuary, roof composition, foil

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Jaroslav Trchalík *Návrh sanace hliněné střechy*. Brno, 2017. 50 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce doc. Ing. Nikol Žižková, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 26. 5. 2017

Jaroslav Trchalík
autor práce

PODĚKOVÁNÍ:

Tímto bych poděkovat paní doc. Ing. Nikol Žižkové, Ph.D. za pomoc, ochotu, cenné připomínky a velkou trpělivost při vedení bakalářské práce. Poděkování patří také společnosti DEK a.s., za poskytnutí materiálů. V neposlední řadě patří velký dík mé rodině za podporu během celého studia.

OBSAH

1. ÚVOD.....	7
2. CÍL PRÁCE	8
3. HISTORIE A VÝVOJ HLINĚNÉHO STAVITELSTVÍ	9
3.1 Historie hliněného stavitelství ve světě.....	9
3.2 Historie hliněného stavitelství v České republice	10
4. HLÍNA JAKO STAVEBNÍ MATERIÁL	12
4.1 Složení a naleziště hlíny.....	12
4.1.1 Jíl a jílové minerály	13
4.1.2 Nejílové minerály	15
4.1.3 Voda.....	16
4.1.4 Další složky	16
4.2 Vlastnosti hlíny	19
4.2.1 Reakce na působení vody	19
4.2.2 Působení vodní páry	23
4.2.3 Působení tepla.....	23
4.2.4 Pevnost.....	24
4.2.5 Klasifikace zemin	25
5. TRADIČNÍ HLINĚNNÉ STAVBY INDICKÉHO HIMÁLAJE	27
5.1 Rekonstrukce střechy svatyně Gonkhang	29
6. PRAKTICKÁ ČÁST	32
6.1 Identifikace použitých surovin a materiálů	32
6.1.1 Jíl.....	32
6.1.2 Křemenný písek	33
6.1.3 Drobné těžené kamenivo	34
6.1.4 Difúzně propustná fólie	36
6.1.5 Voda.....	36

6.2 Experimentální část.....	37
6.2.1 Návrh postupu pro stanovení plasticity směsi	37
6.2.2 Návrh sledování kompatibility	38
6.2.3 Skladba S1	39
6.2.3 Skladba S2	40
6.2.4 Skladba S3	41
6.2.5 Skladba S4	42
7. DISKUZE A ZÁVĚR	46
SEZNAM POUŽITÝCH LITERATURY	48
SEZNAM TABULEK.....	49
SEZNAM OBRÁZKŮ	49

1. ÚVOD

Hlína, dřevo, kámen – jediné materiály, které se dříve používaly na výstavbu domů a v kterých člověk žil po tisíciletí bez újmy na zdraví. V dnešní době, kdy se staví z moderních stavebních materiálů, které mají zejména lepší mechanické vlastnosti, díky kterým lze stavět vyšší budovy při zachování nebo i snížení tloušťky stěn, se hlína, dřevo a kámen dostali do skupiny materiálů, které jsou méně používané.

Hlína, jakožto jeden z nejstarších materiálů po dobu existence člověka je považována za zdroj života na zemi. Předností hlíny jako stavebního materiálu je nejen velká energetická úspora, ale i zdravotní nezávadnost a příznivé působení na člověka. Díky svým vlastnostem dokáže přijmout velice rychle vysoký obsah vzdušné vlhkosti a je schopna vodní páru postupně uvolňovat do vnitřního prostředí. Tímto chováním zabezpečuje stálé teplotně – vlhkostní mikroklima ve vnitřním prostoru. Na rozdíl od cementu, vápna nebo sádry má odlišné chování a to, že se během svého životního cyklu chemicky nemění. Slovo hlína má základní dva významy. První je, že v přírodě se tak označuje zemina s velikostí částic 0,002 – 0,006 mm. Druhý je, že v hliněném stavitelství je to stavební materiál, určený k výrobě cihel, omítek nebo celý stěn.

Dříve se na stavby domů používala podorniční vrstva hlíny z obecných hlinišť, které se nazývaly hliníky, nebo se používala hlína, získaná při výkopech sklepů a základů, jejichž množství obvykle stačilo pro výstavbu domu. V současné době se vhodnost zeminy pro výrobu hliněných výrobků zkoumá pomocí zkoušek.

2. CÍL PRÁCE

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem technologie sanace hliněné střechy v oblasti Indického Himálaje. Práce si klade za cíl popsat zdroje a vlastnosti surovin, ze kterých se navržená část skladby střechy bude vyrábět. Dále bude v teoretické části popsána oblast Indického Himálaje, ve kterém se dané hliněné střechy nachází. Jedním z hlavních cílů je zachování stávající technologie skladby střešní konstrukce a navrhnout vhodnou fólii, která se zvolí na základě poznatků pořízených z rekonstrukce střechy svatyně Gonkhang v buddhistickém klášteře ve vesnici Diskit.

V praktické části jsou vyrobeny čtyři skladby části střechy z různých směsí v různých poměrech, na kterých je sledována kompatibilita směsí s vybranými fóliemi.

3. HISTORIE A VÝVOJ HLINĚNÉHO STAVITELSTVÍ

Člověk byl od prvopočátku v úzkém kontaktu s hlínou. Chodil po ní a stavěl z ní nejdříve jednoduchá obydlí a později obydlí složitější. Přesto historie objektů z nepálené hlíny není dobře zdokumentovaná a zájem o tento materiál jako takový byl často považován za zastaralý a podřadný a dávalo se přednost materiálu jako je dřevo nebo kámen. Nepálená hlína se jako stavební materiál používala zejména pro výstavbu masivních staveb po celém světě. Bylo několik základních technologií, které se postupně měnily ať už v názvu nebo v postupu provádění, ale vždy se jednalo o několik základních principů vytváření konstrukcí [1].

3.1 Historie hliněného stavitelství ve světě

Hliněné stavby zaznamenaly největší rozšíření v dobách starověké civilizace, které byly vázány na velké řeky. Nejstarší hliněné stavby byly kruhové obydlí z nepálené hlíny na kamenné podezdívce, tyto stavby byly nalezeny středním východě v Jerichu asi 8000 let př. n. l., kdy město pokrývalo čtyři hektary. Kolem roku 6000 př. n. l. se u Egejského pobřeží začaly stavět jednoduché stavby z dřevěného výpletu a jílu, které byly následně vylepšovány až do pravoúhlých tvarů z cihel vysušených na slunci. Tyto tvary a struktury cihel se používaly i v jižní oblasti dnešního Iráku. V období 4600 př. n. l. byly objeveny v části Sesklou domy, které měli podlouhlý, obdélníkově půdorysný tvar a byly stavěny z omazávek a hliněných, sušených cihel. Z této formy technologie následně vycházela celá Řecká architektura, která tento typ domu rozšířila dále až do Střední Evropy v době bronzové. První náboženské chrámy se začaly až kolem třetího tisíciletí z těstovitých cihel. Zejména v Mezopotámii sloužila hliněná cihla zejména pro stavbu paláců a chrámů, ale i pro obyčejná obydlí. Ve starém Egyptě se rozvinulo umění hliněné klenby, které se využívaly u staveb skladištních prostorů [1].

V oblastech suchého podnebného pásu, kde je nedostatek dřeva, vznikaly v průběhu let zdící techniky klenbových konstrukcí, pomocí kterých bylo možné zastřešit stavby bez použití dřevěných trámů.

V mnoha zmíněných oblastech nebyla hlína využívána jen pro výstavbu obydlí, paláců nebo chrámů ale i pro opevnění. Největší a zároveň nejznámější příklad opevnění je stavba

Velké čínské zdi, která je stará přibližně 4000 let a která byla původně vystavěna z udusané hlíny a až později byla obložena kameny a cihlami [2].

V Číně se z nepálené hlíny začalo stavět už mnohem dříve a to v pátém tisíciletí př. n. l., kdy se jako první začali objevovat první obydlí vykopané ve spraších, která byla 3 metry hluboká a 2 metry široká. Obydlí byla kruhového nebo oválného typu. Dodnes, nejen v Číně, ale také ve Španělsku, severní Africe a Turecku se žije v podzemních „hliněných domech“, v prostorách vyhloubených ve sprašové hlíně, nebo v prostorách vyhloubených do vulkanických hornin [2].

Ve Střední Americe se objevilo mnoho center civilizací, které vybudovaly objekty komplexní společnosti a města, která byla založena zejména na náboženských centrech. V oblasti La Venta byla kolem roku 800 př. n. l. postavena pyramida z hlíny, která byla 35 m vysoká [3].

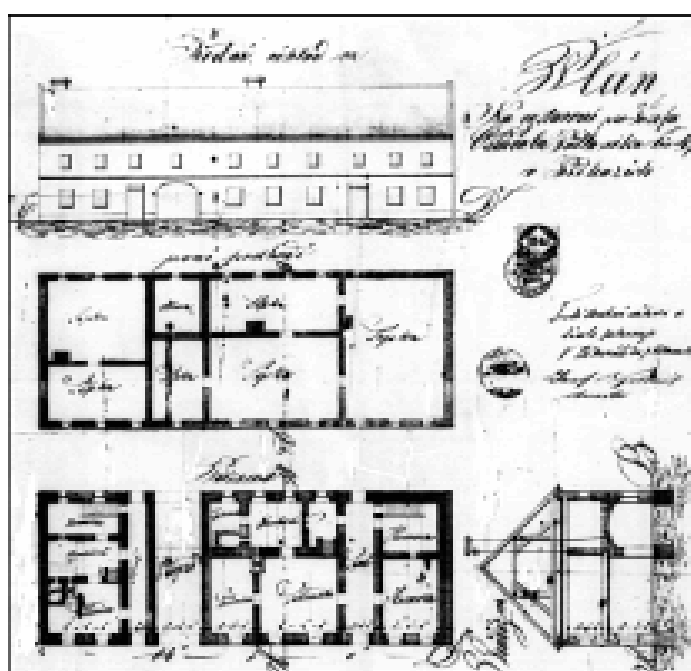


Obrázek 1: Skladištní prostory ve starém Egyptě [2]

3.2 Historie hliněného stavitelství v České republice

V západní a střední Evropě, včetně České republiky je první zmínka užití nepálené hlíny jako hlavního stavebního materiálu ve 13. až 14. století. K hlavnímu oživení masivních staveb z hlíny v evropských zemích došlo na přelomu 16. a 17. století. Hlavní příčina tohoto oživení byly mohutné požáry, které ničili oblasti s tradičními dřevěnými stavbami. Požáry

ničily celé vesnice a nastávaly u dřevěných staveb v prostorech dymníků. Ve druhé polovině 18. století byla vydána protipožární a stavební nařízení, které dali základ k vytvoření dalších stavebních řádů. V roce 1751 byl vydán tzv. Ohňový patent, který musela každá chalupa do jednoho roku splnit. Tento patent byl vydán Marii Terezií a přikazoval, aby každý chalupa měla zděnou kuchyni a komín. Hliněné stavby s vyšší odolností proti ohni nacházely velké uplatnění v nízkopodlažních budovách na vesnicích a také i ve městech. Využití těchto staveb v hliněných regionech jižní Moravy je zachyceno na mapách stabilního katastru. V roce 1833 byl vydán první stavební řád, který stanovil veškeré podmínky pro stavby a zvýšil dozor na stavby. Pomocí zvýšeného dozoru se z této doby dochovalo mnoho plánů, protokolů a vesnických staveb z nepálené hlíny.



Obrázek 2: Plán hliněného domu [10]

Nejrozsáhlejší zastoupení v Českých zemích měla nepálená hlína na jižní a střední Moravě jako součást tzv. podunajského hliněného domu, která patřila pod širší evropský okruh.

Z původního jednoprostorového obydlí se časem vyvinul dvoudílný a později trojdílný dům. Tento typ domu s přízemním charakterem se na Moravě vyskytoval počátkem 19. století. Se zvyšováním nároků na skladovací prostory vzniká v zemědělských obydlích v patře sýpka na obilí a hospodářské obydlí převyšují výškou obytnou část. Chlévy a stáje jsou situované kolmo k obytné části a právě tyto budovy jsou stavěny z pálených cihel, hlína je

využívána zejména ve stropních konstrukcích. Hlína se používala i na jiné stavby jako byly vinohradnické stavby, zvonice a další.

Začátkem 20. století se objevuje pálená cihla, která je ovšem drahá a tak se používá na venkově v bohatších oblastech jako fasádní vrstva, kolem okenních a dveřních otvorů, na nechráněných štítech domu nebo nadstřešních částech komínů. Následně dochází ovšem k velkému rozšíření pálené cihly díky technologií výpalu cihel v kruhové peci. Technologie výroby pálené cihly pomocí kruhové pece znamenala, že odpadla doba nutná k ohřívání a následnému vychládání pece naplněné cihlami. Produkce pálených cihel prudce vzrostla a jejich cena poklesla. V červnu v roce 1914 došlo k zákazu používání nepálené hlíny ve stavbách, tento zákaz byl způsoben díky velkému rozšíření cihlářského průmyslu. Ve dvacátých a třicátých letech 20. století byla venkovskými a maloměstskými staviteli stále používána nepálená hlína.

Po druhé světové válce došlo k návratu k hliněným stavbám, kdy se domy stavěly z hlinobetonu, ale s nástupem moderních materiálů došlo k utlumení a následně i ukončení výstavby z nepálené hlíny. V dnešní době není hlína v ČSN už vůbec uvedena, ale stále na vesnicích a okrajích měst stojí mnoho domů, které mají celé stěny nebo alespoň jejich část z nepálené hlíny [1].

4. HLÍNA JAKO STAVEBNÍ MATERIÁL

Hlína vzniká zvětráváním, které je způsobeno mechanickou erozí. Této eroze dochází při činnosti větru, ledovců a vody, při rozpínání a smršťování materiálu zapříčiněno teplotní diferencí nebo při zvětšování objemu zmrzlé vody v puklinách hornin [2]. Nepálená hlína jako stavivo se chemicky nezmění. Zeminy jsou hlavní surovinou pro výrobu staviva z nepálené hlíny. V této souvislosti má slovo hlína dva základní významy:

1. Jemnozrnná zemina dle ČSN 73 1001 značená symbolem M
2. Obecný výraz pro zeminu nebo směs zeminy určenou k výrobě nepáleného staviva

Do zeminy se mohou přidávat další složky, kvůli zlepšení vlastností výsledného výrobku [1].

4.1 Složení a naleziště hlíny

Hlína je směsí jílu, prachu a písku. V této směsi se mohou objevit i hrubší částice jako jsou štěrky, suť nebo kameny. Velmi důležité je naleziště hlíny, jelikož podle lokality má hlína

své specifické složení, které ovlivňují její konečné vlastnosti. Naleziště mohou být různá, jako jsou například: horská, svahová nebo ledovcová.

Horské a svahové hlíny bývají prostoupeny úlomky, které se do hlíny dostanou vlivem zvětrávání. Horská hlína má vysokou pevnost v tlaku a velmi dobrou pojivost. Jestliže obsahuje dostatečné množství jílu je vhodná k dusání.

Ledovcová hlína, která je typická pro Středoevropské nížiny je označována jako souvková. Obsahuje velmi často vápenec. Vápence může být v hlíně obsaženo velké množství a při takovém stavu se nazývá tzv. slín. Slín má minimální pojivé schopnosti a není vhodný pro hliněné stavitelství [2].

4.1.1 Jíl a jílové minerály

Všechny jílové minerály mají vrstevnatou krystalovou mřížku, slabou krystalizační schopnost a malou pevnost. Mřížky jsou tvořeny křemíkovými tetraedry, které spolu s hliníkovými oktaedry tvoří základní stavební jednotky jednotlivých krystalových mřížek. Vrstevnaté mřížky jílových minerálů jsou tvořeny pravidelně se opakujícími seskupení tetraedrických a oktaedrických vrstev a podle jejich počtu v elementárním souvrství se rozlišují na jedno-, dvou-, troj- a vícevrstvé minerály. Hlavní rozdíl mezi jílovými a nejílovými silikátovými minerály je vznik elektrického pole a nepatrné pootočení krystalové mřížky. Pootočení omezuje růst krystalů a tím také jejich velikost.

Jílové minerály se dělí podle stavby mřížky do tří skupin – skupina kaolinitu, illitu a montmorillonitu. Skupina kaolinitu má spoje mezi souvrstvími pevné a vrstvy mezi sebe nepřijímají vodu a neobtnají. Vrstvy jsou spojeny van der Waalovými silami nebo vodíkovými vazbami [1]. Tato skupina se dělí v různých odvětvích průmyslu podle použitelnosti a technologických vlastností na:

- Pórovinové a bělninové jíly – zejména pro ušlechtilou keramickou výrobu, ve které se cílí na bílou a světlou vypalovací barvu
- Žáruvzdorné jíly a jílovce vhodné pro výpal ostřiv pro výrobu žáruvzdorných šamotových výrobků
- Žáruvzdorné jíly a jílovce vhodné jako plastická tmelící složka pro výrobu žáruvzdorných šamotových výrobků
- Kameninové a dlaždicové jíly, které se používají na výrobu slinutých keramických výrobků [4].

Skupina illitu má spoje mezi vrstvami středně pevné a jejich vzdálenost je stálá. Skupina montmorillonitu má spoje slabé, vzdálenost mezi vrstvami je proměnná a vrstvy jsou spojeny van der Waalsovými silami nebo výměnnými kationty.

Kaolinit je objemově tvořen z 90 % kyslíkem a nejčastěji se vyskytuje v podobě tenkých bílých šupin, které jsou velké v tisícinách milimetru [1]. Může se vyskytovat i v červíkovitých útvarech, které jsou součástí jílových minerálů vzniklých rozpadem a zvětráváním vulkanických jemnozrnných tufů [4]. Mřížka u kaolinitu je dvouvrstvá s tuhými kontakty mezi jednotlivými vrstvami [1]. Kaolinit pohlcuje velmi rychle vodu a po zvlhčení vytváří plastickou hmotu. Vzniká v kyselém prostředí bez většího množství iontů vápníků za nižších teplot a tlaků. Tvoří hlavní složku jílu, jílovce, jílové břidlice apod. [4].

Illit je bílý trojvrstvý minerál, který bývá zastoupený v cihlářských zeminách, kterým propůjčuje větší plasticitu než kaolinit. Illit, který se nazývá hydroslída, je schopný vázat vodu a hydratované kationty víc než kaolinit, ale méně než montmorillonit [1]. Patří do soustavy monoklinické a vzniká zvětráváním aluminosilikátových minerálů v prostředí s dostatkem draslíku [4].

Montmorillonit je jako illit trojvrstvý minerál, kdy se k oktaedrické vrstvě řadí z obou stran tetraedrické vrstvy. Tento minerál má slabý, ale pružný kontakt mezi jednotlivými trojvrstvami, které se mohou rozevírat na velkou vzdálenost a přijímat molekuly vody a hydratované kationty mezi sebe [1]. Ve struktuře montmorillonitu se voda může nahradit organickými polárními kapalinami, přičemž se zvětšuje svislý rozměr struktury. Montmorillonit vzniká z vulkanických tufů a magmatických hornin v podmínkách s omezenou pohyblivostí spodních vod a v přítomnosti alkalických iontů a hořčíku, kdy se vytváří alkalický režim. Jelikož je stabilní ve velkém rozsahu teplot, tak může vznikat při zvětrávacích procesech nebo v nízkoteplotních hydrotermálních podmínkách. Patří mezi důležitou složku četných jílových hornin [4]. Montmorillonitické jíly se nazývají bentonity a mají schopnost přijímat a udržet velké množství vody [1].

Jíl vzniká zvětráváním hornin, které jsou bohaté hlavně na živce, ale i jiné minerály. Živec je označován jako nestabilní nerost a jeho zvětráváním dochází ke snadnému uvolnění vazeb. Ve vodním, mírně kyselejších prostředí se živec přeměňuje na kaolinit [2]. Jíly a z nich zpevněné jílovce jsou jemně zrnité a jsou nejrůznějšího geologického stáří, mineralogického složení a fyzikálních vlastností [4].



Obrázek 3: Krystal K-živce [5]

4.1.2 Nejilové minerály

Vyvářejí v zemině prachové a písčité podíly. Mezi nejdůležitější nejilové minerály patří z hornin vyvřelých křemen a z hornin chemogenního původu jsou to kalcit, dolomit, kysličníky, hydroxidy železa a další [1]. Prach a písek se od jílu velmi odlišují a to zejména tím, že na sebe nemohou vázat žádné další částice a tvoří jen příměs jílu jako pojiva. Vznikají rozrušením horniny a jejich hrany bývají ostré, ale pouze tehdy pokud nedojde k jejich mechanicky vzájemnému obroušení a ohlazování, což může zapříčinit vliv větru, vody apod. v takovém případě jsou jejich hrany zaoblené [2].



Obrázek 4: Vlevo kalcit, vpravo dolomit [6], [7]

4.1.3 Voda

Druh a množství vody zásadně ovlivňuje vlastnosti hlíny. Jakmile se voda dostane do kontaktu s jílem, způsobí bobtnání vlivem proniknutí do jeho krystalové struktury. Krystalové plátky jsou obaleny tenkou vrstvou vody, sklouzávají po sobě a tím dělají hlínu plastičtější a tvárnější. Jíl se ve vodě zcela nerozpustí, jílové minerály zůstávají ve shlucích a tvoří tzv. koloidy, které způsobují zakalení vody. Při vyschnutí hlíny se záměsová voda vypaří a krystalové destičky se opět těsně spojí. Vznikají kohezní síly, které ovlivňují pevnost hlíny v tahu v plastickém stavu a pevnost v tlaku za ohybu ve stavu suchém [2]. Voda ve směsi je důležitá k zajištění dobré zpracovatelnosti, větší množství vody snižuje tření vlivem větší vrstvy vody kolem částic a působí příznivě na dobrou zpracovatelnost. Po vysušení však zanechává velké množství pórů, které způsobují nižší pevnosti. Více vody způsobuje také větší smršťování a vznik smršťovacích trhlin [1].

Rozlišujeme následující druhy vody: krystalovou, absorbovanou a pórovou. Krystalová voda, nazývána také strukturovaná voda, je chemicky vázána a uvolňuje se až při spalování při 400 – 900 °C. Adsorbovaná voda je vázána jílovými minerály, které mají sorpční a intovýměnnou schopnost. Pórová voda bývá voda, která proniká póry vlivem působení kapilárních sil [2].

4.1.4 Další složky

V dnešní době se do hliněných směsí přidávají další minerály, které odstraňují nebo alespoň zmírňují negativní vlastnosti hlíny (zvýšení pevnosti,

snížení citlivosti vůči vodě apod.), nebo pomáhají získat některé vlastnosti, které dříve nebyli vyžadované (zmenšení objemové hmotnosti, zlepšení tepelně-technických charakteristik) [1].

4.1.4.1 Organické složky

Patří sem organické příměsi, které se přidávali do směsí odedávna – sláma, plevy, prasečí štětiny a jiné. V současné době se používají organické příměsi rozdělené do tří hlavních složek podle původu: rostlinné, živočišné a umělé.

Složky rostlinného původu:

- **Sláma:** Nejčastěji využívána pro vylehčení hlíny, je snadno dostupná, má nízkou objemovou hmotnost, zachovává značný objem póru ve stéblech i po smísení s hlínou a následném uložení. Sláma má být suchá a nesmí obsahovat plísně, nejlépe je získána kosením a mlácením. Nezáleží na druhu obilí, ale na stavbě stébla, pro lepší tepelně-izolační účinky je vhodnější stéblo slabší a pevnější. Před mícháním musí být sláma dobře rozmělněna, aby nezůstala slisovaná, jelikož by se později špatně rozmělnovala.
- **Plevy a osiny:** Ve srovnání se stébly slámy je tento odpad z obilí vhodnější, jelikož nevytváří tak mnoho pórů a zvyšují pružnost. Používají se zejména pro hliněné omítky.
- **Suchá tráva:** Jedná se o vybranou suchou travu s dlouhými stébly a listy, nikoli však seno.
- **Dřevní odpad:** Vhodné jsou třísky a hobliny ze strojní úpravy dřeva, působí totiž ve směsi s hlínou jako vylehčující složka a také jako stabilizační rozptýlená výztuž. Pro nenosné zdivo lze použít i piliny, které ovšem nemají stabilizační účinek. Při zvlhnutí změni svůj objem a mohou poškodit výsledný výrobek.
- **Pazdeří:** Působí obdobně jako částice dřevěného třískového odpadu. Z hlediska stability je příznivější, jelikož je zde známý i délkový rozměr na rozdíl od pilin.
- **Sisal:** Jedná se o textilní surovinu, která je pro účel vylehčení hlíny.
- **Ostatní:** Mnoho dalších rostlinných materiálů jako jsou juta nebo bavlna lze použít pro hliněné konstrukce stěn nebo omítek.



Obrázek 5: Vlevo pazdeří, vpravo sláma [8]

Složky živočišného původu:

- **Exkrementy:** Nejčastěji kravský nebo koňský hnůj (v zahraničních zemích i hnůj od jiných zvířat). Přídavek exkrementů má jistý účinek na odolnost proti vodě a redukuje napětí, tím snižuje tvorbu smršťovacích trhlinek. Lze použít i koňskou moč, která účinně eliminuje trhlinky a zvyšuje odolnost proti erozi.
- **Zvířecí krev:** Používá se volská krev jako stabilizační prostředek už odedávna. Krev zvyšuje vaznost a odolnost hlíny proti povětrnostním vlivům, musí být čerstvá. Velmi účinná je kombinace s vápnem nebo použitím polyfenolové stabilizace.
- **Zvířecí srst:** Má ve směsi stabilizační účinek stejný jako rostlinná vlákna. Použití prasečích chlupů dalo název hliněným cihlám – vepřovice.
- **Ostatní:** Existuje spousta dalších složek živočišného původu, které ovšem nejsou moc používané, jako například: termití sekret, který byl zkoumán v jižní Africe, jeho cena avšak vzrostla trojnásobně nad cenu cementu a jeho použití je tedy problematické a nevhodné, nebo kasein, který se ve směsi s volskou krví používá pro stabilizaci. Kaseinové nátěry jsou vhodné pro hliněné omítky, jelikož zvyšují difuzní odpor hliněného staviva [1].

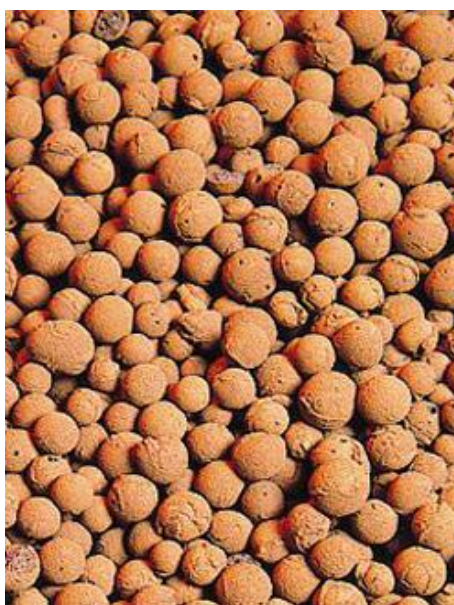
Složky umělého původu

Pěnový polystyren a jiné pěnové plasty lze použít pro vylehčení hlíny, pokud se jedná o odpad. Výroba je ale velmi energeticky náročná a použití neodpadového granulátu by setřelo podstatnou přednost hlíny – energetickou úspornost. Při použití plastů do směsi se vylučuje návrat materiálu do volní přírody po dožití stavby.

Polypropylenová vlákna jako přídavek do hliněné směsi v různých dávkách zvyšují pevnost v tahu ohybem a nižší deformace při zatěžování [1].

4.1.4.2 Složky anorganické

Pro vylehčení směsi jsou vhodná umělá kameniva, která se používají pro výrobu lehkých betonů: keramzit, zpěněná struska (strusková pemza), agloporit, expandovaný perlit apod. Použití agloporitu a struskové pemzy je vhodné, protože se jedná o výrobky z průmyslových odpadů [1].



Obrázek 6: Agloporit [9]

4.2 Vlastnosti hlíny

4.2.1 Reakce na působení vody

Při styku hlíny s vodou, proniká voda do vrstevnaté krystalové struktury jílových minerálů a obaluje jednotlivé vrstvy tenkým filmem, tím hlína nabývá na objemu a plasticitě. Voda vlivem kapilárních sil proniká do pórů vyplněných vzduchem, které se objevují mezi pevnými částicemi hlíny [2].

4.2.1.1 Bobtnání a smrštění

Bobtnání lze také nazvat jako nabývání objemu, je to nepříznivá vlastnost hlíny při absorpci většího množství vody. Příčinou je přímý kontakt hlíny s vodou, která absorbuje takové množství vody, při kterém ztratí svou pevnou konzistenci.

Smrštění vzniká při vysychání a je to opak bobtnání, tedy zmenšování objemu. Míra bobtnání a smrštění závisí na množství a druhu jílu. Montmorillonit ve srovnání s kaolinitem a illitem bobtná daleko více. Rozhodujícím faktorem ovlivňujícím míru bobtnání a smrštění je zejména složení ostatních nejílových částic. Snížení smrštění a vzniku smršťovacích trhlin se dosáhne optimalizací zrnitosti složení hlíny [2].

4.2.1.2 Plasticita

Plasticita zemin vyjadřuje schopnost zeminy po smíchání s vodou a vytvoření těsta, měnit bez porušení celistvosti svůj tvar účinkem vnějších sil a udržet si ho. Závisí především na množství přítomných jílu a jílových minerálů v zemině. Tvoří ji zejména jemnost částic jílových minerálů, jejich destičkový tvar, povaha vodních filmů a přitažlivost sil mezi částicemi.

Hlína může mít různou konzistenci. Konzistence neboli konzistenční stav, je fyzikální stav soudržné zeminy závislý na vlhkosti, který ovlivňuje stlačitelnost a zpracovatelnost zeminy. Rozeznáváme jej na:

- tvrdý – zemina je suchá, úlomky ze zeminy mají ostré hrany
- pevný – zemina je zavlhlá, drobná, úlomky nemají ostré hrany, ale nedají se z nich vyválet válečky o průměru 3 mm
- plastický tuhý – zemina se hne s obtížemi, lze vyválet válečky o průměru 3 mm
- plastický měkký – zemina se hne snadno
- kašovitý – při sevření pěsti se zemina protlačí mezi prsty
- tekutý – zemina ztrácí svoji pevnost a chová se jako hustá kapalina [1].

Pro soudržnou zeminu jsou definovány konzistenční meze švédským vědcem Atterbergem, které se dělí na:

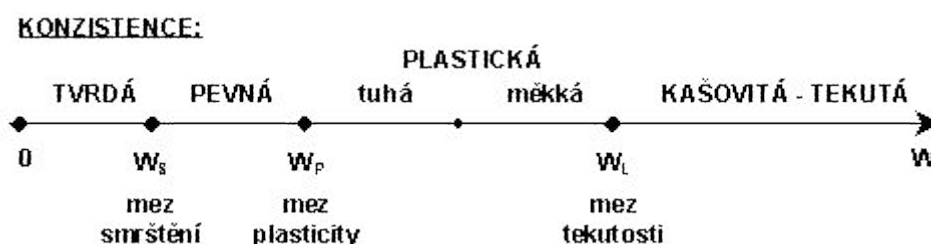
- Mez tekutosti W_L – udává obsah vody v procentech, při kterém hlína přechází z tekutého stavu do plastického stavu. Určuje se v tzv. Casagrandeho misce.

- Mez plasticity W_p – udává vlhkost hlíny v procentech na rozhraní plastické a pevné konzistence
- Mez smrštění W_s – přechodná vlhkost jemnozrnné hlíny mezi stavem pevným a tvrdým za předpokladu, že voda ve vysušeném vzorku vyplňuje jeho póry.

Konzistenční meze udávají obsah vody v hlíně na přechodu z jednoho stavu do druhého. Obsah vody v hlíně stejné konzistence se může značně lišit, jelikož k dosažení stejné konzistence spotřebuje jílovitá půda dvakrát více vody [2].

Tabulka 1: Skupenství a konzistenční meze

Konzistence	Konzistenční meze
Tekutá (kašovitá)	- mez tekutosti W_L
Plastická, měkká	
Tuhá	- mez plasticity W_p
Pevná až tvrdá	- mez smrštění W_s



Obrázek 7: Meze stavů a konzistence

Index plasticity I_p – rozsah vlhkosti, při kterém se hlína chová jako plastická mezi mezí tekutosti a plasticity. Konzistence se v tomto rozsahu může dále specifikovat jako kašovitá, měkká a tuhá. Plasticita hlíny vyjádřené indexem plasticity závidí na množství a vlastnostech jílových minerálů obsažených v hlíně. Čím blíže se budou nacházet hodnoty meze tekutosti a meze plasticity, tím nižší bude index plasticity [2].

Tabulka 2: Index plasticity hlíny

Druh hlíny	W_L (%)	W_P (%)	I_p (%) = $W_L - W_P$
Silně písčítá	10-23	5-20	< 5
Silně prachová	15-35	10-25	5-15
Silně jílovitá	28-150	20-50	15-95
Bentonit	40	8	32

Index konzistence I_C – je na mezi tekutosti roven 0 a na mezi plasticity 1 a vyjadřuje stav soudržné zeminy a ho lze stanovit na základě momentální vlhkosti w , vlhkosti na mezi tekutosti W_L a vlhkosti na mezi plasticity W_P pomocí vzorce:

$$I_C = \frac{W_L - W}{W_L - W_P} = \frac{W_L - W}{I_p} [-]$$

4.2.1.3 Kapilární absorpce

Hlína má otevřenou pórovou strukturu a je schopna absorbovat a rozvádět vodu, kdy voda putuje z oblastí s vyšší vlhkostí do oblastí s vlhkostí nižší. Šíření vlhkosti v materiálu se označuje jako kapilární transport vlhkosti. Kapilární vodivost vyjadřuje koeficient nasákavosti, který udává kolik kg vody je schopen stavební materiál pojmout na 1 m² plochy v závislosti na čase. Množství absorbované vody W se vypočítá podle vzorce:

$$W = w \cdot \sqrt{t} \text{ [kg} \cdot \text{m}^{-2}\text{]}$$

w – koeficient nasákavosti [kg · m⁻² · h^{0,5}]

t – doba smáčení [h^{0,5}]

Kapilární vodní kapacita Φ – udává maximální množství vody, které je stavební materiál schopen přijmout kapilárními silami. Významně přispívá k řešení problému s vlhkostí u stavebních prvků [2].

4.2.1.4 Vyplavitelnost

K promáčení hliněného zdiva může dojít z nedostatečného zabezpečení stavby před deštěm, nebo v důsledku havárie potrubí. Tato vlastnost pro praxi není důležitá, jelikož stavební prvky by neměli stát ve vodě, ale ze zmíněných důvodů je důležité stanovit odplavitelnou používanou hlínu podle DIN 18952, list 2 [2].

4.2.1.5 Eroze působením mrazu

Odolnost hlíny proti mrazu závisí na její pórovitosti, čím větší podíl pórů v hlíně, tím větší odolnost proti mrazu. Při zamrznutí vody v pórech, se zvětšuje její objem a rozpíná se, v hlíně s vyšším podílem vzdušných pórů tím nezpůsobí žádnou erozi.

Nízká pórovitost hliněných směsí nepálených cihel vyrobených z cihelny je způsobena vyšším podílem jílu ve směsi a mírou stlačení ve vakuovém lisu a tyto cihly jsou tedy ohroženy namrznáním a nejsou vhodné pro použití ve vrstvách vnějších stěn.

Ručně vyráběné cihly s menším obsahem jílu a vyšším obsahem hrubozrnných částic disponují vysokým objemem vzdušných pórů a jsou mrazuvzdorné [2].

4.2.2 Působení vodní páry

Na rozdíl od působení vody, kdy hlína špatně odolává a povoluje, při působení vodní páry má jedinečné vlastnosti. Hlína přijímá vlhkost bez negativních projevů ohledně konzistence nebo bobtnání. Naopak přispívá přirozeným způsobem k regulaci vlhkosti vzduchu ve vnitřním prostoru, jelikož při vyschnutí okolního vzduchu absorbovanou vodu opět vydává [2].

4.2.3 Působení tepla

Rozhodující tepelně technickým faktorem je pórovitost, objemová hmotnost a obsah vlhkosti. Větší množství vzdušných pórů zlepšuje tepelně izolační vlastnosti, negativně je ovlivňuje vlhkost. Masivní stěna z hliněných cihel má podobné izolační vlastnosti jako stejně silná zeď z pálených cihel.

Tepelný útlum patří mezi důležitou vlastnost u obvodové stěny domu, je to schopnost udržovat vnitřní teplo, navzdory kolísání teploty venku. Stěna s vysokým teplotním útlumem ovlivňuje pozitivně teplotní stabilitu v místnosti.

Tepelná roztažnost neboli změna délky vlivem teploty je u hliněných omítek velmi významná. Součinitel teplotní roztažnosti omítky a podkladu by měl být přibližně stejný.

Podle DIN 4102, část 4 se hlína řadí mezi stavební materiály třídy A1 – nehořlavé stavební materiály.[2].

4.2.4 Pevnost

4.2.4.1 Pojivá schopnost

Odpor, který klade hlína při zkoušce tahem, jedná se pevnost v tahu v plastickém stavu. Tato schopnost závisí především na množství a druhu jílu a jílových minerálů. Jíly s vyšším obsahem sodíku a draslíku má lepší pojivé schopnosti než jíl s vyšším obsahem vápníku. Pro stanovení pojivé schopnosti hlíny je důležité, aby dosahovala tzv. normované konzistence.

Tabulka 3: Druhy hlíny podle její pojivé schopnosti

Pojivá schopnost [$\text{g} \cdot \text{m}^2$]	Pojmenování
50 – 110	Hubená hlína
111 – 200	Téměř tučná hlína
201 – 280	Tučná hlína
281 – 360	Velmi tučná hlína

Tato označení nejsou všeobecně používána v hliněném stavitelství. Podle normy DIN 18952, list 2 hlíny, které mají pojivou schopnost menší než $50 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2}$ nejsou vhodné pro stavební účely. Nutno všem poznamenat, že tato hranice není zcela správná, jelikož u velmi hubené hlíny nelze stanovit normovou konzistenci dle DIN 18952, list 2, protože se kulička při zkoušce volným pádem rozpadá [2].

4.2.4.2 Pevnost v tlaku

U hliněných stavebních prvků se v suchém stavu pohybuje v rozmezí $3 - 6 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$. Důležitou roli je množství a druh jílu, velikost a množství částic prachu, písku a štěrku a také způsob zpracování a upěchování. Podle DIN 18954 se pohybuje přípustné zatížení v tlaku u hliněných stavebních prvků v rozmezí $0,3 - 0,5 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$. U hliněných prvků se počítá

s vysokým součinitel bezpečnosti cca 7, pak je tedy skutečná pevnost v tlaku v průměru sedmkrát vyšší než kolik udává přípustná hodnota [2].

4.2.4.3 Pevnost v tahu v suchém stavu

Jedná se o pevnost v tahu u hlíny, která je v naprosto suchém stavu. Pevnost v tahu u hliněných cihel odpovídá cca 10 – 11 % jejich pevnosti v tlaku a u hliněných omítek se jedná o 11 – 13 % [2].

4.2.4.4 Pevnost v tahu za ohybu

Pro hlínu jako stavební materiál není tolik významná, jelikož není zatěžována ohybem. Tato pevnost hraje důležitou roli při posuzování vlastností hliněných omítek a stanovení pevnosti hran, jelikož čím je tato pevnost vyšší tím zmenšuje pravděpodobnost poškození, prasknutí nebo odtržení. Při vyšší pevnosti v tahu za ohybu jsou odolnější i hrany hliněných cihel. Pevnost v tahu za ohybu nejvíce ovlivňuje množství a druh jílu. Jíl s malým specifickým povrchem, složeným tedy zejména z velkých a silných lamel vykazuje malou pevnost v tahu za ohybu a nízkou schopnost výměny kationtů.

Podstatný vliv má také druh kationtů. U kaolinitu, který obsahuje vyměnitelné ionty sodíku je schopnost kationové výměny největší, při obsahu vyměnitelných iontů vápníku jsou naopak nejmenší. Montmorillonit vykazuje vyšší pevnost v tahu za ohybu než kaolinit [2].

4.2.4.5 Přílnavost a otěruvzdornost

Přílnavost je závislá na drsnosti podkladu a pevnosti v tahu za ohybu a hraje důležitou roli u hliněných omítek.

Hliněné povrchy vykazují při mechanickém zatížení opotřebení otěrem. Povrchy vnějších zdí jsou nejčastěji poškozované písečnou bouří. Podlahy jsou poškozovány klouzavým pohybem drsných podrážek obuvi. Otěruvzdornost hliněných materiálů se zvyšuje, pokud je jejich povrch hladký. Materiály, které jsou otěruvzdorné mají vysokou pojivou schopnost. Rozhodující faktor je zrnitostní složení a podíl jílu [2].

4.2.5 Klasifikace zemin

V současné době klasifikační systém dělí zeminy podle zrnitostního složení. Pro nepálené staviva se nehodí velmi hrubé částice, maximální velikost zrna se obvykle uvádí do

40 mm (u dusaných konstrukcí jsou přípustná i zrna větší). Jednotlivé vlastnosti jsou vyjádřeny symboly:

- podle plasticitního diagramu: - hlína M
- jíl C
- plasticita podle meze tekutosti W_L :

- nízká	L	$W_L < 35 \%$
- střední	I	$W_L = 35 - 50 \%$
- vysoká	H	$W_L = 50 - 70 \%$
- velmi vysoká	V	$W_L = 70 - 90 \%$
- extrémně vysoká	E	$W_L > 90 \%$

Tabulka 4: Klasifikace zemin podle zrnitostního složení (ČSN 73 1001)

částice	složka	Značení	max.velikost částic [mm]	min.velikost částic [mm]
velmi hrubé	balvanitá	B		> 200
	kamenitá	Cb	200	60
hrubé	šterkovitá	G	60	2
	písčítá	S	2	0,06
jemné		F		
	prachová	M	0,06	0,002
	jílová	C	< 0,002	

5. TRADIČNÍ HLINĚNNÉ STAVBY INDICKÉHO HIMÁLAJE

Kraj Ladak, který se nazývá také jako „Malý Tibet“ se nachází v oblasti Západního Himálaje ve státě Džamú a Kašmír, v Indii. Ladak je s okolním světem spojen cestami, které překonávají velehorské průsmyky s nadmořskou výškou nad 5000 metrů. Nachází v klimatických podmínkách vysokohorské pouště s výkyvy teplot od plus 40 do minus 30 °C.

Klášteř Diskit, který spadá do skupiny horských klášterních pevností je funkční buddhistický klášter situovaný v kraji Ladak. Na místě kde klášter stojí, postavil v roce 1173 své královské sídlo vládce Nubry a 300 let později Šerab Zangpo založil na místě ruin královského sídla diskitský klášter, viz obrázek 8. Z dob království se zachovala dodnes bílá věž v horní části kláštera, ve které bydlí představený kláštera.



Obrázek 8: Pohled na komplex kláštera od zlaté sochy sedícího Buddhy

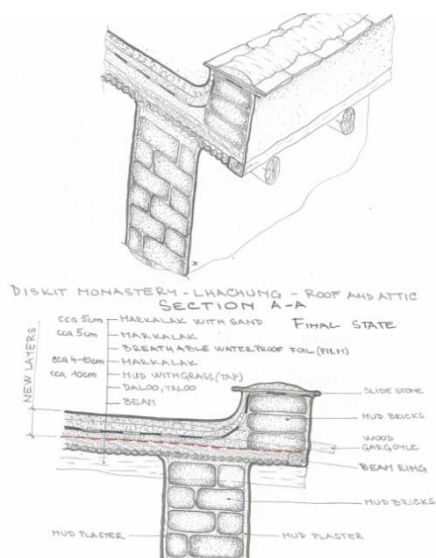
Tento klášter je postaven nad vesnicí Diskit při soutoku řek Nubra a Šajok, na severním svahu Ladackého hřebene, který je asi 6000 metrů vysoký. Má jedinečnou polohu vysoko na skalnatém ostrohu severního úbočí hřebene, viz obrázek 8. Směrem od hlavního údolí předstupuje před ostroh severním směrem ještě nízký kopec, na kterém byla v roce 2010 dokončena socha zlatého sedícího Buddhy, viz obrázek 9. Na přístupové cestě ke klášteru je v sedle mezi ostrohem a tímto kopcem postaveno několik budov. Rozsáhlou dolní část

kláštera zaujímají malé přízemní domky mnichů, které leží na různých výškových úrovních a přístupné jsou pouze po schodech nebo svažitéch stezkách.



Obrázek 9: Pohled na sochu zlatého sedícího Buddhy z kláštera Diskit

Na níže uvedeném obrázku Ing. arch. Petra Jandory je uvedena typická skladba střešní konstrukce, která je u hliněných staveb v oblasti Indického Himálaje nejčastější.



Obrázek 10: Typická skladba střešní konstrukce

5.1 Rekonstrukce střechy svatyně Gonkhang

O rekonstrukce hliněných staveb a zachování charakteru těchto staveb se ve světě zajímá mnoho organizací a architektů v čele s Johnem Harrisem. V České republice se nejvíce o rekonstrukce zajímá Občanské sdružení pro Tibet. Jedná se o neziskové sdružení, které se zajímá o Tibet, tibetskou kulturu, tibetský buddhismus a základním cílem sdružení je péče o tradiční duchovní hodnoty Tibetu.

V roce 2012 došlo k částečné rekonstrukci svatyně Gonkhang z důvodů zatékání do prostoru svatyně v důsledku nefunkčního odtoku srážkové vody a narušení finálního hliněného potěru.

Jako první se muselo odstranit nerovnoměrné hliněné souvrství střešní konstrukce v tloušťce 10 – 15 cm, což je znázorněno na obrázku 11. Byla odstraněna také část omítky atiky do výšky cca 30 cm. Vzniklý odstraněný materiál byl recyklován a použit pro výrobu směsi určené na spádovou a finální vrstvu. Sklon spádové vrstvy byl z důvodů jednoho chrliče do jednoho místa.



Obrázek 11: Odstranění starého hliněného souvrství

Druhým krokem bylo vyspádování plochy opravované části střechy pomocí směsi, která byla vyrobená z markalaku (místní označení jílu) a písku v tloušťce cca 5 – 15 cm, viz obrázek 12. Na tuto vyspádovanou a vyrovnanou vrstvu byla položena paropropustná

hydroizolce (fólie Tyvek Supro, Dekten Multi Pro). Tato hydroizolace byla vytažena na atiku do výšky odstraněné omítky a ukotvena a fixována pomocí kamenů do vytvořené spáry.



Obrázek 12: Vyspádování plochy opravované části

Na hydroizolaci byly nanесeny další dvě ochranné vrstvy z markalaku v tloušťce cca 4 cm, které se nanášely tak, aby byl zachován vytvořený sklon střechy, viz obrázek 13. Jednotlivé vrstvy mohou při vysychání popraskat. V případě popraskání se prasklinky posypaly jemným pískem, který se následně zadusil do prasklin, viz obrázek 14. Při nanášení této vrstvy bylo provedeno nanесení omítky na atiku ve dvou vrstvách.



Obrázek 13: Nanášení první ochranné vrstvy na hydroizolaci



Obrázek 14: Dokončená druhá vrstva včetně posypu jemným kamínkem

Předposledním krokem bylo provedení finální vrstvy, které opět zachovávalo vytvořený sklon střechy. Tato vrstva byla ze směsi markalaku a hrubšího písku, viz obrázek 15.



Obrázek 15: Nanášení finální vrstvy

Poslední část tvořilo doplnění chybějících kamenů na atice, které tvoří ochrannou vrstvu a natření omítky atiky na bílou barvu. Finální vrstva opravené střechy včetně opravené atiky je na obrázku 16.



Obrázek 16: Finální vrstva a opravená, natřená atika

6. PRAKTICKÁ ČÁST

V praktické části byly ověřeny návrhy jednotlivých vrstev hliněné střechy, které byly namíchány v různém složení a poměru. Tyto vrstvy se nanášely na dvě difúzně propustné fólie. Celkem bylo připraveno 5 skladeb o čtyřech vrstvách.

6.1 Identifikace použitých surovin a materiálů

6.1.1 Jíl

Pro první dvě vrstvy byl použit montmorillonitický jíl z podloží vazných jílu severozápadní části Chebské pánve v mineralogickém složení: montmorillonit, illit, kaolinit a křemen. V granulometrii toho jílu se zbytek na síť 0,063 mm pohybuje kolem 0,19 – 2,40 %.

Pro další dvě vrstvy byl použit jíl Novosedly v mineralogickém složení: křemen, illit, kalcit, dolomit, muskovit a kaolinit. V granulometrii tohoto jílu se zbytek na síť 0,063 mm pohybuje kolem 7,56 %.

6.1.2 Křemenný písek

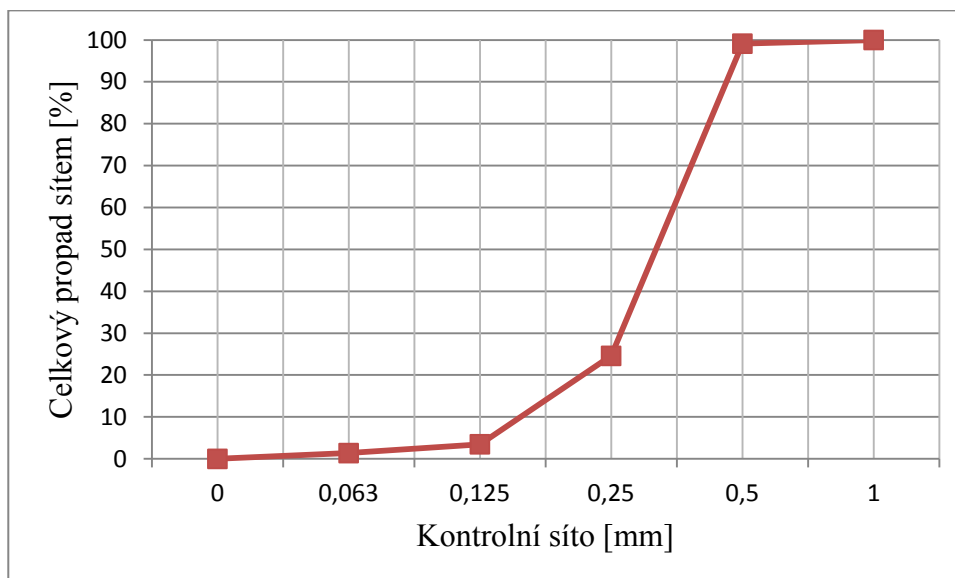
Pro první dvě vrstvy byl křemenný písek použitý jako plnivo. Chemické složení křemenného písku je uvedeno v tabulce 5. Sítový rozbor byl proveden podle normy ČSN EN 933-1 Část 1: Stanovení zrnitosti – Sítový rozbor. Následně z vyhodnocených výsledků byla zhotovena křivka zrnitosti.

Tabulka 5: Chemické složení křemenného písku

Chemické složení křemenného písku [%]							
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O
99,2	0,18	0,03	0,02	0,002	0,02	0,006	0,001

Tabulka 6: Sítový rozbor křemenného písku

Křemenný písek				
Kontrolní síto [mm]	Dílčí zbytek na síti [g]	Zbytek na síti [g]	Celkový zbytek na síti [%]	Celkový propad sítem [%]
1	0	0	0	100
0,5	1,76	0,88	0,88	99,12
0,25	149,05	74,53	75,40	24,59
0,125	42,19	21,10	96,50	3,49
0,063	4,24	2,12	98,62	1,38
0	2,76	1,38	100	0
Σ	200,0	100,0		



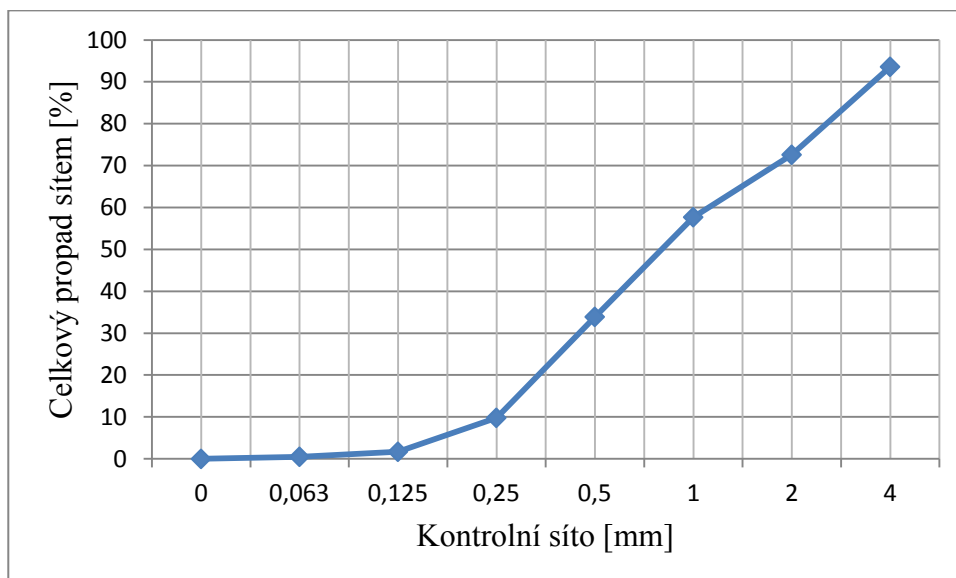
Graf 1: Křivka zrnitosti křemenného písku

6.1.3 Drobné těžené kamenivo

Pro další dvě vrstvy bylo použité jako plnivo drobné těžené kamenivo (DTK) frakce 0–4 mm z lomu Žabčice. Toto plnivo bylo přesáto přes síť o velikosti 2 mm a část propadlá sítem byla použita jako plnivo ve směsi. Síťový rozbor byl proveden podle normy ČSN EN 933-1 Část 1: Stanovení zrnitosti – Síťový rozbor. Následně z vyhodnocených výsledků byla zhotovena křivka zrnitosti.

Tabulka 7: Síťový rozbor DTK frakce 0–4 mm, Žabčice

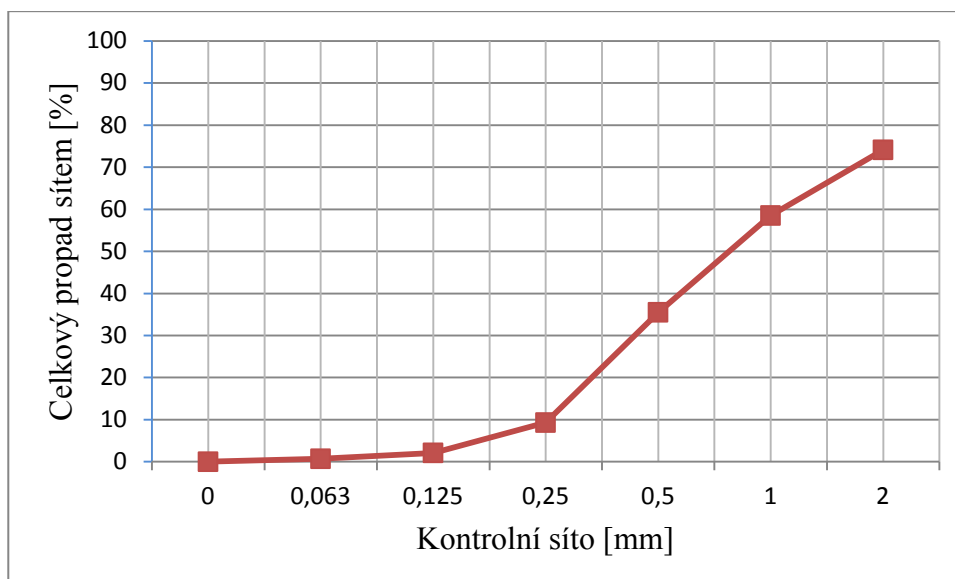
DTK frakce 0–4 mm, Žabčice				
Kontrolní síto [mm]	Dílčí zbytek na síti [g]	Zbytek na síti [%]	Celkový zbytek na síti [%]	Celkový propad sítem [%]
4	12,8	6,4	6,4	93,6
2	42,0	21,0	27,4	72,6
1	29,8	14,9	42,3	57,7
0,5	47,6	23,8	66,1	33,9
0,25	48,2	24,1	90,2	9,8
0,125	16,2	8,1	98,3	1,7
0,063	2,4	1,2	99,5	0,5
0	1,0	0,5	100,0	0
Σ	200,0	100,0		



Graf 2: Křivka zrnitosti DTK frakce 0–4 mm Žabčice

Tabulka 8: Síťový rozbor upraveného DTK frakce 0–2 mm, Žabčice

Upravené DTK frakce 0–2 mm, Žabčice				
Kontrolní síto [mm]	Dílčí zbytek na síti [g]	Zbytek na síti [%]	Celkový zbytek na síti [%]	Celkový propad sítím [%]
2	51,8	25,9	25,9	74,1
1	31,1	15,6	41,4	58,5
0,5	46,2	23,0	64,5	35,5
0,25	52,3	26,2	90,7	9,3
0,125	14,4	7,2	97,9	2,1
0,063	2,9	1,4	99,3	0,7
0	1,3	0,7	100,0	0,0
Σ	200,0	100,0		



Graf 3: Křivka zrnitosti upraveného DTK frakce 0–2 mm Žabčice

6.1.4 Difúzně propustná fólie

V experimentální části práce byly použity dvě difúzně propustné fólie sloužící jako doplňkové pro hydroizolační vrstvu.

6.1.4.1 Difúzně propustná fólie DEKTEN MULTI-PRO

Skládá se ze spodní netkané polyesterové textilie a dvou polymerních vrstev na lícové straně fólie. Vrstva z netkané fólie zajišťuje potřebnou pevnost. Polymerní vrstvy zajišťují vodotěsnost fólie. Horní polymerní vrstva má navíc ochrannou funkci a zajišťuje UV odolnost a trvanlivost fólie.

6.1.4.1 Difúzně propustná fólie DEKTEN PRO PLUS

Jedná se o třívrstvou fólii. Funkční vrstva je tvořena difúzně propustným filmem na bázi polyesteru. Na horní a spodní straně je fólie opatřena ochrannými vrstvami z netkané polypropylenové textilie.

6.1.5 Voda

Pro všechny vrstvy byla použita záměsová voda z vodovodního řádu.

6.2 Experimentální část

6.2.1 Návrh postupu pro stanovení plasticity směsi

Před postupem výroby jednotlivých vrstev ve skladbě střechy bylo nutné navrhnout postup pro stanovení plasticity jednotlivých směsí. Cílem bylo vytvořit návrh snadno použitelný přímo na stavbě. Návrh se dělal pomocí plastové desky o rozměrech 35 x 35 cm a válce o výšce 6 cm a průměru 7 cm. Princip zkoušky spočívá v naplnění válečku postaveného na desce, zvednutí válečku a následné zhutnění 10 rázy z výšky cca 15 cm. Změření rozlití směsi ve dvou na sebe kolmých směrech. Výsledek zkoušky je průměr ze dvou na sebe kolmých směrůch.

Pracovní postup:

- Výroba plastické směsi
- Navlhčení desky, válečku
- Plnění válečku směsí
- Zarovnání horního okraje
- Vytažení válečku
- Zhutnění 10 rázy
- Měření rozlití směsi



Obrázek 17: Vlevo navlhčená deska a váleček, vpravo plnění válečku směsí



Obrázek 18: Vlevo zarovnání povrchu, vpravo směs po ztuhnutí

Vyhodnocení:

Směs 1: Celková navážka	350 g
70 % jílu + křemenný písek	245 g
30 % upravené DTK frakce 0–2 mm	105 g
voda	120 ml

Rozměry rozlití: 140 mm

$$135 \text{ mm} \rightarrow \varnothing = 140 \text{ mm}$$

Směs 2: Celková navážka	450 g
35 % jílu + křemenný písek	157 g
65 % upravené DTK frakce 0–2 mm	293 g
voda	90 ml

Rozměry rozlití: 150 mm

$$140 \text{ mm} \rightarrow \varnothing = 150 \text{ mm}$$

6.2.2 Návrh sledování kompatibility

Pro zjištění kompatibility jednotlivých vrstev skladby střechy se na dřevěnou desku o rozměrech 50 x 50 cm připevnila fólie, která se z boku desky uchytila pomocí hřebíčků. Na takto připevňenou fólii se nanasla první vrstva. Po nanesení první vrstvy se deska otočila o 90°, pro zjištění kompatibility směsi. Stejný postup zjišťování kompatibility se provedl na vrstvě i po vyschnutí. Postup se opakoval pro každou vrstvu nejdříve v čerstvém a následně suchém stavu. Sledoval se případný pohyb, tečení, sklouznutí nebo odlepování směsi.

6.2.3 Skladba S1

Postup výroby jednotlivých vrstev musí být u všech skladeb střechy stejný.

Postup výroby jednotlivých vrstev skladby střechy:

- Navážení jednotlivých surovin, které se zasucha důkladně promíchaly
- Následné přidávání vody za stálého ručního míchání
- Důkladné rozmíchání směsi
- Kontrola plasticity směsi
- Nanesení hotové směsi na fólii popř. na předchozí vyschlou vrstvu

Složení skladby označené jako S1 je uvedeno v tabulkách 7 a 8.

Tabulka 7: Složení skladby S1 – vrstva 1

Název skladby (vrstva č.)	Složení	Množství [g/kg]
S1 (vrstva č. 1.)	Montmorillonitický jíł	1000
	Voda	355

Tabulka 8: Složení skladby S1 – vrstva 2

Název skladby (vrstva č.)	Složení	Množství [g]
S1 (vrstva č. 2.)	Montmorillonitický jíł	1000
	Voda	355

Vyhodnocení: První vrstva byla vyrobená pouze z hlíny a vody. Následně byla směs nanesena na podkladní fólie a nechala se přibližně dvě hodiny vyschnout. Po dvou hodinách první vrstva mírně popraskala a na ni se nanesla druhá vrstva stejného složení. Tyto dvě vrstvy se nechali cca 48 hodin vyschnout. Po 48 hodinách byly obě vrstvy velmi popraskané, viz obrázek 19. Příčina popraskání byla nejspíše způsobena, že ani v jedné směsi nebyl přidán křemenný písek.



Obrázek 19: Vlevo popraskané první dvě vrstvy na fólii DEKTEN PRO PLUS, vpravo popraskané vrstvy na fólii DEKTEN MULTI-PRO

6.2.3 Skladba S2

Složení skladby označené jako S2 je uvedeno v tabulce 9.

Tabulka 9: Složení skladby S2 – vrstva 1

Název skladby (vrstva č.)	Složení	Množství [g]
S2 (vrstva č. 1)	Montmorillonitický jíl (80 %)	800
	Křemenný písek (20 %)	200
	Voda	360

Vyhodnocení: První vrstva byla vyrobená z 80 % hlíny a 20 % křemenného písku. Následně byla směs nanášena na podkladní fólie a nechala se 24 hodin vyschnout. Po 24 hodinách byla vrstva velmi popraskaná, viz obrázek 20. Druhá vrstva se kvůli velkému popraskání nenanášela. Příčina popraskání byla nejspíše způsobena malým množstvím křemenného písku ve směsi.



Obrázek 20: Vlevo popraskaná první vrstva s obsahem křemenného písku 20% na fólii DEKTEN PRO PLUS, vpravo popraskaná vrstva s obsahem křemenného písku 20% na fólii DEKTEN MULTI-PRO

6.2.4 Skladba S3

Složení skladby označené jako S3 je uvedeno v tabulkách 10 a 11.

Tabulka 10: Složení skladby S3 – vrstva 1

Název skladby (vrstva č.)	Složení	Množství [g]
S3 (vrstva č. 1)	Montmorillonitický jíl (60 %)	600
	Křemenný písek (40 %)	400
	Voda	390

Tabulka 11: Složení skladby S3 – vrstva 2

Název skladby (vrstva č.)	Složení	Množství [g]
S3 (vrstva č. 2)	Montmorillonitický jíl (60 %)	600
	Křemenný písek (40 %)	400
	Voda	390

Vyhodnocení: První vrstva byla vyrobená z 60 % hlíny a 40 % křemenného písku. Následně byla směs nanášena na podkladní fólie a nechala se 24 hodin vyschnout. Po 24 hodinách byla vrstva mírně popraskaná. Druhá vrstva se na mírně popraskanou první vrstvu nanášela a nechala se zaschnout 24 hodin. Po 24 hodinách byly obě vrstvy opět velmi

popraskané, viz obrázek 21. Příčina popraskání byla nejspíše způsobena malým množstvím křemenného písku ve směsi.



Obrázek 21: Vlevo popraskané první dvě vrstvy s obsahem křemenného písku 40% na fólii DEKTEN PRO PLUS, vpravo popraskané vrstvy s obsahem křemenného písku 40% na fólii DEKTEN MULTI-PRO

6.2.5 Skladba S4

Složení skladby označené jako S4 je uvedeno v tabulkách 12,13,14 a 15.

Tabulka 12: Složení skladby S4 – vrstva 1

Název skladby (vrstva č.)	Složení	Množství [g]
S4 (vrstva č. 1)	Montmorillonitický jíl (50 %)	500
	Křemenný písek (50 %)	500
	Voda	355

Tabulka 13: Složení skladby S4 – vrstva 2

Název skladby (vrstva č.)	Složení	Množství [g]
S4 (vrstva č. 2)	Montmorillonitický jíl (50 %)	500
	Křemenný písek (50 %)	500
	Voda	355

Tabulka 14: Složení skladby S4 – vrstva 3

Název skladby (vrstva č.)	Složení	Množství [g]
S4 (vrstva č. 3)	Jíl Novosedly (60 %)	600
	Upravená DTK frakce 0–2 mm (40 %)	400
	Voda	118

Tabulka 15: Složení skladby S4 – vrstva 4

Název skladby (vrstva č.)	Složení	Množství [g]
S4 (vrstva č. 4)	Jíl Novosedly (35 %)	350
	Upravená DTK frakce 0–2 mm (65 %)	650
	Voda	105

Vyhodnocení: První vrstva byla vyrobená z 50 % montmorillonického jílu a 50 % křemenného písku. Následně byla směs nanášena na podkladní fólie a nechala se 48 hodin schnout. Po 48 hodinách byla vrstva mírně popraskaná, viz obrázek 22. Druhá vrstva se na mírně popraskanou první vrstvu nanášela ve složení 50 % hlíny a 50 % křemenného písku. Vrstva se nechala po dobu 24 hodin vyschnout. Po uplynutí 24 hodin se na mírně popraskanou vrstvu nanášel křemenný písek, viz obrázek 23, který se zametl do prasklin a nanášela se třetí vrstva, která byla namíchána z 60 % jílu a 40 % upraveného DTK frakce 0–2 mm. Vrstva se nechala zaschnout 24 hodin. Vzniklé praskliny v této vrstvě po uplynutí 24 hodin se zametly upraveným DTK frakce 0–2, viz obrázek 24. Na tuto upravenou třetí vrstvu se nanášela vrstva čtvrtá, která se skládala z 35 % jílu a 65 % upraveného DTK frakce 0–2 mm. Vrstva se opět nechala zaschnout 24 hodin a vzniklé malé trhlinky se přestěrkovaly a posypaly upraveným DTK frakce 0–2 mm, viz obrázek 25.



Obrázek 22: Vlevo popraskaná první vrstva s obsahem křemenného písku 50% na fólii DEKTEN PRO PLUS, vpravo popraskané vrstvy s obsahem křemenného písku 50 % na fólii DEKTEN MULTI-PRO.



Obrázek 23: Vlevo popraskaná druhá vrstva se zametenými prasklinami křemenným pískem na fólii DEKTEN PRO PLUS, vpravo popraskaná druhá vrstva se zametenými prasklinami křemenným pískem na fólii DEKTEN MULTI-PRO.



Obrázek 24: Vlevo popraskaná třetí vrstva s posypanými prasklinami upraveným DTK frakce 0–2 mm na fólii DEKTEN PRO PLUS, vpravo třetí vrstva se zametenými prasklinami upraveným DTK frakce 0–2 mm na fólii DEKTEN MULTI-PRO.



Obrázek 25: Vlevo popraskaná čtvrtá vrstva se zametenými prasklinami upraveným DTK frakce 0–2 mm na fólii DEKTEN PRO PLUS, vpravo čtvrtá vrstva se zametenými prasklinami upraveným DTK frakce 0–2 mm na fólii DEKTEN MULTI-PRO.

7. DISKUZE A ZÁVĚR

Teoretickou část práce lze rozdělit do tří etap. V první etapě je shrnuta historie výstavby hliněných staveb v dobách starověku, starého Egypta, Říma, Americe a historický vývoj hliněných staveb na území České republiky až po současnost. V druhé etapě teoretické části je popsána hlína jako stavební materiál, kdy je uvedeno její složení a vlastnosti. V třetí etapě je popsán kraj Ladak, který se nachází v severní části Indie. V této etapě je shrnut průběh rekonstrukce střechy svatyně Gonkhang, která je součástí klášterního komplexu Diskit, nacházející se ve vesnici stejného názvu.

V praktické části práce byl stanoven nejdříve síťový rozbor křemenného písku a DTK frakce 0–4 mm Žabčice. Následovalo stanovení plasticity směsi pomocí jednoduchého návrhu z plastové desky a válečku, kdy se váleček naplní směsí a hmota se po odstranění válečku zhutní 10 rázy. U vytvořeného koláče se změřil jeho průměr ve dvou na sebe kolmých směrech a stanoví se výsledek rozlité. Z tohoto výsledku se následovně odvíjelo dávkování vody pro jednotlivé směsi za účelem dodržení stejné plasticity jednotlivých směsí a z nich připravených jednotlivých vrstev. Dále byl proveden návrh skladby střechy. Návrhy byly celkem čtyři.

Skladba S1 byla vytvořena pouze ze dvou prvních vrstev, které neobsahovaly žádný křemenný písek. Druhá vrstva se nanasla na první po dvou hodinách vysychání, což byla jedna z příčin výrazného popraskání celé skladby střechy po vyschnutí. Další příčinou popraskání celé skladby S1 byla absence křemenného písku ve vrstvách. K výraznému popraskání došlo u obou fólií.

U skladby S2 se vytvořila pouze první vrstva v poměru 80 % montmorillonitického jílu a 20 % křemenného písku. Po vyschnutí vrstvy došlo k výraznému popraskání, které bylo zapříčiněno nedostatečným množstvím křemenného písku ve vrstvě. Druhá vrstva se u skladby S2 kvůli výraznému popraskání nenanášela. Výrazné popraskání nastalo taktéž u obou zkoušených fólií.

Skladba S3 byla vytvořena dvěma vrstvami ve složení 60 % montmorillonitického jílu a 40 % křemenného písku. Po vyschnutí první vrstvy byly prasklinky malé a mohla se nanést druhá vrstva ve stejném složení. Vyschlá druhá vrstva opět velmi výrazně popraskala u obou fólií opět z důvodu nedostatečného množství křemenného písku.

Skladba S4 byla vytvořena jako jediná kompletní, jelikož během celého procesu nanášení jednotlivých vrstev skladby došlo k tvorbě malých trhlinek, a to u obou fólií. První a

druhá vrstva byla nanášena ve složení 50 % montmorillonitického jílu a 50 % křemenného písku. První vrstva měla po vyschnutí pouze malé trhlinky a mohla se tedy nanést vrstva druhá, která po vyschnutí měla také malé trhlinky, které se posypaly křemenným pískem. Na tuto vrstvu se nanasla třetí vrstva, která se skládala z 60 % jílu a 40 % upraveného DTK (původní frakce 0–4 mm byla přesáta přes síto o velikosti otvoru 2 mm). Po vyschnutí třetí vrstvy se na povrchu objevily malé trhlinky, které se posypaly upraveným DTK frakce 0–2. Následně se nanasla čtvrtá vrstva ve složení 35 % jílu a 65 % upraveného DTK frakce 0–2. Po vyschnutí byly na povrchu malé trhlinky, které se zastěrkovaly montmorillonitickým jílem s křemenným pískem a posypaly upraveným DTK frakce 0–2 přesátým přes síto o velikosti otvoru 2 mm, což byla finální úprava skladby střechy.

U jednotlivých skladeb a jejich vrstev byla zkoušena kompatibilita vybraných druhů fólií, která se zjišťovala nanesením vrstvy a otočení skladby o 90°. Tímto způsobem se zkoušela každá vrstva po nanesení a následně i po vyschnutí. Všechny vrstvy, včetně čerstvých i popraskaných vždy držely na fólii bez náznaku tečení, nebo odlepování či sklouznutí.

Závěrem lze říci, že z testovaných návrhů je patrné, že jednotlivé vrstvy skladby musí být složeny z jílu a písku v různém poměru, a to zejména z důvodů možného vzniku trhlin. Skladba S4 představuje vhodné složení jednotlivých vrstev skladby a může být vhodným návrhem pro vytvoření hliněné části střešní skladby v oblasti Indického Himálaje. Z důvodu snadnějšího nanášení a také lepších difúzních vlastností je fólie DEKTEN MULTI-PRO pro tuto aplikaci vhodnější než fólie DEKTEN PRO PLUS.

Navržený způsob rekonstrukce podporuje využití tradičních přístupů při rekonstrukcích hliněných střech, které jsou s ohledem na měnící se klimatické podmínky nahrazovány např. střechami plechovými, které jsou nejen esteticky nevhodné, ale vyžadují také výrazné zásahy do stavby. V oblastech Himálaje, které jsou označovány jako „himálajská poušť“, dochází v posledních deseti letech k nárůstu výskytu intenzivních dešťových srážek podobných monzunovým dešťům. Tyto srážky se vyskytují zejména v období červenec-srpen a stávající tradiční hliněné konstrukce se ukazují jako nedostačující. S ohledem na měnící se klimatické podmínky v oblasti Indického Himálaje se ukazuje jako nezbytné, aby také tradiční hliněné stavby začaly využívat moderní materiály. Zabudování vhodné difúzně propustné fólie pro vytvoření hydroizolační vrstvy do skladby střech zachovává původní vzhled stavby a významně zvyšuje odolnost vůči působení dešťových srážek, což přispívá k prodloužení životnosti celé stavby.

SEZNAM POUŽITÝCH LITERATURY

- [1] ŽABIČKOVÁ, Ivana. Hliněné stavby. Brno: ERA, 2002. Technická knihovna. ISBN 80-86517-21-7
- [2] MINKE, Gernot. Příručka hliněného stavitelství, Pagoda, 2009, ISBN 978-80-969698-2-1
- [3] HOUBEN, H., Guillaud, H.: *Earth Construction – A Comprehensive Guide*. ITDG Publishing, London, 2003, ISBN 1 85339 193 X.
- [4] SLIVKA, Vladimír. *Těžba a úprava silikátových surovin*. Praha: T.R.S, 2002. ISBN 80-903113-0-X.
- [5] Živce. *Jihočeský mineralogický klub* [online]. [cit. 25.05.2017]. Dostupné z: <http://www.minerally.org>
- [6] Základní horninotvorné minerály. *Faculty of Civil Engineering – Fakulta stavební, ČVUT v Praze* [online]. [cit. 25.05.2017]. Dostupné z: <http://departments.fsv.cvut.cz/k135/wwwold/webkurzy/petro/minerally>.
- [7] *Faculty of Civil Engineering – Stavebná fakulta Žilinskej univerzity* [online]. [cit. 25.05.2017]. Dostupné z: <http://svf.uniza.sk/kgt/dana/dpage.php?menu=Galeria&skup=geo&horn=sedimentarne>
- [8] *Konopné, lněné a fukané dřevovláknité izolace | BIOZOL s.r.o., BRNO* [online]. [cit. 25.05.2017]. Dostupné z: <http://www.konopne-izolace.eu/konopna-slama-a-pazderi>
- [9] Zahrady, skleníky a ekologické zahradničení. *Pinterest · Celosvětový katalog nápadů* [online]. [cit. 25.05.2017]. <https://cz.pinterest.com/unseengeek/gardening/>
- [10] Přírodní minerály – obnovitelné zdroje surovin. *TZB – info* [online]. [cit. 25.05.2017]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/4215-prirodni-materialy-obnovitelne-zdroje-surovin-i>

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Skupenství a konzistenční meze
Tabulka 2: Index plasticity hlíny
Tabulka 3: Druhy hlíny podle její pojivé schopnosti
Tabulka 4: Klasifikace zemin podle zrnitostního složení
Tabulka 5: Chemické složení křemenného písku
Tabulka 6: Sítový rozbor křemenného písku
Tabulka 7: Sítový DTK frakce 0–4 mm, Žabčice
Tabulka 8: Sítový rozbor upraveného DTK frakce 0–2 mm, Žabčice
Tabulka 9: Složení skladby S1 – vrstva 1
Tabulka 10: Složení skladby S1 – vrstva 2
Tabulka 11: Složení skladby S2 – vrstva 1
Tabulka 12: Složení skladby S3 – vrstva 1
Tabulka 13: Složení skladby S3 – vrstva 2
Tabulka 14: Složení skladby S4 – vrstva 1
Tabulka 15: Složení skladby S4 – vrstva 2
Tabulka 16: Složení skladby S4 – vrstva 3
Tabulka 17: Složení skladby S4 – vrstva 4

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Skladištní prostory ve starém Egyptě	10
Obrázek 2: Plán hliněného domu	11
Obrázek 3: Krystal K-živce	15
Obrázek 4: Vlevo kalcit, vpravo dolomit	16
Obrázek 5: Vlevo pazdeří, vpravo sláma	18
Obrázek 6: Agloporit	19
Obrázek 7: Meze stavů a konzistence	21
Obrázek 8: Pohled na komplex kláštera od zlaté sochy sedícího Buddha	27
Obrázek 9: Pohled na sochu zlatého sedícího Buddha z kláštera Diskit	28
Obrázek 10: Typická skladba střešní konstrukce	28

Obrázek 11: Odstranění starého hliněného souvrství	29
Obrázek 12: Vypádování plochy opravované části	30
Obrázek 13: Nanášení první ochranné vrstvy na hydroizolaci	30
Obrázek 14: Dokončená druhá vrstva včetně posypu jemným kamínkem	31
Obrázek 15: Nanášení finální vrstvy	31
Obrázek 16: Finální vrstva a opravená, natřená atika	32
Obrázek 17: Vlevo navlhčená deska a váleček, vpravo plnění válečku směsí	37
Obrázek 18: Vlevo zarovnání povrchu, vpravo směs po zhutnění	38
Obrázek 19: Vlevo popraskané první dvě vrstvy na fólii DEKTEN PRO PLUS, vpravo popraskané vrstvy na fólii DEKTEN MULTI-PRO	40
Obrázek 20: Vlevo popraskaná první vrstva s obsahem křemenného písku 20% na fólii DEKTEN PRO PLUS, vpravo popraskaná vrstva s obsahem křemenného písku 20% na fólii DEKTEN MULTI-PRO	40
Obrázek 21: Vlevo popraskané první dvě vrstvy s obsahem křemenného písku 40% na fólii DEKTEN PRO PLUS, vpravo popraskané vrstvy s obsahem křemenného písku 40% na fólii DEKTEN MULTI-PRO	41
Obrázek 22: Vlevo popraskaná první vrstva s obsahem křemenného písku 50% na fólii DEKTEN PRO PLUS, vpravo popraskané vrstvy s obsahem křemenného písku 50 % na fólii DEKTEN MULTI-PRO.	44
Obrázek 23: Vlevo popraskaná druhá vrstva se zametenými prasklinami křemenným pískem na fólii DEKTEN PRO PLUS, vpravo popraskaná druhá vrstva se zametenými prasklinami křemenným pískem na fólii DEKTEN MULTI-PRO.	44
Obrázek 24: Vlevo popraskaná třetí vrstva s posypanými prasklinami upraveným DTK frakce 0–2 mm na fólii DEKTEN PRO PLUS, vpravo třetí vrstva se zametenými prasklinami upraveným DTK frakce 0–2 mm na fólii DEKTEN MULTI-PRO.	45
Obrázek 25: Vlevo popraskaná čtvrtá vrstva se zametenými prasklinami upraveným DTK frakce 0–2 mm na fólii DEKTEN PRO PLUS, vpravo čtvrtá vrstva se zametenými prasklinami upraveným DTK frakce 0–2 mm na fólii DEKTEN MULTI-PRO.	45