

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta stavební

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Brno, 2021

Bc. Michal Čaněk



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV STAVEBNÍHO ZKUŠEBNICTVÍ

INSTITUTE OF BUILDING TESTING

ULTRAZVUKOVÉ MĚŘENÍ VELKOFORMÁTOVÝCH OBKLADŮ

ULTRASONIC MEASUREMENT OF LARGE FORMAT TILES

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Michal Čaněk

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. DALIBOR KOCÁB, Ph.D.

BRNO 2021



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607T009 Konstrukce a dopravní stavby
Pracoviště	Ústav stavebního zkušebnictví

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student	Bc. Michal Čaněk
Název	Ultrazvukové měření velkoformátových obkladů
Vedoucí práce	Ing. Dalibor Kocáb, Ph.D.
Datum zadání	31. 3. 2020
Datum odevzdání	15. 1. 2021

V Brně dne 31. 3. 2020

doc. Ing. Pavel Schmid, Ph.D.
Vedoucí ústavu

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

PODKLADY A LITERATURA

Tuzemské i zahraniční odborné články pojednávající o zadané problematice, tzn. zejména o keramických obkladech, ultrazvukové impulzové metodě, NDT a o měření smrštění cementových materiálů.

Návody a další dokumentace k přístroji Pundit PL-200.

Produktové listy použitých lepidel a obkladů.

Všechny tč. platné normy, zejména s přihlédnutím k ČSN 73 1371, ČSN EN 206+A1, ČSN EN 13791, ČSN 73 1370, ČSN 73 1371, ČSN 73 1373, ČSN 73 2011.

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Teoretická část: Student se nejdříve podrobně seznámí s problematikou měření pomocí ultrazvukové impulzové metody, stanovení základních parametrů keramických obkladů a lepidel a také s problematikou velkoformátových obkladů. Na základě získaných informací teoreticky pojedná o provádění obkladačských prací s důrazem na velkoformátové obklady a problémy, které jejich aplikaci mohou provázet. Dále popíše princip metod, které budou použity v praktické části práce.

Praktická část: Na několika typech velkoformátových obkladů, které budou aplikovány na betonový podklad, bude provedeno měření pomocí ultrazvukové impulzové metody s cílem zachytit chování obkladů v čase od chvíle jejich nalepení. K nalepení obkladů bude použito několik lepidel, případně v kombinaci s membránou. Dále budou stanoveny základní parametry použitých lepidel, včetně jejich smrštění. Pomocí ultrazvukové impulzové metody bude změřen také betonový podklad. Praktická část bude zakončena zpracováním výsledků zkoušek, jejich vyhodnocením a formulací vyplývajících závěrů.

Práci se zkušebními lisami a zařízeními provede osoba k tomu oprávněná.

STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

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

Ing. Dalibor Kocáb, Ph.D.
Vedoucí diplomové práce

ABSTRAKT

Práce se zabývá sledováním vlivu použitého lepidla na chování nalepených velkoformátových obkladů. V rámci experimentů byla nepřímou metodou sledována rychlost šíření ultrazvukového vlnění na obkladech nalepených na betonový podklad pomocí různých lepidel. V druhé části se prováděly na použitých lepidlech zkoušky pevností, dynamických a statických modulů pružnosti. Také byl u lepidel sledován vývoj smrštění a hmotnostních úbytků v čase. Výsledky ze všech experimentů byly následně shrnuty do tabelární a grafické podoby a byly podrobeny jednoduchým statistickým testům pro zjištění vyplývajících závěrů.

KLÍČOVÁ SLOVA

Obklady, velkoformátové obklady, cementová lepidla, nedestruktivní zkoušení, ultrazvuková impulzová metoda, rychlost šíření ultrazvuku, modul pružnosti, pevnost, smrštění.

ABSTRACT

The diploma thesis deals with influence of the used adhesive to large format tiles properties after installation. Properties on large format tiles were monitored by ultrasonic pulse velocity method. Hydraulic setting adhesives were tested in second part. Strength and modulus of elasticity were tested. The development of shrinkage over time was also monitored. The results were summarized in tabular and graphical form and were examined by simple statistical analysis to determine resulting conclusions.

KEY WORDS

Tiles, large format tiles, hydraulic setting adhesives, non-destructive testing, ultrasonic pulse velocity test, ultrasonic pulse velocity, modulus of elasticity, strength, shrinkage.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce s názvem *Ultrazvukové měření velkoformátových obkladů* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 15. 1. 2021

Bc. Michal Čaněk
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Ultrazvukové měření velkoformátových obkladů* zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 15. 1. 2021

Bc. Michal Čaněk
autor práce

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Bc. Michal Čaněk *Ultrazvukové měření velkoformátových obkladů*. Brno, 2021. 93 s., 31 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví. Vedoucí práce Ing. Dalibor Kocáb, Ph.D.

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji svému vedoucímu diplomové práce Ing. Daliboru Kocábovi, Ph.D. za jeho pomoc, cenné rady a vstřícné jednání při zpracování této práce. V neposlední řadě bych rád poděkoval svým rodičům, přítelkyni, rodině a přátelům za podporu během celé doby studia.

Tato diplomová práce byla částečně zpracována v rámci řešení projektu výzkumu a vývoje v programu TRIO č. FV20606 „Technologie lepení velkoformátových obkladových prvků“ Ministerstva průmyslu a obchodu ČR

OBSAH

1	ÚVOD	10
2	CÍLE PRÁCE	11
3	TEORETICKÁ ČÁST	12
3.1	KERAMICKÉ OBKLADOVÉ MATERIÁLY	12
3.1.1	Úvod, rozdělení a vlastnosti	12
3.1.2	Vývoj a současné trendy	16
3.2	LEPIDLA PRO KERAMICKÉ OBKLADOVÉ PRVKY	18
3.2.1	Úvod, rozdělení a vlastnosti	18
3.2.2	Specifika lepení velkoformátových obkladů	21
3.3	NEDESTRUKTIVNÍ DIAGNOSTICKÉ METODY POUŽITELNÉ NA OBKLADECH A CEMENTOVÝCH LEPIDLECH	23
3.3.1	Ultrazvuková impulzová metoda	23
3.3.2	Rezonanční metoda	27
4	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	29
4.1	VELKOFORMÁTOVÉ OBKLADY	29
4.1.1	Popis a metodika práce	29
4.1.2	Zkušební tělesa	30
4.1.3	Průběh zkoušení	34
4.2	CEMENTOVÁ LEPIDLA	44
4.2.1	Popis a metodika práce	44
4.2.2	Zkušební tělesa	44
4.2.3	Průběh zkoušení	49
4.3	ZPRACOVÁNÍ, VYHODNOCENÍ ZKOUŠEK A JEJICH DISKUZE	58
5	ZÁVĚR	79
6	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	81
7	SEZNAM OBRÁZKŮ	86
8	SEZNAM GRAFŮ	88
9	SEZNAM TABULEK	90
10	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	92
11	PŘÍLOHY	94

1 ÚVOD

Historie obkladových materiálů sahá přibližně do roku 4000 př. n. l., první obklady byly používány v Egyptě, odkud se později rozšířily především do Itálie. S příchodem 12. století se začal vývoj keramických materiálů rapidně měnit směrem k větší efektivitě, důraz byl kladen především na výrobu a logistiku. Největší rozvoj však zaznamenaly obkladové materiály až po 2. světové válce, především v Itálii a ve Španělsku. V tuzemsku nastal největší rozmach až v 90. letech 20. století [1, 2].

S modernizací výrobních linek se začaly objevovat nové možnosti z hlediska rozměrů. Zatímco před patnácti lety měly v zahraničí největší obklady rozměr maximálně 50×50 cm a v tuzemsku 30×30 cm, v současnosti mají největší obklady a dlažby v zahraničí rozměry 160×320 cm a u nás 60×120 cm. Obklady o rozměrech 100×300 cm byly v Itálii vyráběny už v roce 2006, trvalo ovšem téměř 10 let než si tyto velké formáty získaly oblibu u zákazníků po celém světě. Po prolomení počáteční nedůvěry dodavatelů obkladů a optimalizaci výrobního a technologického postupu lze dnes říci, že jsou to právě velkoformátové obklady, které se v tomto odvětví staly celosvětovým trendem. Dnes v zahraničních firmách tvoří velkoformátové obklady až třetinu z celkového objemu prodeje [2, 3].

Mezi hlavní výhody velkoformátových obkladů patří především jejich vysoká estetičnost. Dnešní moderní technologie umožňují na obklady přenést dokonalý design mramoru, kamene, betonu, dřeva a jiných materiálů. Mezi další výhody patří hygieničnost, velká variabilita použití, jednoduchá údržba, tenké spáry, nízká nasákavost a dobrá mrazuvzdornost. Mimo výhod mají velkoformátové obklady také řadu nevýhod a specifík. Mezi ty zásadní patří především velké nároky na rovinnost podkladu. Pokud je instalační povrch příliš nerovný, může dojít k prasknutí nebo zlomení obkladu. Velmi důležité je také použití vhodného lepidla pro instalaci, jehož výběr může být klíčový. Důvodem je především velká plocha obkladového materiálu, jeho hmotnost, tepelná roztažnost a snížená nasákavost. Čím větší je povrchová plocha obkladu, tím je také vyšší namáhání, kterému je lepidlo vystaveno. Nejčastěji se pro lepení velkoformátových obkladů používají lepidla se zlepšenou přilnavostí a co největší deformovatelností (flexibilitou) [4, 5].

2 CÍLE PRÁCE

Velkoformátové obklady jsou materiálem, který se rozšiřuje čím dál rychleji. Dnes jsou již hojně využívány jak v privátní výstavbě, tak ve veřejných prostorech. S oblibou používání velkoformátových obkladů vyvstává také nutnost inovace lepících hmot a samotné technologie lepení velkoformátových obkladů. Volba správné instalační technologie a výběr vhodných lepících hmot mohou být při práci s velkoformátovými obklady klíčové. Z praxe jsou známy případy, kdy při nevhodném výběru technologie pokládky a lepících hmot dochází v prvních několika dnech k porušení nalepeného obkladu. Předmětem této práce je tedy prozkoumat chování velkoformátových obkladů nalepených na různých typech lepidla pomocí impulzové ultrazvukové metody [6].

Cílem teoretické části práce je rešerše pramenů o obkladech a lepících hmotách, se zaměřením na vývoj v oblasti velkoformátových obkladů. Druhá část je zaměřená na diagnostické metody, které je možné použít při diagnostice uvedených materiálů, především na ultrazvukovou impulzovou metodu použitou v praktické části.

V rámci praktické části je provedeno několik experimentů. V první části je provedeno ultrazvukové měření nalepených velkoformátových obkladů a série doplňujících zkoušek obkladového materiálu. Druhá část je věnována lepícím hmotám, především stanovení dynamických modulů pružnosti (pomocí ultrazvukové impulzové metody a rezonanční metody), pevnosti a sledování vývoje smrštění v čase. Cílem experimentální části je tedy sledovat chování velkoformátových obkladů nalepených na obklad v závislosti na použitém lepidle, vyhodnotit vyplývající závěry a zhodnotit, zda jsou pro daný účel zvolené metody vhodné.

3 TEORETICKÁ ČÁST

3.1 KERAMICKÉ OBKLADOVÉ MATERIÁLY

3.1.1 Úvod, rozdělení a vlastnosti

Keramika je pevná anorganická polykrystalická látka vyrobená keramickým výrobním způsobem z minerálních surovin (převládající složkou jsou jílové minerály), která je vytvarovaná a následně vypálená na vysokou teplotu. Keramickým výrobním postupem je myšleno vytvarování vylisku (ve tvaru požadovaného výrobku), který se následným vysušením a výpalem na vysokou teplotu zpevní a získá požadované technické vlastnosti – vznikne tzv. vypálený keramický stěp. Suroviny používané k výrobě jsou převážně přírodní, které svým chemickým, mineralogickým i granulometrickým složením vytváří předpoklady pro požadované vlastnosti keramického stěpu. Jejich základní rozdělení je na suroviny plastické (většinou jílové zeminy) a neplastické. Keramické výrobky jsou řazeny mezi silikáty [7, 8].

Obkladové materiály jsou definovány jako tenkostěnné výrobky stavební keramiky deskovitého tvaru, které jsou určeny pro obklady stěn, podlah a jiných ploch v interiérech i exteriérech. V ČR je obecně zažité rozdělení na obklady (použití na stěny) a dlažby (použití na podlahu). V rámci této práce není toto rozdělení striktně dodržováno a pojmy obklad a dlažba jsou použity jako synonyma pro obecné označení obkladových prvků. Obkladové prvky je možné rozdělit podle dvou základních parametrů [9, 10]:

A. Podle způsobu výroby

- *Tažené (označované jako kategorie A)* – vyrábí se ze suroviny v podobě těsta, jemuž se vtiskuje tvar protlačováním přes příslušně tvarované ústí lisu.
- *Lisované (označované jako kategorie B)* – vznikají z jemných granulí, které se tvarují v lisu za vysokého tlaku.

B. Podle nasákavosti

- *Ia* – s nasákavostí do 0,5 %
- *Ib* – s nasákavostí 0,5-3 %
- *IIa* – s nasákavostí 3-6 %
- *IIb* – s nasákavostí 6-10 %
- *III* – s nasákavostí přesahující 10 %

Keramické obkladové materiály musí splňovat řadu technických i estetických vlastností, které se posuzují na základě platných norem. Základní sadou norem pro posuzování těchto vlastností je v současnosti ČSN EN ISO 10545. Podle těchto norem se určují zejména následující vlastnosti:

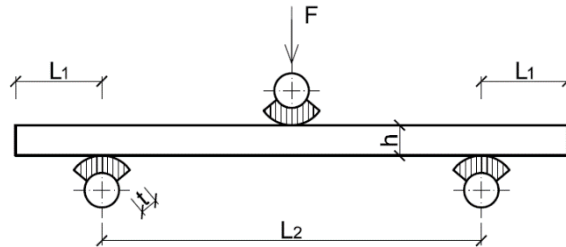
- *Geometrické parametry* – především délka hran, přímost hran, pravoúhlost a rovinnost lící plochy. V případě délky hran se vyhodnocují největší odchylky v % vztažené na deklarovaný rozměr. Pravoúhlost se udává největší odchylkou hrany od pravého úhlu v %. Rovinnost plochy se měří ve třech bodech povrchu, udává se odchylka ve středu plochy, ve středu hrany a odchylka v rozích. Geometrické parametry se posuzují dle normy [11].
- *Nasákavost* – množství vody vyjádřené v % hmotnosti vysušeného vzorku, které vzorek pohltí za podmínek stanovených normou [12]. S nasákavostí souvisí další vlastnosti střepu, např. pevnost, odolnost proti opotřebení a mrazuvzdornost.

$$E_v = \frac{(m_2 - m_1)}{m_1} \times 100 \quad (1)$$

Kde E_v je nasákavost obkladového prvku [%]
 m_1 hmotnost vysušeného obkladového prvku [g]
 m_2 hmotnost nasyceného obkladového prvku [g].

- *Mrazuvzdornost* – vlastnost úzce spjatá s nasákavostí. Podle normy [13] se zkouší výrobky nasycené vodou, které musí bez vzniku vad snést předepsaný počet cyklů zmrazení a rozmrazení.
- *Rázová pevnost* – odolnost výrobku proti rozbití úderem dle normy [15].
- *Odolnost proti opotřebení* – stanovuje se objem materiálu obroušeného za podmínek daných normou [16, 17], rozlišuje se pro glazované a neglazované prvky.
- *Odolnost proti vzniku vlasových trhlin* – souvisí s rozdílným součinitelem teplotní roztažnosti povrchové úpravy a střepu, zkouší se dle normy [18].
- *Odolnost proti chemikáliím* – provádí se nanesením chemických činidel (rozdílné pro glazované a neglazované obklady) na povrch. Dle normy [19, 20] se hodnotí odolnost proti chemikáliím a odolnost proti tvorbě skvrn.

- *Pevnost v ohybu* – napětí, při kterém dojde k přelomení zkušebního tělesa při předepsaném způsobu zatěžování (tříbodový ohyb) dle normy [14]. Při zatěžování se používají pryžové podložky předepsané tloušťky t . Rozměry L_1 a L_2 (viz obr. 1) jsou předepsány normou [14].



Obr. 1 Uspořádání zkoušky pevnosti v ohybu obkladových prvků.

Normou je také definován pojem lomové zatížení S . Je to síla potřebná ke zlomení zkušebního tělesa vynásobená poměrem rozpětí podpor/šířka zkušebních vzorků. Lomové zatížení se stanoví z následujícího vztahu [14]:

$$S = \frac{Fl_2}{b} \quad (2)$$

Kde F je lomová síla [N]
 l_2 vzdálenost podpěrných bodů při zkoušení [mm]
 b šířka zkušební vzorku [mm].

Pevnost obkladového prvku v ohybu R se potom vypočítá z následujícího vztahu [14]:

$$R = \frac{3Fl_2}{2bh^2} = \frac{3S}{2h^2} \quad (3)$$

Kde F je lomová síla [N]
 l_2 vzdálenost podpěrných bodů při zkoušení [mm]
 b šířka zkušební vzorku [mm].
 h tloušťka zkušební vzorku měřená podél lomové linie [mm].

- *Odolnost proti změnám teploty* – udává se jako schopnost snášet náhlé změny teplot bez porušení střeptu nebo vzniku trhlin v povrchové úpravě. Zkouší se dle normy [21].

- *Koeficient délkové teplotní roztažnosti* – vyjadřuje se koeficientem délkové teplotní roztažnosti α , který vyjadřuje relativní prodloužení vzorku při zahřátí o 1 °C. Postup zkoušení je dán normou [22].
- *Změny rozměrů vlivem vlhkosti* – sleduje se změna rozměrů, která může způsobit oddělení obkladových prvků od podkladu. Zkouší se dle normy [23].

Některé z vybraných vlastností, které jsou požadovány normou [9] jsou uvedeny v následujících tabulkách. V tabulce 1 pro obkladové prvky kategorie A a v tabulce 2 pro obkladové prvky kategorie B.

Tab. 1 Vybrané požadované vlastnosti obkladových prvků kategorie A [9].

Vlastnost		A Ia	A Ib	A IIa	A IIb	A III
Nasákavost E [%]	průměr	≤ 0,5	0,5 ~ 3	3 ~ 6	6 ~ 10	> 10
	jednotlivě	Max. 0,6	Max. 3,3	Max. 6,5	Max. 11	
Pevnost v ohybu [MPa]	průměr	≥ 28	≥ 23	≥ 20	≥ 17,5	≥ 8
	jednotlivě	Min. 21	Min. 18	Min. 18	Min. 15	Min. 7

Tab. 2 Vybrané požadované vlastnosti obkladových prvků kategorie B [9].

Vlastnost		B Ia	B Ib	B IIa	B IIb	B III
Nasákavost E [%]	průměr	≤ 0,5	0,5 ~ 3	3 ~ 6	6 ~ 10	> 10
	jednotlivě	Max. 0,6	Max. 3,3	Max. 6,5	Max. 11	min 9
Pevnost v ohybu [MPa]	průměr	≥ 35	≥ 30	≥ 22	≥ 18	≥ 15
	jednotlivě	Min. 32	Min. 27	Min. 20	Min. 16	

Obkladové materiály rozeznáváme v provedení glazovaném a neglazovaném. Glazované materiály mají povrch pokrytý vrstvou barevného skla (glazura), které jim dává důležité estetické a technologické vlastnosti. Glazura je sklovitá hmota, která se v tekuté formě nanáší na povrch obkladů či dlaždic. Glazura je složená z křemičitých složek, živce, tavid, barvicích pigmentů a jiných chemických přísad. Čím je glazura tmavší, tím je nižší stupeň otěruvzdornosti. Glazované dlaždice mohou být lesklé, pololesklé, matné nebo polomatné. Neglazované materiály jsou jednolitě v celé své tloušťce a mohou být režné nebo leštěné. Dlaždice mohou mít porézní nebo kompaktní podklad. Kompaktní, nenasákavý stěp se především u tzv. vysoce slinutých dlažeb blíží porcelánu. Porézní stěp se vyznačuje přítomností pórů, které jsou mezi sebou různě propojeny. Čím je stěp poréznější, tím více absorbuje vodu, což je velmi důležitá charakteristika všech typů dlaždic a obkladů, se kterou souvisí řada dalších vlastností [24].

3.1.2 Vývoj a současné trendy

Historie obkladů je úzce spjata především se zeměmi na pobřeží Středozemního moře. Vůbec první obklady byly používány už čtyři tisíce let před Kristem v Egyptě, kde na vysušené desky a cihly nanášeli první glazury na bázi mědi. Těmito prvními obklady byly zdobeny především reprezentační budovy. Z Egypta se rozšířily obkladové materiály především do Itálie, která je v tomto oboru dodnes vnímána jako jedna ze světových velmocí. Od počátku 12. století se začal vývoj keramiky rapidně měnit směrem k větší efektivitě, důraz byl kladen zejména na plánování, výrobu i logistiku. Největší rozvoj však nastal až po 2. světové válce, opět především v Itálii, ale také ve Španělsku. V tuzemsku začal trh s obklady a dlažbami zaznamenávat větší rozmach až v 90. letech 20. století, do té doby se zde vyráběly pouze malé jednobarevné obklady v rozměru 15 × 15 cm. S modernizací výrobních linek se začaly objevovat první imitace přírodních materiálů a rozšířily se také možnosti z hlediska rozměrů. Zatímco před patnácti lety měla v zahraničí největší dlažba rozměr 50 × 50 cm a v tuzemsku kolem 30 × 30 cm, v současnosti má největší obklad a dlažba v zahraničí rozměr 160 × 320 cm a u nás 60 × 120 cm [1, 2].

Právě nástup velkoformátových dlažeb a obkladů (obecně jsou jako velkoformátové označovány prvky, u kterých delší rozměr přesahuje 60 cm) je jedním z nejvýraznějších trendů současnosti. V Itálii se první obklady o rozměrech 300 × 100 cm používaly již v roce 2006. Trvalo ovšem téměř 10 let než si získaly oblibu u zákazníků a stal se z nich nový trend. Výrobci si tuto skutečnost vysvětlují několika důvody. Jedním z nich byl odpor a nedůvěra vůči novému materiálu a formátu. První velkoformátové obklady byly velmi tenké a křehké, proto při manipulaci a fixaci (z důvodu nedostatečných zkušeností) často docházelo k jejich rozbití. Novému formátu obkladů mohl být vyčítán i nedostatek rozmanitosti, digitální technologie totiž ještě zdaleka nebyly na úrovni dnešních, proto bylo v rané fázi výroby produkováno pouze několik jednobarevných provedení. Dnes je však celková estetičnost těchto materiálů jejich hlavní výhodou, nejnovější špičkové technologie umožňují přenést na velkoformátový obklad dokonalý design mramoru, kamene, betonu, dřeva a ostatních materiálů. Na pohled jsou tyto dlaždice prakticky nerozeznatelné od přírodních materiálů. Prvních 5 let produkce velkoformátových obkladů byla technologie výroby licencována pouze čtyřem producentům po celém světě. Dnes v zahraničních firmách tvoří velkoformátové obklady až třicet procent z celkového objemu prodeje, v České republice je tento podíl kolem pěti procent. Posledním důležitým bodem je také cena, která byla díky novým a náročným technologiím velmi vysoká. Za posledních 5 let však ceny velkoformátových obkladů klesly o 35-40 % [2, 3].

Velkoformátové obklady se vyrábí zpravidla v tloušťkách 5-7 mm, někteří výrobci však mají ve své nabídce i obklady s tloušťkou od 3 mm. Jedním ze zajímavých argumentů výrobců je fakt, že velkoformátové obklady v tloušťce 3 mm jsou oproti klasickým tloušťkám výhodné z hlediska ekologie, spotřeby energií a dalších kritérií. Úspory jsou z různých úhlů pohledu vyčísleny v tabulce 3.

Tab. 3 Porovnání obkladů z hlediska ekologicky sledovaných parametrů [25, 26].

Sledovaný parametr	Obklad s tloušťkou 3 mm	Obklad s tloušťkou 10 mm	Úspora
Tloušťka [mm]	3	10	70 %
Hmotnost [kg/m ²]	7,8	24	68 %
Spotřeba vody [l/m ²]	65	309	79 %
Spotřeba elektrické energie [MJ/m ²]	190	275	31 %
Produkce CO ₂ [kg/m ²]	14,1	20,6	32 %
Převážnost [m ² /kamion]	3840	1280	66 %

Velkoformátové obklady mají mimo výhod, mezi které patří především zvýraznění velkých ploch s minimálními spárami, estetičnost, hygieničnost, velká variabilita použití, jednoduchá údržba, minimální šířka spár a díky inovativním způsobům pokládky také zkrácení doby instalace, také řadu specifíků a nevýhod. Jedním ze základních požadavků je dokonalá rovinnost podkladu. Pokud je instalační povrch příliš nerovný, může dojít k prasknutí nebo zlomení obkladu. Již od počátku plánování je třeba uvažovat s tzv. kladečským plánem, protože velké formáty mají větší prořez. Ze strany architektů je často požadováno provádět obklady s minimální tloušťkou spár, je však nutné zohlednit koeficient teplotní roztažnosti a uvědomit si, že při oslunění keramické desky může dojít k roztažení až o 1 mm na metr délky. Při nedostatečné tloušťce spáry by tedy mohlo dojít ke kontaktu desek mezi sebou a tím k porušení. Dalším důležitým faktorem je správný výběr náradí a lepidel, které jsou jiné než při pokládce běžných obkladů. Pokud pod velkoformátovou dlažbou zůstane v lepidle vzduchová bublina, může v místě bubliny dojít k prasknutí. Tato skutečnost se řeší provibrováním celé desky po pokládce pomocí speciálních vibrátorů, což minimalizuje riziko porušení. I přes pokles ceny v posledních letech je pořád velkoformátová dlažba oproti klasickým rozměrům dlaždic podstatně dražší. S velkými dlaždicemi se obvykle manipuluje pomocí velkých rámu s přísavkami. Nezbytné je také, aby instalaci prováděl řemeslník, který má s pokládkou velkoformátových obkladů patřičné zkušenosti. Těch, kteří umějí opravdu precizně pokládat takové obklady je totiž poměrně málo, což se také odráží na ceně práce [3, 27, 28].

3.2 LEPIDLA PRO KERAMICKÉ OBKLADOVÉ PRVKY

3.2.1 Úvod, rozdělení a vlastnosti

Tradiční způsob obkládání stěn spočíval v nanesení vrstvy cementové malty na předem namočené obklady a jejich nalepení na stěnu. Pracnost, časová náročnost a vznik nových materiálů vedly k vytvoření současných postupů, při kterých se používají průmyslově vyrobená lepidla, která se nanášejí v tenkých vrstvách – tzv. tenkovrstvý způsob [29]. V praxi rozeznáváme tři základní druhy lepidel používaných pro tenkovrstvý způsob lepení [30]:

- *Cementové lepidlo* – směs hydraulických pojiv, kameniva a organických přísad smíšených s vodou nebo kapalnou složkou bezprostředně před použitím.
- *Disperzní lepidlo* – směs organického pojiva nebo pojiv ve formě vodní polymerní disperze, organických přísad a minerálních plniv připravená k použití.
- *Lepidlo na bázi reaktivní pryskyřice* – jednosložková nebo vícesložková směs syntetické pryskyřice, minerálních plniv a organických přísad, která se vytvrzuje chemickou reakcí.

Podle normy ČSN EN 12004-1 [30] jsou lepidla pro keramické obkladové materiály rozdělena na tři typy a dvě třídy, norma udává i některé doplňující charakteristiky.

Typy lepidel:

- *C* – cementové
- *D* – disperzní
- *R* – z tvrditelných pryskyřic

Třídy lepidel:

- *1* – pro běžné použití
- *2* – pro náročnější aplikace

Zvláštní charakteristiky:

- *F* – rychle tvrdnoucí
- *T* – se sníženým skluzem
- *E* – s prodlouženou dobou zavadnutí
- *S1* – deformovatelné lepidlo s hodnotou příčné deformace 2,5-5 mm
- *S2* – deformovatelné lepidlo s hodnotou příčné deformace větší než 5 mm

K uvedenému rozdělení lepidel se vztahují tři následující vlastnosti [10]:

- *Přidržnost* – největší síla F v Newtonech (N) na jednotku plochy (mm^2) měřená smykovou nebo tahovou zkouškou. Přidržnost je jeden z hlavních parametrů, který odlišuje běžné a zdokonalené lepicí hmoty. Pro běžné cementové lepicí hmoty (C1) je požadována přidržnost minimálně $0,5 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$, pro zdokonalené lepicí hmoty (C2) je požadována přidržnost minimálně $1 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$. Pro rychle tuhnoucí lepicí hmoty jsou tyto hodnoty požadovány nejdéle po šesti hodinách.
- *Doba zavadnutí (tzv. otevřený čas)* – značí nejdelší časový interval po nanesení lepicí hmoty, ve kterém mohou být prvky usazeny a při tom dojde ke vzniku předepsané přidržnosti. Pro běžné lepicí hmoty se požaduje doba zavadnutí nejméně dvacet minut od nanesení lepicí hmoty. Pro rychle tuhnoucí lepidla deset minut a pro lepidla s prodlouženou dobou zavadnutí nejméně třicet minut.
- *Skluz* – posuzuje se pohyb obkladového prvku usazeného do lepicí hmoty směrem dolů. Lepicí hmoty se sníženým skluzem mají hodnotu skluzu menší než 0,5 mm.

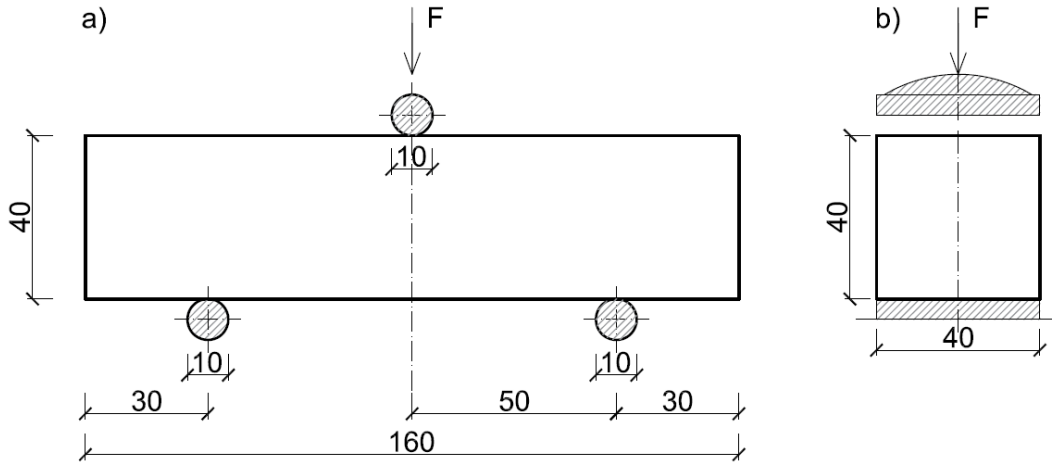
Velmi významným parametrem lepicích hmot je modul pružnosti E , který vyjadřuje schopnost materiálu odolávat deformaci. Lepicí hmoty s vysokým modulem pružnosti se vlivem zatížení deformují velmi málo, z toho důvodu v nich i při menších deformacích mohou vznikat velká napětí. Obecně je žádoucí, aby pružnost lepicích hmot byla co nejvyšší, tedy jejich modul pružnosti co nejnižší. Snížení modulu pružnosti při zachování ostatních materiálových charakteristik na přijatelné hodnotě se dosahuje především přidávkem polymerních složek, které navíc také zvyšují přidržnost lepicí hmoty [10, 31].

Stanovení modulu pružnosti lepicích hmot v tahu/tlaku není v normách pro lepicí hmoty definováno. V rámci praktické části byl zkoušen obdobně jako na betonových tělesech podle normy ČSN ISO 1920-10 [32], jeho hodnota se určí ze vztahu [32]:

$$E_C = \frac{\sigma_A - \sigma_B}{\varepsilon_A - \varepsilon_B} \quad (4)$$

Kde	E_c	je statický modul pružnosti v tahu/tlaku [MPa]
	σ_A	horní zatěžovací napětí [MPa]
	σ_B	základní napětí [MPa]
	ε_A	průměrné poměrné přetvoření při horním zatěžovacím napětí
	ε_B	průměrné poměrné přetvoření při základním zatěžovacím napětí.

Pevnostní charakteristiky lepidel, jako je pevnost v ohybu a pevnost v tlaku, je možné určit podle normy [33]. Zkušebními tělesy jsou trámečky o rozměrech 40 × 40 × 160 mm. Uspořádání obou zkoušek je patrné z obrázku 2.



Obr. 2 Schéma provedení zkoušky a) pevnosti v tahu ohybem, b) pevnosti v tlaku [30].

Pevnost v tahu ohybem se vypočítá ze vztahu [33]:

$$R_f = \frac{1,5 F_f l}{d_1 d_2^2} \quad (5)$$

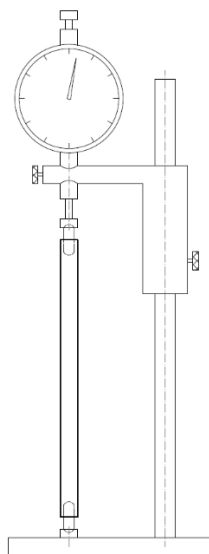
Kde R_f je pevnost v tahu ohybem [MPa]
 F_f maximální zatížení [N]
 d_1 šířka zkušební tělesa [mm]
 d_2 výška zkušební tělesa [mm]
 l vzdálenost mezi podpěrnými válečky [mm].

Pevnost v tlaku se vypočítá ze vztahu [33]:

$$R_c = \frac{F_c}{d_1 d_2} \quad (6)$$

Kde R_c je pevnost v tlaku [MPa]
 F_c maximální zatížení [N]
 d_1, d_2 rozměry zatěžované plochy tělesa [mm].

Důležitým parametrem se s nástupem obkladů větších formátů stává smrštění, jeho celková velikost a průběh v čase. Smrštění se měří podle normy [34]. Zkušebními tělesy jsou trámečky s rozměry $10 \times 40 \times 160$ mm, které mají v obou čelech vsazený kovový čep, ten se při měření vkládá do měřicího zařízení. Zkušební tělesa se po vyrobení zakryjí skleněnou deskou (ta simuluje nalepený obklad). Po uplynutí 24 hodin se skleněná deska odejme a odformují se tělesa. Měření probíhá v měřicím zařízení (viz obrázek 3) ihned po odformování a po 28 dnech. Výsledky se přepočítají na jednotky mikrometrů na metr délky.



Obr. 3 Schéma měření smrštění na zkušebních tělesech z lepidla [34].

3.2.2 Specifika lepení velkoformátových obkladů

Obklady větších rozměrů se staly trendem poslední doby a jsou často používány jak v privátní výstavbě, tak ve veřejných prostorech. Při lepení velkoformátových dlaždic je nutné věnovat zvýšenou pozornost celé řadě technických hledisek. Posouzení kvality podkladu a jeho odpovídající příprava je jedním z nejdůležitějších kroků v rámci celého procesu. Cementový potěr by měl být vyzrálý (s ukončeným smrštěním) s méně než 2,5 % zbytkové vlhkosti. Anhydritový potěr by měl dosahovat maximálně 0,5 % zbytkové vlhkosti, popř. maximálně 0,3 % u vytápěných podlah. Také rozměrové tolerance podkladních ploch musí splňovat přísná kritéria, v případě nedokonalé rovinnosti podkladu je vhodné provést vyrovnání podkladu stěrkovými či samonivelačními hmotami. Vhodné je také použití penetračního nátěru. Obklady a dlažby z velkoformátových desek jsou podstatně náchylnější k poruchám. Častou příčinou poruch je rozdílná tepelná roztažnost podkladu a obkladového prvku, proto je vhodné mezi ně vložit dělicí vrstvu, která může výrazně pomoci. Důležité jsou také dilatační spáry, které musejí vycházet z polohy a členitosti plochy a rozdílné tepelné roztažnosti materiálů [6].

Při použití velkých formátů obkladových prvků je velmi důležitý výběr správného lepidla. Důvodem je především velká plocha obkladového materiálu, jeho hmotnost, tepelná roztažnost a snížená nasákavost. Nejčastěji se používají cementová lepidla se zlepšenou přilnavostí a co největší deformovatelností (flexibilitou). Čím je větší povrchová plocha obkladu, tím vyšší je namáhání, kterému bude lepidlo vystaveno. Deformovatelná lepidla se vyznačují nižším modulem pružnosti, díky čemuž jsou účinnější při "tlumení" napětí způsobeného odlišným chováním materiálů (obkladu, podkladu a lepidla). Běžně nastavená lepidla ke své hydrataci potřebují vzduch, proto nedokáží pod velkou plochou dostatečně vyzrát. Mnohdy se stává, že i po roce se při defektu v ploše najde nevytvrzené lepidlo. Jsou také známy případy, kdy dochází k neustálému špinění spár bílými výkvěty, což je důsledek vypařování vody ze středu střepu, kde je nevyzrálé lepidlo. Pro lepení velkých formátů je tedy nutné použít lepidla, která dokáží vytvrdnout i bez přístupu vzduchu (lepidla s efektivní krystalickou vazbou vody). Navíc je také nutné zohlednit druh velkoformátového obkladu. U obkladů s tloušťkou okolo 3 mm bývá na zadní straně nalepená výztužná síť, zde je velmi důležitá přídržnost lepidel. Výztužná síť je totiž na zadní straně obkladu nalepena pomocí epoxidů nebo polyuretanů, což dokáže snížit přídržnost klasických cementových lepidel až na třetinu [4, 5].

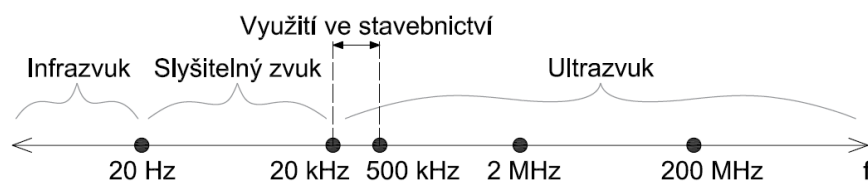
Postupem času výrobci a pracovníci zdokonalují specifický postup instalace velkoformátových obkladů. Ten se skládá z výběru kvalitních a vhodných materiálů a nářadí. Velmi důležitý faktor zde hrají zkušenosti řemeslníků. Při manipulaci se samotnými obklady se používá zpravidla ocelový rám s přísavkami a regulací tlaku. Obklady jsou přesunuty do speciálního rámu, ve kterém je možné pohodlně nanést vrstvu lepidla na rubovou stranu. Protože se lepení provádí zpravidla kombinovanou metodou, nanese se lepidlo na podklad i na rub obkladu. Pokládka desek musí být vedena ve směru nanesení lepidla tak, aby byla možnost vytlačení co největšího množství vzduchu pod deskou. Pokud pod deskou zůstane vzduchová bublina, může v tomto místě dojít k porušení a prasknutí obkladu. Následná výměna je velmi složitá a nákladná, často se neobejde bez odstranění okolních obkladů. Z tohoto důvodu se používají vibrační hladítka nebo speciální příložné vibrátory, jimiž je dosaženo požadovaného zhutnění lepidla a zvětšení přitlaku. Po usazení obkladu se provádí výškové vyrovnání, k tomuto účelu se použijí vyrovnávací klínky. Jedním z posledních kroků bývá směrové srovnání spár, k tomuto se používá speciálních přísavek, které umožňují pomocí otáčení závitů jemně posunovat jednotlivé desky. Posledním krokem je spárování, které probíhá standardně jako u všech ostatních typů dlažeb a obkladů [35].

3.3 NEDESTRUKTIVNÍ DIAGNOSTICKÉ METODY POUŽITELNÉ NA OBKLADECH A CEMENTOVÝCH LEPIDLECH

Mezi nejčastěji používané nedestruktivní metody patří ultrazvuková impulzová metoda a rezonanční metoda. Jsou to právě tyto dvě metody, pomocí kterých můžeme i u obkladů a cementových lepidel určit některé z jejich vlastností. Pomocí nepřímého ultrazvukového zkoušení na obkladových dílcích je možné určit rychlost šíření ultrazvuku materiálem. Z této rychlosti můžeme zjišťovat například přítomnost trhlin v obkladovém prvku. Přímým ultrazvukovým zkoušením jsme, stejně jako pomocí rezonanční metody, schopni určit důležité materiálové charakteristiky cementových lepidel (především dynamický modul pružnosti).

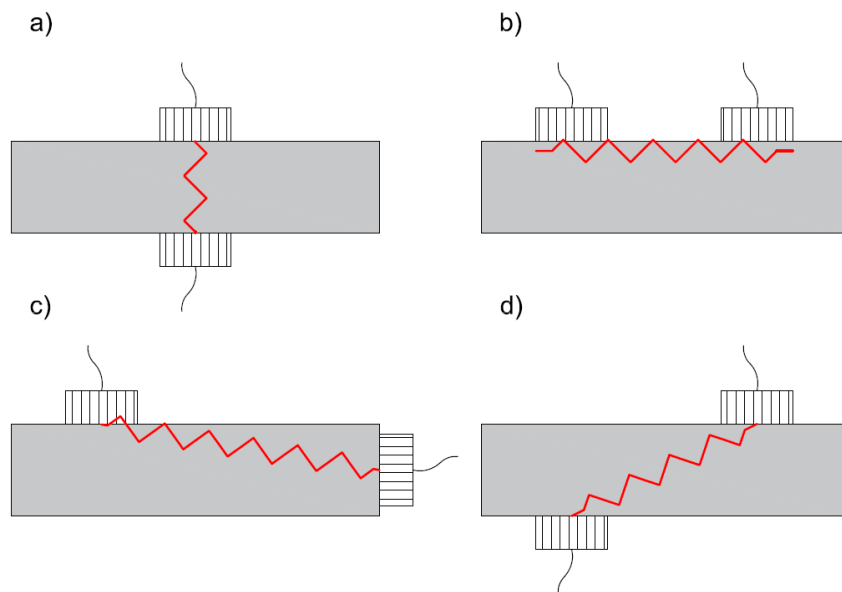
3.3.1 Ultrazvuková impulzová metoda

Ultrazvuk jsou mechanické kmity částic prostředí s frekvencí vyšší než 20 kHz. Pro zkoušení materiálů ve stavebnictví se používají sondy o frekvenci 20 kHz až 500 kHz [36].



Obr. 4 Využití ultrazvuku ve stavebnictví [36, 37].

Rozeznáváme dva základní druhy ultrazvukových zkoušek – průchodové a odrazové. V rámci praktické části bylo využito metody průchodové, které se týká i tato kapitola. Průchodová ultrazvuková metoda spočívá ve stanovení rychlosti šíření ultrazvukových vln materiálem. Impulz ultrazvukových vibrací je tvořen vysílací sondou (budičem) a na druhé straně je přijímán sondou přijímací (přijímačem). Měřicí přístroj měří dobu průchodu tohoto impulzu od budiče k přijímači a vyhodnotí rychlost šíření ultrazvukových vln. Měření rychlosti ultrazvukových impulzů procházejících přes materiál lze použít pro stanovení rovnoměrnosti materiálu, měření změn vlastností materiálu v průběhu času a stanovení dynamického modulu pružnosti. Rozeznáváme tři základní uspořádání budiče a snímače. Pokud je budič a snímač umístěn na protilehlých stranách proti sobě, jedná se o polohu přímou. Pokud jsou sondy umístěny na protilehlých stranách, ale ne proti sobě nebo jsou na sousedních stranách, jedná se o polohu polopřímou. Při umístění snímače a budiče na stejné straně se jedná o polohu nepřímou. Jednotlivé uspořádání budiče a snímače jsou zobrazeny na obrázku 5 [38, 39].



Obr. 5 Polohy snímače a budiče, a) přímá, b) nepřímá, c), d) polopřímá [38, 40].

• PŘÍMÉ USPOŘÁDÁNÍ SNÍMAČE A BUDIČE

Pokud to charakter konstrukce nebo zkoušeného tělesa umožňuje, doporučuje se používat uspořádání budiče a snímače na protilehlých stranách proti sobě. Měřící základna je nejkratší vzdálenost mezi sondami a musí být zaznamenána s přesností $\pm 1\%$. Musí se docílit přiměřeného akustického spojení mezi materiálem a plochami sond. U většiny zkoušených materiálů je povrchová úprava dostatečně hladká, aby bylo zajištěno dobré akustické spojení pomocí různých médií (např. vazelína, mazací tuk, mazlavé mýdlo, pasta s kaolinitickým glycerinem nebo plastelína) a přitlačením sond k povrchu. Rychlost šíření ultrazvukového impulsu materiálem se určí ze vztahu [38, 39]:

$$v_L = \frac{L}{T} \quad (7)$$

Kde	v_L	je rychlost UZ impulsu [km/s]
	L	délka zkušebního tělesa [mm]
	T	čas, včetně času t_{kor} , který uplyne při průběhu impulsu měřicí základnou [μ s].

Dynamický modul pružnosti v tahu/tlaku se potom vypočítá ze vztahu [38]:

$$E_{cu} = \rho v_L^2 \frac{1}{k^2} \quad (8)$$

Kde E_{cu} je modul pružnosti v tahu/tlaku [MPa]
 ρ objemová hmotnost zkušební tělesa [kg/m³]
 v_L rychlost UZ impulzu [m/s]
 k součinitel závislý na rozměrnosti prostředí.

Rozměrnost prostředí závisí na délce vlny λ a nejmenším příčným rozměru zkoušeného tělesa. Součinitel k závislý na rozměrnosti prostředí lze určit z následujících vztahů [38]:

- Jednorozměrné prostředí – u prutů, hranolů a nosníků, kde minimální rozměr příčného řezu je menší nebo roven $0,2 \lambda$. Součinitel rozměrnosti k_1 je roven 1.
- Dvojměrné prostředí – u tenkých desek, kde tloušťka desky je menší nebo rovna $0,2 \lambda$. Součinitel rozměrnosti se určí ze vztahu [38]:

$$k_2 = \sqrt{\frac{1}{1-v_{cu}^2}} \quad (9)$$

Kde k_2 je součinitel rozměrnosti pro dvojměrné prostředí
 v_{cu} Poissonovo číslo daného materiálu.

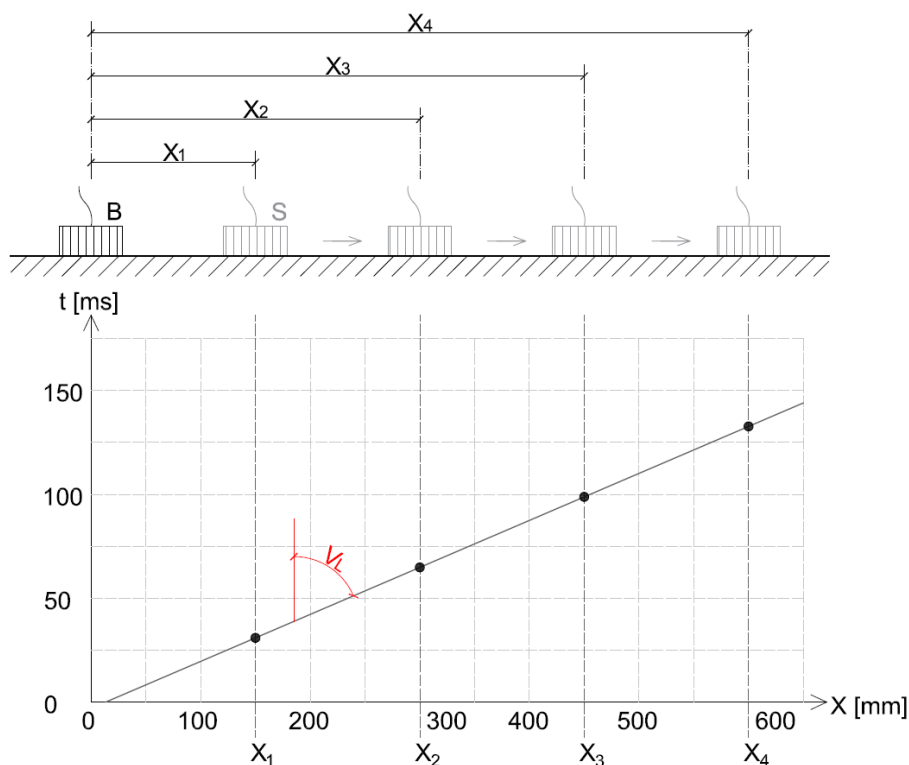
- Trojměrné prostředí – u krychlí, kvádrů, válců a nosníků, kde rozměry příčného řezu kolmého na směr prozvučování jsou větší než 2λ , nebo u desek prozvučovaných z čelních ploch, kde je tloušťka větší než $0,9 \lambda$. Součinitel rozměrnosti se určí ze vztahu [38]:

$$k_3 = \sqrt{\frac{1-v_{cu}}{(1+v_{cu}) \cdot (1-2v_{cu})}} \quad (10)$$

Kde k_3 je součinitel rozměrnosti pro trojměrné prostředí
 v_{cu} Poissonovo číslo daného materiálu.

- **NEPŘÍMÉ USPOŘÁDÁNÍ SNÍMAČE A BUDIČE**

Nepřímé uspořádání snímače a budiče by se mělo použít pouze v případech, kdy je přístupná jen jedna strana zkoušeného materiálu. Touto metodou lze určit zejména výskyt povrchových trhlin nebo kvalitu povrchové části materiálu, případně tyto vlastnosti ověřovat v čase. Jedná se o nejméně citlivé uspořádání sond. Je také nutné brát v potaz, že při použití tohoto uspořádání získáváme přehled pouze o povrchové části materiálu, tato oblast může mít jiné vlastnosti, než materiál, který je od povrchu dále. Rychlost šíření ultrazvukového impulsu zjištěná nepřímým uspořádáním je vždy nižší než rychlost zjištěná uspořádáním přímým, tento rozdíl se může pohybovat od 5 % do 20 % v závislosti na druhu a kvalitě zkoušeného materiálu. U nepřímého uspořádání existuje nejistota ohledně přesné délky šíření, je proto vhodné provést řadu měření se snímačem v různé poloze vůči budiči. Budič se umístí na povrch materiálu a několikrát se změří rychlost průchodu ultrazvukového impulsu, přičemž snímač se vždy posune o konstantní vzdálenost směrem od budiče. Zaznamenané doby průchodu v jednotlivých vzdálenostech od budiče se vynesou do grafu a body se proloží přímkou (viz obrázek 6). Výslednou hodnotou průměrné rychlosti šíření ultrazvuku je tangenta této přímky. Pokud změřené body vykazují nespojitost, znamená to, že na povrchu materiálu jsou trhlinky nebo je povrchová vrstva nekvalitní [39, 41].



Obr. 6 Princip měření rychlosti šíření ultrazvuku pomocí nepřímého uspořádání sond [39, 41].

3.3.2 Rezonanční metoda

Podstatou rezonanční metody je stanovení hodnot určitého druhu vynuceného rezonančního kmitání zkušebních těles pravidelného geometrického tvaru, pro něž lze teoreticky určit vztahy mezi vlastními frekvencemi a odpovídajícími dynamickými charakteristikami materiálu [42].

Zkušební tělesa mají tvar hranolů nebo válců, jejichž délka musí být nejméně dvojnásobkem rozměru delší strany základny (popř. průměru základny). Při zkoušení jsou zkušební tělesa uložena na podkladu, který nesmí omezovat jejich kmitání (např. gumová podložka nebo jiný pružný materiál). Těleso musí být podepřeno v předpokládaných bodech kmitání, tzn. v bodech, které se při kmitání nepohybují. K takto podloženému zkušebnímu tělesu se připevní sondy zkušebního přístroje [40, 43]. Zkušební těleso je rozkmitáno budičem (ve většině případů přímým stykem se zkušebním tělesem). Kmitání vzorku se snímá snímacím zařízením (snímačem), které zaznamenává velikost amplitudy. Sleduje se maximální amplituda, která definuje vlastní kmitočet tělesa. Ze stanovených vlastních frekvencí kmitání zkušebního tělesa se určují fyzikálně mechanické vlastnosti materiálu (popř. jejich změna v čase) na základě odvozených vztahů vyjadřující závislost mezi vlastním kmitočtem a pružnostními vlastnostmi materiálu [43]. Mezi parametry, které lze určit pomocí rezonanční metody patří dynamický modul pružnosti v tahu/tlaku, dynamický modul pružnosti ve smyku a dynamické Poissonovo číslo (stanovuje se z poměrů podélného a kroutivého kmitání tělesa).

Prvním z modulů pružnosti, který můžeme stanovit rezonanční metodou je modul pružnosti zjištěný z podélného kmitání E_{crL} . Na zkušební těleso se přiloží sonda zkušebního přístroje (B – budič, S – snímač) v místech znázorněných na obr. 7 a zjistí se první vlastní kmitočet podélného kmitání. Dynamický modul pružnosti v tahu/tlaku zjištěný z podélného kmitání se vypočítá ze vztahu [43]:

$$E_{crL} = 4 L^2 f_L^2 \rho \quad (11)$$

Kde	E_{crL}	je dynamický modul pružnosti v tahu/tlaku [MPa]
	f_L	první vlastní kmitočet podélného kmitání [kHz]
	L	délka zkušebního tělesa [m]
	ρ	objemová hmotnost zkušebního tělesa [kg/m ³].

Druhým z modulů pružnosti, který se stanovuje rezonanční metodou, je modul pružnosti v tahu/tlaku stanovený z příčného kmitání E_{crf} , který se vypočítá ze vztahu [43]:

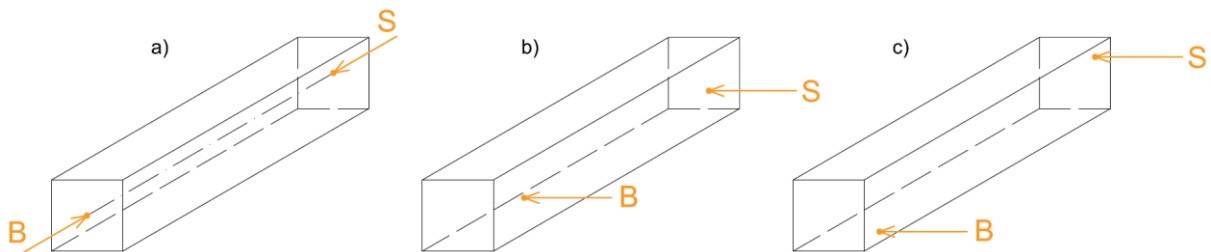
$$E_{crf} = 0,0789 c_1 L^4 f_f^2 \rho \frac{1}{i^2} \quad (12)$$

Kde E_{crf} je dynamický modul pružnosti v tahu/tlaku [MPa]
 f_f první vlastní kmitočet příčného kmitání [kHz]
 L délka zkušební tělesa [m]
 ρ objemová hmotnost zkušební tělesa [kg/m³]
 i poloměr setrvačnosti příčného řezu tělesa [m]
 c_1 korekční součinitel zahrnující vliv smyku a momentů setrvačnosti.

Rezonanční metodou je také možné určit dynamický modul pružnosti ve smyku G_{cr} , ten se stanoví z vlastního kmitočtu krouživého kmitání (poloha budiče a snímače viz obr. 7). Dynamický modul pružnosti ve smyku se vypočítá ze vztahu [43]:

$$G_{cr} = 4 k L^2 f_t^2 \rho \quad (13)$$

Kde G_{cr} je modul pružnosti ve smyku [MPa]
 f_t první vlastní kmitočet torzního kmitání [kHz]
 L délka zkušební tělesa [m]
 ρ objemová hmotnost zkušební tělesa [kg/m³]
 k korekční součinitel charakterizující tvar příčného řezu.



Obr. 7 Uspořádání snímače a budiče při zkoušení rezonanční metodou. Obr. a) uspořádání pro zkoušení podélného kmitání, obr. b) uspořádání pro zkoušení příčného kmitání, obr. c) uspořádání pro zkoušení krouživého kmitání.

4 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Na začátku experimentální části byla pomocí nepřímé ultrazvukové metody sledována rychlost šíření ultrazvuku v materiálu nalepených velkoformátových obkladů. Při tomto měření byl zjištěn výrazný pokles rychlosti šíření ultrazvuku v prvních 24-48 hodinách po instalaci obkladu. Tento pokles se u jednotlivých obkladů lišil v závislosti na použitém lepidle. Aby bylo možné vysvětlit, na čem pokles rychlosti ultrazvuku závisí, byly provedeny doplňující zkoušky na obkladech a podrobné zkoušky provedené na použitých lepidlech. V následující části práce je pro přehlednost zkoušení rozděleno podle materiálů (tedy na velkoformátové obklady a cementová lepidla). V kapitolách 4.1 a 4.2 je nejprve pro jednotlivé materiály uveden popis a metodika práce a následně jsou popsána zkušební tělesa a postup zkoušení. Následné vyhodnocení a souvislosti mezi oběma materiály jsou uvedeny v kapitole 4.3.

4.1 VELKOFORMÁTOVÉ OBKLADY

4.1.1 Popis a metodika práce

Cílem první části experimentu bylo zkoumat chování velkoformátových obkladů po nalepení na podklad pomocí nepřímého měření ultrazvukovou metodou. Experiment byl rozdělen na dvě etapy. V první etapě bylo zkoumáno 6 skladeb obkladů a lepidel, v druhé etapě 5 skladeb. Skladby zahrnovaly různé druhy obkladů i lepidel, některé byly doplněny o membránu a některé obklady obsahovaly výřezy. Pro tento účel byly použity keramické obklady o rozměrech především $1,5 \times 3,0$ m (v etapě 1) a $1,0 \times 3,0$ m (v etapě 2) tloušťky 6 mm (výjimkou byl jeden obklad tloušťky 3 mm) a tři druhy cementových lepidel.

První etapa probíhala v srpnu roku 2019 a bylo při ní nalepeno 6 velkoformátových obkladů na jednotlivé betonové panely (pomocí různých lepidel). Pomocí nepřímé ultrazvukové metody byla měřena rychlost šíření ultrazvukového vlnění materiálem. První měření bylo provedeno v čase 1 až 7 hodin od nalepení. Další měření byla provedena přibližně ve stáří 1, 12 a 35 dní. Druhá etapa probíhala na přelomu roku 2019 a 2020, bylo při ní pomocí různých druhů lepidel nalepeno 5 velkoformátových obkladů (tentokrát všechny na jeden velký betonový panel). První měření bylo opět provedeno co nejdříve po nalepení, dále bylo měřeno ve stáří 1, 28 a 42 dní. Za účelem zjištění vlastností zkoušených velkoformátových obkladů z nich byla nařezána tělesa pro zkoušky objemové hmotnosti, nasákavosti a pevnosti v ohybu. Pro doplnění experimentu byla také vyrobena 4 zkušební tělesa, která sloužila ke stanovení rychlosti UZ vlnění při zatížení tahem.

4.1.2 Zkušební tělesa

Základem pro experiment byly obklady od firmy Iris typu Iron Corten, o rozměru $1,5 \times 3,0$ m (etapa 1) a $1,0 \times 3,0$ m (etapa 2) a tloušťce 6 mm. Tyto obklady byly doplněny obkladem od firmy Levantina o tloušťce 3 mm. Obklady byly nalepeny na tři různá lepidla, skladba byla v některých případech doplněná o membránu, popř. o výřezy v obkladu. Výřezy v obkladech simulovaly výřezy na různá technická zařízení budov (např. vzduchotechnika) a byly zde umístěny z důvodu sledování rychlosti šíření ultrazvuku v jejich okolí (předpokládal se např. pokles rychlosti UZ vlnění vlivem vyšší koncentrace napětí v těchto oblastech).

Konkrétní druhy lepidel jsou uvedeny v tabulce 4. Skladby v první etapě zkoušení v tabulce 5 a skladby v druhé etapě v tabulce 6.

Tab. 4 Označení lepidel použitých v rámci experimentu.

Označení	Lepidlo
1	PROFI PREMIUM FLEX KLEBER C2TES1
2	PROFI PREMIUM KLEBER S2 LEICHT
3	MAPEI ULTRALITE S2

Tab. 5 Označení a specifikace skladeb v první etapě experimentu.

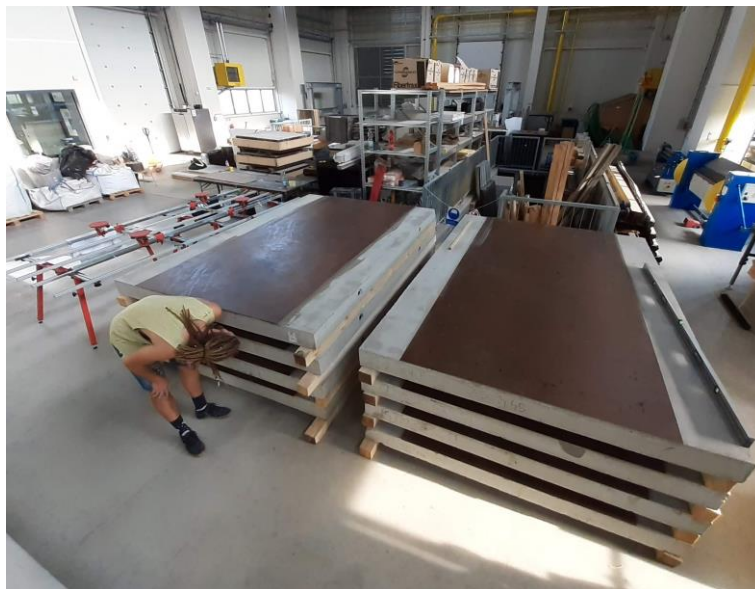
Označení	Obklad	Lepidlo	Poznámka
A	Iris Iron Corten tl. 6 mm	2	bez výřezů, bez membrány
B	Iris Iron Corten tl. 6 mm	3	bez výřezů, bez membrány
C	Iris Iron Corten tl. 6 mm	1	bez výřezů, bez membrány
D	Levantina Techlam tl. 3 mm	2	bez výřezů, bez membrány
E	Iris Iron Corten tl. 6 mm	2	s výřezy, s membránou
F	Iris Iron Corten tl. 6 mm	2	s výřezy, bez membrány

Tab. 6 Označení a specifikace skladeb v druhé etapě experimentu.

Označení	Obklad	Lepidlo	Poznámka
A	Iris Iron Corten tl. 6 mm	2	s výřezy, s membránou
B	Iris Iron Corten tl. 6 mm	2	s výřezy, bez membrány
C	Iris Iron Corten tl. 6 mm	1	s výřezy, bez membrány
D	Iris Iron Corten tl. 6 mm	3	s výřezy, bez membrány
E	Levantina Techlam tl. 3 mm	2	s výřezy, bez membrány

Obě etapy měření byly provedeny v centru AdMaS Vysokého učení technického v Brně. Z důvodu časové náročnosti lepení byla instalace v první etapě rozdělena do dvou dní, a to

28. a 29. srpna 2019. Velkoformátové obklady byly nalepeny na jednotlivé betonové panely za použití cementových lepidel. Při lepení byl používán speciální přípravek složený ze čtyř přísavek a kovového rámu. Lepidlo bylo nanášeno jak na rub obkladu, tak na podklad. Zkušební tělesa z první etapy jsou zobrazena na obr. 8.



Obr. 8 Zkušební tělesa z první etapy experimentu (srpen 2019), včetně manipulačního rámu.

Lepení obkladů pro druhou fázi experimentu probíhalo 19. prosince 2019. V této fázi byly obklady nalepeny na jeden velký betonový panel (viz obr. 9). Při lepení byly použity totožné postupy jako v první etapě. V této etapě byly všechny obklady opatřeny výřezy, aby bylo možné sledovat chování materiálu i v těchto oblastech.



Obr. 9 Zkušební tělesa z druhé etapy experimentu (prosinec 2019).

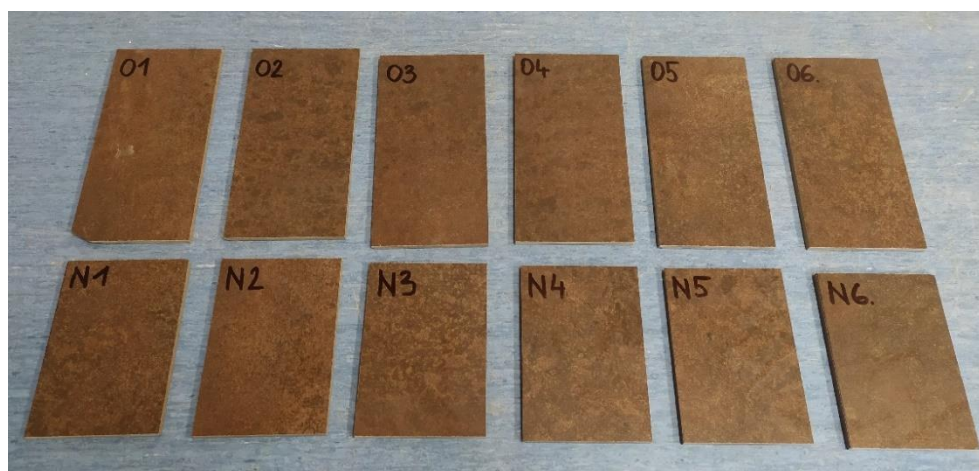
Za účelem provedení doplňujících zkoušek byla z obkladu Iris Iron Corten nařezána menší zkušební tělesa. Jednalo se o tělesa s rozměrem 100 × 210 mm a 100 × 390 mm pro stanovení objemové hmotnosti a pevnosti materiálu v ohybu a tělesa s rozměrem 100 × 150 mm pro stanovení nasákavosti (viz tabulka 7). Řezání zkušebních těles je zachyceno na obr. 10, hotová zkušební tělesa potom na obr. 11.

Tab. 7 Seznam zkušebních těles pro doplňkové zkoušky velkoformátových obkladů.

Označení	Počet	b [mm]	L [mm]	Účel
O	6	100	210	Pevnost v ohybu, objemová hmotnost
O	3	100	390	Pevnost v ohybu
N	6	100	150	Nasákavost

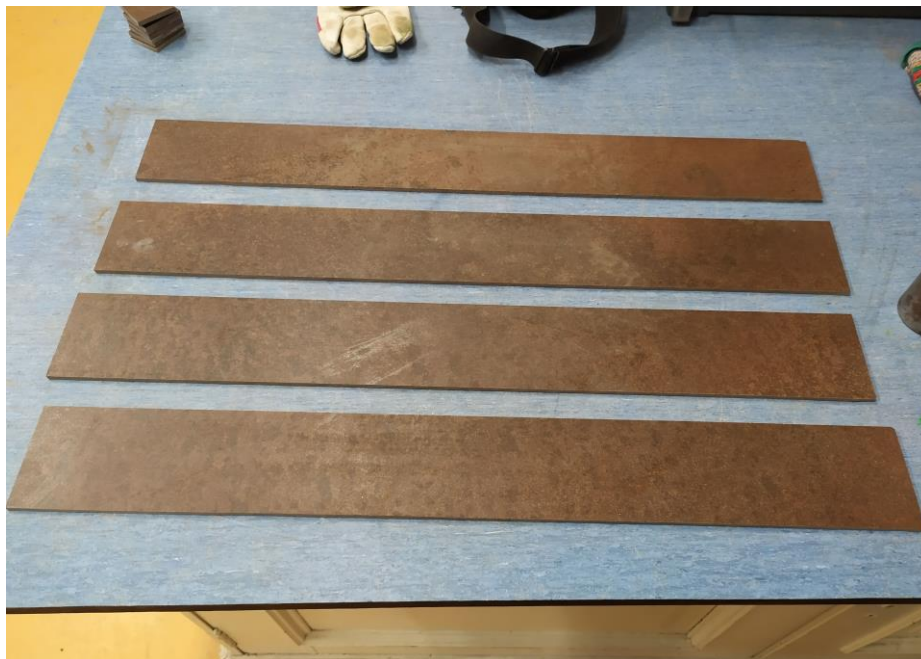


Obr. 10 Řezání zkušebních těles pro doplňkové zkoušky velkoformátových obkladů.

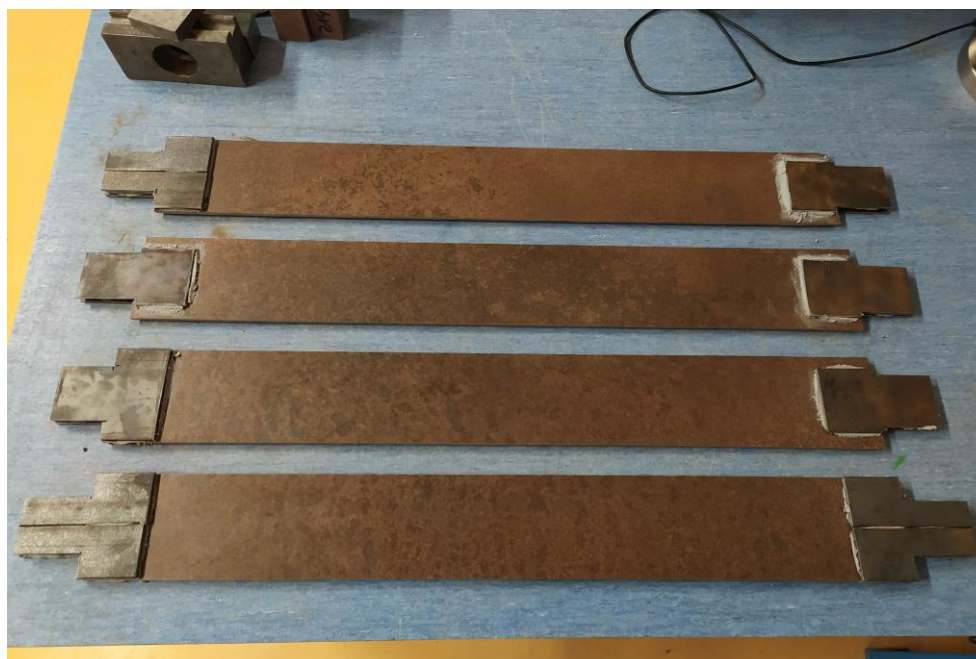


Obr. 11 Zkušební tělesa pro zkoušky pevnosti v ohybu, objemové hmotnosti a nasákavosti.

Pro doplnění experimentu byla nařezána zkušební tělesa o rozměru 100×800 mm (viz obr. 12), na kterých byla zkoušena rychlost šíření ultrazvukového vlnění při zatížení. Pro tento účel byla vyrobena 4 zkušební tělesa. Pro uchycení tělesa do čelistí lisu bylo nutné nalepit na konce obkladů železné příložky (viz obr. 13).



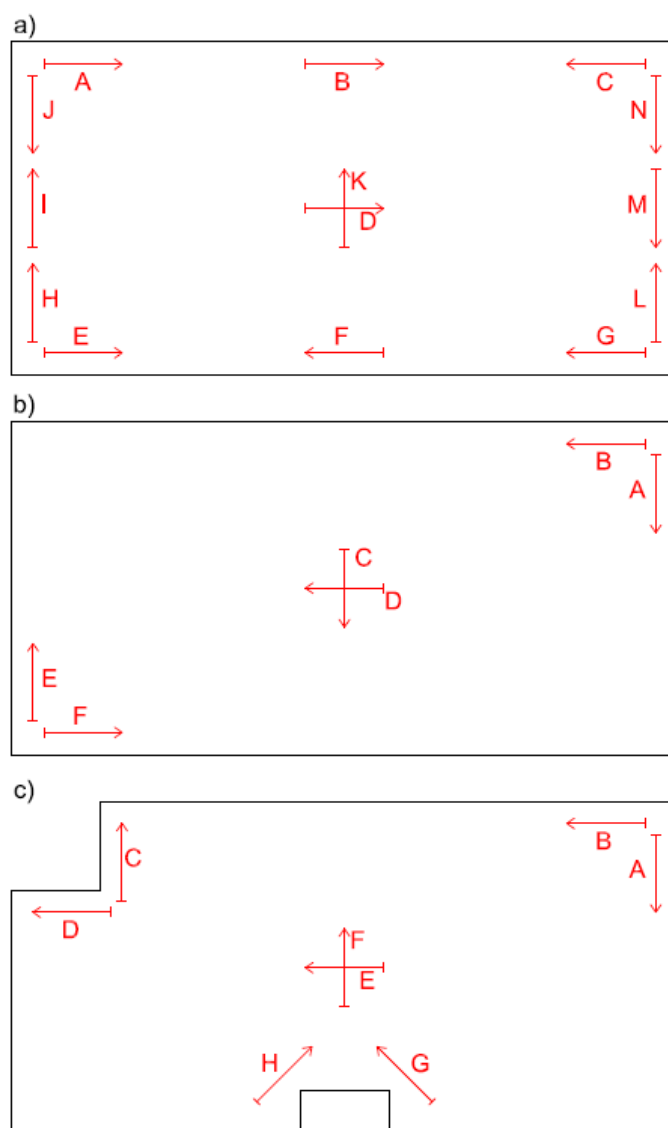
Obr. 12 Tělesa vyřezaná z velkoformátových obkladů.



Obr. 13 Zkušební tělesa připravená pro zkoušku rychlosti šíření UZ vlnění při zatížení.

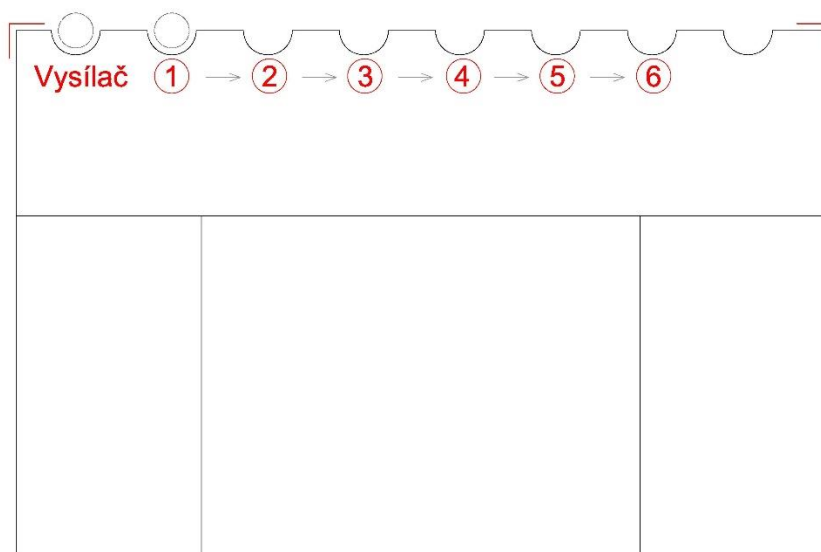
4.1.3 Průběh zkoušení

Po nalepení obkladů v první etapě měření byla všechna tělesa nesmazatelným způsobem identifikována a bylo provedeno označení měřicích linií pro měření rychlosti šíření ultrazvukového vlnění. U obkladů A a B bylo vyznačeno 14 měřicích linií, u obkladů C a D 6 měřicích linií a u obkladů E a F 8 měřicích linií. Rozmístění linií zachycovalo celou plochu obkladů (okraje i středy). Směr měřicích linií byl rovnoběžný nebo kolmý na podélnou osu. Výjimkou byly linie v okolí výřezů, které byly směrem k podélné ose vyznačeny pod úhlem 45° (tak, aby byly kolmé na předpokládaný směr trhlin vzniklých v rozích výřezů). Rozmístění měřicích linií na obkladech v první etapě měření je patrný z obrázku 14.



Obr. 14 Uspořádání měřicích linií pro měření rychlosti průchodu UZ vlnění v rámci první etapy měření. Na obr. a) Obklady A a B, na obr. b) Obklady C a D a na obr. c) Obklady E a F.

Každá měřicí linie byla složená ze sedmi bodů (vzdálených od sebe 50 mm), první z nich sloužil pro umístění ultrazvukové sondy fungující jako vysílač. Do ostatních bodů byla postupně umísťována druhá ultrazvuková sonda fungující jako přijímač. Celkem tedy bylo v jedné linii měřeno šest bodů. Pro účel měření byl vyroben speciální dřevěný přípravek (viz obr. 15), který se osadil na značky příslušné linie (označené přímo na povrchu obkladu), to umožnilo měření stále ve stejných bodech linie. Pro měření byl použit přístroj Pundit PL-200 se sondami o frekvenci 150 kHz.



Obr. 15 Osazení pomocného přípravku na měřicí linii.

Velkoformátové obklady v první etapě měření byly nalepeny ve dnech 28. a 29. srpna 2019. První měření ultrazvukem bylo provedeno vždy co nejdříve po nalepení. Další ultrazvuková měření probíhala přibližně ve stáří 1, 12 a 35 dní. Přesné časy nalepení a následného ultrazvukového měření jsou zobrazeny v tabulce 8 (čas nalepení je pro účely tabulky uvažován jako čas nula).

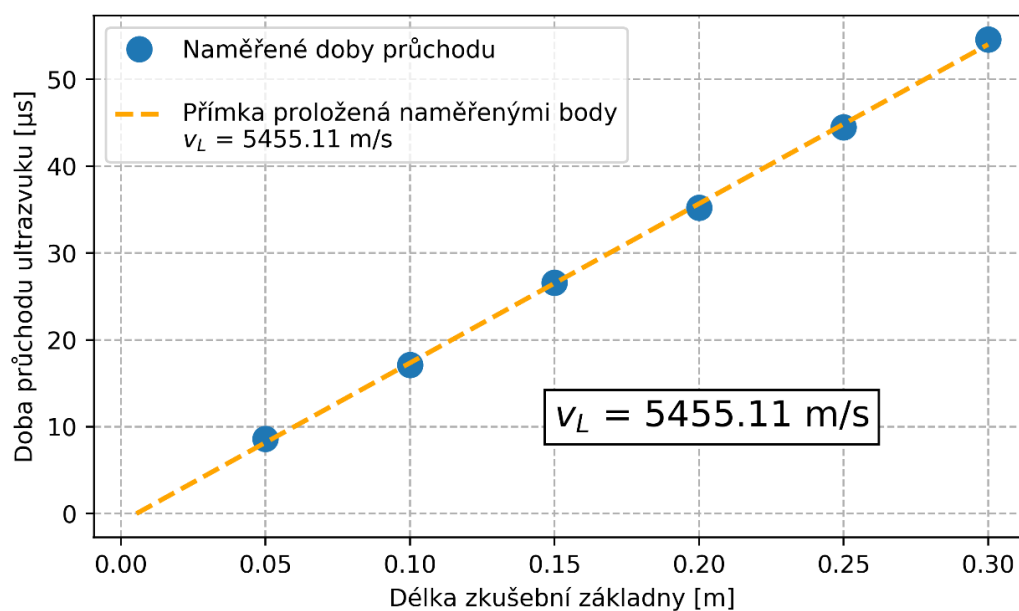
Tab. 8 Časové údaje k ultrazvukovému měření v etapě 1.

Deska	Nalepeno	Měření 1 [h]	Měření 2 [h]	Měření 3 [dny]	Měření 4 [dny]	Měření 5 [dny]
A	28/8/2019 3:15 PM	1,67	17,30	1,79	11,94	35,87
B	28/8/2019 2:45 PM	1,65	17,32	1,83	11,98	35,82
C	29/8/2019 12:10 PM	5,50	-	0,96	11,11	-
D	29/8/2019 8:21 AM	0,72	9,20	1,12	11,27	35,04
E	29/8/2019 10:45 AM	6,58	-	1,04	11,18	34,93
F	29/8/2019 1:20 PM	4,12	-	0,93	11,08	34,80

Obklady byly po 35 dnech podrobeny statické zatěžovací zkoušce. Obklad C byl bohužel staticky odzkoušen dříve, než byla provedena zkouška rychlosti UZ vlnění. Z tohoto důvodu bylo poslední ultrazvukové měření provedeno ve stáří 11 dní. Na obrázku 16 je zachyceno měření přístrojem Pundit. Typické výsledky měření jsou zobrazeny v grafu 1.

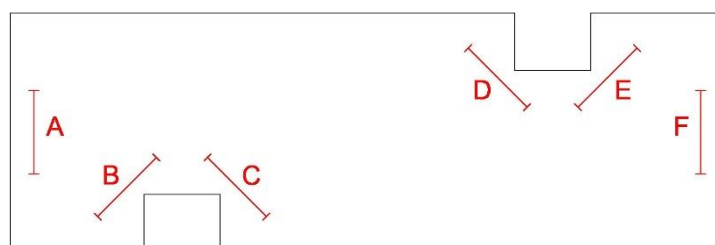


Obr. 16 Ultrazvukové měření v rámci první etapy.

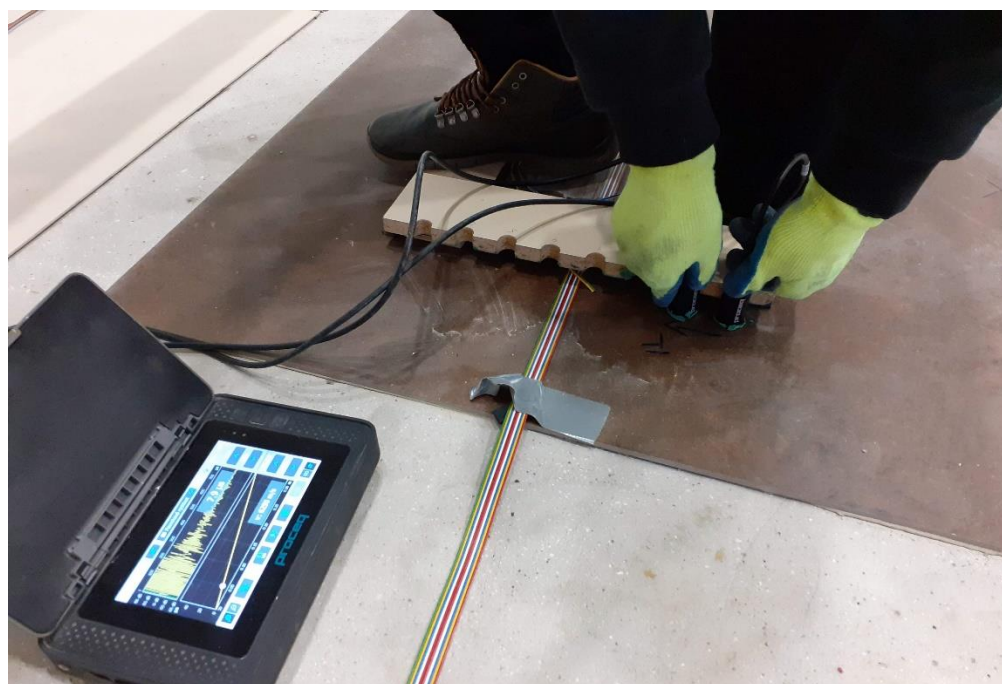


Graf 1 Ukázka naměřených hodnot (měření v rámci první etapy).

Druhá etapa probíhala na přelomu roku 2019 a 2020. Oproti etapě 1, kde byly použity především obklady o rozměru $1,5 \times 3,0$ m, byly v druhé etapě použity obklady o rozměru $1,0 \times 3,0$ m. Velkoformátové obklady v druhé etapě byly nalepeny na jeden velký betonový panel. Po nalepení na podklad byly obklady opět nesmazatelným způsobem identifikovány a označeny měřicími liniemi. Oproti etapě 1 byly v této etapě opatřeny všechny obklady výřezy. Síť linií již nebyla tak hustá jako v případě etapy 1, měřicí linie byly soustředěny především do okolí výřezů. Na každém z obkladů bylo vyznačeno 6 měřících linií (jejich rozmístění je patrné z obr. 17). Stejně jako v etapě 1 byl pro měření použit přístroj Pundit PL-200 a dřevěný přípravek pro měření na stále stejném místě (viz obr. 18). Obklady byly nalepeny 18. 12. 2019 a první ultrazvukové měření proběhlo co nejdříve po nalepení. Následně bylo provedeno ultrazvukové měření ve stáří 1, 28 a 42 dní.

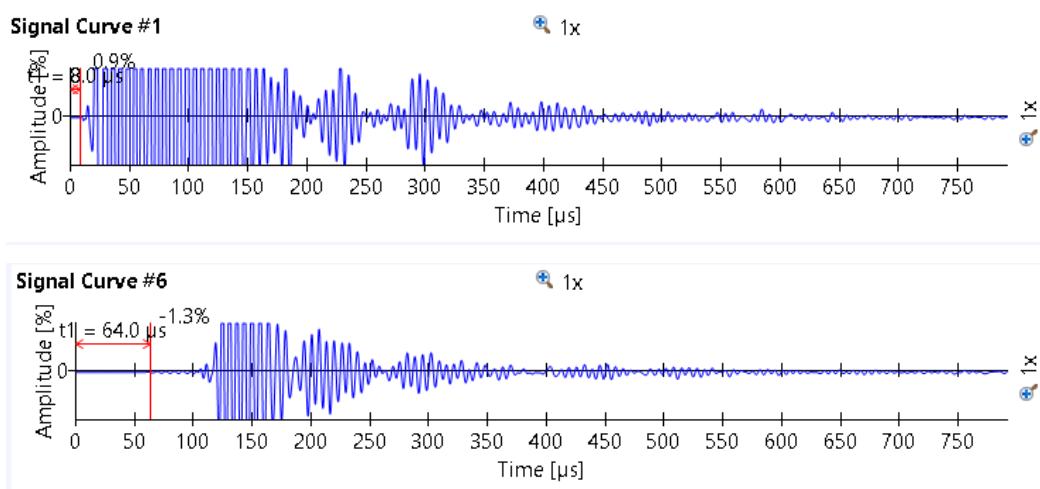


Obr. 17 Uspořádání měřících linií pro měření rychlosti průchodu UZ vlnění v rámci druhé etapy měření.



Obr. 18 Ultrazvukové měření v rámci druhé etapy.

V grafu 2 je zobrazen záznam průchodu ultrazvukového signálu povrchem obkladu v prvním a posledním bodě měření.



Graf 2 Záznam průchodu UZ signálu povrchem keramického obkladu – body 1 a 6.

V následujících tabulkách jsou pro ukázkou zobrazeny průměrné hodnoty šíření rychlosti UZ vlnění v jednotlivých obkladech (v tabulce 9 etapa 1 a v tabulce 10 etapa 2). Tabulky se všemi naměřenými výsledky na jednotlivých liniích v obou etapách se nachází v přílohové části této práce.

Tab. 9 Průměrné hodnoty naměřených rychlostí UZ vlnění na jednotlivých obkladech v etapě 1 [m/s].

Obklad	A	B	C	D	E	F
Měření 1	5451,1	5456,3	5463,7	5553,3	5430,0	5437,8
Měření 2	5081,3	5189,5	-	5471,8	-	-
Měření 3	4953,6	5053,9	4855,2	4785,5	5066,3	5077,9
Měření 4	4997,4	5064,3	4784,7	4571,8	4732,8	5046,6
Měření 5	4945,1	5117,7	-	4646,2	4844,9	5025,4

Tab. 10 Průměrné hodnoty naměřených rychlostí UZ vlnění na jednotlivých obkladech v etapě 2 [m/s].

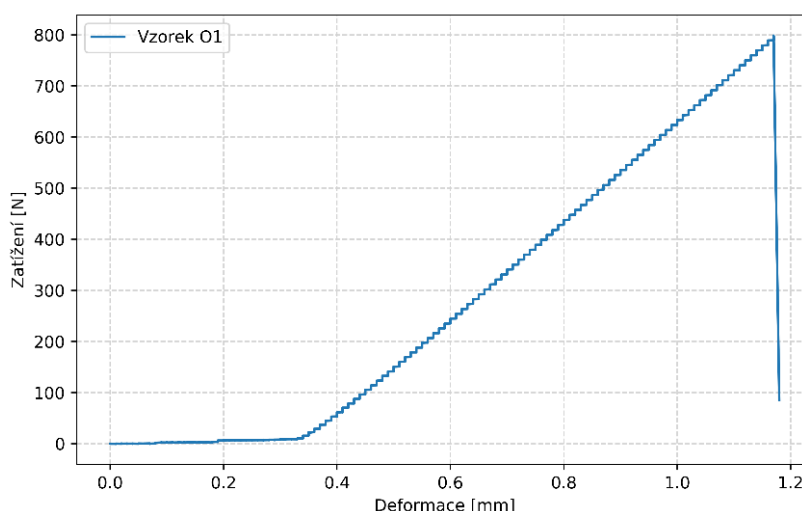
Obklad	A	B	C	D	E
Měření 1	5492,0	5497,8	5497,7	5479,5	5563,8
Měření 2	5202,9	5146,2	5012,4	5363,4	4977,3
Měření 3	4926,8	4938,0	4573,6	5061,2	4645,0
Měření 4	4956,0	4967,9	4475,3	5078,1	4528,8

Z velkoformátových obkladů Iris Iron Corten o tloušťce 6 mm byla za účelem zjištění pevnosti v ohybu a objemové hmotnosti nařezána menší zkušební tělesa – viz kapitola 4.1.2. Po nařezání byla zkušební tělesa vysušena a nesmazatelným způsobem identifikována. Následně byly posuvným měřítkem změřeny všechny rozměry a zkušební tělesa byla zvážena. V tabulce 11 jsou zapsány průměrné rozměry všech těles a jejich hmotnosti. Tabulka je také doplněna o vypočtenou objemovou hmotnost.

Tab. 11 Průměrné hodnoty naměřených rozměrů na tělesech určených pro zkoušku ohybem.

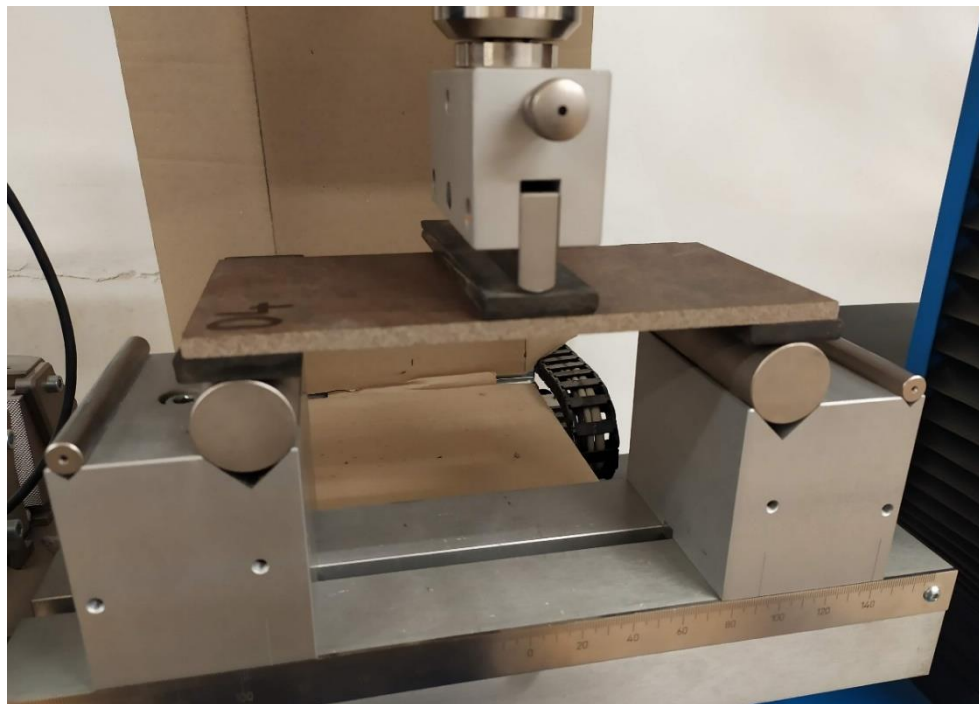
Označení	Øb [mm]	Øh [mm]	ØL [mm]	m [g]	ρ [kg/m ³]
O-1	99,83	5,95	208,03	299,70	2426,7
O-2	103,85	5,83	207,66	303,02	2410,3
O-3	101,49	5,81	208,42	296,94	2414,7
O-4	102,86	5,81	206,87	298,48	2414,3
O-5	99,86	5,97	207,78	300,62	2425,6
O-6	100,45	5,99	206,71	300,80	2419,9
O-7	99,73	5,80	389,92	543,36	2409,0
O-8	100,63	6,00	388,14	562,10	2399,8
O-9	100,85	5,99	388,09	559,06	2383,4

Pevnost v ohybu obkladů byla zkoušena tříbodovým ohybem na stroji LabTest 6.30. Při zkoušení bylo u těles O-1 až O-6 použito rozpětí podpor 180 mm. Tělesa O-4 až O-6 byla při zkoušení opatřena pryžovými podložkami dle normy ČSN EN ISO 10545-4 [14]. Při zkoušení těles O-7 až O-9 bylo použito rozpětí podpor 360 mm. Při zkoušce byla zaznamenána maximální síla a deformace. Typický průběh zkoušky je zobrazen v grafu 3.

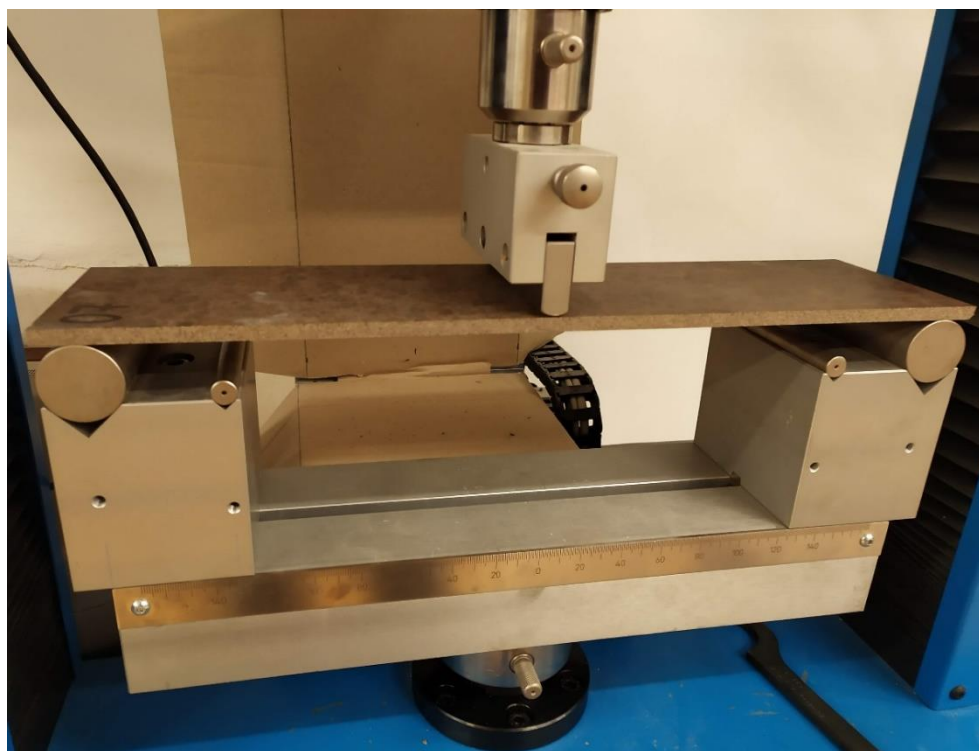


Graf 3 Průběh ohybové zkoušky na keramickém obkladu (těleso O-1).

Na obrázku 19 je zobrazena ohybová zkouška s rozpětím podpor 180 mm, na obrázku 20 ohybová zkouška s rozpětím podpor 360 mm.



Obr. 19 Ohybová zkouška – rozpětí 180 mm, varianta s pryžovými podložkami.



Obr. 20 Ohybová zkouška – rozpětí 360 mm.

Pro zjištění nasákavosti obkladu Iris Iron Corten byla z obkladů nařezána menší zkušební tělesa – viz kapitola 4.1.2. Tělesa byla po nařezání identifikována a umístěna na 24 hodin do sušárny. Po vyjmutí ze sušárny byla tělesa zvážena (m_s) a umístěna do vody. Po uplynutí přibližně 42 hodin byla tělesa povrchově osušena a zvážena (m_1). Na třech ze zkušebních těles byla zkoušena nasákavost po čtyřech hodinách varu (m_2) – viz obr. 21, poté byla tělesa zvážena a umístěna zpět do nádoby s vodou. Všechna tělesa byla ještě jednou zvážena přibližně po 4 dnech ve vodě (m_3). Hmotnosti zkušebních těles jsou zaznamenány v tabulce 12.

Tab. 12 Hmotnosti zkušebních těles sloužících ke stanovení nasákavosti.

Označení	m_s [g]	m_1 [g]	m_2 [g]	m_3 [g]
N-1	206,40	206,48	206,38	206,46
N-2	216,48	216,58	216,52	216,52
N-3	206,36	206,40	206,34	206,44
N-4	205,04	205,08	-	205,06
N-5	205,52	205,56	-	205,56
N-6	206,56	206,58	-	206,58



Obr. 21 Zkouška nasákavosti varem.

Poslední zkouškou, sloužící pro doplnění experimentu týkajícího se velkoformátových obkladů, bylo zkoušení rychlosti šíření ultrazvukového vlnění při zatížení. Za tímto účelem byla vyrobena 4 zkušební tělesa (viz kapitola 4.1.2). Zkouška spočívala v uchycení pásu, vyříznutého z velkoformátového obkladu, do lisu a postupného zatěžování tahem. Při zatěžování se na jednotlivých zatěžovacích stupních měřila rychlost průchodu ultrazvukového vlnění obkladem. První zkušební těleso ultrazvukem měřeno nebylo, sloužilo pouze ke stanovení orientační hodnoty pevnosti materiálu v tahu. K ultrazvukovému měření bylo použito, stejně jako u měření na celých obkladech, přístroje Pundit PL-200 a dřevěného přípravku pro přesné osazení sond do stejného místa. Naměřené hodnoty rychlostí šíření ultrazvuku, při jednotlivých zatěžovacích stupních, jsou zobrazeny v tabulce 13. Maximální dosažené síly při zatížení tahem v tabulce 14. Průběh zkoušky je patrný z obr. 22.



Obr. 22 Zkouška rychlosti šíření UZ vlnění při zatížení.

Tab. 13 Naměřené rychlosti ultrazvukového vlnění při zatěžování.

F [kN]	Rychlost UZ v _L [m/s]		
	T-2	T-3	T-4
0	5190	5179	5213
1	5225	5398	5241
2	5164	5102	5123
3	5136	4881	5391
4	5289	5019	5221
6	5230	4955	5604
8	5400	5401	5224
10	-	5265	5416
12	-	5213	-
14	-	5403	-

Tab. 14 Maximální síly a počet stupňů zatížení při zkoušce ultrazvuku při zatížení.

Označení	Počet kroků zatížení	F _{max} [kN]
T-1	1	19,40
T-2	6	10,00
T-3	9	15,95
T-4	7	11,35

4.2 CEMENTOVÁ LEPIDLA

4.2.1 Popis a metodika práce

Cílem druhé části experimentu bylo stanovit charakteristiky cementových lepidel použitých v první části. První lepidlo, označené jako typ 1, je deformovatelné cementové lepidlo s prodlouženou otevřenou dobou a sníženým skluzem (třída C2TES1 [30]). Druhé lepidlo, označené jako typ 2, je vysoce deformovatelné cementové lepidlo s prodlouženou otevřenou dobou (třída C2ES2 [30]), standardně tuhnoucí, s vysokou mírou vylehčení a silnou modifikací pomocí práškového polymerního pojiva. Třetí lepidlo, označené jako typ 3, je jednosložkové vysoce deformovatelné vylehčené cementové lepidlo, s prodlouženou dobou zavadtnutí (třída C2ES2 [30]). První dvě lepidla jsou od firmy Profibausoffe a třetí lepidlo od firmy Mapei (viz tabulka 4 v kapitole 4.1.2).

Od každého lepidla bylo v listopadu roku 2020 vyrobeno 7 zkušebních těles pro zkoušky pevností a 5 zkušebních těles pro zkoušky modulů pružnosti. Pevnosti lepidel v tlaku a v ohybu byly zkoušeny ve stáří 1, 7 a 28 dní. Na zkušebních tělesech určených ke sledování modulu pružnosti byly ultrazvukovým a rezonančním měřením určeny dynamické moduly pružnosti ve stáří 1, 3, 7, 14 a 28 dní. Tyto zkoušky byly doplněny zkouškami statického modulu pružnosti, které byly provedeny ve stáří 7 a 28 dní. Předpokladem bylo vyrobit z každého lepidla 3 zkušební tělesa pro měření smrštění, bohužel při odformování těles došlo u některých k poškození. Výroba těles pro smrštění byla proto provedena několikrát. Celkem bylo pro účely měření smrštění vyrobeno 21 zkušebních těles. Od každého lepidla byl také po výrobě odebrán vzorek, který byl umístěn do zařízení Vikasonic, které kontinuálně měří dobu průchodu ultrazvuku materiálem.

4.2.2 Zkušební tělesa

Základními zkušebními tělesy pro zkoušky pevností a modulů pružnosti na lepidlech byly trámečky o rozměrech 40 × 40 × 160 mm. Za účelem měření smrštění lepidel byly vyrobeny trámečky o rozměrech 10 × 40 × 160 mm. Jak již bylo zmíněno v předchozí kapitole, výroba těchto tenkých těles z cementových lepidel byla značně problematická. Při odformování ve stáří jednoho dne došlo u některých těles k porušení. Proto byla tato tělesa vyrobena na tříkrát a pro úspěšné odformování musela být u některých těles použita speciální teflonová fólie. Některá tělesa byla po výrobě zakryta skleněnými destičkami podle ČSN EN 12808 – 4 [34], aby bylo možné porovnat vliv zakrytí těles po výrobě. Smrštění bylo také pro doplnění měřeno

na větších trámečcích o rozměru 40 × 40 × 160 mm (aby bylo možné porovnat výsledky s tělesy předepsanými normou [34]). Podrobné receptury jednotlivých lepidel a přesné počty vyrobených těles jsou patrné z následujících tabulek a obrázků.

V tabulce 15 je uvedena receptura při výrobě první sady těles (pro zkoušky pevností, modulů pružnosti a první sady těles pro měření smrštění). Při výrobě ostatních těles byl dodržen stejný poměr vody a suché složky. Při výrobě všech druhů lepidel byl dodržen poměr vody a suché složky udávaný výrobcem. V tabulce 16 jsou uvedeny přesné počty a typy vyrobených těles v první sadě. Na obrázcích 23 a 24 je zachycena výroba zkušebních těles.

Tab. 15 Označení a receptura použitých lepidel.

PROFI PREMIUM FLEX KLEBER C2TES1	
Označení	Lepidlo 1
Suchá složka	5 kg
Voda	1,4 kg
PROFI PREMIUM KLEBER S2 LEICHT	
Označení	Lepidlo 2
Suchá složka	5 kg
Voda	2,0 kg
MAPEI ULTRALITE S2	
Označení	Lepidlo 3
Suchá složka	5 kg
Voda	2,06 kg

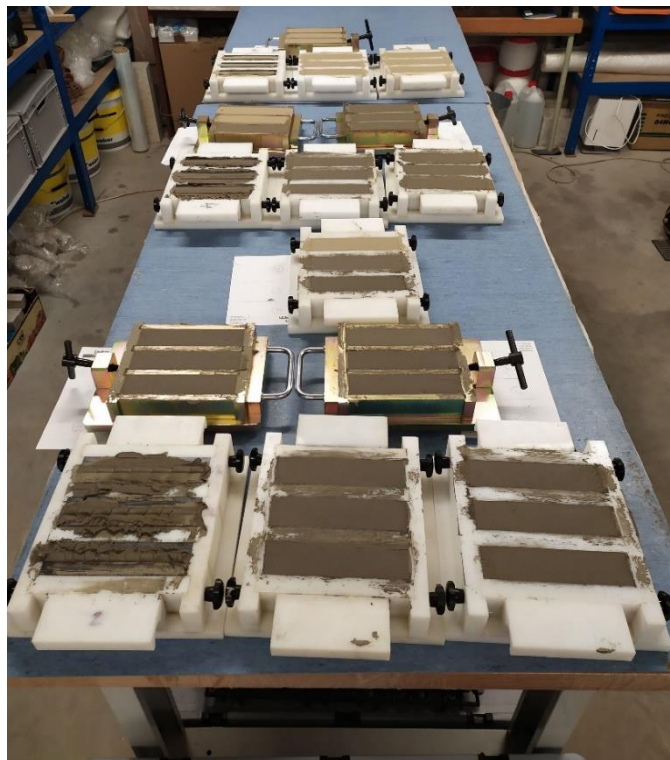
Tab. 16 První sada těles z cementových lepidel.

Vyrobeno: 3. 11. 2020							
Označení	Lepidlo	b [mm]	h [mm]	l [mm]	Účel	Počet	Pozn.
E	1	40	40	160	moduly	5	nezakryté
E	2	40	40	160	moduly	5	nezakryté
E	3	40	40	160	moduly	5	nezakryté
P	1	40	40	160	pevnosti	7	nezakryté
P	2	40	40	160	pevnosti	7	nezakryté
P	3	40	40	160	pevnosti	7	nezakryté
S	1	10	40	160	smrštění	2*	nezakryté
S	2	10	40	160	smrštění	1*	nezakryté
S	3	10	40	160	smrštění	2*	nezakryté

* v plánu bylo vyrobit od každého lepidla 3 tělesa, uvedené počty jsou počty těles, které se bez porušení podařilo odformovat.



Obr. 23 Výroba první sady zkušebních těles – lepidlo 2 (3. 11. 2020).



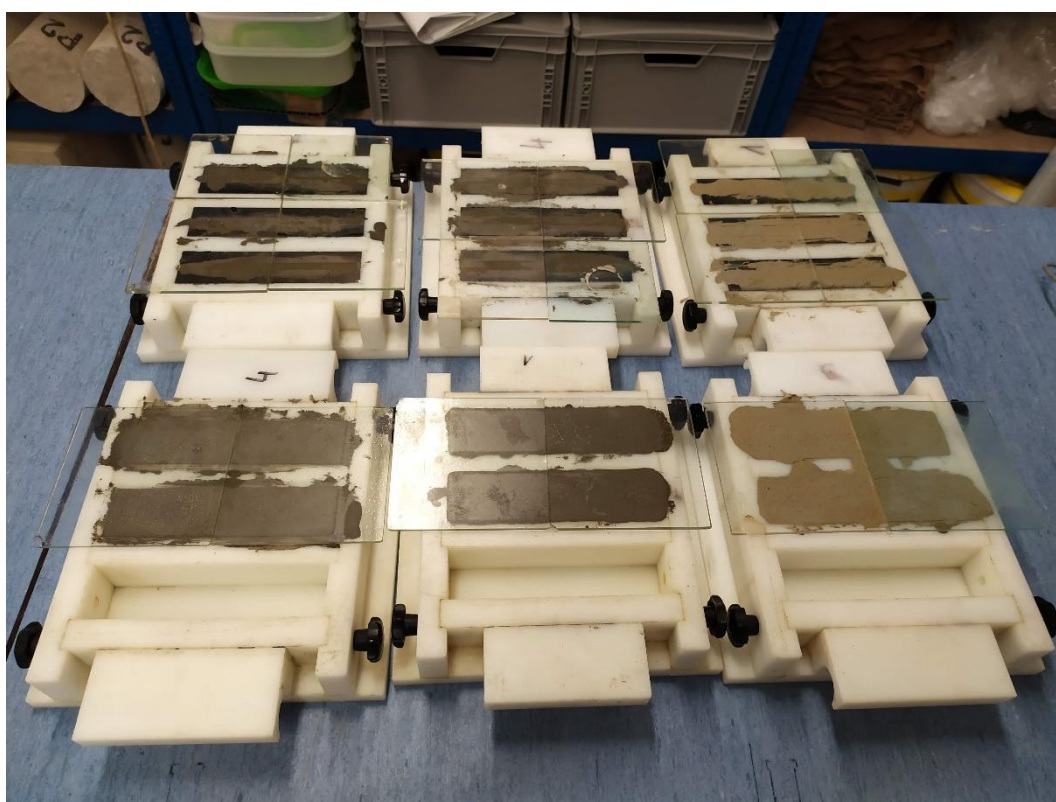
Obr. 24 Výroba první sady zkušebních těles (3. 11. 2020).

V tabulce 17 a 18 jsou uvedeny počty a typy vyrobených zkušebních těles z druhé a třetí sady. Obrázky 25-27 zachycují uložení zkušebních těles po výrobě a následně mezi zkouškami.

Tab. 17 Druhá sada těles z cementových lepidel.

Vyrobeno: 10. 11. 2020							
Označení	Lepidlo	b [mm]	h [mm]	l [mm]	Účel	Počet	Pozn.
S	1	10	40	160	smrštění	2*	zakryté
S	3	10	40	160	smrštění	2*	zakryté
S	1	40	40	160	smrštění	2	zakryté
S	2	40	40	160	smrštění	2	zakryté
S	3	40	40	160	smrštění	2	zakryté

* v plánu bylo vyrobít od každého lepidla 3 tělesa, uvedené počty jsou počty těles, které se bez porušení podařilo odformovat.



Obr. 25 Výroba druhé sady zkušebních těles (10. 11. 2020).

Tab. 18 Třetí sada těles z cementových lepidel.

Vyrobeno: 23. 11. 2020							
Označení	Lepidlo	b [mm]	h [mm]	l [mm]	Účel	Počet	Pozn.
S	2	10	40	160	smrštění	3	zakryté
S	2	10	40	160	smrštění	3	nezakryté



Obr. 26 Zkušební tělesa pro měření smrštění lepidel.

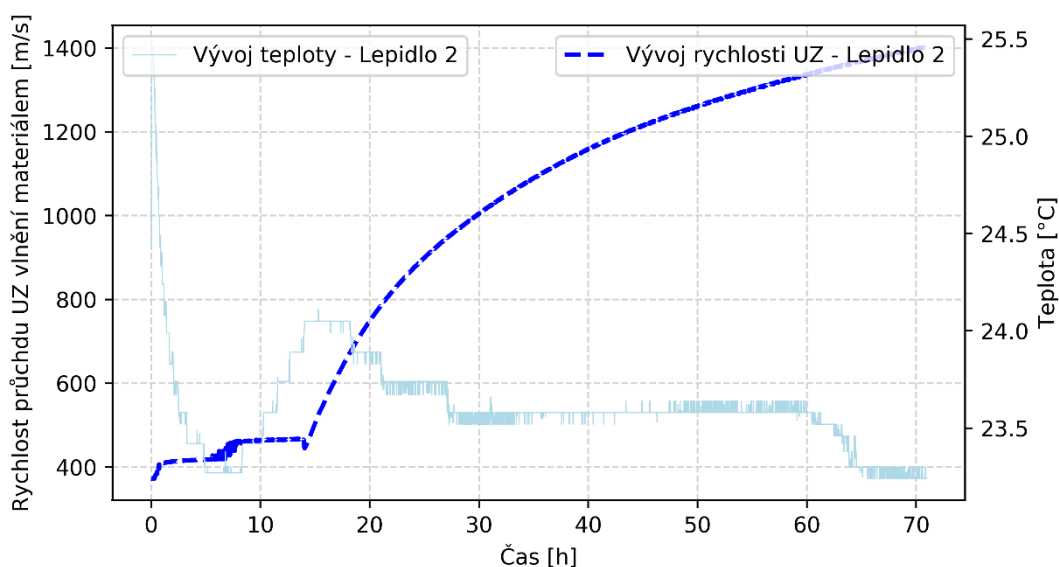


Obr. 27 Zkušební tělesa pro zkoušky pevností a modulů pružnosti.

4.2.3 Průběh zkoušení

Tělesa byla odformována přibližně 24 hodin po výrobě, poté byla nesmazatelným způsobem identifikována. Před provedením příslušných druhů zkoušek byla zkušební tělesa změřena posuvným měřítkem a zvážena. Rozměry a hmotnosti jednotlivých zkušebních těles jsou uvedeny v přílohové části práce.

Při výrobě zkušebních těles byla část materiálu použita do přístroje Vikasonic, který kontinuálně měří rychlost průchodu ultrazvukového vlnění materiálem. Tímto přístrojem byla postupně odzkoušena všechna tři zkoumaná lepidla. Výstupem z přístroje byla rychlost šíření ultrazvukového vlnění materiálem v prvních desítkách hodin po výrobě. V grafu 4 je zachycen průběh rychlosti šíření ultrazvuku a vývoj teploty v lepidle 2.

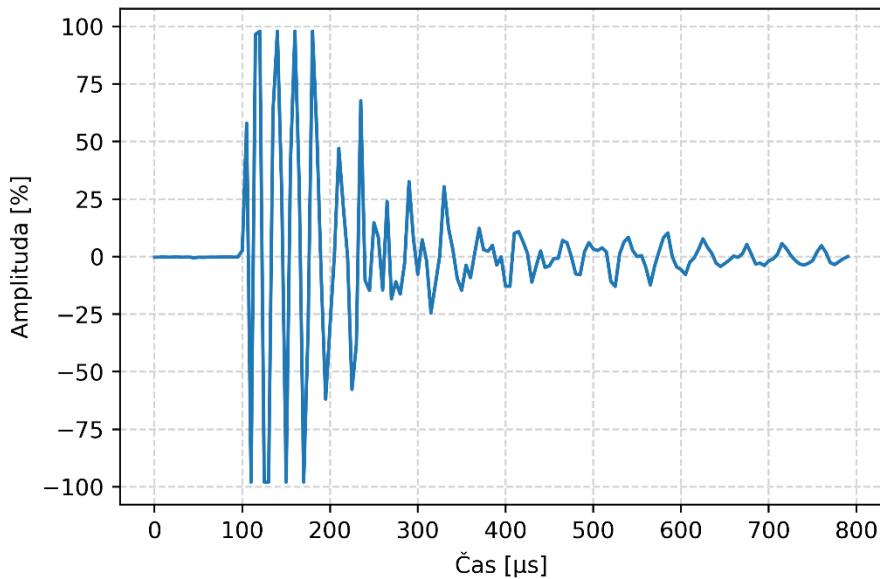


Graf 4 Rychlost průchodu UZ vlnění lepidlem 2 v prvních 40 hodinách od výroby.

První zkouškou prováděnou na zkušebních tělesech z cementových lepidel bylo stanovení dynamických modulů pružnosti rezonanční a ultrazvukovou impulzovou metodou. První měření proběhlo ve stáří jednoho dne. Měření bylo opakováno ve stáří 3, 7, 14 a 28 dní. Pro ultrazvukové měření bylo použito přístroje Pundit PL-200. Při měření bylo využito přímé metody měření (viz kapitola 3.3.1). Po kalibraci přístroje pomocí ethalonu, bylo každé zkušební těleso v jednotlivých časech měřeno třikrát (dole, uprostřed a nahoře) v podélné ose. Do výpočtu rychlosti UZ a následného dynamického modulu pružnosti vstupovala průměrná hodnota rychlosti UZ vlnění. V tabulce 19 jsou zobrazeny průměrné hodnoty rychlosti šíření ultrazvuku na zkušebních tělesech. V grafu 5 je zobrazen průchod signálu tělesem při měření.

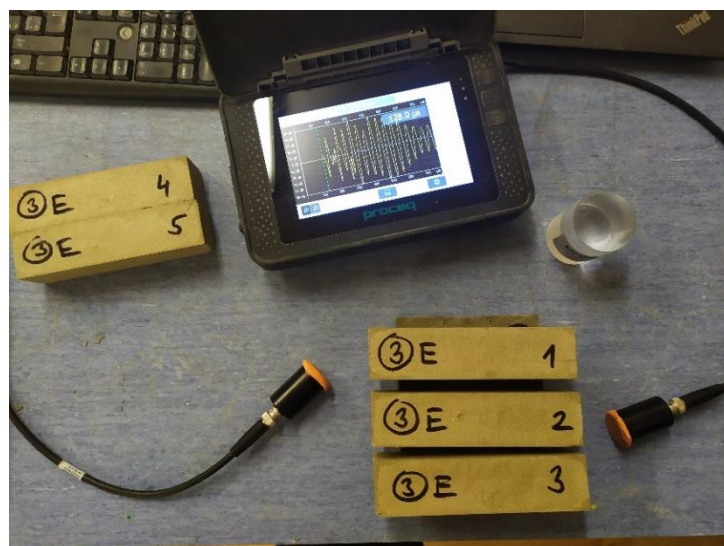
Tab. 19 Rychlost průchodu UZ impulsu tělesy v měřených časech.

Vzorek	v_L [m/s]				
	1 den	3 dny	7 dní	14 dní	28 dní
L01-E1	1711,04	2135,05	2286,91	2334,11	2378,02
L01-E2	1659,52	2105,39	2263,37	2299,43	2352,38
L01-E3	1706,53	2156,28	2253,80	2322,21	2354,10
L01-E4	1677,51	2133,70	2275,68	-	-
L01-E5	1706,09	2124,12	2262,36	-	-
L02-E1	1335,08	1903,44	2088,52	2155,75	2180,21
L02-E2	1316,01	1866,85	2059,61	2136,43	2187,02
L02-E3	1315,55	1918,37	2085,53	2149,87	2198,12
L02-E4	1277,23	1884,40	2050,90	-	-
L02-E5	1329,65	1913,59	2068,55	-	-
L03-E1	1272,68	1843,88	2002,72	2062,42	2073,13
L03-E2	1207,84	1814,97	1974,11	2043,30	2056,46
L03-E3	1279,56	1827,28	1996,38	2082,27	2094,10
L03-E4	1195,60	1824,52	1976,31	-	-
L03-E5	1228,14	1832,27	1980,00	-	-



Graf 5 Křivka signálu UZ při průchodu tělesem L01-E5 ve stáří 1 den.

Na obrázku 28 je zobrazen použitý přístroj Pundit PL-200 se sondami o frekvenci 150 kHz. Na obrázku je také vidět plastelína nanesená na povrchu sond (slouží k zajištění dobrého akustického spojení) a kalibrační válec (etalon).



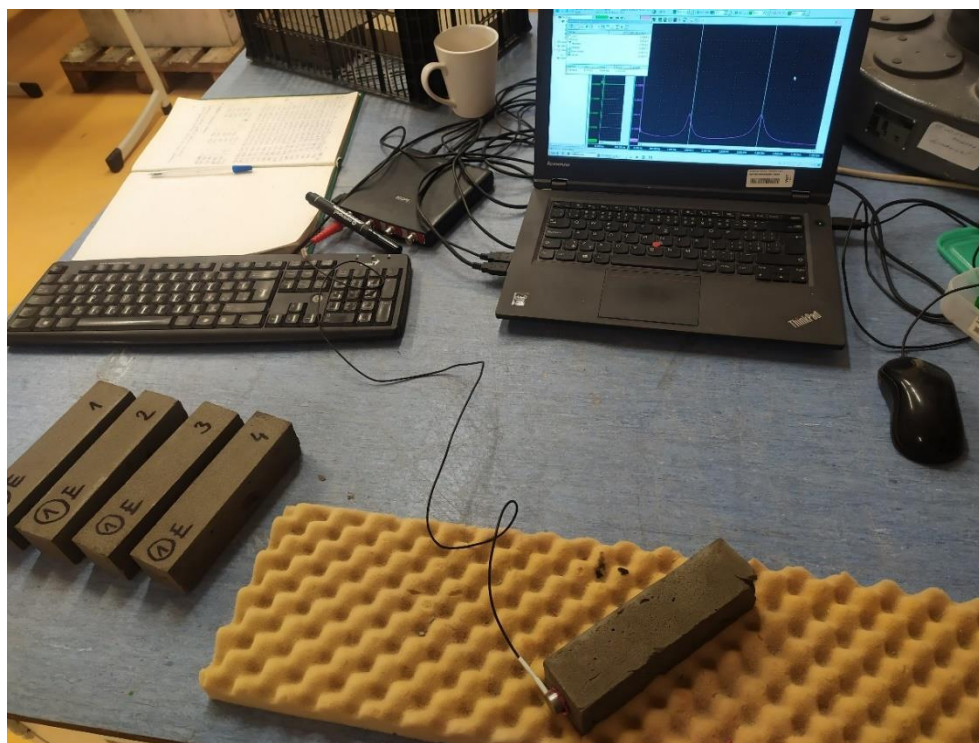
Obr. 28 Měření rychlosti průchodu UZ impulsu zkušebními tělesy z lepidla 3.

Dynamické moduly pružnosti byly na tělesech z cementových lepidel stanoveny i rezonanční metodou. Rozkmitání zkušebního tělesa bylo provedeno vnesením mechanického impulsu kovovým kladívkem. Vlastní frekvence byly zjištěny pomocí snímače osciloskopu Handyscope HS4 umístěného na zkušebních tělesech a softwaru Multi Chanel oscilloscope v počítači (ten pracuje na principu rychlé Fourierovi transformace). První byla měřena vlastní frekvence podélného kmitání (uspořádání snímače a budiče viz kapitola 3.3.2). Naměřené hodnoty prvních vlastních frekvencí na jednotlivých tělesech jsou zobrazeny v tabulce 20.

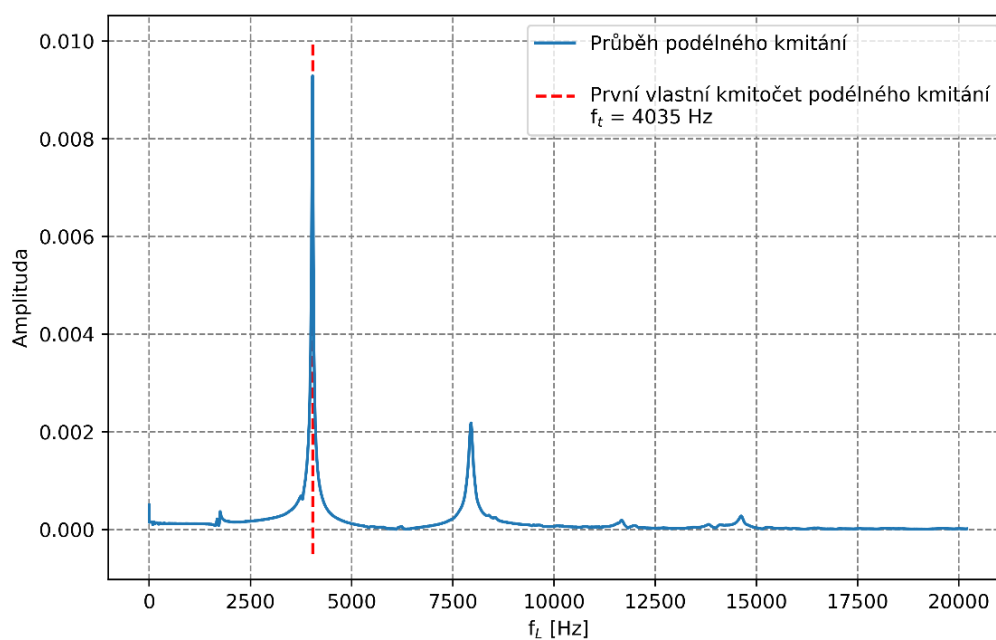
Tab. 20 První vlastní frekvence podélného kmitání v měřených časech.

Těleso	f_L [Hz]				
	1 den	3 dny	7 dní	14 dní	28 dní
L01-E1	4016	5638	6235	6348	6522
L01-E2	4016	5638	6239	6378	6522
L01-E3	4016	5689	6278	6348	6564
L01-E4	4051	5689	6322	-	-
L01-E5	4030	5629	6247	-	-
L02-E1	2685	4592	5477	5750	5897
L02-E2	2685	4592	5490	5774	5936
L02-E3	2685	4592	5497	5787	5936
L02-E4	2664	4592	5490	-	-
L02-E5	2692	4652	5490	-	-
L03-E1	2621	4507	5268	5470	5612
L03-E2	2621	4507	5268	5470	5589
L03-E3	2621	4507	5294	5433	5589
L03-E4	2586	4455	5255	-	-
L03-E5	2586	4490	5255	-	-

Na obrázku 29 je zachyceno měření rezonanční metodou, v grafu 6 záznam frekvenčního spektra podélného kmitání jednoho ze zkoušených těles.



Obr. 29 Zkoušení pomocí rezonanční metody – lepidlo 1.



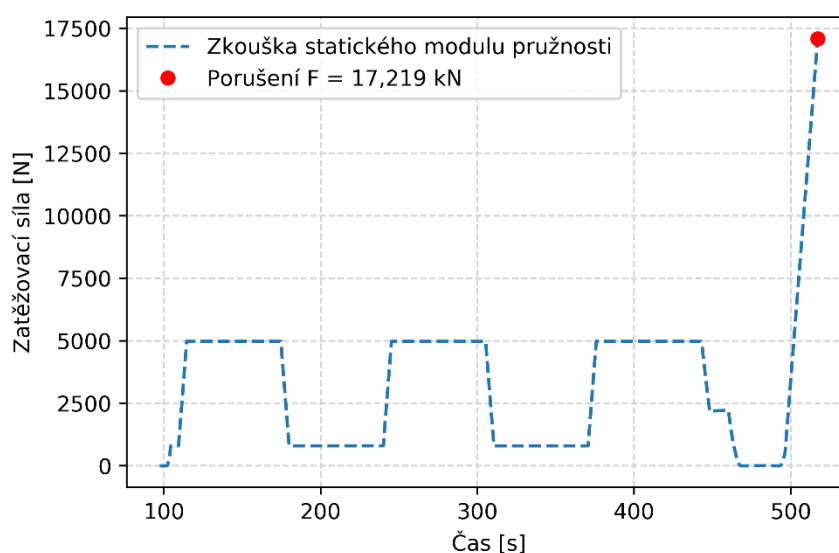
Graf 6 Záznam frekvenčního spektra podélného kmitání na zkušebním tělese L01-E05 ve stáří 1 den.

Dále byly rezonanční metodou měřeny první vlastní frekvence příčného a kroutivého kmitání (uspořádání snímače a budiče viz kapitola 3.3.2). V tabulce 21 jsou uvedeny poměry prvních vlastních kmitočtů podélného, příčného a kroutivého kmitání. Hodnoty v tabulce jsou průměrné hodnoty z celé sady.

Tab. 21 Poměry podélného, příčného a torzního kmitání zkušebních těles ($f_i : f_i : f_j$)

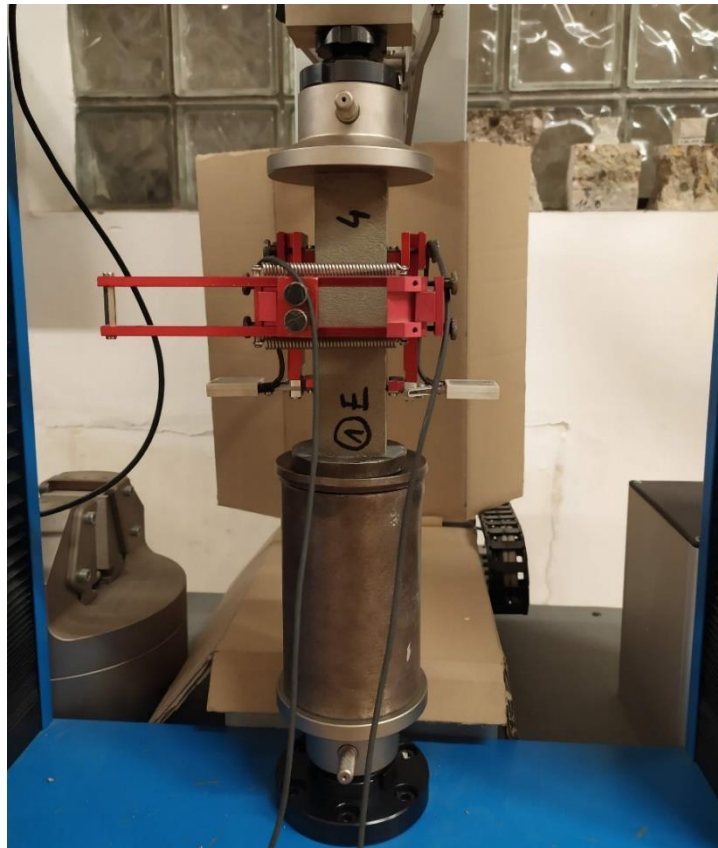
Lepidlo	1 den	3 dny	7 dní	14 dní	28 dní
1	1 : 0,43 : 0,59	1 : 0,44 : 0,61	1 : 0,44 : 0,60	1 : 0,45 : 0,61	1 : 0,44 : 0,61
2	1 : 0,42 : 0,56	1 : 0,45 : 0,62	1 : 0,44 : 0,60	1 : 0,43 : 0,60	1 : 0,44 : 0,61
3	1 : 0,42 : 0,55	1 : 0,46 : 0,62	1 : 0,44 : 0,61	1 : 0,44 : 0,62	1 : 0,44 : 0,61

Ve stáří 7 a 28 dní byl na zkušebních tělesech zkoušen také statický modul pružnosti, ve stáří 7 dní na dvou zkušebních tělesech a ve stáří 28 dní na třech zkušebních tělesech (od každého lepidla). Pro zkoušku statického modulu pružnosti bylo využito stroje LabTest 6.30, elektronických tenzometrů LD-DD1-2 s měřicí základnou 40 mm, datové ústředny Spider 8 a softwaru Catman. Před zkouškou byla zkontrolována centraxe zkušebního tělesa. Dolní síla při zatěžování byla nastavena na 800 N, což odpovídá napětí 0,5 MPa. Horní síla byla nastavena tak, aby vyvozené napětí odpovídalo přibližně třetině pevnosti materiálu. Na grafu 7 je zobrazen průběh zkoušky statického modulu pružnosti (záznam působící síly v čase) i s následným zatížením tělesa do porušení (těleso z lepidla 1 ve stáří 28 dní).



Graf 7 Zkouška statického modulu pružnosti na tělese L01-E1 ve stáří 28 dní.

Uspořádání zkoušky statického modulu pružnosti je patrné z obrázku 30. Na obrázku 31 je zobrazeno těleso po zkoušce statického modulu pružnosti, které bylo zatíženo do porušení.

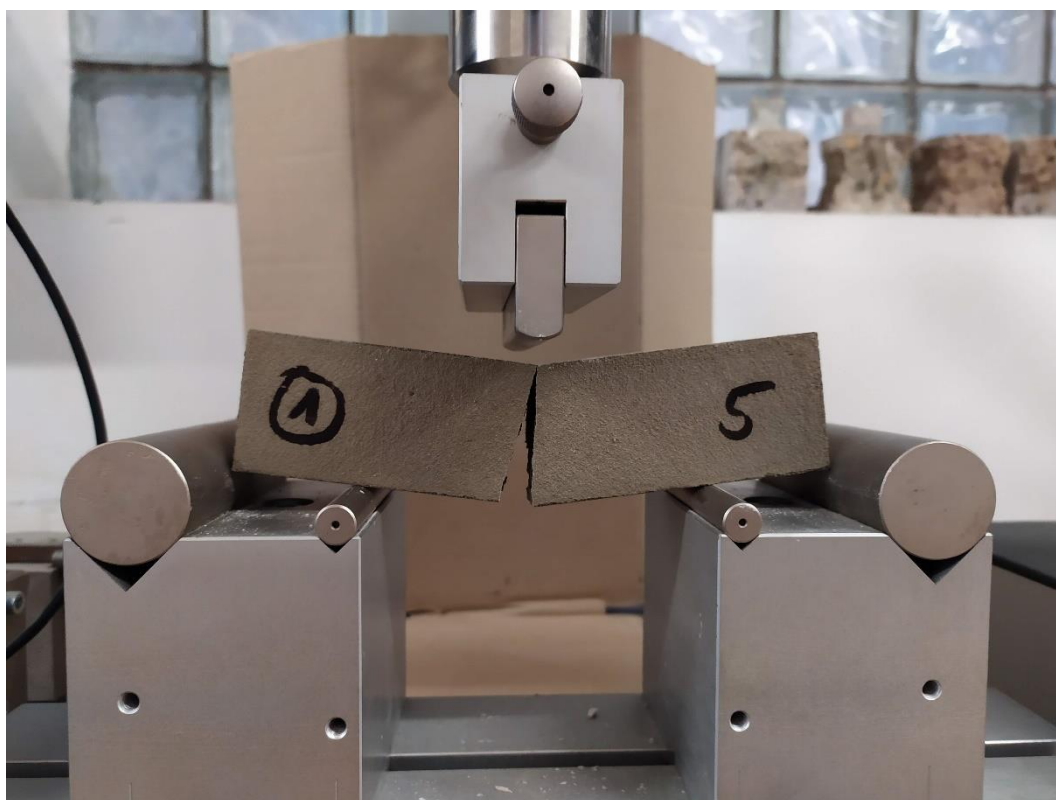


Obr. 30 Zkouška statického modulu pružnosti na tělese L01-E4.



Obr. 31 Zkouška pevnosti v tlaku, která následovala po zkoušení modulu pružnosti.

Na zkušebních tělesech z cementových lepidel byly provedeny také pevnostní zkoušky, zkoušena byla pevnost v ohybu a pevnost v tlaku na zlomcích. Tyto zkoušky byly prováděny ve stáří těles 1, 7 a 28 dní. Ve stáří 1 a 7 dní byla od každého lepidla odzkoušena dvě tělesa, ve stáří 28 dní od každého lepidla 3 zkušební tělesa. Pevnostní zkoušky byly provedeny na stroji LabTest 6.30. První byla zkoušena pevnost zkušebních těles v ohybu. Zkušební tělesa byla uložena do lisu tak, aby byla zatěžována strana kolmá na směr hutnění a tak, aby byla podélná osa trámečku kolmá k podporám. Po provedení ohybové zkoušky byla na zlomcích provedena zkouška tlaková, zde bylo použito přípravku na zkoušení zlomků. Tělesa byla opět uložena tak, aby byla zatěžována kolmo na směr hutnění. Na obrázku 32 je zachycena zkouška tělesa z lepidla 1, na obrázku 33 zkouška pevnosti v tlaku na stejném tělese.



Obr. 32 Zkouška pevnosti v ohybu – zkušební těleso z lepidla 1.



Obr. 33 Zkušební těleso z lepidla 1 po zkoušce pevnosti v tlaku.

Poslední zkoušenou vlastností cementových lepidel bylo smrštění. Zkušební tělesa (viz kapitola 4.2.2) byla po odformování identifikována nesmazatelným způsobem. Na tělesa byly také nakresleny značky, aby byla u každého zkoušení zaručena stejná orientace. Následně byla zkušební tělesa poprvé změřena a zvážena. Tělesa byla uložena na roštích bez ošetřování (tak, aby mohlo docházet k samovolnému vysychání rovnoměrně všemi stranami) v klimatické místnosti s konstantní teplotou a vlhkostí vzduchu – $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$ a $(55 \pm 5) \%$. V prvních dnech bylo smrštění měřeno přibližně po dvanácti hodinách, v pozdější fázi již s delšími časovými rozestupy. Každé měření spočívalo v měření podélného rozměru tělesa a jeho zvážení, k měření byl použit přístroj pro měření smrštění, osazený digitálním úchylkoměrem MarCator 1086 R. Před i po měření každé sady těles bylo nastavení přístroje s úchylkoměrem ověřeno pomocí ethalonu. Naměřené vzdálenosti i hmotnosti byly zaznamenány do tabulek. Na následujících obrázcích je zobrazen měřicí přístroj při měření kalibračního ethalonu z invaru (obr. 34) a také měření zkušebního tělesa z lepidla 1 (obr. 35).

Měření bylo ukončeno 21. 12. 2020, což je v závislosti na datu výroby jednotlivých zkušebních těles stáří přibližně 27 až 47 dní. Výsledky smrštění a úbytku hmotnosti u všech druhů zkušebních těles byly zaznamenány do tabulek a následně byl do grafů vynesena časový průběh smrštění a úbytku hmotnosti. Na závěr byl také vyhodnocen vliv zakrytí nebo nezakrytí těles po výrobě a průběh smrštění u těles s rozměry $10 \times 40 \times 160 \text{ mm}$ a $40 \times 40 \times 160 \text{ mm}$.



Obr. 34 Zkušební zařízení pro měření smrštění, měření kalibračního etalonu.



Obr. 35 Měření smrštění na zkušebním tělese z cementového lepidla.

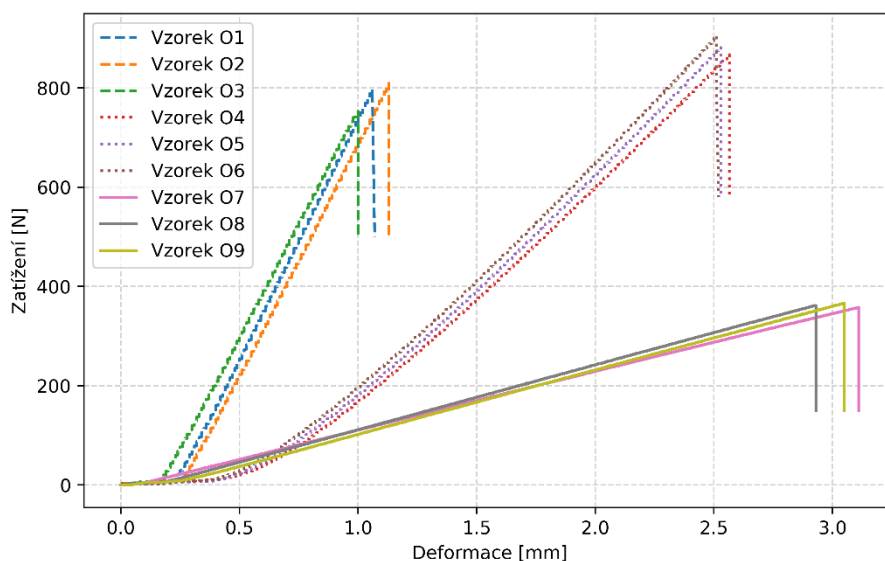
4.3 ZPRACOVÁNÍ, VYHODNOCENÍ ZKOUŠEK A JEJICH DISKUZE

Jako první byly vyhodnoceny doplňující zkoušky na zkušebních tělesech vyřezaných z velkoformátových obkladů. V tabulce 22 jsou uvedeny vypočtené hodnoty pevností obkladových prvků v ohybu.

Tab. 22 Vyhodnocení zkoušky pevnosti obkladového prvku v ohybu.

Označení	L_r [mm]	b [mm]	h [mm]	F_{max} [N]	f_{cf} [MPa]
O-1	180,00	94,63	5,94	799	64,72
O-2	180,00	103,90	5,84	810	61,82
O-3	180,00	101,59	5,80	753	59,49
O-4	180,00	102,90	5,78	867	68,09
O-5	180,00	99,73	5,97	881	67,03
O-6	180,00	100,34	5,97	904	68,37
O-7	360,00	99,75	5,82	358	57,31
O-8	360,00	100,45	6,03	362	53,61
O-9	360,00	102,28	6,01	366	53,50

Průběh zatěžování je zobrazen v grafu 8. Z tabulky je zřejmé, že u těles, u kterých byla při zkoušení použita pryžová podložka (tělesa O-4 až O-6), je vypočtená pevnost v ohybu o něco vyšší než u těles bez pryžové podložky (podle provedeného statistického testu však není možné rovnosti středních hodnot na hladině významnosti 0,05 zamítnout). Naopak u těles, které byly zkoušeny s větším rozpětím podpor (O-7 až O-9), je vypočtená pevnost o něco nižší.



Graf 8 Průběh zkoušek tříbodového ohybu na všech tělesech z velkoformátových obkladů.

Objemová hmotnost u jednotlivých zkušebních těles je vypočtená již v kapitole 4.1.3. Průměrná objemová hmotnost na všech zkoušených tělesech byla 2412 kg/m^3 . Při zkoušce nasákavosti byly zjištěny velmi malé hodnoty nasákavosti, ty jsou zobrazeny v tabulce 23 (při výpočtu byla uvažována nejvyšší hmotnost nasycených těles, viz kapitola 4.1.2).

Tab. 23 Vyhodnocení zkoušky nasákavosti těles z velkoformátových obkladů.

Označení	m_s [g]	m_n [g]	Nasákavost [%]
N-1	206,40	206,48	0,04
N-2	216,48	216,58	0,05
N-3	206,36	206,44	0,04
N-4	205,04	205,08	0,02
N-5	205,52	205,56	0,02
N-6	206,56	206,58	0,01

V první části experimentů byla na 11 nalepených velkoformátových obkladech zjišťována rychlost šíření ultrazvukového vlnění. V rámci vyhodnocení byla pro doplnění experimentu provedena statistická analýza, která zkoumala vliv počtu měřených bodů při měření nepřímou ultrazvukovou metodou (tzn. počet poloh přijímače při měření). V tabulce 24 jsou uvedeny hodnoty vypočtených rychlostí šíření ultrazvuku na jednotlivých liniích velkoformátového obkladu F z první etapy měření. V případě použití pouze jednoho měřeného bodu (tedy při měření vysílač-přijímač na délce základny, kterou ovšem není možné přesně stanovit, jedná se v tomto případě pouze o doplňkové vyhodnocení) byla rychlost šíření ultrazvuku vypočtena z doby průchodu a délky základny uvažované jako vzdálenost středů sond. V případě dvou a více měřených bodů byla rychlost šíření ultrazvuku vypočtena jako tangenta přímky proložené body v grafu (tedy standardně podle normy [41]).

Tab. 24 Vyhodnocené rychlosti UZ vlnění v závislosti na počtu uvažovaných bodů při měření [m/s].

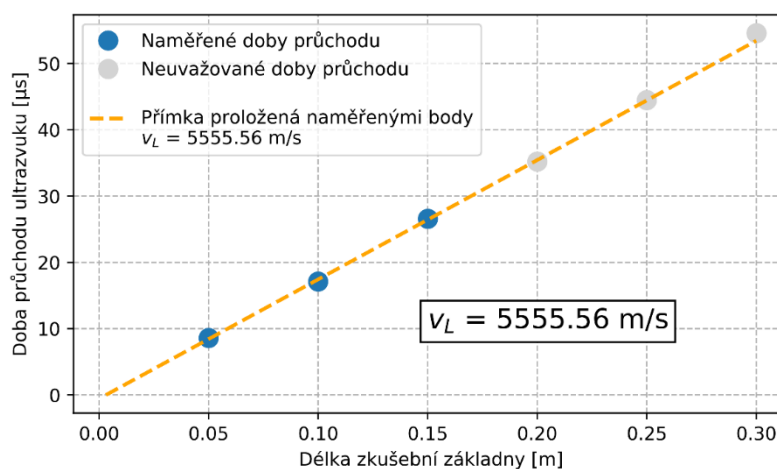
Linie	1 bod	2 body	3 body	4 body	5 bodů	6 bodů
A	6173	5435	5405	5325	5319	5350
B	5814	5682	5525	5537	5543	5521
C	5814	5882	5556	5599	5562	5455
D	6098	5320	5376	5400	5400	5413
E	6329	5618	5405	5394	5400	5415
F	5495	5319	5405	5476	5507	5496
G	6024	5618	5556	5531	5459	5410
H	6410	5556	5525	5459	5444	5443

U dat pro každý počet bodů byl proveden test normality. U všech počtů bodů byl výsledek testu takový, že normalitu dat nezamítnul. Z tohoto důvodu bylo možné na tato data použít dvouvýběrový Studentův t-test. Testována byla rovnost středních hodnot rychlostí UZ (při použití jednotlivých počtů bodů) vůči plnému počtu šesti použitých bodů při výpočtu. Průměry, směrodatné odchylky, variační koeficienty a p-hodnoty normality a t-testů jsou uvedeny v tabulce 25.

Tab. 25 Statistická analýza použitého počtu měřených bodů při vyhodnocení rychlosti šíření UZ impulsu.

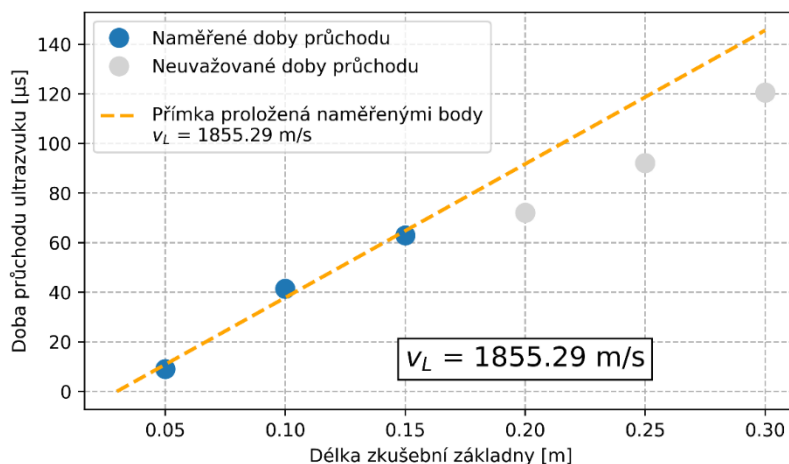
Označení	Průměr [m/s]	Sm.odch. [m/s]	Var.koef [-]	Normalita	t-test
1 bod	6020	302	0,0501	0,814	0,002
2 body	5554	191	0,0345	0,927	0,123
3 body	5469	78	0,0142	0,058	0,298
4 body	5465	90	0,0164	0,924	0,289
5 bodů	5454	82	0,0150	0,911	0,329
6 bodů	5438	54	0,0099	0,979	-

Z dat v tabulce 25 je patrné, že při aplikaci statistického testu na rovnost středních hodnot mezi šesti použitými body a ostatním počtem použitých bodů (poloh přijímače), na hladině významnosti 0,05, můžeme rovnost středních hodnot zamítnout pouze při použití jednoho bodu. V případě použití dvou a více bodů při výpočtu, se střední hodnoty neliší od použití plného počtu šesti poloh přijímače. Tento výsledek je patrný i z následujícího grafu 9, kde bylo pro výpočet rychlosti šíření ultrazvuku použito proložení přímky pouze prvními třemi body, ostatní body (pouze naměřené, nezohledněné při výpočtu) však leží na téže přímce.

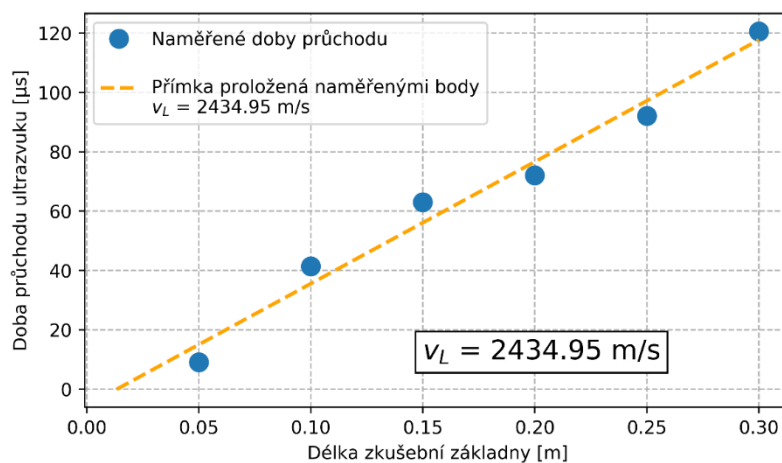


Graf 9 Vyhodnocení rychlosti šíření UZ při použití pouze tří naměřených bodů.

Výše uvedená skutečnost ovšem neplatí v případě, kdy je v prostoru měřicí linie trhlina nebo je materiál jinak poškozen. Potom body neleží na společné přímce (ani při uvažování plného počtu poloh přijímače a ani při uvažování menšího počtu poloh přijímače). Jelikož zkušební tělesa byla v rámci jiného experimentu [46] zkoušena i cyklickým zatížením do porušení, bylo možné provést pro zajímavost měření i přes linii, která byla porušená. Na grafech 10 a 11 je zachyceno měření na měřicí linii, přes kterou procházela viditelná trhlina (obklad C, první etapa měření). Takto naměřené hodnoty rychlosti UZ nelze považovat za hodnověrné.



Graf 10 Vyhodnocení rychlosti šíření UZ při použití pouze tří naměřených bodů – měření přes trhlinu.



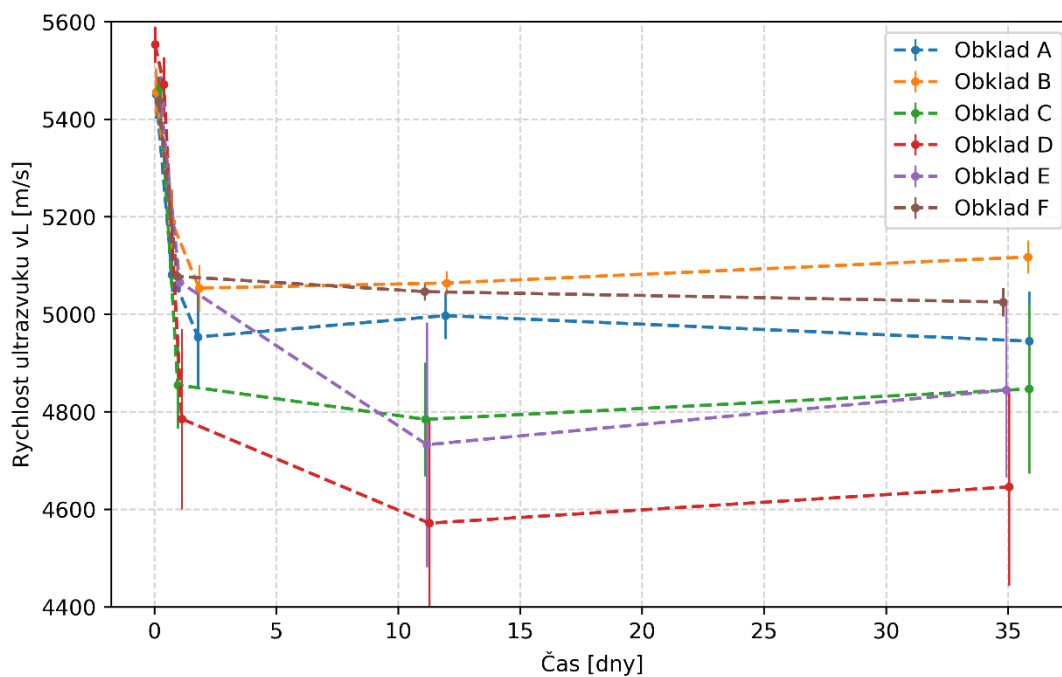
Graf 11 Vyhodnocení rychlosti šíření UZ při použití všech naměřených bodů – měření přes trhlinu.

Před vyhodnocením ultrazvukového měření na velkoformátových obkladech jsou pro přehlednost v tabulce 26 shrnuty označení všech použitých lepidel a skladeb obkladů v obou etapách měření.

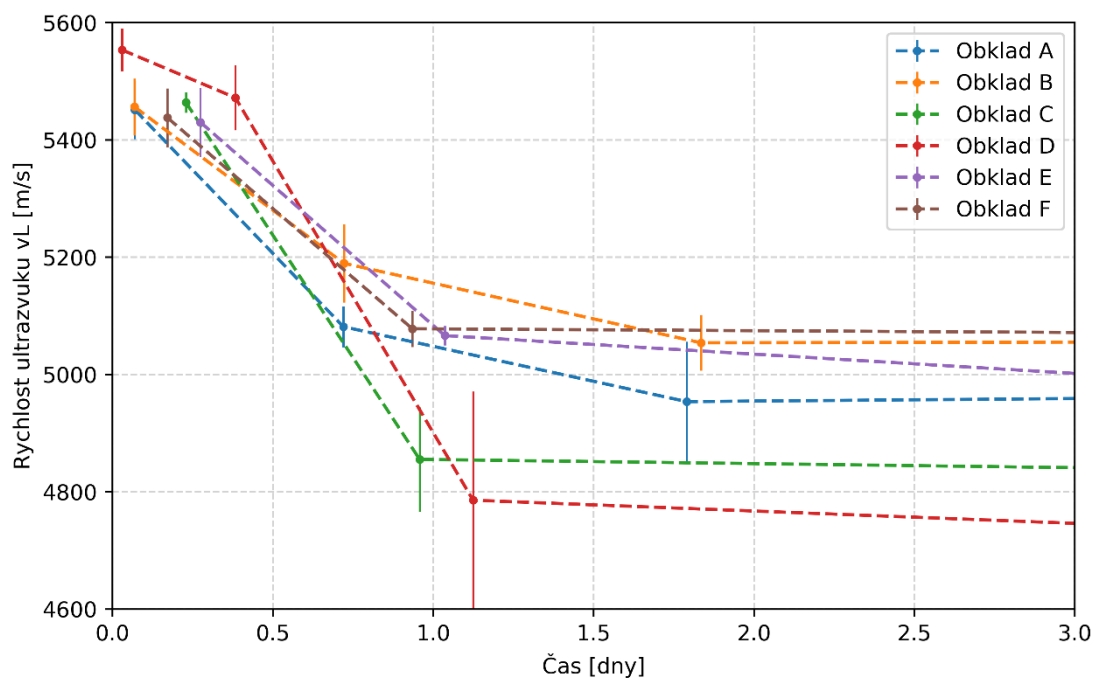
Tab. 26 Označení a popis zkušebních vzorků ultrazvukového měření velkoformátových obkladů.

Označení	Druh lepidla			
1	PROFI PREMIUM FLEX KLEBER C2TES1			
2	PROFI PREMIUM KLEBER S2 LEICHT			
3	MAPEI ULTRALITE S2			
Velkoformátové obklady - Etapa 1 (srpen 2019)				
Označení	Obklad	Lepidlo	Výřezy	Membrána
A	Iris Iron Corten	2	ne	ne
B	Iris Iron Corten	3	ne	ne
C	Iris Iron Corten	1	ne	ne
D	Levantina Techlam	2	ne	ne
E	Iris Iron Corten	2	ano	ano
F	Iris Iron Corten	2	ano	ne
Velkoformátové obklady - Etapa 2 (prosinec 2019)				
Označení	Obklad	Lepidlo	Výřezy	Membrána
A	Iris Iron Corten	2	ano	ano
B	Iris Iron Corten	2	ano	ne
C	Iris Iron Corten	1	ano	ne
D	Iris Iron Corten	3	ano	ne
E	Levantina Techlam	2	ano	ne

Tabulky s průměrnými naměřenými rychlostmi šíření ultrazvuku velkoformátovými obklady v jednotlivých časech měření jsou již uvedeny v kapitole 4.1.3. Z tabulky 9 (první etapa měření) je patrné, že se rychlost průchodu ultrazvuku od nalepení po ukončení měření ve všech případech snížila. Největší pokles je zřejmý mezi prvním a druhým měřením, tedy přibližně v prvních 24 hodinách od nalepení. Na následující straně jsou uvedeny dva grafy, první z nich (graf 12) zachycuje celkové ultrazvukové měření na všech obkladech z etapy 1. Na druhém (graf 13) jsou zobrazeny stejné výsledky, ovšem pro přehlednost pouze v prvních třech dnech od nalepení. Hodnoty rychlostí šíření ultrazvukového vlnění v grafech jsou průměrné hodnoty ze všech měřených linií v rámci zkušebního tělesa. Naměřené hodnoty v rámci jednotlivých obkladů byly podrobeny Grubbsovu testu, aby bylo možné odhalit případné odlehle hodnoty. Chybové úsečky v grafech potom zobrazují velikost směrodatné odchylky.

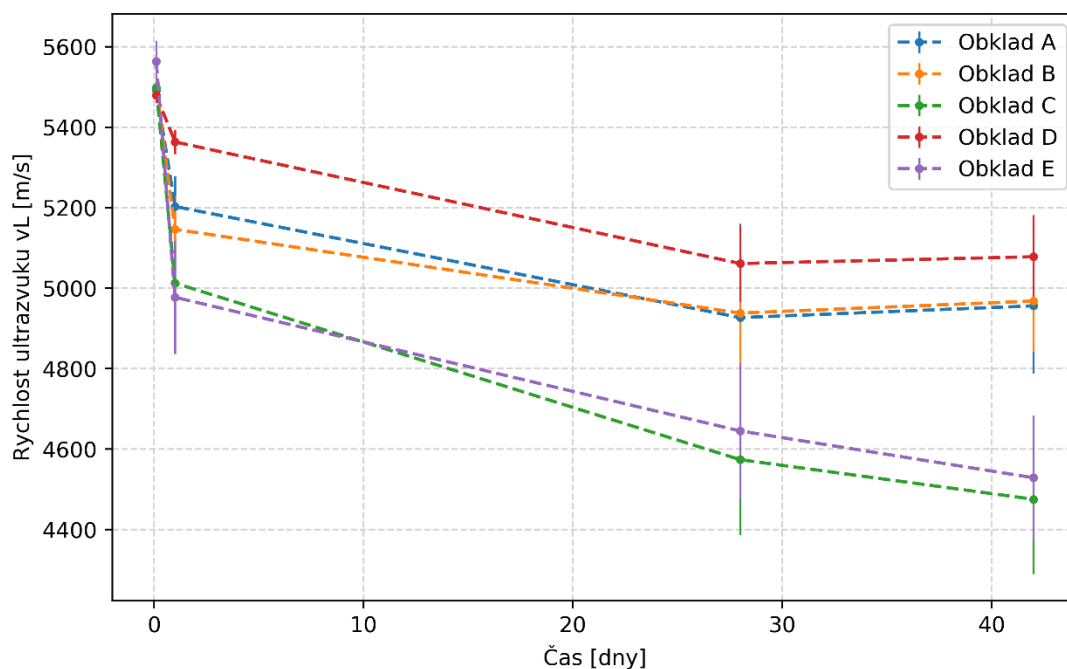


Graf 12 Záznam naměřených rychlostí šíření UZ vlnění zkušebními tělesy v rámci první etapy – celé měření.

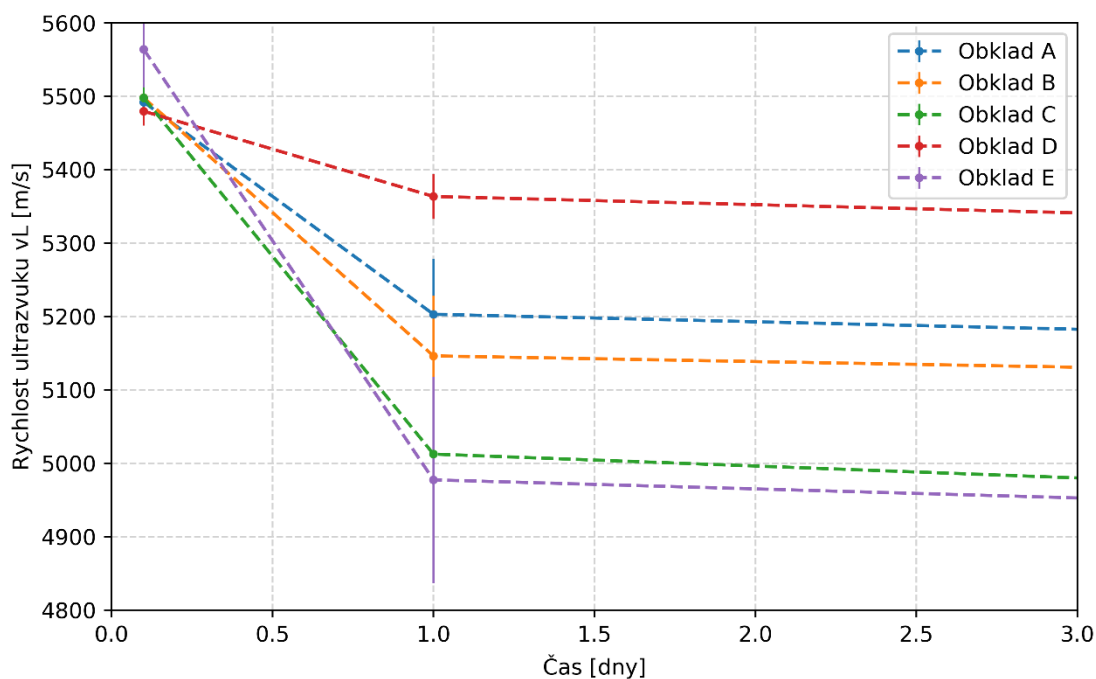


Graf 13 Záznam naměřených rychlostí šíření UZ vlnění zkušebními tělesy v rámci první etapy – první tři dny měření.

Stejný pokles rychlosti šíření ultrazvuku byl zaznamenán i v druhé etapě měření (viz tabulka 10 v kapitole 4.1.3). K největšímu poklesu došlo opět v prvních 24 hodinách od nalepení. V grafech 14 a 15 jsou, stejně jako na předchozí straně, zaznamenána všechna měření a hodnoty v prvních třech dnech od nalepení pro měření z druhé etapy.

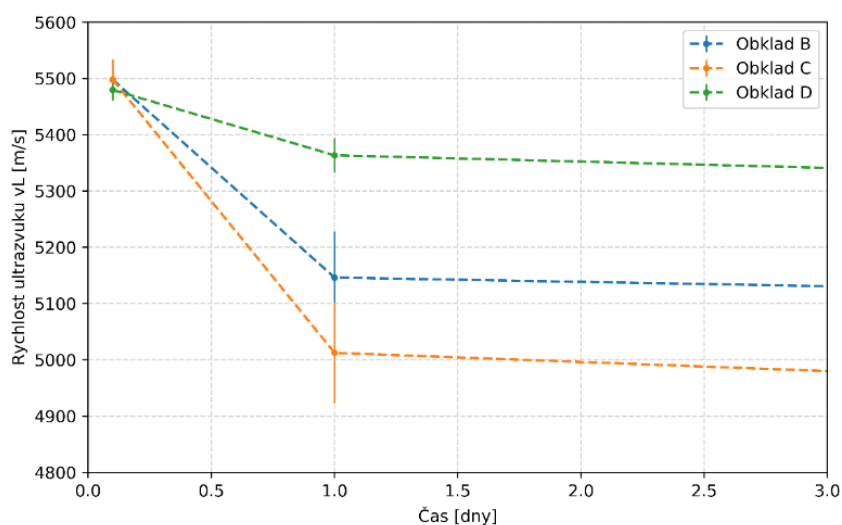


Graf 14 Záznam naměřených rychlostí šíření UZ vlnění zkušebními tělesy v rámci etapy 2 – celé měření.



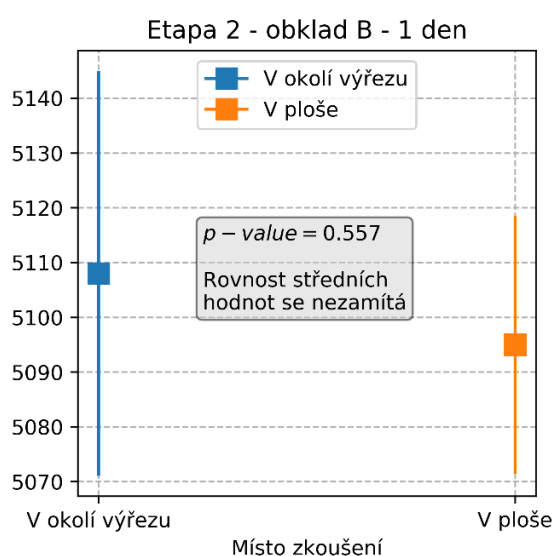
Graf 15 Záznam naměřených rychlostí šíření UZ vlnění zkušebními tělesy v rámci etapy 2 – první tři dny.

Z uvedených grafů je zřejmé, že ke snížení rychlosti průchodu ultrazvuku materiálem došlo u všech zkoušených skladeb v obou etapách experimentu. Je ovšem patrné, že u některých skladeb byl tento pokles markantnější než u ostatních. Nejvyšší pokles byl v obou etapách zaznamenán na obkladu Levantina Techlam tl. 3 mm. Po nalepení byla na tomto obkladu v obou etapách naměřena rychlost šíření ultrazvuku přibližně 5500 m/s. Na konci měření, tedy ve stáří 35 dní v etapě 1 a 42 dní v etapě 2, byla naměřená rychlost v obou případech přibližně o 1000 m/s nižší. Důvodem nejvyššího poklesu rychlosti ultrazvuku může být nižší tloušťka těchto obkladů a tím pádem větší náchylnost ke změnám, které nastávají při dozrávání lepidla. Dalšími skladbami, u kterých došlo k výraznějšímu poklesu rychlosti šíření ultrazvuku než u ostatních, jsou obklady nalepené na lepidlo 1. Obklady nalepené na tomto druhu lepidla vykazovaly v obou etapách přibližně stejně velký pokles rychlosti šíření ultrazvuku, jako obklady Levantina Techlam. Naopak nejnižších poklesů v obou etapách dosáhly velkoformátové obklady nalepené na lepidlo 3, u kterého byl rozdíl rychlosti šíření ultrazvuku od nalepení po konec měření jen přibližně 340 m/s v etapě 1 a 400 m/s v etapě 2. Při porovnání skladeb, ve kterých jsou použity stejné obklady, a různá lepidla můžeme říci, že nejnižších poklesů rychlosti šíření ultrazvukového vlnění materiálem dosahují velkoformátové obklady nalepené na lepidle 3. Nejvyšších potom velkoformátové obklady nalepené na lepidle 1 (viz graf 16 – měření na stejných obkladech etapa 2). Uvedené skladby obkladů a lepidel z etapy 2 byly také v rámci výzkumu [47] zkoumány pomocí různých metod při zatížení. Z tohoto výzkumu vyšlo nejhůře lepidlo 1, na kterém byly v rámci této práce také naměřeny největší poklesy UZ. Lepidla 2 a 3 dosahovala v rámci výzkumu [47] podobných výsledků.

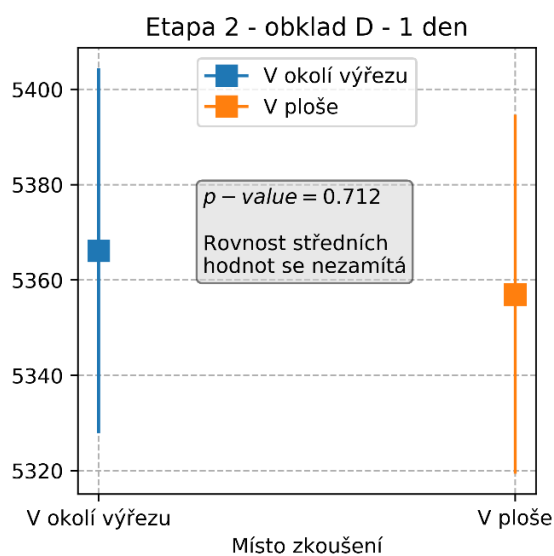


Graf 16 Měření v rámci druhé etapy, stejné obklady, různá lepidla.

Další otázkou bylo, zda mají na rychlost šíření ultrazvuku obkladem vliv výřezy. Za tímto účelem bylo zkoumáno měření na obkladech z etapy 2. První byla vyhodnocena rychlost šíření ultrazvuku na liniích v ploše obkladu, poté rychlost šíření ultrazvuku v okolí výřezu. Tyto hodnoty byly podrobeny dvouvýběrovému t-testu na rovnost středních hodnot. U žádného z testovaných vzorků nebyla rovnost středních hodnot na hladině významnosti 0,05 zamítnuta. Můžeme tedy říct, že rychlost šíření ultrazvuku v okolí výřezů velkoformátových obkladů není statisticky významně odlišná od rychlosti šíření ultrazvuku v ostatních měřených liniích a to u žádného z použitých lepidel. Porovnání rychlostí v ploše a v oblasti výřezů na dvou velkoformátových obkladech je zobrazeno v grafech 17 a 18.

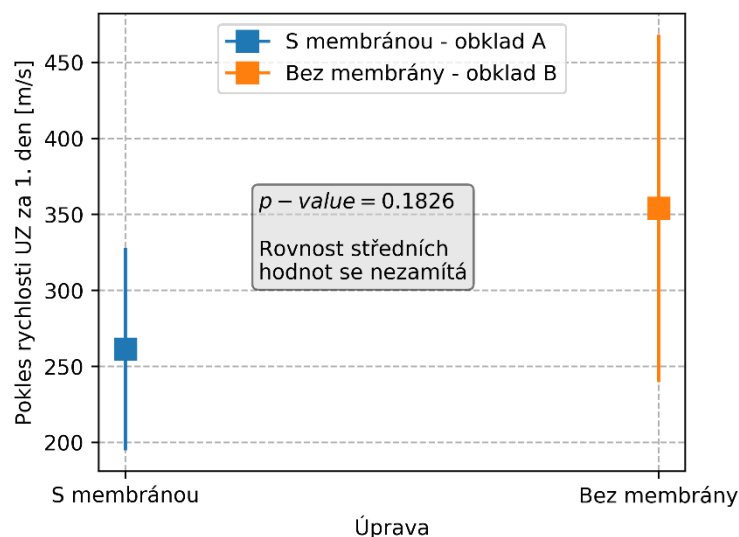


Graf 17 Porovnání měření v okolí výřezů a v ploše – etapa 2, obklad B.



Graf 18 Porovnání měření v okolí výřezů a v ploše – etapa 2, obklad D.

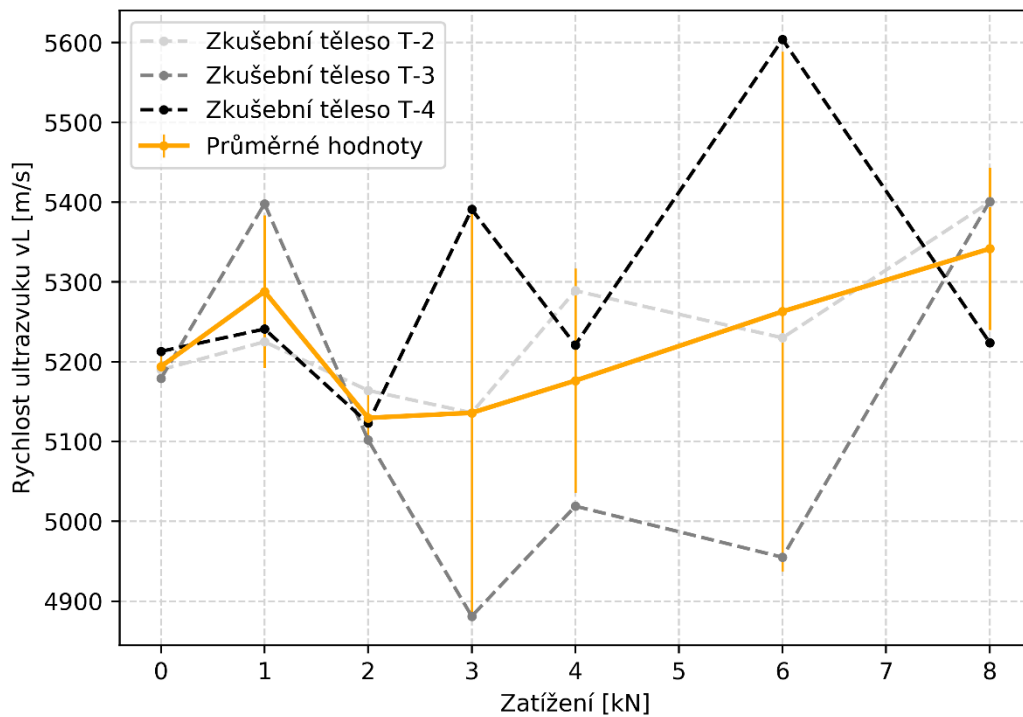
Při pohledu na grafy 14 a 15 se může zdát, že je pokles rychlosti šíření ultrazvuku nižší na obkladu s použitou membránou, než na obkladu bez membrány. Pro ověření této hypotézy byl na výsledcích měření z obkladů A a B druhé etapy proveden statistický test. Skladby A a B jsou totožné (stejně obklady a stejná lepidla), liší se pouze v použití membrány (na obkladu A). Cílem testu bylo zjistit, zda má membrána statisticky významný vliv na pokles rychlosti šíření ultrazvuku, proto byla vyhodnocena rychlost šíření ultrazvuku po nalepení a ve stáří jednoho dne (u obou skladeb). Následně byly vypočteny rozdíly těchto rychlostí, které byly podrobeny statistickému testu na rovnost středních hodnot. Výsledkem statistického testu je, že na hladině významnosti 0,05 nelze rovnost středních hodnot zamítnout. Nemůžeme tedy říci, že by mělo použití membrány vliv na pokles rychlosti šíření ultrazvuku. Výsledky statistického testu jsou zobrazeny na grafu 19.



Graf 19 Vliv použití membrány na pokles rychlosti šíření ultrazvukového impulsu v prvních 24 hodinách po nalepení na podklad.

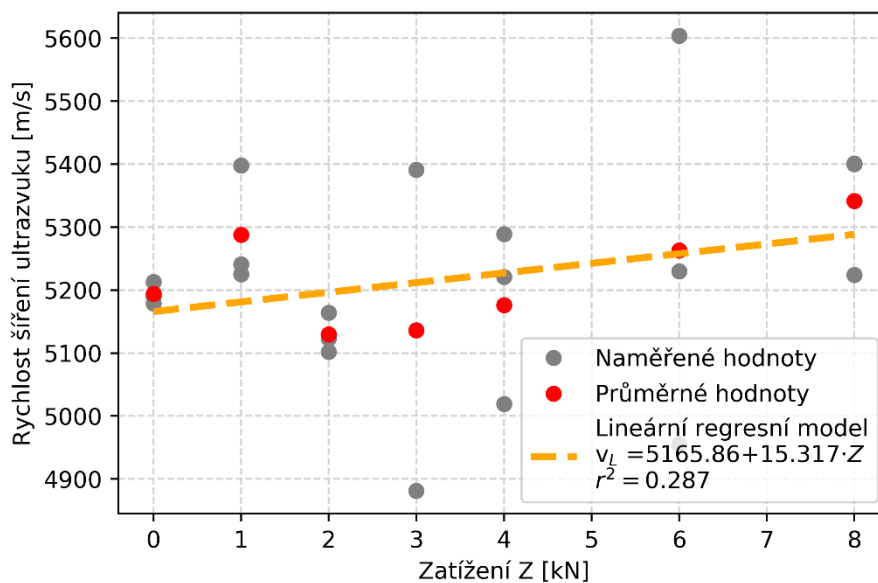
Jelikož bylo předpokládáno, že příčinou poklesu rychlosti ultrazvuku v materiálu obkladů může být vnesení napětí od smršťování, byl naplánován doplňující experiment. Při tomto experimentu byla zkušební tělesa namáhána tahem v lise a při zatěžování byla, po dosažení naplánovaných stupňů zatížení (viz tabulka 13), měřena rychlost šíření ultrazvuku. Předpokladem bylo, že se vzrůstajícím zatížením dojde v materiálu k drobným poruchám vnitřní struktury a rychlost šíření ultrazvuku bude klesat. Výsledné naměřené hodnoty jsou již uvedeny v kapitole 4.1.3 v tabulce 15. Snížení rychlosti šíření ultrazvuku se vzrůstajícím zatížením ovšem při zkoušce nebylo zaznamenáno.

V grafu 20 jsou zobrazeny naměřené hodnoty z jednotlivých zkušebních těles a jsou doplněny o průměrnou hodnotu a její směrodatné odchylky.



Graf 20 Hodnoty rychlosti UZ při zatěžování zkušebních těles prostým tahem.

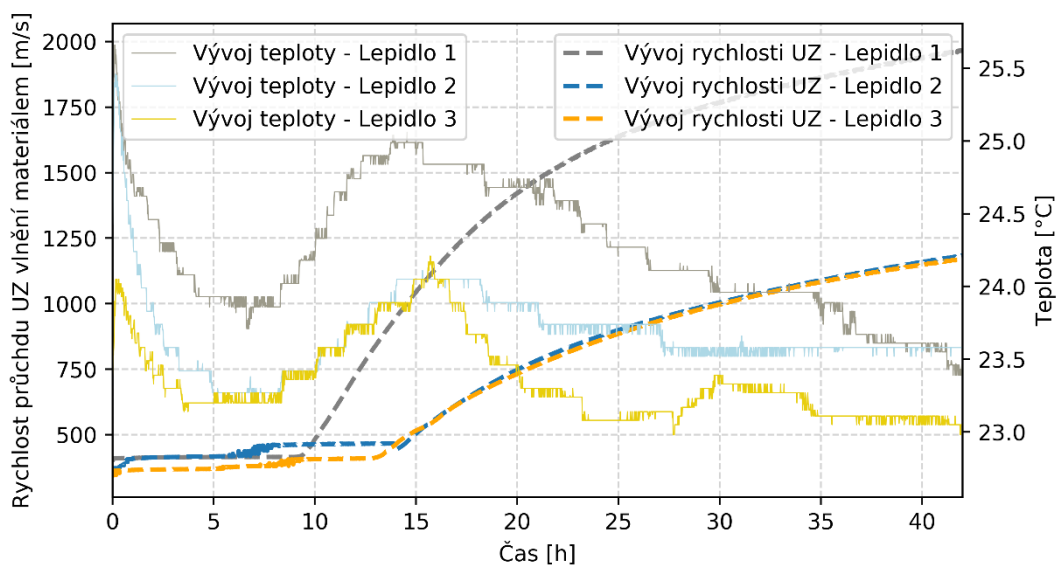
Naměřenými hodnotami byla proložena lineární regresní přímka. Šedé body v grafu 21 reprezentují naměřené hodnoty, červené body potom jejich průměr.



Graf 21 Lineární regresní model korelace mezi rychlostí šíření ultrazvuku a zatížením.

Dále byla podrobnější statistickou analýzou zkoumána korelace mezi rychlostí šíření ultrazvuku a zatížením. Mezi průměrnou hodnotou rychlosti šíření ultrazvuku a zatížením byl vypočítán korelační koeficient $r = 0,536$. Podle hodnoty korelačního koeficientu a počtu dat byla vypočítána tzv. testová statistika $(0,536 \times \sqrt{7}) / \sqrt{(1-0,536^2)} = 1,68$. Dále byla v tabulkách Studentova rozdělení nalezena tzv. kritická hodnota, ta je v závislosti na stupni volnosti (v našem případě 5) a hladině významnosti (v našem případě 0,05) rovna 2,571. Jelikož je vypočtená testová statistika (1,68) menší než kritická hodnota (2,57), není možné prokázat významnost korelace. Testová statistika je příliš blízko nule, aby bylo možné prohlásit, že mezi zvoleným typem zatížení a rychlostí šíření ultrazvukového impulsu v použitém druhu obkladového prvku existuje závislost.

Následující část vyhodnocení se bude zabývat zkouškami provedenými na cementových lepidlech. Při výrobě byl od každého lepidla odebrán vzorek, který byl umístěn do zařízení Vikasonic (to kontinuálně měří dobu průchodu ultrazvukového impulsu materiálem). V grafu 22 jsou shrnuta naměřená data ze všech tří lepidel. Z grafu je patrné, že u lepidel dochází ve stáří přibližně šesti hodin k minimu teplotního vývoje v materiálu, v tomto bodě dochází pravděpodobně k začátku tuhnutí materiálu [44]. Dále je z grafu patrné, že ve chvíli, kdy dosahuje teplota maximální úrovně, začíná rapidní nárůst rychlost šíření ultrazvuku. V tomto bodě nastává konec tuhnutí a materiál začíná tvrdnout [44].



Graf 22 Časový průběh rychlosti šíření ultrazvukového vlnění a teploty v prvních hodinách po výrobě.

V následujících tabulkách jsou uvedeny hodnoty dynamických modulů pružnosti, které byly stanoveny pomocí podélného kmitání rezonanční metodou (tab. 27) a dynamické moduly pružnosti stanovené ultrazvukovou impulzovou metodou (tab. 28). Dále byly vyhodnoceny dynamické moduly z příčného a kroutivého kmitání, ty jsou uvedeny v příloho­vé části práce.

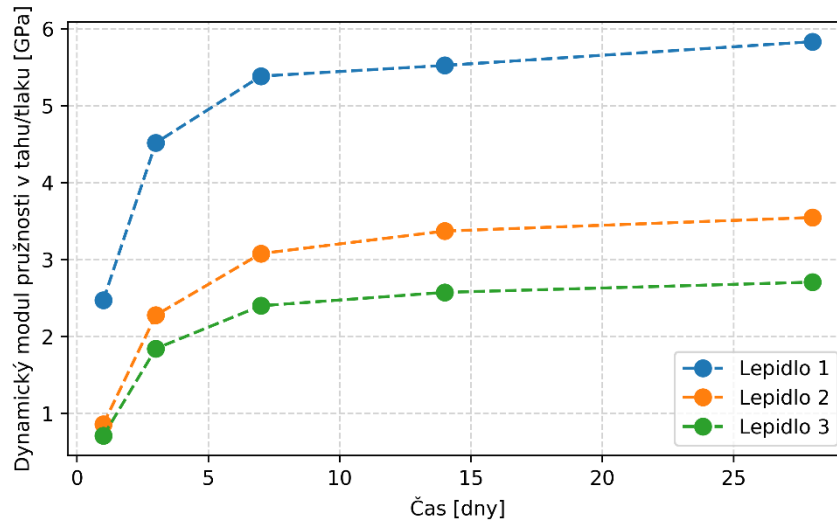
Tab. 27 Dynamické moduly pružnosti zkušebních těles z cementových lepidel – rezonanční metoda.

Těleso	E_{cr1} [GPa]				
	1 den	3 dny	7 dní	14 dní	28 dní
L01-E1	2,474	4,509	5,364	5,541	5,844
L01-E2	2,465	4,492	5,345	5,568	5,817
L01-E3	2,434	4,524	5,360	5,461	5,835
L01-E4	2,515	4,592	5,505	-	-
L01-E5	2,471	4,471	5,346	-	-
L02-E1	0,856	2,257	3,048	3,332	3,501
L02-E2	0,866	2,268	3,099	3,394	3,582
L02-E3	0,861	2,268	3,083	3,384	3,557
L02-E4	0,850	2,263	3,071	-	-
L02-E5	0,869	2,332	3,090	-	-
L03-E1	0,720	1,868	2,418	2,598	2,735
L03-E2	0,716	1,850	2,395	2,575	2,689
L03-E3	0,716	1,854	2,426	2,547	2,695
L03-E4	0,695	1,803	2,374	-	-
L03-E5	0,697	1,837	2,383	-	-

Tab. 28 Dynamické moduly pružnosti zkušebních těles z cementových lepidel – ultrazvuková metoda.

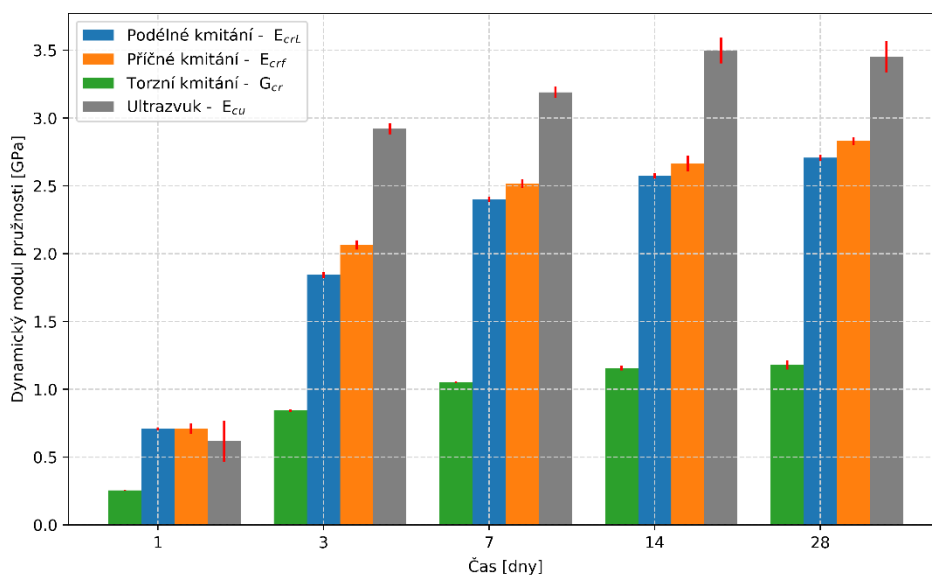
Těleso	E_{cu} [GPa]				
	1 den	3 dny	7 dní	14 dní	28 dní
L01-E1	3,880	6,067	6,770	7,171	7,384
L01-E2	3,484	5,697	6,198	6,761	7,019
L01-E3	2,798	5,741	6,133	6,758	6,878
L01-E4	3,739	6,049	6,271	-	-
L01-E5	3,889	5,911	6,447	-	-
L02-E1	1,454	3,616	3,909	4,219	4,404
L02-E2	1,428	3,574	3,904	4,278	4,511
L02-E3	1,421	3,805	4,061	4,288	4,533
L02-E4	0,987	3,645	3,932	-	-
L02-E5	0,861	3,770	4,046	-	-
L03-E1	0,647	2,990	3,260	3,526	3,535
L03-E2	0,069	2,871	3,163	3,371	3,286
L03-E3	0,650	2,916	3,214	3,596	3,531
L03-E4	0,695	2,924	3,138	-	-
L03-E5	1,029	2,897	3,179	-	-

Porovnání vývoje dynamického modulu pružnosti všech lepidel v čase je uvedeno v grafu 23. Za účelem porovnání byl použit dynamický modul pružnosti stanovený z podélného kmitání pomocí rezonanční metody. Statistickými testy byla u všech lepidel ve všech časech zamítnuta rovnost středních hodnot, dynamické moduly pružnosti u jednotlivých lepidel se tedy statisticky významně liší.



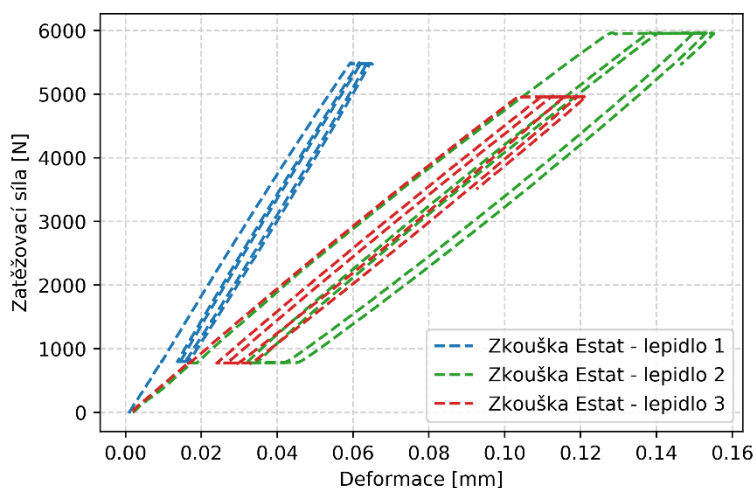
Graf 23 Vývoj dynamického modulu pružnosti E_{cr} u všech lepidel v čase.

V grafu 24 je zobrazen vývoj všech dynamických modulů pružnosti, které byly v rámci experimentu zkoušeny u lepidla 3. Tedy modul pružnosti v tahu/tlaku zjištěný z podélného kmitání E_{crl} , z příčného kmitání E_{crf} , z rychlosti šíření ultrazvuku E_{cu} a dynamický modul pružnosti ve smyku G_{cr} zjištěný z krouživého kmitání.



Graf 24 Vývoj všech sledovaných dynamických modulů pružnosti na lepidle 3.

Při pohledu na tabulky 27 a 28 a na graf 23 je zřejmé, že se dynamický modul pružnosti při vyzrávání lepidel zvyšoval. U lepidla 1 došlo mezi 1 a 28 dny ke zvýšení přibližně o 135 % oproti počáteční hodnotě, u lepidla 2 přibližně o 310 % a u lepidla 3 o přibližně 280 %. Také je z výsledků zřejmé, že lepidlo 1 má nejvyšší počáteční i konečný dynamický modul pružnosti, naopak lepidlo 3 nejnižší. V 7 a 28 dnech stáří zkušebních těles byl zkoušen také statický modul pružnosti. V grafu 25 jsou zobrazeny průběhy zkoušek statického modulu pružnosti u jednotlivých lepidel.



Graf 25 Zkouška statického modulu pružnosti na jednotlivých lepidlech, graf síla – deformace.

V tabulce 29 jsou zobrazeny vypočtené hodnoty statického modulu pružnosti na všech zkoušených lepidlech ve stáří 7 a 28 dní. Hodnoty v tabulce jsou průměrné hodnoty z měření všech zkušebních těles v daném čase.

Tab. 29 Vypočtené hodnoty statického modulu pružnosti ve stáří 7 a 28 dní.

Označení	E_c [GPa]	
	7 dní	28 dní
Lepidlo 1	4,04	4,81
Lepidlo 2	1,64	2,31
Lepidlo 3	1,61	2,41

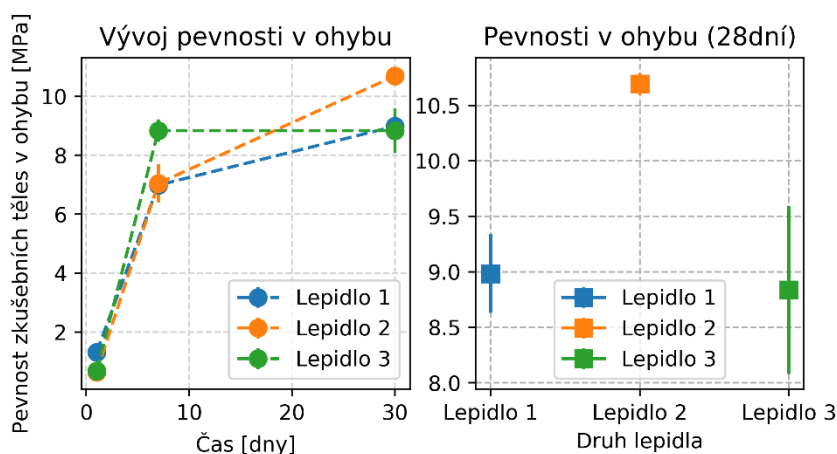
Z tabulky 29 je patrné, že lepidlo 1 má více než dvojnásobný statický modul pružnosti než zbylá dvě lepidla (jak ve stáří 7 dní, tak ve stáří 28 dní). Nárůst modulu pružnosti mezi měřeními v 7 dnech a 28 dnech byl nejvyšší u lepidla 3 (přibližně o 50 %), nejnižší u lepidla 1 (přibližně o 19 %).

Při pevnostních zkouškách bylo zjištěno, že nejvyšší pevnost v tlaku a v ohybu po 28 dnech má lepidlo 2 (Profi Premium Kleber S2 Leicht), nejnižší pak lepidlo 3 (Mapei Ultralite S2). Vypočtené hodnoty zkoušených pevností jsou zobrazeny v tabulce 30. V grafech 26 a 27 je zobrazen vývoj pevností všech tří lepidel v čase.

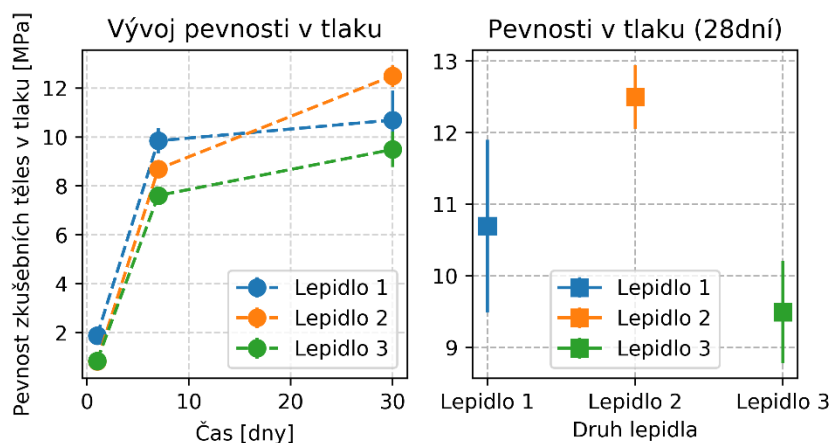
Tab. 30 Pevnostní charakteristiky zkoušených lepidel v čase.

Označení	f_{cf} [MPa]			f_c [MPa]		
	1 den	7 dní	28 dní	1 den	7 dní	28 dní
Lepidlo 1	1,32	6,99	8,98	1,88	9,85	10,69
Lepidlo 2	0,64	7,05	10,69	0,83	8,69	12,50
Lepidlo 3	0,68	8,84	8,84	0,85	7,61	9,49

V následujících grafech jsou uvedeny vývoje pevností v ohybu a v tlaku. Grafy jsou doplněny o porovnání pevností v ohybu a v tlaku jednotlivých lepidel ve stáří 28 dní.

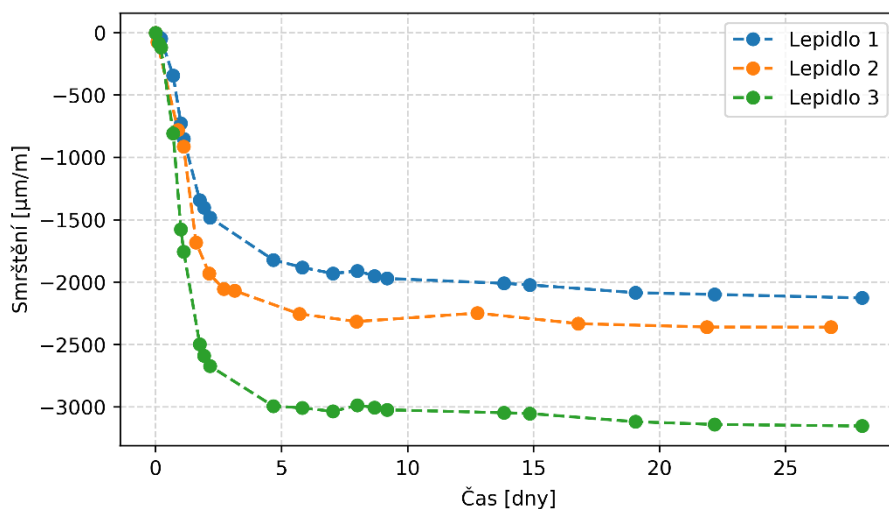


Graf 26 Pevnost zkušebních těles z cementových lepidel v ohybu.



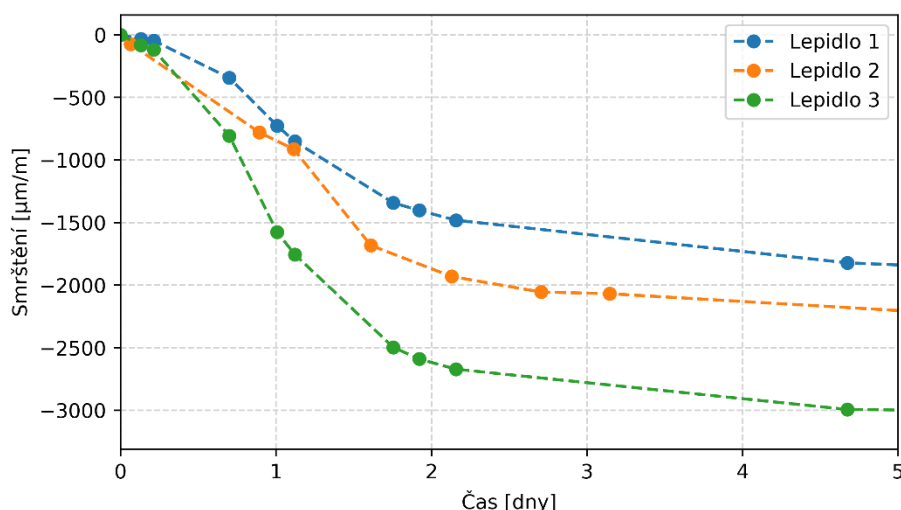
Graf 27 Pevnost zkušebních těles z cementových lepidel v tlaku.

Poslední z měřených vlastností cementových lepidel bylo jejich smrštění. V grafu 28 je shrnuto měření smrštění v čase na tělesech o rozměru $10 \times 40 \times 160$ mm z jednotlivých lepidel. Z grafu je patrné, že nejvyšší hodnoty smrštění dosahuje lepidlo 3, naopak nejméně smršťuje lepidlo 1. Časový průběh smršťování je ovšem u všech lepidel velmi podobný. K největšímu smrštění dochází u všech lepidel v prvních 5 dnech, poté už lepidla smršťují podstatně méně nebo vůbec. Tabulky s naměřenými hodnotami smrštění na všech zkušebních tělesech v jednotlivých časech jsou uvedeny v přílohouvé části práce.



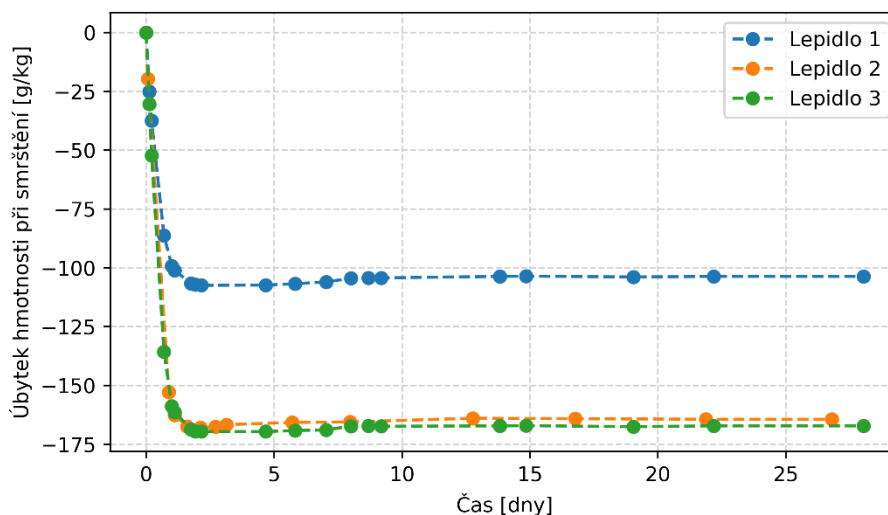
Graf 28 Smrštění všech zkoumaných lepidel.

Z důvodu přehlednosti je níže uveden graf 29, který zobrazuje stejné hodnoty jako předchozí graf, pouze s omezením časové osy na 5 dní, při nichž je smrštění nejmarkantnější.



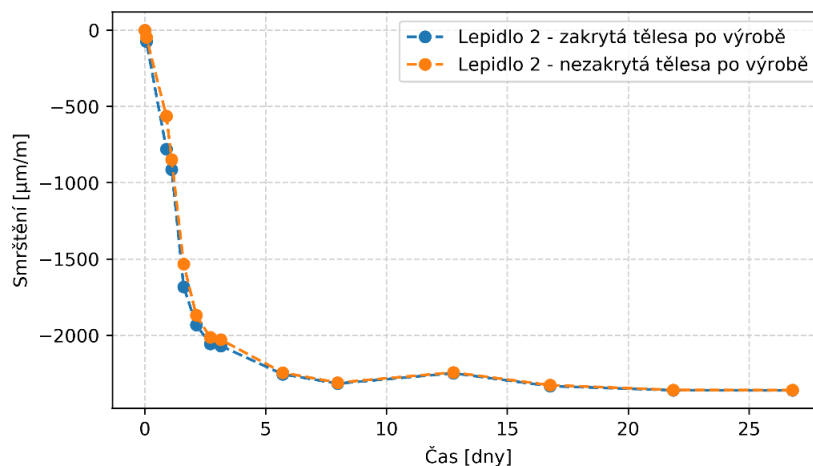
Graf 29 Smrštění všech zkoumaných lepidel – vývoj v prvních pěti dnech měření.

Při měření smršťení byla tělesa také vážena. Úbytky hmotnosti na stejných tělesech jako v předchozím grafu jsou zobrazeny v grafu 30. Zatímco největší pokles podélného rozměru těles při smršťení se odehrál v prvních 5 dnech, při úbytku hmotnosti došlo k nejvyšším poklesům již během prvních 24-48 hodin, poté se hmotnost víceméně ustálila.

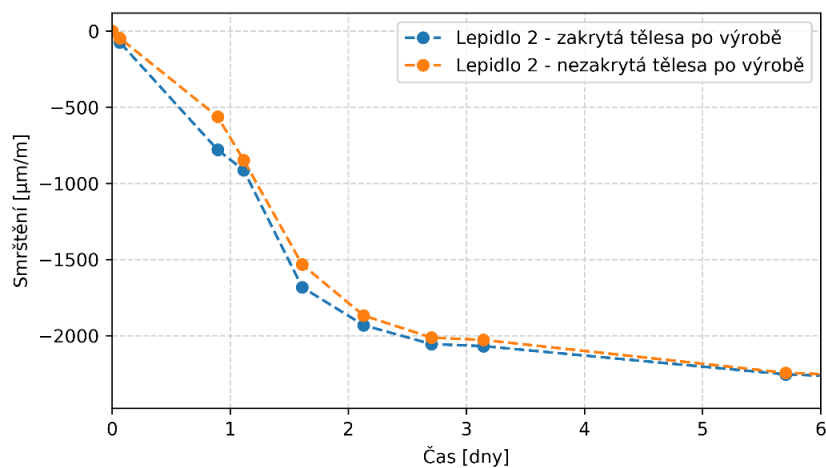


Graf 30 Úbytek hmotnosti u všech zkoumaných lepidel.

Pro doplnění bylo provedeno porovnání smršťení těles, která byla ve formách zakryta skleněnou destičkou a těch, která zakrytá nebyla. Také bylo provedeno porovnání smršťení těles s rozměrem $10 \times 40 \times 160$ mm a $40 \times 40 \times 160$ mm. Za účelem prvního porovnání bylo vybráno lepidlo 2, u kterého se povedlo vyrobit tři zakrytá tělesa o rozměru $10 \times 40 \times 160$ mm a tři nezakrytá. Jako u jediného lepidla byla tato tělesa vyrobena v rámci jednoho dne, výsledky jsou proto nejvíce vypovídající. Podobné rozdíly mezi zakrytými a nezakrytými tělesy, jako vyplývají z grafu 31, byly ovšem sledovány u všech tří lepidel. Z grafu je patrné, že v prvních dnech bylo smršťení u zakrytých těles o něco menší (přibližně o 17 %), od pátého dne se však hodnota smršťení rovnala nezakrytým tělesům. Jelikož v grafu 31 není tato skutečnost jasně viditelná, je pro doplnění připojen i graf 32, ve kterém je zobrazeno totožné porovnání jako v grafu 31, ale vodorovná osa je omezena na prvních 6 měřených dní.



Graf 31 Porovnání smrštění u zakrytých a nezakrytých těles po výrobě.

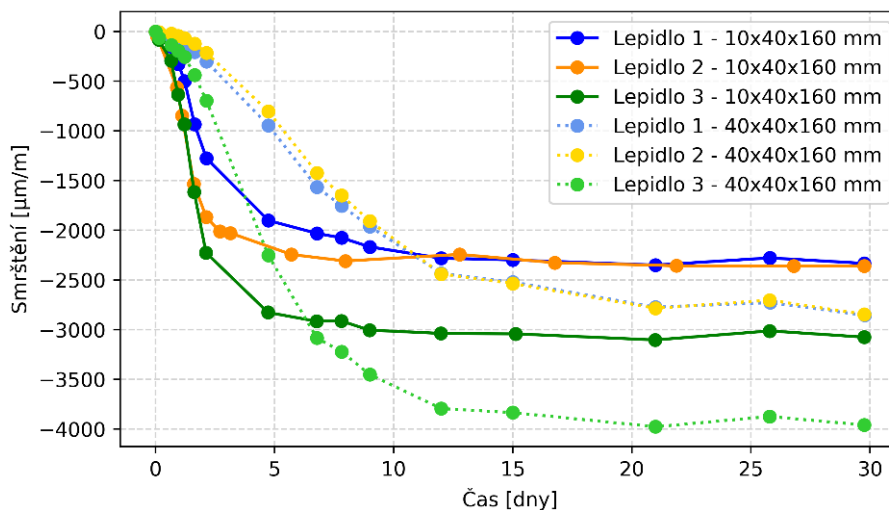


Graf 32 Porovnání smrštění u zakrytých a nezakrytých těles po výrobě – prvních 6 dní.

Na datech z grafu 31 byl také proveden statistický test, aby bylo možné posoudit, zda se střední hodnoty měření na zakrytých a nezakrytých tělesech statisticky významně liší. Za tímto účelem byl použit dvouvýběrový Studentův t-test, kterým byly testovány hodnoty smrštění v jednotlivých časech. Statistický test zamítnul rovnost středních hodnot pouze u měření ve stáří přibližně 21 a 39 hodin. V ostatních případech byla p-hodnota testu natolik vysoká, že na hladině významnosti 0,05 nebylo možné rovnost středních hodnot zamítnout. Lze tedy říci, že smrštění u zakrytých a nezakrytých těles se na konci měření (ve stáří 28 dní) statisticky významně neliší.

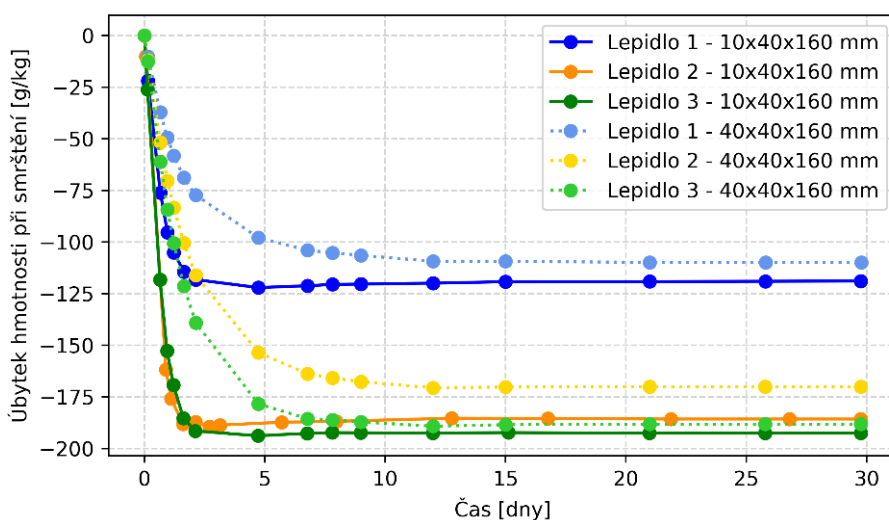
V grafu 33 jsou zobrazeny výsledky měření smrštění na tělesech ze všech lepidel s rozměry $10 \times 40 \times 160$ mm a $40 \times 40 \times 160$ mm. U těles s šířkou 10 mm (tedy rozměrem předepsaným normou [34]) dochází k nejvýznamnější části smrštění v prvních 5 dnech. U těles s šířkou 40 mm dochází ke smršťování pomaleji, nejvýznamnější část smrštění se tak odehrává

v prvních 20 dnech. Z grafu 33 je patrné, že grafy příslušných lepidel se v jedné fázi protnou. Tělesa se šířkou 10 mm už od této doby prakticky nesmršťují, ale u těles se šířkou 40 mm probíhá smrštění dále. Hodnota celkového smrštění je u těles s rozměrem 40 × 40 × 160 mm vyšší u všech lepidel (o 22,3 % u lepidla 1, 20,6 % u lepidla 2 a 28,7 % u lepidla 3). Tento jev je pravděpodobně dán složením jednotlivých lepidel a byl již v minulosti pozorován například na některých samonivelačních stěrkách [45].



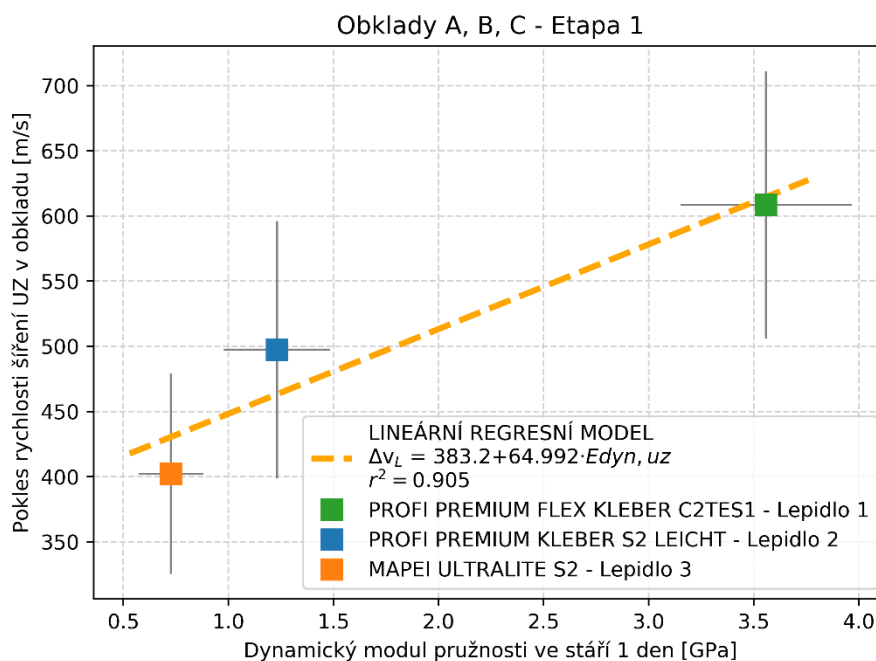
Graf 33 Porovnání smrštění u těles s různými rozměry.

V grafu 34 je zobrazeno porovnání úbytků hmotnosti na stejných tělesech jako v předchozím grafu. Z grafu je patrné, že úbytek u těles s šířkou 40 mm probíhá pomaleji a je přibližně o 4-8 % vyšší.



Graf 34 Porovnání úbytku hmotnosti u těles s různými rozměry.

Po vyhodnocení zkoušek provedených na lepidlech byly výsledky porovnány se zjištěnými poklesy rychlostí ultrazvuku na velkoformátových obkladech. Bylo zjištěno, že obklady nalepené na lepidlech vykazujících nejvyšší hodnotu smrštění dosáhly nejmenších poklesů rychlosti šíření ultrazvuku. Na základě tohoto pozorování můžeme tedy říct, že celková hodnota smrštění nemá na pokles rychlosti ultrazvuku přímý vliv. Dále však bylo zjištěno, že obklady nalepené na lepidle s nejnižším dynamickým modulem pružnosti dosáhly nejnižších poklesů rychlosti ultrazvuku. Stejně tak obklady nalepené na lepidlech s nejvyššími moduly pružnosti dosáhly nejvyšších poklesů rychlosti šíření ultrazvuku. Pro prozkoumání závislosti poklesu rychlosti šíření ultrazvuku po nalepení na dynamickém module pružnosti byla použita data z měření první etapy a byl pro ně vytvořen regresní model. V grafu 35 jsou zobrazeny hodnoty dynamických modulů pružnosti ve stáří jednoho dne a poklesy rychlostí šíření ultrazvuku v prvním dni od nalepení. Hodnoty poklesů rychlosti UZ v grafu jsou průměrnými hodnotami ze všech linií v rámci obkladu, hodnoty modulů pružnosti jsou průměrné hodnoty ze zkoušených těles ve stáří jednoho dne. Šedé úsečky značí směrodatné odchylky.



Graf 35 Lineární regresní model mezi E_{dyn} a poklesem rychlosti UZ.

Z grafu je patrné, že body lze proložit přímkou s poměrně vysokým korelačním koeficientem ($r = 0,951$). Kvůli malému počtu dat však ze statistického hlediska není možné významnost korelace potvrdit. Pro další zkoumání a případné potvrzení významnosti korelace mezi poklesem rychlosti šíření ultrazvuku v obkladech a dynamickým modulem pružnosti lepidla by bylo nutné provést experimenty s více lepidly a nasbírat více dat pro vyhodnocení.

5 ZÁVĚR

V rámci první části experimentů byla nepřímou ultrazvukovou metodou sledována rychlost šíření ultrazvuku na nalepených velkoformátových obkladech. Experiment byl rozdělen do dvou etap, ve kterých bylo zkoumáno celkem 11 velkoformátových obkladů nalepených na různé druhy lepidel. Za účelem experimentu byly použity velkoformátové obklady tloušťky 6 mm (firma Iris, typ Iron Corten) s rozměry $1,5 \times 3,0$ m v první etapě a $1,0 \times 3,0$ m v druhé etapě. Tyto obklady byly doplněny obkladem tloušťky 3 mm (firma Levantina, typ Techlam) s rozměry $1,0 \times 3,0$ m. Pro nalepení těchto obkladů bylo použito tři cementových lepidel. Prvním z nich bylo lepidlo Profi Premium Flex Kleber C2TES1 (lepidlo 1), druhým lepidlo Profi Premium Kleber S2 Leicht (lepidlo 2) a třetím lepidlo od firmy Mapei s označením Ultralite S2 (lepidlo 3). Některé skladby obkladů a lepidel byly doplněny o membránu a některé obklady byly opatřeny výřezy simulujícími otvory pro technická zařízení budov.

Při sledování rychlosti šíření ultrazvuku na nalepených velkoformátových obkladech bylo pozorováno její snížení mezi jednotlivými měřeními. Největší pokles nastal již v prvních 24-48 hodinách od nalepení, tento jev byl sledován v obou etapách měření. Po vyhodnocení výsledků měření bylo zjištěno, že poklesy se u různých skladb obkladů a lepidel liší. K nejvyššímu poklesu rychlosti šíření ultrazvuku došlo na obkladech tloušťky 3 mm, pokles v prvních 48 hodinách po nalepení byl v průměru přibližně o 680 m/s. Důvodem nejvyššího poklesu rychlosti šíření ultrazvuku na těchto obkladech může být jejich nízká tloušťka a tím pádem velká náchylnost ke změnám nastávajícím při vyztváření lepidla. Při porovnání obkladů tloušťky 6 mm byly zjištěny rozdílné hodnoty poklesů v závislosti na použitém lepidle. U lepidla 1 byl zaznamenán pokles rychlosti šíření ultrazvuku v prvních 48 hodinách od nalepení průměrně o 550 m/s, u lepidla 2 přibližně o 370 m/s a u lepidla 3 přibližně o 260 m/s. Je tedy zřejmé, že vlivem vyztváření lepidel dochází k poklesu rychlosti šíření ultrazvuku v materiálu obkladu. Aby bylo možné určit, z čeho plynou rozdíly mezi jednotlivými použitými lepidly, byly na těchto lepidlech v druhé části experimentů sledovány pevnostní a deformační charakteristiky a také jejich smršťování v čase.

Na lepidlech popsaných v předchozím odstavci byly měřeny doby průchodu ultrazvukového vlnění v době vyztváření. Nedestruktivními metodami byly stanoveny dynamické moduly pružnosti v jednotlivých časech, které byly doplněny i o zkoušky statických modulů pružnosti. Dále byla zkoušena pevnost lepidel v tlaku a ohybu. V poslední části bylo

také sledováno smrštění jednotlivých lepidel v čase. Z experimentů vyplývají následující výsledky. Nejvyšších pevností (v ohybu i v tlaku) dosahovalo lepidlo 2, naopak nejnižších pevností lepidlo 3. Dynamický modul pružnosti byl ve všech měřených časech nejvyšší u lepidla 1 a nejnižší u lepidla 3 (přibližně o 248 % ve stáří 1 den a o 116 % ve stáří 28 dní). Při měření bylo zjištěno, že k největšímu smršťování lepidel dochází v prvních 5 dnech, poté již lepidla smršťují velmi málo nebo vůbec. V rámci sledování úbytku hmotnosti při smrštění bylo zjištěno, že k nejvyšším úbytkům dochází v prvních 24-48 hodinách, následně se hmotnost ustálí. Nejmenší hodnoty smrštění dosáhlo lepidlo 1 (průměrně 2125 $\mu\text{m}/\text{m}$), nejvíce naopak smršťovalo lepidlo 3 (průměrně 3125 $\mu\text{m}/\text{m}$).

Hlavním poznatkem z experimentů je fakt, že u nalepených velkoformátových obkladů dochází v prvních 24-48 hodinách k výraznému poklesu rychlosti šíření ultrazvukového vlnění, tato skutečnost je s největší pravděpodobností způsobena vyzráváním použitého lepidla. Se zohledněním výsledků na cementových lepidlech můžeme říci, že nejvyšší poklesy rychlosti šíření ultrazvuku nebyly zaznamenány na obkladech, které byly nalepeny na lepidla s nejvyšším smrštěním. Naopak ve skladbách, kde bylo použito lepidlo, které smršťovalo nejvíce, byly naměřeny nejmenší poklesy. Můžeme tedy říci, že samotná velikost smrštění nemá na velikost poklesu rychlosti ultrazvuku vliv. Pokles rychlosti šíření ultrazvuku byl nejmenší u skladeb s použitím lepidla 3, to vykazovalo nejnižší hodnoty modulů pružnosti ze všech lepidel. Naopak u skladeb s lepidlem 1, které vykazovalo nejvyšší pokles rychlosti šíření ultrazvuku, byl následně stanoven i nejvyšší modul pružnosti. Je obecně známo, že je to právě modul pružnosti, který hraje u lepících hmot významnou roli. Lepidla s vysokým modulem pružnosti se vlivem zatížení deformují jen velmi málo, což může vést ke vzniku značných napětí v materiálu. Obecně je žádoucí, aby pružnost lepících hmot byla co nejvyšší, tedy modul pružnosti co nejmenší.

Při experimentech bylo zjištěno, že pokles rychlosti šíření ultrazvuku v materiálu velkoformátových obkladů po nalepení na podklad závisí na použité lepící hmotě. Testy bylo také zjištěno, že přidání membrány mezi lepidlo a obkladový prvek nemá na tento pokles statisticky významný vliv. Pro velkoformátové obklady je důležité používat vysoce flexibilní lepidla s nižšími moduly pružnosti. Pro průkazné potvrzení významnosti korelace mezi poklesem rychlosti šíření ultrazvuku v materiálu obkladu a modulem pružnosti lepidla by však bylo potřebné nasbírat více statistických dat. Na závěr je třeba konstatovat, že měření nepřímou ultrazvukovou metodou se v tomto experimentu ukázalo jako velice vhodná metoda ke sledování chování nalepených velkoformátových obkladů v čase.

6 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] LEMMEN, Hans van. *5000 Years of tiles*. Washington, DC: Smithsonian Books, 2013. ISBN 9781588343987.
- [2] NAZELENO.CZ. *Dříve zdobily jen chrámy, dnes každý dům i byt*. OBKLADY, DLAŽBY & SANITA. Praha: ATEMI, 2019, 2019(2), 26-31.
- [3] *Large Format Tiles - Trend or Fad?* In: Italian Tile & Stone [online]. Dublin, 2016, 12.12.2016 [cit. 2021-01-11]. Dostupné z: <https://www.tiles.ie/tiles-blog-and-news/large-format-tiles-trend-or-fad>
- [4] KNAUF.CZ. *Komplexní řešení Knauf pro dokonalé obklady a dlažby*. Obklady. 2019, 2019(2), 34.
- [5] ALBELICE, Marco. *Installing large format tiles*. In: <https://www.mapei.com/it/en/home-page> [online]. 13.9.2019 [cit. 2021-01-11]. Dostupné z: <https://www.mapei.com/it/en/realta-mapei/detail/installing-large-format-tiles>
- [6] BOTAMENT.CZ. *Od přípravy podkladu až po zaspárování velkoformátových dlaždic*. Obklady. 2019, 2019(2), 32.
- [7] SOKOLÁŘ, Radomír. *Keramika: Modul BJ01-M01*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební.
- [8] HERAINOVÁ, Marcela. *Keramické obkladové materiály*. [Praha]: Silikátový svaz, 2003. Učebnice pro střední odborné školy (Silikátový svaz).ISBN 80-903113-6-9.
- [9] ČSN EN 14411: *Keramické obkladové prvky - Definice, klasifikace, charakteristiky, posuzování shody a označování*. ED.3, 2017.
- [10] SOKOLÁŘ, Radomír. *Technologie obkládání*. Praha: Silikátový svaz, 2003. ISBN 80-86821-01-3.
- [11] ČSN EN ISO 10545-2: *Keramické obkladové prvky - Část 2: Stanovení geometrických parametrů a jakosti povrchu*. 2019.

- [12] ČSN EN ISO 10545-3: *Keramické obkladové prvky – Část 3: Stanovení nasákavosti, zdánlivé pórovitosti, zdánlivé hustoty a objemové hmotnosti*. 2018.
- [13] ČSN EN ISO 10545-12: *Keramické obkladové prvky – Část 12: Stanovení odolnosti proti vlivu mrazu*. 1998.
- [14] ČSN EN ISO 10545-4: *Keramické obkladové prvky – Část 4: Stanovení pevnosti v ohybu a lomového zatížení*. 2020.
- [15] ČSN EN ISO 10545-5: *Keramické obkladové prvky – Část 5: Stanovení rázové pevnosti měřením koeficientu odrazu*. 1998.
- [16] ČSN EN ISO 10545-6: *Keramické obkladové prvky – Část 6: Stanovení odolnosti proti opotřebení pro neglazované obkladové prvky*. 2012.
- [17] ČSN EN ISO 10545-7: *Keramické obkladové prvky – Část 7: Stanovení odolnosti proti povrchovému opotřebení - Glazované obkladové prvky*. 2000.
- [18] ČSN EN ISO 10545-11: *Keramické obkladové prvky – Část 11: Stanovení odolnosti glazury proti vzniku trhlin - Glazované obkladové prvky*. 1998.
- [19] ČSN EN ISO 10545-13: *Keramické obkladové prvky – Část 13: Stanovení chemické odolnosti*. 2017.
- [20] ČSN EN ISO 10545-14: *Keramické obkladové prvky – Část 14: Stanovení odolnosti proti tvorbě skvrn*. 2016.
- [21] ČSN EN ISO 10545-9: *Keramické obkladové prvky – Část 9: Stanovení odolnosti proti náhlým změnám teploty*. 2014.
- [22] ČSN EN ISO 10545-8: *Keramické obkladové prvky – Část 8: Stanovení délkové teplotní roztažnosti*. 2014.
- [23] ČSN EN ISO 10545-10: *Keramické obkladové prvky – Část 10: Stanovení změn rozměrů vlivem vlhkosti*. 1998.

- [24] PROCERAM. *Slovníček pojmů pro obklady, dlažby a vybavení koupelen*. In: Proceram.cz [online]. [cit. 2021-01-11]. Dostupné z: <http://www.proceram.cz/slovnicek-pojmu-pro-obklady-dlazby-vybaveni-koupelen/>
- [25] Penaria: [online]. [cit. 2021-01-11]. Dostupné z: <https://www.panaria.it/>
- [26] *Ultratenké XXL formáty: Novinky, výhody, uplatnění a realizace. Obklady*. 2019, 2019(2), 28-29.
- [27] *8 Advantages of large-format porcelain tiles*. In: Azulevgrupo.com [online]. 2019, 11.1.2019 [cit. 2021-01-11]. Dostupné z: <https://azulevgrupo.com/en/blog/tiles-porcelains-large-format>.
- [28] JUSTA, Eduard. *Dlouhodobý trend u velkých formátů obkladových materiálů (1. část)*. In: Tzb-info.cz [online]. 2013, 14.1.2013 [cit. 2021-01-11]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/dlazby-a-obklady/9479-dlouhodoby-trend-u-velkych-formatu-obkladovych-materialu-1-část>
- [29] ŠOFR, Václav. *Lepidla a tmely pro kladení obkladového materiálu*. Praha: Silikátová společnost České republiky, 2000.
- [30] ČSN EN 12004-1: *Lepidla pro keramické obkladové prvky – Část 1: Požadavky, posuzování a ověřování stálosti vlastností, klasifikace a označování*. 2018.
- [31] BUREŠ, Martin. *Technologie suchých silikátových hmot*. [Praha]: Silikátový svaz, [2013]. ISBN 978-80-86821-70-2.
- [32] ČSN ISO 1920-10: *Zkoušení betonu - Část 10: Stanovení statického modulu pružnosti v tlaku*. 2016.
- [33] ČSN EN 12808-3: *Lepidla a spárovací malty pro keramické obkladové prvky - Část 3: Stanovení pevnosti v ohybu a v tlaku*. 2009.
- [34] ČSN EN 12808-4: *Lepidla a spárovací malty pro keramické obkladové prvky - Část 4: Stanovení smrštění*. 2010.

- [35] PAVLÍČEK, Jíří. *Technologický předpis Ceresit pro pokládku velkoformátových keramických obkladových prvků* [online]. In: . Praha, 2017 [cit. 2021-01-11]. Dostupné z: https://www.ceresit.cz/content/dam/uac/ceresit/czech-republic/dokumenty/Ceresit_Technologicky_predpis_velke_formaty_2017_CZ_FINAL.pdf
- [36] PROCEQ. *Operating Instructions: Pundit Lab Ultrasonic Instrument* [online]. In: Schwerzenbach, 2017 [cit. 2021-01-11]. Dostupné z: https://www.proceq.com/uploads/tx_proceqproductcms/import_data/files/Pundit%20Lab_Operating%20Instructions_English_high.pdf
- [37] KAŇKA, Jan. *Stavební fyzika*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2003. ISBN 80-01-02645-0.
- [38] ČSN 73 1371: *Nedestruktivní zkoušení betonu - Ultrazvuková impulzová metoda zkoušení betonu*. 2011.
- [39] *Guidebook on non-destructive testing of concrete structures* [online]. In: . 2002 [cit. 2021-01-11]. Dostupné z: http://www.inti.gov.ar/cirsoc/pdf/ensayos/tcs-17_web.pdf
- [40] Michal Čaněk *Vliv velikosti zkušebního tělesa na hodnoty materiálových vlastností stanovených rezonanční metodou*. Brno, 2019. 67 s., 22 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví. Vedoucí práce Ing. Dalibor Kocáb, Ph.D.
- [41] ČSN EN 12504-4: *Zkoušení betonu - Část 4: Stanovení rychlosti šíření ultrazvukového impulsu*. 2005.
- [42] SCHMID, Pavel. *Základy zkušebnictví*. Vyd. 2. opr. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. ISBN 8021425849.
- [43] ČSN 73 1372: *Nedestruktivní zkoušení betonu - Resonanční metoda zkoušení betonu*. 2012.
- [44] QUALITEST. *Cement Testing Technologies: Setting Time & Consistency of Cement*. In: *Imajtechnik.net* [online]. [cit. 2021-01-12]. Dostupné z: <http://www.imajtechnik.net/uploads/cimento-test-cihazlari.pdf>

- [45] KOCÁB, Dalibor a Barbara KUCHARCZYKOVÁ. Shrinkage in Cementitious Self-Levelling Floor Compounds. *Scientific.net*. 2019, (292), 23-28. ISSN 1662-9779.
- [46] TOPOLÁŘ, Libor, Dalibor KOCÁB, Jiří ŠLANHOF, Pavel SCHMID, Petr DANĚK a Jaroslav NOVÁČEK. Testing the Influence of the Material Bonding System on the Bond Strength of Large-Format Tiles Installed on Concrete Substrate under Mechanical Loading. *Materials* [online]. MDPI, 2020, **13**(14), 1-14 [cit. 2021-01-14]. ISSN 1996-1944. Dostupné z: doi:10.3390/ma13143200
- [47] NOVÁČEK, Jaroslav a kolektiv. *ZATĚŽOVÁNÍ KONSTRUKČNÍHO MODELU 6 X 4 M: Výzkumná zpráva č. 01/2020 v rámci řešení projektu MPO FV20606*. 2020.

7 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1	Uspořádání zkoušky pevnosti v ohybu obkladových prvků.....	14
Obr. 2	Schéma provedení zkoušek pevností [30].	20
Obr. 3	Schéma měření smrštění na zkušebních tělesech z lepidla [31].	21
Obr. 4	Využití ultrazvuku ve stavebnictví [36, 37].	23
Obr. 5	Polohy snímače a budiče, a) přímá, b) nepřímá, c), d) polopřímá [38, 40].	24
Obr. 6	Princip měření rychlosti šíření UZ pomocí nepřímého uspořádání [39, 41].	26
Obr. 7	Uspořádání snímače a budiče při zkoušení rezonanční metodou.....	28
Obr. 8	Zkušební tělesa z první etapy experimentu (srpen 2019)	31
Obr. 9	Zkušební tělesa z druhé etapy experimentu (prosinec 2019).	31
Obr. 10	Řezání zkušebních těles pro doplňkové zkoušky velkoformátových obkladů. 32	
Obr. 11	Zkušební tělesa pro zkoušky pevnosti v ohybu, objemové hmotnosti a nasákavosti.....	32
Obr. 12	Tělesa vyřezaná z velkoformátových obkladů.....	33
Obr. 13	Zkušební tělesa připravená pro zkoušku rychlosti šíření UZ při zatížení.	33
Obr. 14	Uspořádání měřicích linií pro měření rychlosti průchodu UZ vlnění v rámci první etapy měření	34
Obr. 15	Osazení pomocného přípravku na měřicí linii.	35
Obr. 16	Ultrazvukové měření v rámci první etapy.	36
Obr. 17	Uspořádání měřicích linií pro měření rychlosti průchodu UZ vlnění v rámci druhé etapy měření.....	37
Obr. 18	Ultrazvukové měření v rámci druhé etapy.	37
Obr. 19	Ohybová zkouška – rozpětí 180 mm, varianta s pryžovými podložkami.	40
Obr. 20	Ohybová zkouška – rozpětí 360 mm.....	40
Obr. 21	Zkouška nasákavosti varem.....	41
Obr. 22	Zkouška rychlosti šíření UZ vlnění při zatížení.	42
Obr. 23	Výroba první sady zkušebních těles – lepidlo 2 (3. 11. 2020).	46
Obr. 24	Výroba první sady zkušebních těles (3. 11. 2020).	46
Obr. 25	Výroba druhé sady zkušebních těles (10. 11. 2020).	47
Obr. 26	Zkušební tělesa pro měření smrštění lepidel.....	48

Obr. 27	Zkušební tělesa pro zkoušky pevností a modulů pružnosti.....	48
Obr. 28	Měření rychlosti průchodu UZ impulzu zkušebními tělesy z lepidla 3.	51
Obr. 29	Zkoušení pomocí rezonanční metody – lepidlo 1.	52
Obr. 30	Zkouška statického modulu pružnosti na tělese L01-E4.	54
Obr. 31	Zkouška pevnosti v tlaku, která následovala po zkoušení modulu pružnosti. ..	54
Obr. 32	Zkouška pevnosti v ohybu – zkušební těleso z lepidla 1.....	55
Obr. 33	Zkušební těleso z lepidla 1 po zkoušce pevnosti v tlaku.....	56
Obr. 34	Zkušební zařízení pro měření smrštění, měření kalibračního ethalonu.	57
Obr. 35	Měření smrštění na zkušebním tělese z cementového lepidla.	57

8 SEZNAM GRAFŮ

Graf 1	Ukázka naměřených hodnot (měření v rámci první etapy).....	36
Graf 2	Záznam průchodu UZ signálu povrchem keramického obkladu – body 1 a 6...	38
Graf 3	Průběh ohybové zkoušky na keramickém obkladu (těleso O-1).	39
Graf 4	Rychlost průchodu UZ vlnění lepidlem 1 v prvních 40 hodinách od výroby.	49
Graf 5	Křivka signálu UZ při průchodu tělesem L01-E5 ve stáří 1 den.	50
Graf 6	Záznam frekvenčního spektra podélného kmitání na zkušebním tělese L01-E05 ve stáří 1 den.	52
Graf 7	Zkouška statického modulu pružnosti na tělese L01-E1 ve stáří 28 dní.	53
Graf 8	Průběh zkoušek tříbodového ohybu na všech tělesech z velkoformátových obkladů.	58
Graf 9	Vyhodnocení rychlosti šíření UZ při použití pouze tří naměřených bodů.	60
Graf 10	Vyhodnocení rychlosti šíření UZ při použití pouze tří naměřených bodů – měření přes trhlinu.	61
Graf 11	Vyhodnocení rychlosti šíření UZ při použití všech naměřených bodů – měření přes trhlinu.	61
Graf 12	Záznam naměřených rychlostí šíření UZ vlnění zkušebními tělesy v rámci první etapy – celé měření.	63
Graf 13	Záznam naměřených rychlostí šíření UZ vlnění zkušebními tělesy v rámci první etapy – první tři dny měření.....	63
Graf 14	Záznam naměřených rychlostí šíření UZ vlnění zkušebními tělesy v rámci etapy 2 – celé měření.	64
Graf 15	Záznam naměřených rychlostí šíření UZ vlnění zkušebními tělesy v rámci etapy 2 – první tři dny.	64
Graf 16	Měření v rámci druhé etapy, stejné obklady, různá lepidla.	65
Graf 17	Porovnání měření v okolí výřezů a v ploše – etapa 2, obklad B.....	66
Graf 18	Porovnání měření v okolí výřezů a v ploše – etapa 2, obklad D.	66
Graf 19	Vliv použití membrány na pokles rychlosti šíření ultrazvukového impulzu v prvních 24 hodinách po nalepení na podklad.....	67
Graf 20	Hodnoty rychlosti UZ při zatěžování zkušebních těles prostým tahem.	68

Graf 21	Lineární regresní model korelace mezi rychlostí šíření UZ a zatížením.	68
Graf 22	Časový průběh rychlosti šíření UZ vlnění v prvních hodinách po výrobě.	69
Graf 23	Vývoj dynamického modulu pružnosti E_{cr1} u všech lepidel v čase.	71
Graf 24	Vývoj všech sledovaných dynamických modulů pružnosti na lepidle 3.	71
Graf 25	Zkouška statického modulu pružnosti na jednotlivých lepidlech, graf síla – deformace.	72
Graf 26	Pevnost zkušebních těles z cementových lepidel v ohybu.	73
Graf 27	Pevnost zkušebních těles z cementových lepidel v tlaku.	73
Graf 28	Smrštění všech zkoumaných lepidel.	74
Graf 29	Smrštění všech zkoumaných lepidel – vývoj v prvních pěti dnech měření.	74
Graf 30	Úbytek hmotnosti u všech zkoumaných lepidel.	75
Graf 31	Porovnání smrštění u zakrytých a nezakrytých těles po výrobě.	76
Graf 32	Porovnání smrštění u zakrytých a nezakrytých těles po výrobě.	76
Graf 33	Porovnání smrštění u těles s různými rozměry.	77
Graf 34	Porovnání úbytku hmotnosti u těles s různými rozměry.	77
Graf 35	Lineární regresní model mezi E_{dyn} a poklesem rychlosti UZ.	78

9 SEZNAM TABULEK

Tab. 1	Vybrané požadované vlastnosti obkladových prvků kategorie A [9].	15
Tab. 2	Vybrané požadované vlastnosti obkladových prvků kategorie B [9].	15
Tab. 3	Porovnání obkladů z hlediska ekologicky sledovaných parametrů [25, 26].	17
Tab. 4	Označení lepidel použitých v rámci experimentu.	30
Tab. 5	Označení a specifikace skladeb v první etapě experimentu.	30
Tab. 6	Označení a specifikace skladeb v druhé etapě experimentu.	30
Tab. 7	Seznam zkušebních těles pro doplňkové zkoušky velkoformátových obkladů.	32
Tab. 8	Časové údaje k ultrazvukovému měření v etapě 1.	35
Tab. 9	Průměrné hodnoty naměřených rychlostí UZ vlnění na jednotlivých obkladech v etapě 1 [m/s].	38
Tab. 10	Průměrné hodnoty naměřených rychlostí UZ vlnění na jednotlivých obkladech v etapě 2 [m/s].	38
Tab. 11	Průměrné hodnoty naměřených rozměrů na tělesech určených pro zkoušku ohybem.	39
Tab. 12	Hmotnosti zkušebních těles sloužících ke stanovení nasákavosti.	41
Tab. 13	Naměřené rychlosti ultrazvukového vlnění při zatěžování.	43
Tab. 14	Maximální síly a počet stupňů zatížení při zkoušce ultrazvuku při zatížení.	43
Tab. 15	Označení a receptura použitých lepidel.	45
Tab. 16	První sada těles z cementových lepidel.	45
Tab. 17	Druhá sada těles z cementových lepidel.	47
Tab. 18	Třetí sada těles z cementových lepidel.	47
Tab. 19	Rychlost průchodu UZ impulzu tělesy v měřených časech.	50
Tab. 20	První vlastní frekvence podélného kmitání v měřených časech.	51
Tab. 21	Poměry podélného, příčného a torzního kmitání zkušebních těles ($f_l : f_t : f_f$).	53
Tab. 22	Vyhodnocení zkoušky pevnosti obkladového prvku v ohybu.	58
Tab. 23	Vyhodnocení zkoušky nasákavosti těles z velkoformátových obkladů.	59
Tab. 24	Vyhodnocené rychlosti UZ vlnění v závislosti na počtu uvažovaných bodů při měření [m/s].	59

Tab. 25	Statistická analýza použitého počtu měřených bodů při vyhodnocení rychlosti šíření UZ impulzu.....	60
Tab. 26	Označení a popis zkušebních vzorků ultrazvukového měření velkoformátových obkladů.....	62
Tab. 27	Dynamické moduly pružnosti zkušebních těles z cementových lepidel, rezonanční metoda.	70
Tab. 28	Dynamické moduly pružnosti zkušebních těles z cementových lepidel, ultrazvuková metoda.	70
Tab. 29	Vypočtené hodnoty statického modulu pružnosti ve stáří 7 a 28 dní.	72
Tab. 30	Pevnostní charakteristiky zkoušených lepidel v čase.....	73

10 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

E_v – nasákavost obkladového prvku

m_1 – hmotnost vysušeného vzorku

m_2 – hmotnost nasyceného vzorku

L_1 – vzdálenost od okraje tělesa po osu podpory při zkoušení pevnosti v ohybu na obkladech

L_2 – vzdálenost podpor při zkoušení pevnosti v ohybu na obkladech

t – tloušťka pryžové podložky

S – lomové zatížení

b – šířka zkušebního tělesa

R – pevnost obkladového prvku v ohybu

h – tloušťka zkušebního tělesa

F – lomová síla

α – součinitel tepelné roztažnosti

E_c – statický modul pružnosti

σ_A – horní zatěžovací napětí

σ_B – dolní zatěžovací napětí

ε_A – průměrné poměrné přetvoření při horním zatěžovacím napětí

ε_B – průměrné poměrné přetvoření při dolním zatěžovacím napětí

R_f – pevnost lepidel v ohybu

d_1 – šířka zkušebního tělesa

d_2 – výška zkušebního tělesa

UZ – ultrazvuk

v_L – rychlost šíření UZ impulzu

L – délka zkušebního tělesa

E_{cu} – dynamický modul pružnosti v tlaku/tahu stanovený ultrazvukovou metodou

ρ – objemová hmotnost

k – součinitel závislý na rozměrnosti prostředí

λ – délka ultrazvukové vlny

ν – Poissonovo číslo

B – budič

S – snímač

E_{crl} – dynamický modul pružnosti v tlaku/tahu stanovený z podélného kmitání tělesa

f_L – první vlastní kmitočet podélného kmitání

E_{crl} – dynamický modul pružnosti v tlaku/tahu stanovený z příčného kmitání tělesa

f_f – první vlastní kmitočet příčného kmitání

i – poloměr setrvačnosti

c_I – korekční součinitel zahrnující vliv smyku a momentů setrvačnosti

G_{cr} – dynamický modul pružnosti ve smyku stanovený z kroutivého kmitání

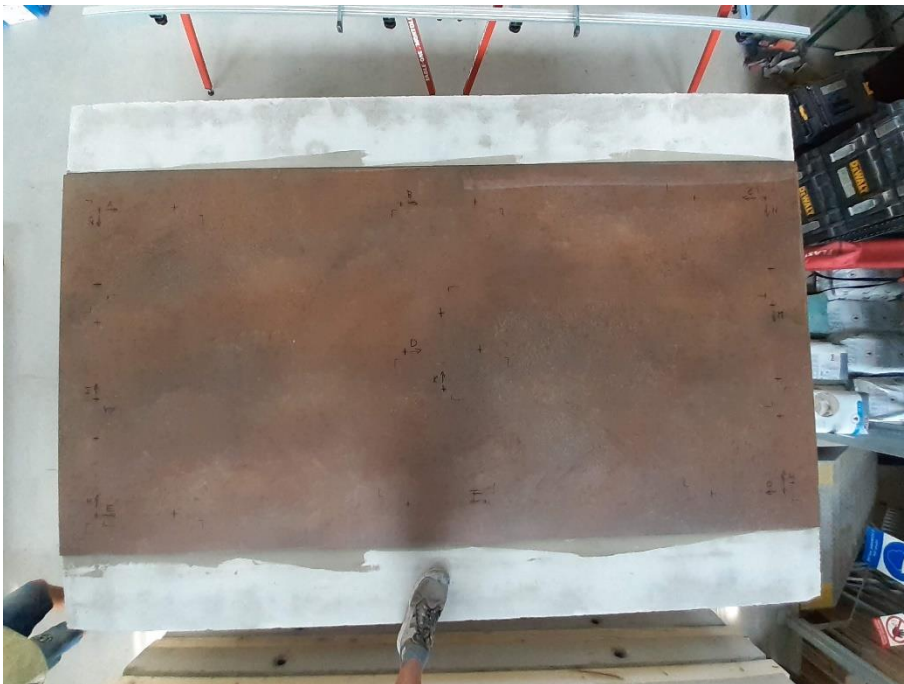
f_t – první vlastní kmitočet kroutivého kmitání

11 PŘÍLOHY

V přílohách se nacházejí obrázky podrobněji mapující proces měření, tabulky se všemi naměřenými hodnotami a grafy, které nebyly použity v kapitole 4.



Obr. P1 *Manipulační rám pro práci s velkoformátovými obklady.*



Obr. P2 *Vyznačení měřících linií, etapa 1.*



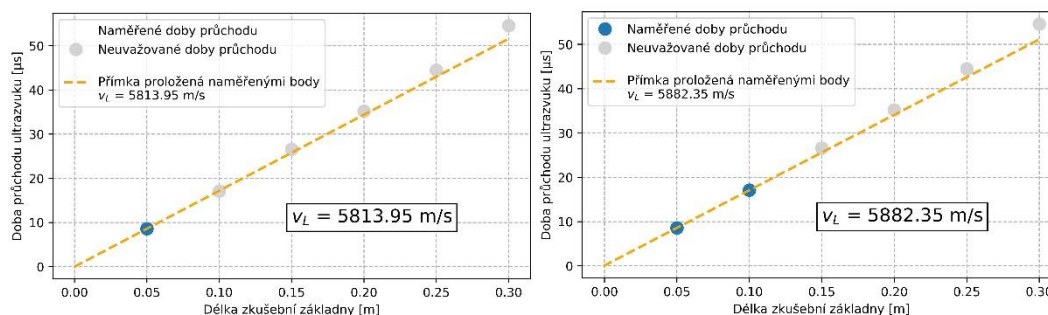
Obr. P3 Detail výřezu velkoformátového obkladu, etapa 1.

Obklad	Linie	Měření 1	Měření 2	Měření 3	Měření 4	Měření 5
A	A	5436	5070	4830	5013	4993
	B	5425	5109	4931	5016	4845
	C	5568	5077	5114	4945	5037
	D	5333	5033	4887	5007	-
	E	5489	5096	4891	5042	4934
	F	5464	5058	4849	4923	4848
	G	5459	5095	5045	5052	5077
	H	5442	5080	5007	5001	4948
	I	5445	5133	5089	5026	4858
	J	5472	5039	4921	4921	4884
	K	5416	5032	4879	5000	-
	L	5418	5083	4894	5016	5096
	M	5460	5159	5149	5074	5053
	N	5488	5074	4865	4928	4768
B	A	5376	5205	5107	5059	5080
	B	5445	5225	5064	5067	5127
	C	5472	5171	5132	5080	5090
	D	5512	5118	5092	5077	5171
	E	5476	5196	5032	5126	5135
	F	5425	5153	5089	5039	5117
	G	5363	5193	5083	5049	5146
	H	5493	5176	5022	5043	5053
	I	5505	5121	5014	5033	5087
	J	5455	5191	4939	5099	5127
	K	5418	5403	5030	5052	5146
	L	5491	5202	5086	5058	5168
	M	5531	5159	5042	5043	5081
	N	5426	5140	5023	5075	5120

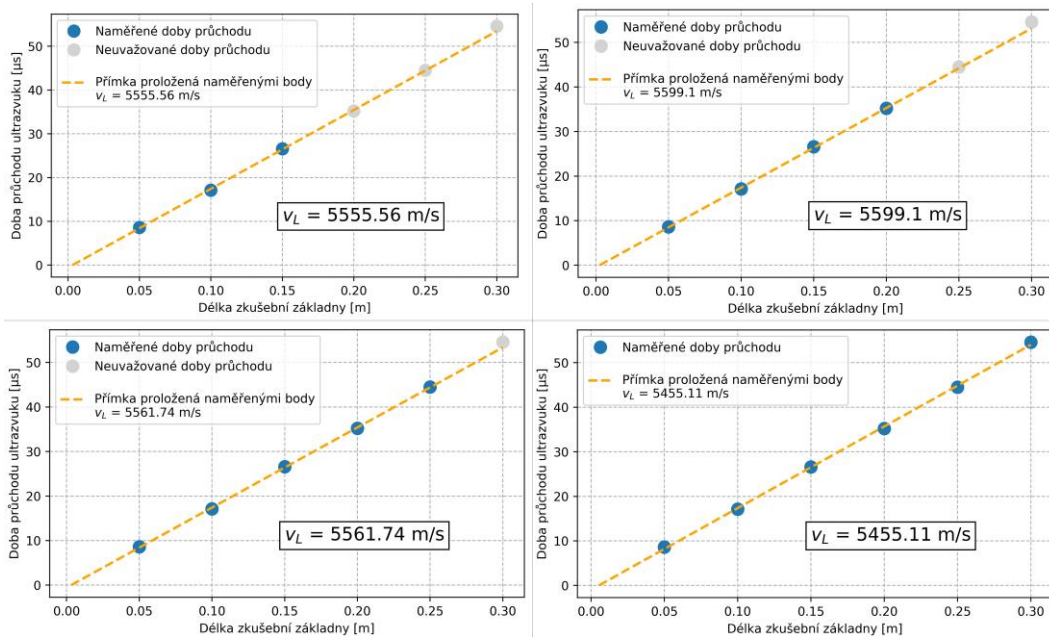
Tab. P1 UZ měření na velkoformátových obkladech v rámci první etapy [m/s] - část 1.

Obklad	Linie	Měření 1	Měření 2	Měření 3	Měření 4	Měření 5
C	A	5472	-	4842	4853	5020
	B	5472	-	4694	4615	4674
	C	5486	-	4973	4860	-
	D	5430	-	4930	4890	-
	E	5457	-	4876	4626	-
	F	5465	-	4816	4864	-
D	A	5503	5479	4781	4848	4895
	B	5579	5355	4707	4643	4775
	C	5527	5474	4873	4510	4674
	D	5589	5510	5126	4788	4776
	E	5598	5486	4521	4241	4330
	F	5524	5527	4705	4401	4427
E	A	5448	-	5045	4584	4757
	B	5443	-	5053	4483	4478
	C	5536	-	5058	5086	4901
	D	5362	-	5056	4969	5022
	E	5344	-	5077	4598	5051
	F	5460	-	5095	4997	5004
	G	5385	-	5087	4795	4809
	H	5462	-	5059	4350	4737
F	A	5350	-	5070	5040	5036
	B	5521	-	5062	5049	4963
	C	5455	-	5067	5062	5022
	D	5413	-	5078	5053	5011
	E	5415	-	5146	5070	5016
	F	5495	-	5033	5007	5056
	G	5410	-	5068	5037	5035
	H	5443	-	5099	5055	5064

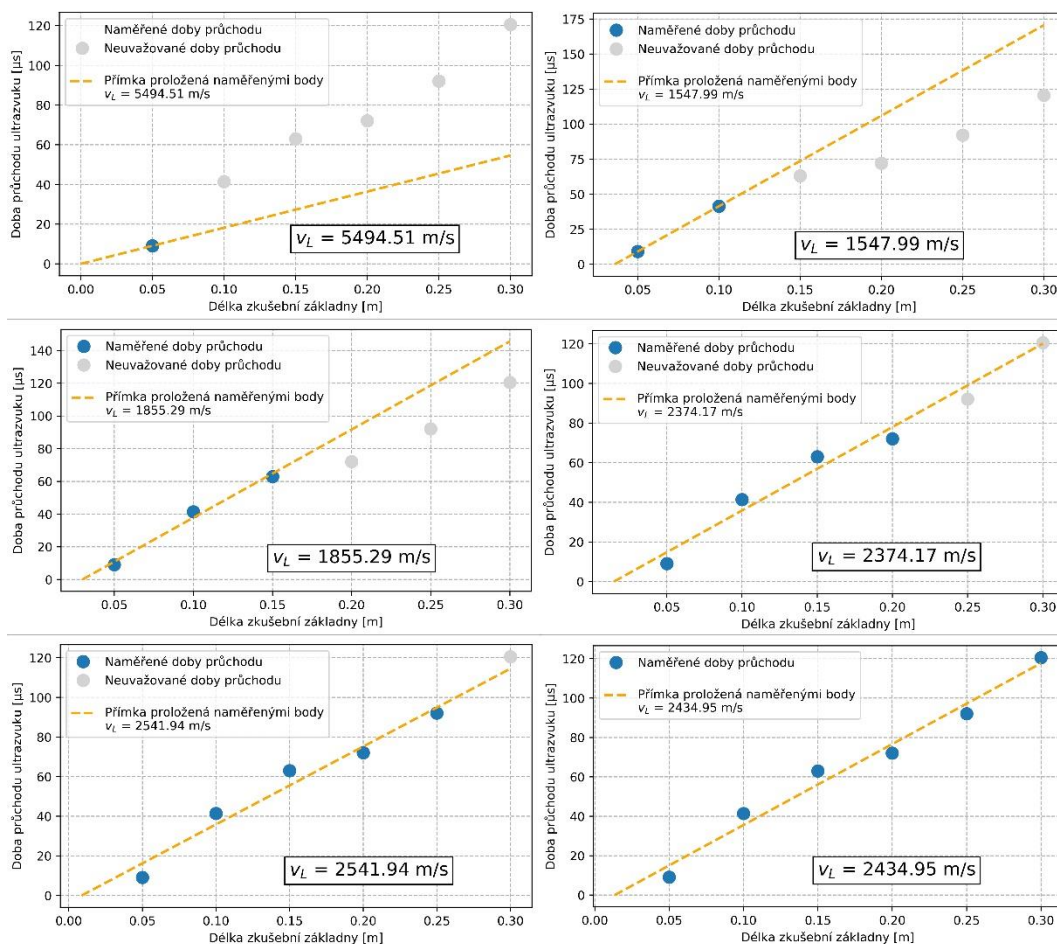
Tab. P2 UZ měření na velkoformátových obkladech v rámci první etapy [m/s] – část 2.



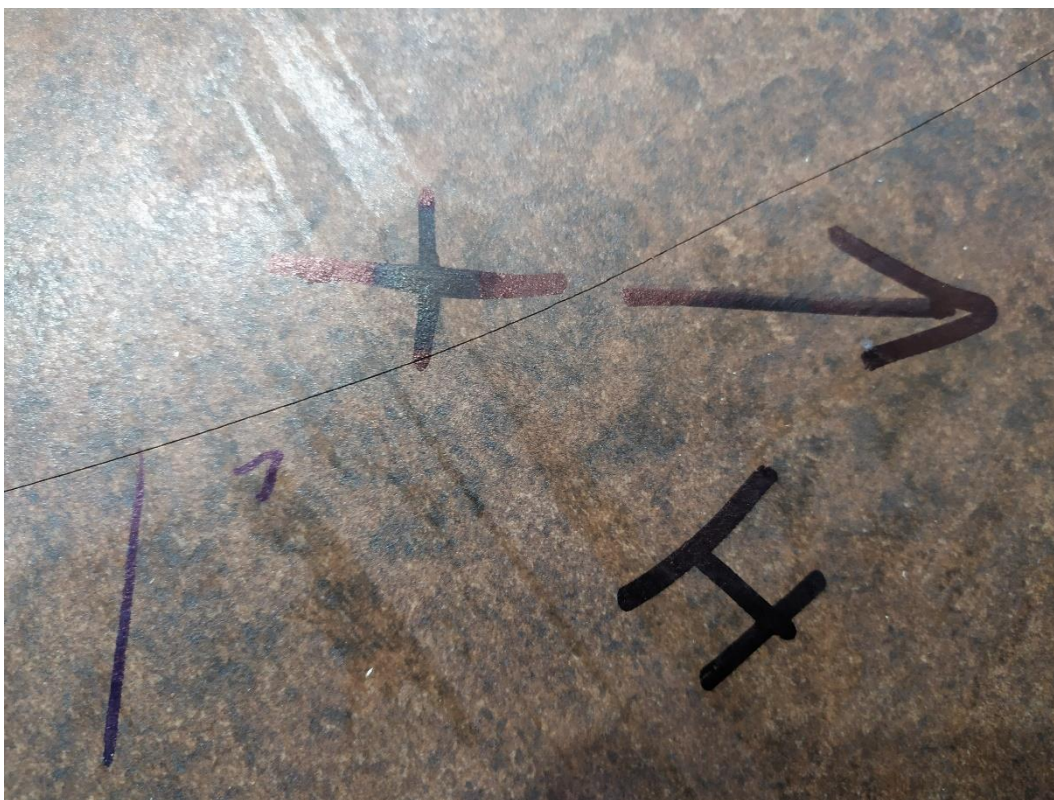
Graf P1 Porovnání počtu použitých poloh přijímače při výpočtu rychlosti šíření ultrazvuku měřené nepřímou ultrazvukovou metodou. Etapa 1, obklad F, bez trhlin – část 1.



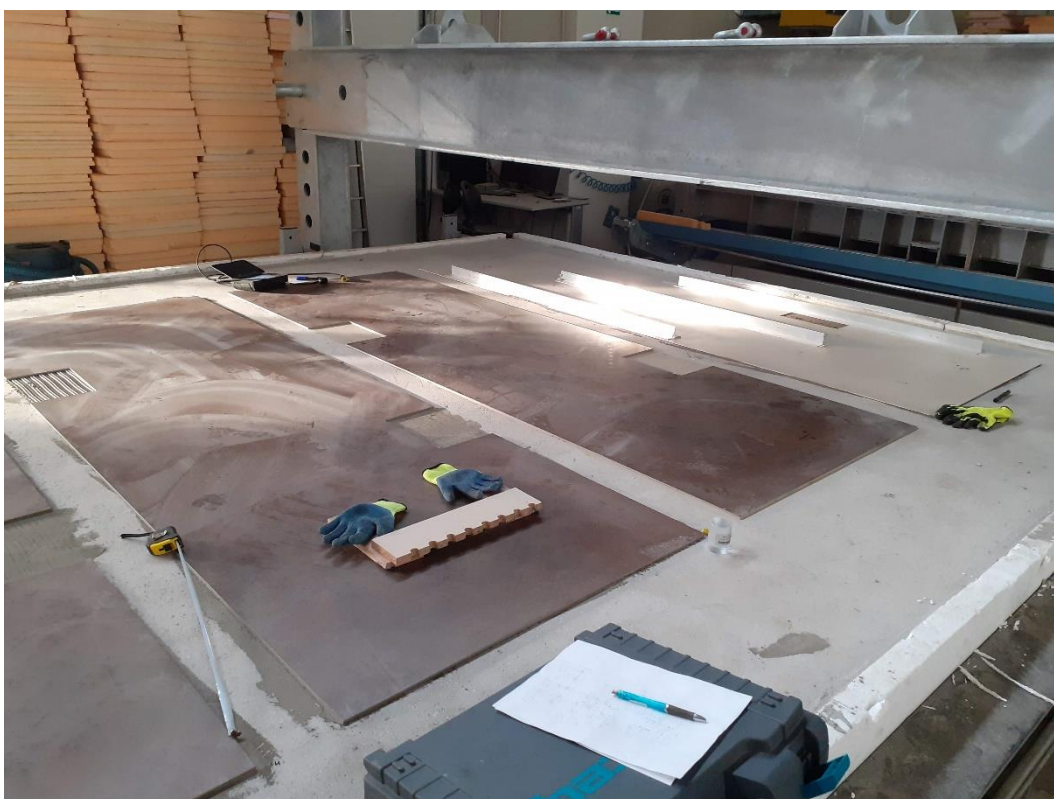
Graf P2 Porovnání počtu použitých poloh přijímače při výpočtu rychlosti šíření ultrazvuku měřené nepřímou ultrazvukovou metodou. Etapa 1, obklad F, bez trhlin – část 2.



Graf P3 Porovnání počtu použitých poloh přijímače při výpočtu rychlosti šíření ultrazvuku měřené nepřímou ultrazvukovou metodou. Etapa 1, obklad C, měření přes trhlinu.



Obr. P4 *Linie měření procházející přes trhlinu, výsledky viz předchozí graf P3.*



Obr. P5 *Ultrazvukové měření velkoformátových obkladů v rámci druhé etapy.*

Tab. P3 UZ měření na velkoformátových obkladech v rámci druhé etapy [m/s].

Obklad	Linie	Měření 1	Měření 2	Měření 3	Měření 4
A	A	5496	5360	5095	5135
	B	5521	5284	4888	4754
	C	5501	5194	5052	5026
	D	5450	5144	5123	4888
	E	5517	5221	4506	5046
	F	5467	5181	4903	4849
B	A	5476	5074	5039	4850
	B	5498	5132	4771	4825
	C	5533	5084	4875	5133
	D	5469	5263	5098	-
	E	5464	5240	4917	4876
	F	5547	5070	4834	4865
C	A	5505	5009	4569	4580
	B	5554	4894	4352	4372
	C	5503	5014	4477	-
	D	5443	5111	4717	-
	E	5481	4840	4572	4287
	F	5500	5158	4842	4670
D	A	5486	5373	5083	5155
	B	5450	5365	5150	5155
	C	5476	5365	4744	-
	D	5505	5355	5053	-
	E	5467	5373	5080	5080
	F	5493	5411	5120	5045
E	A	5609	4764	4651	4475
	B	5541	4881	4800	4912
	C	5521	5109	4762	4694
	D	5647	5101	4446	4363
	E	5538	4787	4409	4366
	F	5527	4941	4781	4364



Obr. P6 *Řezání těles pro doplňující zkoušky velkoformátových obkladů.*



Obr. P7 *Tělesa pro doplňující zkoušky velkoformátových obkladů.*

Tab. P4 Naměřené rozměry [mm] a hmotnost [g] na zkušebních tělesech pro doplňkové zkoušky velkoformátových obkladů.

Označení	b ₁	b ₂	b ₃	h ₁	h ₂	h ₃	h ₄	L ₁	L ₂	m
O-1	99,99	99,63	99,88	5,95	5,92	5,94	6,11	208,18	207,87	297,70
O-2	104,12	103,90	103,52	5,84	5,83	5,82	5,79	207,59	207,72	303,02
O-3	102,03	101,59	100,86	5,79	5,81	5,84	5,77	208,57	208,27	296,94
O-4	102,43	102,90	103,26	5,79	5,77	5,83	5,81	207,07	206,66	289,48
O-5	99,65	99,73	100,20	5,99	5,94	5,99	6,09	207,79	207,76	300,62
O-6	100,81	100,34	100,29	5,97	5,96	6,03	6,09	206,82	206,59	300,80
O-7	99,36	99,75	100,09	5,82	5,81	5,77	5,88	390,00	389,84	543,36
O-8	100,56	100,45	100,89	5,94	6,09	5,94	5,95	388,07	388,20	562,10
O-9	99,75	100,28	100,51	5,94	6,08	5,96	5,95	388,29	387,89	559,06

Tab. P5 Objemová hmotnost zkušebních těles a výsledky ohybové zkoušky.

Označení	ρ [kg/m ³]	F _{ohyb} [N]	f _{cf} [Mpa]	Poznámka
O-1	2397,1	798,51	64,720	-
O-2	2414,4	810,03	61,823	-
O-3	2419,2	753,06	59,491	-
O-4	2345,5	866,88	68,094	s pryž. podložkami
O-5	2413,8	881,88	67,034	s pryž. podložkami
O-6	2408,8	904,14	68,366	s pryž. podložkami
O-7	2400,8	357,96	57,314	-
O-8	2406,5	361,65	53,609	-
O-9	2403,6	366,15	53,498	-



Obr. P8 Zkouška pevnosti v ohybu obkladového prvku.



Obr. P9 *Příprava zkušebních těles pro zkoušku rychlosti šíření ultrazvuku při zatížení.*



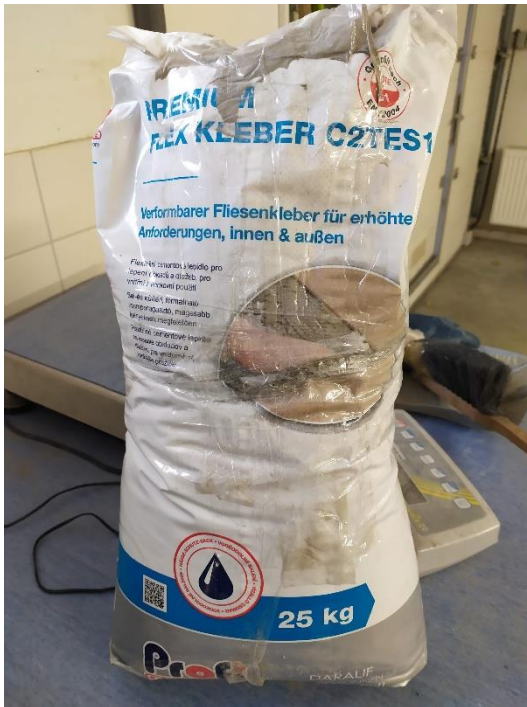
Obr. P10 *Osazení zkušebního tělesa do lisu.*



Obr. P11 *Měření rychlosti šíření ultrazvuku při zatížení.*



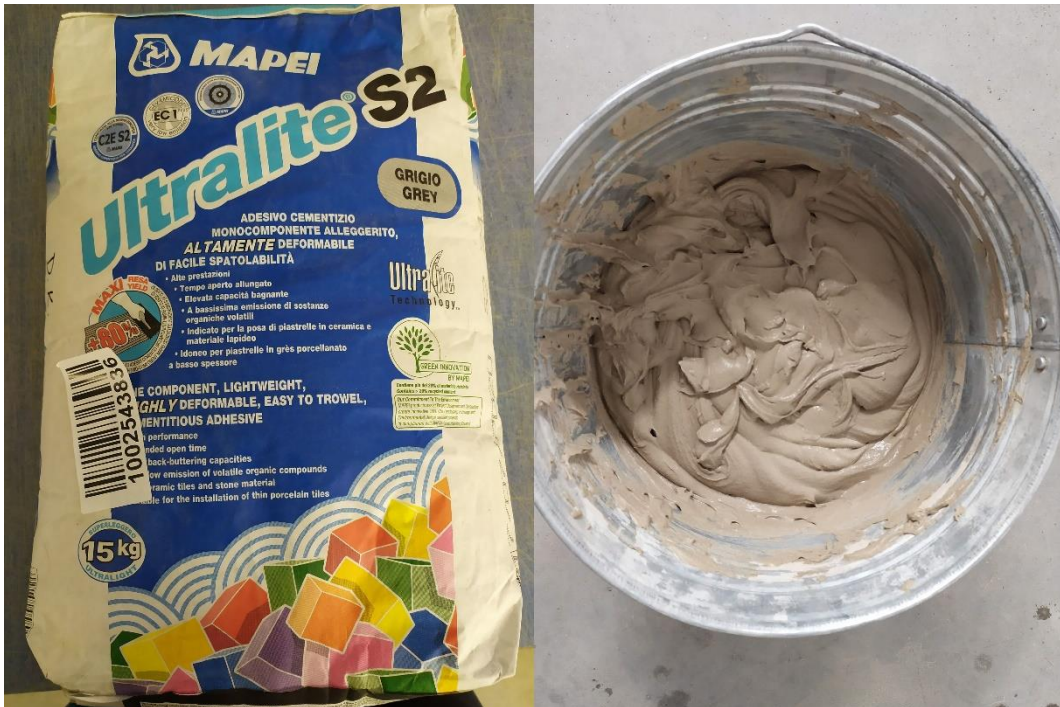
Obr. P12 *Detail porušení zkušebního tělesa při zkoušce rychlosti šíření ultrazvuku při zatížení.*



Obr. P13 Výroba zkušebních těles – lepidlo 1.



Obr. P14 Výroba zkušebních těles – lepidlo 2.



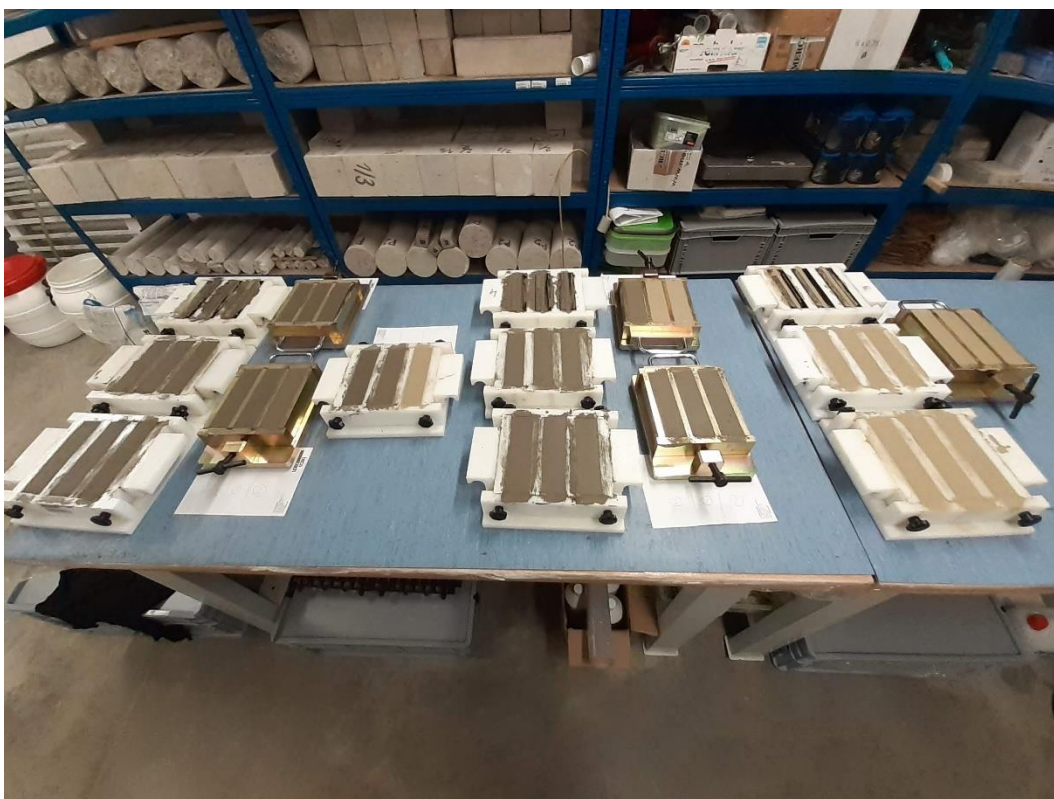
Obr. P15 Výroba zkušebních těles – lepidlo 3.



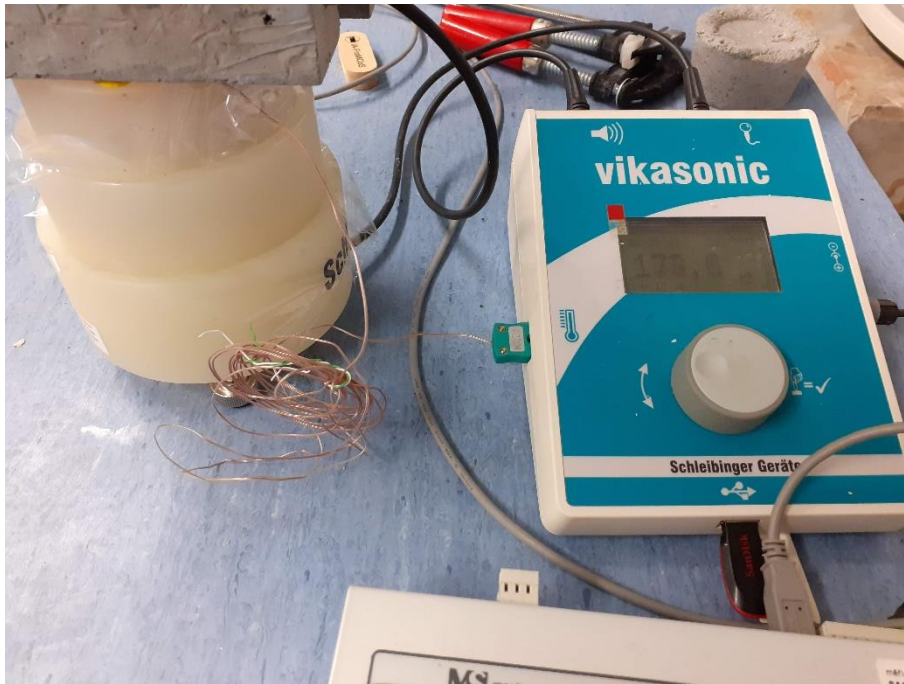
Obr. P16 Výroba zkušebních těles z lepidel – odvažování suché směsi.



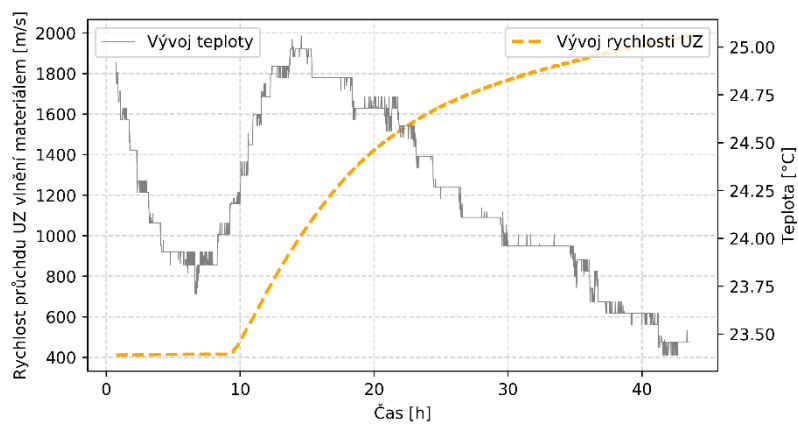
Obr. P17 Výroba zkušebních těles z lepidel – plnění forem.



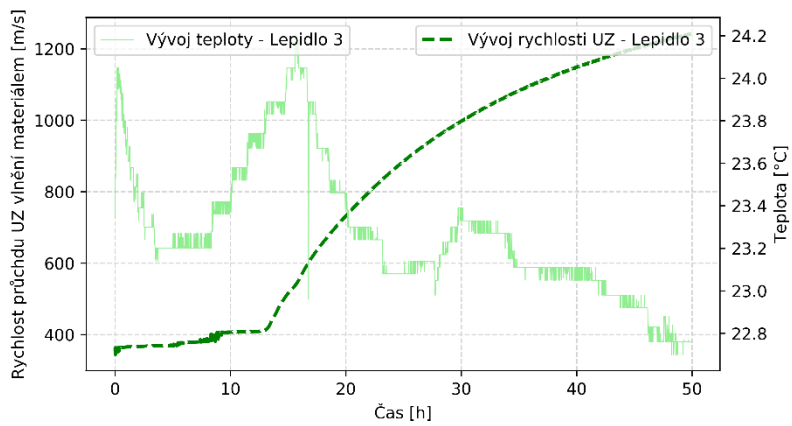
Obr. P18 Zkušební tělesa z cementových lepidel ve formách.



Obr. P19 Zařízení Vikasonic pro kontinuální měření rychlosti šíření ultrazvuku.



Graf P4 Záznam z přístroje Vikasonic – rychlost šíření UZ a teplota – lepidlo 1.



Graf P5 Záznam z přístroje Vikasonic – rychlost šíření UZ a teplota – lepidlo 3.

Tab. P6 *Rozměry, hmotnosti a objemové hmotnosti zkušebních těles z cementových lepidel určených na zkoušky pevností a modulů pružnosti (měřeno a váženo vždy před příslušnými zkouškami).*

Těleso	b [mm]		h [mm]		L [mm]	m [g]	ρ [kg/m ³]
L01-E1	40,20	40,30	40,16	40,08	160,61	385,62	1486,8
L01-E2	40,35	40,20	40,14	40,26	160,42	385,68	1484,9
L01-E3	40,06	40,31	40,23	40,07	160,30	379,70	1468,1
L01-E4	40,20	40,04	40,18	40,13	160,37	384,92	1489,9
L01-E5	40,25	40,09	40,14	40,08	160,60	381,68	1475,0
L01-01	39,70	40,08	40,11	40,35	159,66	344,06	1342,8
L01-02	39,83	40,06	39,88	40,22	160,03	345,14	1348,1
L01-03	39,96	40,20	40,09	39,89	159,83	340,94	1330,9
L01-04	39,76	39,42	39,89	39,86	160,14	342,14	1353,4
L01-05	39,67	39,77	39,80	39,80	160,01	343,08	1356,3
L01-06	39,42	39,62	39,89	39,99	160,17	380,80	1506,2
L01-07	40,13	39,98	39,84	39,86	160,10	384,12	1503,1
L02-E1	40,12	39,59	40,08	39,96	160,21	295,52	1156,5
L02-E2	39,78	39,69	40,04	39,90	160,29	297,54	1168,8
L02-E3	39,09	39,70	40,18	40,03	160,19	294,54	1163,8
L02-E4	39,61	39,91	40,19	40,01	160,42	297,54	1163,3
L02-E5	39,67	39,47	39,93	40,03	160,09	296,18	1169,5
L02-01	39,73	39,88	39,89	39,98	160,11	251,50	988,2
L02-02	39,68	39,75	39,87	39,81	159,76	252,26	997,9
L02-03	39,85	39,66	39,85	39,86	159,40	251,40	995,4
L02-04	39,64	39,57	39,93	39,90	160,22	252,24	983,0
L02-05	39,91	39,85	39,96	39,92	160,58	254,48	993,0
L02-06	39,34	39,82	39,93	39,80	160,25	296,74	1173,6
L02-07	39,27	39,77	39,86	39,82	160,17	299,12	1186,1
L03-E1	39,81	40,03	40,01	40,01	160,40	261,08	1019,1
L03-E2	40,08	39,93	40,11	40,20	160,32	261,26	1014,5
L03-E3	39,92	39,87	40,19	40,09	160,50	260,12	1012,1
L03-E4	39,93	39,99	40,17	40,23	160,41	260,32	1010,2
L03-E5	39,93	39,88	40,20	40,03	160,60	259,56	1009,6
L03-01	39,87	39,89	39,91	39,79	159,42	215,58	850,9
L03-02	39,80	39,79	39,89	39,61	159,33	216,92	860,7
L03-03	39,90	39,84	39,85	39,78	159,46	216,38	854,8
L03-04	40,03	39,69	39,87	39,93	159,74	218,64	860,6
L03-05	40,26	39,62	39,73	39,72	159,96	217,84	858,3
L03-06	39,80	39,72	40,07	39,94	159,98	261,62	1028,1
L03-07	39,92	39,91	40,00	39,99	160,33	261,24	1020,7

Tab. P7 Průměrné hodnoty času průchodu UZ zkušebními tělesy.

Vzorek	$\bar{\Delta}t_{uz}$ [μ s]				
	1 den	3 dny	7 dní	14 dní	28 dní
L01-E1	93,87	75,03	70,03	68,60	67,33
L01-E2	96,67	76,07	70,70	69,60	68,03
L01-E3	93,93	74,27	71,00	68,90	67,97
L01-E4	95,60	75,07	70,30	-	-
L01-E5	94,13	75,47	70,77	-	-
L02-E1	120,00	84,20	76,63	74,27	73,43
L02-E2	121,80	85,87	77,73	74,93	73,20
L02-E3	121,77	83,63	76,70	74,40	72,77
L02-E4	125,60	85,07	78,00	-	-
L02-E5	120,40	83,63	77,27	-	-
L03-E1	126,03	86,83	79,77	77,43	77,03
L03-E2	132,73	88,20	80,87	78,13	77,63
L03-E3	125,43	87,60	80,00	76,70	76,27
L03-E4	134,17	87,70	80,77	-	-
L03-E5	130,77	87,40	80,67	-	-

Tab. P8 Naměřené hodnoty prvních vlastních frekvencí příčného kmitání na zkušebních tělesech.

Vzorek	f_1 [Hz]				
	1 den	3 dny	7 dní	14 dní	28 dní
L01-E1	1724	2510	2784	2805	2920
L01-E2	1724	2485	2712	2817	2828
L01-E3	1724	2553	2732	2884	2913
L01-E4	1731	2536	2732	-	-
L01-E5	1731	2493	2706	-	-
L02-E1	1100	1971	2301	2567	2589
L02-E2	1171	2065	2431	2476	2650
L02-E3	1121	2065	2399	2476	2650
L02-E4	1093	2065	2399	-	-
L02-E5	1136	2099	2425	-	-
L03-E1	1121	2073	2340	2402	2488
L03-E2	1100	2048	2346	2451	2488
L03-E3	1136	2091	2346	2390	2465
L03-E4	1093	2065	2320	-	-
L03-E5	1058	2065	2346	-	-

Tab. P9 Naměřené hodnoty prvních vlastních frekvencí kroutivého kmitání na zkušebních tělesech.

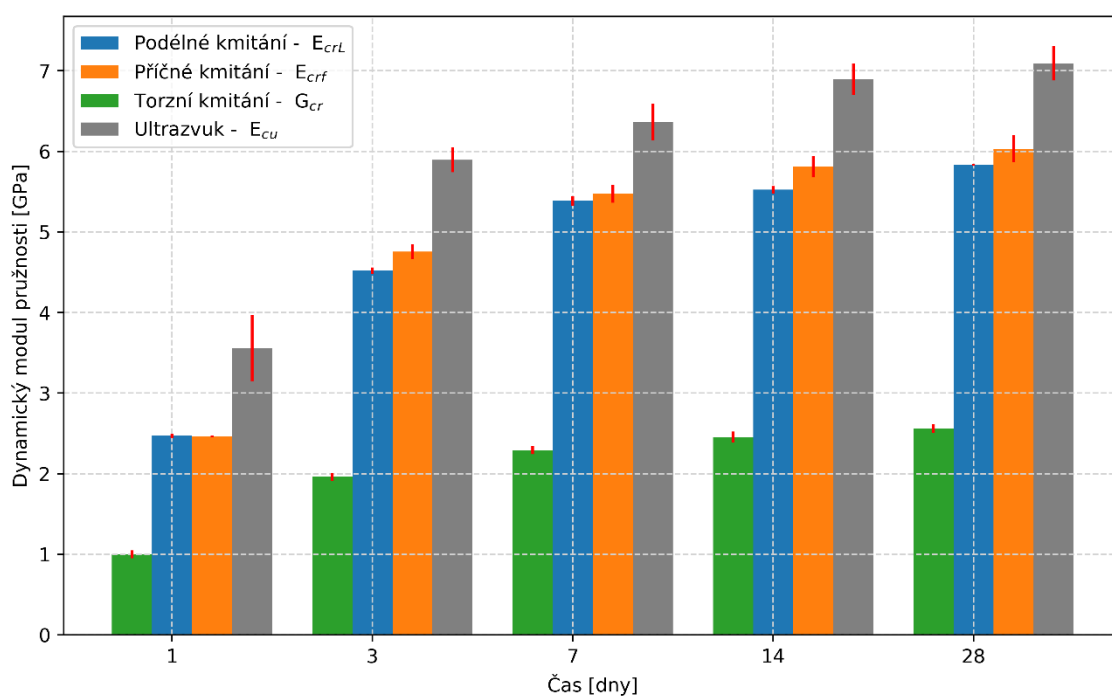
Vzorek	f_t [Hz]				
	1 den	3 dny	7 dní	14 dní	28 dní
L01-E1	2376	3453	3817	3951	4031
L01-E2	2347	3393	3706	3890	3961
L01-E3	2257	3384	3739	3848	3961
L01-E4	2397	3479	3752	-	-
L01-E5	2397	3427	3778	-	-
L02-E1	1521	2802	3255	3445	3568
L02-E2	1521	2853	3281	3494	3607
L02-E3	1521	2887	3314	3494	3607
L02-E4	1472	2862	3314	-	-
L02-E5	1472	2887	3320	-	-
L03-E1	1430	2802	3203	3378	3445
L03-E2	1395	2802	3216	3335	3344
L03-E3	1430	2802	3216	3378	3398
L03-E4	1423	2802	3196	-	-
L03-E5	1458	2767	3209	-	-

Tab. P10 Výsledné hodnoty modulů pružnosti vypočtené z příčného kmitání zkušebních těles.

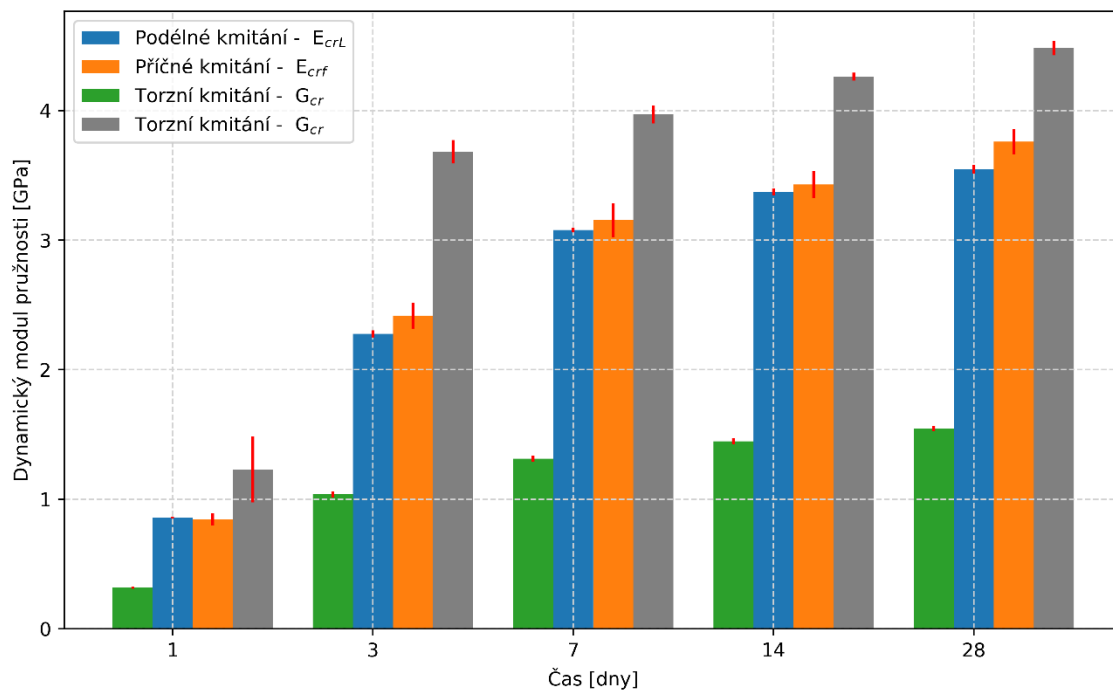
Vzorek	E_{crf} [GPa]				
	1 den	3 dny	7 dní	14 dní	28 dní
L01-E1	2,461	4,734	5,664	5,688	6,177
L01-E2	2,457	4,646	5,403	5,745	5,795
L01-E3	2,473	4,888	5,437	5,990	6,119
L01-E4	2,477	4,843	5,519	-	-
L01-E5	2,459	4,669	5,346	-	-
L02-E1	0,795	2,228	2,908	3,580	3,580
L02-E2	0,915	2,446	3,289	3,360	3,360
L02-E3	0,836	2,448	3,174	3,347	3,347
L02-E4	0,803	2,431	3,148	-	-
L02-E5	0,875	2,535	3,247	-	-
L03-E1	0,743	2,095	2,545	2,654	2,854
L03-E2	0,718	2,017	2,517	2,741	2,847
L03-E3	0,758	2,111	2,536	2,598	2,790
L03-E4	0,695	2,034	2,455	-	-
L03-E5	0,647	2,065	2,524	-	-

Tab. P11 Výsledné hodnoty modulu pružnosti ve smyku vypočtené z krouživého kmitání.

Vzorek	G_{cr} [GPa]				
	1 den	3 dny	7 dní	14 dní	28 dní
L01-E1	1,025	2,001	2,378	2,539	2,641
L01-E2	0,996	1,924	2,231	2,450	2,538
L01-E3	0,909	1,894	2,249	2,374	2,514
L01-E4	1,042	2,031	2,294	-	-
L01-E5	1,034	1,961	2,313	-	-
L02-E1	0,325	0,994	1,273	1,415	1,415
L02-E2	0,329	1,035	1,309	1,470	1,470
L02-E3	0,327	1,061	1,326	1,460	1,460
L02-E4	0,307	1,040	1,324	-	-
L02-E5	0,307	1,062	1,337	-	-
L03-E1	0,254	0,854	1,058	1,172	1,219
L03-E2	0,240	0,846	1,056	1,132	1,139
L03-E3	0,252	0,848	1,059	1,165	1,179
L03-E4	0,249	0,844	1,039	-	-
L03-E5	0,262	0,825	1,051	-	-



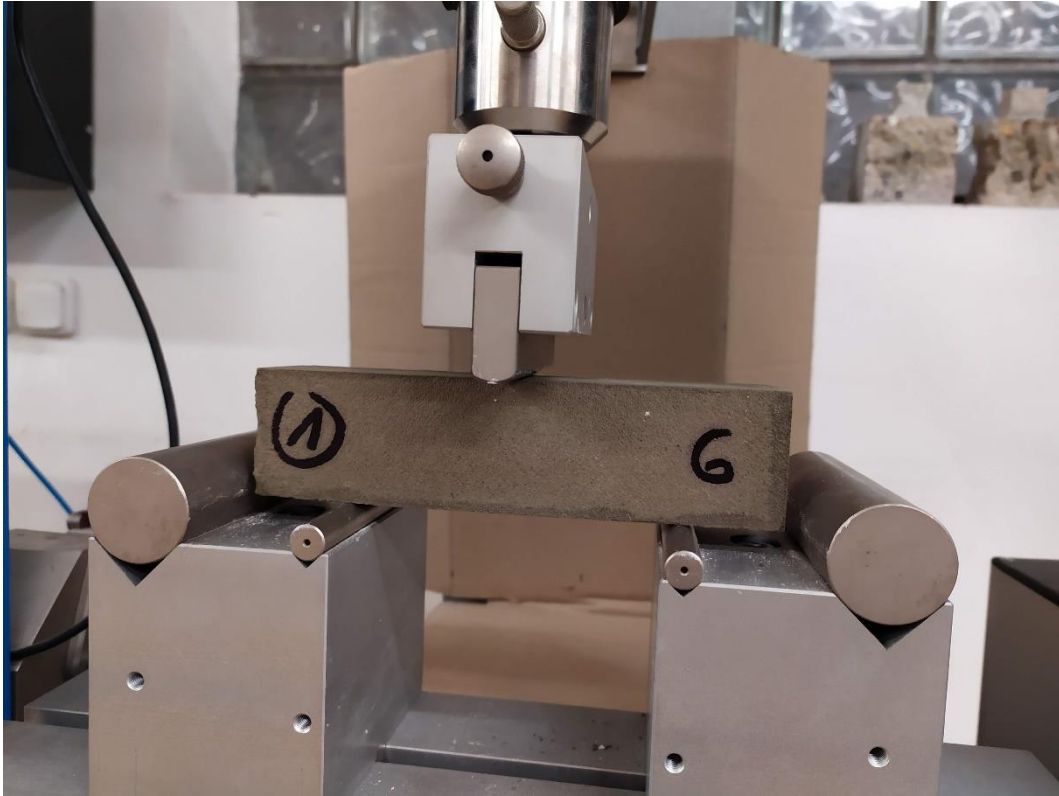
Graf P6 Vývoj dynamických modulů pružnosti v čase – lepidlo 1.



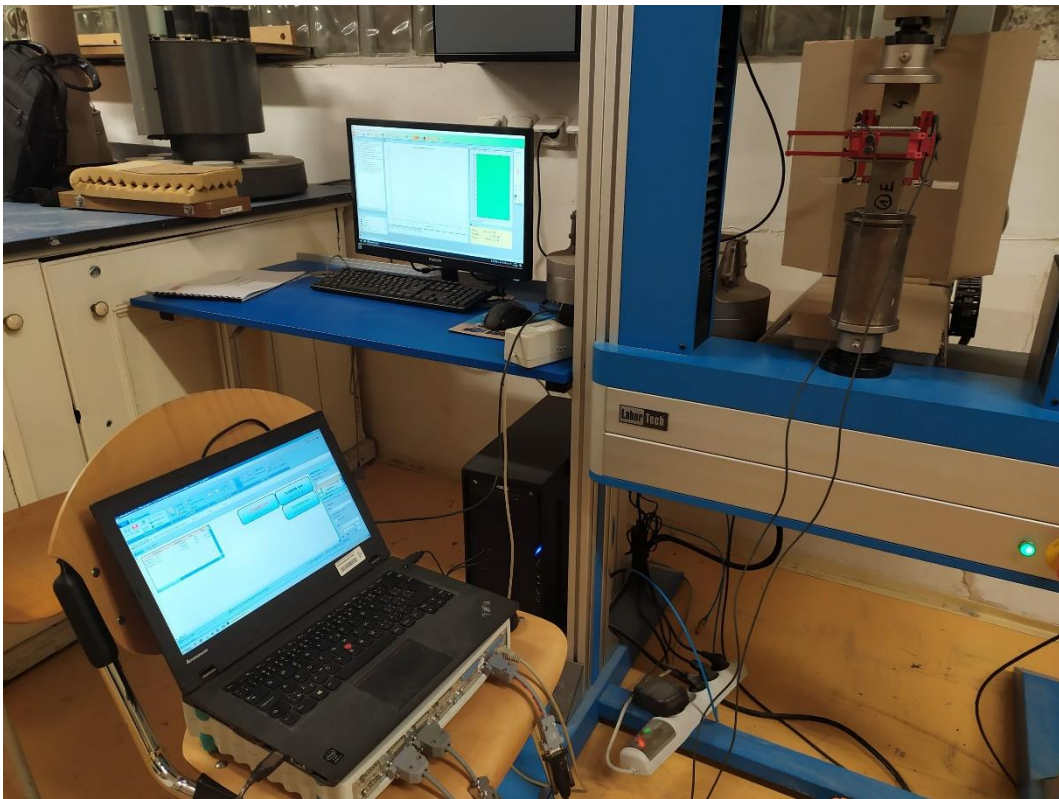
Graf P7 Vývoj dynamických modulů pružnosti v čase – lepidlo 2.



Obr. P20 Zkoušení pevnosti lepidel v tlaku – lepidlo 2.



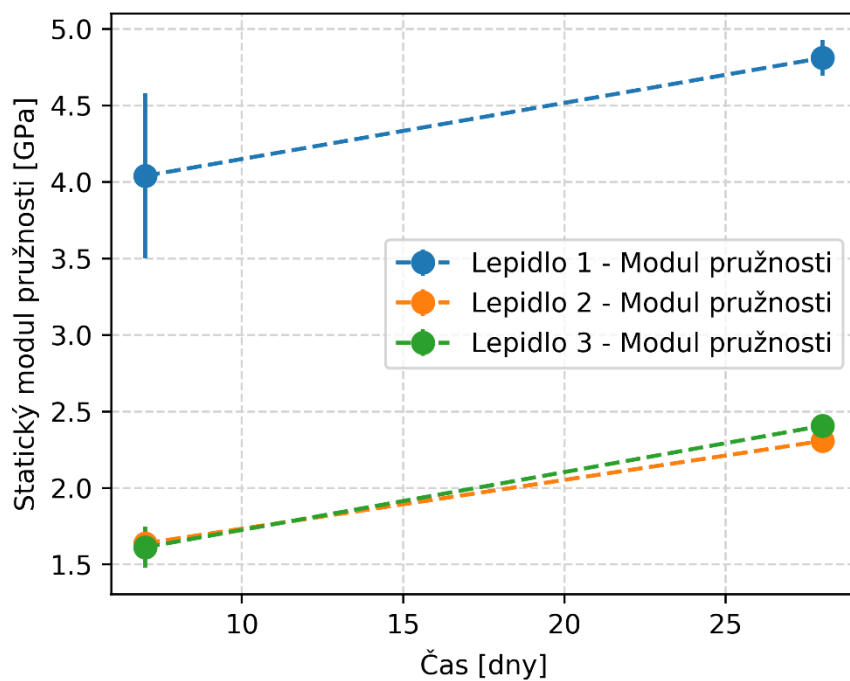
Obr. P21 *Zkoušení pevnosti lepidel v ohybu – lepidlo 1.*



Obr. P22 *Zkouška statického modulu pružnosti na zkušebním tělese z cementového lepidla.*



Obr. P23 *Zkouška pevnosti zkušebního tělesa v tlaku po ukončení zkoušky statického modulu pružnosti.*



Graf P8 *Vývoj statického modulu pružnosti v čase.*

Tab. P12 Průměrné pevnosti a moduly pružnosti – lepidlo 1.

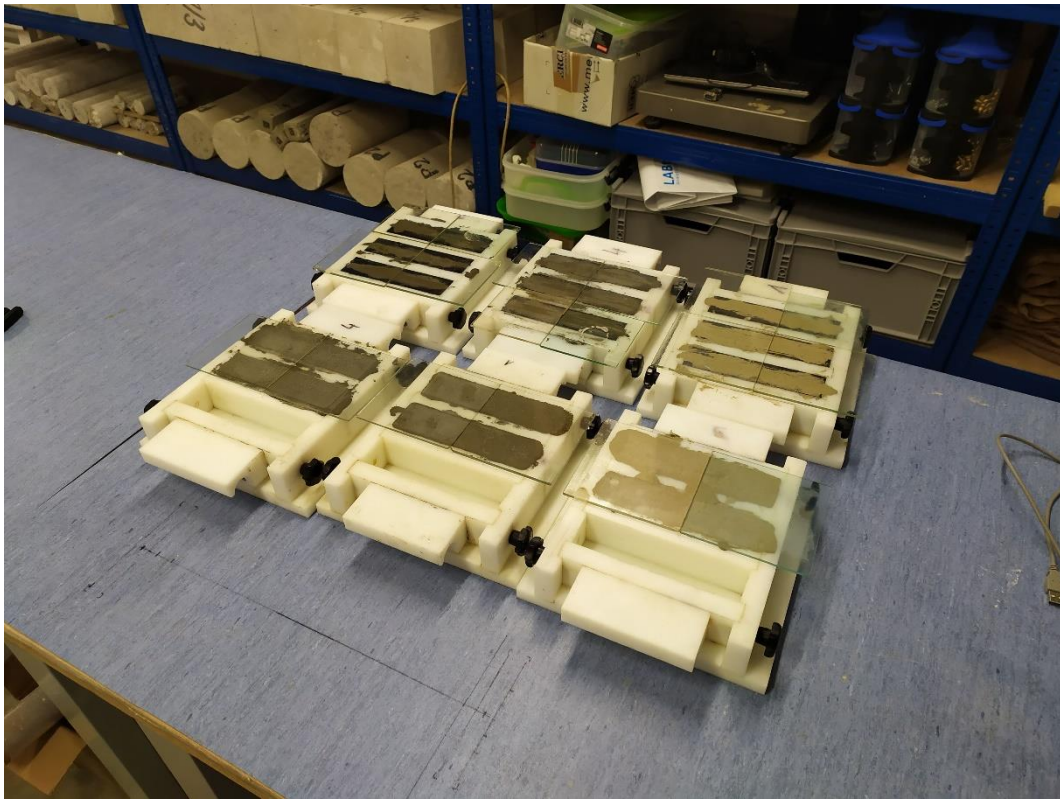
Stáří [dny]	f_{cf} [Mpa]	f_c [Mpa]	E_{crl} [GPa]	E_{crf} [GPa]	G_{cr} [GPa]	E_{cu} [GPa]	E_s [GPa]
1	1,317	1,879	2,472	2,465	1,001	3,558	-
3	-	-	4,518	4,756	1,962	5,893	-
7	6,985	9,847	5,384	5,474	2,293	6,364	4,04
14	-	-	5,523	5,808	2,454	6,897	-
28	8,983	10,694	5,832	6,030	2,564	7,094	4,81

Tab. P13 Průměrné pevnosti a moduly pružnosti – lepidlo 2.

Stáří [dny]	f_{cf} [Mpa]	f_c [Mpa]	E_{crl} [GPa]	E_{crf} [GPa]	G_{cr} [GPa]	E_{cu} [GPa]	E_s [GPa]
1	0,641	0,826	0,860	0,845	0,319	1,230	-
3	-	-	2,278	2,418	1,039	3,682	-
7	7,046	8,694	3,078	3,153	1,314	3,970	1,64
14	-	-	3,370	3,429	1,448	4,261	-
28	10,691	12,501	3,547	3,759	1,545	4,482	2,31

Tab. P14 Průměrné pevnosti a moduly pružnosti – lepidlo 3.

Stáří [dny]	f_{cf} [Mpa]	f_c [Mpa]	E_{crl} [GPa]	E_{crf} [GPa]	G_{cr} [GPa]	E_{cu} [GPa]	E_s [GPa]
1	0,677	0,846	0,709	0,712	0,251	0,618	-
3	-	-	1,843	2,064	0,843	2,919	-
7	6,736	7,608	2,399	2,515	1,053	3,191	1,61
14	-	-	2,573	2,664	1,156	3,498	-
28	8,835	9,493	2,706	2,831	1,179	3,450	2,41



Obr. P24 *Zkušební tělesa pro měření smrštění.*



Obr. P25 *Měření smrštění.*

Tab. P15 Smrštění, data z měření – první sada těles – Lepidla 1, 2, 3.

Datum a čas	Lepidlo 1_1A		Lepidlo 1_1B		Lepidlo 2_2A		Lepidlo 3_3A		Lepidlo 3_3B	
	L [mm]	m [g]	L [mm]	m [g]	L [mm]	m [g]	L [mm]	m [g]	L [mm]	m [g]
4/11/2020 2:32 PM	8,9040	96,50	9,3655	96,33	7,9240	73,99	9,5240	66,25	8,9655	63,83
4/11/2020 5:41 PM	8,8980	94,24	9,3610	94,10	7,9265	71,88	9,5105	64,50	8,9525	62,04
4/11/2020 7:41 PM	8,8960	93,13	9,3585	92,98	7,9280	70,68	9,5050	63,24	8,9465	60,76
5/11/2020 7:20 AM	8,8505	88,89	9,3090	88,49	7,8905	65,83	9,4020	58,38	8,8295	55,93
5/11/2020 2:43 PM	8,7920	87,67	9,2450	87,40	7,8345	64,14	9,2865	56,95	8,6985	54,67
5/11/2020 5:26 PM	8,7710	87,47	9,2260	87,26	7,8200	63,84	9,2580	56,79	8,6700	54,54
6/11/2020 8:38 AM	8,6885	86,94	9,1515	86,79	7,6980	62,94	9,1275	56,27	8,5630	54,20
6/11/2020 12:38 PM	8,6795	86,89	9,1410	86,75	7,6755	62,83	9,1105	56,21	8,5500	54,16
6/11/2020 6:18 PM	8,6670	86,87	9,1285	86,72	7,6580	62,83	9,0960	56,21	8,5385	54,16
9/11/2020 6:42 AM	8,6110	86,89	9,0755	86,72	7,5845	62,84	9,0405	56,19	8,4910	54,18
10/11/2020 10:15 AM	8,6010	86,95	9,0665	86,76	7,5735	62,88	9,0380	56,21	8,4890	54,21
11/11/2020 3:32 PM	8,5940	87,02	9,0575	86,83	7,5650	62,95	9,0320	56,24	8,4860	54,21
12/11/2020 2:39 PM	8,5970	87,15	9,0615	86,98	7,5760	63,08	9,0415	56,34	8,4920	54,30
13/11/2020 6:59 AM	8,5905	87,15	9,0550	87,00	7,5720	63,10	9,0385	56,35	8,4895	54,30
13/11/2020 6:54 PM	8,5865	87,16	9,0525	87,00	7,5670	63,09	9,0350	56,34	8,4870	54,29
18/11/2020 10:17 AM	8,5820	87,22	9,0445	87,05	7,5545	63,16	9,0320	56,35	8,4825	54,30
19/11/2020 10:56 AM	8,5800	87,22	9,0425	87,07	7,5525	63,14	9,0305	56,36	8,4820	54,30
23/11/2020 3:34 PM	8,5705	87,20	9,0320	87,03	7,5370	63,13	9,0190	56,32	8,4725	54,29
26/11/2020 6:46 PM	8,5680	87,21	9,0300	87,06	7,5360	63,15	9,0160	56,35	8,4685	54,30
2/12/2020 3:11 PM	8,5635	87,19	9,0255	87,04	7,5285	63,12	9,0135	56,31	8,4630	54,25
11/12/2020 10:08 AM	8,5665	87,24	9,0285	87,07	7,5335	63,17	9,0170	56,35	8,4700	54,30
16/12/2020 12:34 PM	8,5625	87,22	9,0240	87,07	7,5300	63,17	9,0130	56,35	8,4655	54,29
21/12/2020 10:35 AM	8,5640	87,22	9,0235	87,06	7,5305	63,17	9,0155	56,35	8,4670	54,29

Tab. P16 Smrštění, data z měření – druhá sada těles – lepidlo 1.

Datum a čas	Lepidlo 1_1		Lepidlo 1_2		Lepidlo 1_4		Lepidlo 1_5	
	L [mm]	m [g]	L [mm]	m [g]	L [mm]	m [g]	L [mm]	m [g]
11/11/2020 3:28 PM	5,7790	102,79	7,9315	101,51	4,4255	410,52	6,5365	415,21
11/11/2020 7:00 PM	5,7750	100,67	7,9265	99,45	4,4195	406,36	6,5305	411,03
12/11/2020 7:27 AM	5,7545	95,34	7,9075	94,45	4,4165	395,38	6,5265	400,13
12/11/2020 2:31 PM	5,7265	93,54	7,8790	92,59	4,4115	390,41	6,5210	395,09
12/11/2020 8:54 PM	5,6990	92,64	7,8515	91,65	4,4055	386,97	6,5150	391,52
13/11/2020 6:48 AM	5,6275	91,74	7,7840	90,77	4,3935	382,61	6,5020	387,22
13/11/2020 6:46 PM	5,5585	91,27	7,7440	90,51	4,3795	379,36	6,4860	383,62
16/11/2020 9:10 AM	5,4700	91,02	7,6320	90,03	4,2710	370,76	6,3885	375,42
18/11/2020 10:09 AM	5,4510	91,12	7,6095	90,10	4,1720	368,36	6,2890	372,87
19/11/2020 11:01 AM	5,4445	91,18	7,6015	90,16	4,1425	367,93	6,2580	372,37
20/11/2020 3:29 PM	5,4300	91,20	7,5870	90,17	4,1105	367,42	6,2235	371,84
23/11/2020 3:25 PM	5,4130	91,24	7,5675	90,22	4,0360	366,28	6,1470	370,65
26/11/2020 3:25 PM	5,4105	91,30	7,5645	90,29	4,0210	366,28	6,1345	370,64
2/12/2020 3:17 PM	5,4030	91,31	7,5555	90,30	3,9815	366,08	6,0930	370,41
7/12/2020 10:43 AM	5,4145	91,38	7,5670	90,36	3,9890	366,43	6,1000	370,77
11/12/2020 10:02 AM	5,4060	91,35	7,5580	90,34	3,9685	366,33	6,0800	370,67
16/12/2020 12:29 PM	5,4030	91,36	7,5550	90,34	3,9610	366,48	6,0715	370,79
21/12/2020 10:35 AM	5,403	91,35	7,556	90,33	3,9525	366,52	6,063	370,86

Tab. P17 Smrštění, data z měření – třetí sada těles – lepidlo 2.

Datum a čas	Lepidlo 2_4		Lepidlo 2_5	
	L [mm]	m [g]	L [mm]	m [g]
11/11/2020 3:56 PM	8,4370	295,05	8,1845	293,70
11/11/2020 7:05 PM	8,4365	291,57	8,1825	290,30
12/11/2020 7:31 AM	8,4345	280,15	8,1800	278,83
12/11/2020 2:34 PM	8,4305	274,73	8,1765	273,57
12/11/2020 8:56 PM	8,4275	270,91	8,1720	269,87
13/11/2020 6:53 AM	8,4190	265,98	8,1635	265,04
13/11/2020 6:50 PM	8,4035	261,40	8,1495	260,57
16/11/2020 9:12 AM	8,3100	250,71	8,0540	249,77
18/11/2020 10:12 AM	8,2115	247,76	7,9545	246,81
19/11/2020 11:04 AM	8,1725	247,18	7,9210	246,23
20/11/2020 3:27 PM	8,1350	246,66	7,8760	245,69
23/11/2020 3:29 PM	8,0490	245,92	7,7920	244,76
26/11/2020 6:54 PM	8,0345	245,92	7,7755	244,96
2/12/2020 3:15 PM	7,9945	245,95	7,7360	244,99
7/12/2020 10:46 AM	8,0075	246,43	7,7490	245,47
11/12/2020 10:00 AM	7,9845	246,43	7,7265	245,43
16/12/2020 12:27 PM	7,9765	246,62	7,7180	245,65
21/12/2020 10:35 AM	7,9690	246,72	7,7110	245,75

Tab. P18 Smrštění, data z měření – čtvrtá sada těles – lepidlo 3.

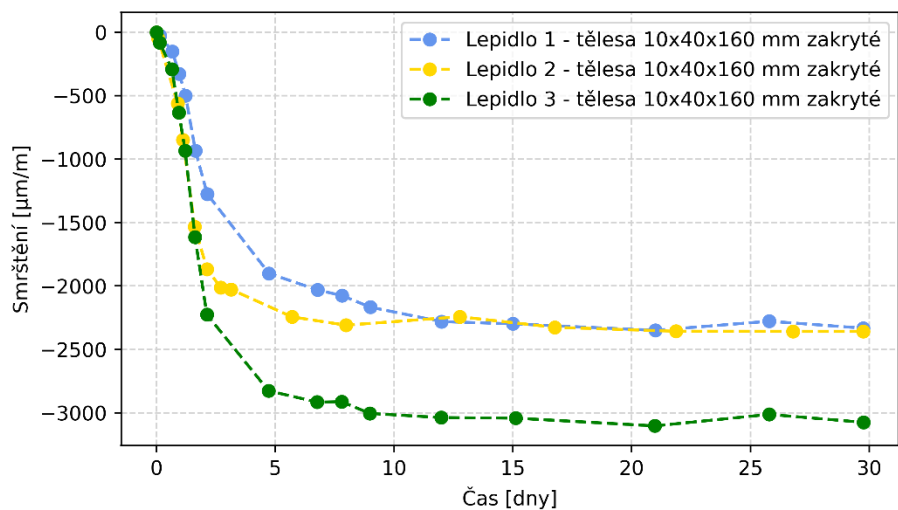
Datum a čas	Lepidlo 3_1		Lepidlo 3_2		Lepidlo 3_4		Lepidlo 3_5	
	L [mm]	m [g]	L [mm]	m [g]	L [mm]	m [g]	L [mm]	m [g]
11/11/2020 3:58 PM	7,3190	69,71	8,3165	67,23	8,7215	257,68	7,1605	261,02
11/11/2020 7:07 PM	7,3055	68,00	8,3040	65,72	8,7160	254,48	7,1455	257,83
12/11/2020 7:33 AM	7,2725	62,17	8,2695	60,22	8,7035	242,25	7,1350	245,53
12/11/2020 2:37 PM	7,2185	60,08	8,2140	58,07	8,6945	236,50	7,1250	239,63
12/11/2020 8:58 PM	7,1740	59,09	8,1625	57,02	8,6840	232,42	7,1165	235,48
13/11/2020 6:55 AM	7,0695	58,07	8,0495	56,06	8,6555	227,23	7,0865	230,20
13/11/2020 6:52 PM	6,9515	57,58	7,9720	55,79	8,6150	222,82	7,0440	225,62
16/11/2020 9:14 AM	6,8605	57,48	7,8705	55,60	8,3635	212,92	6,7975	215,72
18/11/2020 10:14 AM	6,8455	57,56	7,8570	55,67	8,2280	211,12	6,6670	213,91
19/11/2020 11:06 AM	6,8475	57,58	7,8560	55,69	8,2100	210,97	6,6410	213,74
20/11/2020 3:24 PM	6,8320	57,57	7,8420	55,69	8,1693	210,73	6,6080	213,49
23/11/2020 3:32 PM	6,8275	57,57	7,8360	55,68	8,1140	210,24	6,5540	212,95
26/11/2020 6:49 PM	6,8280	57,58	7,8340	55,69	8,1080	210,42	6,5470	213,14
2/12/2020 3:14 PM	6,8165	57,57	7,8260	55,67	8,0855	210,50	6,5240	213,20
7/12/2020 10:48 AM	6,8310	57,63	7,8405	55,72	8,1020	210,91	6,5405	213,63
11/12/2020 10:05 AM	6,8210	57,61	7,8305	55,71	8,0885	210,91	6,5265	213,63
16/12/2020 12:32 PM	6,8180	57,60	7,8275	55,70	8,0840	211,03	6,5230	213,76
21/12/2020 10:35 AM	6,9190	57,59	7,8280	55,69	8,0830	211,10	6,5215	213,84

Tab. P19 Smrštění, data z měření – pátá sada těles, část 1 – lepidlo 2.

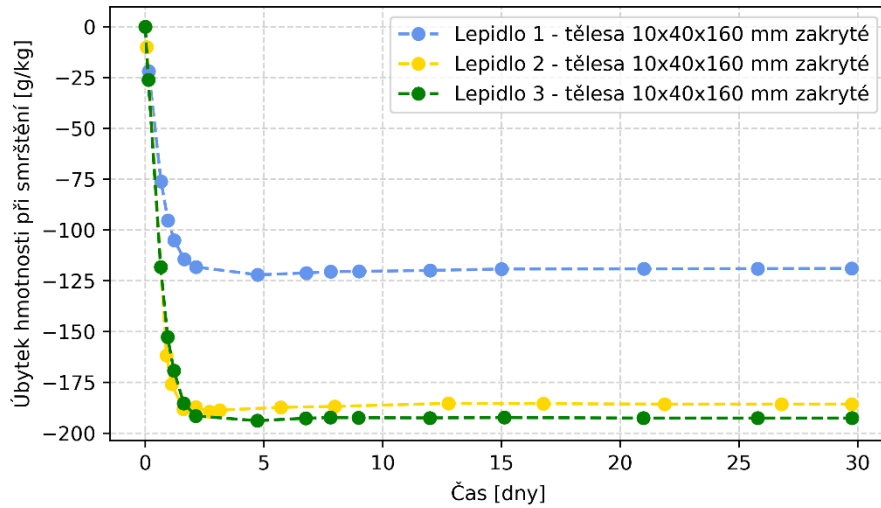
Datum a čas	Lepidlo 2_O1		Lepidlo 2_O2		Lepidlo 2_O3	
	L [mm]	m [g]	L [mm]	m [g]	L [mm]	m [g]
24/11/2020 3:36 PM	7,2845	55,91	7,8770	62,05	7,1390	60,52
24/11/2020 5:11 PM	7,2780	54,89	7,8545	60,99	7,1325	59,49
25/11/2020 1:03 PM	7,1500	48,07	7,7620	53,62	7,0140	52,23
25/11/2020 6:21 PM	7,1365	47,64	7,7605	52,95	6,9650	51,10
26/11/2020 6:14 AM	7,0100	47,49	7,6095	52,49	6,8735	51,33
26/11/2020 6:43 PM	6,9770	47,48	7,5655	52,43	6,8310	51,29
27/11/2020 8:30 AM	6,9590	47,50	7,5440	52,45	6,8110	51,31
27/11/2020 7:05 PM	6,9585	47,55	7,5400	52,49	6,8090	51,36
30/11/2020 8:30 AM	6,9305	47,59	7,5080	52,56	6,7800	51,42
2/12/2020 3:01 PM	6,9225	47,59	7,4990	52,59	6,7675	51,44
7/12/2020 9:55 AM	6,9330	47,67	7,5105	52,68	6,7780	51,53
11/12/2020 9:55 AM	6,9200	47,66	7,4960	52,67	6,7650	51,51
16/12/2020 12:24 PM	6,9160	47,65	7,4915	52,65	6,7605	51,51
21/12/2020 10:35 AM	6,9155	47,66	7,4915	52,67	6,7605	51,51

Tab. P20 Smrštění, data z měření – pátá sada těles, část 2 – lepidlo 2.

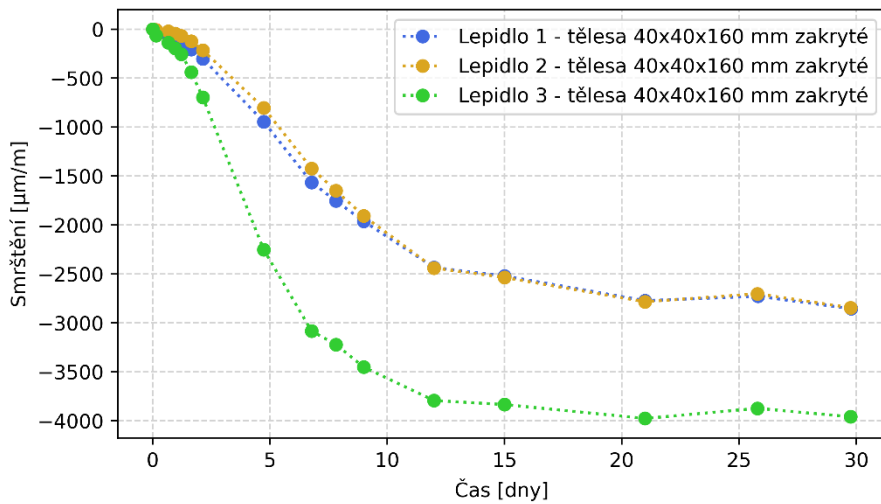
Datum a čas	Lepidlo 2_O4		Lepidlo 2_O5		Lepidlo 2_O6	
	L [mm]	m [g]	L [mm]	m [g]	L [mm]	m [g]
24/11/2020 3:36 PM	7,8485	62,80	7,5565	55,80	7,6485	61,04
24/11/2020 5:11 PM	7,8375	62,34	7,5500	55,12	7,6435	60,37
25/11/2020 1:03 PM	7,7615	54,00	7,4615	47,71	7,5605	52,43
25/11/2020 6:21 PM	7,7165	53,19	7,4150	47,08	7,5150	51,64
26/11/2020 6:14 AM	7,6065	52,46	7,3120	46,58	7,3990	50,97
26/11/2020 6:43 PM	7,5495	52,57	7,2640	46,53	7,3435	50,87
27/11/2020 8:30 AM	7,5260	52,38	7,2420	46,55	7,3195	50,89
27/11/2020 7:05 PM	7,5235	52,42	7,2390	46,59	7,3175	50,94
30/11/2020 8:30 AM	7,4885	52,51	7,2055	46,63	7,2825	51,01
2/12/2020 3:01 PM	7,4780	52,53	7,1960	46,66	7,2710	51,04
7/12/2020 9:55 AM	7,4875	52,61	7,2070	46,74	7,2825	51,11
11/12/2020 9:55 AM	7,4740	52,60	7,1940	46,74	7,2690	51,12
16/12/2020 12:24 PM	7,4690	52,59	7,1885	46,72	7,2645	51,09
21/12/2020 10:35 AM	7,4685	52,60	7,1885	46,72	7,2645	51,11



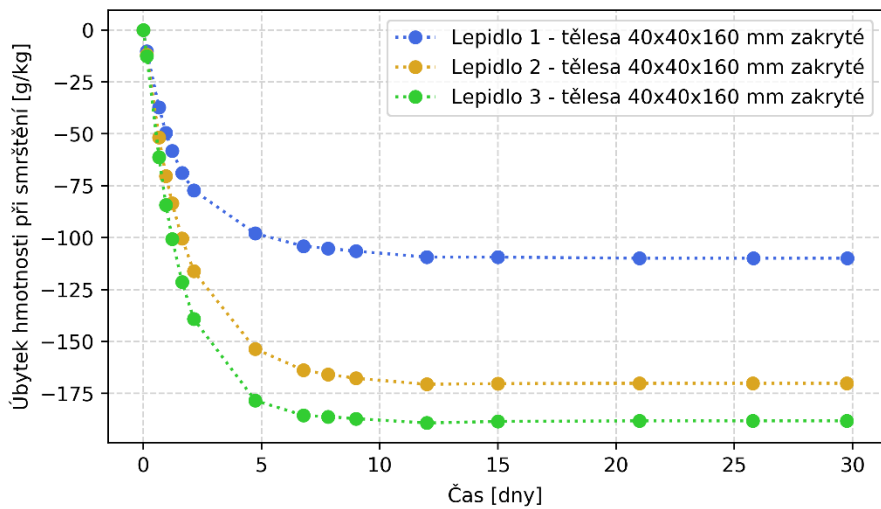
Graf P9 Smrštění u těles zakrytých po výrobě.



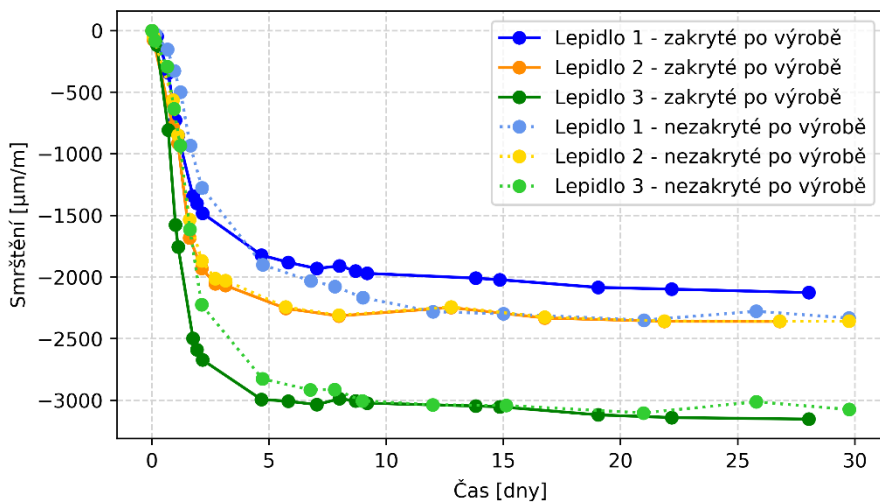
Graf P10 Úbytek hmotnosti u těles zakrytých po výrobě.



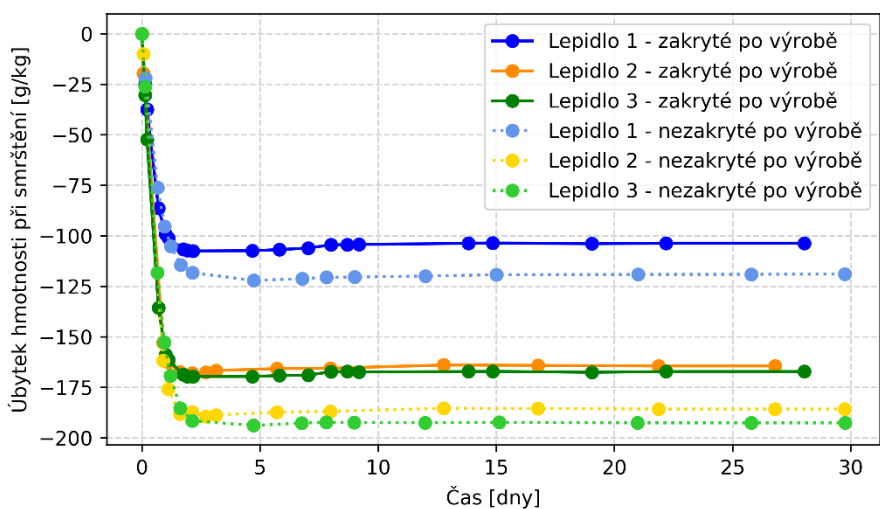
Graf P11 Smrštění u těles 40x40x160 mm.



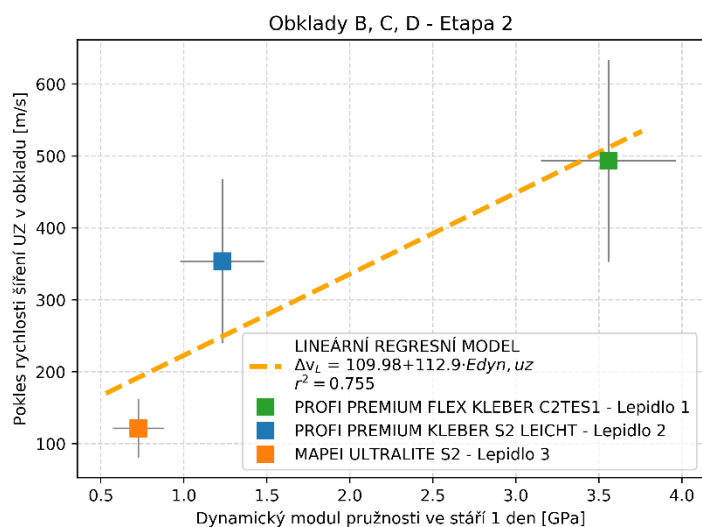
Graf P12 Úbytek hmotnosti u těles 40x40x160 mm.



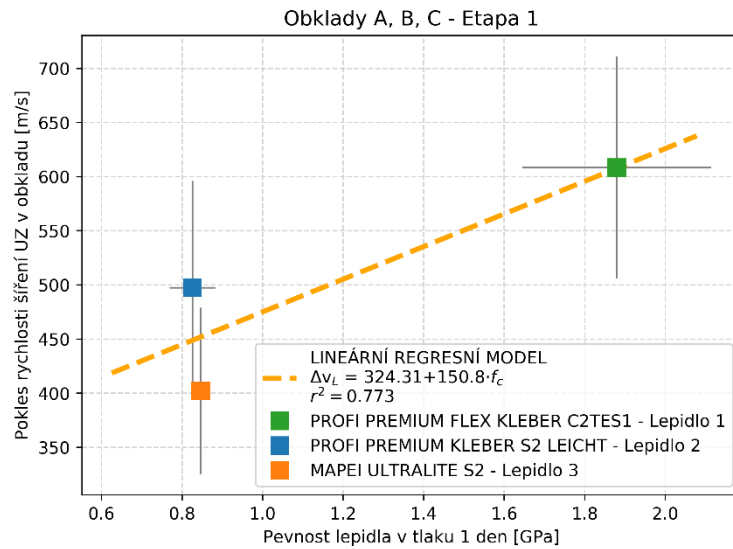
Graf P13 Porovnání smrštění na zakrytých a nezakrytých tělesech.



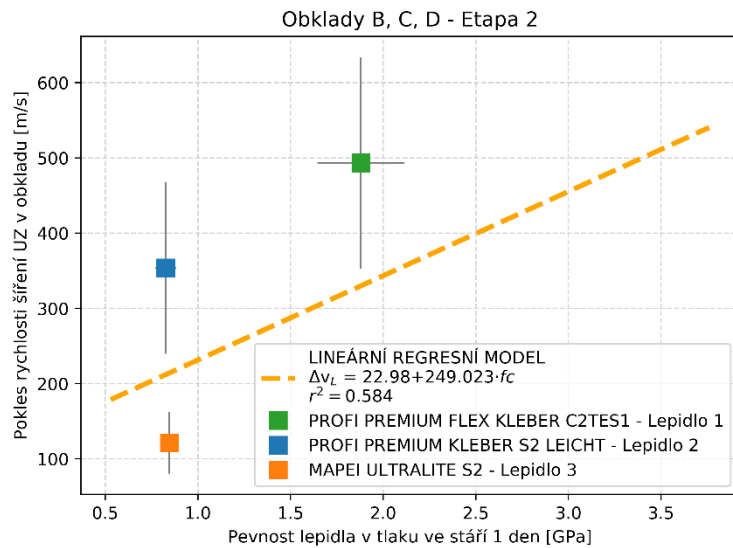
Graf P14 Porovnání úbytku hmotnosti na zakrytých a nezakrytých tělesech.



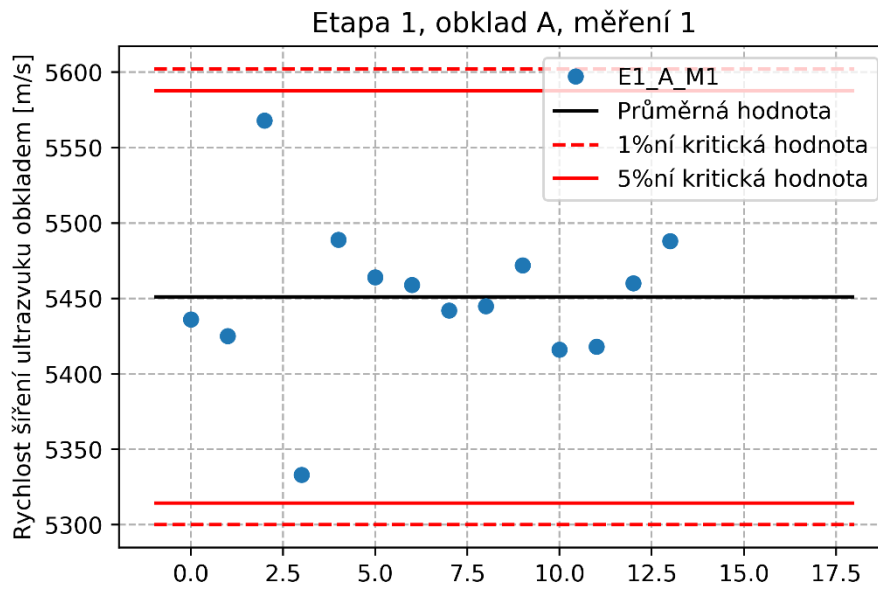
Graf P15 Závislost poklesu rychlosti UZ na dynamickém modulu pružnosti – druhá etapa.



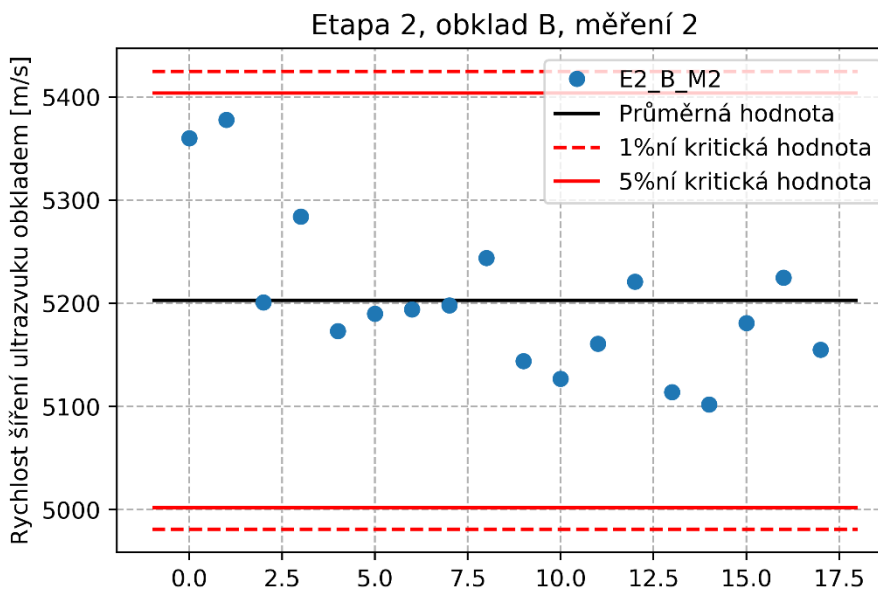
Graf P16 Závislost poklesu rychlosti UZ na pevnosti lepidla v tlaku – první etapa.



Graf P17 Závislost poklesu rychlosti UZ na pevnosti lepidla v tlaku – druhá etapa.



GrafP18 Grubbsuv test odlehých hodnot, etapa 1, obklad A, měření 1.



GrafP19 Grubbsuv test odlehých hodnot, etapa 2, obklad B, měření 1.