

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Katedra betonových a zděných konstrukcí



Experimentální analýza vlivu síranové koroze na vlastnosti betonu vystaveného vysokým teplotám

Experimental analysis of the sulphate attack on the properties of concrete
exposed to high temperatures

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Konstrukce pozemních staveb

Vedoucí práce: Ing. Radek Štefan, Ph.D., FEng.;

Ing. Roman Chylík

Zpracovala: Bc. Veronika Litošová

Praha 2023

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Litošová Jméno: Veronika Osobní číslo: 477393
 Zadávající katedra: Katedra betonových a zděných konstrukcí
 Studijní program: Stavební inženýrství
 Studijní obor/specializace: Konstrukce pozemních staveb

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Experimentální analýza vlivu síranové koroze na vlastnosti betonu vystaveného vysokým teplotám
 Název diplomové práce anglicky: Experimental analysis of sulphate attack on properties of concrete exposed to high temperatures
 Pokyny pro vypracování:
 - Rešerše literatury
 - Návrh experimentu
 - Realizace experimentu
 - Vyhodnocení a diskuze
 - Závěr
 Seznam doporučené literatury:
 A. Neville. The confused world of sulfate attack on concrete. *Cem. Concr. Res.*, 34(8):1275–1296, 2004.
 F. P. Glasser, J. Marchand, and E. Samson. Durability of concrete – Degradation phenomena involving detrimental chemical reactions. *Cem. Concr. Res.*, 38(2):226–246, 2008.
 G. Zhao, J. Li, M. Shi, H. Fan, J. Cui, and F. Xie. Degradation mechanisms of cast-in-situ concrete subjected to internal-external combined sulfate attack. *Constr. Build. Mater.*, 248:118683, 2020.
 Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Radek Štefan, Ph.D., FEng.
 Datum zadání diplomové práce: 26.9.2022 Termín odevzdání DP v IS KOS: 9.1.2023
 Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

 Podpis vedoucího práce Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

26.9.2022 _____
 Datum převzetí zadání Podpis studenta(ky)

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci vypracovala samostatně pod odborným dohledem vedoucího diplomové práce a použité informační zdroje uvedla v souladu s Metodickým pokynem č. 1/2009 O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne 1. 1. 2023

Bc. Veronika Litošová

Poděkování

Děkuji Ing. Radku Štefanovi, Ph.D., FEng. za vedení mé akademické cesty již od zadání bakalářské práce k odevzdání mé diplomové práce, za podněty ke kvalitnější práci a věcné výtky. Děkuji Ing. Romanu Chylíkovi za věnovaný čas v laboratoři pro odborné vedení mnohých experimentů. Děkuji svým rodičům za podporu a zázemí, za které jsem nesmírně vděčná.

Abstrakt

Má diplomová práce se zabývá experimentálním výzkumem vlivu vnější síranové koroze a působení vysokých teplot na vlastnosti betonu.

Analýze předchází teoretický základ k dané problematice a současné poznání z experimentálních výzkumů provedených v akademické sféře.

Analýza je provedena na sedmdesáti dvou betonových zkušebních tělesech uspořádaných do skupin dle jejich degradace. Vnější síranová koroze je zajištěna ponořením do vodného roztoku síranu sodného v koncentracích 10 %, nebo 20 %. Vliv působení vysokých teplot je pozorován při teplotách 400 °C, 600 °C a 800 °C. Zkušební tělesa zahrnují i tělesa referenční.

Vliv degradačních činitelů je hodnocen skrze materiálové vlastnosti zkušebních těles, které jsou získány pomocí zkoušek destruktivních i nedestruktivních. Výsledná data jsou následně popsána, porovnána a diskutována. Mezi analyzované materiálové vlastnosti je zařazena pevnost v tahu ohybem, pevnost v tlaku, nasákavost, dynamický modul pružnosti a struktura povrchu pórů.

Experimentální analýzou bylo zjištěno, že při působení teplot do cca 600 °C vnější síranová koroze napomáhá k dosažení vyšších pevností v tahu a tlaku. S vyšší teplotou je pozorován větší procentuální rozdíl. Při překročení teploty o 600 °C nastává zlom, kdy dochází k fyzikálnímu procesu vedoucí k rapidnímu poklesu pevností chemicky degradovaných těles pod hodnotu pevností chemicky nedegradovaných. Vliv působení vysokých teplot převládá nad síranovou korozí.

Klíčová slova: *vnější síranová koroze, experimentální analýza, teplotní degradace, laboratorní zkoušky, beton*

Abstract

My thesis deals with experimental research on the effect of the external sulphate attack and high temperatures on the properties of concrete.

The analysis is preceded by a theoretical foundation for the given issue and current knowledge from experimental research carried out in the academic sphere.

The analysis is performed on seventy-two concrete samples organized into groups according to their degradation. External sulphate attack is ensured by immersion of sodium sulfate in a water solution at concentrations of 10 %, or 20 %, the effect of high temperatures is represented by values of 400 °C, 600 °C, 800 °C. Reference samples were made concurrently.

The effect of degradation factors is quantified using the material properties of the samples. Destructive and non-destructive tests are implemented to get material properties. The resulting data are then described, compared and discussed. Among the analyzed material properties belong tensile strength in bending, compressive strength, absorbency, dynamic modulus of elasticity and surface structure of pores.

Experimental analysis has shown that with temperatures up to 600 °C the external sulphate attack contributes to higher tensile and compressive strengths. With higher temperatures was observed a larger percentage difference. The break occurs around a temperature of 600 °C, where a physical process lead to a rapid decrease in the strength of chemically degraded samples below the strength of chemically undegraded samples. The influence of high temperatures prevails over the external sulphate attack.

Keywords: *external sulphate attack, experimental analysis, thermal degradation, laboratory tests, concrete*

Obsah

Seznam použitých symbolů a zkratk	8
1 Úvod	9
2 Teorie	10
2.1 Síranová koroze betonu	10
2.2 Beton za působení vysokých teplot	22
2.3 Spolupůsobení vysokých teplot a síranové koroze	24
3 Návrh experimentu	27
3.1 Zkušební tělesa	27
3.2 Degradace	28
3.3 Sledované vlastnosti a zkušební metody	30
4 Realizace experimentu	35
4.1 Příprava zkušebních těles	35
4.2 Degradace zkušebních těles	37
4.3 Destruktivní zkoušky	42
4.4 Nedestruktivní zkoušky	46
5 Vyhodnocení	51
5.1 Pevnost v tahu ohybem	51
5.2 Pevnost v tlaku	58
5.3 Nasákavost	64
5.4 Dynamický modul pružnosti	67
5.5 Mikroskopické pozorování	70
6 Závěr	78
Seznam obrázků	80
Seznam tabulek	83
Reference	84
Přílohy	89

Seznam použitých symbolů a zkratek

A_c	účinná plocha
Afm	monosulfát
Aft	primární ettringit
C_3A	trikalcium aluminát
C_4AF	tetrakalcium aluminoforit
d	šířka betonového tělesa
d_1	šířka příčného řezu tělesa rovnoběžná se směrem ukládání betonu
d_2	šířka příčného řezu tělesa kolmá na směr ukládání betonu
d_d	šířka kontaktní desky tlačného přípravku
E_{cu}	dynamický modul pružnosti
F	maximální zatížení
f_c	pevnost betonu v tlaku
$f_{ct,ft}$	pevnost betonu v tahu ohybem
k	součinitel rozměrnosti prostředí
l	vzdálenost podpěrných válečků zkušebního lisu
m_s	hmotnost vysušeného vzorku
m_w	hmotnost nasyceného vzorku
T	čas
UTZ	ultrazvuk
v_L	impulsová rychlost podélného ultrazvukového vlnění
w	vodní součinitel, hmotnostní podíl vody ku cementu
ρ	objemová hmotnost

1 Úvod

Představení

Beton je jedním z nejvyužívanějších stavebních materiálů. Využívá se ho napříč všemi druhy staveb: mosty, pozemní stavby, inženýrské konstrukce, stavby vodního hospodářství a krajinného inženýrství. Ačkoliv všechny tyto stavby pojí beton jako možný stavební materiál, tak každá stavba je vystavena odlišnému prostředí, které na ní bezprostředně působí a ovlivňuje její životnost a trvanlivost. Během své životnosti může být vystavena i extrémním podmínkám, které mohou mít fatální dopad na stabilitu konstrukce, např. působení vysokých teplot při požáru.

Životnost a trvanlivost konstrukce hraje významnou roli při navrhování staveb, a tak musíme být schopni účinek vlivu prostředí a extrémních podmínek na konstrukci předvídat a procesu degradace rozumět.

Pro evaluaci vlivu prostředí a extrémních podmínek na životnost a trvanlivost konstrukce se využívá experimentální analýza, při níž se na zkušebních tělesech simulující konstrukci v určitém prostředí sleduje vývoj degradace, změny v materiálových vlastnostech etc.

Má diplomová práce je zaměřena na vliv chemicky agresivního prostředí na beton, konkrétně na síranovou korozi betonu, a vliv působení vysokých teplot. Tyto vlivy jsou prozkoumány skrze dosavadní výzkumy, poznatky a provedenou experimentální analýzou. Chemicky agresivnímu prostředí čelí například stavby vystavené rostlé zemině a podzemní vodě dle [49], působení vysokých teplot stavby při požáru.

Motivace

Kombinace síranová koroze betonu a vystavení vlivu vysokých teplot není příliš probádanou oblastí. Tento fakt je mou motivací k provedení experimentální analýzy, která přinese nová data k popisu degradace betonu pod vlivem zvolených jevů.

Cíl

Má diplomová práce má za cíl získat nová data k vyhodnocení míry degradace betonu vlivem síranové koroze a působení vysokých teplot. Ke zhodnocení míry degradace poslouží materiálové vlastnosti získané laboratorními zkouškami.

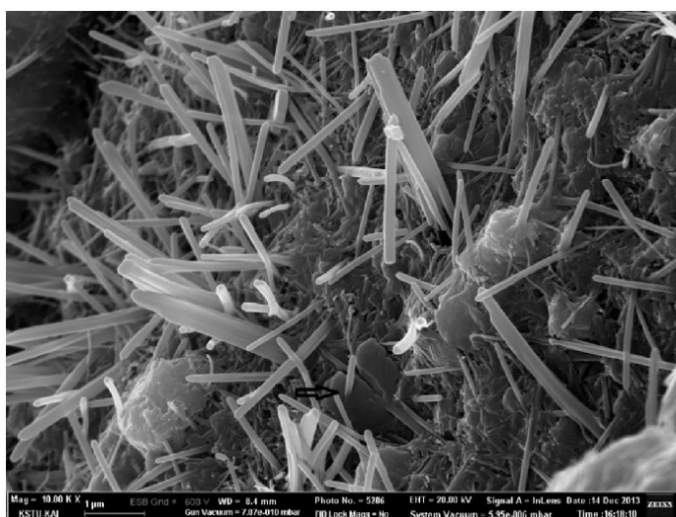
Teoretická část diplomové práce má uvést do současného vědění o zvolených způsobů degradace betonu.

2 Teorie

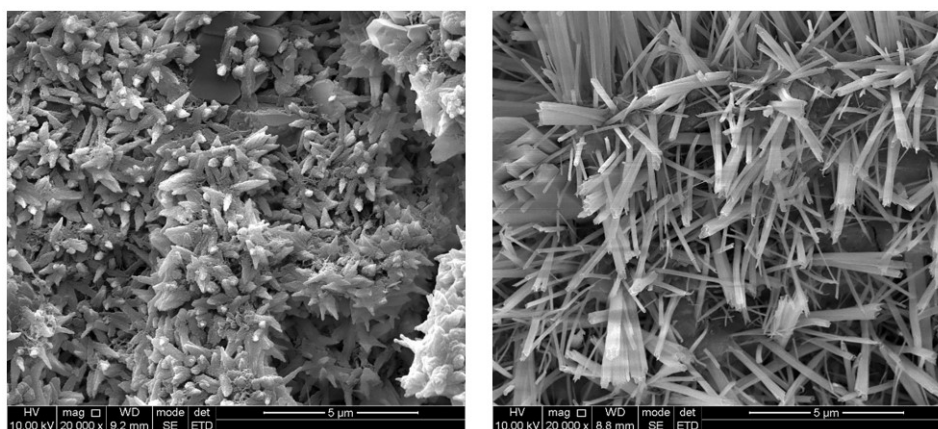
2.1 Síranová koroze betonu

Síranová koroze betonu je chemický degradační proces, který může způsobit významné změny nejen ve struktuře betonu. V pokročilém stádiu degradace mohou tyto změny negativně, až fatálně, ovlivnit jeho materiálové vlastnosti. Pro betonové konstrukce je nejvýznamnější vliv na pevnost betonu a vznik mikrotrhlin, protože tyto skutečnosti přímo ovlivňují životnost a trvanlivost betonových konstrukcí.

Síranová koroze je spjata s expanzivními produkty, tj. sádrovec, ettringit (viz Obr. 2.1 [3]; 2.2 [43]), thaumasit. Tato práce je zaměřena na síranovou korozi za vzniku sekundárního ettringitu.



Obr. 2.1: Krystaly ettringitu, převzato z [3]



Obr. 2.2: Krystaly ettringitu, převzato z [43]

Primární a sekundární ettringit

Primární ettringit přirozeně vzniká při hydrataci cementu reakcí sádrovice a trikalciem aluminátu C_3A . Tato reakce probíhá do spotřeby síranových aniontů. Nestabilní primární ettringit, označován jako AFt, poté samovolně přechází na stabilní monosulfát označován jako AFm. Výskyt primárního ettringitu zvyšuje zpracovatelnost zpomalením hydratace C_3A a C_4AF , zvyšuje počáteční pevnost a snižuje smrštění betonu. Jeho vznik nevnáší přídatná napětí do betonu [14] [38].

Sekundární ettringit vzniká například při vystavení betonu zdroji síranových aniontů. Jedná se o expanzivní produkt síranové koroze, který zaujímá cca osminásobně větší objem než-li reaktanty [12]. Krystaly zaplňující póry mohou v pokročilejší fázi svým krystalizačním tlakem narušit strukturu betonu a negativně ovlivnit jeho vlastnosti. Dle zdroje síranových aniontů rozlišujeme síranovou korozi vnitřní a vnější.

Vnější síranová koroze

Vnější síranovou korozi způsobuje prostředí, ve kterém je betonová konstrukce zasazena. Může se jednat o kontaminovanou podzemní vodu, mořskou vodu nebo základovou zeminu. Pokud síranové anionty, ať už z vodního prostředí nebo ze zasolených půd [22], proniknou k povrchu betonové konstrukce, reagují s pojivem betonu.

Většina síranů, které působí na betonové konstrukce na našem území, jsou součástí odpadu různých procesů a výrob [18] a v rámci odpadového hospodářství je snaha sírany dále zpracovat nebo ukládat způsobem šetrným a bezpečným. Mezi významné umělé zdroje síranů patří:

1. Průmysl:
 - 1.1 Odpadní vody: výroba čisticích prostředků, rozvláknování papíru;
 - 1.2 Odpadní produkty: energosádrovec;
 - 1.3 Spalování: kyselá dešť;
 - 1.4 Uhelný kal: výsypkové a odvalové zeminy;
2. Zemědělství: draselné hnojivo, zelená skalice.

Z výše uvedených zdrojů se mohou sírany uvolňovat do podzemní vody a transportovat se k exponovaným betonovým konstrukcím. Některé konstrukce jsou se zdroji v přímém kontaktu – skládky a odpadní systémy specifických provozů.

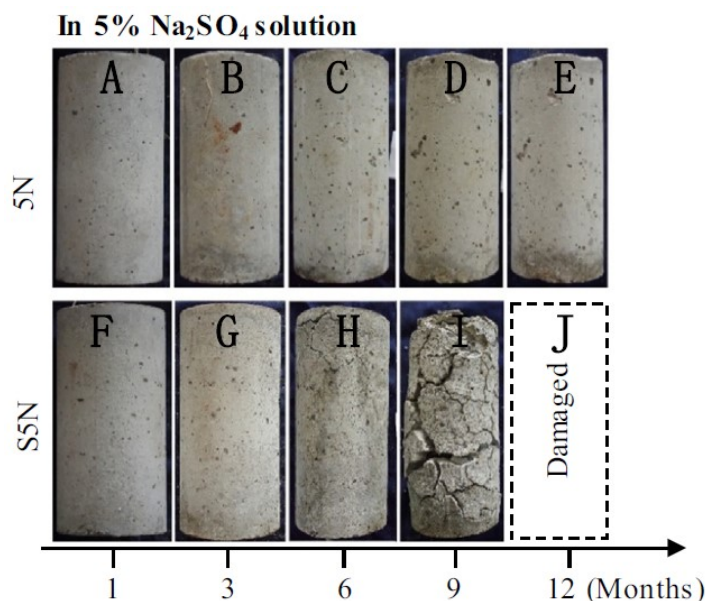
Vnitřní síranová koroze

Vnitřní síranová koroze se uplatňuje, pokud jsou sírany hojně zastoupeny v některé složce směsi betonu. Nejčastěji se jedná o cement nebo kamenivo. V cementu se může jednat o vysoký obsah SO_3 nebo vysoký podíl složky C_3A , naopak v kamenivu se může nacházet reaktivní sádrovec nebo anhydrit.

Iniciátorem síranové koroze může být i sádrovec, jenž se do betonu přidává jako zpomalovač tuhnutí. Optimální množství sádrovce ve směsi pro zpomalení tuhnutí se obecně udává mezi 2 % – 5 %. Pokud je toto rozmezí překročeno, nemusí proběhnout řádná hydratace. Přebytek nezreagovaného sádrovce tak může reagovat s C_3A i po skončení fáze tuhnutí za vzniku sekundárního ettringitu, vysokoexpanzního produktu, a zapříčinit vznik dále se rozvíjejících mikrotrhlin.

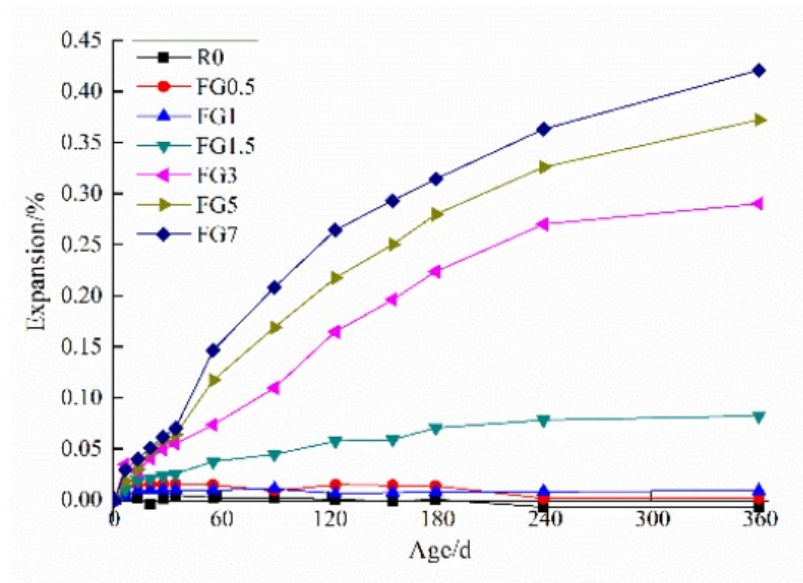
Vnitřní síranovou korozi může také zapříčinit vyšší teplota při ošetřování betonu. Pokud je při ošetřování překročena teplota o hodnotě 70°C , tak se primární ettringit rozkládá na ettringit sekundární [20].

G. Zhao et al. ve svém výzkumu [9] pozorovali vnitřní síranovou korozi přidáním Na_2SO_4 do betonové směsi a vnější síranovou korozi způsobenou vystavením 5% roztoku Na_2SO_4 . Degradaci těles posléze porovnávali v čase. Na Obr. 2.3 je zobrazeno porovnávání fotografií těles při ponoření do 5% roztoku síranu sodného. Označení 5N představuje tělesa bez přídavku Na_2SO_4 ve směsi a S5N tělesa s 5% přídavkem Na_2SO_4 . Lze spatřit fatálnější následky degradace u vnitřní síranové koroze vyústěné v destrukci tělesa.



Obr. 2.3: Porovnání průběhu vnitřní a vnější síranové koroze, převzato z [9]

Na téma vnitřní síranové koroze způsobené výskytem sádrovce v kamenivu provedli W. Chen et al. výzkum [6] a část jejich výsledků je zobrazena v grafu na Obr. 2.4. Jedná se o graf závislosti expanze těles v čase. Jednotlivé křivky se od sebe liší mírou kontaminace jemného kameniva sádrovcem od 0 % (R0) do 7 % (FG7). Je patrné, že výskyt sádrovce v kamenivu způsobuje vznik objemných produktů vedoucí ke zvětšování objemu těles.



Obr. 2.4: Graf objemového rozpínání v čase těles různých receptur, převzato z [6]

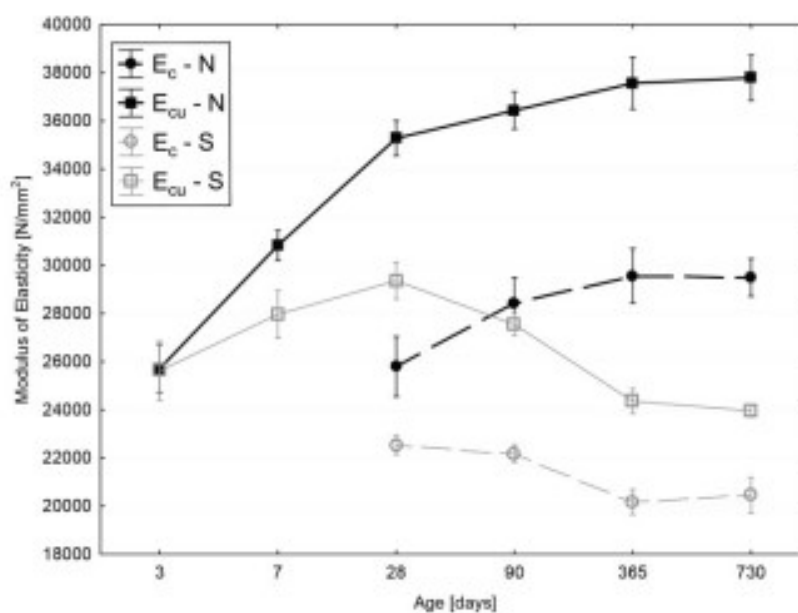
Ochrana proti síranové korozi

Odolnosti vůči síranové korozi zvyšuje:

1. Omezení mikrotrhlin:
 - 1.1 Návrh smršťovacích pár;
 - 1.2 Správné ošetřování po čas tuhnutí a tvrdnutí betonu;
 - 1.3 Vhodný návrh výztuže;
2. Omezení obsahu síranu ve směsi betonu:
 - 2.1 Použití kameniva nekontaminovaného sírany;
 - 2.2 Použití síranovzdorného cementu;
3. Snížení pórovitosti betonu:
 - 3.1 Použití plastifikačních a superplastifikačních přísad;

- 3.2 Použití příměsí – fillery [25];
- 3.3 Snížení hodnoty vodního součinitele;
- 3.4 Vhodné ošetřování po čas tuhnutí a tvrdnutí betonu;
- 3.5 Zhutnění betonu;
4. Použití provzdušňovacích přísad;
5. Zamezení kontaktu se zdrojem .

Kvalita ošetření betonu může být evaluována skrze dynamický modul pružnosti, jenž vypovídá i o výskytu mikrotrhlin a pórovitosti betonu. Vliv způsobu ošetření na dynamický modul pružnosti je uveden grafem na Obr. 2.5 z výzkumu D. Kocába et al. [17]. Skupina N představuje uložení zkušebních těles ve vodě, tedy řádné ošetření. Skupina S představuje nedostatečné ošetřování betonu, po odbednění byla uchovávaná v laboratorních podmínkách na vzduchu [17].

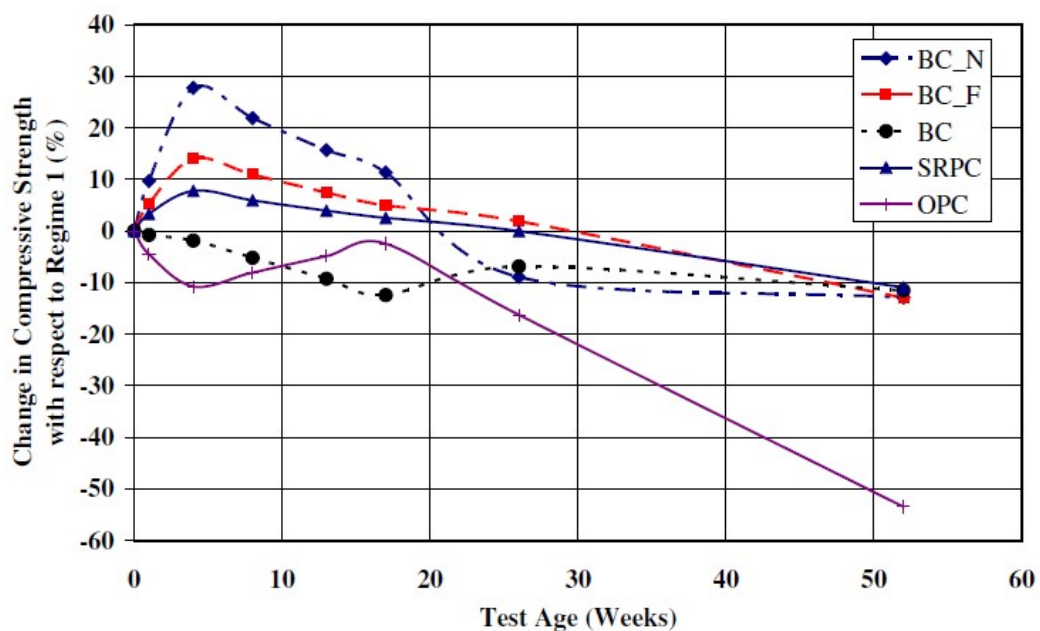


Obr. 2.5: Vývoj dyn. modulu pružnosti při dostatečném (N) a nedostatečném (S) ošetřování [17]

Provzdušňovací přísady podporují uzavřenou pórovitost. Uzavřené póry jsou nepřístupné pro roztok se síranovými anionty z okolí. Krystalizace objemných produktů tak může probíhat pouze v pórech na povrchu, a tím je koroze omezena a zpomalena. Póry vytvořené provzdušňovací přísadou se svým chováním liší od uzavřených pórů v běžném betonu. Neseskupují se a nejsou příliš ovlivňovány vztakovými silami [30].

Sírany v kontaminovaném kamenivu se nachází ve formě sádrovce nebo anhydritu. Za kamenivo bezpečné k použití v chemicky nebezpečném prostředí je čistě křemičité kamenivo, jenž je též použito v experimentu této práce.

Síranovzdorný cement je dle [48] takový cement, v němž je kontrolován a dodržován obsah síranů ve formě SO_3 a množství C_3A ve slínku. Omezení množství C_3A je z důvodu ovlivnění výsledného množství monosulfátu Afm. Afm v řádně zhydratovaném cementu i C_3A v nedokonale zhydratovaném cementu se účastní vzniku sekundárního ettringitu. Dále je požadavek na pucolanitu cementu, která musí vyhovět ve stanoveném čase [47]. Cement, jenž splní zmíněné požadavky, získává označení SR a je dle uvedené normy nazýván cementem síranovzdorným. Účinek použití síranovzdorného cementu namísto běžného portlandského lze pozorovat z výsledků výzkumu M. Sahmanarana [36]. Z tohoto výzkumu je na Obr. 2.6 zobrazen graf relativních změn pevností v tlaku v čase při vystavení 5% síranovému roztoku. Obyčejný portlandský cement (OPC) představuje fialová křivka, cement síranovzdorný (SRPC) modrá křivka s trojúhelníky. Síranovzdorný cement vykazuje mnohonásobně nižší pokles pevnosti v tlaku při vystavení síranovému roztoku, tím pádem pomalejší síranovou korozi.



Obr. 2.6: Vliv sír. koroze na pevnost v tlaku síranovzdorného a portl. cementu [36]

Chemický proces

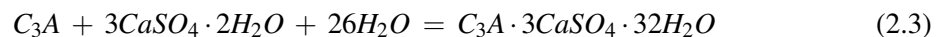
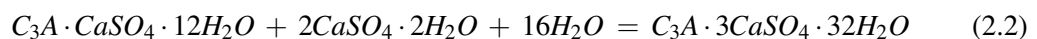
Proces vnější síranové koroze, jakožto chemického děje, bude popsán na situaci, kdy suché betonové těleso umístíme do roztoku, jenž obsahuje síranové anionty rozpuštěním síranu sodného. Tento model odpovídá způsobu síranové korozi zvolené v experimentální analýze, jež je této práci součástí.

Suché betonové těleso po ponoření do síranového roztoku je postupně saturováno. Roztok s rozpuštěným síranem sodným je postupně transportován skrze otevřený pórový systém tělesa. Nyní se síranové anionty nachází v bezprostřední blízkosti povrchu tělesa a jeho pórů, kde začne reagovat s cementovým tmelem.

Primární reakce síranové koroze je vyjádřena vztahem (2.1) [31]. Touto reakcí vzniká sádra $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ jako první expanzivní produkt.



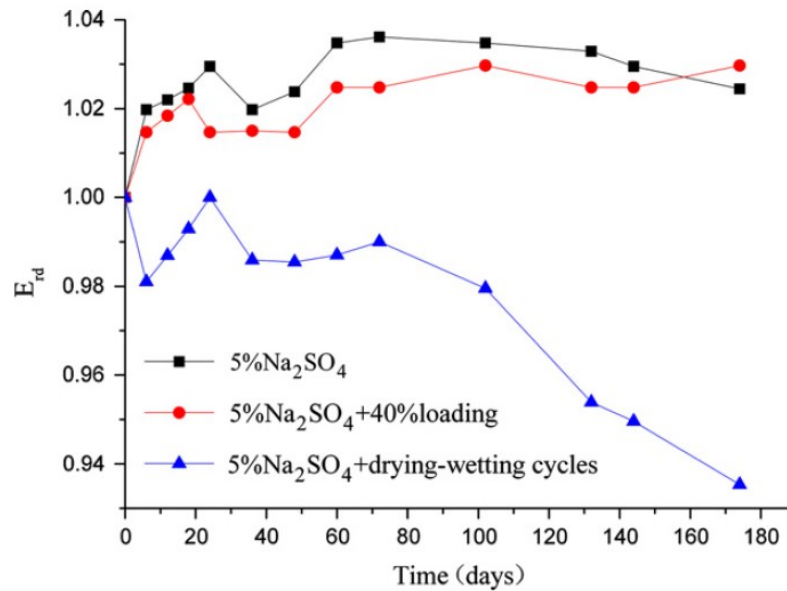
Sádra vzniklá v primární fázi může za vhodných podmínek dále reagovat dvěma způsoby, reakcí (2.2) nebo reakcí (2.3). Chemická reakce (2.2) probíhá, pokud síranové anionty reagují s monosulfátem, jenž vznikl jako produkt rozkladu primárního ettringitu při tuhnutí. Reakce (2.3) probíhá, pokud neproběhla řádná hydratace cementu, a tak se v cementovém tmelu nachází reaktivní nezhydratizovaný trikalciium aluminát C_3A . Oba dva způsoby vedou ke vzniku sekundárního ettringitu $\text{C}_3\text{A} \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$ [31].



Degradační proces síranové koroze betonu urychlují cykly vysychání a smáčení. Výzkumem G. L. Kalouska et al. [16] bylo zjištěno, že jeden rok střídajících se cyklů saturace v roztoku síranu sodného a následného vysychání se rovná osmi letem nepřetržitého ponoření těles v síranovém roztoku o stejné koncentraci. Zrychlení procesu degradace vlivem cyklů saturace a vysychání je patrné i z grafu na Obr. 2.7 s výsledky výzkumu J. Gaoa et. al [10]. V grafu je vyneseno relativní dynamický modul pružnosti E_{rd} v čase těles vystavených 5% síranovému roztoku (černě) a těles vystavených navíc cyklům namáčení a vysychání (modře).

Je nutné podotknout, že koncentrace síranu sodného v roztoku, ve kterém je těleso ponořeno, určuje predominanci produktu síranové koroze. Buď to se jedná o predominanci produktu primární

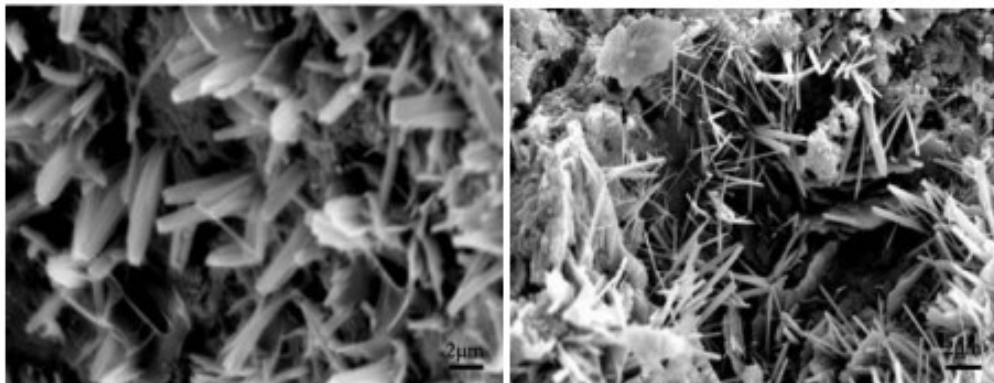
fáze – sádry, nebo predominanci produktu finální fáze – ettringitu. Hranicí se uvádí hodnota koncentrace roztoku o 30 g/l, kdy při vyšší koncentraci pozorujeme sádro jako převládající produkt síranové koroze betonu [37] [11].



Obr. 2.7: Vývoj rel. dyn. modulu pružnosti při vystavení 5% roztoku Na₂SO₄ a cyklům namáčení a vysychání [10]

Vliv na vlastnosti betonu

Vnější i vnitřní síranová koroze vede ke stejnému výsledku – vzniku expanzivních minerálů (viz Obr. 2.8), jejichž růst ovlivňuje vlastnosti betonu v závislosti na stupni degradace. Mezi tyto vlastnosti patří pevnost, pórovitost, nasákavost, modul pružnosti, geometrie, hmotnost etc.



Obr. 2.8: Krystaly ettringitu v mikroskopickém zvětšení, převzato z [40]

Prvotní zaplňování pórového systému krystaly ettringitu snižuje pórovitost betonu, a tím je přímo ovlivněna hodnota statického modulu pružnosti cementového kamene E_p . Hodnotu modulu pružnosti lze vypočítat vztahem (2.4) [13]. Počáteční krystalizace způsobí prvotní navýšení statického modulu pružnosti za snížení pórovitosti. Při zaplnění otevřeného pórového systému, jenž dále neumožňuje volnou krystalizaci vysoko-objemových produktů koroze, se začne realizovat krystalizační tlak. Jeho postupné zvyšování vede ke vzniku mikrotrhlin a tyto dále se rozvíjející mikrotrhliny zapříčiní následný pokles modulu pružnosti.

$$E_p = E_g \cdot (1 - P_c)^k \quad [\text{N/mm}^2], \quad (2.4)$$

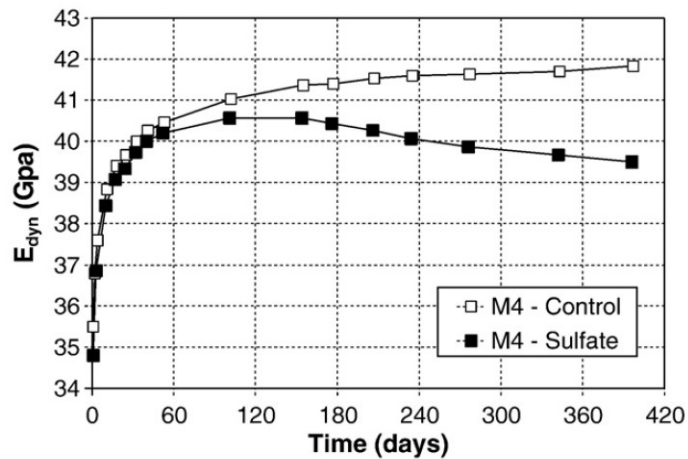
kde E_g je modul pružnosti ztvrdlé cementové kaše při nulové pórovitosti $[\text{N/mm}^2]$;
 P_c je kapilární pórovitost [-];
 k je konstanta dle modulu pružnosti ztvrdlé cementové pasty [-].

Obdobně, jako statický modul pružnosti, je ovlivněn i modul dynamický E_d . Vztah pro jeho výpočet je uveden rovnicí (2.5) [5]. Zde jako proměnná při síranové korozi vstupuje objemová hmotnost Q . Se zaplňováním pórového systému se zvyšuje objemová hmotnost do doby, kdy krystalizační tlaky v pokročilejším stádiu síranové koroze nezpůsobí objemové rozpínání betonového tělesa. S objemovým rozpínáním betonu a narušením jeho struktury dynamický modul pružnosti klesá.

$$E_d = v^2 \cdot Q \cdot (1 + n) \cdot (1 - 2n) / (1 - n) \quad [\text{N/mm}^2], \quad (2.5)$$

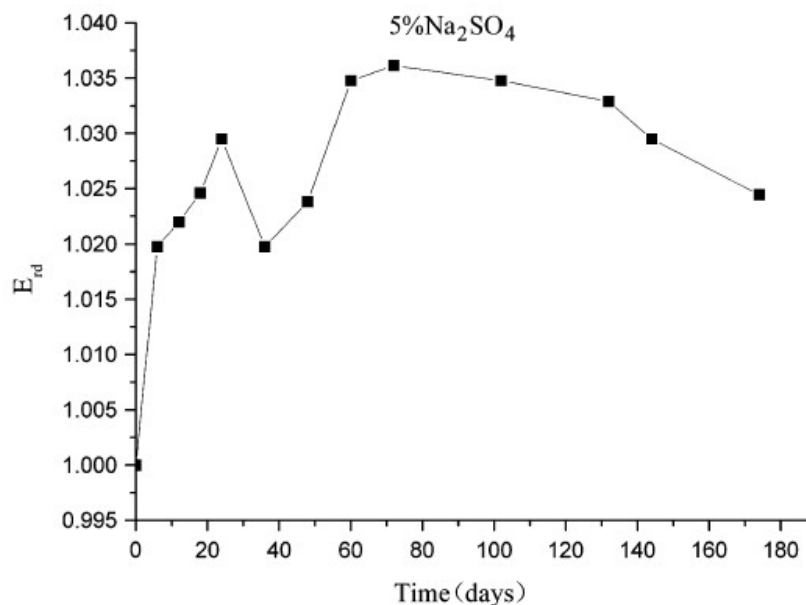
kde v je rychlost UTZ impulsu $[\text{km/s}]$;
 Q je objemová hmotnost betonového tělesa $[\text{kg/m}^3]$;
 n je Poissonův poměr [-].

Vliv síranové koroze na vývoj dynamického modulu pružnosti E_{dyn} v čase byl vyhodnocen například při výzkumu E. Rozièreho et. al [35]. Graf se získanými výsledky výzkumu je zobrazen na Obr. 2.9. Označení M4 – Control představuje tělesa neponořena do síranového roztoku, tedy chemicky nedegradovaná. Označení M4 – Sulfate zahrnuje tělesa, která byla ponořena ve 30% síranovém roztoku.



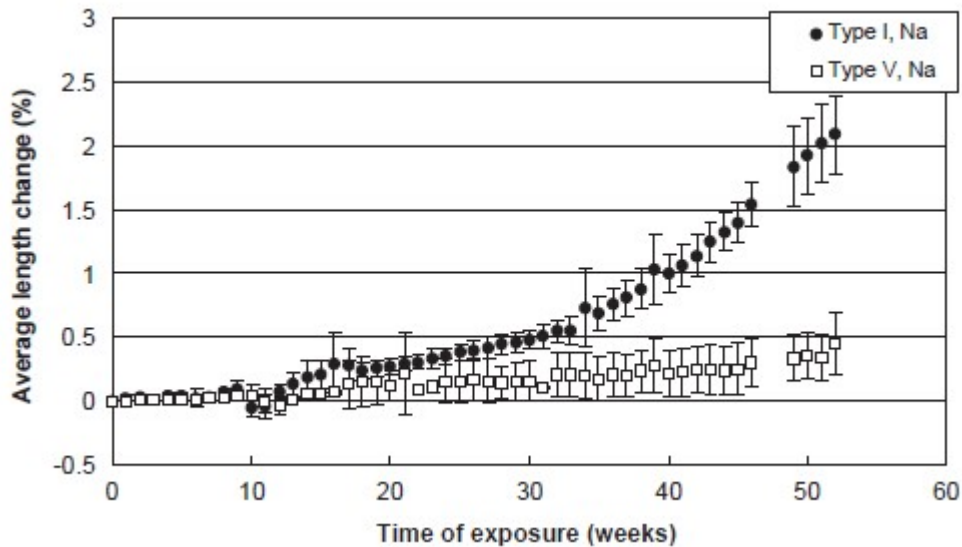
Obr. 2.9: Vývoj dyn. modulu pružnosti s a bez vlivu síranové koroze [35]

Vztah síranové koroze a relativního dynamického modulu pružnosti E_{rd} byl zkoumán i ve výzkumu J. Gaoa et. al [10] a jeho částečné výsledky jsou zobrazeny v grafu na Obr. 2.10. V grafu je vyneseno vývoj relativního dynamického modulu pružnosti těles při ponoření do 5% síranového roztoku.

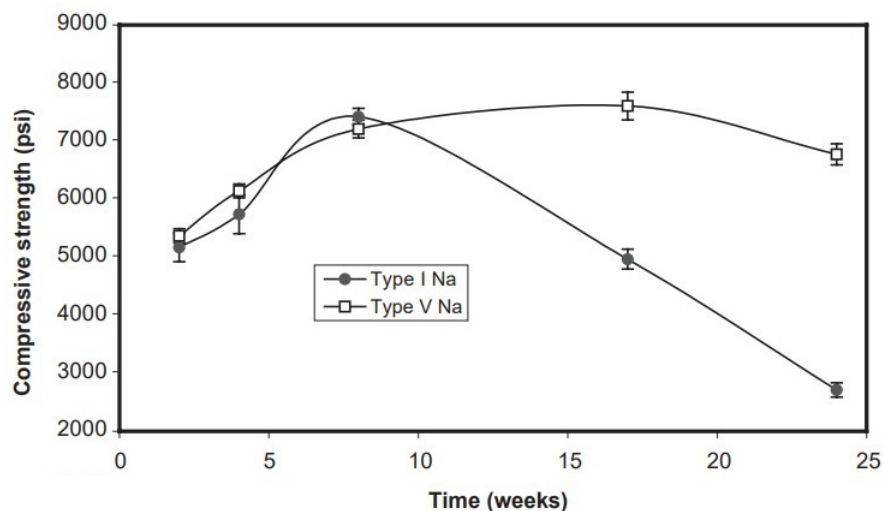


Obr. 2.10: Vývoj dyn. modulu pružnosti při vystavení 5% roztoku Na₂SO₄ [10]

Výzkum se sledováním relativní změny délky (geometrie těles) při síranové korozi betonu byl též proveden, a to N. N. Naikem et al. [27]. Graf výsledků výzkumu při použití cementu typu CEM I a CEM V je zobrazen na Obr. 2.11. Výsledky výzkumu potvrzují, že s vývojem síranové koroze dochází k objemovému rozpínání těles.

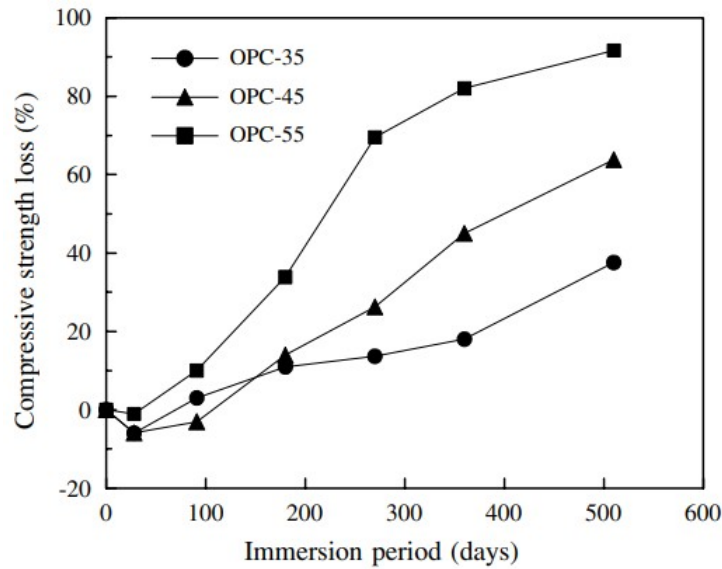
Obr. 2.11: Objemové rozpínání těles ponořených do roztoku Na_2SO_4 [27]

Vývoj pevnosti betonu v čase při síranové korozi opisuje trend vývoje modulu pružnosti za stejných podmínek. V rámci počáteční fáze, při zaplňování pórů betonu, se pevnost zvyšuje do svého maxima v okamžiku, kdy krystalizační tlaky začnou narušovat strukturu betonu mikrotrhlinami. Vývoj pevnosti v tlaku při síranové korozi betonu byl součástí již zmíněného výzkumu [27] a jeho výsledky jsou uvedené v grafu na Obr. 2.12. V grafu lze spatřit, že do cca 8. týdne stáří vzorku pevnost v tlaku rostla, poté pevnost pouze klesala. Pokles pevnosti byl zaznamenán téměř lineární. Sledováním vlivu síranové koroze na pevnost betonu v tlaku se také zabýval G. Zhao et al. [9] a též pozoroval nižší pevnosti v tlaku s rozvíjející se síranovou korozi.



Obr. 2.12: Vývoj pevnosti v tlaku maltových těles vystavených roztoku síranu sodného [27]

Dále výzkum S. T. Lee et al. [21], též zaměřený na vývoj pevnosti v tlaku při síranové korozi, také potvrzuje počáteční zpevnění a následné snižování pevnosti v čase. Výsledky výzkumu jsou zobrazené v grafu na Obr. 2.13, kde jsou zaznamenány ztráty pevnosti v tlaku v čase maltových těles bez příměs a přísad. Křivky se liší dle použitého vodního součinitele w pohybujícím se v rozmezí 0,35 – 0,55.



Obr. 2.13: Vývoj pevnosti v tlaku maltových těles při síranové korozi [21]

Doprovodným jevem síranové koroze může být i úbytek vlastní hmotnosti zapříčiněným dekalifikací betonu. K formování sádry a ettringitu během síranové koroze je zapotřebí vápenatých kationtů a síranových aniontů. Zdrojem síranových aniontů je, za předpokladu vnější síranové koroze, kontaminované prostředí, zatímco zdrojem vápenatých kationtů je samotný beton, konkrétně portlandit nebo C-S-H gel. Právě tyto zdroje vápenatých kationtů jsou důvodem, proč dochází k dekalifikaci betonu. Probíhající dekalifikace vede ke ztrátě vlastní hmoty, snížení soudržnosti a pevnosti betonu [4] [11]. S dekalifikací je spojeno i navýšení pórovitosti. [35]

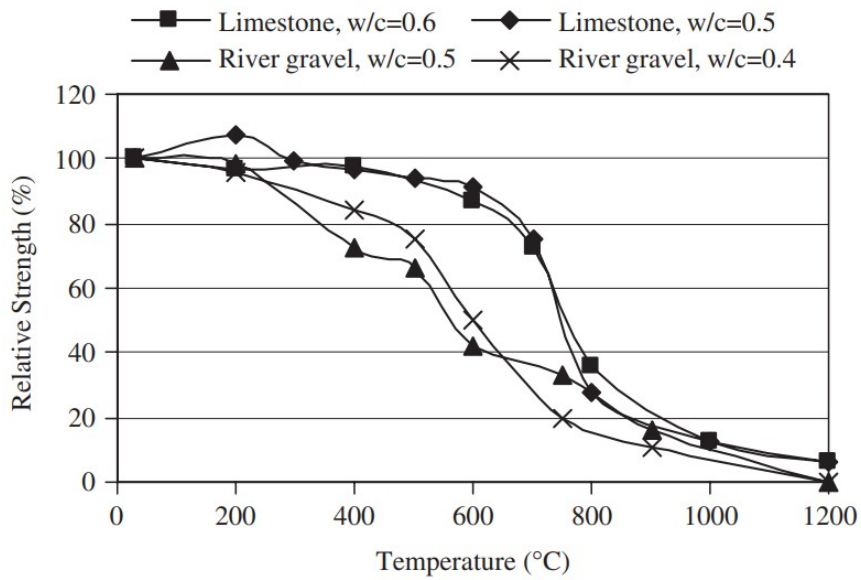
2.2 Beton za působení vysokých teplot

Procesy, jež se postupně iniciují při zvyšování působící teploty, jsou shrnuty níže v tabulce 2.1 [32]. Obecně lze říci, že při působení vysokých teplot dochází k postupné dehydrataci a tepelnému rozkladu složek betonu, a tím narušování jeho struktury.

Tab. 2.1: Procesy přeměny betonu při působení vysokých teplot, převzato z [32]

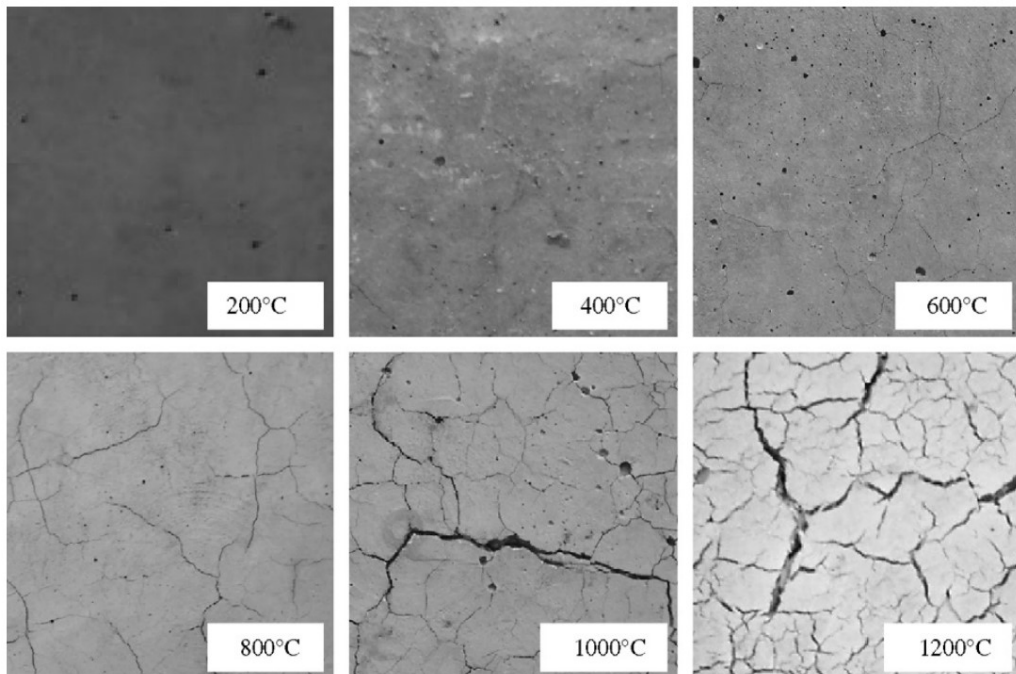
Teplota [°C]	Proces
20 – 100	hydratace; vznik CSH a $\text{Ca}(\text{OH})_2$
100	dehydratace cementového tmelu – uvolňování volné vody za současného rozkladu hydrátů
150	vrchol první fáze rozkladu CSH
200 +	uvolňování vázané vody
300 +	pokračování rozkladu CSH a $\text{Ca}(\text{OH})_2$, výrazný vznik mikrotrhlin; narušování kameniva (křemičité kamenivo je nejméně odolné)
550 – 560	fázová změna křemene; narušování vazeb mezi kamenivem a cementovým tmelem
700 – 750	vrchol druhé fáze rozkladu CSH
800 +	hydraulické vazby v cementovém tmele přechází ve vazby keramické; dekarbonizace vápencového kameniva, vznik CO_2
900	totální dekompozice cementového tmelu
1000 +	tavení některých složek betonu
1200 +	celkové tavení betonu

Vliv působení vysokých teplot na vlastnosti betonu byl zkoumán ve výzkumu O. Arioza [2]. Vliv byl vyhodnocen na základě ztrát pevností v tlaku, ztrát hmotností a pozorovatelných změn na povrchu (viz Obr. 2.15). Bylo zjištěno, že při překročení teploty o hodnotě $800\text{ }^\circ\text{C}$ dochází k rapidnímu poklesu pevnosti a hmotnosti. Výzkum byl proveden na tělesech ve tvaru krychle o hraně 70 mm. Výsledný graf relativní pevnosti v závislosti na teplotě je uveden na Obr. 2.14. Zajímavým úkazem je zpevnění tělesa ze směsi s vodním součinitelem w o hodnotě 0,5 při teplotě $200\text{ }^\circ\text{C}$, po překročení této hranice se pevnost již pouze snižovala.



Obr. 2.14: Graf relativní pevnosti v tlaku v závislosti na teplotě, převzato z [2]

Beton se značnou odolností vůči vysokým teplotám se nazývá žárovzdorným betonem. Jedná se o beton, do jehož směsi se přidává hlinitanový cement. Odolává teplotám do 1580 °C se zachováním svých fyzikálních i chemických vlastností [15].

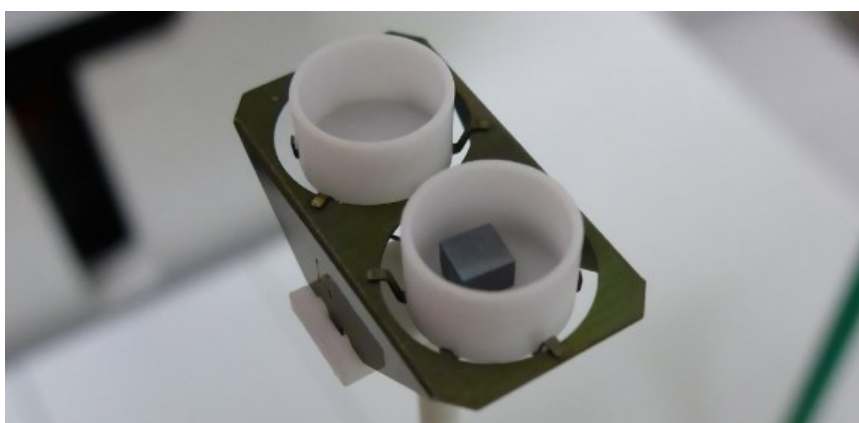


Obr. 2.15: Změny v textuře povrchu při působení vysokých teplot, převzato z [2]

2.3 Spolupůsobení vysokých teplot a síranové koroze

V mnoha výzkumech se zkoumá vliv působení vyšších teplot v době ošetřování betonu na formování sekundárního ettringitu [41] [7] [19] [26] a působení vyšších teplot na jeho tepelnou stabilitu [1] [42] [33] [23] [14]. Zvolené teploty v těchto výzkumech se pohybují v rozmezí 20 °C – 85 °C. Bohužel tyto hodnoty nesimulují teploty při požáru.

Spolupůsobení vysokých teplot (400 °C – 800 °C) a síranové koroze na vlastnosti betonu není příliš probádaná oblast. Dosavadní výzkum s využitím vysokých teplot byl z větší části proveden pomocí diferenciální skenovací kalorimetrie. Je prováděna na velmi malém opracovaném a očištěném vzorku o nejdelší hraně maximálně 6 mm, jenž je umístěn na teplotním senzoru v kelímku kalorimetru vedle reference (viz Obr. 2.16). V peci se může dosahovat teploty až o hodnotě 1650 °C. Výsledkem kalorimetrie je spektrum změn hmotností s příslušnou teplotou při ohřívání v peci. Významné jsou vrcholy křivek, jenž značí fyzikální proces při zahřívání vzorku, např. tepelný rozklad portlanditu [39].

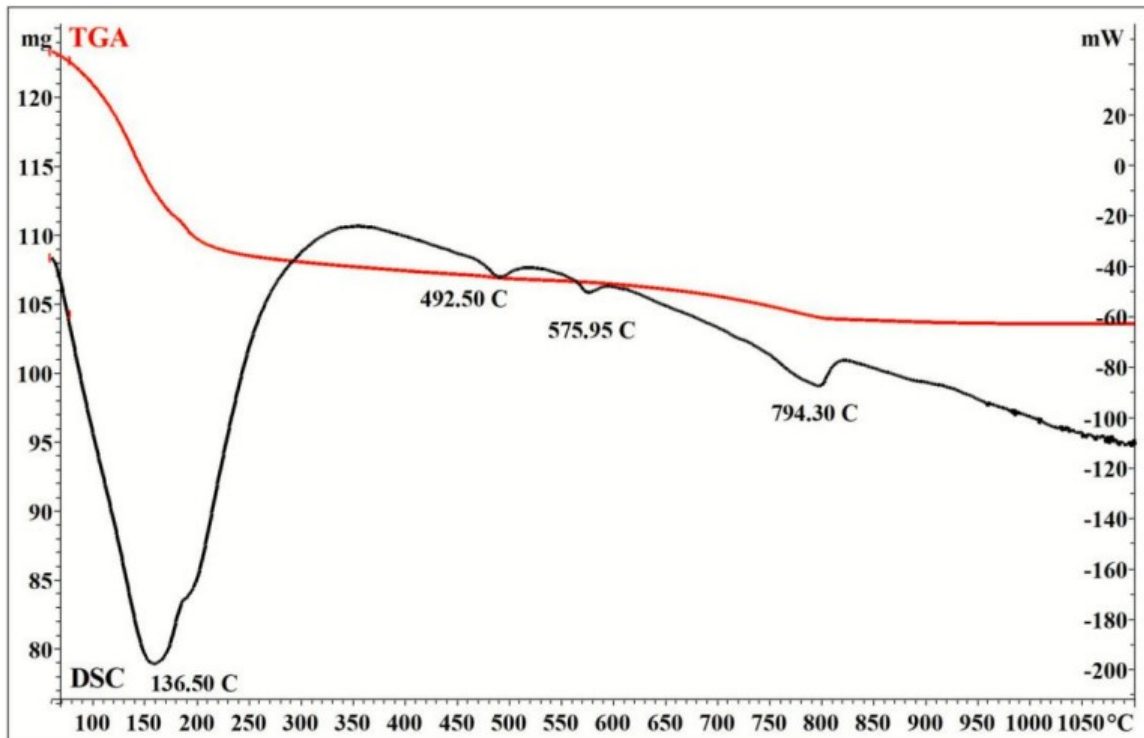


Obr. 2.16: Část aparatury k dif. skenovací kalorimetrii, převzato z [39]

Diferenciální skenovací kalorimetrii využil výzkum G. Yakovleva et al. [8], pomocí níž byly porovnávány tepelné projevy fyzikálních dějů při zahřívání betonového vzorku vystaveného síranovému roztoku po dobu 28 dní a betonového vzorku s příměsí elektricky vodivé složky a dusičnanu vápenatého. Roztok byl připraven rozpuštěním síranu sodného v koncentraci 10 % hmotnostních. Výsledné spektrum dif. skenovací mikroskopie pro vzorek bez příměsí je zobrazen na Obr. 2.17. Z analýzy jsou patrné čtyři vrcholy výsledné křivky:

1. 136,5 °C – dehydratace C-S-H gelu a ettringitu, vypaření volné vody;
2. 492,5 °C – tepelný rozklad $\text{Ca}(\text{OH})_2$ a C-S-H gelu;

3. 575,5 °C – oxidační proces produktů zahřívání, vznik plyných produktů;
4. 794,3 °C – tepelný rozklad CaCO_3 , uvolnění chemicky vázané vody ettringitu a C-S-H gelu.



Obr. 2.17: Spektrum dif. skenovací mikroskopie, vzorek bez příměsí [8]

R. Gao et al. [34] též provedli výzkum s využitím teplotní analýzy pomocí dif. sken. kalometrie. Výsledná teplotní analýza s lokálními vrcholy křivky a změnami hmotnosti je shrnuta v tabulce na Obr. 2.18. Zkratka SA značí vzorek vystavený síranové korozi, TW-SA značí vzorek vystavený síranové korozi a cyklům zahřívání a ochlazování (20 °C – 80 °C). Vzorky v tomto výzkumu byly podrobeny teplotní analýze po 270 dnech ponoření v síranovém roztoku. Síranový roztok byl připraven rozpuštěním síranu sodného v koncentraci 1 %. Z analýzy vzorku s ozn. SA jsou uvedeny čtyři vrcholy křivky a příslušné fyzikální procesy:

1. 88,0 °C – 95,3 °C – dekompozice ettringitu;
2. 132,8 °C – dekompozice hydrátu CaSO_4 ;
3. 429,6 °C – 440,7 °C – dekompozice $\text{Ca}(\text{OH})_2$;
4. 742,0 °C – 775,4 °C – dekompozice CaCO_3 .

2.3 Spolupůsobení vysokých teplot a síranové koroze

Cases	Sample layers	Peak temperature (From DSC curves data)/°C				Loss of weight (From TG curves data)/%			
		1	2	3	4	1	2	3	4
SA	1	95.3	132.8	—	742.0	8.36	4.11	—	11.70
	2	88.0	—	429.6	763.2	3.86	—	1.02	15.81
	3	91.2	—	440.7	775.4	3.71	—	1.63	13.03
	4	89.2	—	439.3	770.6	3.71	—	1.61	13.56
TW-SA	1	104.2	—	—	746.8	6.99	—	—	11.83
	2	100.4	—	—	759.3	5.50	—	—	14.13
	3	101.5	—	443.0	761.2	5.28	—	1.71	10.09
	4	88.3	—	444.8	736.0	4.58	—	1.83	8.59
	5	86.7	—	449.1	742.5	4.77	—	2.03	8.78
	6	83.2	—	441.7	753.0	4.78	—	2.26	9.64

Note: the data in table is got from TG/DSC curves generated by the thermal analysis; - denotes that no thermal property occurs.

Obr. 2.18: Teplotní analýza [34]

Zhodnocením výsledků teplotních analýz výše uvedených výzkumů [34] [8] můžeme říci, že sekundární ettringit se tepelně rozkládá při cca 90 °C, u chemicky degradovanějších vzorků dochází k rozkladu jeho složek při nižších teplotách, zároveň při tepelné dekompozici Ca(OH)₂ pozorujeme menší procentuální úbytek hmotnosti u chemicky méně degradovaných vzorků.

3 Návrh experimentu

3.1 Zkušební tělesa

Složení směsi pro výrobu zkušebních těles

Pro výrobu zkušebních těles je navržena receptura uvedená v Tab. 3.1 převzata z [29]. Receptura pro výrobu je záměrně převzata z výše uvedeného zdroje pro doplnění souboru hodnot sledování vlivu spolupůsobení vysokých teplot a síranové koroze na vlastnosti betonu, jež je předmětem dlouhodobého výzkumu.

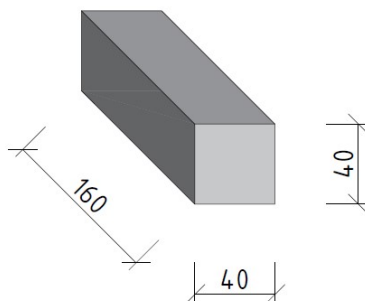
Tab. 3.1: Receptura zkušebních těles

Složka	Množství [kg/m ³]
Cement	550
Voda	185
Kamenivo frakce 0 – 4 mm	600
Kamenivo frakce 4 – 8 mm	1050
Plastifikátor	10

Použit je cement portlandský CEM I 42,5 R, kamenivo křemičité, voda z vodovodního řadu. Vodní součinitel w směsi činí 0,34. [29]

Geometrie těles

Zkušební tělesa jsou trámce o rozměrech 40/40/160 mm, viz Obr. 3.1. Tvar a rozměry jsou navrženy tak, aby se dané těleso využilo k vícero zkouškám, podrobněji v kapitole 3.3.



Obr. 3.1: Rozměry zkušebních těles [mm]

Množství a skupiny těles

Skupiny zkušebních těles jsou dány kombinacemi působení degradačních činitelů (viz kapitola 3.2, tj. vysoká teplota v hodnotách 400 °C, 600 °C, 800 °C a síranový roztok v koncentracích 10 % a 20 %, a uložení v prostředí bez vystavení těmto vlivům. Všechny skupiny jsou uvedeny v Tab. 3.2.

Dohromady je navrženo 12 skupin. Počet zkušebních těles v jednotlivých skupinách je roven šesti, aby pro následnou analýzu bylo dostatečné množství vstupních hodnot i po vyřazení některé hodnoty, pokud bude shledána za odlehlé pozorování skrze Grubbsovým testem [28]. Pro výrobu je celkem navrženo 72 trámců.

Tab. 3.2: Počet zkušebních těles jednotlivých skupin dle vystavení různým podmínkám

Vodní prostředí	Teplota			
	20 °C	400 °C	600 °C	800 °C
čistá voda pitná	6	6	6	6
10% vodný roztok Na ₂ SO ₄	6	6	6	6
20% vodný roztok Na ₂ SO ₄	6	6	6	6

3.2 Degradace

Většina zkušebních těles, dle Tab. 3.2, je v rámci experimentu vystavena degradačním činitelům. Doba degradace je limitována časem určeným pro zpracování diplomové práce, avšak tento problém se týkal pouze dosažení síranové koroze betonových trámců, který se vykompenzuje koncentrací působících roztoků, viz níže 3.2.

Tělesa, u kterých nemá dojít k degradaci, jsou buď to po dobu chemické degradace ponechána v nádobě s čistou vodou nebo při termické degradaci v laboratoři v laboratorních podmínkách při teplotě 20 °C.

Návaznost degradací je určena harmonogramem viz 4.1. Nejdříve se uskuteční máčení v roztocích síranu sodného a v čisté vodě, poté vystavení působení vysokých teplot, nebo teplotě v laboratoři po řádném vysušení v peci.

Síranová koroze

Pro dosažení síranové koroze u betonových trámců je navrženo ponoření těles do vodného roztoku síranu sodného po dobu tří měsíců. Roztoky jsou navrženy v koncentracích 10 % a 20 %. Jedná se o poměrně nasycené roztoky, aby se docílilo kompenzace relativně krátké doby ponoření.

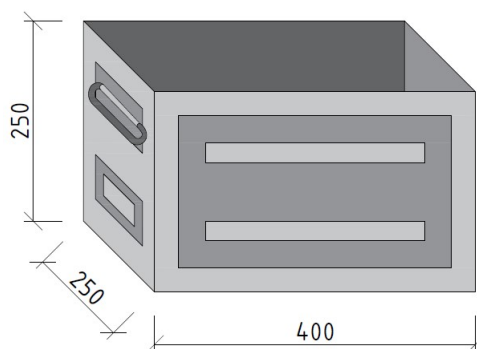
Tělesa budou uložena v uzavřených plastových nádobách ve vrstvách s dostatečnými mezerami mezi sebou na dřevěných špachtlích pro rovnoměrné působení roztoku s cílem dosažení srovnatelné degradace ze všech stran. I přes uzavření nádob se musí roztok pravidelně kontrolovat, zda nedošlo k jeho nadměrnému výparu. Případně se roztok o shodné koncentraci doplní. Tělesa musí být po dobu tří měsíců zcela ponořena.

Při přípravě, manipulaci a odstraňování roztoku síranu sodného budou dodrženy pokyny z příslušného bezpečnostního listu přiloženého v Příloze č. 13.

Působení vysokých teplot

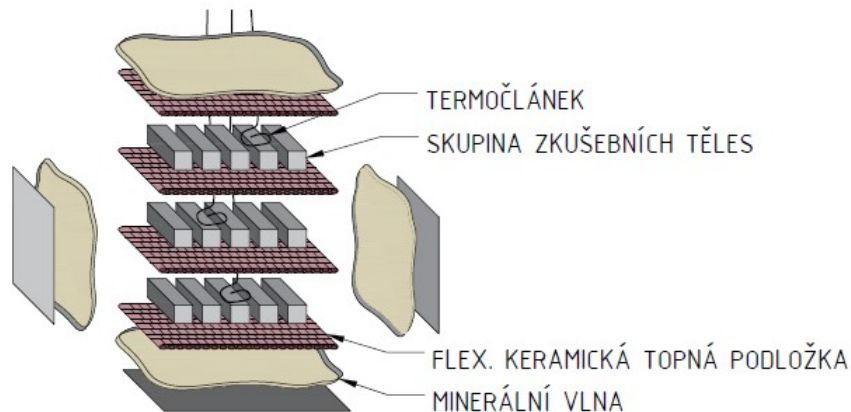
Při návrhu působení vysokých teplot na zkušební tělesa se vycházelo ze zkušeností Ing. Romana Chylíka, jenž experimenty s tímto vlivem v minulosti vedl. Po konzultaci se navrhlo zahřívání betonových trámčů v izolované ocelové bedně s flexibilními keramickými topnými podložkami (produktový list podložek je přiložen v Příloze č. 12).

Ocelová bedna pro umístění těles je o velikosti 250/400/250 mm, viz Obr. 3.2. Izolace bedny proti únikům tepla je tvořena ze dvou vrstev minerální vlny o tloušťce cca 2 x 50 mm. Vrstvy uložených těles jsou obklopeny keramickými topnými podložkami pro dosažení co nejrovnoměrnějšího ohřívání všech těles.



Obr. 3.2: Rozměry ocelové bedny [mm]

Flexibilní keramické topné podložky jsou napojené na 70 kVa řídicí jednotku Manning. Řídicí jednotka se spíná dle nastaveného výkonu. Nastavení výkonu je voleno na základě kontinuálně měřených hodnot teploty uvnitř ocelové bedny skrze tři termočlánky nacházející se v různých vrstvách, viz Obr. 3.3. Nutné zmínit, že nastavování výkonu neprobíhá automaticky, ale manuálně. Cílem regulování výkonu je dosažení kýžené teploty po dobu cca 20 minut.



Obr. 3.3: Schéma naplněné ocelové bedny při zahřívání

Teploty, kterým se budou tělesa o různém stupni chemické degradace vystavovat, jsou 400 °C, 600 °C, 800 °C. Zahřívání v ocelové bedně bude probíhat celkem třikrát, vždy tři skupiny najednou dle 3.2. Jednotlivé skupiny jsou v bedně vyskládány po třech patrech. Každé patro je podloženo a přikryté keramickou topnou podložkou s termočlánkem. Schéma částí naplněné ocelové bedny při zahřívání je zobrazeno na Obr. 3.3.

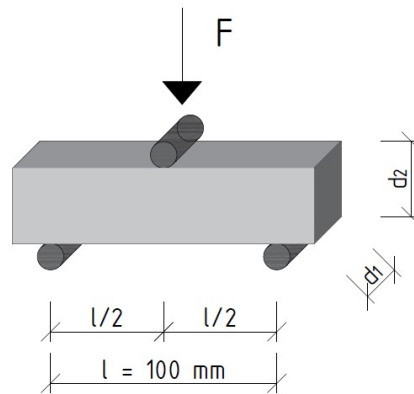
3.3 Sledované vlastnosti a zkušební metody

Změny vlastností slouží k vyhodnocení závažnosti degradace betonových trámů. Pod vlivem chemické degradace a působení vysokých teplot se mění fyzikální i mechanické vlastnosti, též struktura povrchu (viz 2). V následujících odstavcích jsou popsány jednotlivé vlastnosti zvolené pro vyhodnocení degradace a získávání jejich hodnot.

Pevnost v tahu ohybem

Pevnost v tahu ohybem je získávána pomocí zatěžovacího lisu v tříbodovém uložení – zkouškou pevnosti v tahu ohybem [46]. Zatěžovací lis je vybaven ohybovým dvousloupovým přípravkem BOP 15, BRIO Hranice, určeným pro trámce o rozměrech právě 40/40/160 mm.

Zatěžování probíhá konstantní rychlostí jedním břemenem uprostřed skrze zatěžovací váleček, viz Obr. 3.4. Samotné těleso je uloženo na dvou podpěrných válečkách tak, aby směr zatěžování byl kolmý na směr ukládání betonu dle [46]. Podpěrné válečky jsou od sebe vzdáleny 100 mm.



Obr. 3.4: Schéma zatěžování při tříbodovém uložení

Před usazením tělesa do zatěžovacího lisu se zaznamenají jeho přesné rozměry. Osová vzdálenost mezi podpěrnými válečkami je dána ohybovým přípravkem. Zatěžování probíhá do okamžiku porušení tělesa, kdy se zaznamená maximální velikost působící síly.

Výsledná pevnost v tahu ohybem $f_{ct,fl}$ se získá vztahem (3.1) dle [45].

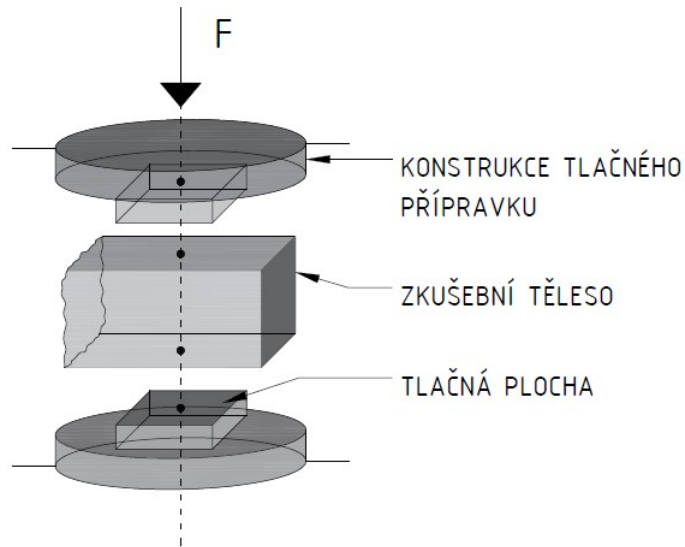
$$f_{ct,fl} = \frac{3 \cdot F \cdot l}{2 \cdot d_1 \cdot d_2^2} \quad [\text{N/mm}^2], \quad (3.1)$$

- kde F je maximální zatížení při porušení [N];
 l je vzdálenost mezi podpěrnými válečky [mm];
 d_1 a d_2 jsou rozměry příčného řezu [mm].

Pevnost v tlaku

Pevnost betonu v tlaku je vypočtena za pomoci hodnoty zatěžovací síly při rozdrčení zkušební tělesa, jenž je plynule zatěžováno ve zkušebním hydraulickém lisu. Jedná se o zkoušku pevnosti betonu v tlaku. V hydraulickém lisu je umístěn tlačný přípravek BTP 300, BRIO Hranice, jehož tlačné plochy jsou čtverce o hraně právě 40 mm.

Zkušební těleso se osadí do středu spodní tlačné desky přípravku tak, aby směr působení zatěžovací síly byl kolmo na směr uložení betonu. V této fázi jsou tělesa po zkoušce pevnosti tahu ohybem, viz 4.1, to znamená, že se jedná o trámce průřezu o rozměru 40/40 mm a délky o cca polovině původních 160 mm. Do vzorce pro výpočet pevnosti betonu v tlaku vstupuje v jednom směru skutečný rozměr tělesa a v druhém rozměr tlačné desky. Schéma zkoušky je zobrazeno na Obr. 3.5.



Obr. 3.5: Schéma zkoušky pevnosti v tlaku

Nedílnou součástí je posouzení způsobu porušení, pro prohlášení zkoušky za platnou. Způsob porušení tělesa musí odpovídat těm zachyceným na Obr. 3.6.



Obr. 3.6: Vyhovující způsoby porušení, převzato z [45]

Výsledná pevnost v tlaku f_c se dle [45] vypočte vztahem (3.2).

$$f_c = \frac{F}{A_c} \quad [\text{N}/\text{mm}^2], \quad (3.2)$$

kde F je maximální zatížení při porušení [N];

A_c je účinná plocha zkušebního tělesa, na kterou působí zatížení F [mm^2]:

$$A_c = d_1 \cdot d_d,$$

kde d_d je šířka tlačné desky, tj. 40 mm.

Nasákavost

Změna nasákavosti zkušebních těles je měřena ve vztahu k chemické degradaci. V rámci síranové koroze betonu, vznikají krystaly zaplňující otevřené póry betonového tělesa, viz 2, a tím se snižuje jeho nasákavost.

Hodnoty nasákavosti se měří ve dvou fázích experimentu a to před vystavením chemické degradaci a po vystavení chemické degradaci. Hodnota nasákavosti se též měří i u vzorků uložených v čisté vodě. Změny míry nasákavosti se poměřují v rámci jednotlivých měření a mezi skupinami zkušebních těles navzájem.

Hodnota nasákavosti W_w je dána vztahem (3.3).

$$W_w = \frac{m_w - m_s}{m_s} \cdot 100 \quad [\%], \quad (3.3)$$

kde m_w je hmotnost nasyceného vzorku [g];

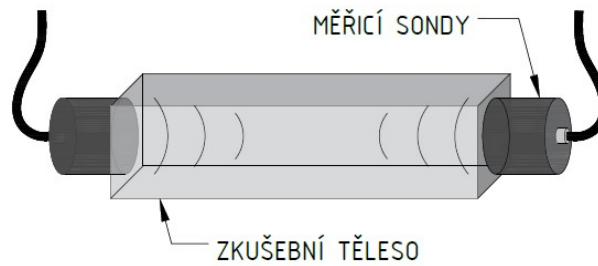
m_s je hmotnost vysušeného vzorku [g].

Dynamický modul pružnosti

Hodnota dynamického modulu pružnosti vypovídá o míře deformace v závislosti na napětí, tedy charakterizuje míru dotvarování prvku. Dynamický modul pružnosti je tedy vhodné, ne-li přímo vyžadující, hodnotit vzhledem ke kritériu trvanlivosti konstrukcí.

Vztah pro výpočet dynamického modulu pružnosti v tlaku a tahu je zvolen dle [44]. Jednou ze vstupních hodnot je impulsová rychlost podélného ultrazvukového vlnění, ta je získávána tzv. ultrazvukovou impulsovou metodou. Tato rychlost může též napovědět o možném narušení betonu a může z ní být odvozena i hodnota pevnosti.

K této metodě je využit ultrazvukový přístroj Pundit Lab (+), Proceq. Rychlost vlnění je měřena po přiložení dvojice sond k tělesu v přímém uspořádání, viz schéma na Obr. 3.7, tak je vlnění šířeno jednorozměrným prostředím. Měření předchází kalibrace přístroje a probíhá dle manuálu přístroje.



Obr. 3.7: Schéma uspořádání sond při UTZ impulsové metodě

Hodnota dynamického modulu pružnosti v tlaku a tahu E_{cu} se určí dle vztahu (3.4), převzato z [44].

$$E_{cu} = \rho \cdot v_L^2 \cdot \frac{1}{k^2} \quad [\text{N/mm}^2], \quad (3.4)$$

- kde ρ je objemová hmotnost zkušebního tělesa [kg/m^3];
 v_L je impulsová rychlost podélného UTZ vlnění [m/s];
 k je součinitel rozměrnosti prostředí [-];
 koeficient rozměrnosti k pro jednorozměrné prostředí je roven 1.

Struktura povrchu

Pozorováním struktury povrchu betonového zkušebního tělesa můžeme zpozorovat frekventovanější výskyt krystalů ettringitu, jakožto důsledek síranové koroze. Krystaly ettringitu jsou jedinečné pro svůj vzhled, krystalizují do tvaru dlouhých tenkých jehliček, viz Obr. 2.8. Vhodným místem pro pozorování jsou otevřené póry, kde mohou volně krystalizovat produkty chemického procesu síranové koroze.

K pozorování je využit stolní rastrovací elektronový mikroskop Phenom ProX s možností zvětšení pozorovaného povrchu 27 x – 160 x optickou kamerou, elektronové zvětšení se pohybuje v rozmezí 160 x – 350 000 x.

Rozměry vzorku pod objektivem mikroskopu jsou omezeny jeho podavačem. Určené místo pro vzorek je tvaru kruhu o průměru 25 mm. Zkušební tělesa jsou ořezána na vyhovující velikost tak, aby minimálně jedna strana vzorku zůstala neopracována. V podavači je vzorek umístěn kolmo na neopracovanou stranu. Pozorovaná strana vzorku je vyleštěna.

K pozorování jsou určeny vzorky, které neprošly působením vysokých teplot, z důvodu tepelného rozkladu ettringitu 2.2, avšak vybraná tělesa se liší stupněm chemické degradace.

4 Realizace experimentu

Experiment byl realizován v prostorách odborných laboratoří stavební fakulty ČVUT za dodržování jejích provozních řádů. Zahájení prací přípravou betonové směsi a ukončení prací pozorováním struktury vzorků mikroskopem dělí téměř šest měsíců. Časová souslednost prací (zkoušek, měření, etap) je zaznamenána na Obr. 4.1.



Obr. 4.1: Harmonogram praktické části

4.1 Příprava zkušebních těles

Dle navržené receptury 3.1 byly naváženy a odměřeny jednotlivé složky směsi (Obr. 4.2). Suché složky byly následně smíseny v míchadle zachyceném na Obr. 4.2, kam byly posléze postupně přidávány tekuté složky.



Obr. 4.2: Připravené složky betonové směsi (vlevo); Míchadlo (vpravo)

Adekvátně promísená betonová směs byla následně uložena do kovového bednění pro trámce 40/40/160 mm připraveném na vibračním stole, viz Obr. 4.3. Bednění bylo před uložení betonové směsi opatřeno nátěrem odbedňovacího oleje. Po vylití betonu proběhlo vibrování pro zhutnění, tím eliminaci vzduchových bublin, vyvarovalo se segregaci kameniva. Bednění s uloženým betonem je zachyceno na Obr. 4.3 vpravo.



Obr. 4.3: Připravené bednění pro uložení betonové směsi (vlevo); Bednění po betonáži (vpravo)

Bednění se směsí bylo dva dny uloženo v laboratorních podmínkách. Ztvrdnuté trámce byly poté odbedněny, označeny číslem pro evidenci výsledků zkoušek a měření, viz Tab. 4.1, a vloženy do nádob naplněných vodou na 28 dní ke tzv. zrání. Po uplynutí 28 dní byla zkušební tělesa zvážena a přemístěna do sušicí pece, kde se dva dny sušily při 60 °C. Tělesa tak byla připravena na ponoření do síranových roztoků v rámci chemické degradace. Na Obr. 4.4 jsou zobrazena odbedněná tělesa (vlevo) a vyskládaná tělesa v sušicí peci (vpravo).



Obr. 4.4: Odbedněná tělesa (vlevo); Tělesa v sušicí peci(vpravo)

Před další fází experimentu byla zkušební tělesa zvážena, poté byla provedena ultrazvuková impulsová zkouška, viz 4.4.

Tab. 4.1: Označení zkušebních těles dle skupin

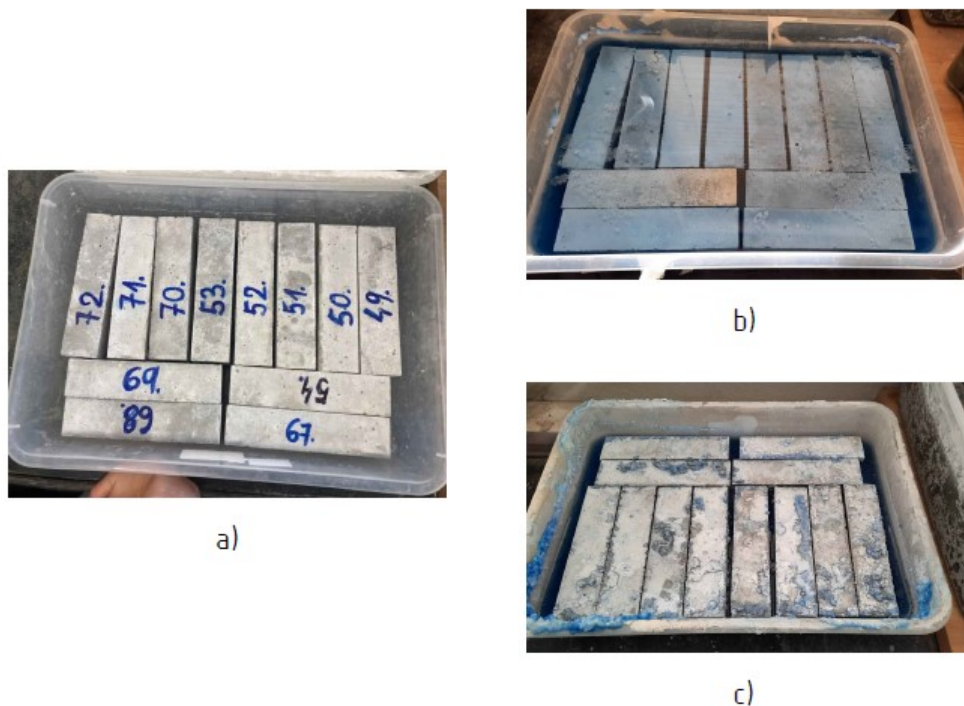
Vodní prostředí	Teplota			
	20 °C	400 °C	600 °C	800 °C
čistá voda pitná	1 – 6	19 – 24	37 – 42	55 – 60
10% vodný roztok Na ₂ SO ₄	7 – 12	25 – 30	43 – 48	61 – 66
20% vodný roztok Na ₂ SO ₄	13 – 18	31 – 36	49 – 54	67 – 72

4.2 Degradace zkušebních těles

Chemická degradace

Chemická degradace betonových zkušebních těles je navržena působením dvou roztoků síranu sodného po dobu tří měsíců. První vodný roztok byl připraven o koncentraci 10 %, druhý o kon-

centraci 20 % hmotnostních. Vysušená tělesa byla v této fázi experimentu ponořena do roztoku síranu sodného, nebo do prosté vody dle jeho označení, viz 3.2.



Obr. 4.5: Připravená skupina těles na nalití roztoku síranu sodného a); Skupina těles po měsíci působení roztoku b); Skupina těles po ukončení působení roztoku c)

Po třech měsících byla tělesa vyjmuta z kapalného prostředí, roztoky zlikvidovány. U těles byla podruhé změřena nasákavost – hmotnost v mokřém stavu po vyjmutí z roztoků, hmotnost v suchém stavu po jedenácti dnech následného sušení v sušicí peci při 60 °C.

Na vysušených tělesech byla provedena UTZ impulsová zkouška, viz 4.4.

Termická degradace

Jak bylo navrženo v 3.2, zdrojem tepla byla zprovozněna řídicí jednotka Manning (Obr. 4.6), na níž bylo napojeno šest flexibilních keramických topných podložek (Obr. 4.6). Produktový list řídicí jednotky a topných podložek je přiložen v Příloze č. 12.



Obr. 4.6: Řídicí jednotka Manning (vlevo); Detail keramické topné podložky (vpravo)

Vysušená tělesa byla umístěna mezi topné podložky do ocelové bedny vyložené minerální izolací, jak je zobrazeno na Obr. 4.7.

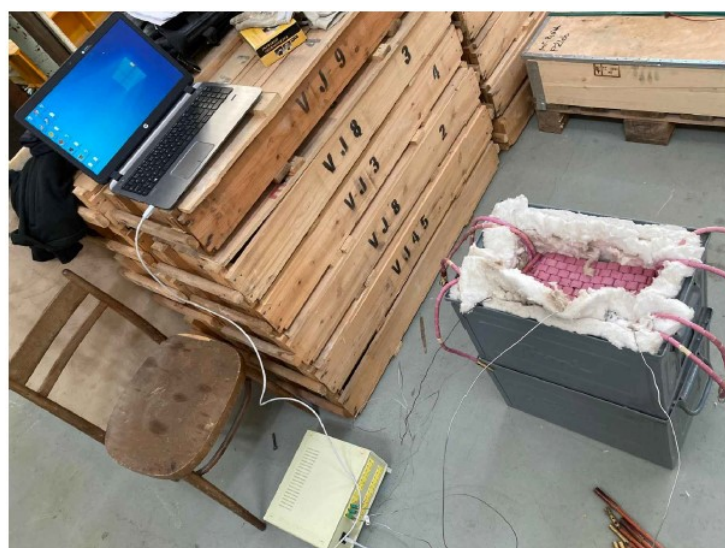


Obr. 4.7: Naplnění ocelové bedny

Ve třech úrovních byly umístěny termočlánky, které byly napojeny do převodníku, díky kterému byly přes datový kabel zobrazovány teploty v aplikačním softwaru na notebooku. Podle vývoje teplot byl nastavován výkon řídicí jednotky Manning. Termočlánek je zobrazen na Obr. 4.8 níže vlevo, převodník vpravo. Celkový setup na je zachycen na Obr. 4.9.



Obr. 4.8: Části zapojení pro měření teploty



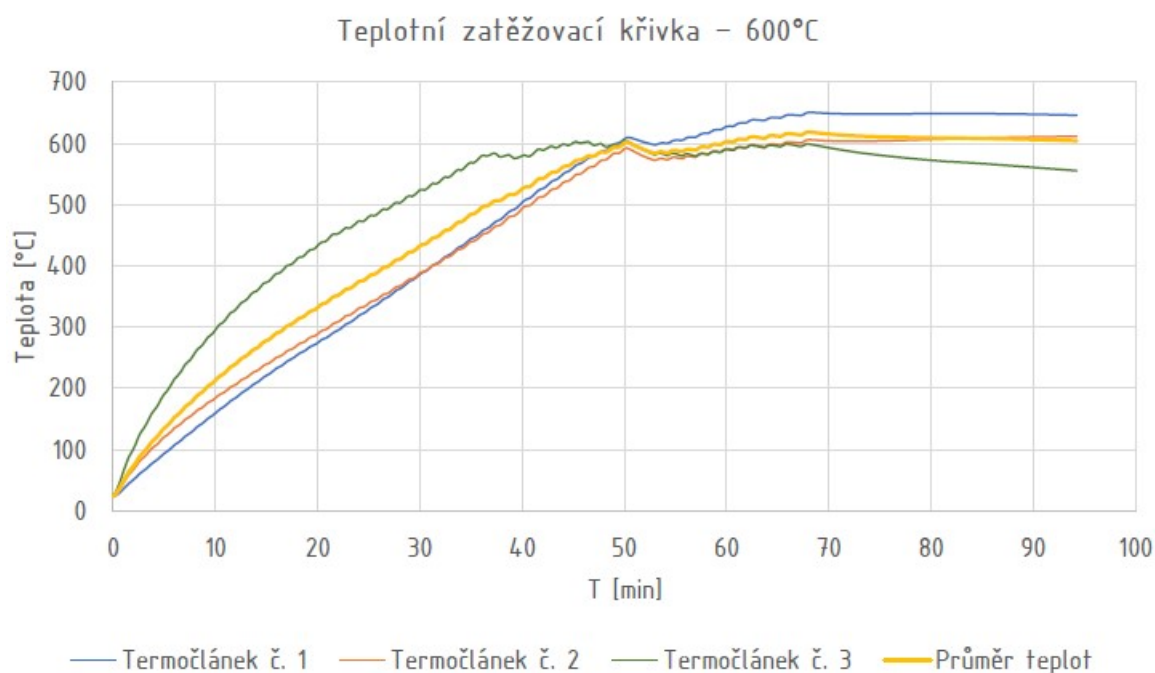
Obr. 4.9: Setup měření teploty

Po přípravě ocelové bedny se zkušebními tělesy a aparatury pro měření teploty bylo spuštěno zahřívání. Probíhalo kontinuální kontrolování teplot s případnou změnou nastavení výkonu. Nejdříve se dosahovalo $400\text{ }^{\circ}\text{C}$, po dosažení kýžených stupňů bylo snahou udržet se na této teplotě po dobu dvaceti minut. Nastavování výkonů probíhá pomocí stupňů 0 – 10. Nelze nastavit požadovaná teplota, proto bilancování na stanovené teplotě bylo obtížné. Po uplynutí dvaceti minut byla řídicí jednotka vypnuta, tělesa vyjmuta z ocelových beden (Obr. 4.10) na minerální izolaci, kde postupně chladla (Obr. 4.10). Poté bylo připraveno další zahřívání se stejným průběhem, ale s jinými tělesy a jinou cílovou teplotou. Následovalo zahřívání na $600\text{ }^{\circ}\text{C}$, poté na $800\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Obr. 4.10: Ocelová bedna po ukončení zahřívání (vlevo); Vyložená tělesa (vpravo)

Níže na Obr. 4.11 je zobrazena teplotní zatěžovací křivka při zahřívání na 600 °C získaná z každého termočláneku a jejich průměr. V Příloze č. 1 jsou přiloženy všechny teplotní zatěžovací křivky, tj. pro teplotu o 400 °C, 600 °C a 800 °C.



Obr. 4.11: Graf průběhu teploty v čase při zahřívání na 600 °C

Po vychladnutí byla tělesa přemístěna do vedlejší laboratoře, kde byly prováděny zkoušky pevnosti.

4.3 Destruktivní zkoušky

Zkouška pevnosti v tahu ohybem

Zkoušku pevnosti v tahu ohybem podstoupila již všechna zkušební tělesa po skupinách dle jejich termické degradaci, viz 4.2. Do hydraulického lisu s ohybovým přípravkem, viz Obr. 4.12, bylo umístěno a vycentrováno zkušební těleso. Připravený lis se zkušebním tělesem je zachycen na Obr. 4.13.



Obr. 4.12: Zkušební lis s ohybovým přípravkem



Obr. 4.13: Detail ohybového přípravku se zkušebním tělesem

Po kontrole nastavení hydraulického lisu a umístění zkušební tělesa proběhlo zatěžování do jeho porušení. Porušené těleso bylo poté uloženo stranou a následovalo další zatěžování s jiným tělesem etc. Těleso po porušení vykazovalo ohybovou trhlinu zobrazenou na Obr. 4.14.



Obr. 4.14: Porušení tělesa po zkoušce pevnosti betonu v tahu ohybem

Maximální působící síla při porušení byla zaznamenána do zjednodušeného protokolu pro výsledný výpočet pevnosti v tahu ohybem pro každé těleso. Níže na Obr. 4.15 je zobrazena část zjednodušeného protokolu ze zkoušky pevnosti v tahu ohybem pro tělesa nevystavená působení vysokých teplot. V protokolech jsou již vypočteny výsledné pevnosti betonu v tahu. Protokoly ze zkoušek všech skupin jsou přiloženy v Příloze č. 2.

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE												
FAKULTA STAVEBNÍ												
Thákurova 7, 166 28 PRAHA - 6, tel : 224 354 627 , fax : 224 354 446 , email : k133@fsv.cvut.cz												
ODBORNÁ LABORATOŘ KATEDRY BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ												
Zpráva o zkoušce pevnosti betonu v tahu ohybem										ze dne: 10.10.2022		Číslo protokolu : 1
Výsledky laboratorních zkoušek												
Číslo vzorku	Ozn. tělesa	Rozměry tělesa			Hmot. tělesa g	Objem. hmot. kg/m ³	Datum		Stáří vzorku dny	Tah za ohybu		Poznámka ke zkoušce
		Délka mm	Šířka mm	Výška mm			výroby d.m.r	zkoušky d.m.r		síla kN	pevnost MPa	
1	0 %; 20 °C	40,16	39,96	160,0	593,4	2311	31.05.22	10.10.22	133	3,92	9,2	
2	0 %; 20 °C	39,6	39,9	160,0	587,5	2322	31.05.22	10.10.22	133	4,49	10,7	
3	0 %; 20 °C	37,8	39,8	160,0	551,3	2291	31.05.22	10.10.22	133	3,91	9,8	
4	0 %; 20 °C	39,2	39,8	160,0	581,3	2325	31.05.22	10.10.22	133	3,72	9,0	
5	0 %; 20 °C	40,3	40,1	160,0	598,6	2317	31.05.22	10.10.22	133	4,76	11,0	
6	0 %; 20 °C	39,8	39,8	160,0	587,0	2317	31.05.22	10.10.22	133	4,08	9,7	
7	10 %; 20 °C	39,5	39,8	160,0	579,5	2303	31.05.22	10.10.22	133	4,70	11,2	

Obr. 4.15: Výřez zprávy o zkoušce pevnosti betonu v tahu ohybem

Demonstrativní výpočet pevnosti betonu v tahu pro zkušební těleso č. 1 z protokolu na Obr. 4.15 je proveden rovnicí (4.1). Vzdálenost mezi podpěrnými válečky l je dána použitým ohybovým

přípravkem, rozměry příčného řezu těles již byly změřeny v rámci výpočtu dynamického modulu pružnosti po UTZ impulsové zkoušce, viz 4.4.

$$f_{ct,fl} = \frac{3 \cdot F \cdot l}{2 \cdot d_1 \cdot d_2^2} = \frac{3 \cdot 3920 \cdot 100}{2 \cdot 40,16 \cdot 39,96^2} = 9,2 \quad [\text{N/mm}^2] \quad (4.1)$$

Zkouška pevnosti v tlaku

V hydraulickém lisu odborné laboratoře FSv ČVUT byl umístěn tlačný přípravek. Do tlačného přípravku byla vycentrována cca polovina zkušební tělesa zbylá po zkoušce pevnosti betonu v tahu ohybem (podrobněji v kapitole 3.3). Hydraulický lis, tlačný přípravek a vycentrované těleso umístěné v tlačném přípravku je zobrazen na Obr. 4.16.



Obr. 4.16: Hydraulický lis (vlevo); Tlačný přípravek (vpravo nahoře); Zkušební těleso (vpravo dole)

Zahájilo se zatěžování tělesa skrze tlačnou plochu do jeho porušení, v ten okamžik byla zaznamenána maximální působící síla do zjednodušeného protokolu. Způsob porušení byl posouzen a rozhodlo se, zda se jedná o platnou zkoušku. Ukázka vyhovujících způsobů porušení z provedených zkoušek je zobrazena na Obr. 4.17.



Obr. 4.17: Vyhovující způsoby porušení zkoušky pevnosti v tlaku

Celkem proběhlo 120 zkoušek. Z každé skupiny (viz 3.2) bylo ponecháno jedno těleso stranou, které zkouškou neprošlo. Postupovalo se vzestupně dle čísla vzorku. Zjednodušené zápisy ze zkoušek po celcích dle termické degradaci zkušebních těles jsou přiloženy v Příloze č. 3 (ukázka protokolu je k nahlédnutí níže na Obr. 4.18).

<p style="text-align: center;">ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE FAKULTA STAVEBNÍ Thákurova 7, 166 28 PRAHA - 6, tel : 224 354 627 , fax : 224 354 446 , email : k133@fsv.cvut.cz ODBORNÁ LABORATOŘ KATEDRY BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ</p>									
Zpráva o zkoušce pevnosti betonu v tlaku				ze dne: 17.10.2022			Číslo protokolu : 1		
Výsledky laboratorních zkoušek									
Číslo vzorku	Ozn. tělesa	Výška tělesa mm	Šířka tlačné plochy mm	Datum		Stáří vzorku dny	Tlak		Poznámka ke zkoušce
				výroby d.m.r	zkoušky d.m.r		síla kN	pevnost MPa	
1.1	0 %; 20 °C	40,16	39,96	31.05.22	17.10.22	139	160,91	100,3	
1.2	0 %; 20 °C	40,16	39,96	31.05.22	17.10.22	139	183,14	114,1	
2.1	0 %; 20 °C	39,6	39,9	31.05.22	17.10.22	139	104,61	66,2	
2.2	0 %; 20 °C	39,6	39,9	31.05.22	17.10.22	139	167,60	106,0	
3.1	0 %; 20 °C	37,8	39,8	31.05.22	17.10.22	139	117,87	78,4	

Obr. 4.18: Výřez zprávy o zkoušce pevnosti betonu v tlaku

Výpočet pevnosti betonu tělesa v tlaku byla vypočtena dle vztahu (3.2). Demonstrativní výpočet pevnosti v tlaku pro vzorek 1.1 je uveden níže rovnicí (4.2). Hodnoty pro výpočet jsou převzaty z Přílohy č. 3.

$$f_c = \frac{F}{A_c} = \frac{F}{d_1 \cdot d_d} = \frac{160910}{40,16 \cdot 40} = 100,2 \quad [\text{N/mm}^2], \quad (4.2)$$

4.4 Nedestruktivní zkoušky

Měření nasákavosti

Ke zjištění hodnot nasákavosti u těles sledovaných skupin bylo potřeba změřit jejich hmotnost v nasyceném a vysušeném stavu. Měření v těchto stavech proběhlo před a po působení chemických degradačních činitelů.

První etapa měření proběhla po 26 dnech uložení těles ve vodě, následně po dvoudenním pobytu v 60 °C v sušicí peci. Druhá etapa proběhla po třech měsících v nádobách s vodným roztokem síranu sodného, nebo s čistou vodou, s následným měřením hmotnosti po jedenáctidenním pobytu v 60 °C v sušicí peci.

Sledované skupiny byly omezeny na tři, vzhledem k účelu získaných hodnot. Jedná se o první tři skupiny těles o č. 1 – 18 s rozdílnou chemickou degradací, viz 4.1

K měření hmotnosti byla použita laboratorní váha s přesností 1 g. Hodnoty byly zaznamenávány do zjednodušeného protokolu (část protokolu je zobrazena na Obr. 4.19). Vyplněný celý protokol je přiložen v Příloze č. 4.

Zpráva o měření nasákavosti												Číslo protokolu : 1	
Výsledky laboratorních zkoušek													
Číslo vzorku	Ozn. tělesa	1. měření					2. měření					Poznámka ke zkoušce	
		datum	hmotnost "mokrā"	datum	hmotnost "suchā"	Nasākavost	datum	hmotnost "mokrā"	datum	hmotnost "suchā"	Nasākavost		
		d.m.r	g	d.m.r	g	%	d.m.r	g	d.m.r	g	%		
1	0 %, 20 °C	27.06.22	607	29.06.22	595	20	29.09.22	608	01.10.22	595	22		
2	0 %, 20 °C	27.06.22	603	29.06.22	590	22	29.09.22	601	01.10.22	589	20		
3	0 %, 20 °C	27.06.22	565	29.06.22	553	22	29.09.22	563	01.10.22	551	22		
4	0 %, 20 °C	27.06.22	597	29.06.22	584	22	29.09.22	595	01.10.22	583	21		
5	0 %, 20 °C	27.06.22	613	29.06.22	601	20	29.09.22	613	01.10.22	601	20		

Obr. 4.19: Výřez zprávy o měření nasákavosti

Následně byla vypočtena nasákavost jednotlivých těles. Demonstrativní výpočet nasákavosti pro těleso č. 1 v první etapě měření nasákavosti je uveden v rovnici 4.3. Oproti návrhu je výsledná nasákavost vyjádřena v promilích, vzhledem k jejím nízkým hodnotám.

$$W_w = \frac{m_w - m_s}{m_s} \cdot 1000 = \frac{607 - 595}{595} \cdot 1000 = 20 \quad [\%], \quad (4.3)$$

Ultrazvuková impulsová zkouška

Ultrazvuková, zkráceně UTZ, impulsová zkouška byla provedena na vysušených tělesech nanejvýše třikrát. Poprvé před chemickou a termickou degradací, podruhé po ukončení působení chemického degradačního činidla (roztoku síranu sodného), potřetí po vystavení působení vysokých teplot. Pokud skupina těles nebyla vystavena působení vysokých teplot, nebyla již na ni provedena třetí UTZ zkouška.

Zkouška probíhala dle jejího návrhu 3.3. Pro co nejvyšší míru kontaktu mezi tělesem a sondami bylo využito sonogelu, jenž se nanášel na sondy v množství takovém, aby bylo dosaženo alespoň 90% kontaktu. Zkouška je zachycena na Obr. 4.20.




Obr. 4.20: UTZ impulsová zkouška

Ze zkoušky byly zaznamenávány do zjednodušených protokolů hodnoty rychlosti šíření ultrazvukového impulsu sloužící pro výpočet dynamického modulu pružnosti. Objemová hmotnost potřebná pro výpočet byla převzata z protokolů zkoušek pevnosti betonu v tahu ohybem, viz Příloha č. 2. Součinitel rozměrnosti prostředí je dán uspořádáním zkoušky. Všechny protokoly ze zkoušek jsou přiloženy v Příloze č. 5. Ukázka protokolu je k nahlédnutí níže na Obr. 4.21.

Výpočet dynamického modulu pružnosti pro vzorek č. 1 z prvního měření je demonstrativně proveden v rovnici (4.4).

$$E_{cu} = \rho \cdot v_L^2 \cdot \frac{1}{k^2} \cdot 10^{-6} = 2311 \cdot 4734^2 \cdot \frac{1}{1^2} \cdot 10^{-6} = 51791 \quad [\text{N/mm}^2], \quad (4.4)$$

 ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE FAKULTA STAVEBNÍ Thákurova 7, 166 28 PRAHA - 6, tel : 224 354 627 , fax : 224 354 446 , email : k133@fsv.cvut.cz ODBORNÁ LABORATOŘ KATEDRY BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ 									
Zpráva o ultrazukové impulsové zkoušce				ze dne: 29.06.2022		Číslo protokolu : 1			
Výsledky laboratorních zkoušek									
Číslo vzorku	Ozn. tělesa	Objem. hmot. kg/m ³	Souč. rozm. prostředí	Datum		Stáří vzorku dny	Impuls. rychlost m/s	Dyn. modul pružnosti N/mm ²	Poznámka ke zkoušce
				výroby d.m.r	1. měření d.m.r				
1	0 %; 20 °C	2311	1	31.05.22	29.06.22	29	4734	51789	
2	0 %; 20 °C	2322	1	31.05.22	29.06.22	29	4734	52044	
3	0 %; 20 °C	2291	1	31.05.22	29.06.22	29	4734	51345	
4	0 %; 20 °C	2325	1	31.05.22	29.06.22	29	4776	53025	
5	0 %; 20 °C	2317	1	31.05.22	29.06.22	29	4748	52229	
6	0 %; 20 °C	2317	1	31.05.22	29.06.22	29	4734	51917	
7	10 %; 20 °C	2303	1	31.05.22	29.06.22	29	4734	51609	
8	10 %; 20 °C	2219	1	31.05.22	29.06.22	29	4706	51253	

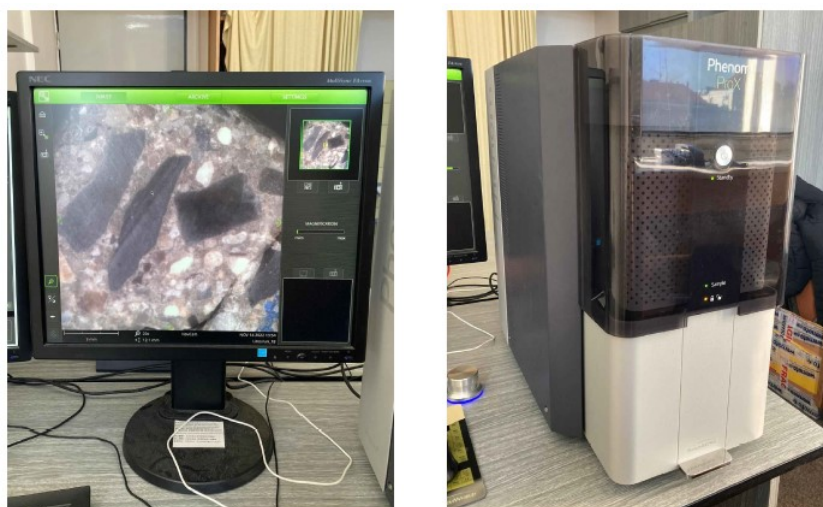
Obr. 4.21: Výřez zprávy o UTZ impulsové zkoušce

Problém při měření rychlosti šíření ultrazukového impulsu nastal v okamžik, kdy přišly na řadu vzorky vystavené působení vysokých teplot v hodnotách 600 °C a 800 °C. Nedocházelo k potřebnému kontaktu, vnitřní struktura byla příliš narušena. Dosahovalo se 0% - 20% kontaktu, a proto se hodnoty rychlosti nepodařilo změřit. Jejich protokoly jsou i přesto přiloženy v Příloze č. 5.

Optická mikroskopie

Povrch vzorků těles, resp. povrch otevřených pórů, byl pozorován pod objektivem stolního elektronového mikroskopu Phenom ProX. Sestava se skládá z jednotky, kam se umístí uje vzorek a probíhají zde všechny procesy, a monitoru, který slouží k zobrazování zaměřované oblasti a umožňuje řídit mikroskop skrze příslušný software. Sestava je zobrazena na Obr. 4.22. K mikroskopickému pozorování byly určeny vzorky z těles o různém stupni chemické degradace – tělesa č. 6; 12; 18, viz 4.1.

Pozorované vzorky byly získány ze zkušebních těles po zkoušce pevnosti tahu ohybem, tj. tělesa vyřazená ze zkoušky pevnosti v tlaku. Aby bylo možné usadit vzorek do podavače mikroskopu, byla původní tělesa rozměrově upravena. Pro hrubý řez byla využita řezačka na dlažbu, pro finální rozměry úhlová bruska. Na Obr. 4.23 je zobrazena řezačka na dlažbu s umístěnými tělesy. Cílem úprav byla krychle s hranou o délce maximálně 15 mm. Výsledná krychle měla nejméně jednu stranu, která nebyla upravena řezem.



Obr. 4.22: Řezačka se zkušebními tělesy



Obr. 4.23: Řezačka se zkušebními tělesy

Řezná hrana vzorků byla následně leštěna pomocí velmi jemných brusných papírů (P2000 - P12000) pro následnou vyšší čistotu obrazu a rovinnost pozorované plochy vzorku. Vzorky s vy-leštěnou řeznou hranou byly připraveny pro umístění do mikroskopu. Po zapnutí mikroskopu bylo vytaženo ochranné víko a vysunut podavač. Do podavače byl umístěn vzorek s předepsaným za-rovnaním, poté byl podavač vrácen a víko zataženo. Na Obr. 4.24 níže je zobrazen podavač se vzor-kem (vlevo) a mikroskop se zasunutým podavačem se vzorkem (vpravo).

Přes obraz světelného mikroskopu byl objektiv naveden na místo podrobnějšího pozorování, viz Obr. 4.23 (vlevo). Poté byl mikroskop přepnut do elektronového režimu a zkoumaly se otevřené póry a hledaly se známky degradace. Při pozorování se účelně měnilo přiblížení, jas a kontrast. Ukázka pohledu na otevřený pór je zobrazen níže na Obr. 4.25, více fotek je zobrazeno ve vyhod-nocení 5.5.



Obr. 4.24: Podavač se vzorkem (vlevo); pohled na mikroskop (vpravo)



Obr. 4.25: Snímek z elektronového mikroskopu

5 Vyhodnocení

Výsledky a poznatky získané během experimentu 4 jsou v následujících kapitolách shrnuty, posouzeny, popsány a rozebrány. Každá kapitola je zakončena diskuzí nad výsledky.

Posouzení získaných hodnot (vyjma měření nasákavosti) spočívá v posouzení, zda se nejedná o odlehle pozorování v rámci uceleném souboru dat – skupiny. Posouzení proběhlo Grubbsovým testem extrémních odchylek [28]. Po dokončení testu a případného vyřazení extrémních odchylek bylo dále pokračováno se zpracováním dat.

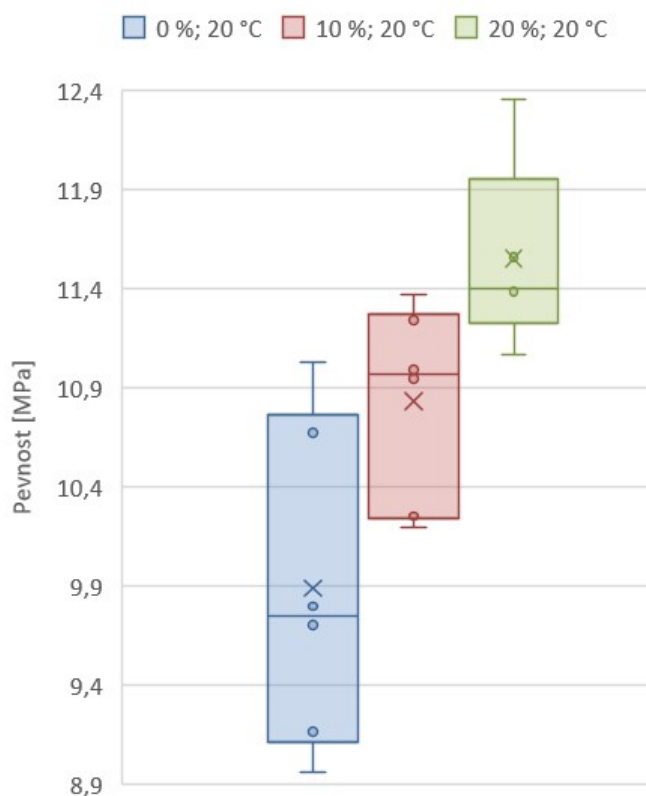
5.1 Pevnost v tahu ohybem

Hodnoty pevností jsou převzaty z protokolů zkoušek, jež jsou přiloženy v Příloze č. 2. Získané hodnoty jsou posuzovány po celcích dle teplot, kterým byla tělesa vystavena. Konec každé podkapitoly tvoří tabulka shrnující základní data dané skupiny. Krabicový graf, jež zachycuje všechny získané hodnoty pevností v tahu ohybem, je přiložen v Příloze č. 8.

Vliv chemické degradace při 20 °C

Tělesa nevystavená působení vysokých teplot, tedy skladována v laboratorní teplotě (cca 20 °C), vykazovala pevnosti od 9,0 MPa do 12,4 MPa. Průměrná hodnota souboru je 10,6 MPa.

Krabicový graf na Obr. 5.1 zobrazuje hodnoty pevností v tahu ohybem, již po vyloučení odlehle pozorování. Graf před i po této úpravě je přiložen v Příloze č. 6. Grafické vyjádření zpracovaných hodnot pomocí kombinovaného grafu je přiložen v Příloze č. 7.



Obr. 5.1: Krabicový graf pevností těles s ozn. 0 % – 20 %; 20 °C

Skupina chemicky nedegradovaná vykazuje největší rozptyl hodnot, avšak v dovoleném rozmezí. Třetí skupina obsahovala odlehlé pozorování (konkrétně těleso č. 13), které bylo vyřazeno.

V grafech můžeme spatřit vzestupný trend vypočtených průměrných pevností jednotlivých skupin, od těles chemicky nedegradovaných k tělesům vystaveným nejsilnějšímu roztoku síranu sodného. Průměrná pevnost skupiny se s vyšším stupněm chemické degradace zvyšuje téměř o stejnou hodnotu. Mezi nultým a prvním stupněm chemické degradace došlo ke zvýšení o 0,9 MPa, z 9,9 MPa na 10,8 MPa, což je 8% nárůst pevnosti. Mezi prvním a druhým stupněm chemické degradace došlo ke zvýšení z 10,8 MPa na 11,6 MPa, tedy o 0,8 MPa, tentokrát 7% nárůst hodnoty průměrné pevnosti. Výše uvedené hodnoty jsou shrnuty v Tab. 5.1.

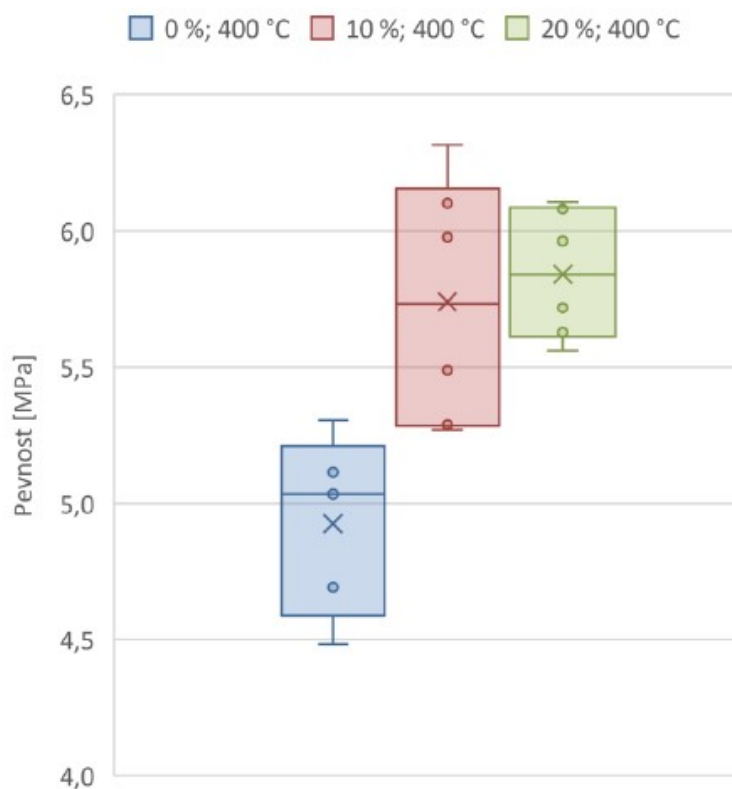
Tab. 5.1: Výsledky zkoušek pevností v tahu ohybem

Označení	0 %	10 %	20 %	
20 °C	Minimum [MPa]	9,0	10,2	11,1
	Maximum [MPa]	11,0	11,4	12,4
	Průměr [MPa]	9,9	10,8	11,6
	Abs. změna [MPa]	/	0,9	0,8
	Rel. změna [%]	/	8,7	6,2

Vliv chemické degradace při 400 °C

Tělesa vystavena působení teploty o 400 °C vykazovala pevnosti od 4,5 MPa do 6,3 MPa. Průměrná hodnota souboru je 5,6 MPa.

Krabicový graf na Obr. 5.2 zobrazuje hodnoty pevností v tahu ohybem již po vyloučení odlehlých pozorování. Graf před i po této úpravě je příložen v Příloze č. 6. Grafické vyjádření zpracovaných hodnot pomocí kombinovaného grafu je příložen v Příloze č. 7.



Obr. 5.2: Krabicový graf pevností těles s ozn. 0 % – 20 %; 400 °C

Hodnoty pevností tvoří nižší rozptyl, než-li u skupin nevystavených vysokým teplotám, v ab-

solutních hodnotách téměř poloviční. V první skupině byla vyřazena jedna hodnota (těleso č. 23), jakožto odlehlé pozorování.

Stejně jako u skupin nevystavených vlivu působení vysokých teplot, i zde můžeme pozorovat vzestupný trend, jenž se s chemickou degradací zmírňuje. S prvním stupněm chemické degradace se průměrná pevnost v tahu ohybem zvýšila přes 14 %, o 0,8 MPa ze 4,9 MPa na 5,7 MPa). Jedná se o téměř stejné navýšení pevnosti jako u skupin nevystavených působení vysoké teploty. S druhým stupněm chemické degradace se průměrná pevnost zvýšila o 0,1 MPa na 5,8 MPa. Jedná se pouze o téměř 2% nárůst pevnosti. Stupeň chemické degradace již téměř nerozhoduje. Výše uvedené hodnoty jsou shrnuty v Tab. 5.2.

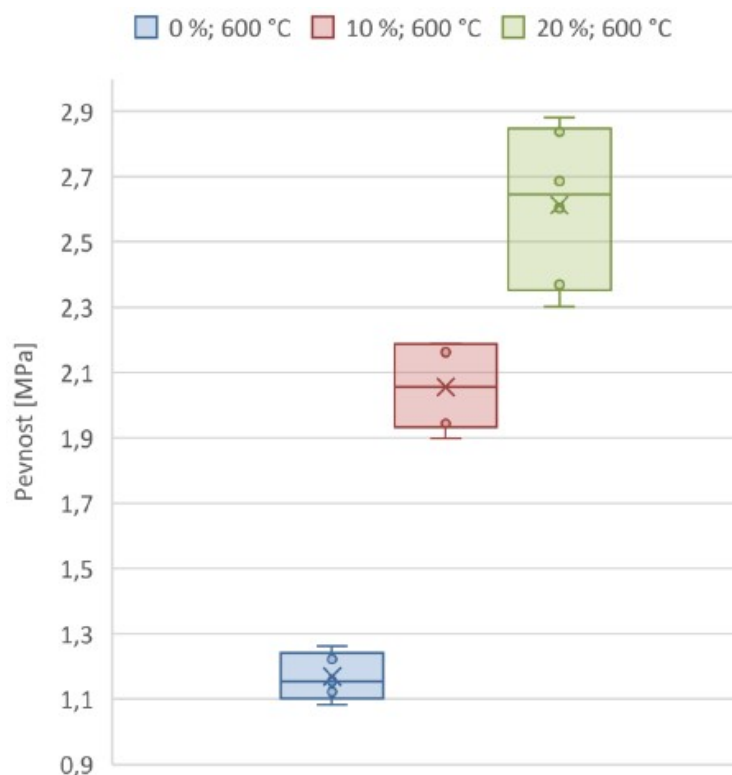
Tab. 5.2: Výsledky zkoušek pevností v tahu ohybem

Označení		0 %	10 %	20 %
400 °C	Minimum [MPa]	4,5	5,3	5,6
	Maximum [MPa]	5,3	6,3	6,1
	Průměr [MPa]	4,9	5,7	5,8
	Abs. změna [MPa]	/	0,8	0,1
	Rel. změna [%]	/	14,2	1,7

Vliv chemické degradace při 600 °C

Tělesa vystavena působení teplot o 600 °C dosahovala pevností od 1,1 MPa do 2,9 MPa. Průměrná hodnota souboru je 2,0 MPa.

Krabicový graf na Obr. 5.3 zobrazuje hodnoty pevností betonu v tahu ohybem, již po vyloučení odlehlých pozorování. Graf před i po této úpravě je přiložen v Příloze č. 6. V první skupině bylo shledáno jedno odlehlé pozorování, konkrétně u tělesa č. 38, ke kterému nebylo dále přihlíženo. Grafické vyjádření zpracovaných hodnot pomocí kombinovaného grafu je přiložen v Příloze č. 7.



Obr. 5.3: Krabicový graf pevností těles s ozn. 0 % – 20 %; 600 °C

Rozptyl hodnot pevností těles vystavených 600 °C je obecně nižší, než tomu bylo u těles vystavených 400 °C. Maximální rozdíl hodnot pevností v rámci jedné skupiny činí 0,5 MPa. Skupiny se poprvé svými intervaly nabývajících hodnot neprolínají se stoupající chemickou degradací.

Průměrné pevnosti skupin opět narůstají s vyšší chemickou degradací. Mezi první a druhou skupinou došlo k 43% nárůstu pevnosti, z 1,2 MPa na 2,1 MPa. V absolutní hodnotě se jedná o stejné navýšení pevnosti mezi nultým a prvním stupněm chemické degradace jako u skupin předcházejících. U nejvyššího stupně, třetí skupiny, je 19% nárůst průměrné pevnosti, z 2,1 MPa na 2,6 MPa. Výše uvedené hodnoty jsou shrnuty v Tab. 5.3. Trend je opět stoupající a též zmírňující se s vyšší chemickou degradací, jako tomu bylo v předchozích skupinách.

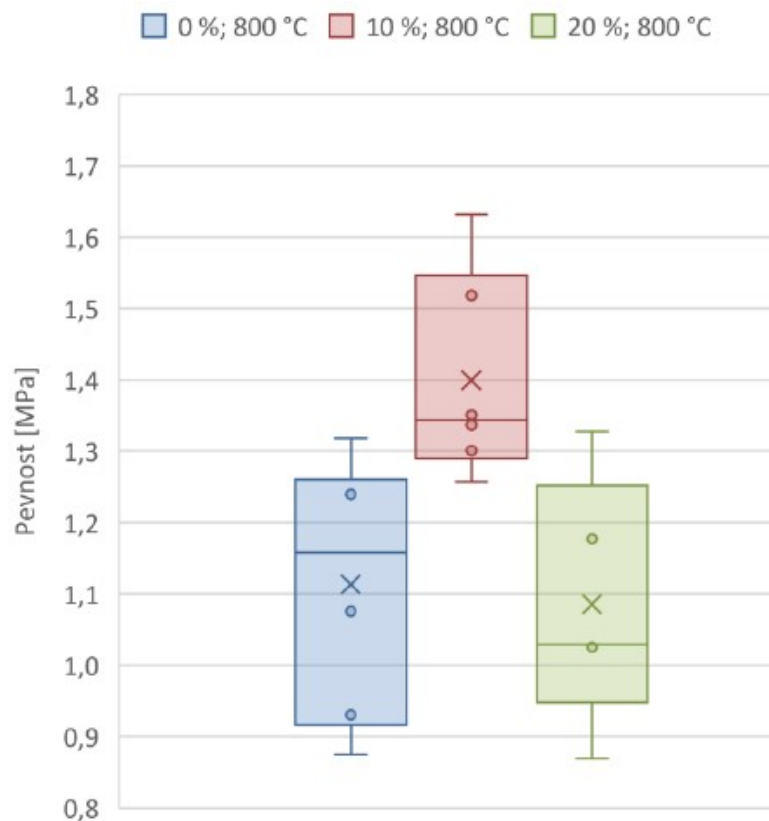
Tab. 5.3: Výsledky zkoušek pevností v tahu ohybem

Označení	0 %	10 %	20 %	
600 °C	Minimum [MPa]	1,1	1,9	2,3
	Maximum [MPa]	1,3	2,2	2,9
	Průměr [MPa]	1,2	2,1	2,6
	Abs. změna [MPa]	/	0,9	0,5
	Rel. změna [%]	/	42,9	19,2

Vliv chemické degradace při 800 °C

Tělesa vystavena působení teplotě o 800 °C dosahovala pevností od 0,9 MPa do 1,8 MPa. Průměrná hodnota souboru dat je 1,2 MPa.

Krabicový graf na Obr. 5.4 zobrazuje hodnoty pevností skupin těles v tahu ohybem vystavených 800 °C, již po vyloučení odlehlých pozorování. Konkrétně zde byla vyloučena jedna hodnota ve třetí skupině, jakožto odlehlé pozorování (těleso č. 69). Graf před i po této úpravě je přiložen v Příloze č. 6. Grafické vyjádření zpracovaných hodnot pomocí kombinovaného grafu je přiložen v Příloze č. 7.



Obr. 5.4: Krabicový graf pevností těles s ozn. 0 % – 20 %; 800 °C

Intervaly hodnot pevností skupin se navzájem prolínají i přes to, že jejich rozptyl je velmi nízký. Ke zvolenému měřítku os grafu není nízký rozptyl nápadný, jedná se však o téměř shodný rozptyl jako u skupin vystavených 600 °C 5.3. Maximální rozdíl v rámci skupiny činí 0,4 MPa.

Poprvé spojnici trendů netvoří pouze stoupající křivka. Svého maxima nabývá ve skupině, která byla vystavena slabšímu roztoku síranu sodného (10%). Tělesa vystavená 20% roztoku vykazují již nižší pevnosti, v průměru ještě nižší, než-li skupina chemicky nedegradovaná. Průměrná hodnota pevnosti chemicky nedegradované skupiny je 1,11 MPa, skupiny prvního stupně che-

mické degradace činí 1,40 MPa (20% nárůst pevnosti) a druhého stupně činí 1,09 MPa (22% pokles oproti předcházející skupině). Výše uvedené hodnoty jsou shrnuty v Tab. 5.4.

Tab. 5.4: Výsledky zkoušek pevností v tahu ohybem

Označení		0 %	10 %	20 %
800 °C	Minimum [MPa]	0,9	1,3	0,9
	Maximum [MPa]	1,3	1,6	1,3
	Průměr [MPa]	1,1	1,4	1,1
	Abs. změna [MPa]	/	0,3	0,3
	Rel. změna [%]	/	20,4	-22,4

Diskuze

Po zhlédnutí výsledků z měření pevností v tahu ohybem převládá účinek chemické degradace jakožto zvýšení pevnosti v tahu. Pouze v jediném případě tak zcela nebylo. U skupin vystavených 800 °C je sice pozorováno zvýšení pevnosti s chemickou degradací, ale pouze u skupiny vystavené 10% roztoku. Při vyšší chemické degradaci pevnost již klesla, dokonce pod pevnost skupiny chemicky nedegradované. Mohlo tak být zapříčiněno překročením teplotního intervalu s hranicemi 700 °C a 750 °C, kdy dochází k vrcholu druhé fáze rozkladu C-S-H gelu 2.1. Síranová koroze narušuje právě strukturu C-S-H gelu, která pod nápořem takto vysoké teploty zaznamená při druhé fázi rozkladu nejvyšší úbytek pevnosti v tahu.

Chemicky nedegradovaná skupina vykazovala téměř lineární pokles průměrné pevnosti k hodnotě 1,2 MPa při 600 °C. Po dalším navýšení teploty pevnost klesla o pouhých 0,1 MPa. U druhé skupiny byly do teploty o 600 °C zaznamenány stejné poklesy pevností jako u "zdravé" skupiny, pouze průměrné pevnosti byly vždy o cca 0,9 MPa vyšší. Z toho vyplývá, že chemická degradace navýšila pevnost, přitom zachovala stejný vývoj ztráty pevnosti při zahřívání do 600 °C. Při zahřívání na 800 °C skupiny zaznamenaly již rozdílný úbytek pevnosti, skupina chemicky degradovaná výrazně větší, z důvodu popsaného v předcházejícím odstavci.

Chemicky nejvíce degradovaná skupina vykazovala při 20 °C nejvyšší pevnost v tahu. Při zahřívání na 400 °C došlo též k poklesu pevnosti v tahu, ale největšímu napříč skupinami. Hodnota průměrné pevnosti se přiblížila k pevnosti skupiny méně chemicky degradované. Při dalším zahřívání se pokles pevnosti zpomalil a skupina opět dosahovala vyšších pevností s rezervou. Při zahřívání na 800 °C došlo k degradaci takové, že průměrná pevnost dosáhla stejné hodnoty jako chemicky nedegradovaná skupina, původní zpevnění zcela vymizelo.

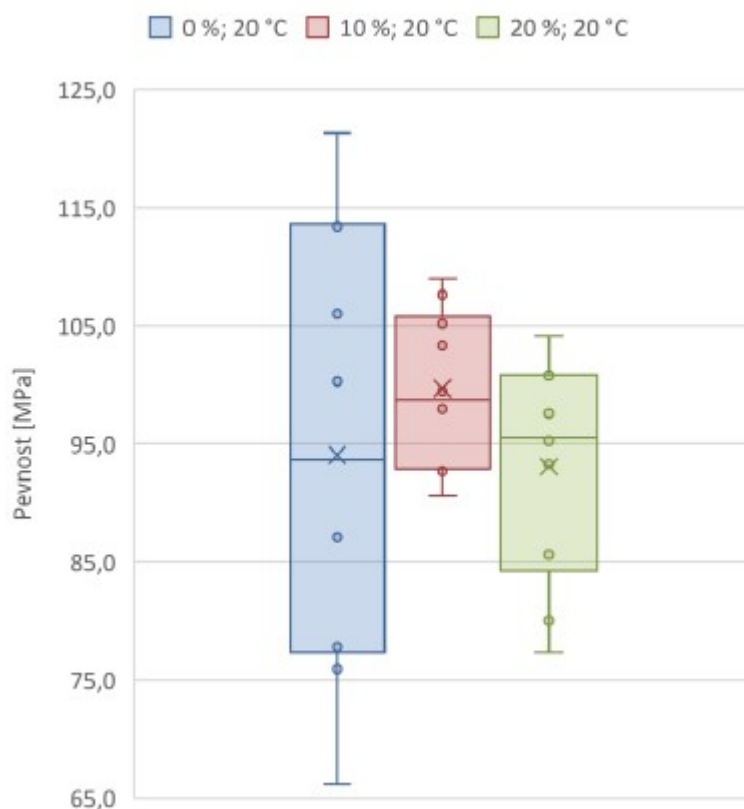
5.2 Pevnost v tlaku

Hodnoty pevností jsou převzaty z protokolů zkoušek, jenž jsou přiloženy v Příloze č. 3, a jsou posuzovány po skupinách dle teploty, které byla tělesa vystavena. Konec každé podkapitoly tvoří tabulka shrnující základní data dané skupiny. Krabicový graf, jenž zachycuje všechny získané hodnoty pevností v tlaku, je přiložen v Příloze č. 11.

Vliv chemické degradace při 20 °C

Tělesa uložená v laboratoři při 20 °C dosahovala pevností v tlaku od 66,2 MPa do 121,3 MPa s průměrem o hodnotě 95,6 MPa.

Krabicový graf na Obr. 5.5 zobrazuje hodnoty pevností v tlaku bez odlehlých pozorování. Tato skupina nevykazovala odlehlá pozorování. Grafické vyjádření zpracovaných hodnot pomocí kombinovaného grafu je přiložen v Příloze č. 10.



Obr. 5.5: Krabicový graf pevností těles s ozn. 0 % – 20 %; 20 °C

Hodnoty první skupiny, chemicky nedegradované, vykazují největší rozptyl hodnot s maximem 121,3 MPa a minimem 66,2 MPa. Tento interval zahrnuje intervaly pevností zbylých skupin. Rozdíl mezních hodnot činí 55,1 MPa, i přes to jejich posouzení jako potenciální odlehlá pozorování.

vání byla kladná. Zbylé skupiny již vykazují rozptyly přívětivější s velikostí intervalu pohybujícím se kolem 20 MPa.

První skupina dosahuje průměrné pevnosti o velikosti 94,0 MPa, s prvním stupněm chemické degradace se zvýšila 5,7 MPa na 99,7 MPa (5,6% nárůst pevnosti). Tělesa při druhém stupni chemické degradace dosáhla průměrné pevnosti 93,1 MPa, což je v porovnání s druhou skupinou pokles pevnosti o 6,6 MPa, v procentech 7,1 %. Zmíněné hodnoty jsou shrnuty v Tab. 5.5.

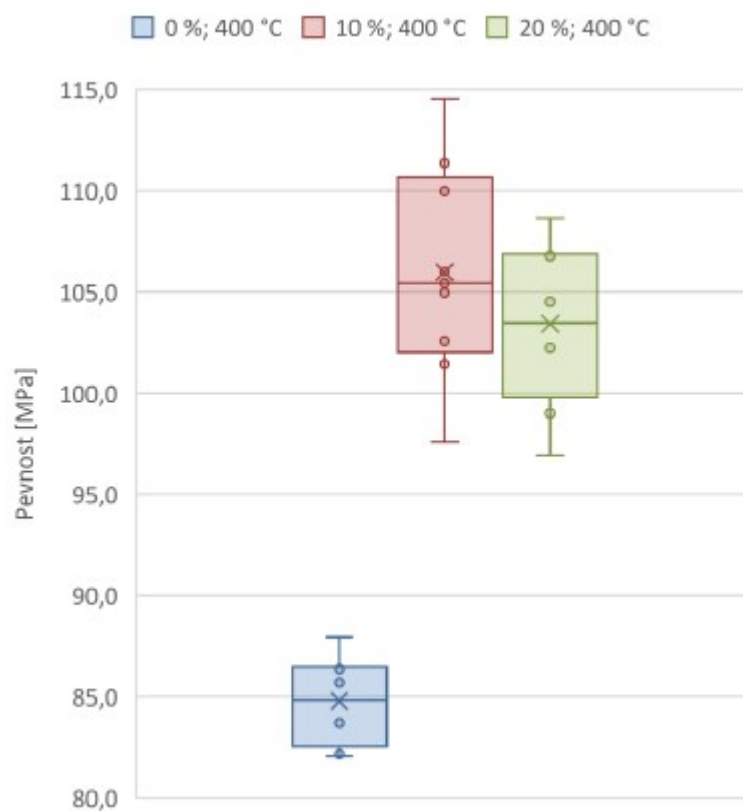
Tab. 5.5: Výsledky zkoušek pevností v tlaku

Označení		0 %	10 %	20 %
20 °C	Minimum [MPa]	66,2	90,6	77,3
	Maximum [MPa]	121,3	109,0	104,1
	Průměr [MPa]	94,0	99,7	93,1
	Abs. změna [MPa]	/	5,7	6,6
	Rel. změna [%]	/	5,6	-7,1

Vliv chemické degradace při 400 °C

Tělesa vystavena působení teploty o 400 °C dosahovala pevností v tlaku od 74,5 MPa do 114,5 MPa s průměrem 97,0 MPa.

Krabicový graf na Obr. 5.6 zobrazuje hodnoty pevností skupin těles v tlaku vystavených 400 °C, již po vyloučení odlehlých pozorování. V rámci skupin bylo vyloučeno celkem pět hodnot, konkrétně těles o č. 21.1; 23.1; 25.1; 31.1; 34.2, jakožto odlehlá pozorování. Graf před i po této úpravě je přiložen v Příloze č. 9. Grafické vyjádření zpracovaných hodnot pomocí kombinovaného grafu je přiložen v Příloze č. 10.



Obr. 5.6: Krabicový graf pevností těles s ozn. 0 % – 20 %; 400 °C

Rozdíly maximálních a minimálních hodnot nepřevyšují 20 MPa, jako tomu bylo u skupin termicky nedegradovaných. Největší rozdíl v rámci skupiny činí 11,7 MPa.

Skupina vystavena pouze působení vysoké teploty dosáhla průměrné pevnosti 84,8 MPa, s chemickou degradací se průměrná pevnost zvýšila o 21,2 MPa na 106,0 MPa, což dělá 20% nárůst pevnosti. Se silnější chemickou degradací se pevnost v tlaku v průměru snížila o 2,6 MPa na 103,4 MPa (2,5% pokles pevnosti). Zmíněné hodnoty jsou shrnuty v Tab. 5.6. Trend zde nejdříve stoupá a poté klesá jako u těles vystavených 20 °C s tím, že nárůst pevnosti mezi první a druhou skupinou je markantnější.

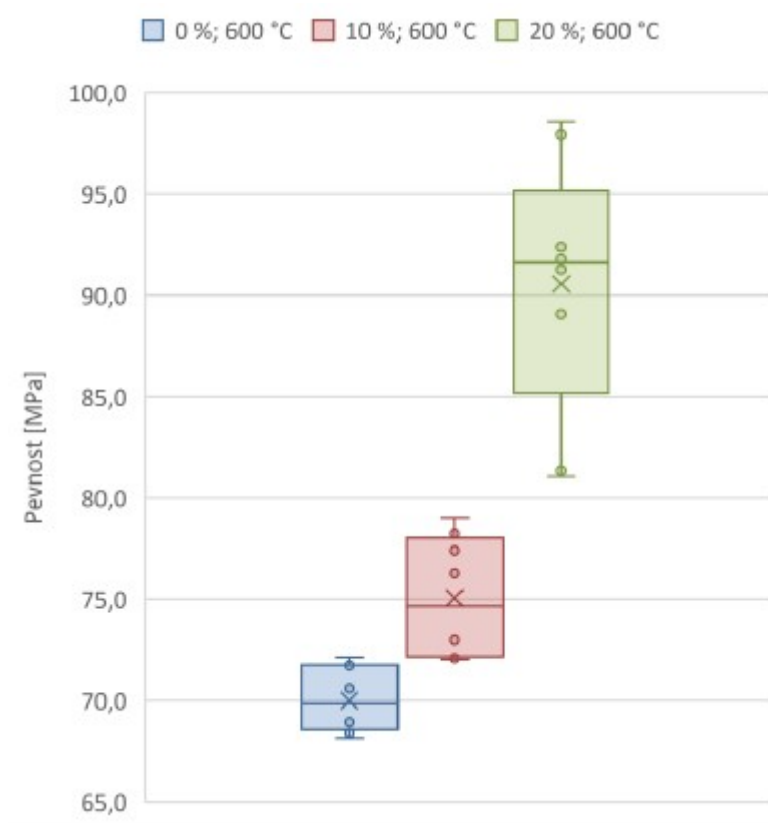
Tab. 5.6: Výsledky zkoušek pevností v tlaku

Označení	0 %	10 %	20 %	
400 °C	Minimum [MPa]	82,0	97,6	96,9
	Maximum [MPa]	87,9	114,5	108,6
	Průměr [MPa]	84,8	106,0	103,4
	Abs. změna [MPa]	/	21,2	1,4
	Rel. změna [%]	/	20,0	-2,5

Vliv chemické degradace při 600 °C

Tělesa vystavena působení teploty o 600 °C dosahovala pevností v tlaku od 64,4 MPa do 109,2 MPa s průměrem 78,5 MPa.

Krabicový graf na Obr. 5.7 zobrazuje hodnoty pevností, již po vyloučení odlehlých pozorování. V rámci skupin byly vyloučeny tři hodnoty, konkrétně těles o č. 43.1; 43.2; 51.2, jakožto odlehlá pozorování, která neprošla Grubbsovým testem [28]. Graf před i po této úpravě je přiložen v Příloze č. 9. Grafické vyjádření zpracovaných hodnot pomocí kombinovaného grafu je přiložen v Příloze č. 10.



Obr. 5.7: Krabicový graf pevností těles s ozn. 0 % – 20 %; 600 °C

První skupina dosáhla průměrné pevnosti 70,0 MPa, s chemickou degradací se průměrná pevnost zvýšila o 5,1 MPa na 75,1 MPa, což dělá 6,7% nárůst pevnosti. Se silnější chemickou degradací se pevnost opět zvýšila, tentokrát o 15,5 MPa, 17,1 %, na 90,6 MPa. Zmíněné hodnoty jsou shrnuty v Tab. 5.7. Rozdíly maximálních a minimálních hodnot opět nepřevyšují 20 MPa. Největší rozdíl v rámci skupiny činí 17,5 MPa. Intervaly hodnot pevností skupin na sebe téměř navazují a tentokrát je spojnice trendu pouze stoupající. Celkem došlo k navýšení pevnosti o 20,6 MPa (mezi nulovou a maximální chemickou degradací), obdobně tomu tak bylo u skupiny vystavených

400 °C, kdy došlo k navýšení pevnosti o 18,6 MPa.

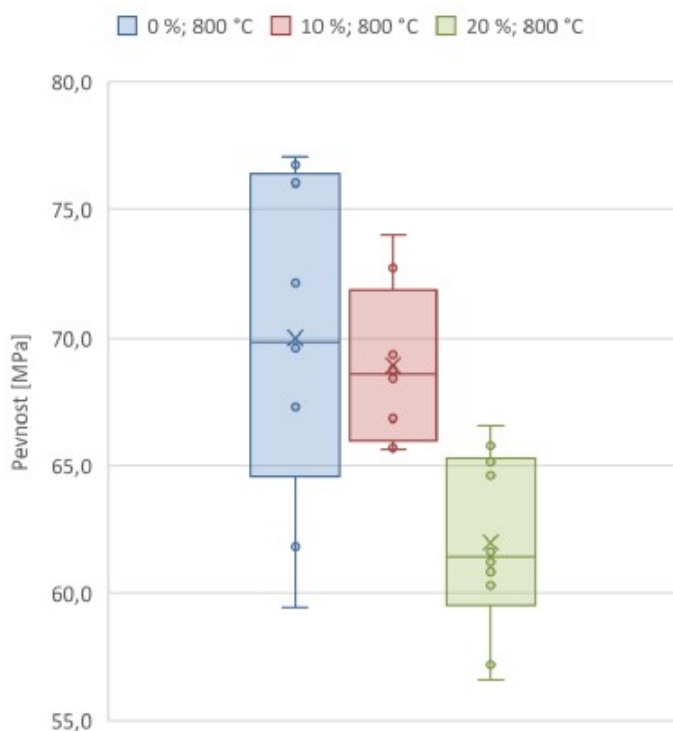
Tab. 5.7: Výsledky zkoušek pevností v tlaku

Označení		0 %	10 %	20 %
600 °C	Minimum [MPa]	68,2	72,0	81,1
	Maximum [MPa]	72,1	79,0	98,6
	Průměr [MPa]	70,0	75,1	90,6
	Abs. změna [MPa]	/	5,1	15,5
	Rel. změna [%]	/	6,7	17,1

Vliv chemické degradace při 800 °C

Tělesa vystavena působení teploty o 800 °C dosahovala pevností v tlaku od 52,9 MPa do 77,1 MPa s průměrem 65,6 MPa.

Krabicový graf na Obr. 5.8 zobrazuje hodnoty pevností, již po vyloučení odlehlých pozorování. V rámci skupin bylo vyloučeno celkem tři hodnoty, konkrétně těles o č. 59.2; 61.1; 61.2, jakožto odlehlá pozorování. Graf před i po této úpravě je přiložen v Příloze č. 9. Grafické vyjádření zpracovaných hodnot pomocí kombinovaného grafu je přiložen v Příloze č. 10.



Obr. 5.8: Krabicový graf pevností těles s ozn. 0 % – 20 %; 800 °C

Rozdíly maximálních a minimálních hodnot opět nepřevyšují 20 MPa. Největší rozdíl v rámci skupiny činí 17,7 MPa. Intervaly hodnot se vzájemně prolínají a poprvé zde spojnice trendu pouze klesá.

První skupina dosáhla průměrné pevnosti 70,0 MPa (stejně jako skupina vystavené teplotě 600 °C), s chemickou degradací se průměrná pevnost snížila o 1,1 MPa na 67,9 MPa, což dělá 1,6% pokles pevnosti. Se silnější chemickou degradací pevnost opět klesla, tentokrát o 6,9 MPa, 11,2 %, na 62,0 MPa. Zmíněné hodnoty jsou shrnuty v Tab. 5.8. Celkově došlo k poklesu pevnosti o 6,3 MPa. Chemická degradace způsobila změny pevností, které zatím nebyly v experimentu pozorovány. Nedošlo zde k žádnému navýšení pevnosti ve vztahu k stoupající chemické degradaci.

Tab. 5.8: Výsledky zkoušek pevností v tlaku

Označení		0 %	10 %	20 %
800 °C	Minimum [MPa]	59,4	65,6	56,6
	Maximum [MPa]	77,1	74,0	66,6
	Průměr [MPa]	70,0	68,9	62,0
	Abs. změna [MPa]	/	1,1	6,9
	Rel. změna [%]	/	-1,6	-11,2

Diskuze

U skupin nevystavených působení vysokých teplot dosahuje nejvyšší průměrné pevnosti v tlaku skupina o prvním stupni chemické degradace. S vyšší chemickou degradací průměr pevnosti zaznamenal pokles až pod průměr chemicky nedegradované skupiny. Síranová koroze v prvním stupni napomohla k vyšší pevnosti, s vyšším stupněm se již snižuje. Může tak být zapříčiněno postupným růstem expanzivních produktů síranové koroze, který je více podpořen u těles uložených v silnějším, 20% roztoku síranu sodného.

Po vystavení teplotám o 400 °C tělesa chemicky degradovaná vykazovala opět vyšší pevnosti. Tento jev je zde markantnější oproti skupinám uchovávaným při 20 °C. Pevnost chemicky nedegradovaných těles zde výrazně poklesla k 85,0 MPa, naopak pevnost těles chemicky degradovaných se mírně zvýšila. Nejvyšší průměrné pevnosti dosahovala opět skupina s prvním stupněm degradace. Lze usoudit, že síranová koroze v počátečních fázích opět dopomohla k vyšším pevnostem.

S dosažením 600 °C teploty průměrná pevnost v tlaku všech skupin poklesla. Nejvýrazněji se snížila skupina prvního stupně degradace, a tak se přiblížila k hodnotám chemicky nedegradovaných těles. Třetí skupina o nejvyšším stupni chemické degradace vykazovala (i přes pokles

oproti hodnotám při 400 °C) obdobnou pevností, jako při nevystavení vysokým teplotám.

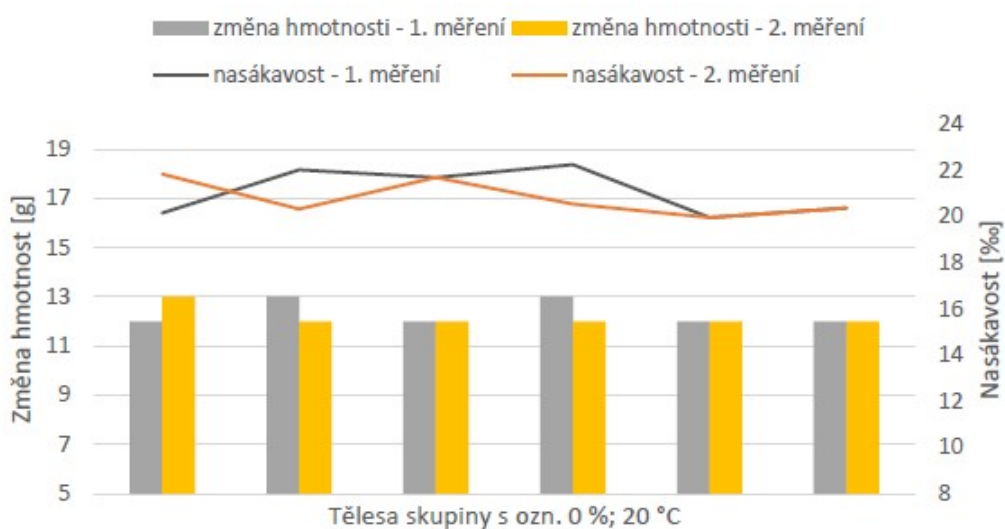
U pevností v tlaku těles vystavených ještě vyšším teplotám, tj. 800 °C, je důležité si povšimnout dvou jevů. První je, že pevnost těles chemicky nedegradovaných vykazala průměrnou hodnotu totožnou jako po vystavení 600 °C. Druhým jevem je pokles průměrných pevností chemicky degradovaných těles až pod průměr chemicky nedegradovaných. Za zmínku též stojí, že pevnost více degradované skupiny leží pod průměrem "zdravé" skupiny sedmkrát níže než pevnost skupiny méně chemicky degradované.

Můžeme pozorovat, jak chemická degradace při teplotě 20 °C nejprve zvýšila pevnost betonu v tlaku. Se zahříváním na první stupeň se dosáhlo maximálního efektu zvýšení pevnosti. Následně, při dalším stupni zahřívání, chemická degradace zmírňovala vliv destruktivní síly působení vysokých teplot. Při dosažení neznámé teploty, jakožto únosné hranici pro chemicky degradovaná tělesa, se snižování pevnosti rapidně urychlilo. Rychlost snižování pevnosti byla vyšší, než u chemicky nedegradovaných těles. S vyšší rychlostí poklesu se průměrná pevnost dostala až pod hranici chemicky nedegradovaného betonu, jehož pevnost klesala plynule k pevnosti o 70,0 MPa a dále neklesala.

5.3 Nasákavost

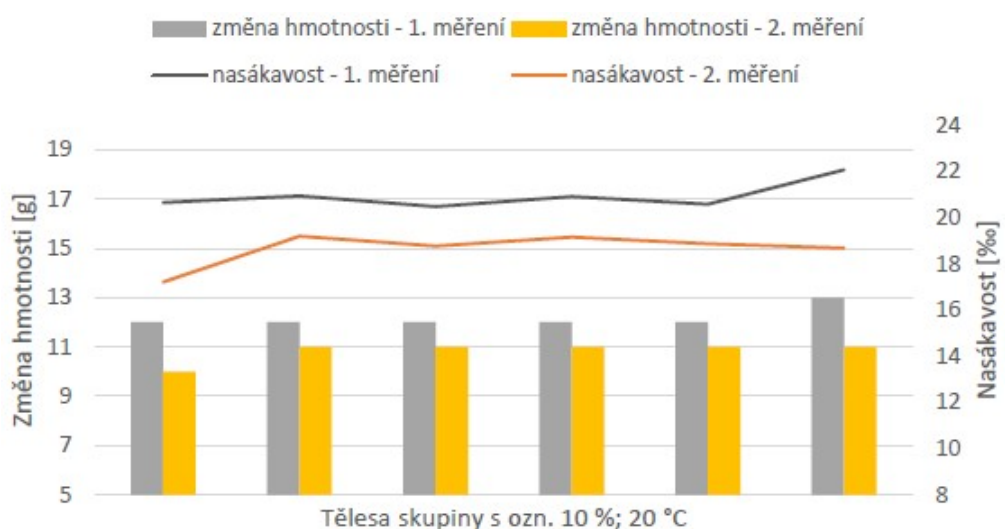
Hodnoty zpracované v této kapitole jsou převzaty z protokolu měření nasákavosti, jenž je přiložen v Příloze č. 4. Vyhodnocení je provedeno za pomoci kombinovaných grafů, kde na hlavní ose jsou zachyceny změny hmotnosti při prvním a druhém měření pomocí sloupců a pomocí křivky jsou na vedlejší ose vyneseny hodnoty nasákavosti těles po prvním a druhém měření. Grafy jsou vytvořené pro sledované skupiny zvlášť dle chemické degradace.

Graf na Obr. 5.9 zachycuje hodnoty z měření skupiny chemicky nedegradované, na Obr. 5.10 skupiny chemicky degradované, vystavené 10% vodnému roztoku síranu sodného, a na Obr. 5.11 skupiny vystavené 20% vodnému roztoku síranu sodného. V závěru kapitoly je Tab. 5.9 s průměrnými hodnotami nasákavostí a změn hmotností těles jednotlivých skupin při prvním a druhém měření.



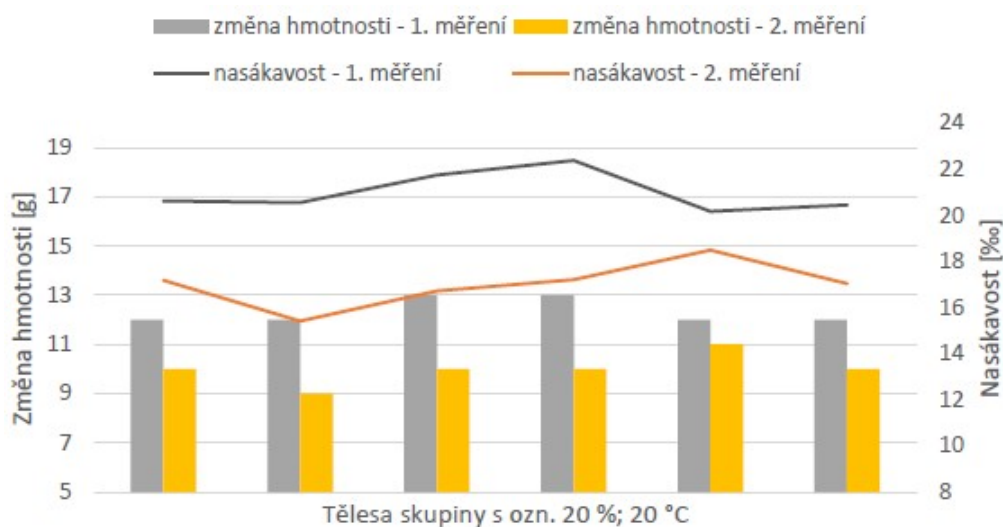
Obr. 5.9: Graf změn hm. a nasákavostí při 1. a 2. měření těles s ozn. 0 %; 20 °C

Chemicky nedegradovaná skupina vykazovala při měření nasákavosti 29. 6. a 10. 10. téměř stejné změny hmotností a to 12 g – 13 g v rámci jednoho měření. Stejně tak hodnoty nasákavosti, ty se pohybují od 20 ‰ do 22 ‰. Křivky nasákavostí se téměř sbíhají.



Obr. 5.10: Graf změn hm. a nasákavostí při 1. a 2. měření těles s ozn. 10 %; 20 °C

Tělesa vystavená 10% roztoku síranu sodného vykazovala již výraznější změny hmotností mezi prvním a druhým měření. Změny hmotností druhého měření, po vystavení chemické degradaci, byly vždy menší. Křivky nasákavostí se v porovnání s předchozí skupinou vzájemně oddálily, nestýkají se v žádném bodě. Po třech měsících uložení v roztoku síranu sodného nasákavost těles v průměru poklesla o dva procentní body.



Obr. 5.11: Graf změn hm. a nasákavostí při 1. a 2. měření těles s ozn. 20 %; 20 °C

Tělesa vystavená 20% roztoku síranu sodného dosáhla nejvýraznějších změn nasákavostí před a po chemické degradaci. V průměru došlo k poklesu nasákavosti o 4 %. Změny hmotností při prvním měření dosahovaly mezi 12 g – 13 g, při druhém měření 9 g – 11 g.

Tab. 5.9: Výsledky měření nasákavosti – průměrné hodnoty v rámci skupin

Skupina	1. Měření		2. Měření	
	Změna hm. [g]	Nasákavost [%]	Změna hm. [g]	Nasákavost [%]
0 %; 20 °C	12,3	21,1	12,2	20,8
10 %; 20 °C	12,2	20,9	10,8	18,6
20 %; 20 °C	12,3	21,0	10,0	17,0

Diskuze

Jak bylo očekáváno, u chemicky nedegradovaných vzorků se hodnoty nasákavosti v čase téměř nelišily. Z těchto výsledků vyplývá, že mezi měřeními nenastaly důležité změny v otevřeném pórovém systému. U chemicky degradovaných vzorků to již bylo jinak. S vyšší chemickou degradací se zvyšoval i rozdíl míry nasákavosti před a po působení vlivu chemického degradačního činitele - roztoku síranu sodného. U slabšího, 10% roztoku, je pozorován 11% pokles průměrné hodnoty nasákavosti. U silnějšího roztoku tento pokles činí 19 %, tedy téměř dvojnásobný pokles. Tyto změny vypovídají o markantní změně v otevřeném pórovém systému, o možné krystalizaci ettringitu v pórech viz 2, jež by snižovala pórovitost, tím i nasákavost tělesa.

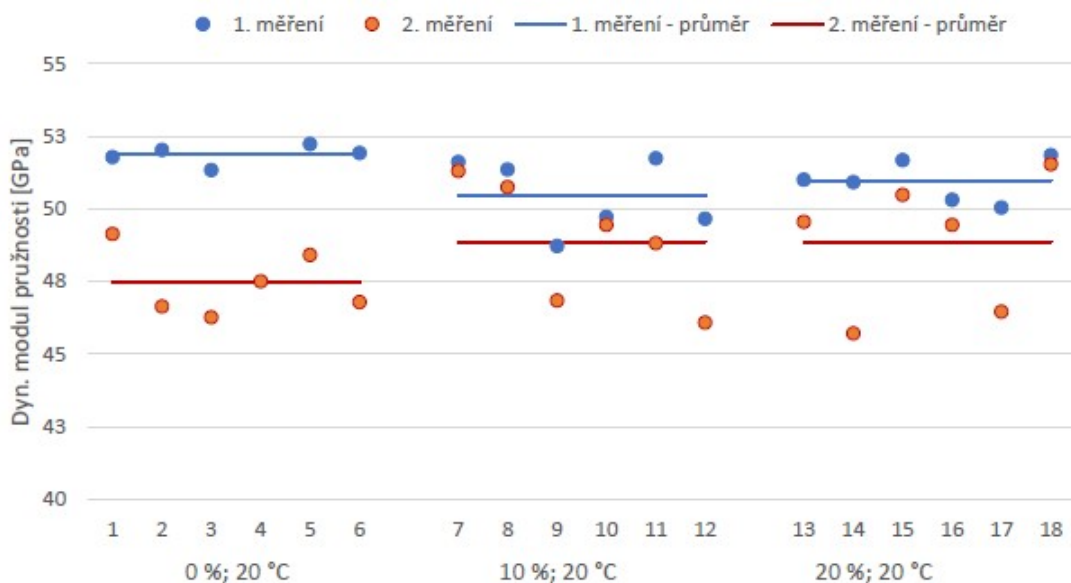
5.4 Dynamický modul pružnosti

Pro vyhodnocení modulu pružnosti betonu byly z důvodu uvedeného v kapitole 4.4 uvažovány pouze údaje získané ze zkoušek těles č. 1 – 36. Z důvodu neúplnosti dat nebylo ke zbývajícím tělesům přihlíženo, proto níže jsou přiloženy pouze dva grafy. Pod grafy se nachází Tab. 5.10 a Tab. 5.11 se základními hodnotami daných skupin pro porovnání výsledků.

Během kontroly analyzovaných hodnot Grubbsovým testem v rámci jednotlivých skupin celkem neprošlo šest hodnot. Z prvního měření tělesa o č. 4; 23; 26, z druhého měření tělesa o č. 29 a 32, z třetího měření těleso o č. 19. Tyto hodnoty nejsou dále uvažovány.

Vyhotovené grafy jsou kombinované, jednotlivé body jsou konkrétní hodnoty pevností a křivky znázorňují průměrné hodnoty jednotlivých skupin. Graf na Obr. 5.12 zobrazuje hodnoty modulů pružnosti pro skupinu nevystavenou působení vysokých teplot, dále na Obr. 5.13 je vykreslen graf pro skupinu vystavenou působení teploty o 400 °C.

Vliv chemické degradace při 20 °C



Obr. 5.12: Graf dyn. modulu pružnosti těles s ozn. 0 % – 20 %; 20 °C

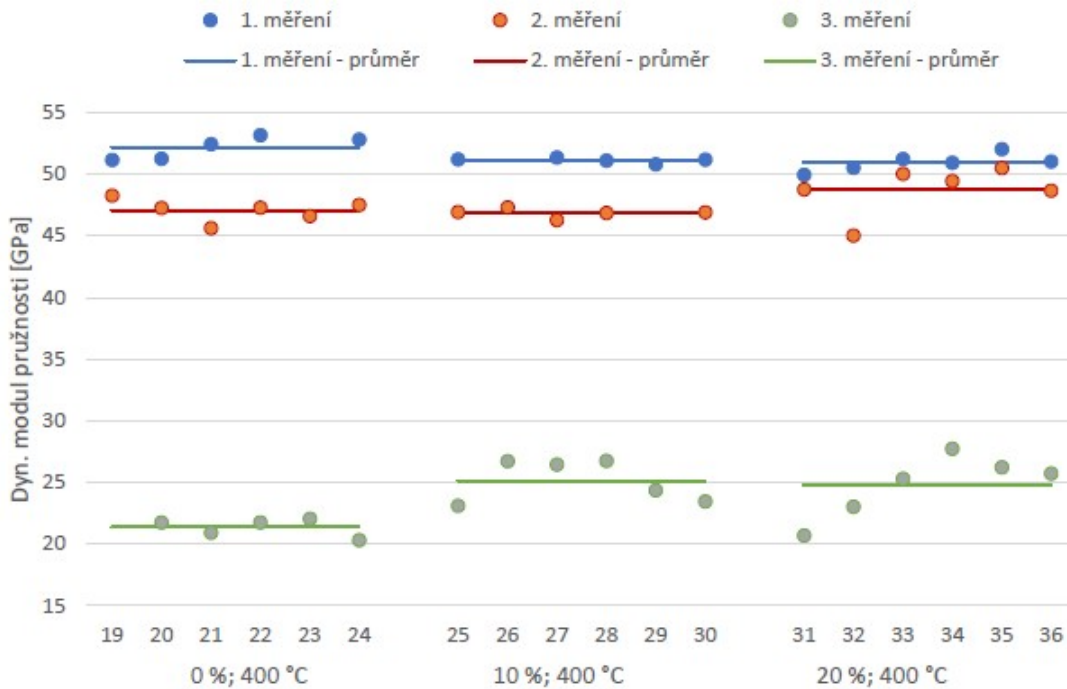
Tělesa nevystavena termické ani chemické degradaci vykazovala při prvním měření průměrnou hodnotu dynamického modulu pružnosti 51,9 GPa, při druhém měření poklesl o 8,5 % na 47,5 GPa. Skupina určena k vystavení 10% roztoku síranu sodného dosahovala před chemickou degradací v průměru 50,5 GPa, po chemické degradaci se jeho hodnota snížila o 3,2 % na 48,9 GPa, jedná se o snížení méně jak poloviční než-li u první skupiny. Třetí skupina vykazovala v průměru 51,0 GPa,

po vystavení 20% roztoku bylo naměřeno 48,9 GPa, což je stejně jako u druhé skupiny a samotný pokles modulu mezi prvním a druhým měření méně než poloviční jako u skupiny nevystavené chemické degradaci.

Tab. 5.10: Výsledky UTZ impulsové zkoušky

Skupina	Průměrný dyn. modul pružnosti [GPa]			
	1. Měření	2. Měření	Abs. změna [GPa]	Rel. změna [%]
0 %; 20 °C	51,9	47,5	4,4	-8,5
10 %; 20 °C	50,5	48,9	1,6	-3,2
20 %; 20 °C	51,0	48,9	2,1	-4,1

Vliv chemické degradace při 400 °C



Obr. 5.13: Graf dyn. modulu pružnosti těles s ozn. 0 % – 20 %; 400 °C

U první skupiny, chemicky nedegradované, byl pozorován mezi prvním a druhým měření pokles dynamického modulu pružnosti o 9,7 %, z 52,2 GPa na 47,1 GPa. Po vystavení působení vysokých teplot byl naměřen modul o 54,6 % nižší, 21,4 GPa. U druhé skupiny byl prvotní pokles o 8,3 %, z hodnoty 51,1 GPa na 46,9 GPa a po termické degradaci průměrná hodnota činí 25,1 GPa, což je pokles o 46,3 % od druhého měření. Třetí skupina, chemicky nejvíce degradovaná, vykazovala

prvotní pokles dynamického modulu pružnosti o hodnotě 2,9 %, z průměrné hodnoty 50,9 GPa modul klesl na 49,5 GPa. Druhý pokles, po zahřátí těles, činil 49,9 %, průměrná hodnota činila 24,8 GPa.

Tab. 5.11: Výsledky UTZ impulsové zkoušky

Skupina	Průměrný dyn. modul pružnosti [GPa]		
	0 %; 400 °C	10 %; 400 °C	20 %; 400 °C
1. Měření	52,2	51,1	50,9
2. Měření	47,1	46,9	49,5
Abs. změna [GPa]	5,1	4,2	1,4
Rel. změna [%]	9,7	8,3	2,9
3. Měření	21,4	25,1	24,8
Abs. změna [GPa]	25,7	21,8	24,7
Rel. změna [%]	54,6	46,3	49,9

Diskuze

Po zhlédnutí výsledků byl vývoj dynamického modulu v čase (mezi prvním a druhém měření) překvapující. Při zrání betonu bylo očekáváno mírné navýšení dynamického modulu pružnosti. Po prostudování podmínek měření a časový sled úkonů byla zjištěna chyba, která mohla zapříčinit neočekávaný vývoj hodnot. Při prvním měření byla tělesa uložena dva dny v sušicí peci při 80 °C, avšak před druhém měření byla tělesa uložena v peci jedenáct dní při 80 °C. Tato skutečnost mohla způsobit rozdílnou vlhkost těles při měření v takové míře, že mohla významně ovlivnit výsledky zkoušky a ztížit jejich analýzu. [24] Vlhkost těles měla být před měřením změřena např. příložným vlhkoměrem a pro porovnávání dynamického modulu pružnosti těles v čase měla být buď to zajištěna téměř shodná vlhkost těles při měření rychlosti šíření UTZ impulsu nebo provedena korekce na základě změřené vlhkosti těles v čase měření.

Dynamický modul pružnosti tělesa uloženého v prosté vodě by za stejné vlhkosti tělesa ve chvíli měření neměl v rámci cca 120 dní klesnout. Bohužel nelze přesně říci o kolik jednotek GPa by se modul navýšil. Proto v následujících odstavcích jsou porovnány moduly druhého a třetího měření napříč skupinami s ohledem na jejich vzájemný poměr při měření předcházejícím.

Při uchovávání těles ve 20 °C lze pozorovat v průměru vyšší moduly pružnosti u těles chemicky degradovaných, zároveň vykazují vyšší rozptyl. Mohlo by to vypovídat o změnách v pórovém systému zapříčiněnou chemickou degradací. Dle [13] [5] modul pružnosti ovlivňuje pórovitost a objemová hmotnost, jak je popsáno vztahem (2.4) a (2.5). Na základě této korelace,

můžeme odvodit možnou vyšší pórovitost u těles chemicky nedegradovaných, jelikož jejich póry nejsou zaplněny produkty chemické degradace. Dynamický modul pružnosti těles chemicky degradovaných se v průměru téměř neliší, ale jednotlivé hodnoty dosahují celkem širokého intervalu. Nelze přesně předvídat míru účinku chemické degradace na hodnotu dynamického modulu, pouze trend vývoje hodnot v souboru dat.

U těles, které prošly vystavení teplotě o 400 °C, je při prvním měření pozorován stejný trend jako u předcházející skupiny. Dynamický modul pružnosti se zvyšuje se zvyšující chemickou degradací. Vina je zde také přisuzována krystalizaci produktů síranové koroze. Nejnižšího modulu pružnosti po termické degradaci dosáhla chemicky nedegradovaná skupina. Je zajímavé, že chemicky degradované skupiny dosahovaly v průměru téměř shodný modul pružnosti před ponořením do roztoku síranu sodného a po termické degradaci. Během prvního měření se jejich průměry lišily o 0,2 GPa, po termické degradaci, při třetím měření, se průměry lišily o 0,3 GPa. Mohlo by tak být z důvodu obdobného pórového systému, který na čas zaplnily produkty síranové koroze, které při zahřívání prošly tepelným rozkladem. Poměrně větší propad chemicky nedegradovaného betonu může být zapříčiněno vyšší vstupní pórovitostí díky absenci produktů síranové koroze.

Pro vylepšení analýzy vývoje modulu pružnosti by bylo vhodné dodržovat stejnou hodnotu vlhkosti těles při měření, a zároveň provést více měření během vystavení síranovému roztoku. Otázka doby vystavení síranovému roztoku je také nasnadě. Například při výzkumu J. Gaoa et al. [10] se dosáhlo vrcholu modulu po sedmdesáti dnech vystavení síranovému roztoku, zde se jednalo o roztok pouze 5%, a měření bylo uskutečněno do té doby osmkrát.

5.5 Mikroskopické pozorování

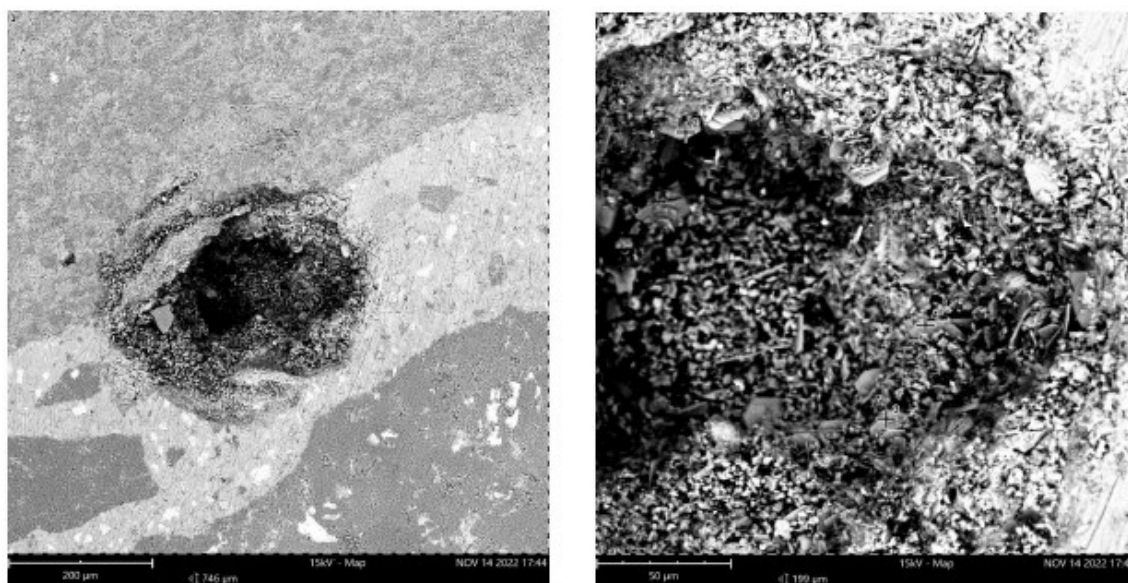
Fotografie z elektronového mikroskopu jsou níže přiloženy a popsány. V první podkapitole jsou zobrazeny fotografie z pozorování vzorku připraveného z tělesa chemicky nedegradovaného, uloženého v prosté vodě, v druhé podkapitole fotografie vzorku z tělesa uchovávaného tři měsíce v 10% roztoku síranu sodného a v poslední podkapitole fotografie vzorku tělesa uchovávaného ve 20% roztoku síranu sodného. Všechny vzorky nebyly vystaveny působení vysokých teplot z důvodu tepelného rozkladu ettringitu, jak je popsáno v kapitole 2.

Vzorek s ozn. 0 %; 20 °C

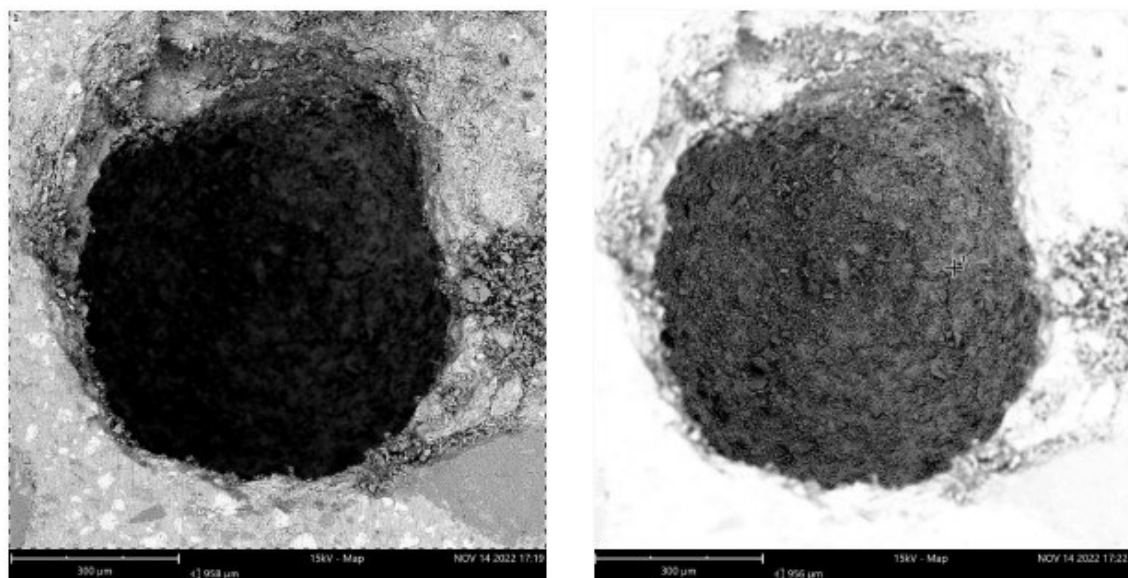
Při prozkoumávání struktury povrchu vzorku byl nalezen pór zachycen na Obr. 5.15. Po přiblížení vnitřního povrchu a doostření byla pořízena spodní fotografie na Obr. 5.16. Jehličkovité útvary

ettringitu zde nebyly nalezeny, naopak se zde vyskytuje poměrně velké množství krystalů hexagonálního tvaru. Jedná se o krystaly portlanditu.

Na vzorku byl nalezen ještě jeden pór, mírně poškozen procesem úpravy jeho velikosti. Pór je zachycen na Obr. 5.14. Vlevo je celkový pohled na pór, kde v jeho okolí lze spatřit rýhy od řezného kotouče a vpravo je povrch póru po přiblížení. V póru byly opět nalezeny hexagonální krystaly portlanditu. Obraz se nepodařilo dokonale zaostřit, jehličkovité útvary nebyly nalezeny.



Obr. 5.14: Fotografie z mikroskopického pozorování vzorku s ozn. 0 %; 20 °C



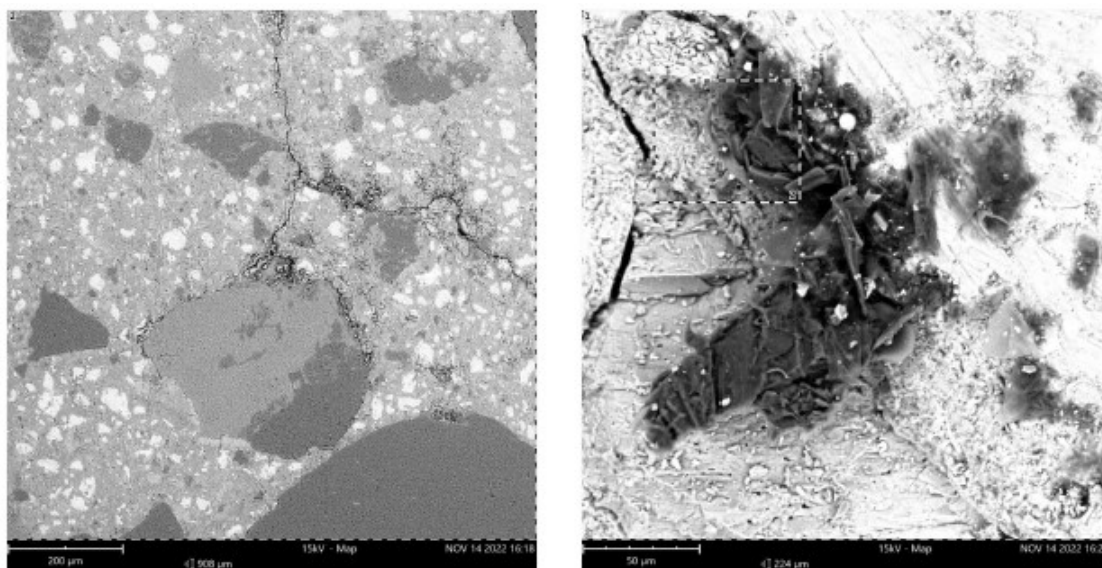
Obr. 5.15: Fotografie z mikroskopického pozorování vzorku s ozn. 0 %; 20 °C



Obr. 5.16: Fotografie z mikroskopického pozorování vzorku s ozn. 0 %; 20 °C

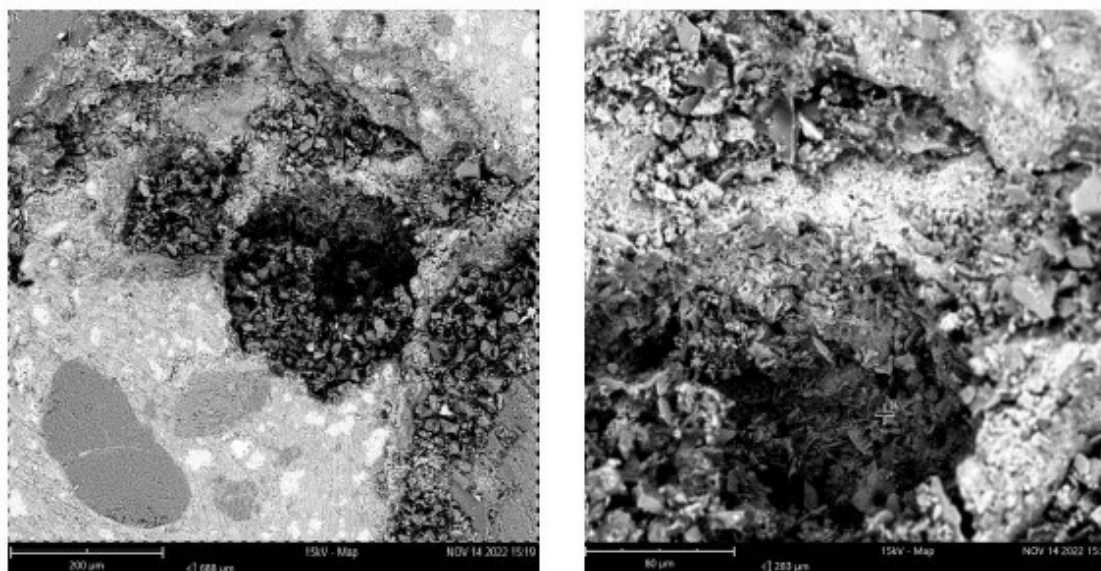
Vzorek s ozn. 10 %; 20 °C

Při prozkoumávání vzorku s ozn. 10 %; 20 °C bylo obtížné naleznout pór nebo jakékoliv jiné místo, kde by mohlo dojít ke krystalizaci ettingitu. Nejdříve byla nalezena trhlinka v blízkosti zrna kameniva, viz Obr. 5.17. Po jejím prozkoumání při větším zvětšení se nepodařilo cokoli identifikovat.



Obr. 5.17: Fotografie z mikroskopického pozorování vzorku s ozn. 10 %; 20 °C

Po přesunutí objektivu na zcela jiné místo, téměř na okraj vzorku, byl nalezen pór zachycen na Obr. 5.18. Pór je ve své spodní části mírně narušen. Po finálním přiblížení, kdy se našlo místo s nejmenším množstvím prachu z řezání a broušení můžeme pozorovat místa, s krystaly připomínající ettringit, viz Obr. 5.19. Hexagonální krystaly portlanditu zde nebyly spatřeny.



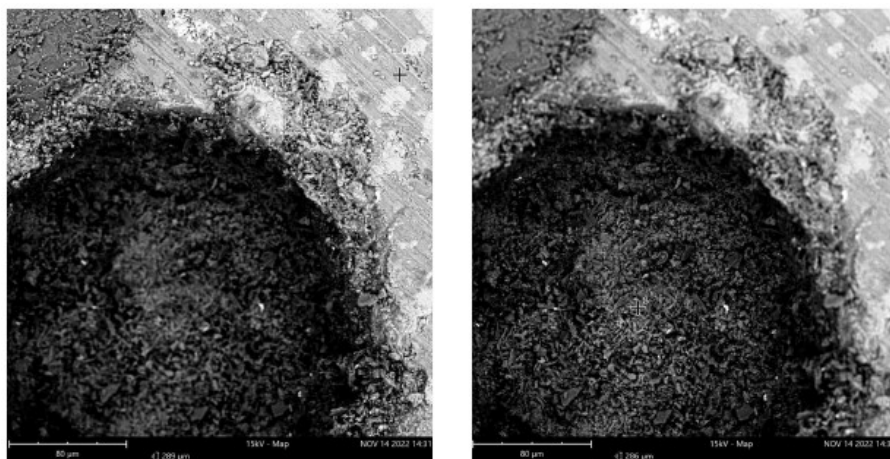
Obr. 5.18: Fotografie z mikroskopického pozorování vzorku s ozn. 10 %; 20 °C



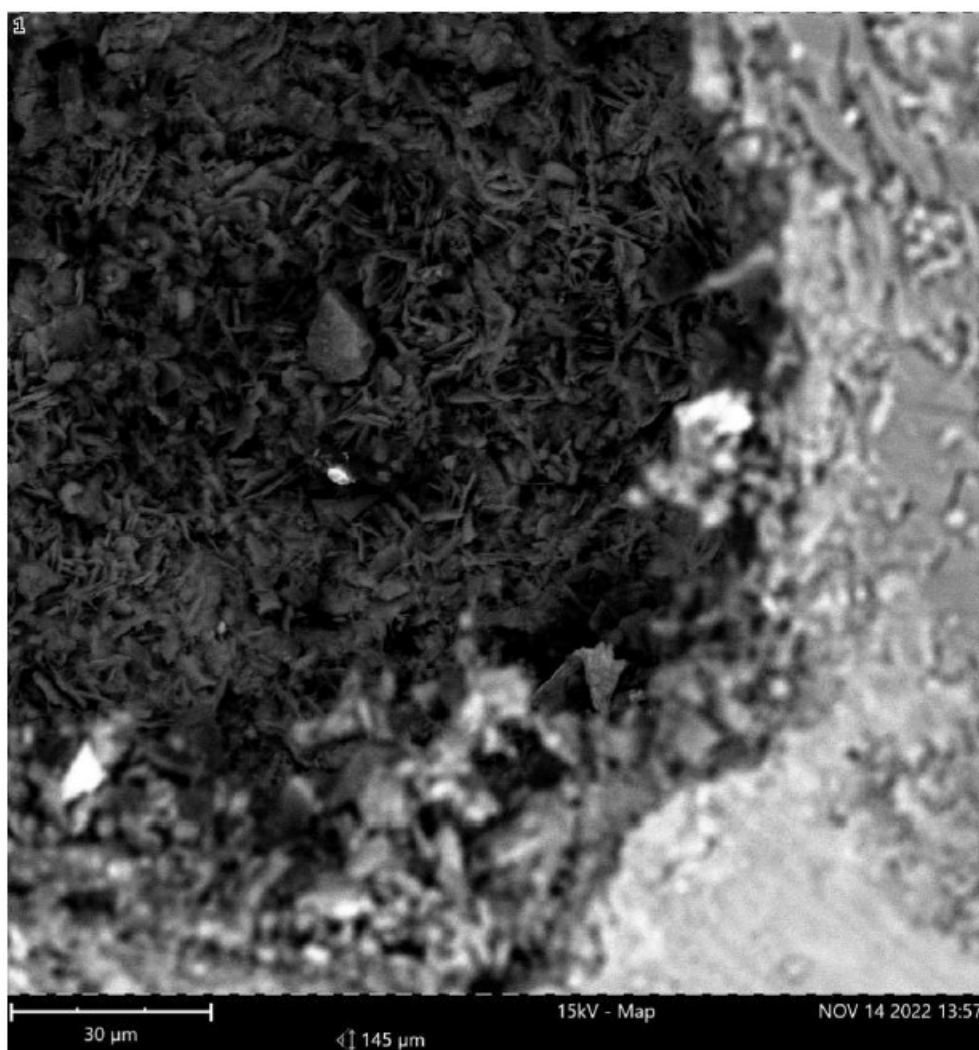
Obr. 5.19: Fotografie z mikroskopického pozorování vzorku s ozn. 10 %; 20 °C

Vzorek s ozn. 20 %; 20 °C

V připraveném vzorku s ozn. 20 %; 20 °C se podařilo nalézt pouze jedno místo k pozorování, poměrně velký pór, který se nacházel dále od povrchu původního tělesa. Nahlédnutí do póru přes jeho okraj je zobrazen na Obr. 5.21. Na Obr. 5.20 je zachycen vzdálenější pohled na pór při různém nastavení ohniskové vzdálenosti.

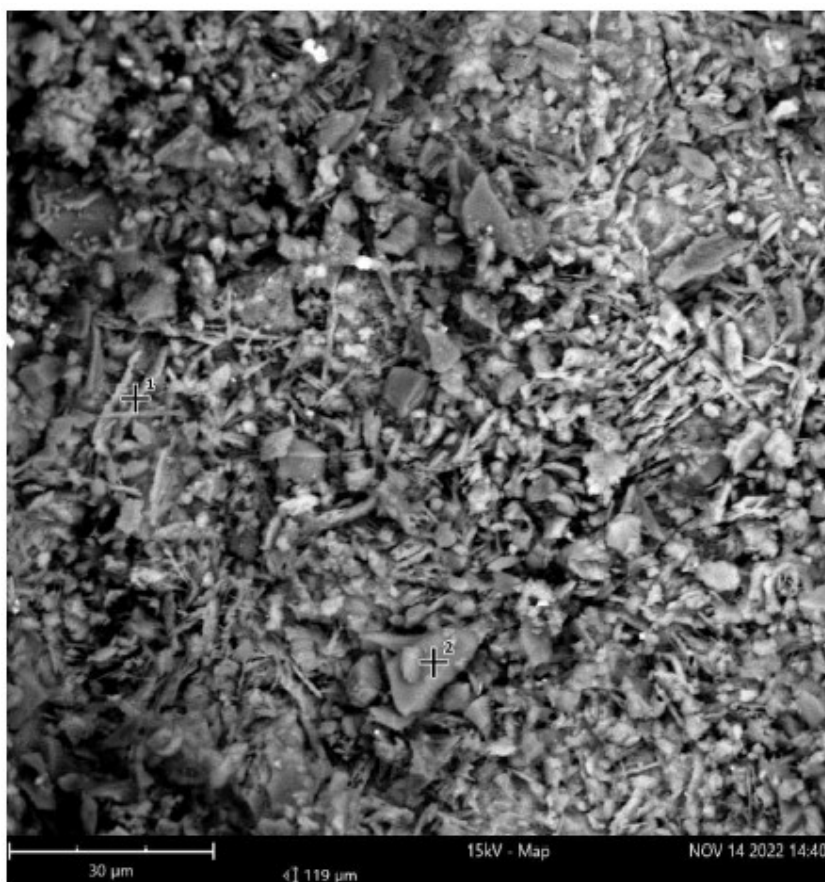


Obr. 5.20: Fotografie z mikroskopického pozorování vzorku s ozn. 20 %; 20 °C

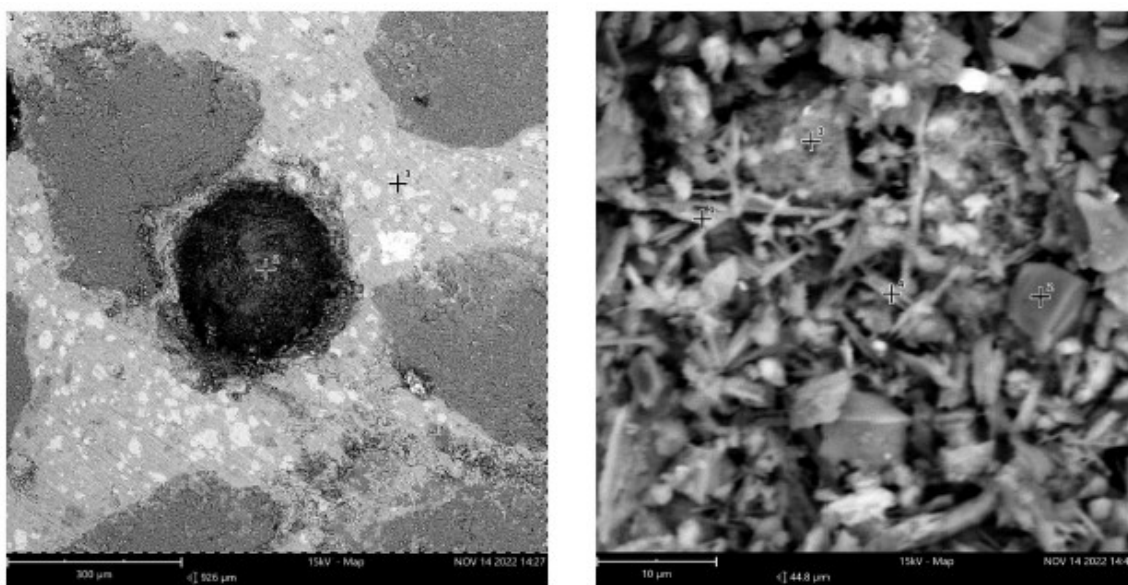


Obr. 5.21: Fotografie z mikroskopického pozorování vzorku s ozn. 20 %; 20 °C

Povrch póru byl přiblížen v míře takové, kdy byla ostrost stále ještě ucházející. Výsledný obraz je zobrazen na Obr. 5.22. Při tomto přiblížení je zde patrná přítomnost jehličkovitých útvarů téměř po celé ploše obrazu. Mohlo by se jednat o hledané krystaly ettringitu. Při pokusu zvětšení přiblížení objektivu byl obraz rozostřenější, avšak jehličkovité útvary mohou být o něco lépe patrnější, pohled je zachycen na Obr. 5.23 vpravo. Na Obr. 5.23 vlevo se nachází pohled na pór a jeho bezprostřední okolí.



Obr. 5.22: Fotografie z mikroskopického pozorování vzorku s ozn. 20 %; 20 °C



Obr. 5.23: Fotografie z mikroskopického pozorování vzorku s ozn. 20 %; 20 °C

Diskuze

U vzorku nevystaveného chemické degradaci nebyly nalezeny útvary připomínající krystaly ettringitu. U vzorku uloženého v 10% roztoku síranu sodného bylo nalezeno místo, kde se určité jehličkovité, hranolovité útvary nacházely, ale bohužel nepodařilo se zcela zaostřit na místo jejich výskytu. U vzorku uloženého ve 20% roztoku byl nalezen ukázkový pór, jehož povrch byl pokryt jehličkovitými útvary, nejspíše právě ettringitu. I zde nebylo dosaženo uspokojivého přiblížení s adekvátní ostrostití. I tak, tyto domněnky jsou v souladu s teoretickými následky navržené chemické degradace vzorků.

Ostrost fotografií není vždy uspokojivá, vzhledem k nedostatečným zkušenostem s přípravou vzorků a manipulací s mikroskopem. Pro snazší a jistější identifikaci výskytu ettringitu v pórech by bylo možné zhotovit separátní vzorky o vhodné velikosti zvlášť pro každou skupinu. Bylo by s nimi nakládáno stejně, jako s tělesy příslušné skupiny. Vzorek by tak nebyl vystaven destruktivní síle řezacího kotouče a nehrozilo by porušení struktury povrchu pórů a případných krystalů. Pro konzervaci povrchu by mohlo být využito zalití pryskyřicí a pro čistější obraz využití kovového poprášení povrchu.

6 Závěr

Primárním cílem této práce bylo provést experimentální analýzu vlivu spolupůsobení síranové koroze a vysokých teplot a vynést tak další data ke zhodnocení jeho následků. Hodnoty získané z provedených destruktivních a nedestruktivních zkoušek jsou uvedeny v těle práce, konkrétně v kapitole 5, nebo přiloženy formou přílohy. Tyto hodnoty pomohly vytvořit závěry uvedené v následujících odstavcích.

Síranová koroze napomáhá k vyšším hodnotám pevnosti v tahu ohybem. Do 400 °C toto zpevnění činí cca 14 %. Procentuálně největší zpevnění (o 62 %) bylo zaznamenáno u skupiny vystavené 20% roztoku síranu sodného po působení teploty v hodnotě 600 °C. Při překročení 600 °C se zpevnění neuplatňuje a působení vysokých teplot má fatálnější následky, než-li u těles chemicky nedegradovaných. Tento výrazný pokles mohl zapříčinit vrchol druhé fáze rozkladu C-S-H gelu.

Spolupůsobení síranové koroze a vysokých teplot působí na pevnost betonu v tlaku obdobně jako na pevnost betonu v tahu. Síranová koroze je opět spojována s vyššími pevnostmi do 600 °C. Zpevnění dosahuje cca 20 % (vzhledem k velmi vysokému rozptylu hodnot skupiny s označením 0 %; 20 °C, je její průměrná hodnota pevnosti brána s rezervou). Pevnost chemicky degradovaných skupin je téměř stejná. Při 600 °C výrazně poklesla průměrná pevnost skupiny vystavené 10% síranovému roztoku a při působení 800 °C zaznamenala rapidní pokles průměrná pevnost skupiny vystavené 20% roztoku.

Z naměřených pevností můžeme pozorovat, že produkty síranové koroze učinily betonové trámce tvrdší, ale křehčí, více odolnější vůči teplotám do 400 °C. Při překročení této hranice k 600 °C způsob síranové koroze a fyzikální procesy při zahřívání vytvořily strukturu betonu odolnější vůči zatěžování, jež snese vyšší zatížení, než-li chemicky nedegradovaná tělesa. Při dosažení 800 °C dochází k propadu pevností, procentuálně největším u chemicky nejvíce degradovaných těles.

Z pozorování změn nasákavosti sledujeme s vyšší koncentrací síranového roztoku vyšší pokles nasákavosti v čase. To vypovídá o změnách v pórovém systému betonových trámců a potvrzuje krystalizaci produktů síranové koroze, tím i chemickou degradaci samotnou.

Při mikroskopickém pozorování byly jednoznačně nalezeny krystaly portlanditu v pórech chemicky nedegradovaného vzorku a krystaly ettringitu v pórech vzorku vystaveného nejsilnějšímu roztoku síranu sodného. Tyto nálezy potvrzují proces síranové koroze, tj. tvorba krystalů ettringitu se současně probíhající dekalifikací.

Sledování vývoje modulů pružnosti pod spolupůsobením vlivu vysokých teplot a síranové ko-

roze neproběhlo uspokojivě. Výsledné hodnoty nejsou ucelené a vyhodnocení není plnohodnotné. Díky návrhu sledování více materiálových vlastností nebyla experimentální analýza významně ovlivněna vynecháním vytvoření závěru z měření dynamického modulu pružnosti.

Pro sledování vlivu spolupůsobení síranové koroze a vysokých teplot je třeba provést další experimentální analýzy. Sjednocení a reprodukovatelnost analýz by umožnilo zavedení standardizovaných testovacích metod výzkumu. Zahrnovaly by pravidelné kontroly pH síranových roztoků, dobu expozice, kontinuální přísun síranových aniontů pro síranovou korozi a při využití UTZ impulsové zkoušky by zahrnovaly hodnotu vlhkosti měřeného tělesa, jakožto poučení z mé analýzy.

Z teoretické části vyplývá, že pro urychlení degradace není vhodné využívat koncentrovanějších roztoků, naopak vhodné je využít cyklů namáčení a vysychání zkušebních těles, a že pro výzkum spolupůsobení síranové koroze a působení vysokých teplot může být využívána diferenciální skenovací kalorimetrie, jež může být v budoucích výzkumech v závislosti na přístrojovém vybavení laboratoře implementována.

Druhotným cílem bylo seznámit se zvolenou problematikou. Cíle je dosaženo v kapitole 2 vysvětlením a popsáním síranové koroze a vliv působení vysokých teplot na beton, též uvedením poznatků z dosud provedených výzkumů.

Seznam obrázků

2.1	Krystaly ettringitu, převzato z [3]	10
2.2	Krystaly ettringitu, převzato z [43]	10
2.3	Porovnání průběhu vnitřní a vnější síranové koroze, převzato z [9]	12
2.4	Graf objemového rozpínání v čase těles různých receptur, převzato z [6]	13
2.5	Vývoj dyn. modulu pružnosti při dostatečném (N) a nedostatečném (S) ošetřování [17]	14
2.6	Vliv sír. koroze na pevnost v tlaku síranovzdorného a portl. cementu [36]	15
2.7	Vývoj rel. dyn. modulu pružnosti při vystavení 5% roztoku Na ₂ SO ₄ a cyklům namáčení a vysychání [10]	17
2.8	Krystaly ettringitu v mikroskopickém zvětšení, převzato z [40]	17
2.9	Vývoj dyn. modulu pružnosti s a bez vlivu síranové koroze [35]	19
2.10	Vývoj dyn. modulu pružnosti při vystavení 5% roztoku Na ₂ SO ₄ [10]	19
2.11	Objemové rozpínání těles ponořených do roztoku Na ₂ SO ₄ [27]	20
2.12	Vývoj pevnosti v tlaku maltových těles vystavených roztoku síranu sodného [27]	20
2.13	Vývoj pevnosti v tlaku maltových těles při síranové korozi [21]	21
2.14	Graf relativní pevnosti v tlaku v závislosti na teplotě, převzato z [2]	23
2.15	Změny v textuře povrchu při působení vysokých teplot, převzato z [2]	23
2.16	Část aparatury k dif. skenovací kalorimetrii, převzato z [39]	24
2.17	Spektrum dif. skenovací mikroskopie, vzorek bez příměsí [8]	25
2.18	Teplotní analýza [34]	26
3.1	Rozměry zkušebních těles [mm]	27
3.2	Rozměry ocelové bedny [mm]	29
3.3	Schéma naplněné ocelové bedny při zahřívání	30
3.4	Schéma zatěžování při tříbodovém uložení	31
3.5	Schéma zkoušky pevnosti v tlaku	32
3.6	Vyhovující způsoby porušení, převzato z [45]	32
3.7	Schéma uspořádání sond při UTZ impulsové metodě	34
4.1	Harmonogram praktické části	35
4.2	Připravené složky betonové směsi (vlevo); Míchadlo (vpravo)	36
4.3	Připravené bednění pro uložení betonové směsi (vlevo); Bednění po betonáži (vpravo)	36
4.4	Odbedněná tělesa (vlevo); Tělesa v sušící peci(vpravo)	37

4.5	Připravená skupina těles na nalití roztoku síranu sodného a); Skupina těles po měsíci působení roztoku b); Skupina těles po ukončení působení roztoku c)	38
4.6	Řídicí jednotka Manning (vlevo); Detail keramické topné podložky (vpravo)	39
4.7	Naplnění ocelové bedny	39
4.8	Části zapojení pro měření teploty	40
4.9	Setup měření teploty	40
4.10	Ocelová bedna po ukončení zahřívání (vlevo); Vyložená tělesa (vpravo)	41
4.11	Graf průběhu teploty v čase při zahřívání na 600 °C	41
4.12	Zkušební lis s ohybovým přípravkem	42
4.13	Detail ohybového přípravku se zkušebním tělesem	42
4.14	Porušení tělesa po zkoušce pevnosti betonu v tahu ohybem	43
4.15	Výřez zprávy o zkoušce pevnosti betonu v tahu ohybem	43
4.16	Hydraulický lis (vlevo); Tlačný přípravek (vpravo nahoře); Zkušební těleso (vpravo dole)	44
4.17	Vyhovující způsoby porušení zkoušky pevnosti v tlaku	45
4.18	Výřez zprávy o zkoušce pevnosti betonu v tlaku	45
4.19	Výřez zprávy o měření nasákavosti	46
4.20	UTZ impulsová zkouška	47
4.21	Výřez zprávy o UTZ impulsové zkoušce	48
4.22	Řezačka se zkušebními tělesy	49
4.23	Řezačka se zkušebními tělesy	49
4.24	Podavač se vzorkem (vlevo); pohled na mikroskop (vpravo)	50
4.25	Snímek z elektronového mikroskopu	50
5.1	Krabicový graf pevností těles s ozn. 0 % – 20 %; 20 °C	52
5.2	Krabicový graf pevností těles s ozn. 0 % – 20 %; 400 °C	53
5.3	Krabicový graf pevností těles s ozn. 0 % – 20 %; 600 °C	55
5.4	Krabicový graf pevností těles s ozn. 0 % – 20 %; 800 °C	56
5.5	Krabicový graf pevností těles s ozn. 0 % – 20 %; 20 °C	58
5.6	Krabicový graf pevností těles s ozn. 0 % – 20 %; 400 °C	60
5.7	Krabicový graf pevností těles s ozn. 0 % – 20 %; 600 °C	61
5.8	Krabicový graf pevností těles s ozn. 0 % – 20 %; 800 °C	62
5.9	Graf změn hm. a nasákavostí při 1. a 2. měření těles s ozn. 0 %; 20 °C	65
5.10	Graf změn hm. a nasákavostí při 1. a 2. měření těles s ozn. 10 %; 20 °C	65

5.11	Graf změn hm. a nasákavostí při 1. a 2. měření těles s ozn. 20 %; 20 °C	66
5.12	Graf dyn. modulu pružnosti těles s ozn. 0 % – 20 %; 20 °C	67
5.13	Graf dyn. modulu pružnosti těles s ozn. 0 % – 20 %; 400 °C	68
5.14	Fotografie z mikroskopického pozorování vzorku s ozn. 0 %; 20 °C	71
5.15	Fotografie z mikroskopického pozorování vzorku s ozn. 0 %; 20 °C	71
5.16	Fotografie z mikroskopického pozorování vzorku s ozn. 0 %; 20 °C	72
5.17	Fotografie z mikroskopického pozorování vzorku s ozn. 10 %; 20 °C	73
5.18	Fotografie z mikroskopického pozorování vzorku s ozn. 10 %; 20 °C	73
5.19	Fotografie z mikroskopického pozorování vzorku s ozn. 10 %; 20 °C	74
5.20	Fotografie z mikroskopického pozorování vzorku s ozn. 20 %; 20 °C	74
5.21	Fotografie z mikroskopického pozorování vzorku s ozn. 20 %; 20 °C	75
5.22	Fotografie z mikroskopického pozorování vzorku s ozn. 20 %; 20 °C	76
5.23	Fotografie z mikroskopického pozorování vzorku s ozn. 20 %; 20 °C	76

Seznam tabulek

2.1	Procesy přeměny betonu při působení vysokých teplot, převzato z [32]	22
3.1	Receptura zkušebních těles	27
3.2	Počet zkušebních těles jednotlivých skupin dle vystavení různým podmínkám . .	28
4.1	Označení zkušebních těles dle skupin	37
5.1	Výsledky zkoušek pevností v tahu ohybem	53
5.2	Výsledky zkoušek pevností v tahu ohybem	54
5.3	Výsledky zkoušek pevností v tahu ohybem	55
5.4	Výsledky zkoušek pevností v tahu ohybem	57
5.5	Výsledky zkoušek pevností v tlaku	59
5.6	Výsledky zkoušek pevností v tlaku	60
5.7	Výsledky zkoušek pevností v tlaku	62
5.8	Výsledky zkoušek pevností v tlaku	63
5.9	Výsledky měření nasákavosti – průměrné hodnoty v rámci skupin	66
5.10	Výsledky UTZ impulsové zkoušky	68
5.11	Výsledky UTZ impulsové zkoušky	69

Reference

- [1] A. Jiménez and M. Prieto: *Thermal Stability of Ettringite Exposed to Atmosphere: Implications for the Uptake of Harmful Ions by Cement*. Environmental Science & Technology, 49(13), 2015, 7957–7964 s.
- [2] Arioz, O.: *Effects of elevated temperatures on properties of concrete*. Fire Safety Journal, 42(8), 2007, 516–522 s.
- [3] Bizhanov, A.; Kurunov, I.; Dalmia, Y.; aj.: *Blast Furnace Operation with 100% Extruded Briquettes Charge*. ISIJ International, 2015, 175-182 s.
- [4] Bulatović, V.: *EXTERNAL SULFATE ATTACK ON CONCRETE*. Knowledge FOR Resilient soCiEty K-FORCE, -.
- [5] Chavhan, P. P.; Vyawahare, M. R.: *International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication - Correlation of Static and Dynamic modulus of Elasticity for Different SCC Mixes*. Auricle Global Society of Education and Research, 2015, 4915 s.
- [6] Chen, W.; Huang, B.; Yuan, Y.; aj.: *Deterioration Process of Concrete Exposed to Internal Sulfate Attack*. Materials, 2020, 13 s.
- [7] D. Damidot and F. P. Glasser: *Thermodynamic investigation of the $\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3.\text{CaSO}_4.\text{H}_2\text{O}$ system at 50°C and 85°C*. Cement and Concrete Research, 22(6), 1992, 1179–1191 s.
- [8] G. Yakovlev and I. Polyanskikh and A. Gordina and I. Pudov and V. Černý and A. Gumenyuk and O. Smirnova: *Influence of Sulphate Attack on Properties of Modified Cement Composites*. Appl. Sci. 11, 8509, 2021, 141–153 s.
- [9] G. Zhao and J. Li and M. Shi and H. Fan and J. Cui and F. Xie: *Degradation mechanisms of cast-in-situ concrete subjected to internal-external combined sulfate attack*. Construction and Building Materials 248, 2020.
- [10] Gao, J.; Yu, Z.; Song, L.; aj.: *Durability of concrete exposed to sulfate attack under flexural loading and drying–wetting cycles*. Construction and Building Materials 39, 2013, 33-38 s.
- [11] Glasser, F. P.; Marchand, J.; Samson, E.: *Durability of Concrete – Degradation Phenomena Involving Detrimental Chemical Reactions*. Cem. Concr. Res., 38(2), 2008, 226-246 s.
- [12] Hela, R.: *Technologie betonu*. Vysoké učení technické v Brně, 2005, 99 s.

- [13] Hela, R.; Křížová, K.: Modul pružnosti betonu. [online]. Beton TKS, s. r. o., a Svaz výrobců betonu ČR, 2021 [cit. 2022-12-21]. URL: https://www.ebeton.cz/clanky/2021_1_76_modul-pruznosti-betonu/.
- [14] Hučínová, L.: *Studium vlastností synteticky vyrobeného ettringitu*. Vysoké učení technické v Brně, 2018.
- [15] Jan Tomáš: *Metody měření pórového tlaku v betonu vystaveném vysokým teplotám*. České vysoké učení technické v Praze, 2021, 8 s.
- [16] Kalousek, G. L.; Porter, L. C.; Benton, E. J.: *Concrete for long-time service in sulfate environment*. Cement and Concrete Research, 2(1), -, 79–89 s.
- [17] Kocáb, D.; Kucharczykova, B.; Misaka, P.; aj.: *Development of the Elastic Modulus of Concrete under Different Curing Conditions*. Procedia Engineering (195), Elsevier Ltd., 2017, 96-101 s.
- [18] Kuraš, M.; Dirner, V.: Výukový program: Environmentální vzdělávání, Modul 6: Odpadové hospodářství. [online]. VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2005 [cit. 2022-12-21]. URL: <https://www.hgf.vsb.cz/export/sites/hgf/546/.content/galerie-souboru/Studijni-materialy/EV-modul6.pdf>.
- [19] L. Divet and R. Randriambololona: *Delayed Ettringite Formation: The Effect of Temperature and Basicity on the Interaction of Sulphate and C-S-H Phase*. Cement and Concrete Research, 28(3), 1998, 357–363 s.
- [20] Lajčák, L.: *Síranová koroze betonu*. VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2015.
- [21] Lee, S. T.; Moon, H. Y.; Swamy, R. N.: *Sulfate attack and role of silica fume in resisting strength loss*. Cement & Concrete Composites (27), Elsevier Ltd., 2005, 65-76 s.
- [22] Mendelova univerzita v Brně: Půdoznalství - laboratorní cvičení. [online]. Mendelova univerzita, Brno, 2022 [cit. 2022-12-21]. URL: http://web2.mendelu.cz/af_291_projekty2/vseo/print.php?page=5501&typ=html.
- [23] Morkusová, K.: *Vliv vnitřního napětí a vlhkosti při měření vápenopískových cihel ultrazvukovou impulsovou metodou*. Vysoké učení technické v Brně, 2016, 29-33 s.
- [24] Morkusová, K.: *Vliv vnitřního napětí a vlhkosti při měření vápenopískových cihel ultrazvukovou impulsovou metodou*. Vysoké učení technické v Brně, 2016, 29-33 s.

- [25] Musil, L.: Charakteristika filerů a jejich použití do betonu. [online]. České vysoké učení technické v Praze, 2020 [cit. 2022-12-21]. URL: https://concrete.fsv.cvut.cz/phdworkshop/proceedings/2020/pdf/Musil_Lubos.pdf.
- [26] N. Lekloua and J. Aubertb and G. Escadeillas: *Influence of various parameters on heat-induced internal sulphate attack*. European Journal of Environmental and Civil Engineering, 17(3), 2013, 141–153 s.
- [27] Naik, N. N.; Jupe, A. C.; Stock, S. R.; aj.: *Sulfate attack monitored by microCT and EDXRD: Influence of cement type, water-to-cement ratio, and aggregate*. Cem. Concr. Res., 36(1), 2006, 144-159 s.
- [28] National Institute of Standards and Technology: Grubbs' Test for Outliers [online]. Gaithersburg, USA: NIST, 1901 [cit. 2022-12-24]. Dostupné z: <https://www.itl.nist.gov/div898/handbook/eda/section3/eda35h1.htm>.
- [29] Petr Holeček: *Vliv síranové koroze na materiálové vlastnosti betonu při běžných a vysokých teplotách*. České vysoké učení technické v Praze, 2022.
- [30] Petra Járková: *Alternativní metody pro měření pórovitosti betonu pomocí digitálního zpracování a analýzy obrazu*. České vysoké učení technické v Praze, 2018, 8-11 s.
- [31] Pommersheim, J. M.; Clifton, J. R.: *Expansion of cementitious materials exposed to sulfate solutions*. Mater. Res. Soc. Symp. Proc., 1994, 363-368 s.
- [32] Procházka, J.; Štefan, R.; Vašková, J.: *Navrhování betonových a zděných konstrukcí na účinky požáru*. 1. vyd. Praha: ČVUT v Praze, 2010, ISBN 978-80-01-04613-5.
- [33] Q. Zhou and F. P. Glasser: *Thermal stability and decomposition mechanisms of ettringite at <120°C*. Cement and Concrete Research, 31(9), 2001, 1333-1339 s.
- [34] R. Gao and Q. Li and S. Zhao and X. Yang: *Deterioration Mechanisms of Sulfate Attack on Concrete under Alternate Action*. Journal of Wuhan University of Technology-Mater. Sci. Ed., 25(2), 2010, 355–359 s.
- [35] Rozière, E.; Loukili, A.; Hachem, R. E.; aj.: *Durability of concrete exposed to leaching and external sulphate attacks*. Cem. Concr. Res., 39(12), 2009, 1188-1198 s.

- [36] Sahmaran, M.; Erdem, T. K.; Yaman, I. O.: *Sulfate resistance of plain and blended cements exposed to wetting–drying and heating–cooling environments*. *Constr. Build. Mater.*, 21(8), 2007, 1771–1778 s.
- [37] T. Matschei and F. P. Glasser: *The role of sodium sulfate in sulfate attack*. *Materials and Structures*, in press.
- [38] Tancošová, N.: *Studie změny mechanických vlastností cementu při částečné náhradě cementu latentně hydraulickou příměsí*. České vysoké učení technické v Praze, 2018, 15-16 s.
- [39] Univerzita Karlova, Matematicko-fyzikální fakulta: *Diferenční skenovací kalorimetrie (DSC)* [online]. [cit. 2022-12-24]. Dostupné z: <https://www.mff.cuni.cz/cs/kfm/experimentalni-vybaveni/diferencni-skenovaci-kalorimetrie-dsc>.
- [40] Wu, H. Y.; Jiang, Y. Q.; Wang, Y.: *Proceedings of the International Workshop on Materials, Chemistry and Engineering - Effect of a Modified SAF on Aluminate Hydration of Cement*. SCITEPRESS – Science and Technology Publications, LDA, 2018, ISBN 978-989-758-346-9, 383 s.
- [41] X. Brunetaud and R. Linder and L. Divet and D. Duragrín and D. Damidot: *Effect of curing conditions and concrete mix design on the expansion generated by delayed ettringite formation*. *Materials and Structures*, 40(6), 2007, 567–578 s.
- [42] Y. Shimada and J. F. Young: *Thermal stability of ettringite in alkaline solutions at 80 deg;C*. *Cement and Concrete Research*, 34, 2004, 2261-2268 s.
- [43] Zhou, J.; Yu, B.; Kong, Y.; aj.: *Effect of Calcium Hydroxide on the Microstructure and Performance of Super Sulfated Cement*. *Ceramics-Silikáty* 66 (1), 2022, 85-94 s.
- [44] ČSN 73 1371: *Nedestruktivní zkoušení betonu - Ultrazvuková impulzová metoda zkoušení betonu*. ÚNMZ, 2011.
- [45] ČSN EN 12390-3: *Zkoušení ztvrdlého betonu - Část 3: Pevnost v tlaku zkušebních těles*. ÚNMZ, 2020.
- [46] ČSN EN 12390-5: *Zkoušení ztvrdlého betonu - Část 5: Pevnost v tahu ohybem zkušebních těles*. ÚNMZ, 2020.
- [47] ČSN EN 196-5: *Metody zkoušení cementu - Část 5: Zkoušení pucolanity pucolánových cementů*. ÚNMZ, 2011.

- [48] ČSN EN 197-1 ed. 2: *Cement - Část 1: Složení, specifikace a kritéria shody cementů pro obecné použití*. ÚNMZ, 2012.
- [49] ČSN EN 206+A2: *Beton – Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda*. ÚNMZ, 2021.

Přílohy

Seznam příloh

Příloha č. 1 – Teplotní zatěžovací křivky

Příloha č. 2 – Protokoly – Zkouška pevnosti betonu v tahu ohybem

Příloha č. 3 – Protokoly – Zkouška pevnosti betonu v tlaku

Příloha č. 4 – Protokol – Měření nasákavosti

Příloha č. 5 – Protokoly – Ultrazvuková impulsová zkouška

Příloha č. 6 – Krabicové grafy – Pevnost betonu v tahu ohybem

Příloha č. 7 – Kombinované grafy – Pevnost betonu v tahu ohybem

Příloha č. 8 – Souhrnný krabicový graf – Pevnost betonu v tahu ohybem

Příloha č. 9 – Krabicové grafy – Pevnost betonu v tlaku

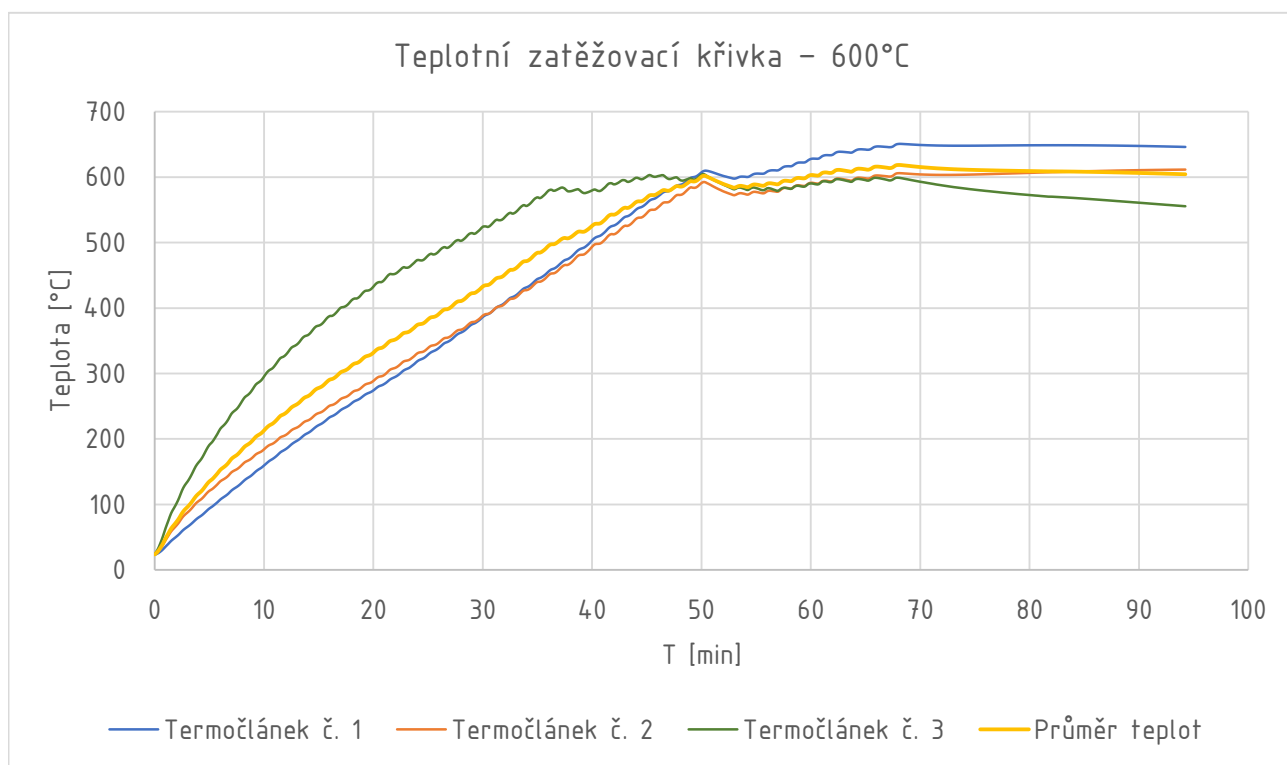
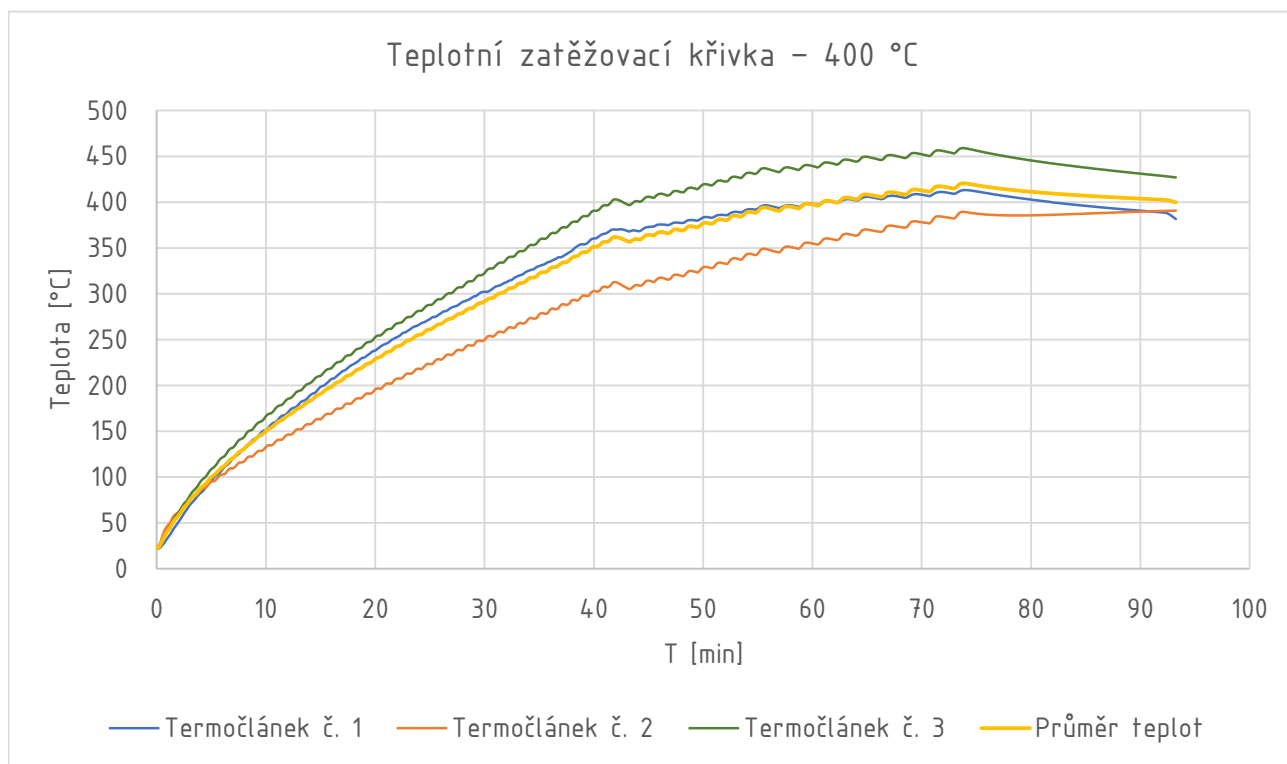
Příloha č. 10 – Kombinované grafy – Pevnost betonu v tlaku

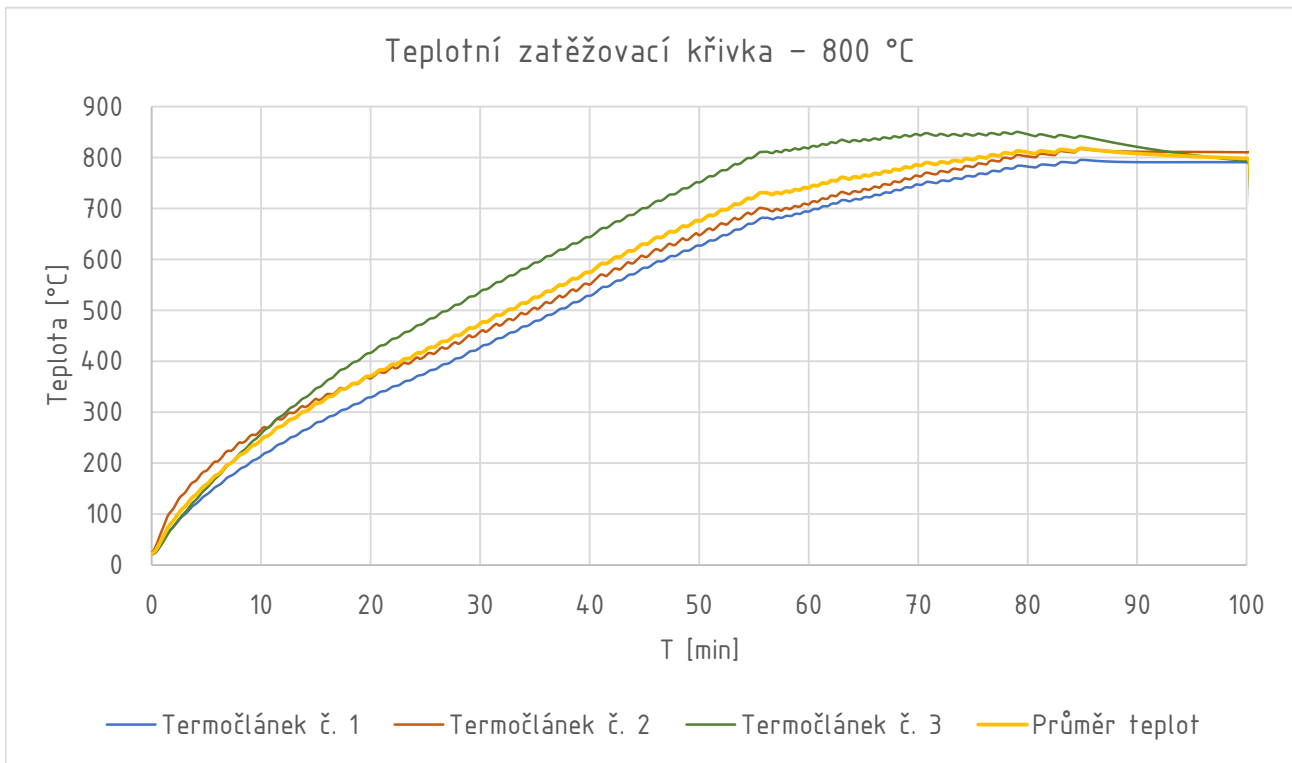
Příloha č. 11 – Souhrnný krabicový graf – Pevnost betonu v tlaku

Příloha č. 12 – Produktový list – Zahřívací systém



Příloha č. 13 – Bezpečnostní list – Síran sodný

Příloha č. 1 – Teplotní zatěžovací křivky







Příloha č. 2 – Protokoly – Zkouška pevnosti betonu v tahu ohybem

<p style="text-align: center;">ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE FAKULTA STAVEBNÍ ODBORNÁ LABORATOŘ KATEDRY BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ</p>  															
Zpráva o zkoušce pevnosti betonu v tahu ohybem												ze dne: 10.10.2022		Číslo protokolu : 1	
Číslo vzorku	Ozn. tělesa	Rozměry tělesa		Vzdál. Podpěr mm	Hmot. tělesa g	Objem. hmot. kg/m3	Datum		Stáří vzorku dny	Tah za ohybu		Poznámka ke zkoušce			
		Výška mm	Šířka mm				výroby d.m.r	zkoušky d.m.r		síla kN	pevnost MPa				
1	0 %; 20 °C	40,16	39,96	100	593,4	2311	31.05.22	10.10.22	132	3,92	9,2				
2	0 %; 20 °C	39,6	39,9	100	587,5	2322	31.05.22	10.10.22	132	4,49	10,7				
3	0 %; 20 °C	37,8	39,8	100	551,3	2291	31.05.22	10.10.22	132	3,91	9,8				
4	0 %; 20 °C	39,2	39,8	100	581,3	2325	31.05.22	10.10.22	132	3,72	9,0				
5	0 %; 20 °C	40,3	40,1	100	598,6	2317	31.05.22	10.10.22	132	4,76	11,0				
6	0 %; 20 °C	39,8	39,8	100	587,0	2317	31.05.22	10.10.22	132	4,08	9,7				
7	10 %; 20 °C	39,5	39,8	100	579,5	2303	31.05.22	10.10.22	132	4,70	11,2				
8	10 %; 20 °C	38,5	40,0	100	570,9	2319	31.05.22	10.10.22	132	4,18	10,2				
9	10 %; 20 °C	38,9	40,2	100	584,3	2332	31.05.22	10.10.22	132	4,30	10,3				
10	10 %; 20 °C	38,3	39,9	100	571,5	2339	31.05.22	10.10.22	132	4,62	11,4				
11	10 %; 20 °C	39,4	39,8	100	579,8	2309	31.05.22	10.10.22	132	4,56	10,9				
12	10 %; 20 °C	39,9	40,1	100	584,6	2282	31.05.22	10.10.22	132	4,70	11,0				
13	20 %; 20 °C	38,8	40,0	100	579,2	2331	31.05.22	10.10.22	132	3,93	9,5				
14	20 %; 20 °C	39,0	40,0	100	580,5	2327	31.05.22	10.10.22	132	4,74	11,4				
15	20 %; 20 °C	39,9	40,2	100	594,9	2320	31.05.22	10.10.22	132	4,96	11,6				
16	20 %; 20 °C	38,9	39,9	100	578,4	2326	31.05.22	10.10.22	132	4,71	11,4				
17	20 %; 20 °C	40,3	40,0	100	589,6	2287	31.05.22	10.10.22	132	4,75	11,1				
18	20 %; 20 °C	39,7	39,9	100	583,1	2300	31.05.22	10.10.22	132	5,21	12,4				

<p style="text-align: center;">ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE FAKULTA STAVEBNÍ ODBORNÁ LABORATOŘ KATEDRY BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ</p> <p style="text-align: center;">Thákurova 7, 166 28 PRAHA - 6, tel : 224 354 627 , fax : 224 354 446 , email : k133@fsv.cvut.cz</p>													
Zpráva o zkoušce pevnosti betonu v tahu ohybem													
Výsledky laboratorních zkoušek													
Číslo vzorku	Ozn. tělesa	Rozměry tělesa		Vzdál. Podpěr	Hmot. tělesa	Objem. hmot.	Datum		Stáří vzorku	Tah za ohybu		Poznámka ke zkoušce	
		Výška	Šířka				výroby	zkoušky		síla	pevnost		
		mm	mm	mm	g	kg/m ³	d.m.r	d.m.r	dn	kN	MPa		
19	0 %; 400 °C	39,5	39,9	100	574,0	2282	31.05.22	10.10.22	132	2,22	5,3		
20	0 %; 400 °C	38,3	39,9	100	558,0	2287	31.05.22	10.10.22	132	1,82	4,5		
21	0 %; 400 °C	38,6	39,9	100	560,0	2271	31.05.22	10.10.22	132	2,06	5,0		
22	0 %; 400 °C	39,3	39,9	100	574,4	2289	31.05.22	10.10.22	132	2,14	5,1		
23	0 %; 400 °C	37,5	40,1	100	551,0	2294	31.05.22	10.10.22	132	2,46	6,1		
24	0 %; 400 °C	39,5	39,9	100	576,7	2287	31.05.22	10.10.22	132	1,97	4,7		
25	10 %; 400 °C	38,1	39,9	100	556,0	2284	31.05.22	10.10.22	132	2,14	5,3		
26	10 %; 400 °C	39,3	39,9	100	571,4	2277	31.05.22	10.10.22	132	2,54	6,1		
27	10 %; 400 °C	36,7	40,0	100	537,3	2291	31.05.22	10.10.22	132	2,14	5,5		
28	10 %; 400 °C	37,1	40,0	100	542,1	2280	31.05.22	10.10.22	132	2,50	6,3		
29	10 %; 400 °C	39,4	40,0	100	571,1	2266	31.05.22	10.10.22	132	2,51	6,0		
30	10 %; 400 °C	39,6	39,8	100	576,2	2283	31.05.22	10.10.22	132	2,22	5,3		
31	20 %; 400 °C	39,7	39,9	100	564,3	2228	31.05.22	10.10.22	132	2,51	6,0		
32	20 %; 400 °C	38,7	40,0	100	554,9	2241	31.05.22	10.10.22	132	2,36	5,7		
33	20 %; 400 °C	39,9	39,9	100	581,2	2286	31.05.22	10.10.22	132	2,57	6,1		
34	20 %; 400 °C	40,0	39,9	100	580,3	2272	31.05.22	10.10.22	132	2,59	6,1		
35	20 %; 400 °C	39,6	40,1	100	571,0	2253	31.05.22	10.10.22	132	2,35	5,6		
36	20 %; 400 °C	37,95	39,94	100	552,0	2276	31.05.22	10.10.22	132	2,27	5,6		

ze dne: 10.10.2022

Číslo protokolu : 2



<p style="text-align: center;">ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE FAKULTA STAVEBNÍ ODBORNÁ LABORATOŘ KATEDRY BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ</p>  													
Zpráva o zkoušce pevnosti betonu v tahu ohybem													
ze dne: 10.10.2022													
Číslo protokolu : 3													
Výsledky laboratorních zkoušek													
Číslo vzorku	Ozn. tělesa	Rozměry tělesa		Vzdál. Podpěr	Hmot. tělesa	Objem. hmot.	Datum		Stáří vzorku	Tah za ohybu		Poznámka ke zkoušce	
		Výška	Šířka				výroby	zkoušky		síla	pevnost		
		mm	mm	mm	g	kg/m ³	d.m.r	d.m.r	dnů	kN	MPa		
37	0 %; 600 °C	38,7	40,0	100	544	2199	31.05.22	10.10.22	132	0,52	1,3		
38	0 %; 600 °C	39,8	39,9	100	565	2228	31.05.22	10.10.22	132	0,77	1,8		
39	0 %; 600 °C	39,6	40,3	100	566	2216	31.05.22	10.10.22	132	0,46	1,1		
40	0 %; 600 °C	38,9	40,0	100	554	2230	31.05.22	10.10.22	132	0,46	1,1		
41	0 %; 600 °C	38,0	40,0	100	542	2228	31.05.22	10.10.22	132	0,50	1,2		
42	0 %; 600 °C	39,0	40,0	100	550	2204	31.05.22	10.10.22	132	0,48	1,2		
43	10 %; 600 °C	37,6	39,9	100	528	2200	31.05.22	10.10.22	132	0,78	1,9		
44	10 %; 600 °C	38,5	39,9	100	547	2225	31.05.22	10.10.22	132	0,78	1,9		
45	10 %; 600 °C	38,2	40,1	100	535	2183	31.05.22	10.10.22	132	0,90	2,2		
46	10 %; 600 °C	38,1	40,1	100	544	2223	31.05.22	10.10.22	132	0,90	2,2		
47	10 %; 600 °C	38,5	40,0	100	550	2236	31.05.22	10.10.22	132	0,80	2,0		
48	10 %; 600 °C	38,7	40,1	100	556	2240	31.05.22	10.10.22	132	0,90	2,2		
49	20 %; 600 °C	39,5	40,0	100	563	2229	31.05.22	10.10.22	132	0,97	2,3		
50	20 %; 600 °C	39,6	40,1	100	569	2242	31.05.22	10.10.22	132	1,10	2,6		
51	20 %; 600 °C	39,4	40,0	100	567	2249	31.05.22	10.10.22	132	1,13	2,7		
52	20 %; 600 °C	39,7	40,1	100	567	2225	31.05.22	10.10.22	132	1,21	2,8		
53	20 %; 600 °C	38,2	40,0	100	545	2227	31.05.22	10.10.22	132	1,18	2,9		
54	20 %; 600 °C	39,3	40,0	100	557	2217	31.05.22	10.10.22	132	0,99	2,4		

<p style="text-align: center;">ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE FAKULTA STAVEBNÍ ODBORNÁ LABORATOŘ KATEDRY BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ</p> <p style="text-align: center;">Thákurova 7, 166 28 PRAHA - 6, tel : 224 354 627 , fax : 224 354 446 , email : k133@fsv.cvut.cz</p>													
Zpráva o zkoušce pevnosti betonu v tahu ohybem													
Výsledky laboratorních zkoušek													
Číslo vzorku	Ozn. tělesa	Rozměry tělesa		Vzdál. Podpěr	Hmot. tělesa	Objem. hmot.	Datum		Stáří vzorku	Tah za ohybu		Poznámka ke zkoušce	
		Výška	Šířka				výroby	zkoušky		síla	pevnost		
		mm	mm	mm	g	kg/m ³	d.m.r	d.m.r	dn	kN	MPa		
55	0 %; 800 °C	39,2	40,1	100	549,0	2182	31.05.22	10.10.22	132	0,37	0,9		
56	0 %; 800 °C	39,2	40,0	100	552,0	2196	31.05.22	10.10.22	132	0,52	1,2		
57	0 %; 800 °C	38,7	40,2	100	553,0	2222	31.05.22	10.10.22	132	0,45	1,1		
58	0 %; 800 °C	35,6	40,1	100	500,0	2194	31.05.22	10.10.22	132	0,47	1,2		
59	0 %; 800 °C	39,9	40,0	100	552,0	2164	31.05.22	10.10.22	132	0,56	1,3		
60	0 %; 800 °C	38,5	40,1	100	546,0	2211	31.05.22	10.10.22	132	0,38	0,9		
61	10 %; 800 °C	39,8	40,0	100	558,0	2191	31.05.22	10.10.22	132	0,57	1,3		
62	10 %; 800 °C	38,6	40,1	100	543,0	2194	31.05.22	10.10.22	132	0,52	1,3		
63	10 %; 800 °C	40,1	40,0	100	564,0	2201	31.05.22	10.10.22	132	0,65	1,5		
64	10 %; 800 °C	38,8	40,1	100	547,0	2195	31.05.22	10.10.22	132	0,68	1,6		
65	10 %; 800 °C	38,0	38,1	100	536,0	2318	31.05.22	10.10.22	132	0,50	1,4		
66	10 %; 800 °C	39,8	40,0	100	559,0	2196	31.05.22	10.10.22	132	0,55	1,3		
67	20 %; 800 °C	38,7	40,1	100	538,0	2172	31.05.22	10.10.22	132	0,42	1,0		
68	20 %; 800 °C	38,4	40,3	100	532,0	2152	31.05.22	10.10.22	132	0,49	1,2		
69	20 %; 800 °C	39,1	40,1	100	547,7	2184	31.05.22	10.10.22	132	0,74	1,8		
70	20 %; 800 °C	39,3	40,1	100	551,0	2183	31.05.22	10.10.22	132	0,56	1,3		
71	20 %; 800 °C	39,2	40,1	100	551,0	2191	31.05.22	10.10.22	132	0,43	1,0		
72	20 %; 800 °C	39,3	40,2	100	555,0	2197	31.05.22	10.10.22	132	0,37	0,9		

ze dne: 10.10.2022

Číslo protokolu : 4

Příloha č. 3 – Protokoly – Zkouška pevnosti betonu v tlaku

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE									
FAKULTA STAVEBNÍ									
		Tháškurova 7, 166 28 PRAHA - 6, tel : 224 354 627 , fax : 224 354 446 , email : k133@fsv.cvut.cz							
ODBORNÁ LABORATOŘ KATEDRY BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ									
Zpráva o zkoušce pevnosti betonu v tlaku					ze dne: 17.10.2022		Číslo protokolu : 1		
Výsledky laboratorních zkoušek									
Číslo vzorku	Ozn. tělesa	Výška tělesa mm	Šířka tlačné plochy mm	Datum		Stáří vzorku dny	Tlak		Poznámka ke zkoušce
				výroby d.m.r	zkoušky d.m.r		síla kN	pevnost MPa	
1.1	0 %; 20 °C	40,16	39,96	31.05.22	17.10.22	139	160,91	100,3	
1.2	0 %; 20 °C	40,16	39,96	31.05.22	17.10.22	139	183,14	114,1	
2.1	0 %; 20 °C	39,6	39,9	31.05.22	17.10.22	139	104,61	66,2	
2.2	0 %; 20 °C	39,6	39,9	31.05.22	17.10.22	139	167,60	106,0	
3.1	0 %; 20 °C	37,8	39,8	31.05.22	17.10.22	139	117,87	78,4	
3.2	0 %; 20 °C	37,8	39,8	31.05.22	17.10.22	139	117,03	77,8	
4.1	0 %; 20 °C	39,2	39,8	31.05.22	17.10.22	139	177,25	113,4	
4.2	0 %; 20 °C	39,2	39,8	31.05.22	17.10.22	139	118,64	75,9	
5.1	0 %; 20 °C	40,3	40,1	31.05.22	17.10.22	139	140,60	87,1	
5.2	0 %; 20 °C	40,3	40,1	31.05.22	17.10.22	139	195,91	121,3	
7.1	10 %; 20 °C	39,5	39,8	31.05.22	17.10.22	139	165,41	105,2	
7.2	10 %; 20 °C	39,5	39,8	31.05.22	17.10.22	139	142,53	90,6	
8.1	10 %; 20 °C	38,5	40,0	31.05.22	17.10.22	139	158,99	103,3	
8.2	10 %; 20 °C	38,5	40,0	31.05.22	17.10.22	139	153,03	99,4	
9.1	10 %; 20 °C	38,9	40,2	31.05.22	17.10.22	139	145,49	92,9	
9.2	10 %; 20 °C	38,9	40,2	31.05.22	17.10.22	139	153,45	98,0	
10.1	10 %; 20 °C	38,3	39,9	31.05.22	17.10.22	139	149,56	97,9	
10.2	10 %; 20 °C	38,3	39,9	31.05.22	17.10.22	139	166,41	109,0	
11.1	10 %; 20 °C	39,4	39,8	31.05.22	17.10.22	139	145,41	92,7	
11.2	10 %; 20 °C	39,4	39,8	31.05.22	17.10.22	139	168,91	107,6	
13.1	20 %; 20 °C	38,8	40,0	31.05.22	17.10.22	139	132,95	85,6	
13.2	20 %; 20 °C	38,8	40,0	31.05.22	17.10.22	139	161,72	104,1	
14.1	20 %; 20 °C	39,0	40,0	31.05.22	17.10.22	139	149,29	95,7	
14.2	20 %; 20 °C	39,0	40,0	31.05.22	17.10.22	139	145,41	93,3	
15.1	20 %; 20 °C	39,9	40,2	31.05.22	17.10.22	139	156,33	97,6	
15.2	20 %; 20 °C	39,9	40,2	31.05.22	17.10.22	139	152,60	95,2	
16.1	20 %; 20 °C	38,9	39,9	31.05.22	17.10.22	139	156,91	101,0	
16.2	20 %; 20 °C	38,9	39,9	31.05.22	17.10.22	139	156,60	100,8	
17.1	20 %; 20 °C	40,3	40,0	31.05.22	17.10.22	139	128,95	80,0	
17.2	20 %; 20 °C	40,3	40,0	31.05.22	17.10.22	139	124,64	77,3	

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE FAKULTA STAVEBNÍ Thákurova 7, 166 28 PRAHA - 6, tel : 224 354 627 , fax : 224 354 446 , email : k133@fsv.cvut.cz ODBORNÁ LABORATOŘ KATEDRY BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ									
Zpráva o zkoušce pevnosti betonu v tlaku					ze dne: 17.10.2022		Číslo protokolu : 2		
Výsledky laboratorních zkoušek									
Číslo vzorku	Ozn. tělesa	Výška tělesa mm	Šířka tlačné plochy mm	Datum		Stáří vzorku dny	Tlak		Poznámka ke zkoušce
				výroby d.m.r	zkoušky d.m.r		síla kN	pevnost MPa	
19.1	0 %; 400 °C	39,5	39,9	31.05.22	17.10.22	139	138,26	87,9	
19.2	0 %; 400 °C	39,5	39,9	31.05.22	17.10.22	139	134,72	85,7	
20.1	0 %; 400 °C	38,3	39,9	31.05.22	17.10.22	139	131,87	86,5	
20.2	0 %; 400 °C	38,3	39,9	31.05.22	17.10.22	139	131,68	86,4	
21.1	0 %; 400 °C	38,6	39,9	31.05.22	17.10.22	139	139,95	90,8	
21.2	0 %; 400 °C	38,6	39,9	31.05.22	17.10.22	139	128,95	83,7	
22.1	0 %; 400 °C	39,3	39,9	31.05.22	17.10.22	139	128,68	82,0	
22.2	0 %; 400 °C	39,3	39,9	31.05.22	17.10.22	139	128,87	82,2	
23.1	0 %; 400 °C	37,5	40,1	31.05.22	17.10.22	139	117,95	78,6	
23.2	0 %; 400 °C	37,5	40,1	31.05.22	17.10.22	139	125,95	83,9	
25.1	10 %; 400 °C	38,1	39,9	31.05.22	17.10.22	139	113,30	74,5	
25.2	10 %; 400 °C	38,1	39,9	31.05.22	17.10.22	139	159,72	105,0	
26.1	10 %; 400 °C	39,3	39,9	31.05.22	17.10.22	139	152,99	97,6	
26.2	10 %; 400 °C	39,3	39,9	31.05.22	17.10.22	139	159,06	101,4	
27.1	10 %; 400 °C	36,7	40,0	31.05.22	17.10.22	139	161,18	110,0	
27.2	10 %; 400 °C	36,7	40,0	31.05.22	17.10.22	139	154,52	105,4	
28.1	10 %; 400 °C	37,1	40,0	31.05.22	17.10.22	139	165,49	111,4	
28.2	10 %; 400 °C	37,1	40,0	31.05.22	17.10.22	139	170,18	114,5	
29.1	10 %; 400 °C	39,4	40,0	31.05.22	17.10.22	139	161,56	102,6	
29.2	10 %; 400 °C	39,4	40,0	31.05.22	17.10.22	139	166,99	106,0	
31.1	20 %; 400 °C	39,7	39,9	31.05.22	17.10.22	139	143,95	90,9	
31.2	20 %; 400 °C	39,7	39,9	31.05.22	17.10.22	139	153,45	96,9	
32.1	20 %; 400 °C	38,7	40,0	31.05.22	17.10.22	139	168,06	108,6	
32.2	20 %; 400 °C	38,7	40,0	31.05.22	17.10.22	139	158,41	102,4	
33.1	20 %; 400 °C	39,9	39,9	31.05.22	17.10.22	139	169,68	106,8	
33.2	20 %; 400 °C	39,9	39,9	31.05.22	17.10.22	139	169,87	106,9	
34.1	20 %; 400 °C	40,0	39,9	31.05.22	17.10.22	139	163,14	102,2	
34.2	20 %; 400 °C	40,0	39,9	31.05.22	17.10.22	139	182,45	114,3	
35.1	20 %; 400 °C	39,6	40,1	31.05.22	17.10.22	139	156,79	99,0	
35.2	20 %; 400 °C	39,6	40,1	31.05.22	17.10.22	139	165,56	104,5	

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE FAKULTA STAVEBNÍ Thákurova 7, 166 28 PRAHA - 6, tel : 224 354 627 , fax : 224 354 446 , email : k133@fsv.cvut.cz ODBORNÁ LABORATOŘ KATEDRY BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ									
Zpráva o zkoušce pevnosti betonu v tlaku				ze dne: 17.10.2022		Číslo protokolu : 3			
Výsledky laboratorních zkoušek									
Číslo vzorku	Ozn. tělesa	Výška tělesa mm	Šířka tlačné plochy mm	Datum		Stáří vzorku dny	Tlak		Poznámka ke zkoušce
				výroby d.m.r	zkoušky d.m.r		síla kN	pevnost MPa	
37.1	0 %; 600 °C	38,7	40,0	31.05.22	17.10.22	139	105,72	68,4	
37.2	0 %; 600 °C	38,7	40,0	31.05.22	17.10.22	139	109,14	70,6	
38.1	0 %; 600 °C	39,8	39,9	31.05.22	17.10.22	139	113,80	71,8	
38.2	0 %; 600 °C	39,8	39,9	31.05.22	17.10.22	139	114,34	72,1	
39.1	0 %; 600 °C	39,6	40,3	31.05.22	17.10.22	139	109,57	68,6	
39.2	0 %; 600 °C	39,6	40,3	31.05.22	17.10.22	139	114,53	71,7	
40.1	0 %; 600 °C	38,9	40,0	31.05.22	17.10.22	139	105,84	68,2	
40.2	0 %; 600 °C	38,9	40,0	31.05.22	17.10.22	139	107,03	68,9	
41.1	0 %; 600 °C	38,0	40,0	31.05.22	17.10.22	139	105,03	69,1	
41.2	0 %; 600 °C	38,0	40,0	31.05.22	17.10.22	139	107,34	70,6	
43.1	10 %; 600 °C	37,6	39,9	31.05.22	17.10.22	139	100,72	67,2	
43.2	10 %; 600 °C	37,6	39,9	31.05.22	17.10.22	139	96,64	64,4	
44.1	10 %; 600 °C	38,5	39,9	31.05.22	17.10.22	139	117,18	76,3	
44.2	10 %; 600 °C	38,5	39,9	31.05.22	17.10.22	139	110,76	72,1	
45.1	10 %; 600 °C	38,2	40,1	31.05.22	17.10.22	139	110,30	72,0	
45.2	10 %; 600 °C	38,2	40,1	31.05.22	17.10.22	139	111,80	73,0	
46.1	10 %; 600 °C	38,1	40,1	31.05.22	17.10.22	139	118,41	77,4	
46.2	10 %; 600 °C	38,1	40,1	31.05.22	17.10.22	139	110,68	72,4	
47.1	10 %; 600 °C	38,5	40,0	31.05.22	17.10.22	139	120,30	78,2	
47.2	10 %; 600 °C	38,5	40,0	31.05.22	17.10.22	139	121,53	79,0	
49.1	20 %; 600 °C	39,5	40,0	31.05.22	17.10.22	139	128,37	81,3	
49.2	20 %; 600 °C	39,5	40,0	31.05.22	17.10.22	139	127,95	81,1	
50.1	20 %; 600 °C	39,6	40,1	31.05.22	17.10.22	139	144,76	91,3	
50.2	20 %; 600 °C	39,6	40,1	31.05.22	17.10.22	139	141,26	89,1	
51.1	20 %; 600 °C	39,4	40,0	31.05.22	17.10.22	139	145,56	92,4	
51.2	20 %; 600 °C	39,4	40,0	31.05.22	17.10.22	139	172,06	109,2	
52.1	20 %; 600 °C	39,7	40,1	31.05.22	17.10.22	139	146,18	91,8	
52.2	20 %; 600 °C	39,7	40,1	31.05.22	17.10.22	139	156,99	98,6	
53.1	20 %; 600 °C	38,2	40,0	31.05.22	17.10.22	139	149,79	97,9	
53.2	20 %; 600 °C	38,2	40,0	31.05.22	17.10.22	139	140,14	91,6	

<p style="text-align: center;">ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE FAKULTA STAVEBNÍ Thákurova 7, 166 28 PRAHA - 6, tel : 224 354 627 , fax : 224 354 446 , email : k133@fsv.cvut.cz ODBORNÁ LABORATOŘ KATEDRY BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ</p>									
Zpráva o zkoušce pevnosti betonu v tlaku					ze dne: 17.10.2022		Číslo protokolu : 4		
Výsledky laboratorních zkoušek									
Číslo vzorku	Ozn. tělesa	Výška tělesa mm	Šířka tlačné plochy mm	Datum		Stáří vzorku dny	Tlak		Poznámka ke zkoušce
				výroby d.m.r	zkoušky d.m.r		síla kN	pevnost MPa	
55.1	0 %; 800 °C	39,2	40,1	31.05.22	17.10.22	139	93,49	59,4	
55.2	0 %; 800 °C	39,2	40,1	31.05.22	17.10.22	139	113,53	72,2	
56.1	0 %; 800 °C	39,2	40,0	31.05.22	17.10.22	139	97,15	61,8	
56.2	0 %; 800 °C	39,2	40,0	31.05.22	17.10.22	139	109,38	69,6	
57.1	0 %; 800 °C	38,7	40,2	31.05.22	17.10.22	139	119,87	77,1	
57.2	0 %; 800 °C	38,7	40,2	31.05.22	17.10.22	139	119,37	76,7	
58.1	0 %; 800 °C	35,6	40,1	31.05.22	17.10.22	139	95,88	67,3	
58.2	0 %; 800 °C	35,6	40,1	31.05.22	17.10.22	139	108,30	76,0	
59.1	0 %; 800 °C	39,9	40,0	31.05.22	17.10.22	139	111,38	69,9	
59.2	0 %; 800 °C	39,9	40,0	31.05.22	17.10.22	139	84,42	52,9	
61.1	10 %; 800 °C	39,8	40,0	31.05.22	17.10.22	139	86,11	54,1	
61.2	10 %; 800 °C	39,8	40,0	31.05.22	17.10.22	139	94,64	59,5	
62.1	10 %; 800 °C	38,6	40,1	31.05.22	17.10.22	139	101,49	65,6	
62.2	10 %; 800 °C	38,6	40,1	31.05.22	17.10.22	139	106,37	68,8	
63.1	10 %; 800 °C	40,1	40,0	31.05.22	17.10.22	139	118,45	74,0	
63.2	10 %; 800 °C	40,1	40,0	31.05.22	17.10.22	139	109,57	68,4	
64.1	10 %; 800 °C	38,8	40,1	31.05.22	17.10.22	139	108,03	69,3	
64.2	10 %; 800 °C	38,8	40,1	31.05.22	17.10.22	139	113,34	72,8	
65.1	10 %; 800 °C	38,0	38,1	31.05.22	17.10.22	139	94,95	65,7	
65.2	10 %; 800 °C	38,0	38,1	31.05.22	17.10.22	139	96,64	66,9	
67.1	20 %; 800 °C	38,7	40,1	31.05.22	17.10.22	139	87,61	56,6	
67.2	20 %; 800 °C	38,7	40,1	31.05.22	17.10.22	139	100,03	64,6	
68.1	20 %; 800 °C	38,4	40,3	31.05.22	17.10.22	139	101,61	65,8	
68.2	20 %; 800 °C	38,4	40,3	31.05.22	17.10.22	139	100,64	65,2	
69.1	20 %; 800 °C	39,1	40,1	31.05.22	17.10.22	139	104,34	66,6	
69.2	20 %; 800 °C	39,1	40,1	31.05.22	17.10.22	139	89,65	57,2	
70.1	20 %; 800 °C	39,3	40,1	31.05.22	17.10.22	139	96,57	61,2	
70.2	20 %; 800 °C	39,3	40,1	31.05.22	17.10.22	139	97,22	61,6	
71.1	20 %; 800 °C	39,2	40,1	31.05.22	17.10.22	139	94,76	60,3	
71.2	20 %; 800 °C	39,2	40,1	31.05.22	17.10.22	139	95,61	60,8	

Příloha č. 4 – Protokol – Měření nasákavosti

Číslo vzorku		Ozn. tělesa	1. měření						2. měření						Poznámka ke zkoušce
			datum	hmotnost "mokrý"	datum	hmotnost "suchá"	Nasákavost	datum	hmotnost "mokrý"	datum	hmotnost "suchá"	Nasákavost			
			d.m.r	g	d.m.r	g	%	d.m.r	g	d.m.r	g	%			
1		0 %; 20 °C	27.06.22	607	29.06.22	595	20	29.09.22	608	01.10.22	595	22			
2		0 %; 20 °C	27.06.22	603	29.06.22	590	22	29.09.22	601	01.10.22	589	20			
3		0 %; 20 °C	27.06.22	565	29.06.22	553	22	29.09.22	563	01.10.22	551	22			
4		0 %; 20 °C	27.06.22	597	29.06.22	584	22	29.09.22	595	01.10.22	583	21			
5		0 %; 20 °C	27.06.22	613	29.06.22	601	20	29.09.22	613	01.10.22	601	20			
6		0 %; 20 °C	27.06.22	601	29.06.22	589	20	29.09.22	600	01.10.22	588	20			
7		10 %; 20 °C	27.06.22	593	29.06.22	581	21	29.09.22	589	01.10.22	579	17			
8		10 %; 20 °C	27.06.22	585	29.06.22	573	21	29.09.22	582	01.10.22	571	19			
9		10 %; 20 °C	27.06.22	598	29.06.22	586	20	29.09.22	594	01.10.22	583	19			
10		10 %; 20 °C	27.06.22	586	29.06.22	574	21	29.09.22	582	01.10.22	571	19			
11		10 %; 20 °C	27.06.22	595	29.06.22	583	21	29.09.22	593	01.10.22	582	19			
12		10 %; 20 °C	27.06.22	602	29.06.22	589	22	29.09.22	598	01.10.22	587	19			
13		20 %; 20 °C	27.06.22	594	29.06.22	582	21	29.09.22	590	01.10.22	580	17			
14		20 %; 20 °C	27.06.22	596	29.06.22	584	21	29.09.22	589	01.10.22	580	15			
15		20 %; 20 °C	27.06.22	611	29.06.22	598	22	29.09.22	595	01.10.22	585	17			
16		20 %; 20 °C	27.06.22	594	29.06.22	581	22	29.09.22	588	01.10.22	578	17			
17		20 %; 20 °C	27.06.22	607	29.06.22	595	20	29.09.22	602	01.10.22	591	18			
18		20 %; 20 °C	27.06.22	599	29.06.22	587	20	29.09.22	594	01.10.22	584	17			

Zpráva o měření nasákavosti

Číslo protokolu : 1

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE


FAKULTA STAVEBNÍ

Thákurova 7, 166 28 PRAHA - 6, tel : 224 354 627 , fax : 224 354 446 , email : k1133@fsv.cvut.cz

ODBOBNÁ LABORATOŘ KATEDRY BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ



Příloha č. 5 – Protokoly – Ultrazvuková impulsová zkouška

<p style="text-align: center;">ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE FAKULTA STAVEBNÍ Thákurova 7, 166 28 PRAHA - 6, tel : 224 354 627 , fax : 224 354 446 , email : k133@fsv.cvut.cz ODBOURNÁ LABORATOŘ KATEDRY BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ</p>											
											
Zpráva o ultrazvukové impulsové zkoušce											
ze dne: 29.06.2022 Číslo protokolu : 1											
Výsledky laboratorních zkoušek											
Číslo vzorku	Ozn. tělesa	Objem. hmot. kg/m ³	Souč. rozm. prostředí	Datum		Stáří vzorku dny	Impuls. rychlost m/s	Dyn. modul pružnosti N/mm ²	Poznámka ke zkoušce		
				výroby d.m.r	1. měření d.m.r						
1	0 %; 20 °C	2311	1	31.05.22	29.06.22	29	4734	51791			
2	0 %; 20 °C	2322	1	31.05.22	29.06.22	29	4734	52038			
3	0 %; 20 °C	2291	1	31.05.22	29.06.22	29	4734	51343			
4	0 %; 20 °C	2325	1	31.05.22	29.06.22	29	4776	53034			
5	0 %; 20 °C	2317	1	31.05.22	29.06.22	29	4748	52233			
6	0 %; 20 °C	2317	1	31.05.22	29.06.22	29	4734	51926			
7	10 %; 20 °C	2303	1	31.05.22	29.06.22	29	4734	51612			
8	10 %; 20 °C	2319	1	31.05.22	29.06.22	29	4706	51358			
9	10 %; 20 °C	2332	1	31.05.22	29.06.22	29	4571	48725			
10	10 %; 20 °C	2339	1	31.05.22	29.06.22	29	4611	49730			
11	10 %; 20 °C	2309	1	31.05.22	29.06.22	29	4734	51746			
12	10 %; 20 °C	2282	1	31.05.22	29.06.22	29	4665	49661			
13	20 %; 20 °C	2331	1	31.05.22	29.06.22	29	4678	51011			
14	20 %; 20 °C	2327	1	31.05.22	29.06.22	29	4678	50923			
15	20 %; 20 °C	2320	1	31.05.22	29.06.22	29	4720	51686			
16	20 %; 20 °C	2326	1	31.05.22	29.06.22	29	4651	50316			
17	20 %; 20 °C	2287	1	31.05.22	29.06.22	29	4678	50048			
18	20 %; 20 °C	2300	1	31.05.22	29.06.22	29	4748	51850			

<p style="text-align: center;">ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE FAKULTA STAVEBNÍ Thákurova 7, 166 28 PRAHA - 6, tel : 224 354 627 , fax : 224 354 446 , email : k133@fsv.cvut.cz ODBORNÁ LABORATOŘ KATEDRY BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ</p>											
<p style="text-align: center;">Zpráva o ultrazvukové impulsové zkoušce</p>											
<p style="text-align: center;">Výsledky laboratorních zkoušek</p>											
Číslo vzorku	Ozn. tělesa	Objem. hmot. kg/m ³	Souč. rozm. prostředí	Datum		Stáří vzorku dny	Impuls. rychlost m/s	Dyn. modul pružnosti N/mm ²	Poznámka ke zkoušce		
				výroby d.m.r	2. měření d.m.r						
1	0 %; 20 °C	2311	1	31.05.22	10.10.22	132	4611	49135			
2	0 %; 20 °C	2322	1	31.05.22	10.10.22	132	4482	46645			
3	0 %; 20 °C	2291	1	31.05.22	10.10.22	132	4494	46269			
4	0 %; 20 °C	2325	1	31.05.22	10.10.22	132	4520	47501			
5	0 %; 20 °C	2317	1	31.05.22	10.10.22	132	4571	48411			
6	0 %; 20 °C	2317	1	31.05.22	10.10.22	132	4494	46794			
7	10 %; 20 °C	2303	1	31.05.22	10.10.22	132	4720	51307			
8	10 %; 20 °C	2319	1	31.05.22	10.10.22	132	4678	50748			
9	10 %; 20 °C	2332	1	31.05.22	10.10.22	132	4482	46846			
10	10 %; 20 °C	2339	1	31.05.22	10.10.22	132	4598	49450			
11	10 %; 20 °C	2309	1	31.05.22	10.10.22	132	4598	48816			
12	10 %; 20 °C	2282	1	31.05.22	10.10.22	132	4494	46087			
13	20 %; 20 °C	2331	1	31.05.22	10.10.22	132	4611	49560			
14	20 %; 20 °C	2327	1	31.05.22	10.10.22	132	4432	45708			
15	20 %; 20 °C	2320	1	31.05.22	10.10.22	132	4665	50488			
16	20 %; 20 °C	2326	1	31.05.22	10.10.22	132	4611	49454			
17	20 %; 20 °C	2287	1	31.05.22	10.10.22	132	4507	46456			
18	20 %; 20 °C	2300	1	31.05.22	10.10.22	132	4734	51545			

<p style="text-align: center;">ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE FAKULTA STAVEBNÍ Thákurova 7, 166 28 PRAHA - 6, tel : 224 354 627 , fax : 224 354 446 , email : k133@fsv.cvut.cz ODBORNÁ LABORATOŘ KATEDRY BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ</p>											
<p style="text-align: center;">Zpráva o ultrazvukové impulsové zkoušce</p>											
<p style="text-align: center;">Výsledky laboratorních zkoušek</p>											
Číslo vzorku	Ozn. tělesa	Objem. hmot. kg/m ³	Souč. rozm. prostředí	Datum		Stáří vzorku dny	Impuls. rychlost m/s	Dyn. modul pružnosti N/mm ²	Poznámka ke zkoušce		
				výroby d.m.r	3. měření d.m.r						
1	0 %; 20 °C	2311	1	31.05.22	10.10.22	132	4611	49135			
2	0 %; 20 °C	2322	1	31.05.22	10.10.22	132	4482	46645			
3	0 %; 20 °C	2291	1	31.05.22	10.10.22	132	4494	46269			
4	0 %; 20 °C	2325	1	31.05.22	10.10.22	132	4520	47501			
5	0 %; 20 °C	2317	1	31.05.22	10.10.22	132	4571	48411			
6	0 %; 20 °C	2317	1	31.05.22	10.10.22	132	4494	46794			
7	10 %; 20 °C	2303	1	31.05.22	10.10.22	132	4720	51307			
8	10 %; 20 °C	2319	1	31.05.22	10.10.22	132	4678	50748			
9	10 %; 20 °C	2332	1	31.05.22	10.10.22	132	4482	46846			
10	10 %; 20 °C	2339	1	31.05.22	10.10.22	132	4598	49450			
11	10 %; 20 °C	2309	1	31.05.22	10.10.22	132	4598	48816			
12	10 %; 20 °C	2282	1	31.05.22	10.10.22	132	4494	46087			
13	20 %; 20 °C	2331	1	31.05.22	10.10.22	132	4611	49560			
14	20 %; 20 °C	2327	1	31.05.22	10.10.22	132	4432	45708			
15	20 %; 20 °C	2320	1	31.05.22	10.10.22	132	4665	50488			
16	20 %; 20 °C	2326	1	31.05.22	10.10.22	132	4611	49454			
17	20 %; 20 °C	2287	1	31.05.22	10.10.22	132	4507	46456			
18	20 %; 20 °C	2300	1	31.05.22	10.10.22	132	4734	51545			

Číslo vzorku		Ozn. tělesa	Objem. hmot. kg/m ³	Souč. rozm. prostředí	Datum		Stáří vzorku dny	Impuls. rychlost m/s	Dyn. modul pružnosti N/mm ²	Poznámka ke zkoušce
					výroby d.m.r	1. měření d.m.r				
19	0 %; 400 °C	2282	1	31.05.22	29.06.22	29	4734	51141		
20	0 %; 400 °C	2287	1	31.05.22	29.06.22	29	4734	51253		
21	0 %; 400 °C	2271	1	31.05.22	29.06.22	29	4805	52433		
22	0 %; 400 °C	2289	1	31.05.22	29.06.22	29	4819	53157		
23	0 %; 400 °C	2294	1	31.05.22	29.06.22	29	4611	48773		
24	0 %; 400 °C	2287	1	31.05.22	29.06.22	29	4805	52802		
25	10 %; 400 °C	2284	1	31.05.22	29.06.22	29	4734	51186		
26	10 %; 400 °C	2277	1	31.05.22	29.06.22	29	4776	51939		
27	10 %; 400 °C	2291	1	31.05.22	29.06.22	29	4734	51343		
28	10 %; 400 °C	2280	1	31.05.22	29.06.22	29	4734	51097		
29	10 %; 400 °C	2266	1	31.05.22	29.06.22	29	4734	50783		
30	10 %; 400 °C	2283	1	31.05.22	29.06.22	29	4734	51164		
31	20 %; 400 °C	2228	1	31.05.22	29.06.22	29	4734	49931		
32	20 %; 400 °C	2241	1	31.05.22	29.06.22	29	4748	50520		
33	20 %; 400 °C	2286	1	31.05.22	29.06.22	29	4734	51231		
34	20 %; 400 °C	2272	1	31.05.22	29.06.22	29	4734	50917		
35	20 %; 400 °C	2253	1	31.05.22	29.06.22	29	4805	52017		
36	20 %; 400 °C	2276	1	31.05.22	29.06.22	29	4734	51007		

Zpráva o ultrazvukové impulsové zkoušce

ze dne: 29.06.2022

Číslo protokolu : 4

Výsledky laboratorních zkoušek


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE


FAKULTA STAVEBNÍ



Thákurova 7, 166 28 PRAHA - 6, tel : 224 354 627 , fax : 224 354 446 , email : k133@fsv.cvut.cz

ODBOURNÁ LABORATOŘ KATEDRY BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ




<p style="text-align: center;">ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE FAKULTA STAVEBNÍ Thákurova 7, 166 28 PRAHA - 6, tel : 224 354 627 , fax : 224 354 446 , email : k133@fsv.cvut.cz ODBOURNÁ LABORATOŘ KATEDRY BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ</p>											
											
Zpráva o ultrazvukové impulsové zkoušce											
ze dne: 10.10.2022 Číslo protokolu : 5											
Výsledky laboratorních zkoušek											
Číslo vzorku	Ozn. tělesa	Objem. hmot. kg/m ³	Souč. rozm. prostředí	Datum		Stáří vzorku dny	Impuls. rychlost m/s	Dyn. modul pružnosti N/mm ²	Poznámka ke zkoušce		
				výroby d.m.r	2. měření d.m.r						
19	0 %; 400 °C	2282	1	31.05.22	10.10.22	132	4598	48245			
20	0 %; 400 °C	2287	1	31.05.22	10.10.22	132	4545	47243			
21	0 %; 400 °C	2271	1	31.05.22	10.10.22	132	4482	45621			
22	0 %; 400 °C	2289	1	31.05.22	10.10.22	132	4545	47284			
23	0 %; 400 °C	2294	1	31.05.22	10.10.22	132	4507	46598			
24	0 %; 400 °C	2287	1	31.05.22	10.10.22	132	4558	47513			
25	10 %; 400 °C	2284	1	31.05.22	10.10.22	132	4533	46932			
26	10 %; 400 °C	2277	1	31.05.22	10.10.22	132	4558	47306			
27	10 %; 400 °C	2291	1	31.05.22	10.10.22	132	4494	46269			
28	10 %; 400 °C	2280	1	31.05.22	10.10.22	132	4533	46850			
29	10 %; 400 °C	2266	1	31.05.22	10.10.22	132	4444	44752			
30	10 %; 400 °C	2283	1	31.05.22	10.10.22	132	4533	46911			
31	20 %; 400 °C	2228	1	31.05.22	10.10.22	132	4678	48757			
32	20 %; 400 °C	2241	1	31.05.22	10.10.22	132	4482	45018			
33	20 %; 400 °C	2286	1	31.05.22	10.10.22	132	4678	50026			
34	20 %; 400 °C	2272	1	31.05.22	10.10.22	132	4665	49444			
35	20 %; 400 °C	2253	1	31.05.22	10.10.22	132	4734	50491			
36	20 %; 400 °C	2276	1	31.05.22	10.10.22	132	4624	48664			

<p style="text-align: center;">ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE FAKULTA STAVEBNÍ Thákurova 7, 166 28 PRAHA - 6, tel : 224 354 627 , fax : 224 354 446 , email : k133@fsv.cvut.cz ODBORNÁ LABORATOŘ KATEDRY BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ</p>											
											
Zpráva o ultrazvukové impulsové zkoušce											
ze dne: 10.10.2022 Číslo protokolu : 6											
Výsledky laboratorních zkoušek											
Číslo vzorku	Ozn. tělesa	Objem. hmot. kg/m ³	Souč. rozm. prostředí	Datum		Stáří vzorku dny	Impuls. rychlost m/s	Dyn. modul pružnosti N/mm ²	Poznámka ke zkoušce		
				výroby d.m.r	3. měření d.m.r						
19	0 %; 400 °C	2282	1	31.05.22	10.10.22	132	2873	18836			
20	0 %; 400 °C	2287	1	31.05.22	10.10.22	132	3083	21738			
21	0 %; 400 °C	2271	1	31.05.22	10.10.22	132	3036	20932			
22	0 %; 400 °C	2289	1	31.05.22	10.10.22	132	3083	21757			
23	0 %; 400 °C	2294	1	31.05.22	10.10.22	132	3101	22060			
24	0 %; 400 °C	2287	1	31.05.22	10.10.22	132	2980	20309			
25	10 %; 400 °C	2284	1	31.05.22	10.10.22	132	3181	23111			
26	10 %; 400 °C	2277	1	31.05.22	10.10.22	132	3426	26726			
27	10 %; 400 °C	2291	1	31.05.22	10.10.22	132	3397	26437			
28	10 %; 400 °C	2280	1	31.05.22	10.10.22	132	3426	26761			
29	10 %; 400 °C	2266	1	31.05.22	10.10.22	132	3279	24364			
30	10 %; 400 °C	2283	1	31.05.22	10.10.22	132	3206	23466			
31	20 %; 400 °C	2228	1	31.05.22	10.10.22	132	3048	20699			
32	20 %; 400 °C	2241	1	31.05.22	10.10.22	132	3206	23034			
33	20 %; 400 °C	2286	1	31.05.22	10.10.22	132	3326	25288			
34	20 %; 400 °C	2272	1	31.05.22	10.10.22	132	3493	27721			
35	20 %; 400 °C	2253	1	31.05.22	10.10.22	132	3412	26229			
36	20 %; 400 °C	2276	1	31.05.22	10.10.22	132	3361	25710			

<p style="text-align: center;">ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE FAKULTA STAVEBNÍ ODBORNÁ LABORATOŘ KATEDRY BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ</p>   <p style="text-align: center;">Thákurova 7, 166 28 PRAHA - 6, tel : 224 354 627 , fax : 224 354 446 , email : k133@fsv.cvut.cz</p>											
Zpráva o ultrazvukové impulsové zkoušce											
ze dne: 29.06.2022 Číslo protokolu : 7											
Výsledky laboratorních zkoušek											
Číslo vzorku	Ozn. tělesa	Objem. hmot. kg/m ³	Souč. rozm. prostředí	Datum		Stáří vzorku dny	Impuls. rychlost m/s	Dyn. modul pružnosti N/mm ²	Poznámka ke zkoušce		
				výroby d.m.r	1. měření d.m.r						
37	0 %; 600 °C	2199	1	31.05.22	29.06.22	29	4611	46754			
38	0 %; 600 °C	2228	1	31.05.22	29.06.22	29	4611	47370			
39	0 %; 600 °C	2216	1	31.05.22	29.06.22	29	4734	49662			
40	0 %; 600 °C	2230	1	31.05.22	29.06.22	29	4819	51787			
41	0 %; 600 °C	2228	1	31.05.22	29.06.22	29	4692	49049			
42	0 %; 600 °C	2204	1	31.05.22	29.06.22	29	4692	48521			
43	10 %; 600 °C	2200	1	31.05.22	29.06.22	29	4734	49304			
44	10 %; 600 °C	2225	1	31.05.22	29.06.22	29	4706	49276			
45	10 %; 600 °C	2183	1	31.05.22	29.06.22	29	4720	48634			
46	10 %; 600 °C	2223	1	31.05.22	29.06.22	29	4734	49819			
47	10 %; 600 °C	2236	1	31.05.22	29.06.22	29	4678	48932			
48	10 %; 600 °C	2240	1	31.05.22	29.06.22	29	4665	48747			
49	20 %; 600 °C	2229	1	31.05.22	29.06.22	29	4624	47659			
50	20 %; 600 °C	2242	1	31.05.22	29.06.22	29	4624	47937			
51	20 %; 600 °C	2249	1	31.05.22	29.06.22	29	4651	48650			
52	20 %; 600 °C	2225	1	31.05.22	29.06.22	29	4734	49864			
53	20 %; 600 °C	2227	1	31.05.22	29.06.22	29	4734	49909			
54	20 %; 600 °C	2217	1	31.05.22	29.06.22	29	4734	49685			

<p style="text-align: center;">ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE FAKULTA STAVEBNÍ Thákurova 7, 166 28 PRAHA - 6, tel : 224 354 627 , fax : 224 354 446 , email : k133@fsv.cvut.cz ODBOURNÁ LABORATOŘ KATEDRY BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ</p>											
<p style="text-align: center;">Zpráva o ultrazvukové impulsové zkoušce</p>											
<p style="text-align: center;">Výsledky laboratorních zkoušek</p>											
Číslo vzorku	Ozn. tělesa	Objem. hmot. kg/m ³	Souč. rozm. prostředí	Datum		Stáří vzorku dny	Impuls. rychlost m/s	Dyn. modul pružnosti N/mm ²	Poznámka ke zkoušce		
				výroby d.m.r	2. měření d.m.r						
37	0 %; 600 °C	2199	1	31.05.22	10.10.22	132	4267	40038			
38	0 %; 600 °C	2228	1	31.05.22	10.10.22	132	4494	44997			
39	0 %; 600 °C	2216	1	31.05.22	10.10.22	132	4420	43293			
40	0 %; 600 °C	2230	1	31.05.22	10.10.22	132	4420	43566			
41	0 %; 600 °C	2228	1	31.05.22	10.10.22	132	4432	43764			
42	0 %; 600 °C	2204	1	31.05.22	10.10.22	132	4324	41208			
43	10 %; 600 °C	2200	1	31.05.22	10.10.22	132	4545	45445			
44	10 %; 600 °C	2225	1	31.05.22	10.10.22	132	4545	45962			
45	10 %; 600 °C	2183	1	31.05.22	10.10.22	132	4396	42186			
46	10 %; 600 °C	2223	1	31.05.22	10.10.22	132	4507	45156			
47	10 %; 600 °C	2236	1	31.05.22	10.10.22	132	4408	43447			
48	10 %; 600 °C	2240	1	31.05.22	10.10.22	132	4408	43524			
49	20 %; 600 °C	2229	1	31.05.22	10.10.22	132	4598	47125			
50	20 %; 600 °C	2242	1	31.05.22	10.10.22	132	4494	45280			
51	20 %; 600 °C	2249	1	31.05.22	10.10.22	132	4611	47817			
52	20 %; 600 °C	2225	1	31.05.22	10.10.22	132	4734	49864			
53	20 %; 600 °C	2227	1	31.05.22	10.10.22	132	4678	48735			
54	20 %; 600 °C	2217	1	31.05.22	10.10.22	132	4571	46322			

<p style="text-align: center;">ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE FAKULTA STAVEBNÍ Thákurova 7, 166 28 PRAHA - 6, tel : 224 354 627 , fax : 224 354 446 , email : k133@fsv.cvut.cz ODBOURNÁ LABORATOŘ KATEDRY BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ</p>											
											
Zpráva o ultrazvukové impulsové zkoušce											
ze dne: 10.10.2022 Číslo protokolu : 9											
Výsledky laboratorních zkoušek											
Číslo vzorku	Ozn. tělesa	Objem. hmot. kg/m ³	Souč. rozm. prostředí	Datum		Stáří vzorku dny	Impuls. rychlost m/s	Dyn. modul pružnosti N/mm ²	Poznámka ke zkoušce		
				výroby d.m.r	3. měření d.m.r						
37	0 %; 600 °C	2199	1	31.05.22	10.10.22	132	-	-	nekalitní kontakt		
38	0 %; 600 °C	2228	1	31.05.22	10.10.22	132	-	-	nekalitní kontakt		
39	0 %; 600 °C	2216	1	31.05.22	10.10.22	132	-	-	nekalitní kontakt		
40	0 %; 600 °C	2230	1	31.05.22	10.10.22	132	-	-	nekalitní kontakt		
41	0 %; 600 °C	2228	1	31.05.22	10.10.22	132	-	-	nekalitní kontakt		
42	0 %; 600 °C	2204	1	31.05.22	10.10.22	132	-	-	nekalitní kontakt		
43	10 %; 600 °C	2200	1	31.05.22	10.10.22	132	-	-	nekalitní kontakt		
44	10 %; 600 °C	2225	1	31.05.22	10.10.22	132	-	-	nekalitní kontakt		
45	10 %; 600 °C	2183	1	31.05.22	10.10.22	132	-	-	nekalitní kontakt		
46	10 %; 600 °C	2223	1	31.05.22	10.10.22	132	-	-	nekalitní kontakt		
47	10 %; 600 °C	2236	1	31.05.22	10.10.22	132	-	-	nekalitní kontakt		
48	10 %; 600 °C	2240	1	31.05.22	10.10.22	132	-	-	nekalitní kontakt		
49	20 %; 600 °C	2229	1	31.05.22	10.10.22	132	-	-	nekalitní kontakt		
50	20 %; 600 °C	2242	1	31.05.22	10.10.22	132	-	-	nekalitní kontakt		
51	20 %; 600 °C	2249	1	31.05.22	10.10.22	132	-	-	nekalitní kontakt		
52	20 %; 600 °C	2225	1	31.05.22	10.10.22	132	-	-	nekalitní kontakt		
53	20 %; 600 °C	2227	1	31.05.22	10.10.22	132	-	-	nekalitní kontakt		
54	20 %; 600 °C	2217	1	31.05.22	10.10.22	132	-	-	nekalitní kontakt		

Číslo vzorku		Ozn. tělesa	Objem. hmot. kg/m ³	Souč. rozm. prostředí	Datum		Stáří vzorku dny	Impuls. rychlost m/s	Dyn. modul pružnosti N/mm ²	Poznámka ke zkoušce
					výroby d.m.r	1. měření d.m.r				
55	0 %; 800 °C	2182	1	31.05.22	29.06.22	29	4805	50378		
56	0 %; 800 °C	2196	1	31.05.22	29.06.22	29	4706	48634		
57	0 %; 800 °C	2222	1	31.05.22	29.06.22	29	4748	50092		
58	0 %; 800 °C	2194	1	31.05.22	29.06.22	29	4762	49753		
59	0 %; 800 °C	2164	1	31.05.22	29.06.22	29	4834	50567		
60	0 %; 800 °C	2211	1	31.05.22	29.06.22	29	4624	47274		
61	10 %; 800 °C	2191	1	31.05.22	29.06.22	29	4834	51198		
62	10 %; 800 °C	2194	1	31.05.22	29.06.22	29	4734	49169		
63	10 %; 800 °C	2201	1	31.05.22	29.06.22	29	4790	50500		
64	10 %; 800 °C	2195	1	31.05.22	29.06.22	29	4692	48323		
65	10 %; 800 °C	2318	1	31.05.22	29.06.22	29	4692	51030		
66	10 %; 800 °C	2196	1	31.05.22	29.06.22	29	4734	49214		
67	20 %; 800 °C	2172	1	31.05.22	29.06.22	29	4706	48102		
68	20 %; 800 °C	2152	1	31.05.22	29.06.22	29	4720	47943		
69	20 %; 800 °C	2184	1	31.05.22	29.06.22	29	4734	48945		
70	20 %; 800 °C	2183	1	31.05.22	29.06.22	29	4692	48058		
71	20 %; 800 °C	2191	1	31.05.22	29.06.22	29	4692	48235		
72	20 %; 800 °C	2197	1	31.05.22	29.06.22	29	4706	48656		

Zpráva o ultrazvukové impulsově zkoušce

ze dne: 29.06.2022

Číslo protokolu : 10

Výsledky laboratorních zkoušek

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

Thákurova 7, 166 28 PRAHA - 6, tel : 224 354 627 , fax : 224 354 446 , email : k133@fsv.cvut.cz

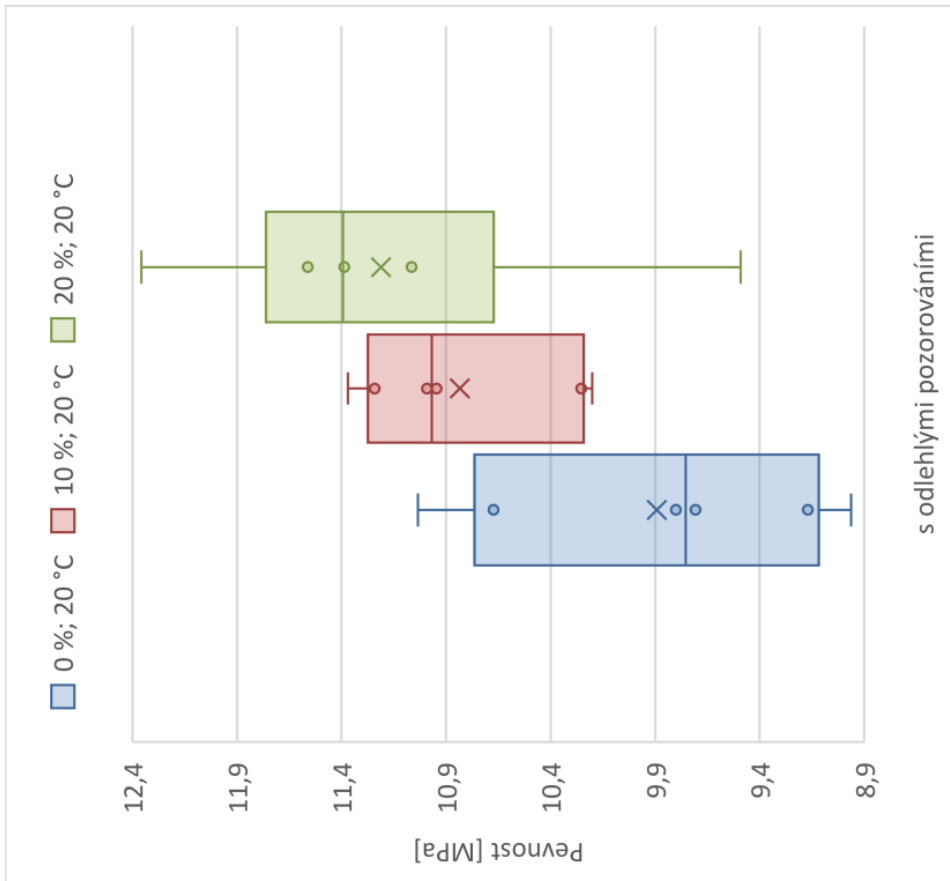
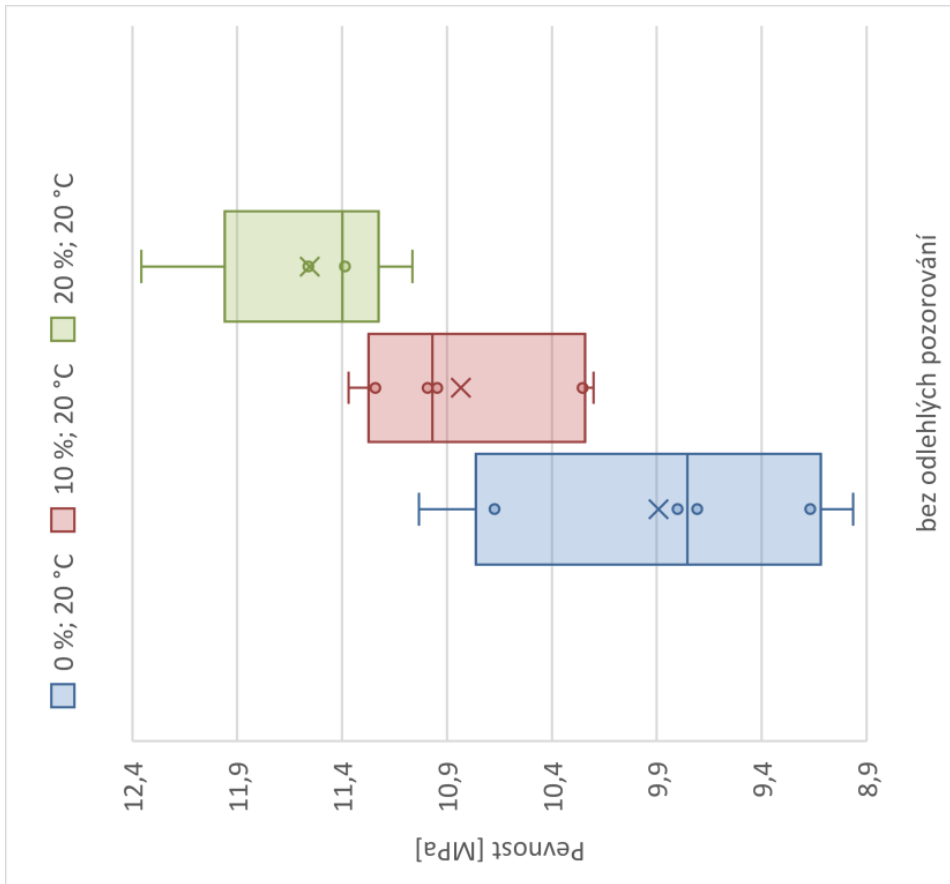
ODBOURNÁ LABORATOŘ KATEDRY BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ

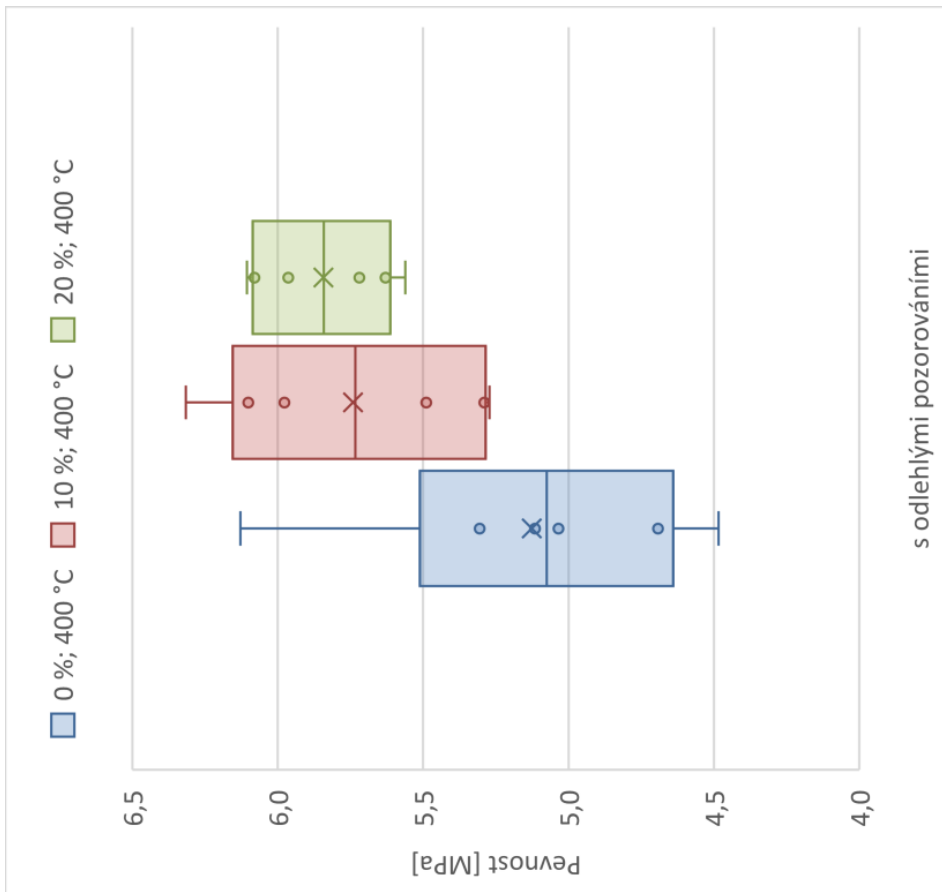
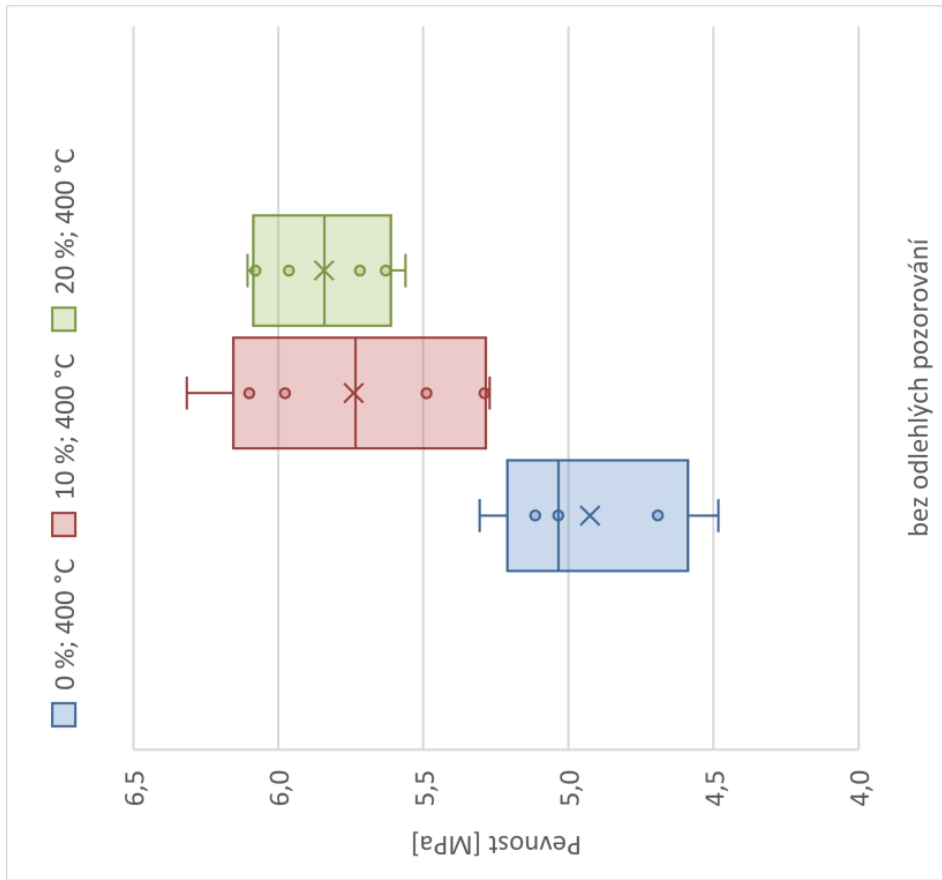


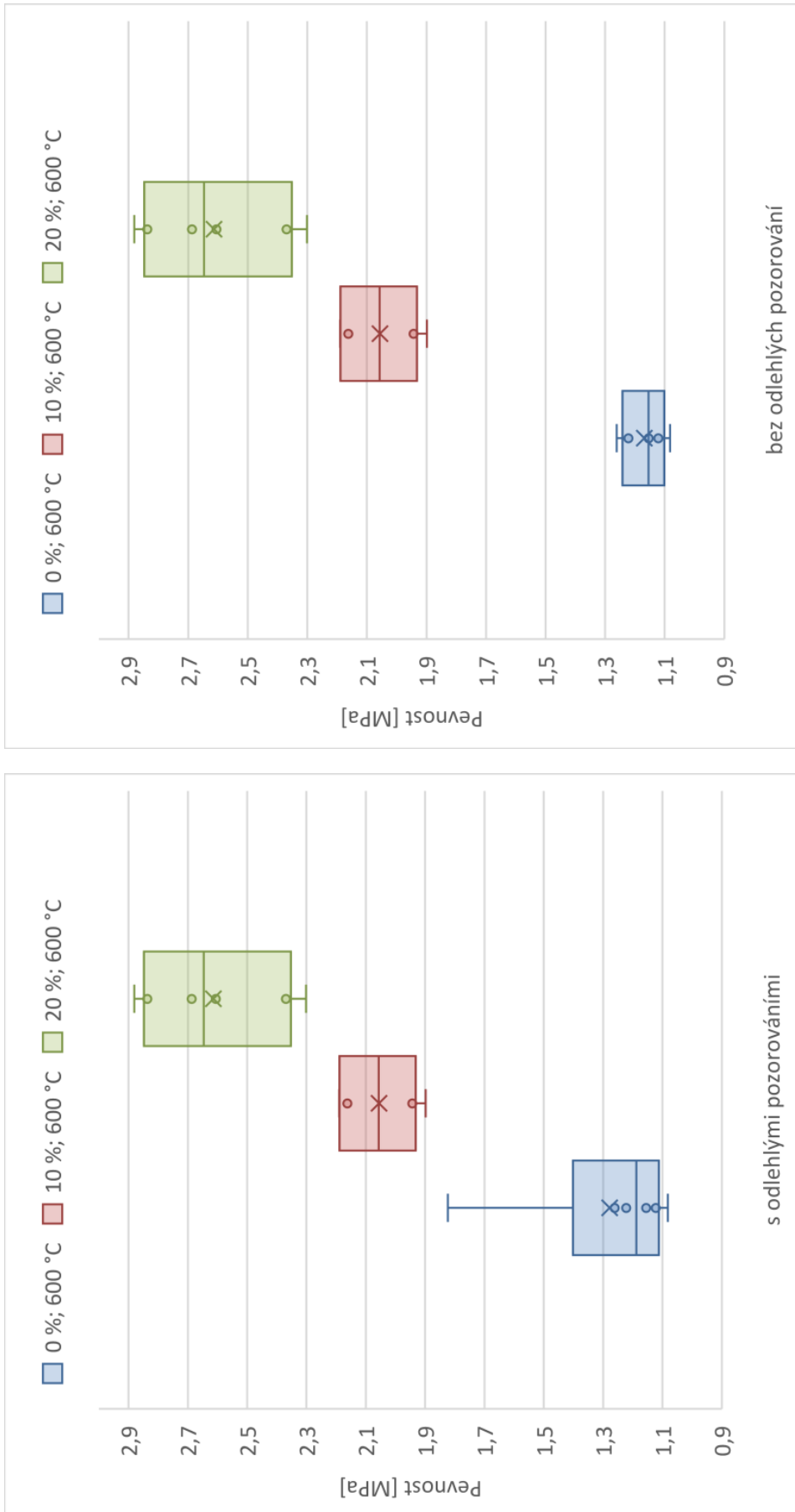
<p style="text-align: center;">ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE FAKULTA STAVEBNÍ Thákurova 7, 166 28 PRAHA - 6, tel : 224 354 627 , fax : 224 354 446 , email : k133@fsv.cvut.cz ODBOURNÁ LABORATOŘ KATEDRY BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ</p>												
Zpráva o ultrazvukové impulsové zkoušce										ze dne: 10.10.2022		Číslo protokolu : 11
Číslo vzorku	Ozn. tělesa	Objem. hmot. kg/m ³	Souč. rozm. prostředí	Datum		Stáří vzorku dny	Impuls. rychlost m/s	Dyn. modul pružnosti N/mm ²	Poznámka ke zkoušce			
				výroby d.m.r	2. měření d.m.r							
55	0 %; 800 °C	2182	1	31.05.22	10.10.22	132	4611	46392				
56	0 %; 800 °C	2196	1	31.05.22	10.10.22	132	4545	45363				
57	0 %; 800 °C	2222	1	31.05.22	10.10.22	132	4598	46977				
58	0 %; 800 °C	2194	1	31.05.22	10.10.22	132	4598	46385				
59	0 %; 800 °C	2164	1	31.05.22	10.10.22	132	4665	47093				
60	0 %; 800 °C	2211	1	31.05.22	10.10.22	132	4408	42961				
61	10 %; 800 °C	2191	1	31.05.22	10.10.22	132	4494	44250				
62	10 %; 800 °C	2194	1	31.05.22	10.10.22	132	4469	43818				
63	10 %; 800 °C	2201	1	31.05.22	10.10.22	132	4520	44967				
64	10 %; 800 °C	2195	1	31.05.22	10.10.22	132	4494	44330				
65	10 %; 800 °C	2318	1	31.05.22	10.10.22	132	4507	47086				
66	10 %; 800 °C	2196	1	31.05.22	10.10.22	132	4457	43623				
67	20 %; 800 °C	2172	1	31.05.22	10.10.22	132	4545	44867				
68	20 %; 800 °C	2152	1	31.05.22	10.10.22	132	4558	44709				
69	20 %; 800 °C	2184	1	31.05.22	10.10.22	132	4558	45373				
70	20 %; 800 °C	2183	1	31.05.22	10.10.22	132	4585	45892				
71	20 %; 800 °C	2191	1	31.05.22	10.10.22	132	4558	45519				
72	20 %; 800 °C	2197	1	31.05.22	10.10.22	132	4598	46448				

<p style="text-align: center;">ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE FAKULTA STAVEBNÍ Thákurova 7, 166 28 PRAHA - 6, tel : 224 354 627 , fax : 224 354 446 , email : k133@fsv.cvut.cz ODBORNÁ LABORATOŘ KATEDRY BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ</p>											
<p style="text-align: center;">Zpráva o ultrazvukové impulsové zkoušce</p>											
<p style="text-align: center;">Výsledky laboratorních zkoušek</p>											
Číslo vzorku	Ozn. tělesa	Objem. hmot. kg/m ³	Souč. rozm. prostředí	Datum		Stáří vzorku dny	Impuls. rychlost m/s	Dyn. modul pružnosti N/mm ²	Poznámka ke zkoušce		
				výroby d.m.r	3. měření d.m.r						
55	0 %; 800 °C	2182	1	31.05.22	10.10.22	132	-	-	nekalitní kontakt		
56	0 %; 800 °C	2196	1	31.05.22	10.10.22	132	-	-	nekalitní kontakt		
57	0 %; 800 °C	2222	1	31.05.22	10.10.22	132	-	-	nekalitní kontakt		
58	0 %; 800 °C	2194	1	31.05.22	10.10.22	132	-	-	nekalitní kontakt		
59	0 %; 800 °C	2164	1	31.05.22	10.10.22	132	-	-	nekalitní kontakt		
60	0 %; 800 °C	2211	1	31.05.22	10.10.22	132	-	-	nekalitní kontakt		
61	10 %; 800 °C	2191	1	31.05.22	10.10.22	132	-	-	nekalitní kontakt		
62	10 %; 800 °C	2194	1	31.05.22	10.10.22	132	-	-	nekalitní kontakt		
63	10 %; 800 °C	2201	1	31.05.22	10.10.22	132	-	-	nekalitní kontakt		
64	10 %; 800 °C	2195	1	31.05.22	10.10.22	132	-	-	nekalitní kontakt		
65	10 %; 800 °C	2318	1	31.05.22	10.10.22	132	-	-	nekalitní kontakt		
66	10 %; 800 °C	2196	1	31.05.22	10.10.22	132	-	-	nekalitní kontakt		
67	20 %; 800 °C	2172	1	31.05.22	10.10.22	132	-	-	nekalitní kontakt		
68	20 %; 800 °C	2152	1	31.05.22	10.10.22	132	-	-	nekalitní kontakt		
69	20 %; 800 °C	2184	1	31.05.22	10.10.22	132	-	-	nekalitní kontakt		
70	20 %; 800 °C	2183	1	31.05.22	10.10.22	132	-	-	nekalitní kontakt		
71	20 %; 800 °C	2191	1	31.05.22	10.10.22	132	-	-	nekalitní kontakt		
72	20 %; 800 °C	2197	1	31.05.22	10.10.22	132	-	-	nekalitní kontakt		

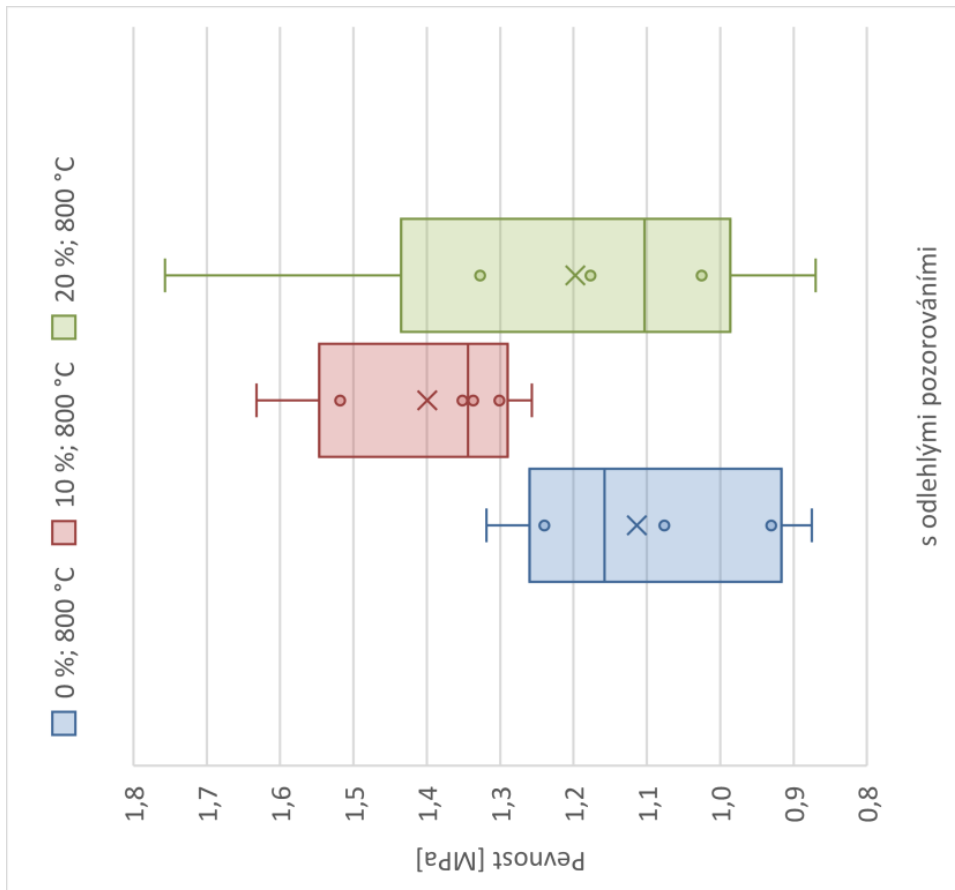
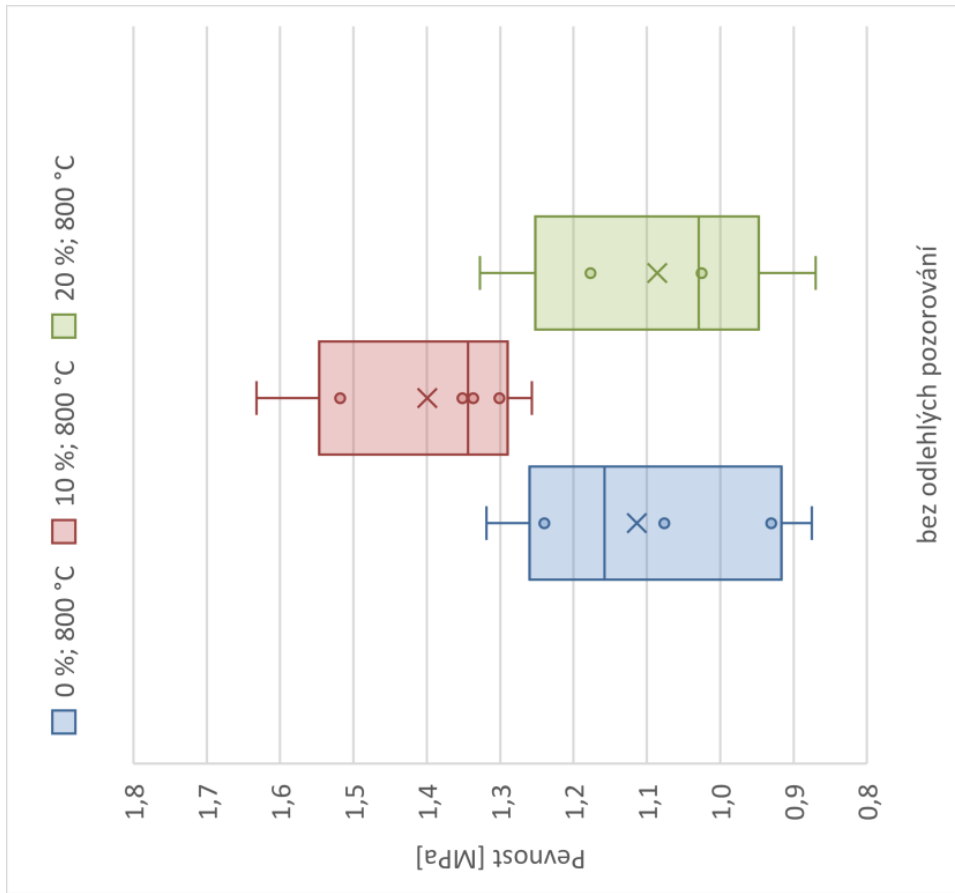
Příloha č. 6 – Krabicové grafy – Pevnost betonu v tahu ohybem





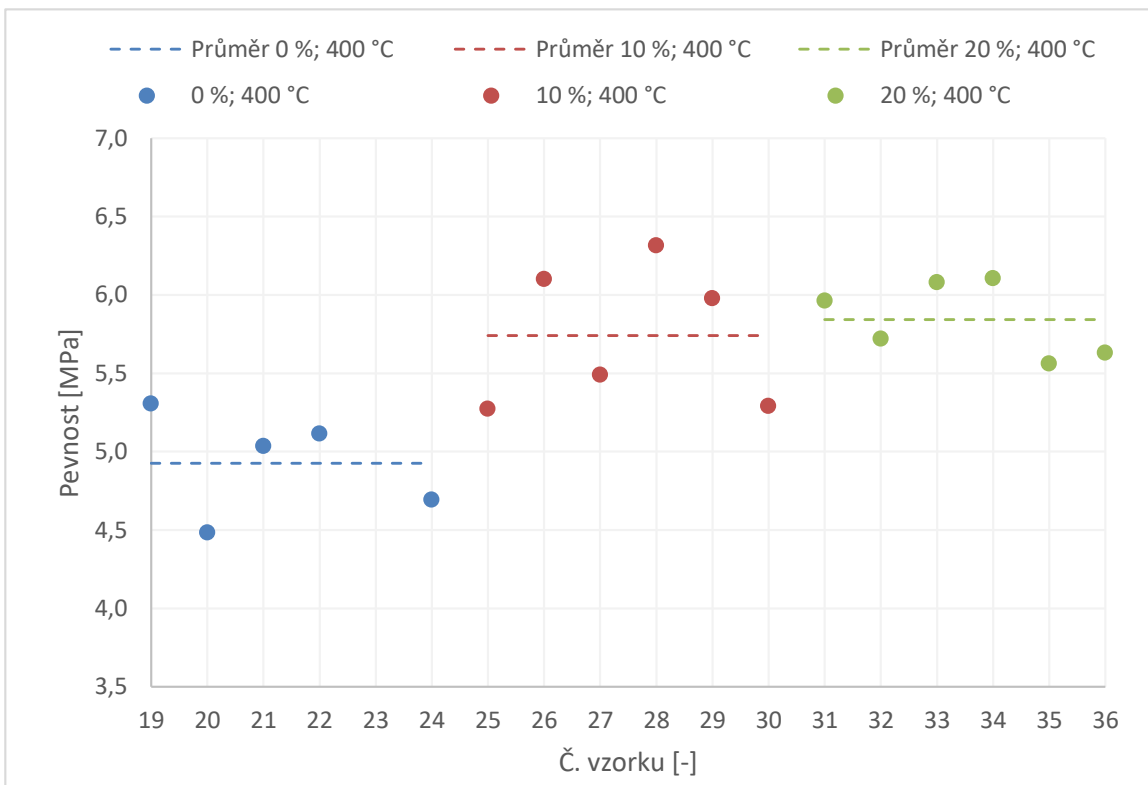
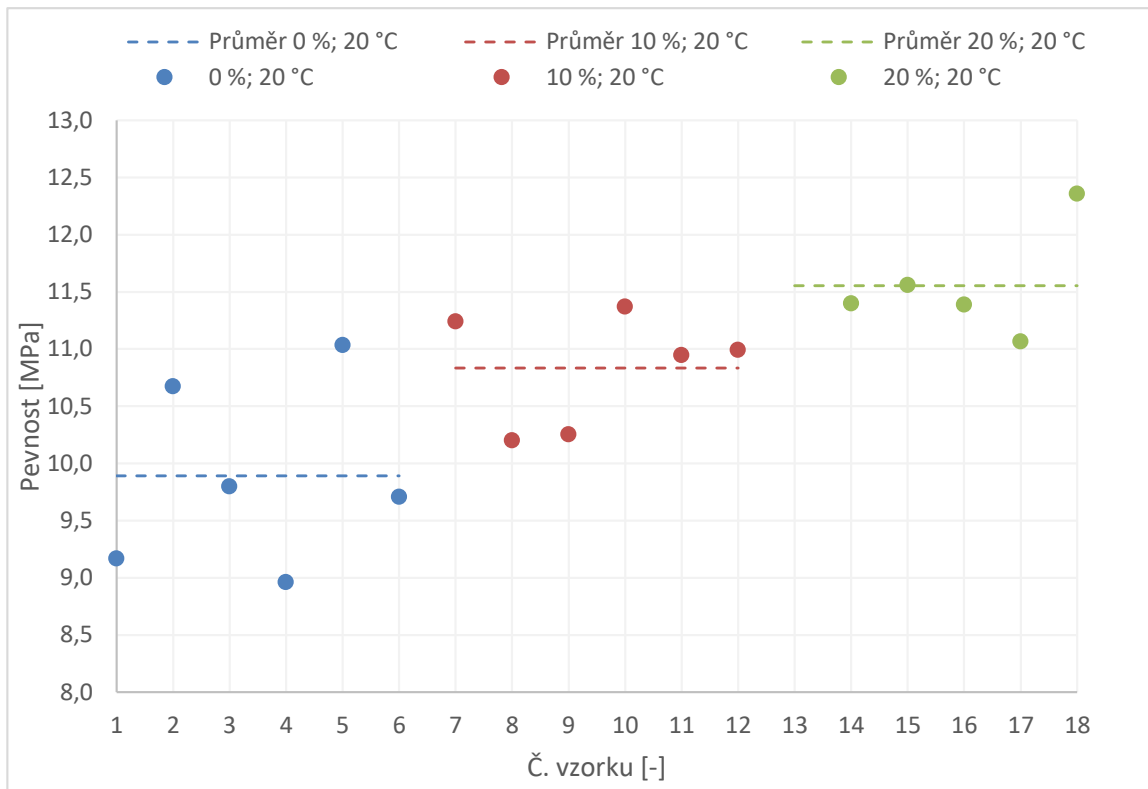


Příloha č. 6 – Krabicové grafy – Pevnost betonu v tahu ohybem

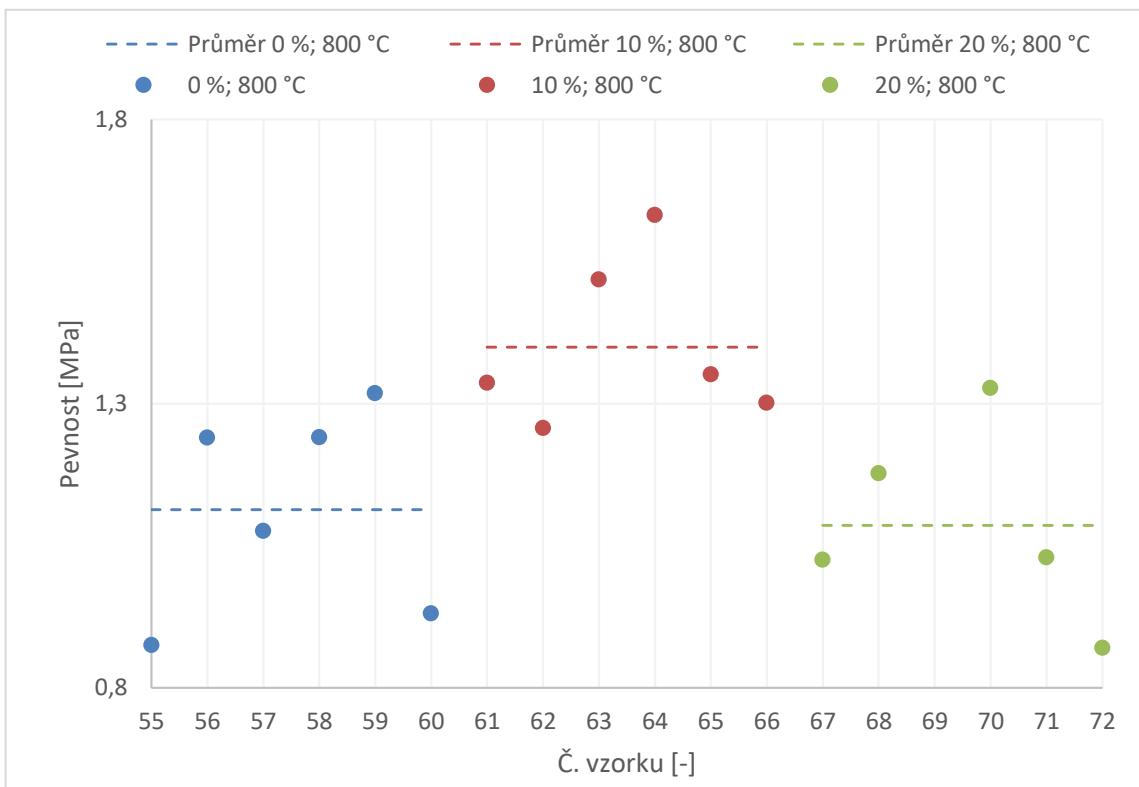
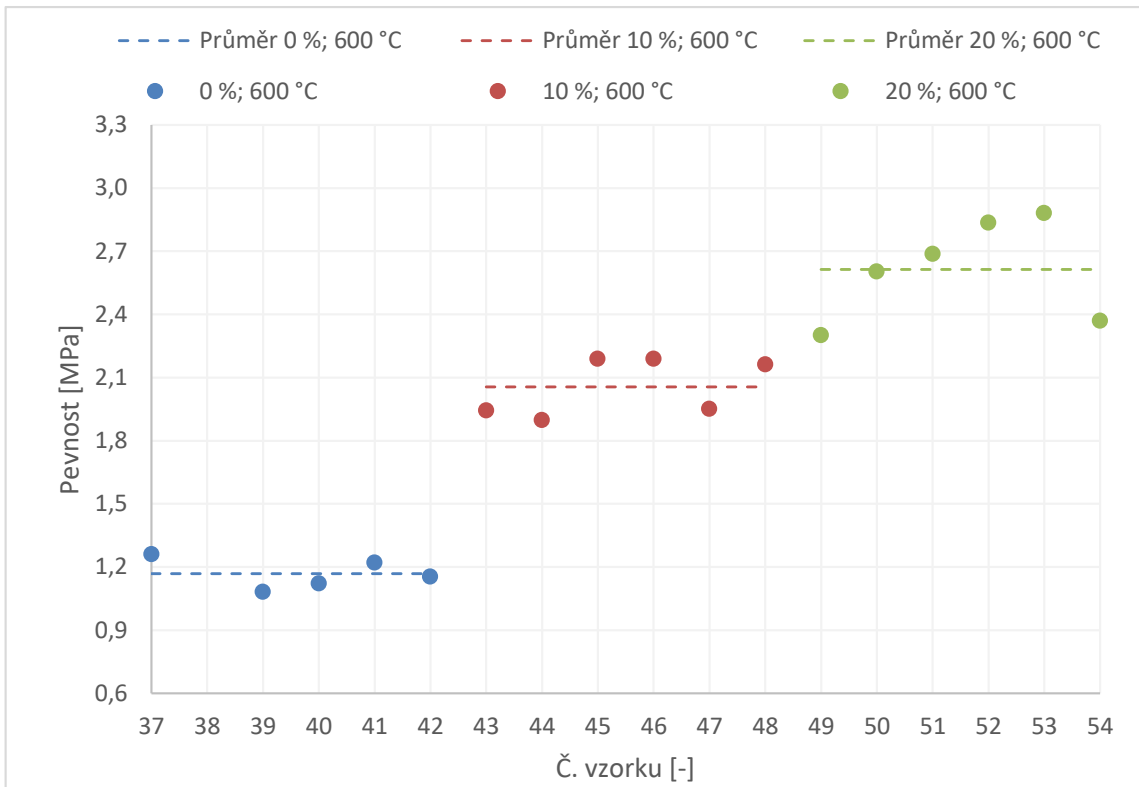


Příloha č. 7 – Kombinované grafy – Pevnost betonu v tahu ohybem

Příloha č. 7 – Kombinované grafy – Pevnost betonu v tahu ohybem

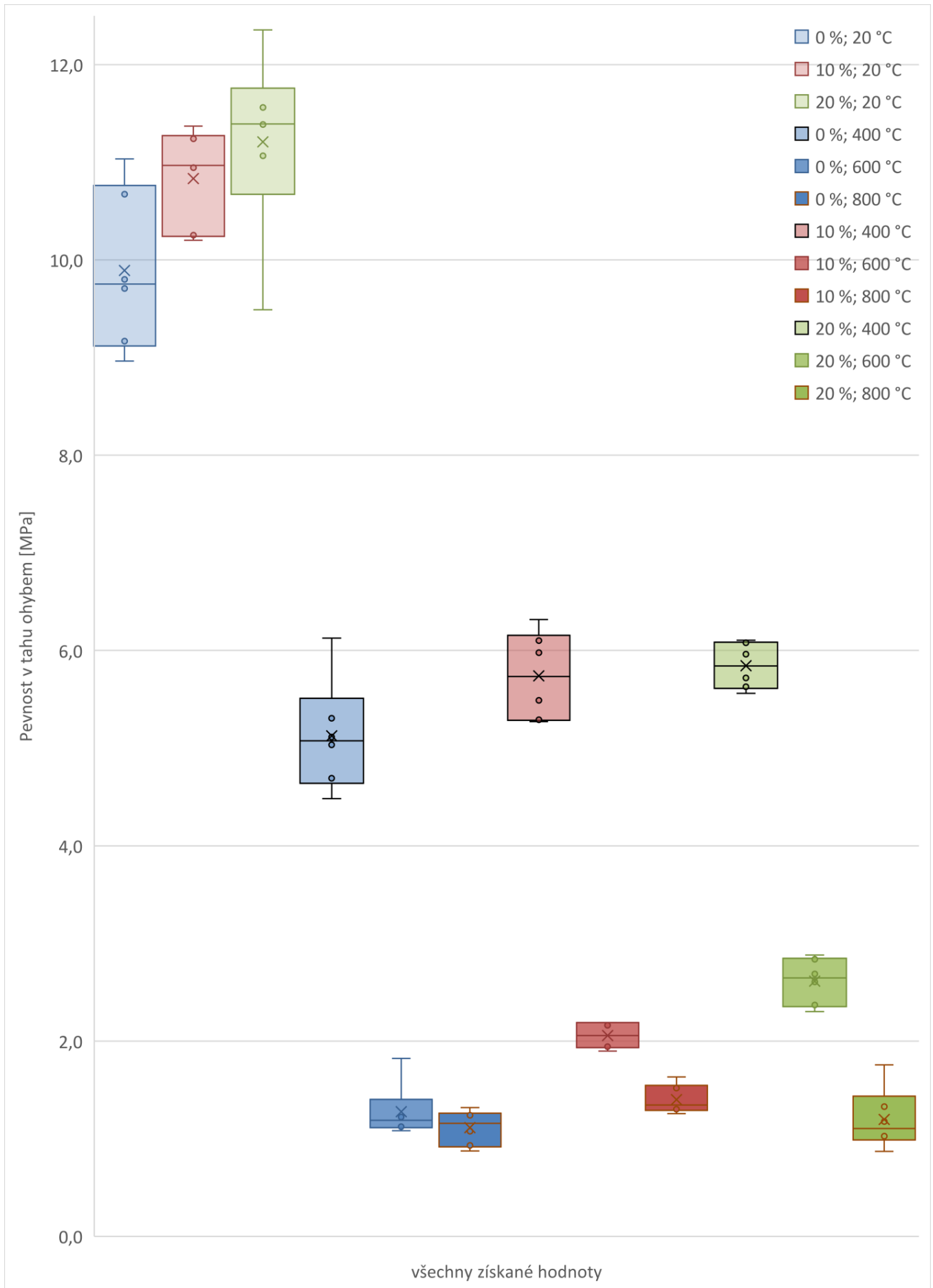


Příloha č. 7 – Kombinované grafy – Pevnost betonu v tahu ohybem

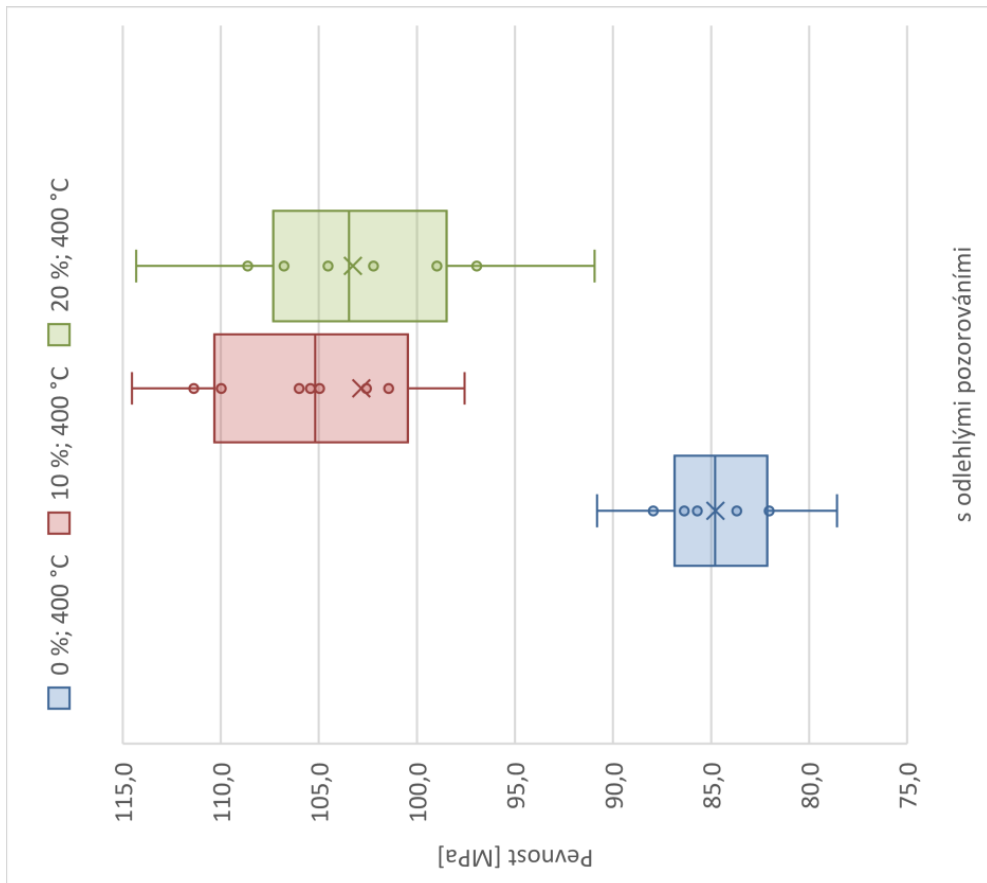
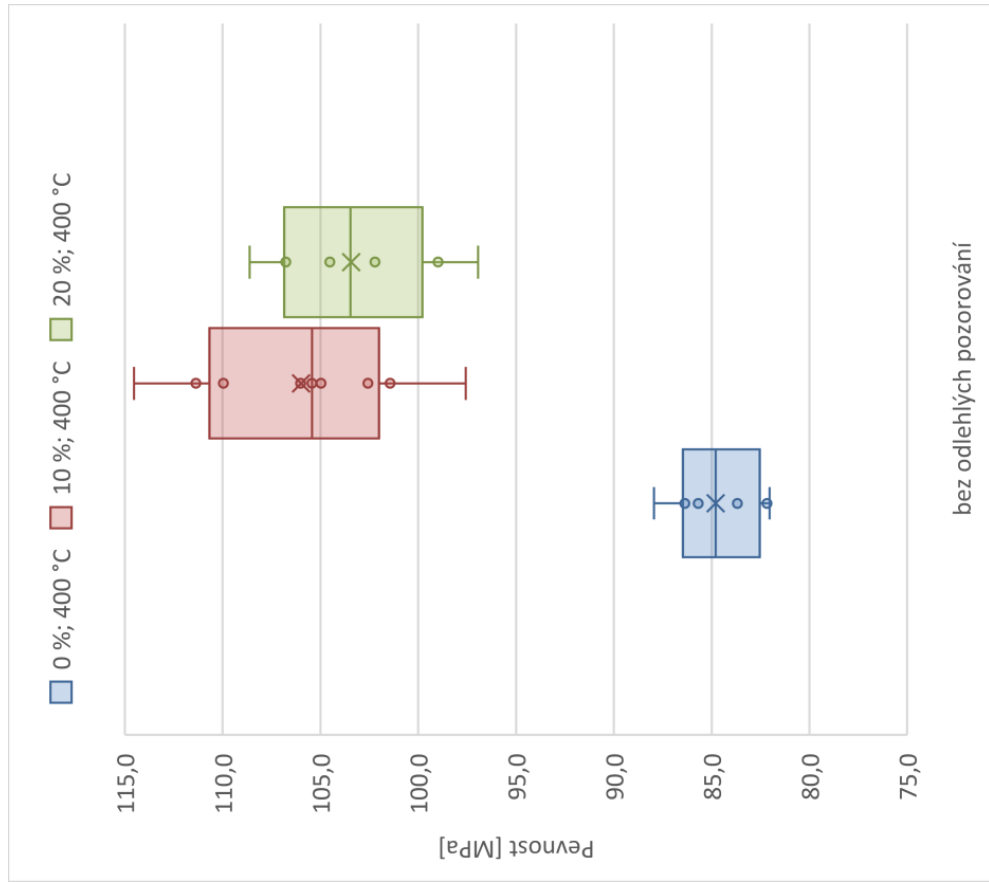


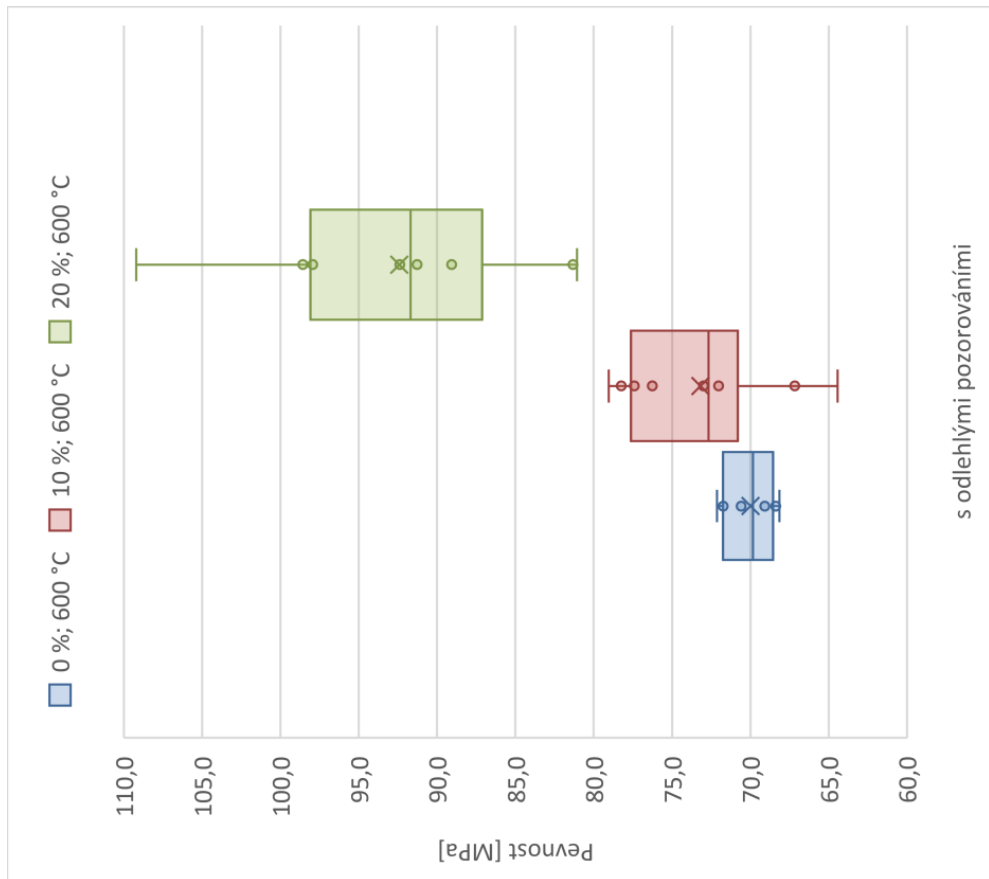
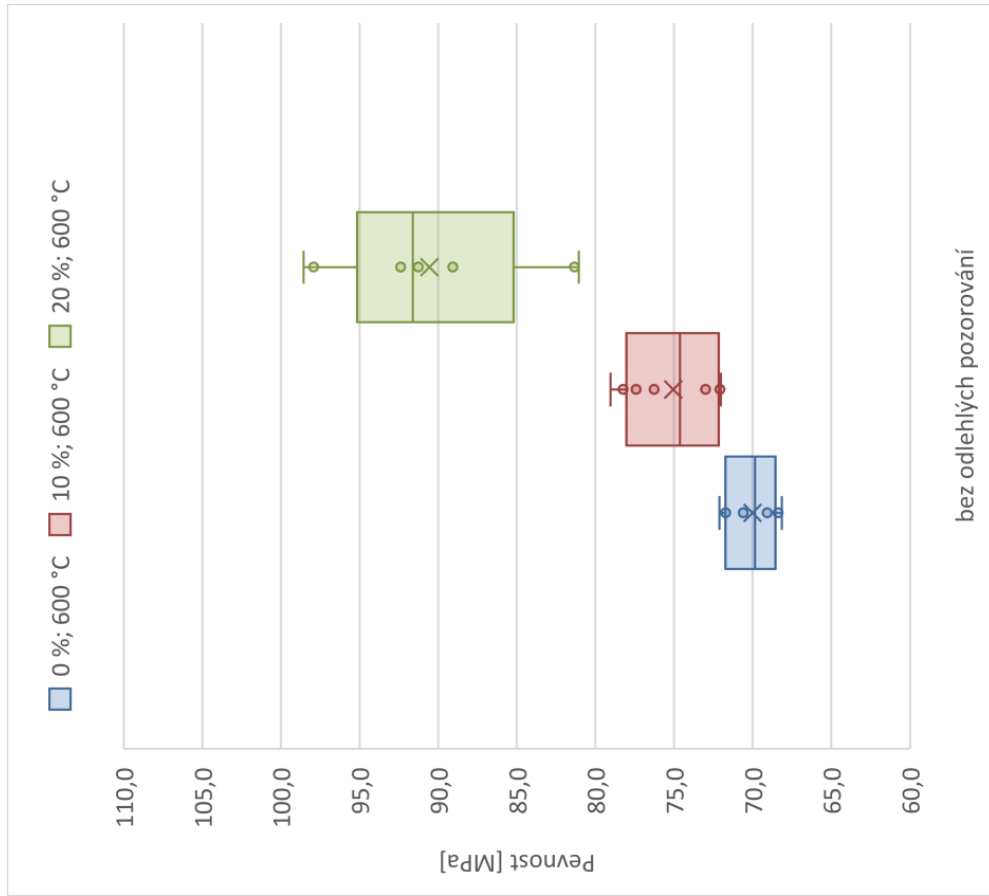
Příloha č. 8 – Souhrnný krabicový graf – Pevnost betonu v tahu ohybem

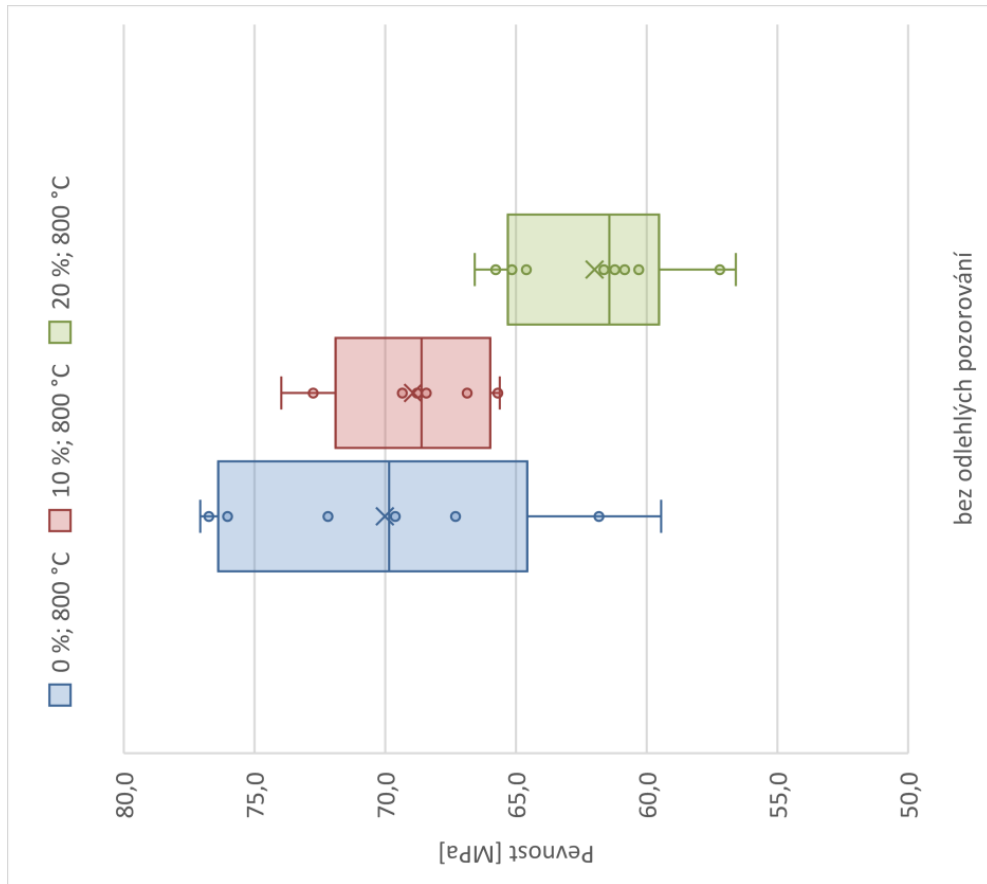
Příloha č. 0 – Souhrnný krabicový graf – Pevnost betonu v tahu ohybem



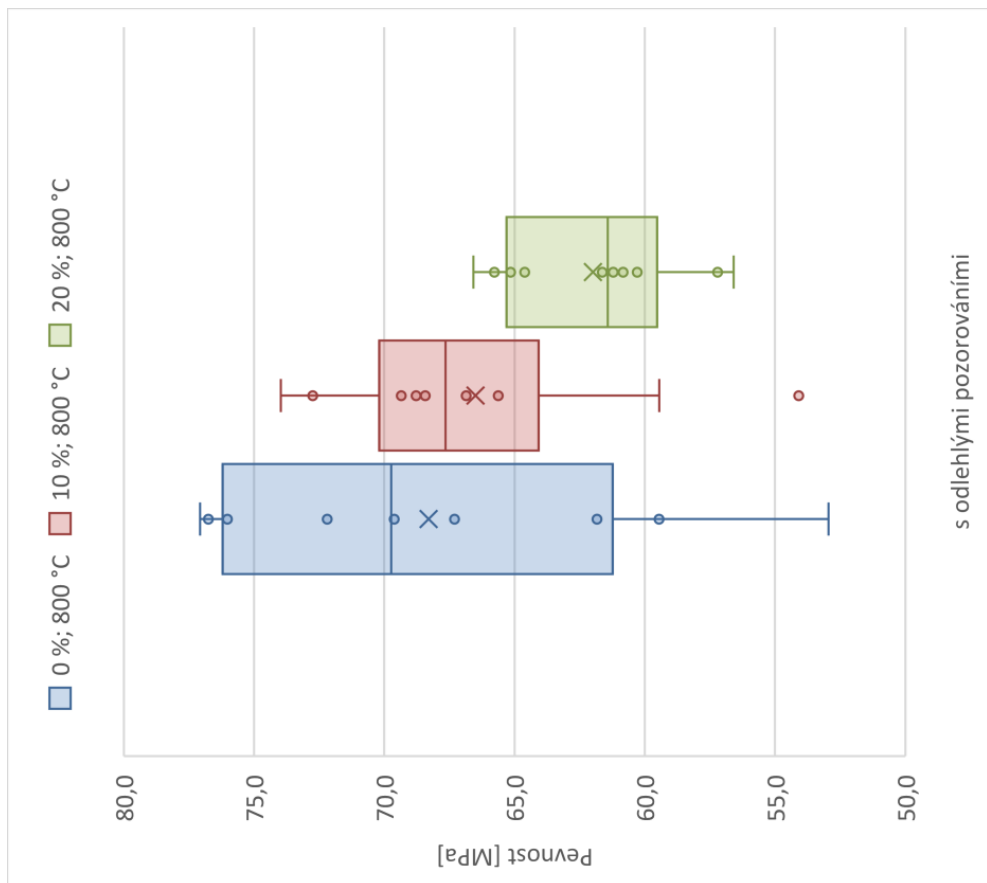
Příloha č. 9 – Křabicové grafy – Pevnost betonu v tlaku







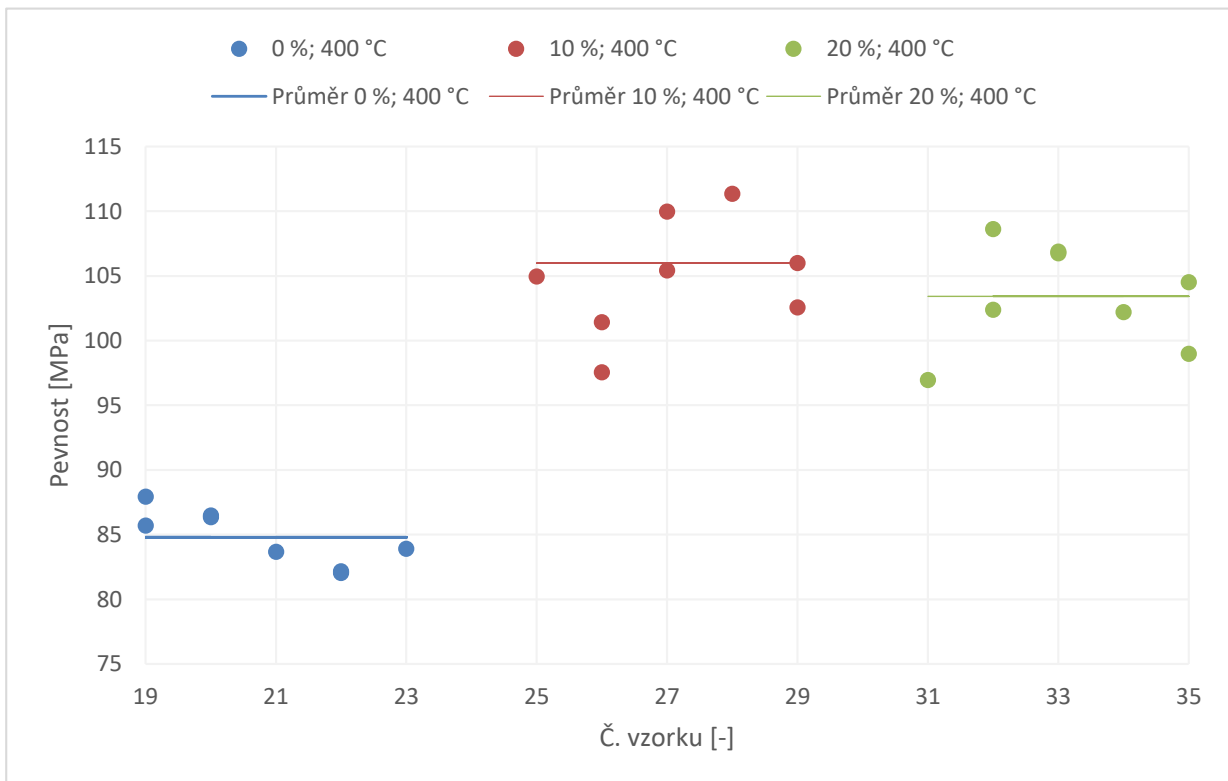
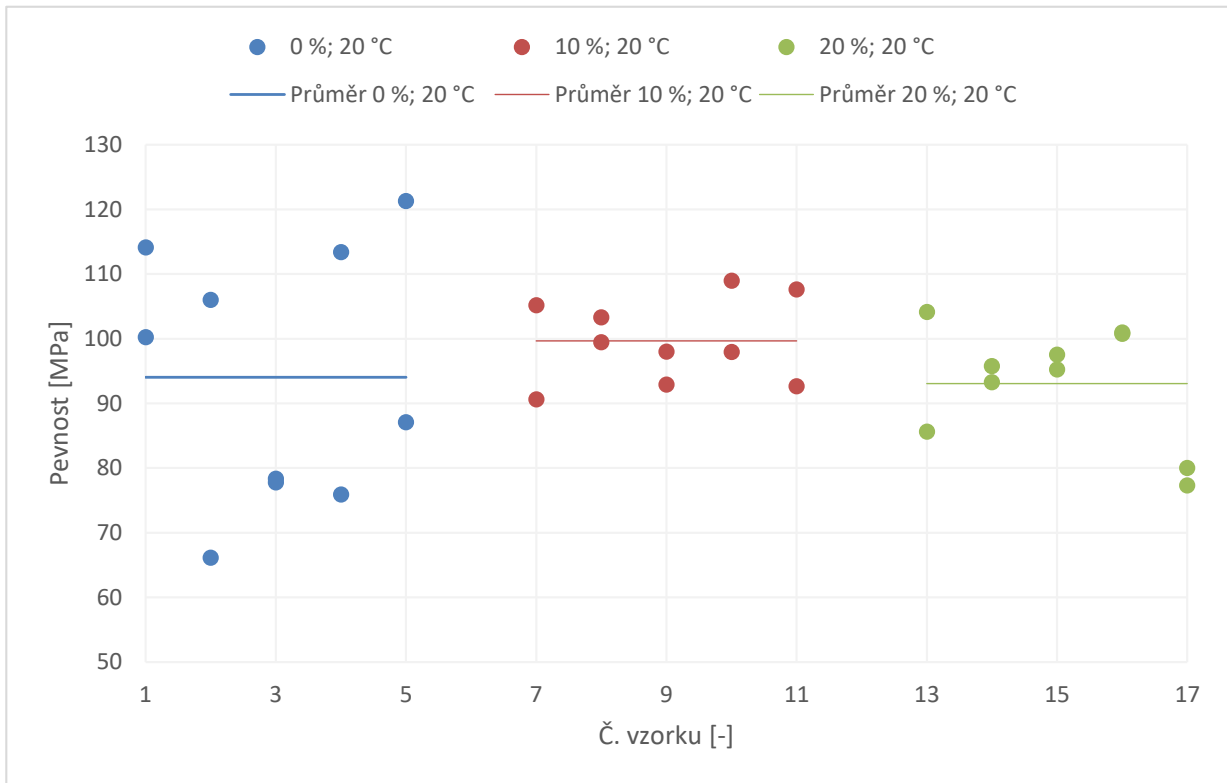
bez odlehlých pozorování



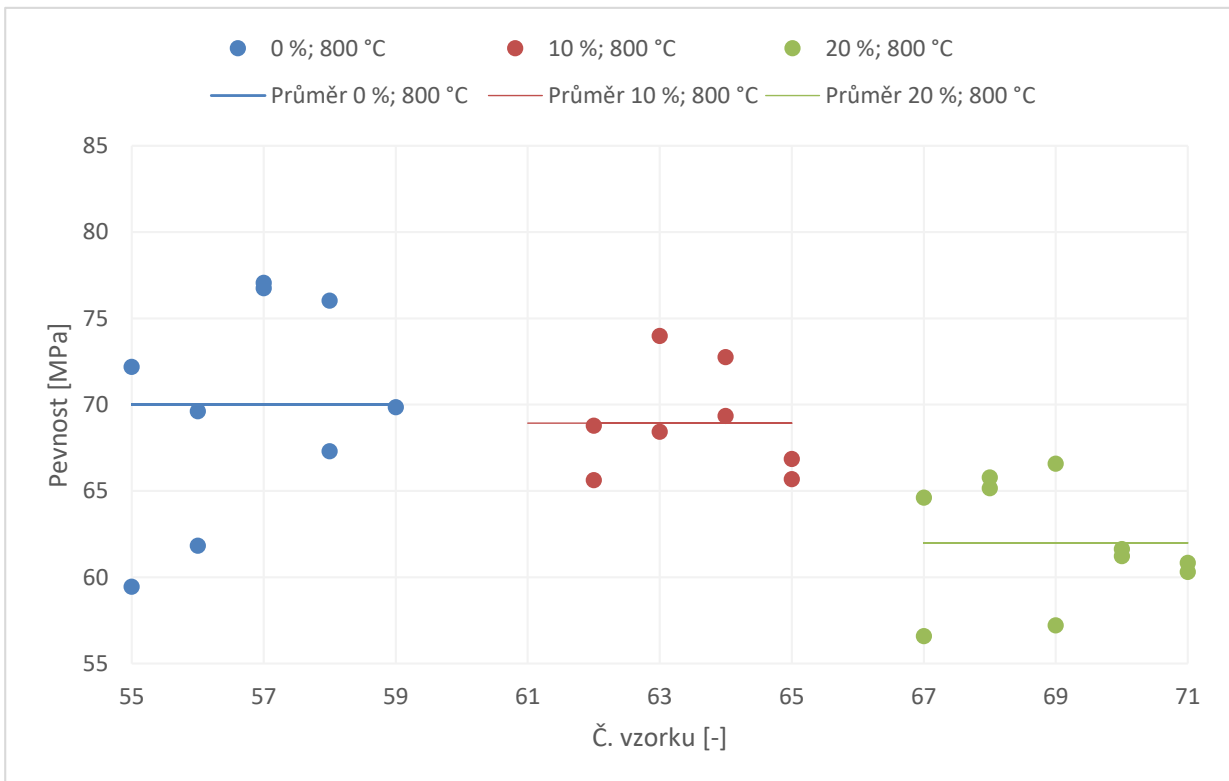
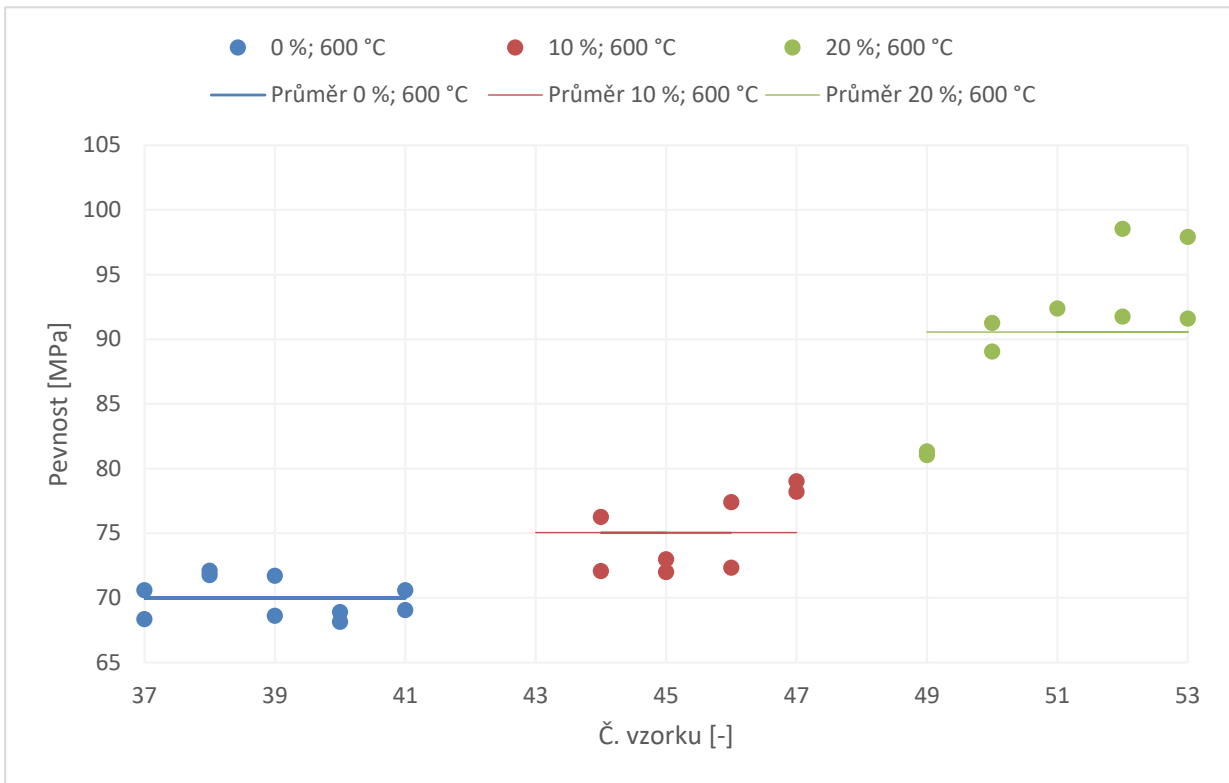
s odlehlými pozorováními

Příloha č. 10 – Kombinované grafy – Pevnost betonu v tlaku

Příloha č. 10 – Kombinované grafy – Pevnost betonu v tlaku

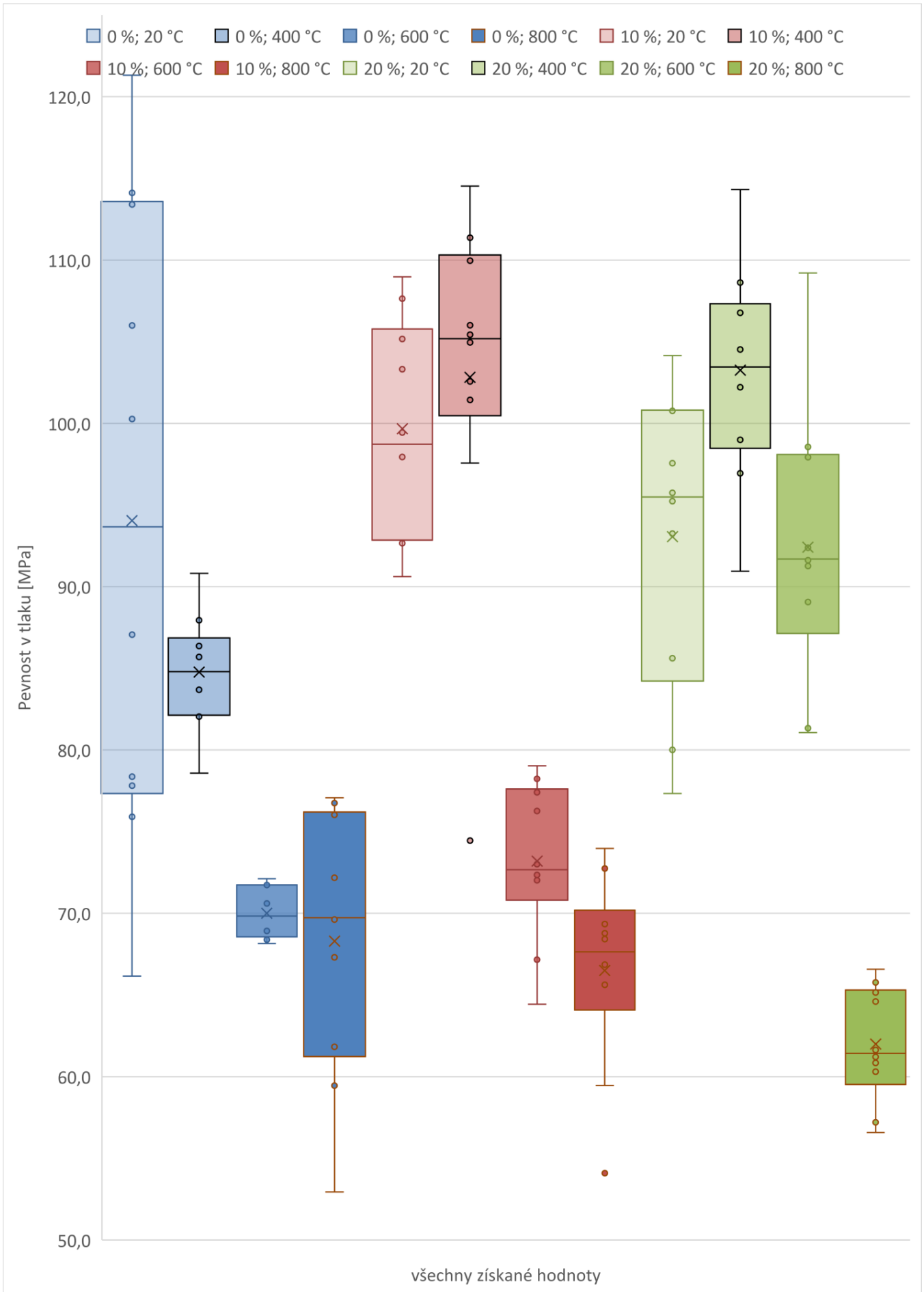


Příloha č. 10 – Kombinované grafy – Pevnost betonu v tlaku

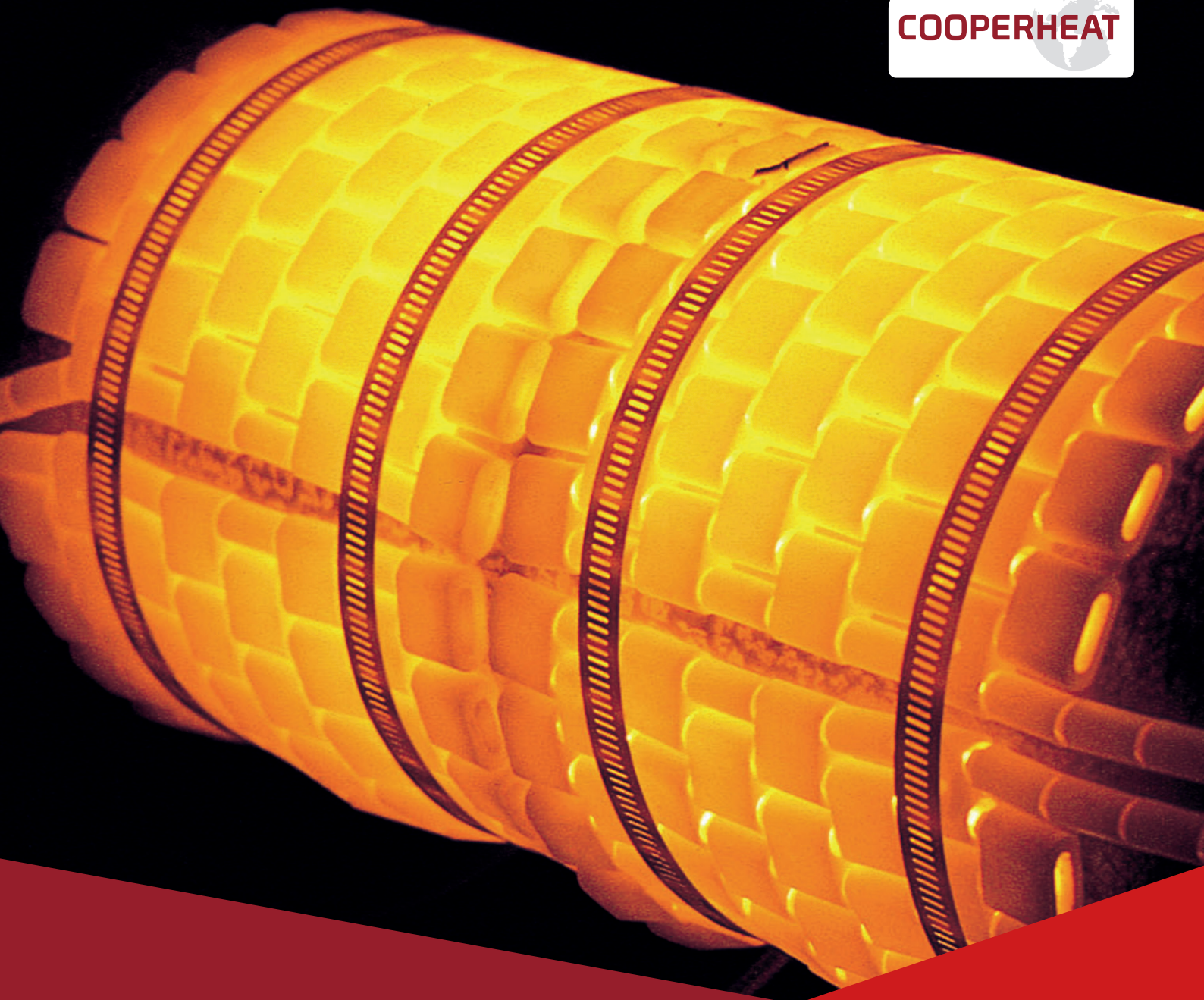


Příloha č. 11 – Souhrnný krabicový graf – Pevnost betonu v tlaku

Příloha č. 0 – Souhrnný krabicový graf – Pevnost betonu v tlaku



Příloha č. 12 – Produktový list – Zahřívací systém



HEAT TREATMENT EQUIPMENT CATALOGUE

LEADING INNOVATORS IN THERMAL TECHNOLOGY

Industry reference in thermal technology.
Every day, everywhere since 1958.

CONTENTS

INTRODUCTION

Page 2 - 3
Introduction to Cooperheat

Pages 3 - 7
Introduction to Heat Treatment

Pages 7 - 8
Introduction to Standards & Codes

Pages 9 - 15
Power Units

Pages 16 - 19
Temperature Control

Page 20 - 21
Temperature Recorder

Page 22
Thermocouple Attachment

Pages 23 - 32
Elements

Pages 33 - 35
Insulation

Page 36
Infrared Heaters

Pages 37 - 38
Surface Combustion Unit (SCU)

Pages 39 - 40
Cables

Pages 41 - 45
Accessories

Page 46
Global Stork Locations & Official Distributors

INTRODUCTION TO COOPERHEAT

Cooperheat was established in 1958 to provide on site heat treatment services to various industries. Today, our product range continues to expand into other market sectors.

The benefits that Cooperheat can offer are unparalleled expertise and product excellence throughout the world to businesses in heavy fabrication, oil and gas (on and offshore), forging, power generation, foundry, chemical, and any other industry where a heating process is a requirement.

Cooperheat's policy is to design and manufacture equipment, which best meets the requirements and specifications of our customers' needs. We have the skills and expertise to supply a range of innovative and versatile equipment, specifically designed with the needs of industry and the operator in mind. As the requirements of heat treatment specification, codes and standards become more demanding, there is a growing need for heat treatment equipment which can provide consistently reliable results, which conform to both national and international standards, and regulations.

Cooperheat designs, manufactures and supplies quality heat treatment equipment and furnaces, incorporating innovation, versatility and conformance. Heat treatment requirements are now more demanding than ever. This calls for consistently reliable, quality equipment and consumables, which the customer can be confident in using every time.

Cooperheat equipment provides the user with the flexibility to heat treat a range of pipe welds at the same time. From simple butt welds to complex pipe work and vessel fabrications, the range can give you a solution tailored to your specifications. The range includes all necessary power control units, temperature control and recording instruments, cables, heating elements, insulation and accessories.

As a market leader in the field of heat treatment, our range of heat treatment equipment fulfils both the general purpose and specialised needs of our customers. Our reputation for expertise and excellence is renowned throughout the world, our products are recognised globally for their quality, durability, reliability and high standards of safety.

INTRODUCTION

Our sales engineers and engineering departments are dedicated to providing the very best services to all our customers. Their extensive experience in the field of heat treatment ensures that they are well placed to discuss the customers' requirements and to provide an after sales support web.

GLOBAL PRESENCE - LOCAL SUPPORT

For sales and more information contact your local Cooperheat Equipment specialist at your nearest regional office. Full contact details can be found at the back of this guide.

INTRODUCTION TO HEAT TREATMENT

1. WELDING PROCESS EFFECTS

The welding process applied to metals joins two components together by fusion. The surfaces to be joined are raised locally to melting point by a source of heat provided by a variety of welding methods based on electric arc, electric resistance or flame. The process energy creates a localised molten pool into which the consumable is fed, fusing with the component surfaces and/or previously deposited weld metal. As the molten pool is moved along the joint axis the components are heated, non-uniformly and subsequently cooled, also non-uniformly. Neighbouring elements of material try to expand and contract by differing amounts in accordance with the sequence of the localised thermal cycle.

Characteristically, the cooling weld metal contracts under conditions of severe restraint, leading to the introduction of thermally induced stresses. As constraint tries to take place and the stress system strives to reach its lowest level to achieve stability, distortion will occur as yielding takes place. If the joint is restrained and cannot distort, then high levels of stress will occur and may lead to failure in the form of cracking.

In making a joint, gaps would occur at the plate ends if the weld metal was allowed to expand and contract without restraint. A longitudinal force on the weld is required to close the gap giving a tensile stress whilst corresponding compressive stresses in the plate material providing the equilibrium. Residual stresses will act in two principle

directions; longitudinal stresses parallel to the joint and transverse stresses normal to the joint. It should not be forgotten that the value of the tensile stresses can be high, often exceeding yield point magnitude. So far the mechanical effects of welding in the form of residual stresses have been considered, the deposition of weld metal in a molten pool and the localised melting of the joint faces of the components, along with subsequent cooling, all have metallurgical implications affecting the microstructure of these regions.

Cooling after welding can be relatively rapid. From the molten pool of weld metal an 'as cast' type of structure develops. In the region of parent metal at the fusion face raised to melting point, metallurgical restructuring take place to give the heat affected zone (HAZ). In steel the heat affected zones are generally harder than the parent material with corresponding loss of ductility and resistance to impact.

Since the basic sources of weld failure are a consequence of thermal behaviour, a series of potential solutions arise based on the application of heat. The welding processes have to be controlled so that the residual stresses are minimised to protect the integrity of the overall fabrication and the metallurgical structures of the weld metal and heat affected zones are controlled to give properties which are not inferior to those of the parent material which have been used in the design of the product.

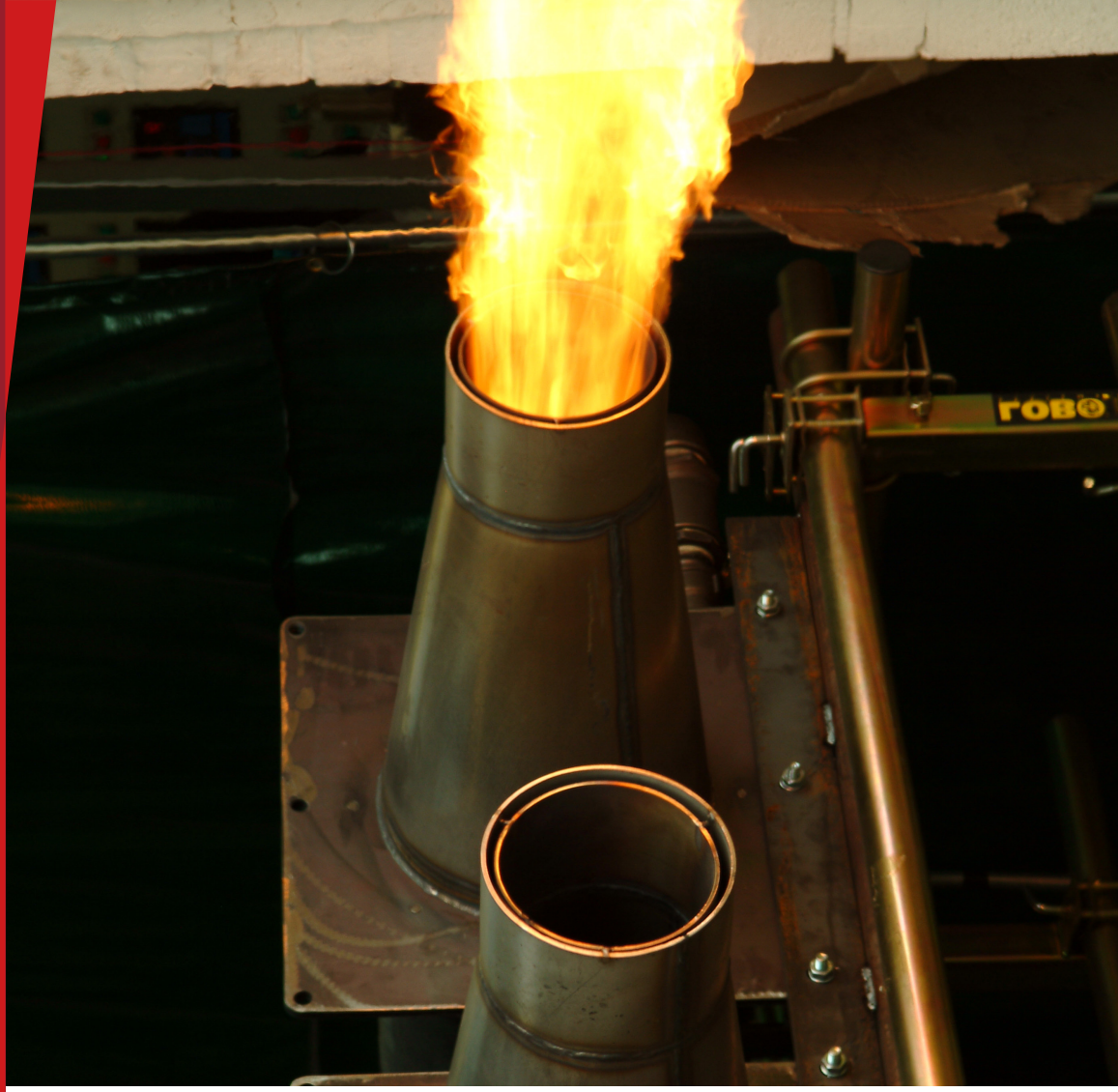
A series of heat treatment operations are associated with the welding processes, arising from the need to control these changes. These form the basis of the subject of Heat Treatment Engineering.

2. PREHEAT & POSTHEAT

Preheating involves raising the temperature of the parent material locally, on both sides of the joint to a value above ambient. The need for preheat is usually determined by the pertinent fabrication code and verified by the weld procedure qualification test. Preheat may be required as an aid to welding for one of four basic reasons.

A. To control the rate of cooling, especially in the heat affected zone, to reduce hardness. High carbon and low alloy steels harden if they are quenched from high temperatures

INTRODUCTION





(above cherry red). Exactly the same process can happen in a welded joint at the fusion face with the parent material. By raising the temperature of the base metal to be welded, to reduce the temperature differential between ambient and the resultant heat input, hardening may be controlled as the weld cools. Reducing hardness reduces the risk of cracking.

B. To control the diffusion rate of hydrogen in a welded joint. The intensity of the electric arc breaks down water, present as moisture, into its base elements of hydrogen and oxygen. Both of these gases are easily dissolved into the weld metal at high temperatures, and hydrogen can play an important role in weld and heat affected zone cracking with a phenomenon known as hydrogen or cold cracking. Preheat can also help by ensuring that the weld preparation area is dry and remains dry throughout the welding operation. The presence of preheat, and associated benefits on cooling rate, helps to facilitate the diffusion of the hydrogen molecules out of the metallic structure. Moisture is also introduced from the welding consumables being present in electrode coatings and fluxes. To obtain the maximum benefits from preheat controlling hydrogen, it must be accompanied by careful controls over removal of moisture from the welding consumables by following manufacturer's baking and storage instructions.

C. To reduce thermal stresses. Thermal strains are set up as the molten weld pool cools. Partially made welds can crack as the parent metal restrains the contraction of the weld metal and the cross sectional area of the joint is insufficient to withstand the resultant stress. Preheat can control the level of strain by reducing temperature differentials and reducing cooling rates.

D. Compensation for heat loss. Thicker section steels with high thermal conductivity benefit from preheating during welding improved fusion. Where preheat is applied, every effort should be made to ensure the correct levels of particular application are attained, both uniformly over the length of the joint and for the duration of the welding process. Preheat treatments are often specified by the client who has incorporated the heat treatment procedure / welding procedure specification.

Post Heat. This is the term given to the extension of preheat on completion of the welding at the same or increased

temperature. Its purpose is to effect diffusion of hydrogen from the joint and reduce susceptibility to the associated form of cracking. It is usually applied to the higher strength carbon manganese steels and the low alloy steels where the risk of hydrogen cracking is higher. Post heat treatments are often specified by the client who has incorporated the heat treatment procedure /welding procedure specification.

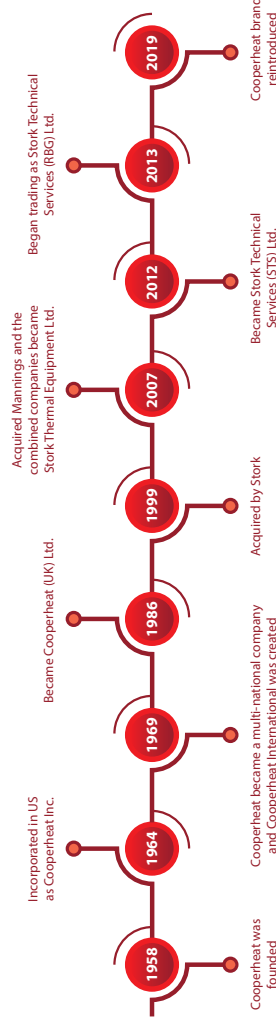
3. POST WELD HEAT TREATMENT (PWHT)

Post weld heat treatment. This is a process commonly referred to as stress relief, so called because it is carried out at temperatures at which yield strength has fallen to a low value. If the structure is heated uniformly, the yield strength of the material around the weld is unable to support the initial deformation. Creep occurs at the elevated temperatures and strain will occur by a diffusion mechanism, relaxing the residual stresses even further. The extent to which residual stresses are relaxed will depend on temperature for any given material and on material for any given temperature. The stress distributions at the higher temperatures become more uniform and their magnitude reduces to a low level. On cooling, provided it is carried out in a controlled manner, the improved stress distribution is retained. In addition to a reduction and re-distribution of residual stresses, post weld treatments at higher temperatures permits some tempering or aging effects to take place. These metallurgical changes are very beneficial in that they reduce the high hardness of the as-welded structures, improving ductility and reducing the risks of brittle fracture. Post weld heat treatment has mandatory significance governed by the national standards and codes, as well as being required to offer acceptable component life in onerous environments. As with preheat, the alloying content of the steel is related to the significance of heat treatment temperature.

Features of Post Weld Heat Treatment. There are five aspects to a post weld heat treatment that must be addressed. The hot zone is adequate to raise the weldment to the required temperature and provide a temperature profile therein which is uniform without creating additional undue thermally induced stresses. This aspect has greater significance in the case of localised heat treatments, but nevertheless must also be considered with furnace heat treatments. The heating and cooling rates are at least compliant with the necessary code requirements. These rates will indicate absolute maximum

INTRODUCTION

INTRODUCTION



values, and are calculated from simple formulae related to component thickness to offer protection against thermally induced stresses. With thicker and more complex structures an experienced heat treatment engineer may wish to consider lower rates than required by the code to ensure acceptable temperature profiles and gradients with a view to keeping these thermally induced stresses to an absolute minimum.

With localised heat treatment, the temperature gradients away from the hot zone must not be unduly severe, again the objective being the minimisation of thermally induced stresses.

The heat treatment system (including insulation), zonal division and number of thermocouples is such that the energy input and level of control is capable of enabling these objectives to be met ensuring that the integrity of the overall structure is not jeopardised.

For local heat treatments, controls have to be implemented to provide assurance that the engineered system is capable of providing appropriate levels of performance.

Benefits of Post Weld Heat Treatment

1. Reduced residual stresses.
2. Improved metallurgical structure.
3. Improved corrosion resistance.
4. Improved machinability.

specifies all aspects of the design, including material specification, design calculations to ensure adequate strength, welding methods, and materials, mechanical testing, non-destructive testing of welds, heat treatment, hydro testing, marking.

Generally, by complying with such standards, the end user is assured that the equipment is safe and fit for purpose – which is ultimately required by both the end user, and his insurers.

As is indicated above, included in the standards/codes of construction, are the requirements for heat treatment. All of the primary codes within the industry which we work, have a section relating to heat treatment requirements; these vary greatly in levels of detail provided.

The important point to note, is that any heat treatment work undertaken, must be in compliance with the code of construction that is being used by the client. It is therefore very important that this information is known right at the start of quotation process.

For most codes, the following information is provided:

- Temperature below which unrestricted heating /cooling is allowed
- Maximum/ Minimum heating and cooling rates
- Soak Temperature
- Soak Time

The above parameters are generally dependent upon the following:

- Soak Temperature – Material
- Heating/cooling rates - Maximum thickness of component being heated
- Soak Time - Weld Thickness

For the major codes, such as ASME VIII mentioned above, the available methods of heat treatment are also identified.

Some common standards that are often referred to:

Unfired Pressure Vessels:

- ASME VIII Div 1 & Div. 2
- PD5500
- AS1210

Process/Power Piping:

- ASME B31.1
- ASME B31.3
- BS2633
- AS4041

Storage Tanks:

- API 650
- API 620

Structural:

- AWS D1.1

In general, all of the codes are broadly similar in their specifications for heat treatment; however, there are also many subtle differences.

Soak Temperature: Carbon & Carbon Manganese Steels PWHT temperature is always in the region of 600°C; however, more recent versions of PD5500, quote 550 – 600°C, whereas ASME standards quote 593 ± 5°C minimum, and AS standards require 580 – 620°C (which was the requirement in the pre-2003 PD5500 version).

One of the key differences between the ASME and other standards, is the requirement for temperature gradient control. BS2633, and PD5500, require that the temperature at a distance of 2.5√rt, from the centre of the weld, reaches a minimum of half of the peak soak temperature during soak. This is to ensure that the temperature gradient is not too severe, such that it causes undesirable levels of thermal stresses.

BS2633, also stipulates that thermocouples are positioned at 1.5t, on each side of the weld - these are required to achieve full soak temperature, in addition to thermocouples at 2.5√rt for gradient monitoring.

MANNINGS TRANSFORMER POWER UNIT (6 OUTPUT CHANNEL)

Choice of 6 channel versions make the units ideally suitable for pre & post weld heat treatment of pipework and vessels. Housed in a Zintec steel wheeled cabinet, the unit is mobile, well balanced and finished in Blue.

These units provide a 65V supply for powering various types of low voltage heating elements. The output channels are controlled by means of energy regulators and temperature controllers, provision is also made for external control from any suitable programmer via a panel mounted control plug. Each channel has its own auto/manual switch so any combination of channels can be operated in either auto or manual mode. The units are protected against over current or over temperature conditions.

- Features:**
- Outputs for 60V heaters
 - Controllers can be set to operate in °C or °F
 - Displays set point and work piece temperature
 - Neon shows power on for each output channel
 - Fitted with temperature controllers and energy regulators as standard
 - Core winding thermostats provide automatic protection against transformer coil overheating
 - Primary over-current protection provided by a 3-phase circuit breaker
 - Multi pin output to connect external programmer
 - Selector switches per channel to allow for internal temperature control or external
 - Safety plugs fitted as standard to all 65V outputs

6 Way	kVA Rating	65V Output	Max Current Per Output Channel	Energy Regulators	Temperature Controllers
11000	50	•	Each heater rated @ 45Amps (Total 135A per channel)	•	•
11100	70	•	Each heater rated @ 45Amps (Total 180A per channel)	•	•

BASIC SPECIFICATION OF MANNING'S POWER UNITS (6 OUTPUT CHANNEL)

TRANSFORMER CORE

- 3-phase, forced air cooled, Class H, 50 or 70kV
- Primary winding connected in Delta
- Secondary winding connected in Star

PRIMARY SUPPLY

- Primary voltage: 380V, 415V, 440V
- Frequency: 50/60Hz

PROTECTION

- 3-phase circuit breaker with shunt trip
- Three primary core winding over temperature thermostats thermal trips linked to circuit breaker shunt trip

SECONDARY OUTPUTS

- Output: 65V
- Temperature controlled output channels
- Auxiliary outputs: Two 110V, centre tapped @ 5A, output sockets

CONTROL

- 110V energy regulators
- 110V temperature controllers

- Multi-pin Bulgin socket for remote programmer
- Mode Selection: Auto/Manual switches
- Indicators: 110V neon channel indicators

CASE & MOBILITY

- Case: Robust sheet steel case complete with fitted two off fixed and two off swivel/braked 150mm rubber wheels
- Lifting Method: Fork lift under base

MAINS CONNECTION

- The units are complete with 4.5m of four core primary cable

SWITCHING

- Contactorsised – 200A, 110V a.c. solenoid contactors



COOPERHEAT TRANSFORMER POWER UNIT (6 & 12 OUTPUT CHANNEL)

Compliance with international heat treatment codes and standards requires equipment that can provide accurate control of the heat treatment specification parameters, including uniformity of temperature throughout the geometry of the work piece. As part of our commitment to continuing innovation, Cooperheat's 50kVA and 70kVA Heat Treatment Modules include our unique Advantage 3 temperature programmer/controllers which ensure the required temperature uniformity within each control zone. The design of our equipment is based on over 60 years experience as a market leader in the field of heat treatment and has been developed to meet the real needs of the heat treatment engineering industry.

Features:

- Outputs per channel for both 30V or 60V heaters (40V and 80V output units also available)
- Advantage 3 operates in °C or °F
- Unique Advantage 3 programmer/controller linking

- features allow the operator to carry out up to 6 heat treatment cycles simultaneously
- Each Advantage 3 communicates with other controlling zones on the same heat treatment. This controls and limits the differential between each control zone within the work piece being heated
- Displays set point and work piece temperature
- LED shows power on for each output channel
- Connector block provided for simple connection of primary supply cable
- Constructed from high-grade stainless steel giving excellent protection against corrosion, including marine offshore applications
- Core winding thermostats provide automatic protection against transformer coil overheating
- Primary over-current protection provided by a 3-phase circuit breaker
- Safe voltages employed. Voltage to earth from any single output socket is 32.5V a.c.



BASIC SPECIFICATION OF COOPERHEAT TRANSFORMER POWER UNITS (6 & 12 OUTPUT CHANNEL)

TRANSFORMER CORE

- 3-phase, forced air cooled, class H,
- Primary winding connected in Delta
- Secondary winding connected in Star
- Auxiliary winding: 110V a.c. 3.3kVA single phase

PRIMARY SUPPLY

- Primary voltage: 380V, 415V, 440V
- Frequency: 50/60Hz

PROTECTION

- 3-phase circuit breaker with shunt trip
- Three primary core winding over temperature thermostats thermal trips linked to circuit breaker shunt trip

SECONDARY OUTPUTS

- Output: 32.5V – 0V – 32.5V (for 30V and 60V heating element operation)
- Auxiliary outputs: Two 110V, centre tapped @ 5A, output sockets

6 Way	12 Way	kVA Rating	32.5V—0V—32.5V Output	Max Current Per Output Channel	Temperature Controllers
16050		50	•	Each heater rated @ 45Amps (Total 135A per channel)	ADV3s
16051		70	•	Each heater rated @ 45Amps (Total 180A per channel)	ADV3s
	16059	70	•	Each heater rated @ 45Amps (Total 90A per channel)	ADV3s
	16100	100	•	Each heater rated @ 45Amps (Total 135A per channel)	ADV3s

CASE & MOBILITY

- Case: 304 stainless steel case complete with two of fixed and two of swivel/braked 150mm rubber wheels
- Lifting method: Fork lift under base

TEMPERATURE CONTROL

- Temperature measurement, display and control
- Degrees Fahrenheit or degrees centigrade
- Start temperature
- Temperature ramp up and down in degrees per hour
- Hold/soak temperature set point and hold/soak time period setting

MAINS CONNECTION

- The units are complete with 4.5m of four core primary cable

SWITCHING

- Double pole, 180A, contactors with 110V a.c. coil

CONFIGURABLE HEAT TREATMENT POWER SOURCE

Stock Reference: 18 Series (see order code)

The design of our equipment is based on over 60 years' experience as a market leader in the field of heat treatment and has been developed to meet the real needs of the heat treatment engineering industry. As we are aware customers' requirements vary and therefore we have released a configurable range of heat treatment power sources where the customer can specify a unit ranging from a base unit with no control or remote functionality all the way up to a fully programmable unit with built in chart recorder. The best features from all our power sources have been built into this range to give what we feel is the foremost power source available in the market place.

These features include:

- Stainless Steel construction suitable for the worst environments including marine offshore applications
- Extra safe low output voltage of 32.5 – 0 – 32.5V giving 65V for supplying 60V elements yet only giving 32.5V to earth therefore reducing leakage and any potential for shock

- Earth fault monitoring circuit which will trip the unit out in the event of any earth fault occurring that causes significant earth current to flow
- Integrated lifting points so that the unit can be easily slung for movement around a site
- Quick removal panels with plug and play harness connections so that units can easily be upgraded.
- Industry proven transformer core with thousands in use around the world
- Rubber castors instead of Nylon giving much less vibration when moving the units
- Outputs per channel for both 30V and 60V heaters
- Controllers and programmers operate in °C or °F and display set point and work piece temperature
- Indicator displays Power On for each output channel
- Units supplied with a primary supply cable but internal connector block means that this can easily be changed if required
- Thermal trips embedded in each transformer winding offer protection against overheating
- Primary over-current protection provided by a 3-phase circuit-breaker.

ORDER CODES

BASIC PRODUCT	18	70kVA stainless steel heat treatment power source
1/ NUMBER OF CONTROL WAYS	> 3	3 Output channels
	> 6	6 Output channels
	> 9	9 Output channels
	> 2	12 Output channels
2/ TYPE OF CONTROL	> 0	None (external controller required)
	> 1	Energy regulator
	> 2	Set point temperature controller & energy regulator
	> 3	Advantage 3 programmer
	> 4	Cooper6 programmer
	> 5	P256A programmer
	> 6	Cooper8 programmer
3/ AUXILIARY 110V SOCKETS & REMOTE CONTROL	> 2	2 off Auxiliary sockets
	> 3	3 off Auxiliary sockets
	> 7	2 off Auxiliary sockets with remote socket for external controller
	> 8	3 off Auxiliary sockets with remote socket for external controller

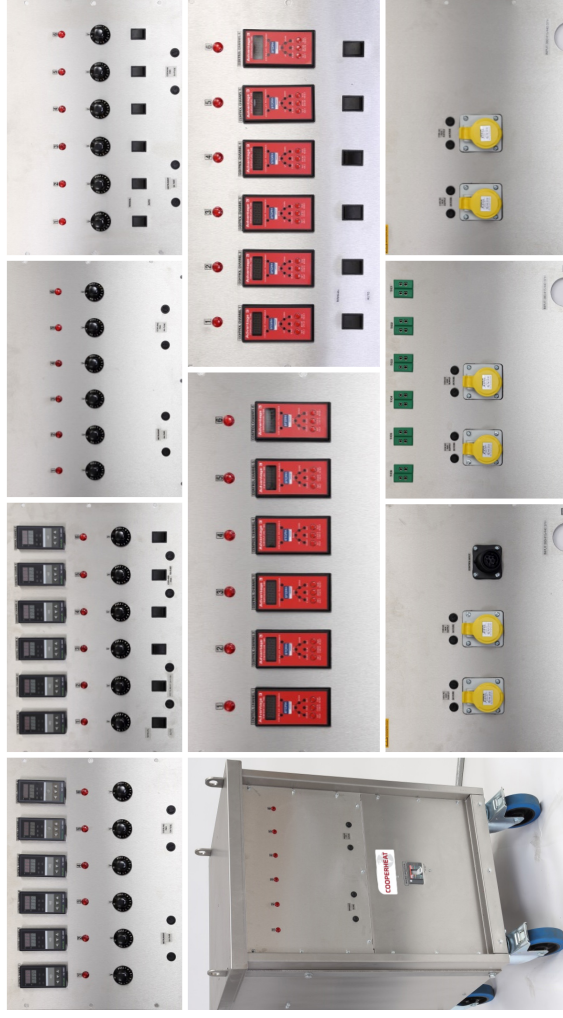
4/ CHART RECORDERS

> 0	No recorder
> 1	Chino 3000 series - analogue
> 2	Chino 4000 series - digital
> 3	Fuji PHA microjet - digital
> 4	Eurotherm 6801A - digital

18	1/	2/	3/	4/
----	----	----	----	----



VARIOUS CONFIGURATIONS FOR THE CONFIGURABLE HEAT TREATMENT POWER SOURCE



SPECIFICATION FOR CONFIGURABLE HEAT TREATMENT POWER SOURCE

TRANSFORMER CORE

- 3-phase, forced air cooled, class H, 70kVA
- Primary winding connected in delta
- Secondary winding connected in 6 phase star
- Auxiliary winding: 110V a.c. 3.3kVA single phase

PRIMARY SUPPLY

- Primary voltage: 380V, 415V, 440V
- Primary current: 106A, 97A, 92A
- Frequency: 50/60Hz

PROTECTION

- Three phase 125A circuit breaker with shunt trip
- Three primary core winding over temperature thermostats thermal trips linked to circuit breaker shunt trip
- Earth current monitor trip pre-set to 10A

SECONDARY OUTPUTS

- Output: 32.5V – 0V – 32.5V (for 30V and 60V heating element operation)
- Auxilliary outputs: Two 110V, centre tapped @ 5A, output sockets

- Number of controlled outputs as specified on ORDER CODES
- Maximum load per output channel: 3 Way – 360A; 6 Way – 180A; 9 Way – 120A; 12 Way – 90A

CASE & MOBILITY

- Case: 304 stainless steel case with galvanised steel base, fitted two off fixed and two off swivel/braked 150mm rubber castors
- Lifting method: Fork lift under base and lifting points

TEMPERATURE CONTROL

- As specified on order codes
- Degrees Fahrenheit or degrees centigrade
- Type K thermocouples

MAINS CONNECTION

- The units are complete with 4.5m of four core primary cable

SWITCHING

- Six off double pole, 180A, contractors with 110V a.c. coil

COOPERK9 – COMPACT 9KVA HEAT TREATMENT UNIT (3 OUTPUT CHANNEL)

Stock Reference: 16200

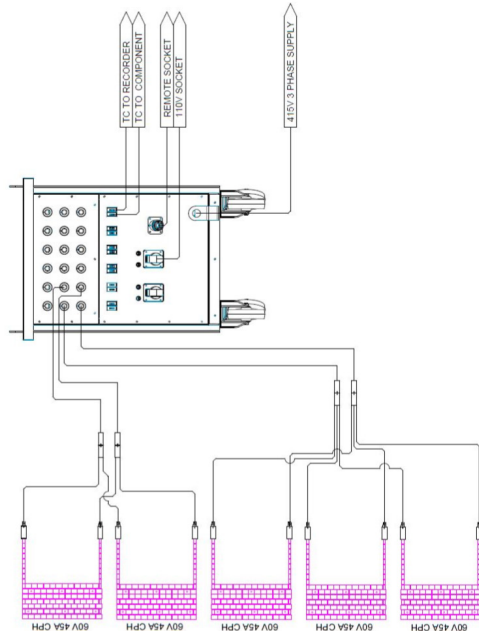
Cooperheat's CooperK9 has been developed in response to the demand within the heat treatment industry. Traditional heat treatment modules are heavy and require mobilisation using forklifts and large transport vehicles. The newly launched CooperK9 is a mobile and portable 9kVA three output channel heat treatment unit that can be loaded and off loaded from a pick up vehicle without the need for heavy lifting equipment such as a powered fork lift truck or crane. The CooperK9 splits into two halves. The top half contains the six point recorder and three programmer/controllers and contactors. The lower half contains the power transformer and air circulation fan. The compact module not only avoids the use of heavy lifting equipment, in addition it avoids mobilising valuable 50kVA or 70kVA assets to smaller heat treatment work scopes which may require less than 10kVA of power.

To complement and extend the range of compact heat treatment modules, Cooperheat has also developed the CooperK9-3. This module is so lightweight incorporating the power source/contacter unit in three stackable parts. Each part weighs 20kg, which is within the capacity for one person to load and off load from transportation.

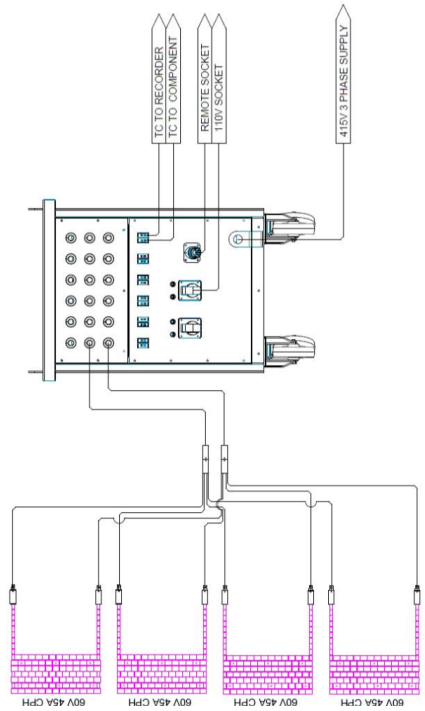
As with the standard CooperK9, the units are simple to stack and then easily transported by means of a pull out (trolley suitcase type) handle and wide roller wheels suitable for use on all typical industrial surfaces. Furthermore, a unit with no inbuilt recorder is available for operators that wish to use their own portable recorders or where chart recording is not required. A six channel unit, using six 30V heaters is also offered with or without an inbuilt recorder.



SCHEMATIC OF A TYPICAL TWO & THREE HEATER CONTROL CIRCUIT



SCHEMATIC OF A TYPICAL FOUR HEATER CONTROL CIRCUIT



BASIC SPECIFICATION OF COOPERK9 – COMPACT 9KVA HEAT TREATMENT UNIT (3 OUTPUT CHANNEL)

- Chart scale 0-1200°C (0-2200°F)
- Chart width: 100mm
- Chart length: 16m
- Recorder door rated to IP65

ADVANTAGE 3-TEMPERATURE PROGRAMMER/CONTROL PARAMETERS

- Temperature measurement, display and control: °C or °F
- Start and end temperature
- Temperature ramp up and down in degrees per hour
- Hold/soak temperature set point and hold/soak time period setting

CONSTRUCTION (ALL DIMENSIONS ARE NOMINAL)

- Cases material: Brushed Stainless Steel
- Upper control unit weight: 17kg
- Lower power unit weight: 52kg
- Upper control unit height: 390mm
- Lower control unit height: 470mm
- Upper control unit width: 335mm
- Lower control unit width: 335mm
- Upper control unit depth: 410mm
- Lower control unit depth: 410

SWITCHING

- Three single pole, 60A contactors with 110V a.c. coil

TRANSFORMER CORE

- Single phase natural air cooled, class H, 9kVA
- Auxiliary winding: 110V a.c. 0.5kVA single phase

PRIMARY SUPPLY

- Primary voltage: 380V, 415V, 440V
- Primary current: 24A
- Frequency: 50/60Hz

PROTECTION

- Double Pole, 32A Miniature Circuit Breaker (MCB) with shunt trip
- Core winding over temperature thermostats linked to MCB shunt trip

SECONDARY OUTPUTS

- Output: 32.5V – 0V – 32.5V (for 30V and 60V heating element operation)
- Auxiliary Output: 110V @ 1A, for TAU recharging
- Number of temperature controlled output channels: 3 channels
- Maximum load per output channel: 2.7kW (e.g. one 60V, 2.7kW heating element per output channel)
- Maximum current per output channel: 45A

TEMPERATURE RECORDER

- 6 channel dot matrix strip chart recorder
- LED digital display of channel number, temperature value °C or °F and recording and alarm status

COOPER36 (50KVA, 36 OUTPUT CHANNEL)

Stock Reference: 16080

Cooperheat's Cooper36 has been specifically designed to heat treat up to 36 small tubes and pipes simultaneously.

With Cooperheat's extensive industry knowledge, it was recognised that there was a requirement for a unit with a higher number of control channels that would be capable of controlling one heater per output specifically designed for small tubes/pipes (i.e. 1" to 5" diameter welds).

Traditionally, these pipes are heat treated using multiple standard (6 channel) heat treatment units which results in tying up 300kW of machine output power. However, with the development of Cooper36, one machine with 36 control channels can treat up to 36 pipes at one time using 50kW output power for 36 small diameter pipe welds.

Not only does Cooper36 reduce costs and time associated with using multiple units to heat treat large volumes of pipe and tubing but it also provides added safety benefits by working in conjunction with 30V heaters rather than the standard 60V heaters.

Set up time and materials required for the 36 output unit also achieves further cost savings. The feed and return cables are required to supply 45A, allowing lighter, lower cost cable to be



used. In addition, by using only one unit instead of six, reduces environmental impact with less transportation requirements and using only one off-load electrical losses instead of six.

BASIC SPECIFICATION OF COOPER36

TRANSFORMER CORE

- 3-phase, forced air cooled, class H, 50kVA
- Primary winding connected in Delta
- Secondary winding connected in Star
- Auxiliary winding: 110V a.c. 3.3kVA single phase

PRIMARY SUPPLY

- Primary voltage: 380V, 415V, 440V
- Primary current: 76A, 70A, 66A
- Frequency: 50/60Hz

PROTECTION

- 3-phase 80A circuit breaker with shunt trip
- Three primary core winding over temperature thermostats thermal trips linked to circuit breaker shunt trip

SECONDARY OUTPUTS

- Output: 32.5V for 30V heating element operation
- Auxiliary outputs: Four 110V, centre tapped @ 5A, output sockets
- Number of temperature controlled output channels: 36 channels
- Maximum load per output channel: 1.35kW
- Maximum current per output channel: 45A

CASE & MOBILITY

- Case: 304 Stainless steel case with galvanised complete with fitted two off fixed and two off swivel/braked 150mm rubber wheels
- Weight: 362kg
- Height: 1420mm
- Width: 680mm
- Depth: 665mm
- Lifting Method: Fork lift under base

TEMPERATURE CONTROL

- Temperature measurement, display and control: Fahrenheit or Centigrade
- Temperature ramp up and down in degrees per hour
- Hold/soak temperature set point and hold/soak time period setting

MAINS CONNECTION

- The units are complete with 4.5m of four core primary cable

SWITCHING

- 36 single pole, 80A, contractors with 110V a.c. coil

3-PHASE CONTROL TROLLEY

Stock reference: 14003

The 3-phase control trolley, when used in combination with 4-Bank Channel Elements, is an ideal mobile unit for providing power, switching and temperature control for internal vessel heat treatments and temporary furnaces.

Six circuits of three elements can be controlled (connected in star) to the 3-phase control trolley providing a maximum power output from eighteen 4-bank channel elements of 238kW from a 415V supply and 218kW from a 380V supply.

Each of the six power and control channels are protected by three, 60A, miniature circuit breakers and controlled by an Advantage 3 temperature programmer/controller.

For safe connection the unit is fitted with six, 3-phase, neutral and earth panel mounted sockets rated at 63A each. Fully loaded, the unit requires 360A per phase. The incoming supply

is protected by a 3-phase and neutral, 400A isolator. The unit provides power distribution and control, via six control channel outputs, for up to eighteen 240V, 13.2kW, (or 220V, 12.1kW) 4-bank channel elements.

Designed for supply and control of mains voltage type heaters - 4-bank channel heaters, or ceramic pad heaters.



REQUIRED CABLES

Stock Reference	Description	Quantity Per Unit
35060	30m 3-phase control trolley quad cable c/w 63A 5 pin plug and connectors	Six
32002	3 way splitter	Six
34000	30m compensating cable with thermocouple plug/socket	Six

BASIC SPECIFICATION OF 3-PHASE CONTROL TROLLEY

PRIMARY SUPPLY

- 380V or 415V, 360A, 3-phase, neutral and earth

PROTECTION

- 400A, 4 pole mains isolator

OUTPUTS

- Six control channels
- Each channel controlled via triple pole 63A contactors and two off swivel/braked 150mm rubber wheels
- Each channel phase protected via single pole MCB
- Control inputs from separate programmer via 6 x 3 pin cannon sockets (110V).
- Outputs: 6 x 63A, 5 Pin Sockets
- Auxiliary Outlets: 3 x 110V @ 5A

CONTROL

- Temperature measurement, display and control: Fahrenheit or Centigrade
- Temperature ramp up and down in degrees per hour
- Hold/soak temperature set point and hold/soak time period setting

CASE & MOBILITY

- Case: 304 stainless steel case complete with fitted two off fixed and two off swivel/braked 150mm rubber wheels
- Weight: 105kg
- Height: 840mm
- Width: 970mm
- Depth: 590mm
- Lifting Method: Fork lift under base

COOPER8, 6 CHANNEL PROGRAMMER/CONTROLLER/DATA RECORDER

Stock Reference: 12420

Introduction

High quality control equipment at realistic prices contribute to Cooperheat's continued success in the thermal industry. The company's latest concept is the introduction of the Cooper8, 6 channel Programmer/Controller/Data Recorder

Cooperheat's innovative Cooper8 is a heat treatment programmer/controller and digital recorder combined unit which is designed to work in conjunction with standard heat treatment equipment. The Cooper8 can be used as a separate modular unit or can be built into a bespoke heat treatment unit. The most versatile heat treatment unit on the market, the Cooper8 can be used as a six channel programmer module which is compatible with any standard heat treatment transformer power source with inputs for contactor control. In addition, it can also be used as a sophisticated programmer with the capacity to download data for analysis and print temperature charts. The controls of the Cooper8 are extremely intuitive and can be operated and monitored by the operator locally or via remote control and remote data monitoring. To meet specific or bespoke heat treatment requirements, the Cooper8 can be customised with your needs in mind.

Features:

- The unit is capable of control via Wi-Fi, 3G/4G or LAN hardware connection from a smart phone, tablet or computer
- Controls six thermocouple channels
- Monitors an additional six channels

- Runs one or two independent heat treatment programs (controls 3+3 or 2+4 control zones) at the same time
- Selectable holdback to control temperature differentials
- Heat treatment profiles up to ten segments
- Operates and records in °F or °C
- Six output thermocouple sockets (for use with separate recorder, if required)
- Range 0-1200°C (0-2200°F)
- Max ramp 1200°C or F° per hour
- Max soak length 99 hours 59 minutes
- Chart can be viewed from the LCD screen in real time
- Chart and job specifications can be printed using any Windows compatible device and Cooper8 software
- Multiple languages available on request
- Colour, 7 inch, LCD screen, with touch screen control



Please note: The FGH P256 Programmer has now been discontinued by the manufacturer and is no longer available from any supplier in the world market.

Cooperheat are pleased to advise, that they have an alternative unit available, the Cooper6 which provides the same heat treatment profile programming and temperature control capabilities as the P256. The Cooper6, 6 channel programmer/controller has been developed for use in conjunction with our range of Transformer Units, providing automatic temperature process control for up to six output channels. The Cooper6 unit can control temperatures both manually and automatically, depending on user requirements. In automatic mode, the channel controller will ensure that the control zone temperature closely follows the temperature rise, hold

and fall segment parameters programmed by the operator. Programming and operation of the unit is kept uncomplicated and user friendly through the use of a simple operator interface with easy to read displays showing both the set point and process actual temperatures. The display provides visual indication of the running heat treatment program status and control zone output. In addition, individual neon lights indicate when a control zone contactor is energised. The Thermocouple Fault feature ensures the 6 channel programmer/controller automatically cuts out the heater power when any control zone thermocouple input indicates a temperature below -30°C or open circuit. This negative temperature level could indicate a reversed thermocouple fault condition which would compromise the integrity of the heat treatment process.

Features:

- 6 channel digital temperature controller / programmer
- Each channel can be set to automatic, manual or OFF modes
- Operator interface providing visual indication of heat treatment programme status
- Thermocouple fault's stops control zone contactor and heating power when temperature reaches -30°C which could indicate hazardous reversed thermocouple condition or is open circuit



SPECIFICATIONS

GENERAL

- Case material: stainless steel
- Case dimensions: width 32.5cm, height 26cm, depth 43cm
- Display: colour, 7 inch, LCD screen, with touch screen control
- Weight total unit: 13kg
- Environment: operating temperature 0-50°C
- Storage: temperature -20°C to 60°C - relative humidity 10%-90%
- Supply: 110V a.c., 5A, 50/60Hz

RECORDING AND CONTROL

- Sensor: type K thermocouple to BS EN 60584-1

SPECIFICATIONS

GENERAL

- Case material: stainless steel
- Case dimensions: width 26.5cm, height 22.5cm, depth 31 cm
- Display: LED panel
- Weight: 7kg
- Enclosure: front IP64, rear IP20

CONTROLLER PROFILE

- Start temperature: 0°-1200°C (2000°F) in 1 degree increments
- Heating rate: 1°-1000°C per hour in 1 degree increments
- Soak temperature: 0°-1200°C (2000°F) in 1 degree increments
- Soak time: 0-100 hours in 0.1 increments
- Cooling rate: 0°-1000°C per hour in 1 degree increments
- End temperature: 0°-1200°C (2000°F) in 1 degree increments
- Proportional band setting: 5, 10, 20 and 40°C
- Hold-back setting: 10, 20, 40 and 60°C

COOPER6 PROGRAMMER/CONTROLLER

Stock Reference: 12060

TEMPERATURE CONTROLLER

Stock Reference: see below



Spare Temperature Controller

The set point temperature controller provides temperature control to a single output channel. The controller raises the temperature of the work piece to the selected temperature and maintains it at that level. The unit displays both work piece and set point temperatures.

Stock reference & description:

548-045 THC-400C temperature controller

Spare Advantage 3 Programmer/Controller

Cooperheat's Advantage 3 temperature programmer/controller with its unique linkable control zone feature, is fast becoming the heat treatment industry standards. Providing the user with versatility, flexibility, cost savings and time. The Advantage 3 can be used individually or combined to control temperature differentials in a number of user selectable configurations. This control of temperature differential is an important requirement of international heat treatment codes and standards including ASME, BS, EN, ANSI & DIN. The Advantage 3 is fitted as standard to Cooperheat's heat treatment modules. It can also be purchased separately as a spare or to upgrade any make or model heat treatment transformer, module or unit. Specifically designed for localised heat treatment industry, the Advantage 3 reduces the number of standard six channel (single program) programmers normally required to heat treat work pieces requiring different heat treatment cycles and where only one standard 6 channel (single program) programmer is available, eliminates the need for multiple shift working to carry out several separate heat treatment processes for each heat treatment specification.

Stock reference & description:

548-055 Advantage 3 linkable, programmer/controller

Advantage 3 Programmer/Controller Heat Treatment Unit Upgrade Kit

Contains the necessary parts and instructions required for upgrading any 6 channel make or model of heat treatment unit to provide the additional functionality, user benefits and cost savings provided by the Advantage 3 linkable programmer/controller.

Stock reference & description:

12300 Advantage 3 programmer/controller heat treatment unit upgrade kit (for six control channels)

Spare Advantage 1: Programmer/Controller

Cooperheat's Advantage 1 temperature programmer/controller provides the user with versatility, flexibility, cost savings and time. The Advantage 1 is used individually to control temperature differentials in a number of user selectable configurations. This control of temperature differential is an important requirement of international heat treatment codes and standards including ASME, BS, EN, ANSI & DIN. The Advantage 1 is an alternative to the Advantage 3 which is fitted as standard to Cooperheat six channel heat treatment modules and does not have the linkable feature. It can also be purchased separately as a spare or to upgrade any make or model heat treatment transformer, module or unit. Specifically designed for localised heat treatment industry, the 6 off Advantage 1's in each heat treatment module allows several separate heat treatment processes to occur at the same time therefore eliminating the need for multiple shifts working.

Stock reference & description:

548-050 Advantage 1 programmer/controller

CHINO AH4712 & AH4724 (12 OR 24 POINT) HYBRID TEMPERATURE CHART RECORDER

Stock References: 40010 AH4712 & 40004 AH4724

The AH Series Chino hybrid temperature recorder is a popular recorder which gives the option of printing to chart and also saving the data to an SD card which can then in turn be downloaded to you PC. The recorder has bright and clear, easy to read LCD display. Various measuring and recording setting can be easily set by the operator on the control panel. The unit is designed for pre and post weld heat treatment processes utilising type K thermocouples. Contained within a rugged, cost effective, mild steel case, the recorder is designed and built to withstand normal site conditions.

For process monitoring by the operator in any site light conditions, the level of illumination of the chart and the scale plate can be adjusted by the operator.

The AH Series Chino Recorder can also be supplied as a panel mounted version.

Features:

- Standard scale supplied is 0-1000°C
- Type K polarised sockets fitted to the rear of the case
- SD card to export data to PC
- Ethernet port for Web viewer and email alarm notifications
- Chart end notification
- The chart drive speed can selected to be 12.5, 25, 50, 75, 100 or 150mm per hour
- Chart and scale illuminates for viewing in low light
- Reliable
- Simple to calibrate



GENERAL SPECIFICATIONS

POWER REQUIREMENT

- Power supply voltage: 100-240V a.c
- Power supply frequency: 50Hz/60Hz

OPERATING ENVIRONMENT

- Ambient temperature: 0°C-50°C
- Ambient humidity: 30%-90% RH

PHYSICAL

- Scale length: 180mm
- Accuracy: +/- 0.5% of input span
- Dead band: 0.4% of input span
- Balancing time: Approximately 2 seconds
- Chart: Fanfold 20 metres long
- Channels: 12 or 24
- Stamping interval: 6 seconds
- Weight: 17.5kg
- Illumination : 3 x L.E.D.'s

CHINO EH3000 (12 POINT) TEMPERATURE CHART RECORDER

Stock Reference: 40005



The EH Series Chino temperature recorder is a popular, basic, analogue alternative to digital recorders. The Chino temperature chart recorder is designed for pre and post weld heat treatment processes utilising type K thermocouples. Contained within a rugged, cost effective, mild steel case, the recorder is designed and built to withstand normal site conditions. Each input is individually recorded on the

chart paper using a multi coloured printing system for clear identification of each thermocouple input trace. For process monitoring by the operator in any site light conditions, the level of illumination of the chart and the scale plate can be adjusted by the operator.

The EH Series Chino Recorder can also be supplied as a panel mounted version.

Features:

- Standard scale supplied is 0-1200°C
- Type K polarised sockets fitted to the rear of the case
- Alternative scales available upon request
- Easy access to power supply and chart drive switches
- The chart drive speed can be selected to be 12.5, 25, 50, 75, 100 or 150mm per hour
- Manual fast forward chart advance
- Printer refill warning visible on chart
- Ease of operation
- Reliable
- Low maintenance
- Simple to calibrate

SPECIFICATIONS

POWER REQUIREMENT

- Power supply voltage: 100-240V a.c
- Power supply frequency: 50Hz/60Hz

OPERATING ENVIRONMENT

- Ambient temperature: 0°C-50°C
- Ambient humidity: 30%-90% RH

PHYSICAL

- Scale length: 180mm
- Accuracy: +/- 0.5% of input scan
- Dead band: 0.4% of input span
- Balancing time: approximately 2 seconds
- Chart: Fanfold 20 metres long
- Channels: 12
- Stamping interval: 6 seconds
- Stamping system: 12 colour
- Weight: 17.5Kg
- Illumination: 3 x LEDs

AUTOMATIC THERMOCOUPLE ATTACHMENT UNIT (TAU)

Stock Reference: 41756 for 100-125V unit / 41757 for 220-240V unit

Cooperheat's Automatic Thermocouple Attachment Unit (TAU) enables direct attachment of thermocouples to a work piece using the capacitive discharge method. This technique was pioneered by Cooperheat and has since become a recognised global standard.

By reducing the risk of expensive rework, due to thermocouples breaking off during the heat treatment process, this innovation provides a high integrity welded connection which provides reliable and accurate temperature control and recording.



The Cooperheat TAU has a unique automatic operation feature overcoming difficulties associated with manual attachment units which require both hands to operate. Cooperheat's TAU requires only one hand to operate which is an important safety feature when working at elevated levels or inaccessible locations.

Features:

- Three power output settings enable attachment of wire diameters 0.5, 1.0 and 2.0 mm- equivalent to 24, 18 and 12 AWG
- Non-corrosive, stainless steel casing
- Battery or mains operated
- Capable of over 1000 discharges from a fully charged integral nickel cadmium battery
- Available for use with 110V or 230V battery recharging supplies
- Third party tested to ensure Electro-Magnetic Compatibility (EMC)

Benefits:

- Single handed, one person operation in automatic mode
- Operator friendly
- Light weight and portable
- No welding skills required
- LEDs indicate unit charging and battery status
- Automatic switch off after 3 minutes to save battery power
- Three power settings can be selected

SPECIFICATIONS

POWER REQUIREMENT

- Power consumption: 5.0VA
- Battery voltage: 12 Volts
- Battery capacity: 3.0Ah
- Thermocouple diameters: 0.5, 1 & 2mm selectable
- Discharge voltages: 50/70/83Vdc nominal
- Battery monitor: monitoring LED and automatic full discharge protection

- Number of discharges: approximately 1000 on setting 2 at a rate of 200 discharges per day with fully charged battery
- Height: 210mm
- Width: 215mm
- Depth: 90mm
- Weight: 4.25Kg

CERAMIC PAD HEATING ELEMENTS (FCP)

We incorporate the highest quality materials available in the construction of our (FCP) heating elements. These materials make the heating elements highly durable, which extends the usable life of Cooperheat heating elements beyond that normally expected.

This extended life, high durability and reliability combine to save you money by:

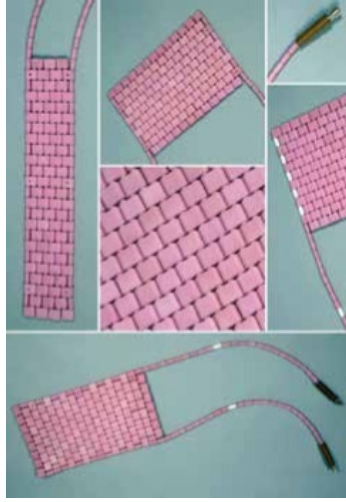
- Reducing reworks and lost time due to heating element failures
- Reducing your annual costs for replacing or repairing failed or damaged heating elements

Cooperheat ceramic heating elements are constructed from high grade sintered alumina ceramic beads, nickel chrome core wire and nickel cold tail wire. The construction allows the heating element to be flexible and provides high heat transfer efficiency.

We insist on using high quality, ceramic beads, with a high resistance to thermal and physical shock, in the construction of the FCP.

The important physical properties, which make these beads superior to other beads used in the heat treatment industry, are as detailed below:

- Alumina content - 95%
- Bulk density fired - 3.7Mg/m³
- Grain size - 6µm
- Vickers hardness - 12.5
- Rockwell hardness - 78 (R45N)
- Compressive strength - 2000MPa
- Flexural strength - 320MPa (ASTM C1161, 3 point)
- Young's modulus - 325Gpa
- Thermal conductivity - 21W/m³



These beads are supplied to us by one of the leading specialist ceramic manufacturers in the ceramic industry. The cold tails of Cooperheat ceramic heating elements are butt welded to the heater core wire which eliminates the cold tail/core wire junction failures often seen with low quality heaters which use steel ferrules.

By selection, from the extensive range of the Cooperheat FCP, any pipe size or pipe configuration can be covered so that the correct amount of heating power can be applied to successfully heat treat the pipe weld or other fabrication. Our FCP's are manufactured with a range of power ratings for use with a selection of standard voltages.

If you require any special heating element configuration, voltage or power rating, we will use our heat treatment engineering expertise to provide you with a heating element custom built to meet your exact needs.

Please note: the width of the heater is the first measurement (ceramic bead width—tail to tail)

CERAMIC PAD HEATING ELEMENTS (FCP)

HEATING ELEMENT SELECTION GUIDE: (FOR HEAT TREATMENT CYCLES UP TO 800°C)

Suggested applications for ceramic pad elements on straight pipe butt welds in carbon steel / chromium molybdenum Vanadium steel. To be used as a guide only: Reference should always be made to specific code or specification heated width requirements.

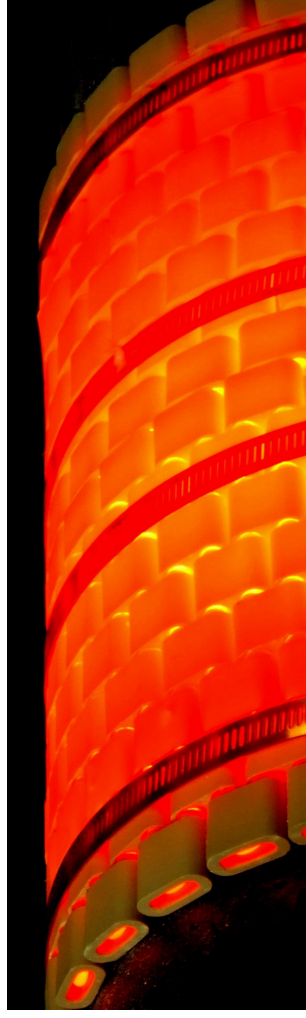
Nominal Bore Inches — (mm)	0 — 0.8 Inch (0-20mm)	0.8 — 0.9 Inch (20-23mm)	0.9 — 1.1 Inch (23-28mm)	1.1 — 1.4 Inch (28-36mm)	1.4 — 1.8 Inch (36-46mm)	1.8 — 2.4 Inch (46-61mm)
1.0 Inch (25.4mm)	1 x CP48	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
2.0 Inch (50.8mm)	1 x CP48	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
3.0 Inch (76.2mm)	1 x CP12	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
4.0 Inch (101.6mm)	1 x CP15	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
6.0 Inch (152.4mm)	2 x CP12	2 x CP12	N/A	N/A	N/A	N/A
8.0 Inch (205.2mm)	2 x CP15	3 x CP10	3 x CP10	N/A	N/A	N/A
10.0 Inch (254.0mm)	3 x CP12	4 CP8	4 x CP8	Two Rows 3 x CP12	N/A	N/A
12.0 Inch (304.8mm)	4 x CP10	4 x CP10	4 x CP10	Two Rows 4 x CP10	N/A	N/A
14.0 Inch (355.6mm)	3 x CP15	4 x CP12	6 x CP8	6 x CP8	Two Rows 4 x CP12	N/A
16.0 Inch (406.4mm)	Two Rows 4 x CP12	Two Rows 4 x CP12	Two Rows 4 x CP12	Two Rows 5 x CP10	Two Rows 5 x CP10	N/A
18.0 Inch (457.2mm)	Two Rows 4 x CP15	Two Rows 4 x CP15	Two Rows 4 x CP15	Two Rows 5 x CP12	Two Rows 5 x CP12	N/A
20.0 Inch (508.0mm)	Two Rows 5 x CP12	Two Rows 5 x CP12	Two Rows 5 x CP12	Two Rows 5 x CP12	Two Rows 6 x CP10	Two Rows 6 x CP10
22.0 Inch (558.8mm)	7 x CP10	7 x CP10	8 x CP6	N/A	N/A	N/A
24.0 Inch (609.6mm)	Two Rows 5 x CP15	Two Rows 5 x CP15	Two Rows 6 x CP12	Two Rows 6 x CP12	Two Rows 6 x CP12	Two Rows 7 x CP10
47.0 Inch (1,193.8mm)	Two Rows 12 x CP12	Two Rows 12 x CP12	Two Rows 12 x CP12	Three Rows 2 x CP12	Three Rows 12 x CP12	Three Rows 12 x CP12
63.0 Inch (1,600.2mm)	Two Rows 15 x CP12	Two Rows 15 x CP12	Two Rows 15 x CP12	Three Rows 15 x CP12	Three Rows 15 x CP12	Three Rows 15 x CP12

CERAMIC PAD HEATING ELEMENTS (FCP)

Ceramic Pad Heating Elements 30V - 1.35kW - 45A (80/20 Ni-Cr Core Wire) (All dimensions are nominal)			
Stock Reference	Type Ref	Ceramic Beads Width	Ceramic Bead Height (Length of heater body)
20040	CP10	10	4
20042	CP20	20	2
20047	CP12	12	4
20048	CP7	7	7
20049	CP3	3	14
20052	CP4	4	11

Ceramic Pad Heating Elements 60V - 2.7kW - 45A (80/20 Ni-Cr Core Wire) (All dimensions are nominal)			
Stock Reference	Type Ref	Ceramic Beads Width	Ceramic Bead Height (Length of heater body)
20030	CP3	3	32
20031	CP4	4	24
20032	CP6	6	16
20033	CP8	8	12
20034	CP10	10	10
20035	CP15	12	8
20036	CP15	15	7
20037	CP16	16	6
20038	CP21	21	5
20039	CP24	24	4
20041	CP48	48	2

CERAMIC PAD HEATING ELEMENTS (FCP)



Ceramic Pad Heating Elements 80V—3.6kW—45A (80/20 Ni-Cr Core Wire) (All dimensions are nominal)			
Stock Reference	Type Ref	Ceramic Beads Width	Ceramic Bead Height (Length of heater body)
21630	CP3	3	47
21631	CP4	4	35
21632	CP6	6	24
21633	CP8	8	18
21634	CP10	10	15
21635	CP12	12	12
21636	CP15	15	10
21637	CP18	18	8
21638	CP21	21	7
21639	CP24	24	6
21640	CP29	29	5
21641	CP36	36	4

FLEXIBLE INSULATED PREHEATERS (FIP'S)



Application

Flexible Insulated Preheaters (FIP's) can be used either flat or laid over curved surfaces, they are equally suitable for preheating pipework, fabrications and vessels either longitudinally or circumferentially.

Specification
 The FIP is designed to provide preheating up to a temperature of 250°C. The element is identical to that used in the FCP heater, but has a high grade thermal insulating mat protected by a stainless steel backing. A feature of this heater are that limpet magnets can be used for fast adhesion to the work piece. These can be supplied either as a separate item (29269-Assembled pair of high strength limpet magnets with Cross bar) OR built into the preheater (22062).

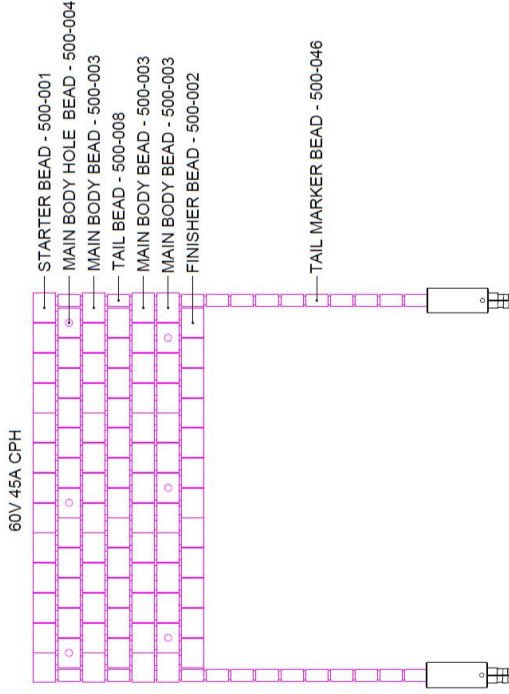
User Benefits

As with all Cooperheat products, the FIP heater is competitively priced and in addition: has magnetic attachment for fast, low cost installation. It has protection from weld splatter, operates on low voltage for operator safety and is strongly constructed for on site reliability.

Flexible Insulated Preheaters (FIP's) 60V - 2.7kW - 45A (80/20 NI-Cr Core Wire) (All dimensions are nominal)	
Stock Reference	Type Ref
22062	Complete with three built in limpet magnets
22070	FIP 295
22071	FIP 235

Flexible Insulated Preheaters (FIP's) 80V - 3.6kW - 45A (80/20 NI-Cr Core Wire) (All dimensions are nominal)	
Stock Reference	Type Ref
22063	Complete with three built in limpet magnets
22072	FIP 395
22073	FIP 305

SPARE REPLACEMENT BEADS / WIRE FOR FLEXIBLE CERAMIC PAD HEATING ELEMENTS



500-001



500-002



500-003



500-004



500-008



500-046

Ceramic Pad Heater Beads

Ceramic, sintered alumina beads for repair and manufacture of ceramic pad heating elements.

Stock reference & description:

- 500-001 starter bead
- 500-002 finisher bead
- 500-003 main body bead
- 500-004 main body hole bead
- 500-008 tail bead
- 500-046 tail marker bead (white)

Heating Element Wire

Heating element core wire and cold tail wire for repair and manufacture of ceramic pad heating elements.

Stock reference & description:

- 502-001 19 strand 60/16 NI-Cr core wire
- 502-003 19 strand nickel 212 cold tail wire
- 502-050 19 strand 80/20 NI-Cr core wire

ROPE HEATERS 30V, 40V, 60V & 80V (80/20 Ni-Cr CORE WIRE)

Application

Cooperheat rope heaters can be wound onto pipe diameters between 152mm and 508mm. They provide an excellent and reliable means of preheating when positioned each side of the weld joint to be welded.

Specification

The core of the element is stranded Ni-Cr wire insulated with porcelain beads and protected with a closely braided Ni-Cr wire outer covering, which has an even heat distribution along its surface eliminating any hot spots. Uniform maximum temperatures of up to 250°C can be achieved. Cold tails are welded for durability and terminated with 60A connectors.

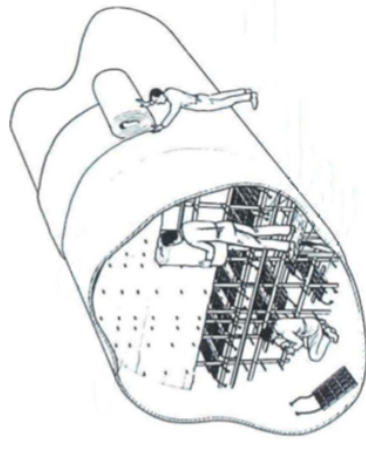
Stock Reference	Type Reference	Voltage	Length (mm)	Diameter (mm)	kW	Pipe Size (NB Inch)
26001	RH84	30	2,135	16.5	1.35	3 to 6 Inch
26010	RH84LD	30	2,135	9.5	0.67	¾ to 3 Inch
26003	RH117	40	2,970	16.5	1.8	3 to 6 Inch
26011	RH117LD	40	2,970	9.5	0.90	¾ to 3 Inch
26000	RH168	60	4,270	16.5	2.7	6 to 10 Inch
26012	RH168LD	60	4,270	9.5	1.35	¾ to 3 Inch
26020	RH168HD	60	4,270	16.5	5.4	10 Inch and up
26002	RH234	80	5,940	16.5	3.6	6 to 10 Inch
26013	RH234LD	80	5,940	9.5	1.8	¾ to 3 Inch
26021	RH234HD	80	5,940	16.5	7.2	10 Inch and up

SINGLE, DOUBLE & 4-BANK CHANNEL ELEMENTS

For Post Weld Heat Treatment (PWHT) of large, welded constructions, including steam drums and vessels or for use in furnaces, channel heaters are often more practical than applying large numbers of 60V ceramic heating pad elements. The most common channel element is known as the 4-bank. Their rugged construction comprises of a stainless steel channel which contains the 9 SWG ICA135 element coil. Dependent upon customer preference we can also produce, upon request, channel elements with cores formed using Ni-Cr 60/16 or 80/20 as the core material.

Application – Internal bulk head heat treatment of vessel seams (see illustration below)
In specific cases, the post weld heat treatment of welded seams of large vessels it is sometimes more practical to make a thermally insulated compartment inside the vessel and then heat the compartment by means of channel elements such as 4-banks.

These elements are used to heat the insulated compartment by resting on transversely placed mild steel channels. The compartment is produced by insulating the outside area of the vessel to be heat treated and then enclosed internally by means of two mild steel insulated bulkhead fitted inside the vessel.



The channel element can be used to preheat and post heat large welded fabrications including steam drums and pressure vessels, they can also be used as a heat source in temporary furnace installations where multiple heat treatments need to be carried out

A coiled element manufactured from solid drawn 9 SWG ICA135 or Ni-Cr core wire and insulated with 95% sintered alumina beads, is supported in a stainless steel tray.

The supply voltages for single channels are 30V, 60V or 80V and a range of multi-bank elements can be made up from single elements connected either in series or parallel. These elements are powered directly from the incoming 380V or 415V 3-phase supply, via a 6-Way, 3-phase control trolley (stock reference 14003)

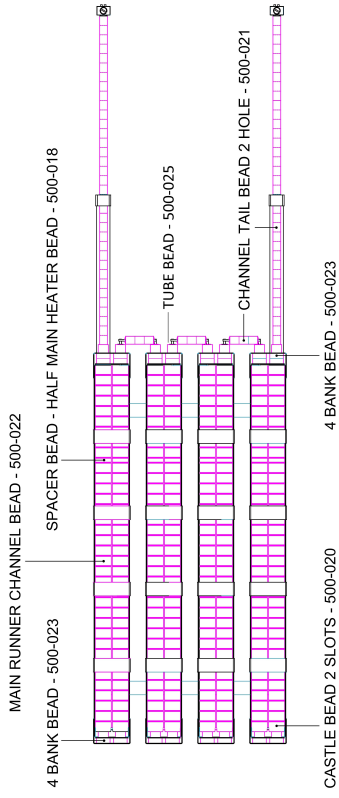
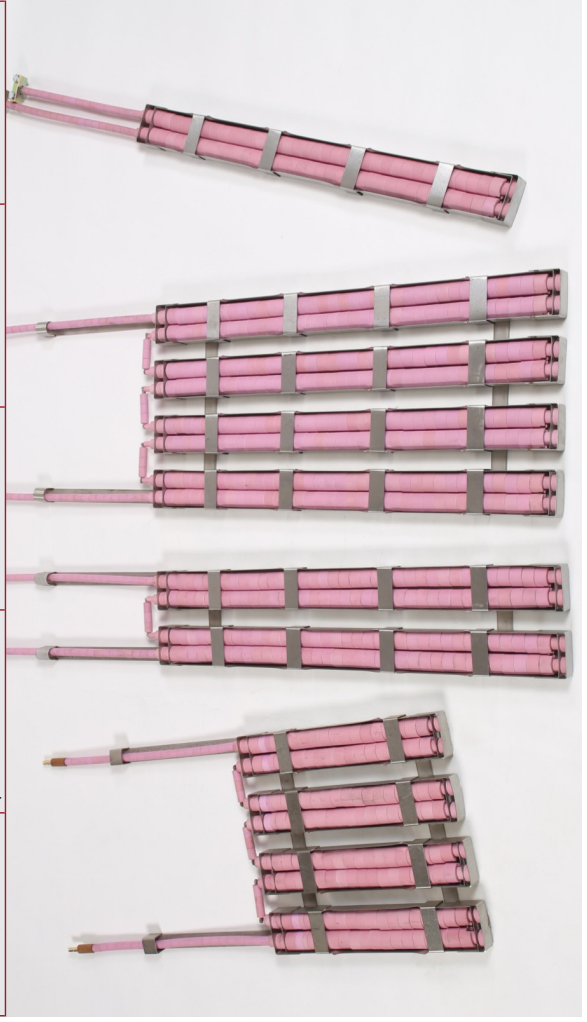
Channel elements can also be supplied utilising 60V or 80V supplies which can be powered and controlled via standard 60V and 80V output, 50KVA or 70KVA heat treatment machines.

Working temperatures of up to 750°C can be achieved, the heaters are capable of higher temperatures using Kanthal core wire. Cold tails are welded not crimped for durability and safe working. Strongly constructed of high grade materials the channel element is designed to withstand a long on site working life and in addition has the following features: portable, designed for extended periods of operation, suitable for a wide range of heat treatment applications, selection of sizes, can be used for temporary furnace applications for large fabrications.

CHANNEL ELEMENTS

REPLACEMENT BEADS/WIRE FOR CHANNEL ELEMENTS

Stock Reference	Item Description	Voltage	Current	Power
27750	4-bank channel element - 60/16 Ni-Cr	240V	55A	13.2kW
27850	4-bank channel element - ICA 135	240V	55A	13.2kW
27851	4-bank channel element - ICA 135	220V	55A	12.1kW
27901	Single channel element - 60/16 Ni-Cr	30V	55A	1.65kW
27902	Single channel element - 60/16 Ni-Cr	60V	55A	3.3kW
27932	Single channel element - ICA 135	60V	55A	3.3kW
27911	Single channel element - 60/16 Ni-Cr	80V	55A	4.4kW
27933	Single channel element - ICA 135	80V	55A	4.4kW
27975	Hot leads for use with channel elements (per metre)	-	-	-



536-022/1



500-025



500-021



500-018



500-022



500-023



Replacement coil for channel elements

Channel Element Beads

Ceramic, sintered alumina beads for repair of channel elements.

Stock reference & description:

- 500-018 spacer bead - half main heater bead
- 500-020 castle bead 2 Slots
- 500-021 channel tail bead 2 hole
- 500-022 main runner channel bead
- 500-023 4-bank bead
- 500-025 tube bead

Channel Element Wire & Mild Steel Connectors

Channel element core wire and cold tail wire for repair and manufacture of channel element heating elements.

Stock reference & description:

- 502-011 60/16 nickel chrome 9 SWG (1kg=11.56m) core wire
- 502-012 60/16 nickel chrome 10 SWG (1kg=14m) tail wire
- 502-013 80/20 nickel chrome 9 SWG (1kg=11.56m) core wire
- 502-014 80/20 nickel chrome 10 SWG (1kg=14m) tail wire
- 27921 60/16 nickel chrome spare coil for channel element
- 536-022/1 2 hole mild steel connector

THERMAL INSULATION



Superwool Insulation

Superwool is a high temperature insulating fibre blanket manufactured from Calcium Magnesium Silicate. This material has a thermal performance equivalent to refractory ceramic fibre up to 1200°C. However, unlike ceramic fibre, Superwool is body soluble and has a larger needle particle size.

These qualities mean that Superwool represents a lower respiratory hazard than ceramic fibre, although, as with all high temperature insulating fibre, normal respiratory protection in the form of an appropriate dust mask should be worn during handling. Superwool is available in a range of mat sizes, protected by a stainless steel mesh to extend the working life of the insulation. Alternatively, Superwool is also supplied in unmeshed rolls.

THERMAL INSULATION



Ceramic Fibre Insulation

Ceramic fibre is a high temperature insulating fibre blanket. This material has a thermal performance equivalent to refractory ceramic fibre up to 1200°C.

Ceramic fibre is available in a range of mat sizes, protected by a stainless steel mesh to extend the working life of the insulation. Alternatively, ceramic fibre is also supplied in unmeshed rolls.

Superwool Insulation in Stainless Steel Mesh					
Stock Reference	Density 96kg/m ²	Density 128kg/m ²	Thickness (25mm)	Width (mm)	Length (mm)
29797	•		25	100	400
29798	•		25	125	600
29799	•		25	100	750
29800	•		25	300	750
29801	•		25	300	600
29802	•		25	300	900
29803	•		25	600	600
29804	•		25	600	900
29805	•		25	600	1,200
29806	•		25	600	1,800
29808	•	•	25	600	3,600
29900	•	•	25	300	750
29901	•	•	25	300	600
29902	•	•	25	300	900
29903	•	•	25	600	600
29904	•	•	25	600	900
29905	•	•	25	600	1,200
29906	•	•	25	600	1,800
29908	•	•	25	600	3,600

Unmeshed Superwool Insulation Rolls			
Stock Reference	Density 96kg/m ²	Density 128kg/m ²	Length (mm)
29601	•		7,300
29611	•	•	7,300

Ceramic Fibre Insulation in Stainless Steel Mesh					
Stock Reference	Density 96kg/m ²	Density 128kg/m ²	Thickness (25mm)	Width (mm)	Length (mm)
29519	•		25	300	300
29513	•		25	600	600
29511	•		25	300	900
29512	•		25	600	600
29508	•		25	600	900
29509	•		25	600	1,200
29510	•		25	600	1,800
29514	•		25	600	2,200
29515	•		25	600	3,600
29517	•		25	600	7,300
29500	•	•	25	300	300
29501	•	•	25	300	600
29502	•	•	25	300	900
29507	•	•	25	300	1,800
29503	•	•	25	600	600
29504	•	•	25	600	900
29505	•	•	25	600	1,200
29506	•	•	25	600	1,800
29518	•	•	25	600	7,300

Unmeshed Ceramic Fibre Insulation Rolls			
Stock Reference	Density 96kg/m ²	Density 128kg/m ²	Length (mm)
29601	•		7,300
29601/128	•	•	7,300

THERMAL INSULATION



Cooperknit Insulation

Cooperknit insulation is a cost effective knitted, silica fibre with many user benefits including reusability, long life and low risk to user health and safety and minimal skin irritation compared with most other high temperature insulating fibres. Independent tests on Cooperknit have shown that no respirable fibres were found in any samples after exposure to 1000°C for 24 hours.

Cooperknit can be used repeatedly at continuous operating temperatures up to 950°C without loss of thermal or mechanical properties. Cooperknit is available in a range of standard mat sizes detailed below, we are also able to supply special mat sizes or configurations to meet your exact requirements. Alternatively, Cooperknit is also supplied in 7.5m long rolls.

Cooperknit Insulation			
Stock Reference	Thickness (mm)	Width (mm)	Length (mm)
29700	10	300	600
29701	10	600	600
29702	10	600	900
29703	10	600	1,200
29704	10	600	1,800
29699	10	600	7,500

INFRARED HEATERS

Cooperheat's electrical infrared heater is an economical and highly efficient infrared, radiant heater that provides a radiant heat source for pre-heating metal fabrications. The heater is ideal for preheat of large welded constructions including steam drums, vessels and rotating equipment and are an alternative to our range of infrared Gas Surface Combustion Units (SCUs).

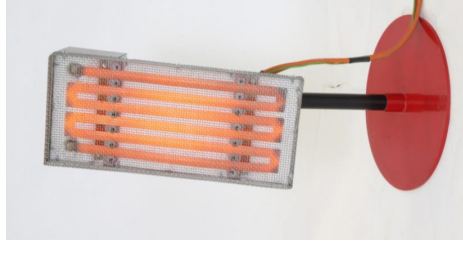
Specifically designed to replace the costly and heavy induction equipment including SCU's required to deliver preheats on vessels and large constructions, the infrared heater has an exceptionally fast heat up time and is lightweight in comparison to induction alternatives.

Infrared panels can be mounted on internal or external support rigs or on separate stands as single units.

As single units the heater can be strategically positioned during the rotating operation necessary for welding circumferential seams of large heavy walled pressure vessels.

The infrared heater is rugged, lightweight and comprises of a stainless steel container tray, a layer of silica fibre insulation and a shallow concave strip element manufactured in high temperature Kanthal.

- Technical Information:**
- The heater can achieve preheating temperatures of up to 350°C
 - Rated at 60V, 180A, 10.8kW
 - The panels can be used in vertical or horizontal positions
 - Our 70kVA Heat Treatment Modules can supply and control up to six infrared heaters (one heater per output channel)



Stock Reference	Item Description	Voltage	Current	Power
27981	Infrared Preheater	30V	180A	5.4kW
27980	Infrared Preheater	60V	180A	10.8kW
27984	Infrared Preheater	60V	180A	10.8kW
6261/1	Adjustable Pedestal Stand for SCU & IR Heaters	-	-	-
6261/2	Adjustable Pedestal Stand for SCU & IR Heaters	-	-	-

The Cooperheat Surface Combustion Unit (SCU) is an economical and highly efficient infrared gas radiant heater that provides a radiant heat source for pre-heating metal fabrications. The SCU is available in a range of sizes.

Applications

- Pre heat of rotating circumferential seams on fabrications, vessels and storage tanks etc, using floor mounted stands
- Preheat of longitudinal welded seams
- Preheat of sections of fabrications, vessels and storage tanks etc, requiring repair
- Preheat of castings
- Expansion of rotor rings for removal

Infrared energy is radiated by the hot face of the SCU.

Liquefied Petroleum Gas (LPG) or high pressure natural gas enters the rear of the unit drawing in air, mixing inside the plenum chamber and then burns efficiently on the front face of the perforated ceramic tiles. Complete combustion is achieved without flaming. Compared with open flame gas burners, the SCU can save one-third or more of the gas input as there is the absence of flame management. The simplest setup involves one burner connected to a bottle of propane and positioned near the work piece at a distance of 50mm. An optional piezoelectric device can be used to ignite the gas air mixture on the burner. Other burners may be added to the circuit by means of rapid connect/disconnect couplings. Revolving seams may be temperature controlled using an optical pyrometer and a control unit.

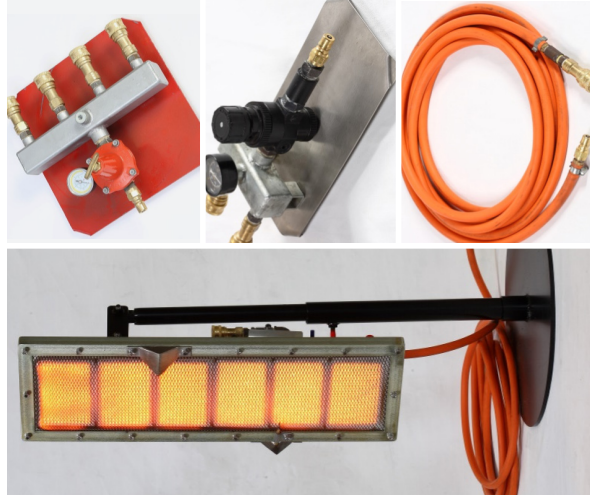
Overview

Open flame burners are still used in some workshops for pre-heating heavy components. Therefore, environmental protection and energy conservation becomes increasingly relevant.

Bottled or piped propane or natural gas enters the rear of the burner by means of a self-sealing, quick release coupling. Combustion air is entrained by gas as it passes through the injector. A deflector in the burner case spreads out the mixture over the full hot face which is made up of rectangular ceramic plaques, each containing hundreds of tiny holes. As the gas/air mixture emerges on the front plate of the plaques, it is ignited

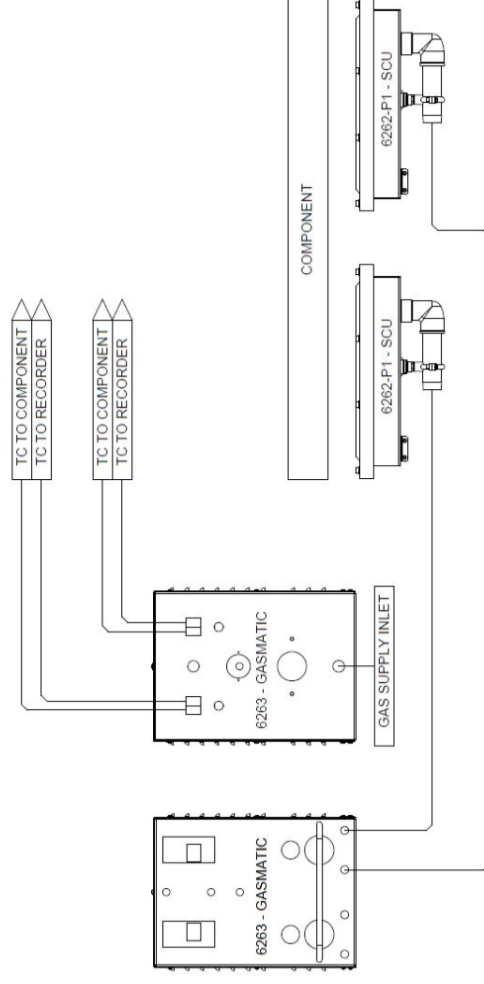
with an electric spark and continues to burn on the plaque surface. The plaques become intensely hot therefore being made from a modern ceramic material will withstand 1000°C (1800°F) on the hot face and yet run cold on the back face where the gas/air mixture enters.

A domed, expanded Inconel mesh grill which protects the plaques from mechanical damage also helps to retain combustion loss to the hot face. When positioned 50-75mm (2-3") away from the work piece to be heated, 15kW (50 thousand BTU/hr) of energy will be directed at it's surface by a 600mm x 150mm SCU. Heat transfer is mainly by radiation therefore the 1000°C (1800°F) radiating surface of the burner permits rapid heating to be achieved. A range of Cooperheat stands and accessories can be supplied as optional extras.



Components for Surface Combustion Unit (SCU)		
Description		Stock Reference
SCU Burner 300 x 150mm (12" x 6") Hot face		6262/P/1
SCU Burner 300 x 300mm (12" x 12") Hot face		6262/P/2
SCU Burner 600 x 150mm (24" x 6") Hot face		6262/P/3
SCU Burner 900 x 150mm (36" x 6") Hot face		6262/P/4
Series Link Fitting		6262/1/9
Thermal-Magnetic Flame Failure		6262/2/0
Piezo Spark Ignition Kit		6262/2/5
Replacement set of six SCU plaques & gaskets		6262/P/15
Twin Outlet Manifold & Pressure Regulator		6263/2
4 Outlet Manifold & Pressure Regulator		6263/4
1.5m link hose with fitted couplings		6264/L/1/C
6m link hose with fitted couplings		6264/L/6/C
10m supply hose with fitted couplings		6264/S/1/C

Schematic of Typical Two Burner Surface Combustion Unit (SCU) Gas Preheat System





1.

1. Compensating Cable Link Cables

To link controller/programmer thermocouple input to the recorder input.

Stork reference & description:

34013 - 3m Jumper compensating lead fitted with two type K thermocouple plugs



2.

2. Compensating Cable Control Leads

To connect separate, external controller/programmer unit's output to power source control input.

Stork reference & description:

33009 - 3m 3-core, programmer/contractor control lead



3.

3. Thermocouple Compensating Cable

Suitable for use with type K thermocouples where monitoring thermocouples, in addition to the control thermocouples, are required for temperature monitoring purposes. Available in 30m lengths complete with type K thermocouple plug and socket or in 100m rolls without plug and socket (plugs and sockets can be supplied separately as required).

Stork reference & description:

34000 - 30m compensating cable c/w type K thermocouple plug and socket
504-062 - 100m roll of compensating cable without thermocouple plug or socket (green)
304-065 - 100m roll of compensating cable without thermocouple plug or socket (red)



4.

4. Splitter Cables

For use with triple cable sets. Splitters are used where the operator needs to connect multiple heating elements, in parallel, to triple cable sets to enable the control of multiple heating elements. This enables the heating elements to be grouped to a single control output from a heat treatment unit to allow accurate zonal temperature control.

Stork reference & description:

32001 2 Way splitter
32002 3 Way splitter
32003 4 Way splitter
32004 5 Way splitter

5.

5. Triple Cable Sets

For use with treatment units controlling 30V, 40V, 60V and 80V heating elements. Includes two double insulated cables for power feed and return, fitted with 300A plug and socket connectors and one compensating cable fitted with type K thermocouple plug and socket.



Stock Reference	Item Description	Cable (mm ²)	Length (m)	Rating (amps)
35010/10	Triple cable set (2x 50A cables + 1x compensating cable) with plugs and sockets	6	10	50
35010/20	Triple cable set (2x 50A cables + 1x compensating cable) with plugs and sockets	6	20	50
35010/25	Triple cable set (2x 50A cables + 1x compensating cable) with plugs and sockets	6	25	50
35010	Triple cable set (2x 50A cables + 1x compensating cable) with plugs and sockets	6	30	50
35020	Triple cable set (2x 135A cables + 1x compensating cable) with plugs and sockets	16	15	135
35024	Triple cable set (2x 135A cables + 1x compensating cable) with plugs and sockets	16	30	135
35048	Triple cable set (2x 180A cables + 1x compensating cable) with plugs and sockets	25	15	180
35032	Triple cable set (2x 180A cables + 1x compensating cable) with plugs and sockets	25	30	180
35033/15	Triple cable set (2x 280A cables + 1x compensating cable) with plugs and sockets	50	15	280
35033	Triple cable set (2x 280A cables + 1x compensating cable) with plugs and sockets	50	30	280

Quad Cable Sets

For use with the 3-phase control trolley, to connect ceramic heating elements or channel elements.

Stock Reference	Item Description	Cable (mm ²)	Length (m)
35060	Quad cable (3x 60A socket connectors, 1x 300A plug connector, 5 Pin 41.5V plug)	16	30



1. Elastic Straps

Used to temporarily hold ceramic pad heating elements in place whilst they are correctly positioned and spaced prior to fixing in place with tie wire or banding.

Stock reference & description:
29253 Elastic, 850mm strap with hooks



2. Banding Tape

For bands of more than 4 heating elements, Cooperheat recommends that steel banding and banding clips are used to ensure the heaters remain in full contact with the pipe. For temperatures in excess of 650°C we recommend using stainless steel banding and clips. Please note that mild steel banding should not be used on Chrome Molybdenum post weld heat treatments.

Stock reference & description:
29257 Mild steel banding (30m roll)
29259 Stainless steel banding (30m roll)



3. Banding Clips

Mild and stainless steel clips for fastening mild and stainless steel banding.

Stock reference & description:
29258 Mild steel banding clips (box of 100)
29260 Stainless steel banding clips (box of 100)



4. Banding Tools For Metal Banding Tape

For tightening, cutting off and clipping mild and stainless steel banding.

Stock reference & description:
29256 Winder banding machine
29255 Ratchet banding machine



5. Recorder Spares

Stock reference & description for EH Series Chino:
542-230 0-1200°C 180mm Fan fold chart ET-201
542-230/1 0-1200°C 180mm Fan fold chart EH-05035
542-234 Ink pad case complete with ink pads
542-231 Ink (12 Colours)

Stock reference & description for Fuji:
542-266 0-1200°C 180mm Fan fold chart
542-277 Print head cartridge



1. Single Pole Contactors

Replacement single pole contactors and contacts for 0-65V and 0-85V output heat treatment modules and units.

Stock reference & description:
526-054/SA Single pole contactor SU280 - 250A (Assembled)
526-056 Fixed contact for 526-054/SA single pole contactor
526-057 Moving contact for 526-054/SA single pole contactor
526-073/SA Single pole contactor SW200N - 250A (Assembled)
526-073/1 Fixed contact for 526-073/SA single pole contactor
526-073/2 Moving contact for 526-073/SA single pole contactor
526-052/SA Single pole contactor SW60 - 80A (Assembled)



2. Double Pole Contactors

Replacement single pole contactors and contacts for 32.5-0-32.5V and 42.5-0-42.5V output, heat treatment modules and units.

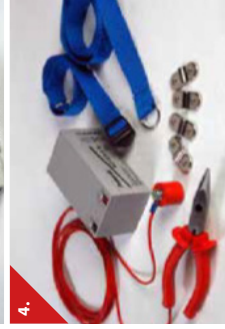
Stock reference & description:
526-074/SA Double pole SW190 - 200A contactor (Assembled)
526-059/1 Fixed contact for 526-074/SA double pole contactor
526-059/2 Moving contact for 526-074/SA double pole contactor



3. Circuit Breakers

Replacement mains circuit breaker for heat treatment modules and units.

Stock reference & description:
522-050 125A circuit breaker for 50KVA heat treatment modules and units
522-051 160A circuit breaker for 70KVA heat treatment modules and units



4. Thermocouple Attachment Unit Spares

Replacement parts for Thermocouple Attachment Units (TAUs).

Stock reference & description:
558-027 TAU rechargeable battery, 3 Amp hour, 12V d.c
536-128 Pliers and magnet set for TAU
536-058 Replacement TAU shoulder strap and clip
ZY-41756 Replacement, populated printed circuit board for 110V thermocouple attachment unit (41756)
ZY-41757 Replacement, populated printed circuit board for 230V thermocouple attachment unit (41757)



5. Thermocouple Wire

Type K nickel chrome/nickel aluminium thermocouple wire, insulated with high temperature glass braid. Recommended maximum temperature 800°C. A consumable item, which is used to convert the thermal energy at the hot junction of the thermocouple to an electrical mV signal which can then be used by temperature control and recording instruments to accurately control and record the temperature of the item being heat treated.
Conforms to: BS EN 60584-1 : 1996 Part 4
BS EN 60584-2 : 1993 Class 1 and ANSI-MC96

The thermocouple wire is attached directly to the work piece using the 'thermocouple attachment unit' stock reference: 41756 (110V unit) or 41757 (230V unit).

Stock reference & description:
43000 100m roll of type K thermocouple wire (Yellow/Red)
43000/G 100m roll of type K thermocouple wire (Green/White)



1. Thermocouple Connectors

Type K plug and socket thermocouple connectors. We offer two types of thermocouple plugs, 516-111 (green) being the standard type normally used with compensating cable. Whereas 516-115 (quick connection) plugs are ideally suited for use with thermocouple wire where regular connections are required.

Stock reference & description:

- 516-111/Y Type K inline plug (standard connection) (Yellow)
- 516-112/Y Type K inline socket (Yellow)
- 516-115 Type K inline plug (quick connection)
- 516-125 Type K panel mounted socket



2. Tubular, Stainless Steel Sheathed Thermocouples

Commonly used for temperature measurement in furnaces and ovens.

Stock reference & description:

- 42000 8.0m stainless steel sheathed type K thermocouple with fitted thermocouple plug
- 42001 0.6m stainless steel sheathed type K thermocouple with fitted thermocouple plug
- 42002 1.8m stainless steel sheathed type K thermocouple with fitted thermocouple plug



3. High Temperature Putty

A small portion of the soft putty is fixed over the hot junction of the thermocouple, which is attached to the item being heat treated. Once the putty dries (approximately 20 minutes) it hardens to protect the hot junction and helps avoid possible short circuit of the thermocouple wires which would result in temperature control and recording errors.

Stock reference & description:

- 43007 Jar of high temperature putty



4. Digital Thermocouple Calibration Unit

The hand held thermocouple calibration unit is an accurate measurement and millivolt source instrument, which is used to calibrate thermocouple instrumentation. It can measure or simulate 8 different thermocouple types and be used as a millivolt source. The instrument comes complete with the carrying bag, user's manual and a calibration certificate.

Stock reference & description:

- 41511 VA710 thermocouple calibration unit



5. True RMS Digital Clamp Meter

The digital clamp meter is an AC/DC multifunction clamp meter capable of measuring a.c or d.c voltage to 600V, a.c current up to 400A, input impedance for DCV: 10MΩ and temperature up to 1000°C using a type K thermocouple. Features include: Jaw capacity 30mm, LCD backlight, auto and manual ranging, diode test and continuity buzzer, data hold, flashlight, auto power off, low battery indication: ≈ 3.6V, input protection. Standard accessories are test leads, point contact temperature probe, carrying bag and user manual.

Stock reference & description:

- 44007 True RMS Digital Clamp Meter



1. 60A In-Line Connectors

Spare connectors for repair of splitters and heating elements.

Stock reference & description:

- 508-009 60A brass male connector
- 508-010 60A brass female connector
- 508-019 60A fibre male sleeve for use with 508-009
- 508-020 60A fibre female sleeve for use with 508-010
- 508-022 60A fibre pin for use with 508-019 and 508-020
- 508-040 12.7mm wide copper shim for use with 508-009 and 508-010



2. 300A In-Line Connectors

Spare connectors for repair of triple cable sets and splitters.

Stock reference & description:

- 508-006 300A brass male connector
- 508-007 300A brass female connector
- 508-015 300A fibre male sleeve for use with 508-006
- 508-016 300A fibre female sleeve for use with 508-007
- 508-021 300A fibre pin for use with 508-015 and 508-016
- 508-041 19mm wide copper shim for use with 508-006 and 508-007



3. 300A Panel Mounted Connectors

Spare panel mounted connector sockets for repair of heat treatment modules and units. Supplied complete with fibre washer and lock nut.

Stock reference & description:

- 508-001 300A panel mounted sockets
- 508-002 300A panel mounted plugs
- 508-003 300A panel mounted connector plug with neoprene sleeve



4. Energy Regulator & Aluminium Knob

Energy regulator for 110V use c/w aluminium knob and replacement dial.

Stock reference & description:

- 552-012 Energy regulator
- 552-014 Aluminium knob
- 552-015 Replacement dial



5. 110V 6 Way Control Plug & Socket

Spare in line plug and panel mounted socket, for repair of 110V control cables and control inputs and outputs.

Stock reference & description:

- 516-300 7 pin panel mounted male plug
- 516-301 7 pin in line female socket



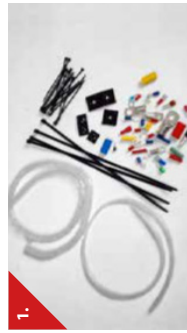
6. 110V Control Plugs & Sockets

Spare in-line XLR plugs and panel-mounted sockets for repair of 110V control cables and control inputs and outputs.

Stock reference & description:

- 516-100 3 pin XLR type panel mounting plug for 110V contactor control
- 516-101 3 pin XLR type panel mounting socket for 110V contactor control
- 516-102 3 pin XLR type in-line socket for 110V contactor control
- 516-103 3 pin XLR type in-line plug for 110V contactor control

GLOBAL STORK LOCATIONS OFFICIAL DISTRIBUTORS



1.



2.



3.



4.



5.



6.

1. Electrical Fittings - Various
All wiring and cable accessories as used in our equipment are available for purchase. The more common parts detailed below.

Stock reference & description:

- 558-001 Large cable ties
- 558-002 Small cable ties
- 558-003 Large stick on bases
- 558-004 Small stick on bases
- 520-018 35 x 8mm copper cable lugs
- 520-019 35 x 10mm copper cable lugs
- 520-013 25 x 8mm copper cable lugs
- 520-030 70 x 10mm copper cable lugs
- 520-069 6.3mm insulated red receptacles
- 520-070/1 6.3mm insulated blue receptacles

2. Fuses - Various

Various fuses and holders available as spares for our equipment. Common parts detailed below.

Stock reference & description:

- 530-001 Panel mounting fuse holder 1.25"
- 530-023 200A SIBA flat fuse
- 530-032 200A semiconductor fuse T350
- 530-053 5A glass fuse 1.25"
- 530-054 10A glass fuse 1.25"
- 530-080 DIN rail mounting fuse holder

3. 110VAC Plugs and Sockets

Spare in-line plugs and panel mounted sockets for repair of 110V supply cables and supply outputs.

Stock reference & description:

- 516-040 Large yellow, 110V, 16A, 3 round pin, Industrial (BS4343) panel mounting socket
- 516-040/1 Yellow, 110V, 16A, 3 round pin, Industrial (BS4343) panel mounting socket
- 516-041 Yellow, 110V, 16A, 3 round pin, Industrial (BS4343) in-line plug

4. Flexible Insulated Preheat Magnets

Pair of powerful limpet magnets with cross bar used to quickly clamp Flexible Insulated Preheaters (FIPs) to the work piece being preheated.

Stock reference & description:

- 29269 Assembled pair of limpet magnets with cross bar
- 536-001 Replacement, single, limpet magnet

5. Surface Combustion Unit Spare Plaque & Gasket Set

Replacement parts for repair of Surface Combustion Units (SCU).

Stock reference & description:

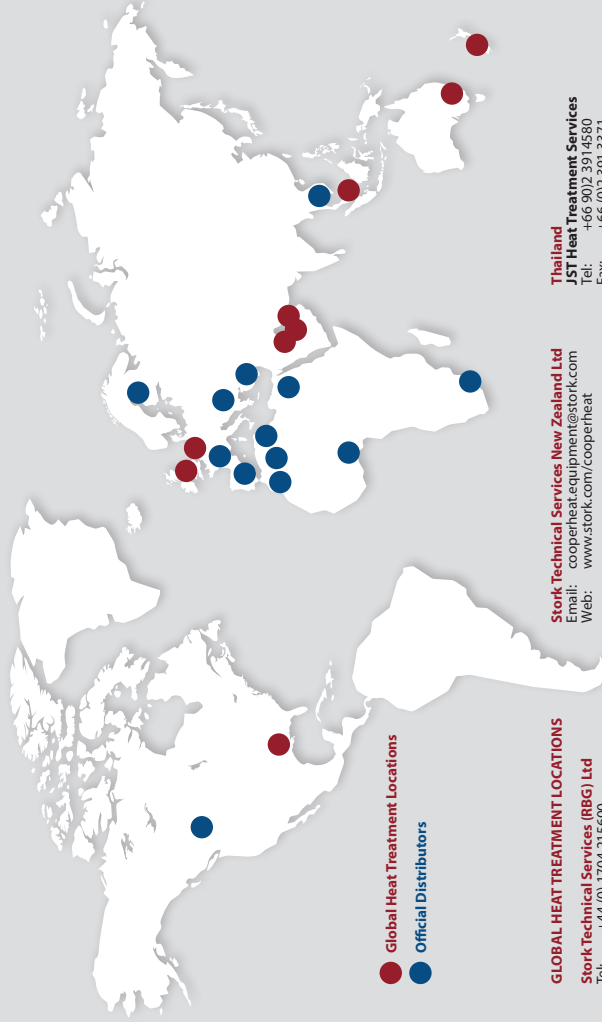
- 6262/P/15 Replacement set of 6 SCU plaques & gaskets

6. Soft Iron Tie Wire

For heating element bands of less than 4 heating elements, soft iron wire is adequate to fix the heating element and insulation around the workpiece.

Stock reference & description:

- 29266 Soft iron wire (25kg roll)



● Global Heat Treatment Locations
● Official Distributors

GLOBAL HEAT TREATMENT LOCATIONS

Stork Technical Services New Zealand Ltd
Email: coopheat.equipment@stork.com
Web: www.stork.com/cooperheat

Qatar
Tel: +974 (0) 44 499 9817
Fax: +974 (0) 44 487 9633

Stork Australia PTY Ltd
Tel: +61 (0) 8 9412 1160
Email: coopheat.equipment@stork.com
Web: www.stork.com/cooperheat

Stork USA Inc
Email: coopheat.equipment@stork.com
Web: www.stork.com/cooperheat

Cooperheat Middle East
Email: coopheat.equipment@stork.com
Web: www.stork.com/cooperheat

Cooperheat Saudi Arabia Co. Ltd
Email: coopheat.equipment@stork.com
Web: www.stork.com/cooperheat

Stork Nederland B.V.
Email: coopheat.equipment@stork.com
Web: www.stork.com/cooperheat

Stork Technical Services
Email: coopheat.equipment@stork.com
Web: www.stork.com/cooperheat

Stork Technical Services (RBG) Ltd
Tel: +44 (0) 1704 215600
Fax: +44 (0) 1704 215601
Email: coopheat.equipment@stork.com
Web: www.cooperheat.co.uk

Stork Technical Services Malaysia Sdn Bhd
Email: coopheat.equipment@stork.com
Web: www.stork.com/cooperheat

Stork Africa & Sub Sahara
Tel: +27 31 912 2212
Fax: +27 31 912 2261
Email: totalheating@icon.co.za

Stork Heating Solutions cc
Tel: +234 (0) 254 672 50334
Fax: +234 (0) 254 672 50334
Email: enquiry@specialpipingltd.com

Stork Piping Materials (Nig) Ltd
Tel: +234 (0) 805 884 0202
Fax: +234 (0) 805 884 0202
Email: enquiry@specialpipingltd.com

Stork Egypt
Tel: +20 2 251 83752
Fax: +20 2 251 84633
Email: omar@obbaegypt.net

Stork Turkey
Tel: +90 (0) 212 252 3210
Fax: +90 (0) 212 293 7122
Email: ITM@atahas.com

Thailand
JST Heat Treatment Services
Tel: +66 (0) 2 391 4580
Fax: +66 (0) 2 391 3371
Email: jst@jst-group.com

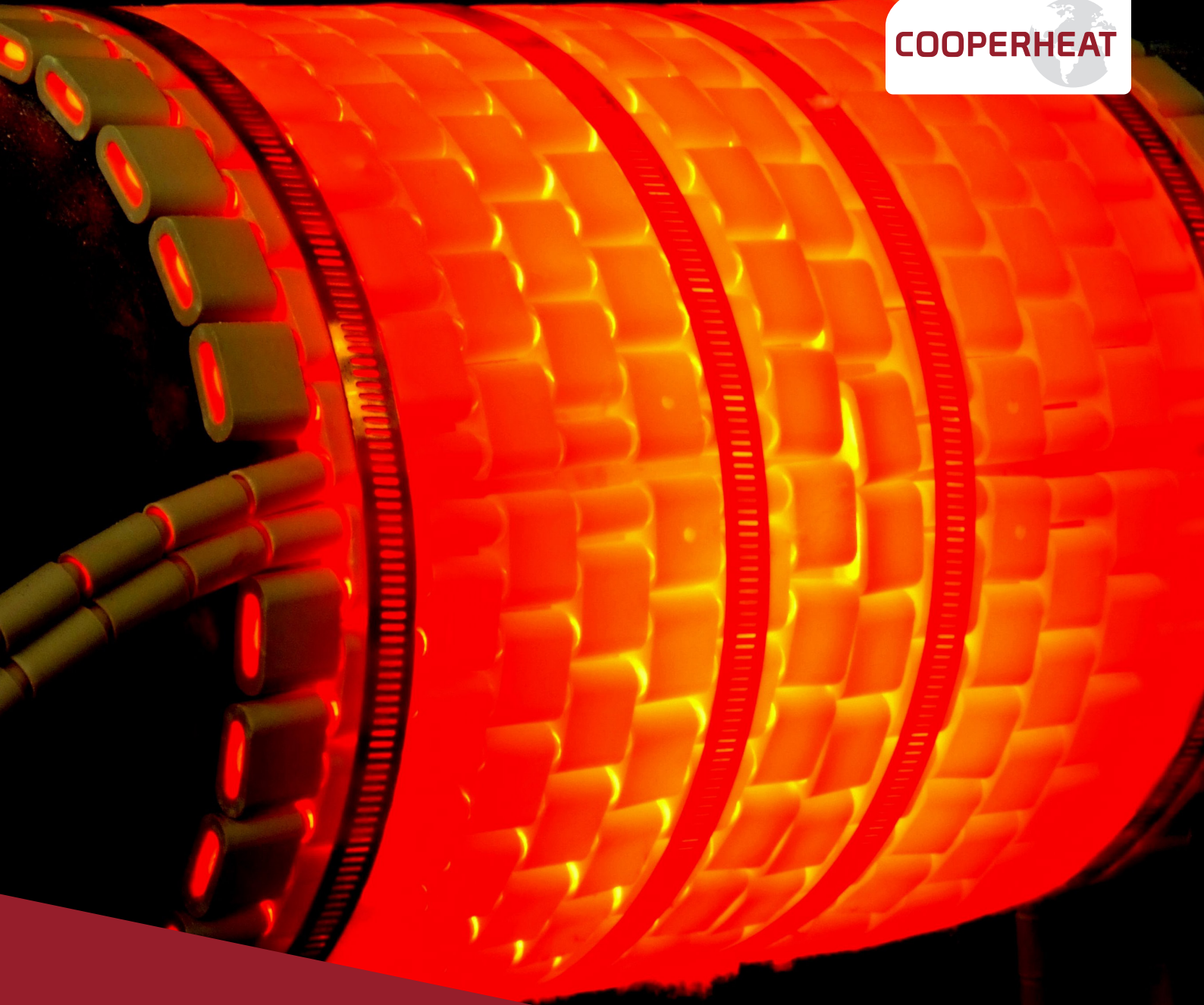
Spain
Montajes Industriales EOS
Tel: +34 (9) 1677 6517
Fax: +34 (9) 1677 6729
Email: miesa@miesa.com

Canada
Viaduct Trading
Tel: +1 (403) 998 1007
Fax: +1 (403) 715 7941
Email: car@viaducttrading.com

Finland
Finn Heat Ltd
Tel: +358 8 381 300
Fax: +358 8 381 777
Email: finnheat@finnheat.fi

Serbia
Veco Welding d.o.o.
Tel: +381 (0) 23 510 559
Fax: +381 (0) 23 510 174
Email: office@vecowelding.com

Cyprus, Algeria, Tunisia & Morocco
Cancon International Sprl
Tel: +32 (0) 19 325 973
Fax: +32 (0) 251 328 56
Email: sobelco@hotmail.com



COOPERHEAT

Units 21 - 24 Slaidburn Crescent
Southport
Merseyside
PR9 9YF
UK

Tel: +44 (0)1704 215600
Fax: +44 (0)1704 215601

Norfolk House
Pitmedden Road
Dyce
Aberdeen
AB21 0DP
UK

Tel: +44 (0)1224 722888
Fax: +44 (0)1224 723406

cooperheat.equipment@stork.com | www.cooperheat.co.uk

Cooperheat is a Stork brand

Příloha č. 13 – Bezpečnostní list – Síran sodný

Nepovinný bezpečnostní údaj podle dílky bezpečnostního listu v souladu s Nařízením (ES) č. 1907/2006 (REACH)



Síran sodný $\geq 99\%$, bezvodý

číslo výrobku: **8631**
Verze: **4.0 cs**
Nahrazuje verzi: 15.09.2020
Verze: (3)

datum sestavení: 16.10.2015
Revize: 13.07.2022

ODDÍL 1: Identifikace látky/směsi a společnosti/podniku

1.1 Identifikátor výrobku

Identifikace látky	Síran sodný $\geq 99\%$, bezvodý
Číslo výrobku	8631
Registrační číslo (REACH)	01-2119519226-43-xxxx
Číslo ES	231-820-9
Číslo CAS	7757-82-6

1.2 Příslušná určená použití látky nebo směsi a nedoporučená použití

Příslušná určená použití:	Laboratorní chemikálie Laboratorní a analytické použití
Nedoporučená použití:	Nepoužívejte u výrobků, které přicházejí do styku s potravinami. Nepoužívejte pro soukromé účely (domácnost).

1.3 Podrobné údaje o dodavateli bezpečnostního listu

Carl Roth GmbH + Co KG
Schoemperlenstr. 3-5
D-76185 Karlsruhe
Německo

Telefon: +49 (0) 721 - 56 06 0
Telefax: +49 (0) 721 - 56 06 149
e-mail: sicherheit@carlroth.de
Webová stránka: www.carlroth.de

Odborně způsobilá osoba odpovědná za bezpečnostní list: :Department Health, Safety and Environment

e-mail (kompetentní osoba): sicherheit@carlroth.de

Dodavatel (dovozce): P-LAB A. S.
U Pekáren 1645/1
102 00 Praha 10-Hostivař
+420 271 730 800
+420 271 731 176
info@p-lab.cz
www.p-lab.cz

1.4 Telefonní číslo pro naléhavé situace

Název	Ulice	PSČ/ město	Telefon	Webová stránka
Toxikologické informační středisko	Na Bojišti 1	120 00 Praha 2	+420 224 919 293, +420 224 915 402	www.tis-cz.cz

Síran sodný $\geq 99\%$, bezvodý

číslo výrobku: 8631

1.5 Dovozece

P-LAB A. S.
U Pekáren 1645/1
102 00 Praha 10-Hostivař
Česká republika

Telefon: +420 271 730 800

Telefax: +420 271 731 176

e-Mail: info@p-lab.cz

Webová stránka: www.p-lab.cz

ODDÍL 2: Identifikace nebezpečnosti

2.1 Klasifikace látky nebo směsi

Klasifikace podle nařízení (ES) č. 1272/2008 (CLP)

Tato látka nespĺňuje kritéria pro klasifikaci v souladu s nařízením č. 1272/2008/ES.

2.2 Prvky označení

Označení podle nařízení (ES) č. 1272/2008 (CLP)

není nutné

2.3 Další nebezpečnost

Výsledky posouzení PBT a vPvB

Na základě výsledků posouzení tato látka není PBT ani vPvB.

ODDÍL 3: Složení/informace o složkách

3.1 Látky

Název látky	Síran sodný
Molekulární vzorec	Na_2SO_4
Molární hmotnost	142 g/mol
Č. REACH Reg.	01-2119519226-43-xxxx
Č. CAS	7757-82-6
Č. ES	231-820-9

ODDÍL 4: Pokyny pro první pomoc

4.1 Popis první pomoci



Obecné poznámky

Kontaminovaný oděv svlékněte.

Při nadýchání

Zajistěte přísun čerstvého vzduchu.

Při styku s kůží

Opláchněte kůži vodou/osprchujte.

Síran sodný $\geq 99\%$, bezvodý

číslo výrobku: 8631

Při zasažení očí

Několik minut opatrně oplachujte vodou. Ve všech případech pochybností, nebo když příznaky přetrvávají, vyhledejte lékařskou pomoc.

Při požití

Vypláchněte ústa. Necítíte-li se dobře volejte lékaře.

4.2 Nejdůležitější akutní a opožděné symptomy a účinky

Žaludeční nevolnost, Zvracení, Kardiovaskulární systém

4.3 Pokyn týkající se okamžité lékařské pomoci a zvláštního ošetření

žádná

ODDÍL 5: Opatření pro hašení požáru

5.1 Hasiva



Vhodná hasiva

opatření pro hašení požáru
voda, pěna, pěna odolná vůči alkoholu, suchý hasicí prášek, ABC-prášek

Nevhodná hasiva

vodní proud

5.2 Zvláštní nebezpečnost vyplývající z látky nebo směsi

Nehořlavé.

Nebezpečné zplodiny hoření

V případě požáru mohou vznikat: Oxidy síry (SOx)

5.3 Pokyny pro hasiče

V případě požáru nebo výbuchu nevdechujte dýmy. Haste pomocí běžných preventivních opatření z přiměřené vzdálenosti. Použijte samostatný dýchací přístroj.

ODDÍL 6: Opatření v případě náhodného úniku

6.1 Opatření na ochranu osob, ochranné prostředky a nouzové postupy



Pro pracovníky kromě pracovníků zasahujících v případě nouze

Nejsou nutná žádná zvláštní opatření.

6.2 Opatření na ochranu životního prostředí

Zabraňte průniku do kanalizace, povrchových a podzemních vod.

6.3 Metody a materiál pro omezení úniku a pro čištění

Pokyny pro omezení úniku látky

Zakrytí kanalizačních vpustí. Seberte mechanicky.

Síran sodný $\geq 99\%$, bezvodý

číslo výrobku: 8631

Pokyny pro odstranění uniklé látky

Seberte mechanicky.

Další informace týkající se rozlití a úniku

Uložte do vhodných nádob k likvidaci.

6.4 Odkaz na jiné oddíly

Nebezpečné zplodiny hoření: viz oddíl 5. Osobní ochranné vybavení: viz oddíl 8. Neslučitelné materiály: viz oddíl 10. Pokyny pro odstraňování: viz oddíl 13.

ODDÍL 7: Zacházení a skladování

7.1 Opatření pro bezpečné zacházení

Nevyžadují se žádná zvláštní preventivní opatření.

Pokyny týkající se obecné hygieny při práci

Uchovávejte odděleně od potravin, nápojů a krmiv.

7.2 Podmínky pro bezpečné skladování látek a směsí včetně neslučitelných látek a směsí

Skladujte na suchém místě. Hydroskopický.

Neslučitelné látky nebo směsi

Dbejte na kompatibilní skladování chemikálií.

Věnujte pozornost ostatním pokynům:

Zvláštní požadavky na skladovací prostory nebo nádoby

Doporučená skladovací teplota: 15 – 25 °C

7.3 Specifické konečné/specifická konečná použití

Žádné informace nejsou k dispozici.

ODDÍL 8: Omezování expozice/osobní ochranné prostředky

8.1 Kontrolní parametry

Vnitrostátní limitní hodnoty

Limitní hodnoty expozice na pracovišti (expoziční limity na pracovišti)

Tato informace není k dispozici.

Hodnoty pro lidské zdraví

Relevantní DNEL a ostatní mezní hodnoty				
(Sledovaná) vlastnost	Mezní hodnota	Cíl ochrany, cesta expozice	Použito v	Doba expozice
DNEL	3,2 mg/kg	člověk, dermální	pracovník (průmysl)	chronické - systémové účinky
DNEL	20 mg/m ³	člověk, inhalační	pracovník (průmysl)	chronické - systémové účinky
DNEL	20 mg/m ³	člověk, inhalační	pracovník (průmysl)	chronické - místní účinky

Síran sodný $\geq 99\%$, bezvodý

číslo výrobku: 8631

Pro životní prostředí příslušné hodnoty

Relevantní PNEC a ostatní mezní hodnoty				
(Sledovaná) vlastnost	Mezní hodnota	Organismus	Složka životního prostředí	Doba expozice
PNEC	11,09 mg/l	vodní organismy	sladká voda	krátkodobé (jednorázové)
PNEC	1,109 mg/l	vodní organismy	mořská voda	krátkodobé (jednorázové)
PNEC	800 mg/l	vodní organismy	čistiřna odpadních vod (STP)	krátkodobé (jednorázové)
PNEC	40,2 mg/kg	vodní organismy	sladkovodní sediment	krátkodobé (jednorázové)
PNEC	4,02 mg/kg	vodní organismy	mořský sediment	krátkodobé (jednorázové)
PNEC	1,54 mg/kg	suchozemské organismy	půda	krátkodobé (jednorázové)

8.2 Omezování expozice

Individuální ochranná opatření (osobní ochranné vybavení)

Ochrana očí a obličeje



Používejte bezpečnostní ochranné brýle s bočními kryty.

Ochrana kůže



• ochrana rukou

Používejte vhodné ochranné rukavice. Jsou vhodné chemické ochranné rukavice, které jsou zkoušeny podle EN 374.

• druh materiálu

NBR (Nitrilkaučuk)

• tloušťka materiálu

>0,3 mm

• doba průniku materiálem rukavic

>480 minut (permeace: úroveň 6)

• další opatření pro ochranu rukou

Umožnit pokožce určitou dobu regenerovat. Doporučuje se preventivní ochrana pokožky (ochranné krémy/masti).

Ochrana dýchacích cest



Síran sodný ≥ 99 %, bezvodý

číslo výrobku: **8631**

Ochrana dýchacích cest je nutná při: Prašnost. Filtrační prostředek proti pevným částicím (EN 143). P1 (filtry nejméně 80% vzdušných částic, barevné značení: Bílá).

Omezování expozice životního prostředí

Zabraňte průniku do kanalizace, povrchových a podzemních vod.

ODDÍL 9: Fyzikální a chemické vlastnosti

9.1 Informace o základních fyzikálních a chemických vlastnostech

Fyzikální stav	pevný
Forma	krystalické
Barva	bílá
Zápach	bez zápachu
Bod tání/bod tuhnutí	888 °C
Bod varu nebo počáteční bod varu a rozmezí bodu varu	neurčeno
Hořlavost	nehořlavé
Dolní a horní mezní hodnota výbušnosti	neurčeno
Bod vzplanutí	nepoužitelné
Teplota samovznícení	>400 °C při 994 hPa (ECHA)
Teplota rozkladu	>884 °C (ECHA)
hodnota pH	4 – 6 (in aqueous solution: 100 g/l, 20 °C)
Kinematická viskozita	není relevantní
<u>Rozpustnost(i)</u>	
Rozpustnost ve vodě	445,5 g/l při 20 °C (ECHA)
<u>Rozdělovací koeficient</u>	
Rozdělovací koeficient n-oktanol/voda (logaritická hodnota):	není relevantní (anorganické)
Tlak páry	neurčeno
<u>Hustota a/nebo relativní hustota</u>	
Hustota	2,7 g/cm ³ při 20 °C
Relativní hustota páry	informace o této vlastnosti není k dispozici
Charakteristiky částic	Nejsou k dispozici žádné údaje.
<u>Další bezpečnostní parametry</u>	
Oxidační vlastnosti	žádná

Síran sodný $\geq 99\%$, bezvodý

číslo výrobku: 8631

9.2 Další informace

Informace týkající se tříd fyzikální nebezpečnosti: třídy nebezpečnosti podle GHS (fyzikální nebezpečnosti): není relevantní

Další charakteristiky bezpečnosti:

Povrchové napětí 71 mN/m (20 °C) (ECHA)

ODDÍL 10: Stálost a reaktivita

10.1 Reaktivita

Tento materiál není reaktivní za normálních podmínek okolního prostředí.

10.2 Chemická stabilita

Materiál je stabilní za běžných podmínek okolního prostředí a předpokládaných skladovacích a manipulačních podmínek teploty a tlaku.

10.3 Možnost nebezpečných reakcí

Bouřlivá reakce s: silný oxidant

10.4 Podmínky, kterým je třeba zabránit

Chraňte před teplem. Rozklad nastává od teploty: $>884\text{ °C}$. Chraňte před vlhkem.

10.5 Neslučitelné materiály

Žádné další informace nejsou k dispozici.

10.6 Nebezpečné produkty rozkladu

Nebezpečné zplodiny hoření: viz oddíl 5.

ODDÍL 11: Toxikologické informace

11.1 Informace o třídách nebezpečnosti vymezených v nařízení (ES) č. 1272/2008

Klasifikace podle GHS (1272/2008/ES, CLP)

Tato látka nespĺňuje kritéria pro klasifikaci v souladu s nařízením č. 1272/2008/ES.

Akutní toxicita

Není klasifikována jako akutně toxická.

Akutní toxicita					
Cesta expozice	(Sledovaná) vlastnost	Hodnota	Druhy	Metoda	Zdroj
ústní	LD50	$>2.000\text{ mg/kg}$	potkan		ECHA
vdechování: prach/mlha	LC50	$>2,4\text{ mg/l/4h}$	potkan		ECHA

Žíravost/dráždivost pro kůži

Není klasifikována jako žíravá/dráždivá pro kůži.

Vážné poškození očí/podráždění očí

Není klasifikována jako způsobující vážné poškození očí, nebo dráždivá pro oči.

Senzibilizace dýchacích cest nebo kůže

Není klasifikována jako látka senzibilizující dýchací cesty nebo kůži.

Síran sodný $\geq 99\%$, bezvodý

číslo výrobku: 8631

Mutagenita v zárodečných buňkách

Není klasifikována jako mutagenní v zárodečných buňkách.

Karcinogenita

Není klasifikována jako karcinogenní.

Toxicitu pro reprodukci

Není klasifikována jako toxická pro reprodukci.

Toxicita pro specifické cílové orgány - jednorázová expozice

Není klasifikována jako toxická pro specifické cílové orgány (jednorázová expozice).

Toxicita pro specifické cílové orgány - opakovaná expozice

Není klasifikována jako toxická pro specifické cílové orgány (opakovaná expozice).

Nebezpečnost při vdechnutí

Není klasifikována jako představující nebezpečnost při vdechnutí.

Příznaky odpovídající fyzikálním, chemickým a toxikologickým vlastnostem

• Při požití

zvracení, žaludeční nevolnost, gastrointestinální potíže

• Při zasažení očí

mírně dráždivý, ale bez povinné klasifikace

• Při vdechnutí

Po vdechnutí prachu může dojít k podráždění dýchacích cest

• Při styku s kůží

Častý a trvalý kontakt s pokožkou může vyvolat její podráždění

• Další informace

Jiné nepříznivé účinky: Kardiovaskulární systém

11.2 Vlastnosti vyvolávající narušení činnosti endokrinního systému

Není uvedeno.

11.3 Informace o další nebezpečnosti

Žádné další informace nejsou k dispozici.

ODDÍL 12: Ekologické informace

12.1 Toxicita

Není klasifikována jako nebezpečná pro vodní prostředí.

Vodní toxicita (akutní)				
(Sledovaná) vlastnost	Hodnota	Druhy	Zdroj	Doba expozice
LC50	7.960 mg/l	ryba	ECHA	96 h
EC50	3.150 mg/l	vodní bezobratlí	ECHA	48 h

Síran sodný $\geq 99\%$, bezvodý

číslo výrobku: 8631

Vodní toxicita (chronická)				
(Sledovaná) vlastnost	Hodnota	Druhy	Zdroj	Doba expozice
EC50	1.698 mg/l	vodní bezobratlí	ECHA	7 d
LC50	3.030 mg/l	vodní bezobratlí	ECHA	7 d

Biologický rozklad

Metody pro stanovení biologické odbouratelnosti nelze aplikovat na anorganické látky.

12.2 Proces degradace

Údaje nejsou k dispozici.

12.3 Bioakumulační potenciál

Údaje nejsou k dispozici.

12.4 Mobilita v půdě

Údaje nejsou k dispozici.

12.5 Výsledky posouzení PBT a vPvB

Údaje nejsou k dispozici.

12.6 Vlastnosti vyvolávající narušení činnosti endokrinního systému

Není uvedeno.

12.7 Jiné nepříznivé účinky

Údaje nejsou k dispozici.

ODDÍL 13: Pokyny pro odstraňování

13.1 Metody nakládání s odpady



Pro likvidaci odpadu kontaktujte odbornou firmu zajišťující likvidaci.

Informace důležité pro odstraňování odpadů prostřednictvím kanalizace

Nevylévejte do kanalizace.

13.2 Příslušná ustanovení týkající se odpadů

Přidělování katalogových čísel odpadů/názevů odpadů se provádí v souladu s vyhláškou EAK a v závislosti na konkrétním oboru a na konkrétním procesu. Katalog odpadů (EWC) - vyhláška (Německo).

13.3 Poznámka

Odpad by měl být tříděn podle kategorií, které mohou být odděleně zpracovávány místními nebo vnitrostátními zařízeními na zpracování odpadu. Prosíme berte v úvahu platná vnitrostátní nebo regionální ustanovení.

Síran sodný $\geq 99\%$, bezvodý

číslo výrobku: 8631

ODDÍL 14: Informace pro přepravu

- 14.1 UN číslo nebo ID číslo** nepodléhá předpisům o přepravě
- 14.2 Oficiální (OSN) pojmenování pro přepravu** není přiřazeno
- 14.3 Třída/třídy nebezpečnosti pro přepravu** žádná
- 14.4 Obalová skupina** není přiřazeno
- 14.5 Nebezpečnost pro životní prostředí** není ohrožující životní prostředí podle nařízení o nebezpečném zboží
- 14.6 Zvláštní bezpečnostní opatření pro uživatele**
Žádné další informace nejsou k dispozici.
- 14.7 Námořní hromadná přeprava podle nástrojů IMO**
Náklad není určen pro přepravu jako hromadný náklad.
- 14.8 Informace podle jednotlivých vzorových předpisů OSN**
- Přeprava nebezpečných věcí po silnici, železnici a vnitrozemských vodních cestách (ADR/RID/ADN) - Doplnující informace**
Nepodléhá předpisům ADR, RID a ADN.
- Předpis pro mezinárodní námořní přepravu nebezpečných věcí (IMDG) - Doplnující informace**
Nepodléhá předpisům IMDG.
- Mezinárodní organizace pro civilní letectví (ICAO-IATA/DGR) - Doplnující informace**
Nepodléhá předpisům ICAO-IATA.

ODDÍL 15: Informace o předpisech

- 15.1 Předpisy týkající se bezpečnosti, zdraví a životního prostředí/specifické právní předpisy týkající se látky nebo směsi**

Relevantní ustanovení Evropské unie (EU)

Omezení podle REACH, Příloha XVII

není uvedeno

Seznam látek podléhajících povolování (REACH, Příloha XIV)/SVHC - kandidátský seznam

Není uvedeno.

Seveso Směrnice

2012/18/EU (Seveso III)			
Č.	Nebezpečná látka/kategorie nebezpečnosti	Kvalifikační množství (v tunách) pro aplikaci požadavků podlimitního a nadlimitního množství	Poznámky
	není přiřazeno		

Deco-Paint Směrnice

VOC obsah	0 % 0 g/l
-----------	--------------

Nepovinný bezpečnostní údaj podle díkce bezpečnostního listu v souladu s Nařízením (ES) č. 1907/2006 (REACH)



Síran sodný $\geq 99\%$, bezvodý

číslo výrobku: 8631

Směrnice o průmyslových emisích (IED)

VOC obsah	0 %
VOC obsah	0 g/l

Směrnice o omezení používání některých nebezpečných látek v elektrických a elektronických zařízeních (RoHS)

není uvedeno

Nařízení kterým se zřizuje evropský registr úniků a přenosů znečišťujících látek (PRTR)

není uvedeno

Rámcová směrnice o vodách (RSV)

Seznam znečišťujících látek (RSV)				
Název látky	Název podle soupisu	Č. CAS	Uveden ý v	Poznámka
Síran sodný	Kovy a jejich sloučeniny		a)	

Legenda

A) Směrný seznam hlavních znečišťujících látek

Nařízení o uvádění prekurzorů výbušnin na trh a o jejich používání

není uvedeno

Nařízení o prekursorech drog

není uvedeno

Nařízení o látkách, které poškozují ozonovou vrstvu (ODS)

není uvedeno

Nařízení o vývozu a dovozu nebezpečných chemických látek (PIC)

není uvedeno

Nařízení o perzistentních organických znečišťujících látkách (POP)

není uvedeno

Další informace

Směrnice 94/33/ES o ochraně mladistvých pracovníků. Řídit se pracovními omezeními vyplývajícími z Nařízení (92/85/EHS) o ochraně zdraví nastávajících nebo kojících matek.

Národní seznamy

Země	Soupis	Stav
AU	AIIC	látka je vedená
CA	DSL	látka je vedená
CN	IECSC	látka je vedená
EU	ECSI	látka je vedená
EU	REACH Reg.	látka je vedená
JP	CSCL-ENCS	látka je vedená
KR	KECI	látka je vedená
MX	INSQ	látka je vedená

Nepovinný bezpečnostní údaj podle dílky bezpečnostního listu v souladu s Nařízením (ES) č. 1907/2006 (REACH)



Síran sodný ≥99 %, bezvodý

číslo výrobku: 8631

Země	Soupis	Stav
NZ	NZIoC	látka je vedená
PH	PICCS	látka je vedená
TR	CICR	látka je vedená
TW	TCSI	látka je vedená
US	TSCA	látka je vedená

Legenda

AIIC	Australian Inventory of Industrial Chemicals
CICR	Chemical Inventory and Control Regulation
CSCL-ENCS	List of Existing and New Chemical Substances (CSCL-ENCS)
DSL	Domestic Substances List (DSL)
ECSI	Seznam ES látek (EINECS, ELINCS, NLP)
IECSC	Inventory of Existing Chemical Substances Produced or Imported in China
INSQ	National Inventory of Chemical Substances
KECI	Korea Existing Chemicals Inventory
NZIoC	New Zealand Inventory of Chemicals
PICCS	Philippine Inventory of Chemicals and Chemical Substances (PICCS)
REACH Reg.	REACH registrované látky
TCSI	Taiwan Chemical Substance Inventory
TSCA	Toxic Substance Control Act

15.2 Posouzení chemické bezpečnosti

U této látky nebylo provedeno posouzení chemické bezpečnosti.

ODDÍL 16: Další informace

Vyznačení změn (přepřacovaný bezpečnostní list)

Uvedení do souladu s nařízením: Nařízením (ES) č. 1907/2006 (REACH), upraveno 2020/878/EU

Restrukturalizace: oddíl 9, oddíl 14

Oddíl	Předchozí vstup (hodnota/text)	Aktuální vstup (hodnota/text)	Relevantní pro bezpečnost
2.2	Signální slovo: není nutné		ano
2.3	Další nebezpečnost: Žádné další informace nejsou k dispozici.	Další nebezpečnost	ano
2.3		Výsledky posouzení PBT a vPvB: Na základě výsledků posouzení tato látka není PBT ani vPvB.	ano

Zkratky a zkratková slova

Zkr.	Popisy použitých zkratk
ADN	Accord européen relatif au transport international des marchandises dangereuses par route (Evropská dohoda o mezinárodní přepravě nebezpečných věcí po vnitrozemských vodních cestách)
ADR	Accord relatif au transport international des marchandises dangereuses par route (dohoda o mezinárodní silniční přepravě nebezpečných věcí)
CAS	Chemical Abstracts Service (Databáze chemických látek a jejich unikátní klíč, Registrační číslo CAS)
CLP	Nařízením (ES) č.1272/2008 o klasifikaci, označování a balení látek a směsí
č. ES	Seznam ES (EINECS, ELINCS a NLP-seznam), je zdrojem pro sedmimístní číslo ES, které je identifikátorem látek komerčně dostupných v rámci EU (Evropské unie)

Nepovinný bezpečnostní údaj podle dílce bezpečnostního listu v souladu s Nařízením (ES) č. 1907/2006 (REACH)



Síran sodný ≥ 99 %, bezvodý

číslo výrobku: 8631

Zkr.	Popisy použitých zkratk
DGR	Dangerous Goods Regulations - pravidla pro přepravu nebezpečných věcí (pozri IATA/DGR)
DNEL	Derived Minimal Effect Level (odvozená minimální hodnota žádného účinku)
EC50	Effective Concentration 50 % (účinná koncentrace 50 %). EC50 odpovídá koncentraci zkoušené látky způsobující 50 % změnu reakce (např. na růstu) během specifikovaného časového intervalu
EINECS	European Inventory of Existing Commercial Chemical Substances (Evropský seznam existujících obchodovaných chemických látek)
ELINCS	European List of Notified Chemical Substances (Evropský seznam oznámených chemických látek)
GHS	"Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals" "Globálně harmonizovaný systém klasifikace a označování chemických látek" vypracovala OSN
IATA	International Air Transport Association (Mezinárodní sdružení leteckých dopravců)
IATA/DGR	Dangerous Goods Regulations (DGR) for the air transport (IATA) (Předpis pro leteckou přepravu nebezpečných věcí)
ICAO	International Civil Aviation Organization (Mezinárodní organizace pro civilní letectví)
IMDG	International Maritime Dangerous Goods Code (Předpis pro mezinárodní námořní přepravu nebezpečných věcí)
LC50	Lethal Concentration 50 % (smrtná koncentrace 50 %): LC50 odpovídá koncentraci zkoušené látky způsobující 50 % úmrtnost během určeného časového intervalu
LD50	Lethal Dose 50 % (smrtná dávka 50 %): LD50 odpovídá dávce zkoušené látky způsobující 50 % úmrtnost během určitého časového intervalu
NLP	No-Longer Polymer (látka, která není nadále pokládána za polymer)
PBT	Persistent, Bioaccumulative and Toxic (perzistentní, bioakumulativní a toxický)
PNEC	Predicted No-Effect Concentration (odhad koncentrace, při které nedochází k nepříznivým účinkům)
REACH	Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (Registrace, hodnocení, povolování a omezování chemických látek)
RID	Règlement concernant le transport International ferroviaire des marchandises Dangereuses (Řád pro mezinárodní železniční přepravu nebezpečných věcí)
SVHC	Substance of Very High Concern (látka vzbuzující mimořádné obavy)
VOC	Volatile Organic Compounds (těkavé organické sloučeniny)
vPvB	Very Persistent and very Bioaccumulative (velmi perzistentní a velmi bioakumulativní)

Důležité odkazy na literaturu a zdroje dat

Nařízení (ES) č. 1272/2008 o klasifikaci, označování a balení látek a směsí. Nařízení (ES) č. 1907/2006 (REACH), upraveno 2020/878/EU.

Přeprava nebezpečných věcí po silnici, železnici a vnitrozemských vodních cestách (ADR/RID/ADN). Předpis pro mezinárodní námořní přepravu nebezpečných věcí (IMDG). Dangerous Goods Regulations (DGR) for the air transport (IATA) (Předpis pro leteckou přepravu nebezpečných věcí).

Prohlášení

Tyto informace vycházejí ze současného stavu našich poznatků. Tento BL byl sestaven a je určen výhradně pro tento výrobek.