



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

**OPTIMALIZACE TECHNOLOGICKÝCH
VLASTNOSTÍ CEMENTOVÝCH
FORMOVACÍCH SMĚSÍ**

OPTIMALIZATION OF TECHNOLOGICAL PROPERTIES OF CEMENT SAND
MIXTURES

DIZERTAČNÍ PRÁCE

DOCTORAL THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ing. Klára Burianová

ŠKOLITEL

SUPERVISOR

prof. Ing. Karel Rusín, DrSc.

BRNO 2016

© Burianová Klára, 2016

Ústav strojírenské technologie
Odbor slévárenství
Fakulta strojního inženýrství
Vysoké učení technické v Brně
Technická 2896/2, 616 69 Brno

ABSTRAKT

Práce se zabývá optimalizací technologických vlastností cementových formovacích směsí. Hlavním cílem je nalezení správných jednotlivých komponent směsi, které přispějí k rychlejšímu tuhnutí směsi, tím i kratší době rozebírání.

Náplní je dále návrh metody měření a zaznamenávání průběhu plastické deformace směsi. Také posouzení vlivu rychlosti vývinu hydratačního tepla cementové směsi v počátečním stádiu procesu tuhnutí na průběh pevnostních charakteristik směsi. Pro posouzení těchto jevů byla použita kalorimetrická metoda, sloužící pro měření vývinu hydratačního tepla cementové směsi. Dále měření plastické deformace směsi a mechanicko-fyzikální metody měření pevnosti v tlaku za pomoci měřicího přístroje LRU-D.

KLÍČOVÁ SLOVA

Slévárenské formovací směsi, cementová pojiva, plastická deformace formovacích směsí, proces tuhnutí a tvrdnutí, kalorimetrie

ABSTRACT

The work deals with optimization of the technological properties of cement-sand mixtures. The main objective is to find the correct mixture of the individual components which contribute to the rapid solidification of the mixture, hence shorter dismantling.

The content is also of a method of measuring and recording during the plastic deformation of the mixture. Also assessment of the velocity of hydration heat cement mixture in the initial stage of the solidification process in the course of the strength properties of the mixture. To assess these phenomena was used calorimetric method used for measuring hydration heat cement mixture. Further measurements plastic deformation mixtures and mechanical and physical methods for measuring the compressive strength with the help of a measuring instrument LRU-D.

KEY WORDS

Foundry sand mixtures, a cement binder, plastic deformation sand mixtures, process of setting and hardening, calorimetry

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

BURIANOVÁ, Klára. *Optimalizace technologický vlastností cementových formovacích směsí*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 136 s. Vedoucí dizertační práce prof. Ing. Karel Rusín, DrSc.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem dizertační práci vypracovala samostatně na základě provedených experimentů, s použitím dostupné citované literatury a za podpory školitele.

V Brně

.....
Ing. Klára Burianová

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych chtěla vyjádřit upřímné poděkování svému školiteli prof. Ing. Karlu Rusínovi, DrSc. za odborné vedení a cenné rady při řešení této dizertační práce. Zvláštní poděkování patří моým rodičům za jejich podporu v průběhu celého mého studia.

OBSAH

1. ÚVOD - FORMULACE PROBLÉMU PRÁCE.....	9
2. CÍLE PRÁCE	12
3. SOUČASNÝ STAV - TEORETICKÁ ČÁST	13
3.1 Cement, druhy cementů a jeho základní charakteristika.....	13
3.1.1 Rozdělení cementů	14
3.1.2 Přísady v cementových směsích	15
3.2 Hydratace cementu.....	19
3.3 Vývin hydratačního tepla	21
3.4 Tuhnutí a tvrdnutí portlandského i hlinitanového cementu	23
3.5 Charakteristiky plasticity pro formovací směsi	26
3.6 Přehled formovacích směsí na bázi cementového pojiva	29
4. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST.....	31
4.1 Experiment I.....	31
4.1.1 Materiály použité v experimentu I.....	31
4.1.2 Metody použité v experimentu I.....	32
4.1.3 Postup přípravy zkušebních směsí.....	32
4.1.4 Zhotovení zkušebních vzorků.....	34
4.1.4.1 Postup zhotovení zkušebního vzorku pro isoperibolický kalorimetr.....	34
4.1.4.2 Postup zhotovení zkušebního vzorku pro měření pevnostní charakteristiky	35
4.1.5 Postup měření	35
4.1.5.1 Postup měření a vyhodnocení na isoperibolickém kalorimetru	35
4.1.5.2 Postup měření a způsob vyhodnocení pevnosti v tlaku	38
4.1.6 Využití plánování experimentů DOE.....	40
4.1.7 Výsledky měření a jejich diskuze	41
4.1.7.1 Návrh a ověření vhodné metody pro rychlé posouzení praktických užitečných	
vlastností cementových směsí určených pro výrobu forem a jader v období	
plasticity	41
4.1.7.2. Využití metody plánování experimentů DOE pro posouzení vlivu jednotlivých ..	
složek cementového pojivového systému na vývin hydratačního tepla a	
pevnostní	
charakteristiku v období plasticity	48
4.1.7.2.1. Urychlující přísada CaCl_2	48
4.1.7.2.2. Urychlující přísada NaOH	53
4.1.7.2.3. Urychlující přísada Li_2CO_3	59
4.1.8 Závěr experimentu I.....	65
4.2 Experiment II	67
4.2.1 Materiály použité v experimentu II	67
4.2.2 Metody použité v experimentu II	67
4.2.3 Postup přípravy zkušebních směsí.....	68
4.2.4 Zhotovení zkušebních vzorků.....	68
4.2.5 Postup měření	68
4.2.6 Postup pro výpočet skutečné deformace vzorku	75
4.2.7 Výsledky měření a jejich diskuze	77
4.2.8 Závěr experimentu II	80
4.3 Experiment III	82
4.3.1 Materiály použité v experimentu III	82
4.3.2 Metody použité v experimentu III	82
4.3.3 Postup přípravy zkušebních směsí.....	83

4.3.3.1 Míchání směsi s vodním sklem vytvrzované estery.....	83
4.3.3.2 Míchání furanové kyselé No-Bake směsi	83
4.3.3.3 Míchání cementové směsi	83
4.3.3.4 Míchání směsi alkalické fenolické pryskyřice vytvrzované modifikovaným	83
esterem	83
4.3.3.5 Míchání směsi rezolové pryskyřice vytvrzované CO ₂	84
4.3.4 Zhotovení zkušebních vzorků.....	84
4.3.5 Postup měření	84
4.3.5.1 Pevnost v tlaku	84
4.3.5.2 Vývin reakčního tepla směsí s ostřivem - kalorimetrie.....	86
4.3.5.3 Stanovení plastické deformace formovacích směsí	88
4.3.6 Ekonomické zhodnocení směsí	88
4.3.7 Výsledky měření a jejich diskuze.....	90
4.3.7.1 Měření pevnosti v tlaku.....	91
4.3.7.2 Vývin reakčního tepla na isoperibolickém kalorimetru	91
4.3.7.3 Deformační schopnost v období plasticity.....	91
4.3.7.4 Ekonomické zhodnocení směsí	93
4.3.8 Závěr z experimentu III	94
5. CELKOVÝ ZÁVĚR	95
POUŽITÁ LITERATURA.....	98
PŘEHLED PUBLIKACÍ AUTORA	101
SEZNAM PŘÍLOH.....	103
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	104
SEZNAM OBRÁZKŮ.....	106
SEZNAM TABULEK.....	108
PŘÍLOHY	109

1. ÚVOD - FORMULACE PROBLÉMU PRÁCE

Samotvrdnoucí formovací směsi patří v dnešní době k vysoce produktivním technologiím výroby slévárenských forem a jader pro odlévání odlitků s hmotností nad cca 500 kg. Používají se pojivové systémy jak na organické, tak i anorganické bázi. Používají se pro výrobu odlitků z ocelí, litin i neželezných kovů.

Výběr pojivového systému závisí na prioritách sléváren:

- Produktivita výroby forem a jader - počáteční rychlost vytvrzování, vysoký poměr mezi dobou rozebírání a dobou zpracovatelnosti směsi
- Ekonomika výroby forem a jader – tlak na nízké výrobní náklady při zachování vysoké povrchové a vnitřní jakosti odlitků (dávkování systému, cena systému, možnost a využití regenerátu [1], rozpadavost po odlití atd.)
- Ekologie výroby forem a jader – vliv na pracovní a životní prostředí, bezpečnost práce
- Kvalita odlitků – např. vliv pojivového systému na vznik typických vad odlitků (např. trhliny u ocelových odlitků) nebo tepelná stabilita forem v návaznosti na rozměrovou přesnost odlitků
- Technologické vlastnosti jako např. počáteční a konečné pevnosti, deformační schopnost při vyjímání modelů z formy, adheze na modelové zařízení apod.

V případě, že slévárna preferuje vysokou produktivitu výroby forem a jader v kombinaci s nízkými náklady na celý pojivový systém (vysoké využití regenerátu) za předpokladu vysoké jakosti odlitků používá přednostně pojivové systémy na základě organických pryskyřic – furanových, fenolových, fenol-formaldehydových a alkydových.

Výhody organických pojivových systémů jsou:

- vysoké pevnosti po vytvrzení (až 4 MPa v ohybu za 24 hod.)
- nízké dávkování složek systému [1].
- vysoká reaktivita – nárůst počátečních pevností
- vysoká tekutost směsi
- vysoká rozpadavost směsi při prohřátí více jak 350 °C
- vysoké využití regenerátu (až 95%)

V případě, že slévárna preferuje především ekologické hledisko výroby forem a jader v kombinaci s nízkými náklady na celý pojivový systém (cena pojivového systému) za předpokladu nároku na vysokou jakost odlitků používá přednostně anorganické pojivové systémy.

Výhody anorganických pojivových systémů jsou:

- nízká cena pojivového systému
- ekologie výroby forem a jader - vysoká hygiena práce, nízký zápach při formování a vývin plynů při odlévání,
- ekologie ve vztahu o okolí slévárny
- pojivový systém neobsahuje dusík a síru – vztah k vzniku vad odlitků

V současné době v celoevropském měřítku je vidět, narůstající trend používání organických pojivových systémů. Důvodem je především konkurenceschopnost sléváren, vysoká produktivita a nízké náklady na výrobu forem. Proti organickým systémům působí stále se zpřísňující ekologická legislativa vyjádřená např. zákonem o odpadech a nařízením o používání nebezpečných látek. Zpřísňující se ekologická legislativa stále zvyšuje náklady na používání organických pojivových systémů. Některé slévárny z důvodu lokace např. v blízkosti obytných zón nebo chráněných přírodních oblastí již dnes stojí před problémem, nemožnosti použití organických pojivových systémů, protože nejsou schopny přijmout takové opatření, aby splnily ekologické limity a současně byly ekonomicky zdravé. Nejen těmto typům sléváren je nutné nabídnout širší paletu anorganických pojivových systémů, aby byly více konkurence schopné slévárnám s organickými pojivovými systémy.

V současné době se prakticky v evropských slévárnách používá pouze anorganický systém na bázi vodního skla vytvrzovaného kapalnými estery. V minulosti, do 90 let minulého století se používaly také cementové směsi, které i přesto, že oproti systému na bázi vodního skla měly některé výhody, později tomuto systému postupně zcela ustoupily.

Z evropských zemí zejména ve Francii, v Německu a zemích bývalého východního bloku tj. včetně Československa se cementové směsi používaly do konce 90 let. Používaly se pro kusovou a malosériovou výrobu jednodušších rozměrných odlitků z oceli a litiny s požadavkem na vysokou termostabilitu – rozměrovou přesnost odlitků. Na přelomu 20 století byly cementové směsi postupně nahrazeny buď pojivovým systémem na bázi vodního skla vytvrzovaného estery nebo organickými zásaditými a kyselými pojivovými systémy na bázi furanové a fenolové pryskyřice.

Technologické důvody úpadku cementových směsí jsou především:

- nízká reaktivita systému (reakční rychlost vytvrzování) \Rightarrow čas rozebírání forem až po 24 hod., odlévání nejdříve po 48 až 72 hod.
- pojivový systém je křehký \Rightarrow nízká deformační schopnost cementového pojiva v období plasticity při vyjímání modelů a forem
- nízká produktivita výroby forem a jader, způsobená pomalým a špatně ovladatelným procesem vytvrzování
- špatná rozpadavost forem po odlití v oblastech, kde teplotní pole formy nepřesáhne 150 °C

Problematikou urychlením procesu vytvrzování dosažením rychlejšího nárůstu počátečních pevností a tím dosažení zkrácení doby do uvolnění modelového zařízení (zvýšení produktivity výroby forem) se již zabývalo více autorů. Z jejich prací vyplývá, že je pro tento účel možné použít různých typů hlinitanových a portlandských cementů, které ve vhodné kombinaci se speciálními přísadami umožňují zrychlit náběh počátečních pevností cementových směsí při zachování potřebné doby zpracovatelnosti směsi [2]. Pro směs s optimálním průběhem pevnostní křivky je nutné nalézt vhodný poměr dávkování cementů, speciálních přísad pro urychlení tuhnutí a vodním součinitelem směsi [2].

Určitým limitem cementových směsí, jak je uvedeno výše je křehkost forem a jader po vytvrzení, především v období uvolňování modelového zařízení. Cementové směsi mají minimální deformační schopnost nejen v období plasticity, ale v celém průběhu vytvrzování. Důsledkem této

křehkosti bývá při rozebírání forem buď poškození modelového zařízení nebo hotových pískových forem (ulomené hrany, celé části forem). Ze zkušeností víme, že tento problém nelze bohužel řešit použitím vhodného typu separačního prostředku. Tento problém podporuje také skutečnost, že během procesu vytvrzení forem dochází ke smrštění směsi a také zvýšení adheze na povrch modelového zařízení. Aby bylo zajištěno dosažení bezvadného povrchu formy po rozebírání, modelová zařízení musí být proto v perfektním stavu, bez povrchových poškození, musí mít velmi hladký povrch bez ulpělých zbytků formovací směsi z předešlého formování, opatřeno většími úkosy, aby se maximálně eliminoval odpor proti vytažení modelového zařízení. Při uvolňování forem by musela být zajištěna stejnoměrná kolmost k rovině rozebírání, aby nedocházelo k zpříčení formy. Splnění těchto minimálních podmínek je pro většinu sléváren velký problém.

Řešení je nutno hledat ve přísadách do formovací směsi, které zvýší elasticitu formovací směsi v oblasti plasticity a zvýší reaktivitu pojivového systému v počáteční fázi vytvrzování. Je nutné hledat metodu a metodiku, která tyto vlastnosti formovacích směsí objektivně posoudí a umožní rychlé srovnání užitečných vlastností cementových směsí různého složení s různými typy přísad takovým způsobem, abychom nemuseli provádět pokaždé zdlouhavé měření pevností v závislosti na čase vytvrzování – tj. pevnostní charakteristiku.

2. CÍLE PRÁCE

Cíle dizertační práce vychází z technologických nedostatků cementových směsí:

- pojivový systém je křehký \Rightarrow nízká deformační schopnost cementového pojiva v období plasticity při vyjímání modelů a forem
- nízká reaktivita systému v období plasticity tj. době rozebírání forem a jader (reakční rychlost vytvrzování) \Rightarrow čas rozebírání forem až po 24 hod., odlévání nejdříve po 48 až 72 hod.
- nízká reaktivita systému (reakční rychlost vytvrzování) \Rightarrow čas rozebírání forem až po 24 hod., odlévání nejdříve po 48 až 72 hod.

Cíle dizertační práce:

1. Návrh a ověření vhodné metody pro rychlé posouzení praktických užitných vlastností cementových směsí určených pro výrobu forem a jader v období plasticity (tj. časový interval vhodný pro rozebírání hotových forem). Tato metoda bude moci doplnit nebo nahradit současné zdlouhavé měření nárůstu pevností směsí v čase tzv. pevnostní charakteristiku.
2. Využití metody plánování experimentů DOE pro posouzení vlivu jednotlivých složek cementového pojivového systému na vývin hydratačního tepla a pevnostní charakteristiku v období plasticity.
3. Nalezení metody a stanovení metodiky pro objektivní posouzení deformačních vlastností cementových směsí v oblasti plasticity tj. při vyjímání modelů z forem
3. Vzájemné porovnání samotvrdnoucích cementových formovacích směsí s anorganickým samotvrdnoucím pojivovým systémem na bázi vodního skla vytvrzovaného estery, organickou samotvrdnoucí formovací směsí na bázi kyselý furan No-Bake, organickou samotvrdnoucí formovací směsí na bázi alkalické fenolické pryskyřice vytvrzované modifikovanými estery a pojivovým systémem rezol + CO₂ z hlediska:
 - časového nárůstu pevností v tlaku
 - průběhu vývinu reakčního tepla
 - deformační schopnosti v období plasticity
 - ekonomického hlediska

3. SOUČASNÝ STAV - TEORETICKÁ ČÁST

3.1 Cement, druhy cementů a jeho základní charakteristika

Cement je práškové anorganické pojivo, vyráběné pálením minerálních surovin. Cement se řadí do skupiny hydraulických maltovin, které po počátečním zatuhnutí na vzduchu tuhnou a tvrdnou na vzduchu i pod vodou.

Základními surovinami pro výrobu cementu jsou většinou vápence, silně vápenaté jíly (obsahující uhličitán vápenatý a hydraulické činitele) a křemenné písky [3].

Cementová pojiva vycházejí ze tří základních druhů cementů: portlandský cement, struskoportlandský cement a hlinitanový cement.

Přednosti cementových formovacích směsí [4]

- nevyžadují sušení
- vyžadují nižší energii pěstování ve srovnání s jílovými pojivy
- nízká cena
- není potřeba používání složitých kovových výtuh
- malý sklon k vadám z napětí u rozsáhlých ploch
- dobré pracovní podmínky a bezproblémové deponování odpadních písků

Nedostatky cementových formovacích směsí [4]

- obtíže při vyjímání modelů po dlouhodobém cyklu vytvrzování formy
- dlouhá doba vytvrzování
- formovací směs má sníženou rozpadavost
- náklady při vytloukání odlitků z forem a čištění jsou vyšší

Zlepšit rozpadavost lze do určité míry snížením obsahu vody (použít vodu 90÷100°C), přidávkou dextrosy (2 ÷ 3 %), melasy (3 ÷ 4 %), CaCl₂ (0,5 ÷ 2 % na hm. cementu, profukováním CO₂ 1,3 ÷ 1,7 %) [3].

Význam a zastoupení vody v cementových formovacích směsích

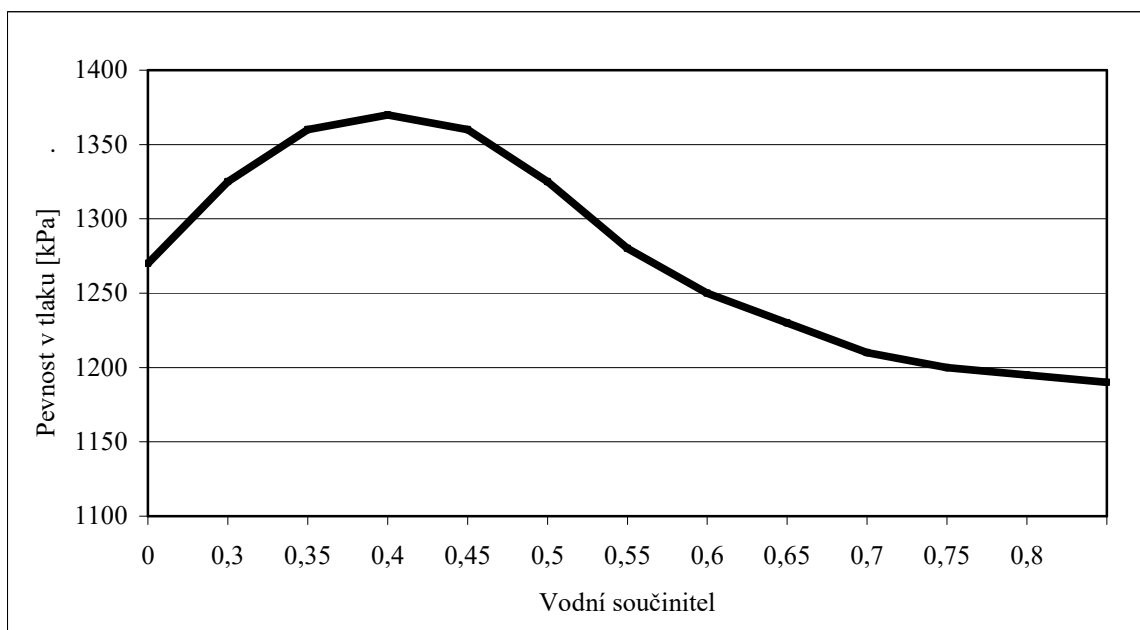
Aby mohla cementová směs tuhnout, je nutno do ní přidat vodu. Obsah H₂O v cementové směsi se zpravidla vyjadřuje tzv. vodním součinitelem. Je to poměr hmotnosti vody (m_v) k hmotnosti cementu (m_c):

$$\text{vodní součinitel} = m_v / m_c.$$

Platí, že s rostoucí hodnotou vodního součinitele klesá pevnost směsi a zkracuje se jeho životnost (Zákon vodního součinitele).

Vodní součinitel rozhoduje o formovatelnosti, zpracovatelnosti i pevnosti směsi. Přítomnost

H₂O je v této směsi primárně nutná, avšak pevnost směsi v závislosti na obsahu H₂O má charakteristický průběh s výrazným lokálním extrémem – maximem (viz. **obr. 1**) [3, 4].



Obr. 1 Závislost vodního součinitele na pevnost a zpracovatelnost cementové formovací směsi [5]

Maxima pevnosti je sice dosaženo pro hodnoty 0,35 – 0,45, tato směs je však příliš suchá a špatně zpracovatelná. Z tohoto důvodu se za optimální hodnoty vodního součinitele považuje 0,7 – 0,9. Při těchto poměrech probíhá vytvrzování pomalu. Pro urychlení jsou používány vysoko-
pevné rychlotvrdnoucí portlandské cementy. Snížením vodního součinitele mají cementové směsi vyšší pevnost a trvanlivost. Vyšší hodnoty vedou k lepení směsi na modelové zařízení.

Část vody volně smáčí pouze čistá zrna ostřiva, ale většina přichází do styku s cementem a vzniká tmel, který zajišťuje další pojivové schopnosti formovacího materiálu. Cílem je použití co možná nejnižšího obsahu vody, nutného pouze k hydratačnímu procesu, protože při odlévání hrozí vznik vodní páry, bublin a tím také znehodnocení odlitků.

Voda v zatvrdlém cementovém tmelu se dělí na:

- chemicky vázanou
- vázanou absorpčně
- vázanou kapilárními silami
- volnou

3.1.1 Rozdělení cementů

Základní charakteristika, rozdělení cementů do pevnostních tříd a jejich složení je specifikováno v ČSN EN 197- 1 [3]. Jsou to cementy pro obecné použití a rozdělují se na pět hlavních druhů:

- I. portlandský cement

- II. portlandský cement směsný
- III. vysokopecní cement
- IV. pucolánový cement
- V. směsný cement

Kromě těchto běžně vyráběných cementů se používají také speciální cementy s vysokými počátečními pevnostmi. Patří sem především:

- cement obsahující kalcium-sulfoalumináty
- cement s vysokým obsahem alitu a vyšším měrným povrchem
- vysoko-pevnostní cementové směsi označované jako HSC – High Strength Concrete
- hlinitanový cement [4]

Třídy cementů, dané jejich nejnižší 28 denní pevností v tlaku, zavádí nová norma rovněž odlišně od dosavadních a to v řadě 32,5; 42,5 a 52,5, kterou národní dodatek rozšiřuje o nejnižší třídu 22,5. S výjimkou této nejnižší třídy se zavádí pro všechny ostatní ještě další označení R (Rapid), pro cementy s vyššími počátečními pevnostmi [6].

Normalizované značení – evropský cement musí být přinejmenším označován druhem cementu a hodnotou normalizované pevnostní třídy dle ENV 197-1. Má-li být uvedeno, že cement má vysoké počáteční pevnosti, připojuje se písmeno R.

Př.: portlandský cement odpovídající této předběžné evropské normě pevnostní třídy 42,5 s vysokou počáteční pevností se označí:

Cement ENV 197-1 CEM I 42,5 R

hodnota 42,5 představuje minimální 28mi-denní normalizovanou pevnost cementu v tlaku v MPa [3]. Hlinitanové cementy mají obchodní název Ciment Fondu a SECAR (jsou to cementy s nízkým a vysokým obsahem Al_2O_3 dle pořadí: Secar 51, Secar71 atd. [5].

Ve slévárenství pro výrobu formovacích směsí vyžadujeme pouze některé vlastnosti. V dalších odstavcích se proto zmiňují jen o některých přísadách a typech cementových pojiv, které jsou svými specifickými vlastnostmi zajímavé a využitelné ve slévárenství.

3.1.2 Přísady v cementových směsích

Jakmile forma dosáhne manipulační pevnosti, je potřeba vyjmout model. Při vyjímání modelu velmi často dochází k poškození formy. Cementové formovací materiály jsou k těmto špatným technologickým vlastnostem velmi náchylné, proto je na místě přidávat ještě přísady, které by zlepšily vaznost směsi, snížily její křehkost, zvýšily houževnatost a odolnost proti otěru. Dávkování přísad se pohybuje od 0,1 do 2% (max. 5%) z hmotnosti cementu.

Jedním z nejdůležitějších problémů u cementových formovacích směsí je jejich dlouhá doba vytvrzování. Z tohoto důvodu je nutné do formovací směsi přidávat přísady, které urychlí

vytvrzování směsi. Přísady jsou látky, které ovlivňují buď po chemické anebo po fyzikální stránce vlastnosti směsi [7].

Rychlost lze regulovat urychlovači nebo zpomalovači. Normované cementy jsou většinou pomalu tuhnoucí, což nám ve slévárenství nevyhovuje. Proto užíváme cementy rychle tuhnoucí, čehož docílíme přidáním potřebných urychlovačů.

Nejpoužívanější přísady jsou:

- plastifikační
- provzdušňující
- zpomalující tuhnutí a tvrdnutí
- urychlující tuhnutí a tvrdnutí
- těsnící [7]

Plastifikační přísady [8]

Plastifikační přísady snižují povrchové napětí vody a tím zvyšují smáčecí schopnost záměsové vody. Výsledkem je zlepšení zpracovatelnosti betonové směsi. Přispívají k rovnoměrnému rozptýlení cementu v betonové směsi

Dobré plastifikační přísady umožňují snížit dávku záměsové vody až o 15 %.

Z chemického hlediska jsou používány čtyři skupiny plastifikátorů:

- soli nebo deriváty ligninsulfonanů, různě modifikovaných
- soli nebo deriváty hydroxykarboxylových kyselin
- polyhydroxy sloučeniny
- syntetické vodorozpustné kondenzáty polymerních produktů [9]

Aby se zvýšila plastičnost směsi a její vaznost za syrova, přidávají se také malé přísady sacharidů. Přísadou 0,5 až 1 % dextrinu je možno zvýšit vaznost směsi až na 100 kPa.

– Dextrin

Je směs produktů hydrolytického štěpení škrobu. Přípravuje se jeho pražením při teplotě do 200°C. Dextriny se rozdělují podle barvy - na bílé a žluté. Dextriny žluté, které mají dle tohoto hodnocení vysokou, obvykle až stoprocentní rozpustnost, se charakterizují podle viskozity roztoku. Čím je nižší viskozita dextrinového roztoku, tím je dextrin více odbourán. Zásadní je také druh škrobu, který byl použit pro výrobu dextrinu. Dextrin je schopen dodat formovací směsi vaznost za syrova. Díky svým lepivým schopnostem, působí ovšem velmi retardačně na hydratační proces cementu.

Žlutý dextrin má v technickém průmyslu široké využití pro své pojivové a lepicí vlastnosti, ale i jako plastifikátor. Je ideální na výrobu tekutých lepidel a přípravu lepidel v různých odvětvích. Žlutý dextrin se používá například ve slévárenství, v papírenském (zvláště pro lepení kartonových trubic), keramickém a jiném průmyslu.

– Peramin F

Je vysoce účinný superplastifikátor. Při jeho použití lze dosáhnout velkého snížení dávky vody. Je dodáván jako čirá kapalina. Při dodávce je tento produkt již připraven k použití. PERAMIN F

neobsahuje chloridy a odpovídá technickým podmínkám AST C 494 typ F, DIN 1045, BS 5075 část 1 a 3, EN 934-2. PERAMIN F disperguje velice dobře cement, pucolán a plniva, což má za následek vytvoření extrémně homogenní betonové směsi neobsahující kousky cementu a pucolánu. Používá se k dosažení zvýšené zpracovatelnosti, vysoké počáteční i konečné pevnosti betonu nebo ke snížení obsahu cementu. Použití PERAMINU F může vést ke snížení dávky vody o 15–20 %.

Provzdušňující přísady

Provzdušňující přísady zlepšují chování cementové směsi proti účinkům mrazu, rozmrazovacím solím a agresivním vodám. Póry zlepšují propustnost betonu [10]. Tyto přísady jsou potřebné hlavně ve stavebnictví. Účinkem těchto přísad se vytvoří v čerstvém betonu větší množství rovnoměrně rozptýlených drobných vzduchových bublinek velikosti 50 až 200 μm . Tyto bublinky zůstávají v betonu i po jeho zatvrdnutí [11].

Provzdušňující přísady působí pouze v malých dávkách (0,05 – 0,5 % hmoty cementu). Provzdušňovací přísady mohou působit i plastifikačně (zvýšení obsahu vzduchu o 1 % snižuje množství vody o 2 % při stejné konzistenci). Pevnost směsi ale se stupněm provzdušnění klesá [10]. Klesá přibližně o 4 % na každé procento provzdušnění [11].

Zpomalovací přísady [8]

Zpomalovací přísady se obvykle používají všude tam, kde se má kompenzovat vliv vyšší teploty zkracující čas tuhnutí anebo v případě potřeby prodloužení doby zpracovatelnosti. Zamezuje se jimi nebezpečí nedokonalého spojení za sebou následujících vrstev cementové směsi při krátké hydratační době.

Zpomalovací přísady při použití ve slévárenských cementových směsích zlepšují plasticitu a vaznost směsi.

Požadavky na určitou plasticitu směsi jdou proti požadavku rychlého tuhnutí a nabývání počátečních pevností. Konkrétně při použití dextrinu nebo melasy je třeba regulovat dále rychlost tuhnutí přidáním optimálního množství urychlovače např. na bázi chloridu vápenatého nebo hlinitého.

Hydroxylické organické sloučeniny, jako jsou mono nebo oligosacharidy, citric acid (kyselina citronová), a glukonická kyselina fungují jako zpomalovače a jsou velmi efektivní i v malých množstvích. Zpomalující účinek je spojen se zkapalněním. Zpomalení hydratace může být rovněž dosaženo snížením pH přítomného v cementové pastě. Alkalické metal chloridy mohou urychlit nebo zpomalit proces hydratace hlinitanového cementu. Výsledek závisí na množství a teplotě. Super-plastifikátory užití v kombinaci s Portlandským cementem jsou výrazně méně efektivní při užití s hlinitanovým cementem. Produkt založený na sulfonové - fenol formaldehydové pryskyřici je více efektivní než pryskyřice naftalenového či melaminového typu. Zpomalovací efekt spojený s užitím super-plastifikátorů může být zastaven přidáním lithiové soli do směsi [12].

Urychlovací přísady [8]

Urychlovací přísady jsou látky, které urychlují chemicky nebo fyzikálně-chemicky hydratační proces složek pojiva a tím i proces tuhnutí a tvrdnutí. Je důležité rozlišovat přísady, které urychlují normální proces tuhnutí a ty, které způsobují velmi rychlé tuhnutí.

Výhodou použití urychlovačů je rychlé získání manipulačních pevností formy a to v průběhu několika desítek minut až hodin.

Nejběžnějšími a nejstaršími urychlovači jsou chloridy (CaCl_2 , NaCl , AlCl_3 , BaCl_2 , FeCl_3)

- **CaCl_2**
 - chlorid vápenatý
 - je odpadním produktem, a proto je poměrně levný a snadno dostupný
 - není nutná jeho úplná čistota, protože některé nečistoty v něm obsažené působí také jako urychlovače tuhnutí
 - je velmi dobře rozpustný ve vodě
 - působí v cementové směsi také jako plastifikátor, a tím způsobuje její dobré zpracování i při nižším obsahu vody
- **AlCl_3**
 - chlorid hlinitý
 - urychluje tuhnutí a tvrdnutí cementu. Při rozmíchání s vodou je třeba zachovávat zvýšenou opatrnost, protože tato látka je silně agresivní. Reakce je exotermická a uvolňuje se při ní chlór
- **FeCl_3**
 - chlorid železitý
 - není tak vhodný jako CaCl_2
 - počátek i konec tuhnutí se zde mění nerovnoměrně a malé změny koncentrace mohou vést k velkým změnám počátků a konců doby tuhnutí

Dále: NaCl (chlorid sodný), LiCl (chlorid lithný), MgCl_2 (chlorid hořečnatý), $(\text{NH}_4)\text{Cl}$ (chlorid amonný).

Různé druhy chemických látek se mohou projevovat různě u různých cementů. Látky, které urychlují tuhnutí portlandských cementů, zpomalují tuhnutí hlinitanových cementů a naopak. Urychlovače tuhnutí hlinitanových cementů jsou CaSO_4 (síran vápenatý)– zrychluje v množství nad 0,25 %, NaOH (hydroxid sodný), Na_2CO_3 (uhličitan sodný), Na_2SO_4 (síran sodný), H_2SO_4 (kyselina sírová). Tuhnutí prodlužují NaCl (chlorid sodný), KCl (chlorid draselný), HCl (kyselina chlorovodíková)[2].

Lithiové soli, jako například Li_2CO_3 (uhličitan lithný) nebo lithium citrát docilují výrazného urychlovacího efektu na hydrataci hlinitanového cementu. Tento efekt závisí na dávkování a umocňuje se zvyšováním dávek Li. Za přítomnosti Lithia se počáteční fáze značně zkracuje, kdežto proces tvrdnutí téměř není ovlivněn. Má se za to, že lithiové soli se přemění na lithio-hlinitanový hydrát ($\text{Li}_2\text{O} \times 2\text{Al}_2\text{O}_3 \times 11\text{H}_2\text{O}$), jehož krystaly fungují jako jádra pro různorodé formování jader šestihranných vápeno-hlinitanových hydrátů. Význačný urychlovací efekt

na hydrataci hlinitanových cementů je docílen také přítomností OH- iontu ve formě alkalických hydroxidů. Rychlost hydratace je způsobena vyšším pH. Tento efekt vzniká v Al prostředí, kde OH- nahradí H₂O.

Těsnící přísady [10]

Těsnící přísady zmenšují nasákavost a rovněž průsak vody betonem. Působí většinou hydrofobně nebo fyzikálně přerušením či zúžením kapilárních pórů [11]

Těsnící přísady lze rozdělit do dvou skupin:

1. Chemické látky a přídavky, které zvyšují hutnost cementového kamene, snižují pórovitost. Provdzdušňovací přísady jsou také těsnícími přísadami, protože přerušují souvislé otevřené kapiláry, a tím zamezují vzlínání i nasakování vody.
2. Hydrofobizující látky, které zvyšují povrchovou energii částice, zvětšující smáčecí úhel, a tím se snižuje výška elevace vody v kapilárách.

Jako těsnících přísad se používá jemnozrnných látek, filerů (struska, vápno, bentonit, jíl, mastek) a vzhledem k množství se jedná o příměsi.

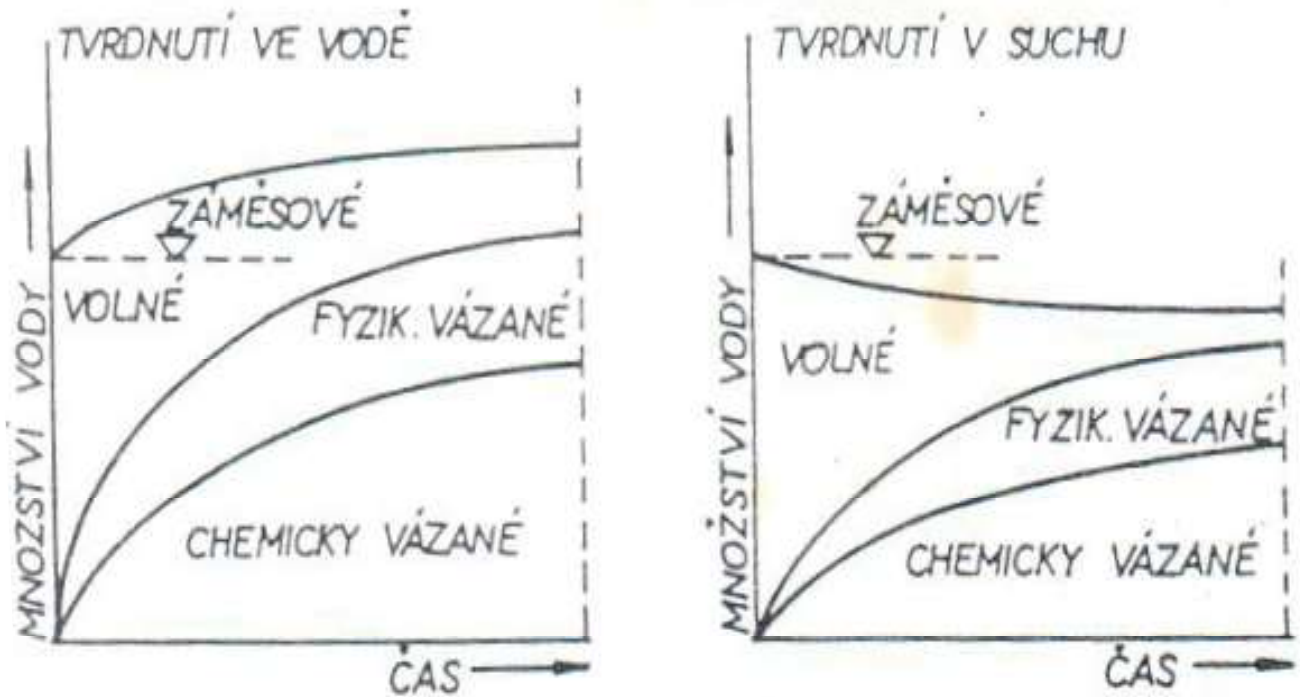
3.2 Hydratace cementu

Přidáním vody k cementu vzniká cementová kaše, která tuhnutím a tvrdnutím vytváří novou pevnou prostorovou strukturu, stmelující zrna ostřiva. Tento proces se nazývá hydratace cementu [11].

Pro vlastní hydrataci cementu je zapotřebí takové množství vody, které bude chemicky vázáno s petrografickými složkami cementu. Toto množství závisí na složení cementu a na jemnosti jeho mletí a bývá asi 19 % až 21 % z hmotnosti cementu. S tímto teoretickým množstvím vody je však cementová směs prakticky nezpracovatelná, protože je příliš suchá a rovněž nelze zabránit částečnému odpařování vody při přípravě, takže by proces hydratace nemohl proběhnout úplně. Proto je celkové množství vody vždy vyšší. [11]. Spotřeba činí cca 23 -25 % z hmotnosti cementu [9, 13].

V průběhu procesu hydratace se voda rozdělí do tří forem v poměrech odlišných dle vlhkosti poměrů prostředí či zrání cementové směsi. Množství vody je zakresleno na **obr. 2**. V závislosti na čase se část vody chemicky váže podle průběhu spodní křivky. Další část vody je fyzikálně vázaná na povrch nejjemnějších částic a voda kapilární. Její množství je tedy úměrně závislé na obsahu nejjemnějších částic v cementové směsi a na vlhkosti prostředí, ve kterém je směs uložena.

Zbývající část vody tvoří voda volná, obsažená ve větších dutinách a pórech. Její množství se časem zmenšuje, protože se plynule v čase mění na obě formy vody vázané a ještě navíc se velice snadno v teplém prostředí odpařuje [11].



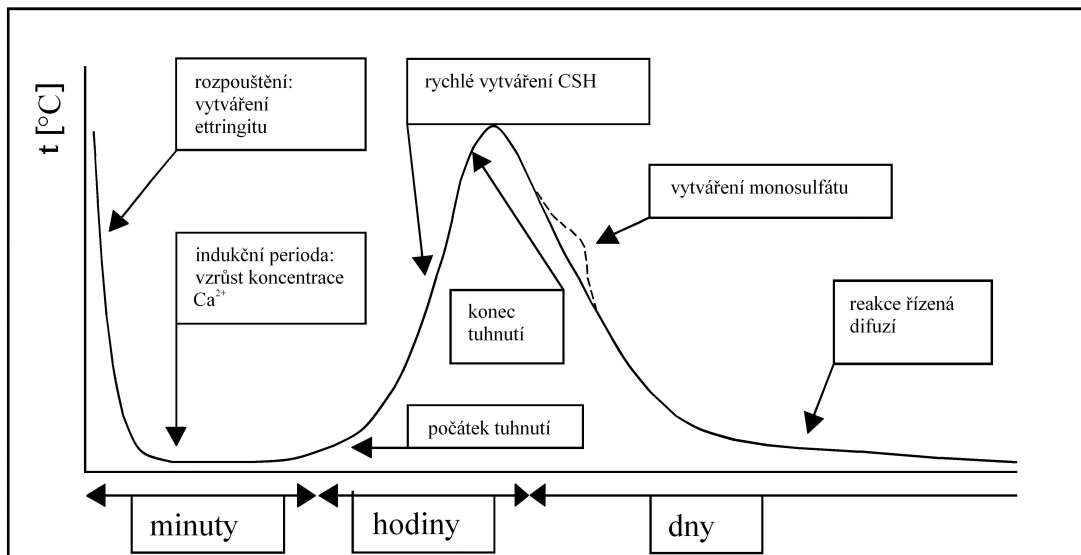
Obr. 2 Schéma rozdělení vody při hydrataci cementové směsi [11]

Vlastní proces hydratace je možno rozdělit do 4 stupňů (**tabulka 1**).

Tab. 1 Popis stupňů hydratace portlandského cementu [10], [14], [15]. Jednotlivé stupně jsou zobrazeny na obr. 5.

Stupeň reakce	Tepelně – fyzikální procesy	Mechanické vlastnosti
1. Předinkubační perioda První minuty	Vysoká rychlost uvolňování hydratačního tepla	Proces nukleace a tvorba ettringitu
2. Inkubační perioda První hodiny	Nízká rychlost uvolňování hydratačního tepla. Postupný růst viskozity.	Tvorba produktů počáteční hydratace (portlanditu a kalcium-hydro-silikátů), postupný růst jehlic ettringitu
3. Urychlující stupeň Přibližně 3 – 12 hodin	Rychlý vývin hydratačního tepla. Postupné snižování pórovitosti	Rychlá tvorba kalcium-hydro-silikátů vedoucí k reálné struktuře. Změna plastické v pevnou konzistenci, vznik počátečních pevností (počátek tuhnutí)
4. Konečný stupeň Dny	Pomalá rychlost vývinu hydratačního tepla. Postupné snižování pórovitosti	Postupný nárůst pevností, nastává proces tvrdnutí. Pórovitost a morfologie hydratujícího systému předurčuje konečnou pevnost a trvanlivost. Přeměna ettringitu na krystaly monosulfátu

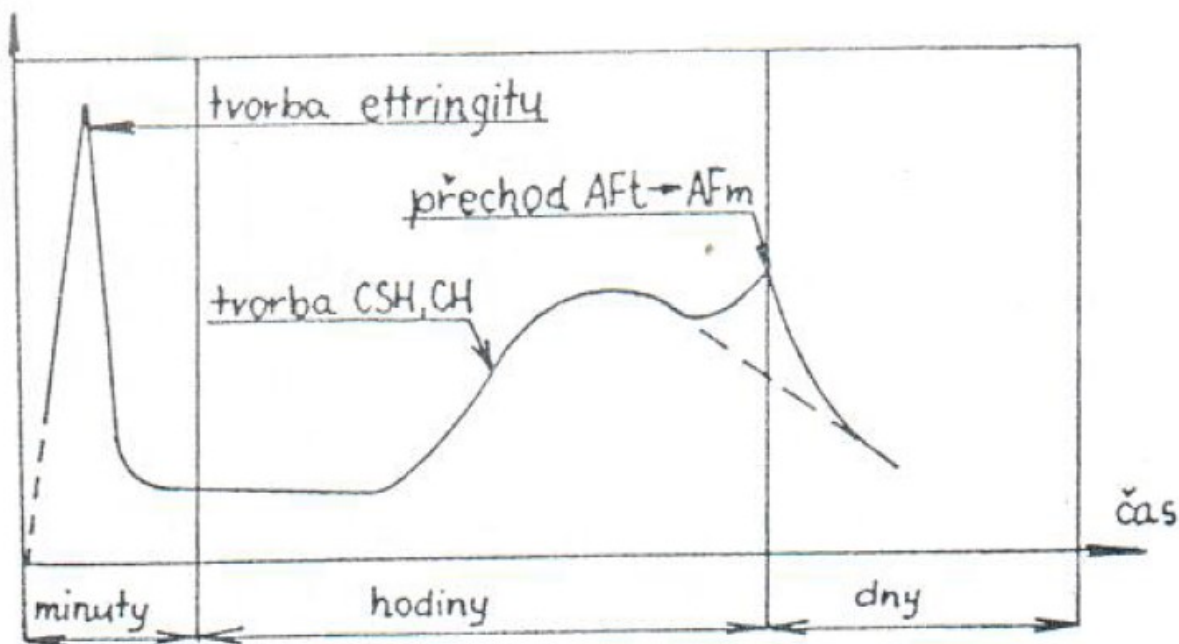
U portlandského cementu je proces hydratace znázorněn na **obr. 3**. Hlinitanový cement se chová obdobně – rozdílný je počátek hydratace, rychlost, doba i teplota vrcholu reakce). Kalorimetrická metoda nám pomůže předpovědět, kdy dochází k počátku tuhnutí a jak rychle tuhne pojivový systém směsí.



Obr. 3 Znáornění procesu hydratace portlandského cementu [1]

3.3 Vývin hydratačního tepla

Hydratační teplo je tepelným projevem hydratace cementu a uvolňuje se s rozdílnou intenzitou **obr. 4**.



Obr. 4 Vývin hydratačního tepla (Skalny) [9]

Vývin hydratačního tepla při procesu tuhnutí a tvrdnutí cementu se měří kalorimetrickými metodami, a to za teplot prostředí udržovaných na stejné výši. Hydratační teplo se početně vyjadřuje v kJ/kg. V praxi se používá metoda určování tepelného průběhu hydratace. Její princip spočívá v tom, že se po určitou dobu v určitých časových intervalech měří teplota tuhnoucí a tvrdnoucí kaše vložené do kalorimetru. Graficky se zaznamenává časový průběh teplot [16].

O hydratačním teple můžeme hovořit jako o reakčním teple. Reakční teplo je množství tepla, které systém při reakci vymění s okolím. Většina reakcí probíhá za stálého tlaku, proto můžeme charakterizovat příslušné zabarvení reakce změnou entalpie ΔH [$\text{J}\cdot\text{g}^{-1}$]. Základem pro výpočty reakčních tepel je Hessův zákon [13, 17].

Hydratační teplo portlandských cementů, které představuje zbytkovou energii jako důsledek zániku starých a vzniku nových chemických vazeb, můžeme tedy charakterizovat změnou entalpie ΔH [$\text{J}\cdot\text{g}^{-1}$].

Hydratační teplo portlandských cementů lze vypočítat z Tianovy kalorimetrické rovnice [18]:

$$(dQ / dt) = W (dT_c / dt) + K (T_c - T_s) \quad [\text{J}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}] \quad (1)$$

Kde:

T_c teplota kalorimetrické nádoby (bloku) [$^{\circ}\text{C}$]

T_s teplota obalu kalorimetru [$^{\circ}\text{C}$]

W tepelná kapacita kalorimetrické nádoby ($W = m \cdot c$) [$\text{J}\cdot\text{K}^{-1}$]

c měrná tepelná kapacita [$\text{J}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]

m hmotnost vzorku [g]

dT_c / dt přírůstek (změna) teploty kalorimetrické nádoby v závislosti na čase

K součinitel přestupu tepla mezi kalorimetrickou nádobou a obalem kalorimetru

$K (T_c - T_s)$ množství tepla odvedeného z kalorimetrické nádoby do obalu kalorimetru a do okolí

Podle této kalorimetrické rovnice lze kalorimetry dělit na [18]:

- Isoperibolický kalorimetr, kde: $T_s = \text{konst}$; T_c se mění
- Adiabatický kalorimetr, kde: $T_s = T_c$; T_s a $T_c \neq \text{konstantní}$
- Izotermický kalorimetr, kde: $T_s = T_c = \text{konstantní}$
- Kalorimetr s konstantním tokem tepla, kde: $Q = \text{konstantní}$; $T_c - T_s = \text{konstantní}$

Isoperibolický kalorimetr

Pro sledování tuhnutí samotvrdnoucích směsí je možné použít metody kalorimetrické. Jsou to metody nepřímé, kdy neměříme žádné mechanické vlastnosti, ale sledujeme vnější projev směsí. Pro tuhnutí ST směsí je charakteristický vývin hydratačního tepla, který sledujeme a na základě závislosti čas – teplota usuzujeme, jaký bude průběh jejího tuhnutí.

Kalorimetrická metoda může pomoci předpovědět, kdy dochází k počátku tuhnutí a jak rychle tuhne pojivový systém směsí.

Kalorimetrická měření posuzují kvalitu zkoušené cementové směsi a také studují vliv různých přísad – plastifikátorů, urychlovačů atd.

3.4 Tuhnutí a tvrdnutí portlandského i hlinitanového cementu

Spojí-li se cement s H_2O nastávají chemické reakce podstatně měnící fyzikální stav směsi. Projevuje se tuhnutí a po něm následuje tvrdnutí. Tuhnutí se nazývá přechod ze stavu kašovitého do stavu tuhého, vyznačující se již určitou soudržností. Tvrdnutí pak představuje postupné nabývání pevnosti, kdy hmota přestává být měkkou a stává se zdánlivě zcela neplastickou a tvrdou. Mezi tuhnutím a tvrdnutím je pozvolný přechod a oba tyto pochody nazýváme zpevňováním. V praxi zavedené pojmy počátek, konec a doba tvrdnutí jsou jen empirické. Nelze je totiž označit žádným určitým stavem zpevňovacího pochodu, i když se počátek tuhnutí vyznačuje zahájením vývinu tepla a konec tuhnutí okamžikem, kdy teplota dosáhne maxima. Vlastní průběh tuhnutí není dosud zcela jasný a vysvětluje se dvěma teoriemi.

Teorie krystalizační

Podle ní probíhá pochod tuhnutí a tvrdnutí cementu asi takto:

- ve vodě se rozpouští sůl bezvodá, nebo jen částečně hydratovaná
- nastává reakce rozpouštění soli s H_2O za vzniku vyššího hydrátu
- vzhledem k tomu, že jsou tyto hydráty méně rozpustné, tvoří se přesycený roztok a hydráty se vysrážejí
- již během srážení vznikají drobné krystalky, které podporují vzájemné proplétání a mají velkou styčnou plochu
- část vysrážených krystalů má vysoce kohezivní a adhesivní schopnosti

Teorie koloidní

Tato teorie sleduje pochod tuhnutí a tvrdnutí z jiného hlediska:

1. vznikají postupně gelovité hydratované křemičitany, které pokrývají částice cementu
2. gel se zpevňuje odběrem H_2O do slínkové částice

Zůstává tedy pouze rozdíl v pojetí mechanismu hydratační reakce. Podle první teorie nastává hydratační reakce jen na rozhraní povrchu tuhé a kapalné fáze, ale podle druhé teorie nastává hydratace v roztoku.

Protože žádná z obou domněnek nebyla dosud experimentálně potvrzena ani vyvrácena, přiklání se řada autorů k jedné, či druhé teorii. Někteří autoři předpokládají, že oba mechanismy probíhají současně a to takto [15]:

1. disperze krystalů slínkových nerostů
2. postupná hydratace

3. rozpouštění hydratačních zplodin
4. pokračování hydratační reakce v prostředí nasyceného roztoku za vzniku vodných sloučenin na povrchu hydratujících se slídkových nerostů
5. koloidace
6. krystalizace a rekrystalizace koloidních zplodin vznikem zárodků a vývinem sítě krystalů

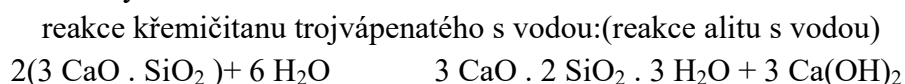
Žádná z teorií tuhnutí a tvrdnutí cementu tuto problematiku neobjasňuje jednoznačně a v celé šíři. Obecně lze proces tuhnutí a tvrdnutí cementové směsi v čase vyjádřit vztahem [1]:

$$RB = A * B * C * tn \quad (2)$$

- A vyjadřuje technologické parametry cementové směsi:
- množství cementu
 - vodní součinitel
 - druh a koncentrace přísad
 - zpracování připravené směsi (doba do zaformování, zhutnění)
- B charakterizuje vnější podmínky procesu tuhnutí a tvrdnutí cementové směsi:
- teplota okolí
 - relativní vlhkost vzduchu
 - vnější tlak
- C popisuje druh cementu z hlediska nárůstu pevnosti v čase:
- mineralogické a chemické složení
 - měrný povrch atd.
- tn doba vytvrzování, měří se od okamžiku smíchání cementu s vodou

Základní chemická rovnice pro tuhnutí cementu

- Portlandské cementy



reakce belitu s vodou



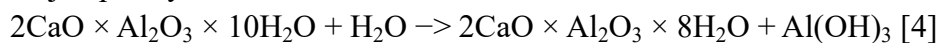
reakce trikalciium aluminátu|



- Hlinitanové cementy



S následující překrystalizací:



Hydratace hlinitanového cementu se zásadně odlišuje od hydratace portlandského cementu protože vznikající hydráty hlinitanů vápenatých závisí na teplotě v níž hydratace probíhá.

Při nízkých a běžných teplotách (nižších než 40 °C) postup hydratace vede k dočasně vysoké pevnosti. Tato situace může přetrvávat řadu dní nebo mnoho let a závisí hlavně na teplotě a vlhkosti v době než se vytvoří dlouhodobě stabilní hydráty.

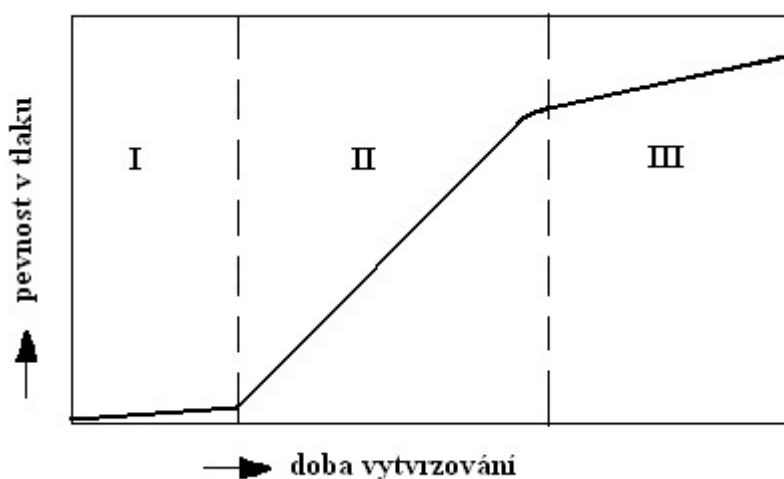
Deformační chování cementu

Z hlediska technologického lze vytvrzovací proces samotvrdnoucích směsí všech druhů rozdělit do tří etap [19]:

I. období zpracovatelnosti, kdy je možno směs zpracovávat prakticky bez ztráty pevnosti (inkubační doba).

II. období vytvrzování, kdy směs přechází ze stavu sypkého do stavu tuhého, toto období je často nazývané jako období plasticity

III. období dotvrzování, kdy pevnost směsi pomalu vzrůstá až na konečnou hodnotu.



Obr. 5 Průběh vytvrzování samotvrdnoucích směsí [19]

Technologicky je velmi důležitá druhá etapa, kdy každý typ samotvrdnouce směsi přechází ze stavu sypkého do stavu pevného a směs se tedy nachází v období plasticity. Je to období mezi okamžikem, kdy končí zpracovatelnost a okamžikem, kdy lze i složitá jádra či formy rozebírat.

Z ekonomického i technologického hlediska je výhodné, aby doba plasticity byla co nejkratší. Na druhé straně však malá schopnost deformace formovací směsi pod napětím způsobuje problémy při rozebírání forem a jader. Dostatečná schopnost deformace formovací směsi pod napětím bez jejího porušení umožňuje formovat složité odlitky, bez nebezpečí porušení forem při jejich rozebírání příliš brzy, dochází k jejich deformaci [3].

Při nižším vodním součiniteli je malá plasticita. Počáteční tuhnutí směsi začíná v době kolem 60 až 180 minut po přípravě. Aby byla směs dobře plastická, zvyšuje se vodní součinitel na hodnotu 0,8 až 1,0 [3].

Popis deformačních vlastností samotvrdnoucích formovacích směsí je u většiny autorů nejednotný. Používají se termíny plasticita, plasticita, plastický stav, období plasticity [2].

Plastičnost a plasticita

Plastičnost a plasticita je schopnost formovací směsi se deformovat pod vlivem působícího napětí. Díky této vlastnosti můžeme rozebírat formy a jádra a formovat tvarově složité odlitky. Při rozebírání forem a jader vyžadujeme neporušení soudržnosti formovací směsi. Při působení silou vyvolávající napětí ve formovací směsi působíme proti celkové deformační schopnosti formovací směsi zahrnující plastickou, tak elastickou složku. Nejedná se tedy jen o trvalou (plastickou) složku deformace, z čehož je zavádějící termín plastičnost a plasticita a proto v této části práce jsou tyto termíny nahrazeny termínem deformační schopnost formovací směsi [2, 20].

Plastický stav směsi

O tomto stavu formovací směsi je nejčastěji hovořeno v souvislosti s pojivovým systémem vodní sklo – ester. Jedná se o stav směsi vznikající v mezidobí plynulého přechodu inkubační periody tvrdnutí ve stavu probíhající polymerace, který existuje až do ukončení stavby gelu, což se projeví zpomalením nárůstu pevnosti směsi. Hlavní složkou je zde plastická deformace a velmi malou složkou je pružná deformace. Tento stav způsobuje, že se jádra po rozebírání jaderníku deformují vlastní hmotností i při vysokých pevnostech [2, 20].

Období plasticity

Termín období plasticity je obvykle používán pro popis kinetiky vytvrzování samotuhnoucích pojivových systémů. Dle různých autorů se jedná o období, které následuje po inkubační periodě (pokud u daného pojivového systému existuje) je charakterizováno růstem pevnosti směsi, avšak při její značné deformační schopnosti. Jedná se o období velmi příznivé pro rozebírání forem a jader.

V souvislosti s obdobím plastičnosti ST směsí se vyskytují dva závažné problémy:

1. Zatím není k dispozici metoda, která by umožnila stanovení okamžiku rozebírání jader.
2. Vyskytující se dlouhá doba plastičnosti způsobuje deformace rozebraných jader či forem [19].

3.5 Charakteristiky plasticity pro formovací směsi

Pro hodnocení plasticity podle Paura je důležitý ukazatel deformační schopnosti D_{sm} [21]. Pro zkoušku tlakem platí:

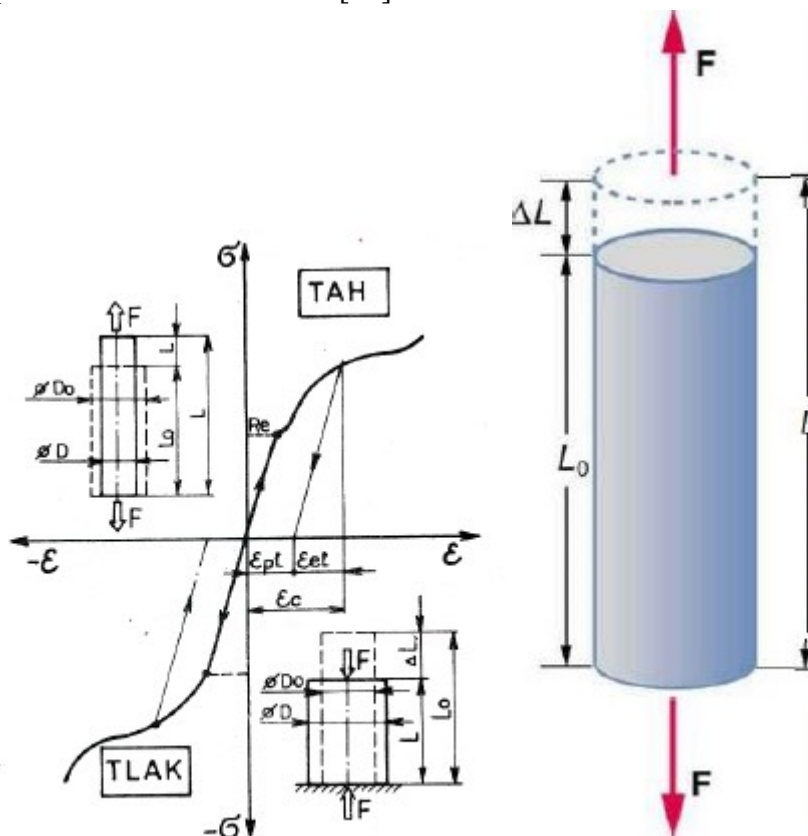
$$D_{sm} = (d / d_0) - 1 \quad (3)$$

kde

- d - konečný průměr
- d_0 - počáteční průměr
- l - délka

Deformace jsou zjišťovány během zatěžování zkušebního válečku. Jde o trvalé poměrné plastické deformace. Lze je také nazývat jako poměrná přetvoření. Dle **obr. 6** můžeme stanovit

vztah pro poměrné přetvoření v tahu a v tlaku [21].



Obr. 6 Pracovní diagram pro tah a tlak [22].

kde vztah pro deformaci [21]:

$$\varepsilon = (L - L_0) / L_0 = \pm \Delta L / L \tag{4}$$

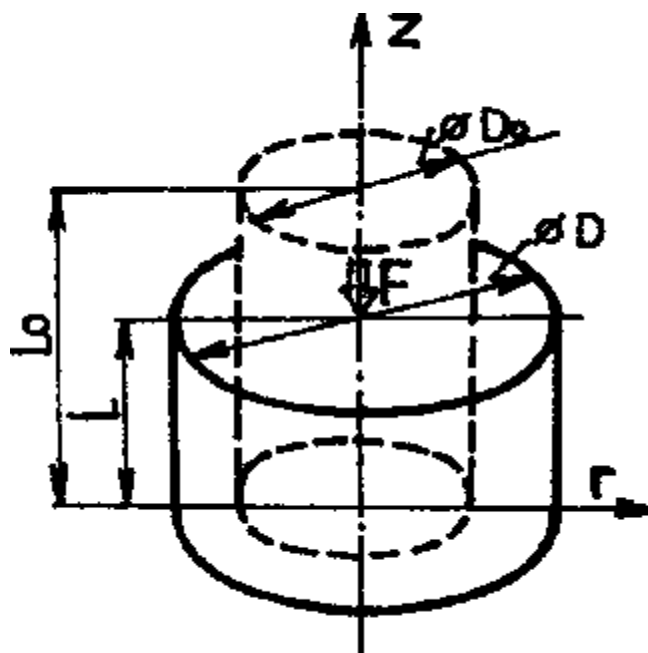
Vztah pro obecné vyjádření logaritmického přetvoření φ pomocí diferenciálního přírůstku [21]:

$$d\varphi = \pm dL / L \tag{5}$$

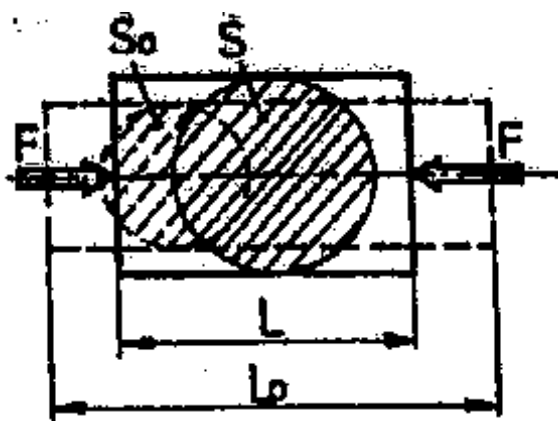
Po matematické úpravě je možné vyjádření stlačení pro tělesa kruhového průřezu **obr. 7 a 8**:

$$\varphi = \int_{L_0}^L -\frac{dL}{L} = -(\ln L - \ln L_0) = \ln \frac{L_0}{L} \tag{6}$$

$$\varphi = \ln (L_0 / L) = \ln (S / S_0) = \ln (D^2 / D_0^2) \tag{7}$$



Obr. 7 Plastické přetvoření tělesa [21]



Obr. 8 Rovnoměrné přetvoření tělesa [21]

Ze zákona stálosti objemu při rovnoměrném tlaku vyplývá, že objem tělesa před deformací se rovná objemu tělesa po deformaci. Nepatrné změny objemu se zanedbávají.

$$\begin{aligned}
 V &= V_0 = \text{konst.} \\
 S \times L &= S_0 \times L_0 = \text{konst} \\
 \pi(d/2)^2 \times L &= S_0 \times L_0
 \end{aligned}$$

(8)

kde úpravou vyjádříme d:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot \left(\frac{L_0}{L_0 - \Delta L} \cdot S_0 \right)}{\pi}}$$

(9)

3.6 Přehled formovacích směsí na bázi cementového pojiva

Cementové samotvrdnoucí formovací směsi patří k nejstarším technologiím pro výrobu forem a jader velkých odlitek. Tato technologie se vždy používala především pro výrobu jednoduchých odlitek s vysokou kusovou hmotností [1]:

Cementová pojiva se používají v těchto typech samotvrdnoucích formovacích směsích [23, 24, 25]:

Varianta 1: ostřívo + cementové pojivo + voda, bez dalších přísad

Varianta 2: ostřívo + cementové pojivo + vodní sklo

Varianta 3: ostřívo + cementové pojivo + voda + přísady, které urychlují počáteční vytvrzování směsi + povrchově aktivní látka (tzv. ztekucované směsi)

Varianta 4: ostřívo + cementové pojivo + voda + přísady, které urychlují počáteční vytvrzování směsi

Varianta 1

Pojivový systém se používal ve velkém měřítku do roku 1945. Směs byla tvořena průměrně 10 – 12 % portlandského cementu, 5 – 8 % vody a 80 – 85 % křemenného písku ($d_{50} = 0,3 - 0,6$ mm). Formy se odlévaly po min. 48 hodinách od zaformování, technologie se používala především pro velké kusové odlitky (2 – 100 t) [1]:

Varianta 2

Jedná se o ST směs bez ovládaného ztužování. Celý proces vytvrzování lze ovlivňovat pouze složením a poměrem jednotlivých komponent pojivové soustavy.

Technologie se používá pro odlitky z litiny i oceli do hmotnosti 10 t, formy se odlévají po 24 hodinách [26, 27]:

Varianta 3

Používaly se hlavně v letech 1968 – 1976. Formovací směs průměrně obsahuje 80 – 88 % křemenného písku ($d_{50} = 0,3 - 0,6$ mm), 8 – 12 % portlandského cementu, 2,4 – 4,5 % vody, 1,5 – 3 % přísady urychlující vytvrzování směsi (melasa, chloridy, uhličitany, dextriny, vodní sklo aj.)

a 0,1 – 0,5 % povrchově aktivní látky. Účinek této látky způsobí snížení povrchového napětí vody na rozhraní s pevnou fází směsi, čímž přivádí současně směs do zpeněného stavu [1, 9, 28, 29]:

Technologie se používala pro odlitky z litiny i oceli do hmotnosti 10 t, formy se odlévají po 24 hodinách (pevnosti v tlaku nad 1 MPa).

Použitím cementových ztekucených směsí odpadá sušení forem, odpadá pýchování, bezodpadová a ekologicky příznivá technologie [1, 29, 30, 31]:

Varianta 4

Používají se od roku 1965. Složení směsi je obdobné jako u ztekucovaných směsí s tím rozdílem, že odpadá použití ztekucovací přísady. Technologie se používá pro portlandské a také hlinitanové cementy, které obsahují vyšší podíl Al_2O_3 , jehož prostřednictvím dosahují tyto směsi rychlejšího nárůstu počátečních pevností, než směsi s portlandským cementem jako pojivem. Použití hlinitanového cementu, ale přináší sebou také řadu nevýhod (zvýšený otěr povrchu forem, vyšší vlhkost směsi, vyšší cena pojiva) [1]. Tento pojivový systém byl v práci použit.

4. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

4.1 Experiment I

V této experimentální části byly řešeny tyto dílčí cíle práce:

1. Návrh a ověření vhodné metody pro rychlé posouzení praktických užitečných vlastností cementových směsí určených pro výrobu forem a jader v období plasticity (tj. časový interval vhodný pro rozebírání hotových forem). Tato metoda bude moci doplnit nebo nahradit současné zdlouhavé měření nárůstu pevností směsí v čase tzv. pevnostní charakteristiku.
2. Využití metody plánování experimentů DOE pro posouzení vlivu jednotlivých složek cementového pojivového systému na vývin hydratačního tepla a pevnostní charakteristiku v období plasticity.

4.1.1 Materiály použité v experimentu I

Ostřiva:

Jako ostřivo bylo použito křemenné ostřivo z lokality Šajdíkové Humence

Šajdíkové Humence SH34:

- velikost středního zrna $d_{50} = 0,23$ mm (hodnota dle specifikace ostřiva od výrobce 0,24),
- obsah jemných podílů ($< 0,1$ mm) = 0,38 (hodnota dle specifikace ostřiva od výrobce max. 3 %)

Šajdíkové Humence SH32:

- velikost středního zrna $d_{50} = 0,369$ mm (hodnota dle specifikace ostřiva 0,38)
- obsah jemných podílů ($< 0,1$ mm) = 0,32 (hodnota dle specifikace ostřiva od výrobce max. 0,4 %)

Součtové křivky obou ostřiv a materiálové listy jsou v **příloze č. 1 a č. 2**.

Pojiva:

V práci byly použity tyto druhy cementů

- portlandský cement, typ CEM I 42,5 R
- portlandský cement, typ CEM I 52,5 R
- hlinitanový cement, typ Secar s51
- hlinitanový cement, typ Secar s71

Technické listy portlandských cementů (Českomoravský cement z lokality Mokrá) jsou uvedeny v **příloze č. 3**.

Technické listy hlinitanových cementů (Kerneos Aluminate - Francie) jsou uvedeny v **příloze č. 4**.

Přísady pro urychlení nárůstu počátečních pevností:

- Chlorid sodný NaCl; krystalický chlorid sodný je bezbarvý nebo bílý, průhledný, skelně lesklý. Velká rozpustnost ve vodě
- Kyselina chlorovodíková HCl je těkavá bezbarvá kapalina. Patří mezi velmi silné žíraviny
- Chlorid vápenatý CaCl_2 bezvodý, granulovaný p.a. je vápenatá sůl kyseliny chlorovodíkové. Je to látka bílé barvy
- Uhličitan lithný Li_2CO_3 je anorganická sloučenina, lithná sůl kyseliny uhličitě. Rozpustnost

ve vodě s rostoucí teplotou klesá

- Hydroxid sodný NaOH je silně zásaditá anorganická sloučenina. V čistém stavu je to pevná bílá látka ve formě peciček, silně hygrokopická.

Přísady pro zvýšení plastické deformace formovací směsi:

- Pšeničný dextrin světle žlutý

Materiálové listy přísad pro urychlení a pro zvýšení plastické deformace jsou v **příloze č. 5**.

4.1.2 Metody použité v experimentu I

Kalorimetrická metoda - měření vývinu hydratačního tepla v 16ti místném isoperibolickém kalorimetru

Metoda měření pevnosti formovacích směsí na universálním přístroji LRU-D (firma Multiserw Morek) řízeným programem LabVIEW 8,6 a doplněným o měřicí čidlo (firma Mitutoyo). Tento přístroj může měřit pevnosti v rozsahu 0 – 2 MPa. Od každé namíchané směsi byly zkoušeny 3 vzorky. Byla měřena pevnost v tlaku. Rozptyl pevností v rozsahu $\pm 5\%$.

Detailní popis obou měření je uveden níže.

4.1.3 Postup přípravy zkušebních směsí

Všechny namíchané směsi se skládaly z těchto komponent:

- ostřivo - Šajdíkové Humence SH: dávkování vždy 100 %
- pojivo – cement: dávkování vždy 10 %
- plastifikační přísada dextrin: dávkování v rozmezí 0 - 3 %
- urychlující přísada: dávkování v rozmezí 2 - 5 %
- voda: dávkování v rozmezí 4 - 9 %

K homogenizaci cementové směsi byl použit vířivý mísič Kitchen Aid KSM 90 (**obr. 9**), s kapacitou maximálně 3 kg směsi. V závislosti na dávkovaných komponentách pojivových systémů, byly použity 2 způsoby přípravy směsi:



Obr. 9 Laboratorní mísič KitchenAid

Míchání na mokro

Postup dávkování komponent:

1. Sypké složky formovací směsi: ostřívo + cementové pojivo, doba míchání: 3 minuty
2. Množství vody se odměřilo do odměrného válce
3. $\frac{1}{2}$ vody se smíchala s urychlovací přísadou, mícháním 1 minutu se přísada ve vodě rozpustila
4. $\frac{1}{2}$ vody se smíchala s plastifikační přísadou, mícháním 1 minutu se přísada ve vodě rozpustila
5. Homogenizované sypké složky (1) byly postupně smíchány s rozpuštěnou plastifikační přísadou – doba míchání 1,5 minut + s rozpuštěnou urychlovací přísadou – doba míchání 1,5 minut
6. Výsledek: homogenní směs bez hrudek

Míchání na sucho

Postup dávkování komponent:

1. Sypké složky formovací směsi: ostřívo, cementové pojivo, plastifikační přísada, doba míchání: ostřívo + cementové pojivo – doba míchání 1,5 minut + plastifikační přísada – doba míchání 1,5 minut
2. Množství vody se odměřilo do odměrného válce
3. $\frac{1}{2}$ vody se smíchala s urychlovací přísadou, mícháním 1 minutu se přísada ve vodě rozpustila
4. Homogenizované sypké složky (1 a 2) byly smíchány s rozpuštěnou urychlovací přísadou – doba míchání 3 minuty
5. Výsledek: homogenní směs bez hrudek

4.1.4 Zhotovení zkušebních vzorků

4.1.4.1 Postup zhotovení zkušebního vzorku pro isoperibolický kalorimetr

Namíchaná směs byla rovnoměrně zaformována do nádoby o objemu 250 ml z pěnového polystyrenu. Hmotnosti nádoby 2 g. Do každé nádoby bylo odváženo 250 g zkoušené směsi.



Obr. 10 Reakční nádobka o objemu 250 ml z pěnového polystyrenu o hmotnosti pod 2 g

Jednotlivá polystyrenová nádobka se umístila do izolační komůrky **obr. 10** aby nedocházelo k únikům tepla z měřené soustavy přikryla se reakční nádoba polystyrénovým víčkem a aby byla také splněna podmínka isoperibolického kalorimetru, tj. že teplota T_s (teplota obalu) je konstantní a teplota T_c (teplota směsi) se mění.

Otvorem v polystyrénovém víčku se zasunul termočlánek typu T (**obr 11**).

Termočlánek typu T kombinace slitin měď – měď nikl (Cu – CuNi), který je odolný proti chemikáliím a olejům. Teplotní rozsah je od $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+250\text{ }^{\circ}\text{C}$. Termočlánek má nominální průřez $1,6 \times 2,5\text{ mm}$ s těsně svařenou špičkou s krytím IP 68.

Při kalorimetrických měřeních nemělo vliv zcela konstantní upěchování všech měřených vzorečků.



Obr. 11 Izolační komůrka pro uložení kelímku, termočlánek typu T

4.1.4.2 Postup zhotovení zkušebního vzorku pro měření pevnostní charakteristiky

Namíchaná směs byla opakovatelně rovnoměrně zaformována a zhutněna v dřevěných jadernících určených pro zkoušky pevnosti v tlaku **obr. 12**. Hmotnosti jednotlivých normovaných válečků se lišily maximálně o $\pm 5\%$. Z dlouhodobého pozorování bylo zjištěno, že odchylka hmotnosti válečků $\pm 5\%$ nemá zásadní vliv na rozptyl pevností v tlaku.



Obr. 12 Dřevěný jaderník

Pevnostní charakteristika byla charakterizována měřením pevnosti v tlaku, na zkušebních válečcích $\text{Ø } 50 \times 50 \pm 1 \text{ mm}$ v závislosti na čase. Měření pevnosti v tlaku je vhodné pro hodnocení a srovnávání vlastností anorganických pojivových systémů. Pevnostní měření bylo provedeno na digitálním přístroji Multiserw Morek označení LRU-D.

4.1.5 Postup měření

Měřicí jednotka sestávala z přístroje pro měření pevností v tlaku a 16ti místného isoperibolického kalorimetru. V kalorimetru bylo současně měřeno 5 směsí to znamená od každé směsi 3 vzorky, tj. $3 \times 5 = 15$ plus jedna pozice s termočlánkem, který zaznamenával teplotu okolí.

V odpovídající časové posloupnosti byly pro tyto směsi o stejném složení měřeny jejich pevnostní charakteristiky vyjádřené pevností v tlaku po 1 a 24 hodinách od počátku měření.

Data z isoperibolického kalorimetru byla snímána a zaznamenávána do souboru každé 3 sekundy po celou dobu vytvrzování tj. od počátku zhotovení směsí do 24 hodin.

4.1.5.1 Postup měření a vyhodnocení na isoperibolickém kalorimetru

Pro sledování tuhnutí samotuhnoucích směsí je možné použít metody kalorimetrické. Jsou to metody nepřímé, kdy nejsou měřeny žádné mechanické vlastnosti, ale sleduje se vnější projev směsi. Pro tuhnutí ST směsi je charakteristický vývin hydratačního tepla, který se sleduje, na základě závislosti čas – teplota se dá usoudit, jaký bude průběh jejího tuhnutí.

Kalorimetr zároveň snímá hodnoty tepelného zabarvení směsí při exotermických reakcích tuhnutí. Grafické vyhodnocení nárůstu teploty směsi na době tuhnutí pak identifikuje rychlost

chemické konverze měřené směsi.

Kalorimetrická metoda pomůže předpovědět, kdy dochází k počátku tuhnutí a jak rychle tuhne pojivový systém směsi. Kalorimetrická měření posuzují kvalitu zkoušené cementové směsi a také studují vliv různých přísad – plastifikátorů, urychlovačů atd.

Princip metody

Isoperibolický kalorimetr se skládá z reakčního bloku (tepelně izolačního materiálu – polystyrenu), termočlánků, vedení a počítače vybaveného měřicí kartou a příslušným vyhodnocovacím softwarem (**obr. 13**).



Obr. 13 Isoperibolický kalorimetr řízený PC

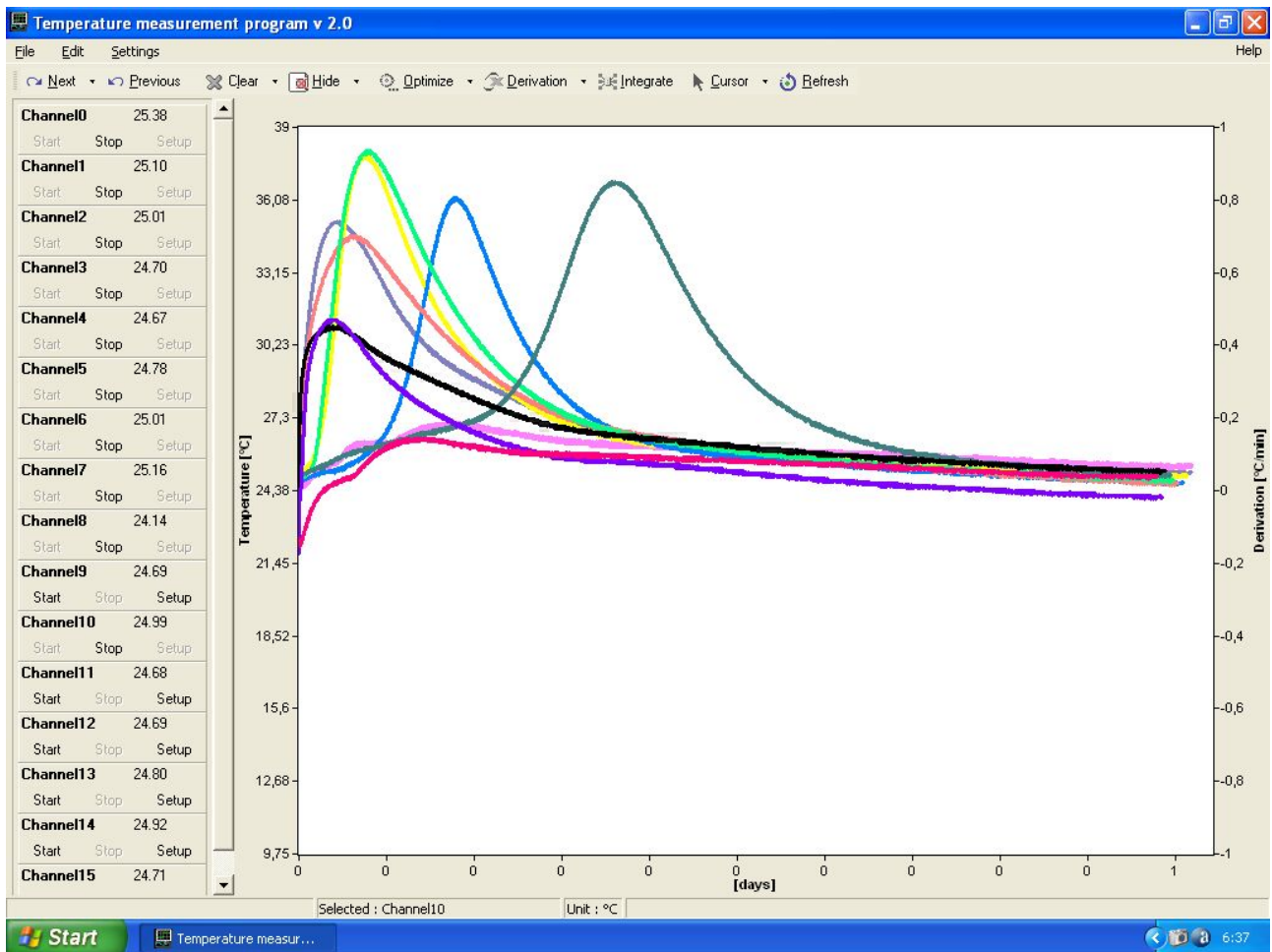
Zkušební postup

Jednotlivá polystyrenová nádobka se umístila do izolační komůrky a přikryla se polystyrenovým víčkem s otvorem pro termočlánek. Otvorem se zasunul termočlánek typu T. Jednotlivé izolační komůrky se umístili do polystyrenového boxu. Box se přikryl polystyrenovým víčkem. Na počítači se spustí měření teplotní křivky na čase.

Měřený signál je přiveden na měřicí desku (A / D převodník) umožňující snímat najednou až 16 signálů a nakonec pomocí kalibračních křivek jednotlivých termočlánků (lineární závislost mezi elektromotorickým napětím a teplotou, v rozsahu 0 - 100 °C) převeden na teplotu kalorimetru T.

Před začátkem měření je nutné provést u jednotlivých termočlánků kalibraci pomocí dvou známých teplot (0 °C a 100 °C). Výpočty při kalibraci se provádí pomocí programu, který je součástí vyhodnocovacího softwaru. Pro isoperibolický kalorimetr je charakteristické udržování obalu kalorimetru T_s na konstantní teplotě, která je stejná jako teplota okolí.

Konstrukce přístroje umožňuje odečítání naměřených hodnot jako změny teploty reagující směsi T [°C] v závislosti na čase t [h].



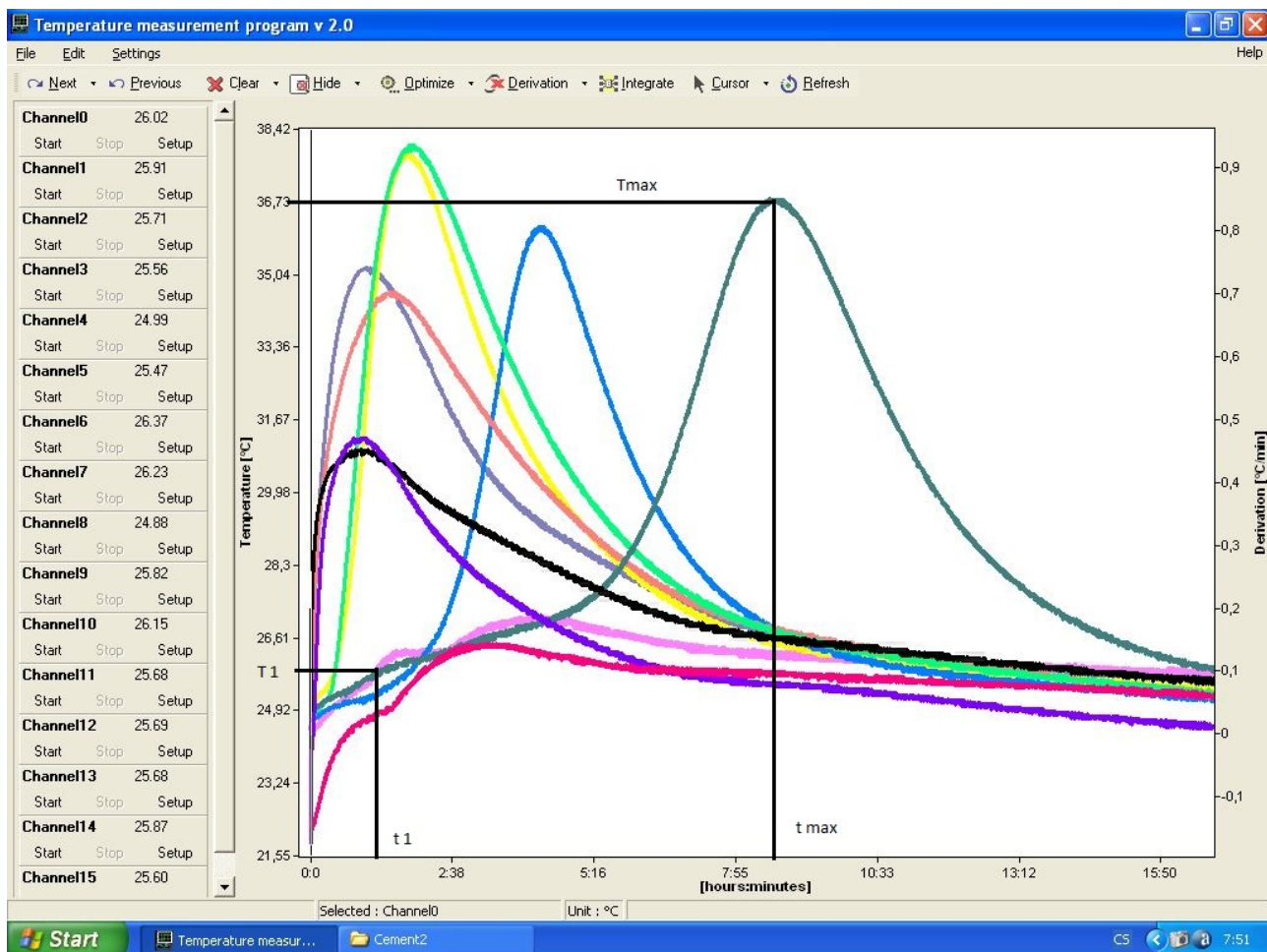
Obr. 14 Záznam z kalorimetrického měření

Podmínky a způsob vyhodnocení kalorimetrické křivky v období plasticity

Na **obr. 14** je záznam z kalorimetrického měření 10ti vzorků. Jedná se o závislost teploty T [°C], která přímo úměrně vyjadřuje vývin hydratačního tepla na čas t [h:min]. Na **obr. 15** je detail téže kalorimetrické křivky. Plasticitu lze z kalorimetrické křivky vyhodnotit několika způsoby:

- odečtení nejvyšší teploty T_{\max} v určitém čase t_{\max} (příkladové vyhodnocení tmavě zelené křivky)
- odečtení teploty T_1 , která odpovídá době vytvrzování směsi po 1 hodině, tedy v čase t_1 (příkladové vyhodnocení tmavě zelené křivky).

Způsob vyhodnocení kalorimetrické křivky vychází z praktického předpokladu tj. tlaku na produktivitu výroby forem, tzn. aby doba rozebírání hotových forem nepřesáhla 1 hodinu. Jako minimální manipulační pevnost forem v tlaku byla stanovena hodnota 250 kPa, která odpovídá požadavkům ze slévárenské výroby středně těžkých forem. Z experimentálních dat (v **tabulce 4**) vyplývá, že teplota za 1 hodinu měření je mnohdy stejná nebo velmi blízká teplotě maxima T_{\max} kalorimetrické křivky.



Obr. 15 Způsob určování důležitých charakteristik kalorimetrické křivky

Laboratorní podmínky při měření

Teplota laboratoře $T_L = 19,2 - 21,8 \text{ } ^\circ\text{C}$
 Relativní vlhkost ovzduší $\phi = 0,30 - 0,35$

Možnost vzniku chyb a tím nepřesnosti měření

- všechny komponenty a přísady (práškové, vodné roztoky) před vlastním měřením je nutné vytemperovat na teplotu laboratoře
- hmotnost navážky vzájemně porovnávaných vzorků musí být stejná
- teplotní čidlo je nutné umístit vždy do stejného místa ve vzorku, hloubka vpichu musí být také stejná
- je nutné udržovat konstantní teplotu laboratoře ($\pm 0,2 \text{ } ^\circ\text{C}$), neboť směsi s ostřivem jsou velmi citlivé na změnu teploty

4.1.5.2 Postup měření a způsob vyhodnocení pevnosti v tlaku

Pevnost v tlaku je dána nejvyšším napětím v tlaku, při kterém nastává destruktivní porušení zkušební vzorku.

Zkušební postup:

- Ze zkoušené směsi se připraví standardní zkušební válečky z dřevěných jaderníků

- Váleček se vloží mezi plochy tlakových čelistí přístroje LRU-D, kde se rovnoměrně zatěžuje bez rázů tak, aby napětí přibývalo o max. 0,2 MPa/ min.
- Po destrukci válečku se hodnota vaznosti odečte na stupnici Rc II popř. Rc III při použití louskáčku.
- Měření bylo vždy provedeno 3x, byl vypočítán aritmetický průměr, odchylka měření max. $\pm 5 \%$

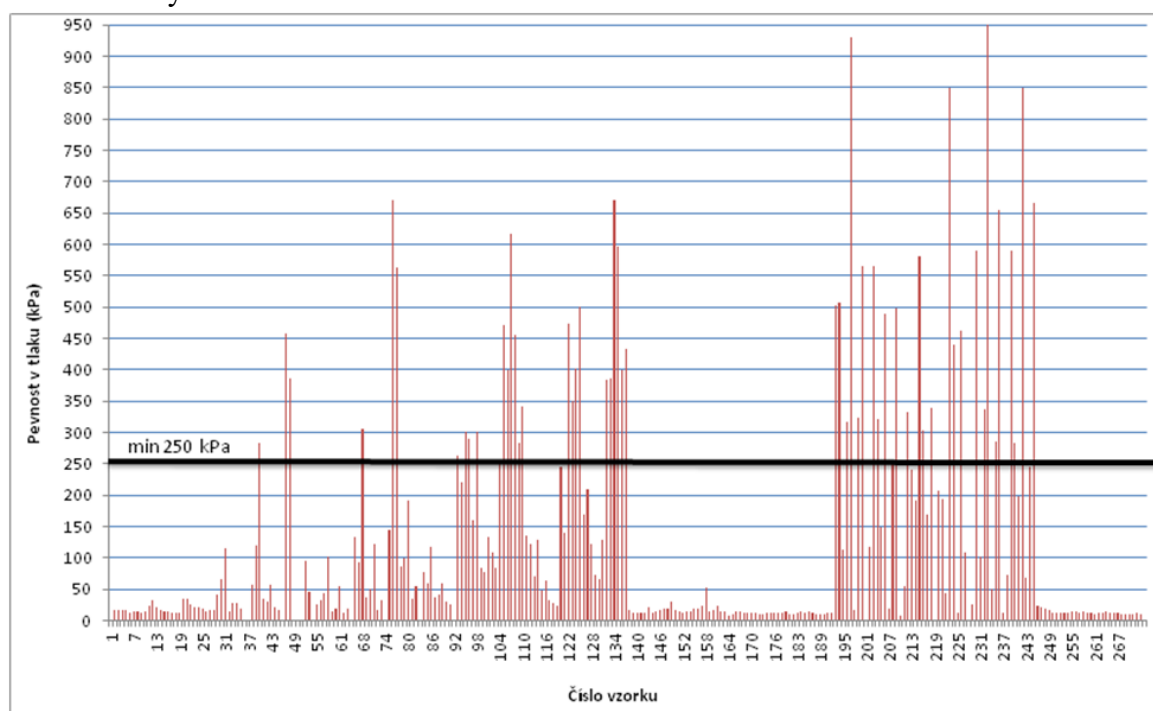
Pevnost v tlaku po 1 a 24 hod. byla zkoušena u různých kombinacích urychlujících a plastifikačních přísad, čtyř druhů cementů. Celkem byla provedena kombinace 272 měření, každé měření bylo opakovaně provedeno na 3 vzorcích. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v **příloze č. 6**.

Rozsah dávkování jednotlivých komponent:

Ostrivo	100 %		
Cement (42,5 R; 52,5 R; s51; s71)	10 %		
Plastifikační přísada dextrin	0,5 %	1,25 %	3 %
Urychlující přísada CaCl ₂ (NaOH, Li ₂ CO ₃)	2 %	3,5 %	5 %
Voda	4 %	6,5 %	9 %

Podmínky a způsob vyhodnocení měření pevnosti v tlaku

Způsob vyhodnocení pevnosti v tlaku vychází z praktického předpokladu tj. tlaku na produktivitu výroby forem, tzn. aby doba rozebírání hotových forem nepřesáhla 1 hodinu. Jako minimální manipulační pevnost forem v tlaku byla stanovena hodnota 250 kPa, která odpovídá požadavkům ze slévárenské výroby středně těžkých forem. Dále se předpokládá, že pevnosti zkušebních směsí dále porostou. Pro ověření tohoto předpokladu se měří tzv. konečné pevnosti po 24 hodinách vytvrzování.



Obr. 16 Okrajové podmínky měření - minimální pevnost v tlaku 250 kPa pro 272 měření

Laboratorní podmínky při měření

Teplota laboratoře $T_L = 19,2 - 21,5 \text{ } ^\circ\text{C}$

Relativní vlhkost ovzduší $\phi = 0,32 - 0,38$

Možnost vzniku chyb a tím nepřesnosti měření

- všechny komponenty a přísady (práškové, vodné roztoky) před vlastním měřením je nutné vytemperovat na teplotu laboratoře
- nedodržení metodiky přípravy směsí s ostřivem
- rozdílná teplota připravených vodných roztoků přísad
- během vytvrzování musí být dřevěné jaderníky stále přikryty folií, nesmí docházet k obesychání povrchu zkušebních válečků

4.1.6 Využití plánování experimentů DOE

V důsledku získání velkého počtu dat z pevnostního přístroje tj. $272 \cdot 3 = 816$ měření a tím ztížená možnost objektivního vyhodnocení měření, bylo pro posouzení vzájemného vlivu jednotlivých komponent pojivového systému na vývin hydratačního tepla a pevnostní charakteristiku v období plasticity použito metod plánování experimentů DOE.

DOE je experimentální strategie, při které najednou studujeme účinky několika faktorů, prostřednictvím jejich testování na různých úrovních [32].

Celkový počet všech možných kombinací (angl. full factorial design) při daném počtu faktorů ve 2 úrovních vypočteme následovně:

3 faktory ve 2 úrovních	$2^3 = 8$
7 faktorů ve 2 úrovních	$2^7 = 128$
15 faktorů ve 2 úrovních	$2^{15} = 32\,768$

Je zřejmé, že v praxi není možné provádět takové experimenty. Je jich příliš mnoho. Z tohoto důvodu sestavil Taguchi sadu speciálních tabulek (tzv. ortogonální soustavy), podle kterých lze provádět pouze malou část z celkového počtu možných experimentů. Pomocí těchto soustav provádíme nejmenší možný počet experimentů s maximálním množstvím informací [32].

Pro hledání vlivů jednotlivých komponent směsí bylo použito plánování experimentů DOE (Design od Experiment) v programu Minitab 17. Experiment byl naplánován pro 3 faktory ve 2 úrovních, přičemž faktor množství urychlující přísady zpracovával postupně samostatně 3 druhy přísad, což znamená vytvoření 3 samostatných plánů experimentu viz **tab. 2, 3 a 4**. Konstanty měření jsou ostřivo SH32 a hlinitanový cement Secar s71.

Tab. 2 Návrh experimentu s urychlující přísadou CaCl₂- 3 faktory ve 2 úrovních

Faktor	Úroveň 1 (%)	Úroveň 2 (%)
Množství plastifikační přísady - dextrin	0,5	3
Množství urychlující přísady CaCl ₂	3,5	5
Množství vody	4	9

Tab. 3 Návrh experimentu s urychlující přísadou NaOH- 3 faktory ve 2 úrovních

Faktor	Úroveň 1 (%)	Úroveň 2 (%)
Množství plastifikační přísady - dextrin	0,5	3
Množství urychlující přísady NaOH	3,5	5
Množství vody	4	9

Tab. 4 Návrh experimentu s urychlující přísadou Li₂CO₃- 3 faktory ve 2 úrovních

Faktor	Úroveň 1 (%)	Úroveň 2 (%)
Množství plastifikační přísady - dextrin	0,5	3
Množství urychlující přísady Li ₂ CO ₃	2	5
Množství vody	4	9

Experiment byl naplánován tak, aby popsal vliv jednotlivých faktorů na pevnost po 1 hod. vytvrzování a výši kalorimetrické teploty po 1 hod. vytvrzování.

4.1.7 Výsledky měření a jejich diskuze

4.1.7.1 Návrh a ověření vhodné metody pro rychlé posouzení praktických užitných vlastností cementových směsí určených pro výrobu forem a jader v období plasticity

Pro experiment bylo navrženo a proměřeno celkem 272 kombinací složení cementových směsí. U každé směsi bylo současně provedeno měření pevností v tlaku a kalorimetrické měření na isoperibolickém kalorimetru dle metodiky uvedené viz výše. Každé měření bylo provedeno 3x. Z měření byl vypočítán aritmetický průměr. Rozptyl měření byl v rozmezí $\pm 5\%$. U směsi se měřila pevnost v tlaku po 1 a 24 hodinách. Způsob vyhodnocení pevnosti v tlaku vycházel z praktického předpokladu tj. tlaku na produktivitu výroby forem, tzn. aby doba rozebírání hotových forem nepřesáhla 1 hodinu. Jako minimální manipulační pevnost forem v tlaku byla stanovena hodnota 250 kPa, která odpovídá požadavkům ze slévárenské výroby středně těžkých forem. Dále se předpokládá, že pevnosti zkušebních směsí dále porostou. Pro ověření tohoto předpokladu se měří tzv. konečné pevnosti po 24 hodinách vytvrzování. Výsledky měření jsou uvedeny v **příloze č. 6**. Všechna kalorimetrická měření jsou uvedena v **příloze č. 6**.

V průběhu experimentů bylo zjištěno, že granulometrie ostřiva má vliv na nárůst počátečních pevností. Čím je zrno ostřiva jemnější, tím jsou při zachování stejného složení směsi velmi nízké počáteční pevnosti, které nesplňují kritérium minimální pevnosti po 1 hodině – 250 kPa. Pro zachování pevností by bylo nutné zvýšit dávkování jednotlivých komponent pojivového systému, především cementu, vody a přísady pro urychlení vytvrzování. Proto bylo z experimentů odstraněno jemné ostřivo z lokality Šajdikové Humence SH 34, velikost středního zrna 0,23 mm, vhodné pro výrobu menších odlitků. V dalších experimentech bylo použito pouze ostřivo SH 32, velikost středního zrna 0,36 mm. Toto ostřivo je vhodné pro výrobu středních a větších odlitků, přibližně od hmotnosti 1 tuny.

V experimentech I byly použity portlandské a hlinitanové cementy. Pro portlandské cementy

byl použit nižší vodní součinitel tj. v rozmezí 0,4 - 0,6 tak, aby směs nebyla příliš mokrá a nezpomalovala tuhnutí. Pro hlinitanové cementy bylo nutné z důvodu vhodné konzistence směsi použít vyšší vodní součinitel až 0,9. Základní kritérium pevnosti po 1 hod. - 250 kPa v tlaku se u použití portlandských cementů a kombinací přísad pro urychlení tvrdnutí a vodního součinitele nepodařilo splnit. Zvýšené pevnosti v tlaku byly patrné až po 24 hodinách, proto se práce dále věnovala hlinitanovým cementům, které jsou reaktivnější a dosahují vyšších počátečních pevností.

Portlandské cementy obsahují větší množství sádrovce, než hlinitanové cementy. Sádrovec zpomaluje tuhnutí, proto je pravděpodobné, že z tohoto důvodu byly u směsi s portlandským cementem naměřeny nedostačující hodnoty pevností. Portlandský cement bude pravděpodobně vhodnější pro výrobu velkých forem a požadavkem delší zpracovatelnosti směsi a dobou rozebírání hotových forem po 2 a více hodinách.

Kritérium minimální pevnosti v tlaku po 1 hodině vytvrzování - 250 kPa splnilo 54 směsí. Tyto směsi jsou uvedeny v samostatné **tabulce 5** a v příloze č. 7. Jak už bylo uvedeno výše, požadavek na minimální pevnost v období plasticity splnily pouze směsi s hlinitanovým cementem s51 a s71, které jsou reaktivnější než portlandské cementy.

Na pevnost v tlaku má vliv druh cementu, záleží ale na dalším složení komponent ve směsi. Z tabulky 5 je patrné, že hlinitanový cement s71 v kombinaci s urychlující přísadou CaCl_2 dosahuje vyšších pevností než cement s 51. Oproti tomu s urychlující přísadou Li_2CO_3 vyšších pevností dosahuje cement s 51. U urychlující přísady NaOH jsou pevnosti podobné u obou druhů hlinitanových cementů.

Vliv plastifikační přísady na pevnost v tlaku je z tabulky 5 vidět. V experimentu bylo dávkování plastifikační přísady 0,5; 1,25 a 3 %. Nejvyšších pevností dosahovaly směsi s dávkováním plastifikační přísady 1,25 %. Vyšších pevností bylo u směsi s dávkováním 0,5 plastifikační přísady, oproti 3 % dávkování.

Množství vody také ovlivňuje pevnost v tlaku. Z 54 směsí, které splnily kritérium minimální pevnosti v tlaku, 21 směsí bylo s dávkováním vody 6,5 %. 18 směsí s dávkováním 4 % vody a 15 směsí s dávkováním 9 %. Nejvyšších pevností bylo dosaženo při dávkování 6,5 % s urychlujícími přísadami Li_2CO_3 a NaOH. Nízkých pevností v tlaku bylo dosaženo při dávkování vody 4 %.

Urychlující přísada CaCl_2 splňovala kritérium minimální pevnosti v tlaku po 1 hodině vytvrzování pouze v kombinaci dávkování 4 % vody. Při vyšším dávkování vody byly pevnosti v tlaku hodně nízké do 100 kPa. Při složení směsi např. 1,25 % plastifikační přísady a 4 % vody pevnost s množstvím urychlující přísady vzrůstá. Při dávkování 2 % je pevnost 65,5 kPa (směs č. 29), při dávkování 3,5 % je pevnost 120 kPa (směs č. 38) a při dávkování 5 % je pevnost v tlaku 386,4 kPa (směs č. 47). U urychlující přísady CaCl_2 je patrné, že s vyšším dávkováním komponenty pevnost v tlaku roste.

Urychlující přísada Li_2CO_3 splňovala kritérium minimální pevnosti v tlaku už při dávkování 2 %. Ostatní plastifikační přísady (CaCl_2 a NaOH) při dávkování 2 % dosahovaly pevností v tlaku

po 1 hodině tuhnutí do 60 kPa. Nejvyšších pevností urychlující přísada Li_2CO_3 dosahovala při dávkování vody 6,5 %, 1,25 % plastifikační přísady. Např. v tomto složení (6,5 % vody, 1,25 % dextrinu) při změně množství Li_2CO_3 je vidět vliv množství na pevnost v tlaku. Při dávkování 2 % dosahovala směs pevnosti 440,7 kPa (směs č. 223), při dávkování 3,5 % Li_2CO_3 dosahovala směs pevnosti v tlaku 1220 kPa (směs č. 232) a při dávkování 5 % dosahovala směs pevnosti 850 kPa (směs č. 241). Při vyšším dávkování urychlující přísady Li_2CO_3 pevnosti v tlaku klesají, směs se jeví jako "ztrhaná".

Urychlující přísada NaOH splňoval kritérium minimální pevnosti pouze při dávkování 3,5 % a 5 %. Při dávkování 2 % NaOH se pevnosti v tlaku po 1 hodině tuhnutí pohybovaly v rozmezí od 24 kPa do 128 kPa. Vyšších pevností bylo naměřeno při dávkování 5 % NaOH. Např. u směsi s 6,5 % vody a 1,25 % plastifikační přísady byly naměřeny pevnosti v tlaku 49,4 kPa (směs č. 114) s dávkováním 2 % NaOH, 402,6 kPa (směs č. 123) s dávkováním 3,5 % NaOH a 385,3 kPa (směs č. 132) při dávkování 5 %. Při dávkování vody 9 % a 1,25 % plastifikační přísady pevnosti po 1 hodině byly 28,7 kPa (směs č. 117) při dávkování 2 %, pevnost v tlaku 208,5 kPa (směs č. 126) při dávkování 3,5 % a pevnost v tlaku 398,7 kPa (směs č. 135) při dávkování 5 %.

Na pevnost v tlaku po 1 hodině tuhnutí mají vliv všechny komponenty ve směsi i jejich množství. Nejvyšších naměřených pevností (1220 kPa), z 54 směsí splňujících kritérium minimální pevnosti v tlaku 250 kPa po 1 hodině vytvrzování, dosahovala směs s hlinitanovým cementem s51 (směs č. 232) v kombinaci s 1,25 % dextrinu a 3,5 % urychlující přísady Li_2CO_3 s 605 % vody. Stejná kombinace a množství komponent i množství vody s hlinitanovým cementem s71 (směs č. 205) dosahovala směs po jedné hodině 490kPa.

Nejnižší hodnotu pevnosti 253,9 kPa dosahovala směs hlinitanového cementu s71 (směs č. 103) v kombinaci s 3 % dextrinu, 5 % urychlující přísady NaOH a 4 % vody. Přičemž ve stejné kombinaci a množství dextrinu, urychlující přísady NaOH i stejném množství vody směs s cementem s51 (směs č. 130) dosahovala polovičních pevností 129,5 kPa.

Tab. 5: Složení cementových samotvrdnoucích směsí, které splňují požadavek minimální pevnosti v tlaku 250 kPa po 1 hodině vytvrzování. Toto kritérium splňuje 54 z původních 272 navržených a provedených měření.

Číslo vzorku	Ostrivo	Cement	Plastifikační přísada		Urychlující přísada		Voda	Pevnost v tlaku v čase t ₁ [kPa]
			název	dávkování	název	dávkování		
232	SH 32	S 51	dextrin	1,25%	Li ₂ CO ₃	3,50%	6,50%	1220
196	SH 32	S 71	dextrin	1,25%	Li ₂ CO ₃	2%	6,50%	930
222	SH 32	S 51	dextrin	0,50%	Li ₂ CO ₃	2%	6,50%	850
241	SH 32	S 51	dextrin	1,25%	Li ₂ CO ₃	5%	6,50%	850
75	SH 32	S 71	dextrin	1,25%	CaCl ₂	5%	4%	670,6
133	SH 32	S 51	dextrin	3%	NaOH	5%	6,50%	670,3
244	SH 32	S 51	dextrin	1,25%	Li ₂ CO ₃	5%	9%	665
235	SH 32	S 51	dextrin	1,25%	Li ₂ CO ₃	3,50%	9%	654,5
106	SH 32	S 71	dextrin	3%	NaOH	5%	6,50%	615,9
134	SH 32	S 51	dextrin	0,50%	NaOH	5%	9%	597,7
229	SH 32	S 51	dextrin	1,25%	Li ₂ CO ₃	3,50%	4%	590,1
238	SH 32	S 51	dextrin	1,25%	Li ₂ CO ₃	5%	4%	589,6
214	SH 32	S 71	dextrin	1,25%	Li ₂ CO ₃	5%	6,50%	579,9
199	SH 32	S 71	dextrin	1,25%	Li ₂ CO ₃	2%	9%	566,1
202	SH 32	S 71	dextrin	1,25%	Li ₂ CO ₃	3,50%	4%	564,6
76	SH 32	S 71	dextrin	3%	CaCl ₂	5%	4%	563
193	SH 32	S 71	dextrin	1,25%	Li ₂ CO ₃	2%	4%	506,2
192	SH 32	S 71	dextrin	0,50%	Li ₂ CO ₃	2%	4%	503,7
124	SH 32	S 51	dextrin	3%	NaOH	3,50%	6,50%	500,7
208	SH 32	S 71	dextrin	1,25%	Li ₂ CO ₃	3,50%	9%	498
205	SH 32	S 71	dextrin	1,25%	Li ₂ CO ₃	3,50%	6,50%	490
121	SH 32	S 51	dextrin	3%	NaOH	3,50%	4%	474,5
104	SH 32	S 71	dextrin	0,50%	NaOH	5%	6,50%	471,4
225	SH 32	S 51	dextrin	0,50%	Li ₂ CO ₃	2%	9%	462,5
46	SH 32	S 51	dextrin	0,50%	CaCl ₂	5%	4%	456,8
107	SH 32	S 71	dextrin	0,50%	NaOH	5%	9%	456,6
223	SH 32	S 51	dextrin	1,25%	Li ₂ CO ₃	2%	6,50%	440,7
136	SH 32	S 51	dextrin	3%	NaOH	5%	9%	432,5
123	SH 32	S 51	dextrin	1,25%	NaOH	3,50%	6,50%	402,6
105	SH 32	S 71	dextrin	1,25%	NaOH	5%	6,50%	399,3
135	SH 32	S 51	dextrin	1,25%	NaOH	5%	9%	398,7
47	SH 32	S 51	dextrin	1,25%	CaCl ₂	5%	4%	386,4
132	SH 32	S 51	dextrin	1,25%	NaOH	5%	6,50%	385,3
131	SH 32	S 51	dextrin	0,50%	NaOH	5%	6,50%	383,6
122	SH 32	S 51	dextrin	0,50%	NaOH	3,50%	6,50%	350,5
109	SH 32	S 71	dextrin	3%	NaOH	5%	9%	341,1
217	SH 32	S 71	dextrin	1,25%	Li ₂ CO ₃	5%	9%	340,4
231	SH 32	S 51	dextrin	0,50%	Li ₂ CO ₃	3,50%	6,50%	337
211	SH 32	S 71	dextrin	1,25%	Li ₂ CO ₃	5%	4%	332,1
198	SH 32	S 71	dextrin	0,50%	Li ₂ CO ₃	2%	9%	324
203	SH 32	S 71	dextrin	3%	Li ₂ CO ₃	3,50%	4%	320,5
195	SH 32	S 71	dextrin	0,50%	Li ₂ CO ₃	2%	6,50%	316,2
67	SH 32	S 71	dextrin	3%	CaCl ₂	3,50%	4%	304,7
215	SH 32	S 71	dextrin	3%	Li ₂ CO ₃	5%	6,50%	304,5
94	SH 32	S 71	dextrin	3%	NaOH	3,50%	4%	301,8
97	SH 32	S 71	dextrin	3%	NaOH	3,50%	6,50%	300,8
95	SH 32	S 71	dextrin	0,50%	NaOH	3,50%	6,50%	291
234	SH 32	S 51	dextrin	0,50%	Li ₂ CO ₃	3,50%	9%	285,1
239	SH 32	S 51	dextrin	3%	Li ₂ CO ₃	5%	4%	284,3
39	SH 32	S 51	dextrin	3%	CaCl ₂	3,50%	4%	283,9
108	SH 32	S 71	dextrin	1,25%	NaOH	5%	9%	283
92	SH 32	S 71	dextrin	0,50%	NaOH	3,50%	4%	264,2
207	SH 32	S 71	dextrin	0,50%	Li ₂ CO ₃	3,50%	9%	255,4
103	SH 32	S 71	dextrin	3%	NaOH	5%	4%	253,9

V **tabulce 6** jsou uvedeny cementové samotvrdnoucí směsi, které splňují požadavek minimální pevnosti v tlaku 250 kPa po 1 hodině vytvrzování doplněné o hodnoty odečtené z kalorimetrické křivky: T_1 teplota směsi po 1 hodině vytvrzování, T_{\max} – maximální teplota směsi, t_{\max} – čas vytvrzování při dosažení maximální teploty směsi. Směsi jsou seřazeny od nejvyšší teploty po 1 hod. vytvrzování po nejnižší teplotu.

Jak už bylo uvedeno výše, pro posouzení reaktivity směsi je možné z kalorimetrické závislosti odečítat buď hodnotu maximální teploty T_{\max} nebo teplotu T_1 směsi odpovídající 1 hodině vytvrzování. Teplota T_1 pro slévárenství praktičtější, odpovídá jak již bylo uvedeno požadavku dodržení doby plasticity (času rozebírání) do 1 hodiny a tím zajištění vysoké produktivity výroby forem.

Z analýzy měření všech 272 směsí byla zjištěna přímá souvislost mezi vývinem reakčního tepla vyjádřeného teplotou a intenzitou nárůstu počátečních pevností směsí (reaktivity směsi). Čím je počáteční teplota buď maximální nebo měřená za 1 hodinu vytvrzování vyšší, tím by měla být směs reaktivnější a zpravidla má vysoké počáteční pevnosti. Směsi, které nejsou uvedeny v tabulce 6 měly hodnoty T_{\max} a T_1 zpravidla nižší než ty které splňovaly požadavek na minimální pevnost po 1 hod.-250 kPa pevnosti v tlaku.

V **tabulce 6** jsou uvedeny hodnoty pro obě teploty tj. T_{\max} a T_1 , v dalším experimentálním postupu se zpracovávají už jen hodnoty T_1 odpovídající 1 hodině vytvrzování.

Z tabulky 6 vyšších teplot T_1 dosahovaly směsi s hlinitanovým cementem Secar s51 oproti hlinitanovému cementu s71. Rozdíly teplot se pohybují v řádech desetin °C. Vliv druhu cementu na vývin reakčního tepla není značný.

Vliv množství plastifikační přísady na vývin reakčního tepla je v závislosti na množství urychlující přísady. S vyšším dávkováním urychlující přísady vzrůstá teplota směsi po 1 hodině tuhnutí. Ve všech kombinacích dávkování plastifikační přísady (0,5; 1,25 a 3 %) teplota T_1 po 1 hodině tuhnutí roste s vyšším dávkováním urychlující přísady.

Množství vody vývin reakčního tepla ovlivňují opět v kombinaci přidaného množství urychlující přísady. Čím vyšší množství urychlující přísady, tím vzrůstá vývin reakčního tepla po 1 hodině tuhnutí. Nejvyšší teploty 39,1 °C dosahuje směs č. 135 s obsahem vody 9 %. Nejnižší teplotu 27,6 °C z vybraných 54 směsí, které splňovaly podmínku minimální pevnosti po 1 hodině tuhnutí, dosahovala směs s č. 67 s množstvím vody 4 %.

Směsi s urychlující přísadou CaCl_2 dosahovaly vyšších teplot s dávkováním vody 4 %. Při dávkování vody 6,5 % a 9 % byla hodnota teploty směsi v rozmezí 22 - 27 °C s pevnostmi do 50 kPa.

Urychlující přísada Li_2CO_3 při dávkování 2 % dosahovala teplot od 33,5 °C do 37 °C. Při dávkování 3,5 % je rozhraní teplot od 31,2 °C do 36,2 °C a při dávkování 5% je teplota od 30,7 °C do 36,9 °C. Tedy s vyšším dávkování se teplota směsi snižuje a vývin reakčního tepla je nižší.

Urychlující přísada NaOH dosahovala vyšších teplot jen při dávkování 3,5 % a 5 %. Při dávkování 2 % NaOH se teploty pohybovaly v rozmezí 22 °C do 27 °C s pevnostmi do 135 kPa. Tyto směsi mají nízké pevnosti po 1 hodině tuhnutí při nízkém vývinu reakčního tepla. Při dávkování 3,5 % NaOH se teploty pohybovaly v rozmezí 28,1 °C - 35,2 °C. Při dávkování 5 % NaOH byly teploty v rozmezí 31,5 °C - 39,1 °C. U přísady NaOH je vývin reakčního tepla se vzrůstajícím množstvím komponenty vyšší než je tomu u přísady Li_2CO_3 .

Nejvyšší teplota směsi (směs č. 135) 39,8 °C byla změřena u směsi s hlinitanovým cementem s71, 1,25 % dextrinu, 5 % urychlovače tuhnutí NaOH a 9 % vody. Nejnižší teplota směsi 27,6 °C byla naměřena u směsi s hlinitanovým cementem s71, 3 % dextrinu, 3,5 % urychlující přísady CaCl_2 a 4 % vody (směs č. 67). Teploty po 1 hodině tuhnutí jsou v mnoha případech stejné jako nejvyšší vyvinutá teplota u jednotlivých směsí. Nejvyšší vyvinuté teploty v nejkratším čase, tj. 30 minut od umíchání, je směs č. 234 s hlinitanovým cementem s51, 0,5 % plastifikační přísady, 3,5 % Li_2CO_3 a 9 % vody s pevností 285,1 kPa po hodině tuhnutí.

Všechny směsi, které splňovaly podmínku minimální pevnosti v tlaku po 1 hodině tuhnutí min. 250 kPa mají teplotu vývinu reakčního tepla vyšší než 27,5 °C. U 272 laboratorně měřených směsí s nízkou pevností v tlaku po 1 hodině (do 250 kPa) byl vývin reakčního tepla do 27 °C. Kalorimetrickou metodou isoperibolického kalorimetru lze účinně a rychle posoudit vhodnost jednotlivých komponent cementových formovacích směsí.

V důsledku získání velkého počtu dat z pevnostního přístroje tj. $272 \cdot 3 = 816$ měření a tím ztížená možnost objektivního vyhodnocení měření, bylo pro posouzení vzájemného vlivu jednotlivých komponent pojivového systému na vývin hydratačního tepla a pevnostní charakteristiku v období plasticity použito metod plánování experimentů DOE.

Tab. 6 Složení cementových samotvrdnoucích směsí, které splňují požadavek minimální pevnosti v tlaku 250 kPa po 1 hodině vytvrzování doplněné o hodnoty odečtené z kalorimetrické křivky: T_1 teplota směsi pol hodiny vytvrzování, T_{max} – maximální teplota směsi, t_{max} – čas vytvrzování při dosažení maximální teploty směsi.

Číslo vzorku	Ostřívo	Cement	Plastifikační přísada		Urychlující přísada		Voda	Pevnost v tlaku v čase t_1 [kPa]	Kalorimetr		
			název	dávkování	název	dávkování			T_1	T_{max}	t_{max} [h:min]
135	SH 32	S 51	dextrin	1,25%	NaOH	5%	9%	398,7	39,1	40,2	1:10
105	SH 32	S 71	dextrin	1,25%	NaOH	5%	6,50%	399,3	39	39,6	1:26
108	SH 32	S 71	dextrin	1,25%	NaOH	5%	9%	283	37,5	39,8	1:50
46	SH 32	S 51	dextrin	0,50%	CaCl ₂	5%	4%	456,8	37,3	37,3	1:00
107	SH 32	S 71	dextrin	0,50%	NaOH	5%	9%	456,6	37,2	38	1:26
196	SH 32	S 71	dextrin	1,25%	Li ₂ CO ₃	2%	6,50%	930	37	37	1:00
241	SH 32	S 51	dextrin	1,25%	Li ₂ CO ₃	5%	6,50%	850	36,9	37,8	0:40
133	SH 32	S 51	dextrin	3%	NaOH	5%	6,50%	670,3	36,7	38,4	1:30
131	SH 32	S 51	dextrin	0,50%	NaOH	5%	6,50%	383,6	36,6	36,9	0:55
134	SH 32	S 51	dextrin	0,50%	NaOH	5%	9%	597,7	36,6	36,6	1:00
47	SH 32	S 51	dextrin	1,25%	CaCl ₂	5%	4%	386,4	36,4	36,4	1:00
244	SH 32	S 51	dextrin	1,25%	Li ₂ CO ₃	5%	9%	665	36,3	36,9	0:40
231	SH 32	S 51	dextrin	0,50%	Li ₂ CO ₃	3,50%	6,50%	337	36,2	36,6	0:40
122	SH 32	S 51	dextrin	0,50%	NaOH	3,50%	6,50%	350,5	35,2	36,6	1:40
132	SH 32	S 51	dextrin	1,25%	NaOH	5%	6,50%	385,3	35,2	37,1	1:20
222	SH 32	S 51	dextrin	0,50%	Li ₂ CO ₃	2%	6,50%	850	35,1	35,1	1:00
232	SH 32	S 51	dextrin	1,25%	Li ₂ CO ₃	3,50%	6,50%	1220	34,7	34,7	1:00
195	SH 32	S 71	dextrin	0,50%	Li ₂ CO ₃	2%	6,50%	316,2	34,5	34,5	1:00
235	SH 32	S 51	dextrin	1,25%	Li ₂ CO ₃	3,50%	9%	654,5	34,5	34,7	0:40
104	SH 32	S 71	dextrin	0,50%	NaOH	5%	6,50%	471,4	34,4	34,4	1:00
199	SH 32	S 71	dextrin	1,25%	Li ₂ CO ₃	2%	9%	566,1	34,1	35,4	1:40
208	SH 32	S 71	dextrin	1,25%	Li ₂ CO ₃	3,50%	9%	498	34	34,2	0:40
192	SH 32	S 71	dextrin	0,50%	Li ₂ CO ₃	2%	4%	503,7	33,9	34,2	0:40
193	SH 32	S 71	dextrin	1,25%	Li ₂ CO ₃	2%	4%	506,2	33,9	35,5	1:20
198	SH 32	S 71	dextrin	0,50%	Li ₂ CO ₃	2%	9%	324	33,8	34	1:20
202	SH 32	S 71	dextrin	1,25%	Li ₂ CO ₃	3,50%	4%	564,6	33,7	33,7	1:01
217	SH 32	S 71	dextrin	1,25%	Li ₂ CO ₃	5%	9%	340,4	33,6	33,9	0:45
223	SH 32	S 51	dextrin	1,25%	Li ₂ CO ₃	2%	6,50%	440,7	33,5	37,2	1:40
225	SH 32	S 51	dextrin	0,50%	Li ₂ CO ₃	2%	9%	462,5	33,5	34,8	1:30
136	SH 32	S 51	dextrin	3%	NaOH	5%	9%	432,5	33,2	38,3	1:40
205	SH 32	S 71	dextrin	1,25%	Li ₂ CO ₃	3,50%	6,50%	490	33,2	33,2	1:00
238	SH 32	S 51	dextrin	1,25%	Li ₂ CO ₃	5%	4%	589,6	33,1	33,1	1:00
92	SH 32	S 71	dextrin	0,50%	NaOH	3,50%	4%	264,2	33	33	0:40
103	SH 32	S 71	dextrin	3%	NaOH	5%	4%	253,9	33	33	1:00
95	SH 32	S 71	dextrin	0,50%	NaOH	3,50%	6,50%	291	32,8	37,6	2:15
211	SH 32	S 71	dextrin	1,25%	Li ₂ CO ₃	5%	4%	332,1	32,6	33,8	0:30
207	SH 32	S 71	dextrin	0,50%	Li ₂ CO ₃	3,50%	9%	255,4	32,2	32,3	0:30
214	SH 32	S 71	dextrin	1,25%	Li ₂ CO ₃	5%	6,50%	579,9	32	32,6	0:40
106	SH 32	S 71	dextrin	3%	NaOH	5%	6,50%	615,9	31,6	35,2	2:50
229	SH 32	S 51	dextrin	1,25%	Li ₂ CO ₃	3,50%	4%	590,1	31,6	31,6	1:00
234	SH 32	S 51	dextrin	0,50%	Li ₂ CO ₃	3,50%	9%	285,1	31,6	31,8	0:30
109	SH 32	S 71	dextrin	3%	NaOH	5%	9%	341,1	31,5	38,2	3:20
239	SH 32	S 51	dextrin	3%	Li ₂ CO ₃	5%	4%	284,3	31,5	34,8	1:40
203	SH 32	S 71	dextrin	3%	Li ₂ CO ₃	3,50%	4%	320,5	31,2	32,3	1:20
121	SH 32	S 51	dextrin	3%	NaOH	3,50%	4%	474,5	31	31,2	1:50
39	SH 32	S 51	dextrin	3%	CaCl ₂	3,50%	4%	283,9	30,8	31,04	0:43
215	SH 32	S 71	dextrin	3%	Li ₂ CO ₃	5%	6,50%	304,5	30,7	35,1	1:50
76	SH 32	S 71	dextrin	3%	CaCl ₂	5%	4%	563	29,5	29,5	1:00
94	SH 32	S 71	dextrin	3%	NaOH	3,50%	4%	301,8	29,4	31	3:10
75	SH 32	S 71	dextrin	1,25%	CaCl ₂	5%	4%	670,6	29,3	29,3	1:00
123	SH 32	S 51	dextrin	1,25%	NaOH	3,50%	6,50%	402,6	29,3	37,6	1:50
124	SH 32	S 51	dextrin	3%	NaOH	3,50%	6,50%	500,7	29,3	37,6	2:50
97	SH 32	S 71	dextrin	3%	NaOH	3,50%	6,50%	300,8	28,1	33,2	5:50
67	SH 32	S 71	dextrin	3%	CaCl ₂	3,50%	4%	304,7	27,6	28,1	0:32

4.1.7.2. Využití metody plánování experimentů DOE pro posouzení vlivu jednotlivých složek cementového pojivového systému na vývin hydratačního tepla a pevnostní charakteristiku v období plasticity

Pro posouzení vzájemného vlivu jednotlivých komponent pojivového systému na vývin hydratačního tepla a pevnostní charakteristiku v období plasticity použito metod plánování experimentů DOE. Konstantní komponenty pojivového systému bylo ostřívo SH32 a hlinitanový cement Secar s71. Obdobný experiment může být provedený i pro hlinitanový cement Secar s51, který je ve srovnání s s71 méně reaktivní, ale lze očekávat podobné závislosti jako u cementu s71.

Experiment s pískem SH 32 a hlinitanovým cementem Secar s71 byl naplánován pro 3 faktory ve 2 úrovních, přičemž faktor množství urychlující přísady zpracovával postupně samostatně 3 druhy přísad, což znamená vytvoření 3 samostatných plánů experimentu viz **tab. 7, 8 a 9**. Konstanty měření jsou ostřívo SH32 a hlinitanový cement Secar s71.

Tab. 7 Návrh experimentu s urychlující přísadou CaCl₂- 3 faktory ve 2 úrovních

Faktor	Úroveň 1 (%)	Úroveň 2 (%)
Množství plastifikační přísady - dextrin	0,5	3
Množství urychlující přísady CaCl ₂	3,5	5
Množství vody	4	9

Tab. 8 Návrh experimentu s urychlující přísadou NaOH- 3 faktory ve 2 úrovních

Faktor	Úroveň 1 (%)	Úroveň 2 (%)
Množství plastifikační přísady - dextrin	0,5	3
Množství urychlující přísady NaOH	3,5	5
Množství vody	4	9

Tab. 9 Návrh experimentu s urychlující přísadou Li₂CO₃- 3 faktory ve 2 úrovních

Faktor	Úroveň 1 (%)	Úroveň 2 (%)
Množství plastifikační přísady - dextrin	0,5	3
Množství urychlující přísady Li ₂ CO ₃	2	5
Množství vody	4	9

4.1.7.2.1. Urychlující přísada CaCl₂

Experiment s pískem SH 32 a hlinitanovým cementem Secar s71 byl naplánován pro 3 faktory ve 2 úrovních. Konstanty měření jsou ostřívo SH32 a hlinitanový cement Secar s71.

Po zadání návrhu experimentů s urychlující přísadou CaCl₂ (**tab. 7**) program Minitab 17 vygeneroval kombinace dávkování vody, plastifikační a urychlující přísady. V **tab. 10** jsou data vygenerovaná programem Minitab 17 a naměřená data v laboratoři.

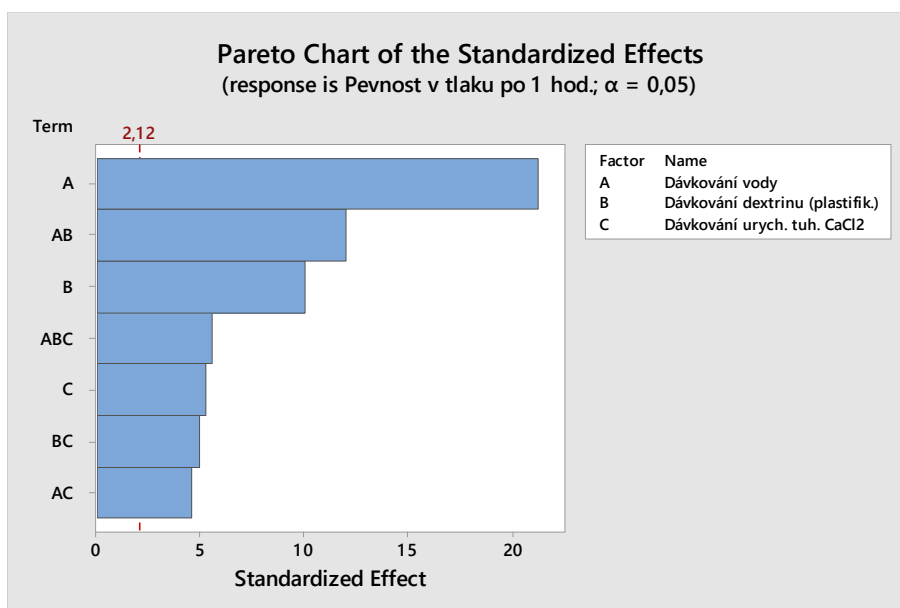
Tab. 10 Návrh kombinace složení pro urychlující přísadu CaCl₂

Návrh Minitab 17							Experimentální měření	
StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	Dávkování vody	Dávkování plastifikační přísady	Dávkování urychlující přísady	Pevnost v tlaku v čase t ₁	Kalorimetrická teplota T ₁
1	1	1	1	4	0,5	3,5	152,8	26,9
19	2	1	1	4	3	3,5	287,7	27,6
23	3	1	1	4	3	5	499	29,5
17	4	1	1	4	0,5	3,5	173,9	26,9
13	5	1	1	4	0,5	5	132,5	29,2
18	6	1	1	9	0,5	3,5	16,3	25,7
21	7	1	1	4	0,5	5	155,7	29,2
14	8	1	1	9	0,5	5	31,3	26,7
15	9	1	1	4	3	5	670,8	29,5
7	10	1	1	4	3	5	563	29,5
16	11	1	1	9	3	5	0	26,7
8	12	1	1	9	3	5	0	26,7
12	13	1	1	9	3	3,5	0	27,4
3	14	1	1	4	3	3,5	304,7	27,6
5	15	1	1	4	0,5	5	143,5	29,2
22	16	1	1	9	0,5	5	33,9	26,7
6	17	1	1	9	0,5	5	39,2	26,7
10	18	1	1	9	0,5	3,5	16,9	25,7
9	19	1	1	4	0,5	3,5	133,7	26,9
4	20	1	1	9	3	3,5	0	27,4
11	21	1	1	4	3	3,5	327,7	27,6
24	22	1	1	9	3	5	0	26,7
2	23	1	1	9	0,5	3,5	19,4	25,7
20	24	1	1	9	3	3,5	0	27,4

Experiment byl naplánován tak, aby popsal vliv jednotlivých faktorů na pevnost po 1 hod. vytvrzování a výši kalorimetrické teploty po 1 hod. vytvrzování.

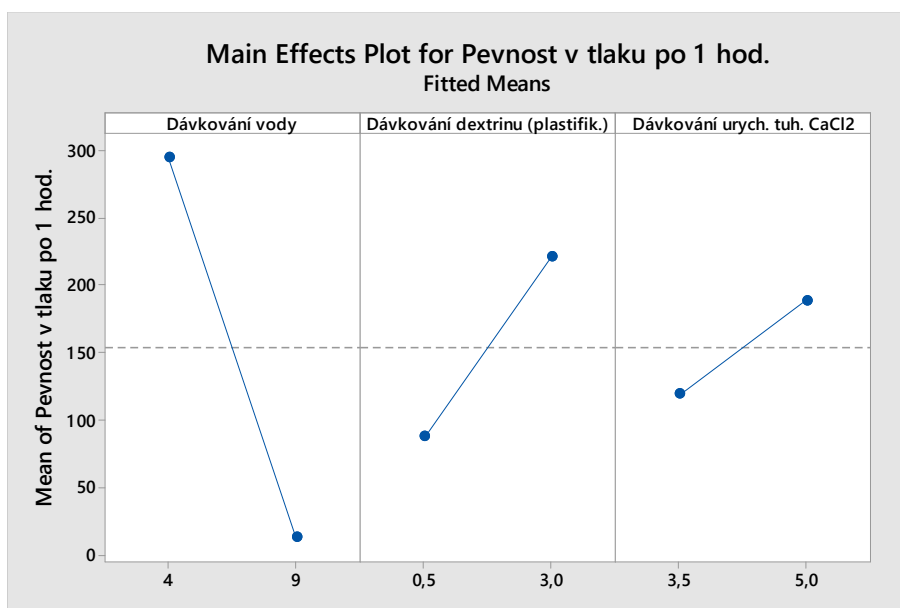
a) Pevnost v tlaku

Paretův diagram významnosti faktorů (**obr. 17**), z kterého vyplývá že na pevnost v tlaku po 1 hodině mají vliv všechny tři faktory - množství vody, množství urychlující přísady, množství plastifikační přísady tak i jejich vzájemné kombinace. Největší vliv má množství vody.



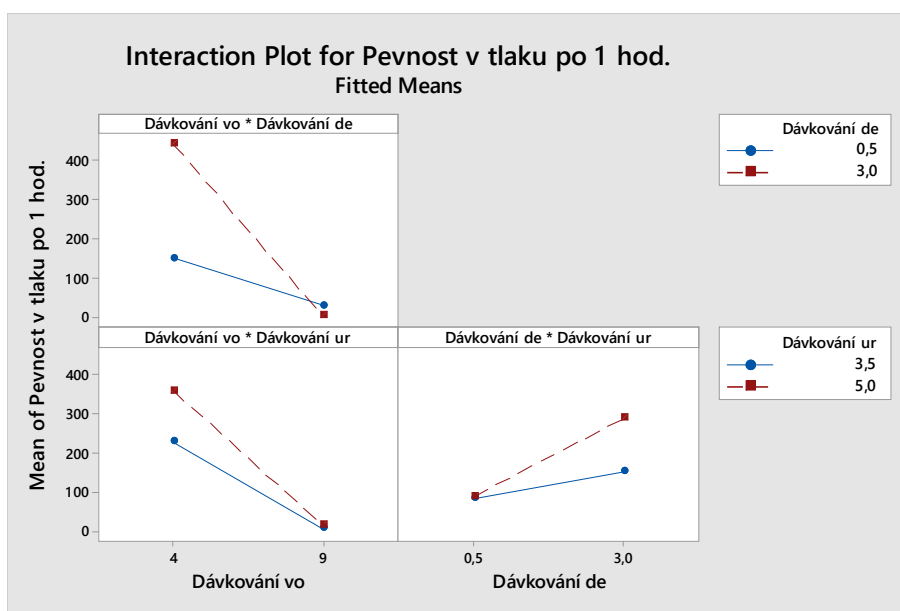
Obr. 17 Paretův diagram

Na **obr. 18** je znázorněn diagram, který faktor má vliv na pevnost v tlaku po 1 hodině. Při dávkování vody 4 % je pevnost v tlaku 300 kPa, při dávkování vody 9 % je pevnost malá. Dávkování plastifikační přísady dextrinu je z diagramu patrné pro vyšší pevnosti v tlaku a to 3 %. Čím vyšší dávkování urychlující přísady, tím jsou pevnosti vyšší.



Obr. 18 Vliv faktorů na pevnost v tlaku po 1 hodině tuhnutí

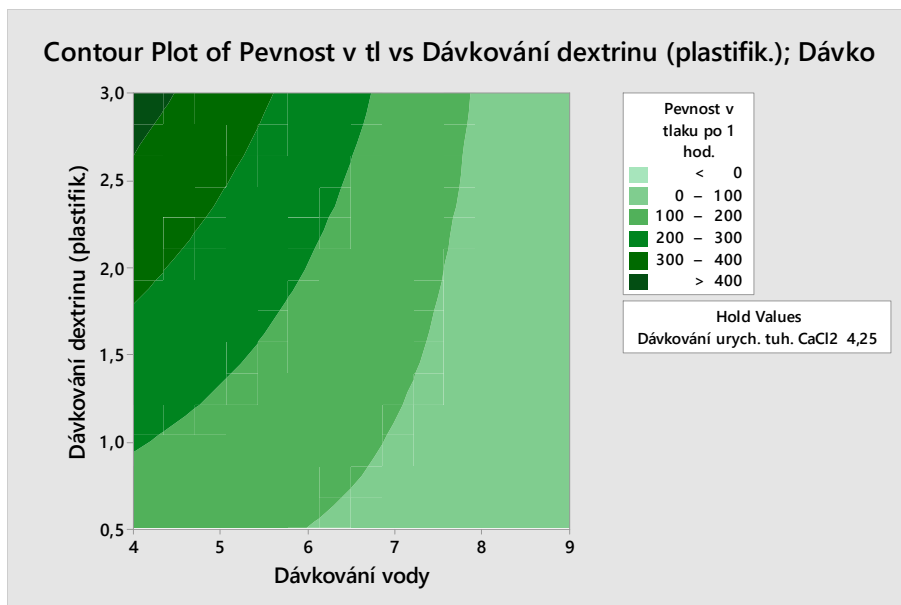
Interakce mezi jednotlivými faktory (**obr. 19**). Při dávkování vody 4 % a dávkování plastifikační přísady 3% dosahujeme vyšších pevností než při dávkování 9 % vody a 0,5 % plastifikační přísady. U interakce dávkování vody a urychlovací přísady dochází vyšších pevností při kombinaci 4 % vody a 5 % urychlující přísady. U interakce dávkování plastifikační a urychlující přísady je vyšších pevností dosahováno v kombinaci 3 % plastifikační přísady a 5 % urychlující přísady.



Obr. 19 Vliv interakcí faktorů

Na **obr. 20** je možné hledat vhodné dávkování komponent pro nastavení optimální pevnosti

v tlaku po 1 hodině tuhnutí. Pevně nastavená hodnota je urychlovač tuhnutí CaCl_2 - 4,25 (což je aritmetický průměr ze zadaných úrovní faktoru a to 3,5 a 5). Hodnotu urychlovače je možné měnit, a tím se bude měnit i pole pevností.



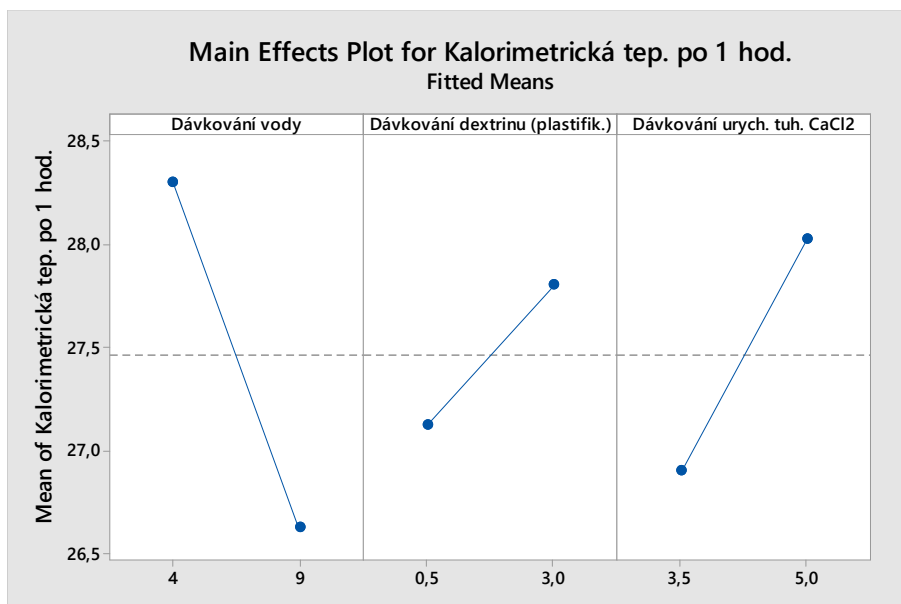
Obr. 20 Vhodné dávkování komponent pro nastavení optimální pevnosti

Z diagramu je patrné, že pro pevnost v tlaku po 1 hodině tuhnutí v rozmezí 200 - 300 kPa je ideální dávkování vody při 4 % dávkování plastifikační přísady 1,5 %. Při dávkování vody 6 % je dávkování plastifikační přísady 3%.

b) Kalorimetrická teplota

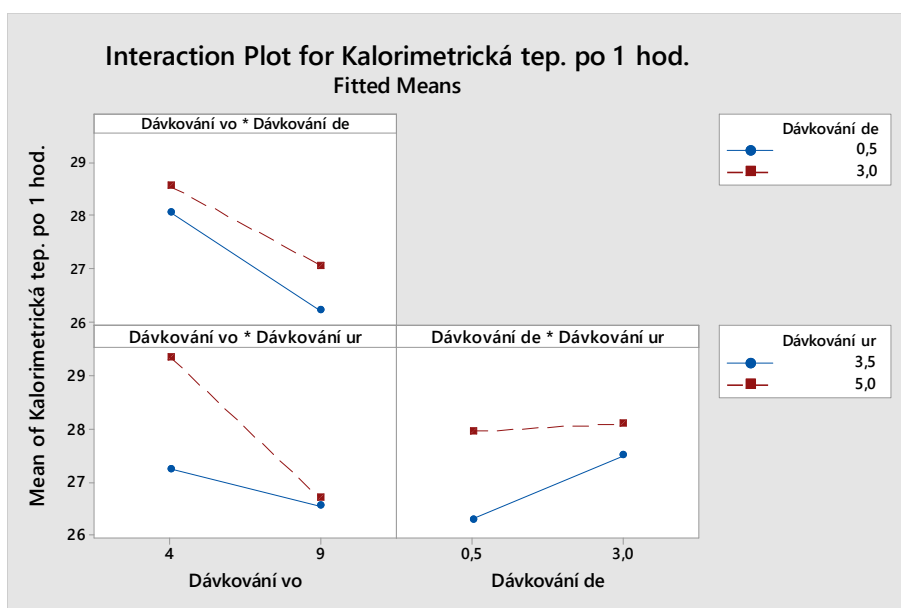
Vliv faktorů, který nejvíce ovlivňuje kalorimetrickou teplotu po jedné hodině tuhnutí (**obr. 21**).

Při dávkování 4 % vody jsou dosaženy vyšší teploty než při dávkování 9 % vody. U plastifikační přísady je vyšších teplot dosaženo při vyšším dávkování (3 %) a u urychlující přísady je také vyšších teplot dosaženo při vyšším dávkování - tedy 5 %.

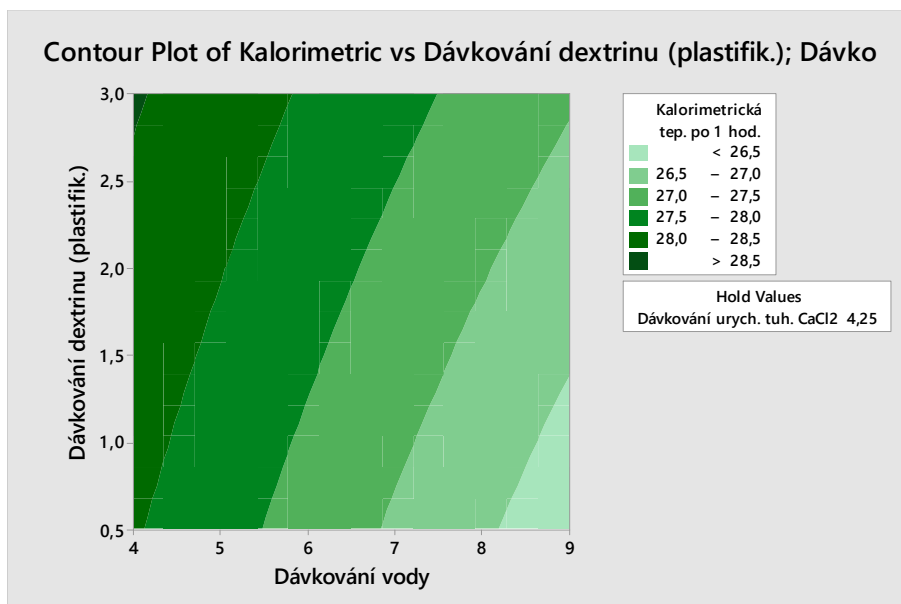


Obr. 21 Vliv faktorů na kalorimetrickou teplotu

Na **obr. 22** jsou znázorněny interakce mezi jednotlivými faktory. Při dávkování 4 % vody a 3 % plastifikační přísady je dosaženo teplot přes 28 °C. Při kombinaci 4 % vody a 5 % urychlovače je kalorimetrická teplota přes 29 °C. A při kombinaci plastifikační a urychlující přísady je lepší dávkování 3 % plastifikační přísady a 5 % CaCl₂.



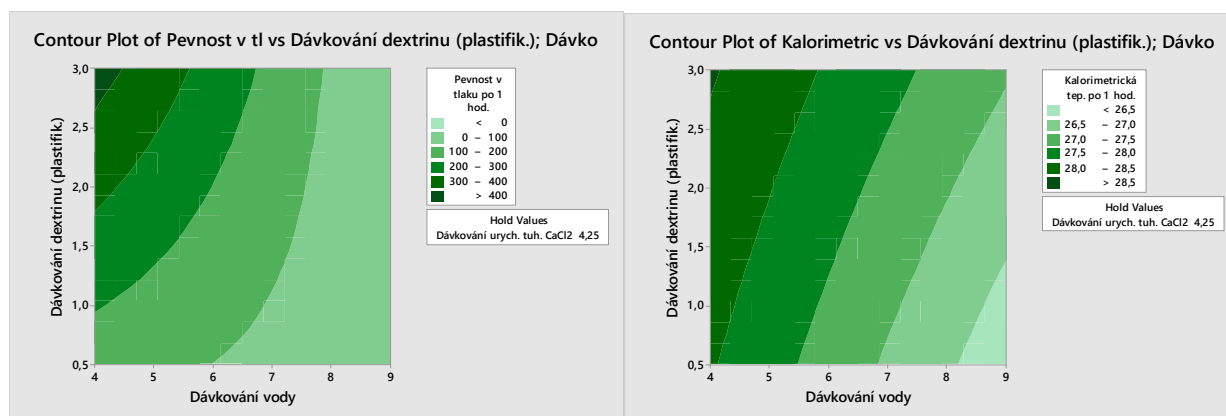
Obr. 22 Vliv interakcí



Obr. 23 Vhodné dávkování komponent pro nastavení optimální kalorimetrické teploty

Pro optimální kalorimetrickou teplotu na **obr 23** je řízení nastavení dávkování komponent. Pevně nastavená hodnota je urychlovač tuhnutí (opět 4,25 % CaCl₂). Hodnotu urychlovače je možné měnit, tím se bude měnit i pole kalorimetrických teplot. Například při dávkování vody 4 % a dávkování plastifikační přísady 2 % bude teplota kalorimetrická v rozmezí 28 - 28,5 °C.

Pro určení pevnosti v tlaku po 1 hodině tuhnutí pomocí kalorimetrické teploty je nutné položit grafy na **obr. 24** vedle sebe pro posouzení.



Obr. 24 Porovnání grafů pro pevnost v tlaku a kalorimetrickou teplotu po 1 hodině tuhnutí

V praxi pokud bude požadována pevnost v tlaku po 1 hodině tuhnutí v rozmezí 300 - 400 kPa, dávkování vody bude 4 %, 2,5 % plastifikační přísady a urychlující přísady 4,25 %. Z grafu pro kalorimetrickou teplotu budu vědět, že při výše zmíněném složení, bude teplota směsi v rozmezí 28 - 28,5 °C.

4.1.7.2.2. Urychlující přísada NaOH

Experiment s pískem SH 32 a hlinitanovým cementem Secar s71 byl naplánován pro 3 faktory

ve 2 úrovních. Konstanty měření jsou ostřívo SH32 a hlinitanový cement Secar s71.

Po zadání návrhu experimentů s urychlující přísadou NaOH (**tab. 8**) program Minitab 17 vygeneroval kombinace dávkování vody, plastifikační a urychlující přísady. V **tab. 11** jsou data vygenerovaná programem Minitab 17 a naměřená data v laboratoři.

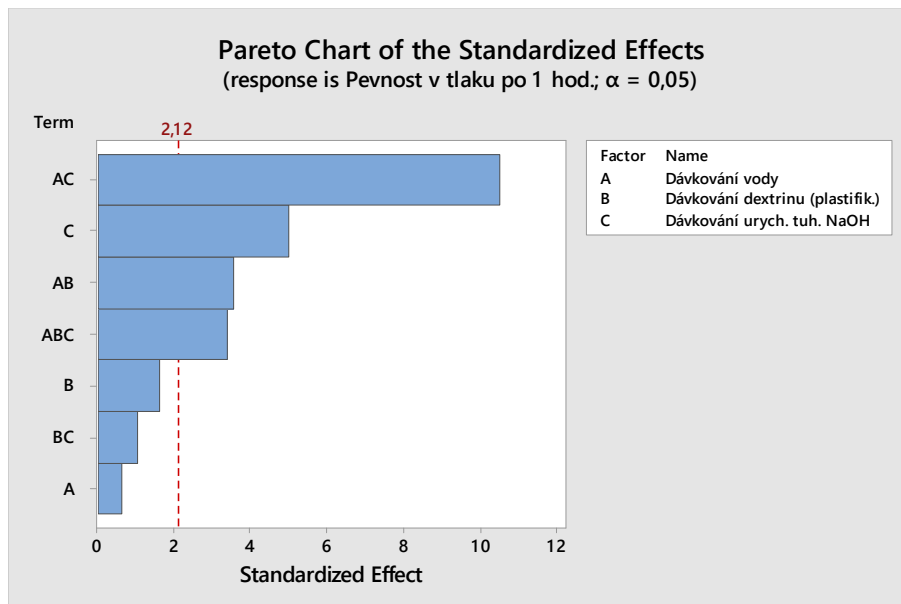
Tab. 11 Návrh kombinace složení pro urychlující přísadu NaOH

Návrh Minitab 17							Experimentální měření	
StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	Dávkování vody	Dávkování plastifikační přísady	Dávkování urychlující přísady	Pevnost v tlaku v čase t_1	Kalorimetrická teplota T_1
8	1	1	1	9	3	5	310,7	31,5
1	2	1	1	4	0,5	3,5	264,2	33
14	3	1	1	9	0,5	5	456,6	37,2
6	4	1	1	9	0,5	5	403	37,2
12	5	1	1	9	3	3,5	128	28,3
20	6	1	1	9	3	3,5	136	28,3
5	7	1	1	4	0,5	5	132,5	29,2
22	8	1	1	9	0,5	5	496,7	37,2
19	9	1	1	4	3	3,5	459,9	29,4
2	10	1	1	9	0,5	3,5	85	29,4
3	11	1	1	4	3	3,5	301,8	29,4
13	12	1	1	4	0,5	5	155,7	29,2
9	13	1	1	4	0,5	3,5	273,9	33
11	14	1	1	4	3	3,5	257,1	29,4
7	15	1	1	4	3	5	253,9	33
17	16	1	1	4	0,5	3,5	322,7	33
21	17	1	1	4	0,5	5	143,5	29,2
18	18	1	1	9	0,5	3,5	81,8	29,4
4	19	1	1	9	3	3,5	133,2	28,3
10	20	1	1	9	0,5	3,5	92,1	29,4
16	21	1	1	9	3	5	341,1	31,5
15	22	1	1	4	3	5	275,3	33
24	23	1	1	9	3	5	353,5	31,5
23	24	1	1	4	3	5	314,6	33

Experiment byl naplánován tak, aby popsal vliv jednotlivých faktorů na pevnost po 1 hod. vytvrzování a výši kalorimetrické teploty po 1 hod. vytvrzování.

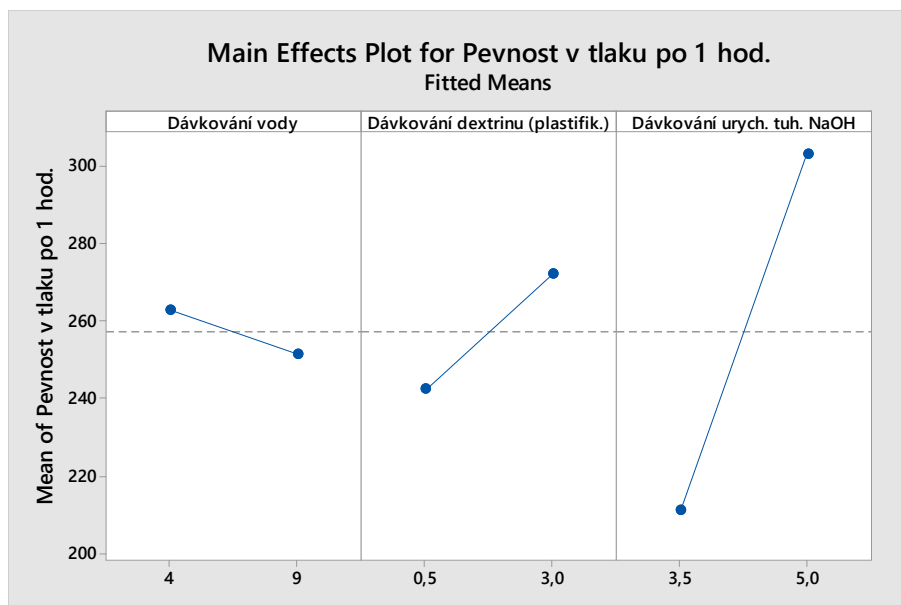
a) Pevnost v tlaku

Paretův diagram významnosti faktorů (**obr. 25**), z kterého vyplývá že na pevnost v tlaku po 1 hodině mají největší vliv kombinace množství vody a urychlující přísady NaOH. Dalším významným faktorem je dávkování urychlující přísady a pak kombinace dávkování vody a plastifikační přísady a kombinace všech tří faktorů.



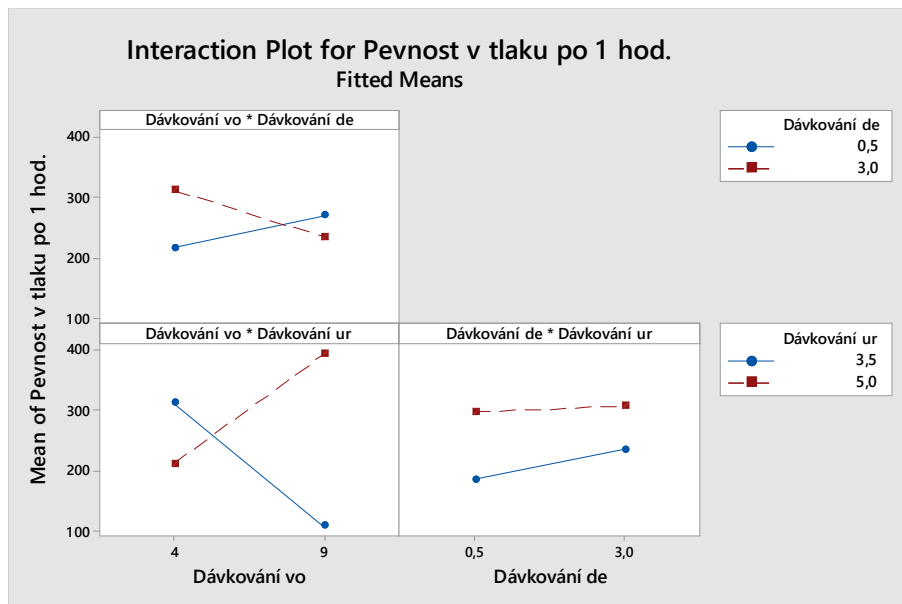
Obr. 25 Paretův diagram

Na **obr. 26** je znázorněn diagram zobrazující faktory mající vliv na pevnost v tlaku po 1 hodině. Při dávkování vody 4 % je pevnost v tlaku 260 kPa, při dávkování vody 9 % je pevnost malá. Dávkování plastifikační přísady dextrinu je z diagramu patrné pro vyšší pevnosti v tlaku a to 3 %. Čím vyšší dávkování urychlující přísady, tím jsou pevnosti vyšší.



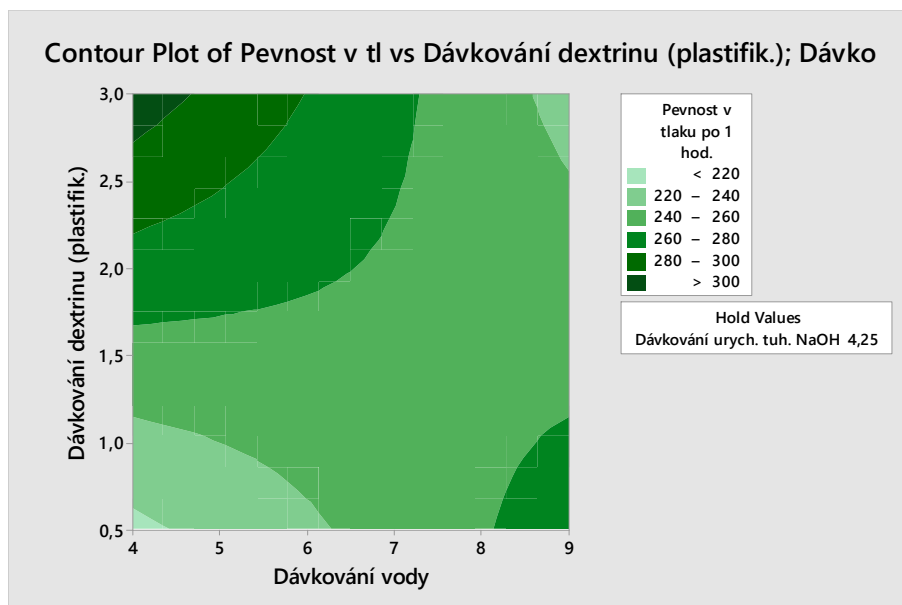
Obr. 26 Vliv faktorů na pevnost v tlaku po 1 hodině tuhnutí

Interakce mezi jednotlivými faktory (**obr. 27**). Při dávkování vody 4 % a dávkování plastifikační přísady 3% dosahujeme vyšších pevností než při dávkování 9 % vody a 0,5 % plastifikační přísady. U interakce dávkování vody a urychlující přísady dochází vyšších pevností při kombinaci 9 % vody a 5 % urychlující přísady. U interakce dávkování plastifikační a urychlující přísady je vyšších pevností dosahováno v kombinaci 3 % plastifikační přísady a 5 % urychlující přísady, podobných pevností je dosahováno i při dávkování 0,5 % plastifikační přísady a 5 % urychlující přísady.



Obr. 27 Vliv interakcí faktorů

Na **obr. 28** je možné hledat vhodné dávkování komponent pro nastavení optimální pevnosti v tlaku po 1 hodině tuhnutí. Pevně nastavená hodnota je urychlovač tuhnutí NaOH - 4,25 (což je aritmetický průměr ze zadaných úrovní faktoru a to 3,5 a 5). Hodnotu urychlovače je možné měnit, a tím se bude měnit i pole pevností.



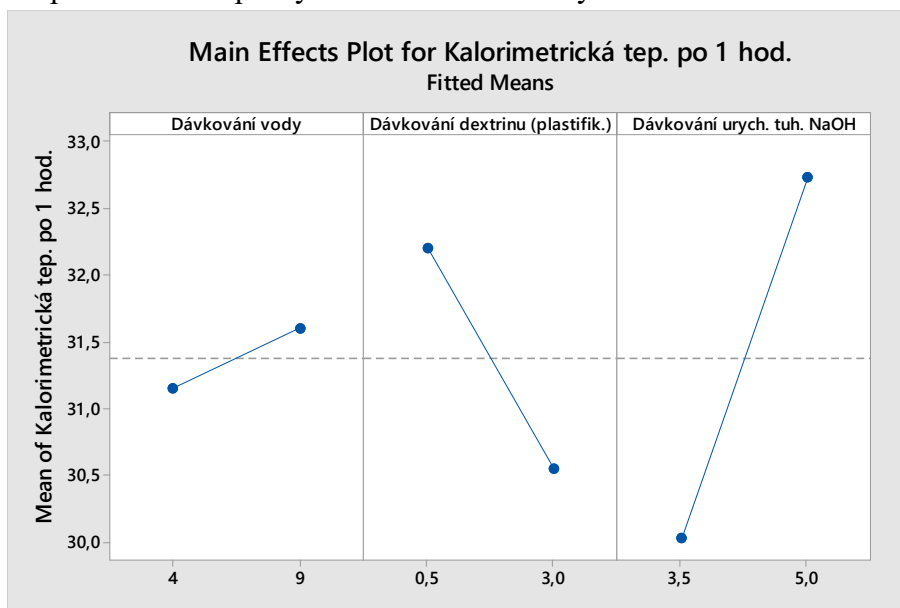
Obr. 28 Vhodné dávkování komponent pro nastavení optimální pevnosti

Z diagramu je patrné, že pro pevnost v tlaku po 1 hodině tuhnutí v rozmezí 240 - 260 kPa je ideální dávkování vody při 7% a dávkování plastifikační přísady 1,5 %. Při dávkování vody 8 % je dávkování plastifikační přísady 2,5 %.

b) Kalorimetrická teplota

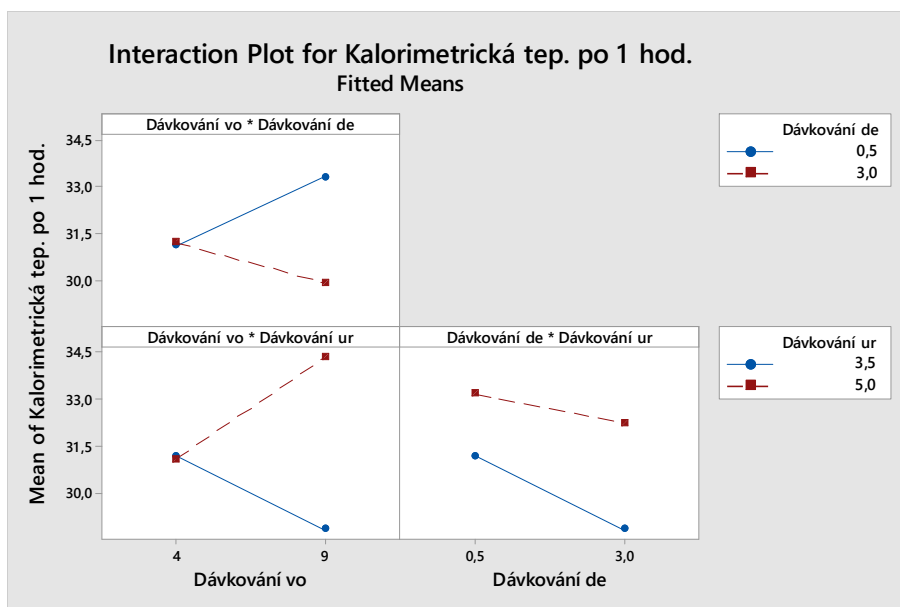
Vliv faktorů, který nejvíce ovlivňuje kalorimetrickou teplotu po jedné hodině tuhnutí (**obr. 29**).

Při dávkování 9 % vody jsou dosaženy vyšší teploty než při dávkování 4 % vody. U plastifikační přísady je vyšších teplot dosaženo při nižším dávkování (0,5 %) a u urychlující přísady je vyšších teplot dosaženo při vyšším dávkování - tedy 5 %.

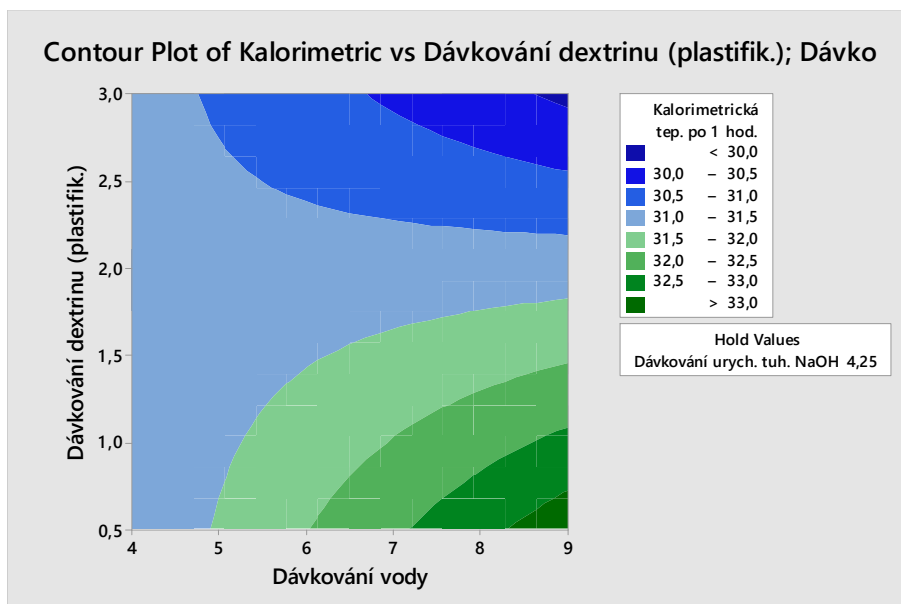


Obr. 29 Vliv faktorů na kalorimetrickou teplotu

Na obr. 30 jsou znázorněny interakce mezi jednotlivými faktory. Při dávkování 9 % vody a 0,5 % plastifikační přísady je dosaženo teplot přes 33 °C. Při kombinaci 9 % vody a 5 % urychlovače je kalorimetrická teplota 34,5 °C. A při kombinaci plastifikační a urychlující přísady je lepší dávkování 0,5 % plastifikační přísady a 5 % NaOH.



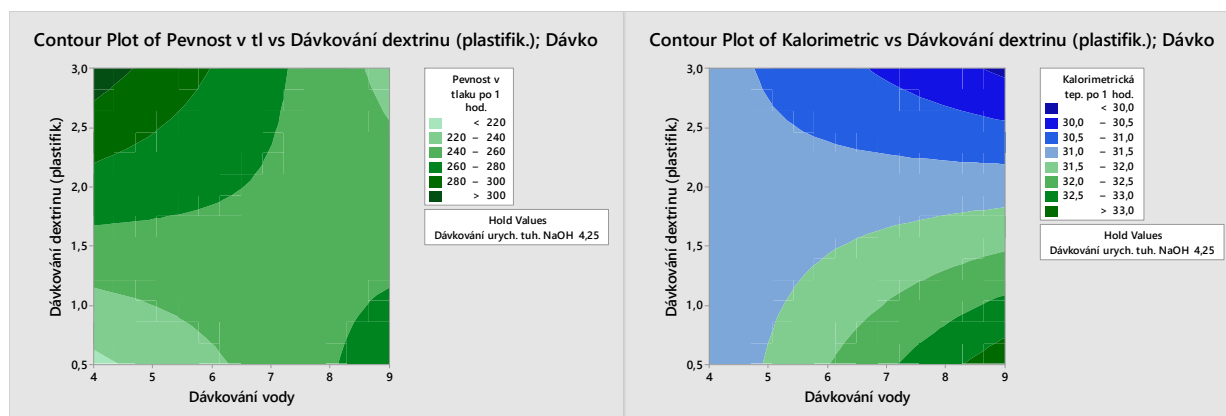
Obr. 30 Vliv interakcí



Obr. 31 Vhodné dávkování komponent pro nastavení optimální kalorimetrické teploty

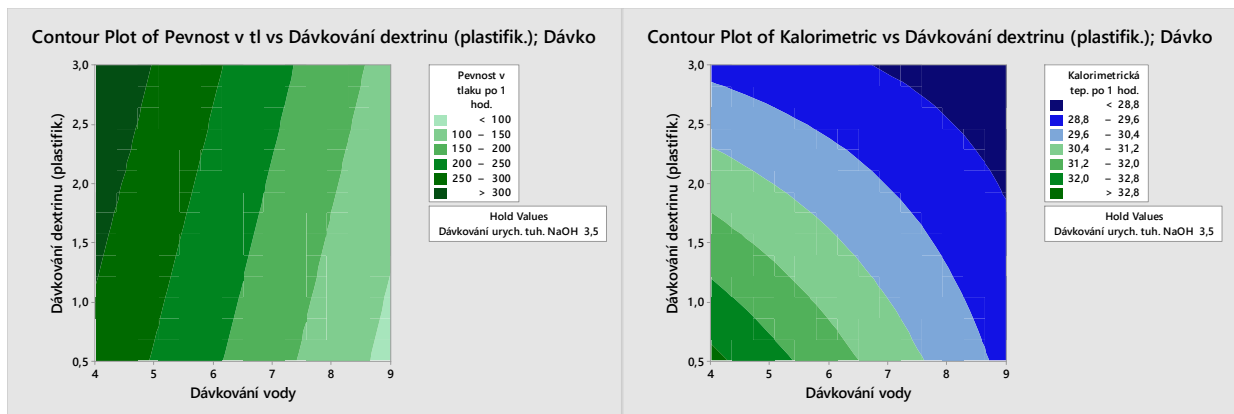
Pro optimální kalorimetrickou teplotu na **obr 31** je řízení nastavení dávkování komponent. Pevně nastavená hodnota je urychlovač tuhnutí (opět 4,25 % NaOH). Hodnotu urychlovače je možné měnit, tím se bude měnit i pole kalorimetrických teplot. Například při dávkování vody 7 % a dávkování plastifikační přísady 2 % bude teplota kalorimetrická v rozmezí 31 - 31,5 °C.

Pro určení pevnosti v tlaku po 1 hodině tuhnutí pomocí kalorimetrické teploty je nutné položit grafy na **obr. 32** vedle sebe pro posouzení.



Obr. 32 Porovnání grafů pro pevnost v tlaku a kalorimetrickou teplotu po 1 hodině tuhnutí

Na **obr. 32** je patrné, že v této kombinaci má urychlující přísada vliv na pevnost v tlaku. Pro lépe použitelný model bylo nutné hodnotu urychlující přísady snížit z 4,25 % na 3,5 %. Na **obr. 33** je lépe použitelný model.



Obr. 33 Porovnání grafů pro pevnost v tlaku a kalorimetrickou teplotu po 1 hodině tuhnutí, při dávkování NaOH 3,5 %

V praxi pokud bude požadována pevnost v tlaku po 1 hodině tuhnutí v rozmezí 250 - 300 kPa, dávkování vody bude 5 %, 2 % plastifikační přísady a urychlující přísady 3,5 %. Z grafu pro kalorimetrickou teplotu budu vědět, že při výše zmíněném složení, bude teplota směsi v rozmezí 30,4 - 31,2 °C.

4.1.7.2.3. Urychlující přísada Li_2CO_3

Experiment s pískem SH 32 a hlinitanovým cementem Secar s71 byl naplánován pro 3 faktory ve 2 úrovních. Konstanty měření jsou ostrivo SH32 a hlinitanový cement Secar s71.

Po zadání návrhu experimentů s urychlující přísadou Li_2CO_3 (**tab. 9**) program Minitab 17 vygeneroval kombinace dávkování vody, plastifikační a urychlující přísady. V **tab. 12** jsou data vygenerovaná programem Minitab 17 a naměřená data v laboratoři.

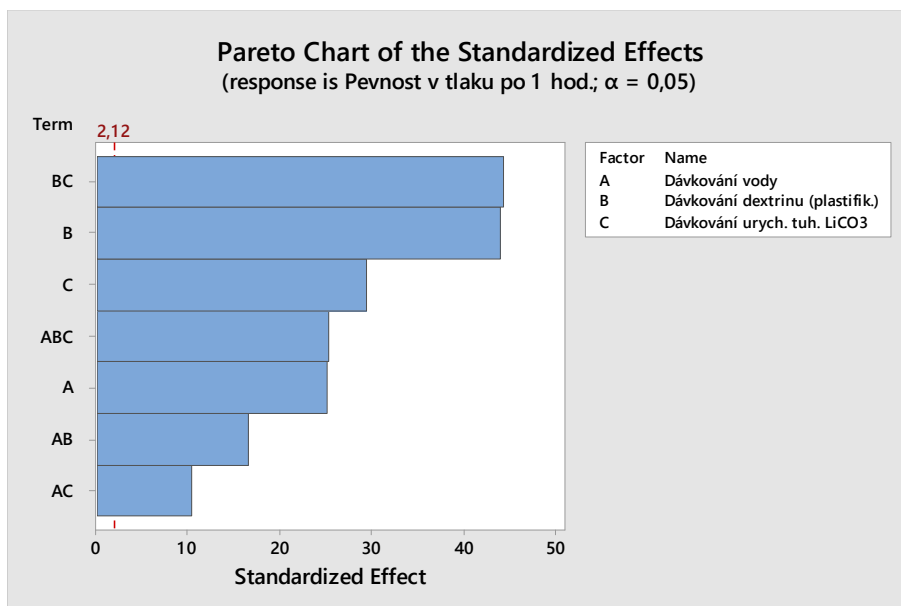
Tab. 12 Návrh kombinace složení pro urychlující přísadu Li_2CO_3

Návrh Minitab 17							Experimentální měření	
StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	Dávkování vody	Dávkování plastifikační přísady	Dávkování urychlující přísady	Pevnost v tlaku v čase t_1	Kalorimetrická teplota T_1
7	1	1	1	4	3	5	240,3	30,5
15	2	1	1	4	3	5	241	30,5
13	3	1	1	4	0,5	5	59,2	30,9
22	4	1	1	9	0,5	5	168,7	30,6
8	5	1	1	9	3	5	0	26,2
3	6	1	1	4	3	2	103,4	27,1
20	7	1	1	9	3	2	0	25,8
18	8	1	1	9	0,5	2	338,1	33,8
21	9	1	1	4	0,5	5	62,9	30,9
16	10	1	1	9	3	5	0	26,2
23	11	1	1	4	3	5	214,3	30,5
24	12	1	1	9	3	5	0	26,2
12	13	1	1	9	3	2	0	25,8
2	14	1	1	9	0,5	2	314,5	33,8
9	15	1	1	4	0,5	2	503,7	33,9
6	16	1	1	9	0,5	5	155,1	30,6
10	17	1	1	9	0,5	2	324	33,8
11	18	1	1	4	3	2	113,8	27,1
5	19	1	1	4	0,5	5	55,1	30,9
4	20	1	1	9	3	2	0	25,8
17	21	1	1	4	0,5	2	521,8	33,9
14	22	1	1	9	0,5	5	184,5	30,6
1	23	1	1	4	0,5	2	496,3	33,9
19	24	1	1	4	3	2	111,4	27,1

Experiment byl naplánován tak, aby popsal vliv jednotlivých faktorů na pevnost po 1 hod. vytvrzování a výši kalorimetrické teploty po 1 hod. vytvrzování.

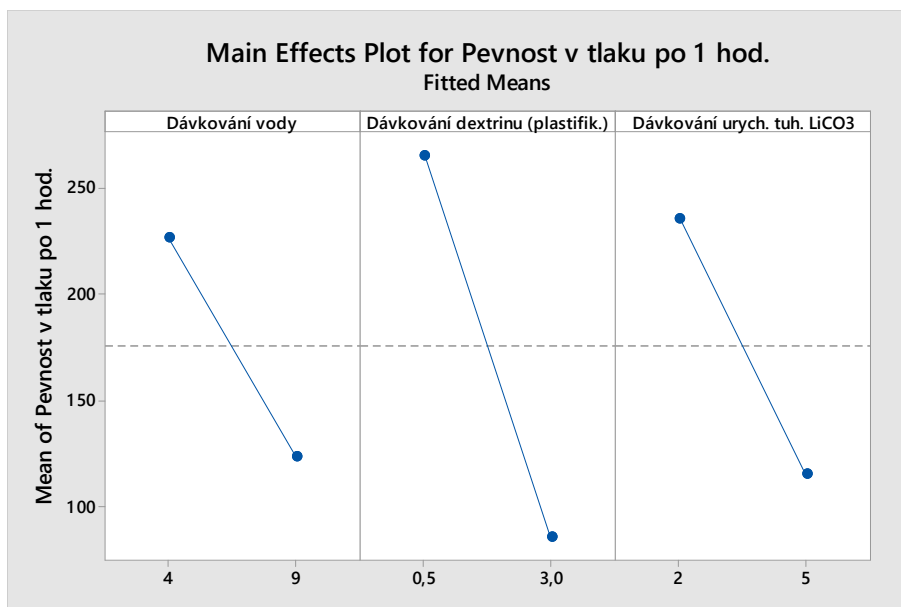
a) Pevnost v tlaku

Paretův diagram významnosti faktorů (**obr. 34**), z kterého vyplývá že na pevnost v tlaku po 1 hodině mají vliv všechny tři faktory - množství vody, množství urychlující přísady, množství plastifikační přísady tak i jejich vzájemné kombinace. Největší vliv má kombinace dávkování plastifikační a urychlující přísady.



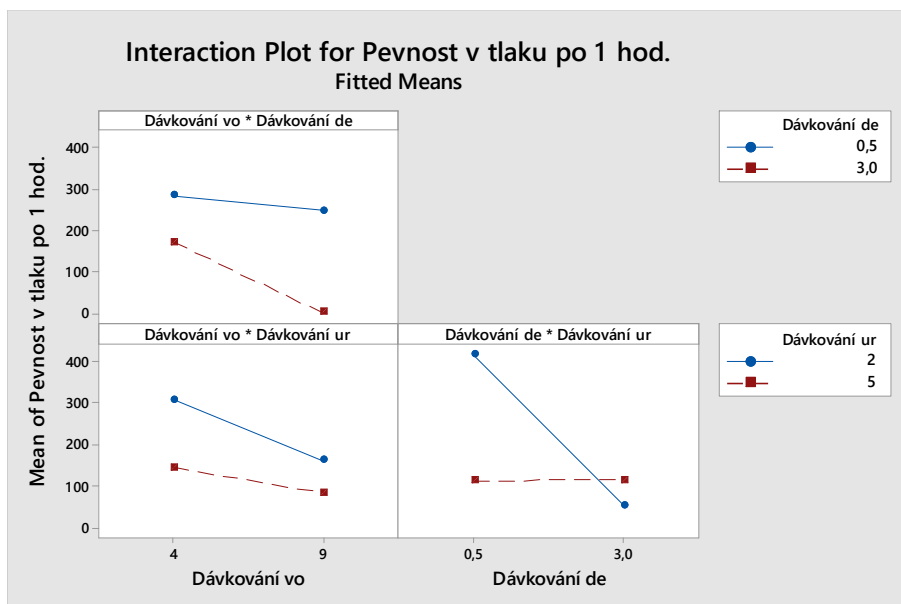
Obr. 34 Paretův diagram

Na **obr. 35** je znázorněn diagram, který faktor má vliv na pevnost v tlaku po 1 hodině. Při dávkování vody 4 % je pevnost v tlaku 230 kPa, při dávkování vody 9 % je pevnost malá 130 kPa. Dávkování plastifikační přísady dextrinu je z diagramu patrné pro vyšší pevnosti v tlaku a to 0,5 %. Čím vyšší dávkování urychlující přísady, tím jsou pevnosti nižší.



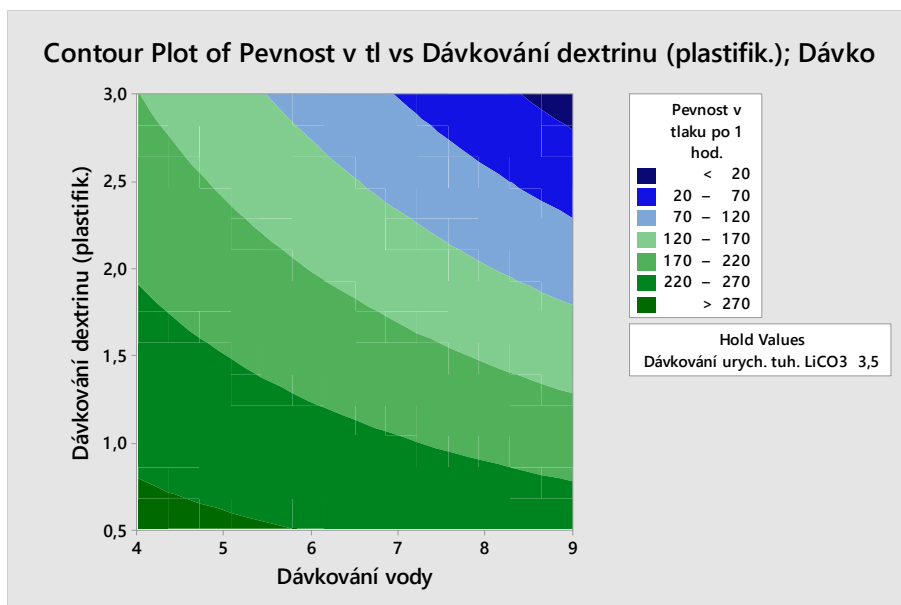
Obr. 35 Vliv faktorů na pevnost v tlaku po 1 hodině tuhnutí

Interakce mezi jednotlivými faktory (**obr. 36**). Při dávkování vody 4 % a dávkování plastifikační přísady 0,5 % dosahujeme vyšších pevností než při dávkování 9 % vody a 3 % plastifikační přísady. U interakce dávkování vody a urychlující přísady dochází vyšších pevností při kombinaci 4 % vody a 2 % urychlující přísady. U interakce dávkování plastifikační a urychlující přísady je vyšších pevností dosahováno v kombinaci 0,5 % plastifikační přísady a 2 % urychlující přísady.



Obr. 36 Vliv interakcí faktorů

Na **obr. 37** je možné hledat vhodné dávkování komponent pro nastavení optimální pevnosti v tlaku po 1 hodině tuhnutí. Pevně nastavená hodnota je urychlovač tuhnutí Li_2CO_3 - 3,5 (což je aritmetický průměr ze zadaných úrovní faktoru a to 2 a 5). Hodnotu urychlovače je možné měnit, a tím se bude měnit i pole pevností.



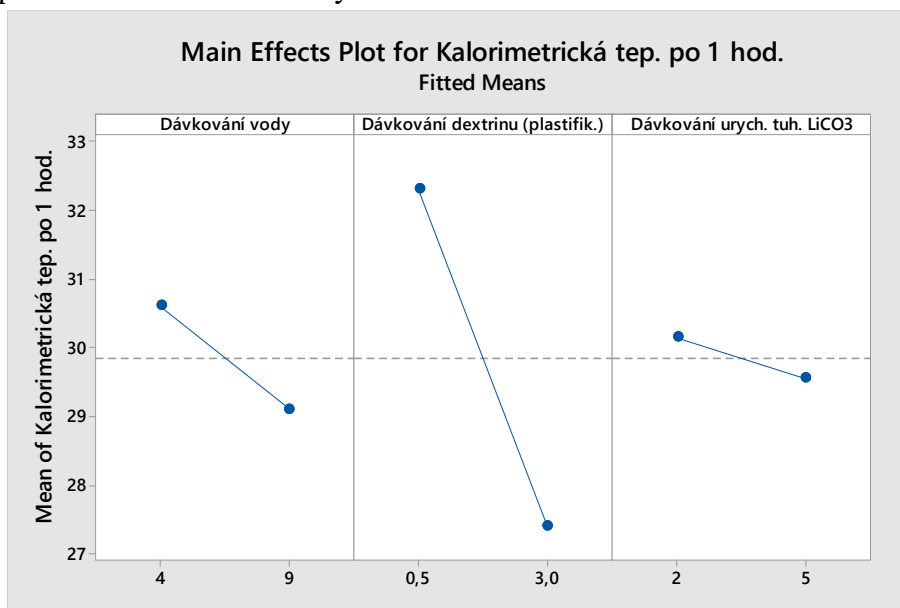
Obr. 37 Vhodné dávkování komponent pro nastavení optimální pevnosti

Z diagramu je patrné, že pro pevnost v tlaku po 1 hodině tuhnutí v rozmezí 220 - 270 kPa je ideální dávkování vody při 5 % dávkování plastifikační přísady 1 %. Při dávkování vody 4 % je dávkování plastifikační přísady 1,5%.

b) Kalorimetrická teplota

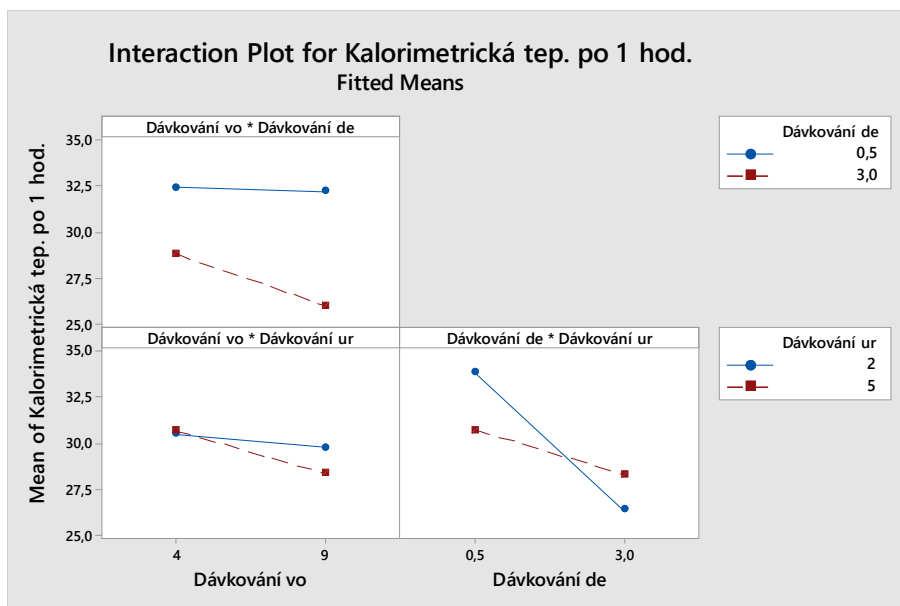
Vliv faktorů, který nejvíce ovlivňuje kalorimetrickou teplotu po jedné hodině tuhnutí (**obr. 38**).

Při dávkování 4 % vody jsou dosaženy vyšší teploty než při dávkování 9 % vody. U plastifikační přísady je vyšších teplot dosaženo při nižším dávkování (0,5 %) a u urychlující přísady je vyšších teplot dosaženo při nižším dávkování - tedy 2 %.

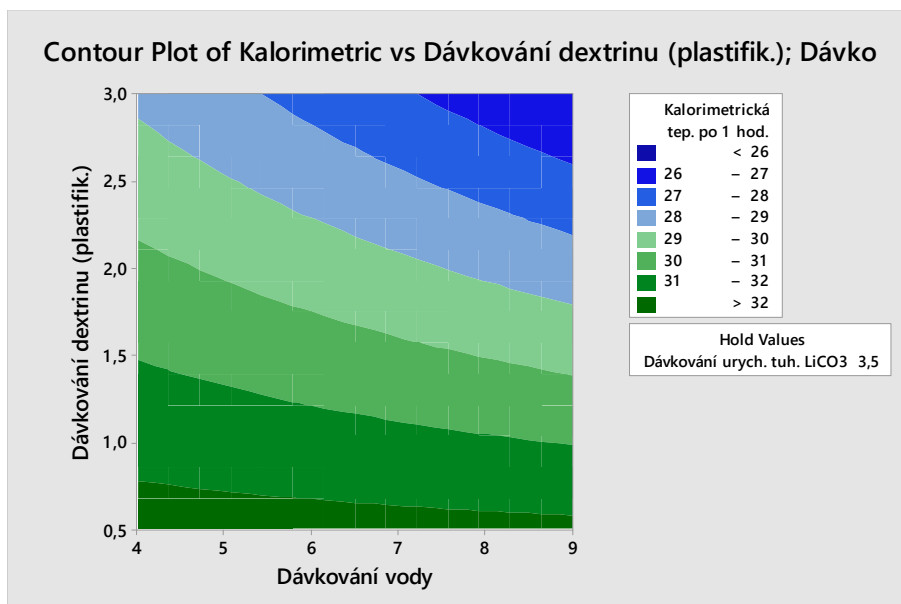


Obr. 38 Vliv faktorů na kalorimetrickou teplotu

Na obr. 39 jsou znázorněny interakce mezi jednotlivými faktory. Při dávkování 4 % vody a 0,5 % plastifikační přísady je dosaženo teplot 32,5 °C. Při kombinaci 4 % vody a 5 % urychlovače je kalorimetrická teplota přes 30 °C, stejná teplota je při kombinaci 4 % vody a 2 % urychlující přísady. Při kombinaci plastifikační a urychlující přísady je lepší dávkování 0,5 % plastifikační přísady a 2 % Li_2CO_3 .



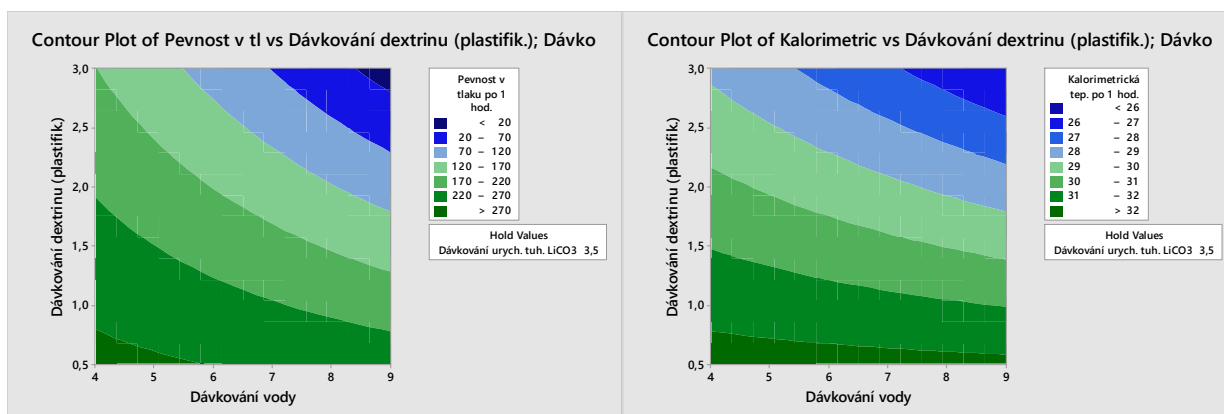
Obr. 39 Vliv interakcí



Obr. 40 Vhodné dávkování komponent pro nastavení optimální kalorimetrické teploty

Pro optimální kalorimetrickou teplotu na **obr 40** je řízení nastavení dávkování komponent. Pevně nastavená hodnota je urychlovač tuhnutí (opět 3,5 % Li_2CO_3). Hodnotu urychlovače je možné měnit, tím se bude měnit i pole kalorimetrických teplot. Například při dávkování vody 6 % a dávkování plastifikační přísady 2 % bude teplota kalorimetrická v rozmezí 29 - 30 °C.

Pro určení pevnosti v tlaku po 1 hodině tuhnutí pomocí kalorimetrické teploty je nutné položit grafy na **obr. 41** vedle sebe pro posouzení.



Obr. 41 Porovnání grafů pro pevnost v tlaku a kalorimetrickou teplotu po 1 hodině tuhnutí

V praxi pokud bude požadována pevnost v tlaku po 1 hodině tuhnutí v rozmezí 220 - 270 kPa, dávkování vody bude 5 %, 1 % plastifikační přísady a urychlující přísady 3,5 %. Z grafu pro kalorimetrickou teplotu budu vědět, že při výše zmíněném složení, bude teplota směsi v rozmezí 31 - 32 °C.

4.1.8 Závěr experimentu I

Cílem experimentu I byl návrh a ověření vhodné metody pro rychlé posouzení praktických užitečných vlastností cementových směsí určených pro výrobu forem a jader v období plasticity (tj. časový interval vhodný pro rozebírání hotových forem). Tato metoda měla doplnit nebo nahradit současné zdlouhavé měření nárůstu pevností směsí v čase tzv. pevnostní charakteristiku.

Proces vytvrzování cementových formovacích směsí je doprovázen exotermickou chemickou reakcí. Z tohoto důvodu, jak prokázaly experimenty, je možné použít kalorimetrických metod, konkrétně v tomto případě kalorimetru isoperibolického.

Jedná se o metodu nepřímou, kdy nejsou měřeny mechanické vlastnosti jako např. pevnosti v tlaku, ale sleduje se vnější projev směsi. Pro tuhnutí cementových směsí je v počátku i celém průběhu vytvrzování charakteristický vývin hydratačního reakčního tepla vyjádřený teplotou, který je možné sledovat v závislosti na čase a z jeho průběhu rychle určit počátek a konec tuhnutí systému, usuzovat na jeho reaktivitu tj. nárůst počátečních pevností bez nutnosti měření pevnostních vlastností. Ze sklonu křivky lze také posuzovat vliv jednotlivých přísad jako např. druhů cementů, přísad pro urychlení tuhnutí na užitečné vlastnosti cementových směsí.

Byla sestavena kombinovaná měřicí jednotka, která sestávala z přístroje pro měření pevností v tlaku a 16ti místného isoperibolického kalorimetru. V kalorimetru bylo současně měřeno 5 směsí, plus teplota okolí. Pro posouzení reaktivity směsi bylo z každé kalorimetrické křivky stanovena hodnota maximální teploty T_{\max} a teplota T_1 směsi odpovídající 1 hodině vytvrzování.

V odpovídající časové posloupnosti byly pro tyto směsi o stejném složení měřeny jejich pevnostní charakteristiky vyjádřené pevností v tlaku po 1 a 24 hodinách od počátku měření.

Na základě zkušeností byly vybrány komponenty cementové směsi – 2 druhy ostřív, 4 druhy cementů, 5 druhů urychlujících přísad a 1 plastifikační přísada. Vzájemnou předem naplánovanou kombinací složení směsí bylo provedeno 272 měření s 3 opakováními. Z těchto směsí byly vybrány pouze ty, které splňovaly podmínku minimální pevnosti směsi v tlaku po 1 hodině vytvrzování ≥ 250 kPa, která byla stanovena na základě praktických požadavků produktivní výroby slévárenských forem. Požadavku experimentu nevyhovovalo ostřívo SH 34 a portlandské cementy. Pevnostní podmínku splňovalo 54 směsí. U těchto směsí byla analyzována vzájemná závislost mezi složením směsí, pevností směsí po 1 hod. a hodnotou teploty po 1 hod. vytvrzování. Dále byl analyzován vliv jednotlivých komponent pojivového systému tj. druh cementu, množství vody, druh a dávkování urychlující přísady na hodnotu kalorimetrické teploty.

Z analýzy měření byla zjištěna přímá souvislost mezi vývinem hydratačního tepla vyjádřeného teplotou a intenzitou nárůstu počátečních pevností směsí (reaktivity směsí). Čím je počáteční teplota buď maximální nebo měřená za 1 hodinu vytvrzování vyšší, tím by měla být směs reaktivnější a zpravidla má vysoké počáteční pevnosti.

V důsledku analýzy velkého počtu dat z měření, byla ztížena možnost detailnějšího vyhodnocení měření, proto bylo pro posouzení vzájemného vlivu jednotlivých komponent pojivového systému na vývin hydratačního tepla a pevnostní charakteristiku v období plasticity použito metod plánování experimentů DOE.

Experiment byl naplánován ve všech kombinacích pro 3 faktory ve 2 úrovních, přičemž faktor množství urychlující přísady zpracovával postupně samostatně 3 druhy přísad, což znamenalo vytvoření 3 samostatných plánů experimentu. Konstanty měření byl písek SH 32 a hlinitanový cement Secar s71. Experiment byl naplánován tak, aby popsali vliv jednotlivých faktorů na pevnost po 1 hod. vytvrzování a výši kalorimetrické teploty po 1 hod. vytvrzování. Výsledky experimentu ukázaly významný vliv všech faktorů, ale s rozdílnou mírou vlivu. Pro konkrétní požadavek na rozpětí pevností směsí za 1 hodinu vytvrzování je doporučeno složení cementové směsi a předpokládaný interval rozsahu kalorimetrické teploty.

Experimenty prokázaly význam použití kalorimetrických metod, přesněji isoperibolického kalorimetru pro rychlé posouzení vhodnosti jednotlivých komponent cementových formovacích směsí tak, aby byl splněn požadavek dosažení minimální pevnosti směsi v oblasti plasticity (doby rozebírání forem).

4.2 Experiment II

V této experimentální části byly řešeny tyto dílčí cíle práce:

3. Nalezení metody a stanovení metodiky pro objektivní posouzení deformačních vlastností cementových směsí v oblasti plasticity tj. při vyjímání modelů z forem

4.2.1 Materiály použité v experimentu II

Ostřiva:

Jako ostřivo bylo použito křemenné ostřivo z lokality Šajdíkovce Humence
Šajdíkovce Humence SH32:

- velikost středního zrna $d_{50} = 0.369$ mm (hodnota dle specifikace ostřiva 0,38)
- obsah jemných podílů ($< 0,1$ mm) = 0,32 (hodnota dle specifikace ostřiva od výrobce max. 0,4 %)

Součtová křivka ostřiva a materiálový list je v příloze č. 2.

Pojiva:

V experimentech II byly použity tyto druhy cementů
hlinitanový cement, typ Secar s51
hlinitanový cement, typ Secar s71

Technické listy hlinitanových cementů (Kerneos Aluminate - Francie) jsou uvedeny v příloze č. 4.

Přísady pro urychlení nárůstu počátečních pevností:

- Chlorid vápenatý CaCl_2 bezvodý, granulovaný p.a. je vápenatá sůl kyseliny chlorovodíkové. Je to látka bílé barvy
- Uhličitan lithný Li_2CO_3 je anorganická sloučenina, lithná sůl kyseliny uhličité. Rozpustnost ve vodě s rostoucí teplotou klesá
- Hydroxid sodný NaOH je silně zásaditá anorganická sloučenina. V čistém stavu je to pevná bílá látka ve formě peciček, silně hygroscopická.

Přísady pro zvýšení plastické deformace formovací směsi:

- Pšeničný dextrin světle žlutý

Materiálové listy přísad pro urychlení a pro zvýšení plastické deformace jsou v příloze č. 5.

4.2.2 Metody použité v experimentu II

Měření deformace (plasticity) formovacích směsí na universálním přístroji pro měření pevnosti v tlaku od firmy Multiserw Morek označení LRU-D, řízený programem LabVIEW 8,6, který byl doplněn měřicím čidlem od firmy Mitutoyo. Z deformace vzorku se výpočtem získá časová závislost skutečné deformace vzorku (%), která je charakteristická pro každou formovací směs.

4.2.3 Postup přípravy zkušebních směsí

Byl použit stejný postup přípravy zkušebních směsí jako v kapitole 4.1.3. Měření bylo prováděno na 54 výtípaných směsích z experimentů I.

Všechny namíchané směsi se skládaly z těchto komponent:

- ostřivo - dávkování 100 %
- pojivo - cement - dávkování vždy 10 %
- plastifikační přísada dextrin - dávkování 0,5 % 1,25 % 3 %
- urychlující přísada - dávkování 2 % 3,5 % 5 %
- voda - dávkování 4 % 6,5 % 9 %

4.2.4 Zhotovení zkušebních vzorků

Namíchaná směs byla opakovaně rovnoměrně zaformována a zhutněna v dřevěných jadernících určených pro zkoušky pevnosti v tlaku obr. 12. Hmotnosti jednotlivých normovaných válečků se lišily maximálně o $\pm 5\%$. Z dlouhodobého pozorování bylo zjištěno, že odchylka hmotnosti válečků $\pm 5\%$ nemá zásadní vliv na rozptyl pevností v tlaku.

Plastická deformace byla charakterizována měřením pevnosti v tlaku, na zkušebních válečcích $\varnothing 50 \times 50 \pm 1 \text{ mm}$. Pevnostní měření bylo provedeno na digitální přístroji Multiserw Morek označení LRU-D. Měří se pevnosti v tlaku do destrukce vzorku.

4.2.5 Postup měření

Systém byl sestaven ve spolupráci s Ústavem fyziky a sestává z řídicího počítače (program LabVIEW 8,6), pevnostního přístroje LRU-D a snímače deformace vzorků Mitutoyo. Systém umožňuje automatické snímání hodnot pevnosti v tlaku normalizovaných vzorků směsi při konstantní rychlosti zatěžování a grafický zápis skutečné deformace vzorků (osa y) v reálném čase. Skutečná deformace vzorku vyjadřuje její deformační schopnost (plasticitu).

Princip metody měření deformace vzorku a výpočet skutečné deformace vzorku v %

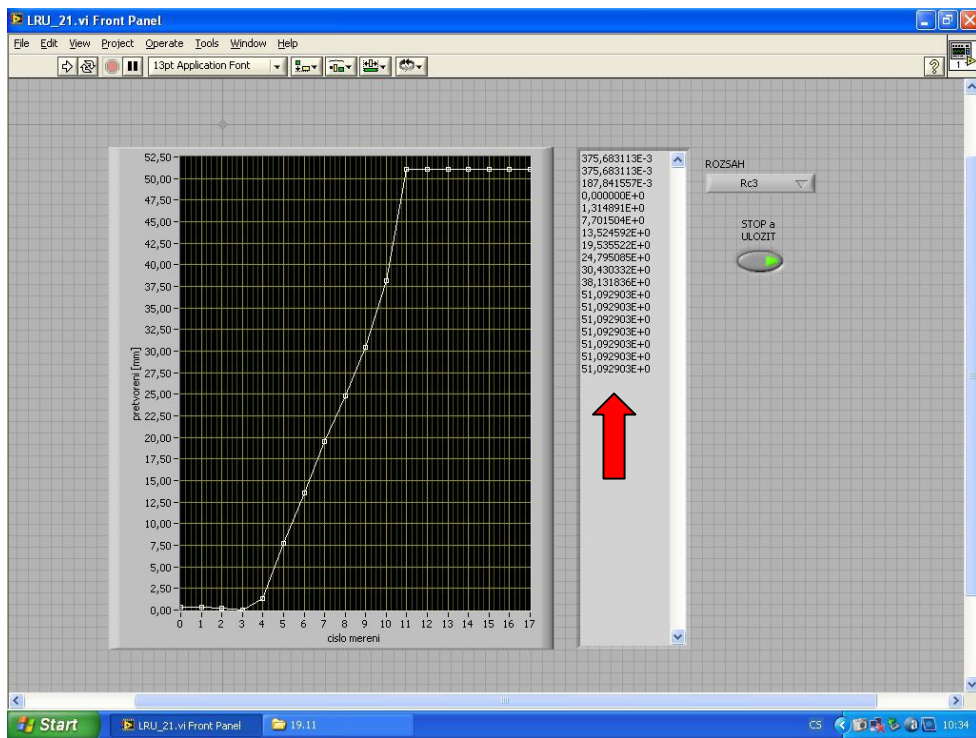
Pevnostní přístroj LRU-D měří u vzorku pevnost v tlaku až do jeho destrukce. Přístroj je vybaven snímačem Mitutoyo. Snímač Mitutoyo snímá a zaznamenává velikost deformace vzorku v tlaku v mm v závislosti na čase v sekundách (čidlo snímá vychýlení na konci páky), z této hodnoty je pak proveden výpočet skutečné deformace vzorku v % dle umístění válečku na pozici 1, 2 atd.

Pevnostní přístroj je připojen k počítači (pomocí USB rozhraní), který je vybaven programem LabVIEW 8,6 (**obr. 42**). V programu je vytvořen software pro zpracování výstupních dat ze snímače přetvoření Mitutoyo. Naměřená data se ukládají do textového souboru. S daty lze dále pracovat v tabulkovém editoru Excel.



Obr. 42 Pevnostní přístroj LRU-D řízený PC

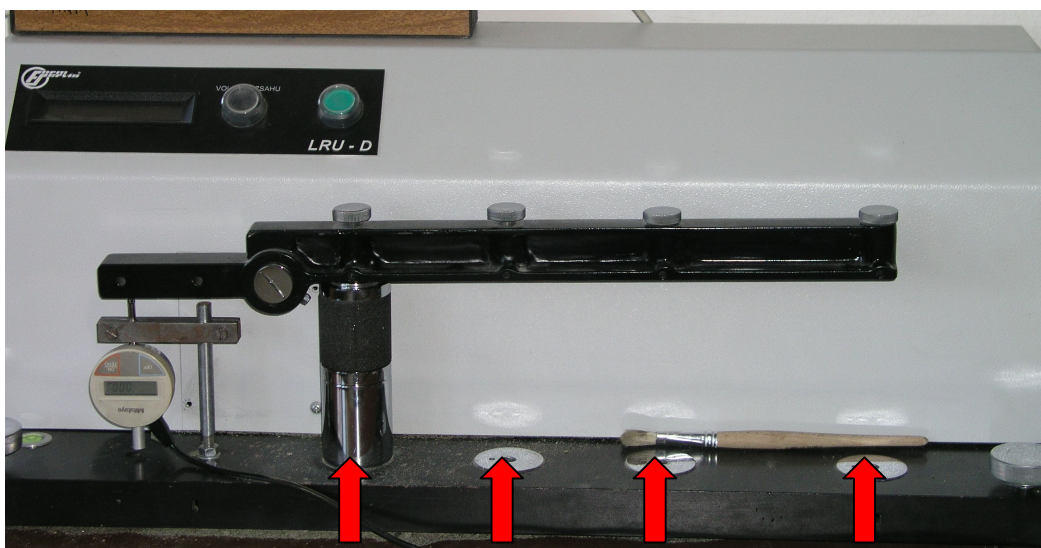
V programu LabVIEW 8,6 se tvoří graf naměřených hodnot, které jsou přepočítané na základě dat z čidla Mitutoyo a vynásobené konstantou pro daný typ uložení válečku dle rozsahu měření pevnosti. Skutečná deformace vzorku (%) se zapisuje do tabulky vedle grafu (**obr. 43**). Po ukončení měření se pomocí tlačítka "Stop a uložit" naměřená data ukládají do textového editoru.



Obr. 43 Měření přetvoření - záznam dat

Zkušební postup

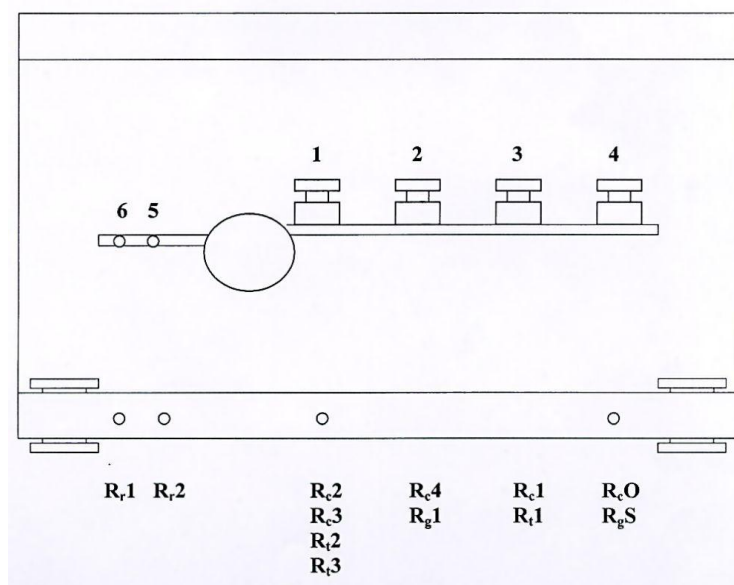
- Ze zkoušené cementové samotuhnoucí směsi se připraví standardní zkušební válečky v dřevěném jaderníku
- Váleček se vloží mezi plochy tlakových čelistí přístroje LRU-D (na příslušný měřicí bod), kde se rovnoměrně zatěžuje bez rázů tak, aby napětí přibývalo o max. 0,2 MPa/ min. (**obr. 44**)



Obr. 44 Příslušné měřicí body přístroje LRU-D

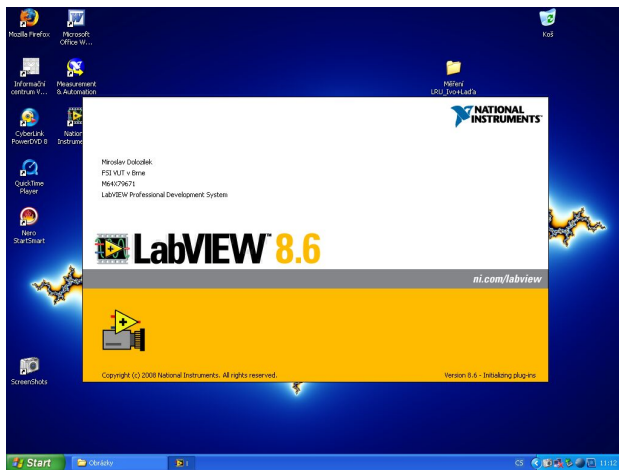
- Měřicí body LRU – D (obr. 45)

Vlastnost	Stupnice	Rozsah	Čelisti na přístroji
Pevnost v tlaku			
$R_C 0$		0,005 – 0,085 MPa	4
$R_C I$		0,02 – 0,130 MPa	3
$R_C II$		0,13 – 0,650 MPa	1
$R_C III$		0,60 – 2,00 MPa	Louskáček (2)
$R_C IV$		0,03 – 0,220 MPa	2 – pro bentonity



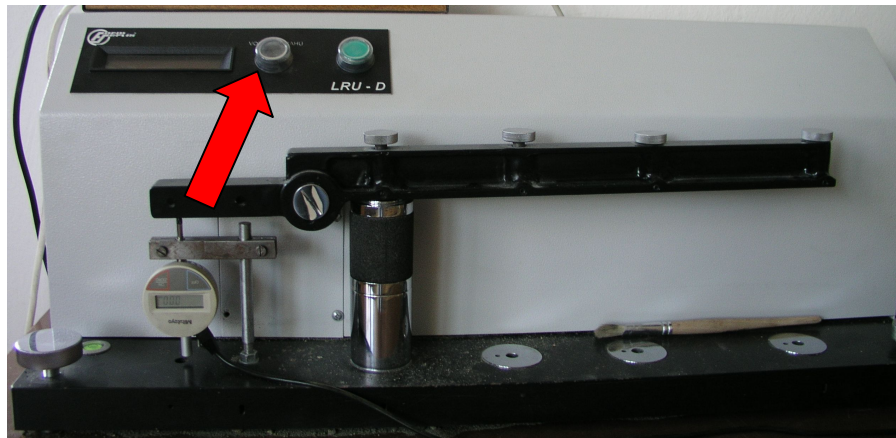
Obr. 45 Měřicí body

- Zapne se program LabVIEW 8,6 i čidlo Mitutoyou, které se vynuluje (obr 46).



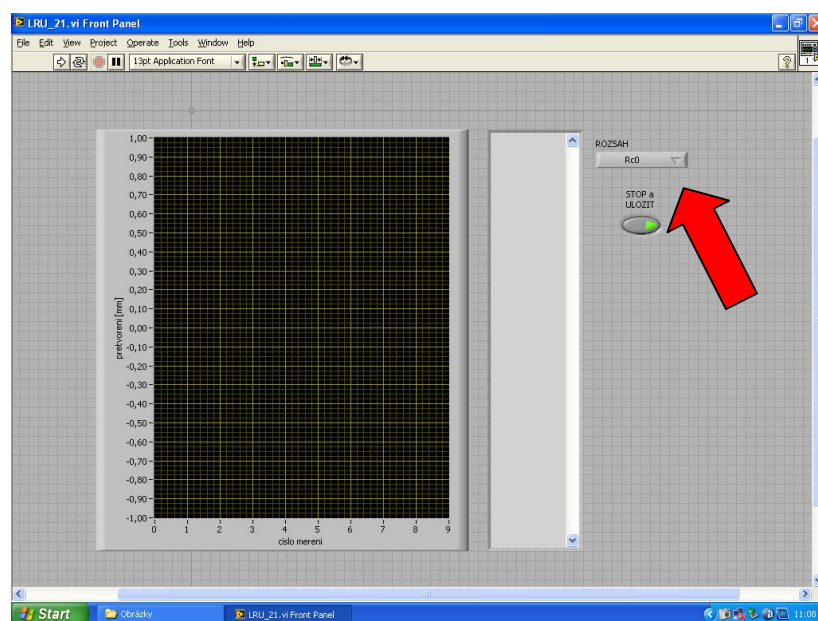
Obr. 46 Program LabVIEW 8,6,; čidlo Mitutoyo

- Na přístroji LRU-D se nastaví příslušný rozsah (obr. 47)



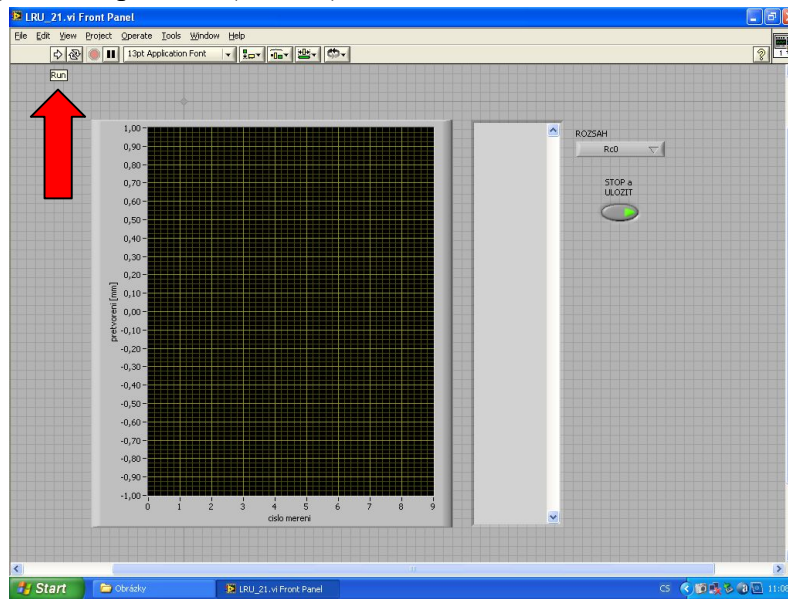
Obr. 47 Nastavení příslušného rozsahu

- Nastavení správného rozsahu měření - stejný jako na přístroji LRU-D (obr. 48)



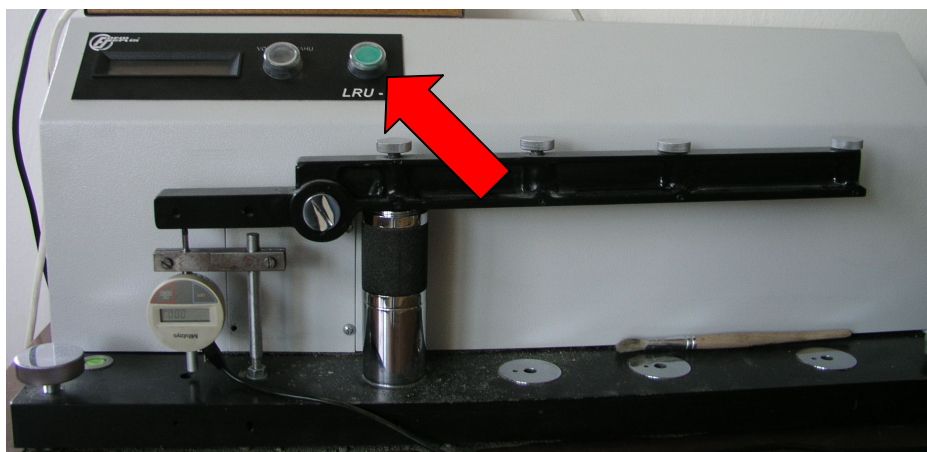
Obr. 48 Nastavení rozsahu v programu na PC

- Spuštění programu na počítači (**obr. 49**)



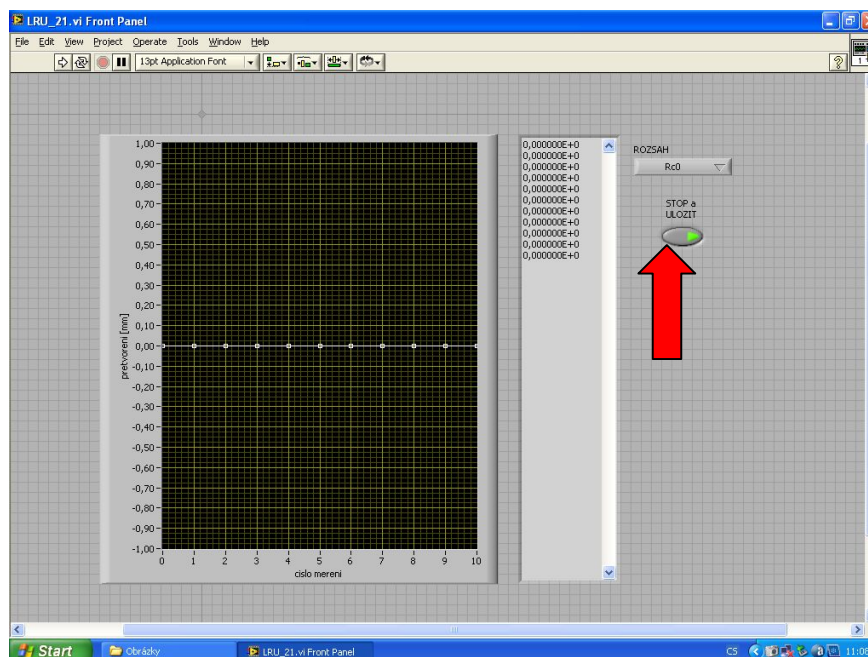
Obr. 49 Spuštění programu

- Zapnutí měření na přístroji LRU-D (**obr. 50**)



Obr. 50 Spuštění měření

- Po naměření hodnot na LRU stopnutí programu v PC, zmáčknutí tlačítka stop (déle podržet a uložit s koncovkou txt) (**obr. 51**)



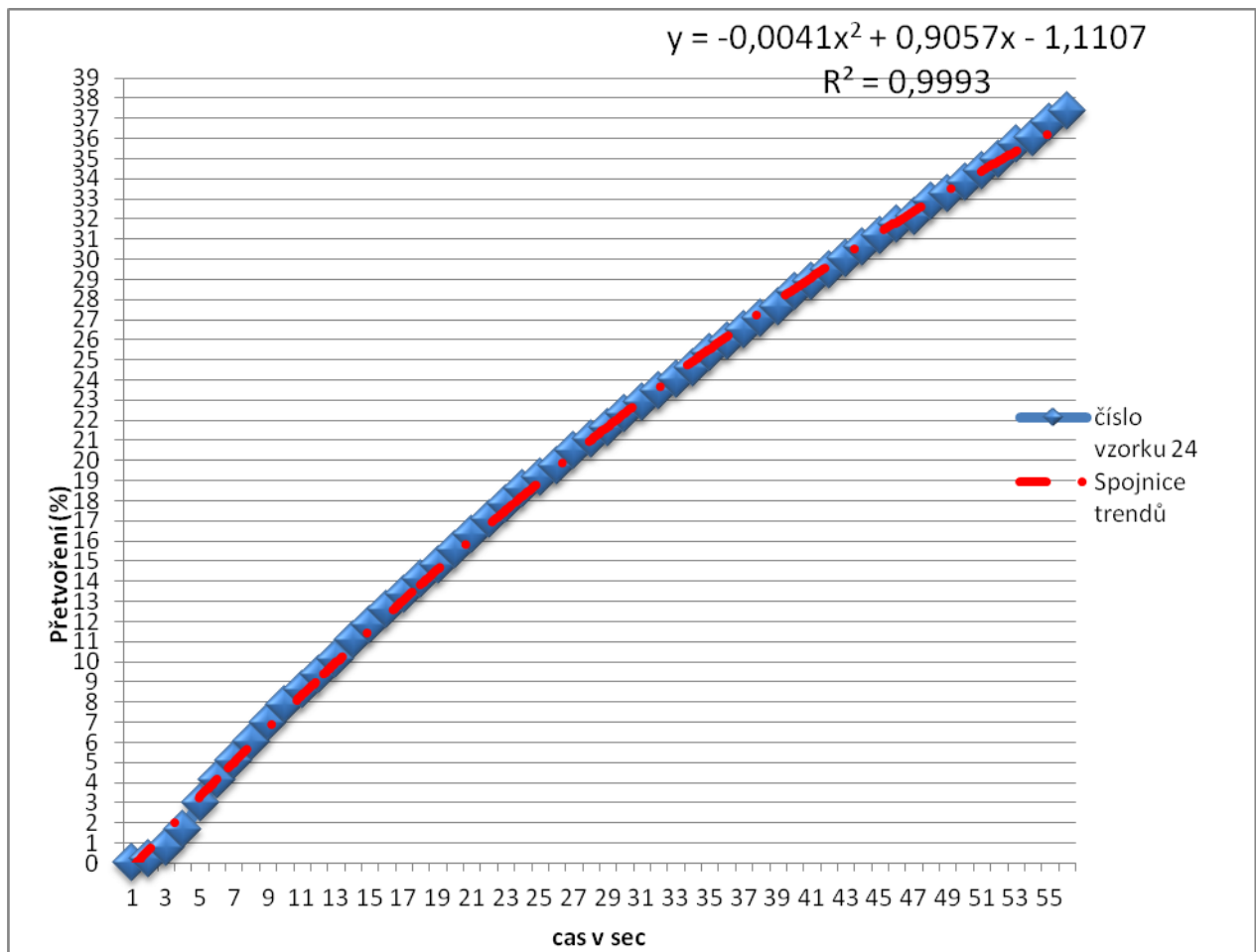
Obr. 51 Uložení naměřených hodnot

- Po destrukci válečku se hodnota vaznosti odečte na stupnici R_c II popř. R_c III při použití louskáčku.

Způsob vyhodnocení skutečné deformace vzorku

Na **obr. 52** je záznam z měření hodnot přetvoření jedné směsi o složení: SH 32 (100 %), hlinitanový cement s 51 (10%), dextrin (3 %), urychlující přísada NaOH (5 %) a voda (6,5 %). Směs měla po jedné hodině tuhnutí pevnost v tlaku 670,3 kPa a kalorimetrická teplota po 1 hodině byla 36,7 °C.

V grafu se jedná o závislost skutečné deformace vzorku [%] na čase t [sec]. Z této křivky se pomocí aproximace polynomicke nebo lineární spojnice trendů této křivky, získá rovnice regrese. Postupnou derivací této rovnice lze získat hodnotu směrnice přímky. Plastická deformace je úměrná sklonu směrnice přímky. Čím je hodnota směrnice vyšší, tím je přímka ve vztahu k ose x strmější a směs v období plasticity křehčí.



Obr. 52 Záznam modulu přetvoření z přístroje LRU-D

Tedy z **obr 52**:

rovnice polynommické spojnice trendů

$$y = - 0,0041 x^2 + 0,9057 x - 1,1107$$

první derivace

$$y' = - 0,0082 x + 0,9057$$

druhá derivace

$$y'' = - 0,0082$$

Spojnice trendu je tím přesnější, čím je její hodnota spolehlivosti R (číslo od 0 do 1, které udává, jak přesně odpovídají předpokládané hodnoty spojnice trendů skutečným datům) bližší nebo rovná 1 [32].

Polynommická spojnice trendu [33].

Tato spojnice trendu je užitečná u kolísajících dat. Stupeň polynomu může být určen počtem kolísání v datech nebo počtem zakřivení (maxim a minim) v křivce. Polynommická spojnice trendu 2. stupně má obvykle jenom jedno maximum nebo minimum. Stupeň 3 má obvykle jedno nebo dvě maxima nebo minima a stupeň 4 má až tři maxima nebo minima.

Polynommická nebo křivočará spojnice trendu používá pro výpočet nejnižších druhých mocnin procházejících body následující rovnici:

$$y = b + c_1x + c_2x^2 + c_3x^3 + \dots + c_6x^6$$

(10) [33].

kde b konstanta
 $c_1 \dots c_6$ konstanty

Laboratorní podmínky při měření

Teplota laboratoře $T_L = 19,2 - 22,3 \text{ } ^\circ\text{C}$
 Relativní vlhkost ovzduší $\phi = 0,31 - 0,34$

Možnost vzniku chyb a tím nepřesnosti měření

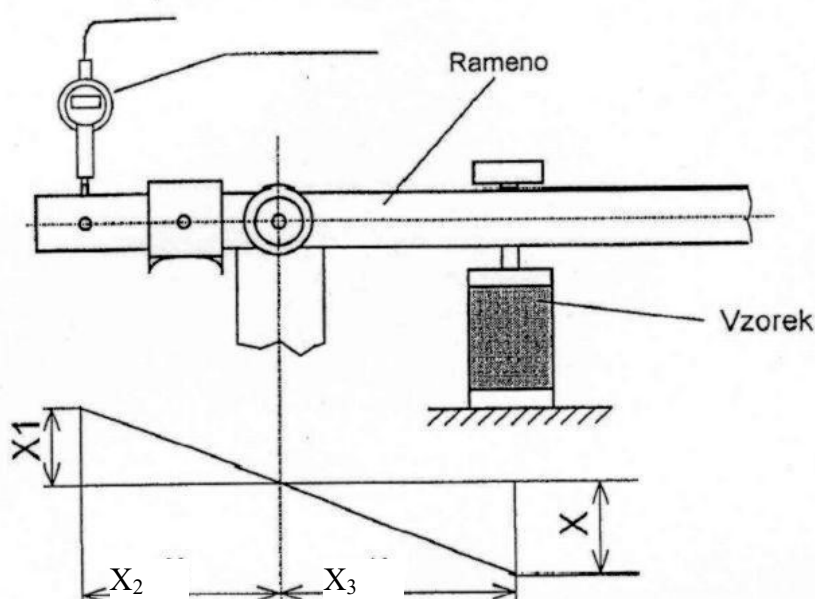
- všechny komponenty a přísady (práškové, vodné roztoky) před vlastním měřením je nutné vytemperovat na teplotu laboratoře
- nedodržení metodiky přípravy směsi s ostřivem
- rozdílná teplota připravených vodných roztoků přísad
- během vytvrzování musí být dřevěné jaderníky stále přikryty folií, nesmí docházet k obesychání povrchu zkušebních válečků

4.2.6 Postup pro výpočet skutečné deformace vzorku

Formát výstupního souboru z programu LabVIEW 8,6 byl zvolen tak, aby bylo možné data zpracovávat v běžných statistických nebo grafických programech [20].

Pro získání hodnot skutečné deformace vzorku bylo nutné provést přepočet. Naměřené hodnoty deformace vzorku je nutné vynásobit příslušnou konstantou [20]. Ve spolupráci s Ústavem fyziky je tento výpočet automaticky počítán programem. Systém umožňuje automatické snímání hodnot pevnosti v tlaku vzorků směsi při konstantní rychlosti zatěžování a grafický zápis deformace vzorků v reálném čase. Z naměřených hodnot je automaticky programem vypočítána skutečná deformace vzorku dané směsi, která charakterizuje její plasticitu po 1 hodině vytvrzování.

Výpočet konstanty K_c pro stanovení deformace vzorku pomocí měřidla Mitutoyo



Obr. 53 Princip stanovení deformace na přístroji LRU-D [20]

Kde je [20]:

- X skutečný průhyb vzorku
- X_1 vychýlení páky změřené měřidlem Mitutoyo
- X_2 vzdálenost od bodu otáčení (dáno konstrukcí měřicího přístroje $X_2 = 108$ mm)
- X_3 vzdálenost měřeného vzorku od bodu otáčení (dáno konstrukcí měřicího přístroje $X_3 = 17,3$ mm) při zapojení čelisti Louskáček

Konstantu K_c je možné spočítat na základě podobnosti trojúhelníků:

$$X / X_1 = X_3 / X_2 \quad \gg \quad X = X_1 \cdot (X_3 / X_2) = X_1 \cdot K_c \quad (11)$$
$$K_c = (X_3 / X_2) = 17,3 / 108 = 0,16$$

S podobným principem jsou vypočteny konstanty pro všechny možné měřicí polohy v **tabulce 13**:

Tab. 13 Stanovené měřicí konstanty [20]

Měření v	tlaku				
Označení dle LRU-D	R_{c0}	R_{cI}	R_{cII}	R_{cIII}	R_{cIV}
Rozsah měření do [MPa]	0,085	0,13	0,67	2	0,22
K_c	3,88	2,5	0,5	0,16	1,5

Získaná data z měřidla Mitutoyo jsou vynásobena příslušnou konstantou podle typu měření a konkrétní polohou zkoušeného vzorku.

Ke stanovení skutečné deformace (přetvoření) vzorku je možné se dostat přepočtem dle rovnice pro tlakové namáhání:

$$\varepsilon = (K_c \cdot X_1) / l * 100 \quad [\%] \quad [20] \quad (12)$$

kde:

- ε skutečná deformace vzorku [%]
- K_c přepočítaná konstanta pro měřidlo Mitutoyo stanovená pro každý typ měření
- X_1 hodnoty z měřidla Mitutoyo
- l původní délka vzorku před deformací ($l = 50$ mm)

Čím je hodnota ε (skutečná deformace vzorku [%]) vyšší, tím je zkušební váleček více plastický (poddajný).

Složení směsí pro kalorimetrické zkoušky a pevnosti v tlaku po 1 hodině jsou v **příloze č. 7**. Směsi o stejném složení byly použity i pro výpočty přetvoření. Grafické průběhy přetvoření jsou v **příloze č. 8**.

4.2.7 Výsledky měření a jejich diskuze

Pro ověření této metodiky byly použity směsi z experimentu I, které splňovaly podmínku minimální pevnosti v tlaku po 1 hod. vytvrzování ≥ 250 kPa. Deformační schopnost těchto směsí byla ověřena na zkušebních válečcích po 1 hod. vytvrzování.

Z časové závislosti skutečné deformace vzorků v % (osa y) v reálném čase (s) se pomocí aproximace polynomické nebo lineární spojnice trendů získá rovnice regrese. Postupnou derivací této rovnice lze získat hodnotu směrnice křivky. Hodnoty směrnice aproximované křivky jsou spolu s hodnotami z experimentu I uvedeny v **tabulce 14**.

Plastická deformace je úměrná sklonu směrnici získané časové závislosti. Čím je hodnota směrnice vyšší, tím je přímka ve vztahu k ose x strmější a směs v období plasticity křehčí.

Nejvyšší hodnotu směrnice dosahuje směs č. 196 s urychlující přísadou Li_2CO_3 a obsahem plastifikační přísady 1,25 %. Nejnižší hodnotu směrnice dosahuje směs č. 133 s urychlující přísadou NaOH a obsahem plastifikační přísady 3 %.

Směsi s hlinitanovým cementem s71 mají vyšší hodnoty směrnice, jsou strmější než směsi s hlinitanovým cementem s51 a tím jsou křehčí. Oba druhy cementu dosahují vyšších hodnot směrnice s nižším množstvím plastifikační přísady. S dávkováním plastifikační přísady 3 % má směrnice hodnotu nižší a směs je více plastičtější.

S vyšším dávkováním plastifikační přísady jsou směsi plastičtější a hodnota směrnice je nižší. Nejplastičtější (hodnota směrnice - 0,099) se jeví směs č. 133 s dávkováním 3 % plastifikační přísady, 5 % NaOH a 6,5 % vody s hlinitanovým cementem s51, která má pevnost v tlaku po jedné hodině tuhnutí 670,3 kPa a teplotu vývinu reakčního tepla po jedné hodině tuhnutí 36,7 °C. Při stejném složení směsi (směs č. 131) pouze s nižším dávkováním plastifikační přísady (0,5 %) hodnota směrnice byla 0,0048, s pevností v tlaku po 1 hodině tuhnutí 383,6 kPa a teplotou vývinu reakčního tepla po 1 hodině tuhnutí 34,4 °C.

Vliv množství vody na hodnotu směrnice je s vyšším dávkováním vody je hodnota směrnice nižší. S vyšším dávkováním vody jsou směsi plastičtější. Nejnižších hodnot směrnice je dosaženo při dávkování vody 6,5 % a 3 % plastifikační přísady.

Urychlující přísada CaCl_2 dosahuje plastičtějších vlastností a tím nižších hodnot směrnice při složení směsi se 3 % plastifikační přísady a 5 % CaCl_2 při obsahu vody 4 %. Méně plastická je směs s nižším dávkováním plastifikační přísady (1,25 %) a nižším dávkováním urychlující přísady (3,5 %) CaCl_2 .

S urychlující přísadou Li_2CO_3 nejvyšších hodnot směrnice dosahuje směs č. 196 (tj. 0,1032) při dávkování komponent - 1,25 % plastifikační přísady, 2 % Li_2CO_3 a 6,5 % vody s hlinitanovým cementem s71. Nejnižších hodnot směrnice dosahuje směs č. 203 (-0,0084) ve složení 3 % plastifikační přísady, 3,5 % Li_2CO_3 a 4 % vody s hlinitanovým cementem s71. Plastičtější směsi s urychlující přísadou Li_2CO_3 v množství 3,5 % jsou s vyšším dávkováním plastifikační přísady (tj. 3 %). Plastičtější směs s urychlující přísadou Li_2CO_3 je směs s dávkováním vody 4 %, poté 6,5 % nejméně plastická je směs s dávkováním vody 9 %.

U směsi s urychlující přísadou NaOH také hlavní vliv hraje plastifikační přísada, čím vyšší dávkování, tím je směs plastičtější. Nejnižších hodnot směrnice dosahují směsi s 3 % plastifikační

přísady jak u hlinitanového cementu s51, tak i u s71. Plastičtější je směs s 5 % NaOH než směs s 3,5 % NaOH. S vyšším dávkováním urychlující přísady (při dávkování plastifikační přísady 3 %) je směs plastičtější. Při dávkování urychlující přísady 3,5 % je směs s nižší hodnotou směrnice s obsahem vody 4 %, vyšší hodnotu směrnice má směs s obsahem vody 6,5 %. Při dávkování urychlující přísady NaOH 5 % nejvyšší hodnot směrnice dosahuje směs s dávkováním vody 4 %, poté směs s dávkováním vody 9 % a nejplastičtější je směs s nejnižší hodnotou směrnice při dávkování vody 6,5 %.

Všechny komponenty směsi mají vliv na plasticitu směsi. Největší vliv je u plastifikační přísady. S vyšším dávkováním je hodnota směrnice nižší a křivka je příkřejší. S nižším dávkováním je směs méně plastická, hodnota směrnice vyšší a křivka strmější.

Tab. 14 Složení cementových samotvrdnoucích směsí, které splňují požadavek minimální pevnosti v tlaku 250 kPa po 1 hodině vytvrzování doplněné o hodnoty odečtené z kalorimetrické křivky: T_1 teplota směsi po 1 hodině vytvrzování, T_{\max} – maximální teplota směsi, t_{\max} – čas vytvrzování při dosažení maximální teploty směsi a hodnoty směrnice křivky vyjadřující závislost skutečné deformace jednotlivých směsí na čase (měřeno na zkušební vzorku po 1 hod. vytvrzování)

Číslo křivky	Číslo vzorku	Ostrivo	Cement	Plastifikační přísada		Urychlující přísada		Voda	Pevnost v tlaku v čase t_1 [kPa]	Kalorimetr			hodnota směrnice
				název	dávkování	název	dávkování			T_1	T_{\max}	t_{\max} [hmin]	
31	196	SH 32	S 71	dextrin	1,25%	Li_2CO_3	2%	6,50%	930	37	37	1:00	0,1032
51	238	SH 32	S 51	dextrin	1,25%	Li_2CO_3	5%	4%	589,6	33,1	33,1	1:00	0,0216
11	103	SH 32	S 71	dextrin	3%	NaOH	5%	4%	253,9	33	33	1:00	0,0186
7	92	SH 32	S 71	dextrin	0,50%	NaOH	3,50%	4%	264,2	33	33	0:40	0,018
16	108	SH 32	S 71	dextrin	1,25%	NaOH	5%	9%	283	37,5	39,8	1:50	0,0174
9	95	SH 32	S 71	dextrin	0,50%	NaOH	3,50%	6,50%	291	32,8	37,6	2:15	0,015
10	97	SH 32	S 71	dextrin	3%	NaOH	3,50%	6,50%	300,8	28,1	33,2	5:50	0,0132
30	195	SH 32	S 71	dextrin	0,50%	Li_2CO_3	2%	6,50%	316,2	34,5	34,5	1:00	0,009504
26	135	SH 32	S 51	dextrin	1,25%	NaOH	5%	9%	398,7	39,1	40,2	1:10	0,00882
17	109	SH 32	S 71	dextrin	3%	NaOH	5%	9%	341,1	31,5	38,2	3:20	0,0084
5	75	SH 32	S 71	dextrin	1,25%	CaCl_2	5%	4%	670,6	29,3	29,3	1:00	0,0072
21	124	SH 32	S 51	dextrin	3%	NaOH	3,50%	6,50%	500,7	29,3	37,6	2:50	0,0072
19	122	SH 32	S 51	dextrin	0,50%	NaOH	3,50%	6,50%	350,5	35,2	36,6	1:40	0,0066
20	123	SH 32	S 51	dextrin	1,25%	NaOH	3,50%	6,50%	402,6	29,3	37,6	1:50	0,00522
22	131	SH 32	S 51	dextrin	0,50%	NaOH	5%	6,50%	383,6	36,6	36,9	0:55	0,0048
8	94	SH 32	S 71	dextrin	3%	NaOH	3,50%	4%	301,8	29,4	31	3:10	0,00459
39	211	SH 32	S 71	dextrin	1,25%	Li_2CO_3	5%	4%	332,1	32,6	33,8	0:30	0,00456
4	67	SH 32	S 71	dextrin	3%	CaCl_2	3,50%	4%	304,7	27,6	28,1	0:32	0,0042
15	107	SH 32	S 71	dextrin	0,50%	NaOH	5%	9%	456,6	37,2	38	1:26	0,00381
37	207	SH 32	S 71	dextrin	0,50%	Li_2CO_3	3,50%	9%	255,4	32,2	32,3	0:30	0,0036
45	225	SH 32	S 51	dextrin	0,50%	Li_2CO_3	2%	9%	462,5	33,5	34,8	1:30	0,0036
40	214	SH 32	S 71	dextrin	1,25%	Li_2CO_3	5%	6,50%	579,9	32	32,6	0:40	0,00354
13	105	SH 32	S 71	dextrin	1,25%	NaOH	5%	6,50%	399,3	39	39,6	1:26	0,00348
23	132	SH 32	S 51	dextrin	1,25%	NaOH	5%	6,50%	385,3	35,2	37,1	1:20	0,00318
12	104	SH 32	S 71	dextrin	0,50%	NaOH	5%	6,50%	471,4	34,4	34,4	1:00	0,00312
14	106	SH 32	S 71	dextrin	3%	NaOH	5%	6,50%	615,9	31,6	35,2	2:50	0,00306
49	234	SH 32	S 51	dextrin	0,50%	Li_2CO_3	3,50%	9%	285,1	31,6	31,8	0:30	0,002988
29	193	SH 32	S 71	dextrin	1,25%	Li_2CO_3	2%	4%	506,2	33,9	35,5	1:20	0,00246
38	208	SH 32	S 71	dextrin	1,25%	Li_2CO_3	3,50%	9%	498	34	34,2	0:40	0,00246
1	39	SH 32	S 51	dextrin	3%	CaCl_2	3,50%	4%	283,9	30,8	31,04	0:43	0,0024
28	192	SH 32	S 71	dextrin	0,50%	Li_2CO_3	2%	4%	503,7	33,9	34,2	0:40	0,002292
54	244	SH 32	S 51	dextrin	1,25%	Li_2CO_3	5%	9%	665	36,3	36,9	0:40	0,00216
27	136	SH 32	S 51	dextrin	3%	NaOH	5%	9%	432,5	33,2	38,3	1:40	0,00192
33	199	SH 32	S 71	dextrin	1,25%	Li_2CO_3	2%	9%	566,1	34,1	35,4	1:40	0,00192
46	229	SH 32	S 51	dextrin	1,25%	Li_2CO_3	3,50%	4%	590,1	31,6	31,6	1:00	0,001428
32	198	SH 32	S 71	dextrin	0,50%	Li_2CO_3	2%	9%	324	33,8	34	1:20	0,0012
25	134	SH 32	S 51	dextrin	0,50%	NaOH	5%	9%	597,7	36,6	36,6	1:00	0,000924
6	76	SH 32	S 71	dextrin	3%	CaCl_2	5%	4%	563	29,5	29,5	1:00	0,00084
43	222	SH 32	S 51	dextrin	0,50%	Li_2CO_3	2%	6,50%	850	35,1	35,1	1:00	0,0006
52	239	SH 32	S 51	dextrin	3%	Li_2CO_3	5%	4%	284,3	31,5	34,8	1:40	0,000324
34	202	SH 32	S 71	dextrin	1,25%	Li_2CO_3	3,50%	4%	564,6	33,7	33,7	1:01	0,000192
18	121	SH 32	S 51	dextrin	3%	NaOH	3,50%	4%	474,5	31	31,2	1:50	0,000144
2	46	SH 32	S 51	dextrin	0,50%	CaCl_2	5%	4%	456,8	37,3	37,3	1:00	0,00012
3	47	SH 32	S 51	dextrin	1,25%	CaCl_2	5%	4%	386,4	36,4	36,4	1:00	0,00012
50	235	SH 32	S 51	dextrin	1,25%	Li_2CO_3	3,50%	9%	654,5	34,5	34,7	0:40	0,000072
53	241	SH 32	S 51	dextrin	1,25%	Li_2CO_3	5%	6,50%	850	36,9	37,8	0:40	-0,00014
48	232	SH 32	S 51	dextrin	1,25%	Li_2CO_3	3,50%	6,50%	1220	34,7	34,7	1:00	-0,00048
44	223	SH 32	S 51	dextrin	1,25%	Li_2CO_3	2%	6,50%	440,7	33,5	37,2	1:40	-0,00054
42	217	SH 32	S 71	dextrin	1,25%	Li_2CO_3	5%	9%	340,4	33,6	33,9	0:45	-0,0006
36	205	SH 32	S 71	dextrin	1,25%	Li_2CO_3	3,50%	6,50%	490	33,2	33,2	1:00	-0,00066
41	215	SH 32	S 71	dextrin	3%	Li_2CO_3	5%	6,50%	304,5	30,7	35,1	1:50	-0,0024
47	231	SH 32	S 51	dextrin	0,50%	Li_2CO_3	3,50%	6,50%	337	36,2	36,6	0:40	-0,0024
35	203	SH 32	S 71	dextrin	3%	Li_2CO_3	3,50%	4%	320,5	31,2	32,3	1:20	-0,0084
24	133	SH 32	S 51	dextrin	3%	NaOH	5%	6,50%	670,3	36,7	38,4	1:30	-0,0099

4.2.8 Závěr experimentu II

Cílem experimentu II je nalezení metody a stanovení metodiky pro objektivní posouzení deformačních vlastností cementových směsí v oblasti plasticity tj. při vyjímání modelů z forem.

Ve spolupráci s Ústavem fyziky byla sestavena měřicí jednotka, která se skládá z řídicího počítače (program LabVIEW 8,6), pevnostního přístroje LRU-D a snímače deformace vzorků Mitutoyo. Systém umožňuje automatické snímání hodnot pevnosti v tlaku normalizovaných vzorků směsi při konstantní rychlosti zatěžování a zpracovává grafický zápis vypočtené skutečné deformace vzorků v % (osa y) v reálném čase (s). Skutečná deformace vzorku (%) vyjadřuje deformační schopnost (plasticitu) jednotlivých směsí.

Z této křivky se pomocí aproximace polynomické nebo lineární spojnice trendů získá rovnice regrese. Postupnou derivací této rovnice lze získat hodnotu směrnice přímky. Plastická deformace je úměrná sklonu směrnici přímky. Čím je hodnota směrnice vyšší, tím je přímka ve vztahu k ose x strmější a směs v období plasticity křehčí.

Pro ověření této metodiky byly použity směsi z experimentu I, které splňovaly podmínku minimální pevnosti v tlaku po 1 hod. vytvrzování ≥ 250 kPa. Deformační schopnost těchto směsí byla ověřena na zkušebních válečcích po 1 hod. vytvrzování.

Z naměřených hodnot vyplývají tyto závěry:

Směsi s hlinitanovým cementem s71 mají vyšší hodnoty směrnice, jsou strmější než směsi s hlinitanovým cementem s51 a tím jsou křehčí. Oba druhy cementu dosahují vyšších hodnot směrnice s množstvím plastifikační přísady 0,5 %. S dávkováním plastifikační přísady 3 % má směrnice hodnotu nižší a směs je více plastičtější.

S vyšším dávkováním plastifikační přísady jsou směsi plastičtější a hodnota směrnice je nižší. Nejplastičtější (hodnota směrnice - 0,099) se jeví směs č. 133 s dávkováním 3 % plastifikační přísady, 5 % NaOH a 6,5 % vody s hlinitanovým cementem s51, která má pevnost v tlaku po jedné hodině tuhnutí 670,3 kPa a teplotu vývinu reakčního tepla po jedné hodině tuhnutí 36,7 °C. Při stejném složení směsi (směs č. 131) pouze s nižším dávkováním plastifikační přísady (0,5 %) hodnota směrnice byla 0,0048, s pevností v tlaku po 1 hodině tuhnutí 383,6 kPa a teplotou vývinu reakčního tepla po 1 hodině tuhnutí 34,4 °C.

Urychlující přísada CaCl_2 dosahuje plastičtějších vlastností a tím nižších hodnot směrnice při složení směsi se 3 % plastifikační přísady a 5 % CaCl_2 při obsahu vody 4 %. Méně plastická je směs s nižším dávkováním plastifikační přísady (1,25 %) a nižším dávkováním urychlující přísady (3,5 %) CaCl_2 .

Plastičtější směsi s urychlující přísadou Li_2CO_3 v množství 3,5 % jsou s vyšším dávkováním plastifikační přísady (tj. 3 %). Plastičtější směs s urychlující přísadou Li_2CO_3 je směs s dávkováním vody 4 %, poté 6,5 % nejméně plastická je směs s dávkováním vody 9 %.

U směsi s urychlující přísadou NaOH také hlavní vliv hraje plastifikační přísada, čím vyšší dávkování, tím je směs plastičtější. S vyšším dávkováním urychlující přísady (při dávkování plastifikační přísady 3 %) je směs plastičtější. Při dávkování urychlující přísady 3,5 % je směs s nižší hodnotou směrnice s obsahem vody 4 %, vyšší hodnotu směrnice má směs s obsahem vody

6,5 %. Při dávkování urychlující přísady NaOH 5 % nejvyšší hodnot směrnice dosahuje směs s dávkováním vody 4 %, poté směs s dávkováním vody 9 % a nejplastičtější je směs s nejnižší hodnotou směrnice při dávkování vody 6,5 %.

Všechny komponenty směsi mají vliv na plasticitu směsi. Největší vliv je u plastifikační přísady. S vyšším dávkováním je hodnota směrnice nižší a křivka je příkřejší. S nižším dávkováním je směs méně plastická, hodnota směrnice vyšší a křivka strmější.

Ve spolupráci s Ústavem fyziky byla sestavena měřící jednotka, která objektivním způsobem vyjadřuje deformační schopnost cementových formovacích směsí. Metoda je schopna vyjádřit vliv jednotlivých komponent cementových směsí na deformační chování v období plasticity.

4.3 Experiment III

V této experimentální části byly řešeny tyto dílčí cíle práce:

2. Vzájemné porovnání samotvrdnoucích cementových formovacích směsí s anorganickým samotvrdnoucím pojivovým systémem na bázi vodního skla vytvrzovaného estery, organickou samotvrdnoucí formovací směsí na bázi kyselý furan No-Bake, organickou samotvrdnoucí formovací směsí na bázi alkalické fenolické pryskyřice vytvrzované modifikovanými estery a pojivovým systémem rezol + CO₂ z hlediska:
 - časového nárůstu pevností v tlaku
 - průběhu vývinu reakčního tepla
 - deformační schopnosti v období plasticity
 - ekonomického hlediska

4.3.1 Materiály použité v experimentu III

Ostřiva:

Jako ostřivo bylo použito křemenné ostřivo z lokality Šajdíkové Humence

Šajdíkové Humence SH32:

- velikost středního zrna $d_{50} = 0.369$ mm (hodnota dle specifikace ostřiva 0,38)
- obsah jemných podílů ($< 0,1$ mm) = 0,32 (hodnota dle specifikace ostřiva od výrobce max. 0,4 %)

Součtová křivka ostřiva a materiálový list je v příloze č. 2.

Pojiva:

pro zkoušky bylo použito toto cementu:

hlinitanový cement, typ Secar s71 (fa. Kerneos Aluminate)

Furanová pryskyřice

Vodní sklo sodné

Organicko-fenolická pryskyřice

Rezolová pryskyřice

Urychlovače, tvrdidla:

Hydroxid sodný NaOH

Aktivátor

triacetin a diacetin

Plastifikační přísady, přísady:

Pšeničný dextrin světle žlutý, okuje (Black iron oxide 3105), lupek C 352

4.3.2 Metody použité v experimentu III

Vývin reakčního tepla směsí s ostřivem - kalorimetrie byly sledovány prostřednictvím změny teploty reagující směsi na čase. Vývin hydratačního tepla byl sledován v isoperibolickém

16 místném kalorimetru.

Stanovení skutečné deformace formovacích směsí byly sledovány na universálním přístroji pro měření pevnosti v tlaku, ohybu a střihu od firmy Multiserw Morek označení LRU-D řízený programem LabVIEW 8,6, který byl doplněn měřicím čidlem od firmy Mitutoyo.

Pevnosti v tlaku směsí s ostřivem byly měřeny na přístroji pro měření pevnosti v tlaku od firmy Multiserw Morek označení LRU-D. Tento přístroj umožňuje měřit pevnosti v rozsahu 0 – 2 MPa. Od každé namíchané směsi byly zkoušeny tři vzorky a hodnoty byly zprůměrované.

4.3.3 Postup přípravy zkušebních směsí

K homogenizaci směsí byl použit kuchyňský robot firmy KitchenAid, který byl na požadované množství směsi zcela dostačující. Protože byly použity různé druhy složení, byly i směsi připravovány různými způsoby

4.3.3.1 Míchání směsi s vodním sklem vytvrzované estery

Do mísiče se nasype odvážené množství ostřiva SH 32 a přidá se tvrdidlo. Tvrdidlo se skládá ze složky diacetin a triacetin v poměru 50 : 50 a směs se rovnoměrně promíchá po dobu 1 minuty. Po 1 minutě mísení se přidá do směsi vodní sklo a opět se jednu minutu směs mísí. Po uplynutí doby mísení byla namíchaná směs rovnoměrně zaformována do dřevěných jaderníků pro zkoušky pevnosti v tlaku.

4.3.3.2 Míchání furanové kyselé No-Bake směsi

Směs se skládá z 3 složek - ostřiva, furanové pryskyřice a tvrdidla. Zpracování směsi probíhá v kuchyňském mísiči. Nejdříve se míchá ostřivo s tvrdidlem po dobu 1,5 minuty. Po uplynutí doby se do směsi přidá furanová pryskyřice a směs se míchá opět 1,5 minuty. Po umíchání směsi je směs rovnoměrně zaformována do dřevěných jaderníků.

4.3.3.3 Míchání cementové směsi

Do mísiče se přidává postupně k ostřivu i pojivo - cement. V kádince, kde je potřebné množství vody, se během mísení suché směsi rozpustí urychlovač.

Po 3 minutách suchého míchání se voda s urychlovačem nalije do směsi a mísí se po dobu dalších 3 minut. Namíchaná směs byla rovnoměrně zaformována do dřevěných jaderníků pro zkoušky pevnosti v tlaku.

4.3.3.4 Míchání směsi alkalické fenolické pryskyřice vytvrzované modifikovaným esterem

Do mísiče se nasype odvážené množství ostřiva SH 32 a přidá se modifikovaný ester. Směs se

míchá 20 vteřin, poté se přidá potřebné množství pryskyřice. Směs se míchá 1 minutu. Po uplynutí doby mísení se směs rovnoměrně zaformuje do dřevěných jaderníků.

4.3.3.5 Míchání směsi rezolové pryskyřice vytvrzované CO₂

Do mísiče se postupně nasype ostřívo, okuje a lupek. Směs se mísí jednu minutu. Poté se přidá potřebné množství pryskyřice a směs se mísí další 3 minuty. Jako u všech směsí se po umíchání i rezolová směs zaformuje do dřevěných jaderníků.

4.3.4 Zhotovení zkušebních vzorků

Namíchané směsi byly opakovaně rovnoměrně zaformovány a zhutněny v dřevěných jadernících určených pro zkoušky pevnosti v tlaku obr. 12. Hmotnosti jednotlivých normovaných válečků se lišily maximálně o $\pm 5\%$. Z dlouhodobého pozorování bylo zjištěno, že odchylka hmotnosti válečků $\pm 5\%$ nemá zásadní vliv na rozptyl pevností v tlaku.

Pevnostní charakteristika byla charakterizována měřením pevnosti v tlaku, na zkušebních válečcích $\varnothing 50 \times 50 \pm 1$ mm. Měření pevnosti v tlaku je vhodné pro hodnocení a srovnávání vlastností anorganických pojivových systémů. Pevnostní měření bylo provedeno na digitálním přístroji Multiserw Morek označení LRU-D.

Zaformované normované válečky ze směsi rezolové pryskyřice po zaformování byly profouknuty CO₂ po dobu 1 minuty. Poté byl dřevěný jaderník rozložen a normované válečky byly použity na zkoušky pevnosti v tlaku a na plastickou deformaci.

Vzorky pro kalorimetrickou metodu byly zhotoveny stejně jak je popsáno v kapitole 4.1.4.1 Postup zhotovení zkušebního vzorku pro isoperibolický kalorimetr.

4.3.5 Postup měření

4.3.5.1 Pevnost v tlaku

Pevnost v tlaku je dána nejvyšším napětím v tlaku, při kterém nastává trvalé porušení zkušebního vzorku.

Zkušební postup:

- Ze zkoušené směsi se připraví standardní zkušební válečky z dřevěných jaderníků
- Váleček se vloží mezi plochy tlakových čelistí přístroje LRU-D, kde se rovnoměrně zatěžuje bez rázů tak, aby napětí přibývalo o max. 0,2 MPa/ min.
- Po destrukci válečku se hodnota vaznosti odečte na stupnici Rc II popř. Rc III při použití louskáčku.
- Měření se provede 3x a vypočte se aritmetický průměr. Odchylka měření max. $\pm 5\%$.

Složení směsí:

Směs s vodním sklem vytvrzovaná estery:

Ostřívo SH 32

100 %

Vodní sklo	3,5 %
Tvrdidlo	1,2 %

Kyselá furanová No - Bake směs:

Ostřivo SH 32	100 %
Tvrdidlo	70 %
Pryskyřice	1,2 %

Cementová směs:

Ostřivo SH 32	78 %
Cement Secar 71	10 %
CaCl ₂	3,5 %
dextrin	3 %
voda	4 %

Směs alkalické fenolické pryskyřice vytvrzované modifikovaným esterem

Ostřivo SH 32	100 %
Ester	20 %
Pryskyřice	1,6 %

Směs rezolové pryskyřice vytvrzované CO₂

Ostřivo	85 %
Lupek	9 %
Okuje	4,5 %
Rezol	2,2 %

Pevnost v tlaku byla zkoušena u směsí s vodním sklem, furanovou pryskyřicí, cementovou směsí, směsí alkalické fenolické pryskyřice vytvrzované modifikovaným esterem a směsí rezolové pryskyřice vytvrzované CO₂. Časový interval měření byl zvolen v rozmezí 0,5 hodiny, 1 a 24 hodin.

Naměřené hodnoty jsou v **tabulce 15**.

Tab. 15 Pevnosti v tlaku samotvrdnoucích směsí

Směs	Pevnost v tlaku [MPa] po		
	0,5 hodiny	1 hodině	24 hodinách
S vodním sklem vytvrzovaná estery	> 2	> 2	> 2
Kyselá furanová směs No-Bake	0,089	0,355	> 2
Cementová směs	0,077	0,305	> 2
Alkalicko fenolová směs vytvrzovaná modifikovaným esterem	0,73	1,13	1,15
Rezolová směs vytvrzovaná CO ₂	1,23	1,25	1,33

Vyhodnocení výsledků měření pevnosti v tlaku

Měření pevnosti za půl hodiny ukazují, že směsi s vodním sklem dosahují pevností nad 2 MPa,

nejvyšších pevností dosahovala i směs rezolová a to 1,23 MPa. Nejmenších pevností po půl hodině tvrdnutí dosahuje cementová směs s pevností 0,077 MPa a furanová směs s pevností 0,089 MPa.

Po jedné hodině tuhnutí nejnižších hodnot pevností dosahují směsi cementové a to 0,305 MPa.

Po 24 hodinách jsou pevností směsí s vodním sklem, furanová a cementová směs srovnatelné a to více jak 2 MPa. Pevnost v tlaku 1,15 MPa bylo naměřeno u směsi organicko-fenolické a 1,33 MPa u směsi rezolové.

Laboratorní podmínky při měření

Teplota laboratoře $T_L = 19,5 - 22,6 \text{ }^\circ\text{C}$

Relativní vlhkost ovzduší $\phi = 0,31 - 0,34$

Možnost vzniku chyb a tím nepřesnosti měření

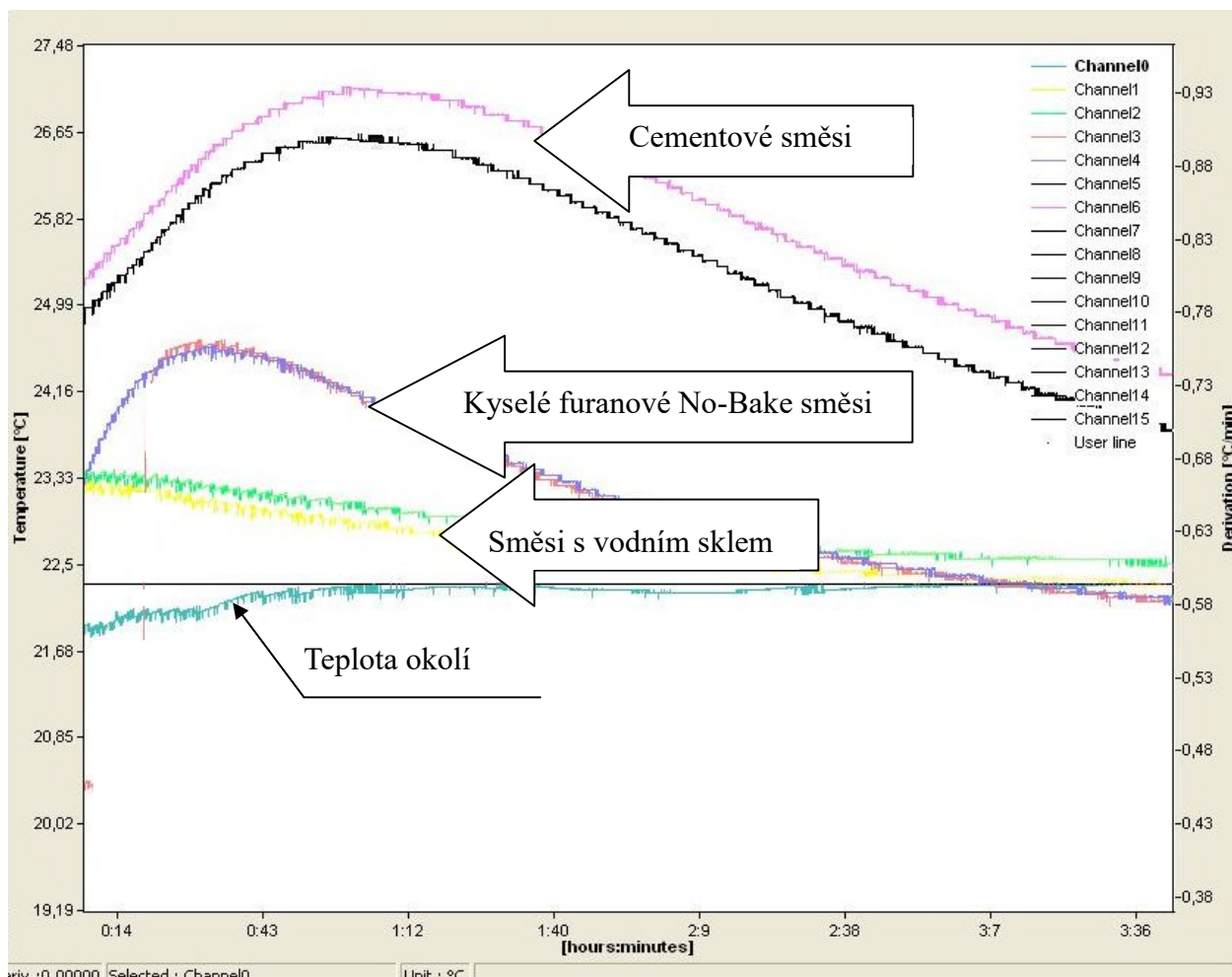
- všechny komponenty a přísady (práškové, vodné roztoky) před vlastním měřením je nutné vytemperovat na teplotu laboratoře
- nedodržení metodiky přípravy směsí s ostřivem
- rozdílná teplota připravených vodných roztoků přísad
- během vytvrzování musí být dřevěné jaderníky stále přikryty folií, nesmí docházet k obesychání povrchu zkušebních válečků
- nedodržena přesná doba profuku směsí CO_2

4.3.5.2 Vývin reakčního tepla směsí s ostřivem - kalorimetrie

Princip metody, zkušební postup a vyhodnocení kalorimetrické křivky je detailně popsán v experimentu I.

Na **obr. 54** je záznam z kalorimetrického měření směsi s vodním sklem vytvrzované estery, cementové směsi a směsi kyselého furanového No- Bake. Od každé směsi byly měřeny dva vzorečky. Jedná se o závislost teploty $T \text{ [}^\circ\text{C]}$ na čase $t \text{ [h:min]}$. Z kalorimetrické křivky lze stanovit nejvyšší teplotu T_{max} v určitém čase t_{max} a teplotu T_1 , která je po jedné hodině měření, tedy v čase t_1 .

Bylo navrženo pro vyhodnocení směsí ve vzájemné kombinaci tepla a pevnostních charakteristik vyhodnocení teploty za jednu hodinu měření. Teplota je přímo přiřazena k pevnostem po 1 hodině tuhnutí.



Obr. 54 Kalorimetrie ST směsí

Z grafu je patrné, že proces tuhnutí cementové a furanové směsi je rychlejší s vyšším vývinem tepla, než u směsi s vodním sklem. Rozdíly ve vzrůstu teplot zkoušených směsí během tuhnutí jsou podstatné.

Laboratorní podmínky při měření

Teplota laboratoře $T_L = 19,5 - 22,6 \text{ } ^\circ\text{C}$

Relativní vlhkost ovzduší $\phi = 0,30 - 0,32$

Možnost vzniku chyb a tím nepřesnosti měření

- všechny komponenty a přísady (práškové, vodné roztoky) před vlastním měřením je nutné vytemperovat na teplotu laboratoře
- hmotnost navážky vzájemně porovnávaných vzorků musí být stejná
- teplotní čidlo je nutné umístit vždy do stejného místa ve vzorku, hloubka vpichu musí být také stejná
- je nutné udržovat konstantní teplotu laboratoře ($\pm 0,2 \text{ } ^\circ\text{C}$), neboť směsi s ostřivem jsou velmi citlivé na změnu teploty

4.3.5.3 Stanovení plastické deformace formovacích směsí

Princip metody, zkušební postup a vyhodnocení skutečné deformace vzorku je detailně popsán v experimentu II.

Laboratorní podmínky při měření

Teplota laboratoře $T_L = 19 - 21 \text{ }^\circ\text{C}$

Relativní vlhkost ovzduší $\phi = 0,30 - 0,32$

Možnost vzniku chyb a tím nepřesnosti měření

- všechny komponenty a přísady (práškové, vodné roztoky) před vlastním měřením je nutné vytemperovat na teplotu laboratoře
- nedodržení metodiky přípravy směsí s ostřivem
- rozdílná teplota připravených vodných roztoků přísad
- během vytvrzování musí být dřevěné jaderníky stále přikryty folií, nesmí docházet k obesychání povrchu zkušebních válečků

4.3.6 Ekonomické zhodnocení směsí

Při hodnocení jsou uvažovány materiálové náklady na 100 kg formovací směsi. Ceny uváděné v následující kapitole jsou pouze orientační a jejich výše byla stanovena na základě ceníků dodavatelů aktuálních v době psaní práce. Pro ekonomické zhodnocení jsou použité tři cementové směsi o různém složení, kyselá furanová No - Bake směs, směs s vodním sklem vytvrzovaná estery, alkalická fenolová pryskyřice vytvrzovaná modifikovaným esterem a rezolová směs vytvrzovaná CO₂.

Varianta 1: Cementová směs (směs č. 75 s pevností po 1 hodině tuhnutí 670,6 kPa)

Tab. 16 Rozpis nákladů složek na 100 kg směsi - varianta 1

	Surovina	Množství	Cena (Kč/ kg)	Cena jednotlivých složek (Kč/ 100 kg)
Ostřivo	SH 32	100	0,7	70
Pojivo	Secar 71	10	34,69	346,9
Urychlující přísada	CaCl ₂	5	68	340
Plastifikační přísada	dextrin	1,25	66	82,5
Voda		4	0,07514	0,3
součet				839,7 Kč

Varianta 2: Cementová směs (směs č. 232 s pevností po 1 hodině tuhnutí 1220 kPa)

Tab. 17 Rozpis nákladů složek na 100 kg směsi - varianta 2

	Surovina	Množství	Cena (Kč/ kg)	Cena jednotlivých složek (Kč/ 100 kg)
Ostřivo	SH 32	100	0,7	70
Pojivo	Secar 71	10	34,69	346,9
Urychlující přísada	Li ₂ CO ₃	3,5	640	2240
Plastifikační přísada	dextrin	1,25	66	82,5
Voda		6,5	0,07514	0,49
součet				2739,9 Kč

Varianta 3: Cementová směs (směs č. 106 s pevností po 1 hodině tuhnutí 615,9 kPa)

Tab. 18 Rozpis nákladů složek na 100 kg směsi - varianta 3

	Surovina	Množství	Cena (Kč/ kg)	Cena jednotlivých složek (Kč/ 100 kg)
Ostřivo	SH 32	100	0,7	70
Pojivo	Secar 71	10	34,69	346,9
Urychlující přísada	NaOH	5	49	245
Plastifikační přísada	dextrin	3	66	198
Voda		9	0,07514	0,68
součet				860,6 Kč

Varianta 4: Směs s vodním sklem vytvrzovaná estery

Tab. 19 Rozpis nákladů složek na 100 kg směsi - varianta 4

	Surovina	Množství	Cena (Kč/ kg)	Cena jednotlivých složek (Kč/ 100 kg)
Ostřivo	SH 32	100	0,7	70
Pojivo	Vodní sklo	3,5	4,2	14,7
Tvrdidlo	Triacetin	15	40	21
Tvrdidlo	Diacetin	15	60	31,5
součet				137,20 Kč

Varianta 5: Alkalická fenolová pryskyřice vytvrzovaná modifikovaným esterem

Tab. 20 Rozpis nákladů složek na 100 kg směsi - varianta 5

	Surovina	Množství	Cena (Kč/ kg)	Cena jednotlivých složek (Kč/ 100 kg)
Ostřivo	SH 32	100	0,7	70
Pojivo	Pryskyřice	1,6	21,08	33,73
Tvrdidlo	ester	20	65,93	21,1
součet				124,8 Kč

Varianta 6: Rezolová směs vytvrzovaná CO₂

Tab. 21 Rozpis nákladů složek na 100 kg směsi - varianta 6

	Surovina	Množství	Cena (Kč/ kg)	Cena jednotlivých složek (Kč/ 100 kg)
Ostřivo	SH 32	100	0,7	70
Pojivo	rezol	2,2	34,59	76,1
Tvrdidlo	CO ₂		283,4	
Přísada	okuje	4,5	19,99	89,96
Přísada	lupek	9	5,341	48,07
součet				284,1 Kč + spotřeba CO₂

Varianta 7: Kyselý furan No-Bake

Tab. 22 Rozpis nákladů složek na 100 kg směsi - varianta 7

	Surovina	Množství	Cena (Kč/ kg)	Cena jednotlivých složek (Kč/ 100 kg)
Ostřivo	SH 32	100	0,7	70
Pojivo	pryskyřice	1,2	38,61	46,33
Tvrdidlo	tvrdidlo	70	15,75	13,23
součet				129,6 Kč

4.3.7 Výsledky měření a jejich diskuze

Úkolem experimentu III bylo porovnání cementových formovacích směsí s jinými pojivovými směsmi jako formovací směsí s vodním sklem vytvrzované estery, kyselou furanovou No- Bake formovací směsí z hlediska vývinu hydratačního tepla a plastické deformace.

Porovnání cementových formovacích směsí se směsí s vodním sklem vytvrzované estery, kyselou furanovou No- Bake směsí, směsí rezolovou s vytvrzováním CO₂, a formovací směsí alkalické fenolové pryskyřice vytvrzované modifikovaným esterem z hlediska pevností v tlaku.

Ekonomické zhodnocení samotvrdnoucích směsí.

Měření probíhalo na stejném zařízení jako v experimentu I a II na přístroji LRU-D. Pevnost v tlaku i plastická deformace byla měřena po půl hodině tuhnutí, po jedné hodině a po 24 hodinách tuhnutí. Vývin hydratačního tepla byl u směsí s vodním sklem, furanovou a cementovou směsí měřen od umíchnutí směsi po dobu 24 hodin.

4.3.7.1 Měření pevnosti v tlaku

Měření pevnosti za půl hodiny ukazují, že směsi s vodním sklem dosahují pevností nad 2 MPa, nejvyšších pevností dosahovala i směs rezolová a to 1,23 MPa. Nejmenších pevností po půl hodině tvrdnutí dosahuje cementová směs s pevností 0,077 MPa a kyselá furanová No - Bake směs s pevností 0,089 MPa.

Po jedné hodině tuhnutí nejnižších hodnot pevností dosahují směsi cementové a to 0,305 MPa, směs kyselá furanová No - Bake má pevnost 0,355 MPa.

Po 24 hodinách jsou pevnosti směsí s vodním sklem vytvrzované estery, kyselá furanová No - Bake a cementové směsi srovnatelné a to s hodnotou více jak 2 MPa. Pevnost v tlaku 1,15 MPa byla naměřena u směsi alkalické fenolové pryskyřice vytvrzované modifikovaným esterem a 1,33 MPa u směsi rezolové.

Z pevnostních charakteristik je možné kyselou furanovou No - Bake směs nahradit směsí cementovou. Po půl hodině, hodině i 24 hodinách tuhnutí dosahují srovnatelných pevností.

4.3.7.2 Vývin reakčního tepla na isoperibolickém kalorimetru

Z **obr. 55** a **tabulky 23** je patrné, že proces tuhnutí cementové a kyselá furanová No - Bake směsi je rychlejší s vyšším vývinem tepla, než u směsi s vodním sklem. Rozdíly ve vzrůstu teplot zkoušených směsí během tuhnutí jsou podstatné.

Směs s vodním sklem při tuhnutí po 1 hodině má velmi malý vývin reakčního tepla. Nejvyšší vývin reakčního tepla má cementová směs.

Tab. 23 Srovnání samotvrdnoucích směsí

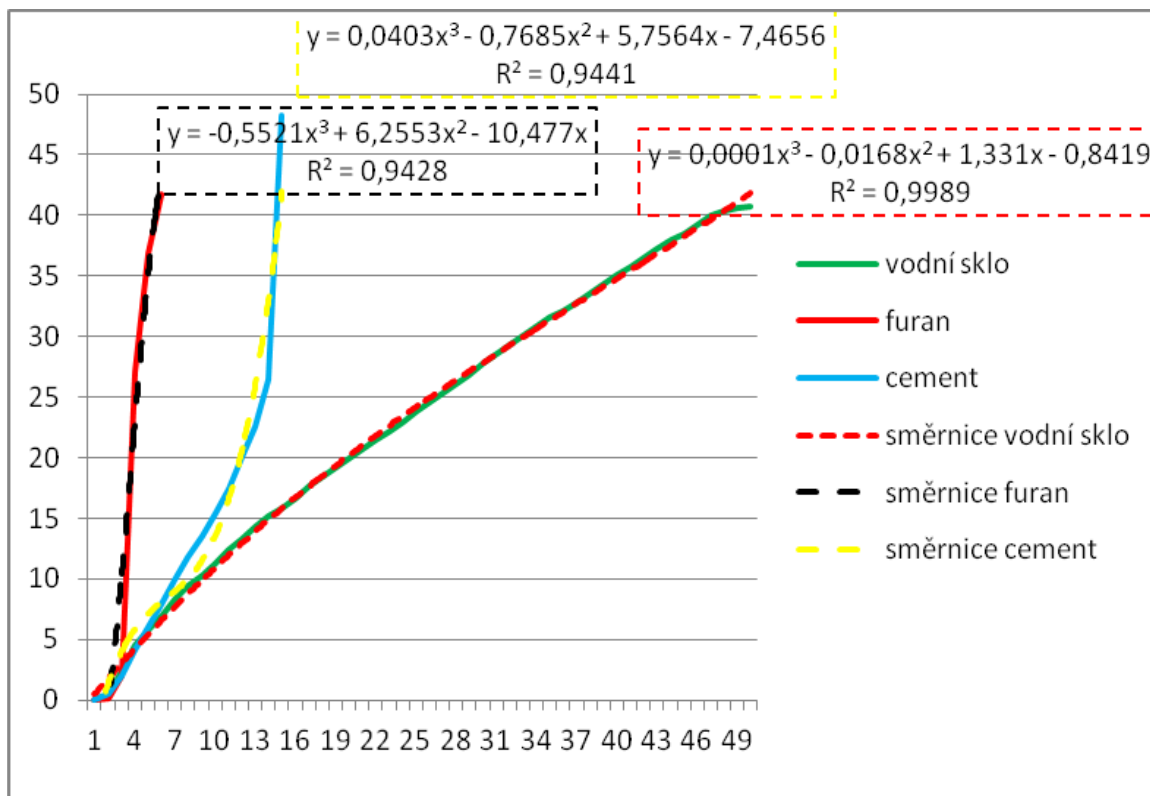
Směs	Pevnost v tlaku [MPa] po			kalorimetr		
	0,5 hodiny	1 hodině	24 hodinách	T ₁	T _{max}	t _{max}
S vodním sklem	> 2	> 2	> 2	22,8	23,3	0:02
Kyselá furanová směs	0,089	0,355	> 2	24,1	24,6	0:30
Cementová směs	0,077	0,305	> 2	27,1	27,1	1:00

4.3.7.3 Deformační schopnost v období plasticity

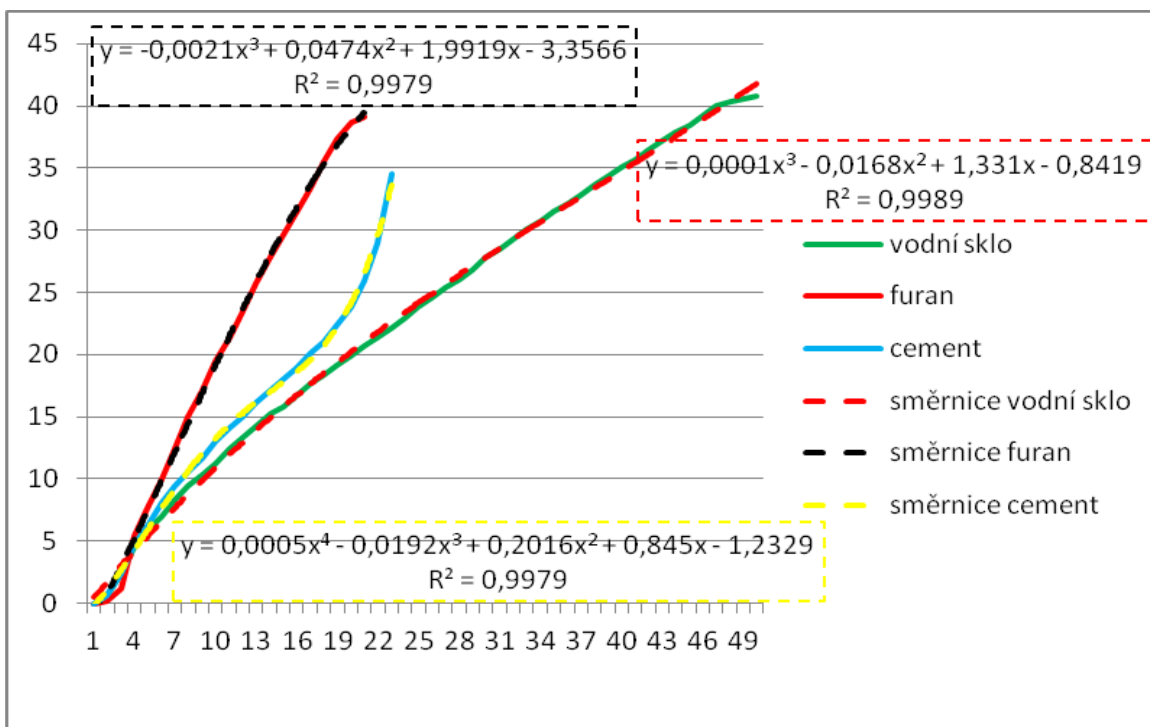
Deformační schopnost v období plasticity samotvrdnoucích směsí byla měřena po půl hodině a hodině tuhnutí. Byla měřena u směsi s vodním sklem vytvrzované estery, kyselá furanová No - Bake a cementové směsi. Z **obr 55** lze vidět, že nejkřehčí směsí je směs kyselá furanová No - Bake a to jak po 30 minutách, tak i po 1 hodině tuhnutí. Druhá je směs cementová a poté směs s vodním sklem.

Stejně výsledky jsou i u měření po 1 hodině tuhnutí. **Obr. 56.** na obou grafech jsou

polynomické rovnice regrese každé křivky a hodnota spolehlivosti R.



Obr. 55 Plastická deformace po 30 minutách tuhnutí



Obr. 56 Plastická deformace po 60 minutách tuhnutí

V **tabulce 24** jsou hodnoty jednotlivých směrnice, jak po půl hodině, tak i po 1 hodině tuhnutí. Po půl hodině tuhnutí nejvyšších hodnot směrnice dosahuje směs kyselá furanová No - Bake, s hodnotou 3,3126. Směs cementová má hodnotu směrnice 0,2418 a nejnižší hodnotu má směs

s vodním sklem vytvrzovaná estery 0,0006. Stejnou hodnotu má směs s vodním sklem i po 1 hodině tuhnutí. Směs cementová a kyselá furanová No - Bake má hodnotu směrnice podobnou a to 0,012.

Tab. 24 tabulka s hodnotou směrnice každé směsi

Směs	Pevnost v tlaku [MPa] po			hodnota směrnice po	
	0,5 hodiny	1 hodině	24 hodinách	0,5 hod	1 hod
S vodním sklem	> 2	> 2	> 2	0,0006	0,0006
Kyselá furanová směs	0,089	0,355	> 2	3,3126	0,0126
Cementová směs	0,057	0,088	> 2	0,2418	0,012

Kyselá furanová No - Bake směs daného složení ztrácí plastické vlastnosti nejrychleji, směsi s cementovým pojivem se na počátcích tuhnutí přibližují touto vlastností směsím s vodním sklem vytvrzované esterolem, které mají nejdelší období plasticity. Z průběhu křivek je možné rovněž stanovit inkubační dobu měřených směsí. V **tabulce 25** je kompletní shrnutí naměřených hodnot tří samotvrdnoucích směsí.

Tab. 25 kompletní výsledky směsí s teplotami a hodnotou směrnice

Směs	Pevnost v tlaku [MPa] po			kalorimetr			hodnota směrnice po	
	0,5 hodiny	1 hodině	24 hodinách	T ₁	T _{max}	t _{max}	0,5 hod	1 hod
S vodním sklem	> 2	> 2	> 2	22,8	23,3	0:02	0,0006	0,0006
Kyselá furanová směs	0,089	0,355	> 2	24,1	24,6	0:30	3,3126	0,0126
Cementová směs	0,057	0,088	> 2	27,1	27,1	1:00	0,2418	0,012

4.3.7.4 Ekonomické zhodnocení směsí

Při ekonomickém hodnocení směsí byly uvažovány materiálové náklady na 100 kg směsi. Ceny jsou pouze orientační.

Pro zhodnocení byly použity cementové směsi, které vykazovaly lepší pevnostní charakteristiky s různými urychlujícími přísadami NaOH, CaCl₂, Li₂CO₃.

Z hlediska cenových nákladů na 100 kg směsi se z cementových směsí jeví jako nejvýhodnější směs ve variantě č. 1 - 5 % CaCl₂, 1,25 % plastifikační přísady a 4 % vody. Tato směs dosahuje i vysokých pevnostních charakteristik 670,6 kPa po jedné hodině tuhnutí. Následuje směs s urychlovačem NaOH v množství 5 %, 3 % plastifikační přísady a 9 % vody s pevností 615,9 kPa po 1 hodině tuhnutí. Urychlovač Li₂CO₃ je také dobrý urychlovač, avšak jeho náklady jsou příliš vysoké a jeho průmyslové využití bude spíš okrajové.

V porovnání s ostatními samotvrdnouchými směsmi mají cementové směsi vysoké cenové náklady oproti směsím s vodním sklem vytvrzované estery, kyselá furanová No - Bake směsi, rezolové směsi i oproti směsi s alkalicko fenolovou pryskyřicí vytvrzované modifikovaným esterem. Je to dané tím, že ceny jednotlivých komponent cementových směsí jsou pro malé obaly určené pro laboratorní použití. V případě větších obalů by ceny cementových směsí klesly odhadem o 30 – 50%.

4.3.8 Závěr z experimentu III

Cílem experimentu III bylo vzájemné porovnání samotvrdnoucích cementových formovacích směsí s anorganickým samotvrdnoucím pojivovým systémem na bázi vodního skla vytvrzovaného estery, organickou samotvrdnoucí formovací směsí na bázi kyselý furan No-Bake, organickou samotvrdnoucí formovací směsí na bázi alkalické fenolické pryskyřice vytvrzované modifikovanými estery a pojivovým systémem rezol + CO₂ z hlediska:

- časového nárůstu pevností v tlaku
- průběhu vývinu reakčního tepla
- deformační schopnosti v období plasticity
- ekonomického hlediska

Z porovnání samotvrdnoucích směsí z hlediska nárůstu pevností v tlaku vyplývá, že cementová směs může nahradit kyselou furanovou No - Bake směs. Pevnosti v tlaku jsou po půl hodině, hodině i 24 hodinách tuhnutí srovnatelné. Nejvyšších pevností dosahují směsi s vodním sklem vytvrzované estery.

V porovnání z hlediska průběhu vývinu reakčního tepla směsi s vodním sklem mají velmi malý vývin reakčního tepla. Největší vývin reakčního tepla má cementová směs.

Z hlediska deformační schopnosti v období plasticity byly směsi měřeny po půl hodině a po 1 hodině tuhnutí. Nejkřehčí, s nejvyšší hodnotou směrnice, je směs kyselá furanová No - Bake, která ztrácí plastické vlastnosti nejrychleji. Nejplastičtější byla směs s vodním sklem.

Z ekonomického hlediska z cementových směsí se jeví jako nejvýhodnější směs, v porovnání pevnost v tlaku po 1 hodině tuhnutí s cenou 100 kg směsi, s urychlující přísadou CaCl₂. V porovnání cementové směsi s ostatními samotvrdnoucími směsmi mají cementové směsi vysoké náklady. Je to dané tím, že ceny jednotlivých komponent cementových směsí jsou pro malé obaly určené pro laboratorní použití. V případě větších obalů by ceny cementových směsí klesly odhadem o 30 - 50 %.

5. CELKOVÝ ZÁVĚR

Disertační práce se zabývala optimalizací technologických vlastností cementových formovacích směsí. Náplní práce bylo nalezení správných jednotlivých komponent směsi, které přispějí k odstranění technologických nedostatků cementových směsí a to zejména nízké reaktivity systému v období plasticity, tj. době rozebírání forem a jader (čas rozebírání forem až po 24 hodinách tuhnutí). Nízké produktivity výroby forem a jader, způsobené pomalým a špatně ovladatelným procesem vytvrzování.

Část práce se zabývala návrhem a ověřením vhodné metody pro rychlé posouzení praktických užitečných vlastností cementových směsí určených pro výrobu forem a jader v období plasticity (tj. časový interval vhodný pro rozebírání hotových forem).

Proces vytvrzování cementových formovacích směsí je doprovázen exotermickou chemickou reakcí. Z tohoto důvodu, jak prokázaly experimenty, je možné použít kalorimetrických metod, konkrétně v tomto případě kalorimetru isoperibolického, kdy se touto metodou sleduje vnější projev směsi.

Pro tuhnutí cementových směsí je v počátku i celém průběhu vytvrzování charakteristický vývin hydratačního reakčního tepla vyjádřený teplotou, který je možné sledovat v závislosti na čase a z jeho průběhu rychle určit počátek a konec tuhnutí systému, usuzovat na jeho reaktivitu tj. nárůst počátečních pevností bez nutnosti měření pevnostních vlastností. Ze sklonu křivky lze také posuzovat vliv jednotlivých přísad jako např. druh cementů a přísad pro urychlení tuhnutí na užitečné vlastnosti cementových směsí.

Byla sestavena kombinovaná měřicí jednotka, která sestávala z přístroje pro měření pevností v tlaku a 16ti místného isoperibolického kalorimetru. Pro posouzení reaktivity směsi bylo z každé kalorimetrické křivky stanovena hodnota maximální teploty T_{\max} a teplota T_1 směsi odpovídající 1 hodině vytvrzování. V odpovídající časové posloupnosti byly pro tyto směsi o stejném složení měřeny jejich pevnostní charakteristiky vyjádřené pevností v tlaku po 1 a 24 hodinách od počátku měření.

Vzájemnou předem naplánovanou kombinací složení směsí bylo provedeno 272 měření s 3 opakováními. Z těchto směsí byly vybrány pouze ty, které splňovaly podmínku minimální pevnosti směsi v tlaku po 1 hodině vytvrzování ≥ 250 kPa, která byla stanovena na základě praktických požadavků produktivní výroby slévárenských forem. Požadavku experimentu nevyhovovalo ostřivo SH 34 a portlandské cementy. Pevnostní podmínku splňovalo 54 směsí. U těchto směsí byla analyzována vzájemná závislost mezi složením směsi, pevností směsí po 1 hod. a hodnotou teploty po 1 hod. vytvrzování. Dále byl analyzován vliv jednotlivých komponent pojivového systému tj. druh cementu, množství vody, druh a dávkování urychlující přísady na hodnotu kalorimetrické teploty.

Z analýzy měření byla zjištěna přímá souvislost mezi vývinem hydratačního tepla vyjádřeného teplotou a intenzitou nárůstu počátečních pevností směsí (reaktivity směsí). Čím je počáteční teplota buď maximální nebo měřená za 1 hodinu vytvrzování vyšší, tím by měla být směs reaktivnější a zpravidla má vysoké počáteční pevnosti.

V důsledku analýzy velkého počtu dat z měření, byla ztížena možnost detailnějšího vyhodnocení měření, proto bylo pro posouzení vzájemného vlivu jednotlivých komponent pojivového systému na vývin hydratačního tepla a pevnostní charakteristiku v období plasticity použito metod plánování experimentů DOE.

Výsledky experimentu ukázaly významný vliv všech faktorů, ale s rozdílnou mírou vlivu. Pro konkrétní požadavek na rozpětí pevností směsí za 1 hodinu vytvrzování je doporučeno složení cementové směsi a předpokládaný interval rozsahu kalorimetrické teploty.

Experimenty prokázaly význam použití kalorimetrických metod, přesněji isoperibolického kalorimetru pro rychlé posouzení vhodnosti jednotlivých komponent cementových formovacích směsí tak, aby byl splněn požadavek dosažení minimální pevnosti směsi v oblasti plasticity (doby rozebírání forem). Tato metoda doplňuje a zároveň i nahrazuje současné zdlouhavé měření nárůstu pevností směsí v čase tzv. pevnostní charakteristiku.

Další část práce se zabývala nalezením metody a stanovení metodiky pro objektivní posouzení deformačních vlastností cementových směsí v oblasti plasticity, tj. při vyjímání modelů z forem.

Ve spolupráci s Ústavem fyziky byla sestavena měřicí jednotka, která se skládá z řídicího počítače (program LabVIEW 8,6), pevnostního přístroje LRU-D a snímače deformace vzorků Mitutoyo. Systém umožňuje automatické snímání hodnot pevnosti v tlaku normalizovaných vzorků směsí při konstantní rychlosti zatěžování a zpracovává grafický zápis vypočtené skutečné deformace vzorků v % (osa y) v reálném čase (s). Skutečná deformace vzorku (%) vyjadřuje deformační schopnost (plasticitu) jednotlivých směsí.

Z této křivky se pomocí aproximace polynomické nebo lineární spojnice trendů získá rovnice regrese. Postupnou derivací této rovnice lze získat hodnotu směrnice přímky. Plastická deformace je úměrná sklonu směrnici přímky. Čím je hodnota směrnice vyšší, tím je přímka ve vztahu k ose x strmější a směs v období plasticity křehčí.

Pro ověření této metodiky byly použity směsi, které splňovaly podmínku minimální pevnosti v tlaku po 1 hod. vytvrzování ≥ 250 kPa (54 směsí). Deformační schopnost těchto směsí byla ověřena na zkušebních válečcích po 1 hod. vytvrzování.

Všechny komponenty směsí mají vliv na plasticitu směsí. Největší vliv je u plastifikační přísady. S vyšším dávkováním je hodnota směrnice nižší a křivka je příkřejší. S nižším dávkováním je směs méně plastická, hodnota směrnice vyšší a křivka strmější.

Ve spolupráci s Ústavem fyziky byla sestavena měřicí jednotka, která objektivním způsobem vyjadřuje deformační schopnost cementových formovacích směsí. Metoda je schopna vyjádřit vliv jednotlivých komponent cementových směsí na deformační chování v období plasticity.

V poslední části dizertační práce bylo řešeno vzájemné porovnání samotvrdnoucích cementových formovacích směsí s anorganickým samotvrdnoucím pojivovým systémem na bázi vodního skla vytvrzovaného estery, organickou samotvrdnoucí formovací směsí na bázi kyselý furan No-Bake, organickou samotvrdnoucí formovací směsí na bázi alkalické fenolické pryskyřice vytvrzované modifikovanými estery a pojivovým systémem rezol + CO₂ z hlediska časového nárůstu pevností v tlaku; průběhu vývinu reakčního tepla; deformační schopnosti v období plasticity a ekonomického hlediska.

Z porovnání samotvrdnoucích směsí z hlediska nárůstu pevností v tlaku vyplývá, že cementová

směs může nahradit kyselou furanovou No - Bake směs. Pevnosti v tlaku jsou po půl hodině, hodině i 24 hodinách tuhnutí srovnatelné. Nejvyšších pevností dosahují směsi s vodním sklem vytvrzované estery. Z průběhu vývinu reakčního tepla směsi s vodním sklem mají velmi malý vývin reakčního tepla. Největší vývin reakčního tepla má cementová směs.

Z hlediska deformační schopnosti v období plasticity byly směsi měřeny po půl hodině a po 1 hodině tuhnutí. Nejkřehčí, s nejvyšší hodnotou směrnic, je směs kyselá furanová No - Bake, která ztrácí plastické vlastnosti nejrychleji. Nejplastičtější byla směs s vodním sklem.

Z ekonomického hlediska z cementových směsí se jeví jako nejvýhodnější směs, v porovnání pevnost v tlaku po 1 hodině tuhnutí s cenou 100 kg směsi, s urychlující přísadou CaCl_2 . V porovnání cementové směsi s ostatními samotvrdnucími směsmi mají cementové směsi vysoké náklady. Je to dané tím, že ceny jednotlivých komponent cementových směsí jsou pro malé obaly určené pro laboratorní použití. V případě větších obalů by ceny cementových směsí klesly odhadem o 30 - 50 %.

Uvedené výsledky, metody a metodiky dizertační práce jistě přispějí k opětovnému používání technologie samotvrdnucích formovacích směsí na bázi cementového pojiva mezi ostatní v současné době používané technologie pro výrobu těžších forem.

Práce přináší nové poznatky v oboru rychle tuhoucích směsí. Přispěla k vyvinutí nové laboratorní zkušební metody pro měření vlastností ST směsí - měření plastické deformace směsí pomocí přístroje LRU-D. Za pomoci projektu FRVŠ 1878/2009/G1 přispěla i k řešení a inovaci výuky o nové systémy na bázi hydraulicky tuhoucích pojiv příznivých pro životní prostředí. Disertační práce byla realizována jako část Grantového projektu č. GA 106/08/0270 – Procesy konverze hydraulicky tuhoucích kompozitů s modifikovanou plasticitou.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] TEGEL, M.: *Slévárenské směsi s cementovými pojivy*. Disertační práce v oboru „Strojírenská technologie“. Brno: VUT FSI, Ústav strojírenské technologie. 2001. 131 s. ISBN 80-214-2040-5.
- [2] RUSÍN, K., BRANDŠTETR, J.: *Vývoj hydraulicky tuhoucích pojivových systému pro slévárenství*. Závěrečná zpráva grantového projektu GA ČR č. 106/96/0422, Brno, 1996 -1998. 245 s.
- [3] RUSÍN, K. a kol.: *Slévárenské formovací materiály*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1991. 392 s. ISBN 80-03-00278-8
- [4] JELÍNEK, P.: *Pojivové soustavy slévárenských formovacích směsí (Chemie slévárenských pojiv)*. Ostrava: vlastní náklad, 2004. 241 s. ISBN 80-239-2188-6.
- [5] ODLER, I.: *Special inorganic cements*, Modern concrete technology, 2000 vydáno Taylor. & Francis, 395 s. ISBN 0-419-22790-3
- [6] ADÁMEK, J., NOVOTNÝ, B., KOUKAL, J.: *Stavební materiály*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 1997. 205 s. ISBN 80-214-0631-3.
- [7] RAMMELSBERG, J.: *Neuere Entwicklungen beim Zementsandformverfahren*. Gießerei, 64, 1977, č. 17, 437- 440 s.
- [8] NEZVALOVÁ, H.; BURIANOVÁ, K.: *Výzkum procesu konverze hydraulicky tuhoucích kompozitů s modifikovanou plasticitou*. In FSI - Junior konference 2008. 1. Brno: VUT Brno, 2009. s. 252-259. ISBN: 978-80-214-3834- 7.
- [9] PYTLÍK, P.: *Technologie betonu I*. 1. vydání. Brno: VUT Brno, 1997. 346 s. ISBN 80 – 214 – 0779 - 4
- [10] PYTLÍK, P.: *Technologie betonu I*. 1. vydání. Brno: VUT Brno, 1994. 288 s.
- [11] NOVÁK, J.: *Nauka o materiálech 10*. 1., Stavební materiály 1. vydání, Praha: ČVUT, 1997, 178 s. ISBN 80-01-01619-6
- [12] BURIANOVÁ, K. *Experiments with the Portland and alumina cements in the moulding sands*. In WTF International PhD Foundry Conference. 1. Brno: Česká slévárenská společnost, 2009. s. 55-63. ISBN: 978-80-214-3871- 2.
- [13] CIHLÁŘ, J.: *Chemie slévárenských materiálů*. 1. Vydání. Brno: VUT Brno, 1991. 171 s. ISBN 80-214-0298-9

- [14] ŠAUMAN, Z.: *Maltoviny I*. 1. Vydání. Brno: PC-DIR spol. s r. o., 1993. 198 s., ISBN 80-214-0509-0
- [15] ŠKVÁRA, F.: *Technologie anorganických pojiv I*. Hydraulické maltoviny, cementy. 1. vydání. Praha: VŠCHT Praha, 1994. 223 s.
- [16] PŘIBYL, F., ZAPLETAL, V., HRDLIČKA, J.: *Stavební Hmoty*. 2. vyd. Brno: Ediční středisko Vysokého učení technického, 1989
- [17] BRANDŠTETR, J., KRÁL, J.: *Chemie a stavebních látek*, Část 1 – Obecná a technická chemie. 2. Vydání. Brno: VUT Brno, 1981. 274 s. ISBN 55-551-81
- [18] KOSA L.: *Prehľad kalorimetrických metód*. Silikáty. 1977, 21. Ročník, č. 4, s. 367 - 387
- [19] BURIAN, A., KŘÍSTEK, J.: *Plastičnost samotvrdnoucích směsí s vodním sklem a možnosti jejího ovládní*. Slévárenství. 1982. 2/3. s. 120-122.
- [20] ČECHÁK, P.: *Technologické vlastnosti formovacích směsí s regenerovanými ostrívy*. Disertační práce v oboru "Strojírenská technologie". Brno: VUT FSI, Ústav strojírenské technologie. 1998. 163 s.
- [21] FOREJT, M.: *Teorie obrábění*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. 167 s. ISBN 80-214-2764-7.
- [22] http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/tkp/2.pdf
- [23] FLEMMING E., TILCH W.: *Formstoffe und Formverfahren*. Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig – Stuttgart, 1993. 435 s
- [24] JELÍNEK P. *Slévárenské formovací směsi. Pojivové soustavy formovacích směsí* 1. Vydání. Ostrava: VŠB Ostrava, 1996. 180 s. Ediční středisko VŠB. ISBN 80-7078-326-5.
- [25] TROGER G., TITSCH U.: *Ein neues Kalthartendes Zementsandformverfahren*, Giessereitechnik. 1989, 35. Jahrgang, Heft 5, s 150 – 154.
- [26] SKÁLA M.: *Náhrada ferochromové strusky jako vytvrzovadla samotvrdnoucích směsí*. Slévárenství. 1971, 19, č. 5, s. 189 – 192
- [27] GERSTMANN O.: *Erfahrungen auf dem Gebiet schnell selbst härtender leicht verdichtbarer Formstoffe auf der Basis Ferrochromschlacke und Zement unter Beachtung der mechanisierten Fertigung mittelschwerer Gussstücke*. Giessereitechnik. 1973, 19 Jahrgang, Heft ½, s. 28 - 34
- [28] TOSISADA, M. *Samotvrdnouce a ztekucené formovací směsi*. Slévárenství. 1972, 20, č. 9, s. 393 - 394.

- [29] KLOSE, G. Ztekucené samotuhnoucí formovací směsi. Slévárenství. 1972, 20, č. 8, s. 341 - 342.
- [30] GRANITZKI, E., OBERHOFF, H. Ztekucené cementové formovací směsi. Slévárenství. 1970, 18, č. 6, s. 36
- [31] GRANITZKI, E. Nový druh ztekucených cementových formovacích směsí. Slévárenství. 1970, 18, č. 9, s. 392 - 393.
- [32] http://www.pqm.cz/NVCSS/met_PDF/DOE_webcss.pdf
- [33] <https://support.office.com/cs-cz/article/P%C5%99id%C3%A1n%C3%AD-spojnice-trendu-nebo-pr%C5%AFm%C4%9Bru-do-grafu-3c4323b1-e377-43b9-b54b-fae160d97965>
- [34] <http://www.heidelbergcement.com/NR/rdonlyres/60E2BD84-3DE6-4CF9-A4B2-76790EF7BBF9/0/TLPortlandsk%C3%BDcementCEMI425RMokr%C3%A1.pdf>
- [35] <http://www.heidelbergcement.com/NR/rdonlyres/1927525C-5119-4C49-91AD-A802FC44931F/0/TLPortlandsk%C3%BDcementCEMI525RMokr%C3%A1.pdf>
- [36] <http://www.ditherm.cz/assets/files/cementy/Cement-Secar-51.pdf>
- [37] <http://www.ditherm.cz/assets/files/cementy/Cement-Secar-71.pdf>

PŘEHLED PUBLIKACÍ AUTORA

2009

3. NEZVALOVÁ, H.; BURIANOVÁ, K. Výzkum procesu konverze hydraulicky tuhoucích kompozitů s modifikovanou plasticitou. In FSI - Junior konference 2008. 1. Brno: VUT Brno, 2009. s. 252-259. ISBN: 978-80-214-3834- 7.
4. BURIANOVÁ, K. Experiments with the Portland and alumina cements in the moulding sands. In WTF International PhD Foundry Conference. 1. Brno: Česká slévárenská společnost, 2009. s. 55-63. ISBN: 978-80-214-3871- 2.

2010

- BURIANOVÁ, K.; NEZVALOVÁ, H.; RUSÍN, K. Je možná renesance cementových směsí?. Slévárenství, 2010, roč. 58, č. 9- 10, s. 336-339. ISSN: 0037- 6825.
- BURIANOVÁ, K. Moulding cement mixtures - ecological substitution furan sands. In 47th Foundry Days with Accompanying Exhibition and 7th International PhD Foundry Conference. 1. Brno: Česká slévárenská společnost, 2010. s. 59-64. ISBN: 978-80-904020-6- 5.
- BURIANOVÁ, K.; RUSÍN, K. Integrovaný měřicí systém pro analýzu deformačních charakteristik a tepelných reakcí ST směsí. Slévárenství, 2010, roč. LVIII, č. 7- 8, s. 273-275. ISSN: 0037- 6825.
- BURIANOVÁ, K.; RUSÍN, K. An integrated measuring system for analyzing the deformation characteristics and thermal reactions of self- setting sands. In Conference proceedings. Ljubljana: Društvo livarjev Slovenije, 2010. s. 25-32. ISBN: 978-961-90130-4-5.
- BURIANOVÁ, K.: Řešení a inovace výuky o nové systémy na bázi hydraulicky tuhoucích pojiv příznivých pro životní prostředí. Závěrečná práce DPS. Brno: 2010. 41 s.

2011

- BURIANOVÁ, K. An integrated measuring system for analyzing the plasticity and thermal reactions of self-setting sands. In *8th International PhD Foundry Conference*. Brno: Česká slévárenská společnost, 2011.s. 37-45. ISBN: 978-80-214-4295- 5.
- BURIANOVÁ, K.; Návod na použití přístroje pro měření plasticity LRU – D a programu LabVIEW 8.6. 2009. 14 s

Projekty

2009

- Rozšíření a inovace výuky o nové systémy na bázi hydraulicky tuhoucích pojiv příznivých pro životní prostředí, zahájení: 01.01.2009, ukončení: 31.12.2009

Spolupráce na grantu

GA 106/08/0270 – Procesy konverze hydraulicky tuhoucích kompozitů s modifikovanou plasticitou (prof. Ing. Rusín, DrSc – řešitel, 2008–2010)

Funkční vzorek

- BURIANOVÁ, K.; RUSÍN, K.: Systém LRU- D; *Integrovaný měřicí systém LRU- D*. FSI VUT Brno, A4/ 115. (funkční vzorek)

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha č. 1 Součtová křivka ostřiva Šajdíkové Humence SH 34, materiálový list
- Příloha č. 2 Součtová křivka ostřiva Šajdíkové Humence SH 32, materiálový list
- Příloha č. 3 Portlandské cementy, materiálové listy
- Příloha č. 4 Hlinitanové cementy, materiálové listy
- Příloha č. 5 Materiálové listy přísad - NaCl, HCl, CaCl₂, Li₂CO₃, NaOH, dextrin
- Příloha č. 6 Tabulka 272 směsí - pevnosti v tlaku, kalorimetrické teploty
- Příloha č. 7 Vyhovující směsi z hlediska pevností v tlaku nad 250 kPa po 1 hodině tuhnutí
- Příloha č. 8 Grafické průběhy přetvoření - 54 směsí

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Zkratka	jednotka	popis
m_v	[g]	hmotnost vody
m_c	[g]	hmotnost cementu
pH	-	vodíkový exponent
H ₂ O	-	voda
CaCl ₂	-	chlorid vápenatý
CO ₂	-	oxid uhličitý
AlCl ₃	-	chlorid hlinitý
FeCl ₃	-	chlorid železitý
NaCl	-	chlorid sodný
LiCl	-	chlorid lithný
MgCl ₂	-	chlorid hořečnatý
(NH) ₄ Cl	-	chlorid amonný
BaCl ₂	-	chlorid barnatý
Li ₂ CO ₃	-	uhličitan lithný
CaSO ₄	-	síran vápenatých
NaOH	-	hydroxid sodný
Na ₂ CO ₃	-	uhličitan sodný
Na ₂ SO ₄	-	síran sodný
H ₂ SO ₄	-	kyselina sírová
NaCl	-	chlorid sodný
KCl	-	chlorid draselný
HCl	-	kyselina chlorovodíková
CaO	-	oxid vápenatý
SiO ₂	-	oxid křemičitý
Ca(OH) ₂	-	hydroxid vápenatý
Al ₂ O ₃	-	oxid hlinitý
Al(OH) ₃	-	hydroxid hlinitý
ΔH	[J.g ⁻¹]	změna entalpie
T_c	[°C]	teplota kalorimetrické nádoby (bloku)
T_s	[°C]	teplota obalu kalorimetru
W	[J.K ⁻¹]	tepelná kapacita kalorimetrické nádoby
c	[J.g ⁻¹ .K ⁻¹]	měrná tepelná kapacita
m	[g]	hmotnost vzorku
dT_c / dt	-	přírůstek (změna) teploty kalorimetrické nádoby v závislosti na čase
K	-	součinitel přestupu tepla mezi kalorimetrickou nádobou a obalem kalorimetru
RB	-	proces tuhnutí a tvrdnutí cementové směsi
A	-	technologické parametry cementové směsi
B	-	vnější podmínky procesu tuhnutí a tvrdnutí cementové směsi

C	-	druh cementu z hlediska nárůstu pevnosti v čase
t_n	[h]	doba vytvrzování
D_{sm}	-	ukazatel deformační schopnosti
d	[mm]	konečný průměr
d_0	[mm]	počáteční průměr
ε	[%]	deformace
L	[mm]	konečná délka
L_0	[mm]	počáteční délka
ΔL	[mm]	délka stlačení
φ	-	logaritmické přetvoření
V	[mm ³]	Konečný objem
V_0	[mm ³]	Počáteční objem
S	[mm ²]	Konečný obsah
S_0	[mm ²]	Počáteční obsah
D	[mm]	Konečný průměr
D_0	[mm]	Počáteční průměr
d_{50}	[mm]	Velikost středního zrna ostřiva
ST	-	Samotvrdnoucí směsi
IP 68	-	Stupeň krytí
T_{max}	[°C]	Nejvyšší teplota
t_{max}	[s]	Čas dosažení nejvyšší teploty
T_1	[°C]	Teplota v jedné hodině tuhnutí
t_1	[s]	Čas měření teploty – 1 hodina
T_L	[°C]	Teplota laboratoře
Rc	[kPa]	Napětí
DOE	-	Design of experimentů (Technika plánovaných experimentů)
b	-	konstanta
$c_1 \dots c_6$	-	konstanty
K_c	-	konstanta
X	[mm]	skutečný průhyb vzorku
X_1	[mm]	vychýlení páky, změřené měřidlem
X_2	[mm]	vzdálenost od bodu otáčení
X_3	[mm]	vzdálenost měřeného vzorku od bodu otáčení
ε	[%]	skutečná deformace vzorku
l	[mm]	původní délka vzorku před deformací
ϕ	[%]	relativní vlhkost ovzduší
FRVŠ	-	Fond rozvoje vysokých škol
GA	-	Grantová agentura

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Závislost vodního součinitele na pevnost a zpracovatelnost cementové formovací směsi	14
Obr. 2 Schéma rozdělení vody při hydrataci cementové směsi	20
Obr. 3 Znázornění procesu hydratace portlandského cementu	21
Obr. 4 Vývin hydratačního tepla (Skalny)	21
Obr. 5 Průběh vytvrzování samotvrdnoucích směsí	25
Obr. 6 Pracovní diagram pro tah a tlak	27
Obr. 7 Plastické přetvoření tělesa	28
Obr. 8 Rovnoměrné přetvoření tělesa	28
Obr. 9 Laboratorní mísič KitchenAid	33
Obr. 10 Reakční nádobka o objemu 250 ml z pěnového polystyrenu o hmotnosti pod 2 g	34
Obr. 11 Izolační komůrka pro uložení kelímku, termočlánek typu T	34
Obr. 12 Dřevěný jaderník	35
Obr. 13 Isoperibolický kalorimetr řízený PC	36
Obr. 14 Záznam z kalorimetrického měření	37
Obr. 15 Způsob určování důležitých charakteristik kalorimetrické křivky	38
Obr. 16 Okrajové podmínky měření - minimální pevnost v tlaku 250 kPa pro 272 měření	39
Obr. 17 Paretův diagram	49
Obr. 18 Vliv faktorů na pevnost v tlaku po 1 hodině tuhnutí	50
Obr. 19 Vliv interakcí faktorů	50
Obr. 20 Vhodné dávkování komponent pro nastavení optimální pevnosti	51
Obr. 21 Vliv faktorů na kalorimetrickou teplotu	52
Obr. 22 Vliv interakcí	52
Obr. 23 Vhodné dávkování komponent pro nastavení optimální kalorimetrické teploty	53
Obr. 24 Porovnání grafů pro pevnost v tlaku a kalorimetrickou teplotu po 1 hodině tuhnutí	53
Obr. 25 Paretův diagram	55
Obr. 26 Vliv faktorů na pevnost v tlaku po 1 hodině tuhnutí	55
Obr. 27 Vliv interakcí faktorů	56
Obr. 28 Vhodné dávkování komponent pro nastavení optimální pevnosti	56
Obr. 29 Vliv faktorů na kalorimetrickou teplotu	57
Obr. 30 Vliv interakcí	57
Obr. 31 Vhodné dávkování komponent pro nastavení optimální kalorimetrické teploty	58
Obr. 32 Porovnání grafů pro pevnost v tlaku a kalorimetrickou teplotu po 1 hodině tuhnutí	58
Obr. 33 Porovnání grafů pro pevnost v tlaku a kalorimetrickou teplotu po 1 hodině tuhnutí, při dávkování NaOH 3,5 %	59
Obr. 34 Paretův diagram	61
Obr. 35 Vliv faktorů na pevnost v tlaku po 1 hodině tuhnutí	61
Obr. 36 Vliv interakcí faktorů	62
Obr. 37 Vhodné dávkování komponent pro nastavení optimální pevnosti	62
Obr. 38 Vliv faktorů na kalorimetrickou teplotu	63
Obr. 39 Vliv interakcí	63
Obr. 40 Vhodné dávkování komponent pro nastavení optimální kalorimetrické teploty	64
Obr. 41 Porovnání grafů pro pevnost v tlaku a kalorimetrickou teplotu po 1 hodině tuhnutí	64
Obr. 42 Pevnostní přístroj LRU-D řízený PC	69

Obr. 43 Měření přetvoření - záznam dat	69
Obr. 44 Příslušné měřící body přístroje LRU-D	70
Obr. 45 Měřící body	70
Obr. 46 Program LabVIEW 8,6,; čidlo Mitutoyo	71
Obr. 47 Nastavení příslušného rozsahu	71
Obr. 48 Nastavení rozsahu v programu na PC	71
Obr. 49 Spuštění programu	72
Obr. 50 Spuštění měření	72
Obr. 51 Uložení naměřených hodnot	73
Obr. 52 Záznam přetvoření z přístroje LRU-D	74
Obr. 53 Princip stanovení deformace na přístroji LRU-D	75
Obr. 54 Kalorimetrie ST směsí	87
Obr. 55 Plastická deformace po 30 minutách tuhnutí	92
Obr. 56 Plastická deformace po 60 minutách tuhnutí	92

SEZNAM TABULEK

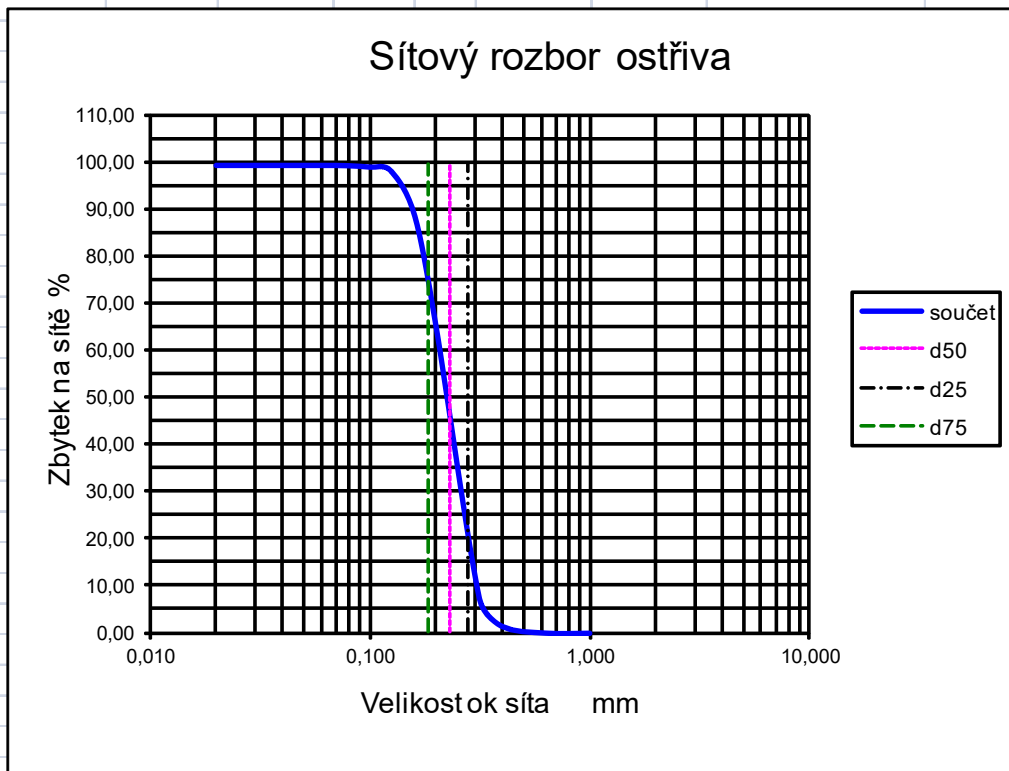
Tab. 1. Popis stupňů hydratace portlandského cementu	20
Tab. 2 Návrh experimentu s urychlující přísadou CaCl_2 - 3 faktory ve 2 úrovních	40
Tab. 3 Návrh experimentu s urychlující přísadou NaOH - 3 faktory ve 2 úrovních	41
Tab. 4 Návrh experimentu s urychlující přísadou Li_2CO_3 - 3 faktory ve 2 úrovních	41
Tab. 5 Složení cementových samotvrdnoucích směsí, které splňují požadavek minimální pevnosti v tlaku 250 kPa po 1 hodině vytvrzování. Toto kritérium splňuje 54 z původních 272 navržených a provedených měření	44
Tab. 6 Složení cementových samotvrdnoucích směsí, které splňují požadavek minimální pevnosti v tlaku 250 kPa po 1 hodině vytvrzování doplněné o hodnoty odečtené z kalorimetrické křivky: T_1 teplota směsi po 1 hodině vytvrzování, T_{max} – maximální teplota směsi, t_{max} – čas vytvrzování při dosažení maximální teploty směsi	47
Tab. 7 Návrh experimentu s urychlující přísadou CaCl_2 - 3 faktory ve 2 úrovních	48
Tab. 8 Návrh experimentu s urychlující přísadou NaOH - 3 faktory ve 2 úrovních	48
Tab. 9 Návrh experimentu s urychlující přísadou Li_2CO_3 - 3 faktory ve 2 úrovních	48
Tab. 10 Návrh kombinace složení pro urychlující přísadu CaCl_2	49
Tab. 11 Návrh kombinace složení pro urychlující přísadu NaOH	54
Tab. 12 Návrh kombinace složení pro urychlující přísadu Li_2CO_3	60
Tab. 13 Stanovené měřicí konstanty	76
Tab. 14 Složení cementových samotvrdnoucích směsí, které splňují požadavek minimální pevnosti v tlaku 250 kPa po 1 hodině vytvrzování doplněné o hodnoty odečtené z kalorimetrické křivky: T_1 teplota směsi po 1 hodině vytvrzování, T_{max} – maximální teplota směsi, t_{max} – čas vytvrzování při dosažení maximální teploty směsi a hodnoty směrnice křivky vyjadřující závislost skutečné deformace jednotlivých směsí na čase (měřeno na zkušebním vzorku po 1 hod. vytvrzování)	79
Tab. 15 Pevnosti v tlaku samotvrdnoucích směsí	85
Tab. 16 Rozpis nákladů složek na 100 kg směsi - varianta 1	88
Tab. 17 Rozpis nákladů složek na 100 kg směsi - varianta 2	89
Tab. 18 Rozpis nákladů složek na 100 kg směsi - varianta 3	89
Tab. 19 Rozpis nákladů složek na 100 kg směsi - varianta 4	89
Tab. 20 Rozpis nákladů složek na 100 kg směsi - varianta 5	90
Tab. 21 Rozpis nákladů složek na 100 kg směsi - varianta 6	90
Tab. 22 Rozpis nákladů složek na 100 kg směsi - varianta 7	90
Tab. 23 Srovnání samotvrdnoucích směsí	91
Tab. 24 Tabulka s hodnotou směrnice každé směsi	93
Tab. 25 Kompletní výsledky směsí s teplotami a hodnotou směrnice	93

PŘÍLOHY

Příloha č. 1 Součtová křivka ostřiva Šajdíkové Humence SH 34, materiálový list

VUT v Brně, FSI- ÚST odb.slévárenství	Granulometrický rozbor ostřiva
--	---------------------------------------

Vzorek č.: slév.písek	Zákazník: 0
Označení: SH 34	
Datum odběru: 3.7.2007	Zpracoval: 0
Datum zkoušky: 3.7.2007	Datum: 00.01.00



Ostřivo po výplavu	49,88
Vyplavitelné látky	0,32
%	0,64

Síta mm	zbytek		součet
	g	%	%
1,000	0,01	0,0	0,0
0,630	0,01	0,0	0,0
0,400	0,71	1,4	1,5
0,315	2,96	5,9	7,4
0,200	28,87	57,7	65,1
0,160	11,75	23,5	88,6
0,125	4,76	9,5	98,1
0,100	0,43	0,9	99,0
0,080	0,15	0,3	99,3
0,063	0,04	0,1	99,4
0,020	0,00	0,0	99,4
celkem	50,01	100	

ρ_s Sytná obj. hmotnost ostřiva g/cm ³	0
S_{th} Teoretický povrch cm ² /g:	103,03
MK_{calc} Střední velikost zm mm	0,232
AFS	58,7
d_{50} mm:	0,230
d_{75} mm:	0,183
d_{25} mm:	0,280
Pravidelnost zmitosti ostřiva d_{75}/d_{25} %	65,4
log w	51,3
log w %	49,2
Podíly ostřiva pod 0,1 mm %	0,38
n_{th} Teoretický specifický počet zm ks/g	90826,89
S_w Specifický měrný povrch cm ² /g	ndef.
K_h Koefficient hranatosti S_w/S_{th}	ndef.

Kremenný piesok SH 34

Materiálový list

Kremenný piesok SH 34 je upravená prírodná surovina. Kremenný piesok bol upravený na otierke, prepraný, triedený vodou, triedený na sítach a zbavený organických nečistôt.

Vďaka svojmu guľatému zrnú a chemickému zloženiu je tento druh zvlášť vhodný ako materiál pre zliedenstvo.

Priebežnými kontrolami zaisťujeme vysokú a trvalú kvalitu.

Forma dodávok: vlhký voľne ložený alebo sušený voľne ložený alebo sušený balený v papierových vreciach, fóliovaný na palete alebo sušený balený vo veľkoobjemových vakoch (big bag).

Zrnitostné rozdelenie

Zrornosť v mm	Zostatok na site v %		Prepad sitom v %
	Smerná hodnota	Garantovaná hodnota	Smerná hodnota
0,71			100
0,5	0,1	max.1	99,9
0,355	1,7	0,5-8	98,2
0,25	43	35-55	55,2
0,18	42	30-50	13,2
0,125	12	7-20	1,2
0,09	1,2	max.3	
<		max. 0,5	

Chemická analýza (hm.-%)

Prvok	Smerná hodnota	Garantovaná hodnota
SiO ₂	97	96-98
Al ₂ O ₃	1,9	max.2,5
Fe ₂ O ₃	0,19	max.0,25

Fyzikálne vlastnosti

Sypná hmotnosť	1,5 t/m ³	stredné zrno (d50)	0,24 mm
Hustota	2,65 t/m ³	AFS-číslo	56
Tvrdosť	7 Mohs	Strata žíhaním	<0,3%
Vyplaviteľné látky	0,2 %	Začiatok spekania*	~1420 °C

*podľa ÖGI

CAS-č.:14808-60-7

EINECS-č.:2388784

HS-č.: 250 510 000

Kremenný piesok je upravená nerastná surovina. Všetky údaje sú smerné hodnoty podmienené geologickými pomermi ložiska a technologickým postupom výroby. Slúžia len k popisu a nepredstavujú garantované vlastnosti. Stopové množstvo hrubších a jemnejších slúžia len k popisu a nepredstavujú uistenie o vlastnostiach (garantované vlastnosti). Stopové množstvo hrubších a jemnejších podielov je možné. Užívateľmi je potrebné posúdiť vhodnosť použitia pieskov pre svoje účely. Na žiadosť radi poskytneme informácie o rozpätí tolerancií a užívateľsko-technických vlastnostiach. Predaj sa realizuje podľa našich predajných a dodacích podmienok.

KERKOSAND spol. s r.o., 90607 Šajdíkove Humence 134, Slovensko

Telefon-predaj: +421 34 69400 22; +421 34 69400 23

Fax-predaj: +421 34 69400 17

E-Mail: predaj@kerkosand.sk; kerkosand@kerkosand.sk

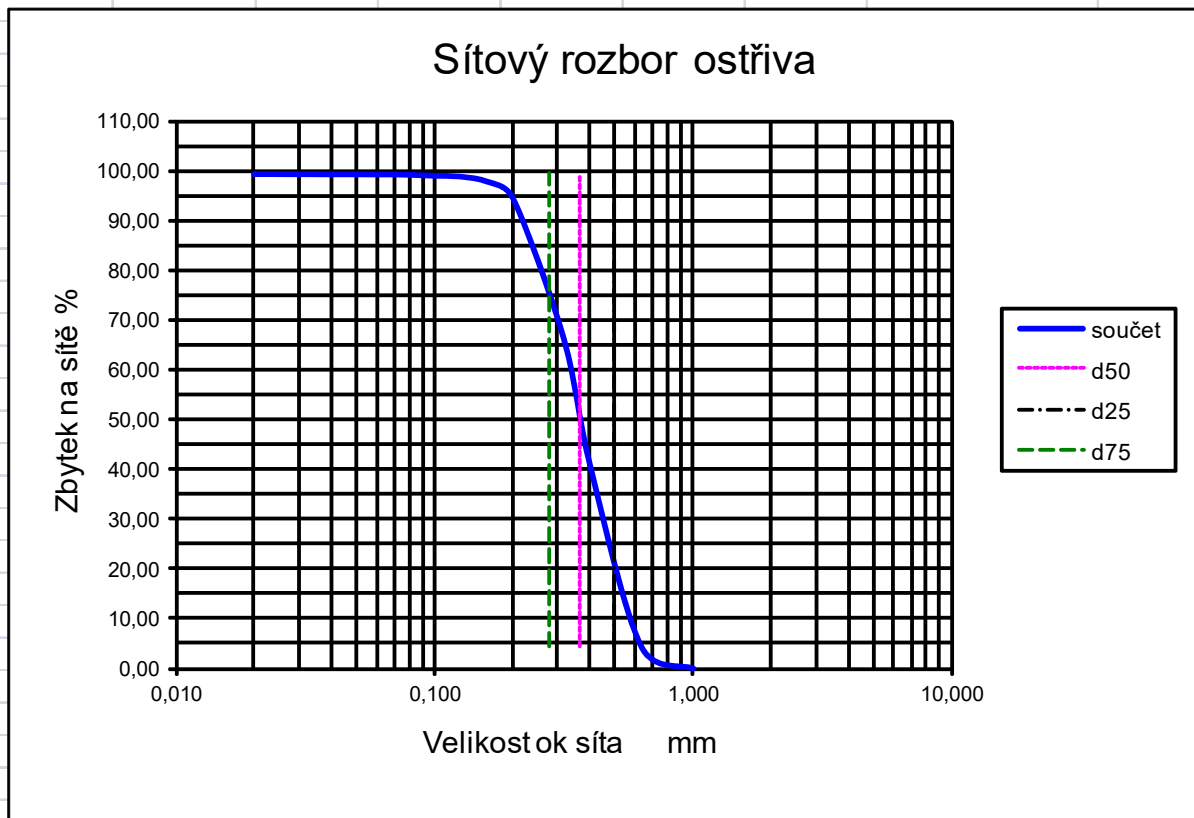
www.kerkosand.sk

07/2012

<1829>

Příloha č. 2 Součtová křivka ostřiva Šajdíkové Humence SH 32, materiálový list

VUT v Brně, FSI- ÚST odb.slévárenství		Granulometrický rozbor ostřiva	
Vzorek č.:	slév.písek	Zákazník:	0
Označení:	SH 32	Zpracoval:	Burianová
Datum odběru:	30.7.2008	Datum:	31.07.08
Datum zkoušky:	31.7.2008		



Ostřivo po výplavu	49,84
Vyplavitelné látky	0,32
%	0,64

Síta	zbytek		součet
mm	g	%	%
1,000	0,02	0,0	0,0
0,630	2,15	4,3	4,3
0,400	18,11	36,1	40,4
0,315	13,00	25,9	66,3
0,200	14,21	28,3	94,6
0,160	1,61	3,2	97,8
0,125	0,52	1,0	98,9
0,100	0,08	0,2	99,0
0,080	0,09	0,2	99,2
0,063	0,04	0,1	99,3
0,020	0,03	0,1	99,4
celkem	50,18	100	

ρ_s Sypná obj. hmotnost ostřiva g/cm ³	0
S_{th} Teoretický povrch cm ² /g:	65,71
MK_{calc} Střední velikost zrn mm	0,389
AFS	37,5
d_{50} mm:	0,369
d_{75} mm:	0,280
d_{25} mm:	0,498
Pravidelnost zrnitosti ostřiva d_{75}/d_{25} %	56,1
log w	61,1
log w %	58,7
Podíly ostřiva pod 0,1 mm %	0,32
n_{th} Teoretický specifický počet zrn ks/g	40002,13
S_w Specifický měrný povrch cm ² /g	nedef.
K_h Koeficient hranatosti S_w/S_{th}	nedef.

Kremenný piesok SH 32

Materiálový list

Kremenný piesok SH 32 je upravená prírodná surovina. Kremenný piesok bol upravený na otierke, prepraný, triedený vodou, triedený na sitách a zbavený organických nečistôt. Vďaka svojmu guľatému zrnu a chemickému zloženiu je tento druh zvlášť vhodný ako materiál pre zlievárenstvo. Pribežnými kontrolami zaisťujeme vysokú a trvalú kvalitu.

Forma dodávok: vlhký voľne ložený alebo sušený voľne ložený alebo sušený balený v papierových vreciach, fóliovaný na palete alebo sušený balený vo veľkoobjemových vakoch (big bag).

Zrnitostné rozdelenie

Zrornosť v mm	Zostatok na site v %		Prepad sitom v %
	Smerná hodnota	Garantovaná hodnota	Smerná hodnota
1		max. 0,2	
0,71	0,2	max. 1	99,8
0,5	8	3-20	91,8
0,355	52	35-65	39,8
0,25	37	20-55	2,8
0,18	2,2	max. 7	0,6
0,125	0,5	max. 2	0,1
0,09	0,1	max. 0,4	
<			

Chemická analýza (hm.-%)

Prvok	Smerná hodnota	Garantovaná hodnota
SiO ₂	98	97-99
Al ₂ O ₃	1,4	max. 2,2
Fe ₂ O ₃	0,16	max. 0,25

Fyzikálne vlastnosti

Sypná hmotnosť	1,5 t/m ³	stredné zrno (d ₅₀)	0,38 mm
Hustota	2,65 t/m ³	AFS-číslo	34
Tvrdosť	7 Mohs	Strata žíhaním	<0,3 %
Vyplaviteľné látky	0,2 %	Začiatok spekania*	~1420 °C

*podľa ÖGI

CAS-č.: 14808-60-7

EINECS-č.: 2388784

HS-č.: 250 510 000

Kremenný piesok je upravená nerastná surovina. Všetky údaje sú smerné hodnoty podmienené geologickými pomermi ložiska a technologickým postupom výroby. Slúžia len k popisu a nepredstavujú garantované vlastnosti. Stopové množstvo hrubších a jemnejších slúžia len k popisu a nepredstavujú uistenie o vlastnostiach (garantované vlastnosti). Stopové množstvo hrubších a jemnejších podielov je možné. Užívateľmi je potrebné posúdiť vhodnosť použitia pieskov pre svoje účely. Na žiadosť radi poskytneme informácie o rozpätí tolerancií a užívateľsko-technických vlastnostiach. Predaj sa realizuje podľa našich predajných a dodacích podmienok.

KERKOSAND spol. s r.o., 90607 Šajdikove Humence 134, Slovensko

Telefon-predaj: +421 34 69400 22; +421 34 69400 23

Fax-predaj: +421 34 69400 17

E-Mail: predaj@kerkosand.sk; kerkosand@kerkosand.sk

www.kerkosand.sk

07/2012

<1853>

Příloha č. 3 Portlandské cementy, materiálové listy
Portlandský cement 42,5 R [34]

Vlastnost		Průměrná hodnota	Jednotka	Metoda / poznámka
Mechanické vlastnosti				
pevnost v tlaku	1 den	15	[MPa]	EN 196-1
	2 dny	30	[MPa]	EN 196-1
	7 dní	52	[MPa]	EN 196-1
	28 dní	61	[MPa]	EN 196-1
	56 dní	66	[MPa]	EN 196-1
	90 dní	67	[MPa]	EN 196-1
pevnost v tahu za ohybu	1 den	4	[MPa]	EN 196-1
	2 dny	6	[MPa]	EN 196-1
	7 dní	8	[MPa]	EN 196-1
	28 dní	9	[MPa]	EN 196-1
	56 dní	9	[MPa]	EN 196-1
	90 dní	9	[MPa]	EN 196-1
Fyzikální vlastnosti				
normální konzistence		28,3	[%]	EN 196-3
počátek tuhnutí		196	[min]	EN 196-3
konec tuhnutí		267	[min]	EN 196-3
objemová stálost		1,0	[mm]	EN 196-3, Le Chatelier
měrný povrch		377	[m ² .kg ⁻¹]	EN 196-6, permeabilní metoda (Blaine)
střední zrno d(0,5)		20	[μm]	laserový granulometr
zbytek na sítě	20 μm	40	[%]	laserový granulometr
	45 μm	9	[%]	laserový granulometr
	90 μm	0	[%]	laserový granulometr
	125 μm	0	[%]	laserový granulometr
	200 μm	0	[%]	laserový granulometr
	250 μm	0	[%]	laserový granulometr
měrná hmotnost		3110	[kg.m ⁻³]	ČSN EN 196-6
sypná hmotnost	v cisterně	980	[kg.m ⁻³]	Přibližná hodnota při ložení cementu do autocisterny.
	v síle	1200-1600	[kg.m ⁻³]	Odhad při uskladnění v síle. Sypná hmotnost se mění v závislosti na míře setřesení výrobku, době uskladnění nebo velikosti a zaplnění síla.
barevnost	L*	60	-	Kolorimetrické měření v barevném prostoru CIELAB na cementu v práškové formě. Zdroj osvětlení D65 / 10°.
	a*	0	-	
	b*	9	-	
hydratační teplo	7 dní	300	[J.g ⁻¹]	EN 196-8

Vlastnost		Průměrná hodnota	Jednotka	Metoda / poznámka
Chemické vlastnosti				
obsah	CaO	65	[%]	EN 196-2, XRF
	SiO ₂	19	[%]	EN 196-2, XRF
	Al ₂ O ₃	4	[%]	EN 196-2, XRF
	Fe ₂ O ₃	3	[%]	EN 196-2, XRF
	MgO	1	[%]	EN 196-2, XRF
	SO ₃	3,0	[%]	EN 196-2, XRF
	S ²⁻	0,04	[%]	EN 196-2
	Cl	0,051	[%]	EN 196-2, XRF
	K ₂ O	0,75	[%]	EN 196-2, XRF
	Na ₂ O	0,15	[%]	EN 196-2, XRF
Na ₂ O ekvivalent		0,65	[%]	EN 196-2, XRF, (Na ₂ O + 0,658.K ₂ O)
nerozpustný zbytek		0,7	[%]	EN 196-2
ztráta žháním		3,1	[%]	EN 196-2
Složení				
obsah slínku		90	[%]	Z hmotností konečného cementu, % včetně obsahu siranu vápenatého a případných přísad.
Složení slínku				
obsah	MgO	1,4	[%]	XRF
	C ₁ S	67	[%]	XRF, C ₁ S = 4,071.CaO - 1,4297.Fe ₂ O ₃ - 6,7187.Al ₂ O ₃ - 7,6024.SiO ₂
	C ₂ S	11	[%]	XRF, C ₂ S = - 3,071.CaO + 1,0785.Fe ₂ O ₃ + 5,0583.Al ₂ O ₃ + 8,6024.SiO ₂
	C ₃ A	7	[%]	XRF, C ₃ A = - 1,692.Fe ₂ O ₃ + 2,6504.Al ₂ O ₃
	C ₄ AF	11	[%]	XRF, C ₄ AF = 3,043.Fe ₂ O ₃

Portlandský cement 52,5 R [35]

Vlastnost		Průměrná hodnota	Jednotka	Metoda / poznámka
Mechanické vlastnosti				
pevnost v tlaku	1 den	25	[MPa]	EN 196-1
	2 dny	38	[MPa]	EN 196-1
	7 dní	61	[MPa]	EN 196-1
	28 dní	66	[MPa]	EN 196-1
	56 dní	69	[MPa]	EN 196-1
	90 dní	70	[MPa]	EN 196-1
pevnost v tahu za ohybu	1 den	5	[MPa]	EN 196-1
	2 dny	7	[MPa]	EN 196-1
	7 dní	8	[MPa]	EN 196-1
	28 dní	9	[MPa]	EN 196-1
	56 dní	9	[MPa]	EN 196-1
	90 dní	9	[MPa]	EN 196-1
Fyzikální vlastnosti				
normální konzistence		29,9	[%]	EN 196-3
počátek tuhnutí		171	[min]	EN 196-3
konec tuhnutí		210	[min]	EN 196-3
objemová stálost		1,3	[mm]	EN 196-3, Le Chatelier
měrný povrch		497	[m ² .kg ⁻¹]	EN 196-6, permeabilní metoda (Blaine)
střední zrno d(0,5)		11	[μm]	laserový granulometr
zbytek na síti	20 μm	24	[%]	laserový granulometr
	45 μm	3	[%]	laserový granulometr
	90 μm	1	[%]	laserový granulometr
	125 μm	1	[%]	laserový granulometr
	200 μm	0	[%]	laserový granulometr
	250 μm	0	[%]	laserový granulometr
měrná hmotnost		3140	[kg.m ⁻³]	ČSN EN 196-6
sypná hmotnost	v cisterně	950	[kg.m ⁻³]	Přibližná hodnota při ložení cementu do autocisterny.
	v síle	1200-1600	[kg.m ⁻³]	Odhad při uskladnění v síle. Sypná hmotnost se mění v závislosti na míře setřesení výrobku, době uskladnění nebo velikosti a zaplnění síla.
barevnost	L*	62	-	Kolorimetrické měření v barevném prostoru CIELAB na cementu v práškové formě. Zdroj osvětlení D65 / 10°.
	a*	0	-	
	b*	10	-	
hydratační teplo	7 dní	370	[J.g ⁻¹]	EN 196-8

Vlastnost		Průměrná hodnota	Jednotka	Metoda / poznámka
Chemické vlastnosti				
obsah	CaO	65	[%]	EN 196-2, XRF
	SiO ₂	20	[%]	EN 196-2, XRF
	Al ₂ O ₃	5	[%]	EN 196-2, XRF
	Fe ₂ O ₃	3	[%]	EN 196-2, XRF
	MgO	1	[%]	EN 196-2, XRF
	SO ₃	2,7	[%]	EN 196-2, XRF
	S ⁺	0,03	[%]	EN 196-2
	Cl ⁻	0,044	[%]	EN 196-2, XRF
	K ₂ O	0,74	[%]	EN 196-2, XRF
	Na ₂ O	0,17	[%]	EN 196-2, XRF
Na ₂ O ekvivalent		0,65	[%]	EN 196-2, XRF, (Na ₂ O + 0,658 K ₂ O)
nerozpuštěný zbytek		0,5	[%]	EN 196-2
ztráta žháním		1,8	[%]	EN 196-2
Složení				
obsah slínku		93	[%]	Z hmotnosti konečného cementu, tj. včetně obsahu síranu vápenatého a případných přísad.
Složení slínku				
obsah	MgO	1,4	[%]	XRF
	C ₃ S	67	[%]	XRF, C ₃ S = 4,071.CaO - 1,4297.Fe ₂ O ₃ - 6,7187.Al ₂ O ₃ - 7,6024.SiO ₂
	C ₂ S	11	[%]	XRF, C ₂ S = - 3,071.CaO + 1,0785.Fe ₂ O ₃ + 5,0683.Al ₂ O ₃ + 8,6024.SiO ₂
	C ₃ A	7	[%]	XRF, C ₃ A = - 1,692.Fe ₂ O ₃ + 2,6504.Al ₂ O ₃
	C ₄ AF	11	[%]	XRF, C ₄ AF = 3,043.Fe ₂ O ₃

Příloha č. 4 Hlinitanové cementy, materiálové listy

Hlinitanový cement, typ Secar s51 [36]

1

Chemické složení

■ Hlavní složky (%)

	Al ₂ O ₃	Al ₂ O ₃ + TiO ₂	CaO	SiO ₂
Typické střední hodnoty	49.5–51.5	51.5–53.5	37.5–39.5	4–6
Limitní hodnoty	>49 %		<40 %	<7 %

■ Vedlejší složky (%)

TiO ₂	Fe ₂ O ₃ + FeO	MgO	K ₂ O + Na ₂ O	SO ₃
<4 %	<3.5 %	<1 %	<0.4 %	<0.3 %

2

Mineralogické složení

C = CaO A = Al₂O₃ S = SiO₂ T = TiO₂

■ Hlavní mineralogická fáze CA – monocalciumaluminát

■ Vedlejší fáze C₁₂A₇, C₂AS, CT

3

Fyzikální vlastnosti

- Žárovzdornost cementové pasty: cca 1440 °C
- Sypná hmotnost: cca 0,98 g/cm³
- Měrná hmotnost: cca 3,07 g/cm³
- Jemnost mletí: měrný povrch podle Blaina: 3800–4400 cm²/g (střední typická hodnota)
- Zbytek na síti 0,09: <8 % max. limitní hodnota

4

Hydraulické vlastnosti

Malta křemičitého písku je definována normou AFNOR P 15401 s blíže určeným složením:

- Malta 1/2,7, poměr cement/kamenivo
- V/C (poměr voda/cement) = 0,4
- Písek podle AFNOR P 15403 = 1350 g
- Cement Secar 51 = 500 g
- Voda = 200 g
- Doba tuhnutí se měří při 20 °C metodou podle VICATA (norma AFNOR P 15431).

	Počátek tuhnutí	Konec tuhnutí
Typické střední hodnoty	2h30–3h30	3h00–4h00
Limitní hodnoty	>2h	<4h30

■ Zpracovatelnost při 20 °C

Dynamická zpracovatelnost malty AFNOR definovaná podle normy P 15401 se měří přístrojem pro měření zpracovatelnosti LCPC (Laboratoire Central des Ponts et Chaussées).

Tento test charakterizuje reologické chování malty AFNOR (způsobnost pro zpracování vibrací).

Doba klidu malty ve formě: 15 min.

Doba roztečení při vibraci, směrná střední hodnota: 50–150 sec.

Tyto hodnoty nemohou být považovány jako střední hodnoty typické, vzhledem k podstatnému rozptylu metody.

Mechanické pevnosti při 20 °C

80% relativní vlhkost

Pevnost v tlaku (MPa)		
Doba zkoušky	6 hod.	24 hod.
Typické střední hodnoty	25–45	60–80
Limitní hodnoty	10	>50

Poznámka: Limitní hodnoty uvedené v tabulkách jsou určeny podle normy namátkové zkoušky podle ISO 3951 s přijatelnou úrovní kvality (NQA) definovanou touto normou, stanovenou na 2,5 %.

1

Chemické složení

■ Hlavní složky (%)

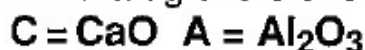
	Al ₂ O ₃	CaO
Typické střední hodnoty	69.5–71.5 %	27–29 %
Limitní hodnoty	>69 %	<30 %

■ Vedlejší složky (%)

SiO ₂	Fe ₂ O ₃	MgO	K ₂ O + Na ₂ O	TiO ₂	SO ₃
<0.8 %	<0.3 %	<0.3 %	<0.5 %	<0.1 %	<0.3 %

2

Mineralogické složení



- Hlavní mineralogické fáze
 - CA – monocalciumaluminát
 - CA₂ – calciumdialuminát
- Vedlejší fáze
 - C₁₂A₇
 - A – α – modifikace Al₂O₃

3

Fyzikální vlastnosti

- Žárovzdornost cementové pasty podle ISO R 528: cca 1680 °C.
- Sypná hmotnost: cca 0,9 g/cm³.
- Měrná hmotnost: cca 3 g/cm³.
- Jemnost mletí: Měrný povrch podle Blaina: 3900–4500 cm²/g (střední typická hodnota).
- Zbytek na síti 0,09: 5 % max. limitní hodnota.

4

Hydraulické vlastnosti

Malta z křemičitého písku je definována normou AFNOR P 15401.

- Malta 1/3, poměr cement/kamenivo
- V/C (poměr voda/cement) = 0,5
- Písek podle AFNOR P 15403 = 1350 g
- Cement Secar 71 = 450 g
- Voda = 225 g

Doba tuhnutí se měří při 20 °C metodou podle VICATA (AFNOR P 15431).

	Počátek tuhnutí	Konec tuhnutí
Typické střední hodnoty	2h30–3h30	3h00–4h00
Limitní hodnoty	>2h	<4h30

■ Zpracovatelnost při 20 °C

Reologické vlastnosti Secaru 71 lze považovat jako rozhodující pro použití v maltách a betonech klasické koncepce nebo pro nově vyvinuté technologie (LCC–ULCC). Mezi početnými možnými metodami pro zhodnocení zpracovatelnosti betonu s cementem Secar 71 (slump test, flow values) byla zvolena metoda flow test (norma ASTM C 230). Pro vyloučení vlivu žárovzdorných kameniv na reologické vlastnosti jsou zkoušky rozlívání provedeny s normovým křemičitým pískem podle P 15401 (jako při měření časů tuhnutí).

	Míra rozlívání v % po 25 nárazech (1)
Po 30 min. klidu malty v kuželové formě (1)	>30 %

(1) Počáteční průměr kužele: 100 mm.

Mechanické pevnosti při 20 °C

80% relativní vlhkost

Pevnost v tlaku (MPa)		
Doba zkoušky	6 hod.	24 hod.
Typické střední hodnoty	15–30	35–45
Limitní hodnoty	>10	>28

Poznámka: Limitní hodnoty uvedené v tabulkách jsou určeny podle normy namátkové zkoušky podle ISO 3951 s přijatelnou úrovní kvality (NQA) definovanou touto normou, stanovenou na 2,5 %.

TECHNICKÁ SPECIFIKACE ZBOŽÍ

CHLORID SODNÝ PRŮMYSLOVÝ

Název:

Charakteristika:

Sůl pro technické účely

Ostatní názvy:

Sůl průmyslová

CAS:

7647-14-5

EINECS:

231-598-3

Vzorec:

NaCl

Vzhled:

Bílé jemné krystalky bez cizích nečistot, zápachu, chuti nebo barvy

Specifikace jakosti, parametry:

Parametr	MJ	Hodnota
Chlorid sodný	%	Min. 99,0
Obsah vody	%	Max. 0,5
Zbytek nerozpustný ve vodě	%	Max. 0,05
pH 1% roztoku	-	5,5 - 8,5
Přísada proti spékání	mg/kg	Max. 10
Těžké kovy (jako Pb)	mg/kg	Max. 2

Další vlastnosti:

Parametr	MJ	Hodnota
Arsen (As)	mg/kg	Max. 0,5
Kadmium (Cd)	mg/kg	Max. 0,5
Rtuť (Hg)	mg/kg	Max. 0,1
Vápník (Ca)	mg/kg	Max. 50
Železo (Fe)	mg/kg	Max. 2
Sírany	%	Max. 0,04
Alkalita (jako Na ₂ CO ₃)	%	Max. 0,05
Sypná hmotnost	kg/dm ³	1,1 – 1,3
Velikost částic > 0,63 mm	%	Max. 5
Velikost částic > 0,2 mm	%	Min. 90
Velikost částic < 0,063 mm	%	Max. 5

Pokyny pro skladování:

Skladujte na čistém, suchém, dobře větraném místě. Uchovávejte v těsně uzavřených obalech. Chraňte před vlhkostí.

Doba expirace:

24 měsíců

Balení:

Pytle á 25 kg fixované na paletě
Volně ložené zboží

REACH:

Látka je jako minerál vyjmuta z povinnosti registrace podle přílohy č.V.

EURO – Šarm spol. s r. o.


Těšínská 222, 739 34 Šenov, Czech Republic

IČ: 63988186, DIČ: CZ63988186, bankovní spojení: KB Havířov, č. účtu 21507-791/0100

Tel.: +420 597 485 910, fax: +420 596 831 102, e-mail: eurosarm@eurosarm.cz; www.eurosarm.cz

Společnost je zapsána v obchodním rejstříku u Krajského soudu v Ostravě, oddíl C, vložka 38395

Společnost je držitelem certifikátu QMS dle ISO 9001:2008

	HYDROXID SODNÝ min. 49% technický
---	--

CAS 1310-73-2 (hydroxid sodný)

Číslo ES 215-185-5

CHARAKTERISTIKA

Hydroxid sodný technický (dále jen hydroxid sodný) je cca 50% vodný roztok hydroxidu sodného a vyrábí se elektrolytickým rozkladem roztoku chloridu sodného.

Hydroxid sodný je čirá bezbarvá viskózní kapalina, někdy slabě zakalená, bez obsahu mechanických nečistot. Snadno se rozpouští ve vodě a v alkoholu. Při styku s vodou se silně zahřívá. Má silně alkalickou reakci. Má leptavé účinky.

Hydroxid sodný se používá v chemickém, textilním, potravinářském a hutním průmyslu, při zpracování olejů a tuků, při výrobě mýdel, ve zředěném stavu k vymývání mlékárenských a pivních láhví.


Klasifikace hydroxidu sodného je provedena dle zákona č. 350/2011 Sb. (chemický zákon), Nařízení 1907/2006 (REACH) a Nařízení 1272/2008 (CLP) včetně jejich prováděcích předpisů v účinném znění, případně právních předpisů, které je v budoucnu nahradí, a je uvedena v příslušném bezpečnostním listu. Při práci a jakékoliv manipulaci s hydroxidem sodným je nezbytné dodržovat předpisy o bezpečnosti a ochraně zdraví uvedené v kapitole VI. příslušné podnikové normy a v příslušném bezpečnostním listu. Hydroxid sodný je vyráběn podle platné technologické, požární a bezpečnostní dokumentace.

TECHNICKÉ POŽADAVKY

Znak kvality	Jednotka	Hodnoty	Zkouší se podle
Celková alkalita (jako NaOH), min.	% hm.	49,0	SOP-A-185
Uhličitan sodný (Na ₂ CO ₃), max.	% hm.	0,2	SOP-A-185
Chloridy (jako NaCl), max. nebo Chloridy (jako Cl ⁻), max.	% hm. mg/kg	0,017 ^{*)} 103 ^{*)}	SOP-A-103 SOP-A-104
Železo (Fe), max.	% hm.	0,0005 ^{*)}	SOP-A-185

^{*)} Parametr zkoušen s využitím redukované kontroly. Deklarovanou úroveň jakostního parametru výrobce zaručuje, naměřená hodnota nemusí být součástí osvědčení o jakosti (atestu).

Č. výtisku / č. revize	Nahrazuje Materiálový list ze dne	Účinnost od :	Strana 1 z 1
3	2013-12-01	2015-12-01	

	KYSELINA CHLOROVODÍKOVÁ min. 30%
---	---

CAS 7647-01-0 (kyselina chlorovodíková)

Číslo ES 231-595-7

CHARAKTERISTIKA

Kyselina chlorovodíková min. 30% (dále jen kyselina chlorovodíková) je vodný roztok chlorovodíku. Získává se spalováním destilačních zbytků a odplynů z výroby vinylchloridu v jednotce TZO (termické zpracování odpadů) a absorpcí spalin ve zředěné kyselině chlorovodíkové nebo ve vodě.

Kyselina chlorovodíková je čirá bezbarvá až žlutá kapalina, štiplavého zápachu, bez mechanických nečistot. Prudce reaguje s látkami alkalické povahy (neutralizace) a některými kovy. **Pozor, napadá většinu kovů včetně nerezových ocelí a při reakci s kovy uvolňuje vodík, který se vzduchem vytváří výbušnou směs!** Má leptavé účinky.

Kyselina chlorovodíková se používá k moření kovových materiálů (např. ocelových plechů), v chemickém průmyslu a pro úpravy vody v energetice.

Klasifikace kyseliny chlorovodíkové je provedena dle zákona č. 350/2011 Sb. (chemický zákon), Nařízení 1907/2006 (REACH) a Nařízení 1272/2008 (CLP) včetně jejich prováděcích předpisů v účinném znění, případně právních předpisů, které je v budoucnu nahradí, a je uvedena v příslušném bezpečnostním listu.

Při práci a jakékoliv manipulaci s kyselinou chlorovodíkovou je nezbytné dodržovat předpisy o bezpečnosti a ochraně zdraví uvedené v kapitole VI. příslušné podnikové normy a v příslušném bezpečnostním listu.

Kyselina chlorovodíková je vyráběna podle platné technologické, požární a bezpečnostní dokumentace.

TECHNICKÉ POŽADAVKY

Znak kvality	Jednotka	Hodnoty	Zkouší se podle
Chlorovodík (HCl), min.	% hm.	30,0	SOP-A-211
Železo (Fe), max.	% hm.	0,005	SOP-A-211
Volný chlor, max.	% hm.	0,01	SOP-A-211
Sírany (SO ₄ ²⁻), max.	% hm.	0,015	SOP-A-211
Vyžíhaný odparek (jako SO ₄ ²⁻), max.	% hm.	0,1	SOP-A-211
Vzhled	-	vyhovující	SOP-A-211

Č. výtisku / č. revize	Nahrazuje Materiálový list ze dne	Účinnost od :	Strana 1 z 1
1	2005-01-04	2015-12-01	

Chlorid vápenatý granulovaný - technický

Chemický název: Chlorid vápenatý

Chemický vzorec: CaCl₂

Charakteristika: Chlorid vápenatý granule – technický jsou bílé částice o velikosti 1-6 mm, hygroskopické, ve vodě rozpustné.

Specifikace:

Parametry		Garantované	Měřené	Metodika č.
CaCl ₂	%	min. 97,0	ANO	Pp3_1.19
Ner rozpustný zbytek v H ₂ O	%	max. 0,1	ANO	Pp3_1.19
Fe	mg.kg ⁻¹	max. 100,0	ANO	Pp3_1.19
Propad sítem 0,6 mm	%	max. 20,0	ANO	Pp3_1.19

Balení: Chlorid vápenatý granule se balí do 25 kg PE pytlů s protismykovou úpravou, jsou složeny po 40 ks na jednocestných paletách (1000 kg netto) fixovaných PE fólií, také v obřích kaširovaných vacích - 1000 kg netto.

Použití: CaCl₂ technický granulovaný se používá k ochraně sypkých materiálů před zmrznutím, jako přísada do posypových materiálů pro zimní údržbu komunikací a také jako dehydratační činidlo v chemickém průmyslu.

Skladování: Skladovat v neporušených původních obalech v krytých a suchých skladech.

Datum aktualizace: 1. 10. 2014

BEZPEČNOSTNÍ LIST

BEZPEČNOSTNÍ LIST

podle Nařízení (ES) č. 1907/2006/EC (REACH), ve znění nařízení č.453/2010/EC

Datum vydání: 22.3.2011

Datum revize: 1.6.2015

UHLIČITAN LITHNÝ

ODDÍL 1. IDENTIFIKACE LÁTKY / SMĚSI A SPOLEČNOSTI / PODNIKU

1.1 Identifikátor výrobku

Název:	Uhličitan lithný
Registrační číslo:	01-2119316034-53-0000
Indexové číslo:	neptřizuseno
Číslo CAS:	554-13-2
Číslo ES (EINECS):	209-062-5
Další názvy látky:	Lithium carbonate
Molární hmotnost:	73,89
Molekulový vzorec:	Li ₂ CO ₃

1.2 Příslušná určená použití látky nebo směsi a nedoporučená použití:
analytická chemie, laboratorní syntézy

1.3 Podrobné údaje o dodávce bezpečnostního listu

Distributor:	Ing. Petr Švec - PENTA a.s. Radiová 1122/1 102 00 Praha 10 IČ: 020 96 013
Telefon:	+420 226 060 681, +420 226 060 697
Fax:	+420 267 008 288
Informace k bezpečnostnímu listu:	info@pentachemicals.eu

1.4 Telefonní číslo pro naléhavé situace:

Toxicologické informační středisko, Na Bojišti 1, 128 08 Praha 2;
tel. +420 224 919 293; +420 224 915 402 (nepřetržitá lékařská služba), e-mail: tis@vfn.cz

ODDÍL 2. IDENTIFIKACE NEBEZPEČNOSTI

2.1 Klasifikace látky nebo směsi

Látka je klasifikována jako nebezpečná podle nařízení (ES) č.1272/2008.

Acute Tox. 4, orál: H302

Eye irrit. 2: H319

2.2 Prvky označení

Výstražný symbol(y) nebezpečnosti



Signální slovo: varování

Indexové číslo: neptřizuseno

Standardní věty o nebezpečnosti:

H302 Zdraví škodlivý při požití.

H319 Způsobuje vážné podráždění očí.

Postup pro bezpečné zacházení:

P280 Používejte ochranné rukavice/ochranný oděv/ochranné brýle/obličejový štít.

P305+P351+P338 Při zasahení očí: Několik minut opatrně vyplachujte vodou. Vyjměte kontaktní čočky, jsou-li nasazeny, a pokud je lze vyjmout snadno. Pokračujte ve vyplachování.

2.3 Další nebezpečnost

Nejsou známy.

Dextrin, 10g



Žlutý až žlutohnědý jemný prášek, bez cizích příměsí. Výborné pojivo a lepidlo.

Dostupnost	Skladem
Cena bez DPH	9,10 Kč
Cena vč. DPH	11 Kč

Parametry

Kategorie Chemikálie práškové

Popis

Žlutý jemný prášek vyráběný hydrolyzou karambového škrobu.

Jde o špatné pojivo, lepidlo, má vysokou rozpustnost ve vodě, užívá se i ve stádochví jako pojivo barietových směsí...

Specifikace dextrínu

Dextrin max. 99%, standardní hodnota 97%

pH max. 3,5 standardní hodnota 3,0

Těsnění lysocel (mmol/kg suš.) max. 60, standardní hodnota 57

Rozpuštěnost při 20°C (1% suš.) min. 98%, standardní hodnota 99%

Dextrin žlutý nespňuje kritéria pro klasifikaci jako nebezpečná látka podle směrnice 67/548/EHS (nebo 1999/45/ES) nebo nařízení 1272/2008/ES. V souladu s čl. 31, odst. 1 Nařízením Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1907/2008 není povinnost vyhotovit na ni bezpečnostní list.

Příloha č. 6 Tabulka 272 směsi - pevnosti v tlaku, kalorimetrické teploty

Číslo vzorku	Ostřivo	Cement	Plastifikační přísada		Urychlující přísada		Voda	Pevnost v tlaku v čase t_1 [kPa]	Minimální pevnost 250 kPa	Kalorimetr		
			název	dávkování	název	dávkování				teplota po hodině T_1	nejvyšší teplota T_{max}	čas [h:min]
1	SH 32	42,5 R	dextrin	0,50%	CaCl ₂	2%	4%	17,6	x	23,2	23,3	1:20
2	SH 32	42,5 R	dextrin	1,25%	CaCl ₂	2%	4%	17,8	x	22,7	22,7	1:00
3	SH 32	42,5 R	dextrin	3%	CaCl ₂	2%	4%	17,7	x	22,7	22,7	1:00
4	SH 32	42,5 R	dextrin	0,50%	CaCl ₂	2%	6,50%	16	x	22,7	22,8	1:26
5	SH 32	42,5 R	dextrin	1,25%	CaCl ₂	2%	6,50%	13,5	x	22,9	23,1	0:50
6	SH 32	42,5 R	dextrin	3%	CaCl ₂	2%	6,50%	14,5	x	20,5	22	0:10
7	SH 32	42,5 R	dextrin	0,50%	CaCl ₂	2%	9%	14,4	x	25,9	25,9	1:00
8	SH 32	42,5 R	dextrin	1,25%	CaCl ₂	2%	9%	12,6	x	24,2	24,5	1:30
9	SH 32	42,5 R	dextrin	3%	CaCl ₂	2%	9%	15,2	x	23,5	23,5	1:00
10	SH 32	42,5 R	dextrin	0,50%	CaCl ₂	3,50%	4%	23,2	x	24,1	24,1	1:00
11	SH 32	42,5 R	dextrin	1,25%	CaCl ₂	3,50%	4%	31,7	x	25,2	25,3	0:50
12	SH 32	42,5 R	dextrin	3%	CaCl ₂	3,50%	4%	21,3	x	24,8	24,9	0:40
13	SH 32	42,5 R	dextrin	0,50%	CaCl ₂	3,50%	6,50%	16,3	x	25,2	25,3	0:50
14	SH 32	42,5 R	dextrin	1,25%	CaCl ₂	3,50%	6,50%	15,5	x	23,7	23,7	1:00
15	SH 32	42,5 R	dextrin	3%	CaCl ₂	3,50%	6,50%	15,1	x	23,2	23,2	1:00
16	SH 32	42,5 R	dextrin	0,50%	CaCl ₂	3,50%	9%	13,3	x	24,1	24,1	1:00
17	SH 32	42,5 R	dextrin	1,25%	CaCl ₂	3,50%	9%	12,4	x	23,6	23,6	1:00
18	SH 32	42,5 R	dextrin	3%	CaCl ₂	3,50%	9%	12,8	x	23,1	23,2	1:10
19	SH 32	42,5 R	dextrin	0,50%	CaCl ₂	5%	4%	33,9	x	26,1	26,2	0:40
20	SH 32	42,5 R	dextrin	1,25%	CaCl ₂	5%	4%	35,9	x	26	26	1:00
21	SH 32	42,5 R	dextrin	3%	CaCl ₂	5%	4%	25,7	x	24,6	24,6	1:00
22	SH 32	42,5 R	dextrin	0,50%	CaCl ₂	5%	6,50%	21,3	x	25,2	25,4	0:40
23	SH 32	42,5 R	dextrin	1,25%	CaCl ₂	5%	6,50%	20,9	x	25,2	25,4	0:40
24	SH 32	42,5 R	dextrin	3%	CaCl ₂	5%	6,50%	19,5	x	24,9	25,2	0:40
25	SH 32	42,5 R	dextrin	0,50%	CaCl ₂	5%	9%	15,6	x	25	25,2	0:40
26	SH 32	42,5 R	dextrin	1,25%	CaCl ₂	5%	9%	16,4	x	24,5	24,8	0:40
27	SH 32	42,5 R	dextrin	3%	CaCl ₂	5%	9%	17	x	25,6	25,8	0:40
28	SH 32	S 51	dextrin	0,50%	CaCl ₂	2%	4%	42,6	x	25,8	26,4	0:40
29	SH 32	S 51	dextrin	1,25%	CaCl ₂	2%	4%	65,5	x	26,2	26,2	1:00
30	SH 32	S 51	dextrin	3%	CaCl ₂	2%	4%	116	x	25,1	25,1	1:00
31	SH 32	S 51	dextrin	0,50%	CaCl ₂	2%	6,50%	15,4	x	24,3	24,6	0:50
32	SH 32	S 51	dextrin	1,25%	CaCl ₂	2%	6,50%	28,6	x	25,3	25,5	0:40
33	SH 32	S 51	dextrin	3%	CaCl ₂	2%	6,50%	27,2	x	25,3	25,4	0:04
34	SH 32	S 51	dextrin	0,50%	CaCl ₂	2%	9%	19,7	x	23,3	23,3	1:00
35	SH 32	S 51	dextrin	1,25%	CaCl ₂	2%	9%	0	x	27,3	27,3	1:00
36	SH 32	S 51	dextrin	3%	CaCl ₂	2%	9%	0	x	27,2	27,2	1:00
37	SH 32	S 51	dextrin	0,50%	CaCl ₂	3,50%	4%	58,3	x	22,7	22,8	0:40
38	SH 32	S 51	dextrin	1,25%	CaCl ₂	3,50%	4%	120	x	23,3	23,4	0:30
39	SH 32	S 51	dextrin	3%	CaCl ₂	3,50%	4%	283,9	OK	30,8	31,1	0:43
40	SH 32	S 51	dextrin	0,50%	CaCl ₂	3,50%	6,50%	33,9	x	23,51	27,6	0:52
41	SH 32	S 51	dextrin	1,25%	CaCl ₂	3,50%	6,50%	29,4	x	25,5	25,5	1:00
42	SH 32	S 51	dextrin	3%	CaCl ₂	3,50%	6,50%	56,9	x	23,4	23,4	1:00
43	SH 32	S 51	dextrin	0,50%	CaCl ₂	3,50%	9%	21,4	x	27,4	27,6	1:35
44	SH 32	S 51	dextrin	1,25%	CaCl ₂	3,50%	9%	17,2	x	27,4	27,5	1:20
45	SH 32	S 51	dextrin	3%	CaCl ₂	3,50%	9%	0	x	22,1	22,1	1:00
46	SH 32	S 51	dextrin	0,50%	CaCl ₂	5%	4%	456,8	OK	33,4	33,5	0:40
47	SH 32	S 51	dextrin	1,25%	CaCl ₂	5%	4%	386,4	OK	33,3	33,4	0:40
48	SH 32	S 51	dextrin	3%	CaCl ₂	5%	4%	0	x	26,4	26,4	1:00
49	SH 32	S 51	dextrin	0,50%	CaCl ₂	5%	6,50%	0	x	27,2	27,2	1:00
50	SH 32	S 51	dextrin	1,25%	CaCl ₂	5%	6,50%	0	x	27,4	27,4	1:00
51	SH 32	S 51	dextrin	3%	CaCl ₂	5%	6,50%	94,9	x	23,5	23,5	1:00
52	SH 32	S 51	dextrin	0,50%	CaCl ₂	5%	9%	45,4	x	23,1	23,1	1:00
53	SH 32	S 51	dextrin	1,25%	CaCl ₂	5%	9%	0	x	25,4	25,4	1:00
54	SH 32	S 51	dextrin	3%	CaCl ₂	5%	9%	26,8	x	23,5	23,5	1:00
55	SH 32	S 71	dextrin	0,50%	CaCl ₂	2%	4%	32,8	x	26,8	27	0:30
56	SH 32	S 71	dextrin	1,25%	CaCl ₂	2%	4%	44	x	25,5	25,7	0:30
57	SH 32	S 71	dextrin	3%	CaCl ₂	2%	4%	102,7	x	22,9	25,3	0:30
58	SH 32	S 71	dextrin	0,50%	CaCl ₂	2%	6,50%	14,2	x	25,3	25,3	1:00
59	SH 32	S 71	dextrin	1,25%	CaCl ₂	2%	6,50%	18,2	x	22,6	22,7	0:40
60	SH 32	S 71	dextrin	3%	CaCl ₂	2%	6,50%	54,5	x	26,3	26,5	3:50

Číslo vzorku	Ostrivo	Cement	Plastifikační přísada		Urychlující přísada		Voda	Pevnost v tlaku v čase t_i [kPa]	Minimální pevnost 250 kPa	Kalorimetr		
			název	dávkování	název	dávkování				teplota po hodině T_1	nejvyšší teplota T_{max}	čas [hmin]
61	SH 32	S 71	dextrin	0,50%	CaCl ₂	2%	9%	12,7	x	25,7	25,7	1:00
62	SH 32	S 71	dextrin	1,25%	CaCl ₂	2%	9%	19,1	x	22,9	22,9	1:00
63	SH 32	S 71	dextrin	3%	CaCl ₂	2%	9%	0	x	25,2	25,2	1:00
64	SH 32	S 71	dextrin	0,50%	CaCl ₂	3,50%	4%	133,7	x	26,9	27,3	0:35
65	SH 32	S 71	dextrin	1,25%	CaCl ₂	3,50%	4%	94,1	x	27,1	27,5	0:35
67	SH 32	S 71	dextrin	3%	CaCl ₂	3,50%	4%	304,7	OK	27,6	28,1	0:32
68	SH 32	S 71	dextrin	0,50%	CaCl ₂	3,50%	6,50%	38,1	x	25,2	25,4	0:35
69	SH 32	S 71	dextrin	1,25%	CaCl ₂	3,50%	6,50%	50,2	x	25,8	25,9	0:42
70	SH 32	S 71	dextrin	3%	CaCl ₂	3,50%	6,50%	122,4	x	27,5	27,5	1:00
71	SH 32	S 71	dextrin	0,50%	CaCl ₂	3,50%	9%	16,9	x	25,7	25,8	0:42
72	SH 32	S 71	dextrin	1,25%	CaCl ₂	3,50%	9%	31,8	x	25	25	0:50
73	SH 32	S 71	dextrin	3%	CaCl ₂	3,50%	9%	0	x	27,4	27,4	0:42
74	SH 32	S 71	dextrin	0,50%	CaCl ₂	5%	4%	143,5	x	24,2	24,6	0:40
75	SH 32	S 71	dextrin	1,25%	CaCl ₂	5%	4%	670,6	OK	29,3	29,3	1:00
76	SH 32	S 71	dextrin	3%	CaCl ₂	5%	4%	563	OK	29,5	29,5	1:00
77	SH 32	S 71	dextrin	0,50%	CaCl ₂	5%	6,50%	86,8	x	26,7	26,9	0:40
78	SH 32	S 71	dextrin	1,25%	CaCl ₂	5%	6,50%	99,1	x	27	27	1:00
79	SH 32	S 71	dextrin	3%	CaCl ₂	5%	6,50%	191,3	x	23,2	23,2	1:00
80	SH 32	S 71	dextrin	0,50%	CaCl ₂	5%	9%	33,9	x	26,7	26,7	1:00
81	SH 32	S 71	dextrin	1,25%	CaCl ₂	5%	9%	54,7	x	26,8	26,8	1:00
82	SH 32	S 71	dextrin	3%	CaCl ₂	5%	9%	0	x	26,7	26,7	1:00
83	SH 32	S 71	dextrin	0,50%	NaOH	2%	4%	77,4	x	25,7	32,4	2:10
84	SH 32	S 71	dextrin	1,25%	NaOH	2%	4%	60,1	x	24,6	30,6	4:20
85	SH 32	S 71	dextrin	3%	NaOH	2%	4%	118,6	x	24,5	26,2	10:20
86	SH 32	S 71	dextrin	0,50%	NaOH	2%	6,50%	36,6	x	24,3	31,6	3:50
87	SH 32	S 71	dextrin	1,25%	NaOH	2%	6,50%	40,8	x	24,4	29,1	8:00
88	SH 32	S 71	dextrin	3%	NaOH	2%	6,50%	60,6	x	24	24,5	1:20
89	SH 32	S 71	dextrin	0,50%	NaOH	2%	9%	29,9	x	23,5	29,4	4:30
90	SH 32	S 71	dextrin	1,25%	NaOH	2%	9%	26,6	x	26,4	29,5	13:20
91	SH 32	S 71	dextrin	3%	NaOH	2%	9%	0	x	26,6	26,6	1:00
92	SH 32	S 71	dextrin	0,50%	NaOH	3,50%	4%	264,2	OK	33	33	1:00
93	SH 32	S 71	dextrin	1,25%	NaOH	3,50%	4%	220,2	x	26,2	26,2	1:00
94	SH 32	S 71	dextrin	3%	NaOH	3,50%	4%	301,8	OK	29,4	31	3:10
95	SH 32	S 71	dextrin	0,50%	NaOH	3,50%	6,50%	291	OK	32,8	37,6	2:15
96	SH 32	S 71	dextrin	1,25%	NaOH	3,50%	6,50%	160,4	x	25,4	27,4	2:50
97	SH 32	S 71	dextrin	3%	NaOH	3,50%	6,50%	300,8	OK	28,1	33,2	5:50
98	SH 32	S 71	dextrin	0,50%	NaOH	3,50%	9%	85	x	23,4	28,3	2:50
99	SH 32	S 71	dextrin	1,25%	NaOH	3,50%	9%	78,3	x	23,4	27,4	4:50
100	SH 32	S 71	dextrin	3%	NaOH	3,50%	9%	133,2	x	23,3	32,7	9:10
101	SH 32	S 71	dextrin	0,50%	NaOH	5%	4%	108,5	x	23,1	23,1	1:00
102	SH 32	S 71	dextrin	1,25%	NaOH	5%	4%	83,6	x	23	23	1:00
103	SH 32	S 71	dextrin	3%	NaOH	5%	4%	253,9	OK	33	33	1:00
104	SH 32	S 71	dextrin	0,50%	NaOH	5%	6,50%	471,4	OK	34,4	34,4	1:00
105	SH 32	S 71	dextrin	1,25%	NaOH	5%	6,50%	399,3	OK	39	39,6	1:30
106	SH 32	S 71	dextrin	3%	NaOH	5%	6,50%	615,9	OK	31,6	35,2	2:50
107	SH 32	S 71	dextrin	0,50%	NaOH	5%	9%	456,6	OK	37,2	38	1:26
108	SH 32	S 71	dextrin	1,25%	NaOH	5%	9%	283	OK	37,5	39,8	1:50
109	SH 32	S 71	dextrin	3%	NaOH	5%	9%	341,1	OK	31,5	38,2	3:20
110	SH 32	S 51	dextrin	0,50%	NaOH	2%	4%	134,6	x	23,9	29,2	2:30
111	SH 32	S 51	dextrin	1,25%	NaOH	2%	4%	122,4	x	23,2	28,5	4:20
112	SH 32	S 51	dextrin	3%	NaOH	2%	4%	71,7	x	26,6	29,6	7:40
113	SH 32	S 51	dextrin	0,50%	NaOH	2%	6,50%	128,6	x	23,2	28,3	3:00
114	SH 32	S 51	dextrin	1,25%	NaOH	2%	6,50%	49,4	x	22,9	28,2	5:50
115	SH 32	S 51	dextrin	3%	NaOH	2%	6,50%	64,7	x	26,5	26,6	1:26
116	SH 32	S 51	dextrin	0,50%	NaOH	2%	9%	33,5	x	27,2	34,2	4:30
117	SH 32	S 51	dextrin	1,25%	NaOH	2%	9%	28,7	x	26,7	26,7	1:00
118	SH 32	S 51	dextrin	3%	NaOH	2%	9%	24,7	x	27,2	34,1	4:30
119	SH 32	S 51	dextrin	0,50%	NaOH	3,50%	4%	244,2	x	26,4	26,4	1:00
120	SH 32	S 51	dextrin	1,25%	NaOH	3,50%	4%	140,4	x	24,8	24,8	1:00
121	SH 32	S 51	dextrin	3%	NaOH	3,50%	4%	474,5	OK	31	31,2	1:50
122	SH 32	S 51	dextrin	0,50%	NaOH	3,50%	6,50%	350,5	OK	35,2	36,6	1:40
123	SH 32	S 51	dextrin	1,25%	NaOH	3,50%	6,50%	402,6	OK	29,3	37,6	1:50
124	SH 32	S 51	dextrin	3%	NaOH	3,50%	6,50%	500,7	OK	29,3	37,6	2:50
125	SH 32	S 51	dextrin	0,50%	NaOH	3,50%	9%	170,1	x	24,8	40,2	1:50

Číslo vzorku	Ostrivo	Cement	Plastifikační přísada		Urychlující přísada		Voda	Pevnost v tlaku v čase t_1 [kPa]	Minimální pevnost 250 kPa	Kalorimetr		
			název	dávkování	název	dávkování				teplota po hodině T_1	nejvyšší teplota T_{max}	čas [h:min]
126	SH 32	S 51	dextrin	1,25%	NaOH	3,50%	9%	208,5	x	22,9	42,1	2:20
127	SH 32	S 51	dextrin	3%	NaOH	3,50%	9%	122,7	x	23,9	28,5	3:50
128	SH 32	S 51	dextrin	0,50%	NaOH	5%	4%	74	x	22,8	22,9	0:50
129	SH 32	S 51	dextrin	1,25%	NaOH	5%	4%	66,7	x	22,9	23,2	0:50
130	SH 32	S 51	dextrin	3%	NaOH	5%	4%	129,5	x	22,9	23,2	1:20
131	SH 32	S 51	dextrin	0,50%	NaOH	5%	6,50%	383,6	OK	36,6	36,9	0:55
132	SH 32	S 51	dextrin	1,25%	NaOH	5%	6,50%	385,3	OK	35,2	37,1	1:20
133	SH 32	S 51	dextrin	3%	NaOH	5%	6,50%	670,3	OK	36,7	38,4	1:30
134	SH 32	S 51	dextrin	0,50%	NaOH	5%	9%	597,7	OK	36,6	36,6	1:00
135	SH 32	S 51	dextrin	1,25%	NaOH	5%	9%	398,7	OK	39,1	40,2	1:10
136	SH 32	S 51	dextrin	3%	NaOH	5%	9%	432,5	OK	33,2	38,3	1:40
137	SH 32	42,5 R	dextrin	0,50%	NaOH	2%	4%	16	x	26,1	26,2	0:40
138	SH 32	42,5 R	dextrin	1,25%	NaOH	2%	4%	12,9	x	25,6	26,4	2:50
139	SH 32	42,5 R	dextrin	3%	NaOH	2%	4%	12,6	x	26	27,2	2:20
140	SH 32	42,5 R	dextrin	0,50%	NaOH	2%	6,50%	12	x	25,7	26,2	3:10
141	SH 32	42,5 R	dextrin	1,25%	NaOH	2%	6,50%	13,2	x	26	26,2	3:30
142	SH 32	42,5 R	dextrin	3%	NaOH	2%	6,50%	20,7	x	25,2	25,6	4:10
143	SH 32	42,5 R	dextrin	0,50%	NaOH	2%	9%	12,7	x	25,4	25,6	4:50
144	SH 32	42,5 R	dextrin	1,25%	NaOH	2%	9%	15,5	x	25,6	25,6	5:20
145	SH 32	42,5 R	dextrin	3%	NaOH	2%	9%	16,3	x	25,4	25,7	4:10
146	SH 32	42,5 R	dextrin	0,50%	NaOH	3,50%	4%	19,5	x	25,8	26,7	2:50
147	SH 32	42,5 R	dextrin	1,25%	NaOH	3,50%	4%	19,3	x	26,7	26,7	1:00
148	SH 32	42,5 R	dextrin	3%	NaOH	3,50%	4%	30,8	x	27,4	27,4	1:00
149	SH 32	42,5 R	dextrin	0,50%	NaOH	3,50%	6,50%	17	x	26,5	26,5	1:00
150	SH 32	42,5 R	dextrin	1,25%	NaOH	3,50%	6,50%	14,5	x	26,1	26,4	0:50
151	SH 32	42,5 R	dextrin	3%	NaOH	3,50%	6,50%	11,7	x	25,2	26,1	1:40
152	SH 32	42,5 R	dextrin	0,50%	NaOH	3,50%	9%	14,1	x	24,3	24,8	2:50
153	SH 32	42,5 R	dextrin	1,25%	NaOH	3,50%	9%	15,4	x	24,3	24,8	2:50
154	SH 32	42,5 R	dextrin	3%	NaOH	3,50%	9%	19,7	x	24,9	25,7	2:20
155	SH 32	42,5 R	dextrin	0,50%	NaOH	5%	4%	18,8	x	25,4	25,8	7:20
156	SH 32	42,5 R	dextrin	1,25%	NaOH	5%	4%	24,5	x	25,3	25,7	0:20
157	SH 32	42,5 R	dextrin	3%	NaOH	5%	4%	52,4	x	24,9	25,3	0:30
158	SH 32	42,5 R	dextrin	0,50%	NaOH	5%	6,50%	13,9	x	25,2	25,4	0:20
159	SH 32	42,5 R	dextrin	1,25%	NaOH	5%	6,50%	17,1	x	25,2	25,5	0:20
160	SH 32	42,5 R	dextrin	3%	NaOH	5%	6,50%	22,7	x	25,6	26,1	0:30
161	SH 32	42,5 R	dextrin	0,50%	NaOH	5%	9%	15,8	x	25,1	25,6	0:20
162	SH 32	42,5 R	dextrin	1,25%	NaOH	5%	9%	15,7	x	25,6	25,7	0:30
163	SH 32	42,5 R	dextrin	3%	NaOH	5%	9%	8,9	x	26,1	26,4	0:40
164	SH 32	42,5 R	dextrin	0,50%	Li_2CO_3	2%	4%	9,5	x	23,5	23,7	1:55
165	SH 32	42,5 R	dextrin	1,25%	Li_2CO_3	2%	4%	15,4	x	23,8	23,9	4:10
166	SH 32	42,5 R	dextrin	3%	Li_2CO_3	2%	4%	13,8	x	24,2	25,3	4:20
167	SH 32	42,5 R	dextrin	0,50%	Li_2CO_3	2%	6,50%	12,6	x	23,8	23,9	4:10
168	SH 32	42,5 R	dextrin	1,25%	Li_2CO_3	2%	6,50%	13,4	x	23,7	23,9	4:10
169	SH 32	42,5 R	dextrin	3%	Li_2CO_3	2%	6,50%	13,6	x	24,1	24,4	3:50
170	SH 32	42,5 R	dextrin	0,50%	Li_2CO_3	2%	9%	12,8	x	23,9	24,2	0:40
171	SH 32	42,5 R	dextrin	1,25%	Li_2CO_3	2%	9%	10	x	23,9	25,5	1:20
172	SH 32	42,5 R	dextrin	3%	Li_2CO_3	2%	9%	9,9	x	27,1	31,5	2:40
173	SH 32	42,5 R	dextrin	0,50%	Li_2CO_3	3,50%	4%	11,4	x	24,5	24,5	1:00
174	SH 32	42,5 R	dextrin	1,25%	Li_2CO_3	3,50%	4%	12,6	x	23,5	23,5	1:00
175	SH 32	42,5 R	dextrin	3%	Li_2CO_3	3,50%	4%	12,2	x	23,8	23,9	3:50
176	SH 32	42,5 R	dextrin	0,50%	Li_2CO_3	3,50%	6,50%	11,4	x	23,1	23,2	1:20
178	SH 32	42,5 R	dextrin	1,25%	Li_2CO_3	3,50%	6,50%	11,9	x	23,1	23,3	1:20
179	SH 32	42,5 R	dextrin	3%	Li_2CO_3	3,50%	6,50%	14,7	x	23,7	23,7	1:00
180	SH 32	42,5 R	dextrin	0,50%	Li_2CO_3	3,50%	9%	10,7	x	24,5	24,6	1:30
181	SH 32	42,5 R	dextrin	1,25%	Li_2CO_3	3,50%	9%	10,9	x	22,9	23,1	0:50
182	SH 32	42,5 R	dextrin	3%	Li_2CO_3	3,50%	9%	11,5	x	26	26	1:00
183	SH 32	42,5 R	dextrin	0,50%	Li_2CO_3	5%	4%	14,8	x	25,6	25,8	2:10
184	SH 32	42,5 R	dextrin	1,25%	Li_2CO_3	5%	4%	12,2	x	26	26,1	3:10
185	SH 32	42,5 R	dextrin	3%	Li_2CO_3	5%	4%	15,1	x	24,3	24,7	2:40
186	SH 32	42,5 R	dextrin	0,50%	Li_2CO_3	5%	6,50%	12,2	x	24,2	24,6	2:20
187	SH 32	42,5 R	dextrin	1,25%	Li_2CO_3	5%	6,50%	11	x	25,4	25,6	3:50
188	SH 32	42,5 R	dextrin	3%	Li_2CO_3	5%	6,50%	10,8	x	25,1	25,5	0:50
189	SH 32	42,5 R	dextrin	0,50%	Li_2CO_3	5%	9%	10,4	x	25,6	25,7	0:50
190	SH 32	42,5 R	dextrin	1,25%	Li_2CO_3	5%	9%	12,6	x	25,8	25,8	1:00

Číslo vzorku	Ostrivo	Cement	Plastifikační přísada		Urychlující přísada		Voda	Pevnost v tlaku v čase t_1 [kPa]	Minimální pevnost 250 kPa	Kalorimetr		
			název	dávkování	název	dávkování				teplota po hodině T_1	nejvyšší teplota T_{max}	čas [h:min]
191	SH 32	42,5 R	dextrin	3%	L_2CO_3	5%	9%	11,7	x	25,2	25,4	0:40
192	SH 32	S 71	dextrin	0,50%	L_2CO_3	2%	4%	503,7	OK	33,9	34,2	0:40
193	SH 32	S 71	dextrin	1,25%	L_2CO_3	2%	4%	506,2	OK	33,9	35,5	1:20
194	SH 32	S 71	dextrin	3%	L_2CO_3	2%	4%	113,8	x	27,1	31,5	2:40
195	SH 32	S 71	dextrin	0,50%	L_2CO_3	2%	6,50%	316,2	OK	34,5	34,5	1:00
196	SH 32	S 71	dextrin	1,25%	L_2CO_3	2%	6,50%	930	OK	37	37	1:00
197	SH 32	S 71	dextrin	3%	L_2CO_3	2%	6,50%	16,4	x	25,3	33,9	4:40
198	SH 32	S 71	dextrin	0,50%	L_2CO_3	2%	9%	324	OK	33,8	34	1:20
199	SH 32	S 71	dextrin	1,25%	L_2CO_3	2%	9%	566,1	OK	34,1	35,4	1:40
200	SH 32	S 71	dextrin	3%	L_2CO_3	2%	9%	0	x	25,8	33,9	7:40
201	SH 32	S 71	dextrin	0,50%	L_2CO_3	3,50%	4%	117,2	x	22,7	22,8	0:40
202	SH 32	S 71	dextrin	1,25%	L_2CO_3	3,50%	4%	564,6	OK	33,7	33,7	1:01
203	SH 32	S 71	dextrin	3%	L_2CO_3	3,50%	4%	320,5	OK	31,2	32,3	1:20
204	SH 32	S 71	dextrin	0,50%	L_2CO_3	3,50%	6,50%	149,2	x	21,7	22,8	0:20
205	SH 32	S 71	dextrin	1,25%	L_2CO_3	3,50%	6,50%	490	OK	33,2	33,2	1:00
206	SH 32	S 71	dextrin	3%	L_2CO_3	3,50%	6,50%	19,2	x	24,9	36,7	2:30
207	SH 32	S 71	dextrin	0,50%	L_2CO_3	3,50%	9%	255,4	OK	32,2	32,3	0:30
208	SH 32	S 71	dextrin	1,25%	L_2CO_3	3,50%	9%	498	OK	34	34,2	0:40
209	SH 32	S 71	dextrin	3%	L_2CO_3	3,50%	9%	8,8	x	25,1	35,1	4:30
210	SH 32	S 71	dextrin	0,50%	L_2CO_3	5%	4%	55,1	x	21,9	22,2	0:30
211	SH 32	S 71	dextrin	1,25%	L_2CO_3	5%	4%	332,1	OK	32,6	33,8	0:30
212	SH 32	S 71	dextrin	3%	L_2CO_3	5%	4%	241	x	25,5	28,2	1:40
213	SH 32	S 71	dextrin	0,50%	L_2CO_3	5%	6,50%	192	x	25,6	27,7	0:30
214	SH 32	S 71	dextrin	1,25%	L_2CO_3	5%	6,50%	579,9	OK	32	32,6	0:40
215	SH 32	S 71	dextrin	3%	L_2CO_3	5%	6,50%	304,5	OK	30,7	35,1	1:50
216	SH 32	S 71	dextrin	0,50%	L_2CO_3	5%	9%	168,7	x	24,6	26,7	0:30
217	SH 32	S 71	dextrin	1,25%	L_2CO_3	5%	9%	340,4	OK	33,6	33,9	0:45
218	SH 32	S 71	dextrin	3%	L_2CO_3	5%	9%	0	x	26,2	36,5	3:50
219	SH 32	S 51	dextrin	0,50%	L_2CO_3	2%	4%	206,6	x	25,8	27	0:50
220	SH 32	S 51	dextrin	1,25%	L_2CO_3	2%	4%	193,2	x	25,1	27,6	1:20
221	SH 32	S 51	dextrin	3%	L_2CO_3	2%	4%	43,9	x	22,7	28	2:30
222	SH 32	S 51	dextrin	0,50%	L_2CO_3	2%	6,50%	850	OK	35,1	35,1	1:00
223	SH 32	S 51	dextrin	1,25%	L_2CO_3	2%	6,50%	440,7	OK	33,5	37,2	1:40
224	SH 32	S 51	dextrin	3%	L_2CO_3	2%	6,50%	12,9	x	24,9	35,8	4:30
225	SH 32	S 51	dextrin	0,50%	L_2CO_3	2%	9%	462,5	OK	33,5	34,8	1:30
226	SH 32	S 51	dextrin	1,25%	L_2CO_3	2%	9%	109,2	x	23,8	25,2	2:00
227	SH 32	S 51	dextrin	3%	L_2CO_3	2%	9%	0	x	24,9	36,5	8:30
228	SH 32	S 51	dextrin	0,50%	L_2CO_3	3,50%	4%	26,3	x	22,5	23,2	0:40
229	SH 32	S 51	dextrin	1,25%	L_2CO_3	3,50%	4%	590,1	OK	31,6	31,6	1:00
230	SH 32	S 51	dextrin	3%	L_2CO_3	3,50%	4%	101	x	26,6	26,6	1:00
231	SH 32	S 51	dextrin	0,50%	L_2CO_3	3,50%	6,50%	337	OK	36,2	36,6	0:40
232	SH 32	S 51	dextrin	1,25%	L_2CO_3	3,50%	6,50%	1220	OK	34,7	34,7	1:00
233	SH 32	S 51	dextrin	3%	L_2CO_3	3,50%	6,50%	50,2	x	26,6	38,1	2:20
234	SH 32	S 51	dextrin	0,50%	L_2CO_3	3,50%	9%	285,1	OK	31,6	31,8	0:30
235	SH 32	S 51	dextrin	1,25%	L_2CO_3	3,50%	9%	654,5	OK	34,5	34,7	0:40
236	SH 32	S 51	dextrin	3%	L_2CO_3	3,50%	9%	12,9	x	26,8	39,3	4:30
237	SH 32	S 51	dextrin	0,50%	L_2CO_3	5%	4%	73,7	x	22,4	23,1	0:20
238	SH 32	S 51	dextrin	1,25%	L_2CO_3	5%	4%	589,6	OK	33,1	33,1	1:00
239	SH 32	S 51	dextrin	3%	L_2CO_3	5%	4%	284,3	OK	31,5	34,8	1:40
240	SH 32	S 51	dextrin	0,50%	L_2CO_3	5%	6,50%	198,3	x	24,6	25,2	0:40
241	SH 32	S 51	dextrin	1,25%	L_2CO_3	5%	6,50%	850	OK	36,9	37,8	0:40
242	SH 32	S 51	dextrin	3%	L_2CO_3	5%	6,50%	69,4	x	23,4	27,9	1:50
243	SH 32	S 51	dextrin	0,50%	L_2CO_3	5%	9%	245,7	x	26,1	29,4	0:30
244	SH 32	S 51	dextrin	1,25%	L_2CO_3	5%	9%	665	OK	36,3	36,9	0:40
245	SH 32	S 51	dextrin	3%	L_2CO_3	5%	9%	23,6	x	26,1	36,3	2:10
246	SH 32	52,5 R	dextrin	0,50%	L_2CO_3	2%	4%	21,1	x	26,4	27,7	3:50
247	SH 32	52,5 R	dextrin	1,25%	L_2CO_3	2%	4%	19,6	x	26,2	27,9	3:50
248	SH 32	52,5 R	dextrin	3%	L_2CO_3	2%	4%	18,1	x	26,2	27,7	4:20
249	SH 32	52,5 R	dextrin	0,50%	L_2CO_3	2%	6,50%	13,2	x	25,7	26,9	3:50
250	SH 32	52,5 R	dextrin	1,25%	L_2CO_3	2%	6,50%	12,3	x	26,1	27,6	3:30

Číslo vzorku	Ostřívo	Cement	Plastifikační přísada		Urychlující přísada		Voda	Pevnost v tlaku v čase t_1 [kPa]	Minimální pevnost 250 kPa	Kalorimetr		
			název	dávkování	název	dávkování				teplota po hodině T_1	nejvyšší teplota T_{max}	čas [hmin]
251	SH 32	52,5 R	dextrin	3%	Li ₂ CO ₃	2%	6,50%	12,8	x	26,4	27,5	3:50
252	SH 32	52,5 R	dextrin	0,50%	Li ₂ CO ₃	2%	9%	11,7	x	22,7	23,3	3:50
253	SH 32	52,5 R	dextrin	1,25%	Li ₂ CO ₃	2%	9%	11,7	x	25,8	26,7	3:50
254	SH 32	52,5 R	dextrin	3%	Li ₂ CO ₃	2%	9%	15,5	x	26,9	27,8	3:50
255	SH 32	52,5 R	dextrin	0,50%	Li ₂ CO ₃	3,50%	4%	14,8	x	27,5	27,8	3:20
256	SH 32	52,5 R	dextrin	1,25%	Li ₂ CO ₃	3,50%	4%	12,5	x	27,1	27,7	3:50
257	SH 32	52,5 R	dextrin	3%	Li ₂ CO ₃	3,50%	4%	15,5	x	26,9	27,3	3:30
258	SH 32	52,5 R	dextrin	0,50%	Li ₂ CO ₃	3,50%	6,50%	12,8	x	27,5	27,8	2:40
259	SH 32	52,5 R	dextrin	1,25%	Li ₂ CO ₃	3,50%	6,50%	12,1	x	26,9	27,7	3:50
260	SH 32	52,5 R	dextrin	3%	Li ₂ CO ₃	3,50%	6,50%	10,7	x	26,9	27,4	2:30
261	SH 32	52,5 R	dextrin	0,50%	Li ₂ CO ₃	3,50%	9%	11,6	x	25,4	27,4	3:20
262	SH 32	52,5 R	dextrin	1,25%	Li ₂ CO ₃	3,50%	9%	12,3	x	25,4	27,6	3:20
263	SH 32	52,5 R	dextrin	3%	Li ₂ CO ₃	3,50%	9%	14,7	x	25	27,6	3:20
264	SH 32	52,5 R	dextrin	0,50%	Li ₂ CO ₃	5%	4%	12,2	x	24,6	26,7	3:20
265	SH 32	52,5 R	dextrin	1,25%	Li ₂ CO ₃	5%	4%	12,3	x	25	27,3	3:20
266	SH 32	52,5 R	dextrin	3%	Li ₂ CO ₃	5%	4%	13,5	x	25,5	27,3	3:20
267	SH 32	52,5 R	dextrin	0,50%	Li ₂ CO ₃	5%	6,50%	10	x	25,6	27,5	3:20
268	SH 32	52,5 R	dextrin	1,25%	Li ₂ CO ₃	5%	6,50%	10,2	x	24,5	26,2	3:20
269	SH 32	52,5 R	dextrin	3%	Li ₂ CO ₃	5%	6,50%	11,3	x	25	27,1	3:20
270	SH 32	52,5 R	dextrin	0,50%	Li ₂ CO ₃	5%	9%	10,8	x	25,4	27,2	3:20
271	SH 32	52,5 R	dextrin	1,25%	Li ₂ CO ₃	5%	9%	11,4	x	24,9	26,9	3:20
272	SH 32	52,5 R	dextrin	3%	Li ₂ CO ₃	5%	9%	10,4	x	25,2	26,8	3:20

Příloha č. 7 Vyhovující směsi z hlediska pevností v tlaku nad 250 kPa po 1 hodině tuhnutí

Číslo křivky	Číslo vzorku	Ostrivo	Cement	Plastifikační přísada		Urychlující přísada		Voda	Pevnost v tlaku v čase t_1 [kPa]	Kalorimetr			hodnota směrnice
				název	dávkování	název	dávkování			T_1	T_{max}	t_{max} [h:min]	
1	39	SH 32	S 51	dextrin	3%	CaCl ₂	3,50%	4%	283,9	30,8	31,04	0:43	0,0024
2	46	SH 32	S 51	dextrin	0,50%	CaCl ₂	5%	4%	456,8	37,3	37,3	1:00	0,00012
3	47	SH 32	S 51	dextrin	1,25%	CaCl ₂	5%	4%	386,4	36,4	36,4	1:00	0,00012
4	67	SH 32	S 71	dextrin	3%	CaCl ₂	3,50%	4%	304,7	27,6	28,1	0:32	0,0042
5	75	SH 32	S 71	dextrin	1,25%	CaCl ₂	5%	4%	670,6	29,3	29,3	1:00	0,0072
6	76	SH 32	S 71	dextrin	3%	CaCl ₂	5%	4%	563	29,5	29,5	1:00	0,00084
7	92	SH 32	S 71	dextrin	0,50%	NaOH	3,50%	4%	264,2	33	33	0:40	0,018
8	94	SH 32	S 71	dextrin	3%	NaOH	3,50%	4%	301,8	29,4	31	3:10	0,00459
9	95	SH 32	S 71	dextrin	0,50%	NaOH	3,50%	6,50%	291	32,8	37,6	2:15	0,015
10	97	SH 32	S 71	dextrin	3%	NaOH	3,50%	6,50%	300,8	28,1	33,2	5:50	0,0132
11	103	SH 32	S 71	dextrin	3%	NaOH	5%	4%	253,9	33	33	1:00	0,0186
12	104	SH 32	S 71	dextrin	0,50%	NaOH	5%	6,50%	471,4	34,4	34,4	1:00	0,00312
13	105	SH 32	S 71	dextrin	1,25%	NaOH	5%	6,50%	399,3	39	39,6	1:26	0,00348
14	106	SH 32	S 71	dextrin	3%	NaOH	5%	6,50%	615,9	31,6	35,2	2:50	0,00306
15	107	SH 32	S 71	dextrin	0,50%	NaOH	5%	9%	456,6	37,2	38	1:26	0,00381
16	108	SH 32	S 71	dextrin	1,25%	NaOH	5%	9%	283	37,5	39,8	1:50	0,0174
17	109	SH 32	S 71	dextrin	3%	NaOH	5%	9%	341,1	31,5	38,2	3:20	0,0084
18	121	SH 32	S 51	dextrin	3%	NaOH	3,50%	4%	474,5	31	31,2	1:50	0,000144
19	122	SH 32	S 51	dextrin	0,50%	NaOH	3,50%	6,50%	350,5	35,2	36,6	1:40	0,0066
20	123	SH 32	S 51	dextrin	1,25%	NaOH	3,50%	6,50%	402,6	29,3	37,6	1:50	0,00522
21	124	SH 32	S 51	dextrin	3%	NaOH	3,50%	6,50%	500,7	29,3	37,6	2:50	0,0072
22	131	SH 32	S 51	dextrin	0,50%	NaOH	5%	6,50%	383,6	36,6	36,9	0:55	0,0048
23	132	SH 32	S 51	dextrin	1,25%	NaOH	5%	6,50%	385,3	35,2	37,1	1:20	0,00318
24	133	SH 32	S 51	dextrin	3%	NaOH	5%	6,50%	670,3	36,7	38,4	1:30	-0,099
25	134	SH 32	S 51	dextrin	0,50%	NaOH	5%	9%	597,7	36,6	36,6	1:00	0,000924
26	135	SH 32	S 51	dextrin	1,25%	NaOH	5%	9%	398,7	39,1	40,2	1:10	0,00882
27	136	SH 32	S 51	dextrin	3%	NaOH	5%	9%	432,5	33,2	38,3	1:40	0,00192
28	192	SH 32	S 71	dextrin	0,50%	Li ₂ CO ₃	2%	4%	503,7	33,9	34,2	0:40	0,002292
29	193	SH 32	S 71	dextrin	1,25%	Li ₂ CO ₃	2%	4%	506,2	33,9	35,5	1:20	0,00246
30	195	SH 32	S 71	dextrin	0,50%	Li ₂ CO ₃	2%	6,50%	316,2	34,5	34,5	1:00	0,009504
31	196	SH 32	S 71	dextrin	1,25%	Li ₂ CO ₃	2%	6,50%	930	37	37	1:00	0,1032
32	198	SH 32	S 71	dextrin	0,50%	Li ₂ CO ₃	2%	9%	324	33,8	34	1:20	0,0012
33	199	SH 32	S 71	dextrin	1,25%	Li ₂ CO ₃	2%	9%	566,1	34,1	35,4	1:40	0,00192
34	202	SH 32	S 71	dextrin	1,25%	Li ₂ CO ₃	3,50%	4%	564,6	33,7	33,7	1:01	0,000192
35	203	SH 32	S 71	dextrin	3%	Li ₂ CO ₃	3,50%	4%	320,5	31,2	32,3	1:20	-0,0084
36	205	SH 32	S 71	dextrin	1,25%	Li ₂ CO ₃	3,50%	6,50%	490	33,2	33,2	1:00	-0,00066
37	207	SH 32	S 71	dextrin	0,50%	Li ₂ CO ₃	3,50%	9%	255,4	32,2	32,3	0:30	0,0036
38	208	SH 32	S 71	dextrin	1,25%	Li ₂ CO ₃	3,50%	9%	498	34	34,2	0:40	0,00246
39	211	SH 32	S 71	dextrin	1,25%	Li ₂ CO ₃	5%	4%	332,1	32,6	33,8	0:30	0,00456
40	214	SH 32	S 71	dextrin	1,25%	Li ₂ CO ₃	5%	6,50%	579,9	32	32,6	0:40	0,00354
41	215	SH 32	S 71	dextrin	3%	Li ₂ CO ₃	5%	6,50%	304,5	30,7	35,1	1:50	-0,0024
42	217	SH 32	S 71	dextrin	1,25%	Li ₂ CO ₃	5%	9%	340,4	33,6	33,9	0:45	-0,0006
43	222	SH 32	S 51	dextrin	0,50%	Li ₂ CO ₃	2%	6,50%	850	35,1	35,1	1:00	0,0006
44	223	SH 32	S 51	dextrin	1,25%	Li ₂ CO ₃	2%	6,50%	440,7	33,5	37,2	1:40	-0,00054
45	225	SH 32	S 51	dextrin	0,50%	Li ₂ CO ₃	2%	9%	462,5	33,5	34,8	1:30	0,0036
46	229	SH 32	S 51	dextrin	1,25%	Li ₂ CO ₃	3,50%	4%	590,1	31,6	31,6	1:00	0,001428
47	231	SH 32	S 51	dextrin	0,50%	Li ₂ CO ₃	3,50%	6,50%	337	36,2	36,6	0:40	-0,0024
48	232	SH 32	S 51	dextrin	1,25%	Li ₂ CO ₃	3,50%	6,50%	1220	34,7	34,7	1:00	-0,00048
49	234	SH 32	S 51	dextrin	0,50%	Li ₂ CO ₃	3,50%	9%	285,1	31,6	31,8	0:30	0,002988
50	235	SH 32	S 51	dextrin	1,25%	Li ₂ CO ₃	3,50%	9%	654,5	34,5	34,7	0:40	0,000072
51	238	SH 32	S 51	dextrin	1,25%	Li ₂ CO ₃	5%	4%	589,6	33,1	33,1	1:00	0,0216
52	239	SH 32	S 51	dextrin	3%	Li ₂ CO ₃	5%	4%	284,3	31,5	34,8	1:40	0,000324
53	241	SH 32	S 51	dextrin	1,25%	Li ₂ CO ₃	5%	6,50%	850	36,9	37,8	0:40	-0,00014
54	244	SH 32	S 51	dextrin	1,25%	Li ₂ CO ₃	5%	9%	665	36,3	36,9	0:40	0,00216

Příloha č. 8 Grafické průběhy přetvoření - 54 směsí

