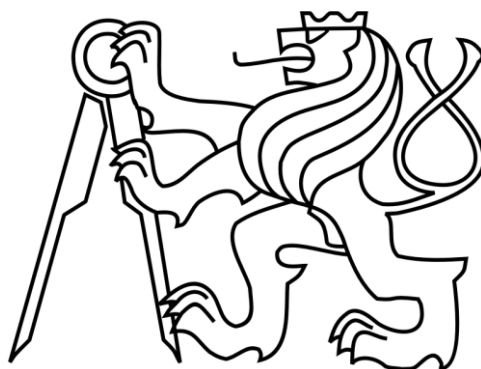


**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ**  
**FAKULTA STAVEBNÍ**  
**Katedra technologie staveb**



**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**  
**Technologie stavění z konopného**  
**betonu**

**2017**

**Zuzana Prášková**

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Rostislav Šulc, PhD.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předkládanou bakalářskou práci vypracovala samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

V Praze .....

.....

## Poděkování

Ráda bych poděkovala panu Patriku Majringerovi z NORICUM s.r.o. za cenné rady, podklady a praktické zkušenosti, bez kterých by tato práce nemohla vzniknout. Dále děkuji svému vedoucímu Ing. Rostislavu Šulcovi, PhD. za účelné připomínky.



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

**Fakulta stavební**

Thákurova 7, 166 29 Praha 6

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Prášková Jméno: Zuzana Osobní číslo: 407405  
Zadávající katedra: Katedra technologie staveb  
Studijní program: Stavební inženýrství  
Studijní obor: Příprava, realizace a provoz staveb

### II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Technologie stavění z konopného betonu

Název bakalářské práce anglicky: Technology of hempcrete building

Pokyny pro vypracování:

- 1) Rešerše k využívání konopného betonu ve stavebnictví. Výhody a nevýhody tohoto materiálu, perspektivy použití.
- 2) Popis materiálu z hlediska jeho složení, mechanických, fyzikálních a chemických vlastností.
- 3) Specifikace pro zpracování a technologické postupy pro použití konopného betonu.
- 4) Sestavení technologického předpisu pro betonáž svislých dělicích konstrukcí z konopného betonu.
- 5) Stanovení optimálních pomůcek a mechanizace pro zpracování, technologických přestávek, stavební připravenosti pro betonáž a následné procesy.
- 6) Požadavky na zásobování a skladování materiálu.
- 7) Určení jednotkové pracovní síly pro práci s konopným betonem při betonáži svislých dělicích konstrukcí.

Seznam doporučené literatury:

- 1) Chybík, J.; Přírodní stavební materiály
- 2) Stanwix W., Sparrow A.; Hempcrete
- 3) Allin S.; Building with Hemp
- 4) Ruman M.; Cannabis

Jméno vedoucího bakalářské práce: Ing. Rostislav Šulc, PhD.

Datum zadání bakalářské práce: 23.2.2017 Termín odevzdání bakalářské práce: 28.5.2017  
*Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku*

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

*Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.*

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

## Technologie stavění z konopného betonu

Účelem této bakalářské práce bylo zmapování možností využití konopí jako materiálu ve stavebnictví. Hlavní oblastí zájmu je čím dál více používaný materiál známý pod názvem konopný beton. V České republice zatím nejsou k dispozici ucelené podklady, které by poskytovaly detailní popis práce s tímto materiálem. Autorka definuje technologický postup míchání a následné betonáže konopným betonem, sestavený na základě poznatků ze stavby a ze záznamů zkušeností lidí, kteří s tímto materiálem již pracovali. Pro účely technologického postupu bylo nezbytné stanovit normohodinu betonáže. Autorka získala hodnotu normy času přímým měřením, přesněji metodou snímku pracovní operace.

Klíčová slova: materiály z technického konopí, konopný beton, technologický postup, norma času

## Technology of hempcrete building

The motivation of this thesis was to map the usage possibilities of hemp in construction, it is primarily focused on hempcrete which is getting more and more attention nowadays. At the moment, there are no complete sources which would provide detailed instructions for work with this material in the Czech republic. The author defines a technological process of mixing and placing the hempcrete based on knowledge gained at the construction sites and the experience of people who have already worked with this material. For the technological process purposes, it was necessary to determine the Standard Hour for working with the hempcrete. The Time Standard was determined by direct measuring using the technique of Diary Method.

Keywords: materials from hemp, hempcrete, technological process, time standard

# Obsah

Úvod .....	9
1 Obecný přehled o rostlině konopí .....	11
1.1 Co je to konopí, botanické zařazení .....	11
1.2 Historie .....	12
1.3 Pěstování konopí z hlediska legislativy .....	13
1.3.1 Současná legislativa ve světě .....	13
1.3.2 Legislativa v ČR .....	14
1.4 Využití konopí .....	15
1.4.1 Obecné vlastnosti technického konopí .....	15
1.4.2 Přehled využití konopí .....	17
2 Stavební materiály z technického konopí .....	18
2.1 Tepelně izolační materiály .....	18
2.1.1 Vlastnosti tepelně izolačních materiálů .....	18
2.1.2 Typy výrobků .....	18
2.1.3 Porovnání vybraných tepelně izolačních materiálů .....	21
2.2 Konopno-vápenný kompozit .....	21
2.2.1 Typy konopné směsi dle způsobu použití .....	22
2.2.2 Pojiva a jejich vliv na směs .....	23
3 Stavění z konopného betonu .....	24
3.1 Materiálové charakteristiky konopného betonu .....	24
3.1.1 Paropropustnost a hygroskopicitata .....	25
3.1.2 Odolnost vůči vlhkosti .....	26
3.1.3 Akustické chování .....	26
3.1.4 Tepelné chování .....	26
3.1.5 Požární odolnost .....	28
3.2 Uhlíková stopa a vliv na životní prostředí .....	28
3.3 Formy zpracování .....	30
3.3.1 Monolitický .....	30
3.3.2 Prefabrikovaný .....	31
3.4 Typy bednění .....	32
3.5 Míchání a zpracování monolitické směsi .....	33

3.5.1	Osobní ochranné pracovní pomůcky (OOPP) .....	33
3.5.2	Vedení instalací.....	33
3.5.3	Správné poměry složek a postup míchání .....	34
3.5.4	Zásady betonáže .....	35
4	Vymezení pojmů pro stanovení normy času a pracnosti .....	37
5	Cíle praktické části .....	39
6	Stanovení normy času .....	40
6.1	Předmět řešení .....	40
6.2	Pozorovací list snímku průběhu práce.....	42
6.3	Výpočty norem časů operací, určení jednotkové pracnosti .....	45
7	Stanovení technologického předpisu .....	48
7.1	Základní identifikační údaje .....	48
7.2	Vstupní materiály a výrobky .....	49
7.3	Pracovní podmínky .....	51
7.4	Jakost provedení.....	55
7.5	BOZ a PO .....	55
7.6	Vliv na životní prostředí .....	57
	Závěr .....	58
	Literatura a jiné zdroje .....	59
	Seznam obrázků .....	63
	Seznam tabulek.....	64



## ÚVOD

K lidskému životu neodmyslitelně patří energie, která se využívá pro získávání světla, tepla, pohonných hmot a mnoho dalších věcí, a dává za vznik téměř všem výrobkům na světě. Ropa je již od 19. století nedílnou součástí našich životů, je výhradním zdrojem energie. Patří mezi neobnovitelná fosilní paliva, kterých je na planetě omezené množství. Spalování fosilních paliv zapříčiňuje emise škodlivých látek do atmosféry. Jedním z největších problémů je zvyšující se koncentrace oxidů uhlíku v atmosféře, především jde o oxid uhličitý, který je jedním z hlavních skleníkových plynů. Skleníkové plyny se podílejí na změně klimatu, přispívají ke globálnímu oteplování. V mnoha zemích se vyvíjejí technologie, které by produkovaly co nejméně oxidu uhličitého. (38)

Říká se, že ropa je nenahraditelným zdrojem energie (38), hledají se nové materiály a technologie, které by ji mohly zastoupit, přitom již tisíce let je zde rostlina, která by mohla tyto problémy pomoci vyřešit. Její schopnosti a možnosti využití byly lidem už téměř od počátku dobře známy. Tato univerzální rostlina se některým nehodila, ničila jim „*nový business*“ s ropou a ropnými produkty, a tak ji propracovanou propagandou hanili, až lidé uvěřili, že se jedná o škodlivou rostlinu. (13) Jde o konopí. Z konopí se dají vyrábět např. látky (mnohem odolnější a trvanlivější než z bavlny), papír (trvanlivější a kvalitnější než papír z dřevěné celulózy), topivo, oleje (na které by se mohlo jezdit) a také stavební materiály. Navíc jde o rychle rostoucí obnovitelnou a recyklovatelnou rostlinu s velkou výtěžností, která během svého života škodlivý oxid uhličitý pohlcuje.

Trvale udržitelné stavění a ekologické materiály jsou také aktuálním tématem. Řeší se zejména otázka vnitřního mikroklimatu, toxických látek, které obsahují některé stavební materiály, vlhkosti staveb a s tím související plísně, a difúzní otevřenost či uzavřenost skladeb konstrukcí. Nedávné výzkumy ukázaly (36), že až 60 % lidí trpí syndromem nemocných budov (SBS), lidé tráví velké množství času uvnitř, a špatné vnitřní klima ovlivňuje jejich zdraví. Je na čase se zamyslet nad tím, z čeho jsou budovy stavěné a co obsahují.

V poslední době se odhalují kvality materiálu, který byl objeven už v 19. století ve Francii pro rekonstruování starých hrázděných domů. Jedná se o konopno-vápenný kompozit, u nás známý pod názvem konopný beton. Stavby z něj splňují veškeré požadavky na vnitřní pohodu prostředí, tento materiál je netoxický, prodyšný, zvukově i tepelně izolační, také skvěle pracuje s vlhkostí, a tudíž neplesniví.

Teoretická část této práce nastiňuje historii konopí, vlastnosti této rostliny a její využití. Dále se zaměřuje na stavební materiály z konopí, zobrazuje přehled těch, které se v současné době používají v České republice či v zahraničí. Především se zabývá výše zmíněným konopným betonem – jeho fyzikálními vlastnostmi, složením a upozorňuje na možnosti použití různých pojiv, které ovlivňují výsledné vlastnosti materiálu. Podává obecné informace o způsobu zpracování a manipulace s tímto materiálem, které jsou dostupné ze současných zdrojů.

V České republice neexistuje mnoho ucelených podkladů. Lidé, kteří s tímto materiálem pracují, musejí jezdit na školení do zahraničí, aby se něco dozvěděli, a pak si předávají vlastní zkušenosti mezi sebou. Cílem praktické části je zpracovat detailní návod pro míchání a betonování konopným betonem a sestavit technologický postup. Pro úplné zpracování technologického postupu je nezbytné znát normu času práce s konopným betonem. Ta zatím není stanovena. Hlavním bodem praktické části je tedy určení normy času betonáže konopným betonem. Na základě pozorování na stavbě a zaznamenávání jednotlivých činností je vypracován snímek pracovní operace, ze kterého lze určit požadovanou normu času.

# 1 Obecný přehled o rostlině konopí

## 1.1 Co je to konopí, botanické zařazení

Konopí je spjata s lidskou historií už tisíce let. Od neolitické revoluce (10. - 7. tisíciletí př.n.l.) je jednou z nejrozšířenějších rostlin, kterou člověk ve svém životě využíval. (25)

Z botanického hlediska patří konopí do čeledě konopovitých rostlin, ve které se nachází už jen jeden další zástupce – chmel (*Humulus lupulus*). Konopí je rychle rostoucí jednoletá, dvoudomá rostlina specifické zelené barvy. Má dutý stonk o průměru 3–60 mm, jádro stonku je dřevité (tato část je nazývána pazdeří). Mezi povrchem stonku a jádrem se nacházejí lýková vlákna. Konopné vlákno patří mezi nejdelsí a nejpevnější přírodní rostlinná vlákna vůbec. Konopí je odolné proti jakýmkoliv plísním a škůdcům, není třeba jej ošetřovat pesticidy. Rostlina se snadno přizpůsobuje okolním podmínkám, může růst téměř v jakémkoliv prostředí. Klimatické podmínky i typ půdy však značně ovlivňují vlastnosti rostliny. I přesto se rozlišují tři základní druhy konopí:

Konopí rumištní (*cannabis ruderalis*) - jedná se o planou formu konopí, která roste především v ruských tajgách a tundrách, dorůstá do výšky maximálně jednoho metru. Jde o nenáročnou rostlinu, jako jediný druh není svým květenstvím závislý na pravidelné světelné periodě. Díky této vlastnosti se v současné době se používá pro křížení a šlechtění nových druhů.

Konopí indické (*cannabis indica*) - je keřovitá rostlina dorůstající do výšky jednoho až maximálně tří metrů. Vyskytuje se především v subtropickém až tropickém pásmu. Tento druh obsahuje nejvíce psychoaktivního kanabinoidu (chemická látka vyskytující se v rostlinách konopí) delta-9-THC a také protizánětlivého a nepsychoaktivního CBD (kanabidiol, druhý nejčastěji zastoupený kanabinoid), je tedy vhodný pro farmaceutické a relaxační použití.

Konopí seté (*cannabis sativa L.*) - je nejrozšířenějším a nejvyšším druhem (dosahuje výšky až šest metrů). Roste především v mírném podnebném pásmu. Obsahuje nejméně psychoaktivních látek, využívá se pro hospodářské účely.

„Dále se člení do geografických skupin (proles), které jsou označovány jako konopí severní (*borealis*), středoruské (*medioruthenica*), jižní (*australis*) a hašišné (*asiatica*).“ (25)

V současné době je evropskými normami povoleno pěstovat technické konopí s obsahem THC menším než 0,2 %. Jedná se o vyšlechtěné konopí seté, které původně obsahuje 5-15 % psychoaktivního kanabinoidu THC. (25)

## 1.2 Historie

Konopí je jednou z nejstarších a neznámějších kulturních rostlin na světě. Bylo objeveno v Himalájích, kde rostlo jako plevel, v období neolitu nejspíše zdomácnělo. Od této doby ho lidé hojně využívali – jako potravu, zdroj tepla, k relaxaci a léčebným účelům a později jako vlákno pro lana a látky. Ve třetím tisíciletí před naším letopočtem je zmínka o použití léčivých schopností této rostliny v Číně.

Do Evropy bylo přivezeno kočovnými Skyty v 5. století př.n.l. Starověké civilizace Egypťanů, Řeků a Římanů využívaly konopí při obřadech, při léčení a pro rozveselení, a především pro výrobu látek, pro látku z konopí se vžil název kanafas (v současné době se vyrábí téměř výhradně z bavlny). Středověké národy – Slované, Germáni, Vikingové – pěstovaly konopí ve velkém, po dlouhou dobu bylo nepostradatelnou součástí života téměř všech lidí. Hojně se využívalo především při mořeplavbě – konopná lana a plachty byly nenahraditelné. V období válek produkce konopí ještě stoupala, např. i díky využití konopného pazdeří pro střelný prach. (14)

Zajímavým faktem je, že např. první tištěná kniha – Gutenbergova Bible – byla vydána na konopném papíře, Deklarace nezávislosti byla v roce 1776 podepsána na konopném papíře a slavná Mona Lisa byla nakreslena na konopném plátně. (14, s. 125)

V 17. a 18. století bylo v Americe dokonce povinné pěstovat konopí, jednu dobu sloužilo i jako alternativní platidlo. „*Ve Francii se v polovině 18. století konopí pěstovalo až na 330 000 hektarech, v té samé době carské Rusko produkovalo 80 % konopí používaného na západě.*“ (32, s. 56) Přístup k těmto zdrojům byl jedním z hlavních důvodů válek. V 18. století se rozmáhá užívání hašiše (pryskyřice z konopných květů obsahující velmi koncentrované množství THC), který produkují především státy střední Asie. V 19. století je konopí snad v největším rozmachu, používá se především pro medicínské účely.

Ve 20. letech 20. století v Americe přišel zlom. Došlo k velkému posunu při zpracování vláken bavlny, byl vynalezen stroj *cotton gin*, který její výrobu ještě o něco zlevnil. Konopí bylo poměrně náročné na lidskou sílu při zpracování, bylo tedy velmi drahé. Záchranou byl v roce 1916 G. W. Schlichten, který vynalezl dekortinátor, stroj umožňující oddělování dřevité části a vláken. Avšak konopí se přestalo hodit americkým magnátům, kteří investovali do

ropy, do výroby hnojiv a pesticidů či do vývoje nových syntetických vláken (např. nylon). Hlavním aktérem byl chemický a farmaceutický koncern DuPont. (26, s. 465) Tímto začíná „doba plastová“, která trvá až do současnosti. Společnost DuPont se navíc zasloužila o rozvoj papíru vyráběného ze dřeva.

První legislativní omezení prodeje přináší Mezinárodní dohoda o opiu, která omezuje dovoz a vývoz konopí. Ve 30. letech 20. století je ve Spojených státech amerických založen Federální úřad pro narkotika, v čele s Harry Anslingerem, který šířil dezinformace o konopí a velkou měrou se podílel na zavedení celkové prohibice konopí. Pěstování i pro průmyslové účely je téměř vymýceno, jak v Americe, tak v Evropě i v Číně, jedním z mála producentů konopí je Indie, Afghánistán a Maroko. Začala masivní kampaň proti konopí. Odpůrci konopí podpořili strach obyvatel Spojených států z vlny emigrantů z Mexika, byly vylepovány plakáty „*varující před přátelskými cizinci, kteří mohou nabízet nic netušícím kolemjdoucím zabijáckou drogu marihuanu.*“ (32, s. 86) Většina lidí ani nevěděla, že marihuana a konopí je jedna a ta samá rostlina. V roce 1937 byl přijat Zákon o dani z marihuany, veškeré obchody musely být evidovány, pohyb každé unce (1 unce je 28 g) byl zdaněn poplatkem ve výši jednoho dolaru. V roce 1961 byla přijata jednotná úmluva OSN o nakládání s omamnými a psychotropními látkami, která konopí zařadila mezi celosvětově zakázané látky.

V současné době naštěstí dochází ke znovu poznání kvalit této rostliny, v mnoha státech lidé bojují za její legalizaci. Některé státy již povolili legálně pěstovat technické konopí.

(13) (20) (25) (32)

### **1.3 Pěstování konopí z hlediska legislativy**

#### **1.3.1 Současná legislativa ve světě**

První zemí světa, kde se bude legálně prodávat cannabis v lékárnách, se stane od července 2017 Uruguay. Bude nutné se zapsat do registru a každý bude moci dostat maximálně 40 g za jeden měsíc. V Uruguay je legální prodej, pěstování i distribuce cannabis. (7)

V některých státech je povoleno užívat cannabis pro léčebné účely. Od roku 1998 je legální technické konopí v Kanadě, pěstitelé a následně i prodejci musejí získat licenci. Od roku 2018 by mělo být konopí v Kanadě legální. „*V Izraeli, kde je na předpis k dostání od 90. let, byl v roce 2007 spuštěn program, v jehož rámci marihuanu nyní užívá na 20 000*

*pacientů.*“ (35) V USA je cannabis zatím z hlediska federálních zákonů nelegální, ale téměř polovina států ho povoluje pro léčebné účely.

V Evropě patří mezi nejtradičnější pěstitele Francie a Velká Británie, v obou zemích se od 90. let 20. století opět povolilo pěstování technického konopí. Ve Francii pěstování ani v době krize nevytizelo. Španělsko též nepřerušilo tradici pěstování konopí, které je využíváno pro nejrůznější účely, vyrábí tam např. i konopné boty. Jedním z prvních výrobců tepelně izolačních rohoží z konopí bylo Německo, které v 90. letech 20. století začalo s výzkumem potenciálu konopí. Nizozemí je známé svým pozitivním přístupem ke konopí i pro rekreační účely.

Další státy světa, ve kterých je legální pěstovat v určité míře technické konopí, jsou: Austrálie, Bělorusko, Chile, Dánsko, Finsko, Indie, Nepál, Itálie, Japonsko, Maďarsko, Polsko, Rumunsko, Rusko, Slovensko, Slovinsko, Švýcarsko, Severní Korea, Thajsko, Ukrajina a Egypt. (32)

Evropské normy stanovují obsah psychoaktivní látky THC v technickém konopí na hodnotu maximálně 0,2 %.

### **1.3.2 Legislativa v ČR**

V České republice upravuje podmínky pro pěstování a užívání konopí zákon 167/1998 Sb. V paragrafu 2 vymezuje pojem konopí jako „*kvetoucí nebo plodonosný vrcholík rostliny z rodu konopí (Cannabis) nebo nadzemní část rostliny z rodu konopí, jejíž součástí je vrcholík*“ (43), dále v paragrafu 4 stanovuje podmínky zacházení s návykovými látkami, pokud zákon nestanoví jinak je potřeba povolení k zacházení. Zákon dále definuje v paragrafu 5 odstavci 5 „*Povolení k zacházení se nevyžaduje k získávání, skladování a zpracování rostlin konopí, které mohou obsahovat nejvíce 0,3 % látek ze skupiny tetrahydrokanabinolů, a to pouze konopí k účelům průmyslovým, technickým a zahradnickým, jakož i k obchodu s konopím za těmito účely.*“ (43)

I při pěstování zákonem legální odrůdy technického konopí platí pro pěstitele, pokud pěstují na ploše větší než 100 m<sup>2</sup>, nahlašovací povinnost příslušnému celnímu úřadu (podobně jako při pěstování máku). Pěstování rostlin s obsahem THC větším než 0,3 % je zakázáno. (43)

*„Počátkem roku 2013 byl schválen zákon č. 50/2013 Sb., umožňující distribuci léčebného konopí. Tento zákon respektuje mezinárodní úmluvy a zároveň zpřístupňuje*

*léčebné konopí pacientům. Těm ho mohou předepsat lékaři pouze na zákonem definované diagnózy, a to výhradně na elektronický recept. Recept by měl zůstat uložen v centrálním Úložišti elektronických receptů. Mělo by tak být dohledatelné, kdo, kdy a kolik léčebného konopí nechal předepsat, čímž se má omezit riziko jeho zneužívání pro jiné účely. Léčebné konopí přitom může pocházet z dovozu nebo být pěstováno v České republice licencovanými producenty. Licenci pro dovoz i pěstování vydává Státní ústav pro kontrolu léčiv (SÚKL), jehož nově zřízená Státní agentura pro konopí pro léčebné použití drží dohled nad jeho distribucí u nás. Domácí pěstování konopí samotnými pacienty zákon v současné době neumožňuje.“* (32, s. 101)

## 1.4 Využití konopí

### 1.4.1 Obecné vlastnosti technického konopí

Konopí je rychle rostoucí obnovitelný materiál. Za 120 dnů může dosáhnout výšky až 4,5 m. Rostlina je odolná vůči plísním, hnilobě, hmyzu, plevelu a vlhkosti, nemusí se tedy při růstu ošetřovat žádnými herbicidy, insekticidy ani pesticidy. Naopak půdu kultivuje. Pěstuje se především pro vlákna a dřevitou část – pazdeří. Vlákna tvoří jednu třetinu stonku, dvě třetiny připadají na pazdeří. (14)

#### Konopné vlákno

Konopné vlákno se řadí mezi lýková vlákna, podobně jako lněná či jutová vlákna. Patří mezi nejdelší, nejjemnější ale zároveň nejpevnější vlákna. Kvalitní vlákno by mělo mít světlou barvu, mělo by být lesklé a prosté na nečistoty – stopy zbývajícího pazdeří. Některá vlákna probíhají celým stonkem, dosahují tedy délky několika metrů, jsou silná a trvanlivá. Pro porovnání vlákna bavlny dosahují délky dvou centimetrů. Pevnost a trvanlivost těchto dvou typů vláken je tedy naprosto odlišná, konopné vlákno je až osmkrát pevnější. (32) Další vlastností je dobrá tepelná vodivost a akumulace – v zimě hřeje a v létě chladí. Konopné vlákno neobsahuje bílkoviny, nepřitahuje tedy škůdce ani bakterie.

Tab. 1: Chemické složení konopného vlákna

celulóza	67–77 %
hemicelulóza	11,5–16,1 %
pektiny	0,8–1,3 %
lignin	3,3 %
látky rozpustné ve vodě	2,1 %
tuky a vosky	0,7 %
vlhkost	10 %

Hodnoty převzaty z knihy *Cannabis* (2004, s.116)

Tab. 2: Mechanické vlastnosti konopného vlákna

délka [cm]	100–200 (u technických vláken)
hustota [g/cm <sup>3</sup> ]	1,4–1,5
průměr [μm]	50–100 (u technických vláken)
	10–20 (u elementárních vláken)
pevnost [GPa]	0,5–1,04 (vyšší než u lnu, bavlny, juty, hedvábí i vlny)
tažnost	1,5–6 %
modul elasticity [GPa]	32–70

Hodnoty převzaty z knihy Cannabis (2004, s.116)

### Konopné pazdeří

Konopné pazdeří je nejčastěji dodáváno ve formě štěpky. Tento dřevitý, pórovitý materiál je velmi lehký a savý – dokáže vstřebat až čtyřnásobek vlastní hmotnosti, je odolný proti hnilobám a redukuje zápach, často se používá jako podestýlka pro zvířata. Pazdeří dobře izoluje, i jen volně sypané má srovnatelné tepelně izolační schopnosti jako vlákenné izolace. Jak pazdeří, tak vlákna jsou hořlavé, ve stavebních materiálech je nutno je ošetřit – vlákna se impregnují uhličitanem sodným, k pazdeří se přidávají vápenná nebo hliněná pojiva.

Tab. 3: Chemické složení konopného pazdeří

voda		9–13 %
sušina		85–90 %
z toho:	celulóza	32–52 %
	lignin	18 %
	hemicelulóza	9 %
minerály – vápník, hořčík, fosfor, draslík, křemík, dusík a uhlík		stopové množství

Hodnoty převzaty z knihy Cannabis (2004, s.117)

Tab. 4: Vlastnosti konopného pazdeří

měrná hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]	100–110
nasákavost	200–400 %
výhřevnost [MJ/kg]	15–17 (srovnání: průměrná výhřevnost dřeva je okolo 14 MJ/kg)
tepelná vodivost [W/m.K]	0,0486 (při teplotě 10 °C, za sucha)

Hodnoty převzaty z knihy Cannabis (2004, s. 118)

Výtěžnost celulózy z jednoho hektaru osetého konopím je 2,5 - 4krát větší než z jednoho hektaru lesa. (14)



## 1.4.2 Přehled využití konopí

Konopí je díky svým rozmanitým vlastnostem využíváno v mnoha oblastech, „už v první třetině 20. století se z něj vyrábělo na 25 000 produktů.“ (32, s. 35) Navíc lze zužitkovat každou z jejích částí – semena, květy, listy, stonky i kořeny.

Kořen se používal především v dřívějších dobách, v tradiční literatuře jsou popisovány recepty na přípravu obkladů a odvarů z kořene, které pomáhají při bolestech kloubů a revmatismu.

Semena, která se ukrývají v květech, se používají především v potravinářském průmyslu, konopné semínko je v poslední době opět velmi oblíbené díky skvělé oříškové chuti a velkému množství zdraví prospěšných látek, dodává tělu nenasycené esenciální mastné kyseliny. (6) Slouží i jako potrava pro zvířata. Lisováním za studena se ze semínek získává olej, kvalitnější se využívá v potravinářství, případně v kosmetice, méně kvalitní se pak přidává do fermeží, barev nebo laků, např. k ošetření dřeva. Případně lze olej využít jako palivo do dieselových motorů. (32, s. 32) Zbytky semen vzniklé při lisování lze ještě dále zpracovat – jejich rozdrcením vznikne konopná mouka, která je vhodná pro i lidi s bezlepkovou dietou.

Květy a listy, podobně jako kořen, byly dříve hojně využívané především pro jejich léčivé, relaxační a uklidňující vlastnosti. Listy se dále požívají jako podestýlka pro zvířata, mulčování záhonů či součást substrátu pro růst hub.

V současné době nejvyužívanější částí je stonek, respektive jeho dvě složky – vlákno a pazdeří (dřevitá část). Vlákno se zpracovávalo již od pradávna. Lidé z něj vyráběli velmi odolné provazy, lana, látky – pevné i jemné, tětiny, a v neposlední řadě i papír, který je trvanlivější a lehčí než papír z dřevěné celulózy, také je typický svou světlou barvou, ani po letech papír nezežloutne. Je také velmi pružný, slouží např. k výrobě cigaretových papírků. Díky vysoké savosti konopných vláken a schopnosti zachycovat některé látky výborně poslouží jako kávové filtry či sáčky na čaj nebo náplně do vysavače. Vzhledem k antibakteriálnosti a šetrnosti vláken je konopný papír vhodný i pro výrobu hygienických potřeb. (11) V poslední době vznikají nové materiály tzv. biokompozity, kde konopné vlákno nahrazuje skelné, jedná se o např. tepelné izolace používané ve stavebnictví či plastické hmoty s obsahem přírodních vláken používané zejména v automobilismu. Na českém trhu se také stávají oblíbenými brusné disky s podkladem z konopného vlákna. (24) I přes vyšší cenu si nachází své příznivce, z hlediska ekologie je materiál na této bázi nenahraditelný.

Pazdeří je zbytek po opracování stonku na vlákna. Používá se jako podestýlka pro zvířata, či v dřívějších dobách jako palivo, surovina pro výrobu střelného prachu a dynamitu, součást stavebních směsí nebo též jako tepelná izolace. V současnosti se pazdeří lisuje do briket či pelet a slouží opět jako palivo. Využití pro stavební účely je rozebráno samostatně v následující kapitole.

(13) (25) (32) (34)

## **2 Stavební materiály z technického konopí**

### **2.1 Tepelně izolační materiály**

#### **2.1.1 Vlastnosti tepelně izolačních materiálů**

Jedny z prvních produktů, které se začaly vyrábět při „znovuobjevení“ konopí, jsou tepelně izolační materiály z vláken či z celého stonku. Svými tepelně izolačními vlastnostmi se vyrovnávají běžně používaným materiálům (jako různé druhy polystyrenu či skelná vata). Na rozdíl od nich jsou ale prodyšné, hodí se tedy do difúzně otevřených konstrukcí, mají podobné vlastnosti jako dřevo, nejčastěji se používají do dřevostaveb. Mimo již zmíněné propustnosti vynikají konopné izolace schopností redistribuovat vlhkost, kterou pohlcují celým svým objemem, nedochází tedy ke shromažďování vlhkosti v určitém místě. „*Objemová vlhkost může narůst až na 20 %, aniž by byla snížena účinnost izolačních schopností.*“ (37) Skvělá akumulační schopnost zajišťuje to, že materiály v zimě hřejí a v létě chladí. Neobsahují žádné bílkoviny, jsou tedy odolné proti škůdcům, neplesniví, nehnijí. Další nespornou výhodou je velmi jednoduchá manipulace s tímto materiálem, je přírodní, neobsahuje žádné škodlivé látky, je možné s ním pracovat bez jakýchkoliv ochranných pomůcek. (16)

Rohože vznikají metodou pneumického rounotvoření, následně jsou tepelně opracovány a posléze nařezány na požadované rozměry. (27)

#### **2.1.2 Typy výrobků**

Jednotlivé typy výrobků budou představeny pomocí konkrétních materiálů dostupných na českém, případně zahraničním trhu. Prvním českým výrobcem tepelných izolací z konopí je firma CANABEST CZ, která nabízí následující dva typy.

## Tepelně izolační rohože CANABEST PLUS

Použití: Rohože CANABEST PLUS se používají jako tepelné a zvukové izolace „mezi krokvemi, ve střešních vestavbách, v dřevěných rámových stavbách, v trámových stropěch, ve vnějších a vnitřních stěnách v konstrukcích ze dřevěných nebo hliněných panelů.“ (5)

Tab. 5: Vlastnosti rohože CANABEST PLUS

obsažené látky	83–87 % konopné vlákno
	10–12 % BiCO vlákno – pojivo
	3–5 % roztok sody – retardant hoření
objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]	36 (± 3)
výpočtová hodnota tepelné vodivosti $\lambda$ [W/(m·K)]	0,040
číslo difúzního odporu $\mu$ [-]	1,9
třída hořlavosti	B2, evropská třída E
tloušťka [mm]	40–180
standardní rozměry [mm]	1200 x 600

Hodnoty převzaty z TL <http://www.konopna-izolace.cz/application/views/data/TLPLUS.pdf>

## Tepelně izolační panely CANABEST PANEL

Použití: Desky CANABEST PANEL se používají jako tepelné a zvukové izolace do fasád a podlah. Při aplikaci na fasády se s nimi pracuje podobně jako s polystyrenovými deskami – lepí se (bodově či celoplošně) a kotví (4-6 ks talířových hmoždinek na m<sup>2</sup>) k podkladu. Na povrch se klasicky nanáší stěrka s armovací tkaninou, poté penetrace, omítka a nátěr. U podlah se deska umísťuje pod vrstvy z litého betonu, anhydritové vyrovnávací potěry či pod dřevěné podlahy. (4)

Tab. 6: Vlastnosti panelu CANABEST PANEL

obsažené látky	50–55 % konopné pazdeří
	30–35 % konopné vlákno
	15–17 % BiCO vlákno – pojivo
	3–5 % roztok sody – retardant hoření
objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]	100 (± 5)
výpočtová hodnota tepelné vodivosti $\lambda$ [W/(m·K)]	0,041
číslo difúzního odporu $\mu$ [-]	1,8
třída hořlavosti	B2, evropská třída E
tloušťka [mm]	30–60
standardní rozměry [mm]	1000 x 500

Hodnoty převzaty z TL <http://www.konopna-izolace.cz/application/views/data/TLPANEL.pdf>

Další velkou firmou figurující na českém trhu je německá firma Hock GmbH & Co. KG, která nás nabízí produkty známé pod názvem TERMO-KONOPÍ®. Mimo tepelně izolační rohože nabízí i těsnící materiály, používané především do spojů kulatin srubů či roubenek, či do komplikovaných detailů, např. při řešení detailů napojení oken, tradičně se tento materiál používal i při izolování a spojování závitů vodovodních a topenářských potrubí. (14)

### **Těsnící materiál**

#### **Pásová izolace TERMO-KONOPÍ® BLOCK**

Složení obdobné jako u tepelně izolačních rohoží, ideálně se hodí pro srubové spoje, zamezuje profouknutí spár. Pás je standardně dodáván v rozměrech: tloušťka 80 mm, šířka 110 mm a délka 6 m. (15)

#### **Sypaná izolace, konopná vlákna a provazce**

Směs nalámaného konopného pazdeří a vápenného pojiva se tradičně používala při vymazávání povalových stropů, opravování spár roubenek nebo doplňování výplní hrázděných konstrukcí. V současné době je na trhu podobný výrobek TERMO-KONOPÍ® WOOL, jedná se o směs konopných vláken a sody (3-5 %). (18)

#### **Plst' TERMO-KONOPÍ® Step**

Je také vyrobena z konopných vláken ošetřených sodou. Používá se především jako akustická izolace do dřevěných podlah či jako ochrana dřevěných obkladů před nežádoucími účinky vlhkosti. Izolace je standardně dodávána v rozměrech: tloušťka 10 mm, šířka 100 mm a délka role 15 m. (17)

### 2.1.3 Porovnání vybraných tepelně izolačních materiálů

V Tab. 7 a Tab. 8 je ukázáno srovnání nejdůležitějších parametrů tepelně izolačních materiálů, pro porovnání byly vybrány výrobky podobného využití a vlastností.

Tab. 7: Srovnání tepelně izolačních rohoží

název	CANABEST PLUS	ROCKWOOL MEGAROCK PLUS	Isover DOMO PLUS
materiál	konopné vlákno	kamenná vlna	skelná vlna
tepelná vodivost $\lambda$ [W/(m·K)]	0,04	0,039	0,038
tloušťka [mm]	160	160	160
faktor difúzního odporu $\mu$ [-]	1,9	1	1
třída hořlavosti	B2	A1	A1
ochranné pomůcky	ne	ne	ano
cena za m <sup>2</sup>	464 Kč	162 Kč	213 Kč

Hodnoty převzaty z:

<http://ke-stazeni.rockwool.cz/media/549165/megarock-plus.pdf>,

[http://www.konopna-izolace.cz/application/views/data/cenik\\_konopne\\_izolace\\_CANABEST.pdf](http://www.konopna-izolace.cz/application/views/data/cenik_konopne_izolace_CANABEST.pdf),

<http://www.isover.cz/produkty/isover-domo-plus>

Tab. 8: Srovnání tepelně izolačních desek

název	CANABEST PANEL	STEICO Therm	BACHL EPS 70 F
materiál	konopná vlákna a pazdeří	dřevovlákn	pěnový polystyren
tepelná vodivost $\lambda$ [W/(m·K)]	0,041	0,040	0,039
tloušťka [mm]	60	60	60
faktor difúzního odporu $\mu$ [-]	1,8	5	20-40
možnost aplikace do vlhka	ano	ne	ne
třída hořlavosti	B2	C1	C1
cena za m <sup>2</sup>	396 Kč	342 Kč	67 Kč

Hodnoty převzaty z:

[http://registrace.zelenausporam.cz/gallery/11491-bachl\\_technicky\\_list\\_eps\\_70\\_f.pdf](http://registrace.zelenausporam.cz/gallery/11491-bachl_technicky_list_eps_70_f.pdf),

[http://www.konopna-izolace.cz/application/views/data/cenik\\_konopne\\_izolace\\_CANABEST.pdf](http://www.konopna-izolace.cz/application/views/data/cenik_konopne_izolace_CANABEST.pdf),

<https://www.dek.cz/produkty/detail/3010505020-steico-therm-tl-60mm-1350x600-38ks-p>

## 2.2 Konopno-vápenný kompozit

Konopno-vápenný kompozit je materiál složený z nalámaného konopného pazdeří, pojiva a vody. Pojivo může být na bázi vápna, jílu, někdy i cementu. Jednotlivé typy pojiv budou rozebrány dál. U nás je tento materiál známý pod pojmem konopný beton, v Evropě je spíše spojován s názvy firem, které ho začaly zprostředkovávat na profesionální úrovni, Hempcrete v Anglii, Canosmose či Isochanvre ve Francii.

Konopné zdivo bylo vynalezeno ve Francii v 80. letech 20. století, kde hledali vhodný materiál pro rekonstrukce domů z 16. a 17. století, pro které jsou typické hrázděné stěny. Muselo jít o lehký, paropropustný materiál s dobrými tepelně izolačními vlastnostmi, který je trvanlivý, dobře pracuje s vlhkostí, a také příliš nezmění původní vzhled budov. Pro tyto účely je směs konopného pazdeří a vápenného pojiva, tvořeného ze vzdušného vápna a hydraulické přísady, ideální. Pazdeří je z přírodních materiálů nejvhodnější díky své struktuře, obsahuje malé trhlínky, do kterých se pojivo nedostane, postupem času dochází k reakci vzdušného vápna, z pazdeří obaleného pojivem se postupně stává vápenec, jinými slovy konopný beton v průběhu času kamenní. (12)

### 2.2.1 Typy konopné směsi dle způsobu použití

Různými poměry pazdeří, pojiva a vody lze docílit vhodných směsí pro konkrétní použití, jako je izolace střechy, izolace podlahy, stěny obvodové i dělicí a finální izolační omítky. Čím větší je obsah pazdeří, tím má materiál větší tepelně izolační schopnost a je lehčí, opačně, čím více pojiva, tím je materiál pevnější. Konkrétní poměry jsou udávány výrobcem, u každého jsou hodnoty trochu jiné. Orientační poměry směsí viz Tab. 9.

Tab. 9: Poměry směsí dle různého použití

použití	Střecha	Stěny	Podlahy	Omítky
objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]	220	330	375	700-950
obsah pojiva [kg/m <sup>3</sup> pazdeří]	110	220	275	500-700
tepelná vodivost [W/m.K]	0,08	0,09	0,11	0,12-0,13
pevnost po 90 dnech [MPa]	-	0,9	1,1	-

Hodnoty převzaty z technických listů <http://www.tradical.com/hemp-lime.html>



Obr. 1: Ukázky jednotlivých typů směsí, převzato z (29)

Žádná z forem není nosná, musí být tedy vždy aplikována kolem nosného rámu. Do některých směsí lze také přidat určitý poměr krátkých konopných vláken, které ještě zlepšují tepelně izolační vlastnosti a umožňují použít méně pojiva. (1)

U izolace střechy je použito nejméně pojiva, jde o cca 10 % z objemu konopného pazdeří, má nejnižší pevnost, protože nemusí odolávat téměř žádnému zatížení. Pevnost se pohybuje okolo 3 MPa, na druhou stranu disponuje nejlepšími tepelně izolačními vlastnostmi. Aplikuje se do připraveného bednění, kde se pouze rozhrabuje do požadované tloušťky.

Stěny musejí odolávat určitému zatížení, např. od větru, i tak musí být zvolen vhodný poměr pojiva a pazdeří, aby byly dodrženy požadované tepelně izolační vlastnosti směsi. Obsah pojiva je navýšen na cca 25 % z objemu pazdeří. Ideální tloušťka stěn je 300 mm. Detailní technologický postup pro aplikaci konopného betonu do stěn bude zpracován v dalších kapitolách. Konopný beton se hojně využívá i ve formě přizdívek, zejména při rekonstrukcích jako zateplení stávající nosné konstrukce.

Při použití do podlah musí směs odolávat ještě většímu zatížení, pojivo představuje cca 50 % z objemu pazdeří. Je možné materiál umísťovat rovnou na zhutněný podklad, který nesmí být savý, např. pěnosklo nebo štěrk. Aplikuje se podobně jako na střeše rozhrabáváním, poté je ale nutné povrch dostatečně zhutnit, srovnat a zahladit.

Největší procento pojiva se nachází ve směsi pro omítky, jde až o 90 % z objemu pazdeří. Pro tyto účely se používá co nejjemnější frakce pazdeří, aby bylo dosaženo co nejkompaktnějšího povrchu. Do směsi se přidává určité procento písku. Aplikuje se jako klasické omítky – natahuje se hladítky, či jen nahazuje.

(32)

## **2.2.2 Pojiva a jejich vliv na směs**

Jak pojiva na bázi vápna, tak pojiva na bázi cementu vykazují při pojení konopného pazdeří poměrně dobré výsledky. Cementová pojiva jsou dostupnější, rychleji tuhnou a výsledný materiál je pevnější. Je zde ale několik problémů, kvůli kterým se cementová pojiva nedoporučují, při míchání konopného betonu by se měla používat pojiva na bázi vápna.

Velkým problémem je skutečnost, že cementové částice nejsou pórovité a nejsou schopné absorbovat a poté uvolňovat vlhkost, jsou spíše obalené z kondenzovanou vodou. Skladba tedy nemůže dýchat. (1) Dalším nevhodným pojivem je hydratovaná sádra, při jejím použití může dojít ke vzniku plísní. (9) Oproti tomu částice vápna jsou pórovité, v důsledku úniku oxidu uhličitého při výrobě vápna, mohou tedy dobře pracovat s vlhkostí.

Tato problematika byla předmětem zkoumání a po téměř 15 letech experimentů bylo pojivo na bázi vápna určeno jako nejvhodnější pojivo pro domy z konopí. Je zde uvedeno několik hlavních důvodů, proč používat vápno v konopné zdivu (9):

- I když tuhne poměrně pomalu, díky své relativně vysoké paropropustnosti umožňuje důkladné sušení konopné směsi, které je pro tento materiál nezbytné.
- Jeho vysoké pH chrání konopnou směs po dlouhou dobu před nárůstem plísní nebo napadením bakterií.
- Jeho tepelná vodivost je nižší než klasické cementy.
- Jeho mechanická flexibilita umožňuje mírné zkroucení materiálu bez prasklin a poskytuje dostatečnou pevnost proti nárazům.

V současné době je na trhu poměrně velké množství pojiv pro konopné směsi, většinou jsou na bázi hydratovaného vápna. Nejdůležitější vlastností pojiva by mělo být zabránit konopnému pazdeří, aby pohltilo vodu, a co nejrychleji dosáhnout pevnosti potřebné k tomu, aby směs unesla sama sebe a odolala běžným zatížením v počáteční fázi. Těmito schopnostmi disponují hydratovaná vápenná pojiva, obohacená o příměsi hydraulických a pucolánových pojiv.

Nejčastěji používaným pojivem pro stavění z konopného betonu u nás i v Evropě je Tradical® PF 70. Toto pojivo je v největší možné míře inspirováno tradičními historickými pojivy, v 60. letech 20. století byly ve Francii zkoumány historické objekty, dle analyzovaných vzorků bylo vyvinuto speciální vápenné pojivo Tradical® PF 70, které je složené ze vzdušného bílého hašeného vápna (CL 90, EN 459, 75 %), hydraulických pojiv (15 %) a pucolánů (10 %).

(23)

### **3 Stavění z konopného betonu**

#### **3.1 Materiálové charakteristiky konopného betonu**

Ačkoliv se jedná v Čechách o poměrně neznámý materiál, v zahraničí (zejména ve Francii a v Anglii) už má jistou tradici. Především ve Francii je pár společností, které se aktivně podílejí na zkoumání chování konopného betonu, provádějí experimenty a testují. Co se týče konkrétní fyzikálních vlastností, většina z nich je určená, samozřejmě jsou zde jisté odlišnosti



při používání různých pojiv, což bylo podrobněji rozebráno v kapitole Pojiva a jejich vliv na směs. Nejčastěji se používá pojivo Tradical® PF 70, firma Tradical® zavedla speciální název pro svůj konopný beton – Hemcrete®. Pro konkrétní hodnoty pevností a dalších fyzikálních vlastností bude uvažován právě materiál Hemcrete®.

Obecně se jedná o nenosný, pórovitý materiál, disponuje velmi dobrými tepelně izolačními vlastnostmi, akumuluje teplo. Je odolný proti vlhkosti, umí s ní pracovat. Odolává ohni, hluku, plísním, houbám a dalším škůdcům. Jedná se o difúzně otevřený materiál, se kterým se lehce, pohodlně a rychle pracuje. Je trvanlivý, díky své struktuře flexibilní. Svými vlastnostmi je schopen nahradit tepelnou a zvukovou izolaci, izolaci proti vlhkosti, parozábranu atp.

### Fyzikální vlastnosti

Tab. 10: Parametry materiálu Tradical® Hemcrete®

pevnost v tlaku [MPa] (EN 1015-11)	0,8 - 1,0
pevnost v ohybu [MPa] (EN 1015-11)	0,3 - 0,4
součinitel tepelné vodivosti při 10 °C $\lambda$ [W/m·K]	od 0,0697 $\pm$ 5 %
objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]	330 $\pm$ 10
měrná tepelná kapacita [J/kg·K]	od 1550 (0 % RH) do 1700 (65 % RH) <i>RH – relativní vlhkost vzduchu</i>
tepelná efuzivita [J/m <sup>2</sup> ·K·s]	180
faktor difúzního odporu $\mu$ [-]	4,85 $\pm$ 0,24
pórovitost	71,1 % $\pm$ 0,5

Hodnoty převzaty z technických listů <http://www.konopny-beton.cz/produkty/20-konopny-beton> a <http://ozhemp.com.au/docs/HempCreate/Tradical%20Hemcrete%20Technical%20Information%20Sheet.pdf>

#### 3.1.1 Paropropustnost a hygroskopicitá

Konopné pazdeří je přirozeně paropropustný materiál, umožňuje průchod vody, to je způsobeno jeho porézní strukturou – skládá se z mikroskopických kapilárek, vytvořených stěnami buněk, orientovaných ve směru růstu stonku rostliny. Tyto kapilárky přispívají ke hygroskopicitě materiálu – schopnosti přitáhnout a držet vlhkost z okolní atmosféry v případě potřeby, a poté ji opět propustit. Vlivem použití pazdeří jako plniva je porézní i z hlediska makroskopického, paropropustnost je tedy závislá i na zvoleném typu pazdeří, jeho délce a tloušťce.

Díky těmto schopnostem je konopný beton odolný vůči kondenzaci, a tím i plísním, což má pozitivní vliv na vnitřní mikroklima v budově. (34)

### 3.1.2 Odolnost vůči vlhkosti

V posledních letech byl trend uzavírat budovy, zamezovat průniku jakékoliv vlhkosti dovnitř, což není přirozené. Konopný beton, podobně jako dřevo a ostatní přírodní materiály, je schopný odolávat opakovanému průniku vlhkosti skrz konstrukci, aniž by došlo k jeho poškození. Nevzniká lokální koncentrace vlhkosti, vlhkost je konopným pazdeřím předávána do celého objemu, tím vzniká několika násobně větší plocha pro odvětrání. To neplatí, pokud je materiál trvale vystaven stojící vodě či konstantnímu proudu vody.

V této oblasti je potřeba ještě dalších výzkumů, aby se zmapovaly veškeré kombinace poměrů pojiv a pazdeří i použití jednotlivých druhů pojiv. Testování probíhá např. v Anglii, kde skupina BRE Group vedla experiment – po několik let nechala panel z konopného betonu, bez jakýchkoliv povrchových úprav, vystavený dešti, a nedošlo k žádnému zhoršení kvality materiálu. (34)

### 3.1.3 Akustické chování

Poréznost materiálu z hlediska mikroskopického i makroskopického ovlivňuje jeho akustické i tepelné chování. Bylo zjištěno, že různé stupně poréznosti uvnitř materiálu vedou k lepší akustické kvalitě. Podle testů Amziana a Arnauda (34), má „makro-poréznost“ větší podíl na akustických schopnostech, než „mikro-poréznost“, testovali pouze pazdeří bez pojiva, došli k závěru, že čím menší jsou štěpky pazdeří, tím jsou akustické vlastnosti lepší, prostor mezi štěpkami je menší, skrz směs tedy proudí menší množství vzduchu. Při smíchání pazdeří s pojivem, není rozdíl při různých velikostech štěpek tak markantní, ale stále tam je.

Vliv na konečné vlastnosti má i finální hustota materiálu – množství použitého pojiva, a dále kompaktnost výsledné konstrukce. Při vhodném zvolení směsi a správném provedení, je možno docílit skvělých výsledků. (34)

### 3.1.4 Tepelné chování

Stejně jako u akustického chování i u tepelného má vliv hustota materiálu a jeho kompaktnost, u směsi s menší hustotou jsou tepelně izolační hodnoty mnohem lepší. Hodnoty se též zvyšují s přibývajícím tloušťkou konstrukce, viz Tab. 11. Hodnoty jsou laboratorně určené a zprůměrované na základě více měření.

## Měrná tepelná kapacita

Hodnota měrné tepelné kapacity se mění s relativní vlhkostí, zásadní je v této situaci rozdíl mezi tepelnou kapacitou vzduchu a vody (4krát větší). Při vysoké relativní vlhkosti ve vzduchu, stěny z konopného betonu pohltí přebytečnou vlhkost, část těchto kondenzátů se uchytí na vnitřní straně póru konopného pazdeří. Při poklesu relativní vlhkosti se voda vypaří zpět do okolního ovzduší. Ovšem ve chvíli, kdy je konstrukce v pórech vyplněna vodou, má mnohem lepší tepelnou kapacitu, mnohem lépe tedy uchovává teplo. (34) Tato schopnost pomáhá tlumit výkyvy teplot a pomáhá udržovat konstantní teplotu uvnitř budovy. Stěna z konopného betonu tedy pasivně reguluje teplotu a vlhkost.

Tab. 11: Hodnoty součinitele prostupu tepla pro různé tloušťky zdiva

tloušťka zdiva z Hemcrete® [mm]	součinitel prostupu tepla U [W/m <sup>2</sup> ·K]
300	0,27
350	0,23
400	0,205
500	0,165

Hodnoty jsou převzaté z <http://www.konopny-beton.cz/produkty/20-konopny-beton>

Poznámka: „Přičemž dle ČSN 73 0540-2:2011 je minimální požadovaná U hodnota v ČR 0,3 W/m<sup>2</sup>.K. Doporučená pak 0,25 W/m<sup>2</sup>.K. Pro zajímavost například v Rakousku je minimální hodnota dokonce jen 0,35 W/m<sup>2</sup>.K.“ (19)

## Porovnání vlastností z hlediska součinitele prostupu tepla

Výchozím parametrem pro srovnání bude vybraná hodnota součinitele prostupu tepla  $U$  pro stěnu z konopného betonu určité tloušťky. Dále se zvolí tepelně izolační materiál se známou hodnotou součinitele tepelné vodivosti  $\lambda$ , dojde k porovnání a k závěru, kolik milimetrů izolace nahrazuje daná tloušťka stěny z konopného betonu.

Stěna z Hemcrete® o tloušťce 300 mm má hodnotu součinitele prostupu tepla  $U 0,270 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ , která byla vypočtena pomocí odporu konstrukce při prostupu tepla s využitím vzorce:  $U = 1 / (R_{si} + R + R_{se})$ , kde „ $R_{si}$  je odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce,  $R$  je odpor konstrukce a  $R_{se}$  je odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce“. (42) Pro porovnání byla vybrána čedičová vlna Isover ORSIK, která má hodnotu součinitele tepelné vodivosti  $\lambda$  rovnu  $0,038 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ . Platí vzorec  $U = \lambda / d$ , kde  $d$  je tloušťka materiálu, po upravení vzorce lze vyjádřit  $d = \lambda / U = 0,038 / 0,270 = 0,141 \text{ m} \approx 140 \text{ mm}$ . Stěna

z Hemcrete® o tloušťce 300 mm nahrazuje tepelnou izolaci z čedičové vlny v tloušťce 140 mm.

Tab. 12: Srovnání na základě součinitele prostupu tepla

	Hemcrete® Tradical®	Isover ORSIK
součinitel prostupu tepla U [W/m <sup>2</sup> ·K]	0,270	0,270
tepelné vodivosti λ [W/m·K]	0,081	0,038
tloušťka [mm]	300	140
cena Kč za m <sup>2</sup>	652,80*	261,36

Hodnoty převzaty z [https://www.dek.cz/produkty/detail/1435491120-isover-orsik-140mm-120x60-2-88m2-bal?utm\\_source=heureka\\_cz&utm\\_medium=xml\\_feed](https://www.dek.cz/produkty/detail/1435491120-isover-orsik-140mm-120x60-2-88m2-bal?utm_source=heureka_cz&utm_medium=xml_feed)

*\*Cena je velmi orientační, vychází z dostupných podkladů autorky o cenách a spotřebě materiálu na konkrétní projekt. Cena je vysoká především kvůli použití pojiva Tradical® PF 70, které je poměrně drahé (cena 1 pytle o váze 22 kg se pohybuje okolo 500 Kč), avšak toto pojivo zaručuje kvalitu a pohodlí při provádění.*

### 3.1.5 Požární odolnost

*„V souladu s BS EN 13501-1: 2007 + A1: 2009 (ČSN EN ISO 1182 nebo ČSN EN ISO 1716) je Hemcrete® řazen do třídy reakce na oheň A1, tedy nehořlavý materiál.“ (19)*

Stejně jako u vlhkosti, i z hlediska požárního jsou nutné další výzkumy a testy, aby se zmapovaly veškeré možnosti a chování tohoto materiálu při poškození ohněm. Díky vápennému pojivu je velmi odolný vůči ohni, v případě dřevostaveb slouží i jako požární ochrana dřevěného rámu.

Z dostupných experimentů z Anglie, opět skupina BRE Group: Probíhalo testování stěny z Hemcrete® o rozměrech 3 x 3 m, konopný beton byl umístován do bednění kolem nosného rámu 8 svislých dřevěných sloupků. Stěna byla bez povrchových úprav a byla vystavena zatížení o hodnotě 135 kN. Vnitřní strana byla vystavena přímému ohni a vydržela po dobu 73 minut bez poškození celistvosti, tepelně izolačních vlastností, ani nedošlo ke snížení únosnosti. (34)

## 3.2 Uhlíková stopa a vliv na životní prostředí

V současné době stoupá zájem po materiálech a metodách výstavby, které svou výrobou nezatěžují životní prostředí a nepřispívají globálnímu oteplování. Jednak se hledají možnosti stavění budov, jejichž provoz je energeticky co nejméně náročný, jednak se vyvíjejí

nové materiály a technologie výroby s využitím dobře dostupných místních surovin, jejichž výroba je ekologicky šetrná.

Jedním z nejběžnějších stavebních materiálů je beton, jedna z jeho hlavních složek, cement, ovšem svou výrobou velmi výrazně zatěžuje životní prostředí – jedna tuna cementu vyprodukuje asi 900 kg CO<sub>2</sub>. Pojivo v konopném betonu je na bázi vápna – vápno se zpracovává při nižší teplotě než cement, jeho dopad je tedy o něco příznivější. Pro vyztužení konopného betonu se používá konopné pazdeří, jde o přírodní materiál, jeho zpracování zatěžuje životní prostředí minimálně.

Ing. et Ing. Hana Bedlivá se specializuje na konopný beton, ve svém článku píše: „pro posouzení ekologičnosti materiálu je třeba provést důkladnou analýzu životního cyklu – life cycle assessment (LCA). Ta sleduje životní cyklus celého výrobku od těžby surovin přes samotnou výrobu materiálu, zabývá se jeho dopravou na staveniště, konstrukcí budovy, jejím provozem i následnou demolicí a recyklací materiálu.“ (3)

Následuje porovnání části LCA, která se zaměřuje na emise CO<sub>2</sub> – jedná se o uhlíkovou stopu (carbon footprint – CFP), hodnotí se zachycení CO<sub>2</sub> jak při růstu rostliny, tak hotového konopného betonu umístěného v budově, pazdeří funguje stejně i po dobu životnosti stavby. „Konopí je během svého růstu schopno vstřebat 4krát více CO<sub>2</sub> než obdobná plocha lesa.“ (3)

Tab. 13: Uhlíková stopa rostlin konopí

předpokládaný výnos z 1 ha	množství absorbovaného CO <sub>2</sub>
8 t konopí	18 t
1,8 t pazdeří	10 t

Převzato z

[http://imaterialy.dumabyt.cz/rubriky/technologie/vystavba-z-konopneho-betonu\\_42566.html](http://imaterialy.dumabyt.cz/rubriky/technologie/vystavba-z-konopneho-betonu_42566.html)

Tab. 14: Uhlíková stopa 1 m<sup>3</sup> zdiva z konopného betonu

materiál	množství absorbovaného CO <sub>2</sub>
110 kg pazdeří	-202 kg
220 kg pojiva Tradical®	+94 kg
bilance	-108 kg

Převzato z

[http://imaterialy.dumabyt.cz/rubriky/technologie/vystavba-z-konopneho-betonu\\_42566.html](http://imaterialy.dumabyt.cz/rubriky/technologie/vystavba-z-konopneho-betonu_42566.html)

Pro doplnění, u konopného betonu určeného k izolaci střech je výsledná bilance -155 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> a u směsi do podlah pak -85 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>. (29)

Tab. 15: Porovnání emisí CO<sub>2</sub> při výrobě, vztaženo na 1 m<sup>2</sup>

materiál	množství absorbovaného CO <sub>2</sub>
cihly a pórobeton	+216 kg
Hemcrete® zdivo 300 mm	-32 kg
Hemcrete® zdivo 500 mm	-54 kg

Hodnoty převzaté z (29)

Veškeré produkty z konopného betonu jsou přírodně odbouratelné, díky obnovitelnosti dochází ke zvýšení množství tohoto stavebního materiálu.

### 3.3 Formy zpracování

#### 3.3.1 Monolitický

In-situ způsob přípravy, znamená, že veškeré materiály potřebné k vytvoření směsi jsou přivezeny na stavbu, míchání je provedeno na místě, směs se poté odlévá (u konopného betonu spíše umisťuje) do připraveného bednění. Bednění může být dočasné, nebo trvalé. Protože konopný beton není nosný, musí být vždy umisťován kolem nosného rámu (nejčastěji dřevěného rámu), ať už se jedná o novostavbu, či o přestavbu.

#### Aplikace ručně

Ruční ukládání konopného betonu se vyplatí u menších staveb. Pracovník tak má větší kontrolu o dané směsi, sám si určuje tempo a kvalitu, lépe zvládá náročné detaily. Avšak je potřeba, aby byl dostatečně proškolen o práci a manipulaci s konopným betonem. Jelikož se jedná o poměrně lehký materiál, k přenosu postačí obyčejný kbelík či nějaká velká vhodná nádoba. Jedná se o nejlevnější formu stavění z konopného betonu.

#### Aplikace strojně

V případě větších staveb (kde se použije více 100 m<sup>3</sup> materiálu) se z časových důvodů vyplatí aplikace konopného betonu strojně – sprejováním. Pro tyto účely musí být zvolen vhodný materiál, konopné pazdeří by mělo být nalámáno na jemnější kusy (dlouhé maximálně 20 mm), aby nehrozilo jejich uvíznutí ve sprejovací hadici. Bednění se většinou používá trvalé, avšak jen z jedné strany, z druhé strany, odkud je směs stříkána, bednění zapotřebí není. Směs se aplikuje postupně v několika vrstvách. Je míchána až ve vývodu trubice, poté je pod velkým tlakem stříkána ven. Opět je nutné, aby stroj ovládal proškolený a zkušený pracovník, který zvládne finální vrstvou vytvořit rovný povrch.

### 3.3.2 Prefabrikovaný

Velkou výhodou oproti monolitickému způsobu stavění je skutečnost, že se nemusí čekat na vyschnutí materiálu, které trvá několik týdnů. Je možné tedy stavět i v zimních měsících. Avšak pro zastánce konopného betonu jako ekologického, trvale udržitelného a energeticky velmi nenáročného materiálu tato varianta není tak vhodná.

#### Bloky

Bloky z konopného betonu jsou pokládány na tenkou vrstvu malty z hydraulického vápna a písku, i když je snaha o co nejmenší vrstvu, je zde riziko vytvoření tepelných mostů. Kvůli dostatečné kvalitě bloků vytvořených v továrně a dostatečné pevnosti při transportu je nutné mírně upravit složení – zvýšit hustotu, čehož se dá docílit např. zvýšením procenta pojiva, což ale mírně snižuje tepelně izolační schopnost. Přesto jejich únosnost v tlaku není taková, aby samy unesly zatížení ze střechy, musí být také pokládány kolem nosného rámu. (34)

Tento typ výrobku je poměrně nový, stále se vyvíjí technologie, jak docílit co nejlepších vlastností. V současné době je na trhu několik výrobců, vlastnosti bloků z konopného betonu Hemcrete® jsou vypsány v následující tabulce.

Tab. 16: Vlastnosti bloků Tradical® Hemcrete®

pevnost v tlaku [N/mm <sup>2</sup> ]	3,27
průměrná hustota [kg/m <sup>3</sup> ]	1120
přibližná hmotnost [kg]	10,5
šířka [mm]	100
výška [mm]	215
délka [mm]	440
tepelná vodivost [W/m·K]	0,36

Hodnoty převzaty z TL Hemcrete® Structural Block na [www.limetechology.co.uk](http://www.limetechology.co.uk)

#### Panely

Z konopného betonu Hemcrete® se v současné době vyrábějí dva typy prefabrikovaných sendvičových panelů. První typ s názvem Hembuild® je určen pro 1-3 podlažní budovy, je tvořen dřevěným nosným rámem, vyplněn konopným betonem, dokonce se dodává i omítnutý. Spojuje výhody tepelně izolačních vlastností konopného betonu a rychlost výstavby dřevostaveb. Druhý typ Hemclad® není primárně nosný, používá se pro opláštění nosného rámu, který může být vyroben z ocele, betonu či lepeného dřeva. Je navržen tak, aby odolával zatížení větru, je nutné ho opatřit povrchovou úpravou.

Nejčastěji se využívá při velkých komerčních a průmyslových stavbách. Oba typy se dodávají v tloušťkách s hodnotami součinitele prostupu tepla  $U$  v rozmezí 0,10 to 0,22 W/m<sup>2</sup>·K. Přestože jsou panely zpracovávány v továrnách, jsou i strojně vysoušeny, výrobci garantují, že stále se jedná o výrobky se zápornou uhlíkovou stopou. (2)

### 3.4 Typy bednění

#### Dočasné

Dočasné bednění je určené k tomu, aby vytvořilo hranici určité sekce, do které chceme umístit konopný beton. Bednění se buď připojuje k nosnému rámu přímo, nebo pomocí distančníků a dlouhých šroubů, v případě, že chceme mít nosný rám uprostřed hmoty. Pro bednění je třeba zvolit vhodný materiál, který by měl být: levný, pevný, lehký, ohebný dle potřeby, odolný vůči opotřebení. Mělo by se s ním dít dobře pracovat, manipulovat a lehce ho upevňovat. Ve většině případů se pro tyto účely používá OSB deska.

Není třeba bedněním plýtvat, pro účely kontinuálního stavění je nutno mít k dispozici pouze bednění pro objem konopného betonu, který se vybetonuje za jeden den. Obvykle stačí nechat konopný beton jen přes noc, aby dosáhl pevnosti nutné k tomu, aby udržel sám sebe, poté je doporučeno odbednit, aby mohl materiál lépe dýchat a rychleji vyschnout. Ideální výška vrstev je 600 mm, která umožňuje pohodlný přístup pracovníka i do spodních částí bednění. Po odbednění je třeba vyndat zbylé distančníky, dřívě, než materiál úplně zatuhne. Vzniklé díry se později vyplní směsí konopného betonu.

K bednění i odbednění je potřeba minimálně dvou dělníků.

#### Trvalé

Trvalé bednění může nahradit to dočasné pouze z jedné strany, protože aspoň jedna strana musí být otevřena, aby mohl materiál dýchat a schnout. Připevňuje se přímo k nosnému rámu, zpravidla na vnitřní stranu budoucí stěny. Na vnější stranu s povrchem z konopného betonu se dá pohodlně aplikovat finální úprava.

Pro trvalé bednění je také velmi důležitý výběr materiálu – měl by být, stejně jako konopný beton a dřevěný nosný rám, paropropustný. V současné době se používají nejčastěji desky z dřevité vlny (u nás známé jako desky heraklitové) nebo magnesium-silikátové desky, které jsou ovšem velmi drahé. Jako finální úprava jsou vhodné vápenné nebo hliněné omítky.

Z hlediska ekonomického a v případě, že přihlížíme na energii nutnou na výrobu jednotlivých stavebních materiálů, je mnohem výhodnější použít bednění dočasné. (34)



### **3.5 Míchání a zpracování monolitické směsi**

Nejčastějším a nevyhodnějším způsobem zpracování je konopný beton umíchat přímo na stavbě a umísťovat ho do připraveného dočasného bednění. Při míchání směsi je důležité přesně dodržovat pokyny dané výrobcem pojiva a dále mít nastudován pracovní postup, při první práci s tímto materiálem je totiž celkem snadné udělat nějakou chybu, což může fatálně ovlivnit výsledný mix a kvalitu celé směsi.

#### **3.5.1 Osobní ochranné pracovní pomůcky (OOPP)**

Konopné pazdeří představuje minimální hrozbu, co se týká nebezpečnosti pro lidské zdraví, jediné, co může být dráždivé, jsou částičky prachu, které se v okolí mohou vyskytovat.

Oproti tomu vápenné pojivo je silně alkalické, pokud se dostane na kůži, může způsobit silné popáleniny. Mnohem závažnější je ale situace, kdy se prach z pojiva dostane do kontaktu s okem, v nejhorším případě může dojít až ke ztrátě zraku.

Seznam veškerých OOPP, které by měly zabránit jakémukoliv nebezpečí se skládá z následujícího: maska proti prachu, ochranné brýle, rukavice, voděodolný oblek (s dlouhými rukávy i nohavicemi), chrániče kolenou, ochranná vazelína a krém. Ale není nutné, aby každý pracovník při každé činnosti byl vybaven veškerými OOPP. Tyto pomůcky jsou doporučované především pro člověka, který směs míchá. (34)

#### **3.5.2 Vedení instalací**

Veškeré instalace by měly být nataženy před zahájením aplikace konopného betonu, měly by být prováděny k tomu kvalifikovanými osobami. Potrubí či kabely je možné přichytávat k nosné konstrukci rámu. Při montáži bednění je třeba myslet na výstupy instalací a připravit otvory. V případě dodatečného vedení instalací je možno stěnu z konopného betonu lehce provrtat.

Plastové potrubí může být v konopném betonu umístěno bez jakékoliv ochrany. Při použití měděných trubek, je třeba je ochránit proti alkalickému vápnu v pojivu, které by mohlo způsobit korozi materiálu. Pro tyto účely se používá plastová ochrana potrubí o průměru, který je o pár milimetrů větší než u měděných trubek, umožňuje tedy materiálu pracovat.

Potrubí s přívodem vody nebo tepla je lepší vést v podlaze, ideálně umístit ve zdvojené podlaze. Pokud by byly instalovány ve stěně, bylo by obtížné najít a opravit

případné trhliny. Tryskající či prosakující voda by mohla poškodit materiál. Průniku potrubí skrz zeď se ovšem nedá úplně vyhnout, pokud jsou otvory dopředu navržené, při bednění je vhodné místo potrubí umístit trubičku obalenou měkkou a pružnou izolací z přírodních materiálů, která zabrání tomu, aby se kolem prostupu při vysychání konopného betonu tvořily trhlinky.

Elektrické kabely je též nutno opatřit plastovou či kovovou ochranou, která má v tomto případě dvě funkce – chrání před případným mechanickým poškozením, např. při špatně provedeném vrtání do už hotové zdi; dále zajišťuje, aby kolem kabelů proudil vzduch, tím dochází k jejich ochlazování a minimalizuje se riziko přehřátí. Elektroinstalační krabice se připevňují k bednění v předem naplánovaných pozicích. Při použití dočasného bednění do něj není třeba vyřezávat žádné otvory. (34)

### **3.5.3 Správné poměry složek a postup míchání**

Oproti cementovým maltám a betonům, kde je poměrně volnost v tom, kolik plniva, pojiva či vody se do směsi může dát a výsledný materiál má vždy ty vlastnosti, které má mít, pouze se s ním třeba hůře pracuje, jsou u konopného betonu přesně dané poměry, které se musejí dodržovat, jinak výsledná směs nefunguje správně.

Jedním z nejdůležitějších faktorů je přidání správného množství vody. Obě zbylé složky ve směsi, hydraulické pojivo a konopné pazdeří, bojují o přidanou vodu. Hydraulické pojivo ji potřebuje pro spuštění chemické reakce, díky které funguje, a pazdeří jako přírodní materiál přirozeně vodu pohlcuje.

Pokud je ve směsi moc málo vody pazdeří sebere vodu potřebnou pro hydraulické pojivo, které v suché formě neplní svou funkci. Výsledkem je, že výsledná konstrukce není schopna dosáhnout plné únosnosti a hrozí její kolaps.

Na druhé straně, v případě, že bylo použito příliš mnoho vody, může dojít k několika problémům – konopná vlákna se přesyťí vodou, ačkoliv jsou schopna pohltnout mnoho a s vodou dobře pracují, fakt, že budou po dlouhou dobu vystavená trvalé vlhkosti může způsobit plíseň. Velkým problémem je skutečnost, že by konstrukce velmi dlouho vysychala, s omítkami by se muselo dlouho čekat. Navíc příliš mokrá směs je mnohem těžší, po odbednění by se mohlo stát, že pojivo tuto váhu neudrží a došlo by ke kolapsu konstrukce. Konkrétní poměry pazdeří-pojivo-voda závisí na použitém pojivu a na tom, pro jaký typ konstrukce se bude výsledná směs používat.

Mezi základní pracovní pomůcky patří: míchačka (nejvhodnější je talířová stavební míchačka), OOPP, kbelíky, měrka a fix, nůž, stavební smeták a hadice na vodu.

Postup míchání je z dostupných zdrojů (34) popisován následovně: Polovina objemu vody se vlije do míchačky, do které se poté opatrně vsypou pytle s pojivem. Je nutné zkontrolovat, jestli jsou všechny pytle řádně vysypané. Voda s pojivem se nechá míchat, dokud z nich nevznikne tekutá kaše bez hrudek, v průběhu míchání se dočišťují zbytky pojiva, které uvízly na mříži míchačky. Do hmoty se přidá konopné pazdeří, vysypává se z pytlů, či se z nich vyhrabává smetákem. Směs, ačkoliv je poměrně suchá, se nechá míchat, dokud není pojivo rovnoměrně rozprostřeno a nevznikne kompaktní hmota. V tento moment se rovnoměrně rozlije zbývající voda. Pokud by se začaly tvořit hrudky (především z pojiva) je nutné míchání ihned ukončit. Jestliže dojde ke vzniku i jen několik hrudek, nesmějí se do výsledné směsi použít.

### **3.5.4 Zásady betonáže**

Hlavním cílem při aplikaci konopného betonu je co nejkompaktněji vyplnit prostor v bednění, vytvořit tak konzistentní hmotu o nízké hustotě, která bude dostatečně silná na to, aby držela tvar, ale zároveň byla dostatečně pórovitá, aby zachytila co nejvíce vzduchu a měla tak dobré izolační vlastnosti.

Po vysypání směsi do bednění se doporučuje pouze ruční rozhrabování, člověk má větší cit a je přesně schopen odhadnout hustotu výsledné konstrukce. Práce s dusadlem není úplně vhodná, hrozí totiž, že dojde k nadměrnému zhutnění směsi. Taková směs má až moc velkou hustotu, je dražší, protože se spotřebovává více materiálu, hůř vysychá, protože nemá tak pórovitou strukturu, a hlavně mírně se zhoršují její tepelně izolační vlastnosti. Výhodou je, že je únosnější a že díky svému celistvějšímu povrchu nepohltní tolik množství finálních omítek. Někdy je taková směs potřeba - např. při aplikaci tenké vrstvy materiálu, kde je potřeba co největší celistvost.

#### **Vysychání**

U přírodních materiálů nikdy nenastane situace, že by neobsahovala žádnou vlhkost. V případě konopného betonu je přijatelná hodnota vlhkostí přibližně 14-16 %, tento údaj je závislý na relativní vlhkosti okolního vzduchu v místě stavby či na lidské aktivitě uvnitř stavby. Stálé hodnoty nad 20 % mohou vést ke snížení kvality výsledné konstrukce. (34) S finálními povrchovými úpravami je dobré počkat až konstrukce opravdu vyschne na požadovanou hodnotu, i když se jedná o také difuzně otevřené materiály, svou přítomností by zpomalovaly

proces vysychání. Nebo na druhé straně, vypařování vlhkosti ze stěny by mohlo poškodit omítku – mohly by vznikat mokré skvrny. Pokud je část stěny o tloušťce cca 40 mm suchá, mělo by být vše v pořádku. U stěny 300-350 mm trvá vysychání 6-8 týdnů, se přibývajícím šířkou se čas prodlužuje. (34)

## 4 Vymezení pojmů pro stanovení normy času a pracnosti

Norma času  $N_{\varepsilon}$  „je normová spotřeba pracovního času 1 dělníka nebo stroje na měrnou jednotku jakostního produktu určitého procesu měřená v Nh/m.j., tj. normohodinách (strojohodinách) na měrnou jednotku produktu (tento údaj se zjišťuje časovým snímkováním stavebních procesů na staveništi).“ (28) Z dostupných podkladů nelze tuto hodnotu získat, její stanovení je předmětem této práce.

Pro měření normy spotřeby času bude využita **metoda přímého měření času**, jedná se o časově poměrně náročnou metodu, i přesto jde o nejpoužívanější metodu pro stanovení časových norem při výrobě nových materiálů či při práci s novými technologiemi. Doby získané tímto měřením jsou základem pro časové řízení a plánování a pro již zmíněnou normu spotřeby času. (33)

Mezi přímé metody měření patří snímek pracovního dne, momentové pozorování a snímky operace. Snímek pracovního dne se používá pro pozorování celé pracovní směny pracovníka či celé čety, zaznamenávají se údaje o veškerých činnostech včetně pauz atp. Momentové pozorování slouží k vyhodnocování efektivity práce. Pro případ této práce je nejvhodnější snímek operace, který umožňuje zjistit doby trvání jednotlivých činností, popř. celých operací. Výsledné hodnoty lze použít pro stanovení norem času.

Snímky operace se dále dělí na chronometráž plynulou, výběrovou a snímkovou. **Snímková chronometráž** obsahuje jak časové údaje o jednotlivých činnostech, tak jejich popis, je tedy kombinací klasické chronometráže a snímku pracovního dne, což je pro účely této práce naprosto vyhovující. Používá se především v případech, kdy není přesně daný postup činností, a hledá se nejefektivnější způsob provádění práce. (30, s. 42)

### Rozdělení časů a způsob měření

Obecně se čas průběhu práce či směny dělí na čas nutný (normovatelný)  $T_n$  a čas zbytečný  $T_z$ . Při stanovování norem spotřeby času se pracuje pouze s časem nutným  $T_n$ , který zahrnuje veškeré spotřeby času nezbytné k dokončení pracovní operace. Skládá se z: času práce  $T_1$ , času obecně nutných přestávek  $T_2$  a času podmíněčně nutných přestávek  $T_3$ . Čas  $T_2$  představuje především přestávky pro základní fyziologické a hygienické potřeby pracovníka – čas na zvláštních oddech, čas na přirozené potřeby a čas na jídlo a pití. Čas  $T_3$  označuje veškerá neodstranitelná přerušení práce vlivem dané technologie či způsobu řízení práce. (33)

Přímé měření je možné několika způsoby, v této práci byla zvolena metoda pomocí záznamu z videokamery a současně měření stopkami a zapisování do připraveného formuláře pro průběh pracovní operace. Pro získání co nejspolehlivějších výsledků je dobré opakovat měření vícekrát, poté dojde k porovnání jednotlivých náměrů (tj. časů, které se získají opakovaným měřením dané činnosti).

### **Metoda stanovení normy spotřeby času**

Existují dvě základní metody stanovení normy spotřeby času, a to metody rozborové a souhrnné. Souhrnné metody jsou značně nepřesné, protože pracují pouze s výslednou souhrnnou hodnotou, na jejímž základě určí normu času. Pro účely této práce nejsou vhodné. Rozborové metody naopak rozebírají jednotlivé činnosti, jsou mnohem podrobnější. Dále se dělí na rozborově chronometrážní, výpočtovou a porovnávací metodu. Jak už je patrné z názvu, při vyhodnocování snímkové chronometráže se používá rozborová chronometrážní metoda, která detailně popisuje pracovní operaci a stanovuje trvání jednotlivých činností. (33)

### **Pracnost**

„(Celková) pracnost  $P$  je množství práce potřebné na zhotovení určitého množství produktu určitého procesu. Rozeznává se tzv. pracnost normová  $P_n$  měřená v normohodinách a pracnost skutečná  $P_s$  měřená v pracovních hodinách.

$$P_n = Q \times N_{\xi}$$

$$P_s = (Q \times N_{\xi}) / n$$

$Q$  je rozsah produkce měřený ve fyzických nebo finančních jednotkách

$n$  je součinitel napětí norem (poměr mezi skutečnou a normovou pracností určitého procesu), což je obvykle podnikový ukazatel, který bývá určen statisticky a vyjadřuje se v bezrozměrných jednotkách nebo v %“ (28)

V případě této práce není určována normová pracnost ani není k dispozici součinitel napětí norem, bude se využívat zjednodušený vzorec  $P = Q \times N_{\xi}$ . Cílem je určit jednotkovou pracnost, ta se získá dosazením objemu  $1 \text{ m}^3$  do vzorce, jednotková pracnost tedy odpovídá hodnotě  $N_{\xi}$ , pouze s jinými jednotkami, pracnost se udává v Nh (normohodina).

## 5 Cíle praktické části

- vytvořit snímek průběhu práce
- stanovit normy času pro jednotlivé činnosti a pro celou operaci, určení jednotkové pracovní doby
- sestavit technologický předpis
  - definovat požadavky na stavební připravenost
  - stanovit optimální složení pracovní čety
  - stanovit optimální pracovní pomůcky
  - definovat požadavky na zásobování a skladování materiálu

## 6 Stanovení normy času

### 6.1 Předmět řešení

Norma času byla získávána pomocí metody snímkové chronometráže. Ta byla prováděna na rekonstrukci rodinného domu ve Vráži u Berouna, kde byla plánovaná přízdívka z konopného betonu v tloušťce 130 mm. Přímé měření probíhalo pomocí video záznamu na fotoaparát, některé činnosti byly zároveň podrobně měřeny na stopkách a zapisovány do připraveného formuláře pro snímek průběhu operace. Měření bylo prováděno z vyvýšeného prostoru pár metrů od domu, viz Obr. 2 a Obr. 3, kde byl výborný výhled na veškeré práce a zároveň nedocházelo k narušování prostoru pracovníků.



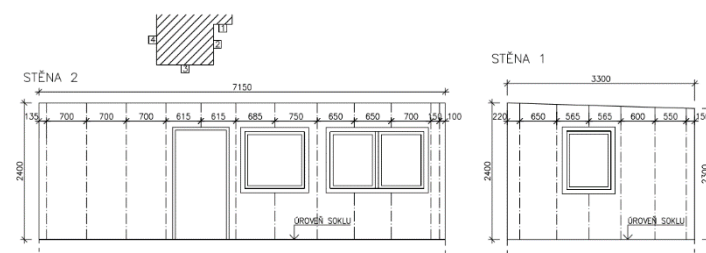
Obr. 2: Výhled z prostoru pro měření (z vlastních zdrojů)



Obr. 3: Pohled na vyvýšený prostor pro měření (z vlastních zdrojů)

Původní fasáda objektu byla otlučena až na nosnou konstrukci z cihel plných pálených. Před zahájením betonáže, bylo nutné vytvořit nosný rošt a bednění. Ačkoliv zmíněné činnosti nejsou předmětem řešení této práce, je důležité zmínit, jak dlouho trvaly, protože tyto přípravné práce zabírají mnohem více času než samotná betonáž.

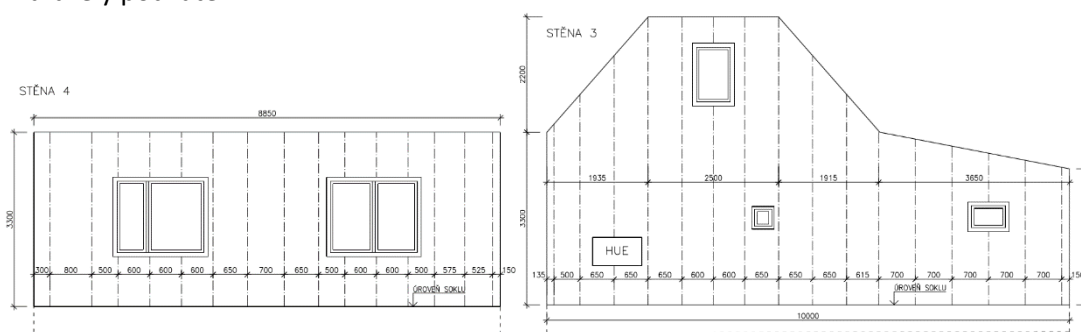
Nosný rastr je tvořen z latí o rozměru 60 x 40 mm, na které se po stranách připevňují dvě malé lišty o rozměrech cca 5 x 10 mm. Lišty vytvoří nepravidelný průřez, který zajišťuje lepší soudržnost a zamezí případnému „vypadnutí“ hmoty konopného betonu. Latě jsou uchycené do nosné stěny pomocí hmoždinek a šroubů. Jejich rozmístění je patrné na schématu, viz Obr. 4 a Obr. 5, kde je možné vyčíst i rozměry objektu. Osazení těchto lišt trvalo



Obr. 4: Celkové schéma a nosný rastr na stěnách 1, 2



třem dělníkům 6 pracovních dní při standardní pracovní době 8 hodin. Časově nejnáročnější bylo dosažení svislosti lišt, k vyrovnávání byly použity dřevěné klínky, které se dle potřeby zarážely pod latě.



Obr. 5: Nosný rastr na stěnách 3, 4

Pro bednění jsou použity OSB Kronospan o rozměrech 2500 x 625 x 12 mm. Zároveň s pracemi na nosném rastru probíhaly i práce na první základní části bednění – zabezení



Obr. 6: Bednění první řady (z vlastních zdrojů)



Obr. 7: Detail použití distančníků (z vlastních zdrojů)

spodní hrany soklu, která musela být vodorovná, vyrovnání opět zabíralo nejvíce času, toto bednění se stihlo v již zmíněných 6 pracovních dnech. K zahánění betonáže je třeba dopředu připravit první řadu svislého bednění. Desky jsou upevňovány pomocí distančníků – v tomto případě jsou použité plastové vodovodní trubky o průměru 20 mm, které se nařezaly na prvky dlouhé 90 mm. Ke kotvení OSB desek se použily šrouby délky minimálně 150 mm, jedna celá deska se kotví pomocí 6 šroubů, šroub prochází plastovou trubicou do nosného rámu. V místě kotev je OSB deska vyztužena nařezanými podkladními prkny, aby při utahování nedošlo k poškození desky. Obednění první řady trvalo při 3 dělnících 1 pracovní den.

Objem pro přízdívku v tloušťce 130 mm byl vypočten na množství 11,56 m<sup>3</sup>, na stavbu byl dovezen materiál, který vystačí na smíchání cca 13 m<sup>3</sup> konopného betonu. Případným hutněním směsi se spotřebuje nepatrně více materiálu. Na pracovišti byly v den pozorování 3 pracovníci, jeden z nich detailně znal postup míchání a betonáže, zbývající dva s materiálem

pracovali poprvé. Pracoviště bylo vybaveno skladem materiálu, veškerými potřebnými pracovními pomůckami, a především talířovou míchačkou o objemu 300 l.

## 6.2 Pozorovací list snímku průběhu práce

Snímkování průběhu práce bylo prováděno první den betonáže, ten se mírně liší od všech následujících – především v tom, že se poprvé míchá směs a vyladuje se ideální poměr vstupních surovin. Největší neznámou je skutečná vlhkost konopného pazdeří, které mohlo během uskladnění pohlit nějakou dodatečnou vlhkost ze vzduchu, tento fakt mírně ovlivňuje množství přidané vody.

Tab. 17: Snímek průběhu práce

Č.o.	Název operace	Název pozorované činnosti (pracovní činnosti a přestávky)	Číslo prac.	Počet prac.	Délka trvání činnosti [s]	Typ času	Čas operace při 3 prac. [min]
1	Přípravné práce	příchod na pracoviště	1, 2, 3	3	-		10,30
		příprava pracovních pomůcek	2	1	618	T <sub>1</sub>	
		stanovení poměrů míchání	1	1	515	T <sub>1</sub>	
		kontrola bednění	3	1	258	T <sub>1</sub>	
		navlhčení zdí po celém obvodu	3	1	278	T <sub>1</sub>	
		zapojení míchačky, kontrola funkčnosti	2	1	74	T <sub>1</sub>	
2	Míchání směsi	naplnění kbelíků s vodou	2	1	322	T <sub>1</sub>	19,10
		sypání 1 a 1/3 pytle pazdeří do míchačky	1	1	256	T <sub>1</sub>	
		zapnutí míchačky	3	1	56	T <sub>1</sub>	
		vlití 3 kbelíků (objem 15 l) s vodou do míchačky	1	1	233	T <sub>1</sub>	
		naplnění kbelíků s vodou	2	1	356	T <sub>1</sub>	
		nasazení OOPP – brýle, rukavice, respirátor	1	1	123	T <sub>1</sub>	
		vsypání 2 pytlů pojiva Tradical	1	1	131	T <sub>1</sub>	
		míchání	-	-	30	T <sub>3</sub>	
		dolítí vody do míchačky - 1 kbelík	1	1	103	T <sub>1</sub>	
		míchání	-	-	270	T <sub>3</sub>	
3	Test konzistence	odsypání 1 kbelíku směsi	1	1	11	T <sub>1</sub>	0,34
		vytvoření testovací koule z hmoty	1	1	15	T <sub>1</sub>	
		propíchnutí koule prstem a vyhodnocení	1	1	35	T <sub>1</sub>	
4	Proces betonáže způsob 1	naplnění kýble konopným betonem	1	1	12	T <sub>1</sub>	0,80
		transport 1 na místo určení	2	1	6	T <sub>1</sub>	
		sypání směsi do bednění a hutnění	3	1	26	T <sub>1</sub>	
		čekání	2	1	26	T <sub>3</sub>	
		transport 1 prázdného kbelíku k míchačce	2	1	4	T <sub>1</sub>	
5	Proces betonáže způsob 2	naplnění kýble konopným betonem	1	1	12	T <sub>1</sub>	1,02
		transport 1, sypání, hutnění, transport 1	2	1	38	T <sub>1</sub>	
		naplnění kýble konopným betonem	1	1	11	T <sub>1</sub>	
		transport 1, sypání, hutnění, transport 1	3	1	29	T <sub>1</sub>	
5	Proces betonáže způsob 2	naplnění kýble konopným betonem	1	1	9	T <sub>1</sub>	0,92
		transport 1, sypání, hutnění, transport 1	2	1	36	T <sub>1</sub>	
		naplnění kýble konopným betonem	1	1	10	T <sub>1</sub>	
		transport 1, sypání, hutnění, transport 1	3	1	30	T <sub>1</sub>	

Pokračování Tab. 17

5	Proces betonáže způsob 2	naplnění kýble konopným betonem	1	1	9	T <sub>1</sub>	0,87
		transport 1, sypání, hutnění, transport 1	2	1	32	T <sub>1</sub>	
		naplnění kýble konopným betonem	1	1	10	T <sub>1</sub>	
		transport 1, sypání, hutnění, transport 1	3	1	33	T <sub>1</sub>	
5	Proces betonáže způsob 2	naplnění kýble konopným betonem	1	1	12	T <sub>1</sub>	1,02
		transport 1, sypání, hutnění, transport 1	2	1	40	T <sub>1</sub>	
		naplnění kýble konopným betonem	1	1	9	T <sub>1</sub>	
		transport 1, sypání, hutnění, transport 1	3	1	27	T <sub>1</sub>	
5	Proces betonáže způsob 2	naplnění kýble konopným betonem	1	1	8	T <sub>1</sub>	0,97
		transport 1, sypání, hutnění, transport 1	2	1	39	T <sub>1</sub>	
		naplnění kýble konopným betonem	1	1	11	T <sub>1</sub>	
		transport 1, sypání, hutnění, transport 1	3	1	28	T <sub>1</sub>	
5	Proces betonáže způsob 2	naplnění kýble konopným betonem	1	1	8	T <sub>1</sub>	0,94
		transport 1, sypání, hutnění, transport 1	2	1	36	T <sub>1</sub>	
		naplnění kýble konopným betonem	1	1	12	T <sub>1</sub>	
		transport 1, sypání, hutnění, transport 1	3	1	26	T <sub>1</sub>	
5	Proces betonáže způsob 2	naplnění kýble konopným betonem	1	1	12	T <sub>1</sub>	1,02
		transport 1, sypání, hutnění, transport 1	2	1	38	T <sub>1</sub>	
		naplnění kýble konopným betonem	1	1	11	T <sub>1</sub>	
		transport 1, sypání, hutnění, transport 1	3	1	29	T <sub>1</sub>	
5	Proces betonáže způsob 2	naplnění kýble konopným betonem	1	1	10	T <sub>1</sub>	1,12
		transport 1, sypání, hutnění, transport 1	2	1	36	T <sub>1</sub>	
		naplnění kýble konopným betonem	1	1	12	T <sub>1</sub>	
		transport 1, sypání, hutnění, transport 1	3	1	45	T <sub>1</sub>	
5	Proces betonáže způsob 2	naplnění kýble konopným betonem	1	1	9	T <sub>1</sub>	0,98
		transport 1, sypání, hutnění, transport 1	2	1	39	T <sub>1</sub>	
		naplnění kýble konopným betonem	1	1	11	T <sub>1</sub>	
		transport 1, sypání, hutnění, transport 1	3	1	32	T <sub>1</sub>	
2	<b>Míchání směsi</b>		1, 2, 3	3	678	T <sub>1</sub>	<b>11,3</b>
3	Test konzistence		1	1		T <sub>1</sub>	0,31
6	Proces betonáže zp. 2 - sečteno		1, 2, 3	3	498	T <sub>1</sub>	8,30
7	Přestávka	pauza na vykonání základních potřeb – pití, jídlo, toaleta	1, 2, 3	3	870	T <sub>2</sub>	14,50
8	Oprava bednění	vyztužení a podepření soklové části po celém obvodu – nařezání latí potřebné délky, příprava stojek v rastru cca po 50 cm	1, 2, 3	3	1668	T <sub>1</sub>	27,80
2	<b>Míchání směsi</b>		1, 2, 3	3	729	T <sub>1</sub>	<b>12,15</b>
3	Test konzistence		1	1		T <sub>1</sub>	0,36
6	Proces betonáže zp. 2 - sečteno		1, 2, 3	3	426	T <sub>1</sub>	7,10
2	<b>Míchání směsi</b>		1, 2, 3	3	632	T <sub>1</sub>	<b>10,54</b>
3	Test konzistence		1	1		T <sub>1</sub>	0,28
6	Proces betonáže zp. 2 - sečteno		1, 2, 3	3	438	T <sub>1</sub>	7,30
8	Úklid	úklid pracovních pomůcek a pracoviště	1, 2	2	387	T <sub>1</sub>	6,45
		vyčištění stavební míchačky vapkou	3	1	254	T <sub>1</sub>	
		přikrytí části bednění s čerstvě vybetonovanou směsí	3	1	120	T <sub>1</sub>	
7	Přestávka	pauza na oběd	1, 2, 3	3	2700	T <sub>2</sub>	45

Pokračování Tab. 17

1	Přípravné práce	příchod na pracoviště	1, 2, 3	3	-	-	8,73
		příprava pracovních pomůcek	2	1	524	T <sub>1</sub>	
		navlhčení zdí, kde ještě neproběhla betonáž	3	1	186	T <sub>1</sub>	
		zapojení míchačky, kontrola funkčnosti	1	1	62	T <sub>1</sub>	
2	<b>Míchání směsi</b>		1, 2, 3	3	729	T <sub>1</sub>	<b>12,17</b>
3	Test konzistence		1	1		T <sub>1</sub>	0,26
6	Proces betonáže zp. 2 - sečteno		1, 2, 3	3	498	T <sub>1</sub>	7,54
2	<b>Míchání směsi</b>		1, 2, 3	3	729	T <sub>1</sub>	<b>11,02</b>
3	Test konzistence		1	1		T <sub>1</sub>	0,32
6	Proces betonáže zp. 2 - sečteno		1, 2, 3	3	426	T <sub>1</sub>	8,36
2	<b>Míchání směsi</b>		1, 2, 3	3	632	T <sub>1</sub>	<b>9,86</b>
3	Test konzistence		1	1		T <sub>1</sub>	0,35
6	Proces betonáže zp. 2 - sečteno		1, 2, 3	3	438	T <sub>1</sub>	9,62
2	<b>Míchání směsi</b>		1, 2, 3	3	632	T <sub>1</sub>	<b>10,22</b>
3	Test konzistence		1	1		T <sub>1</sub>	0,24
6	Proces betonáže zp. 2 - sečteno	položka transport 1 byla nahrazena položkou transport 2	1, 2, 3	3	438	T <sub>1</sub>	10,35
2	<b>Míchání směsi</b>		1, 2, 3	3	605	T <sub>1</sub>	<b>10,08</b>
3	Test konzistence		1	1		T <sub>1</sub>	0,24
6	Proces betonáže zp. 2 - sečteno	položka transport 1 byla nahrazena položkou transport 2	1, 2, 3	3	758	T <sub>1</sub>	12,62
7	Přestávka	pauza na vykonání základních potřeb – pití, jídlo, toaleta	1, 2, 3	3	870	T <sub>2</sub>	14,50
2	<b>Míchání směsi</b>		1, 2, 3	3	678	T <sub>1</sub>	<b>9,94</b>
3	Test konzistence		1	1		T <sub>1</sub>	0,28
6	Proces betonáže zp. 2 - sečteno	položka transport 1 byla nahrazena položkou transport 2	1, 2, 3	3	498	T <sub>1</sub>	13,66
2	<b>Míchání směsi</b>		1, 2, 3	3	729	T <sub>1</sub>	<b>10,14</b>
3	Test konzistence		1	1		T <sub>1</sub>	0,45
6	Proces betonáže zp. 2 - sečteno	položka transport 1 byla nahrazena položkou transport 2	1, 2, 3	3	426	T <sub>1</sub>	15,36
2	<b>Míchání směsi</b>		1, 2, 3	3	632	T <sub>1</sub>	<b>11,07</b>
3	Test konzistence		1	1		T <sub>1</sub>	0,29
6	Proces betonáže zp. 2 - sečteno	položka transport 1 byla nahrazena položkou transport 2	1, 2, 3	3	438	T <sub>1</sub>	17,56
2	<b>Míchání směsi</b>		1, 2, 3	3	632	T <sub>1</sub>	<b>10,38</b>
3	Test konzistence		1	1		T <sub>1</sub>	0,28
6	Proces betonáže zp. 2 - sečteno	položka transport 1 byla nahrazena položkou transport 2	1, 2, 3	3	438	T <sub>1</sub>	18,43
8	Úklid	úklid pracovních pomůcek a pracoviště	1, 2	2	569	T <sub>1</sub>	9,48
		vyčištění stavební míchačky vapkou	3	1	254	T <sub>1</sub>	
		přikrytí části bednění s čerstvě vybetonovanou směsí	3	1	120	T <sub>1</sub>	
9		odchod z pracoviště	1, 2, 3	3	-	-	
Celkový čas práce T <sub>ns</sub> [min]							434,59
Celkový objem umíchané směsi V <sub>u</sub> [m <sup>3</sup> ]							2,565
Celkový skutečný objem v bednění V <sub>s</sub> [m <sup>3</sup> ]							2,289

Poznámka: Při stanovování norem spotřeby času se pracuje pouze s časem nutným  $T_n$ , který zahrnuje veškeré spotřeby času nezbytné k dokončení pracovní operace. Skládá se z: času práce  $T_1$ , času obecně nutných přestávek  $T_2$  a času podmíněčně nutných přestávek  $T_3$ . Čas  $T_2$  představuje především přestávky pro základní fyziologické a hygienické potřeby pracovníka – čas na zvláštních oddech, čas na přirozené potřeby a čas na jídlo a pití. Čas  $T_3$  označuje veškerá neodstranitelná přerušení práce vlivem dané technologie či způsobu řízení práce. (33) *Transport 1* znamená vnitrostaveništní transport materiálu do vzdálenosti 5 m, *transport 2* představuje vnitrostaveništní transport materiálu nad vzdálenost 5 m.

### 6.3 Výpočty norem časů operací, určení jednotkové pracnosti

Ve všech činnostech se jedná o normu času tepelně izolační přizdívky.

#### 1. Proces míchání včetně testu konzistence

Tab. 18: Stanovení průměrné normy času míchání

Pořadí měření	Čas [min]	Čas [hod]	Počet prac.	Čas na 1 prac. [hod]	Objem [l]	Objem [m <sup>3</sup> ]	Norma času $N_{\check{c}i}$ [Nh/m <sup>3</sup> ]
1	19,44	0,324	3	<b>0,972</b>	194	<b>0,194</b>	5,010
2	11,61	0,194	3	<b>0,582</b>	195	<b>0,195</b>	2,985
3	12,51	0,209	3	<b>0,627</b>	192	<b>0,192</b>	3,266
4	10,82	0,180	3	<b>0,540</b>	201	<b>0,201</b>	2,687
5	12,43	0,207	3	<b>0,621</b>	191	<b>0,191</b>	3,251
6	11,34	0,189	3	<b>0,567</b>	196	<b>0,196</b>	2,893
7	10,22	0,170	3	<b>0,510</b>	198	<b>0,198</b>	2,576
8	10,46	0,174	3	<b>0,522</b>	200	<b>0,200</b>	2,610
9	10,32	0,172	3	<b>0,516</b>	202	<b>0,202</b>	2,554
10	10,22	0,170	3	<b>0,510</b>	197	<b>0,197</b>	2,589
11	10,59	0,177	3	<b>0,531</b>	198	<b>0,198</b>	2,682
12	11,36	0,189	3	<b>0,567</b>	200	<b>0,200</b>	2,835
13	10,66	0,178	3	<b>0,534</b>	201	<b>0,201</b>	2,835
Průměrná norma času míchání $N_{\check{c}m}$ [Nh/m <sup>3</sup> ] na jednoho pracovníka							<b>2,969</b>

Ze zápisu je patrné, že první míchání bylo delší, tento fakt je zapříčiněn tím, že se hledal správný způsob postupů činností, u dalších míchání už byly činnosti lépe zkoordinovány, výkyvy mezi jednotlivými náměry nejsou příliš znatelné. Průměrná norma času míchání  $N_{\check{c}m}$  na jednoho pracovníka vychází 2,969 Nh/m<sup>3</sup>.

$$P_m = Q \times N_{\check{c}m} = 1 \times 2,969 = 2,969 \text{ Nh}$$

## 2. Proces betonáže včetně plnění kbelíků, transportu a sypání do bednění

Tab. 19: Stanovení průměrné normy času betonáže (transport a vsypávání do bednění)

Pořadí měření	Čas [min]	Čas [hod]	Počet prac.	Čas na 1 prac. [hod]	Objem [l]	Objem [m <sup>3</sup> ]	Norma času $N_{\check{c}i}$ [Nh/m <sup>3</sup> ]
1	9,66	0,161	3	<b>0,483</b>	194	<b>0,194</b>	2,490
2	8,30	0,138	3	<b>0,415</b>	195	<b>0,195</b>	2,128
3	7,10	0,118	3	<b>0,355</b>	192	<b>0,192</b>	1,849
4	7,30	0,122	3	<b>0,365</b>	201	<b>0,201</b>	1,816
5	7,54	0,126	3	<b>0,377</b>	191	<b>0,191</b>	1,974
6	8,36	0,139	3	<b>0,418</b>	196	<b>0,196</b>	2,133
7	9,62	0,160	3	<b>0,481</b>	198	<b>0,198</b>	2,429
8	10,35	0,173	3	<b>0,518</b>	200	<b>0,200</b>	2,590
9	12,62	0,210	3	<b>0,631</b>	202	<b>0,202</b>	3,124
10	13,66	0,228	3	<b>0,683</b>	197	<b>0,197</b>	3,467
11	15,36	0,256	3	<b>0,768</b>	198	<b>0,198</b>	3,879
12	17,56	0,293	3	<b>0,878</b>	200	<b>0,200</b>	4,390
13	18,43	0,307	3	<b>0,912</b>	201	<b>0,201</b>	4,537
Průměrná norma času betonáže $N_{\check{c}b}$ [Nh/m <sup>3</sup> ] na jednoho pracovníka							<b>2,831</b>

Ve druhé třetině dochází k narůstání doby trvání procesu betonáže, který se prodlužuje vlivem prodlužování délky transportu od míchačky k místu určení. Průměrná norma času betonáže  $N_{\check{c}b}$  na jednoho pracovníka vychází 2,831 Nh/m<sup>3</sup> umíchané směsi.

$$P_b = Q \times N_{\check{c}b} = 1 \times 2,831 = 2,831 \text{ Nh}$$

### 3. Agregovaná norma času

Za celý den proběhlo celkem 13 opakování míchání a betonáže, v míchačce o objemu 300 l, bylo vytvořeno  $V_u = 2,565 \text{ m}^3$  konopného betonu. Toto množství zabralo v připraveném bednění objem  $V_s = 2,289 \text{ m}^3$ , vlivem hutnění a případných ztrát tedy roste spotřeba materiálu o cca 10 %. Pro získání skutečné normy času  $N_{\check{c}s}$ , kde se započítávají veškeré normovatelné časy práce ( $T_{ns} = T_1 + T_2 + T_3$ ), pouze vydělíme celkový čas práce  $T_{ns}$  a výsledný skutečný objem betonu v bednění  $V_s$ , kde  $T_{ns} = 434,59 \text{ min} = 7,243 \text{ hod}$  pro 3 pracovníky,  $T_{ns1} = 21,729 \text{ hod}$ .

$$N_{\check{c}s} = T_{ns1} / V_s = 21,729 / 2,289 = 9,493 \text{ Nh/m}^3$$

$$P_s = Q \times N_{\check{c}s} = 1 \times 9,493 = 9,493 \text{ Nh}$$

To znamená, že 1 pracovník je schopen za 9,493 hodiny vybetonovat skutečný objem 1 m<sup>3</sup> konopného betonu vyspaného a zhutněného v bednění, se započítáním veškerých

přípravných prací, nutných i podmíněných přestávek i mimořádných činností – v tomto případě např. oprava bednění.

Jako nejvíce relevantní pro určení normy času, která bude využívána ve výpočtech v další části práce, je zahrnutí do času práce  $T_n$  pouze činnosti, které se přímo týkají práce s konopným betonem, tzn. doby trvání u položek Přípravné práce, Míchání směsi, Test konzistence, Proces betonáže a Úklid. Stejně jako v předchozím případě se bude počítat s výsledným celkovým skutečným objemem v bednění  $V_s$ .

$$T_n = 309,85 / 60 \times 3 = 15,492 \text{ hod na 1 pracovníka}$$

$$N_{\xi} = T_n / V_s = 15,492 / 2,289 = \mathbf{6,768 \text{ Nh/m}^3}$$

$$P = Q \times N_{\xi} = 1 \times 6,768 = \mathbf{6,768 \text{ Nh}}$$

To znamená, že 1 pracovník je schopen za 6,768 hodiny vybetonovat 1 m<sup>3</sup> skutečného objemu betonu v bednění, se započítáním veškerých souvisejících činností.

Orientačně lze průměrnou normu času betonáže konopným betonem  $N_{\xi t}$  včetně míchání, bez započítání času obecně nutných přestávek  $T_2$  a bez činností, které se jí přímo netýkají, např. úklid, dostaneme sečtením normy času míchání  $N_{\xi m}$  a času betonáže  $N_{\xi b}$ .

$$N_{\xi t} = N_{\xi m} + N_{\xi b} = 2,969 + 2,831 = 5,800 \text{ Nh/m}^3$$

$$P_t = Q \times N_{\xi t} = 1 \times 5,800 = 5,800 \text{ Nh}$$

To znamená, že v ideálním případě 1 pracovník je schopen za 5,8 hodiny umíchat a vysypat do bednění 1 m<sup>3</sup> konopného betonu, což odpovídá cca 0,9 m<sup>3</sup> skutečného objemu v bednění.



Obr. 8: Ukázka čerstvě vybetonovaného konopného betonu v bednění (z vlastních zdrojů)



Obr. 9: Ukázka procesu betonáže při třetím dnu betonování (z vlastních zdrojů)



## 7 Stanovení technologického předpisu

### 7.1 Základní identifikační údaje

#### Identifikační údaje stavby

Pozorovaná stavba je stavěna svépomocí. Stavba byla zahájena v březnu roku 2016. Jedná se o klasickou dřevostavbu postavenou systémem „Two by Four“ (jde o rámovou konstrukci, kde se používají sloupky o průřezu 2 x 4 palce, což je cca 50 x 100 mm) (8), půdorysný rozměr je cca 8,5x 13,5 m. Jako výplňový materiál je zvolen konopný beton. U části stavby, z dispozičního hlediska se jedná o budoucí obývací pokoj a pracovnu, je fasáda řešena jako roubenka, pomocí masivních kmenů modřínů, které byly ručně opracovávány.

Stavba je založena na pěnoscle o tloušťce 400 mm. Tepelně izolační materiály, a celkově skladby materiálů, jsou navrženy tak, aby vyhovovaly požadavkům na pasivní domy.

Jako střešní krytina byly zvoleny šindele z modřínu. Malé rozměry těchto prvků umožňují tvarovou rozmanitost, která je potřeba při řešení obloukových vikýřů, které jsou navrženy na střeše. Šindele jsou položeny ve třech vrstvách.



Obr. 10: Stavba připravena pro betonování příček (foto od p. Majringera z [www.konopny-beton.cz](http://www.konopny-beton.cz))

#### Vymezení předmětu řešení

Předmětem řešení je detailní popsání míchání a aplikace konopného betonu ve vnitřních dělicích konstrukcích. Příčky jsou tvořeny nosným rámem a jsou navrženy v tloušťce 130 mm. Materiál bude míchán na stavbě a bude umístován do připraveného dočasného bednění z OSB desek. Konopný beton je plánovaný i pro použití v obvodovém plášti.



## 7.2 Vstupní materiály a výrobky

### Vlastnosti vstupního materiálu

Konopné pazdeří je dodáváno v balení o hmotnosti 15 kg, rozměry balení 360 x 245 x 800 mm (šířka x délka x výška). Konopné pazdeří obsahuje 53 % celulózy, 21 % ligninu, 18 % ostatních látek (protein, pektin) a pod 10 % vody. Objemová hmotnost materiálu je 110 kg/m<sup>3</sup> a navlhavost až 400 %. (22)

Údaje o pojivu viz Tab. 20.

Tab. 20: Technické údaje pojiva Tradical® PF 70

součinitel tep. vodivosti $\lambda$ [W/m.K]	$\leq 0,20$
objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]	$620 \pm 20$
obsah CO <sub>2</sub>	$\leq 8 \%$
přísady (rostlinné koloidy a tenzidy)	$\leq 0,5 \%$
zrnitost [ $\mu\text{m}$ ]	$\leq 90$
schopnost zadržetí vody	$\geq 75 \%$
pevnost v tahu za ohybu [MPa]	1,4
pevnost v tlaku [MPa]	4,3
součinitel difúzního odporu [ $\mu$ ]	$\leq 14$

Hodnoty převzaty z [http://www.prismaconsult.cz/fotky1136/fotov/\\_ps\\_18TRADICAL-PF-70-04-13.pdf](http://www.prismaconsult.cz/fotky1136/fotov/_ps_18TRADICAL-PF-70-04-13.pdf)

Pozn.: Hydraulické vápno je nejdražší a zároveň nejdůležitější složkou celé směsi. V České republice se v současné době hydraulické vápno nevyrábí. Je tedy nutné tento materiál dovážet z cizích zemí, pojivo Tradical® pochází z Velké Británie. (40)

### Výpis materiálu

V objektu se podle návrhu nachází příčky o celkovém objemu 15,3 m<sup>3</sup>, otvory pro dveře jsou odečteny. Šířka příček je 130 mm a výška 2800 mm.

Aplikace konopného betonu je ve své podstatě téměř bezztrátová, případné odpadnuté kusy se dají znovu použít jako plnivo do dalších směsí, míchačka se vymývá vodou a následně se míchá další směs. U množství vstupních materiálů se počítá s větším než skutečným objemem, směs se někdy mírně udusává, což zvyšuje spotřebu materiálu, přibližně se připočítává cca 10 % z celkového objemu.

Předpokládaný objem konopného betonu, který bude potřeba je 17 m<sup>3</sup> (= 17 000 l). Do míchacího bubnu o objemu max. 300 l případnou na 1 a 1/5 pytle pazdeří 2 pytle pojiva a cca 50-60 l vody, tím vznikne cca 0,2 m<sup>3</sup> materiálu, celkově se počítá s 84 míchačkami pro vybetonování celého objemu.

Tab. 21: Výpis materiálů

materiál	počet pytlů [ks]	množství [l/kus]	celkové množství [l]
konopné pazdeří	100	71	7 100
Tradical® PF 70	168	32	5 376
voda	-	-	4 620
celkový objem			17 096

### Zásady skladování, dopravy a manipulace vstupních materiálů

Pro konopné pazdeří nejsou žádné speciální požadavky na skladování, je dodávané v pytlech, doporučuje se skladovat v suchu a dbát na neporušení obalu.

Pojivo Tradical® PF 70 je dodáváno v pytlích po 22 kg, na paletu se vejde 50 balení (výsledná váha 1 100 kg). Skladuje se v originálním neporušeném balení, v suchu, při teplotě min. + 5 °C. (31)

*„Výrobek není nebezpečným zbožím ve smyslu mezinárodních a národních předpisů o dopravě, při přepravě nejsou potřebná žádná poznávací znamení. Při zpracování postupy uvedenými v Technickém listu není přípravek ekologicky nebezpečný.“ (31)*

### Zásobování

Při tomto požadovaném objemu konopného betonu, cca 17 m<sup>3</sup>, bude veškerý vstupní materiál přivezen na stavbu a uskladněn dle požadavků. Na staveništi je pro něj vyhrazeno dostatečné množství místa. Betonáž probíhá poměrně rychle, nemělo by cenu materiál vozit postupně.

### Metody kontroly kvality materiálu

Konopné pazdeří – při převzetí je potřeba zkontrolovat, jestli není pazdeří příliš vlhké, to se pozná pomocí barvy či dotykem. Je dobré zkontrolovat rozměr štěpek. Důležité je se ujistit, že v hmotě pazdeří nejsou žádná vlákna a především prach, toho může být v celém objemu pazdeří maximálně 2 %. Prach by mohl fatálně ovlivnit výslednou směs, mohlo by dojít až k sesypání částí stěn.

U pojiva Tradical® PF 70 je potřeba zkontrolovat, jestli není nějaké balení mechanicky poškozeno a jestli není starší než 24 měsíců od data výroby.

## 7.3 Pracovní podmínky

### Připravenost pracoviště

Před realizací výplní příček je nutné, aby byl hotový nosný rám a natažené veškeré rozvody a instalace. Nezbytností je, aby bylo připravené bednění pro první vrstvu konopného betonu. Bednění je zhotoveno z OSB desek o rozměrech 2500 x 625 x 12 mm a je kotveno šrouby do nosného rámu příček.

Na staveništi budou k dispozici vhodně uspořádané sklady materiálů. Bude zajištěn zdroj vody a elektrického proudu pro připojení talířové míchačky. Míchačka bude umístěna na vhodném stanovišti – blízko ke zdroji vody a elektriky a ke skladům materiálu, naopak v dostatečné vzdálenosti od pracoviště, při míchání může docházet k šíření prachu z pojiva, které je dráždivé pro oči i pokožku. Prostor kolem míchačky bude chráněn před deštěm, aby nedošlo k nechtěnému vniknutí dešťové vody do míchané směsi.

Pro práce ve výškách, tj. při betonování ve výšce větší než 1,5 m, bude k dispozici pomocné lešení se zábradlím.

### Struktura pracovní čety

Ideální složení pracovní čety je počet 4 pracovníků, a platí následující rozdělení povinností:

1 míchač

1 dělník, který materiál přemísťuje od míchačky k místu určení

1 dělník, který betonuje

1 dělník, který vybetonovanou směs dusá a hutní

Všichni dělníci musejí být seznámeni se zásadami BOZP a PO na pracovišti. Žádný z dělníků nemusí být držitelem speciálního certifikátu, avšak je potřeba, aby všichni pracovníci byli dokonale seznámeni s technologickým postupem práce s konopným betonem. Především je třeba klást důraz na proškolení míchače a dělníků, kteří s konopným betonem přímo manipulují, míchač by měl mít určité zkušenosti s prací

### Bezprostřední podmínky pro práci

Pro práci s pojivem Tradical® PF 70 a směsmi z něj vytvořenými jsou doporučované teploty v rozmezí + 5 °C až + 25 °C. Relativní vlhkost neovlivňuje způsob práce s pojivem.

Jinak je tomu konopného pazdeří – to totiž mírně pohlcuje vzdušnou vlhkost, je potřeba tuto hodnotu hlídat, protože díky tomuto faktu se mírně mění obsah poměr vody ve výsledném materiálu, v případě vyšší relativní vlhkosti v ovzduší bude ve výsledné směsi konopného betonu třeba méně přidané vody.

*Rozmezí přidané vody se pohybuje v hodnotách cca  $\pm 5$  litrů.*

### **Stroje a přístroje, pracovní pomůcky**

Přístroje: talířová stavební míchačka (pan mixer) o objemu 300 l

Pracovní pomůcky: dlouhá hadice (*pro dodávku vody a čištění míchačky*)

plastové kbelíky o objemu min. 15 l

*(pro odměřování vody, pro transport směsi)*

odměrka

značkovací fix

OOPP – rukavice, brýle, respirátor, pracovní oblečení a obuv

stavební kolečko

lopata

průmyslový smeták

nůž

brusné hladítko

ruční pila

dřevěné dusadlo

neutralizační přípravek (*v případě zasažení očí vápnem*)

### **Technologický postup míchání**

Nejprve je potřeba, aby se pracovník, který bude míchat směs, vybavil osobními ochrannými pomůckami, a to brýlemi, maskou, rukavicemi, voděodolným oblečením a botami. Před zahájením míchání je dobré si dopředu připravit kbelíky s přesným objemem vody, tj. 4 kbelíky po 15 l.

Do míchačky se vsype 1 a 1/5 pytle konopného pazdeří, zaklapne se ochranná mříž a míchačka se uvede do provozu. Přilijí se 2 kbelíky vody, poté přijde na řadu pojivo, do jedné míchačky se dávají dva pytle, oba pytle se skrze mříž rozříznou a opatrně vysypou do bubnu, je potřeba zkontrolovat, že byl vysypán celý obsah. Směs se nechá pár desítek vteřin promíchat, pokud se bude kolem středu otáčení lopatek hromadit suché pazdeří, je dobré míchání na chvíli pozastavit a shrnout tyto části do hmoty, aby se pořádně promíchaly. Postupně se dolívá zbylé množství vody, u druhého kbelíku je třeba sledovat konzistenci.

Doporučuje se v průběhu udělat test konzistence – zastaví se míchačka, odebere se malý kus směsi, vytvaruje se do koule a zmáčkne. Je nutné pracovat v rukavicích. Při stlačení by neměla ze směsi vypadnout ani kapka vody. Poté se do vytvořené koule strčí prst – pokud se hmota rozdrobí, obsahuje málo vody; pokud se prst zaboří do směsi a nic se nestane, obsahuje moc vody; v ideálním případě by se koule měla rozpadnout na dvě až tři části. V případě, že směs nevyhoví, je možné přidat trochu vody nebo pazdeří a pojiva, a dosáhnout tak požadované hustoty.

Směs se správnou konzistencí se nechá promíchat po dobu minimálně 3-6 minut.

Pokud dojde k nechtěnému upadnutí směsi na zem, ať už při míchání nebo při následné aplikaci, nevrací se zpět do právě umíchané hmoty, ale je možné ji použít při míchání další směsi, místo části konopného pazdeří. Musí se ovšem zkontrolovat, jestli neobsahuje nějaké nežádoucí látky a nečistoty. V nové várce nesmí být více jako 10 % podobných zbytků.

### **Technologický postup betonáže**

Otevřená doba u zpracování konopného betonu s pojivem Tradical® PF 70 je 3-6 hodin. Každý pracovník, který s ním přímo manipuluje, by měl být řádně vybaven OOPP. V první fázi se sype konopný beton do vrstvy vysoké 100-150 mm, je potřeba směs pořádně rozhrnout, nejlépe ručně. Zejména je důležité dávat pozor na veškeré kouty, rohy a záhyby především kolem nosného rámu. V těchto místech je dobré materiál dostatečně zpevnit, aby se docílilo, pokud možno, ostrých jednolitých hran. Směs by měla být ukládána a případně hutněna rovnoměrně, aby nedošlo ke vzniku míst s rozdílnými hustotami ve výsledné konstrukci. Pro obtížněji dostupná místa je možné použít tyče, latě či dusadla pro lepší dosah.

První část betonáže proběhne do výšky cca 560 mm. Konopný beton by se měl nechat přes noc vyschnout, aby dosáhl dostatečné pevnosti a držel tvar po odbednění. Druhý den se

bednění posune o cca 500 mm nahoru, ve spodní části by mělo překrývat hranici hotového aspoň o 100 mm. Ideální je dokončit vrstvu ve stejné výšce, protože svislé pracovní spáry by mohly oslabit výsledný materiál. Když už je potřeba ukončit práce daný den, je lepší hranici postupně vyspádovat, aby následná pracovní spára byla co nejvíc vodorovná.

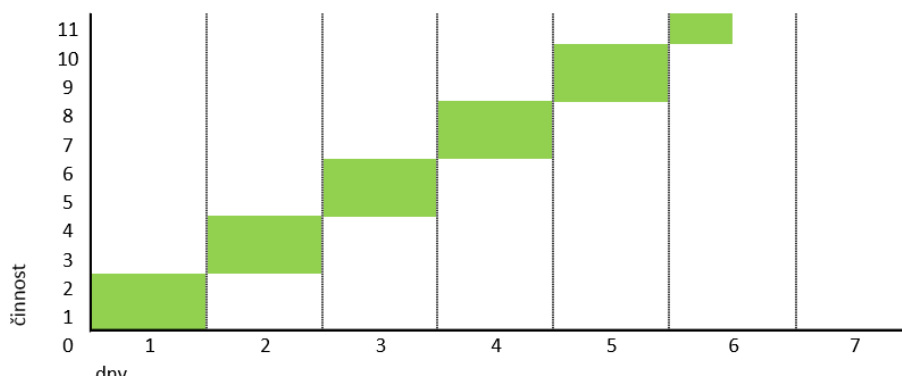
### Pracnost

Betonáž příček o výšce 2800 mm bude rozdělena do pěti etap, ideálně symetricky, v každé etapě se plánuje vybetonovat konopný beton do výšky cca 560 mm. Pro zřízení a odstranění bednění byly použity orientační normohodiny (10), jelikož se jedná o bednění pouze jedné řady příček, tzn. že nebude potřeba pracovat s distančníky, pouze se budou desky připevňovat k nosnému rámu, pracnost by neměla být o moc větší než při použití systémového bednění. Proces odbednění jedné řady a bednění stejným bedněním řady následující, byl pojmenován jako „přebednění“, jednotková pracnost pro tento proces byla odvozena z jednotkových pracností pro bednění a odbednění, hodnoty se sečetly.

Tab. 22: Zjednodušený technologický normál pro betonáž příček

Číslo činnosti	Název činnosti	Množství	M.j.	Jedn. pracnost [Nh/m.j.]	Celková pracnost [hod]	Počet prac.	Časový fond čety [hod]	Výsledná pracnost [den]	Doba trvání celkem [den]
1	bednění 1. řady	46,480	m <sup>2</sup>	0,230	10,690	4	36	0,297	1
2	betonáž 1. řady	3,060	m <sup>3</sup>	6,768	20,710	4	36	0,575	
3	přebednění 1.-2. řada	46,480	m <sup>2</sup>	0,350	16,268	4	36	0,452	1
4	betonáž 2. řady	3,060	m <sup>3</sup>	6,768	20,710	4	36	0,575	
5	přebednění 2.-3. řada	46,480	m <sup>2</sup>	0,350	16,268	4	36	0,452	1
6	betonáž 3. řady	3,060	m <sup>3</sup>	6,768	20,710	4	36	0,575	
7	přebednění 3.-4. řada	46,480	m <sup>2</sup>	0,350	16,268	4	36	0,452	1
8	betonáž 4. řady	3,060	m <sup>3</sup>	6,768	20,710	4	36	0,575	
9	přebednění 4.-5. řada	46,480	m <sup>2</sup>	0,350	16,268	4	36	0,452	1
10	betonáž 5. řady	3,060	m <sup>3</sup>	6,768	20,710	4	36	0,575	
11	odbednění	46,480	m <sup>2</sup>	0,120	5,578	4	36	0,155	0,5

Postup prací v čase je patrný na Obr. 11.



Obr. 11: Zjednodušený harmonogram betonáže příček

## 7.4 Jakost provedení

### Metody kontroly jakosti výsledného provedení, možnosti oprav vad a nedodělků

Jakost výsledného provedení se kontroluje vizuálně. Při hodnocení vzhledu výsledné konstrukce se hodnotí svislost povrchu, rovnost povrchu, navázání jednotlivých vrstev materiálu, celistvost, hustota zatvrdlé směsi a otevřenost či uzavřenost stěny, což je ovlivněno především mírou hutnění. Pokud se bude stěna v některých místech mírně drobit, je dobré počkat cca týden, než dojde ke zpevnění okolních „zdravých“ částí, až poté vyškrabat špatné kusy a vyměnit je novou směsí, tyto místa je potřeba zabednit. Pokud by se vyškrabávaly hned, mohlo by dojít k nechtěnému odstranění i dobře držících částí, které však ještě nestihly zatuhnout.

Vzniklé otvory ve stěně z konopného betonu je možné je dodatečně vyplnit směsí konopného betonu s jemnou frakcí. V případě potřeby lze část konstrukce odříznout klasickou pilou, a vzniklý otvor doplnit novou směsí. Hranici starého konopného betonu je třeba zdrsnit (narušit povrch), aby došlo k lepšímu propojení nestejně starých směsí.

### Závazné kvalitativní parametry, referenční hranice

Kvalitativní parametry pro konstrukce z konopného betonu zatím nejsou legislativně stanoveny.

Jediné možné přibližné srovnání je na základě technologie provedení, které je svou podstatou nejpodobnější práce s monolitickým betonem. Pro svislé konstrukce z monolitického betonu jsou stanovené požadavky v normě ČSN EN 13670, kde je hodnota doporučené odchylky jak pro místní rovinnost, 9 mm na lati dlouhé 2 m. (41)

## 7.5 BOZ a PO

### Konkrétní vymezení opatření pro zajištění BOZ a PO

*Zákon č. 309/2006 Sb. - Zákon, kterým se upravují další požadavky bezpečnosti a ochrany zdraví při práci v pracovněprávních vztazích a o zajištění bezpečnosti a ochrany zdraví při činnosti nebo poskytování služeb mimo pracovněprávní vztahy (zákon o zajištění dalších podmínek bezpečnosti a ochrany zdraví při práci).*

*Nařízení vlády č. 362/2005 Sb. - Nařízení vlády o bližších požadavcích na bezpečnost a ochranu zdraví při práci na pracovištích s nebezpečím pádu z výšky nebo do hloubky.*

*Nařízení vlády č. 591/2006 Sb. - Nařízení vlády o bližších minimálních požadavcích na bezpečnost a ochranu zdraví při práci na staveništích.*

Bezpečnost práce při manipulaci s pojivem Tradical® PF 70

*„Kategorie materiálu X<sub>i</sub> – dráždivý*

*R 37/38 Dráždí dýchací orgány a kůži*

*R 41 Nebezpečí vážného poškození očí*

*S 2 Uchovávejte mimo dosah dětí*

*S 22 Nevdechujte prach*

*S 26 Při zasažení oka okamžitě důkladně vypláchněte vodou a vyhledejte lékařskou pomoc*

*S 37/39 Používejte vhodné ochranné rukavice a ochranné brýle nebo obličejový štít*

*S 46 Při požití okamžitě vyhledejte lékařskou pomoc a ukažte tento obal nebo označení*

*S 64 Při požití vypláchněte ústa velkým množstvím vody (pouze je-li postižený při vědomí)“*

(31)

V případě práce ve vlhkém počasí je potřeba dbát zvýšené opatrnosti, voděodolné oblečení i boty jsou nezbytností, dešťová voda napomáhá pojivu se dostat do oblečení pracovníků, hrozí zvýšené riziko popálení. Při extrémně vlhkém počasí se doporučuje přestat s pracemi úplně.

Důležité je, aby byla v blízkosti pracoviště dostupná destilovaná voda a lékárnička s první pomocí. V případě zasažení kůže či očí je důležité ihned začít postižené místo proplachovat vodou.

### **Vymezení odpovědnosti za dodržení těchto podmínek**

*Zákoník práce Zákon č. 262/2006 Sb. zcela jednoznačně definuje odpovědnost zaměstnavatele i jednotlivých vedoucích pracovníků za BOZP. Zaměstnavatel je povinen zajistit bezpečnost a ochranu zdraví zaměstnanců při práci, s přihlédnutím na rizika, která hrozí při vykonávání práce. Jakožto vedoucí pracovník je mistr zodpovědný za zajištění BOZP na pracovišti. Ostatní pracovníci jsou povinni se řídit jeho pokyny. (44)*



## 7.6 Vliv na životní prostředí

### Možnosti poškození životního prostředí

Konopný beton „splňuje základní podmínky ekologických materiálů. Je vyroben z obnovitelných zdrojů, které jsou dostupné v dostatečném množství. Výroba není energeticky příliš náročná. Materiál jako takový má negativní uhlíkovou stopu. Konstrukce z konopného betonu vykazuje dostatečnou odolnost a trvanlivost při zachování zdravých životních podmínek. Zároveň jde o recyklovatelný materiál.“ (3)

### Nakládání s odpady

Veškeré vzniklé odpady budou shromažďovány a tříděny podle druhu a kategorie, poté budou předány oprávněné osobě, tzn. odpadové firmě, která má k dispozici povolení od krajského úřadu na svou činnost.

Obaly od pojiv Tradical® PF 70: „Odstranit zbytky, ulpěné na obalu při zpracování materiálu. Likvidovat společně s ostatními odpady ze stavby jako směsný stavební odpad. Kód druhu odpadu 15 01 06 Odpady obalů: směs odpadových materiálů, kategorie odpadu 0.“ (31)

Obaly od konopného pazdeří: Třídít obaly s ostatními plastovými obaly. Kód druhu odpadu 15 01 02 Plastový obal, kategorie odpadu 0.

Materiál pojiva Tradical® PF 70: „Zbytky v suchém stavu zpracovávat obvyklým způsobem. Zbýlý nevyužitelný materiál smíchat s vodou a pískem, nechat vytvrdit a likvidovat společně s ostatními odpady ze stavby jako směsný stavební odpad. Vytvrzený materiál – kód druhu odpadu 10 13 14 Beton a betonové kaly, 17 01 01 Beton, kategorie odpadu 0.“ (31)

Odpadní vody budou odváděny do nově vybudované jímky, pravidelně budou vyváženy k likvidaci na nejbližší stáček místo regionální ČOV.

## ZÁVĚR

Díky možnosti podívat se na realizaci betonáže tepelně izolační přizdívky z konopného betonu mohl být sestaven snímek průběhu pracovní operace. Je třeba brát ohled na následující skutečnosti: jednalo se o první den betonáže; stavba byla stavěna svépomocí, kde se nedodrží příliš přísný pracovní režim; dva ze tří pracovníků přišli s konopným betonem poprvé do styku a stále se hledá ideální systém práce. Pracovní činnosti byly zaznamenány na video, dílčí opakující se operace, např. míchání či transport betonu, byly měřeny i stopkami, následně byla sestavena tabulka s vypsány po sobě jdoucími činnostmi.

Pomocí snímku průběhu práce bylo možné sestavit tabulky s dílčími operacemi, a získat tak průměrné hodnoty norem času betonáže tepelně izolační přizdívky. Jednoduchými výpočty byla určena jednotková pracnost pro různé kombinace časů a objemů, a byla vybrána nejvhodnější varianta, se kterou se následně pracovalo v technologickém postupu.

Na základě pozorování a dotazování osob, zkušených s prací s konopným betonem, bylo možné definovat požadavky na stavební připravenost, stanovit optimální složení pracovní čety i seznam vhodných pracovních pomůcek. V technologickém postupu byly také popisovány metody kontroly přijatých vstupních materiálů a požadavky na jejich zásobování a skladování.

Existuje velmi malé množství publikací, které detailně popisují práci s konopným betonem, v českém jazyce není v současné době žádná. Zahraniční výrobci pojiv si své technologie a postupy poměrně chrání. Je pouze pár skupin lidí, kteří se aktivně snaží zvýšit povědomí o konopném betonem a prezentují své vlastní zkušenosti. Technologický postup v této práci byl zpracován dostatečně podrobně, může sloužit jako podklad pro kohokoliv, kdo by s konopným betonem chtěl začít pracovat.

V České republice zatím není mnoho staveb postavených z konopného betonu, většina lidí konopí stále považuje za škodlivou a nebezpečnou drogu. Jedním z cílů této práce je též ukázat, že tomu tak není, že se jedná o neprávem pošpiněnou rostlinu, která může člověku v mnoha ohledech pomoci.

## LITERATURA A JINÉ ZDROJE

### Seznam použité literatury a internetových zdrojů

1. ALLIN, Steve. *Building with hemp*. Kenmare, Co. Kerry: Seed Press, 2005. ISBN: 09551-1090-4.
2. AMERICAN LIME TECHNOLOGY. *Hembuild® & Hemclad® Pre-cast Wall Systems*. 2012 [online]. [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: [http://americanlimetechnology.com/wp-content/uploads/2012/02/Hembuild\\_Hemclad\\_Brochure\\_20111.pdf](http://americanlimetechnology.com/wp-content/uploads/2012/02/Hembuild_Hemclad_Brochure_20111.pdf)
3. BEDLIVÁ, Hana. *Výstavba z konopného betonu*. 13.8.2015 [online]. [cit. 2017-04-28]. Dostupné z: [http://imaterialy.dumabyt.cz/rubriky/technologie/vystavba-z-konopneho-betonu\\_42566.html](http://imaterialy.dumabyt.cz/rubriky/technologie/vystavba-z-konopneho-betonu_42566.html)
4. CANABEST. *Technický list výrobku CANABEST PANEL*. 14.4.2009 [online]. [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: <http://www.konopna-izolace.cz/application/views/data/TLPANEL.pdf>
5. CANABEST. *Technický list výrobku CANABEST PLUS*. 14.4.2009 [online]. [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: <http://www.konopna-izolace.cz/application/views/data/TLPLUS.pdf>
6. CELOSTNIMEDICINA.CZ. *Konopné semínko*. 19.6.2013 [online]. [cit. 2017-03-29]. Dostupné z: <https://www.celostnimedicina.cz/konopne-seminko.htm>
7. CNBC. *Uruguay to be first country in world to sell cannabis in drug stores*. 7.4.2017 [online]. [cit. 2017-04-28]. Dostupné z: <http://www.cnn.com/2017/04/07/uruguay-to-be-first-country-in-world-to-sell-cannabis-in-drug-stores.html>
8. DŘEVOSTAVITEL. *Stavba dřevostavby systémem two by four*. 8.3.2012 [online]. [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: <https://www.drevostavitel.cz/clanek/two-by-four-system>
9. EVRARD, A., A. DE HERDE a J. MINET. *Dynamical interactions between heat and mass flows in Lime-Hemp Concrete*. London: Taylor & Francis, 2006. str. 69-76. ISBN: 9780415416757
10. FAKULTA ARCHITEKTURY. *Orientační časové ukazatele prací a dodávek v hod. / 1 prac.* © 2002 [online]. [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: <http://web.cvut.cz/fa/u524/rea/podklady/ukazatele/podklady.html>

11. HANKS, Arthur. *Top 10 Uses for Hemp Paper*. V: Globalhemp.com. 5.3.2014 [online]. [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: <http://www.globalhemp.com/2014/03/top-10-uses-for-hemp-paper.html>
12. HEMCRETE AUSTRALIA PTY LTD. *Sustainability*. © 2014 [online]. [cit. 2017-05-04]. Dostupné z: [http://www.hempcrete.com.au/index.php?option=com\\_content&view=article&id=24&Itemid=25](http://www.hempcrete.com.au/index.php?option=com_content&view=article&id=24&Itemid=25)
13. HERER, Jack. *Spiknutí proti konopí: aneb Císař nemá šaty*. Bystřice pod Hostýnem: Cannabis Sativa, 2000.
14. CHYBÍK, Josef. *Přírodní stavební materiály*. Praha: Grada Publishing, a.s, 2009. ISBN: 978-80-247-2532-1.
15. IZOLACE KONOPÍ CZ, s.r.o. *TERMO-KONOPÍ BLOCK tl. 40 mb*. © 2011 [online]. [cit. 2017-04-30]. Dostupné z: <http://www.konopi-izolace.cz/produkt/termo-konopi-block-tl-40-mb>
16. IZOLACE KONOPÍ CZ, s.r.o. *Termo konopí Plus*. © 2011 [online]. [cit. 2017-04-30]. Dostupné z: <http://www.izolace-konopi.cz/produkt/1-termo-konopi-plus.html#>
17. IZOLACE KONOPÍ CZ, s.r.o. *Termo konopí Step*. © 2011 [online]. [cit. 2017-04-30]. Dostupné z: <http://www.izolace-konopi.cz/produkt/6-termo-konopi-step.html>
18. IZOLACE KONOPÍ CZ, s.r.o. *TERMO-KONOPÍ WOOL*. © 2011 [online]. [cit. 2017-04-30]. Dostupné z: <http://www.konopi-izolace.cz/produkt/termo-konopi-wool-0>
19. KONOPNÝ-BETON.CZ. *Konopný beton*. © 2016 [online]. [cit. 2017-03-28]. Dostupné z: <http://www.konopny-beton.cz/produkty/20-konopny-beton>
20. KONOPA z.s. *Historie*. © 2015 [online]. [cit. 2017-03-27]. Dostupné z: <http://www.konopa.cz/historie>
21. LHOIST. *Tradical® Hemcrete® Technical Information Sheet Thermal Walling*. [online]. [cit. 2017-05-07]. Dostupné z: <http://ozhemp.com.au/docs/HempCreate/Tradical%20Hemcrete%20Technical%20Information%20Sheet.pdf>
22. MABEKO s.r.o. *Konopné pazdeři*. © 2017 [online]. [cit. 2017-03-28]. Dostupné z: <http://www.mabeko.cz/detail/442-konopne-pazderi/>

23. MABEKO s.r.o. *Tradical® PF 70*. © 2017 [online]. [cit. 2017-03-28]. Dostupné z: <http://www.mabeko.cz/detail/443-tradical-pf-70/>
24. MAGAZÍN LEGALIZACE. *Konopné plasty a jiné přírodniny*. 26.4.2011 [online]. [cit. 2017-03-25]. Dostupné z: <http://www.magazin-legalizace.cz/cs/articles/detail/131-konopne-plasty-a-jine-prirodniny>
25. MAGAZÍN LEGALIZACE. *O rostlině*. © 2009 [online]. [cit. 2017-03-25]. Dostupné z: <https://www.legalizace.cz/konopi/co-je-to-konopi/>
26. MIOVSKÝ, Michal a kolektiv. *Konopí a konopné drogy*. Praha: Grada Publishing, a.s, 2008. ISBN: 978-80-247-0865-2.
27. MIKULICA, Karel a Rudolf Hela. *Konopný beton jako kompozit s využitím přírodního vlákna*. 18.4.2016 [online]. [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/beton-malty-omitky/14055-konopny-beton-jako-kompozit-s-vyuzitim-prirodnihovlakna>
28. MULTIMEDIÁLNÍ UČEBNICE. *Kapitola 3.2 Struktury stavbového a objektového stavebního procesu*. © 2008 [online]. [cit. 2017-04-05]. Dostupné z: <http://technologie.fsv.cvut.cz/aitom/podklady/online-priprava/kap3/frame3.html>
29. NORICUM, s. r. o. *Konopné materiály a konopný beton*. [firemní prezentace]. Patrik Majringer, [www.konopny-beton.cz](http://www.konopny-beton.cz), 2016.
30. NOVÁK, Josef a Pavlína ŠLAMPOVÁ. *Racionalizace výroby*. Ostrava: 2007. [online]. [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: <http://projekty.fs.vsb.cz/414/racionalizace-vyroby.pdf>
31. PRISMA CONSULT s.r.o. *Technický list PRISMA CONSULT, Tradical® PF 70*. 04/2013. [online]. [cit. 2017-04-26]. Dostupné z: [http://www.prismaconsult.cz/fotky1136/fotov/\\_ps\\_18TRADICAL-PF-70-04-13.pdf](http://www.prismaconsult.cz/fotky1136/fotov/_ps_18TRADICAL-PF-70-04-13.pdf)
32. RUMAN, Michal. *Cannabis – konopí: průvodce světem univerzální rostliny*. Praha: Malý princ, 2014. ISBN: 978-80-87754-13-9.
33. SCHNEIDEROVÁ HERALOVÁ, Renáta, L. KREMLOVÁ a A. KADLČÁKOVÁ. *Kalkulace a nabídky 1*. Praha: ČVUT, 2006. ISBN 978-80-01-03532-0.
34. SPARROW, Alex a Willian STANWIX. *The Hempcrete Book: Designing and building with hemp-lime*. Cambridge: Green Books, 2014. ISBN: 9780857841209.

35. SVĚT ZDRAVOTNICTVÍ. *Marihuana je legální jen v hrstce zemí světa*. 4.5.2015 [online]. [cit. 2017-03-28]. Dostupné z: <http://www.svetzdravotnictvi.cz/marihuana-je-legalni-jen-v-hrstce-zemi-sveta-17553/>
36. SYNDROM NEZDRAVÝCH BUDOV. *Co je to?* © 2017 [online]. [cit. 2017-05-26]. Dostupné z: [http://www.syndromnezdravychbudov.cz/?page\\_id=16](http://www.syndromnezdravychbudov.cz/?page_id=16)
37. ŠKOPEK, Jan. *Tepelná izolace z technického konopí – pohled z hlediska stavební fyziky*. 20.10.2010 [online]. [cit. 2017-04-26]. Dostupné z: <http://www.archiweb.cz/news.php?action=show&id=9269&type=9>
38. ŠKORPÍK, Jiří. Fosilní paliva, jejich využití v energetice a ekologické dopady, *Transformační technologie*, 2011-04, [last updated 2016-12-20]. Brno: Jiří Škorpík, [on-line]. [cit. 2017-04-26]. ISSN 1804-8293. Dostupné z <http://www.transformacni-technologie.cz/07.html>
39. TRADICAL®. *Radical® hemp and lime products*. [online]. [cit. 2017-05-07]. Dostupné z: <http://www.tradical.com/hemp-lime.html>
40. VSB. *Anorganická pojiva*. Ostrava. [online]. [cit. 2017-04-28]. Dostupné z: [http://geologie.vsb.cz/loziska/suroviny/anorganicka\\_pojiva.html](http://geologie.vsb.cz/loziska/suroviny/anorganicka_pojiva.html)

#### **Legislativní předpisy a normy:**

41. ČSN EN 13670. *Provádění betonových konstrukcí*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010. Třídící znak: 732400.
42. ČSN 73 0540-1. *Tepelná ochrana budov – Část 1: Terminologie*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2005. Třídící znak: 730540.
43. *Zákon č. 167/1998 Sb., o návykových látkách a o změně některých dalších zákonů*. [online]. [cit. 2017-05-06]. Dostupný z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1998-167>
44. *Zákon č. 262/2006 Sb., zákoník práce*. [online]. [cit. 2017-05-06]. Dostupný z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2006-262>

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Ukázky jednotlivých typů směsí.....	22
Obr. 2: Výhled z prostoru pro měření.....	40
Obr. 3: Pohled na vyvýšený prostor pro měření.....	40
Obr. 4: Celkové schéma a nosný rastr na stěnách 1, 2 .....	40
Obr. 5: Nosný rastr na stěnách 3, 4.....	41
Obr. 6: Bednění první řady.....	41
Obr. 7: Detail použití distančníků.....	41
Obr. 8: Ukázka čerstvě vybetonovaného konopného betonu v bednění .....	47
Obr. 9: Ukázka procesu betonáže při třetím dnu betonování .....	47
Obr. 10: Stavba připravena pro betonování příček .....	48
Obr. 11: Zjednodušený harmonogram betonáže příček.....	54

## SEZNAM TABULEK

Tab. 1: Chemické složení konopného vlákna .....	15
Tab. 2: Mechanické vlastnosti konopného vlákna .....	16
Tab. 3: Chemické složení konopného pazdeří.....	16
Tab. 4: Vlastnosti konopného pazdeří .....	16
Tab. 5: Vlastnosti rohože CANABEST PLUS .....	19
Tab. 6: Vlastnosti panelu CANABEST PANEL .....	19
Tab. 7: Srovnání tepelně izolačních rohoží .....	21
Tab. 8: Srovnání tepelně izolačních desek .....	21
Tab. 9: Poměry směsí dle různého použití .....	22
Tab. 10: Parametry materiálu Tradical® Hemcrete® .....	25
Tab. 11: Hodnoty součinitele prostupu tepla pro různé tloušťky zdiva.....	27
Tab. 12: Srovnání na základě součinitele prostupu tepla .....	28
Tab. 13: Uhlíková stopa rostlin konopí .....	29
Tab. 14: Uhlíková stopa 1 m <sup>3</sup> zdiva z konopného betonu .....	29
Tab. 15: Porovnání emisí CO <sub>2</sub> při výrobě, vztaženo na 1 m <sup>2</sup> .....	30
Tab. 16: Vlastnosti bloků Tradical® Hemcrete® .....	31
Tab. 17: Snímek průběhu práce .....	42
Tab. 18: Stanovení průměrné normy času míchání .....	45
Tab. 19: Stanovení průměrné normy času betonáže (transport a vsypávání do bednění) ...	46
Tab. 20: Technické údaje pojiva Tradical® PF 70 .....	49
Tab. 21: Výpis materiálů .....	50
Tab. 22: Zjednodušený technologický normál pro betonáž příček.....	54