

# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ARCHITEKTURY

FACULTY OF ARCHITECTURE

ÚSTAV STAVITELSTVÍ

DEPARTMENT OF ENGINEERING

## PODSTATA HLINĚNÉ ARCHITEKTURY V PODMÍNKÁCH ČESKA

THE ESSENCE OF EARTHEN ARCHITECTURE IN THE CZECH REPUBLIC

DIZERTAČNÍ PRÁCE

DOCTORAL THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ing. arch. LENKA BAŽÍK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. IVANA ŽABIČKOVÁ, CSc.

ŠKOLITEL SPECIALISTA

CO-SUPERVISOR

BRNO 2021

## ABSTRAKT

Po celých deset tisíc let používali lidé nepálenou hlínu ve svých obydlích a za pouhých posledních sto let se od ní vyspělá společnost vlivem rozvoje moderních technologií postupně odvrátila. Nepálená hlína má jako stavební materiál v současnosti malé uplatnění, které ale s postupným nabýváním významu udržitelnosti narůstá. Hlína má v současné moderní architektuře své místo, a právě na to se snaží poukázat tato práce. Výzkum je založen na předpokladu, že každý stavební materiál tíhne svými vlastnostmi, složením a také znalostmi stavitele k vytvoření určitého prostoru. Různé stavební materiály definují různé prostory, různé konstrukční použití a různý detail. Tento výzkum definoval metodou zakotvené teorie sítí poznatků s ústředními tématy podstaty hliněné architektury a následně aplikoval teorii při návrhu modelového případu. Navržená drobná stavba představuje ideální ztvárnění prostoru z jednoho materiálu na základě získaných i známých informací o hlíně. Má masivní hliněné zdi, které si člověk vytvořil sám, vlastními silami, a poskytuje mu úkryt. Úkryt, který plynule stoupá ze země, jež je jeho hlavním zdrojem, má měkké oblé rysy, které vznikly dotekem lidských rukou a až doslouží, opět splyne se zemí.

## ABSTRACT

For ten thousand years people have used earthen building material in their homes and in just the last hundred years advanced society has gradually turned away from it due to the development of modern technology. Earth is currently of little use as a building material, but it is gradually increasing with the importance of sustainability. Earth has its place in contemporary modern architecture and this is what this work tries to point out. The research is based on the assumption that each building material gravitates with its properties, composition and also the knowledge of the builder to create a certain space. Different building materials define different spaces, different construction uses and different details. This research defined the network of knowledge with the central themes of the essence of earthen architecture by the method of grounded theory and subsequently applied the theory in the design of a model case. The proposed small structure represents an ideal rendering of the space from a single material on the basis of acquired and known information about this material. It has massive earthen walls, which man created himself and it provides him the shelter. The shelter rises smoothly from the ground, its main source, it has soft round features, which were created by the touch of human hands, and when it expires, it naturally merges with the ground again.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

hlína; jíl; architektura; udržitelnost v architektuře; hliněná architektura; teorie

## **KEY WORDS**

earth; clay; sustainability; architecture; sustainable architecture; earthen architecture; theory

**BIBLIOGRAFICKÁ CITACE DISERTAČNÍ PRÁCE**

BAŽÍK, Lenka. *Podstata hliněné architektury v podmínkách Česka*. Brno, 2021. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/131164>. Dizertační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta architektury, Ústav stavitelství. Vedoucí práce Ivana Žabičková.

**PROHLÁŠENÍ AUTORA O PŮVODNOSTI PRÁCE, PODPIS AUTORA**

Prohlašuji, že jsem dizertační práci na téma „Podstata hliněné architektury v podmínkách Česka“ vypracovala samostatně s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této práce.

Ing. arch. Lenka Bažík

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji doc. Ing. Ivaně Žabičkové, CSc. za odborné vedení mé disertační práce. Děkuji své rodině, že mi poskytla prostor na studium a na psaní.

**OBSAH**

<b><u>ÚVOD .....</u></b>	<b><u>8</u></b>
<b><u>1 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ.....</u></b>	<b><u>10</u></b>
<b><u>2 ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL DISERTAČNÍ PRÁCE .....</u></b>	<b><u>16</u></b>
2.1 CÍLE PRÁCE.....	16
2.2 POPIS ÚKOLU .....	16
2.3 PŘEDPOKLÁDANÉ VYUŽITÍ VÝSLEDKŮ .....	17
<b><u>3 POUŽITÉ VĚDECKÉ METODY ZKOUMÁNÍ .....</u></b>	<b><u>18</u></b>
3.1 ZAKOTVENÁ TEORIE .....	18
3.1.1 OTEVŘENÉ KÓDOVÁNÍ.....	18
3.1.2 AXIÁLNÍ KÓDOVÁNÍ .....	19
3.1.3 SELEKTIVNÍ KÓDOVÁNÍ .....	20
3.2 ROZHOVOR .....	20
3.3 PŘÍPADOVÁ STUDIE .....	21
3.4 TERÉNNÍ PRŮZKUM.....	21
3.5 ANALÝZA A INTERPRETACE / INDUKCE VE VĚDĚ .....	21
3.6 MODELOVÝ PŘÍPAD.....	21
<b><u>4 VÝSLEDKY .....</u></b>	<b><u>22</u></b>
4.1 PRIMÁRNÍ TÉMATA.....	22
4.1.1 HISTORIE .....	22
4.1.2 MATERIÁL .....	30
4.1.3 VLASTNOSTI .....	32
4.1.4 TECHNIKY STAVĚNÍ .....	42
4.1.5 UDRŽITELNOST .....	54
4.1.6 SPOLEČNOST.....	57
4.1.7 TECHNOLOGICKÝ POKROK .....	59
4.1.8 JAZYK ARCHITEKTURY .....	62

4.1.9	PŘÍPADOVÉ STUDIE.....	70
4.1.10	ROZHOVORY.....	74
4.1.11	WORKSHOP HLINĚNÝ PROSTOR .....	82
<b>4.2</b>	<b>KONCEPTY .....</b>	<b>84</b>
4.2.1	VÝPIS KONCEPTŮ Z POZNÁMEK – OTEVŘENÉ KÓDOVÁNÍ .....	87
<b>4.3</b>	<b>PODSTATA .....</b>	<b>90</b>
4.3.1	VÝZNAMNÉ KONCEPTY V SÍTI POZNATKŮ .....	90
4.3.2	ÚSTŘEDNÍ KATEGORIE .....	91
4.3.3	MODELOVÝ PŘÍPAD .....	92
4.3.4	UPLATNĚNÍ HLÍNY V NAŠICH PODMÍNKÁCH NA ZÁKLADĚ NALEZENÉ PODSTATY .....	98
<b><u>5</u></b>	<b><u>SEZNAM VLASTNÍCH PRACÍ.....</u></b>	<b><u>103</u></b>
<b><u>6</u></b>	<b><u>ZÁVĚR.....</u></b>	<b><u>104</u></b>
<b><u>7</u></b>	<b><u>SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....</u></b>	<b><u>108</u></b>
<b><u>8</u></b>	<b><u>SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ.....</u></b>	<b><u>113</u></b>
<b><u>9</u></b>	<b><u>SEZNAM TABULEK.....</u></b>	<b><u>115</u></b>
<b><u>10</u></b>	<b><u>SEZNAM PŘÍLOH.....</u></b>	<b><u>116</u></b>



## ÚVOD

Nepálená hlína je v současnosti vnímaná jako okrajový stavební materiál. Dříve se z hlíny stavělo běžně, ale s nástupem nových technologií hlína, na konci 19. století, získala pozici netrvanlivého materiálu pro chudé. Částečně toto smyšlení přetrvává dodnes, částečně upadla hlína v zapomnění. Není přitom vůbec jednoduché změnit myšlenku celé společnosti. Po celých deset tisíc let lidé používali hlínu běžně ve stavbách a za posledních sto let se od ní moderní společnost odvrátila. Dnes, kdy již víme, že nemáme jinou možnost než nastavit udržitelnost ve všech odvětvích, má hlína potenciál opět se dostat více do popředí zájmu.

Současný způsob života lidí není udržitelný, potřebujeme a spotřebujeme příliš mnoho. Naše příroda funguje díky přirozeně regulované rovnováze, každá rostlina a každý živočich žije díky návaznostem na své okolí a tyto návaznosti se navzájem ovlivňují, tvoří ekosystém naší planety. Člověk, který se díky svým kognitivním schopnostem dostal na vrchol, si dokáže tyto návaznosti uvědomit, ale zároveň se ještě nenaučil je tolerovat. Je nás příliš, naše spotřeba je obrovská, ale naše zdroje nejsou nevyčerpatelné.

Udržitelnost se týká i toho jakým způsobem a jakými prostředky tvoříme naše prostředí. Výstavba a provoz staveb se podílí z více než 30 % na produkci skleníkových plynů (Abergel et al. 2017). Architektura přitom není jen hezká stavba, architektura je služba. Architekti tvoří prostor tak, aby sloužil lidem, a to z mnoha hledisek. Estetika je jen jednou stránkou této služby, často tou nejocěňovanější. Dobrá architektura je víc než jen krásná, dobrá architektura musí sloužit lidem, být jim ku prospěchu. A to po celou dobu své životnosti, i po ní. V rámci udržitelnosti mají tvůrci prostoru zodpovědnost nejen za stavbu nově dokončenou, za stavbu v provozu, ale i za stavbu, jež je na konci své životnosti. Lidé mají schopnost plánovat a představit si důsledky svého současného jednání v budoucnosti. Jsou schopni takto jednat v mnoha oborech, nejen na své osobní úrovni. Toto plánování by se mělo týkat zajisté i stavitelství, které velmi podstatnou částí ovlivňuje rovnováhu ekosystému, a tedy i naši budoucnost.

Přitom máme možnosti, jak stavět udržitelně. A někdy ani není potřeba vymýšlet nová řešení, stačí se podívat na to, co máme, rozhlédnout se kolem sebe. Nejlepší řešení nemusí být to nejsofistikovanější. Možná je řešení jednoduché a přímo před námi, jen jej nevidíme. Takovým příkladem může být právě nepálená hlína. Materiál, který nás přirozeně obklopuje, tak že jej ani nevnímáme.

Máme dnes natolik důmyslné a na druhou stranu také komplikované stavební konstrukce a postupy, že se laik ve stavitelství a stavebním zákonu nevyzná. Lidé tedy při stavbě svého domu volí takové řešení, které je běžné a považováno za normální. Mezi nejdůležitější faktory při rozhodování patří také pořizovací cena. Přitom náklady na výstavbu jsou jen jednou částí nákladů z celé životnosti stavby.

V architektuře se používají různé prostředky k vytvoření prostoru, jedním z nich je materiál. Výhody a nevýhody nepálené hlíny jako stavebního materiálu jsou již poměrně dobře prozkoumány. Víme, jak s hlínou správně zacházet, jak ji používat ve stavbách, tak, aby vydržela. V této práci se na hlínu ovšem nahlíží z obecnější perspektivy, hlína je zde zkoumána individuálně, a to pro tvorbu prostoru, což je hlavním účelem architektury.

Hlína je všude kolem nás. Je to základní materiál pro stavbu a tvorbu našeho prostoru. Tato práce nahlíží na nepálenou hlínu z různých dostupných dat a zdrojů, které se k tématu pojí a z těchto dat pak tvoří ideální hliněný prostor.

## **1 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ**

Nepálená hlína jako stavební materiál dříve sloužila základním potřebám člověka stejně jako k významným stavbám největších civilizací naší historie. Konstrukce z hlíny byly rozvinuty nezávisle na sobě ve všech hlavních kolébkách civilizací: v dolních údolích řek Tigris a Eufrat, na březích Nilu, Indu a Gangy. Tyto plodné oblasti byly vhodné pro první osídlování lovci a sběrači a byly základním předpokladem k vytvoření zemědělské kultury ve vývoji člověka. Jílovité a písčité hlíny, smíchané se slámou z vypěstovaných obilnin, daly lidem první pevný a odolný konstrukční materiál, který byl nezbytný při trvalém osídlení na jednom místě<sup>1</sup> (Houben a Guillaud 1994).

Tento první důležitý milník ve vývoji společnosti je tedy spjat s nepálenou hlínou stejně jako druhý milník, tedy průmyslová revoluce, kdy byl kontinuální vývoj hliněného stavitelství náhle přerušeno. Uvádí se, že v současnosti žije třetina světové populace v domech z nepálené hlíny<sup>2</sup>. Jsou to ovšem z velké části lidé žijící pod hranicí chudoby, kteří využívají hlíny jako levného a dostupného materiálu. V rozvinutých zemích nastal s vynálezem kruhové pece úpadek hliněné architektury a až v posledních desetiletích opět nabývá na významu, a to díky rostoucímu zájmu lidí o zdravý životní styl a šetrné chování k životnímu prostředí. Přesto je tento materiál, především kvůli chybějící legislativě, považován za alternativu k běžným stavebním materiálům.

Myšlenky osvícenství hliněného stavitelství ve 20. století přinesl především Francois Cointereaux, který je chápal jako levné, zdravé a trvanlivé bydlení<sup>3</sup>. Jeho spisy byly přeloženy do mnoha jazyků a rozšířily techniky hliněného stavění do Německa, Dánska, Spojených států i Austrálie.

Hliněný stavební materiál se intenzivně začal zkoumat až ve druhé polovině 20. století. Souběžně probíhal výzkum především v severní Americe a v Evropě. Celosvětově nejvýznamnějším centrem pro výzkum hlíny je CRAterre (mezinárodní centrum hliněné architektury), laboratoř hliněné architektury založená v roce 1979 při škole architektury v Grenoblu (ENSAG, Francie). CRAterre tvoří multidisciplinární tým odborníků, lektorů a školitelů, kteří se zabývají výzkumem a šířením poznatků o hliněných konstrukčních technikách po celém světě. Od roku 1984 je možné na této škole také absolvovat dvouleté

---

<sup>1</sup> První trvalý materiál pro osídlení na jednom místě

<sup>2</sup> I v dnešní době má velké uplatnění v rozvojových zemích

<sup>3</sup> Dostupnost, zdraví a odolnost

magisterské vzdělání hliněné architektury. Výzkumná laboratoř se spojila s konstruktéry a utvořila jednotku AE&CC (Architecture, Environment and Constructive Culture) se třemi hlavními směry výzkumu<sup>4</sup> dědictví, materiál, obydlí.

Útvar dědictví zkoumá hlinu z hlediska historie a kultury od neolitu až po současnost po celém světě. Dědictví je hmotné (materiál, budovy) i nehmotné (znalosti) a vždy je specifikováno místem svého vzniku. Cílem tohoto útvaru je rozpoznat architektonické kvality a hodnoty dědictví a identifikovat jejich potenciál pro rozvoj, včetně návrhu nových projektů. Z hlediska materiálu vědci v CRAterre zkoumají hlinu od její produkce až po použití ve stavbě. Výzkum začíná analýzou potenciálu v rámci daného území, kde lze surovinu těžit, řeší fáze produkce materiálů, konstrukcí, budov i měst. Téma obydlí se zkoumá z hlediska interakce uměle vytvořeného prostředí (budova, okolí, město) a přírodního prostředí (topografie, vegetace, klima ...) a také podíl na kvalitě života v daném území (CRAterre 2019).

Francouzská dvojice Hugo Houben a Hubert Guilaud vydali v roce 1994 obsáhlou publikaci jež shrnuje nejvýznamnější poznatky o nepálené hlíně. Kniha obsahuje kapitoly a třídění, přípravě směsí, testech, vlastnostech, stabilizaci, konstrukčních technikách, navrhování i povrchových úpravách.

Německý architekt Gernot Minke založil v roce 1974 na univerzitě v Kasselu výzkumnou laboratoř experimentální výstavby, kde se věnoval především projektům se slámou, hlinou, zelenými střechami a nízko-nákladovým bydlením. Své poznatky i s přehlednými výsledky testů z dlouholetého výzkumu nepálené hlíny shrnul v knize Building with earth z roku 2006, která je základním zdrojem i pro tuto práci.

Nejcitovanější českou publikací o hlíně je kniha Hliněné stavby od Ivany Žabičkové z roku 2002. Publikace je přehledně rozdělena do sedmi kapitol o historii, vlastnostech, konstrukcích, sanacích a nových hliněných stavbách se zaměřením na prostředí Česka. Kniha se dále odkazuje na výsledky výzkumu Rehabilitace hliněných staveb, který proběhl na FA VUT v letech 1995-1997. Ivana Žabičková stála také u založení spolku Sdružení hliněného stavitelství (SHS) v roce 2004.

Sdružení hliněného stavitelství vydalo v roce 2009 tři publikace na kterých spolupracovali I. Žabičková, E. Kabourková, K. Šmardová a A. Karasová. Přestavby hliněných staveb, Stavět z hlíny jak a proč, Hliněné stavby včera a dnes. Tyto tři knihy ilustrují základ dnešního stavu

---

<sup>4</sup> Výzkum jednoho materiálu ve třech odvětvích – koncepty materiály, dědictví, obydlí

hliněné architektury u nás a její potenciál. Nejvíce se zaměřují na rekonstrukce a tradiční použití hlíny ve venkovských stavbách.

V současnosti probíhá výzkum nepálené hlíny také u nás. V Praze na ČVUT pod vedením Jana Růžičky na UCEEB (Univerzitní centrum energeticky efektivních budov) a v Brně na VUT především s podporou Sdružení hliněného stavitelství, které má sídlo na FA a úzce s fakultou spolupracuje. SHS pravidelně pořádá vzdělávací akce na akademické úrovni (mezinárodní konference Zdravé domy) i pro širokou veřejnost (Hliněné sdílení) a také certifikované kurzy a studentské workshopy<sup>5</sup>. SHS stálo také za zavedením profesních kvalifikací Zhotovitel hliněných staveb v roce 2017. Na rekvalifikační kurzy získalo akreditaci u MŠMT, na kvalifikační zkoušky autorizaci od MPO. Úspěšní absolventi mohou získat živnostenský list.

Nejvýraznějším českým architektem, který používá nepálenou hlínu ve své tvorbě je Petr Suske. Restaurace “Hliněná bašta” v Průhonicích z roku 1997 je první moderní větší stavbou z nepálené hlíny u nás. *Na stavbu restaurace byla použita hlína z likvidované obecní skládky<sup>6</sup>. Odpadly tak náklady na dopravu a materiál. Architekt Petr Suske za pomoci architekta Zdenka Rajniše na stavbě zúročili své zkušenosti z Afriky, kde hliněné stavby studovali* (Bašta 2020).

Rodinný slaměný dům v kožichu, který byl podle architekta realizován v roce 2002 získal o rok později ocenění Grand Prix Obce architektů za nejlepší bytovou stavbu. Nosnou kostru tvoří dřevěný skelet a zděné jádro. Dřevěná konstrukce je obezděna patnácticentimetrovou zdí z nepálených cihel, která vytváří akumulaci a působí příznivě na mikroklima v interiéru<sup>7</sup> (Nahorniaková 2012). Pan architekt také vydal publikaci Hliněné domy nové generácie (1991) a Ekologická architektura ve stínu moderny: podstata, principy a mýty (2008).

Mezi průkopníky světové současné hliněné architektury patří především Martin Rauch, který se soustředí na dusanou hlínu a její prefabrikaci. Rauch se zabývá dusanou hlínou již více než 30 let a všechny své poznatky využívá v praxi ve své firmě Lehm Ton Erde, kde se zaměřuje na zdokonalování techniky dusání.

*“Od začátku se jeho zájem zaměřoval zejména na techniku dusané hlíny, což je metoda, při které materiál nepodléhá žádnému dodatečnému obložení nebo vylepšení. Čistá struktura,*

---

<sup>5</sup> Vzdělávání laické veřejnosti, akademiků i řemeslníků

<sup>6</sup> Využití místních zdrojů

<sup>7</sup> Samonosná hliněná konstrukce pro regulaci vnitřního vzduchu

*barva a haptika<sup>8</sup> materiálu zůstávají v procesu formování a komprese intenzivně zachovány. S citlivostí keramikáře na složení a fyzikálně-chemické podmínky a účinky jeho materiálu Rauch předefinoval jazyk hlíny jako stavebního materiálu, v souladu s technickým pokrokem a formální složitostí<sup>9</sup>. Krok za krokem experimentoval a zlepšoval přirozenou směs materiálů, kompresní techniky, tvar bednění a staré techniky dále rozvíjel pomocí dalších vrstev výztuže, aniž by se odchýlil od svých strukturálních rámců. Nástroje, rámové formy, pracovní techniky byly vyvinuty znovu, byly postaveny zkušební stěny a zkušenosti získané při provádění struktur byly okamžitě použity v každé následující sérii testů“ (Kapfinger 2010).*

V roce 2008 si Martin Rauch ve spolupráci s Rogerem Boltshauserem navrhl a postavil vlastní dům z hlíny v rakouském městě Schlins. Mezi jeho další realizace patří například Kaple smíření v Berlíně (2000) nebo Ricola Herb Centre (2012) ve spolupráci s Herzog & de Meuron. Postupně zdokonalil techniku dusaných zdí s kalkulovanou erozí a dusaných hliněných panelů<sup>10</sup>. Rauch také vydal několik publikací jako Haus Rauch, Rammed Earth, Refined Earth: Construction and design with rammed earth a v roce 2019 Upscaling Earth ve spolupráci s Lindsay Blair Howe a Annou Heringer.

Anna Heringer, také rakouská rodačka a Rauchova kolegyně, se zabývá hlínou jako architektka; architektura je podle ní nástrojem pro zlepšení života. Podle Anny je nejúspěšnější strategie rozvoje důvěra v existující, snadno dostupné zdroje a jejich nevhodnější uplatnění namísto závislosti na externích systémech. Její diplomová práce, METI School v Rudrapuru (obr. 1), byla realizována v roce 2005 ve spolupráci s Eike Roswag a v roce 2007 získala cenu Aga Khan za architekturu. Spolu s Martinem Rauchem vyvinula metodu Clay Storming<sup>11</sup>, kterou vyučuje na různých univerzitách, včetně ETH Curych, UP Madrid, TU Mnichov a GSD / Harvard. V roce 2017 byla pozvána na přednášku TED (Heringer 2020).

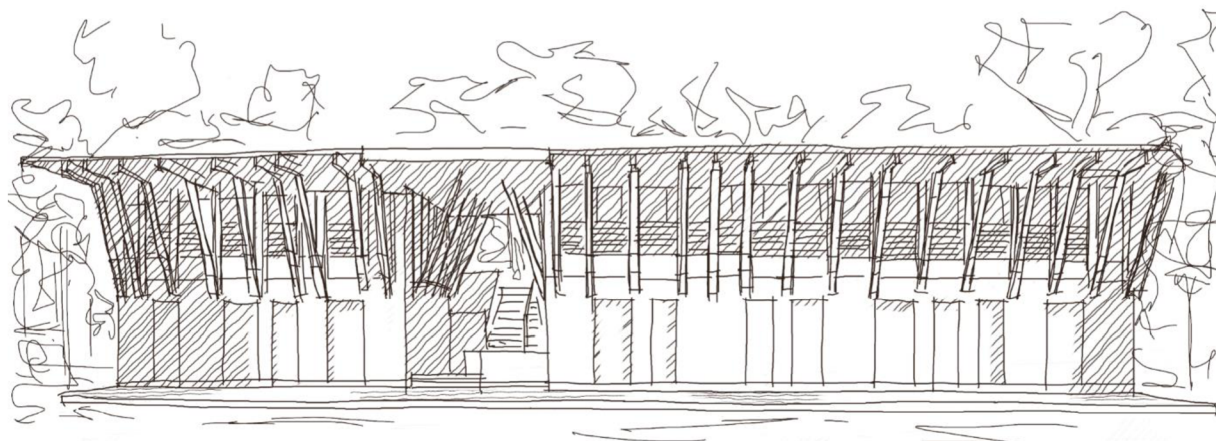
---

<sup>8</sup> Koncepty – čistá struktura, barva, haptika

<sup>9</sup> Koncept – jazyk hliněného stavebního materiálu

<sup>10</sup> Koncepty – kalkulovaná eroze a dusané hliněné panely

<sup>11</sup> Výuková metoda pro navrhování a práci s hlínou



Obrázek 1 METI (Hoerbst 2020)

Anna Heringer i Martin Rauch působili a zanechali svou stopu na Univerzitě umění a designu v Linci, kde již 15 let existuje ateliér katedry architektury BASEhabitat. BASEhabitat dělá výzkum, navrhuje a buduje po celém světě sociálně odpovědné a udržitelné projekty, tedy ze značné části i s použitím nepálené hlíny. „*Způsob, jakým plámujeme, budujeme, a proto vytváříme a formujeme naše životní prostory, je neoddelitelně spjat s ekologickými, ekonomickými, sociálními a politickými výzvami*<sup>12</sup>. *Především významné klimatické změny a rozpadající se společenská struktura vyžadují zásadní proměnu našeho myšlení a jednání*<sup>13</sup>. *Cílem BASEhabitat je, aby udržitelné a společensky odpovědné základy designu, plánování a projektu byly pro nadcházející generace architektů samozřejmostí*“ (BASEhabitat 2019). Studio BASEhabitat pořádá jednou za dva roky prestižní dvoutýdenní letní školu se zaměřením na hlínu a bambus.

Mezinárodně uznávaný architekt Francis Kéré se hlínou proslavil už na začátku své kariéry, když získal prestižní cenu Aga Khan Award for Architecture (2004) za svou vůbec první budovu - školu, kterou sám navrhl, pro kterou získal finanční prostředky a zrealizoval ve spolupráci s obyvateli jeho rodného města Gando Burkina Faso (Kéré Architecture 2020).

<sup>12</sup> Faktory ovlivňující navrhování – koncepty – ekologie, ekonomika, společnost, politika

<sup>13</sup> Nutnost změny – koncepty – klima, společnost



Obrázek 2 Základní škola Gando (Ouwkerk 2020)

Stavební firma Le pisé se už od roku 1988 zabývá dusanou hlinou, a je hlavní realizátorskou firmou kancelářské budovy B05 v Lyonu, která je momentálně ve výstavbě (2019).

Při příležitosti konference s názvem Výzva na záchranu světa v roce 2019 představila firma WASP (World's Advanced Saving Project) ve spolupráci s firmou RiceHouse v Itálii dům Gaia, prototyp stavby vyrobené technologií 3D tisku pomocí nově vyvinutého jeřábu a za použití lokálních přírodních materiálů (Švachová 2019).

Hliněnému stavebnímu materiálu se v posledních letech věnují nejen výzkumníci a akademičtí odborníci, ale zájem mají i řemeslníci, architekti a laici. Mechanické a fyzikální vlastnosti hliněného staviva byly a jsou předmětem mnoha výzkumů a v této oblasti je k dispozici celá řada dat a materiálů. V architektuře se zkoumá především vliv nepálené hlíny na vnitřní mikroklima budov, tedy na pohodu prostředí a také na člověka. Dalším oborem vědy, kde se intenzivně zkoumají vlastnosti jílu, resp. jeho antibakteriální účinky, je farmacie.

Za posledních dvacet let tedy i u nás prošel hliněný stavební materiál renesancí a v současnosti už máme kvalitní řemeslníky, kteří dokáží materiál správně používat tak, aby nedocházelo k poruchám ve stavbách. K tradičním technikám použití nepálené hlíny se postupně přidávají nové, jako například stabilizovaná dusaná hliněná zed', prefabrikované hliněné panely nebo 3D tisk z hliněné pasty.



## **2 ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL DISERTAČNÍ PRÁCE**

### **2.1 CÍLE PRÁCE**

Cílem této práce je nalézt podstatu hliněné architektury, specificky v našich podmínkách Česka. Podstatu materiálu v architektuře ovlivňuje mnoho hledisek a pro zpracování této práce byla zvolena metoda zakotvené teorie, která umožňuje zkoumat více témat zároveň a nalézat mezi nimi nové souvislosti. Jejich výběr je do určité míry ovlivněn subjektivním názorem autorky.

Cílem práce je také nalézt nové spojitosti mezi tématy, které se vztahují k hliněné architektuře. Po nashromáždění dostupných informací a jejich analýze se pomocí indukce určí hlavní témata, která ovlivňují hliněnou architekturu. Cílem je nalézt ideální podobu hliněného prostoru, který nejlépe vystihne použití nepálené hlíny, z takového příkladu pak lze vyvodit i obecněji uplatnitelná témata pro běžné použití hlíny v architektuře.

Cílem disertace je vytvořit teorii hliněné architektury, která bude navazovat na praxi hliněného stavitelství. Hlavním úkolem je nalézt vhodnou podobu aktuální hliněné architektury v našich podmínkách. Takový modelový příklad může vést k rozšíření povědomí o možnostech materiálu a jeho dalšího šíření v moderních stavbách.

### **2.2 POPIS ÚKOLU**

Každý stavební materiál tíhne svými vlastnostmi, složením a také znalostmi stavitele k vytvoření určitého prostoru. Různé stavební materiály tedy definují různé prostory, různé konstrukční použití a různý detail. Tento výzkum pomocí metody zakotvené teorie definuje podstatu architektury vytvořené z nepálené hlíny a následně aplikuje tuto teorii v praxi při návrhu modelového případu.

Modelový případ vychází ze sítě poznatků, jež koncentruje všechna dostupná témata do jednoho návrhu. Tento návrh hliněné stavby pak nejlépe vystihuje základní architektonickou tvorbu bez předem dané funkce nebo nutné délky životnosti stavby. Jedná se o takové ztvárnění nepálené hlíny, jež nejlépe vystihuje ideální použití jednoho stavebního materiálu k vytvoření prostoru.

Podoba aktuálního hliněného prostoru se předpokládá v návrhu hliněné stavby drobného měřítka. Navržený prostor je výstupem všech nashromážděných poznatků o hlíně. Návrh stavby probíhá obdobně jako v běžné architektonické praxi, hledáním těžiště mezi tématy

zadání. Základní rozdíl je pak v tom, že základní koncepty a témata pro návrh se hledají pomocí výzkumné metody zakotvené teorie.

### **2.3 PŘEDPOKLÁDANÉ VYUŽITÍ VÝSLEDKŮ**

V průběhu výzkumu se předpokládá odhalování souvislostí mezi tématy širokého spektra, jež by měly být podmětem jak pro vytvoření teorie podstaty hliněné architektury, tak pro další výzkum. Na základě teorie podstaty hliněné architektury je vytvořen modelový případ, tedy návrh drobné architektury z nepálené hlíny, jako prokázání navržené teorie a její prvotní uplatnění v praxi. Dále by tento výzkum měl sloužit jako podklad pro šíření znalostí o nepálené hlíně a její možnosti uplatnění v současné architektonické tvorbě.

### **3 POUŽITÉ VĚDECKÉ METODY ZKOUMÁNÍ**

Podstata hliněné architektury je stanovena pomocí kvalitativní metody zakotvené teorie. Základem pro vytvoření teorie je důkladná analýza současného stavu poznání, z literatury a případových studií. V další fázi jsou vyjasněny základní koncepty, které jsou pomocí vědeckého kódování tříděny do kategorií. Z těchto kategorií v době saturace vzniká teorie podstaty hliněné architektury. V jednotlivých fázích zkoumání konceptů jsou podle potřeby využity další metody vědeckého výzkumu jako případová studie a rozhovory.

#### **3.1 ZAKOTVENÁ TEORIE**

Definující charakteristikou přístupu zakotvené teorie je její deklarovaný cíl identifikovat vysvětlující teorii, jež vyplývá z analytického procesu (Groat a Wang 2013). Zakotvená teorie byla poprvé použita dvojicí sociologů A. Strauss a B. Glaser v roce 1965. Na základě pozorování, rozhovorů a analýzy se sbírají data, které postupně tvoří hustou síť poznatků. Data se systematicky třídí, identifikují, porovnávají a opakovaně zpracovávají. Za pomoci kódování (otevřené, axiální a selektivní) se z dat získávají témata, koncepty. Z konceptů se tvoří kategorie. Pomocí indukce se následně z témat definuje ústřední téma, těžiště teorie. Hypotéza nebo spíše propozice je tedy známa až když se výzkum blíží ke konci. Generování témat vyššího řádu jako prostředek syntézy podporuje reflexivitu výzkumníka, přičemž se udržuje interpretativní kvalita vlastních dat (Hendl 2005).

Metoda zakotvené teorie byla zvolena pro výzkum podstaty hliněné architektury, protože umožňuje zkoumat více témat zároveň, odhalovat souvislosti mezi nimi, a nakonec zobecnit ústřední téma pro pochopení současné hliněné architektury.

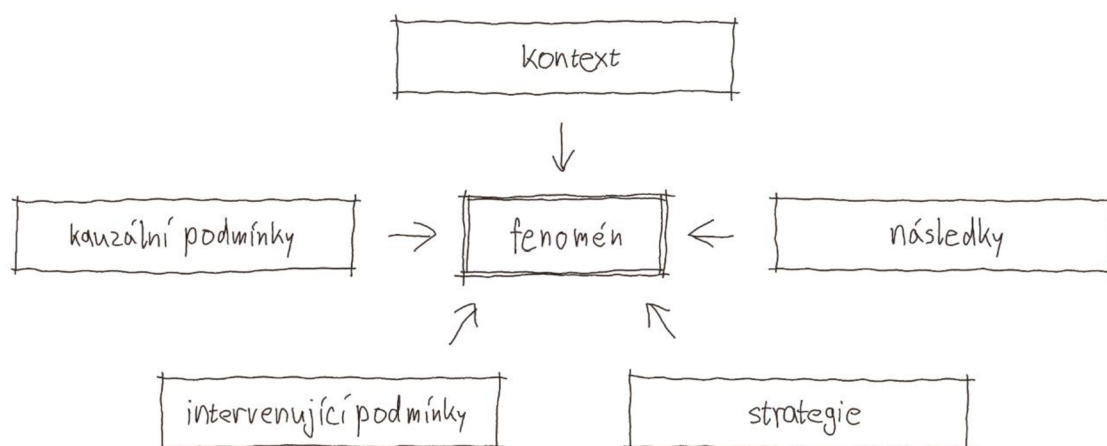
##### **3.1.1 OTEVŘENÉ KÓDOVÁNÍ**

Otevřené kódování představuje první seznámení se získanými daty, kdy se odhalují témata na prvotní nízké úrovni abstrakce. Témata mají vztah k položeným výzkumným otázkám, k přečtené literatuře nebo jde o nové myšlenky, které výzkumník nachází v datech. Tato fáze vede k seznamu témat, který se postupně třídí a organizuje, kombinuje a doplňuje v další analýze. Důležité přitom je, že se neztratí cíl kódování – tematické rozkrytí textu. Kódy označují věci, může se jednat o podstatná jména nebo slovesa. Částí analytického procesu je identifikace obecnějších kategorií, jejichž jsou tyto věci instance. Mohou se analyzovat i přídavná jména jako vlastnosti těchto kategorií. Proces charakterizace kategorií se nazývá dimenzionalizace (Hendl 2005).

Dimenzionalizací se upřesňují vlastnosti, pomocí nichž je možné rozlišit události, spadající do jedné kategorie. Tento postup tvoří předpoklady pro teoretické vzorkování: poté co byly určeny všechny logicky a empiricky možné hodnoty v kombinaci znaků, mohou se vyhledávat fenomény (instance) a případy, které je představují. Výběr případů se děje podle potřeb vznikající teorie. Důležité je postupně navrhovat stále abstraktnější kategorie, protože abstraktní kategorie pomáhají při návrhu teorie. Kódování může být velmi formální a systematické nebo zcela neformální. Význam kódů se diskutuje pomocí poznámek, jež jsou základem pro zpracování výsledné zprávy. Pojmová analýza možných hodnot znaků fenoménů a případů v dané kategorii tvoří výchozí bod pro další krok (Hendl 2005).

### 3.1.2 AXIÁLNÍ KÓDOVÁNÍ

V průběhu axiálního kódování se uvažují příčiny a důsledky, podmínky a interakce, strategie a procesy a tvoří se tak „osy“ propojující jednotlivé kategorie. Hledají se další kategorie, které spolu souvisejí; aby se odhalily vztahy mezi různými kategoriemi, musí se zkoumat, které kombinace znaků v kategorii jsou propojené s jinou kombinací znaků v jiné kategorii. Zde je vhodné použít teoretický rámec (obr. 3), který doporučí, které druhy fenoménů lze mezi sebou smysluplně propojit (Hendl 2005).



Obrázek 3 Základ axiálního kódování (Hendl 2005)

Axiální kódování má stimulovat uvažování o propojení mezi koncepty a tématy. Vznikají však při něm i nové otázky. V průběhu axiálního kódování je tedy možné opustit některá témata nebo zkoumat jiné do větší hloubky. Při axiálním kódování postupně získáváme cit pro materiál a schopnost provázat jednotlivé části teorie (Hendl 2005).

### 3.1.3 SELEKTIVNÍ KÓDOVÁNÍ

V závěrečné fázi analýzy jde především o integraci, tento proces vede ke stále komplexnější organizaci jednotlivých částí teorie. Integrace na předběžné úrovni začíná v první fázi analýzy, kdy uvádíme do vztahu dimenze a kategorie a postupně se stává stále kompaktnější a stabilnější. K znázornění teorie a vztahů používáme integrativní diagramy. Teoretické myšlenky se sledují pomocí teoretických poznámek, jež pomáhají vytvářet mezi nimi vztahy. Čas od času všechny poznámky třídí, z čehož vzniknou opět nové myšlenky a tvrzení. Jak výzkum pokračuje, poznámky se stávají cílenějšími a intenzivnějšími, shrnují dřívější poznámky nebo je doplňují, jsou jimi také obohacovány. Třídění poznámek a kódů se může provést v každé fázi projektu. V pozdější fázi nabývá systematické třídění stále více na významu (Hendl 2005).

V průběhu selektivního kódování se vyhledávají hlavní témata a kategorie, které budou ústředním bodem vznikající teorie. To znamená, že se integrují ostatní témata a kategorie. Vytvořená síť konceptů a propojení mezi nimi má své těžiště v těchto hlavních kategoriích. Poté, co se dokončila formulace vztahů k ústřední kategorii, se všechny její vlastnosti a dimenze znovu přezkušují pomocí dat. To platí pro celou navrženou teorii. Postup interpretace dat a sběr dalšího materiálu se přeruší v okamžiku teoretické saturace – když žádné další kódování nepřináší nové poznatky. Ústřední kategorie je cílem analýzy. Jedná se o centrální fenomén, kolem něhož jsou ostatní kategorie vzniklé v procesu axiálního kódování integrovány (Hendl 2005).

V průběhu analyzování dat a tvorby konceptů se postupně budou objevovat další témata k prozkoumání, které bude možné identifikovat pomocí vhodné metody, jako případová studie, rozhovory, analýza dokumentů a pozorování.

## 3.2 ROZHOVOR

Pro objevení některých témat je vhodný rozhovor s konkrétními odborníky. Rozhovor je veden jako neformální polostrukturovaný, pomocí připraveného seznamu otázek a témat. Takový způsob vedení rozhovoru umožňuje přizpůsobovat formulace otázek, případně rozvést diskuzi nad dalšími tématy, jež se objeví během rozhovoru. Částečně je tedy možné se spolehnout na spontánní generování otázek v přirozeném průběhu interakce. Dalším použitým typem rozhovoru je strukturovaný, který hledá odpovědi na pevně dané otázky.

### 3.3 PŘÍPADOVÁ STUDIE

V případové studii jde o detailní studium jednoho případu. Na konci studie se zkoumaný případ vsazuje do širších souvislostí nebo se může srovnat s jinými případy. Charakteristikou je kombinace různých technik sběru informací, jako analýza dokumentů, pozorování nebo rozhovor. Případová studie má být pružná co se týká množství a typu dat. Studie musí být úplná, musí vyhledávat a navrhopvat alternativní vysvětlení fenoménu a dívat se na něj z různých perspektiv, má obsahovat dostatek popisu získaných dat (Hendl 2005).

V jedné z nejčastěji citovaných knih o výzkumu případových studií Robert Yin poskytuje následující definici: „*Případová studie je empirickým šetřením, které zkoumá fenomén v jeho reálném kontextu, zvláště když hranice mezi jevem a kontextem nejsou jasně patrné.*“ (Yin 2009). Jak to popisuje Yin, strategie případové studie je více než pouhé studium fenoménu v kontextu. Případová studie se zkoumá ve vztahu ke komplexní dynamice, která jej neoddělitelně prolíná (Groat a Wang 2013).

### 3.4 TERÉNNÍ PRŮZKUM

Terénní průzkum umožňuje sledování vybraných jevů, v tomto případě staveb, v přímém kontaktu pozorováním, kreslením, fotografováním a popisem. Takové informace pak slouží k další analýze a porovnání dat.

### 3.5 ANALÝZA A INTERPRETACE / INDUKCE VE VĚDĚ

Vychází se z předpokladu, že výzkumník má formulovat tvrzení, které platí pro všechny případy analyzovaného problému. Po počáteční analýze výzkumník navrhne hypotézu vysvětlení dat. Analýza spočívá v rozdělení celku na jeho komponenty a zkoumání, jak tyto komponenty fungují jako relativně samostatné prvky a jaké jsou mezi nimi vztahy. Každá analýza se vyznačuje určitým stupněm explorační. Znamená to, že při ní provádíme průzkumové a objevující aktivity (Hendl 2005).

### 3.6 MODELOVÝ PŘÍPAD

Modelový případ slouží k ověření teorie v praxi. Jedná se o aplikaci zkoumaných dat a závěrů výzkumu do reálného případu. V architektonickém výzkumu je převedena teoretická rovina do praktického návrhu prostoru.

## **4 VÝSLEDKY**

Následující primární témata představují vstupní oblasti výzkumu pro otevřené kódování. Jsou tu uvedeny informace z historie hliněného stavitelství, vlastnosti a složení hliněného stavebního materiálu, techniky stavění a další navazující témata jako udržitelnost, společnost, technologický pokrok a v neposlední řadě také rozhovory s osobnostmi, které se nějakým způsobem zabývají nepálenou hlínou. Z těchto informací se pak v otevřeném kódování získávají koncepty pro další fáze výzkumu.

### **4.1 PRIMÁRNÍ TÉMATA**

#### **4.1.1 HISTORIE**

Nepálená hlína byla jako tradiční přírodní stavební materiál používána ve všech starověkých kulturách<sup>14</sup>. Hliněné cihly se poprvé objevily 8 až 6 tisíc let př.n.l. na území Turkestánu (Rusko), hliněné dusané zdi 5 tisíc let př.n.l. v Asýrii (Irák). Nepálená hlína byla používána nejen ke stavbě obydlí ale i k velkým náboženským stavbám jako např. v Egyptě, Maroku nebo Mexiku. V Evropě se hlína používala jako výplňový materiál do dřevěných nosných konstrukcí, vepřovice i dusané zdi.

Uvádí se, že přibližně 30% světové populace<sup>15</sup> dnes žije v domech z nepálené hlíny, z toho asi polovina v rozvojových zemích a pětina v suburbánních oblastech velkých měst. Nepálená hlína je jeden z nejstarších stavebních materiálů, který má i v dnešním světě své uplatnění. Hlína nechráněná proti klimatickým vlivům přitom přirozeně podléhá zkáze a opětovně se vrací do původní podoby, splyne se zemí. Oproti architektuře jiných materiálů jsou tedy hliněné stavby zdokumentované archeologickými nálezy jen zřídka. Valnou část důkazů o užití hliněného staviva naštěstí lze nalézt v písemných záznamech.

##### **4.1.1.1 Historie užití nepálené hlíny ve světě**

Nepálená hlína jako stavební materiál dříve sloužila základním potřebám člověka stejně jako k prestiži největších civilizací naší historie. Konstrukce z hlíny byly rozvinuty nezávisle na sobě ve všech hlavních kolébkách civilizací: v dolních údolích řek Tigris a Eufrat, na březích Nilu, Indu a Gangy. Tyto plodné oblasti byly vhodné pro první osídlování lovci a sběrači a byly základním předpokladem k vytvoření zemědělské kultury ve vývoji člověka. Jílovité a

---

<sup>14</sup> Člověk hlínu používal přirozeně, protože jej obklopuje – koncept - přirozenost

<sup>15</sup> Třetina světové populace žije ve stavbách, kde je užitá nepálená hlína

písčité hlíny, smíchané se slámou z vypěstovaných obilnin, daly lidem první <sup>16</sup>pevný a odolný konstrukční materiál, který byl nezbytný při trvalém osídlení na jednom místě (Houben a Guillaud 1994).

### Severní a Jižní Amerika

Na americkém kontinentu trval kočovný způsob života lovců a sběračů několik tisíc let, než se lidé usadili. První osídlení vzniklo ve Střední Americe, kde domestikace kukuřice dovolila založení prvních stálých předkolumbovských vesnic. Obydlí byla malá, obdélníkového půdorysu<sup>17</sup>, ze dřeva a proutí pokrytého hlinou<sup>18</sup>. Na slunci sušené hliněné cihly se objevily až mezi lety 500 př. n. l. a 600 n. l. Do dnešní doby se dochovala například 63 metrů vysoká pyramida Slunce v Teotihuacanu, která je v jádru z dusané hlíny<sup>19</sup> a na povrchu pokrytá vulkanickým kamenem (Houben a Guillaud 1994). Na ostrově v Údolí Mexika pak vzniklo v roce 1325 hlavní město významné aztécké říše Tenochtitlán, kde byly domy z hliněných cihel nabílené vápnem, paláce se naopak stavěly z kamene.

V Jižní Americe převládalo používání hlíny v pobřežních rovinatých oblastech, které na rozdíl od horských oblastí postrádaly naleziště vhodných kamenů<sup>20</sup>. V Andách vznikla kolem roku 1600 př. n. l. nejstarší pyramida pokrytá hliněnými cihlami a vyplněná dusanou hlinou s oblázky. Na pobřeží dnešního Peru se mezi 200 - 800 n. l. s Močickou civilizací rozmohla stavba akvaduktů z dusané hlíny a sušených cihel. Výstavba s použitím hlíny je na území Jižní a Střední Ameriky dodnes aktuální, hliněné cihly či dusaná hlína jsou zde běžně používaným stavebním materiálem (Houben a Guillaud 1994).

Na území Severní Ameriky Indiáni vždy používali hlinu ke stavbě obydlí. Nejdříve byla obydlí částečně zapuštěná do země, později se stavěly i dvoupatrové hliněné konstrukce<sup>21</sup>. Po začátku našeho letopočtu byly typické kruhové mělké domy<sup>22</sup> v zemi z dřevěných proutů pokrytých hlinou, později obdélníkového půdorysu. Na jihozápadě na březích řeky Rio Grande vznikla dokonalá hliněná architektura ze sušených cihel, do kterých se přimíchávala nasekaná sláma. Střecha byla z křovinatých dřevin a pokrytá vrstvou dusané hlíny. Tento model domů se rozšířil po celém jihozápadě do hispánsko mexických kultur. V současnosti

---

<sup>16</sup> První pevný stavební materiál

<sup>17</sup> Koncept – Obdélníkový půdorysný tvar

<sup>18</sup> Hlína sloužila jen na povrchovou úpravu, ne jako nosný prvek stavby

<sup>19</sup> Hlína jako jádro stavby

<sup>20</sup> Použití hlínu v nedostatku jiného stavebního materiálu

<sup>21</sup> Ze země vzhůru

<sup>22</sup> Koncept – kruhový půdorysný tvar



jsou hliněné cihly a dusaná hlína stále jedním z hlavních stavebních materiálů v této oblasti (Houben a Guillaud 1994).

### Afrika

Africký kontinent sehrál významnou roli ve vývoji lidstva. Domy z větví rákosu, pokryté hlínou nebo plněné hliněnými hroudami, se stavěly již v prvních lidských osadách v deltě Nilu 5 000 let př. n. l. Vyspělejší civilizace a stavební techniky se objevily až se zřízením egyptských dynastií 2 900 let př. n. l. Egypťané začali vyrábět hliněné cihly ve formách sušené na slunci, první hrobky (mastaby) pro krále byly právě z takových cihel. Ze stupňovitých mastab se později vyvinuly pyramidy obložené kamenem, jenž zvětšil hlínu pod ním<sup>23</sup>. Písemná nebo malovaná dekorace pohřebních památek dokumentuje používání sluncem sušených hliněných cihel až do nejnovějších období egyptské civilizace.

Archeologické nálezy hliněných staveb jsou však vzácné, protože materiál není dostatečně trvanlivý. Hlavní naleziště se nachází v lokalitě Tel el-Amarna (Achetaton) ve středním Egyptě a v nekropoli v Thébách. V centru Tel el-Amarny, postavené 1552-1070 př. n. l., byly domy řemeslníků a šlechticů, paláce i chrámy, všechny postavené ze sušených hliněných cihel. Obyčejný dům z tohoto období byl většinou tvořen jednou nebo více místnostmi s hliněnými stěnami. Zámožnější vrstva obyvatel měla domy s několika prostornými místnostmi, salonkem, vstupní halou a také s toaletou (Houben a Guillaud 1994).

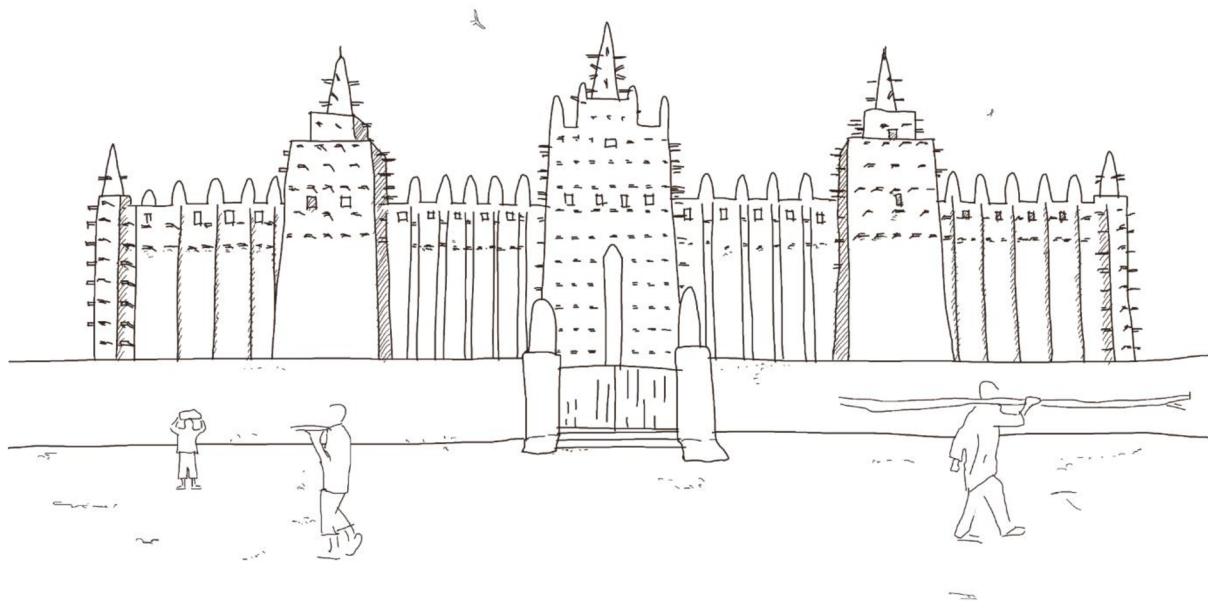
Egyptská civilizace, ačkoliv byla velmi vyspělá, zůstala extrémně konzervativní a izolovaná. Z dlouhodobého hlediska tedy měla pouze omezený vliv na ostatní africké kultury, které si vyvinuly dočasná obydlí z větví pokrytých hlínou nebo pomocí jiných technik s užitím nepálené hlíny.

Na severu Afriky, ovlivněném středomořskými civilizacemi, se nejvíce rozšířily hliněné sušené cihly a dusaná hlína. Východní Afrika byla zase ovlivněna kulturou přicházející přes Indický oceán, používající hlínu mazanou a tvarovanou. Přes všechny vlivy se na africkém kontinentu nejvíce zdokonalila technika na slunci sušených hliněných cihel, která se rozšířila do dalších kultur a zachovala až do moderní doby (Houben a Guillaud 1994). Největší stavbou světa z hliněných cihel je Velká mešita v Djenné, ve státě Mali. Mešita byla postavena v roce 1907 jako replika původní mešity z roku 1280. Na obnovu stavby po období dešťů se každoročně sejde více než 400 dobrovolníků<sup>24</sup>.

---

<sup>23</sup> Nepálená hlína krytá před klimatickými vlivy vydrží navěky

<sup>24</sup> Hliněná stavba vystavená vlivům počasí se musí neustále obnovovat



Obrázek 4 Velká mešita v Djenné (Av United Nations Photo 2021)

### Střední východ

Archeologické nálezy systematicky dokládají vývoj hliněného stavitelství na Středním východě od dob neolitu. Nejstarší domy (8 000 let př. n. l.) v Jerichu, městě na území dnešní Palestiny o rozloze čtyř hektarů, byly kulaté se základy z kamenů a stěnami z hliněných ručně tvarovaných cihel<sup>25</sup>. Nálezy v Sýrii dokládají pravidelná obydlí v šachovnicovém rozvržení. V jižním Iráku byl zase objeven důkaz používání hliněných cihel ve tvaru hranolu.

V období 5 000 – 3 200 př. n. l. se objevila první monumentální architektura, která později dala základ celým chrámovým městům Urukské éry. První náboženské chrámy byly konstruovány během třetího tisíciletí bez použití malty z těstovitých hliněných cihel. Dvoupatrové domy s otevřeným atriem v Uru byly také celé z hlíny. Hlína se používala i ke stavbě hradeb a paláců společně s drahými materiály, poprvé se objevila i technika valené klenby ze sušených cihel v chodbách paláců. Babyloňané pokračovali v hliněném stavitelství a zároveň byli první, kteří začali vyvíjet techniky pro vyztužení hliněné konstrukce<sup>26</sup>. Zatočená lana z rákosů o tloušťce paže se prokládala do sušených hliněných cihel při stavbě zikkuratů.

<sup>25</sup> Koncept - ruční tvarování

<sup>26</sup> Koncept – vyztužení hlíny

Architektura ze sušených hliněných cihel na jihozápadě Íránu dosahovala kvalit staveb v Mezopotámii, například hliněný zikkurat ve městě Čogha Zanbíl dosahoval výšky 53 m. Sušené hliněné cihly spojované hliněnou maltou se používaly na konstrukci nosných stěn a sloupů a také ke konstrukci kleneb a kupolí<sup>27</sup>, jež se v perské hliněné architektuře dochovaly až do dnešní doby (Houben a Guillaud 1994).

### Dálný východ

V Indii, ve stejnou dobu, kdy se rozvíjela města jako Uru a Babylon na Středním východě, vyrostla na březích řeky Indu řada měst. Z nálezů neolitického období cca 7 000 let př. n. l. je možné doložit stavby obydlí z nepálených hliněných cihel. Dvě významné metropole Mohenjo Daro a Harappa z období 2 500-1 800 př. n. l. dokládají vyspělost tehdejší civilizace. Skupiny domů s vnitřními dvory se všechny obracely fasádami do dlouhých ulic. Domy byly konstruovány z cihel hliněných a na fasádě se užívaly cihly pálené (Houben a Guillaud 1994). Na území Indie a okolních států je nepálená hlína jedním z nejběžnějších stavebních materiálů dodnes.

První zemědělské usedlosti se v oblasti Číny objevily také v době neolitu a nacházely se na severních a severozápadních plošinách mezi řekami. Obydlí se hloubila do země, byla tři metry hluboká a dva metry široká a měla oválný tvar<sup>28</sup>. Až pozdější užívání dřeva - hliněných konstrukcí umožnilo stavět domy částečně nad povrchem, přesto si domy zachovávaly oválný nebo kruhový půdorys. Mezi lety 1 200 - 500 př. n. l. se domy stavěly na pravoúhlém půdorysu ze dřevěné konstrukce s výplní z hlíny, celé nad úrovní země, a města byla obehnaná hradbami z dusané hlíny. Roku 500 př. n.l. pak začala stavba Velké Čínské zdi, 6 000 km dlouhé konstrukce, která byla dokončena až v 17. století (Houben a Guillaud 1994).

### Evropa

Nejstarší osídlení v Evropě se datuje do 6. tisíciletí před naším letopočtem. Původně primitivní obydlí na pobřeží Egejského moře z proplétaných větví omazávaných hlínou se později rozvinula v pravidelně strukturované podlouhlé domy ze sušených cihel. Tato forma domu dala základ megaronu<sup>29</sup>, který měl významnou pozici v řecké architektuře. Pravidelný dům ze sušených hliněných cihel se rozšířil také na sever a do centrální Evropy, kde jej přejala podunajská kultura<sup>30</sup> v době bronzové 1 800 – 750 př. n. l. Domy minojské kultury

---

<sup>27</sup> Zastřešení hliněnou konstrukcí ve tvaru klenby nebo kopule

<sup>28</sup> Koncept – oválný půdorysný tvar

<sup>29</sup> První forma tradičního dispozičního uspořádání

<sup>30</sup> Koncept – podunajská kultura

byly z dřevěné nosné konstrukce vyplněné hlínou a měly jedno nebo dvě podlaží. Na řecké pevnině následoval po Dórské invazi (1 100 - 700 př. n. l.) temný věk poznamenaný návratem k proplétaným dřevěným konstrukcím pomazávaných hlínou. V Izmiru v dnešním Turecku se stavěly domy oválné o rozměrech 3x5 metrů se silnými hliněnými stěnami bez základů. Tento apsidální megaron se později vyvinul do obdélníkového. Také na úpatí Athénské akropole se do konce 3. století př. n. l. rozrostlo husté osídlení hliněných domů. Ve druhém století př. n. l. se na území Španělska poprvé objevila technika dusané hliněné zdi, s jejíž pomocí byly konstruovány hlídkové věže i obyčejná obydlí (Houben a Guillaud 1994).

Ve středověku byly hliněné domy kvůli tloušťce stěn vytlačeny z opevněných center měst za hradby a nastalo období úpadku hliněného stavitelství ve městech. Techniky stavění však převládaly ve venkovských oblastech až do pozdního středověku, kdy se s rostoucí tesařskou zručností rozšířil typ hrázděného domu s výplní z hlíny. V 18. století se výstavba ze sušených cihel, omazávek a dusané hlíny v Evropě ustálila a přetrvala další století až do průmyslové revoluce. Myšlenky osvícenství hliněného stavitelství ve 20. století přinesl především Francois Cointereaux, který je chápal jako levné, zdravé a trvanlivé bydlení<sup>31</sup>. Jeho spisy byly přeloženy do mnoha jazyků a rozšířily techniky hliněného stavění do Německa, Dánska, Spojených států i Austrálie. V Evropě hliněná výstavba pokračovala po druhé světové válce, kdy bylo potřeba levné a dostupné výstavby. Techniky stavění byly dále systematicky rozvíjeny v Německu a Francii, kde se nacházela výzkumná střediska (Houben a Guillaud 1994).

#### 4.1.1.2 Historie užití nepálené hlíny na území Česka

Hliněné stavby se na území Česka vyskytovaly především v oblasti jižní Moravy, kde byly příhodné podmínky<sup>32</sup>. Jak uvádí Václav Mencl v knize o Lidové architektuře v Československu: „*Co tedy mohla v těch krajinách nabídnout příroda ke stavbě domu, byla jen sláma, hlína a proutí. Z těchto tří přirozených hmot, stejně prostých jako prastarých, vyrostla tam na styku mezi západem a Byzancí, prací slovanského lidu, výtvarná kultura, která se se svou látkovou harmonií a dokonalým slohovým zhnětením stala nejucelenějším lidovým projevem v naší dnešní vlasti.*“ (Mencl 1980) Na Hané a na jižní Moravě se stavěly zdi z hliněných válků tzv. klasovitou antickou vazbou (opus spicatum). Opus spicatum<sup>33</sup> bylo

---

<sup>31</sup> Koncepty - Levné, zdravé, trvanlivé

<sup>32</sup> Hlína se užívala tam, kde se přirozeně nacházela

<sup>33</sup> Vazba hliněného zdiva bez malty

nalezeno také při opravě románského kostela v Horních Dubňanech, a to na všech průčelích (Mencl 1980).

Na základě písemných záznamů lze použití nepálené hlíny ve stavbách doložit ve 13. a 14. století, větší rozšíření stavebního materiálu však nastalo až o tři století později. V té době většina venkovského obyvatelstva žila v domech ze dřeva, které lehce podléhaly ohni<sup>34</sup>. Lidé topili přímo v místnosti bez komína otevřeným ohněm a kouř vycházel okny a dveřmi, případně dírou ve stropu. Tyto místnosti se nazývaly dýmníky. Hliněné stavby odolné proti ohni tedy nacházely široké uplatnění v nízkopodlažní zástavbě nejen na vesnicích, ale i ve městech. V roce 1751 vydala Marie Terezie Ohňový patent, který přikazoval stavět zděné kuchyně a komíny. Lidé ale začali zděné komíny stavět až se zrušením nevolnictví v roce 1781, kdy poddaní najednou nemohli brát dřevo z lesů (Žabičková 2003). Ohňový patent tak fakticky začal být účinný až po svém druhém vydání v roce 1787.

Pro stavitelství bylo rovněž důležité rozhodnutí o zavedení číslování domů vydané v roce 1770. Dvorní dekret ze dne 5. března 1787 nařizuje mimo jiné zkoušení stavebních plánů. Rozšíření hliněných konstrukcí v tradičních hliněných regionech jižní Moravy v prvních desetiletích 19. století zachycují mapy stabilního katastru. V roce 1833 byl vydán první stavební řád, který stanovil veškeré podmínky stavby od podání žádosti s plánem přes úřední povolení až k realizaci a kolaudaci. Díky tomuto nařízení se dochovala řada autentických plánů a stavebních protokolů i vesnických staveb postavených z nepálené hlíny (Žabičková 2003).

Hlína se ve stavbách vyskytovala v nějaké podobě téměř na celém území Česka. Hliněný dům, který se stavěl v oblasti jižní Moravy, se nazýval podunajský. Podunajský hliněný dům byl vymezen územím jižní Moravy, Dolním Rakouskem, jižním Slovenskem, podstatnou částí Maďarska a částečně i přilehlými oblastmi Rumunska a Ukrajiny. Nejstarší obydlí vycházejí z jednoprostorového řešení, které se postupně vyvinulo ve dvojdílný, později trojdílný přízemní dům<sup>35</sup>. Počátkem 19. století se podunajský dům vyskytoval prakticky po celé Moravě a Slezsku (Karasová 2010). V souvislosti s rozvojem intenzivního obilnářského hospodaření koncem 18. století a zejména ve století 19. se zvyšovaly i nároky na skladovací prostory domů. Tak vznikla sýpka na obilí v patře. Hospodářské budovy svou výškou tedy převyšovaly část obytnou, půdní prostory byly využívány i jako tzv. půdní světnice na skladování mouky,

---

<sup>34</sup> Lidé hlínu začali více používat ve stavbách, protože byla na rozdíl od dřeva ohnivzdorná

<sup>35</sup> Koncept – přízemní dům

ovoce, šatů, v létě i ke spaní (Žabičková 2003). Chlévy a stáje z pálených cihel byly situované ve dvorní části kolmo k obytné budově.

Hliněné stavby sloužily nejen k bydlení, ale i k dalším činnostem, jak dokládají např. vinohradnické stavby<sup>36</sup> ve Vlčnově, zvonice v Louce a další. Později se lidová tvořivost projevovala spíše v úpravách navrženého domu a stavby na vesnicích se tak postupně sjednocovaly se stavbami městskými (Žabičková 2003). Do dnešní doby se dochovaly hliněné domy jednotlivě téměř po celém území Česka, na jižní Moravě jsou to celé vesnice, kde hliněná výstavba tvoří významnou část zástavby, např. Příkazy, Rymice nebo Strážnice.

Doba rozkvětu staveb z nepálené hlíny započatá v 17. století byla ukončena začátkem století dvacátého. Pálená cihla, která byla dříve drahá a dostupná jen pro bohatší obyvatelstvo, se začala objevovat na venkově nejdříve jako fasádní vrstva, kolem okenních a dveřních otvorů, na nechráněných štítech domů či nadstřešních částech komínů. Na Hané se od třicátých let 19. století začaly stavět domy s neomítnutými fasádami z pálených cihel, které sloužily jako ochrana hliněného zdiva proti povětrnostním vlivům nebo v exponovaných místech, především pak jako průkaz zámožnosti obyvatele. V roce 1865 vynalezl Ferdinand Hoffmann v Berlíně technologii výpalu cihel v kruhové peci, jejíž následné rozšíření na naše území na přelomu 19. a 20. století vedlo k úpadku hliněného stavitelství. Vynález kruhové pece představoval převratnou událost ve výrobě pálených cihel. Kontinuální provoz vypalování cihel znamenal, že odpadla doba nutná k ohřívání a posléze vychládání pece naplněné cihlami. Výroba cihel prudce vzrostla, jejich cena poklesla a nastal velký rozvoj cihlářského průmyslu.

Ještě ve dvacátých a třicátých letech 20. století byla nepálená hlína používána venkovskými a maloměstskými staviteli, jak ukazují i četné stavební protokoly předpisující pálenou cihlu pouze pro štíty a komíny. V ČSN 1168-1931 o provádění prací zednických a přidružených je už hlína uváděna pouze jako materiál pro výrobu hliněné malty a mazaniny (Žabičková 2003).

K dočasnému návratu k výstavbě z nepálené hlíny došlo po druhé světové válce. Zejména ve válkou zničeném Německu byla vysoká potřeba rychlé a levné výstavby domů<sup>37</sup>. Nepálenou hlínu však postupně vytlačily nové stavební materiály a postupně došlo až k ukončení výstavby z hlíny, o čemž svědčí i současné ČSN, kde hlína jako stavební materiál už vůbec není uvedena (Karasová 2010). V dnešní době stojí na našem venkově a na okraji měst tisíce

---

<sup>36</sup> Různorodé využití hliněných staveb

<sup>37</sup> Koncept – rychlá a levná výstavba

domů, které mají stěny nebo jejich část z nepálené hlíny. Ta je obvykle dobře skryta pod omítkami či za pálenou cihlou a objevuje se až při opravách či rekonstrukcích.

Nový nástup nepálené hlíny nastal ke konci 20. století, kdy po řadě zjištění nebezpečnosti nových materiálů pro lidské zdraví a následném zákazu jejich užívání začínají být stavební materiály hodnoceny nejenom z hlediska vlastností technických a ekonomických, ale i ekologických a zdravotních. Při takovém hodnocení se významně uplatňují pozitiva, která posouvají hlínu do sortimentu zdravých přírodních stavebních materiálů pro nosné i nenosné konstrukce.

Celosvětový problém globálního oteplování a vyčerpávání neobnovitelných zdrojů energie vede ke zvyšujícím se ekologickým snahám o řešení problémů s hospodařením s přírodním bohatstvím (Žabičková 2003). Nepálená hlína jako stavební materiál tak dnes zaslouženě prochází svou renesancí.

#### 4.1.2 MATERIÁL

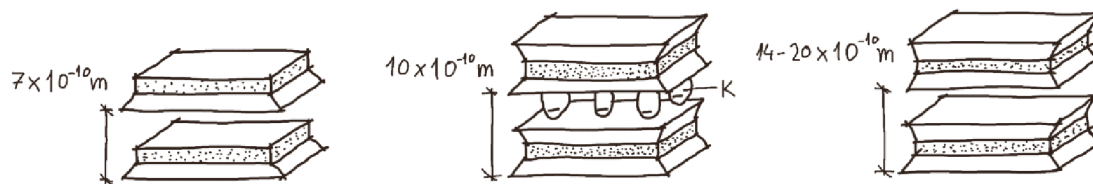
Nepálená hlína jako stavební materiál je směs jílu, prachu, písku případně i štěrku a kamenů<sup>38</sup>. Nejdůležitější složkou hlíny jako stavebního materiálu jsou jílové minerály, které fungují jako pojivo<sup>39</sup> pro větší částice, zároveň je však jejich podíl ve směsi například u omítek jen cca 10-20 % (Bažík 2018a).

Hlína vzniká erozí hornin zemské kůry a její složení a vlastnosti závisí především na místních podmínkách<sup>40</sup>. Zatímco štěrkovitá hlína z hor (s obsahem jílovitých minerálů) je vhodná pro dusané zdivo, jemnozrná jílovitá hlína u břehů řek má naopak nižší odolnost vůči povětrnostním vlivům a menší pevnost v tlaku. Základní čtyři složky hlíny se dělí podle velikosti zrn na štěrk (2 - 60 mm) písek (0,06 - 2 mm), prach (0,002 - 0,06 mm) a jíl (menší než 0,002 mm), přičemž právě jílovité minerály jsou pojivem pro větší částice. Podle toho, která složka převažuje, dělíme hlíny na písčité, prachovité a jílovité. Jíl je produktem eroze živce a dalších minerálů. Pokud se během eroze rozpustí sloučeniny draslíku, vytvoří se jíl zvaný kaolinit. Dalším běžným jílovitým minerálem je montmorillonit. Existuje také řada méně běžných jílovitých minerálů, jako je illit. Struktura těchto minerálů je patrná na obr. 5 (Bažík 2018a).

<sup>38</sup> Jíl je hlavní složkou směsi, to, co dělá hlínu hlínou

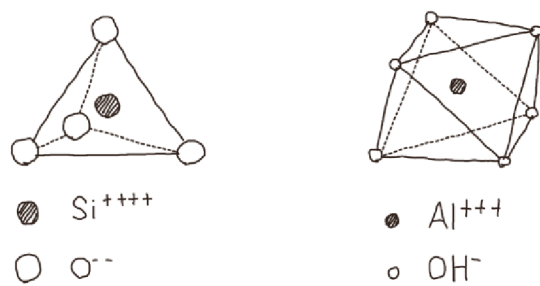
<sup>39</sup> Koncept – jíl jako pojivo

<sup>40</sup> Hlína je vždy unikátní podle daného místa



Obrázek 5 Kaolinit, illit, montmorillonit (Minke 2007)

Jílovité minerály mají šestihrannou lamelární krystalickou strukturu<sup>41</sup>. Tyto lamely se skládají z vrstev, které se tvoří kolem jader křemíku nebo hliníku. V případě křemíku jsou obklopeny kyslíkem; v případě hliníku hydroxylovými skupinami (obr. 6) (Bažík 2018a).

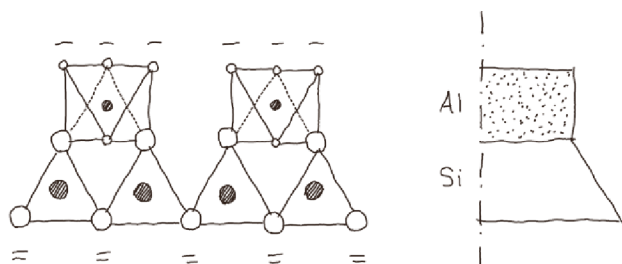


Obrázek 6 Tetraedr s křemíkovým jádrem, oktaedr s hliníkovým jádrem (Minke 2007)

Vrstvy oxidu křemičitého mají nejsilnější záporný náboj, který jim dává vysokou interlamelární vazebnou sílu (obr. 7). Každá vrstva oxidu křemičitého je vždy spojena s vrstvou hydroxidu hlinitého. Například kaolinit je jen dvouvrstevnatý, má tedy nízkou kapacitu navázání částic. Zatímco u třívrstvého minerálu montmorillonitu je vždy jedna vrstva hydroxidu hlinitého vložena mezi dvě vrstvy oxidu křemičitého, čímž vykazuje vyšší vazebnou kapacitu částic. Jílové minerály mají vyměnitelné kationty (částice s kladným nábojem). Vaznost a pevnost v tlaku hlíny závisí tedy právě na druhu a množství kationtů (Minke 2007).

<sup>41</sup> Základní forma jílu je krystalická





Obrázek 7 Vazba hydroxidu hlinitého a oxidu křemičitého (Minke 2007)

Do hliněné směsi je možné přidat cement pro zvýšení odolnosti proti působení vody. Cementová zrna pojí materiál na základě hydratace, jílové minerály na základě přitahování částic. Přidávání cementu do hliněné směsi tedy narušuje přirozenou vazbu tvořenou jílem jako pojivem<sup>42</sup> a zároveň neumožňuje následné čisté navrácení materiálu do přírody.

### 4.1.3 VLASTNOSTI

Zkoumané vlastnosti nepálené hlíny jsou mechanické, fyzikální a ostatní. Mezi mechanické vlastnosti patří pevnost v tahu, tlaku a tahu za ohybu, ořezuvzdornost, vaznost, objemová hmotnost, přilnavost, odolnost proti opotřebení, modul pružnosti a odolnost rohů proti nárazům. Z fyzikálního hlediska se zkoumají reakce na vodu, vlhkost, páru, kondenzaci a vliv tepla. Ostatní zkoumané oblasti jsou pak požární bezpečnost, radon, pH, elektromagnetické účinky, akustika, iontová rovnováha.

#### 4.1.3.1 MECHANICKÉ VLASTNOSTI

##### Objemová hmotnost

Objemová hmotnost hlíny jako staviva se udává v rozmezí 1600 až 2000 kg/m<sup>3</sup>. Vysoká objemová hmotnost umožňuje tepelnou akumulaci materiálu<sup>43</sup>, což je v dnešní době žádaný parametr u pasivních staveb. Například vápenopískové cihly vyráběné speciálně pro pasivní stavby dosahují hodnot 1800 až 2000 kg/m<sup>3</sup>. Nepálená hlína tyto hodnoty vykazuje přirozeně a je tedy ze své podstaty vhodná pro pasivní stavby. Vyšší objemová hmotnost zároveň dobře pohlcuje vibrace, hluk a různé druhy záření<sup>44</sup>. U hlíny vylehčené organickými nebo anorganickými přísadami je objemová hmotnost mezi 1000 až 1600 kg/m<sup>3</sup> (Žabičková 2003).

<sup>42</sup> Jíl je podstatnou složkou materiálu, cement tuto hodnotu narušuje

<sup>43</sup> Koncept – tepelná akumulace

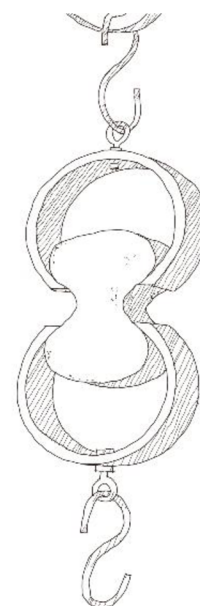
<sup>44</sup> Hlína pohlcuje nechtěné faktory provozu objektu

Lehčiva na jednu stranu vylepšují tepelně technické parametry hlíny, ale zároveň snižují její objemovou hmotnost a také pevnost v tlaku (Bažík 2018a).

### Vaznost

Vaznost je definována jako pevnost v tahu u nepálené hlíny v plastickém stavu. Vaznost závisí nejen na obsahu jílu, ale také na typu přítomných jílovitých minerálů. Jelikož je test vaznosti závislý na obsahu vody v hlíně, různé vzorky mohou být porovnávány, pouze pokud je obsah vody u všech vzorků stejný. Pro posouzení vaznosti nepálené hlíny byl vyvinut speciální test, kde mají vzorky tvar čísla 8 (Röhlen a Ziegert 2011).

Hodnoty vaznosti se odvozují z průměru tří vzorků, které se od sebe rozměrově neliší o více než 10 % a typicky se pohybují od 2,5 do 50 kPa. Po zjištění mezních hodnot vazebné síly vzorku může být hliněná směs klasifikována podle tabulky č.1. Hodnoty testu navíc poskytují také první údaj o vhodnosti pro výrobu některých stavebních materiálů.



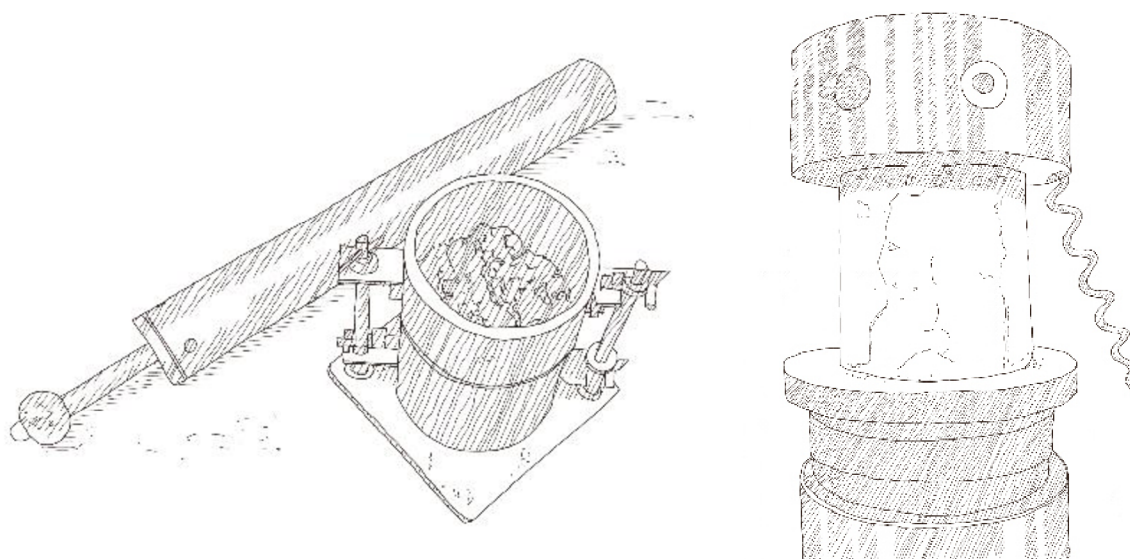
Obrázek 8 Test vaznosti (Röhlen a Ziegert 2011)

Váha zatížení při přetržení v celém 5 cm <sup>2</sup> průřezu [g]	Zatížení při přetržení na plochu cm <sup>2</sup> [g/cm <sup>2</sup> ]	Napětí [MPa]	Popis směsi
do 250	do 50	do 0.005	obecně nevhodná
≥ 250 až 400	≥ 50 až 80	≥ 0.005 až 0.008	velmi hubená
≥ 400 až 550	≥ 80 až 110	≥ 0.008 až 0.011	hubená
≥ 550 až 1000	≥ 110 až 200	≥ 0.011 až 0.020	mírně hubená
≥ 1000 až 1400	≥ 200 až 280	≥ 0.020 až 0.028	mírně tučná
≥ 1400 až 1800	≥ 280 až 360	≥ 0.028 až 0.036	tučná
> 1800	> 360	> 0.036	velmi tučná

Tabulka 1 Klasifikace hliněné směsi na základě testu vaznosti (Röhlen a Ziegert 2011)

### Pevnost v tlaku

Pevnost v tlaku hliněného stavebního materiálu závisí především na druhu hlíny, rozložení a velikosti zrn prachu, písku i většího kameniva<sup>45</sup> a v neposlední řadě také na způsobu přípravy a zhutnění materiálu. Pevnost v tlaku je základním testem pro kontrolu kvality dusané hliněné konstrukce. Zkouška se provádí na válcích o průměru 150 mm a výšky 300 mm<sup>46</sup>, ve kterých se před zkouškou vzorek hlíny zhutní. Válce se testují po sušení na stabilní vlhkost za podmínek okolního prostředí nebo při vytvrzování po určitou dobu, například 28 dní (Keable et al. 2005). Hodnoty se získávají z maximálního zatížení (okamžiku, kdy vzorek selže) a počátečního průřezu. Pevnost v tlaku se pohybuje v rozmezí od 0,5 do 5 MPa. Obecně také platí, že pevnost v tlaku roste s objemovou hmotností materiálu. Například hliněné cihly lisované a homogenní konstrukce splňující požadavky pro nízkopodlažní výstavbu mají pevnost v tlaku 3-10 MPa<sup>47</sup>, cihly s přídavkem slámy 1-3 MPa, hliněné omítky 1-3 MPa a hliněné malty do 3 MPa (Karasová 2010).



Obrázek 9 Zkouška pevnosti v tlaku hliněného vzorku (Dahmen nedatováno)

### Pevnost v tahu

Hliněné konstrukce dosahují velmi nízkých hodnot při tahovém napětí. Pevnost v tahu za sucha je přibližně 10 % pevnosti v tlaku u nepálených cihel a 11 až 13 % u dusaných zdí (Minke 2007). Proto hlinu nelze používat na tažené konstrukce<sup>48</sup>.

<sup>45</sup> Zrnitost materiálu a rozložení zrn je důležitým aspektem hlíny

<sup>46</sup> Pevnost se testuje stejně jako u ostatních materiálů

<sup>47</sup> Pevnost nepálené hlíny dosahuje hodnot pálené hlíny

<sup>48</sup> Hlína nemá pevnost v tahu

### Pevnost v tahu za ohybu

Pevnost v tahu za ohybu má význam při posuzování kvality hliněné zdi a tuhosti okrajů hliněných cihel. Pevnost v tahu za ohybu hliněného staviva závisí hlavně na obsahu jílu a typu obsažených jílovitých minerálů. Montmorillonitické hlíny mají mnohem vyšší pevnost v tahu než kaolinitické (Minke 2007).

### Přilnavost

Přilnavost hliněného materiálu je důležitá u hliněných zdí<sup>49</sup>. Záleží na drsnosti podkladu a na pevnosti v tahu za ohybu dané zdi. Standardní zkouška pro kontrolu přilnavosti (obr.10) se provádí tak, že se dvě vypálené cihly spojí 2 cm tlustou hliněnou maltou, kdy je horní cihla otočená k dolní o 90 °. Po zaschnutí malty se horní cihla položí oběma konci na cihlovou podložku, zatímco na dolní cihlu se zavěsí nádoba, která se postupně plní pískem. Výsledná přilnavost se počítá jako váha spodní cihly a písku dělená plochou malty. To je však relevantní pouze v případě, že k selhání dojde na styku materiálů (malty a cihly), protože pokud k selhání dojde uvnitř malty, jedná se o pevnost v tahu malty, nikoliv přilnavost (Minke 2007). Přilnavost je důležitá také u omítek.

### Odolnost proti opotřebení

Hliněné povrchy jako hliněná zeď nebo podlaha jsou citlivé na oděr<sup>50</sup>. Jednoduchou zkouškou pro zjištění odolnosti proti opotřebení je použití kovového kartáče zatíženého hmotností přibližně 5 kg, který se pohybuje po povrchu vzorku hlíny ze strany na stranu (Minke 2007).

### Modul pružnosti

Dynamický modul pružnosti hlíny je obvykle mezi 5,88 a 8,33 GPa (Minke 2007).

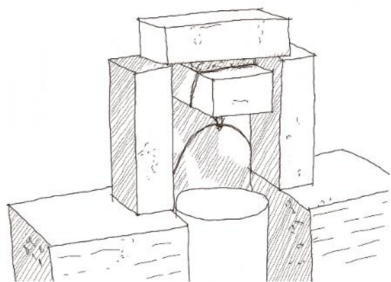
---

<sup>49</sup> Přilnavost je důležitá při styku hliněné malty a hliněných cihel

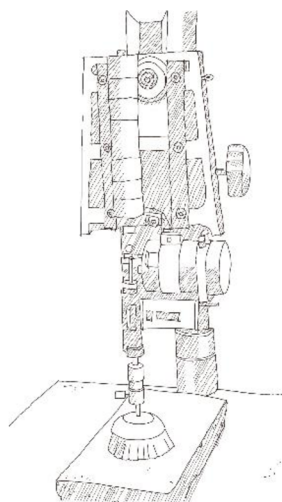
<sup>50</sup> Koncept – malá otěruvzdornost

### Odolnost rohů proti nárazům

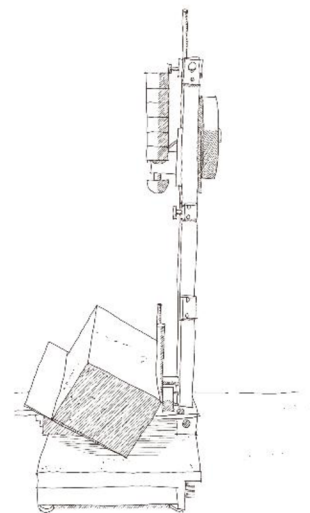
Při manipulaci s hliněnými cihlami se jejich rohy často vlivem mechanických nárazů ulamují. V praxi je tedy tento druh pevnosti také důležitý. Zkouška pro měření odolnosti rohů probíhá tak, že se závaží se špičkou tvaru polokoule o průměru 30 mm spustí na povrch nakloněný pod úhlem 60°, 10 mm od rohu (Minke 2007).



Obrázek 10 Zkouška přilnavosti (Minke 2007)



Obrázek 11 Zkouška odolnosti proti opotřebení (Minke 2007)



Obrázek 12 Zařízení pro měření odolnosti rohů hliněných cihel (Minke 2007)

### 4.1.3.2 FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI

#### Účinky vody

Pokud hlína zvlhne, zvětší svůj objem a změní se z pevné hmoty v plastickou<sup>51</sup>.

#### *Bobtnání a smršťování*

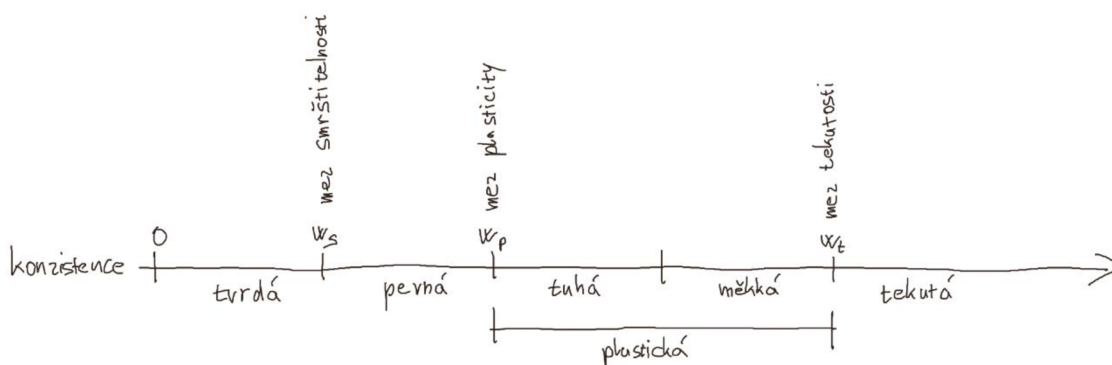
Bobtnání hlíny při kontaktu s vodou a její smrštění sušením je pro její použití jako stavebního materiálu nevýhodné. K bobtnání dochází v případě, že hlína přijde do přímého kontaktu s takovým množstvím vody, že začne ztrácet pevnost. Míra bobtnání a smršťování závisí na druhu a množství jílu (u montmorillonitu je tento účinek mnohem větší než u kaolinitu a ílitu) a také na distribuci zrna prachu a písku (Minke 2007). Smršťování probíhá vždy dostředivě<sup>52</sup>.

<sup>51</sup> Změna konzistence hliněné hmoty pod vlivem vody

<sup>52</sup> Koncept – dostředivé smršťování

### Konzistence

Konzistenční stav hlíny ovlivňuje její stlačitelnost a zpracovatelnost (Žabičková 2003). Hlína má čtyři stavy konzistence: tekutá, plastická, pevná a tvrdá<sup>53</sup>. Mezi stavem tvrdým a pevným je mez smrštitelnosti, mezi pevným a plastickým mez plasticity a mezi plastickým a tekutým mez tekutosti – viz. obrázek 13. Mez smrštění nastává, když je vlhkost taková, že vysušovaná zemina přestane měnit svůj objem. Limit smrštění lze u jílovité hlíny opticky identifikovat, když se tmavá barva vlhké směsi z důvodu odpařování vody v pórech změní na světlejší odstín (Minke 2007).



Obrázek 13 Graf konzistence soudržných zemin (ÚNMZ 2018)

### Kapilární akce

#### *Pohyb vody*

Všechny materiály s otevřenými pórovitými strukturami, jako je hlína<sup>54</sup>, jsou schopny ukládat a přepravovat vodu v kapilárách. Voda proto vždy putuje z oblastí s vyšší vlhkostí do oblastí s nižší vlhkostí. Schopnost vody takto reagovat na sání se nazývá „kapilarita“ a proces vodní dopravy „kapilární akce“ (Minke 2007).

#### *Kapilární vodní kapacita*

Maximální množství vody, které může být absorbováno ve srovnání s objemem nebo hmotností vzorku, se nazývá „kapacita kapilární vody“. Je to důležitá hodnota při zvažování jevů kondenzace ve stavebních prvcích (Minke 2007).

<sup>53</sup> Tvrdá konzistence je jediná žádoucí pro trvalé stavby

<sup>54</sup> Pórovitá struktura hlíny umožňuje pohyb vody v ní

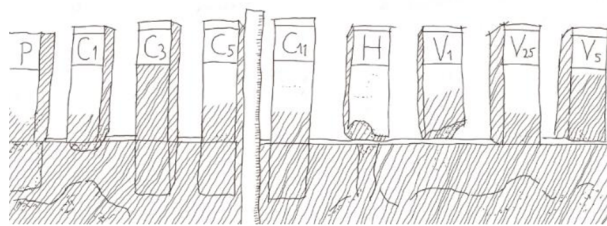
### *Stabilita ve statické vodě*

Stabilita ve statické vodě může být definována podle německé normy následovně: hranolový vzorek je ponořen do hloubky 5 cm do vody a měří se doba, po kterou se ponořená část rozpadne. Vzorky, které se rozpadají za méně než 45 minut, jsou nevhodné pro hliněné konstrukce (Minke 2007). Hlína je středně odolná, pokud se po 5 minutách působení vody odtrhují jen drobné plátky. Neodolná je hlína tehdy, začínají-li odpadávat kusy hlíny několik sekund po ponoření (Žabičková 2003).

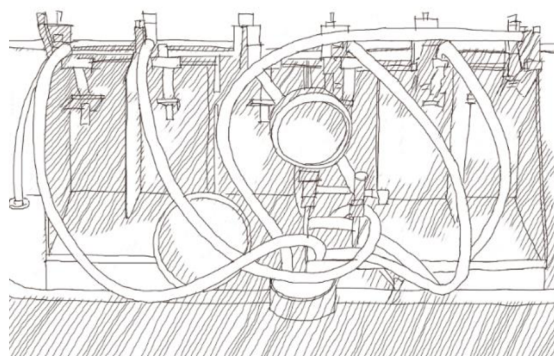
Tento test však není nutný pro hliněné stavby, protože komponenty z hlíny nemají být trvale ponořeny do vody. Významná je naopak odolnost proti tekoucí vodě (Minke 2007).

### *Odolnost proti tekoucí vodě*

Během výstavby jsou prvky pozemních staveb často vystaveny dešti a jsou citlivé na erozi, zejména pokud jsou stále mokré. Je proto důležité určit jejich odolnost proti tekoucí vodě<sup>55</sup>. Pro porovnání stupňů rezistence různých hlinitých směsí bylo vyvinuto zkušební zařízení schopné testovat až šest vzorků současně (obrázek 15). V tomto zařízení se na vzorky stříkají vodní paprsky o průměru 4 mm z úhlu 45 ° a rychlostí 3,24 m / s, což simuluje nejhorší dešťové podmínky v Evropě (Minke 2007).



Obrázek 15 Zkouška odolnosti proti působení vody (Žabičková 2003)



Obrázek 14 Test odolnosti proti tekoucí vodě (Minke 2007)

### *Eroze deštěm a námrazou*

Písčitá hlína má malou odolnost proti dešti, ale je mrazuvzdorná, pokud neobsahuje trhliny. Hlína s vysokým obsahem jílu má tendenci vytvářet vlasové praskliny, a proto je náchylná k mrazu. Pokud neexistují žádné vlasové trhliny, je téměř odolná vůči dešti. Čím vyšší je pórovitost a větší póry, tím vyšší je odolnost hlíny vůči mrazu. Proto extrudované běžné

<sup>55</sup> Odolnost hlíny proti erozi klimatickými jevy je záležitostí na složení směsi

hliněné cihly vyrobené v továrně nejsou odolné proti mrazu a neměly by se používat na vnějších stěnách v podnebí s mrazem. Naproti tomu ručně vyráběné cihly z písčité hlíny jsou obvykle odolné proti mrazu (Minke 2007).

### *Doba sušení*

Období, během kterého vlhká hlína dosáhne rovnovážného obsahu vlhkosti, se nazývá „doba sušení“<sup>56</sup>. Hliněná malta se suší v uzavřené místnosti při teplotě 20°C a relativní vlhkosti okolního vzduchu 81%, respektive 44%. Při 44% vlhkosti trvá sušení asi 14 dní, zatímco s 81% vlhkostí asi 30. Při testování hliněných cihel jsou vzorky ponořeny do 3 mm vody po dobu 24 hodin a potom udržovány v místnosti s teplotou 23°C a relativní vlhkostí 50% za klidného vzduchu. Hliněné cihly vyschnou po 20 až 30 dnech, zatímco pálené cihly, cihly z páleného vápna a beton nevyschnou ani po 100 dnech (Minke 2007).

### Účinky páry

Zatímco hlína při kontaktu s vodou bobtná a oslabuje, pod vlivem páry absorbuje vlhkost<sup>57</sup> zůstává pevná a zachovává svoji tuhost. Hlína může vyvažovat vlhkost vnitřního vzduchu (Minke 2007).

### *Difúze par*

V mírném a chladném podnebí, kde jsou vnitřní teploty často vyšší než venkovní teploty, existují rozdíly v tlaku par mezi interiérem a exteriérem, což způsobuje, že se pára pohybuje zevnitř ven skrz stěny<sup>58</sup>. Pára prochází stěnami a odolnost materiálu stěny vůči této akci je definována „koeficientem odporu proti difúzi par“. Je důležité znát hodnotu odporu par, když je teplotní rozdíl mezi vnitřkem a vnějškem tak vysoký, že po ochlazení ve zdi kondenzuje vnitřní vzduch. Křemičitá hlína má hodnotu  $\mu$  asi o 20% nižší než jílovitá a písčitá hlína a lehká hlína s liaporem o hmotnosti 750 kg/m<sup>3</sup> má hodnotu 2,5 krát vyšší než hlína smíchaná se slámou (Minke 2007).

### *Rovnovážený obsah vlhkosti*

Každý porézní materiál, i když je suchý, má charakteristickou vlhkost, nazývanou „rovnovážený obsah vlhkosti“, která závisí na teplotě a vlhkosti okolního vzduchu. Čím vyšší jsou úrovně teploty a vlhkosti, tím více jí materiál absorbuje. Pokud se sníží teplota a vlhkost

---

<sup>56</sup> Koncept – doba sušení je až 30 dní podle podmínek

<sup>57</sup> Koncept – absorpce vlhkosti

<sup>58</sup> Pohyb páry skrz konstrukce je způsoben rozdílným tlakem



vzduchu, materiál desorbuje vodu. Čím vyšší je obsah jílu v hlíně, tím větší je rovnovážný obsah vlhkosti. Pro účinek stavebních materiálů na vyrovnávání vlhkosti je rychlost absorpčních a desorpčních procesů důležitější než rovnovážný obsah vlhkosti (Minke 2007).

### *Kondenzace*

V mírných a chladných klimatických pásmech vodní páry obsažené ve vnitřním vzduchu difundují stěnami do vnějšku. Pokud je vzduch ochlazován ve stěnách a dosáhne svého rosného bodu, dochází ke kondenzaci. Tato vlhkost snižuje tepelnou izolační kapacitu a může vést k růstu plísní. V takových případech je důležité, aby byla tato vlhkost rychle transportována kapilárním působením na povrch stěn, kde se může odpařit. Proto jsou výhodné materiály s vysokou kapilárností jako například hlína<sup>59</sup>. Aby se snížilo nebezpečí kondenzace ve stěnách, měl by být odpor přenosu par vyšší uvnitř a odpor přenosu tepla vyšší venku. Ačkoli výše uvedené principy obvykle postačují k potlačení tvorby kondenzace ve stěnách, je také možné vytvořit bariéru proti páře na vnitřní straně použitím barev nebo fólií (Minke 2007). Taková bariéra ovšem omezí pozitivní působení hlíny na vnitřní prostředí a potažmo i na zdraví člověka.

### Vliv tepla

Masivní dusaná hliněná zeď bez slámy nebo jiných lehkých agregátů má téměř stejný izolační účinek jako pevná zeď z vypálených cihel<sup>60</sup>. Objem vzduchu unášeného v pórech materiálu a jeho vlhkost jsou relevantní pro účinek tepelné izolace. Čím je materiál lehčí, tím vyšší je jeho tepelná izolace a čím vyšší je jeho vlhkost, tím nižší je jeho izolační účinek (Minke 2007).

### *Tepelná vodivost*

Tepelný přenos materiálu je charakterizován jeho tepelnou vodivostí  $k$  [W/mK]. To ukazuje množství tepla měřeného ve  $\text{W/m}^2$ , které proniká stěnou o tloušťce 1 m při teplotním rozdílu  $1^\circ\text{C}$ . Lehká slaměná hlína s hustotou  $750 \text{ kg/m}^3$  dosahuje hodnoty  $0,20 \text{ W/mK}$ , zatímco lehký liapor s hustotou  $740 \text{ kg/m}^3$   $0,18 \text{ W/mK}$  (Minke 2007).

### *Měrné teplo*

Množství tepla potřebné k zahřátí 1 kg materiálu o  $1^\circ\text{C}$  se nazývá jeho „měrné teplo“. Hlína má měrné teplo  $1,0 \text{ kJ/kgK}$ , což se rovná  $0,24 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$  (Minke 2007).

---

<sup>59</sup> Hlína je jako materiál s vysokou kapilárností vhodná pro difúzně otevřené konstrukce

<sup>60</sup> Nepálená hlína má stejný izolační účinek jako hlína pálená

### *Tepelná kapacita*

Tepelná kapacita definuje množství tepla potřebné k zahřátí  $1\text{m}^3$  materiálu o  $1^\circ\text{C}$  (Minke 2007).

### *Příjem a uvolňování tepla*

Rychlost, při které materiál absorbuje nebo uvolňuje teplo, je definována tepelnou difuzivitou  $b$ , čím větší je hodnota  $b$ , tím rychlejší je pronikání tepla (Minke 2007).

### *Faktor zpomalení a časové zpoždění*

„Faktor snižování“ a „časové zpoždění“ se vztahují na to, jak vnější stěna budovy reaguje na vlhkost a na dobu zpoždění, než vnější teploty dosáhnou vnitřku. Stěna s vysokou tepelnou akumulací vytváří velké časové zpoždění a snižování tepla, zatímco zeď s vysokou tepelnou izolací snižuje pouze amplitudu teploty (Minke 2007).

V podnebí s horkými dny a chladnými nocemi, kde průměrné teploty leží v komfortní zóně (obvykle  $18^\circ$  až  $27^\circ\text{C}$ ), je při vytváření pohodlných vnitřních podnebí velmi důležitá tepelná kapacita. Vliv materiálu a tvaru budovy na vnitřní klima lze zjistit porovnáním dvou vzorových zkušebních budov se stejným objemem, které byly postaveny v Káhiře v roce 1964. Jedna byla postavena z 50 cm silných hliněných zdí a hliněných cihel a druhá z předlitých betonových prvků o tloušťce 10 cm s plochou střechou. Zatímco denní venkovní teplota byla  $13^\circ\text{C}$ , teplota uvnitř hliněného domu kolísala pouze o  $4^\circ\text{C}$ ; v betonovém domě byla odchylka  $16^\circ\text{C}$ . Amplituda byla tedy v betonovém domě čtyřikrát větší než v hliněném domě. V betonovém domě byly teploty v 16 hodin vyšší o  $5^\circ\text{C}$  než venku, zatímco uvnitř hliněného domu byly současně o  $5^\circ\text{C}$  nižší než venkovní teploty<sup>61</sup> (Fathy 1986).

### *Ohnivzdornost*

Hlína i s obsahem slámy je dle německé normy definována jako „nespalitelná“<sup>62</sup>, pokud hustota není menší než  $1700\text{ kg/m}^3$  (Minke 2007).

#### **4.1.3.3 Ostatní vlastnosti**

##### pH

Jílovitá hlína obvykle vykazuje základní pH mezi 7 a 8,5, takové pH obvykle brání růstu plísní (příznivá hodnota pH pro houby leží mezi 6,5 a 4,5). V dnešní době může být kvůli

<sup>61</sup> Nepálená hlína má výborné akumulací schopnosti

<sup>62</sup> Ohnivzdornost záleží na složení směsi a použitých přísadách

kyselému dešti zemina vytěžená z průmyslových oblastí pod ornou půdou mírně kyselá (Minke 2007).

### Radioaktivita

Měření radiace beta a gama paprsků ukazuje, že hlína nemá v průměru hodnoty vyšší než beton nebo pálené cihly. Některé testované hliněné cihly vykazují mnohem více záření, pravděpodobně způsobené přísadami, jako je popílek nebo struska z vysoké pece. Mnohem důležitější než paprsky beta a gama jsou alfa paprsky emitované radioaktivním plynovým radonem a jeho produkty rozpadu s krátkou životností. „Měkké“ paprsky nemohou proniknout do lidského těla, protože jsou absorbovány kůží, ale mohou být inhalovány dýcháním a proto mohou způsobit rakovinu plic. Hliněná cihla z jílovité půdy vypouští velmi málo radonu (Minke 2007).

### Ochrana proti vysokofrekvenčnímu elektromagnetickému záření

Různé stavební materiály brání odlišnou mírou průniku vysokofrekvenčního elektromagnetického záření. V oblasti frekvence do 2 gigahertz, na nichž pracuje většina mobilních telefonů, absorbuje hliněná zeď o tloušťce 24 cm 24 dB<sup>63</sup>, zatímco stejně tlustá zeď z vápenopískových cihel absorbuje pouze 7 dB (Minke 2007).

## **4.1.4 TECHNIKY STAVĚNÍ**

Techniky stavění se liší podle oblasti, klimatu, složení hlíny i podle dostupnosti nástrojů a zvyklostí řemeslníků. Nepálená hlína se ve stavbě může používat několika způsoby – hloubení stavby přímo do hlíny, stavba nosných stěn a příček, jako lehčené výplně do nosných konstrukcí, prefabrikované desky a nenosné příčky nebo jako hliněné omítky (Eduard Schleger, Lukáš Liesler, Dalibor Hlaváček 2008).

### Tradiční hliněné konstrukční techniky

Hlína se na našem území užívala především ke stavbě nosných svislých konstrukcí lidových domů, bylo přitom důležité chránit hliněnou zeď před deštěm, čehož se obvykle dosahovalo přesahem střechy<sup>64</sup> a posazením stěny na kamenný sokl. V oblasti jižní Moravy se hliněná stěna u země ukončovala vymazávaným hliněným žlábkem<sup>65</sup>, který vodu odváděl pryč.

---

<sup>63</sup> Masivní hliněná zeď brání průniku záření

<sup>64</sup> Koncept – přesah střechy jako ochrana hliněné zdi

<sup>65</sup> Koncept – hliněný žlábek jako ukončení zdi

Zároveň pro tuto oblast byly typické doškové střechy s velkým přesahem. Překlady větších otvorů, konstrukce stropu a krovu byly ze dřeva<sup>66</sup>.

V odborné literatuře o lidovém stavitelství ve střední Evropě se obecně uvádějí čtyři výchozí technologické postupy zhotovení celohliněných stěn. Mají svá specifika a lze je rozdělit na dva typy<sup>67</sup>. První typ je stavba nosných zdí, kdy je hlína používána především v její amorfnní podobě. Jako starší postup se obvykle označuje nakládání konstrukce, tedy kladení homogenizované hliněné směsi<sup>68</sup> volně bez podpůrné konstrukce přímo do stěn. Vyspělejší formou byla stavební technika známá jako nabíjení hliněné masy do dřevěného bednění vymezujícího stěny (Novotný 2016).

Druhý typ tvoří budování stěn z předem připravených stavebních prvků. Také tento způsob prošel vývojem, avšak některé techniky byly pravděpodobně dlouhou dobu používány souběžně. Dle archaických dokladů se jednotlivé stavební díly<sup>69</sup> (po důkladném promísení základního materiálu a nezbytných příměsí) formovaly jen v rukách. V podunajské oblasti bývají takto vyrobené dílce nazývány války. Vyspělejší variantou bylo formování stavebních prvků do přesných tvarů (nepálené cihly). V případě vrstvení, nabíjení i použití válek se pracovalo s ještě vlhkým materiálem, který vysychal až ve stavbě. Nepálené hliněné cihly se do stěny naopak pokládaly již proschlé (Novotný 2016) a byly spojovány hliněnou maltou.

#### *Příprava hliněné směsi při tradičním způsobu stavění*

Hlína se těžila na podzim, několik měsíců před zahájením stavby, a přes zimu se nechala odležet v hromadách. Hlína si tím uchovala svoji přirozenou vlhkost, působením mrazu se rozložily jílovité částice, zvýšila se vaznost hmoty a došlo i k vyhnití rostlinných zbytků. Tento proces následně usnadnil promíchání hliněné směsi<sup>70</sup> (Novotný 2016).

Do hlíny se podle zkušeností přidávalo několik základních surovin, které upravovaly vlastnosti směsi při zpracování a sušení, regulovaly její mechanické a plastické vlastnosti. V lidovém stavitelství se jako příměsí někdy užívaly materiály přírodního původu, které měly zmenšit smrštitelnost hlinité masy. Hmota hlíny se doplňovala přísadami buď minerálními nebo organickými. Organické přísady musely být řádně vysušeny a očištěny od zrn. Poměr

---

<sup>66</sup> Hlína se používala jen pro vertikální nosné konstrukce

<sup>67</sup> Dva typy stavění z hlíny - amorfnní hmota a stavební díly

<sup>68</sup> Koncept – homogenizovaná směs

<sup>69</sup> Stavební díly se formovaly buď v rukách nebo do forem

<sup>70</sup> Důkladná příprava směsi dlouho před zahájením stavby

směsi se u tradičních staveb určoval na základě zkušeností v dané lokalitě<sup>71</sup>. Lidé tedy dobře věděli, o jaký materiál se jedná a co je potřeba pro jeho úpravu, aby byl výsledek co nejlepší.

Lokální zdroj vhodné suroviny tzv. hliník<sup>72</sup> (hliniště) byl důležitým místem ve všech oblastech tradičního lidového domu. Jednalo se o těžební místo stavebního materiálu, který měl vhodné vlastnosti a nejlepší jakost v dané lokalitě. V oblastech panonského typu domu šlo především o ložiska sprašové hlíny s typickou okrovou barvou, tzv. žlutici<sup>73</sup>, která se získávala povrchovou těžbou. Vytěžená surovina se používala v různé podobě na novostavby budov, údržbu hliněných objektů (opravy omítek, podlah, mlatů) a na stavbu topenišť. Hliníky byly obvykle ve vlastnictví obce a mohli v nich za určitých podmínek těžit všichni obyvatelé vesnice (Novotný 2016).

### *Vrstvená zeď*

Na našem území se pouze v několika případech dochovala technika vrstvených stěn (Novotný 2016). Vrstvené zdivo je jednou z nejstarších technologií, jež se užívala i ve Francii (bauge) nebo v Anglii (cob) (Žabičková 2003). Hlína, určená ke spotřebě na jeden den prací, byla na vhodném místě zpracována vždy den předem, rovnoměrně se rozprostřela, ztropila vodou, prokopala motykou a zasypala slámou. Poté se musela důkladně promísit pomocí koní nebo volů, případně se materiál prošlapával nohama (Novotný 2016). Takto připravená homogenizovaná plastická směs se nakládala vidlemi, nebo jen ručně, na zeď šířky 45 až 60 cm postupně po vrstvách do výšky jednoho metru. Po částečném vyschnutí se zdi osekaly rýčem a teprve potom se nakládaly další vrstvy. Zdít se začínalo vždy na nárožích nebo křížení stěn tak, že se zároveň provedl i úsek ke křížení přilehlý, k lepšímu provázání stěn (Žabičková 2003). Menší otvory se vysekaly, větší se rovnou vynechávaly pro přeložení dřevěným překladem, potom se stavěl krov a dům se omítal. Taková zeď byla tvrdá a teplá a pokud ji neohrožovala voda, tak i trvanlivá<sup>74</sup> (Mencl 1980).

Stavby z vrstvené hlíny jsou zajímavé možností svého tvarování<sup>75</sup>, umožňují volně vytvářet půdorysně zakřivené zdi bez potřeby jakéhokoli půdorysného modulu, osekávání zdiva do konečného útvaru připomíná práci sochaře (Žabičková 2003).

---

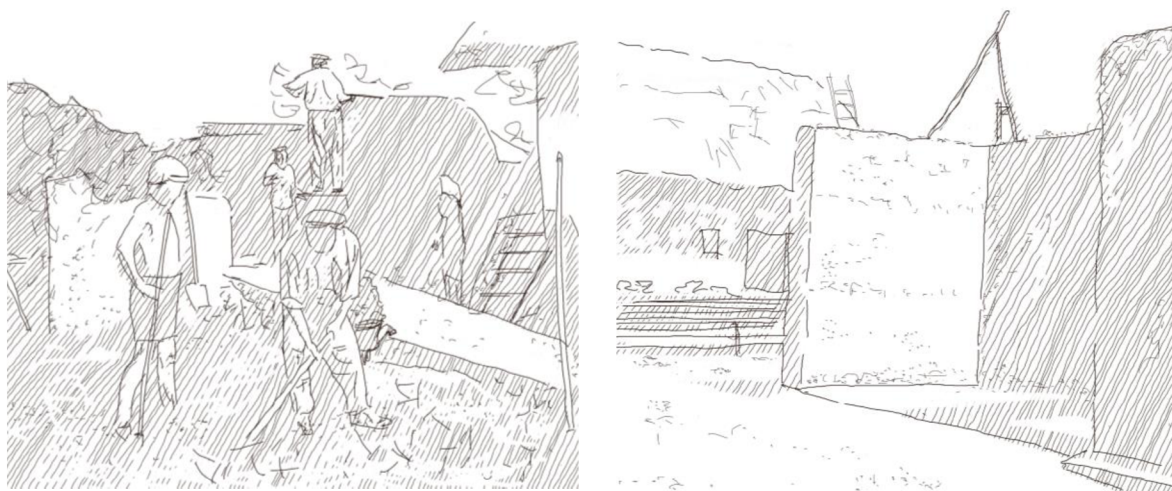
<sup>71</sup> Koncept - lokální hlína – lokální zkušenosti

<sup>72</sup> Koncept - hliník

<sup>73</sup> Barva stavebního materiálu podle lokality

<sup>74</sup> Správně chráněná vrstvená zeď byla tvrdá, teplá a trvanlivá

<sup>75</sup> Vrstvená zeď umožňuje libovolný půdorysný tvar



Obrázek 16 Postup stavby vrstvené zdi (Mencl 1980)

### *Dusaná zeď*

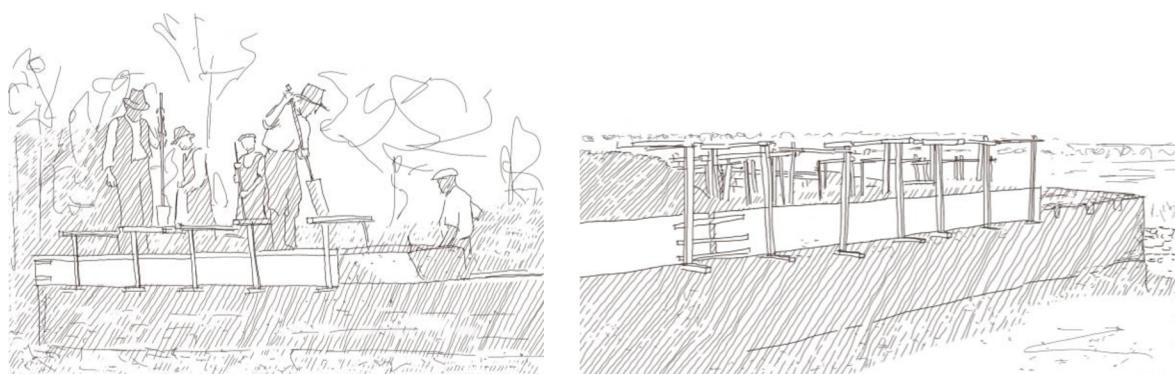
Jedná se o starou osvědčenou technologii, dodnes používanou v mnoha zemích světa. Na našem území byla nabíjená technika rozšířena především v oblastech jihovýchodní Moravy. Použitý stavební způsob odráží i řada lokálních názvů pro tuto technologii: nabíjenica, pěchovanica, pichovanice, sypanice, tlučenica ad. (Novotný 2016). Například ve Francii je tato technika známá pod názvem pisé. Dnes ji známe pod názvem dusaná zeď.

Stavba nabíjená se liší od nakládané tím, že se hliněné-písková směs pěchuje do oboustranného posuvného bednění (šalování), zhotoveného po tesařsku z prken, která se přirozeně obtisknou do povrchu zdi (Mencl 1980). Soudržnosti materiálu se tedy dosahuje důsledným pěčováním zeminy s přirozeným obsahem vlhkosti<sup>76</sup>. Technologie tohoto stavebního způsobu je ze všech známých stavebních řešení nejméně náročná na požadovaný stavební materiál. Na jihovýchodní Moravě se používala kamenitá hlína nebo se základní materiál mísil se slámou (Novotný 2016).

Bednění se skládalo z ramen a přídržného dřeva, označovaného jako spojovací příčky bednicích desek. Příčky se kladly vodorovně kolmo napříč stěnou a z každé strany ji přesahovaly. Do otvorů v přečnávajících koncích byly vsazeny spodní části svislých ramen, která byla oporou pro desky či fošny. Oba horní konce ramen byly spojeny lištou, obdobou spodního přídržného dřeva. Charakteristickým znakem pro tento typ použitého bednění jsou

<sup>76</sup> Důsledné zpracování zajišťuje soudržnost

otvory, většinou dodatečně zamazané, vzniklé po vyražení spojovací příčky ve zbudované stěně (Novotný 2016). Tradiční pěchovadla i konstrukce bednění se lišila v různých oblastech.



Obrázek 17 Stavba nabíjených stěn pomocí bednění (Novotný 2016)

Do bednění o výšce 75 cm se sypala z výšky 12 cm připravená směs. 10 až 12 cm vysoká vrstva se dusala ručním pěchovadlem 6-8 kg těžkým, nebo později i hutnicím kladivem. Výška vrstvy je tedy závislá od typu hutnicí prostředku<sup>77</sup>, přičemž dusání jedné vrstvy musí proběhnout bez přerušení a správně udusaná vrstva zmenší svůj objem asi na 1/3. Hutnění se provádí nejprve ve směru podél bednění, potom příčně a znovu podélně. Pečlivé dusání podél bednění zabezpečí pevnější vnější povrch zdi, který je odolnější proti povětrnostním vlivům. Vodorovnost povrchu vrstev se kontroluje vodováhou. Po zdusání několika vrstev se bednění posouvá výše k dusání dalších vrstev (Žabičková 2003). Otvory oken a dveří se vynechávají hned při stavbě. Povrch se může ponechat bez omítky nebo zdršňuje diagonálním rýhováním aby se na něj přichytila omítka (Mencl 1980).

Dusání je poměrně náročná a zdlouhavá práce, déle vysychají a je také větší riziko chyb při nedokonalém zdusání. Na povrchu stěny je patrný postup práce, použitý materiál i kvalita dusání. V posledním století byla vyvinuta řada moderních bednění i dusadel, princip konstrukce však zůstává nezměněn. V našich zemích bylo zvykem stěny omítat, ve Francii se ponechával vnější povrch často bez omítek a na stěnách domů jsou tak dobře patrné otvory po příčkách bednění a zpevňování ostění otvorů či nároží domů (Žabičková 2003).

Novějším způsobem stavění z dusané hlíny jsou dusané hliněné panely<sup>78</sup>, které se připraví dopředu a na samotné stavbě se pak spojují hliněnou maltou na principu pero a drážka. Tato

<sup>77</sup> Vrstvy jsou typickým prvkem dusaných stěn

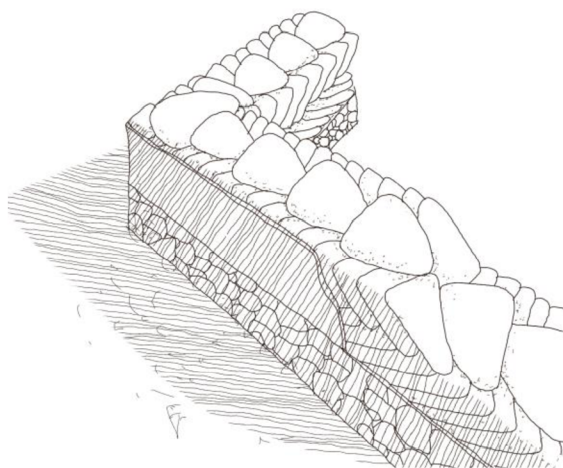
<sup>78</sup> Prefabrikovaná hlína

technologie umožňuje lepší koordinaci výstavby, protože hotové panely se na stavbě jen spojují. Za nevýhodu je možné považovat nároky na prostor výroby panelů, jejich vysychání a náklady na dopravu.

### *Hliněné války*

Stavění z hliněných válek je jednou z nejstarších technologií, kdy se války, tedy ručně zpracované kusy hlíny lepily k sobě na zed'. Pro výrobu válek se užívala povrchová hlína, která se navlhčila a nechala odležet do druhého dne. Ráno se rozšlapávala do konzistence hustého těsta za současného přidávání zbytků ječmenné slámy. Oddělené množství těsta se na zemi posypané plevami vyválelo do tvaru válku (Žabičková 2003).

Známé jsou asi čtyři základní konstrukční způsoby zhotovování válkových stěn. Přitom k vytvoření vazby u válkového zdiva docházelo vždy vzájemným slepením<sup>79</sup> a částečnou deformací konstrukčních prvků, bez ohledu na tvar či použití válku ve vazbě zdiva. Nejstarší války v oblasti Podunají byly nepravidelného tvaru. Konstrukčně jednodušší způsob představovaly stěny z hliněných hrud, jež opticky připomínaly nejjednodušší vazbu kamenných zdí z valounů různých velikostí a tvarů. Takto konstruované zdivo se stavělo buď volně jen odhadem, anebo byl materiál ukládán mezi dvojici fošen. Hliněné hroudy se přitom většinou kladly napříč stěnou a délka jednotlivých stavebních dílů byla určena šířkou zdiva (Novotný 2016).



Obrázek 18 Klasovitě kladené války (Novotný 2016)

Jako příklad vyspělejší techniky používané u válkových staveb lze uvést zdění z hliněných prvků, které byly formovány v ruce do přesnějších tvarů a skládány do zdi šikmo v

<sup>79</sup> Kusové zdivo slepené jen vlastní vlhkostí



pravidelných vazbách<sup>80</sup>. Jednotlivé stavební části v líci stěny připomínaly oválné pecny chleba. Technika šikmého ložení stavebních dílců je starobylá a do jisté míry ji lze považovat za všelidský kulturní projev. Má svůj řád a příčinu bez ohledu na použitý materiál (kvádry, lomový kámen nebo ručně formované prvky z hlíny). Specifický motiv, který opticky připomíná obilný klas, případně tvar rybí kosti, vznikl provázáním dvou řad nad sebou. V češtině se proto lze setkat s termínem klasová vazba, v odborné literatuře ji pak známe jako opus spicatum. Diagonálně kladené části vytvářejí vazbu a podélně svazují celou stěnu. Na lidových stavbách v oblasti Moravy byly konstrukční prvky kladeny ve vodorovných vrstvách šikmo pod úhlem až 60°. Následující vrstva mohla mít stejný sklon jako předchozí (i několik řad nad sebou). Nejčastěji se však úkos v jednotlivých vrstvách střídal (Novotný 2016). Zpravidla se uložily nejdříve oba války zevní, střední se pak vtlačil mezi ně. Stavba měla obvykle 16-20 řádků, čemuž odpovídala i doba výstavby; jeden řádek se prováděl jeden den. Vnější povrch stěny se na straně vystavené dešti někdy omazával (Žabičková 2003). Díky své esteticky působivé charakteristické struktuře a četným dokladům se jedná o nejznámější vazbu válkového zdiva (Novotný 2016).

Posledním příkladem válkového zdiva jsou hliněné stavby z prvků trojúhelníkového tvaru. Jednotlivé části zdiva byly ve stěnách sestavovány do klasovité vazby. Jedná se o zcela netypickou vazbu stěny, tvořenou přibližně stejně velkými stavebními prvky ve tvaru rovnostranného trojúhelníku, zhotovované zjevně jen odhadem v rukách<sup>81</sup>. Ve středu uložený díl plnil funkci vazáku a současně opory pro kosé války následující vrstvy. Středový díl překrýval a převazoval nakoso položené války ve vrstvě pod ním a byl kladen tak, aby kopíroval směr sklonu diagonálně kladených prvků spodní řady. Jednalo se o složitou a promyšlenou vazbu stěny – nakoso kladené postranní války byly ve středu stěn navíc ještě vzájemně přeloženy a dotlačeny k sobě. V jednom směru sklonu válek byly vnitřní války překryty vnějšími a v následné vrstvě (v protiběžném sklonu) byly překryty války vnější těmi vnitřními. Na místo překrytí pak dosedl středový díl, který svou vahou provázal spojení postranních válek pod ním (Novotný 2016).

Hliněné války jsou dnes již historickou technologií a v současném stavebnictví se běžně na našem území nevyužívají. Jejich nevýhodou je velká pracnost a nároky na dovednost řemeslníků. Stěna z válek se musela také velmi dobře chránit před erozí. V mnoha

---

<sup>80</sup> Formy hliněného kusové zdiva byly pravidelné i nepravidelné

<sup>81</sup> Formování rukama

rozvojových zemích se však podobná technologie stavby z hliněných ručně zpracovaných dílců stále používá.

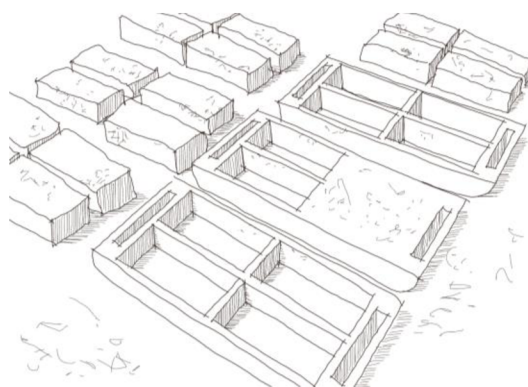
### *Hliněné cihly*

Hliněným nepáleným cihlám se na našem území, podle použité přísady, říkalo též vepřovice nebo kotovice (z německého Kot). Princip zdění spočíval v tom, že se stavělo ze staviva, které bylo proschlé a kladlo se na hliněnou maltu<sup>82</sup>. Nepálené cihly byly na rozdíl od hliněných válků v naprosté většině již přesně tvarovány v dřevěných formách<sup>83</sup>. Starší variantu pravděpodobně představovaly prvky čtvercového průřezu, rozměrů přibližně 14×14×28,5 cm. Tyto stavební prvky se již blížily rozměrům běžných pálených cihel. I vazby zdiva používané u tohoto druhu staviva korespondovaly s běžnými typy známých zednických vazeb (Novotný 2016).

Lepší variabilita konstrukčních řešení mohla za rozšíření tohoto druhu nepáleného staviva a vytlačení předchozích konstrukčních postupů. Stavba z válků se mohla jevit jako limitující především ve smyslu možné kombinace do hloubky zdiva nebo samostatných konstrukcí (například kleneb). Na rozdíl od pálených cihel měly ty nepálené výhodu v nízké pořizovací ceně a snadné dostupnosti – daly se snadno vyrábět i podomácku (Novotný 2016).



Obrázek 20 Sušení nepálených cihel  
(Mencl 1980)



Obrázek 19 Cihly ve čtyřkomorových formách  
(Žabičková 2003)

<sup>82</sup> Kusové vyschlé stavivo spojované maltou

<sup>83</sup> Umělá forma pro přípravu nepálených cihel

Hlína nakopaná v hliníku za vsí se dvakrát překopala, rozdrobila, prolila vodou a prošlapala s úhrabky či se slaměnou řezankou; pomocí formy se z ní dělaly poměrně vysoké krátké cihly středověkého buchtovitého tvaru, vysušily se na trávníku a pak se stavěly „na štorc“ do figur pyramidálních i krychlových (tzv. „rakášů“) a pokrývaly proti dešti slámou. Z těchto surových nepálených cihel se potom zdilo, a to buď tak, že se jich ve všech řadách užívalo jako vazáků, takže se v průčelí objevují jen jejich čela, nebo se střídaly vrstvy vazákové a běhounové, takže vytvářely figury křížů. Otvory oken a dveří se vynechávaly a překládaly prkny nebo fošnami; malé průduchy se klenuly dvěma vzájemně do trojúhelníku vzepřenými cihlami<sup>84</sup>. Cihly se spojovaly hliněnou maltou, zeď se omítala hlínou, opět s charakteristickým rýsováním, někde i vápennou omítkou, nebo zůstalo režné (Mencl 1980).

Později se směs už dusala do dřevěných forem umístěných na podložce. Někdy se užívaly formy vícekomorové pro výrobu několika cihel najednou. Hlína se do formy sypala v max výšce 12 cm a rovnoměrně udusala kovovým pěchem o hmotnosti cca 6 kg s dřevěnou násadou dlouhou 1,2 až 1,3 m. Po udusání se odstranila přebytečná hlína, povrch se uhladil a forma se odejmula, cihla se pak nechala ležet na podložce k vysychání po dobu 2 dnů, potom se cihly přemístily a uložily se na boční stěnu s mezerami 3 cm. Vysychání bylo pozvolné, cihly se pravidelně musely obracet, chránit před prudkým sluncem a deštěm<sup>85</sup>. Po 3-4 týdnech vysychání, kdy proběhlo smrštění, bylo možné cihly použít pro stavbu (Žabičková 2003).

Stěny se zdily ze suchých cihel z nepálené hlíny na hliněnou maltu připravenou z polotučné až tučné hlíny ostřené hrubým pískem stejnoměrně zrnitým, aby bylo možné provádět tenké ložné spáry. Při použití jemnozrnné směsi pro výrobu cihel šlo maltu připravit přidáním vody do směsi. Při zdění bylo třeba zachovávat správnou vazbu cihel podle stejných pravidel jako pro cihly pálené (Žabičková 2003).

V dnešní době se dává přednost cihlám lisovaným, které vykazují lepší zhutnění a také vyšší pevnosti, odolnost vůči vodě a vlhkosti než cihly vyráběné ručně. Lisy se vyrábějí hydraulické nebo ruční. U ručních lisů je velikost zhutnění dána tlakem v ústí lisu. Je třeba počítat s tím, že vysokotlaké lisy nemohou zpracovávat lehčenou zeminu, protože stlačením by mohlo dojít k rozdrčení lehkých výplní nebo by se po vyrobení cihel lisem dočasně zmáčknutá výplň mohla vracet do původního tvaru a tím by porušila soudržnost cihly. Lisováním by tedy došlo k prudkému zmenšení obsahu pórů a dutin, které jsou u lehčené zeminy žádoucí. Právě

---

<sup>84</sup> Vzepření nepálených cihel místo použití překladu

<sup>85</sup> Nároky na prostor a čas při sušení nepálených cihel

vysoký tlak v ústí lisu je příčinou, proč se do lisu ukládá hliněná směs pouze s malým obsahem vlhkosti. Platí zásada, že s rostoucím tlakem lisu se snižuje potřebná vlhkost směsi. Relativně malá vlhkost umožňuje v některých případech ukládat vylisované cihly přímo do zdiva bez použití malty (Žabičková 2003).

Výhodou tohoto způsobu stavění je rychlost, nejsou zapotřebí prostory a čas potřebné k sušení cihel<sup>86</sup>, zavlhle cihly se dobře spojí a po určité době může dojít k jejich částečnému zmonolitnění. Nevýhodou je, že vlhkost obsažená v cihle nemusí být vždy zanedbatelná a potom cihla, která nemá jinou možnost smršťování, se smršťuje přímo ve zdivu za vzniku trhlin, obvykle svislých, probíhajících po celé výšce stavby. Proto lze řádné vysušení cihel doporučit, i když je jejich vlhkost po vyrobení nízká (Žabičková 2003).

Jiným způsobem výroby cihel, který nevyžaduje drahou technologii, je výroba cihel dusáním hlíny v pásu širokém na délku cihly a vysokém na výšku cihly. Po zdusání se cihly z pásu odsekávají. Tento způsob vyžaduje vyšší vlhkost směsi a jemnozrnnou směs, pevnosti cihel jsou nižší než u cihel lisovaných a jejich tvar a velikost se mohou lišit (Žabičková 2003).

#### Další technologie použití hlíny ve stavbě

Mezi další možnosti použití hlíny patří mazanice a omazávky, kde se hlína používá jako nenosná výplň<sup>87</sup> na nosné dřevěné konstrukce např. vyplétané proutí nebo hrázděné zdivo. K omazávání vyztužené stěny ve vrstvách 10 cm i tlustších se používala jílovitá hliněná směs obvykle smísená se slámou nebo jinými rostlinnými vlákny. Pro přichycení omazávky roubených staveb sloužily dřevěné kolíky (ježkování). Hliněná omazávka srubu měla zároveň funkci izolační a protipožární<sup>88</sup>. V našich podmínkách byly pletené stěny obvykle tvořené kostrou vertikálních tyčí vodorovně propletených ohebným proutím, případně i dalšími materiály obdobných vlastností. Pro nenosnou výplň dřevěného skeletu je možno užít většinu již vyjmenovaných technologií. Jejich hlavní přednost je v tom, že hliněné výplně se provádějí po překrytí nosné kostry střechou a hlína tak není porušována klimatickými vlivy, jinou výhodou z dnešního pohledu je skutečnost, že hliněné stavivo není nutno podrobovat náročným zkouškám pro zjištění jejich mechanických vlastností (Žabičková 2003).

Slaměnohliněné konstrukce s vysokým obsahem jílů a dlouhými vlákny slámy, známé i z Francie „terre-paille“ a z Anglie „straw-clay“, se nejvíce používají v kombinaci se dřevem ve

---

<sup>86</sup> Lisované cihly umožňují rychlejší výstavbu

<sup>87</sup> Hlína jen jako doplněk k nosné konstrukci

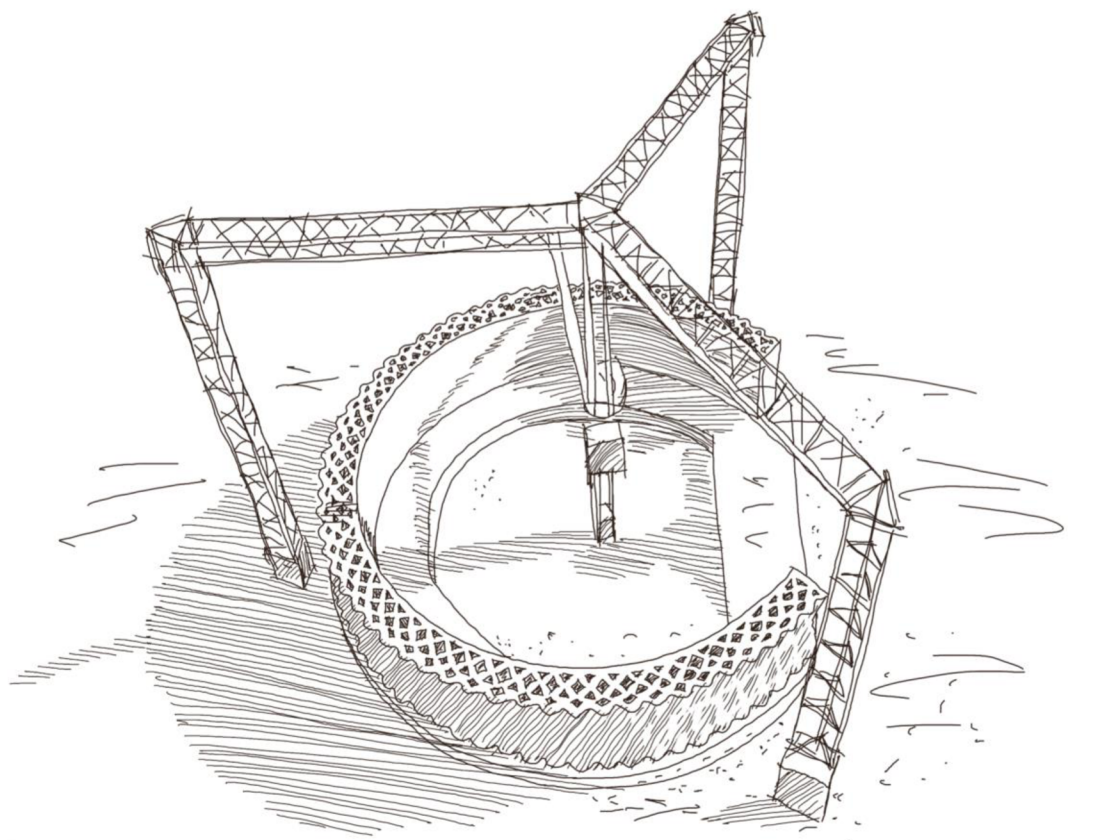
<sup>88</sup> Hlína jako izolační materiál

stěnách i stropech. Místo slámy se mohou požit i traviny nebo rákos. U nás je možno tuto techniku najít u stropních konstrukcí nad hospodářskými místnostmi, které tvoří dřevěné tyče omotané slámou zpevněnou jílovou směsí, obdobně byla tato technika používaná i ve stěnách. Tato technologie je na pomezí hliněných a slaměných staveb, u nichž sláma tvoří výplňovou konstrukci dřevěného skeletu (Žabičková 2003).

Hliněné výplně do nosné kostry skeletového nebo hrázděného zdiva se připravují s větším množstvím vody a obvykle se nanášejí upravenými strojními omítačkami. Výplně obsahují vysoké množství vylehčujících látek a jíł obsažený ve směsi zajišťuje její soudržnost. Nenosné hliněné výplně je možno v zahraničí koupit ve formě pytlovaných směsí, připravit pouhým promícháním po přidání vody a nanášet stříkací pistolí. Výplně je možno použít v konstrukci stěn, stropů i střechy. Do stropů se užívají výplně hutnější s určitou pevností, která se reguluje podle požadavků návrhu. V zahraničí, např. v Německu, se připravují tepelněizolační výplně v podobě prefabrikovaných desek nebo bloků s vysokým obsahem slámy nebo jiného lehčiva, které se do stavby zabudovávají jako prefabrikáty. Bloky silně vylehčené někdy na pohled připomínají slaměné lisované balíky potřené hliněnou kaší a vytvářejí určitý přechod ke stavbám ze slámy, kde sláma je nenosným stavivem a tvoří výplň nosné konstrukce (Žabičková 2003).

Pro výrobu malty se tradičně používala směs, ze které se vyráběly cihly, bylo však třeba vyloučit hrubozrnné součásti, přidat vodu a někdy i jílovou složku. Hliněné omítky vyžadují jemnější zrnění směsi, ne každá hlína je ideální pro omítky, a proto se musí počítat s nutností úpravy směsi stabilizací. Pokud má hlína dobré složení a vlastnosti, stačí směs smíchat pouze s vodou, případně s pískem. Nanášení se provádí buď ručně s pomocí náradí nebo strojně omítačkami. Pro strojní nanášení je vhodný větší přídavek vody, jejíž množství je ovšem třeba korigovat s ohledem na rostoucí tvorbu smršťovacích trhlin se zvyšujícím se obsahem vody. Proti tvoření trhlinek se do omítek mohou zamačkat sítě na bázi přírodních vláken, které smršťovací trhlinky zachytí při jejich vzniku a zamezí jejich růstu (Žabičková 2003). Hliněnou omítku lze koupit jako pytlovanou směs pro omítku hrubou, jemnou a velmi jemnou. Do hliněné omítky je také možné umístit otopný systém. Výhodou hliněné omítky v interiéru je možnost jejího výtvarného ztvárnění, pozitivní vliv přírodních barev jíłů a v neposlední řadě především udržování vlhkostní rovnováhy.

Aktuálním tématem v použití nepálené hlíny ve stavebnictví je 3D tisk neboli aditivní výroba<sup>89</sup>, kdy je dům vytvořen pokládáním souvislých vrstev materiálu. Prvním krokem pro tisk hliněného domu je vytvoření přesného 3D modelu v počítači a jeho převod do formátu, který přečte software tiskárny. Následně je potřeba připravit konstrukci pro pohyb ramene s tryskou. Hliněná směs se přímo v místě stavby mechanicky promíchá se slámou a s přídavkem vody se dopravuje ramenem s tryskou, pomocí předem naprogramovaného systému, na stanovené místo. Rameno tedy kontinuálně vypouští hliněnou směs a tvoří tak zeď. Podobně jako u ostatních tradičních technologií je i u 3D tisku potřeba nechat hliněnou zeď proschnout. Mezi nevýhody patří velká náročnost přípravných prací, včetně vytvoření přesného bezchybného 3D modelu a stavba přenosné konstrukce pro pohyb ramena. Výhodou je naopak úspora času při samotné realizaci, minimalizace chyb při provádění stavby (díky bezchybnému 3D modelu), minimální nutnost lidské síly a náklady na dopravu.



Obrázek 21 3D tisk hliněného domu (3D Wasp 2020)

---

<sup>89</sup> Koncept – aditivní výroba

#### 4.1.5 UDRŽITELNOST

Udržitelný rozvoj je významné téma posledních let, které zasahuje téměř do všech odvětví společnosti. Stavební průmysl spotřebuje celosvětově 36 % energie a vyprodukuje 39 % emisí oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>) (Abergel et al. 2017), tedy více než jakékoli jiné odvětví.

Udržitelná architektura je charakterizována nižší spotřebou energie, materiálů, vody a dalších zdrojů a využíváním takových materiálů, které mají nižší negativní dopady na životní prostředí<sup>90</sup>. Může se zdát, že nejekologičtější jsou budovy, které mají solární panely na střeše, větrné turbíny atd. Je to ale přesně naopak. Nejšetrnější k životnímu prostředí jsou budovy zpravidla tiché a nenáročné, které chytře využívají denní osvětlení, přirozenou ventilaci a další pasivní formy řízení vnitřního prostředí<sup>91</sup> (Bothwell 2015). Takové stavby jsou opravdu ze své podstaty pasivní a fungují tak právě díky chytrému uspořádání a formě, nezávisle na technologiích, které by jinak vyvažovaly pasivní protiklady ve stavbě.

Hlína je jeden z nejstarších stavebních materiálů na světě. Z nepálené hlíny se stavělo již před deseti tisíci lety, na našem území se používání hlíny ve stavebnictví rozšířilo především v 17. a 18. století (Žabičková 2003). Přitom je jasné, že udržitelnost stavebních materiálů závisí na místním kontextu (Caldera et al. 2011). Dnes se na našem území nachází tisíce staveb, kde je použita nepálená hlína. Zvýšenou poptávku po přírodních materiálech lze mimo jiné přičíst i zájmu lidí o vlastní zdraví.

##### 4.1.5.1 Udržitelná hliněná architektura

Celosvětově nejrozšířenějšími systémy pro posuzování udržitelnosti výstavby jsou BREEAM a LEED, k dalším pak patří například Minergie, Green Building Standards a v neposlední řadě český SBToolCZ (Bažík 2018b).

BREEAM je původem britská certifikace, jejíž název v překladu znamená „metoda environmentálního hodnocení vyvinutá organizací BRE“ a která byla poprvé publikována již v roce 1990. BREEAM hodnotí stavby v následujících kategoriích: management, zdraví a pohoda, energie, doprava, voda, materiály, odpad, využití půdy a ekologie, znečištění a inovace (BREEAM 2018).

---

<sup>90</sup> Koncept – malé negativní dopady na životní prostředí

<sup>91</sup> Koncept – pasivní řízení vnitřního prostředí je šetrnější než aktivní

O deset let starší je americký systém hodnocení budov LEED, v překladu „vedení v oblasti energetiky a životního prostředí“. Certifikace LEED posuzuje kritéria ekologie, zdraví, vodní zdroje, biodiverzita, recyklace materiálů, ekonomika a sociální aspekty (LEED 2018).

V České republice existuje od roku 2010 certifikace udržitelnosti staveb SBToolCZ, která na rozdíl od světových nástrojů plně podporuje české prostředí, a to z hlediska klimatu, stavebních materiálů a legislativy. SBToolCZ hodnotí kritéria environmentální, sociálně-kulturní a ekonomická (Vonka 2011).

Na základě analýzy výše zmíněných kritérií, která se posuzují u trvale udržitelné výstavby, vyšlo najevo, že udržitelnou hliněnou architekturu lze zkoumat v následujících kategoriích: znečištění životního prostředí, vliv na zdraví a sociální aspekty (Bažík 2018b).

#### Znečištění životního prostředí

Design budovy by měl vždy vycházet z klimatických podmínek, sociálního prostředí a místní tradice, tyto kvality dříve běžně reflektovala regionální lidová architektura. Pro udržitelnou architekturu je přitom důležité používání místních obnovitelných materiálů (Bažík 2018b).

Základem hliněného stavebního materiálu je jílové pojivo, které je nositelem soudržnosti. Jílová ložiska se jen na našem území nacházejí na 124 místech, mimoto je jíl v určitém množství obsažen ve všech soudržných zeminách<sup>92</sup>. Při využití místních zdrojů hlíny se eliminuje značná část emisí, která by jinak připadla na dopravu (Bažík 2018b).

#### Vliv na zdraví

Pokud je hlína použita ve stavbě bez umělých přísad a bez poškození např. plísněmi, je recyklovatelná. Lze ji navrátit do přírody nebo z ní vytvořit novou směs a použít ji znovu<sup>93</sup> (Bažík 2018b).

Významnou vlastností jílu je schopnost absorbovat a uvolňovat vlhkost (Minke 2007). Díky tomu hlína použitá na povrchu dokáže regulovat vlhkost v místnosti, tedy udržovat ji v takovém rozmezí, které je člověku nejpříjemnější. K tomuto přirozenému jevu není potřeba žádné další technologické zařízení. Nepálená hlína má velmi dobré akumulární schopnosti, při hodnocení kritéria tepelné pohody obstojí. Hlínu lze velmi kladně hodnotit také z hlediska čistoty prostředí a zdravotní nezávadnosti (Janík et al. 2016).

---

<sup>92</sup> Hlína je přirozeně všude kolem nás

<sup>93</sup> Hlínu lze používat v cyklech



### Sociální aspekty

Nepálenou hlínu používají při novostavbě převážně lidé nadšení pro zdravé bydlení, kteří si mezi sebou předávají znalosti a zkušenosti. Hlína tedy alespoň v malé míře funguje jako akcelerační faktor vzniku místních komunit. Pro použití hlíny na stavbě je důležitá dobrá znalost nejen materiálu, ale i klimatických podmínek a sociálního zázemí, přičemž je důležité pochopit kontext místa pro správnou aplikaci materiálu (Bažík 2018b).

Podle kritérií BREEAM může stavební materiál ovlivnit až z 55 % celkové hodnocení udržitelnosti stavby. Dle LEED až z 60 %, podle SBToolCZ až z 61 %. Je tedy jasné, že stavební materiál je významným faktorem trvalé udržitelnosti architektury (Bažík 2018b).

Hliněnou architekturu lze považovat za udržitelnou za určitých podmínek. Hliněný stavební materiál by měl být ve stavbách používán bez umělých přísad, aby byla možná následná recyklace. Hlína by měla být ve stavbě použita spíše tam, kde má opodstatnění<sup>94</sup>. Tedy v oblastech s vhodnou stavební hlínou, kde má kulturní tradici (Bažík 2018b).

#### **4.1.5.2 Cirkulární ekonomika**

Cirkulární ekonomika je strategie udržitelného rozvoje, která vytváří funkční a zdravé vztahy mezi přírodou a lidskou společností. Dokonalým uzavíráním toků materiálů<sup>95</sup> v dlouhotrvajících cyklech oponuje našemu stávajícímu lineárnímu systému, kde jsou suroviny přeměněny na produkty a po skončení jejich krátké životnosti spáleny nebo skládkovány (Institut Cirkulární Ekonomiky 2020).

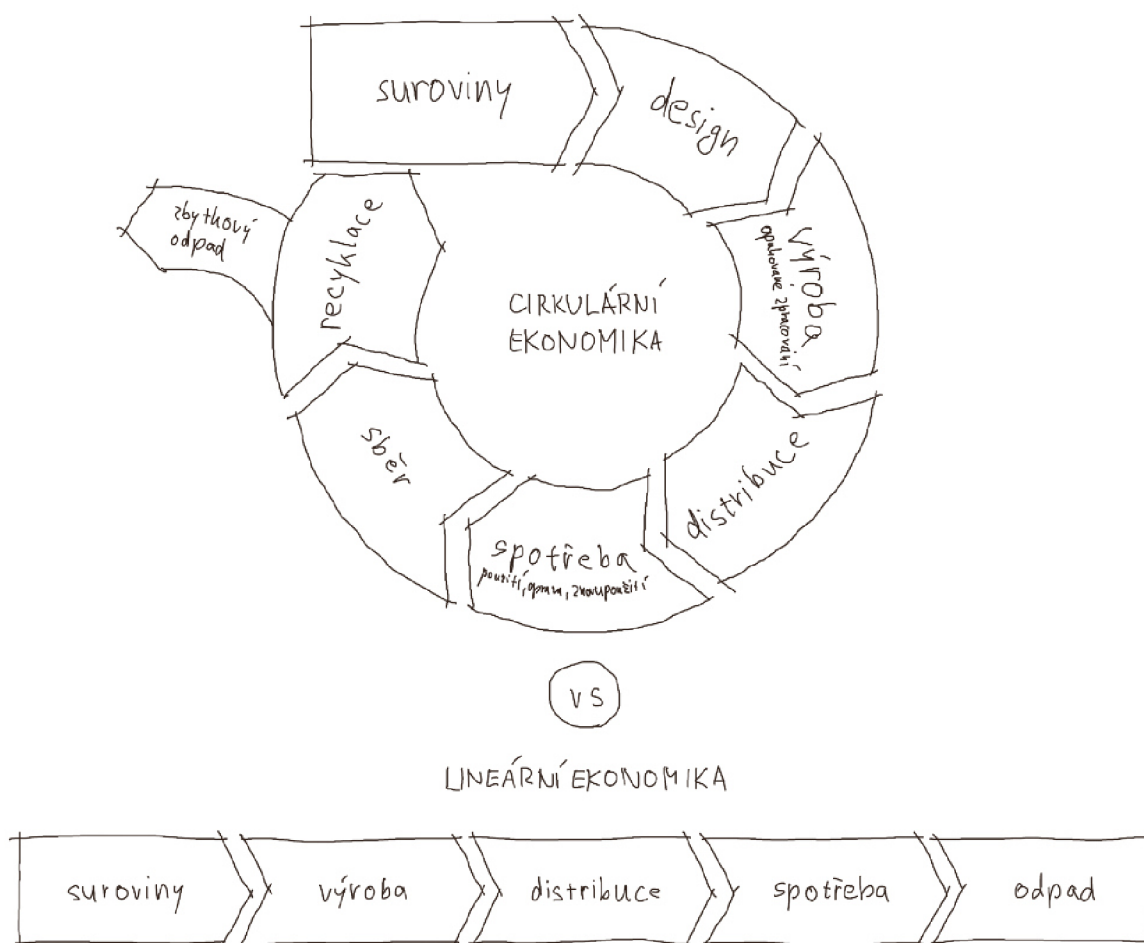
Koncept cirkulární ekonomiky je součástí udržitelného rozvoje, zabývá se zvyšováním efektivity produkce za účelem zlepšení životního prostředí a kvality lidského života. Klíčové je, aby používané materiály byly navzájem odděleny do dvou nezávisle cirkulujících okruhů<sup>96</sup>, jež se řídí rozdílnou logikou. První operuje s látkami organického původu, které jsou snadno odbouratelné a není u nich, proto problém navrátit je zpět do biosféry. Druhý operuje se syntetickými látkami, jež by měly být do produktů vkládány tak, aby bylo možné je z nich následně extrahovat a opět použít, a nebylo tak nikdy nutné je do biosféry navracet (McDonough a Braungart 2002).

---

<sup>94</sup> Lokální hlína

<sup>95</sup> Koncept - cyklus

<sup>96</sup> Oddělení organických a syntetických materiálů již na počátku při vstupu



Obrázek 22 Cirkulární vs. lineární ekonomika (Institut Cirkulární Ekonomiky 2020)

Cradle to Cradle design je přístup, který na výrobky i výrobní proces klade maximální možné nároky. Design by měl umožňovat krátkodobé užití, pohodlí i estetický požitok s vědomím<sup>97</sup>, že materiály přetrvávají i po dosloužení výrobku. Suroviny tak cirkulují v nekonečném výrobním cyklu, kde neexistuje odpad. Za inspiraci si často bere přírodu, říkáme, že je biomimetický<sup>98</sup>. Tento přístup k designu je nezbytný pro implementaci principů cirkulární ekonomiky (McDonough a Braungart 2002).

#### 4.1.6 SPOLEČNOST

Za posledních sto tisíc let ušlo lidstvo pořádný kus cesty. Začali jsme jako primitivní sběrači a lovci, kteří se sotva nasytili, a dnes tvoříme komplexní propojená společenství jedinců živočišného druhu, jenž si podmanil planetu a má osud ve svých rukou (Eagleman 2017). Dnes žije na světě 7,8 miliardy lidí a toto číslo se neustále zvyšuje. Rostoucí počet obyvatel zvyšuje poptávku po zdrojích, což v současnosti vede k degradaci životního prostředí. Lidé

<sup>97</sup> Dlouhodobý efekt výrobky pro krátkodobé použití

<sup>98</sup> Biomimetika jako přístup k navrhování

jsou jedním z hlavních témat pro definování aktuální architektury, protože architektura je vždy odrazem stavu společnosti<sup>99</sup>. Životní styl obyvatel rozvinutých zemí také prošel značným vývojem, nyní trávíme ve vnitřním prostředí většinu svého života a proto nás jeho kvalita velmi ovlivňuje. Lidé také daleko více cestují a nezůstávají již celý život na jednom místě.

Do dnešní podoby se člověk vyvíjel po několik milionů let z rodu homo, druh sapiens pak začal převládat nad ostatními druhy někdy před 100 000 lety. Kognitivní revoluce homo sapiens před 70 000 lety pomohla rozšíření druhu z jihovýchodní Afriky po celé zemi. Po celou tuto dlouhou dobu žil člověk jako lovec a sběrač. Lidé jsou ze své podstaty tvorové, kteří chtějí poznávat. Teprve před 10 000 lety se lidé začali trvale usazovat na jednom místě. Zemědělská revoluce pro lidi však znamenala past, je to období, kdy si pšenice domestikovala člověka (Harari 2018).

Někteří lidé mají stále představu, že je nezbytné během svého krátkého života postavit vlastními silami vlastní dům. Často ale neberou v potaz, jak složitý a komplexní obor stavitelství je a mají pocit, že tento úkol – postavit dům, zvládne kdokoliv.

*„Ještě před 100 lety bylo svépomocné bydlení založené na vzájemné pomoci sousedů, na místních materiálech. Dnes se svépomocní stavitelé<sup>100</sup> pouští do stavby často na základě standardizovaného stavebního projektu, s unifikovanými materiály z velkoobchodů a hypotečním úvěrem“.* (Samec et al. 2019)

V roce 2018 provedl Jiří Nekl z VUT dotazníkový průzkum na stavbu/rekonstrukci domu svépomocí, ze kterého vyplynulo, že 33% svépomocných stavitelů očekává finanční úspory a 23% si chce vlastní dům postavit vlastními silami. Půlka respondentů přitom byla vysokoškolsky vzdělaná ve věku 25-40 let (Nekl 2018).

Dům postavený svépomocí za minimální náklady pak díky použitým konvenčním materiálům svou životností daleko přesahuje život svého majitele. Zároveň nízkou dispoziční variabilitou, jež původně v návrhu není řešena, protože dům má sloužit pouze svým obyvatelům, neumožňuje udržitelné a flexibilní změny v průběhu dalších desetiletí životnosti stavby. Rekonstrukce stavby přitom zvyšuje průměrně náklady o 20% oproti novostavbě.

---

<sup>99</sup> Koncept – architektura jako odraz stavu společnosti

<sup>100</sup> Svépomocné stavění je trend českého prostředí

Lidé by tedy mohli zodpovědněji přistupovat i ke stavbě. Proces dekonstrukce<sup>101</sup> by měl být stejně relevantní jako konstrukce a v budoucnu by mohl být součástí projektové dokumentace stavby (Heringer et al. 2019).

#### 4.1.6.1 Sdílení

Sdílení znamená společné užívání zdroje nebo prostoru. Sdílení je základní složkou lidské interakce, posiluje sociální vazby a zajišťuje pohodu člověka.

Kromě zjevných případů sdílení, které lze pozorovat při lidské činnosti, lze i v přírodě nalézt mnoho příkladů. Například když organismus přijímá potravu nebo kyslík, jeho vnitřní orgány jsou navrženy tak, aby rozdělovaly a distribuovaly spotřebovanou energii a dodávaly ji těm částem těla, které to právě potřebují (Poquérusse 2012).

V dnešním globálně propojeném světě hraje stále větší roli sdílení, ať už se jedná o sdílené koloběžky, kola nebo auta, sdílené kancelářské prostory, a nakonec i sdílené bydlení. Hudební i filmový průmysl přenesl během posledních deseti let většinu tvorby do sdílených služeb, kde uživatelé platí paušální částky za obsah, aniž by fyzicky cokoliv vlastnili. Také architektonické nástroje – softwary používané k tvorbě domů se již nekupují ale jen pronajímají. Sdílení je tedy aktuálním společenským tématem, jež se promítá téměř do všech oborů.

Částečně sdílení funguje i ve stavitelství, kdy si stavebníci pronajímají těžší stavební stroje nebo auta na omezenou dobu výstavby. Sdílenou stavební techniku lze také pozorovat na projektu Gaia, kdy se předpokládá půjčování konstrukce pro 3D tisk<sup>102</sup>.

U větších staveb se sdílení propisuje i do projektování. Už i na našem území se vyskytují, po vzoru německých Baugruppe, skupiny lidí, kteří společnými financemi a silami budují vlastní bydlení. Taková skupina dokáže namísto developera nebo jednoho investora společně za pomoci projektanta postavit například bytový dům.

#### 4.1.7 TECHNOLOGICKÝ POKROK

Nepálená hlína prošla ve stavebnictví dlouhým vývojem, který byl náhle přerušen na přelomu 19. století a až posledních dvacet let se hlína opět začíná více používat ve stavbách. Při těžbě a zpracování konvenčních stavebních materiálů se běžně používají stroje, které zefektivňují a zrychlují práci. Technologický pokrok a automatizace výroby stavebních prvků z nepálené

---

<sup>101</sup> Koncept – projekt dekonstrukce

<sup>102</sup> Sdílené nástroje pro stavbu domu

hlíny je však stále teprve na počátku. Pokud má být nepálená hlína opět jedním z hlavních stavebních materiálů pak je na zvážení využití dostupných technologií, i když se jedná o tradiční přírodní materiál.

Nepálená hlína, jejíž nejdůležitější složkou je jíl se na našem území nachází v určitém poměru téměř všude. Jíl se běžně těží a zpracovává pro výrobu pálených cihel na několika místech v ČR. Výroba nepáleného stavebního materiálu probíhá v takových cihelnách jen jako doplňkový produkt<sup>103</sup>, který rozšiřuje portfolio firmy, i když odbyt není nijak velký. Nepálené lisované (zelené) cihly lze tedy vyrobit i aplikovat strojově v omezených podmínkách, dalšímu rozšíření brání absence norem. Naopak o pytlované směsi na hliněné omítky je stále větší zájem, a i v našich podmínkách se najde několik výrobců. Hliněné omítky lze u nás momentálně vyrábět, míchat i aplikovat strojově.

Jak již bylo zmíněno výše, existují i další možnosti výroby a užití nepáleného materiálu ve stavbách. Například prefabrikované dusané panely nebo 3D tisk<sup>104</sup>, kterým se u nás zatím téměř vůbec nedostává pozornosti.

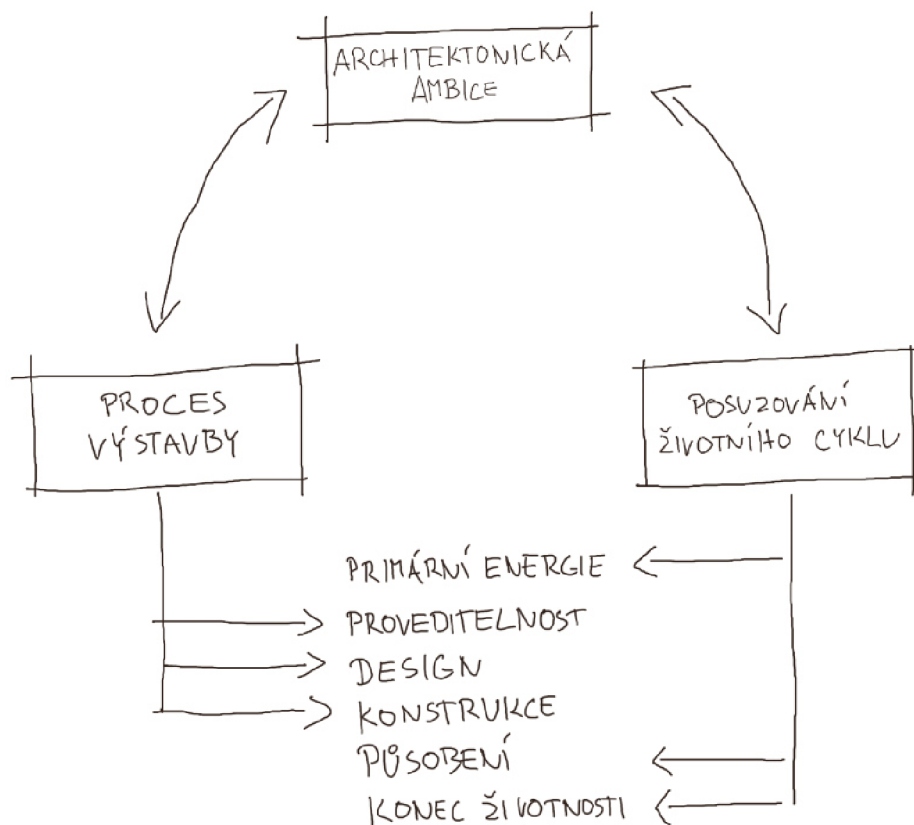
Architekt a výzkumník Quang Truong navrhuje ve své knize rámec pro lepší pochopení zapojení materiálových inovací. Tento rámec je strukturován na třech základních pilířích porozumění: architektonická ambice, proces výstavby a perspektiva životního cyklu<sup>105</sup>. Architektonická ambice vyplývá z předpokladu, že existuje nekonečné množství odlišných architektonických záměrů, které se liší podle použití, uživatelů, místa, designérů a stavitelů. Tím se odlišuje architektura od ostatních produktů, u nichž může být použití užší a cíle jsou více zřejmé. Druhým základním kamenem je správné pochopení procesu navrhování, projektování a výstavby, který se může zdát s mnoha různými zúčastněnými stranami komplikovaný, ale pro pochopení toho, jak materiál a technologie zapadají do tohoto kolaborativního procesu, je zásadní. Třetím základním kamenem je perspektiva rozšířeného životního cyklu, která měří dopad jakéhokoli materiálu nebo technologie od jejich vzniku až po konec života. Z tohoto pohledu se bude muset zohlednit cena stavebních materiálů a technologií ve vývoji, instalaci, použití a demontáži (Truong 2020).

---

<sup>103</sup> Produkce nepálených výrobků jen okrajově

<sup>104</sup> Zapojení novějších technologií do procesu výstavby s nepálenou hlínou již probíhá

<sup>105</sup> Tři pilíře – tři koncepty – architektonická ambice, proces výstavby, životní cyklus



Obrázek 23 Rámec tří pilířů porozumění (Truong 2020)

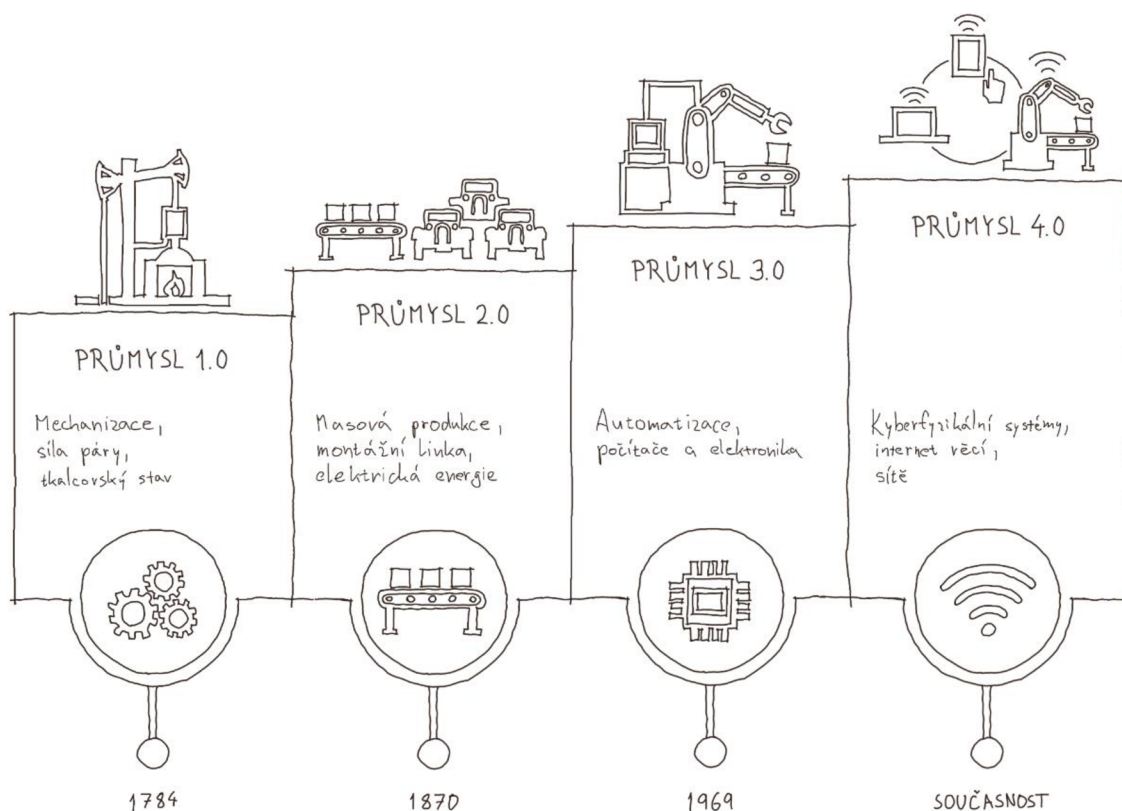
#### 4.1.7.1 Průmysl 4.0

Čtvrtá průmyslová revoluce je právě probíhající transformace tradičního průmyslu vlivem moderních technologií. Pojem průmysl 4.0 poprvé představil Klaus Schwab v roce 2015. Je založená na kyber-fyzikálních systémech, internetu služeb, internetu věcí a digitální ekonomice.

Existují čtyři hlavní oblasti, na které má čtvrtá průmyslová revoluce vliv: očekávání zákazníků, vylepšování produktů, inovace<sup>106</sup> a organizační formy. Zákazníci jsou stále více v epicentru ekonomiky, kdy se téměř vše týká zlepšování služeb. Fyzické produkty a služby mohou být nyní vylepšeny digitálními inovacemi, které zvyšují jejich hodnotu. Díky novým technologiím se stávají aktiva odolnějšími a pružnějšími, zatímco analytické inovace mění způsob jejich údržby. Svět zkušeností se zákazníky, datové služby a výkonnost aktiv prostřednictvím analýzy vyžaduje nové formy spolupráce, zejména s ohledem na rychlost

<sup>106</sup> Inovace by se měla týkat i stavitelství, resp. architektury

inovací. Vznik globálních platform a dalších nových obchodních modelů nakonec vyvolá potřebu přehodnocení talentu, kultury a organizačních forem (Schwab 2016).



Obrázek 24 Čtyři průmyslové revoluce (IOTSENS 2020)

## 4.1.8 JAZYK ARCHITEKTURY

### 4.1.8.1 Terénní průzkum

Během terénního průzkumu byly navštíveny následující stavby: Sudoměřice 377, Kněždub 137, Kněždub 160, Kněždub 166, Tvarožná Lhota 187, Tasov 52, Hroznová Lhota 262, Velká nad Veličkou 117, Velká nad Veličkou 166 a Javorník 73. Vzhled stavby a použité prvky se na domech opakují, a proto byly pro popis vybrány následující tři stavby (Bažik 2019).

#### Objekt č.1 - Kněždub 137

Podélně orientovaná hospodářská usedlost hákového půdorysu z kamene a hlíny<sup>107</sup> (Sdružení hliněného stavitelství 2019) byla zrekonstruována v roce 2005 a dnes slouží jako muzeum.

<sup>107</sup> Kombinace materiálů

Přízemní hliněná stavba má výtvarně pojaté průčelí s modrou podezdívkou a většími okenními otvory a sedlovou střechu (Bažík 2019).



Obrázek 25 Kněždub 137 (archiv autorky)

#### Objekt č. 2 – Tvarožná Lhota 187

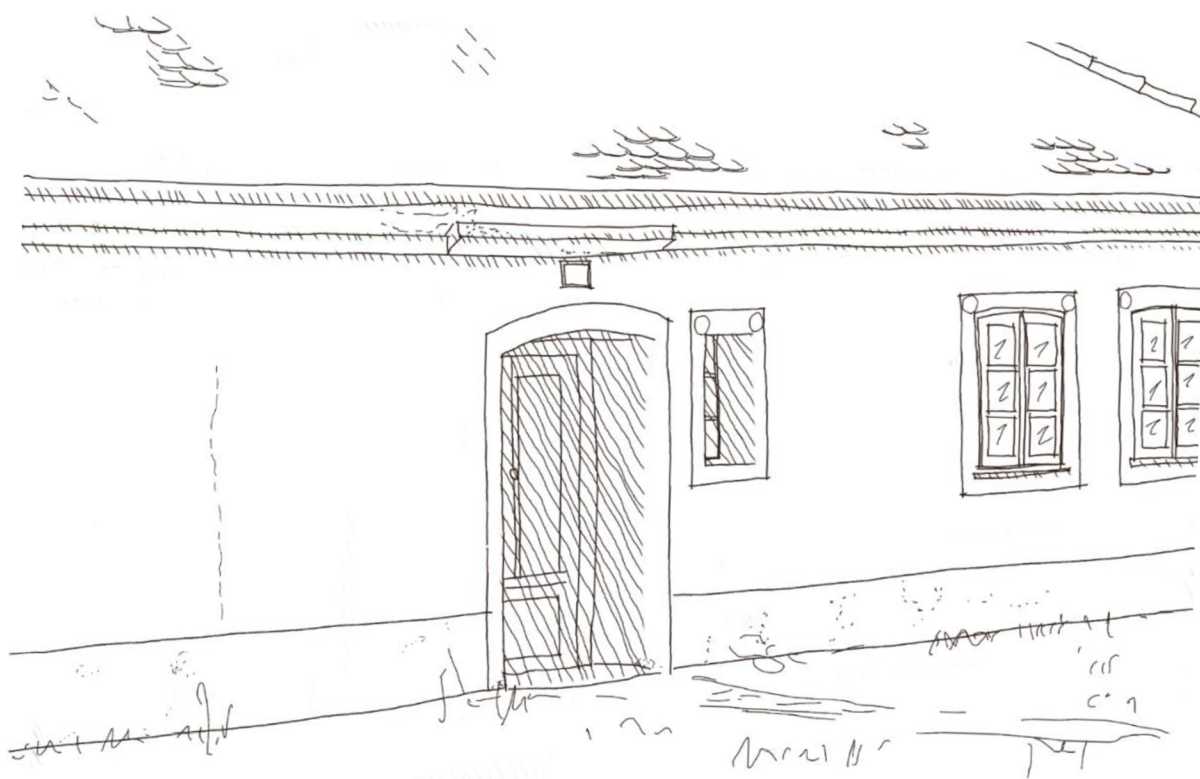
Podélně orientovaný památný selský dům s valbovou střechou má bílou omítku a modrou podezdívkou, v šambránách oken jsou modré puntíky. Oblé ostění oken a dveří<sup>108</sup> a zvlněná okapová hrana značí použití hliněného staviva (Bažík 2019).

#### Objekt č. 3 – Velká nad Veličkou 117

Opět hospodářská usedlost na hákovém půdorysu, z roku 1837. Přízemní podélně orientovaný dům je kulturní památkou a je ze sedmdesáti procent z hliněného staviva, dále pak z kamene (Sdružení hliněného stavitelství 2019). Stavba má bílé průčelí bez ozdob a členění s modrou podezdívkou (Bažík 2019).

<sup>108</sup> Koncept – oblé ostění





Obrázek 26 Tvarožná Lhota 187 (archiv autorky)



Obrázek 27 Velká nad Veličkou 117 (archiv autorky)

#### 4.1.8.2 Analýza literatury

##### Lidová hliněná architektura

Základními znaky tradičního vesnického domu, jak je definoval Jiří Škabrada (1996), byly obdélný trojdílně členěný půdorys, dům umístěný kolmo k návsi, vstup do domu ve středu bočního průčelí, sedlová střecha, nasazení střechy bez nadezdívky, zápraží s přesahující střechou<sup>109</sup>, umístění komína v hřebeni nebo za hřebenem a usazení domu v terénu na rovnou plochu (Škabrada 1996).

*„Dokud lidé podunajských nížin tvořili stavby jen za účelem vlastních primárních životních funkcí<sup>110</sup>, dotud měly hliněné stavby svůj pregnantní styl a svébytnou výtvarnou výraznost. Jakmile se však začala na lidovém domě barevně oddělovat rámování oken od ostatní plochy průčelí, jakmile se barevně odlišila podnož a když dokonce lidová umělkyně přenesla do omítky na průčelí domu výšivkové ornamenty, to už principy, jež původně řídily vznik lidové kultury, byly v rozkladu.“ (Mencl 1980)*

##### Jazyk architektury

###### *Spontánní a kritické vědomí v jazyce architektury materiálně-kulturních oblastí*

Každá hmota má jako potenciální materiál svá specifika, která je možné upravit tak, aby odpovídala prostorům a strukturám vyhovujícím rozmanitým potřebám člověka. Tato transformační schopnost přebírá symbolickou a jazykovou hodnotu v konotaci identity civilizace a území s architekturou<sup>111</sup> (Muratori 1963).

Existuje úzké propojení mezi architekturou a materiálem prostřednictvím transformací, které rozvíjejí její technický potenciál a jazykovou hodnotu. Tyto transformace jsou výsledkem dvou synergických postojů tvůrců ke stavění, které jsou buď spontánním, nebo kritickým vědomím. Spontánní vědomí je okamžitá a syntetická přilnavost stavitele ke znalostem způsobů stavění, které jsou předávány a děděny kolektivně. Je typické pro nekrizová období, kdy konsolidace znalostí a jejich aktualizace následují přirozený vývoj, jako v elementárních kulturách, kde architektura zjednodušovala spojení mezi hmotou, materiálem a jazykem a tvořila tedy přímý překlad stavby. Jednat podle kritického vědomí znamená naopak

---

<sup>109</sup> Přesah střechy chránil před deštěm jak přístup k domu, tak hliněné zdi

<sup>110</sup> Stavba pro naplnění základních životních funkcí

<sup>111</sup> Symbolika a jazyk materiálu dle místa

individuální výběr materiálů a jejich použití převážně bez ohledu na kolektivně zděděnou kulturu. To se často děje v období společenské krize (Francesco Rociola 2017).

Spontánní vědomí působící na kolektivní povahu architektury podmiňuje vznik tzv. materiálně-kulturních oblastí, území uzavřených přírodními limity, jejichž přirozené rysy u člověka povzbuzovaly proces identifikace<sup>112</sup> a výběru daného základního materiálu, jako kámen, dřevo nebo hlína. Tyto oblasti definují určitý typ výstavby, jež vykazuje soubor společných znaků v důsledku příslušnosti k místní kultuře a technickým dovednostem. Přeměna materiálu v konstruktivní prvky uspořádané do struktur a systémů pak určuje jednotný architektonický organismus (Francesco Rociola 2017).

Způsoby, jakými materiály vyjadřují svůj vztah k architektuře, souvisí s pojmem tektonika, který nejlépe vystihuje schopnost materiálů vstřebávat nejvhodnější syntaktické vztahy k danému účelu. Tektonika tedy přímo definuje formu, konstrukci a jazyk architektury<sup>113</sup>. Elementární obydlí materiálně-kulturních oblastí umožňují jasně pochopit vztah budování formy ke své „hmotné pravdě“<sup>114</sup>, kde se tektonika implicitně stává jazykem a kde spontánní vědomí je kolektivním rámcem, který asimiluje typologické aktualizace (Francesco Rociola 2017).

#### *Materiál v kontextu architektonického jazyka*

Architektonická kompozice v kontextu určitého jazyka forem umožňuje navrhovat v daném nářečí, přičemž jazyk závisí na klimatu a místních materiálech a představuje pokračování tradičních umění, sociálních zvyklostí a materiální kultury (Salingaros 2017). Jazyk forem je systém, který dovoluje svým uživatelům vytvořit nekonečné variace kombinací třídídimenzionálních forem, jež nazýváme budovy (Alexander 1979).

Materiál je architektonický nástroj, který má velký vliv na formu díla. Jazyk architektury<sup>115</sup> lze na základě zvoleného materiálu definovat pomocí vlastností materiálu (textura, akustika, chování, reakce, nevyhnutelnost změn), daného konstrukčního procesu (výrobní metoda, kompletace, detail) a významu materiálu (místo, program, kultura) (Simitch et al. 2015).

---

<sup>112</sup> Krajina jako identifikace stavebního materiálu

<sup>113</sup> Koncept – tektonika

<sup>114</sup> Elementární formy jsou nejpravdivější

<sup>115</sup> Jazyk architektury na základě zvoleného materiálu a jeho vlastností, významu a konstrukce

### 4.1.8.3 Prvky jazyka lidové hliněné architektury

Architektonický jazyk lidové hliněné architektury na území jižní Moravy je možné definovat prvky, jež nejlépe vystihují místo, kontext a kulturu. Jak uvádí Mencl i Rociola, nejlepším dokladem architektonického jazyka je architektura, která vznikla v době společenského rozvoje na základě kolektivního spontánního vědomí. Oblast podunajského hliněného domu na území jižní Moravy tedy tvoří konkrétní materiálně-kulturní oblast, kde se ke stavbě domů využívalo hlíny a slámy a v menší míře i kamene a dřeva (na horizontální nosné konstrukce). Nepálená hlína se užívala už ke stavbě prvních primitivních obydlí. Své nejdokonalejší plnohodnotné formy však dosáhla právě v lidové tvorbě jako hlavní nosné zdivo, a to za použití techniky nakládání, kdy se hmota jednoduše ve své amorfni, přirozené podobě (promíchaná se slámou a vodou) nakládala v zeď (Bažík 2019).

Terénní průzkum sice umožnil zanalyzovat stávající hliněné stavby a jejich tvarosloví, ale vzhledem k dalším přidaným vrstvám, jež se postupně objevovaly v pozdějších dobách a z velké části pozměnily originální formu hliněných staveb, tyto stavby nelze interpretovat jako elementární obydlí materiálně-kulturní oblasti jižní Moravy (Bažík 2019).

Jazyk lidové hliněné architektury nejlépe vystihují následující prvky:

#### Masivní hliněné zdi s oblým ukončením<sup>116</sup>

Zdi přízemních domků se stavěly přímo na srovnanou zeminu, jako by z ní zároveň vyrůstaly<sup>117</sup> a splývaly s okolní krajinou. Hliněné stěny byly v exteriéru ukončovány oblým vymazávaným chodníčkem, aby lépe odváděly vodu od stavby (Bažík 2019).

#### Malé otvory<sup>118</sup>

Do hliněných zdí se vysekávaly pouze malé otvory, větší se musely překládat dřevěným prvkem. Kvůli nízké hranové pevnosti se hrany stěn ukončovaly zaoblením. Tento prvek společně s posazením čtyřtabulkového okna ve vnějším líci stěny zároveň umožňuje měkké šíření světla v interiéru (Bažík 2019).

---

<sup>116</sup> Connection to the earth – Dům je propojený s okolní krajinou, pokud je jeho podlaha v přímém kontaktu se zemí (Alexander et al. 1977).

<sup>117</sup> Hliněná stavba vyrůstá ze země

<sup>118</sup> Deep reveals – Okna se zešíkmeným ostěním umožňují jemný přechod slunečního světla a jeho šíření po místnosti (Alexander et al. 1977).

Přesah střechy<sup>119</sup>

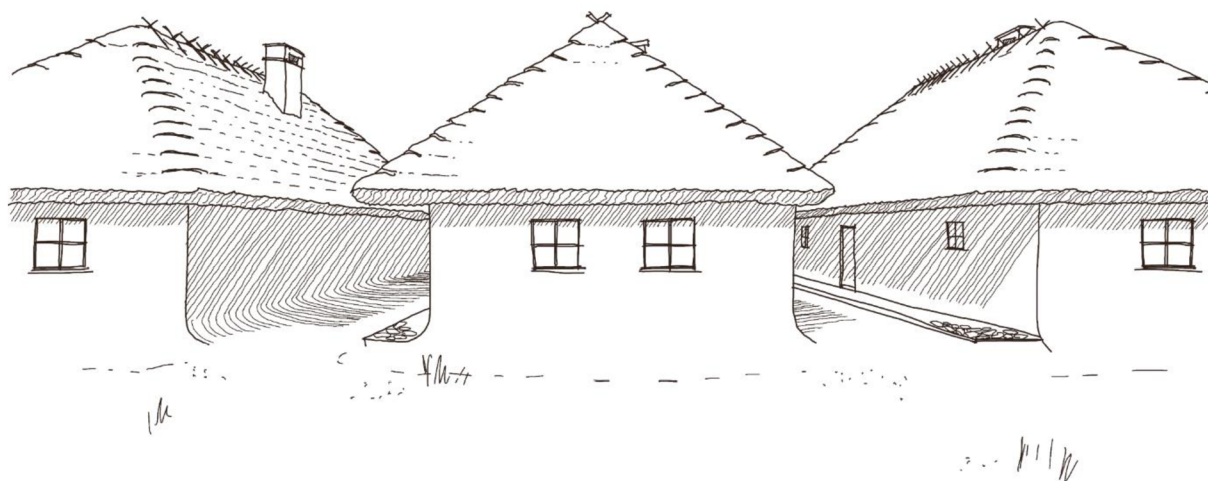
Mohutná došková střecha přesahovala stěny na všech stranách a chránila je proti dešti. Zároveň svým asymetrickým posazením střecha překrývala zápraží a vstup do domu (Bažík 2019).

Povrch zdi<sup>120</sup>

Zvenku se stavby líčily vápnem na bílo, aby se odlišily od zemité barvy okolní krajiny a především aby se chránila nepálená hlína. Hliněné bílené zdi uvnitř zároveň tvořily příjemné mikroklima (Bažík 2019).

Konečnost<sup>121</sup>

Hliněná stavba přirozeně vznikla a zanikla<sup>122</sup>, v možnostech tohoto materiálu není být nekonečně trvanlivý. Lidé proto dům museli pravidelně udržovat a opravovat, aby jim sloužil po určenou dobu (Bažík 2019).



Obrázek 28 Jazyk lidové hliněné architektury v perspektivě (archiv autorky)

<sup>119</sup> Sheltering roof – Střecha hraje zásadní roli v umocnění podstaty domu jako přístřeší, viditelné zastřešení je základním smyslem stavby jako úkrytu (Alexander et al. 1977).

<sup>120</sup> Soft inside walls – Materiál vnitřního povrchu by měl být měkký, teplý a příjemný na dotek (Alexander et al. 1977).

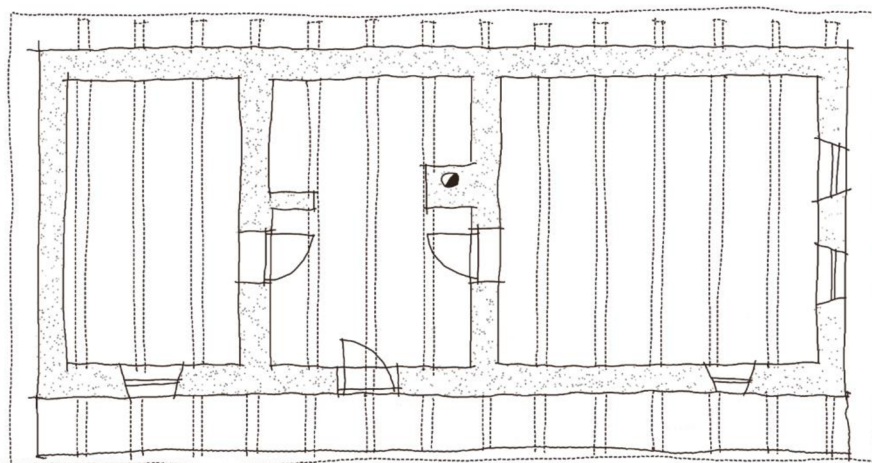
<sup>121</sup> Good materials – Dobrý materiál je biologicky rozložitelný, má nízkou spotřebu energie a je nenáročný na zpracování (Alexander et al. 1977).

<sup>122</sup> Začátek a konec



Obrázek 29 Jazyk lidové hliněné architektury v perspektivě 2 (archiv autorky)

Jazyk lidové hliněné architektury lze specifikovat i dalšími prvky, avšak ty se již nutně nemusí vázat jen k hliněným stavbám, ale jsou společnými ukazateli jazyka lidové architektury na našem území. Patří k nim například trojdílná dispozice, umístění domu na parcele, umístění vstupu a další. Výzkum tedy oproti předchozím publikacím úzce specifikuje architektonický jazyk v kontextu konkrétního materiálu (Bažík 2019).



Obrázek 30 Jazyk lidové hliněné architektury – dispozice (archiv autorky)

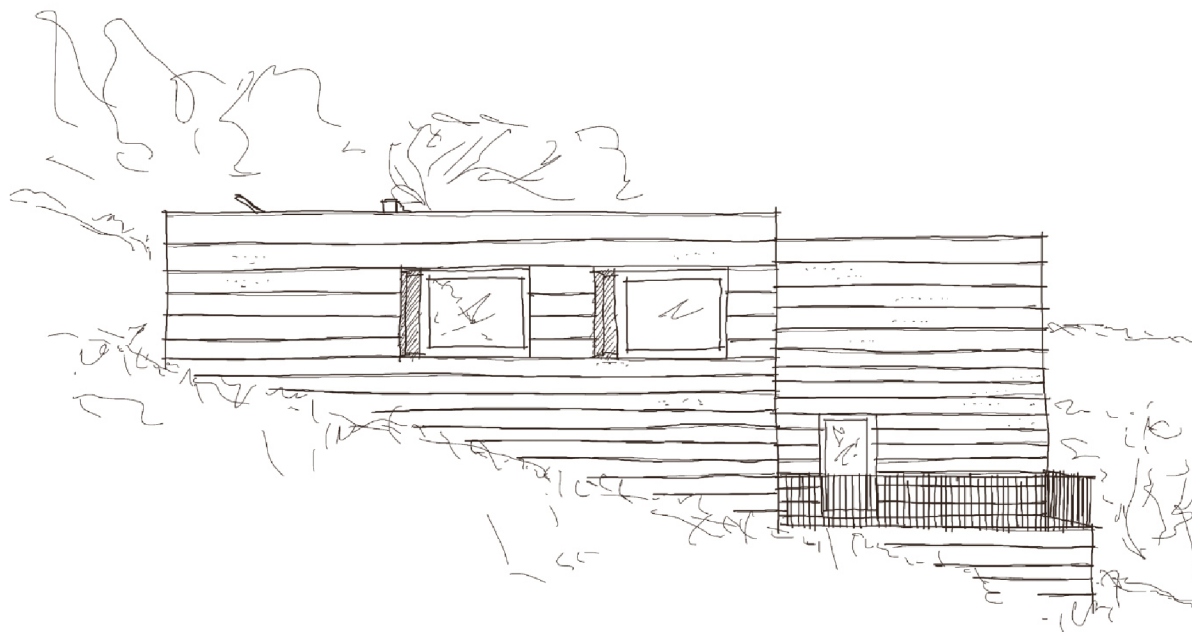
Uvedené prvky jazyka lidové hliněné architektury nejlépe vystihují spontánní vědomí materiálně-kulturní oblasti, které ovšem postupem času v důsledku společenských změn přestalo být obecně sdílené (Bažík 2019).

#### 4.1.9 PŘÍPADOVÉ STUDIE

Jako případové studie pro analýzu moderní hliněné architektury byly vybrány tři aktuální stavby, které se sice nenacházejí v na území Česka, ale vzešly z podobných podmínek mírného klimatického pásu vyspělých zemí. První stavbou je dům Martina Raucha z dusané hlíny s kalkulovanou erozí, který již dvanáct let stojí v Rakousku. Druhou vybranou je stavbou je modelový hliněný dům vytvořený pomocí technologie 3D tisku u příležitosti konference Výzva na záchranu světa v roce 2019 v Itálii. Poslední stavbou je kancelářská budova ve Francii, která vzniká v rámci developerského projektu Lyon Confluence.

##### 4.1.9.1 Haus Rauch

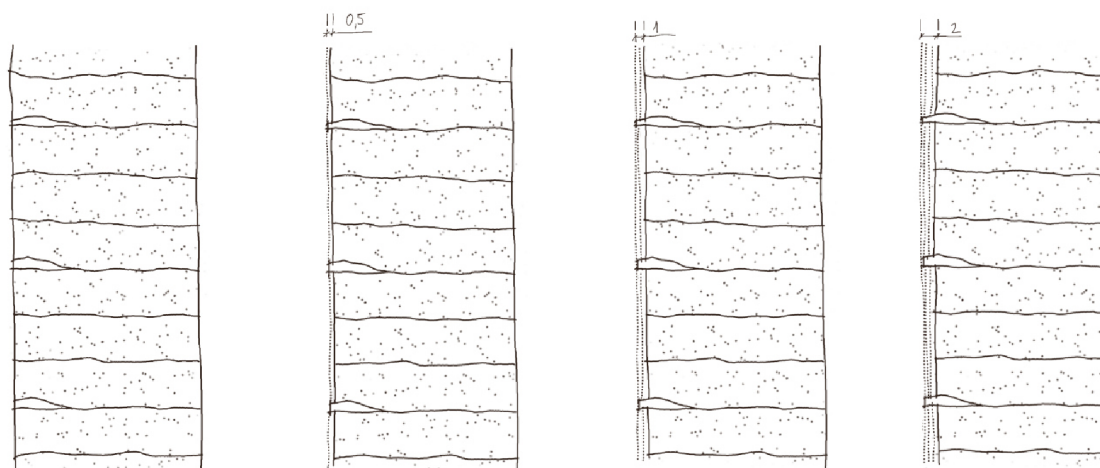
V roce 2008 si Martin Rauch ve spolupráci s Rogerem Boltshauserem navrhl a postavil vlastní dům z hlíny v rakouském Schlinsu. Dům Rauch je stvořen z přesvědčení, že konstrukční jistoty a zároveň vysoké kvality povrchů lze dosáhnout pouze estetickým návrhem a kvalitním řemeslným zpracováním čistě přírodního materiálu (Kapfinger 2010).



Obrázek 31 Dům Rauch (Beat Bühler Fotografie 2020)

*“Můj dům vyjadřuje, co je pro mě podstatou budovy. Byl to pokus reinterpretovat archetyp jednoduchého přístřešku, tak jak jsem jej poznal před mnoha lety ve Východní Africe, v architektuře současné Evropy. Myšlenku, že hlína vytěžená na pozemku se může proměnit v luxusní architektonický objekt, jsem chtěl otestovat při budování vlastního domu.”* (Heringer et al. 2019)

Dům je postaven čistě z přírodních obnovitelných materiálů, vertikální nosné konstrukce jsou z dusané hlíny vytěžené a připravované přímo v místě stavby. Při projektování se použila kalkulovaná eroze, což je předvídaná eroze vlivem počasí<sup>123</sup> asi o 2 cm, než začne vyčnívat přírodní kamenivo, které zabrání další erozi. Hliněné dusané zdivo má po každých asi 40 až 60 cm integrovanou erozní kontrolní vrstvu. Ta je v tomto případě z hliněných dlaždic pálených při nízké teplotě (Rauch 2015). První dva až tři roky tak fasáda eroduje a mění se.



Obrázek 32 Kalkulovaná eroze (Rauch 2015)

*“Můj dům je stabilní jako pevná skála. A právě proto se v něm cítím tak dobře. Masivní hliněná konstrukce vyznačuje pohodlí a stabilitu<sup>124</sup>, zároveň vytváří nepřekonatelné vnitřní klima. Hlavním poznatkem, který jsme si z toho projektu odnesl je, že dusanou hlínu není třeba stabilizovat.”* (Heringer et al. 2019)

Dům Rauch je typicky uváděným příkladem moderní hliněné architektury vyspělého světa. Moderní hliněné stavby se dnes staví převážně v sušších oblastech například v Americe, proto je Rauchův dům v hornaté oblasti mírného podnebného pásu Evropy určitým zjevením. Rauch dům postavil pro sebe jako experiment, odzkoušel si na něm vlastní technologii, kterou

<sup>123</sup> Hliněná stavba reaguje na vliv počasí

<sup>124</sup> Koncept - stabilita

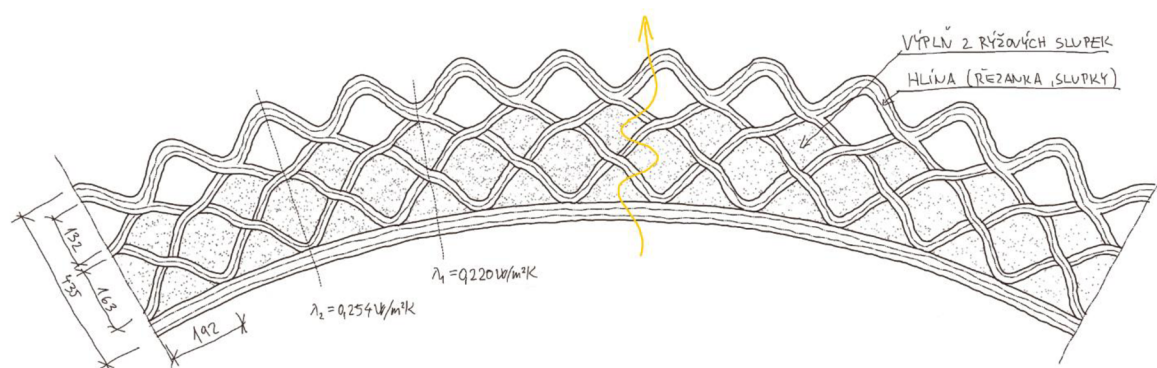


postupně vyvíjel a zdokonaloval řadu let - tzv. kalkulovanou erozi<sup>125</sup>. Dům z dusané hlíny působí z exteriéru minimalistky, sestává z několika kvádrů zapuštěných do svahu. Jednoduché hranaté tvary domu vyjadřují spíše snahu u modernismus než o přirozené pojetí stavebního materiálu. V třípodlažní stavbě se hlína objevuje i v interiéru v podobě omítek. V interiéru je zároveň výborně využito světlo<sup>126</sup>, které rozehrává stíny na vnitřních hliněných stěnách. Martin Rauch chtěl ukázat, že i hlína se dá použít v moderní architektuře, a to se mu zajisté povedlo.

#### 4.1.9.2 Dům Gaia

Dům Gaia získal jméno díky použití surové hlíny (Gaia je v řecké mytologii bohyně země), která je hlavním pojivem stavebního materiálu, z něhož je vyroben. Materiál, který je pokládán za ekologický a trvale udržitelný, klade důraz hlavně na použití lokálních přírodních zbytkových materiálů, jež v tomto konkrétním případě pochází z produkce zpracovatele rýže. Stavební hmota se skládá z místní hlíny, rýžových stébel a slupek a hydraulického vápna<sup>127</sup>. Dům je schopen pasivně získávat energii ze slunečního záření díky velkému oknu, jež je orientováno jihovýchodním směrem, a je osazeno přímo mezi dřevěnou podlahu a střechu, vše je zaizolováno směsí z vápna a rýžových plev. Konečný povrch tištěné zdi v interiéru je opatřen nátěrem z jílu a olejem z lněného semínka (Švachová 2019).

Přesným kladením materiálu pomocí 3D tisku vzniká vlnitá struktura zdi, jež současně zajišťuje konstrukční tuhost a vizuální atraktivitu v celé své ploše. Díky tomu, že celé navrhování probíhá pomocí výpočetní techniky, je možné docílit přesné a složité geometrie, které by se při manuální práci dosahovalo jen obtížně (Švachová 2019).



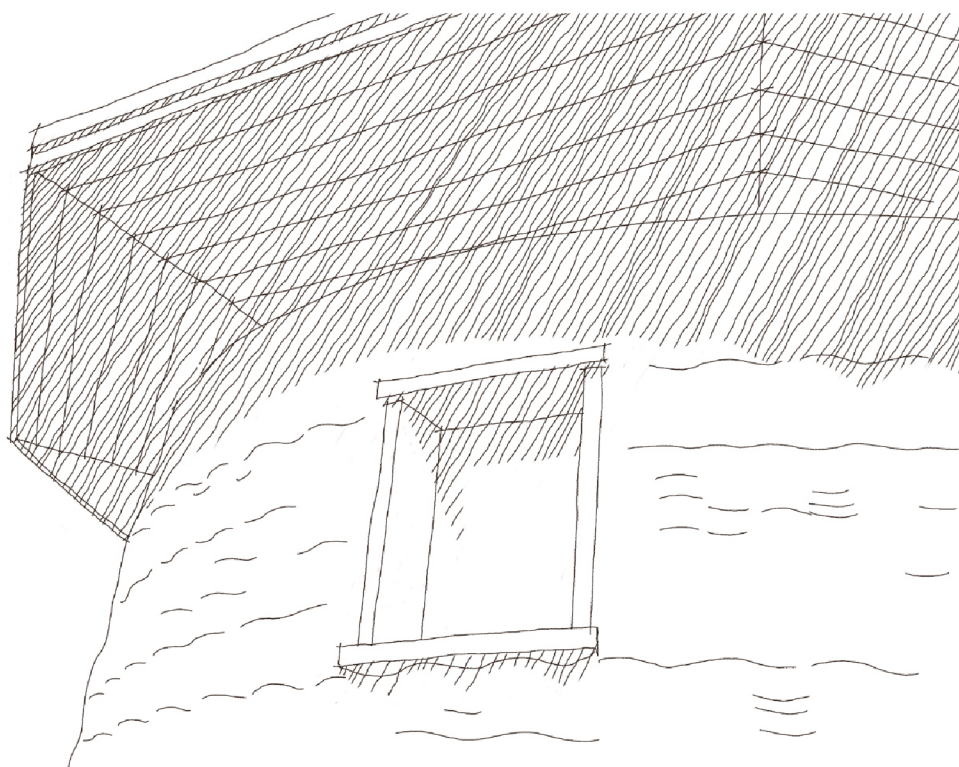
Obrázek 33 Detail půdorysného řezu zdi (3D Wasp 2020)

<sup>125</sup> Koncept – kalkulovaná eroze

<sup>126</sup> Koncept – světlo a stín

<sup>127</sup> Přísada vápno

Tato drobná experimentální stavba má oproti předchozímu případu kruhový půdorys a nepálená hlína je tu použita pouze jako samonosná<sup>128</sup>. Dům je postaven jen jako ukázkový příklad, pro vyzkoušení technologie 3D tisku při větším měřítku, není tedy prakticky momentálně nijak využitelný. I tak je to skvělý první krok pro budoucí větší uplatnění. Nevýhodou konceptu je pak použití rýžových slupek v hliněném těstě, protože ty v našich podmínkách nejsou běžným místním materiálem. Vhodnější by z tohoto hlediska bylo otestovat směs se slámou. Zajímavým prvkem je naopak zvlnění fasády a její provětrávaná struktura, která plní funkci jak estetickou, tak technickou.



Obrázek 34 Dům Gaia (3D Wasp 2020)

#### 4.1.9.3 Kancelářská budova B05 v Lyonu

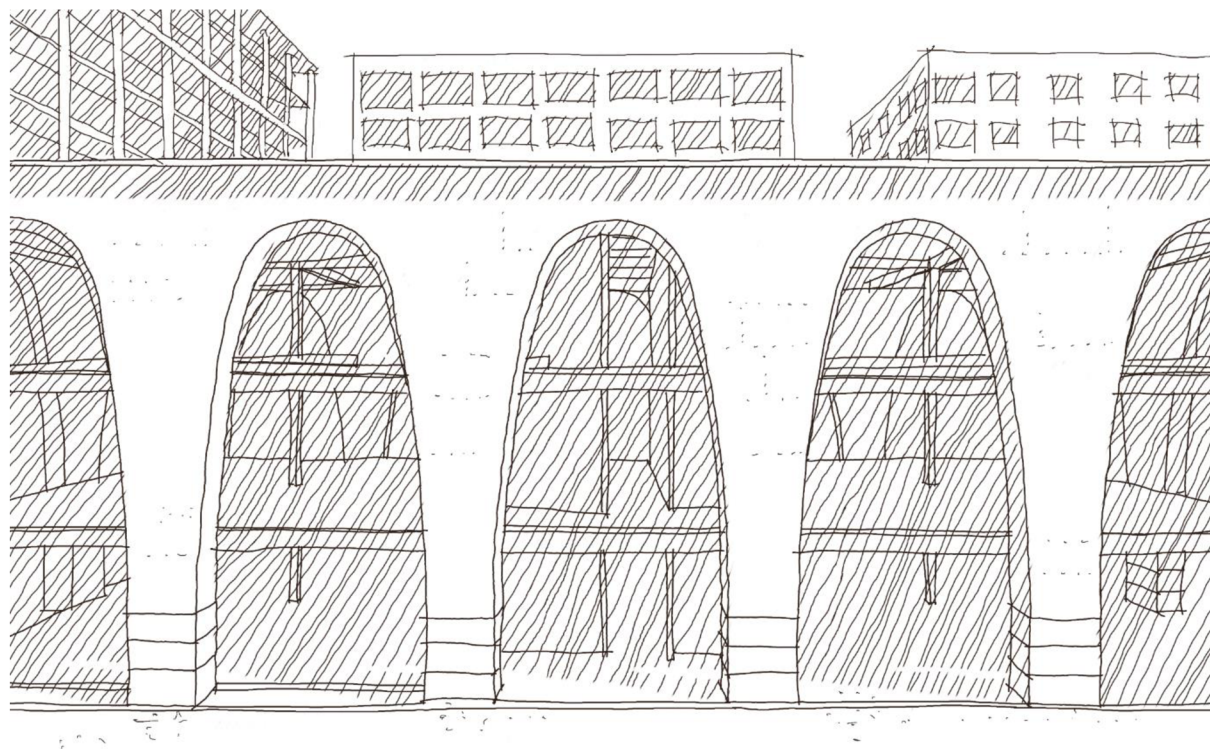
Stavba vzniká spoluprací Clément Vergély architects, Diener & Diener Architekten a Michel Desvigne. Budova je navržena jako dřevěná rámová konstrukce s výraznou obloukovitou fasádou z dusané hlíny jako vnějšího samonosného pláště budovy, jenž dosahuje výšky 12 metrů (Clément Vergély Architectes 2020).

Zdařilý příklad použití nepálené hlíny na velkém developerském projektu pro komerční účely, který ukazuje úplně jiné měřítko použití hlíny ve stavbě. Hlína je tady použita ke stavbě

---

<sup>128</sup> Samonosná hlína

samonosného oblouku, oproti striktní hranaté okolní zástavbě z konvenčních materiálů je tak v přirozeném kontrastu. Technikou výstavby je i zde dusání, avšak do obloukovitého tvaru<sup>129</sup>, který nutně nedodrhuje omezení hranatým bedněním a jen ztělesňuje další možnosti použití hliněné směsi.



Obrázek 35 Dusaná konstrukce s oblouky (Clément Vergély Architectes 2020)

#### 4.1.10 ROZHOVORY

Rozhovory ilustrují myšlenky osobností z různých oborů, kteří se profesně zabývají nepálenou hlinou. První rozhovor s autorem domu Gaia proběhl přes elektronickou komunikaci v rané fázi tohoto výzkumu. Další rozhovor s manažerem Heluzu se uskutečnil při osobním setkání po exkurzi ve výrobě Heluz v Hevlíně a byl veden jako polostrukturovaný. Uvedený záznam diskuse tedy obsahuje i informace, které nemusí být v souladu se zbytkem této práce. Třetí rozhovor s realizátorem staveb se v důsledku pandemie neodehrál při zamýšleném osobním setkání, ale přes elektronickou komunikaci jako strukturovaný dotazník. Poslední uvedený rozhovor s výraznou osobností moderní architektury vedla Karolína Kipnerová pro časopis Intro.

<sup>129</sup> Dusaná hlína není omezena jen hranatým bedněním

#### 4.1.10.1 Konstrukční tým domu Gaia

Alberto Chiusoli (autor domu, 17.12.2018)

*Proč je stavba na kruhovém půdorysu?*

Kruhový tvar<sup>130</sup> umožňuje získat maximální užitnou plochu uvnitř 3D tištěného prostoru.

*Jak vznikla myšlenka vlnité fasády? Je to čistě z estetického hlediska nebo má nějakou funkci?*

Vlnitá fasáda byla modelována pomocí sinusových funkcí<sup>131</sup>, aby se vytvořila souvislá ventilační komora kolem celé zdi.

*Proč jsou jako izolace použity rýžové lusky?*

Lusky rýže se často používají v ekologickém stavitelství kvůli své voděodolnosti, aby stavba měla izolační plášť<sup>132</sup>.

*Jaký je potenciál tohoto projektu? Je to pro běžné občany rozvinutých zemí tady v Evropě?*

Gaia je určena pro všechny druhy projektů<sup>133</sup>, které ztělesňují cíl využití hlíny pomocí 3D tisku jako konstrukční strategie.

*Je možné použít 3D tištěnou hliněnou zeď jako nosnou?*

WASP v současné době (2018) pracuje na certifikaci nosných hliněných stěn.

#### 4.1.10.2 Výrobce nepálených cihel

Ing. Pavel Heinrich (produkt manažer HELUZ), 7.11.2019, diskuse vedena společně s Ing. arch. Evou Neumayerovou

*Kdo je největším odběratelem? Cílovou skupinou?*

Především rodinné domy jako skládačky. Ze 60 % vyrábíme pro Česko. O nepálené cihly mají zájem většinou naturalisti a 1x za rok přijde i architekt. Nepálené cihla od HELUZU se běžně prodává ve stavebninách.

*Jak a kde probíhá těžba jílu?*

---

<sup>130</sup> Kruhový půdorys pro maximální využití

<sup>131</sup> Koncept – sinusoida

<sup>132</sup> Koncept – voděodolnost

<sup>133</sup> Hlína pro všechna měřítka

Těžba probíhá denně na čtyřech různých místech v jílovišti, aby se hlína promíchala<sup>134</sup>.

Hlavní jíloviště HELUZU je v Hevlíně, odkud se vozí do dalších cihelen. V místě těžby se vždy zachovává rybník pro udržení vody. Těžební místo se pomalu posouvá v krajině, bývalé vytěžené plochy prochází rekultivací až zpět na ornou půdu.

*Jak se nepálená cihla u vás vyrábí?*

Hlavní výrobní závod HELUZU je především na výrobu pálených cihel, nepálené vyrábíme jen doplňkově, takže tato výroba není úplně optimální. Nejdříve se připravuje směs – probíhá několik stupňů mletí až na požadovanou frakci. Průměrně trvá výroba jedné cihly 7 dní a 14 dní leží před vyexpedováním.

*Jaký je obsah vody v nepálené cihle?*

Vytěžená hlína v hliništi má 13-14% vody, při výrobě se dodává další až na 20-21%, před koncem pak je vlhkost 22-23%.

*Jaké je podíl příměsí v nepálené cihle?*

Nepálená cihla je z 96% jíl a pak jen piliny.<sup>135</sup>

*Má podle vás v dnešním stavitelství hlína místo?*

Určitě ano, ale spíše pro svůj estetický účinek než kvůli vlastnostem. Hlína si určitě zaslouží více pozornosti. Ale není úplně reálné vymanit se v dohledné době z toho standardu ve stavitelství.

*Doplňující informace.*

Nepálená hlína ovlivňuje teplotní a vlhkostní výkyvy jen minimálně. Důležitější, než sorpční vlastnosti je určitě neprůzvučnost nepálených cihel. Nejdůležitější vlastnost je akustika, pak akumulace a pak až sorpce. Nepálená hlína nepohlcuje elektromagnetické záření.

Nepálené cihly vyrábí HELUZ od roku 2010, reagujeme tak na malou poptávku po ekologickém stavitelství.

Cena nepálené cihly je mírně vyšší, protože na to nemáme úplně uzpůsobený provoz, je také pravda, že kdybychom měli konkurenci, tak bychom snížili cenu, teď tomu tak ale není.

---

<sup>134</sup> Smícháním jílu z několika míst v jílovišti se již předpřipraví směs

<sup>135</sup> Hlína je označována jako jíl

Ceník přitom ukazuje jen cenu a ne pracnost, ta je u zdění vyšší (nepálená cihla má objemovou hmotnost  $1680 \text{ kg/m}^3$ ).

Momentálně HELUZ nemá důvod pro navýšení prodeje nebo větší propagaci nepálených cihel. Možná by se situace zlepšila, kdyby se spojila akademická sféra s průmyslem. Udržuji kontakt s ČVUT (s panem Růžičkou) jen z osobního zájmu, není to firemní politika. Největší překážkou pro další rozšíření je chybějící legislativa.

Beton je ekologičtější než dřevo.

Nejlepší způsob je prefabrikace, jiný způsob výroby není v dohledné době reálný, není nic, co by mohlo překonat prefabrikaci. Prefabrikované dusané panely nejspíše nemají smysl.

HELUZ by uzpůsobil výrobu nebo nabídl jiné prvky až na základě poptávky a zpětné vazby.



Obrázek 36 Jíloviště v Hevlíně (archiv autorky)

#### 4.1.10.3 Realizátor hliněných staveb

Bohdan Nebesař, 6.4.2020

*Co tě přivedlo k používání hlíny ve stavbách?*

Hliněná kulička s vysokým obsahem jílu, kterou jsem si uhnětl ve 14 letech a nechal ji ztvrdnout; obdiv k jednoduchosti a přirozenosti<sup>136</sup>, příjemnost a krása přírodních materiálů, environmentální škodlivost syntetických stavebních hmot a materiálů.

<sup>136</sup> Koncepty – jednoduchost a přirozenost

*Jaká je poptávka po použití hlíny? Jedná se převážně o rodinné domky nebo je poptávka různorodější?*

Větší část poptávky pochází z výstavby a rekonstrukcí budov pro bydlení, avšak s postupem času se hlína začíná zavádět do komerčních i veřejných budov; dále poptávka z rekonstrukcí památek.

*V jaké podobě používáte hlínu na stavbě? Kromě omítek, malty a příček, realizují se u nás i nosné hliněné zdi?*

Nejvíce používáme hlínu jako cihelné a nakládané zdivo a omítky, méně jako dusané stěny a hliněné podlahy; při rekonstrukcích památek ji používáme i v jiných technologiích, což je málo časté (např. omazávka).

*Kromě realizací staveb vedeš i kurzy. Jakou roli podle tebe hraje vzdělávání v hliněné architektuře?*

Vzdělávání v hliněné architektuře a technologiích je pro mne nekončící láskou a inspirací. Role vzdělávání a osvěty v oboru je nepostradatelná pro masovější rozšíření hliněných technologií a materiálů do praxe, a tudíž pro nastoupení cesty udržitelného rozvoje ve stavebnictví.

*Jaké vidíš hlavní výhody v používání hlíny ve stavbě? Jaký má podle tebe hlína potenciál?*

Žádný přirozený, tedy přírodní materiál nemá nevýhody, pokud je optimálně používán dle jeho přirozených výhod v souladu se správnými zásadami jeho použití. Nevýhodou je pouze to, že nevyužíváme přirozených vlastností a výhod materiálů, a naopak je používáme nesprávně nebo nahrazujeme více syntetickou variantou s výraznější ekologickou zátěží. Největší výhodou hlíny je její všeobecná naprostá vhodnost k vytvoření ideálních podmínek v prostorách budov tak, aby byly co nejpříjemnější pro pobyt živých organismů<sup>137</sup>, dále její dostupnost a minimální ekologická stopa.

*Co pro tebe znamená udržitelnost a jak se to projevuje v tvé práci?*

Antoin de Saint-Exupéry: „Nedědíme Zemi po našich předcích, nýbrž si ji vypůjčujeme od našich dětí.”

---

<sup>137</sup> Koncept – hlína pro život

WCED: „Udržitelný rozvoj je takovým rozvojem, který naplňuje potřeby přítomných generací, aniž by ohrozil schopnost naplňovat je i generacím budoucím.“

Pro mne a naši firmu to znamená v prezentaci, výuce i praxi jediné a plně podporovat a rozvíjet princip cirkulární ekonomiky ve stavebnictví. Cirkulární ekonomika je koncept, který je integrální součástí udržitelného rozvoje. Zabývá se způsoby, jak zvyšovat kvalitu životního prostředí a lidského života pomocí zvyšování efektivity produkce.

Zapojujeme se především do prvního okruhu cirkulární ekonomiky, kde pracujeme s materiály organického původu, které jsou snadno odbouratelné a lze je proto bez potíží navrátit do biosféry. Jsme naturalisti, je pro nás přirozené pracovat s materiály, které jsou přirozeně pro lidskou činnost určené. Při získávání a úpravě takových materiálů dochází k velmi malému zatížení životního prostředí, protože jsou i snadno dosažitelné. Nazýváme je přírodními materiály, proto hovoříme o přírodním stavitelství.

*Nějaké další informace, které bys chtěl k tématu dodat?*

Pokaždé, když pracuji s jakoukoli hliněnou směsí zažívám náhlé uvolnění a nával radosti bez zjevné příčiny. Vytvořila se u mne jistá forma závislosti na hlíně, která nikdy neslábne.

#### **4.1.10.4 Architekt**

Martin Rauch – Karolína Kripnerová, z časopisu INTRO 9, 2019

*Mluvíte o sobě jako o staviteli z hlíny, kdy jste se jím stal?*

Po škole jsem se nejprve vyučil keramikem a stavitelem pecí. Pokračoval jsem ve studiu keramiky v mistrovské třídě na vídeňské Univerzitě užitého umění. Ke stavění z hlíny jsem se dostal díky uměleckému i technickému zájmu, když jsem začal vyrábět umělecké předměty<sup>138</sup> z nepáleného materiálu a později objekty z různobarevné dusané hlíny. V té době se moji sourozenci shodou okolností účastnili rozvojových projektů v Africe. Když jsem je tehdy navštívil, dostal jsem se do přímého kontaktu s hliněným stavitelstvím. Poté jsem zjistil, že i v Evropě mají hliněné stavby bohatou tradici, jen jsme na ni v procesu industrializace zapomněli. Byl jsem zvědavý a začal jsem toto téma zkoumat. Otázka byla zřejmá: Proč už stavění z hlíny v Evropě prakticky neexistuje? Od začátku jsem se pokoušel tyto postoje přehodnotit a snažil jsem se, aby se hlína stala moderním a konkurenceschopným stavebním materiálem.

---

<sup>138</sup> Hlína jako umění



*Nyní sám vedete studentské kurzy, ale mohl byste krátce vzpomenout na svá studentská léta, kdy byl vaším profesorem Matteo Thun?*

Během mého studia se v roce 1982 změnilo vedení mistrovské třídy, profesorku Marii Biljan-Bilger Perz nahradil Matteo Thun. Zpočátku jsem si myslel, že mladý architekt bude mému nadšení pro stavění z hlíny otevřený, ale nebylo tomu tak. Namísto zpracování tématu, které mi Matteo Thun zadal jako diplomní projekt, jsem se rozhodl napsat práci s názvem Hlína-jíl-země. Práce měla překvapivě velký úspěch a tato tři slova mě od té doby provázejí neustále. Staly se také názvem mé firmy. O dvacet let později jsem pak v projektu hotelového komplexu od Mattea Thuna postavil čtyřicet pět hliněných stěn.

*Často vás ke spolupráci zvou věhlasní tvůrci jako Herzog & de Meuron, Snehetta nebo Olafur Eliasson. Mohl byste nám přiblížit důvody takové spolupráce?*

Práci s různými lidmi a také rozdílnými profesemi mám v povaze. Abyste docílili vyšší kvality výsledku, vyplatí se v tvorbě kombinovat různorodé disciplíny<sup>139</sup>.

*Vedle soukromých a veřejných budov se váš ateliér podílí na sakrálních projektech, kde tradiční způsob stavění jde ruku v ruce s tisíciletou vírou. Co je pro vás u tohoto druhu zakázek největší výzvou?*

V této souvislosti je to obnovení historického kontextu. Je důležité, aby byli věřící přizváni k procesu stavění a plánování, aby se na nich podíleli. Stejně tak má velký význam zprostředkování stavebních materiálů návštěvníkům. Symbolika dusané hlíny reprezentuje u sakrálních projektů pohřbívání lidského těla zpět do matky země<sup>140</sup>.

*Své znalosti hliněného stavitelství předáváte jednak prostřednictvím experimentálních staveb, jednak na mnoha workshopech se studenty. Jako například před dvěma lety u příležitosti výstavy v Českých Budějovicích, která se jmenovala Formovat zemi (Gebaute Erde). Jak se mění pohled na hlínu jako stavební materiál? Co by budoucí architekti měli o hlině vědět?*

Pohled na hlínu jako stavební materiál se mění v důsledku toho, že znovuobjevujeme udržitelnost v jejím podstatném a celistvém smyslu. Mladí architekti mají velké nadšení pro stavění z hlíny. Objevuje se také více a více literatury a hlína se pomalu dostává i do studijních plánů. Její absence znamená výzvu pro řemeslné vzdělání v hliněném stavění.

---

<sup>139</sup> Kombinace různých oborů pro dosažení nejlepšího výsledku

<sup>140</sup> Dusaná hlína jako splynutí těla se zemí

Budoucí architekti by si měli především přečíst naši knihu. Mohou nás kontaktovat, přijít do naší dílny a ptát se. Je mnoho cest, například zorganizovat či navštívit workshopy.

*Od roku 2014 působíte na Spolkové vysoké technické škole v Curychu. Můžete prozradit, jaká témata se studenty probíráte a co ve vašem ateliéru vzniká?*

Vyučoval jsem tam dva roky. Každý semestr jsme se věnovali jinému tématu, například projektu design-build v Tanzánii nebo navrhování rezidenční oblasti v rakouském Herzogenburgu. Ve studiu vznikaly především sociálně ekologické formy bydlení a stavění, které byly vždy spjaty s dusanou hlinou jako stavebním materiálem.

*Otto Kapfinger o vás píše, že jste "objevil hliněnou architekturu nikoli prostřednictvím architektury, ale prostřednictvím svého studia a prvních projektů jako keramik, stavitel pecí a sochař". Kdy a proč naše společnost na stavění z hlíny zapoměla?*

Stavění z hlíny bylo v době industrializace upozaděno a poté zapomenuto. Kvůli masivnímu nasazení fosilní energie jako jsou uhlí a ropa, přestávalo být stavění z lokálních materiálů důležité. Každý materiál, který byl nový, byl lepší než ten starý. Technika stavění z hlíny se tak dále nevyvíjela a podstata její kvality se neudržela, byla zapomenuta. Toto se mezigeneračně utvrzovalo, na hlinu se hledělo jako na chudý, špatný a netrvanlivý materiál.

*Hlína má mnoho výborných vlastností: naplňuje ekologická kritéria, většinou je k dispozici v místě stavby, má dobré tepelněizolační a akumulační vlastnosti a udržuje konstantní vlhkost v interiéru. Jaké jsou limity tohoto materiálu?*

Samozřejmě i hlína má své hranice, ale to zajímavé na ekologické architektuře je, že rozvíjí konstrukce, které respektují materiál<sup>141</sup>. Vývoj a výzkum je důležitý, abychom dokonale poznali nové limity. Určitě se z ní nepostaví například dálniční mosty, ale hranice tohoto materiálu se dlouho nezjišťovaly, a tak vznikla spousta prostoru pro nový rozvoj stavění z hlíny.

*Co pro vás osobně znamená udržitelnost a udržitelná architektura? Jak vnímáte „udržitelnost“ a jak se projevuje ve vaší práci?*

Udržitelnost pro mě znamená poctivou pravdu o nákladech všech stavebních materiálů a co nejmenší ekonomický oběh. Když se zabýváte stavěním z hlíny podrobně, zjistíte, že hlína by mohla být šampionem všech stavebních materiálů.

---

<sup>141</sup> Ekologická architektura respektuje materiál

*Jaký význam by podle vás měla mít udržitelná architektura ve výuce budoucích architektů a v architektonické praxi?*

Udržitelná architektura by měla hrát významnou roli ve vzdělávání. Myslím si, že architekt má spoluzodpovědnost za to, ze kterého materiálu své dílo navrhuje. Znamená to tedy, že architektura je vlastně služba nebo služebník, a to nejen pro lidi, ale také pro přírodu a životní prostředí.

(Kipnerová 2019)

#### **4.1.11 WORKSHOP HLINĚNÝ PROSTOR**

Na podzim roku 2020 lektorovala autorka na Fakultě architektury workshop s názvem Hliněný prostor, pod vedením doc. Ing. Ivany Žabičkové, CSc., ve spolupráci s Ing. arch. Evou Neumayerovou a externím lektorem Ondřejem Netíkem. Workshop proběhl v rámci projektu, jehož cílem bylo vytvořit koncept výukového programu k podpoře rozvoje užití a výuky o hliněném stavebním materiálu pro studenty. Workshop se konal 25.-27.9.2020 a zúčastnilo se jej deset studentů FA VUT.

Program sestával z teoretické a praktické části. Teoretická část seznámila studenty se souvislostmi současného použití nepáleného materiálu ve stavbách, současnými technologiemi a světovými trendy. Praktická část se skládala z osvojení materiálových znalostí a testů hliněné směsi, zkoušení technik stavění a realizace drobné hliněné architektury dle vlastního návrhu studentů.

Jedním z bodů workshopu byla vlastní kreativní tvorba při intuitivní práci s hliněným materiálem. Studenti po teoretické části a po praktických zkouškách materiálu dostali následující zadání: *„Vytvořte libovolný ideální prostor/tvar, který považujete za nejvhodnější právě pro tento konkrétní stavební materiál. Využijte předchozí teoretické i praktické znalosti o materiálu, a především vlastní intuici.“*

Studenti následně po dobu devadesáti minut tvořili vlastní hliněné elementy drobného měřítka. Někteří tvořili konkrétní prvky, které představovali prvotní asociaci s hlínou, jiní tvořili bez primární představy výsledku, tedy více intuitivně. Elementy vytvořené intuitivně jsou dále analyzovány jako případové studie.

#### 4.1.11.1 Případ č.1

Studentka se nachystala hliněnou směs a zpracovávala ji rukama tak dlouho dokud hmota nebyla dostatečně hladká. Následně vytvořila do hotové formy d'olíčky prsty, aby dosáhla hladkého povrchu bez prasklin. Oblá forma elementu tedy vznikla čistě přirozeným dotekem rukou při zpracování<sup>142</sup>.



Obrázek 38 Případ č.1 (archiv autorky)



Obrázek 37 Případ č.2 (archiv autorky)

#### 4.1.11.2 Případ č.2

Studentka postupovala metodou pokus-omyl, kdy zkoušela, co všechno hlína zvládne. Pokud jí nešel vytvořit požadovaný tvar čistě z hlíny vzala si na pomoc další materiály, jako dřevo a kámen. Výsledná organická forma elementu vznikla jen z potěšení<sup>143</sup> z práce s hlínou bez počátečního záměru.

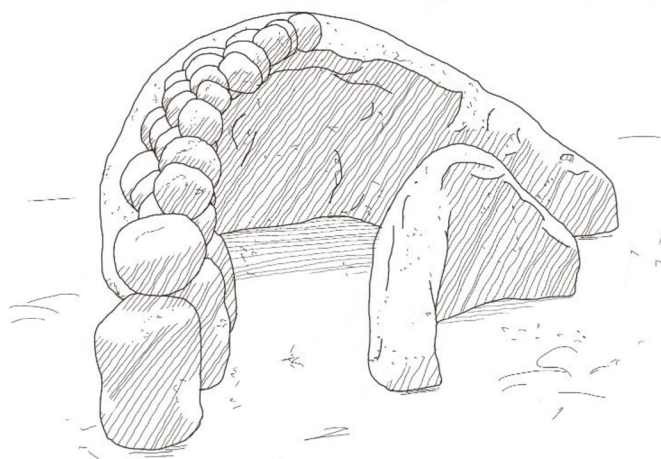
#### 4.1.11.3 Případ č.3

Studentka začala zpracovávat hliněnou hmotu bez jasné představy výsledku, ale v průběhu práce s materiálem ji vyvstala myšlenka prostoru jako úkrytu<sup>144</sup>. Z hlíny tedy vytvořila vnitřní prostor krytý i ze stran i ze shora. V další fázi pak přidávala k prostoru hliněné kuličky, které vznikly přirozeným zpracováním materiálu v dlaních.

<sup>142</sup> Forma z doteku

<sup>143</sup> Práce z radosti

<sup>144</sup> Hlína jako asociace pro úkryt



Obrázek 39 Případ č.3 (archiv autorky)

## 4.2 KONCEPTY

Ze všech předchozích primárních témat vzešly poznámky a někdy přímo samotné koncepty pro podstatu hliněné architektury. Tyto poznámky byly v průběhu výzkumu opětovně zpracovávány a doplňovány pro tvorbu obecnějších kategorií. Koncepty se v některých místech opakují, což v žádném případě nevádí, protože se tak jen potvrzuje jejich důležitost při tvorbě teorie. Tato kapitola tedy představuje shrnutí dosažených poznatků a hledání kategorií v diskusi nad předchozími tématy v rámci otevřeného kódování.

Nepálená hlína je jeden z prvních trvalých materiálů, ze kterého si lidé stavěli vlastní obydlí, je tedy základním materiálem pro vytvoření úkrytu pro člověka. Lidé hlínu od pradávna až dodnes používají, protože je to materiál dostupný, zdravý, levný a odolný, třetina světové populace stále žije v hliněných stavbách. Někdy je to spíše kvůli nedostatku než z vlastního rozhodnutí. I přesto lze vyvodit, že hlína je pro lidstvo přirozená, protože je všude kolem nás. Použití nepálené hlíny se vždy váže na samotné místo, kde se materiál nachází a kde zároveň lidé vědí, jak jej správně používat na základě sdílení informací v komunitě.

Architektura je odrazem stavu společnosti. Váže se vždy k místu, kde vzniká, používá místní materiály a navazuje na místní kulturu. Především elementární formy architektury, vzešlé z okolní krajiny, vykazují znaky, které nejlépe vystihují použitý materiál a znalosti místních stavitelů, čistě na základě tektoniky. Taková architektura pak vykazuje specifické prvky a symbolicky definuje jazyk architektury. Podunajský hliněný dům byl dokladem jazyka lidové hliněné architektury u nás. Na území jižní Moravy se stavěly přízemní domy z hlíny, které sloužily různým funkcím, nejen pro bydlení. Z hlíny se zde stavělo, protože to byl materiál

ohnivzdorný, dostupný a levný, a lidé si na základě zděděných informací předávali znalosti a dovednosti o jejím správném použití. Hliněné stavby vznikaly z lokální hlíny, těžené z tzv. hliníků, a na základě lokálních zkušeností. Hliněná architektura byla vždy místní unikát. Domy tak měly stejné prvky jazyka lidové hliněné architektury. Mezi nimi především oblé ostění oken, velký přesah střechy a ukončení zdi u země hliněným žlábkem. Pokud byla hlína použita ve stavbě správně, byla trvanlivá. Lidé, kteří si své domy stavěli z hlíny, moc dobře věděli, že hliněné konstrukce je třeba chránit před vlivy počasí, jinak hlína přirozeně opět splyne se zemí, stejně jako z ní vzešla. Uměli ji používat s respektem k vlastnostem materiálu.

Z aktuálního stavu klimatu vychází jasná potřeba změny přístupu ke zdrojům, tedy i ke stavebním materiálům. Tato změna však musí proběhnout již na úrovni navrhování, které je přímo ovlivněno ekologií, ekonomikou, politikou a společností. Inovativní přístup k materiálu v architektuře závisí především na architektonické ambici, výrobním procesu a životním cyklu materiálu. Opětovné používání vstupních materiálů se odvíjí již od návrhu stavby, kdy by zároveň měl být uvažován konečný stav, a tedy i dekonstrukce stavby. Nejekologičtější jsou proto stavby jednoduché, které lze postavit ze základních oddělitelných surovin, které mají malé negativní dopady na životní prostředí. Takové stavby se vyznačují nízkou spotřebou energie nejen při stavbě nebo dekonstrukci ale i při samotném provozu stavby, ke kterému nejsou potřeba žádné další technologie, ale naopak jsou stavby navrženy tak, aby maximálně využily pasivní prvky řízení vnitřního prostředí.

Nepálena hlína jako stavební materiál obsahuje pojivo, plnivo a vodu. Pojivo představují jílové minerály, které mají krystalickou formu, jsou to nejmenší částice ve směsi a při správném zpracování pojí částice větší. Plnivem jsou pak všechny větší částice ve směsi jako prach a kamenivo (písek, šterk). Důsledné zpracování směsi zajišťuje její soudružnost. Pro vylepšení některých vlastností lze do směsi přidávat i další přísady organické nebo minerální. Při přidávání umělých přísad je však potřeba vzít v potaz životní cyklus stavby a neoddělitelnost prvků při dekonstrukci. Například cement, který se někde používá pro zvýšení odolnosti proti vodě, funguje ve směsi také jako pojivo, takže přebírá primární funkci jílových minerálů (pokud je ho ve směsi alespoň 5 %). Hlínu kontaminovanou cementem však nelze navrátit do přírody. Pro zlepšení tepelněizolačních vlastností se přidává například řezanka. Přírodní přísady alespoň nejsou překážkou při opětovném použití.

Nepálená hlína má nejlepší uplatnění, pokud je na povrchu v interiéru, ať už se jedná čistě o finální úpravu nosného zdiva z jiného stavebního materiálu nebo o odhalenou nosnou hliněnou zeď jako jádra stavby. Hliněný stavební materiál má velkou objemovou hmotnost,

kteřá na jednu stranu zvyšuje nároky na provádění, na stranu druhou však dokáže pohlcovat rozličné druhy vlnění, ať už se jedná o zvukové vlny nebo různé formy záření. Velká objemová hmotnost zároveň definuje velmi dobrou tepelnou akumulaci materiálu, samotná hlína ale nezajistí v našich podmínkách izolaci domu, na to je potřeba další materiál na vnější straně skladby konstrukce. Nejvhodnější je použít materiál difuzně otevřený, aby hlína mohla přirozeně pracovat s vlhkostí. Kapiláry v pórovité struktuře materiálu umožňují pohyb páry konstrukcí, což je žádoucí efekt pro regulaci vlhkosti ve vnitřním prostředí. Hlína na povrchu dokáže absorbovat vlhkost interiéru a následně ji zase uvolňovat.

Nepálená hlína je materiál zdravý, měkký a příjemný na dotek, takže při práci s ním vyvolává v člověku radost. Je to materiál pro život, který je proto více než vhodné zpracovávat alespoň v některých fázích výstavby rukama, kdy působí haptika (kontakt hmatem). Směs by pro člověka měla být v celém svém životním cyklu neškodná a zdravotně nezávadná. Hliněný stavební materiál působí pozitivně na psychiku člověka ve vnitřním prostředí i svou přirozenou barevností.

Hlína umožňuje libovolné dispoziční uspořádání, u lidové hliněné architektury to byly jednoduché obdélníkové trojdílné dispozice, ve světě známe i příklady kruhové nebo oválné dispozice. Kruhové uspořádání umožňuje maximální využití prostoru.

Z hlíny je možné stavět konstrukce samonosné, nosné i nenosné, nebo lze hlínu použít jen jako doplňkový materiál například v podobě omítek. Hlína má malou pevnost v tahu, a naopak velmi dobrou pevnost v tlaku, proto se hodí spíše na tlačené vertikální nosné konstrukce. Z hlíny lze stavět i horizontální nosné konstrukce, a to ve tvaru klenby nebo kupole. Hlínu lze také místně vyztuzit jiným materiálem pro zlepšení pevnosti v tahu. Hlínu lze také zpracovávat jako povrchovou vrstvu podlahy.

Hlína mění svou konzistenci vlivem vody, přitom žádoucí pro pevnou hliněnou nosnou konstrukci je jediné konzistence tvrdá. Hlína není voděodolná, ale obsahuje vlhkost. Po zpracování vysychá a probíhá smršťování, a to vždy dostředivě.

Stavění z hliněného materiálu je možné několika způsoby. Existují základní dva typy jako stavba z kusových prvků a stavba z homogenizované směsi. První technika inklinuje spíše k prefabrikaci, kdy je možné kusové zdivo jako například nepálené nebo lisované cihly připravit předem na jiném místě. Nevýhodou jsou nároky na prostor po dobu sušení, na stranu druhou je samotná výstavba následně relativně rychlá. Nepálené cihly představují kusové zdivo, které se slepuje na stavbě maltou. Jiným příkladem jsou pak kusy tvarované ručně a

slepované vlastní vlhkostí. Forma ručně tvarovaných cihel může být pravidelná nebo nepravidelná.

Mezi nejběžnější techniky stavění patří v dnešní době ve vyspělých zemích dusání. Bednění bývá zpravidla hranaté, ale není to vždy nutné. I z dusané hlíny lze vytvořit libovolný tvar konstrukce. Prefabrikované dusané panely jsou na pomezí mezi kusovým zdívem a homogenním klasickým dusáním v místě stavby. Dusaná hlína je vždy výrazná svými vrstvami, které vznikají hutněním vrstev na sebe. Dusanou hlínu lze již v dnešní době dále vylepšovat tak, aby byla zeď na vnější straně odolná i v našich klimatických podmínkách. Takovou technikou je například kalkulovaná eroze, která reaguje na vlivy počasí.

Kromě kusového zdiva je možné připravovat hliněné konstrukce i z homogenní směsi, kdy se amorfni hmota tvaruje ať už strojově nebo lidskou silou v konkrétní stavební prvek přímo v místě stavby. Starší technikou je zdivo vrstvené, novější je pak stavění pomocí 3D tisku, který funguje na principu aditivní výroby. 3D tisk už ve svém principu využívá nejnovější technologie současnosti. Díky stavění na základě přesného modelu je možné vytvářet libovolné přesné struktury, které jsou limitovány jen možnostmi materiálu. Lze tak uplatnit například biomimetiku, přístup k navrhování inspirovan přírodou.

Pro hlínu je typické, že se z ní staví pomocí lidské síly v místě, kde se nachází. Princip prefabrikace, jak jej známe dnes, je pokračujícím trendem ve stavitelství, na který navazuje i nepálená hlína. Přirozenější se však jeví techniky stavění z homogenizované směsi, případně z kusových prvků tvarovaných rukama a kladených přímo ve zdivo, bez nutnosti sušení. Hlína se tedy v daném místě zpracovává a přímo se staví v konstrukci, vysychání probíhá při samotné výstavbě. Je možné stavět vždy postupně jen do určité výšky, počkat na vyschnutí a následně přidat další vrstvu.

Zároveň s otevřeným kódováním probíhá i kódování axiální, kdy se postupně koncepty spojují v síť, která je přílohou této práce. V síti poznatků se hledají souvislosti mezi jednotlivými koncepty. Koncepty, které se dále nerozvíjí zde, končí a může se od nich upustit. Některé koncepty naopak mají mnoho návazností na jiné, takové se dostávají více do středu teorie a dále se s nimi pracuje. Z některých konceptů vyplývají obecnější kategorie.

#### **4.2.1 VÝPIS KONCEPTŮ Z POZNÁMEK – OTEVŘENÉ KÓDOVÁNÍ**

- projekt dekonstrukce
- první forma tradičního dispozičního uspořádání



- půdorysný tvar
- kruhový půdorysný tvar
- obdélníkový půdorysný tvar
- oválný půdorysný tvar
- maximální využití prostoru
- měřítko
- umění
- ze země vzhůru
- samonosná hliněná konstrukce
- horizontální nosná konstrukce
- klenba
- kupole
- vertikální nosná konstrukce
- doplněk
- jádro
- pevnost
- podlaha
- stabilita
- světlo a stín
- malá pevnost v tahu
- tři pilíře zapojení materiálových inovací
- architektonická ambice
- proces výstavby
- životní cyklus
- začátek
- konec
- elementární forma
- význam
- sinusoida
- jednoduchost
- faktory ovlivňující použití materiálu
- dostupnost
- zdraví
- levný
- trvanlivý
- odolnost
- přirozenost
- správné použití materiálu
- reaguje na počasí
- nároky na prostor
- absorpce vlhkosti
- směs
- pojivo
- jíl
- plnivo
- přísady
- krystalická forma
- rozložení zrn
- kalkulovaná eroze
- čistá struktura
- pórovitá struktura
- doba sušení
- kapiláry
- pohyb páry
- pasivní řízení vnitřního prostředí
- difuzně otevřená
- respekt
- voděodolnost
- hlína pohlcuje
- změna konzistence vlivem vody
- tvrdost

- tlumí záření
- izolace
- malá otěruvzdornost
- tepelná akumulace
- různá funkce
- dostředivé smršťování
- dostředivost
- důsledné zpracování zajišťuje soudružnost
- vyztužení
- místo
- všude kolem nás
- architektura jako odraz stavu společnosti
- místní unikát
- lokální zkušenosti
- lokální hlína
- hliník
- jazyk architektury
- oblé ostění
- přesah střechy
- hliněný žlábek jako ukončení zdi
- symbolika
- tektonika
- krajina
- sdílení
- barva
- hliník
- výzkum hlíny ve třech odvětvích
- kultura
- dědictví
- materiál
- podunajská kultura
- přízemní dům
- ohnivzdornost
- svépomocí
- faktory ovlivňující navrhování
- ekologie
- ekonomika
- politika
- společnost
- stav klimatu
- třetina světové populace žije v hliněných stavbách
- nutnost změny
- použití hlíny jen z nedostatku
- biomimetika
- nízká spotřeba energie
- malé negativní dopady na životní prostředí
- dlouhodobý efekt
- kombinace oborů
- základní
- homogenizovaná směs
- amorfni hmota
- kusové zdivo
- nepravidelná forma
- tvarování rukama
- pravidelná forma
- tvarování pomocí formy
- dusaná zeď
- lisované cihly
- haptika
- povrch

- aditivní výroba
- rychlá výstavba
- prefabrikovaná hlína
- dusané panely
- technologie
- vrstvy
- spojování kusové zdiva
- vlastní vlhkostí
- maltou
- úkryt
- hlína pro život
- příjemné
- radost
- měkké
- vazba zdiva
- splynutí

Další fází tohoto výzkumu je axiální kódování, kdy se hledají návaznosti mezi jednotlivými koncepty. Tyto návaznosti představují osy, které postupně tvoří síť. Každý koncept má vždy nějakou návaznost na další. Některá témata pak mají takových návazností mnoho a nabývají tak na významu. Rozpracovaná síť poznatků je první přílohou této práce. Jsou na ní již viditelná významná témata, ale ještě zde nejsou zaznamenány ústřední kategorie.

### 4.3 PODSTATA

V této kapitole se diskutuje nad selektivním kódováním, výzkum se již blíží ke konci. Neobjevuje se mnoho nových témat a konceptů, naopak se opakují. Probíhá analýza a indukce konceptů a jejich zobecňování do kategorií. Součástí je také hotová síť poznatků, a především modelový případ, který nejlépe reprezentuje dosažené výsledky výzkumu.

Při zpracování sítě poznatků se hledají obecnější kategorie, které se vyvozují z konceptů pomocí indukce. Návazností mezi jednotlivými koncepty lze nalézt mnoho, zobecněny jsou ty nejvýznamnější.

#### 4.3.1 VÝZNAMNÉ KONCEPTY V SÍTI POZNATKŮ

- směs
- jíl
- místo
- jazyk architektury
- společnost
- elementární forma
- kruh
- životní cyklus
- ze země vzhůru
- pevnost
- dostředivost
- vrstvy
- úkryt
- dotek

Zejména z těchto konceptů a z jejich návazností pak vychází ústřední kategorie teorie pro návrh modelového případu.

#### 4.3.2 ÚSTŘEDNÍ KATEGORIE

- lokalita
- lidé
- elementární
- správné použití
- dotek
- masivní
- směs

Lokalita a lidé jsou hlavními kategoriemi, k nimž se vážou další koncepty. Člověk architekturu tvoří na základě daných podmínek, mezi něž patří především místo. Místo je zase spojeno s okolní krajinou, která je vždy v určité míře tvořená právě hlínou. Hlína člověka obklopuje a je pro něj základním zdrojem. Tektonika elementární formy hliněné konstrukce nejlépe vystihuje umění člověka přetvořit materiál v konstrukci.

Nepálená hlína v podobě nosné vertikální konstrukce tvoří masivní hmotu, která v případě, že je směs správně zpracovaná a má správný poměr jednotlivých složek, je trvanlivá a odolná. Správné použití je tedy základem pro práci s hlínou. Podle převažujícího jílovitého minerálu se určuje poměr složek ve směsi. Směs pro stavební hlínu není tvořena jen samotným jílem, který hmotu spojuje, ale velmi záleží i na dalších složkách. Podle složení směsi a obsahu jílu se určuje poměr vody. Vlákna rostlinného nebo živočišného původu zase hlínu vylehčí a prováží, což je potřeba právě při vysychání.

Pro člověka je kontakt s hlínou přirozený, hlínu většinou vnímá na zemi, chodí se po ní. Naopak tento materiál člověka běžně nezastřešuje, nevisí nikde vysoko ve vzduchu, ani se netáhne do výšky, je to materiál, který si přirozeně drží při zemi. Jeho pohyb je maximálně ovlivněn erozí. Už jako malé děti se lidé dostávají do kontaktu s hlínou, chodí po ní bosky nebo si hrají s blátem. Hlína je pro člověka přirozená. Lze ji vnímat několika smysly, je vidět, je cítit, může být slyšet, ale nejdůležitějším smyslem je hmat. Dotek s materiálem je nenahraditelný.

Ústřední kategorie a významné koncepty v síti poznatků jsou použity při návrhu modelového případu, které je těžištěm této teorie. Hotová síť poznatků je druhou přílohou této práce.

### 4.3.3 MODELOVÝ PŘÍPAD

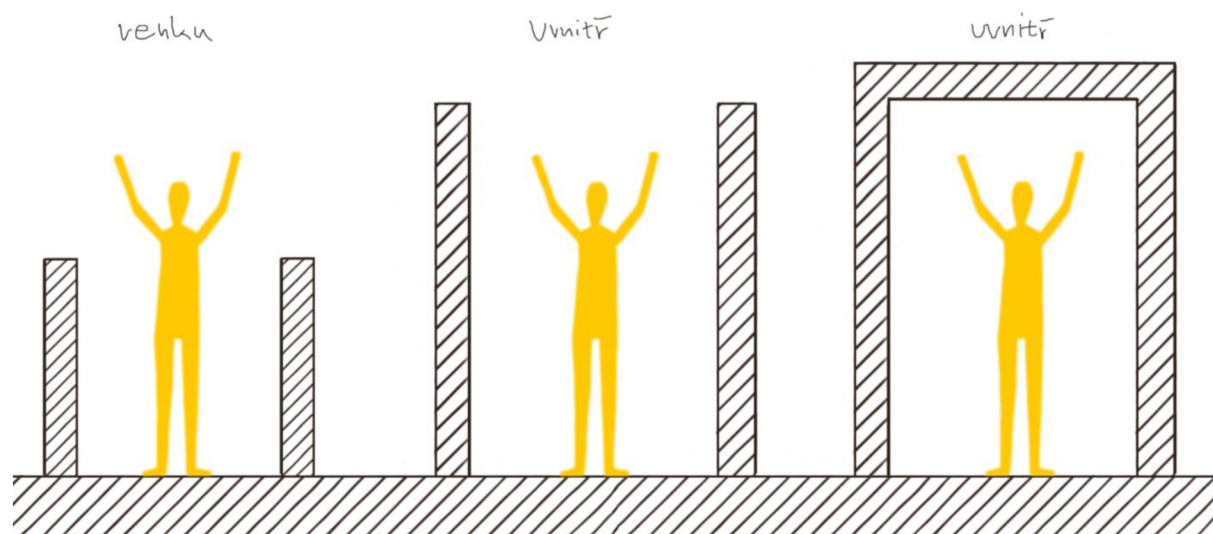
Teorie podstaty hliněné architektury je aplikována na modelovém případě, který nejlépe propojuje teorii a praxi. Modelový případ tedy vychází z konceptů zakotvené teorie, kterou zhmotňuje v podobě drobné architektury jako závěr této práce.

Ústřední témata se při indukci zobecněním stále více abstrahují, v architektuře lze však místo slov využít i jiné druhy umění. Analýza kategorií tedy paralelně probíhá pomocí konceptuálního procesu návrhu drobné hliněné stavby.

Hlína je všude kolem nás, v různé kvalitě a množství je přirozenou součástí krajiny. Použití hlíny na stavbě spočívá tedy zejména v přetvoření místního materiálu. Hliněná architektura sloužila mnoha různým funkcím, nelze upřednostnit například stavbu pro bydlení. Podstata hliněné architektury nemusí spočívat jen v bydlení, hlína nás naopak může obklopotvat neustále při různých činnostech. Navržený modelový případ tak nemá žádnou konkrétní funkci, jedná se o čisté ztvárnění prostoru pomocí jednoho materiálu.

Lidé se do dnešní podoby vyvinuli během několika milionů let, z hlediska celé naší historie je tedy posledních sto let něco jako jeden den. Za posledních sto let jsme se však dostali nejdál, ovládli jsme celou zemi, a to jak na souši, tak pod vodou. Lidé se po několik tisíc let živilí lovem a sběrem plodů, často se přesouvali na jiná místa. Člověk trávil prací spíše jen pár hodin denně a zbytek času odpočíval a bavil se s ostatními členy tlupy. Člověk je tvor, který chce a potřebuje poznávat, hýbat se, a především komunikovat s ostatními lidmi. Proto je potřeba uvažovat nad architekturou z trochu nadčasového hlediska. Architektura slouží lidem, ale nemusí nutně vycházet z dnešní představy o domě. Ta totiž nemusí být z hlediska celé evoluce a historie lidstva jediná správná.

Lidé jsou jednou z hlavních ústředních kategorií této zakotvené teorie. Návrh tedy vychází také z toho, jak člověk vnímá prostor. Jedná se o architekturu a předpokládá se tedy využití tohoto prostoru jako objektu, který má definovaný exteriér a interiér. Záleží tedy na tom, jak člověk vnímá, kde je uvnitř a kde je venku. Toto vnímání prostoru může být individuální. Jako dobrý příklad pro pochopení vnímání poslouží některá spojení používaná v českém jazyce. Například spojení v lese dává předpoklad, že člověk vstupující do lesa vstupuje dovnitř. Tím, že jej stromy obklopí ze všech stran, převyší a místy i zastřeší, nabývá člověk dojmu vnitřního prostoru. Naopak člověk vstupující na louku, pocitově stojí na zemi, nad ním je otevřené nebe a kolem otevřená krajina, nikoliv uzavřená, je tedy venku.



Obrázek 40 Člověk – venku a uvnitř (archiv autorky)

Člověk vnímá vnitřní prostor jako takový, který jej obklopuje a chrání. Umožňuje kromě odpočinku i jiné aktivity, ale především slouží jako úkryt před vnějšími vlivy. Takový prostor tedy chrání člověka nejen ze stran ale i ze shora, zastřešuje jej.



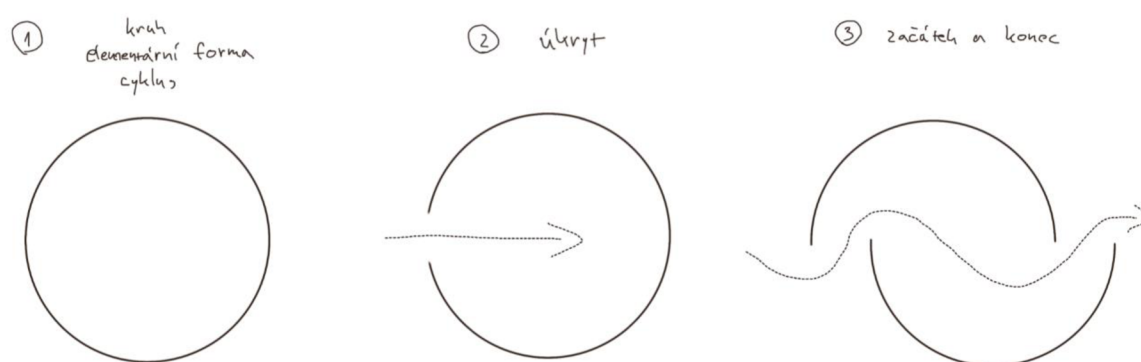
Obrázek 41 Člověk – různé aktivity (archiv autorky)

Návrh vychází z předpokladu, že žádný jedinec nefunguje nikdy sám, ale ve společnosti dalších lidí. Teprve společnost jako taková má větší sílu a význam. Návrh tedy respektuje proporce lidské postavy, ale taková postava není a neměla by být v prostoru nikdy osamocená.



Obrázek 42 Člunek – různý věk (archiv autorky)

Použití hlíny závisí na místních podmínkách, trochu jinak bude hliněná stavba vypadat u nás a v Africe. Rozdíly se dají předpokládat v detailech zpracování. Hlína je pořád jen hlína a lidé jsou pořád jen lidé. Formu elementárnímu hliněnému prostoru tedy udávají kromě místní kultury i místní podmínky podnebí. Hlína se podle množství srážek musí chránit před deštěm a před záplavami. V našich podmínkách má nechráněná hliněná stavba o něco kratší životnost než v suchých oblastech. To jí ale neubírá na významu. Jen je o to důležitější porozumět tomu, jak funguje a jak ji správně použít. Velký rozdíl už pak není v případě hledání ideálního hliněného prostoru na území jižní Moravy a dolního Rakouska. Imaginární hranice státu netvoří předěl mezi správným užitím hlíny jako stavebního materiálu. V našich podmínkách se spíše využije k základu stavby kamenivo a k zastřešení a horizontálním konstrukcím dřevo a sláma. Je tu také kladen větší důraz na to, aby se voda příliš nezdržovala u stavby.



Obrázek 43 Koncept – půdorysný tvar (archiv autorky)

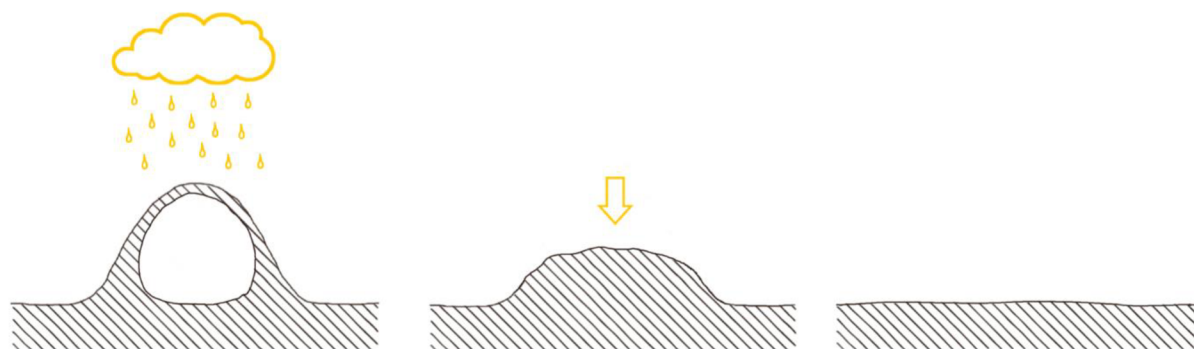
Mezi významná témata v síti poznatků patří kruh, tento tvar tak dává základní formu půdorysnému tvaru modelového případu. Kruh je přerušen pro vytvoření vstupu a následně i výstupu. Vzájemně posunutá půlkruhy tak jasně definují začátek a konec a zároveň umožňují jak úkryt, tak výhled.



Obrázek 44 Koncept – tvar v řezu (archiv autorky)

Další definující koncept je „ze země vzhůru“, jednoduchý pojem, který dokonale vystihuje pojetí hlíny a práci s ní jako se stavebním materiálem. Výška stavby je navržena podle proporcí lidské postavy, zaoblení vychází z jazyka lidové hliněné architektury. Finálním prvkem, který nelze zaznamenat ani obrázkem, ani textem, je dotek.

Hliněná stavba je tvořena postupně po vrstvách, další vrstva se přidává až poté, co předchozí vrstva částečně vyschne. V tomto případě se tedy předpokládá z větší části hlína vrstvená. Ideální směs a poměr složek je určen až podle konkrétního místa, v návrhu se předpokládá kombinování technik, protože ze sítě poznatků nevyšla žádná jako přednostní. Proto je možné využít ke spodní stavbě vrstvení a klenbu tvořit pomocí kusových hliněných dílců. Důležitým prvkem je tvorba pomocí lidské síly, a především lidských rukou, které nakonec nechávají stopu v hlíně.



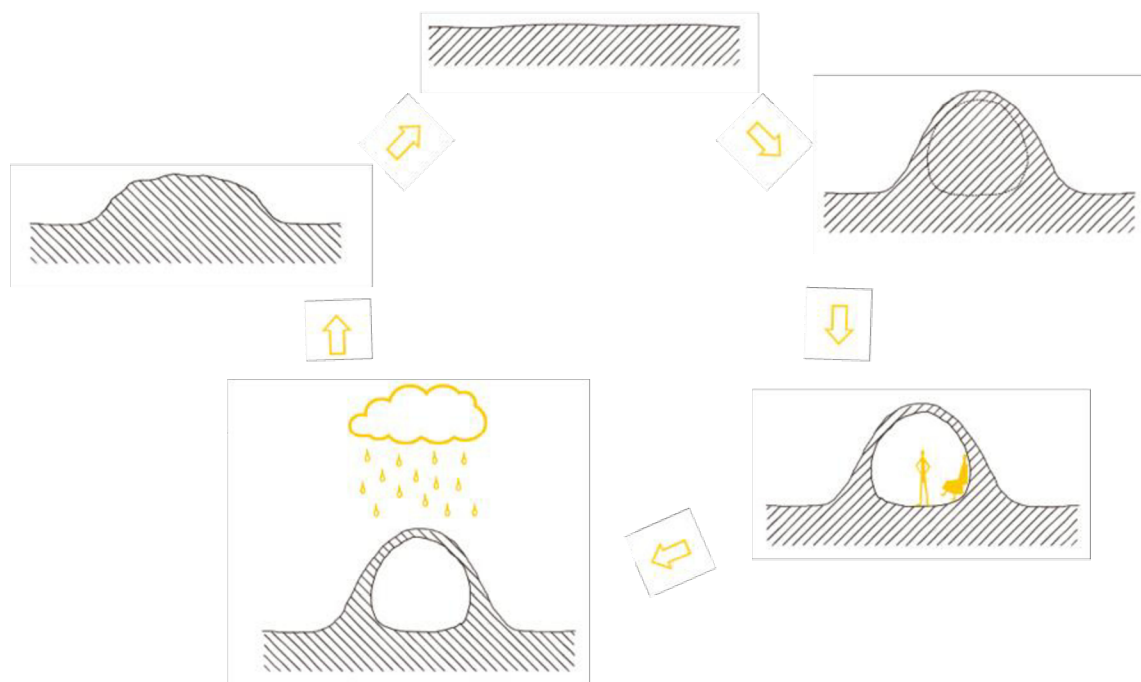
Obrázek 45 Koncept – splnutí (archiv autorky)

Modelový případ podstaty hliněné architektury nevychází z žádné konkrétní funkce nebo potřeby, jak vyšlo najevo ze sítě poznatků, je to čistě elementární architektura. Nemá vydržet na věky, má začátek a konec. V našem podnebí definovaný klimatickým vlivy, a především množstvím srážek. V o něco málo sušší oblasti by stavba vypadala možná podobně a lišila by



se třeba delší životností. Není potřeba toto období přesně definovat, je vhodné mu jen porozumět.

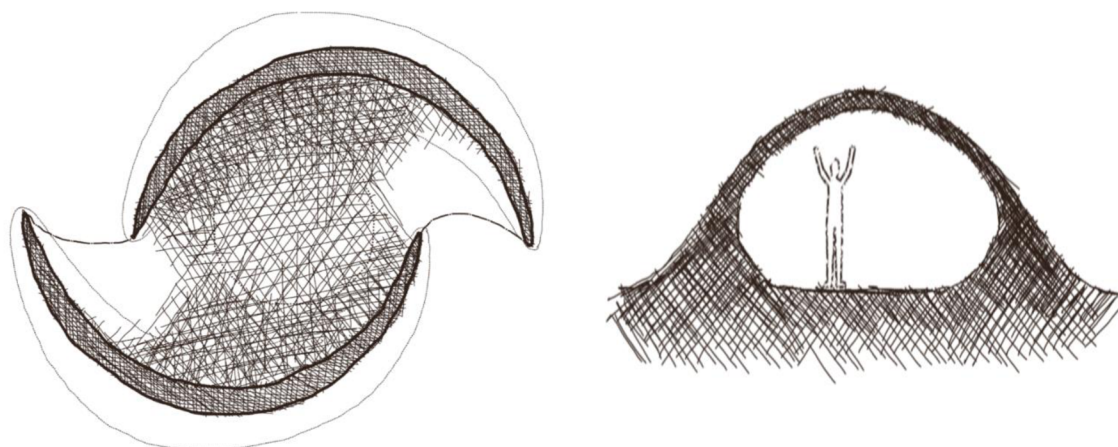
Nepálenou hlínu lze za určitých podmínek používat ve stavbách opakovaně. Tento cyklus je přirozenou součástí hlíny jako stavebního materiálu a je jeho výhodou. Navržený modelový případ proto znázorňuje cyklus hliněného prostoru, jeho vyzdvižení a opětovné splnutí se zemí, v jeho nejjednodušší podobě, a to vlivem eroze.



Obrázek 46 Koncept – cyklus (archiv autorky)

Podstata vyplývá z přirozenosti, je maximálně objektivní a existuje v reálném světě. Podstata není omezena subjektivním vnímáním jedince (konkrétní jedna osoba) ani intersubjektivním imaginárním řádem (legislativa státu).

Předpokladem práce bylo vytvořit drobnou hliněnou stavbu. Koncept stavby i samotný návrh je následně poměrně jednoduchá, elementární záležitost. Většinu celé práce tvoří především důsledný průzkum. Během něj se objevilo významné téma elementarity, tento důsledek nebyl dopředu zřejmý. Následná čitelnost a jednoduchost tohoto prostoru pak nejlépe umožňuje pochopení hliněného prostoru.



Obrázek 47 Koncept – půdorys a řez (archiv autorky)

Navržená drobná stavba představuje ideální ztvárnění prostoru z jednoho materiálu na základě získaných i známých informací o hlině. Má masivní hliněné zdi, které si člověk vytvořil sám, vlastními silami, a poskytuje mu úkryt. Úkryt, který plynule stoupá ze země, jež je jeho hlavním zdrojem, má měkké oblé rysy, které vznikly dotekem lidských rukou a až doslouží, opět splyne se zemí.



Obrázek 48 Koncept – prostor (archiv autorky)

#### 4.3.4 UPLATNĚNÍ HLÍNY V NAŠICH PODMÍNKÁCH NA ZÁKLADĚ NALEZENÉ PODSTATY

Použití hlíny nejvíce záleží na lidech, jímž architektura slouží. Lidé na hlínu postupně zanevřeli a až posledních dvacet let se toto smýšlení začíná pomalu měnit. V současnosti ji i tak příliš mnoho lidí v povědomí jako stavební materiál nemá. O nepálené hlíně by se jako o stavebním materiálu mělo uvažovat běžně, jak tomu bylo dříve. Začít s takovým procesem implementace myšlenky je vhodné na několika úrovních. Jednou z nich je vzdělávání. Na středních a vysokých stavebních školách by hlína měla být zařazena na stejnou úroveň jako ostatní stavební materiály. K tomu je potřeba také vzdělávání vyučujících, kteří by znalosti šířili dále. Vzdělání projektanti pak mohou hlínu běžně navrhovat. Řemeslníci mají možnost vzdělávat se již v současnosti a tyto dovednosti mohou využívat v praxi.

K rozšíření nepáleného hliněného stavebního materiálu by se mohli přizpůsobit také výrobci stavebních materiálů. Ti však ve vlastním zájmu nejčastěji reagují na poptávku, jak zaznělo v rozhovoru s výrobcem. Pokud tedy bude zájem dostatečný, stavební průmysl se poptávce přizpůsobí.

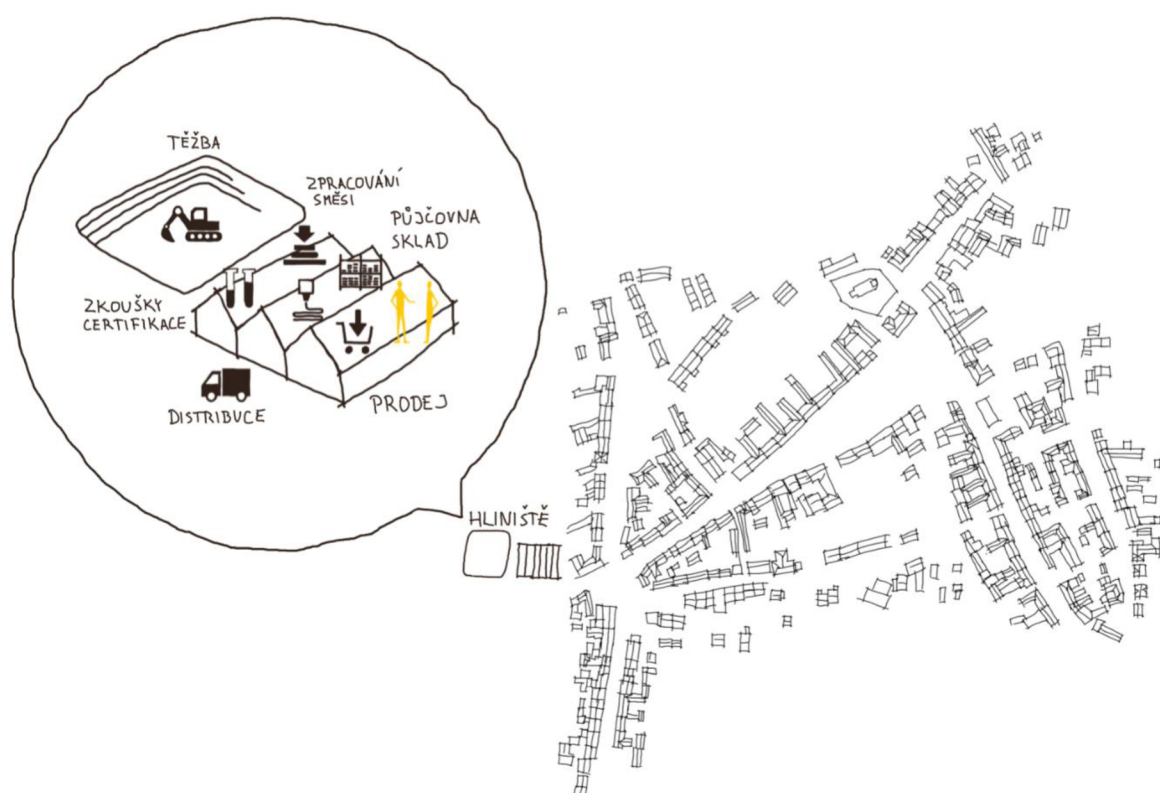
Hlavní koncepty, které definují hlínu a její podstatu jako správné použití materiálu, směr a hmat byly a jsou součástí práce s hlínou. Mělo by to tak zůstat i nadále. Pokud lidé budou mít zájem o stavění z hlíny, měli by se nechat vést zkušeným projektantem. Materiál by měl vždy být zpracován kvalitně, aby se předešlo poruchám. Pokud chtějí lidé stavět svépomocí, je vhodné přizvat na stavbu zkušeného „hlinaře“, řemeslníka, který je schopný sdílet informace o materiálu podobně jako tomu bylo dříve v komunitách. Alespoň v nějaké fázi stavby pak autorka vřele doporučuje přímý kontakt s materiálem.

Podstata hliněné architektury v podmínkách Česka pak má své omezení. Nepálená hlína jako stavební materiál u nás není legislativně uchopena, musí ale splňovat obecné normy. Použití hlíny ve stavbě pak vždy musí certifikovat oprávněná osoba nebo výrobce. Je vhodné vytvořit legislativní rámec na základě již získaných poznatků. Chování materiálu a jeho limity máme zdokumentované dobře. Příklad si lze vzít také z dalších států, jako Německo, Rakousko nebo Austrálie, kde je hlína legislativně ukotvena jako stavební materiál.

Hlínu lze i za současného stavu ve stavbách legálně používat. Pokud se jedná o hlavní nosný konstrukční materiál, je nutné, aby konstrukci autorizovala oprávněná osoba. Případně lze použít certifikovaný stavební výrobek. U nepálené hlíny je ale potřeba zjistit složení a vlastnosti dané směsí. Jak již bylo několikrát zmíněno, materiál se silně váže ke svému místu.

Je proto vhodnější hlínu v daném místě otestovat a dopravovat jen na krátké vzdálenosti, než používat směsi či prefabrikované dílce z druhého konce republiky.

Ke zjednodušení procesu zpracování materiálu, přípravy a testování směsi by bylo velmi vhodné zřízení hlinišť. Hliniště může být u každé obce, kde se nachází vhodná stavební hlína. Bylo by to místo, kde by zároveň sídlil výrobce hliněných stavebních dílců. Vzhledem k významné pozici lidí ve struktuře sítě poznatků této teorie je navržen model lokální firmy. Pokud jsou lidé zapojeni do zpracování místního materiálu zároveň obyvateli dané obce, dá se předpokládat silnější vztah k vykonávané činnosti a zároveň podpoření komunity.



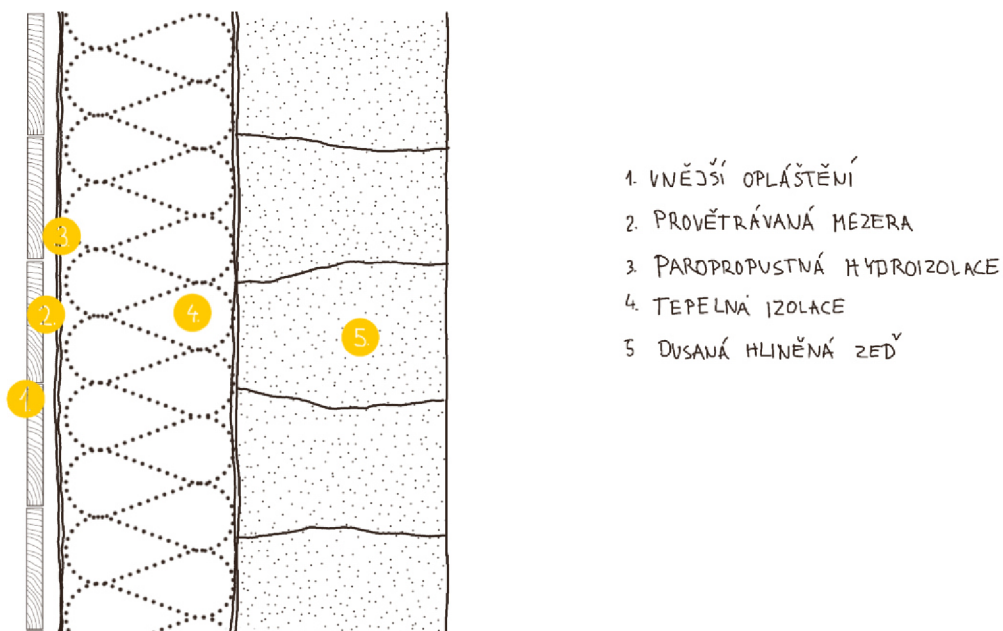
Obrázek 49 Schéma hlinišť na okraji obce (archiv autorky)

V hliništi by se hlína přímo těžila. V přilehlé výrobě by se míchala, testovala a certifikovala. Právě certifikace je nezbytnou součástí procesu pro ověření vlastností materiálu podle dnešní platné legislativy. Ve výrobě se mohou na základě poptávky produkovat různé stavební díly. Může se zde připravovat směs pro dusanou nebo vrstvenou hlínu. Zpracování těchto dvou směsí přitom není technicky nijak zvláště náročné, potřebné stroje a nástroje již běžně v praxi existují. Podobné je to i u nepálených lisovaných cihel. U těch je jen potřeba počítat s většími prostorovými nároky na uskladnění při sušení. Další možností, jak je uvedeno již v kapitole o technikách stavění, jsou pak dusané hliněné panely. Jedná se o prefabrikaci hlíny. V rámci

tohoto výzkumu vyšlo najevo, že hlína je nepřírozenější ve své amorfnní podobě. Předpříprava stavebních dílců je však běžnou součástí dnešního stavitelství. Pokud prefabrikace následuje současné trendy a pomůže to většímu uplatnění hlíny, je to jen pro dobro věci. Zvláštní formou stavění je pak 3D tisk. Ve výrobě by se mohla zpracovávat směs pro hliněnou pastu, která je v současnosti testovaná s přídavkem vápna. Bylo by zde možné i zapůjčení konstrukce pro rameno tiskárny.

Výstavba podobných lokálních center není ve světě novou myšlenkou. Existují již například v Německu. Takovýto způsob rozšíření nepálené hlíny v Evropě ostatně propaguje i Anna Heringer.

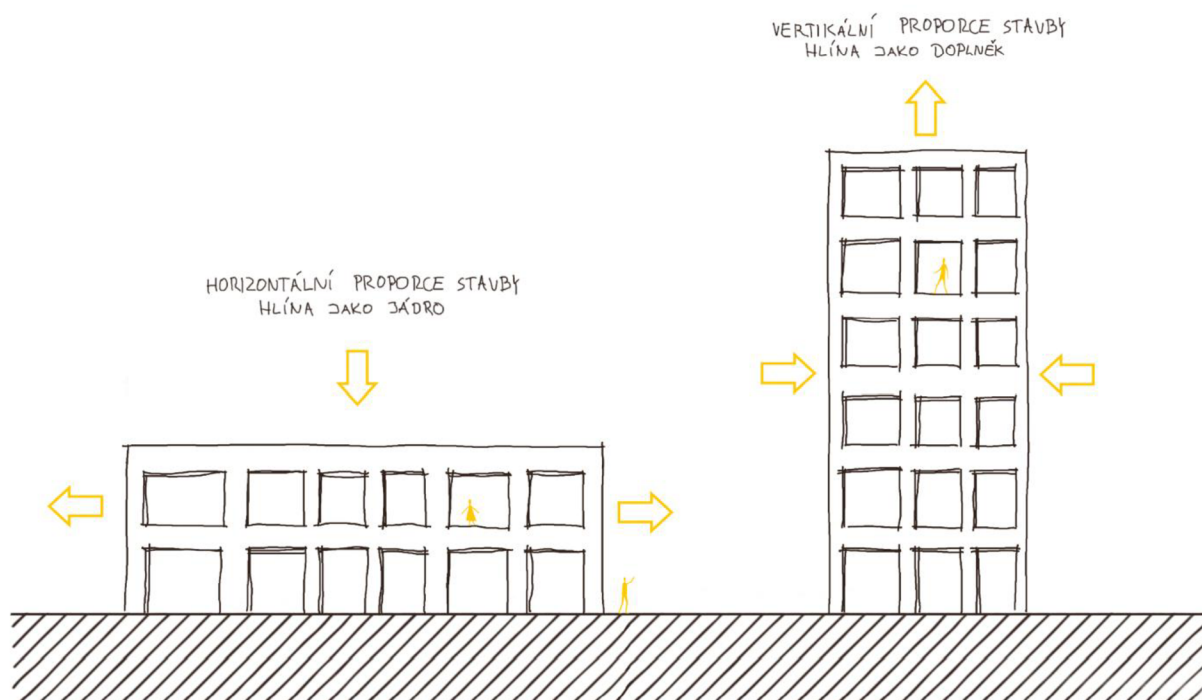
Ke konkrétním příkladům uplatnění u nás v běžném stavitelství je pak možné zmínit výstavbu rodinných domů. I když v současnosti nikdo neví, jak se nadále bude stavitelství, architektura a celkově způsob tvorby prostoru kolem nás vyvíjet, je pro účely této práce možné vycházet ze současného stavu. Prostorové nároky na typický rodinný dům, a tedy i nároky na stavební materiál, jsou významné. O to důležitější je proto výběr vhodného stavebního materiálu. Nepálená hlína může v takovém případě sloužit jako hlavní materiál pro vertikální nosné konstrukce. Je možné použít hlínu na vnitřní straně, kde se nejlépe uplatní její akumulční vlastnosti. Z exteriéru je vhodné přidání tepelné izolace a opláštění. Níže je uveden jen jeden příklad skladby, která se podobá dnes běžně používaným systémům.



Obrázek 50 Návrh skladby dusané hliněné nosné konstrukce (archiv autorky)

Při výstavbě je důležité dbát na provedení detailu a správné použití materiálu, aby se předešlo poruchám ve stavbách. Hlína musí být izolovaná od zemní vlhkosti, není vhodná pro zakládání stavby. Je lepší předcházet problémům, a proto je o to důležitější správně materiál navrhnout již v projektu a postupy kontrolovat i při výstavbě. Upřednostňuje se přitom jednodušší chytré řešení. Příliš komplikovaným detailům je naopak lépe se vyhnout. Na horizontální nosné konstrukce je lepší použít jiný stavební materiál, který je v souladu s hlínou, jako například dřevo. Dřevo, jako obnovitelný přírodní materiál, sice při použití na stropní konstrukce zvětšuje tloušťku skladby a je nutné navrhnout ve skladbě pružné materiály, ale v kombinaci s hlínou funguje výborně.

Dalším příkladem použití v dnešní praxi je výstavba smíšená, společného bydlení, služeb a komerce. Nepálená hlína tu může být použita v podobné skladbě jako u rodinného domu. Ze zahraničí známe i příklady použití nepálené hlíny pro vertikální nosné konstrukce i pro pět výškových úrovní nad sebou. Takové řešení je tedy možné, na druhou stranu, hlína je materiál, který se přirozeně drží při zemi, a tak by se možná při přílišném vytahování do výšky dostávala do konfliktu se svou podstatou. Při překročení určité výškové úrovně je tedy vhodnější použít jiný stavební materiál, jako již zmíněné dřevo, a hlínu ponechat jako doplňkový materiál (výplňové zdivo, nenosné příčky, omítky) v interiéru pro její akumulaci a izolační vlastnosti (proti hluku a záření). Konkrétní výška hliněné stavby zde není uvedena, jedná se jen o ilustraci použití.



Obrázek 51 Proporce hliněné stavby (archiv autorky)

Dalšími příklady použití nepálené hlíny při tvorbě prostoru jsou komerční a průmyslové stavby. Jak vyšlo najevo z tohoto výzkumu, materiál nijak zvláště netáhne k vytvoření prostoru pro určitou funkci, je tedy mylné předpokládat, že hlína je dobrá jen na malé rodinné domky. Naopak, hlínu jako materiál, který nás přirozeně obklopuje, je možné přetvořit v jakýkoli prostor s libovolnou funkcí. Přitom možností, jak ji použít ve skladbě je mnoho. Pokud je potřeba uklidňující účinek v interiéru, je vhodná hliněná omítka. Pokud naopak v pasivním domě navrhujeme akumulční zdivo, je vhodná masivní hlína. Kompromisním řešením je přidání určitých přísad, některé vlastnosti hlíny se tak zlepši, jiné zhorší. Pokud se například hlína vylehčí řezankou, zlepši se její tepelný odpor, ale zhorší se pevnost. Hlínu lze použít jakkoli za správného porozumění tomu, jak funguje a co je pro ni přirozené.

## **5 SEZNAM VLASTNÍCH PRACÍ**

### **PUBLIKACE**

BAŽÍK, L. Trvale udržitelná hliněná architektura. Na PhD Research Symposiu 2018. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2018.

BAŽÍK, L. Přehled mechanických vlastností hliněného stavebního materiálu. Zdravé domy 2018. Sdružení hliněného stavitelství z.s., 2018. s. 76-81. ISBN: 9788090459359.

BAŽÍK, L. Trvale udržitelná hliněná architektura. In PhD Research Symposium 2018. 2018. s. 77-82. ISBN: 978-80-214-5664-8.

BAŽÍK, L. Přehled mechanických vlastností nepálené hlíny. TZB-info, 2018, ISSN: 1801-4399.

BAŽÍK, L. Jazyk lidové hliněné architektury. In 8. Mezinárodní konference oboru architektura a urbanismus 2019. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2019. s. 135-143. ISBN: 978-80-214-5802-4.

### **WORKSHOPY**

Steppe oven. Studentský workshop. 2018

Dekorace v hliněné omítce. Studentský workshop. 2018

Přírodní barvy – Archaické hliněné barvy v moderním použití. Workshop. 2018

Hliněný prostor. Studentský workshop. 2020

### **VÝSTAVY**

Výtvarné a technické experimenty s přírodními barvami. Výstava bez kritického katalogu. 2019

### **PODÁNÍ GRANTŮ**

Down to Earth 2018

Unikátní hliněné stavby a technologie používající kusové stavivo a způsoby jejich záchrany. 2019



## 6 ZÁVĚR

Výstupem tohoto výzkumu je zakotvená teorie podstaty hliněné architektury, která je přehledně zpracovaná do grafické podoby sítě s ústřední propozicí. Tato síť poznatků provazuje vše, co doposud víme o hlíně, s novými oblastmi, současnou architektonickou tvorbou a aktuálními tématy pro nalezení nových spojitostí a podpoření ústředního tématu – propozice podstaty hliněné architektury. Podstata hliněné architektury v našich podmínkách je abstrahována do podoby modelového případu. Výstupem této disertace je tedy návrh drobné hliněné stavby, jež prezentuje síť poznatků a testuje propozici teorie aplikací do konkrétní podoby prostoru.

Modelový případ slouží jako ilustrace ideálního použití hlíny v podmínkách Česka. Při stavění z hlíny je vhodné se takovým případem inspirovat a po porozumění lze použít některé prvky. Jedná se o jeden návrh ideálního uplatnění hlíny v našich podmínkách, ale nevylučuje použití i jiných konstrukčních technik nebo jiných detailů. Pro stavitele je výhodou hliněný materiál dobře poznat a pochopit, jak nejlépe je možné ho použít.

Vzhledem k tomu, že hlavním těžištěm této práce je nalézt podstatu hliněné architektury, jedná se o nalezení její přirozenosti, nadčasového pohledu bez přílišného vlivu toho, co je obecně považováno za zřejmé. Protože to, co známe, a co pokládáme většinou za normální, nemusí být nutně správně. Na jednu věc lze vždy nahlížet z více pohledů, neexistuje jedno jediné řešení. Modelový případ představuje jednoduchou stavbu tvořenou jen pomocí lidské síly. V inspiraci touto stavbou si však lze představit uplatnění hlíny i v dnešní době, a to pomocí dostupných technologií.

Cílem práce bylo nalézt taková témata, která nejvíce ovlivňují podstatu hliněné architektury v našich podmínkách. Mezi ně patří lokalita, lidé, elementární, směr, dotek, masivní a správné použití. Na tuto práci je možné navázat dalším výzkumem například při návrhu konkrétních příkladů uplatnění ve skladbách nebo individuální tvorby prostoru při zadání funkce a místa.

Zřízení místních hlinišť, místních výrobců hliněných prvků, patří mezi hlavní doporučení této práce při použití v praxi. Pro lepší uplatnění je vhodné ukotvení nepálené hlíny v současné legislativě a vzdělávání na středních a vysokých školách se zaměřením na stavebnictví. Při stavění z hlíny je důležité její správné použití, tím že je hliněná směs vždy charakteristická v daném místě je potřeba porozumět tomu, jak se materiál chová, jak jej správně kombinovat a řešit detaily. Autorka dále doporučuje používat hlínu kromě interiérových omítek, které jsou

dnes běžné, pro její vlastnosti jako masivní hliněné zdivo ať už nosné (pak spíše v horizontální proporci stavby) nebo nenosné.

Záměrem této práce bylo propojit teorii s praxí, tento cíl byl naplněn návrhem drobné architektury, kdy nezůstává jen u teoretické roviny slov, ale je ztvárněna konkrétnější podoba pojetí hliněného prostoru. Tato drobná stavba pak může sloužit jako inspirace k porozumění a správnému použití hlíny v architektuře.

## SUMMARY

The output of this research is the grounded theory of the essence of earthen architecture, which is clearly processed into a graphical form of a network with a central proposition. This network of knowledge connects everything we know about earth so far, with new areas, contemporary architectural work and current topics to find new connections and support the central theme - the proposition of the essence of earthen architecture in the Czech Republic. The essence of earthen architecture in our conditions is abstracted into a model case. The output of this dissertation is the design of a small earthen structure, which presents a network of knowledge and tests the proposition of the theory of applications to a specific form of space.

The model case serves as an illustration of the ideal use of earth in the conditions of the Czech Republic. When building with earth, it is advisable to be inspired by such a case, and after understanding, some elements can be used. This is one proposal for the ideal application of earth in our conditions, but it does not preclude the use of other construction techniques or other details. It is an advantage for builders to know the earthen building material well and understand its best use.

Given that the main focus of this work is to find the essence of earthen architecture, it is a matter of finding its naturalness, a timeless view without undue influence of what is generally considered obvious. Because what we know, and what we consider to be mostly normal, may not necessarily be right. One thing can always be viewed from several perspectives, there is no single solution. The model case represents a simple structure formed only by human force. Inspired by this construction, however, it is possible to imagine the application of earth even today, using available technologies.

The aim of the work was to find such topics that most influence the essence of earthen architecture in the Czech Republic. These include location, people, elementary, mixture, touch, massive and proper use. This work can be followed up by further research, for example in the design of specific examples of application in compositions or individual creation of space in the assignment of function and place.

The establishment of local earthen pits, local producers of earthen elements, are among the main recommendations of this work when used in practice. For better application, it is appropriate to anchor earth in current legislation and education at secondary schools and universities with a focus on construction. When building with earth, it is important to use it

correctly, because the earthen mixture is always characteristic in a given place, it is necessary to understand how the material behaves, how to combine it correctly and how to solve details. The author also recommends the use of earth in addition to interior plasters, which are common today, for its properties as solid earthen masonry, whether load-bearing (then rather in the horizontal proportion of the building) or non-load-bearing.

The aim of this work was to connect theory with practice, this goal was fulfilled by the design of small architecture, which does not remain only at the theoretical level of words, but is depicted a more specific form of the concept of earthen space. This small building can then serve as an inspiration for understanding and the correct use of earth in architecture.

## 7 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

3D WASP, 2020. *Dům Gaia* [online]. Dostupné z: <https://www.3dwasp.com/en/3d-printed-house-gaia/>

ABERGEL, Thibaut, Brian DEAN a John DULAC, 2017. *Towards a zero-emission, efficient, and resilient buildings and construction sector* [online]. B.m.: United Nations Environment Programme. Dostupné z: [http://www.worldgbc.org/sites/default/files/UNEP\\_188\\_GABC\\_en%28web%29.pdf](http://www.worldgbc.org/sites/default/files/UNEP_188_GABC_en%28web%29.pdf)

ALEXANDER, Christopher, 1979. *The Timeless Way of Building* [online]. Ne York: Oxford University Press. ISBN 978-0-19-502402-9. Dostupné z: doi:10.1080/00918360802623131

ALEXANDER, Christopher, Sara ISHIKAWA a Murray SILVERSTEIN, 1977. *A Pattern Language*. New York: Oxford University Press. ISBN 978-0-19-501919-3.

AV UNITED NATIONS PHOTO, 2021. Djenné-moskeen. *Store norske leksikon* [online] [vid. 2021-02-27]. Dostupné z: <https://snl.no/Mali>

BASEHABITAT, 2019. *BASEhabitat* [online]. Dostupné z: <https://www.basehabitat.org/en/about/>

BAŠTA, Restaurace Hliněná, 2020. *Restaurace Hliněná Bašta* [online]. Dostupné z: <https://www.hlinenabasta.cz/o-nas/napsali-o-nas/z-historie-hlinene-basty>

BAŽÍK, Lenka, 2018a. Přehled mechanických vlastností nepálené hlíny. *tzb-info* [online]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/hruba-stavba/18379-prehled-mechanickych-vlastnosti-nepalene-hliny>

BAŽÍK, Lenka, 2018b. Trvale udržitelná hliněná architektura. In: Jiří PALACKÝ a Kateřina DOKOUPILOVÁ-PAZDERKOVÁ, ed. *PhD Research Symposium*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, s. 77–82.

BAŽÍK, Lenka, 2019. Jazyk lidové hliněné architektury. In: *8. Mezinárodní konference oboru architektura a urbanismus 2019* [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta architektury, s. 135–143. Dostupné z: doi:10.13164/phd.fa2019.16

BEAT BÜHLER FOTOGRAFIE, 2020. *Lehmhaus Rauch* [online]. Dostupné z: <https://www.iglehm.ch/lehmbau/bauten/lehmhaus-rauch>

BOTHWELL, Keith, 2015. Sustainable architecture. In: Michael REDCLIFT a Delyse

SPRINGETT, ed. *Routledge International Handbook of Sustainable Development* [online]. s. 147–163. ISBN 0078701406. Dostupné z: doi:10.7910/DVN/PZB01G

BREEAM, 2018. *www.breeam.com* [online]. Dostupné z: [www.breeam.com](http://www.breeam.com)

CALDERA, Carlo, Andrea BOCCO, Simonetta PAGLIOLICO, E.C.M. VALCÁRCEL, A.r. BERORELLO a Irene CALTABIANO, 2011. *Natural materials and building techniques for social sustainability* [online]. Dostupné z: [https://didattica.polito.it/pls/portal30/sviluppo.dotto.download\\_file?p\\_id=1911](https://didattica.polito.it/pls/portal30/sviluppo.dotto.download_file?p_id=1911)

CLÉMENT VERGÉLY ARCHITECTES, 2020. *Îlot B2 – Lyon Confluence* [online]. Dostupné z: <http://www.vergelyarchitectes.com/ilot-b2-lyon-confluence/>

CRATERRE, 2019. CRAterre. *CRAterre laboratory* [online]. Dostupné z: <http://www.craterre.org/>

DAHMEN, Joe, nedatováno. *Laboratory Testing of rammed earth* [online] [vid. 2020-09-11]. Dostupné z: <http://web.mit.edu/masonry/Rammed/testing.html>

EAGLEMAN, David, 2017. *Mozek*. B.m.: BizBooks. ISBN 978-80-265-0663-8.

EDUARD SCHLEGER, LUKÁŠ LIESLER, DALIBOR HLAVÁČEK, Kateřina Rottová, 2008. *Zdraví a krása: Přírodní materiály a zdravé stavby*. 1. vyd. Praha: České vysoké učení technické v Praze. ISBN 978-80-01-04012-6.

FATHY, Hassan, 1986. *Natural Energy and Vernacular Architecture: Principles and Examples with Reference to Hot Arid Climates*. 1st Editio. B.m.: University Of Chicago Press. ISBN 0226239179.

FRANCESCO ROCIOLA, Giuseppe, 2017. Matter, material, architecture. The tectonic conception between spontaneous consciousness and critical consciousness. *VITRUVIO - International Journal of Architectural Technology and Sustainability* [online]. **2**, 35. Dostupné z: doi:10.4995/vitruvio-ijats.2017.8745

GROAT, Linda a David WANG, 2013. *Architectural research methods*. 2nd editio. B.m.: Jon Wiley & Sons. ISBN 9780470908556.

HARARI, Yuval Noah, 2018. *Sapiens - Stručné dějiny lidstva*. B.m.: Leda. ISBN 978-80-7335-569-2.

HENDL, Jan, 2005. *Kvalitativní výzkum: Základní metody a aplikace*. ISBN 80-7367-040-2.

- HERINGER, Anna, 2020. *Anna Heringer* [online]. Dostupné z: <http://www.anna-heringer.com/>
- HERINGER, Anna, Lindsay Blair HOWE a Martin RAUCH, 2019. *Upscaling Earth: Material, Process, Catalyst*. B.m.: gta Verlag. ISBN 978-3856763930.
- HOERBST, Kurt, 2020. METI school. *Anna Heringer Architecture* [online]. Dostupné z: <http://www.anna-heringer.com/index.php?id=31>
- Houben, Hugo a Hubert GUILLAUD, 1994. *Earth construction - A comprehensive guide*. B.m.: ITDG Publishing. ISBN 9781853391934.
- INSTITUT CÍRKULÁRNÍ EKONOMIKY, z.ú., 2020. *Institut Cirkulární Ekonomiky* [online] [vid. 2020-05-31]. Dostupné z: <https://incien.org/cirkularni-ekonomika/>
- IOTSENS, 2020. What is Industry 4.0 and what does it contribute to my company? *Online Blog* [online]. Dostupné z: <https://iotsens.com/what-is-industry-4-0-and-what-does-it-contribute-to-my-company/>
- JANÍK, R., M. PAJTÁŠOVÁ, E. JÓNA, D. ONDRUŠOVÁ a V. JANÍKOVÁ, 2016. Detoxikácia zložiek životného prostredia pomocou fylosilikátov. In: Luboš SIBILLA a Zdeněk VEJPUSTEK, ed. *Zdravé domy 2016*. B.m.: Sdružení hliněného stavitelství z. s., s. 101–102.
- KAPFINGER, Otto, 2010. *The Rauch House*. B.m.: Birkhäuser GmbH. ISBN 978-3034601092.
- KARASOVÁ, Alena, 2010. *Rekonstrukce hliněných staveb v regionu Haná*. B.m. Brno University of Technology.
- KEABLE, Rowland, Peter WALKER, Baron Walker of WORCESTER, V MANIATIDIS a Joe MARTIN, 2005. Properties of Rammed Earth. In: *Rammed Earth: Design and Construction Guidelines*. B.m.: BREPress, s. 99–110. ISBN 1-86081-734-3.
- KERÉ ARCHITECTURE, 2020. *Kéré Architecture* [online] [vid. 2020-09-06]. Dostupné z: <http://www.kere-architecture.com/about/>
- KIPNEROVÁ, Karolína, 2019. Martin Rauch. *INTRO 9*. 17–20.
- LEED, 2018. [new.usgbc.org/leed](http://new.usgbc.org/leed) [online]. Dostupné z: <https://new.usgbc.org/leed>
- MCDONOUGH, William a Michael BRAUNGART, 2002. *Cradle to Cradle: Remaking the*

*Way We Make Things* [online]. 1st editio. B.m.: North Point Press. ISBN 978-0865475878.

Dostupné z: <https://archive.org/details/cradletocradlere0000mcdo/mode/2up>

MENCL, Václav, 1980. *Lidová architektura v Československu*. Praha: Academia.

MINKE, Gernot, 2007. *Building with Earth: Design and Technolog[1] MINKE, Gernot.*

*Building with Earth: Design and Technology of a Sustainable Architecture*. Basel: Birkhäuser, 2007. ISBN 9788578110796. *y of a Sustainable Architecture*. Basel: Birkhäuser. ISBN 9788578110796.

MURATORI, Saverio, 1963. *Architettura e civiltà in crisi*. Roma: Centro Studi di Storia Urbanistica.

NAHORNIAKOVÁ, Marcela Čábelková, 2012. Dům v kozichu. *Soudobá organická obytná architektura* [online]. Dostupné z: <https://www.archiweb.cz/b/dum-v-kozichu>

NEKL, Jiří, 2018. *Stavba/rekonstrukce domu svépomocí* [online] [vid. 2020-08-16]. Dostupné z: <https://www.vyplnto.cz/realizovane-pruzkumy/stavba-rekonstrukce-svepomoc/>

NOVOTNÝ, Martin, 2016. *Hliněné stavitelství na Moravě - Průvodce muzejní expozicí*. Strážnice: Národní ústav lidové kultury. ISBN 6103544947.

OUWERKERK, Erik-Jan, 2020. *Základní škola Gando*. *Kéré Architecture* [online] [vid. 2020-09-06]. Dostupné z: <http://www.kere-architecture.com/projects/primary-school-gando/>

POQUÉRUSSE, Jessie, 2012. *The Neuroscience of Sharing*.

RAUCH, Martin, 2015. *Refined Earth: Construction & Design with Rammed Earth*. B.m.: Detail. ISBN 978-3955532734.

RÖHLEN, Ulrich a Christof ZIEGERT, 2011. *Earth Building Practice: Planning - Design - Building* [online]. B.m.: Beuth Verlag. ISBN 978-3410217374. Dostupné z: <https://books.google.cz/books?id=zZ2YrTY-0BoC&printsec=frontcover&hl=cs#v=onepage&q&f=false>

SALINGAROS, Nikos A., 2017. *Sjednocená teorie architektury: Forma, jazyk, komplexita*. Brno: VUTIUM, Barrister & Principal Publishing. ISBN 978-80-214-5345-6, 978-80-7485-138-4.

SAMEC, Tomáš Hoření, Ivana BALGOVÁ, Jan BLAŽEK, Jan Lid ŘÍŠSKÝ, Romana



Marková VACKOVÁ a Volejníčková BARBORA, 2019. *Svépomoc v bydlení: minulost! / budoucnost...?* Praha: Sociologický ústav AV ČR. ISBN 978-80-7330-360-0.

SCHWAB, Klaus, 2016. The Fourth Industrial Revolution: what it means and how to respond. *World Economic Forum*. 1–7. ISSN 13489216.

SDRUŽENÍ HLINĚNÉHO STAVITELSTVÍ, 2019. *Mapa památkově chráněných hliněných domů* [online] [vid. 2019-08-24]. Dostupné z: <http://www.hlina.info/cs/hlinene-stavitelstvi/mapa-hlinenych-staveb.html>

SIMITCH, Andrea, Val WARKE, Iñiqui CARNICERO, Steven FONG, K. Michael HAYS, David J. LEWIS, Richard ROSA, Jenny SABIN, Jim WILLIAMSON a Andrea POLÁČKOVÁ, 2015. *Jazyk architektury : 26 principů, které by měl každý architekt znát*. Praha: Slovart. ISBN 978-80-7529-034-2.

ŠKABRADA, Jiří, 1996. *Lidová architektura*. Praha: Vydavatelství ČVUT. ISBN 80-01-01435-5.

ŠVACHOVÁ, Tereza, 2019. Dům vytištěný z hlíny. *INTRO* 9. 102–105.

TRUONG, Quang, 2020. Does architecture have a framework for applying material innovation? *The Architect's Newspaper* [online]. Dostupné z: <https://www.archpaper.com/2020/06/does-architecture-have-a-framework-for-applying-material-innovation/>

ÚNMZ, 2018. *ČSN EN ISO 14688-1 Geotechnický průzkum a zkoušení*. 2018.

VONKA, Martin, 2011. *Metodika SBToolCZ - Manuál hodnocení bytových staveb ve fázi návrhu*.

YIN, Robert K, 2009. *Case Study Research Design and Methods Fourth Edition*. ISBN 9781412960991.

ŽABIČKOVÁ, Ivana, 2003. *Hliněné stavby*. B.m.: ERA. ISBN 978-80-86517-21-6.

## 8 SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ

Obrázek 1 METI (Hoerbst 2020) .....	14
Obrázek 2 Základní škola Gando (Ouwerkerk 2020) .....	15
Obrázek 3 Základ axiálního kódování (Hendl 2005) .....	19
Obrázek 4 Velká mešita v Djenné (Av United Nations Photo 2021).....	25
Obrázek 5 Kaolinit, illit, montmorillonit (Minke 2007) .....	31
Obrázek 6 Tetraedr s křemíkovým jádrem, oktaedr s hliníkovým jádrem (Minke 2007).....	31
Obrázek 7 Vazba hydroxidu hlinitého a oxidu křemičitého (Minke 2007) .....	32
Obrázek 8 Test vaznosti (Röhlen a Ziegert 2011).....	33
Obrázek 9 Zkouška pevnosti v tlaku hliněného vzorku (Dahmen nedatováno).....	34
Obrázek 10 Zkouška přilnavosti (Minke 2007) .....	36
Obrázek 11 Zkouška odolnosti proti opotřebení (Minke 2007).....	36
Obrázek 12 Zařízení pro měření odolnosti rohů hliněných cihel (Minke 2007).....	36
Obrázek 13 Graf konzistence soudržných zemin (ÚNMZ 2018).....	37
Obrázek 14 Test odolnosti proti tekoucí vodě (Minke 2007) .....	38
Obrázek 15 Zkouška odolnosti proti působení vody (Žabičková 2003) .....	38
Obrázek 16 Postup stavby vrstvené zdi (Mencel 1980).....	45
Obrázek 17 Stavba nabíjených stěn pomocí bednění (Novotný 2016) .....	46
Obrázek 18 Klasovitě kladené války (Novotný 2016).....	47
Obrázek 19 Cihly ve čtyřkomorových formách (Žabičková 2003) .....	49
Obrázek 20 Sušení nepálených cihel (Mencel 1980).....	49
Obrázek 21 3D tisk hliněného domu (3D Wasp 2020) .....	53
Obrázek 22 Cirkulární vs. lineární ekonomika (Institut Cirkulární Ekonomiky 2020) .....	57
Obrázek 23 Rámec tří pilířů porozumění (Truong 2020) .....	61
Obrázek 24 Čtyři průmyslové revoluce (IOTSSENS 2020) .....	62
Obrázek 25 Kněždub 137 (archiv autorky) .....	63
Obrázek 26 Tvarožná Lhota 187 (archiv autorky).....	64
Obrázek 27 Velká nad Veličkou 117 (archiv autorky) .....	64
Obrázek 28 Jazyk lidové hliněné architektury v perspektivě (archiv autorky).....	68
Obrázek 29 Jazyk lidové hliněné architektury v perspektivě 2 (archiv autorky).....	69
Obrázek 30 Jazyk lidové hliněné architektury – dispozice (archiv autorky) .....	69
Obrázek 31 Dům Rauch (Beat Bühler Fotografie 2020).....	70
Obrázek 32 Kalkulovaná eroze (Rauch 2015) .....	71

Obrázek 33 Detail půdorysného řezu zdí (3D Wasp 2020) .....	72
Obrázek 34 Dům Gaia (3D Wasp 2020) .....	73
Obrázek 35 Dusaná konstrukce s oblouky (Clément Vergély Architectes 2020).....	74
Obrázek 36 Jíloviště v Hevlíně (archiv autorky) .....	77
Obrázek 37 Případ č.2 (archiv autorky) .....	83
Obrázek 38 Případ č.1 (archiv autorky) .....	83
Obrázek 39 Případ č.3 (archiv autorky) .....	84
Obrázek 40 Člověk – venku a uvnitř (archiv autorky).....	93
Obrázek 41 Člověk – různé aktivity (archiv autorky).....	93
Obrázek 42 Člověk – různý věk (archiv autorky) .....	94
Obrázek 43 Koncept – půdorysný tvar (archiv autorky).....	94
Obrázek 44 Koncept – tvar v řezu (archiv autorky).....	95
Obrázek 45 Koncept – splynutí (archiv autorky) .....	95
Obrázek 46 Koncept – cyklus (archiv autorky) .....	96
Obrázek 47 Koncept – půdorys a řez (archiv autorky) .....	97
Obrázek 49 Koncept – prostor (archiv autorky).....	97
Obrázek 50 Schéma hliniště na okraji obce (archiv autorky) .....	99
Obrázek 51 Návrh skladby dusané hliněné nosné konstrukce (archiv autorky) .....	100
Obrázek 52 Proporce hliněné stavby (archiv autorky).....	101

## **9 SEZNAM TABULEK**

Tabulka 1 Klasifikace hliněné směsi na základě testu vaznosti (Röhlen a Ziegert 2011) ... 33

## **10 SEZNAM PŘÍLOH**

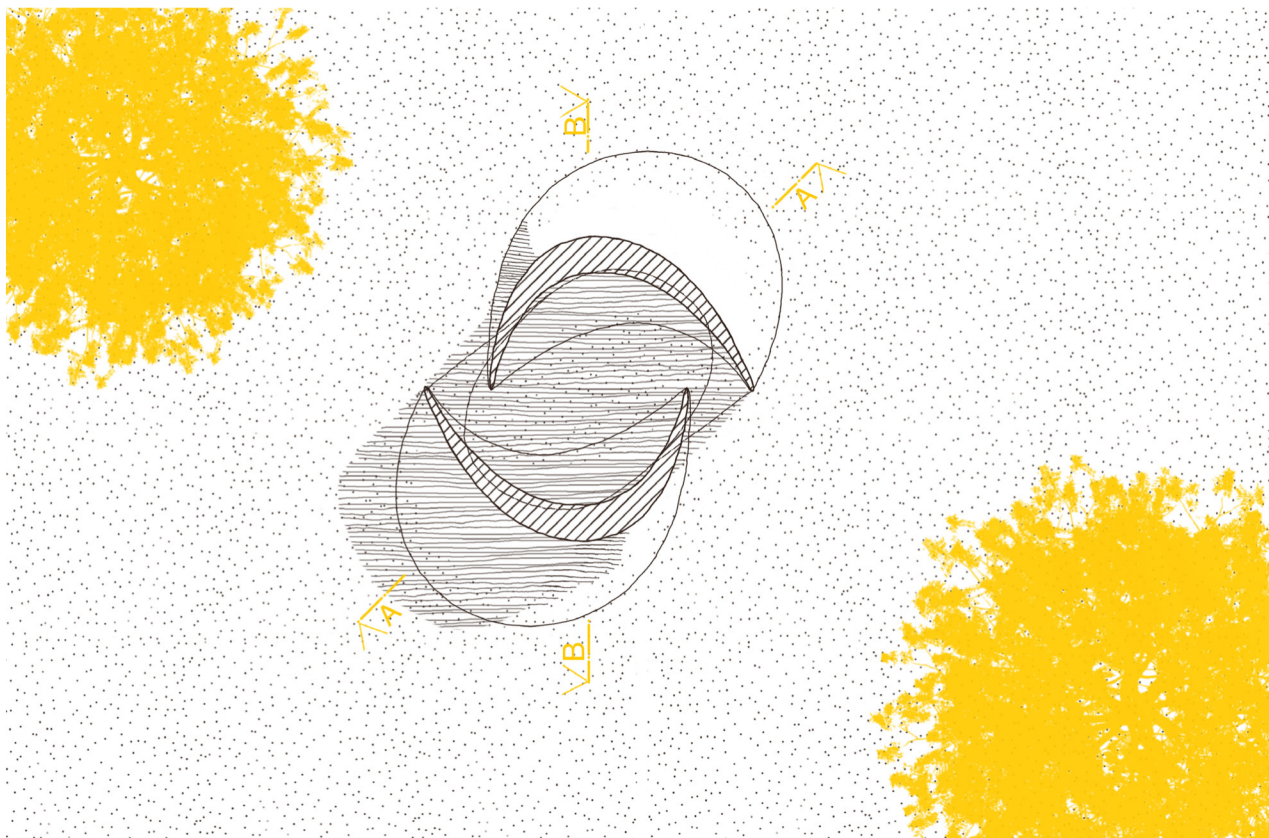
- Příloha 1 Rozpracovaná síť poznatků (autorka)
- Příloha 2 Síť poznatků (autorka)
- Příloha 3 Modelový případ – Ptačí perspektiva\_1:100 (autorka)
- Příloha 4 Modelový případ – Půdorys\_1:100 (autorka)
- Příloha 5 Modelový případ – Řez A-A a řez B-B\_1:100 (autorka)
- Příloha 6 Modelový případ – Pohledy\_1:100 (autorka)
- Příloha 7 Modelový případ – Perspektiva exteriér (autorka)
- Příloha 8 Modelový případ – Perspektiva interiér (autorka)



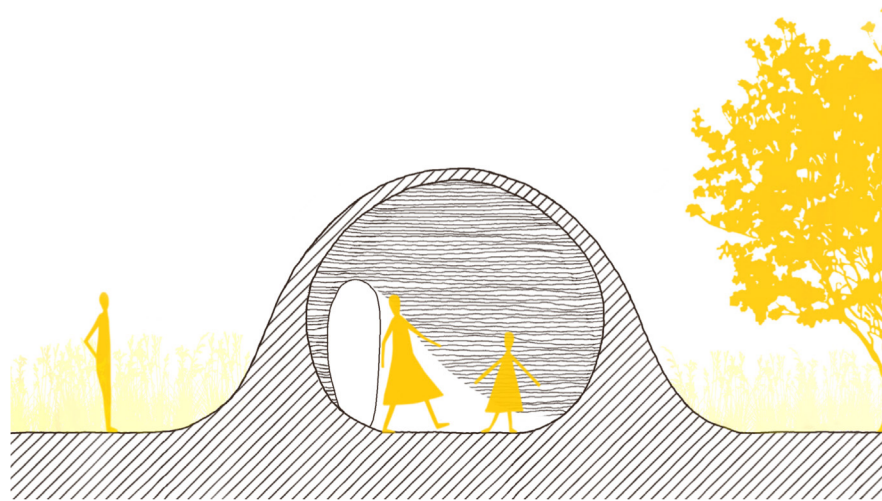




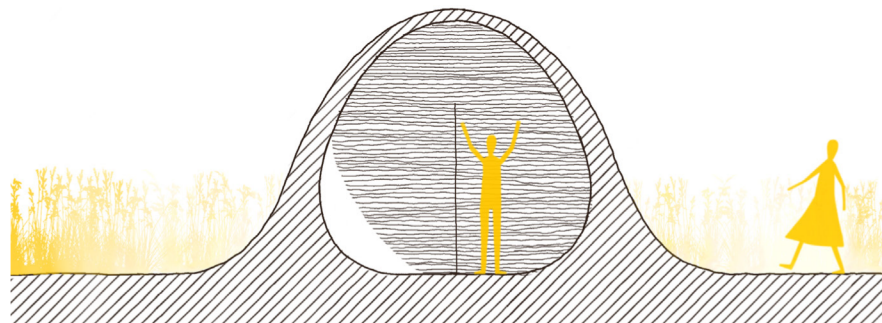


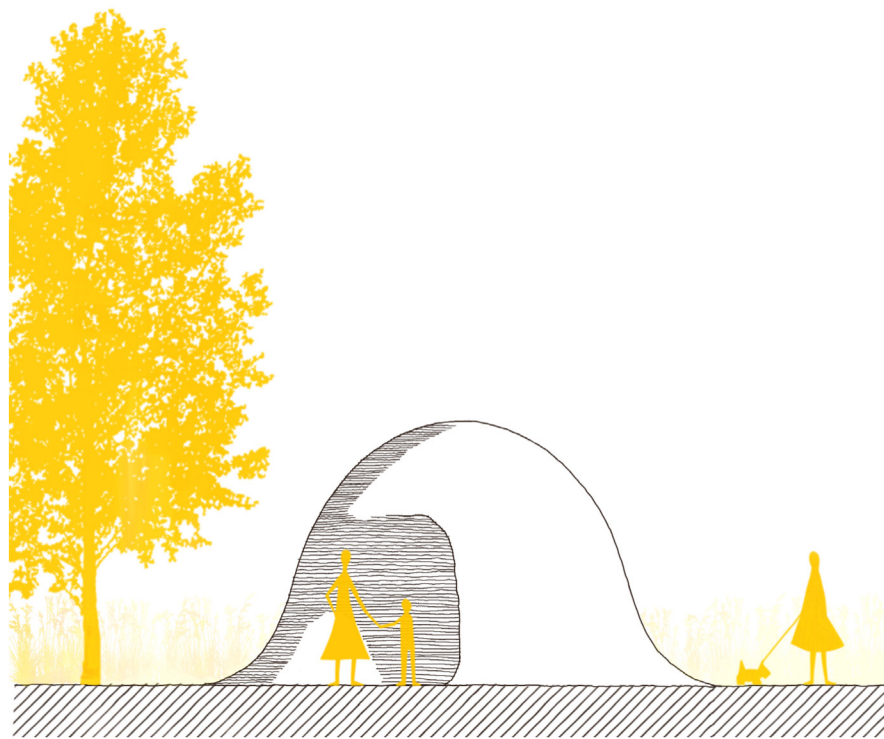
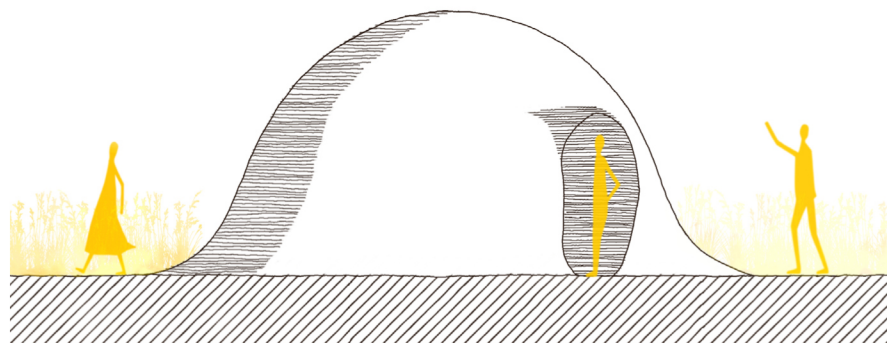


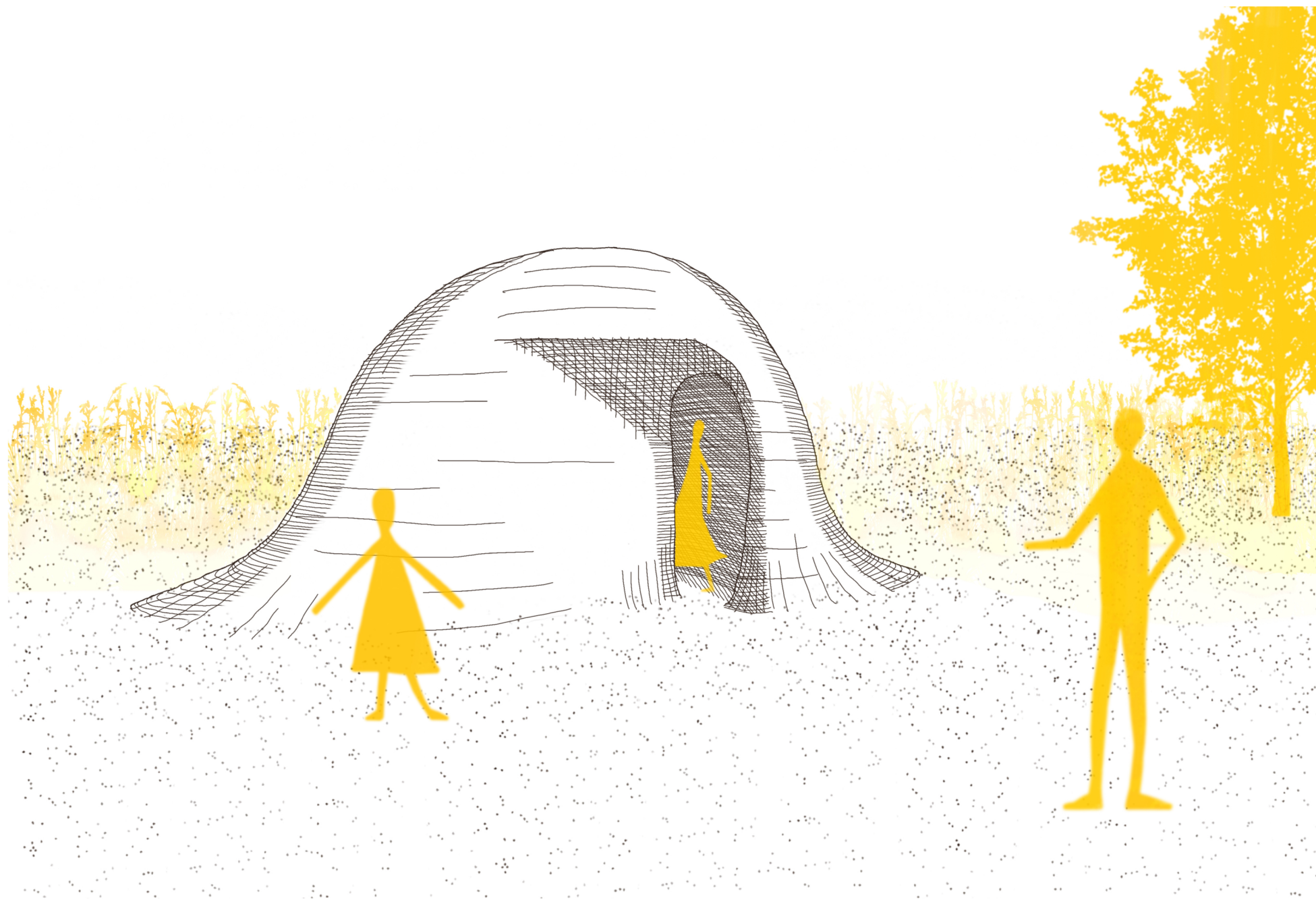
Řez A-A



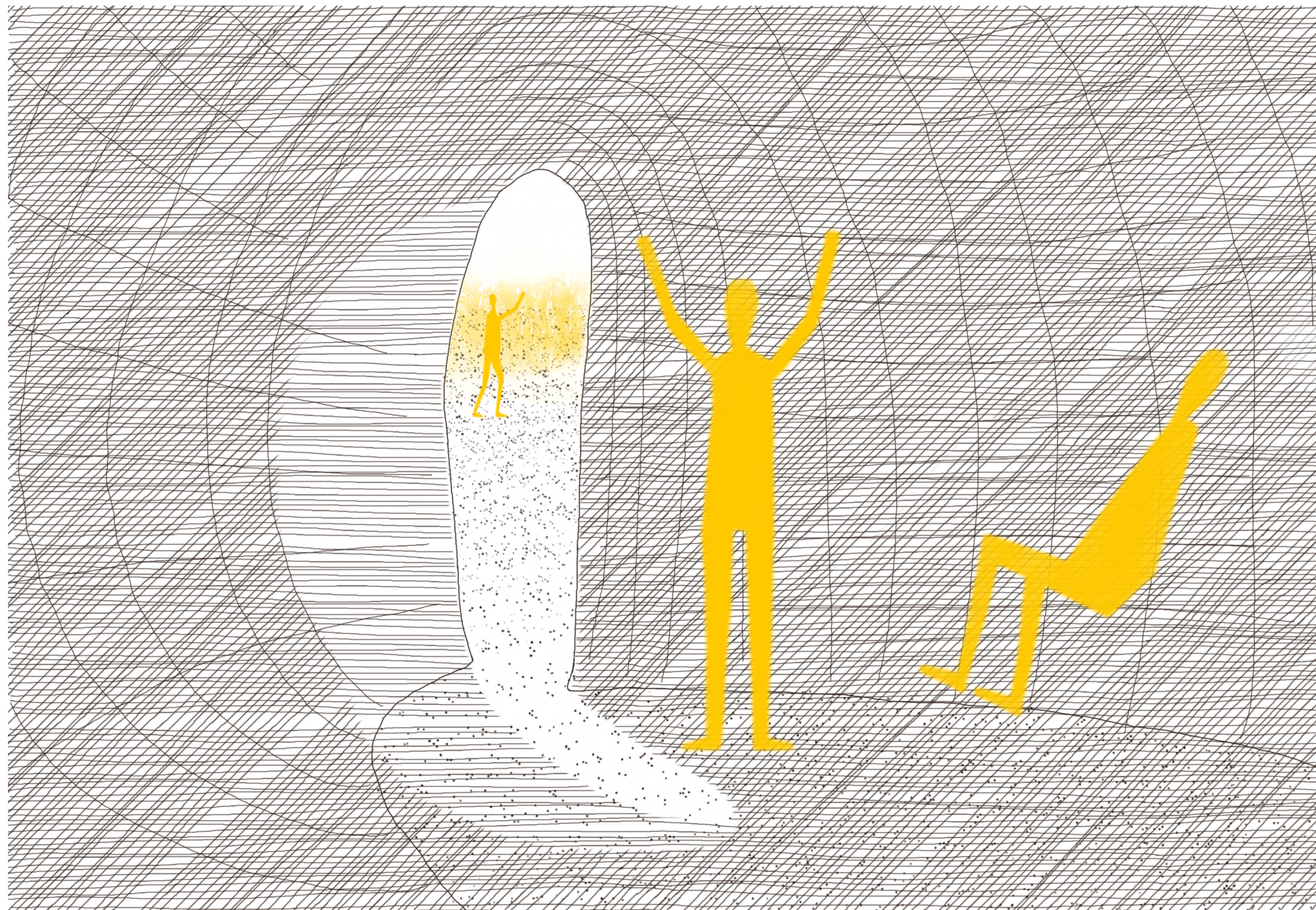
Řez B-B







Příloha 7 Modelový případ – Perspektiva exteriér (autorka)



Příloha 8 Modelový případ – Perspektiva interiér (autorka)