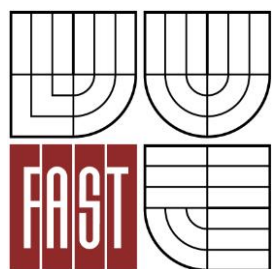




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV TECHNOLOGIE STAVEBNÍCH HMOT A DÍLCŮ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF TECHNOLOGY OF BUILDING MATERIALS AND
COMPONENTS

VÝROBA SÁDROVÝCH TVÁRNIC Z CHEMOSÁDROVCE

PRODUCTION OF GYPSUM BLOCKS FROM CHEMOGYPSUM

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. ZBYNĚK SKOUPIL

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. DOMINIK GAZDIČ, Ph.D.



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607T020 Stavebně materiálové inženýrství
Pracoviště	Ústav technologie stavebních hmot a dílců

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Diplomant	Bc. Zbyněk Skoupil
Název	Výroba sádrových tvárnic z chemosádrovce
Vedoucí diplomové práce	Ing. Dominik Gazdič, Ph.D.
Datum zadání diplomové práce	31. 3. 2015
Datum odevzdání diplomové práce	15. 1. 2016
V Brně dne 31. 3. 2015	

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Vedoucí ústavu

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

Zprávy projektu MPO TIP FR-TI2/653 2010-2013. Sborníky konferencí Maltoviny 2006-2014.
Online databáze Science Direct, Scopus, Elsevier.

ČSN EN 12859: Sádrové tvárnice - Definice, požadavky a zkušební metody

ČSN EN 13279: Sádrová pojiva a sádrové malty pro vnitřní omítky

Moore, W. J.: Fyzikální chemie, SNTL 1979

Šauman, Z.: Maltoviny I, Vysoké učení technické v Brně, 1993.

Zásady pro vypracování

V návaznosti na předchozí výzkum ÚTHD je cílem diplomové práce optimalizace složení surovinové báze pro výrobu sádrových přičkových tvárnice ze sekundárního zdroje sádrovce.

Práce bude provedena v souladu s následujícími pokyny:

- řešerše dosavadního stavu vývoje,
- studium normou předepsaných požadavků na sádrové tvárnice dle ČSN EN 12859,
- jako základní surovina bude použit chemosádrovec Pregips,
- návrh optimalizovaných receptur sádrových směsí s přidavkem vybraných modifikujících přísad, odzkoušení přídatku provzdušňující přísady, za účelem cíleného vylehčení tvárnice, hydrofobizační přísady, pro snížení nasákavosti, a pigmentů,
- výroba (odlev) sady zkušebních těles,
- stanovení základních technologických parametrů a srovnání dosažených výsledků s normovými požadavky,
- provedení kalkulace výrobních nákladů.

Rozsah práce cca 80 stran formátu A4 včetně příloh.

Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

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

.....

Ing. Dominik Gazdič, Ph.D.
Vedoucí diplomové práce

Abstrakt

Práce se zabývá výrobou sádrových tvárnic z chemosádrovce a v návaznosti na předchozí výzkum ústavu technologie stavebních hmot a dílců je cílem diplomové práce optimalizace složení surovinové báze.

V první části se práce věnuje teoretickým poznatkům v oblasti síranových pojiv a jejich využití pro výrobu sádrové tvárnice, studiu normy a rešerši dosavadního vývoje. V druhé části se práce věnuje návrhu optimalizovaných receptur a jejich modifikaci různými přísadami a provedení kalkulace výrobních nákladů.

Klíčová slova

Sádrová příčková tvárnice, chemosádrovec, optimalizace receptury, modifikující přísady, kalkulace výrobních nákladů.

Abstract

The thesis is oriented on manufacture of gypsum partition block made from chemogypsum and in continuation on previous research of institute of technology of building materials and components is aimed on optimization of raw material basis.

The first part of the task is dedicated to a theoretical knowledge in the field of gypsum binders and their use in manufacture of gypsum block, study of standard requirement and reherché of development so far. Second part is focused on design of optimized formulas and their modification with various additive and on calculating of production costs.

Keywords

Gypsum partition block, chemogypsum, optimization of formula, modifying additive, calculation of production costs.

Bibliografická citace VŠKP

Bc. Zbyněk Skoupil *Výroba sádrových tvárnic z chemosádrovce*. Brno, 2016. 82 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce Ing. Dominik Gazdič, Ph.D.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 15.1.2015

.....
podpis autora
Bc. Zbyněk Skoupil

Poděkování:

Na tomto místě bych chtěl poděkovat zejména panu Ing. Dominiku Gazdičovi, Ph.D., za odborné a pedagogické vedení, dále pak paní Prof. Ing. Marcele Fridrichové, CSc. a všem zaměstnancům ÚTHD FAST VUT Brno, kteří mi v průběhu bakalářské práce pomáhali.

Obsah

ÚVOD	12
I TEORETICKÁ ČÁST	13
1 TEORIE A HISTORICKÝ VÝVOJ SÁDROVÝCH POJIV	13
2 ROZDĚLENÍ SÁDROVÝCH MALTOVIN	14
2.1 Rychle tuhnoucí sádra	14
2.1.1 α -sádra	14
2.1.2 β -sádra	14
2.2 Anhydritové maltoviny	15
2.3 Pomalu tuhnoucí sádra	16
3 SUROVINY PRO VÝROBU SÍRANOVÝCH POJIV	17
3.1 Přírodní sádrovec	17
3.1.1 Geneze	18
3.1.2 Naleziště	18
3.2 Průmyslový sádrovec	18
3.2.1 Energosádrovec	19
3.2.2 Chemosádrovec	20
4 VYUŽITÍ SÁDRY VE STAVEBNICTVÍ	21
4.1 Použití anhydritových maltovin	21
.....	21
.....	21
4.2 Použití rychle tuhnoucí α -sádra	22
4.3 Použití rychle tuhnoucí β -sádry	22
4.3.1 Malty a omítky	22
4.3.2 Sádrokartonové desky	22
4.3.3 Sádrovláknité desky	23
4.3.4 Sádrové příčkové tvárnice	24
4.3.4.1 Výroba a vývoj sádrové tvárnice v ČR	25
4.3.4.2 Celosvětový vývoj	25
5 STUDIUM NORMOU STANOVENÝCH POŽADAVKŮ A METOD ZKOUŠENÍ SÁDROVÉ TVÁRNICE	29
5.1 Požadavky a zatřídění sádrové tvárnice	29
5.1.1 Chování při požáru	29

5.1.2	Vzduchová neprůzvučnost.....	29
5.1.3	Tepelné vlastnosti.....	30
5.1.4	Druhy sádrových tvárnic.....	30
5.1.5	Rozměry.....	31
5.1.6	Rovinnost sádrových tvárnic.....	31
5.1.7	Objemová hmotnost.....	32
5.1.8	Nasákavost.....	32
5.1.9	Obsah vlhkosti.....	32
5.1.10	Pevnost v tahu za ohybu.....	32
5.1.11	pH.....	33
5.2	Zkušební metody vybraných zkoušek.....	34
5.2.1	Příprava zkušebních vzorků.....	34
5.2.2	Měření rozměrů.....	34
5.2.3	Rovinnost.....	35
5.2.4	Hmotnost.....	35
5.2.5	Objemová hmotnost.....	35
5.2.6	Pevnost v tahu za ohybu.....	35
5.2.7	Obsah vlhkosti.....	36
5.2.8	Nasákavost.....	37
5.2.9	Měření pH.....	38
6	REŠERŠE DOSAVADNÍHO VÝVOJE SÁDROVÉ TVÁRNICE NA ÚSTAVU STAVEBNÍCH HMOT A DÍLCŮ V BRNĚ.....	39
6.1	První etapa – návrh a konstrukce formy.....	39
6.1.1	Postup práce.....	39
6.2	Druhá etapa – odlev a provedení základních zkoušek.....	42
6.2.1	Receptura.....	42
6.2.2	Postup odlévání tvárnice.....	43
6.2.3	Provedené normové zkoušky.....	43
6.3	Výsledky a závěr vyplývající z první práce.....	44
6.3.1	Vyhodnocení použití poloprovozní formy.....	44
6.3.2	Výsledky naměřených hodnot a vyhodnocení použité směsi.....	44
6.3.3	Závěr první práce.....	45
6.4	Třetí etapa – úprava formy.....	45
6.5	Čtvrtá etapa – modifikace sádrové směsi.....	46
6.5.1	Receptury.....	47

6.5.2	Provedení normových zkoušek	47
6.6	Výsledky a závěr vyplývající z druhé práce.....	48
6.6.1	Vyhodnocení úprav formy	48
6.6.2	Výsledky naměřených hodnot a vyhodnocení modifikací směsi	48
6.6.3	Závěr druhé práce	50
II	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	51
1	CÍL.....	51
2	METODIKA PRÁCE	52
3	POSTUP PRÁCE.....	53
3.1	První etapa - návrh receptur a odlev	53
3.1.1	Dávkování Berolanu	53
3.1.2	Dávkování vody a zkoušení pigmentu.....	54
3.1.3	Receptura tvarovek určených pro zkoušku nasákavosti	54
3.1.4	Odlévání tvárnic	54
3.2	Druhá etapa - provedené normové zkoušky	55
3.2.1	Stanovení rozměrů	55
3.2.2	Rovinnost	55
3.2.3	Objemová hmotnost	56
3.2.4	Pevnost v tahu za ohybu	56
3.2.5	pH.....	57
3.2.6	Nasákavost.....	57
3.2.7	Tepelná vodivost.....	58
4	POUŽITÉ SUROVINY, PŘÍSTROJE A ZAŘÍZENÍ	59
4.1	Suroviny	59
4.1.1	Sádra	59
4.1.2	Provzdušňující (plastifikační) přísada.....	59
4.1.3	Retardant	59
4.1.4	Voda	60
4.1.5	Pigmenty	60
4.1.6	Hydrofobní nátěr	60
4.2	Přístroje, zařízení a pomůcky	60
5	VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ.....	61
5.1	Vyhodnocení druhé etapy – výsledky normových zkouše	61
5.1.1	Rozměry	61
5.1.2	Rovinnost.....	62

5.1.3	Objemová hmotnost	63
5.1.4	Pevnost v tahu za ohybu (lomové zatížení)	64
5.1.5	pH.....	66
5.1.6	Nasákavost.....	67
5.1.7	Tepelná vodivost.....	67
5.2	Vyhodnocení první etapy.....	69
5.2.1	Navržené receptury	69
5.2.2	Odlev	70
5.2.3	Závislost objemové hmotnosti na dávce Berolanu	71
5.2.4	Závislost objemové hmotnosti na vodním součiniteli	71
5.2.5	Závislost pevnosti na objemové hmotnosti a druhu receptury	72
5.3	Kalkulace výrobních nákladů	73
6	DISKUZE VÝSLEDKŮ	75
	ZÁVĚR	77
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	78
	SEZNAM OBRÁZKŮ	80
	SEZNAM TABULEK.....	81
	SEZNAM GRAFŮ	82

ÚVOD

Vzhledem k malým zdrojům přírodního sádrovce na území České republiky, který navíc nedosahuje vysoké kvality, je produkce výrobků ze síranových pojiv doposud velmi závislá na dovozu surovin ze zahraničí. Z tohoto důvodu a ve stejné míře i z důvodů ekonomických a environmentálních v poslední době vzrostl zájem o využití sekundárních zdrojů síranů, vznikajících v různých odvětvích průmyslové výroby, jako je například energetický a chemický průmysl. U takto získaných surovin navíc odpadají náklady na těžbu, což z těchto sekundárních produktů tvoří ještě atraktivnější artikl.

Jedno ze široké škály uplatnění síranových pojiv je výroba sádrových příčkových tvárnic, které jsou ve světě velmi rozšířené. Jejich atraktivita stoupá díky mnoha kladným vlastnostem, jako je například tvarová a rozměrová přesnost, rychlost a jednoduchost výstavby bez potřeby omítek, zajištění příjemného klimatu v interiéru a požární odolnosti, ale zejména díky nízké ceně.

Jak už bylo výše zmíněno, spojení využití sekundárních produktů průmyslu, jako je energetický a chemický sádrovec, s výrobou sádrové příčkové tvárnice by bylo velice výhodné, zejména z důvodů dalšího snížení nákladů na výrobu a také z hlediska environmentálního. Proto je v zájmu, aby probíhal vývoj a výzkum tohoto tématu v širším rozsahu.

I TEORETICKÁ ČÁST

1 TEORIE A HISTORICKÝ VÝVOJ SÁDROVÝCH POJIV

Sádrová neboli síranová pojiva jsou anorganická prášková pojiva, která patří mezi takzvané vzdušné maltoviny. Tyto po smíchání s vodou vytváří na určitou dobu dobře zpracovatelnou hmotu, která tuhne, tvrdne a je stálá pouze na vzduchu.

Sádra jako stavební hmota vzniká zahříváním suroviny zvané sádrovec - $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ a může nabývat různých vlastností podle toho, jakým způsobem je vyráběna. Její výsledné vlastnosti mohou být do jisté míry ovlivněny i tím, z jakého zdroje je získávána surovina pro její výrobu, zda-li je sádrovec přírodní, či zda je zdrojem sekundární produkt z průmyslové výroby.

Výroba a použití vyplývá ze schopnosti výchozí suroviny uvolňovat krystalicky vázanou vodu za zvýšené teploty a opět ji vázat po jejím přidání a vytvořit tak znovu pevnou strukturu.

Použití sádry je známo už od starověku (zhruba kolem roku 7000 p.n.l.) na území Sýrie a později na území Egypta (stavba pyramid). Pálená sádra byla pravděpodobně objevena náhodou při výpalu keramiky a používala se zejména na omítky a zpevnění podlah. Později se její používání přeneslo do Řecka a Itálie a odtud do dalších částí Evropy. K širšímu využití však došlo až počátkem 19. století a od té doby se výroba sádry mnohonásobila hlavně na územích s velkými ložisky. K tomu došlo nejen díky jejím výhodným fyzikálně-technickým vlastnostem, ale i pro úsporu energie při její výrobě oproti ostatním maltovinám. [1] [2] [3]

2 ROZDĚLENÍ SÁDROVÝCH MALTOVIN

2.1 Rychle tuhnutí sádra

Do této skupiny patří pojiva získaná ohřevem sádrovce na 105 až 180 °C, kdy vlivem těchto teplot dihydrát síranu vápenatého dehydratuje a vzniká tak produkt hemihydrát síranu vápenatého, který je považován za hlavní složku rychle tuhnutí sádry. S ohledem na teplotu a tlak vodních par ve výrobním prostředí mohou vznikat dvě různé formy hemihydrátu, které jsou označovány α a β . Tyto formy se neliší krystalovou strukturou, mají však vlivem odlišných podmínek vzniku rozdílnou morfologii, a tím i různé vlastnosti. [5]

2.1.1 α -sádra

Je považována za nejjakostnější složku rychle tuhnutí sádry. Vzniká zahříváním sádrovce na 115 až 135 °C za mírného přetlaku (0,12 - 0,13 MPa) v autoklávech nebo v roztoku solí při teplotách 105 až 115 °C a atmosférickém tlaku. Má měrnou hmotnost 2,72 – 2,76 g·cm⁻³. Tvoří jehličkovité až prizmatické, dobře vyvinuté, hutné krystalky. Při stejné zrnitosti má menší pórovitost než β -modifikace, což má za následek menší potřebu vody pro přípravu kaše stejné konzistence ($w=0,35$ až 0,45). Krystalky α -hemihydrátu se při rozdělání s vodou pomalu rozpouštějí. To se projevuje pomalejším tuhnutím a vznikem uspořádanější mřížky dihydrátu, která dává po zatvrdnutí výrazně vyšší pevnosti a to 40 až 60 MPa. Díky těmto skvělým pevnostním vlastnostem se sádry tvořené převážně touto formou používají jako samonivelační podlahové směsi a hlavně jako výplň v zubním lékařství. [1] [4]

2.1.2 β -sádra

Vzniká ohřevem sádrovce na teplotu kolem 150 °C za normálního tlaku. Voda se uvolňuje ve formě páry, což se projevuje nakypřováním („vařením“) sádry ve vařácích nebo v rotačních pecích. Tento tzv. suchý způsob výroby, při němž se voda z krystalků uvolňuje v plynné formě má za následek jejich rozrušování a částice produktu tak mají nepravidelné omezení, jsou polydisperzní a trpí silnými poruchami krystalické mřížky. Sádry obsahující vyšší množství této formy pak mají horší kvalitu. Jejich pevnosti dosahují pouze 2 až 10 MPa. β -sádra neboli stavební

sádra je buď bílá, nebo šedá, což je ovlivněno obsahem jílu v surovině. Používá se v modelářství, elektrikářství, na štukové omítky a k výrobě sádrokartonových desek a příčkových tvarovek.

Společně s oběma formami hemihydrátů tvoří rychle tuhnoucí sádru i malý podíl rozpustného anhydritu III, který je směsí forem α -CaSO₄ III a β -CaSO₄ III. Po smíchání s vodou nastane stejně jako u hemihydrátů exotermická reakce, avšak vývin tepla u rozpustných anhydritů je mnohem rychlejší. Začíná se projevovat ihned po smíchání sádry s vodou na rozdíl od půlhydrátů, u kterých dosahuje maximální teploty po 20 až 100 minutách. Rozpustný CaSO₄ III tvoří xenomorfní zrna, má vodní součinitel vyšší nebo roven 1, rychleji tuhne a dává velmi malé pevnosti. Z uvedených vlastností vyplývá, že tato fáze rychle tuhnoucí sádry je nežádoucí. Za normálních podmínek je však anhydrit III nestálý a účinkem vzdušné vlhkosti přechází zpět na odpovídající hemihydráty. Čerstvě vyrobená sádra se proto nechává odležet v tzv. uzrávacích silech. Zároveň se také dbá na to, aby nežádoucí složky při výrobě vzniklo co nejméně. [1] [2] [3] [4]

2.2 Anhydritové maltoviny

Zahříváním sádrovce v intervalu 300 – 600 °C vzniká CaSO₄ II – nerozpustný anhydrit, který je krystalograficky shodný s přírodním anhydritem. Uvádí se měrná hmotnost 2,9 až 3,1 g·cm⁻³ a tvrdost 2,9 až 3,5 dle Mohse. Jak přírodní, tak i průmyslově vyráběný anhydrit II reaguje s vodou tak pomalu, že prakticky nenastává tuhnutí. Nedá se tak samostatně použít jako pojivo bez přidání látek, které jeho hydrataci umožní, tzv. budičů. Výroba anhydritové maltoviny tedy probíhá rozemletím přírodního nebo vypáleného nerozpustného anhydritu a některého z budičů. Ty jsou buď vnitřní, přidávané před výpalem sádrovce, nebo vnější, pomleté společně s přírodním nebo vypáleným anhydritem II.

Vlastnosti takto vyrobené maltoviny jsou značně ovlivněny velikostí vodního součinitele, kdy s jeho nárůstem klesají pevnosti. Ty mohou dosahovat hodnot 15 až 25 MPa. Je zajímavé, že při tvrdnutí anhydritové maltoviny zhydratuje jen asi 50% anhydritu. Tím se vysvětluje, proč je možno k anhydritovým maltovinám přidávat jen malé množství plniv bez znatelného poklesu pevností. Zbylá polovina anhydritu je totiž sama jemnou výplní. Je třeba také pamatovat na to, že tuto maltovinu nelze smíchávat s vápnem ani cementem, protože by vlivem síranového rozpínání mohlo dojít k úplnému rozrušení výrobku. Používá se jako malta na zdění a omítání, ale zejména jako samonivelační podlahový potěr, avšak pouze v suchém prostředí. [1] [2] [4]

2.3 Pomalu tuhnoucí sádra

Pomalu tuhnoucí sádra, označovaná též jako sádra pálená při vysokých teplotách, potěrová či zednická, je tvořena jemně mletým anhydritem I, CaSO_4 I. Ten se získává pálením sádrovce na teploty v intervalu od 800 do 1000 °C v šachtových nebo rotačních pecích. Při výpalu dochází ke vzniku volného CaO v množství 2 až 4 %, který působí jako vnitřní budič, a nemusíme proto hydrataci dále katalyzovat. Vlastnosti pomalu tuhnoucí sádry jsou podobné anhydritové maltovině, při tuhnutí a tvrdnutí nedochází k zvětšování objemu, ale naopak k nepatrnému smrštění. Pevnosti v tlaku dosahují nejčastěji hodnot 15 a nejvýše 30 MPa, měrná hmotnost je 2,9 až 3,0 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$, vodní součinitel 0,25-0,35. Tuhnutí nastává po dvou až pěti hodinách a končí za šest až osm hodin. Používá se pro výrobu bezspárých podlah a podlahových vrstev. Výroba je však kvůli vysokým teplotám výpalu neekonomická, takže se od ní záměrně upouští. [2] [3] [5]

3 SUROVINY PRO VÝROBU SÍRANOVÝCH POJIV

Hlavní surovinou pro výrobu sádry je hornina zvaná sádrovec ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Tu je možné najít volně v přírodě nebo ji lze získávat jako sekundární produkt průmyslové výroby. Vzhledem k tomu, že ložiska kvalitního sádrovce jsou vcelku ojedinělá a těžba není šetrná k přírodnímu prostředí, je varianta získávání sádrovce jako sekundárního produktu z průmyslové výroby výhodnější jak z ekonomického, tak i z ekologického pohledu. [2]

3.1 Přírodní sádrovec

Jedná se o průhledný, bezbarvý, bílý nebo jinak zbarvený minerál, krystalizující v monoklinické soustavě. Jeho krystaly mají mnoho tvarů, ale nejčastěji lze narazit na lupenité, tabulkové, jehličkovité až prizmatické, jemnozrné nebo čočkovité. Je možné vidět zdvojenou podobu krystalků – tzv. vlaštovčí ocasy. Ušlechtilými formami jsou jemně zrnitý a čistě bílý alabastr, hedvábný selenit, čiré mariánské sklo či shluky krystalů nazývané mariánské sklo.

Sádrovec má měrnou hmotnost $2,32 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$, tvrdost 1,5 až 2 dle Mohsovy stupnice a dobrou štěpnost. Ve vodě se rozpouští jen málo, při $18 \text{ }^\circ\text{C}$ je to asi 0,20 %, při $40 \text{ }^\circ\text{C}$ asi 0,21 % a při $100 \text{ }^\circ\text{C}$ asi 0,17 % hmotnosti. [2] [3]



Obr. 1: Saharská růže



Obr. 2: Mariánské sklo



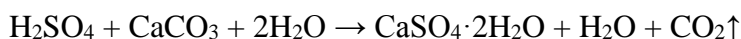
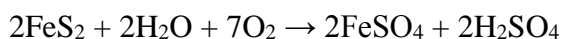
Obr. 3: Vlaštovčí ocasy

3.1.1 Geneze

Sádrovec se vyskytuje v přírodě v ložiskách, která se dle geneze dělí na primární a sekundární. Primární vznikla vypařováním vody z moří a slaných jezer. Evaporací vody se postupně zvyšovala koncentrace solí až došlo k přesycení roztoků a poté docházelo k jejich vylučování a usazování. Nejnižše se nachází síran vápenatý, který se vylučuje nejdříve, nad ním jsou rozpustnější alkalické sírany a vrchní vrstva je tvořena chloridy.

Vznik sekundárních ložisek se vysvětluje rozkladem pyritu za přítomnosti vody, vzduchu a vápence.

Přibližný průběh reakcí dle rovnic:



Některá ložiska jsou velmi čistá, jiná jsou do různé výše kontaminována anhydritem, dolomitem, vápencem, slíny, jíly a dalšími látkami. [2] [3]

3.1.2 Naleziště

Jak už bylo řečeno, množství přírodních zdrojů kvalitního sádrovce je v ČR nedostatek. Jedinou lokalitou, tvořenou výběžkem Polské pánve, kde probíhá těžba je na Opavsku. Od první poloviny 19. století do roku 1963 se těžilo z ložiska na okraji Opavy, které bylo poté zaplaveno, a těžba se přesunula do Kobeřic. Toto ložisko se rozkládá na ploše cca. 140 ha, mocnosti 35m, přičemž těžba probíhá na stávajících 60 ha od roku 1965. Nadloží je z 60 % tvořeno makrokrytalickým sádrovcem a zbytek jsou jíly. Horní etáž obsahuje 85-90 % sádrovce a sférolity jílu. Spodní šedé lavice jsou z 50 % makro i mikrokrytalické sádrovce a zbytek šedé jíly.

Dále se ložiska nacházejí na Slovensku u Spišské Nové Vsi, zde se sádrovec vyskytuje společně s anhydritem, což značně zhoršuje jak vlastnosti sádrovce, tak anhydritu. Největší naleziště sádrovce má Polsko, Německo, Rakousko, Francie, Řecko, Rusko, USA či Japonsko. [2] [3] [6]

3.2 Průmyslový sádrovec

Sádrovce ze sekundárních zdrojů lze rozdělit dle vzniku na sádrovce z chemických výrob, tzv. chemosádrovce, a sádrovce vznikající při odsiřování spalin, tzv. energosádrovce. [7] [8]

3.2.1 *Energosádrove*

V druhé polovině dvacátého století bylo uvolňováno extrémně vysoké množství oxidu uhličitého a siřičitého do atmosféry při spalování fosilních paliv v tepelných elektrárnách za účelem výroby elektrické energie. To způsobovalo značné zhoršení kvality ovzduší a narušení atmosféry a proto se začaly vyvíjet metody sloužící k odsiřování kouřových plynů. V 70. letech se začal uplatňovat systém desulfatace kouřových plynů pomocí vodní suspenze vápence nebo páleného vápna. Produktem tohoto procesu je síran vápenatý zvaný energosádrovec. S touto metodou vznikl velký zdroj sekundárního sádrovce a také řada problémů s jeho využitím a skladováním. [7] [8]

Vznik energosádrovce:

Při absorpčním odsiřování v suspenzi CaO, CaCO₃ probíhá tvorba energosádrovce následujícím způsobem:

- 1) Absorpce SO₂ přechod SO₂ z plynné fáze do suspenze
- 2) Oxidace absorbovaného SO₂ na SO₄²⁻
- 3) Krystalizace CaSO₄·2H₂O
- 4) Vyloučení vykrystalizovaného CaSO₄·2H₂O z mateřského roztoku

Dnes je nejběžnější vysokoteplotní spalování, při teplotách 1400 – 1600 °C, a dále fluidní spalování za teploty 850 °C. Podle metody spalování se volí i druh desulfatace, která se dělí podle způsobu zachycení SO₂ na mokrou, polosuchou a suchou desulfataci. [7] [8]



Obr. 4: Skládka energosádrovce

3.2.2 Chemosádrovec

Chemosádrovec vzniká při výrobě chemické, potravinářské či sklářské a také při odsiřování odpadních vod. Ve většině případů se jedná o surovinu s více jak 90% obsahem sádrovce, ale hrozí nebezpečí, že některé látky používané při výrobě, které se v menším množství vyskytují v konečném produktu, mohou ovlivnit vlastnosti chemosádrovce nežádoucím způsobem. Některé z těchto negativních vlastností však lze eliminovat a tak využít i těchto průmyslových zdrojů.

Příkladem chemosádrovce je sádrovec vznikající při čištění sírano-železnatých vod, které jsou odpadním produktem při výrobě titanové běloby z ilmenitu. Tento proces probíhá ve dvou krocích:

1) Smíchání kontaminovaných vod s vápencovou suspenzí



2) Navázání železa pomocí vzdušného vápna



4 VYUŽITÍ SÁDRY VE STAVEBNICTVÍ

Díky výhodným technickým a uživatelským vlastnostem nachází sádrová pojiva široké uplatnění zejména ve stavebním průmyslu a v menším měřítku potom i v jiných odvětvích. Nejběžnější je použití rychle tuhnoucí (modelářské, štukatérské, obyčejné) sádry zejména pro výrobu omítek a různých výrobků jako jsou sádrokartonové a sádrovláknité desky. Dále je velmi využívána tzv. anhydritová maltovina k výrobě samonivelačních podlah. Méně časté je použití jakostní α -sádry. [8]

4.1 Použití anhydritových maltovin

Anhydritové maltoviny se nejvíce využívají k výrobě samonivelačních podlahových směsí, které vynikají rychlostí pokládky. Jejich objemové změny jsou malé, takže se využívají k aplikaci podlahových topení a jsou průchozí již po 24 hodinách. [8]



Obr. 5: Pokládka samonivelační anhydritové podlahy

4.2 Použití rychle tuhnutí α -sádra

Tzv. α -sádra má díky způsobu výroby skvělé pevnostní vlastnosti, tento způsob výroby je ale nákladnější a proto je dražší i samotná α -sádra a její použití je méně časté

Využívá se v Německu k výrobě samonivelačních podlah, jako směs anhydritové maltoviny, α -sádry, kameniva, zpomalovačů a odpěňujících přísad. Tento výrobek je nazýván Estrich sádra.

Další využití nachází v dentistickém odvětví pro výrobu zubních výplní. Jedná se o jemně rozemletou směs upravenou zpomalovačem a ztekucovačem. Její název je Begostone. [8]

4.3 Použití rychle tuhnutí β -sádry

Výroba β -sádry je oproti ostatním maltovinám výhodná především díky tomu, že je k její výrobě zapotřebí výrazně nižších teplot. Díky tomu je také zapotřebí méně složitých zařízení a její výroba se tím stává více ekologická a méně nákladná. Z toho také vyplývá, že je použití β -sádry velmi rozšířené a našlo mnoho aplikací ve stavebním průmyslu. [8]

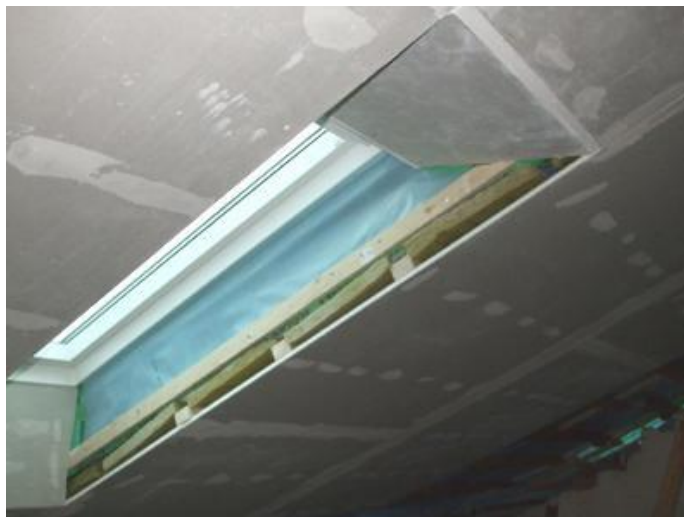
4.3.1 Malty a omítky

Velmi častou aplikací sádry je použití jako malta či omítka, kterou se stane po smíchání s plnivem – pískem, vodou a různými přísadami, jako jsou například zpomalovač tuhnutí (kyselina vinná), látky zlepšující přídržnost k podkladu a vodní retenci (étery). [8]

4.3.2 Sádrokartonové desky

Sádrokarton je složen ze sádry obohacené o další přísady, jako jsou urychlovače tuhnutí a hydrofobizátory, která se po smíchání s vodou nalévá mezi dva papírové kartony odvíjené z cívek. Ty jsou potom pomocí lisovacích válců stlačeny tlakem 1 Mpa, čímž se deska zpevní a vytvaruje. Nakonec se pás stříhacím zařízením rozdělí do požadovaných rozměrů a vysuší na 0,5 až 1,5 % vlhkosti.

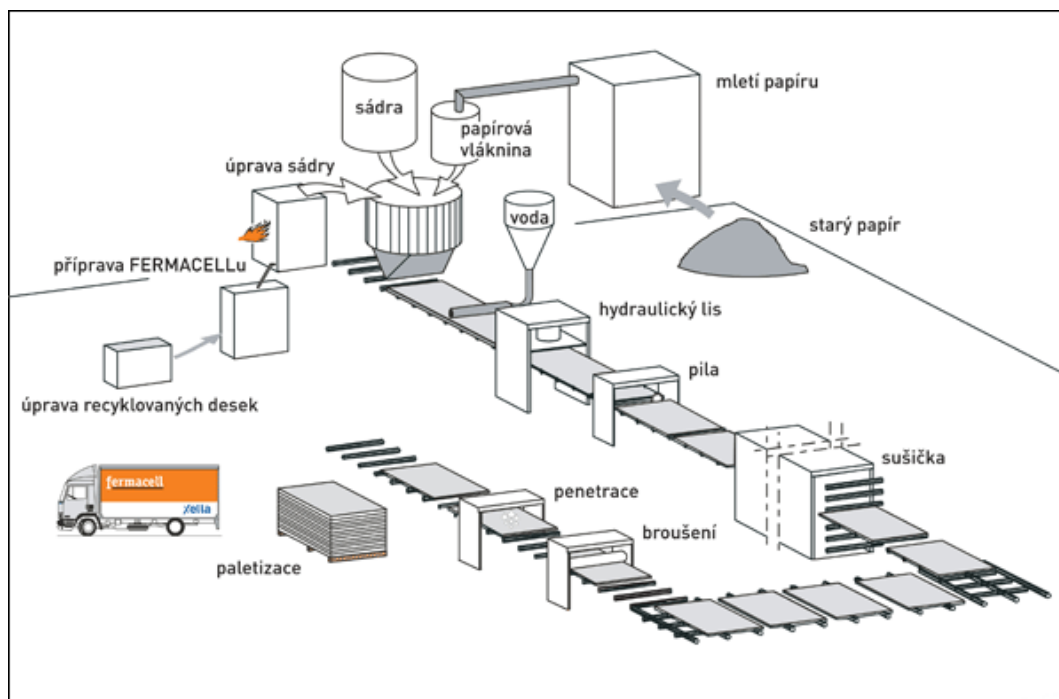
Tento stavební prvek se stal velmi oblíbeným hlavně díky snadné a rychlé instalaci, lehkosti, pevnosti, přizpůsobivosti, životnosti a ceně. Nejčastěji se používá ke stavbě předsazených stěn, příček, podhledů, šachtových stěn a podobně. [8]



Obr. 6: Aplikace sádrokartonových desek

4.3.3 Sádrovláknité desky

Tento výrobek je obdobou sádrokartonu a liší se zejména výrobou. K té se používá rozcupovaný recyklovaný papír smíchaný se sádrou, který je kladen na pás a zvlhčován vodou. Poté je stejně jako sádrokarton lisován, řezán, sušen a impregnován. Tento výrobek má lepší pevnostní parametry a může být použit ve vlhkém prostředí. [8]



Obr. 7: Schematické zobrazení výroby sádrovláknité desky firmy Farmacell

4.3.4 Sádrové příčkové tvárnice

Příčkové tvárnice ze sádry jsou plošné zdící prvky s hladkými lícovými plochami vyráběné litím sádrové kaše upravené přísadami na zlepšení jejich vlastností (ztekucovače, hydrofobizátory, zpomalovače tuhnutí) do forem a po jejich zatvrdnutí jsou 24somer24vány a přemístěny do sušáren pro odstranění přebytečné vlhkosti. Tvárnice mohou mít různé rozměry, mohou být vylehčené dutinami a jsou opatřeny perem a drážkou pro lepší skladbu jednotlivých prvků do sebe. Celosvětově je jejich výroba rozšířená a dosahuje vysoké úrovně, u nás se jejím vývojem zabývá především firma Gypstrend a ústav Technologie stavebních hmot a dílců na VUT v Brně. Normou předepisující požadavky na sádrové tvárnice je ČSN EN 12859. [8]

System vnitřního zdění ze sádrových tvárnic vyniká řadou výhod:

- suché zdění
- jednoduchá a rychlá montáž na pero a drážku za použití sádrového pojiva
- tvarová přesnost
- rozměrová stálost
- snadná opracovatelnost
- snadné zabudování instalací

- povrchová úprava stěny bez omítání
- požární odolnost
- zdravé mikroklima
- cena [8]

4.3.4.1 *Výroba a vývoj sádrové tvárnice v ČR*

Zatím jedinou českou firmou zabývající se výrobou a zlepšováním vlastností sádrové tvarovky je firma GYPSTREND, s.r.o. se sídlem v Kobeřicích u Opavy. Jejich výrobek s názvem SUPERBLOK® jsou tvárnice z lité sádry spojované sádrovým pojivem stejné firmy. Pod označením EN vyrábí tvárnice o rozměrech 666 x 500 mm o tloušťkách 60, 80, 100 mm, přičemž dvě silnější varianty (80 a 100 mm) jsou vyráběny i ve vodě odolném provedení. Dále produkují i tvárnice plné a vylehčené dutinami menšího formátu – 450 x 300 x 80 mm.

Vývojem sádrové příčkové tvárnice v ČR se už třetím rokem zabývá také ústav stavebních hmot a dílců na VUT v Brně. Tento dosavadní vývoj bude podrobněji popsán v následující kapitole. [8]

4.3.4.2 *Celosvětový vývoj*

Produkce stavebních dílců ze sádry, a to sádrových interiérových tvárníc, probíhá v zahraničí delší dobu než u nás hlavně kvůli lepší dostupnosti jakostního sádrovce. Jedná se o země jako je Francie, Německo, Rakousko, Polsko, Rusko, Čína a Indie. Ve světě sádrová tvárnice získává stále větší popularitu hlavně díky snadné, rychlé a přesné výstavbě a dalším výhodám jako je požární odolnost a udržení zdravého a příjemného mikroklimatu v interiéru.

Vzhledem k tomu, že ve většině zemí se tvarovky příliš neliší rozměry, barevným rozlišením ani systémem výroby, je zvláštní, že se dle jednotlivých států odlišují informace, které nám jsou výrobci ochotni sdělit. [9]

Produkce v zahraničí:

ISOLAVA

Isolava je dceřinou společností firmy GebrKnauf, která spojuje výrobu sádrových tvárnic v Německu, Belgii, Francii a Nizozemsku. Přestože jde o podnik vyrábějící stejný produkt, tak jsou podle regionu uváděny některé vlastnosti odlišně.

Firma Isolava vyrábí tvarovky pod označením 26somer – základní tvarovka a Hydromur – opatřena hydrofobizační přísadou, které jsou barevně odlišeny podle objemových hmotností a mohou být vylehčeny dutinami.

Výrobky jsou k dostání v různých velikostech:

Nizozemsko: 500 x 450 (640/660) x 70 (100) mm

Německo + Belgie: 500 x 666 x 50 (60/70/80/100) mm

Francie: 500 x 666 x 50 (70/100) mm

Hlavním rozdílem, uváděným výrobcem v různých zemích, u výrobků které mají jinak stejné parametry, jsou různá požární odolnost a v menším měřítku zvuková pohltivost. [10]

VG-ORTH GmbH & Co. KG

Tato společnost sídlící v Německu v Stadtoldendoru vlastní malé a středně velké podniky v různých státech a výrobky sjednocuje pod označením MULTIGIPS. Tyto tvárnice se liší vlastnostmi od výrobků dceřinné společnosti VG-ORTH Polska, která produkuje výrobky pro pobaltí, střední Evropu a Rusko.

Jedinou společnou charakteristikou uváděnou výrobcem jsou rozměry (500 x 666 x 60 (80/100) mm), přičemž pro německý trh jsou vyráběny tvárnice atypických rozměrů (500 x 500 mm). Nejvýraznější, až dvojnásobné, jsou potom rozdíly v součiniteli tepelné vodivosti. Tvarovky vylehčené dutinami tato firma nevyrábí. [11]

PLACO

Firma Placo je součástí nadnárodní korporace Saint-Gobain. Tato společnost se zaměřuje na izolační materiály a dbá na problematiku energetické náročnosti, teplotní regulace, požární ochrany a kvalitu klimatu v interiéru.

Na trh dodává sádrové tvárnice pod názvem Caroplatre v provedení Standard 5 (7/10) (obyčejné), Alvéolé 7 (vylehčené dutinami), Hydro 5 (7/10) (vodě odolné) a Hydro Alvéolé 7 (vylehčené a vodě odolné). Rozměry jsou standardní – 500 x 666 x 50 (70/100) mm. [12]

GPM

Jedná se o jednu z předních firem vyrábějící stroje a výrobní linky na zpracování sádry v Itálii. Funguje od roku 1970 a krátce poté se tato společnost zapojila do největší italské skupiny pro těžbu a zpracování sádrovce, díky tomu se významně podílí na rozvoji tohoto odvětví.

Linka vyráběná touto firmou produkuje pouze dutinové tvárnice různých rozměrů a vodě odolných úprav, což znamená úsporu materiálu, vody a energie. [13]

BALDELLI

Tato italská společnost je rozrůstající se rodinná firma, která se zabývá výrobou strojů, zařízení, technologií a výrobních linek a také výstavbou a produkcí stavebních sádrových dílců nazvaných Stefan Block 8 a 10 cm. Jak je z názvu patrné, jedná se o tvárnice tloušťky 8 a 10 cm formátu 500 x 660 cm. Stefan Block je sádrová tvárnice se systémem opatřeným perem a drážkou s možností vylehčení dutinami. [14]

GRUPO FKS

Je to brazilská firma, která se zaměřuje na africký a karibský trh. Mimo zpracování sádry se zabývá také stavebními kovovými prvky a celými stavebními projekty včetně realizace a výstavby.

Firma se prosazuje hlavně vlastním vývojem a nabízí speciální výrobky. Sádrové tvárnice Grupo FKS jsou plné i vylehčené dutinami, mohou být opatřeny hydrofobní přísadou a mají standardní rozměry 500 x 666 x 70 (100) mm. [15]

VOLMA

Tato ruská firma začala s výrobou sádrových tvarovek v roce 2003 a od roku 2014 vyrábí jak dutinové, tak plné tvárnice. Informace o výrobku této společnosti jsou však vcelku omezené, a to na rozměry (500 x 667 x 80 mm), hmotnost a zvukovou pohltivost (42 dB). [16]

MAGMA

Společnost Magma je dceřinou společností „Modrovocement“, což je jedna z nejrychleji se rozvíjejících firem v ruském stavebnictví. Zabývá se produkcí a vývojem široké škály stavebních materiálů a výrobků a stále rozšiřuje svůj sortiment. Tato firma používá k výrobě nejnovějších technologií a moderních postupů, díky čemu je dosaženo vysoké kvality.

Sádrové příčkové dílce začala společnost vyrábět od roku 2012. Její výrobní linka je sestavena firmou Grenzebach a jedná se o jednu s nejmodernějších linek na výrobu sádrových tvárnic na světě. Její technologie umožňuje rychlé i pomalé sušení a dosahuje vysokého výkonu 1750 m² tvárnic tloušťky 80 mm denně.

Tvárnice jsou jak duté tak plné, mohou být opatřeny hydrofobní ochranou a mají rozměry 500 x 667 x 80 mm. [17]

CNBM

CNBM je další přední světová firma vyrábějící stavební linky a jedna z největších v Číně. Dodává kompletní výrobní linky pro výrobu sádrových tvarovek rozměrů 500 (375) x 666 x 80 (100/120/150/180/200/220) mm s možností rozměry přizpůsobit či vylehčit výrobek dutinami. [18]

GYPSONITE MUMBAI INDIA

Tato firma je jednou z předních společností ovládající výrobu a distribuci sádrových výrobků v Asii a na Středním Východě. Produkty této firmy jsou sádrové tvarovky rozměrů 500 x 666 x 80/100 mm. [19]

5 STUDIUM NORMOU STANOVENÝCH POŽADAVKŮ A METOD ZKOUŠENÍ SÁDROVÉ TVÁRNICE

Jelikož se v experimentální části této práce zabýváme optimalizací směsi pro výrobu sádrové příčkové tvárnice, je proto nutné ozřejmit normové požadavky, zařídění a metody zkoušení tohoto výrobku.

Normou ustanovující technické parametry sádrových příčkových tvárnice, jejich zařídění a zkoušení je ČSN EN 12859 Sádrové tvárnice – Definice, požadavky a zkušební metody.

5.1 Požadavky a zařídění sádrové tvárnice

5.1.1 *Chování při požáru*

- Reakce na oheň

Sádrové tvárnice jsou zaříděny do Evropské třídy A 1 (nepřispívají k ohni) bez zkoušení, pokud obsahují méně než 1 % hmotnosti nebo objemu (podle toho co je větší) organického materiálu. Obsahují-li více než 1 % hmotnosti nebo objemu organického materiálu, musí být posouzeny a zařazeny dle EN 13501-1. [20]

- Požární odolnost

Vlastnost vztažena na smontovaný systém a ne na jednotlivé prvky. Pokud je předmětem požadavků, stanoví se a klasifikuje podle EN 13501-2. [20]

5.1.2 *Vzduchová neprůzvučnost*

Vlastnost, která je vztažena na smontovaný systém a ne na jeho jednotlivé prvky. Pokud je předmětem požadavků, stanoví se zkušebními metodami uvedenými EN ISO 10140-3 a EN ISO 717-1. [20]

5.1.3 Tepelné vlastnosti

- Tepelný odpor

Předpokládá-li se použití sádrových tvárnic pro zlepšení tepelného odporu stavebních konstrukcí, vypočítá se tepelný odpor podle vzorce v EN ISO 6946:2007. [20]

- Tepelná vodivost

Hodnoty tepelné vodivosti zatvrdlé sádrové hmoty použité pro výrobu sádrových tvárnic jsou uvedeny v tabulce 1. Tyto hodnoty jsou převzaty z EN ISO 10456:2007 a týkají se vysušeného materiálu při vnitřním použití. [20]

Tab. 1: Hodnoty tepelné vodivosti zatvrdlé sádry dle EN ISO 10456:2007 [20]

ρ [kg/m ³]	λ_{23-50} [W/(m.K)]
600	0,18
700	0,22
800	0,26
900	0,30
1000	0,34
1100	0,39
1200	0,43
1300	0,47
1400	0,51
1500	0,56

5.1.4 Druhy sádrových tvárnic

Všeobecně

Sádrové tvárnice se vyrábějí ve dvou pevnostních třídách A a R.

Sádrové tvárnice se vyrábějí ve třech druzích podle objemové hmotnosti – nízká (L), střední (M) a vysoká (D).

Sádrové tvárnice se vyrábějí ve třech třídách podle nasákavosti H1, H2 a H3. [20]

- **Barevné rozlišení**

Barevné rozlišení podle objemové hmotnosti (pouze u třídy nasákavosti H3) [20]:

Třída objemové hmotnosti D (vysoká) – Barva růžová.

Třída objemové hmotnosti M (střední) – Barva přírodní.

Třída objemové hmotnosti L (nízká) – Barva žlutá.

Barevné rozlišení podle tříd nasákavosti [20]:

Třída nasákavosti H3 – Barva přírodní.

Třída nasákavosti H2 – Barva modrá.

Třída nasákavosti H1 – Barva zelená.

5.1.5 Rozměry

Rozměr sádrové tvárnice je dán její tloušťkou, délkou a výškou. Tloušťka musí být nejméně 50 mm a nesmí být větší než 150 mm. Délka nesmí být větší než 1000 mm. Výška musí být stanovena v souladu délkou tak, aby plocha tvárnice byla nejméně 0,10 m². Pro dutinové tvárnice platí, že musí obsahovat v celé tvárnici minimálně 15 mm tlustou vrstvu bez dutin. Celkový objem dutin nesmí přesáhnout 40 % z celého objemu tvárnice. Tolerance rozměrů je pro tloušťku: ± 0,5 mm, pro délku: ± 5 mm, pro výšku ± 2mm. [20]

5.1.6 Rovinnost sádrových tvárnic

Rovinnost je dána měřením uvedeným ve zkušebních metodách a nesmí mít odchylku větší než 1 mm. [20]

5.1.7 Objemová hmotnost

Objemová hmotnost zatvrdlé hmoty sádrové tvárnice ve vysušeném stavu se dělí do tří tříd [20]:

- vysoká objemová hmotnost (D) – $1100 \leq \rho \leq 1500 \text{ kg/m}^3$
- střední objemová hmotnost (M) – $800 \leq \rho \leq 1100 \text{ kg/m}^3$
- nízká objemová hmotnost (L) – $600 \leq \rho \leq 800 \text{ kg/m}^3$

5.1.8 Nasákavost

Třídy sádrových tvárnic podle nasákavosti [20]:

- Třída H3: nasákavost není požadována
- Třída H2: nasákavost $\leq 5\%$
- Třída H1: nasákavost $\leq 2,5\%$

5.1.9 Obsah vlhkosti

Průměrný obsah vlhkosti sádrových tvárnic musí být stanoven v době expedice vzorků z výroby. Průměrný obsah vlhkosti nesmí překročit 8 % hmotnosti. [20]

5.1.10 Pevnost v tahu za ohybu

Sádrové tvárnice třídy A – běžné užití musí odolat zatížením uvedeným tabulce 2. [20]

Tab. 2: Lomové zatížení sádrových tvárnic třídy A dle ČSN EN 12859 [20]

Sádrové tvárnice delší nebo rovny 650 mm s výškou 500mm	Minimální průměrné hodnoty lomového zatížení [kN]
Plná sádrová tvárnice (střední objemová hmotnost)	
Tloušťka [mm]	
50	1,7
60	1,9
70	2,3
80	2,7

100	4
Tvárnice s dutinami s nízkou objemovou hmotností	1,7
Pro sádrové tvárnice kratší než 650 mm a/nebo s výškou rozdílnou 500 mm, hodnoty v druhém sloupečku musí být opraveny v poměru délek a/nebo výšek	

Sádrové tvárnice třídy R – zvýšené pevnosti musí odolat zatížením uvedeným v tabulce 3. [20]

Tab. 3: Lomové zatížení sádrových tvárnic třídy R dle ČSN EN 12859 [20]

Sádrové tvárnice delší nebo rovny 650 mm s výškou 500mm	Minimální průměrné hodnoty lomového zatížení [kN]
Plná sádrová tvárnice a tvárnice s dutinami (střední nebo vysoká objemová hmotnost)	
Tloušťka [mm]	
50	2,0
60	2,2
70	3,0
80	3,0
100	5,0
Pro sádrové tvárnice kratší než 650 mm a/nebo s výškou rozdílnou 500 mm, hodnoty v druhém sloupečku musí být opraveny v poměru délek a/nebo výšek	

5.1.11 pH

Povrchové pH každé sádrové tvárnice musí být uvnitř těchto intervalů [20]:

- tvárnice se standardním pH: $6,5 \leq \text{pH} \leq 10,5$
- tvárnice s nízkým pH: $4,5 \leq \text{pH} \leq 6,5$

5.2 Zkušební metody vybraných zkoušek

5.2.1 Příprava zkušebních vzorků

Všechny tvárnice se zváží a poté se vysuší do ustálené hmotnosti pro stanovení zbytkové vlhkosti před provedením různých zkoušek podle této normy.

Vysušení do ustálené hmotnosti se provede podle jedné z následujících metod:

- Metoda A – uložení ve větrané místnosti při teplotě (23 ± 2) °C a relativní vlhkosti (50 ± 5) %;
 - Metoda B – uložení v sušárně při teplotě (40 ± 2) °C před ochlazením na teplotu místnosti.
- [20]

5.2.2 Měření rozměrů

Tloušťka

Posuvným měřítkem, s přesností měření 0,1 mm, se měří vzdálenost mezi dvěma lícovými plochami tvarovky. Tloušťka musí být změřena ve středu každé strany přibližně 50 mm od svislých krajů lícových ploch. Výsledná hodnota je dána aritmetickým průměrem z naměřených hodnot.

[20]

Délka

Kovovým pravítkem nebo kovovou páskou s milimetrovou stupnicí, s přesností měření 1 mm, se měří delší rozměr lícové plochy. Délka se měří rovnoběžně s vodorovnými okraji tvárnice a to podél okrajů její lícové plochy a ve středu tvárnice bez ohledu na drážky a pera. Výsledná hodnota je dána aritmetickým průměrem naměřených hodnot. [20]

Výška

Kovovým pravítkem nebo kovovou páskou s milimetrovou stupnicí s přesností měření 1 mm, se měří kratší rozměr lícové plochy. Měření a vyjádření výsledků probíhá analogicky jako u měření délky. [20]

5.2.3 Rovinnost

Tvárnice se umístí na rovný povrch a měří se maximální vzdálenost mezi lícovými plochami tvárnice a rovným povrchem. Zapotřebí je kovové pravítko, které se položí úhlopříčně na povrch tvárnice a do mezery mezi kovovým pravítkem a povrchem tvárnice se vloží spároměr. Poté se tvárnice otočí a měření se opakuje na druhé straně. Výsledkem je průměr z naměřených hodnot odchylek od roviny vyjádřeným v milimetrech. [20]

5.2.4 Hmotnost

Sádrové tvárnice se zváží před vysušením (hmotnost M_1) a po vysušení (hmotnost M_2) váhou s přesností měření 0,1 % vztaženou na vážené množství. [20]

5.2.5 Objemová hmotnost

Zkušební těleso se vysuší v sušárně do ustálené hmotnosti při teplotě $(40 \pm 2) ^\circ\text{C}$, potom se ochladí v uzavřené nádobě a zváží se s přesností 0,1 % vztaženou na vážené množství. Poté se změří rozměry a výpočtem podílu hmotnosti ku objemu se stanoví objemová hmotnost. [20]

5.2.6 Pevnost v tahu za ohybu

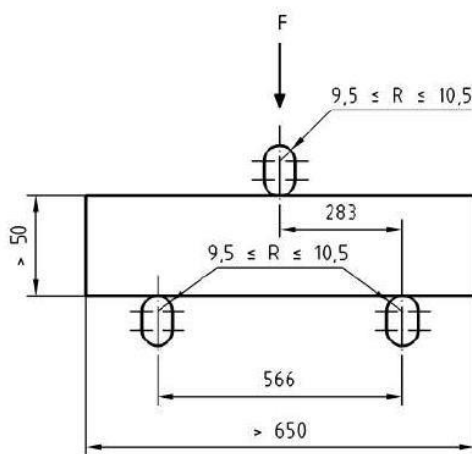
Podstata zkoušky:

Pevnost v tahu za ohybu se stanoví ze zatížení v tahu za ohybu měřeného na sádrových tvárnících s použitím zatěžování jedním břemenem uprostřed. [20]

Zkušební zařízení:

Zkušební stroj musí být vybaven přípravkem pro zkoušení v tahu za ohybu, sestávajícím ze dvou válcových podpor (jedna podpora je pevně upevněná, druhá podpora musí mít možnost se poněkud vychýlit tak, aby zatížení bylo přeneseno na šířku zkušebního tělesa), které jsou umístěny na spodní části stroje a zatěžovacího válce. Vertikální roviny, proložené osami válců, musí být rovnoběžné a během zkoušky zůstat rovnoběžné, stejně vzdálené a kolmé k ose upnutého zkušebního tělesa. Vzdálenost mezi podporami může být upravena podle délky sádrové tvárnice.

Pro tělesa délky 650 mm a větší je vzdálenost podpor 566 mm, je-li délka tvárnice menší, pak musí být podpory umístěny 50 mm od okraje tvárnice. Zařízení musí umožnit rychlost zatěžování v rozsahu 20 N/s. [20]



Obr. 8: Zkušební zařízení na stanovení pevnosti v tahu za ohybu rozměry v milimetrech

Zkušební postup:

Sádrové tvárnice se zkouší jednotlivě ve vodorovné poloze. Umístí se na dvě válcové podpory a poté se zatěžují uprostřed zatěžovacím válcem. Zatížení se zrychluje rovnoměrně s rychlostí 20 N/s, dokud se sádrová tvárnice nezlomí. [20]

Vyjádření výsledků:

Pokud jsou sádrové tvárnice kratší než 650 mm, musí vzdálenost podpor odpovídat jejich délce mínus 50 mm na každé straně. V takovém případě se hodnoty uvedené v tabulce 5 a tabulce 6 upraví v poměru vzdáleností mezi podporami a hodnotou 566 mm. Liší-li se výška od 500 mm, pak jsou hodnoty upraveny i v poměru výšek. Výsledná hodnota pevnosti v tahu za ohybu je dána aritmetickým průměrem z naměřených hodnot. [20]

5.2.7 Obsah vlhkosti

Obsah vlhkosti M_C se stanoví z hmotnosti sádrové tvárnice před vysušením na rovnovážnou hmotnost (M_1) a hmotnosti po vysušení (M_2) jako procento hmotnosti M_2 podle vzorce $M_C = [(M_1 - M_2) / M_2] \cdot 100$ [%]. [20]

5.2.8 Nasákavost

Podstata zkoušky:

Stanoví se hmotnost sádrové tvárnice s hydrofobní úpravou před a po době 2 hodin ponoření tvárnice do vody. [20]

Zkušební zařízení:

- Váha s přesností vážení 0,1 % vztaženou na hmotnost vzorku.
- Sušárna umožňující udržet teplotu (40 ± 2) °C.
- Uzavřená nádoba.
- Nádrž naplněná vodou.
- Dvě podpěry. [20]

Příprava zkušebních těles:

Použijí se sádrové tvárnice odlišné od těch, které byly použity pro fyzikální, chemické a mechanické zkoušky v rámci tohoto zkoušení.

Sádrové tvárnice se vysuší do ustálené hmotnosti jednou z metod (A nebo B) a zváží se (hmotnost M_2). U dutinových tvárnic se musí utěsnit dutiny před vložením tvárnice do vody polyuretanovou expanzní pěnou. [20]

Zkušební postup:

Sádrové tvárnice se umístí do nádrže s vodou o teplotě (23 ± 2) °C tak, aby ležely na dvou podporách a aby se spodní plocha tvárnice nedotýkala dna nádrže. Uložené sádrové tvárnice musí být překryty vrstvou vody o výšce (50 ± 10) mm.

Po 120 minutách se sádrové tvárnice vyjmou z vody, nechají se 5 minut okapat a opět se zváží (hmotnost M_3). [20]

Vyjádření výsledků:

Nasákavost A v procentech se vyjádří podle vztahu: $A = [(M_3 - M_2)/M_2] \cdot 100$ [%]. [20]

5.2.9 Měření pH

Vzorek o hmotnosti asi 1 g se získá seškrábáním z povrchu úlomků sádrové tvárnice do hloubky asi 1 mm. Získaný práškový vzorek se rozmíchá v 10 g demineralizované nebo destilované, převařené a ochlazené vody. Po 5 minutách se změří pH s přesností 0,5 barevným kapalným indikátorem, pH – metrem nebo pH – papírkem. Výsledná hodnota je dána aritmetickým průměrem ze tří naměřených hodnot. [20]

6 REŠERŠE DOSAVADNÍHO VÝVOJE SÁDROVÉ TVÁRNICE NA ÚSTAVU STAVEBNÍCH HMOT A DÍLCŮ V BRNĚ

Ústav technologií stavebních hmot a dílců na VUT v Brně se v návaznosti na projekt Ministerstva průmyslu a obchodu, řešícího výzkum vysokohodnotného sádrového pojiva z druhotných surovin, zabýval vývojem sádrové příčkové tvarovky.

V minulých letech byly na toto téma zaměřeny dvě bakalářské práce, kdy první se zaměřuje na návrh a konstrukci poloprovozní formy, zkušební odlev sádrové tvárnice a provedení základních zkoušek dle normy ČSN EN 12859.

Ve druhé bakalářské práci pak bylo cílem upravení formy na základě dřívějších poznatků, ozkoušení modifikujících přísad jako je ztekucovač, zpomalovač a provzdušňující přísada, provedení zkoušek, vyhodnocení dle normových požadavků a nakonec doporučení pro další výzkum.

6.1 První etapa – návrh a konstrukce formy

První bakalářská práce týkající se sádrové příčkové tvarovky byla metodicky rozdělena do dvou etap, kdy první byla zaměřena na návrh a konstrukci poloprovozní formy. Ta měla být navržena tak, aby velikost a tvar vyrobené tvárnice byl v souladu s požadavky na co nejjednodušší stavební aplikaci, při zachování nutných technických parametrů. [8]

6.1.1 Postup práce

Teoretický návrh:

Při návrhu se postupovalo tak, aby výsledný produkt spadl do normou předepsaných rozpětí rozměrů:

maximální délka $l = 1000$ mm;

rozpětí tloušťky tvárnice od 50 do 150 mm;

minimální plocha lícové strany nejméně 0,10 m². [8]

Dále se uvažovalo tak, aby výsledné rozměry sádrové tvárnice byly ideální pro snadnou stavební aplikaci, tj. přijatelná váha jednoho kusu pro snadnou manipulaci při práci. Formát však měl zůstat takový, aby při výstavbě nebylo nutné použití příliš velkého množství kusů, což by práci zpomalovalo.

Pro usnadnění skladby a lepší spolupůsobení jednotlivých kusů byly navrženy bočnice formy takového tvaru, aby byl výsledný dílec opatřen perem a drážkou. [8]

Navržené rozměry tvárnice:

délka $l = 500$ mm

výška $v = 300$ mm

tloušťka $t = 60$ mm

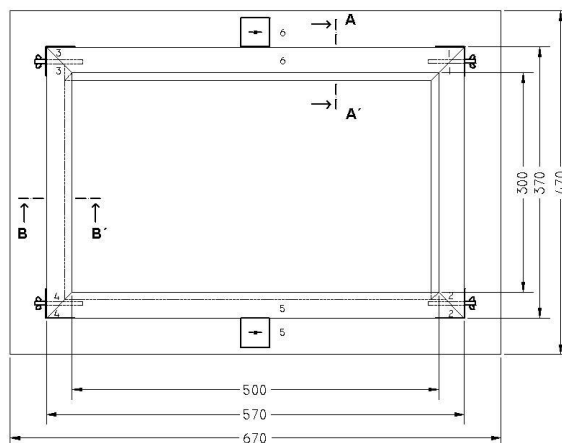
Materiálem pro výrobu formy bylo zvoleno dubové dřevo z důvodů relativně rychlého a snadného zhotovení, vysoké pevnosti, nízké váhy a možnosti formu impregnovat a dále upravovat. [8]

Nákres a popis formy:

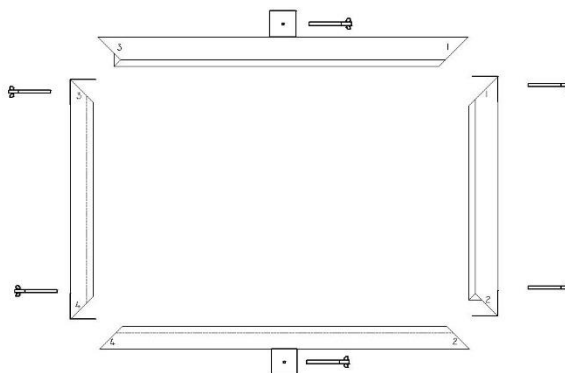
Forma se skládá z obdélníkové dřevotřískové desky s povrchem z HPL laminátu, která slouží jako podstava pro ukotvení bočnic. Její rozměry jsou 670 x 470 x 40 mm, viz obr. 8.

Jako prvek udávající tvar byly navrženy 4 bočnice z dubového dřeva, kdy vždy jedna delší a jedna kratší bočnice je opatřena buď perem a nebo drážkou, viz obr. 10.

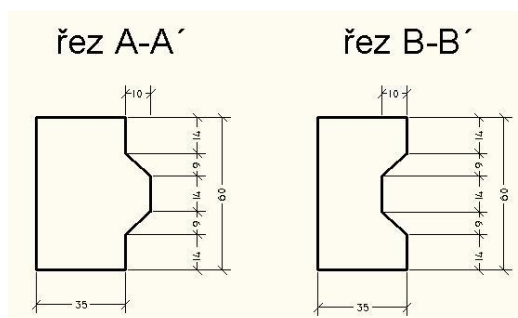
Bočnice jsou opatřeny kovovými úhelníky, kterými jsou spojeny bočnice pomocí křídlových šroubů jednak k sobě, ale také k podstavní desce. Díky tomu je možné formu jednoduše a rychle smontovat a zase rozebrat, viz obr. 9. [8]



Obr. 9: Půdorysný náčrt smontované formy s rozměry v milimetrech



Obr. 10: Rozebrané bočnice formy s kovovými úhelníky a křídlovými šrouby



Obr. 11: Řez bočnicemi formy tvořícími pero a drážku tvárnice (rozměry v [mm])

Zhotovení formy:

Konstrukce, viz obr. 12, byla zhotovena dle návrhu řešitelského týmu panem Jiřím Šubertem.

[8]



Obr. 12: Smontovaná forma v reálné podobě

6.2 Druhá etapa – odlev a provedení základních zkoušek

V rámci druhé etapy bylo provedeno několik zkušebních odlevů ze sádry komerčně vyráběné firmou Rosomac. Tím byla otestována funkčnost formy a zjištěna nutnost použití přísad modifikujících konzistenci a počátek tuhnutí sádry. S přísadami na ztekucení a zpomalení tuhnutí bylo možno směs umíchat předtím, než začne tuhnout a nalít ji a vyplnit tak dokonale formu bez vytváření vzduchových kavern.

Po odformování byly na připravených vzorcích provedeny některé základní zkoušky a měření dle normy ČSN EN 12859. [8]

6.2.1 Receptura

K odlevu byla použita předem stanovená receptura:

12 kg rychle tuhnoucí sádry firmy Rosomac (β -sádra);

8,4 l vody ($w = 0,7$);

0,3 % ztekucovací přísady Melment (z hmotnosti sádry);

0,5 % zpomalovače tuhnutí sádry Retardan GK (z hmotnosti sádry). [8]

6.2.2 Postup odlévání tvárnice

Postupovalo se v těchto krocích:

- Navážení surovin;
- homogenizace látek protřepáním a válením v plastovém barelu uzavřeném víkem;
- nasypání směsi do vody a rozmíchání míchadlem na stavební materiály;
- nalití suspenze do smontované formy připravené na rovném povrchu s mírným přesahem přes okraje bočnic;
- zbavení se vzduchových bublin opakovaným nadzvednutím a puštěním podstavy formy;
- seřiznutí přelitého množství směsi pomocí ocelové struny – zarovnání horní lícové plochy;
- doformování;
- sušení. [8]



Obr. 13: Sádrová tvárnice po odformování

6.2.3 Provedené normové zkoušky

Ke zjištění vlastností vyrobeného produktu a jeho zatřídění byly provedeny některé vybrané základní zkoušky dle normy ČSN EN 12859:

- Stanovení rozměrů
- Rovinnost
- Objemová hmotnost
- Pevnost v tahu za ohybu (lomové zatížení)

- pH [8]

6.3 Výsledky a závěr vyplývající z první práce

6.3.1 Vyhodnocení použití poloprovozní formy

Forma se ukázala jako vyhovující jak z technologického hlediska výroby sádrové tvárnice, tak z hlediska požadavků kladených normou na vyrobený produkt. Opakované použití formy ovšem odhalilo pár drobných nedostatků, které byly podnětem pro návrhy na další úpravy formy.

Jedním z problémů bylo použití neošetřeného dubového dřeva pro konstrukci bočnic formy, jelikož se do nich z malé části vsákla vlhkost ze zamíchané směsi. Na bočnicích bylo možné pozorovat menší deformace v podobě nedoléhavosti jednotlivých částí k sobě. Pro jednoduché odstranění tohoto problému bylo navrženo použití hydrofobního nátěru LUKOFOB na silikonové bázi.

Druhým menším nedostatkem bylo použití ocelové struny k odstranění přebytečné směsi a vyrovnání lícové plochy, které se provádělo nesnadno a nedocílilo se ním seříznutí na požadovanou tloušťku. Řešením tohoto problému se zabývá další bakalářská práce navazující na toto téma. [8]

6.3.2 Výsledky naměřených hodnot a vyhodnocení použité směsi

Rozměry

Z hlediska normových požadavků vyrobená tvárnice vyhovovala stanoveným odchylkám rozměrů v délce a výšce, avšak mírně nesplnila toleranci v měřené tloušťce (důvod zmíněný výše). [8]

Rovinnost

Požadavek na rovinnost byl splněn. Bylo dosaženo odchylky 0,3 mm při toleranci odchylky do 1 mm. [8]

Objemová hmotnost

Vyrobená tvárnice spadala podle naměřených a vypočtených hodnot ($1080 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$) do třídy M – stření objemové hmotnosti. [8]

Pevnost

Pevnost v tahu za ohybu, respektive lomové zatížení při porušení tvárnice namáhané tlakem za ohybu bylo naměřeno $F = 2,8 \text{ kN}$, což splňovalo normou předepsaný požadavek pro plné sádrové tvárnice tloušťky 60 mm $F_{\min} = 1,9 \text{ kN}$ ($1,6 \text{ kN}$ po přepočtu dle výšky a délky tvárnice). [8]

pH

Byla naměřena hodnota $\text{pH} = 6$, což vyrobenou tvárnici dle normy řadilo do třídy nízkého pH. [8]

Vyhodnocení použité směsi:

Použitá směs modifikovaná retardačními a plastifikačními přísadami byla vyhovující. Dosaženou konzistencí se podařilo vyplnit všechny záhyby formy. Na povrchu byly patrné menší prohlubně od vzduchových bublinek, které se nepodařilo vypudit setřesením formy. Tento fakt byl řešen v navazující práci dalšími úpravami směsi. [8]

6.3.3 Závěr první práce

V rámci první práce týkající se vývoje sádrové tvárnice byl řešen návrh a konstrukce poloprovozní formy a její následující a použití pro odlev. Dále byla zkoušena použitelnost směsi navrhnuté receptury a bylo provedeno několik základních zkoušek a zařídění dle normy.

Z výsledků se ukázalo, že forma, stejně tak jako směs vytvořená z β -sádry firmy Rosomac, je vyhovující z technologického hlediska jejího použití i z pohledu na požadované vlastnosti tvarovky, nicméně má pár nedostatků, které budou předmětem řešení dalších navazujících prací. [8]

6.4 Třetí etapa – úprava formy

V rámci této etapy, která již spadá do druhé bakalářské práce týkající se výzkumu sádrové tvárnice, bylo zužitkováno poznatků z předchozího výzkumu a na jeho základě byla forma

vybavena dalšími přípravky a konstrukčními prvky, které mají za úkol odstranit nedostatky a usnadnit pracovní postup při dodržení požadavků stanovených normou.

Zdokonalení poloprovodní formy bylo provedeno ve třech hlavních bodech:

- Použití hydrofobního nátěru – k zamezení vnikání vlhkosti ze suspenze do neošetřených bočnic formy byl použit hydrofobní nátěr na silikonové bázi LUKOFOB 39.
- Nahrazení ocelové struny – místo ní byla použita k odstranění přebytečné vrstvy sádry ocelová lišta, čímž se docílilo hladšího a přesnějšího seříznutí.
- Doplnění formy o dva nerezové pláty – ty byly přidány za účelem snazší manipulace s vyrobenou tvárnici a vytvoření dokonale hladké lícové plochy. [9]



Obr 14: Původní forma (vlevo) a její upravená verze

6.5 Čtvrtá etapa – modifikace sádrové směsi

Cílem této části práce bylo upravit původní recepturu tak, abychom získali tvárnice různých tříd objemových hmotností dle normy a otestovali účinky dalších modifikujících přísad.

- Třídy objemové hmotnosti dle normy ČSN EN 12859:
- vysoká objemová hmotnost (D) – $1100 \leq \rho \leq 1500 \text{ kg/m}^3$
- střední objemová hmotnost (M) – $800 \leq \rho \leq 1100 \text{ kg/m}^3$
- nízká objemová hmotnost (L) – $600 \leq \rho \leq 800 \text{ kg/m}^3$ [9]

6.5.1 Receptury

Vysoká objemová hmotnost

K dosažení vysoké objemové hmotnosti se vycházelo z původní receptury, díky níž bylo dosaženo hodnoty 1080 kg/m^3 , která se této třídě blíží. Cílem bylo snížit množství použité vody a tak navýšit objemovou hmotnost. [9]

Složení směsi:

Vzorek č. 1 – sádra Rosomac, voda, Retardan GK, Melment F10 [9]

Střední objemová hmotnost

Pro vytvoření tvárnice střední objemové hmotnosti byly také použity poznatky z předchozí práce. Byla tedy použita téměř stejná receptura, která se lišila pouze ve změně plastifikační přísady z Melmentu na účinnější Melflux u vzorku č. 2 . Dále byl ztekucovač Melment nahrazen provzdušňující přísadou Berolan u vzorku č. 3 pro otestování plastifikačních účinků této látky. [9]

Složení směsi:

Vzorek č. 2 – sádra Rosomac, voda, Retardan GK, Melflux 4930F

Vzorek č. 3 – sádra Rosomac, voda, Retardan GK, Berolan HS – 30 [9]

Nízká objemová hmotnost

Pro dosažení nízké objemové hmotnosti byla ponechána receptura s Berolanem, u které se regulovalo množství použité provzdušňující přísady a zvyšovala dávka vody. [9]

Složení směsi:

Vzorek č. – sádra Rosomac, voda, Retardan GK, Berolan HS – 30 [9]

6.5.2 Provedení normových zkoušek

Stejně jako v předešlém výzkumu byly provedeny tyto základní normové zkoušky:

- Stanovení rozměrů
- Rovinnost
- Objemová hmotnost

- Určení pH [9]

6.6 Výsledky a závěr vyplývající z druhé práce

6.6.1 Vyhodnocení úprav formy

Použití hydrofobního nátěru Lukofob se ukázalo jako vhodné. Jeho aplikací bylo zabráněno pronikání vlhkosti do bočnic formy, což zamezilo dalším deformacím a umožnilo snadné odformování tvárnice bez poškození hran. Opakovaným použitím formy bylo zjištěno, že je nutné po třech až čtyřech výrobních cyklech nátěr znovu aplikovat.

Přidání nerezového plátu pod bočnice formy zjednodušilo práci při odformování a bylo díky němu docíleno rovného hladkého povrchu.

Nahrazení ocelové struny používané k seříznutí přebytku sádrové směsi kovovou lištou se také osvědčilo. Na povrchu nebyly tak patrné stopy po seříznutí a tloušťka tvárnice byla vyhovující. [9]

6.6.2 Výsledky naměřených hodnot a vyhodnocení modifikací směsi

Rozměry

Rozměrové požadavky byly splněny s výjimkou tloušťky, což ovšem tentokrát nebylo způsobeno metodou seříznutí, ale deformací bočnic z předešlého výzkumu, proto se tento konkrétní nevyhovující výsledek dá zanedbat, jelikož by i tento výsledek vyhovoval při použití nově zkonstruovaných a ošetřených bočnic. [9]

Rovinnost

Výsledky měření rovinnosti vyhovovali toleranci u všech měřených vzorků. [9]

Objemová hmotnost

Výsledky objemových hmotností a zatřídění vzorků 1 – 4 jsou znázorněny v tabulce č. 4 [9]:

Tab. 4: Výsledky objemových hmotností dle normy ČSN EN 12859

Vzorek č.	Hmotnost	Objemová hmotnost	Zatřídění dle ČSN EN 12859
1	12,56	1350	vysoká objemová hmotnost D
2	8,82	950	střední objemová hmotnost M
3	8,42	910	střední objemová hmotnost M
4	5,87	640	nízká objemová hmotnost L

Pevnost v tahu za ohybu

Výsledky naměřených lomových zatížení vzorků 1 – 4 jsou znázorněny v tabulce č. 5 [9]:

Tab. 5: Vyhodnocení naměřených lomových zatížení dle normy ČSN EN 12859

Vzorek č.	Lomové zatížení [kN]	Minimální hodnota lomového zatížení dle ČSN EN 12859 [kN]	Vyhodnocení
1	8,6	1,5	vyhovuje
2	2,5	1,5	vyhovuje
3	2,6	1,5	vyhovuje
4	0,9	1,5	nevyhovuje

Naměřené pH

Výsledky hodnot pH vzorků 1 – 4 jsou znázorněny v tabulce č. 6 [9]:

Tab. 6: Výsledky pH

Vzorek č.	Hodnota pH	Zatřídění dle ČSN EN 12859
1	6,12	Tvárnice s nízkým pH
2	6,08	Tvárnice s nízkým pH
3	6,2	Tvárnice s nízkým pH

4	6,03	Tvárnice s nízkým pH
---	------	----------------------

Modifikace směsi

Použitím plastifikační a provzdušňující přísady bylo dosaženo všech tříd dle objemových hmotností a pouze tvárnice nejnižší objemové třídy nesplnila pevnostní nárok kladený normou. Tento fakt by se dal odůvodnit použitím příliš vysoké dávky Berolanu k provzdušnění za použití vysokého vodního součinitele, čímž došlo k velkému snížení objemové hmotnosti a tím i pevnosti tvárnice. [9]

6.6.3 Závěr druhé práce

Úpravy formy doporučené z minulého výzkumu a přidání dalších konstrukčních prvků se ukázaly jako vhodné. Práce s formou, především seříznutí tvárnice, a vyrobenou tvarovkou je jednodušší a kvalita výrobku je vyšší.

Modifikace směsi byla úspěšně provedena, bylo dosaženo všech tříd objemové hmotnosti dle normy ČSN EN 12859 a tvárnice ve většině parametrů splňovala požadované nároky. Nedodržení pevnostních parametrů u třídy nízké objemové hmotnosti by se dalo zamezit lepším nadávkováním provzdušňující přísady, aby nedošlo k příliš velkému vylehčení tvárnice a případně modifikací sádry disperzní přísadou. [9]

II EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

1 CÍL

Jednou z podetap projektu Ministerstva průmyslu a obchodu, který se zabývá vývojem vysokohodnotného sádrového pojiva z druhotných surovin, byl i vývoj sádrové příčkové tvárnice. Ta byla v předchozích pracích navržena včetně formy, odlita a podrobena některým základním zkouškám dle příslušné normy. Dále byly provedeny úpravy, které se týkaly jak formy, tak samotné sádrové směsi ze které byla tvárnice vytvořena, za účelem usnadnění výroby a možnosti použití přísad měnících vlastnosti čerstvé směsi a výsledného výrobku.

Nyní je v návaznosti na předcházející výzkum cílem této diplomové práce optimalizace složení surovinové báze, zaměřená na možnost zatřídění sádrové tvárnice do normou popsaných tříd, provedení zkoušek dle normy a sledování vlivu použitých modifikujících přísad na konečné vlastnosti výrobku.

2 METODIKA PRÁCE

Práce je metodicky rozdělena do dvou etap. První etapa je zaměřena na návrh receptur sádrové směsi modifikované provzdušňující a plastifikační přísadou Berolan HS - 30, díky níž by vyrobená tvárnice dosáhla vlastností jednotlivých tříd objemové hmotnosti popsaných v normě. A dále otestování dalších látek k probarvení a hydrofobizaci tvárnic. V této etapě se již nepočítalo s použitím účinnějšího plastifikátoru Melflux 4930F, jelikož byl vyzkoušen v předešlém výzkumu a ekonomičtější variantou bylo další zkoušení plastifikačních účinků provzdušňující přísady Berolan. V této etapě se dále přistoupilo k odlevu tvárnic dle navržených receptur a upravení dávky provzdušňující přísady a vodního součinitele.

Druhá etapa byla věnována provedení zkoušek dle normy ČSN EN 12859: Sádrové tvárnice – Definice, požadavky a zkušební metody. Jako v předchozím výzkumu zde byly provedeny zkoušky:

- Stanovení rozměrů;
- objemová hmotnost;
- rovinnost;
- pevnost v tahu za ohybu (lomové zatížení)
- stanovení pH.

Tato etapa je však zaměřena na nově provedené zkoušky, které jsou:

- Stanovení součinitele tepelné vodivosti λ ;
- zkouška nasákavosti.

Dále bylo provedeno vyhodnocení, ve kterém byl sledován vliv použitých přísad na výsledné vlastnosti. Tvárnice byly podle naměřených hodnot zaříděny dle normy.

Nakonec byla provedena přibližná kalkulace výrobních nákladů a srovnání cen tvárnic vyráběných recepturou s Berolanem, Melmentem a Melfluxem a porovnání cen s komerčně vyráběnou tvárnici SUPERBLOK firmy Gypstrend.

3 POSTUP PRÁCE

Tato kapitola se věnuje postupu prací v jednotlivých etapách. Zaprvé návrhu receptur a odlití tvárnice a dále provedeným normovým zkouškám.

3.1 První etapa - návrh receptur a odlev

Při návrhu receptur pro dosažení všech tříd objemové hmotnosti dle normy: Nízká (600 – 800 kg/m³), střední (800 – 1100 kg/m³), vysoká (1100 – 1500 kg/m³) se přihlíželo k předchozímu výzkumu, kde byly použity receptury tohoto složení:

- 12 kg sádra Rosomac; 0,2 % Retardan GK; 0,3 % Melment F 10 pro dosažení vysoké OH
- 12 kg sádra Rosomac; 0,2 % Retardan GK; 0,05 % Melflux/Berolan pro dosažení střední OH
- 12 kg sádra Rosomac; 0,2 % Retardan GK; 0,5 % Berolan pro dosažení nízké OH

U nynější práce byl však ke ztekucení, případně provzdušnění dále používán pouze přípravek Berolan HS – 30, jelikož ostatní dva komerčně využívané prostředky jsou ekonomicky méně výhodné a byly již v předchozích pracích dostatečně ozkoušeny. Proto se při navrhování složení nových receptur vycházelo z varianty předchozí receptury využívající právě Berolan.

Byla také provedena změna v dávce sádry použité na namíchání směsi k odlití jedné tvarovky. Protože po namíchání směsi a odlití tvárnice zbyval v nádobě zbytečně velký přebytek směsi, byla snížena navážka sádry z 12 kg na 10 kg.

3.1.1 Dávkování Berolanu

Nejprve bylo zkoušeno různé dávkování Berolanu při stejném vodním součiniteli $w = 0,725$ a dávce retardantu 0,20 %. Dávkování bylo odstupňováno na 0,05 %, 0,10 %, 0,15 % (z hmotnosti sádry) a zkušebně se odlila i tvarovka s podstatně vyšší dávkou Berolanu - 0,50 %, u které bylo očekáváno výrazné vylehčení způsobené provzdušňujícími účinky.

3.1.2 Dávkování vody a zkoušení pigmentu

Dále se otestovalo různé dávkování vody při konstantní dávce Berolanu 0,10 % z hmotnosti sádry. Byly určeny hodnoty vodního součinitele $w_1 = 0,90$; $w_2 = 0,75$; $w_3 = 0,63$ a očekávalo se dosažení různých tříd objemové hmotnosti a různých pevností. V této fázi byly také použity pigmenty dvou barev, žluté a růžové, k otestování probarvení tvárnic. Oba dva pigmenty byly použity v dávce 0,30 % z hmotnosti sádry.

3.1.3 Receptura tvarovek určených pro zkoušku nasákavosti

Nakonec byly ještě odlity dvě tvarovky stejné receptury s vodním součinitelem o hodnotě $w = 0,725$, dávkou Berolanu 0,10 % a retardantu 0,20 % z hmotnosti sádry. Tyto dvě tvarovky byly určeny k ozkoušení účinků vnější hydrofobizace, za pomoci přípravku Lukofob, který byl aplikován štětcem na povrch jedné z tvárnic. Tyto účinky pak byly ověřovány zkouškou nasákavosti.

3.1.4 Odlévání tvárnic

Byl proveden odlev tvárnic ze sádry, vyráběné komerčně firmou Rosomac z chemosádrovce. Odlev byl proveden několikrát v závislosti na počtu navržených receptur.

Nejprve se navázily suroviny potřebné pro výrobu tvárnice, vždy dle dané navržené receptury, a na stůl byla nachystána smontovaná forma a všechny součásti potřebné k výrobě. Suroviny byly v následujícím kroku smíchány v nádobě pro tento účel určené, v našem případě se jednalo o plastový barel s víkem, které bylo nezbytné pro následující homogenizaci materiálu. Ta byla provedena pečlivým protřepáváním, válením a obracením uzavřeného plastového barelu. Takto připravená směs byla poté smíchána s předepsaným množstvím vody a zpracována vrtačkou, opatřenou nástavcem na míchání stavebních materiálů. Tento krok musel být proveden v první řadě pečlivě, aby se s vodou smísila všechna směs a na spodu nezůstala žádná nerozmíchaná směs. Zároveň se však muselo postupovat co nejrychleji, aby směs nezačala v barelu tuhnout a bylo jí možné bez problémů odlít do předem připravené formy. Do té se poté záměs nalila v množství mírně přesahujícím přes horní okraj bočnic. Dále bylo nutné ze směsi vypudit nežádoucí vzduchové bublinky a kaverny, což bylo provedeno opakovaným, mírným nadzdvížením a spuštěním jednoho okraje podstavy formy. V momentě kdy směs začala tuhnout, byl přebytek

odstraněn seříznutím kovovou lištou. Jelikož byla konstrukce formy v předešlých etapách výzkumu vylepšena o kovovou desku umístěnou mezi podstavu formy a bočnice, bylo již možné tvárnici odformovat ihned a na desce přenést nejprve k vážení a dále do sušárny, kde byla tvarovka zbavena vlhkosti a byla tak připravena k provedení následujících zkoušek dle normy ČSN EN 12859: Sádrové tvárnice – Definice, požadavky a zkušební metody.

3.2 Druhá etapa - provedené normové zkoušky

Vlastnosti vyrobeného produktu byly ověřeny provedením zkoušek dle normy ČSN EN 12859: Sádrové tvárnice – Definice, požadavky a zkušební metody. V předchozích pracích byly provedeny základní normové zkoušky, které byly rovněž provedeny i nyní, nově však byly provedeny i zkoušky nasákavosti u vzorků opatřených hydrofobním nátěrem a zkoušky součinitele tepelné vodivosti u vzorků různých objemových hmotností.

3.2.1 Stanovení rozměrů

Délka byla stanovena jako delší rozměr lícové plochy měřený kovovou páskou s milimetrovou stupnicí, s přesností měření 1 mm. Měřilo se podél vrchního a spodního okraje lícové plochy rovnoběžně s okrajem a uprostřed lícové plochy tvárnice bez ohledu na pera a drážky.

Výška byla určena jako kratší rozměr lícové plochy měřený kovovou páskou s milimetrovou stupnicí, s přesností 1 mm. Měření bylo provedeno analogicky jako u stanovení délky, tedy podél kratších okrajů tvárnice a uprostřed.

Tloušťka byla měřena jako vzdálenost mezi dvěma lícovými plochami posuvným měřítkem, s přesností měření 0,1 mm. Měření bylo provedeno ve středu každé strany přibližně 50 mm od svislých krajů lícových ploch. Výsledné rozměry byly stanoveny jako aritmetický průměr z naměřených hodnot.

3.2.2 Rovinnost

Sádrová tvárnice se umístila na vodorovnou plochu a na její povrch se diagonálně, z jednoho rohu do druhého, položilo kovové pravítko. Do mezery mezi pravítkem a lícovou plochou tvarovky se poté zasouval listkový spároměr, dokud nebyla nalezena maximální odchylka od

roviny. Postup se zopakoval i na druhé straně. Výsledek byl určen jako aritmetický průměr z naměřených hodnot.

3.2.3 Objemová hmotnost

Zkušební těleso bylo vysušeno v sušárně do ustálené hmotnosti při teplotě $(40 \pm 2) ^\circ\text{C}$ a poté ochlazen v uzavřené nádobě. Těleso se zvážilo s přesností na 0,1 % a změřily se rozměry. Poté byla stanovena objemová hmotnost jako podíl hmotnosti a objemu, vypočteného z naměřených hodnot.

3.2.4 Pevnost v tahu za ohybu

Zkušební těleso bylo po vysušení umístěno do zatěžovacího lisu, schopného zatěžovat rychlostí 20 N/s. Tvárnice byla položena vodorovně na dvě rovnoběžné válcové podpěry vzdálené 50 mm od okrajů. Poté se začala uprostřed zatěžovat břemenem válcového tvaru, orientovaného rovnoběžně s podporami. Měřilo se zatížení při porušení tvárnice v kN.



Obr. č. 15: Tvárnice při zkoušce pevnosti v tahu za ohybu

3.2.5 pH

Po zkoušce pevnosti se získal z úlomku tvárnice vzorek o hmotnosti 1 g seškrábáním z povrchu do hloubky zhruba 1 mm. Tento práškový vzorek se rozmíchal v 10 g destilované vody a 5 minut po zahájení míchání se změřilo pH pomocí pH metru. Měření bylo provedeno třikrát s přesností na 0,5 a výsledek byl určen jako aritmetický průměr z tří naměřených hodnot.

3.2.6 Nasákavost

Sádrové tvárnice, vysušené na ustálenou hmotnost M_2 , byly umístěny do nádrže s vodou o teplotě $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$ a byly postaveny na dvě tenké dřevěné podpěry tak, aby se spodní plocha nedotýkala dna nádrže. Jelikož vyrobené sádrové tvárnice měly objemovou hmotnost menší než voda, bylo nutné je zatížit kovovou tyčí tak, aby nevypluly na povrch a jejich vrchní hrana byla překryta vrstvou vody o výšce (50 ± 10) mm. Po 120 minutách byly sádrové tvárnice vyjmuty z vody, nechaly se 5 minut okapat a poté byla zvážena jejich hmotnost v nasáklém stavu M_3 , potřebná k výpočtu výsledné nasákavosti A dle vztahu $A = [(M_3 - M_2)/M_2] \cdot 100 [\%]$.



Obr. č. 16 : Tvárnice bez hydrofobního nátěru a s nátěrem při zkoušce nasákavosti

3.2.7 Tepelná vodivost

U sádrových tvárnic spadajících do každé z tříd objemové hmotnosti, vysušených do rovnovážné vlhkosti bylo provedeno měření jejich tepelné vodivosti přímo, metodou horkého drátu, pomocí přístroje Shotherm QTM od firmy Showa Denko. Měřilo se na úlocích tvárnic po zkoušce pevnosti v tahu za ohybu, které byly svou velikostí vhodné. Nejprve byl očištěn povrch vzorku, který musel být rovný a hladký a dále se provedlo vytemperování sondy i vzorku na požadovanou teplotu. Doba temperování byla přibližně dvě minuty. Poté se přiložila měřící sonda na určené místo a byla spuštěna měřící sekvence, která trvala cca 60 sekund. Na prvním místě byly zjištěny tři hodnoty součinitele tepelné vodivosti a jako správná byla vybrána pouze ta hodnota, která byla nejbližší hodnotám naměřeným na dalších dvou místech. Takto byly u každého ze vzorků zjištěny tři platné hodnoty součinitele tepelné vodivosti, z nichž byla aritmetickým průměrem určena jedna výsledná hodnota.



Obr. č. 17 : Měření součinitele tepelné vodivosti metodou horkého drátu

4 POUŽITÉ SUROVINY, PŘÍSTROJE A ZAŘÍZENÍ

4.1 Suroviny

4.1.1 Sádra

K výrobě zkušebních tvarovek bylo použito několik surovin, z nichž hlavní byla sádra formy β neboli hemihydrát síranu vápenatého, jenž se řadí mezi rychle tuhnoucí síranová pojiva. Ty se vyznačují vysokým vodním součinitelem a ne příliš vysokými pevnostmi. Pro odlev byla použita sádra vyrobená firmou Rosomac optimalizovaným poloprovozním způsobem z přerovského chemosádrovce Pregips, výrobce Precheza a.s. Přerov. Jedná se o chemický sádrovec z výroby titanové běloby vysoké čistoty, jen s nízkým množstvím doprovodných látek. Přehled základních kvalitativních znaků uvádí tab. 7.

Tab. 7: Přehled kvalitativních znaků sádrovce Pregips

Sledovaná vlastnost		Deklarované hodnoty
Obsah $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ v sušině	[%]	min. 95
pH	[-]	5-8
MgO rozpustný ve vodě	[%]	max. 0,10
Na_2O rozpustný ve vodě	[%]	max. 0,06
Cl^- rozpustný ve vodě	[%]	max. 0,01
Vlhkost	[%]	max. 13

4.1.2 Provzdušňující (plastifikační) přísada

Ke zlepšení zpracovatelnosti a zvýšení mechanických vlastností byl použit přípravek Berolan® LP-HS 30, což je provzdušňující přísada silně povrchově aktivní a změkčovadlo. Byl vyvinut speciálně pro použití u malt na bázi cementu, sádry a vápna. Tento přípravek působí v sádrové směsi v závislosti na dávce buď jako náhrada plastifikační přísady nebo jako přísada provzdušňující.

4.1.3 Retardant

Jako zpomalovač tuhnutí byl použit Retardan GK, což je prášková látka světle hnědé barvy na bázi polykondenzovaných aminokyselin.

4.1.4 Voda

K nastartování opětovné hydratace sádry a vzniku pevné hmoty byla použita pitná kohoutková voda, u které není nutno dále zkoušet kvalitu a vhodnost použití.

4.1.5 Pigmenty

K probarvení tvárnic byly použity práškové pigmenty dvou barev, žlutý a červený, které jsou tvořeny oxidy železa.

4.1.6 Hydrofobní nátěr

K vyzkoušení hydrofobizace tvarovky byl použit silikonový vodoodpudivý nátěr Lukofob 39, který se při nanášení štětcem či houbičkou vsakuje do porézního podkladu a tvoří vysoce hydrofobní film na povrchu, přičemž zachovává původní paropropustnost.

4.2 Přístroje, zařízení a pomůcky

Byly použity následující pomůcky, přístroje a zařízení dostupné na ÚTHD FAST VUT Brno:

- Laboratorní váhy s přesností měření 0,01 g
- Laboratorní sušárny s nuceným oběhem a nastavitelnou teplotou
- Zatěžovací lis
- Přístroj k přímému měření tepelné vodivosti Shotherm QTM
- Míchadlo pro míchání stavebních materiálů s regulací otáček
- Plastový barel uzavíratelný víkem
- Forma na odlití sádrové tvárnice
- Kád' s vodou
- Teploměr
- pH metr
- Lístkový spároměr
- Posuvné měřidlo s přesností 0,1 mm
- Kovová páska s milimetrovou stupnicí

5 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

Aby bylo možné zhodnotit, zda byly jednotlivé receptury správně navrženy, je nutno nejprve znát výsledky zkoušek provedených na vyrobených vzorcích. Z tohoto důvodu byly v této kapitole nejprve vyhodnoceny výsledky druhé etapy praktické části, tj. provedených normových zkoušek, a v návaznosti na ně poté jednotlivé návrhy receptur.

5.1 Vyhodnocení druhé etapy – výsledky normových zkoušek

5.1.1 Rozměry

U každé z vyrobených tvarovek byly dle normového postupu změřeny rozměry a stanovená odchylka od referenčních hodnot byla porovnávána s danou rozměrovou tolerancí.

Tab. 8: Vyhodnocení rozměrů

Ozn. tvárnice	rozměr	Referenční hodnoty [mm]	Měření [mm]			Průměr [mm]	Odchyłka [mm]	Tolerance [mm]	Výsledek
			1.	2.	3.				
B1	délka	500	499	499	498	499	1	5	Vyhovuje
	výška	300	301	301	299	300	0	2	Vyhovuje
	tloušťka	60	60,3	59,9	59,7	60,0	0,0	0,5	Vyhovuje
B2	délka	500	499	501	500	500	0	5	Vyhovuje
	výška	300	299	301	300	300	0	2	Vyhovuje
	tloušťka	60	60,2	60,4	59,8	60,1	0,1	0,5	Vyhovuje
B3	délka	500	503	501	499	501	1	5	Vyhovuje
	výška	300	298	300	299	299	1	2	Vyhovuje
	tloušťka	60	60,2	60,1	59,7	60,0	0,0	0,5	Vyhovuje
V1	délka	500	502	503	502	502	2	5	Vyhovuje
	výška	300	302	302	301	302	2	2	Vyhovuje
	tloušťka	60	59,9	60,1	60,0	60,0	0,0	0,5	Vyhovuje
V2	délka	500	501	498	499	499	1	5	Vyhovuje
	výška	300	301	299	300	300	0	2	Vyhovuje
	tloušťka	60	60,4	60,2	60,2	60,3	0,3	0,5	Vyhovuje
V3	délka	500	499	498	497	498	2	5	Vyhovuje
	výška	300	299	298	299	299	1	2	Vyhovuje
	tloušťka	60	59,8	59,7	59,9	59,8	0,2	0,5	Vyhovuje
N1	délka	500	500	501	503	501	1	5	Vyhovuje
	výška	300	299	302	301	301	1	2	Vyhovuje
	tloušťka	60	60,0	59,9	59,8	59,9	0,1	0,5	Vyhovuje
N2	délka	500	499	501	499	500	0	5	Vyhovuje
	výška	300	301	301	300	301	1	2	Vyhovuje
	tloušťka	60	60,0	60,2	59,9	60,0	0,0	0,5	Vyhovuje

Na základě odchylek stanovených z naměřených rozměrů lze konstatovat, že všechny vyrobené tvarovky dodržují rozměrové parametry dané normou ČSN EN 12859.

5.1.2 Rovinnost

Všechny vyrobené tvárnice byly podrobeny zkoušce rovinnosti lícových ploch dle postupu udávaného normou ČSN EN 12859. Naměřené a vypočtené hodnoty jsou uvedeny v tabulce č. 9.

Tab. 9: Vyhodnocení rovinnosti

Ozn. Tvárnice	Odchylka [mm]		Aritmetický průměr [mm]	Tolerance [mm]	Výsledek
	Strana A	Strana B			
B1	0,3	0,6	0,5	1,0	Vyhovuje
B2	0,2	0,5	0,4	1,0	Vyhovuje
B3	0,4	0,6	0,5	1,0	Vyhovuje
V1	0,2	0,4	0,3	1,0	Vyhovuje
V2	0,1	0,3	0,2	1,0	Vyhovuje
V3	0,2	0,3	0,3	1,0	Vyhovuje
N1	0,1	0,2	0,2	1,0	Vyhovuje
N2	0,1	0,2	0,2	1,0	Vyhovuje

Tolerance odchylky lícové plochy od roviny stanovená normou je 1 mm. Toto kritérium nebylo překročeno u žádného z měřených vzorků a lze tedy říci, že všechny zkoušené tvárnice vyhovují.

5.1.3 Objemová hmotnost

Z naměřených rozměrů byl nejprve vypočten objem každé tvárnice podle vztahu: $V = a \times b \times c$, tedy délka násobena výškou a tloušťkou. A dále byla vypočtena objemová hmotnost jednotlivých tvárnic ze vztahu: $\rho = m \div V$, tedy podíl hmotnosti tvarovky k jejímu objemu. Nakonec byla každá tvarovka zařazena do tříd objemové hmotnosti dle normy.

Třídy objemové hmotnosti tvarovek dle normy ČSN EN 12859:

- Vysoká objemová hmotnost (D) $\leq 1100 \rho \leq 1500 \text{ kg/m}^3$
- Střední objemová hmotnost (M) $\leq 800 \rho \leq 1100 \text{ kg/m}^3$
- Nízká objemová hmotnost (L) $\leq 600 \rho \leq 800 \text{ kg/m}^3$

Tab. 10: Vyhodnocení objemové hmotnosti

Ozn. Tvárnice	Aritmetický průměr [mm]			Objem [m ³]	Hmotnost vysušená [kg]	ρ [kg/m ³]	Třída OH
	délka	výška	tloušťka				
B1	499	300	60,0	0,008982	7,04	780	L
B2	500	300	60,1	0,009015	8,19	910	M
B3	501	299	60,0	0,008988	10,07	1120	D
V1	502	302	60,0	0,009096	7,21	790	L
V2	499	300	60,3	0,009027	8,01	890	M
V3	498	299	59,8	0,008904	9,89	1110	D
N1	501	301	59,9	0,009033	8,50	940	M
N2	500	301	60,0	0,009030	8,55	950	M

Tvarovky s označením B1 a V1 byly dle normy zařazeny do třídy L – nízká objemová hmotnost.

Tvarovky označené jako B2, V2, N1 a N2 se dle normy řadí do třídy M – střední objemová hmotnost.

Tvárnice pod označením B3 a V3 spadají podle normy do třídy D – vysoká objemová hmotnost.

5.1.4 Pevnost v tahu za ohybu (lomové zatížení)

Hodnoty minimálního průměrného lomového zatížení pro sádrové tvárnice třídy A – běžné užití jsou uvedeny v tabulce č. 11.

Tab. 11: Lomové zatížení sádrových tvárnic třídy A dle ČSN EN 12859

Sádrové tvárnice delší nebo rovné 650 mm s výškou 500 mm	Minimální průměrné hodnoty lomového zatížení [kN]
Plná sádrová tvárnice (střední objemová hmotnost)	
Tloušťka [mm]	
50	1,7
60	1,9
70	2,3
80	2,7
100	4
Tvárnice s dutinami s nízkou objemovou hmotností	1,7
Pro sádrové tvárnice kratší než 650 mm a/nebo s výškou rozdílnou 500 mm, hodnoty v druhém sloupečku musí být opraveny v poměru délek a/nebo výšek	

U sádrových tvárnic kratších než 650 mm a výškou rozdílnou 500 mm je podle normy nutné provést přepočet minimálních lomových zatížení v poměru délek a výšek.

Přepočet minimálního lomového zatížení F_{\min} :

V případě přepočtu v poměru délek je použita nepřímá úměra, jelikož čím kratší je rozpon podpor, tím větší je zapotřebí síla k porušení tělesa o stejném průřezu.

V poměru délky $\rightarrow 650 / 500 = 1,3 \times F_{\min}$

V případě přepočtu v poměru výšek je použita úměra přímá, jelikož při zmenšení rozměru namáhaného průřezu dojde ke zmenšení síly potřebné k porušení tělesa.

V poměru výšky $\rightarrow 300 / 500 = 0,6 \times F_{\min}$

Výsledná přepočtená hodnota minimálního lomového zatížení u tvárnic střední a vysoké objemové hmotnosti:

$$F_{\min,p} = 1,3 \times 0,6 \times 1,9 = 1,5 \text{ kN}$$

Výsledná přepočtená hodnota minimálního lomového zatížení u tvárnic nízké objemové hmotnosti:

$$F_{\min,p} = 1,3 \times 0,6 \times 1,7 = 1,3 \text{ kN}$$

Naměřené hodnoty:

Zkoušce pevnosti v tahu za ohybu byly podrobeny pouze tvárnice s označení B1 - B3 a V1 - V3, jelikož vzorky označené N1 a N2 byly určeny pro zkoušku nasákavosti, po které dle normy nelze provádět zkouška pevnosti. Zjištěné hodnoty jsou uvedeny v tabulce č. 12.

Tab. 12: Vyhodnocení lomového zatížení

Ozn. Tvárnice	Maximální dosažené lomové zatížení [kN]	Předepsané přepočtené minimum [kN]	Výsledek
B1	1,6	1,3	vyhovuje
B2	2,4	1,5	vyhovuje
B3	3,8	1,5	vyhovuje
V1	1,3	1,3	vyhovuje
V2	1,8	1,5	vyhovuje
V3	2,5	1,5	vyhovuje

Z naměřených hodnot bylo zjištěno, že všechny vzorky vyhovují hodnotám stanoveným normou ČSN EN 12859. V případě vzorku označeného V1 byla naměřená maximální hodnota lomového zatížení na hranici minimální povolené hodnoty, pouze 1,3 kN.

5.1.5 pH

U všech vzorků bylo provedeno měření pH. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce č. 13.

Tab. 13: Vyhodnocení pH

Ozn. Tvárnice	Naměřené pH	Třída pH
B1	6,10	nízké
B2	6,20	nízké
B3	6,20	nízké
V1	6,20	nízké
V2	6,10	nízké
V3	6,00	nízké
N1	6,10	nízké
N2	6,20	nízké

Výsledky měření ukázaly, že všechny tvarovky spadají do kategorie nízkého pH.

5.1.6 Nasákavost

Pro zkoušku nasákavosti byly vyrobeny dvě tvárnice stejné receptury. První, označená N1, byla referenční, hydrofobním nátěrem neošetřená tvarovka. Na druhou tvárnici, označenou N2, byl aplikován vodoodpudivý přípravek LUKOFOB 39.

Po odzkoušení dle normového postupu byla u každého ze vzorků vypočtena nasákavost A, vyjádřená v procentech, ze vztahu $A = [(M3 - M2) / M2] \times 100$, kde M2 je hmotnost vysušené tvárnice a M3 je hmotnost tvárnice nasáknuté. Zjištěné hodnoty jsou uvedeny v tabulce č. 14.

Tab. 14: Vyhodnocení nasákavosti

Ozn. Tvárnice	Hmotnost vysušená M2 [kg]	Hmotnost nasáknutá M3 [kg]	Nasákavost A [%]	Třída
N1	8,50	12,00	41,2	H 3
N2	8,55	8,95	4,7	H 2

Z naměřených a vypočtených hodnot byla určena třída nasákavosti podle normy ČSN EN 12859. Neošetřená tvárnice N1 spadá do třídy H3 – požadovaná hodnota nasákavosti není stanovena. U tvárnice N2, ošetřené hydrofobním nátěrem byla zjištěna hodnota nasákavosti 4,7 % a spadá tedy do třídy H2, u které je stanovena horní hranice nasákavosti $A \leq 5 \%$.

5.1.7 Tepelná vodivost

Tepelná vodivost byla záměrně měřena u tří tvárnice označených B1, B2 a B3, u kterých byla v předcházejícím měření zjištěna rozdílná objemová hmotnost. Jelikož v normě ČSN EN ISO 10456, viz tabulka č. 15, jsou hodnoty tepelné vodivosti zatvrdlé sádry vztaženy k objemové hmotnosti, je možné s nimi porovnat hodnoty naměřené na zhotovených vzorcích. Výsledky měření jsou uvedeny v tabulce č. 16.

Tab. 15: Hodnoty tepelné vodivosti zatvrdlé sádry dle ČSN EN ISO 10456

ρ [kg/m ³]	λ_{23-50} [W/(m×K)]
600	0,18
700	0,22
800	0,26
900	0,3
1000	0,34
1100	0,39
1200	0,43
1300	0,47
1400	0,51
1500	0,56

Tab. 16: Vyhodnocení tepelné vodivosti

Ozn. tvárnice	Tepelná vodivost λ [W/(m×K)]		ρ [kg/m ³]	Hodnoty zatvrdlé sádry		Rozdíl tepelné vodivosti λ [W/(m×K)]
	Naměřené hodnoty	Aritmetický průměr		λ_{23-50} [W/(m×K)]	ρ [kg/m ³]	
B1	0,2114	0,21	780	800	0,26	0,05
	0,2107					
	0,2105					
B2	0,2465	0,25	910	900	0,30	0,05
	0,2458					
	0,2427					
B3	0,3156	0,31	1120	1100	0,39	0,08
	0,2937					
	0,3158					

U nejlehčí tvárnice, označené B1, byla zjištěna hodnota tepelné vodivosti o 0,5 W/(m×K) nižší, než je hodnota tepelné vodivosti zatvrdlé sádry dle ČSN EN ISO 10456, přibližně stejné objemové hmotnosti. U tvárnice B2, střední objemové hmotnosti, je tento rozdíl také 0,5 W/(m×K). U tvárnice nejtěžší, označené B3, byl zjištěn nejvyšší rozdíl tepelné vodivosti, a to 0,08 W/(m×K).

5.2 Vyhodnocení první etapy

5.2.1 Navržené receptury

Podle první receptury byly zhotoveny tvarovky z 10 kg sádry z chemosádrovce, 7,25 kg vody a 0,2 % retardantu, s odstupňovanou dávkou Berolanu označené:

- B1 obsahující 0,05 % Berolanu z hmotnosti sádry
- B2 obsahující 0,10 % Berolanu z hmotnosti sádry
- B3 obsahující 0,15 % Berolanu z hmotnosti sádry

Podle původního návrhu byl proveden také pokusný odlev tvárnice s výrazně vyšší dávkou provzdušňující přísady Berolan, a to 0,5 % z hmotnosti sádry, u kterého bylo očekáváno výrazné vylehčení. Očekávalo se, že větší dávka provzdušňující přísady způsobí výrazné ztekucení a napěnění směsi a po zatuhnutí vznikne porézní struktura tvořená bublinkami. Tohoto cíle však nebylo dosaženo, jelikož se nepodařilo směr při míchání dostatečně napěnit. Po odlití a vysušení tak vznikla tvárnice obvyklých parametrů. Dále tento pokus nebyl opakován, jelikož by k jeho úspěšnému provedení nejspíše bylo zapotřebí výkonnější míchadlo a více surovin, které byly použity k výrobě tvárnice dalších navržených receptur.

U tvarovek označených B1 – B3, bylo cílem zjištění a otestování ztekucujících účinků provzdušňující přísady Berolan, který by mohl být ekonomičtější variantou komerčních plastifikátorů, a dosažení různých tříd objemové hmotnosti. Z výsledků normových zkoušek uvedených výše vyplývá, že receptury úspěšně fungovaly a působení Berolanu na zlepšení zpracovatelnosti bylo potvrzeno.

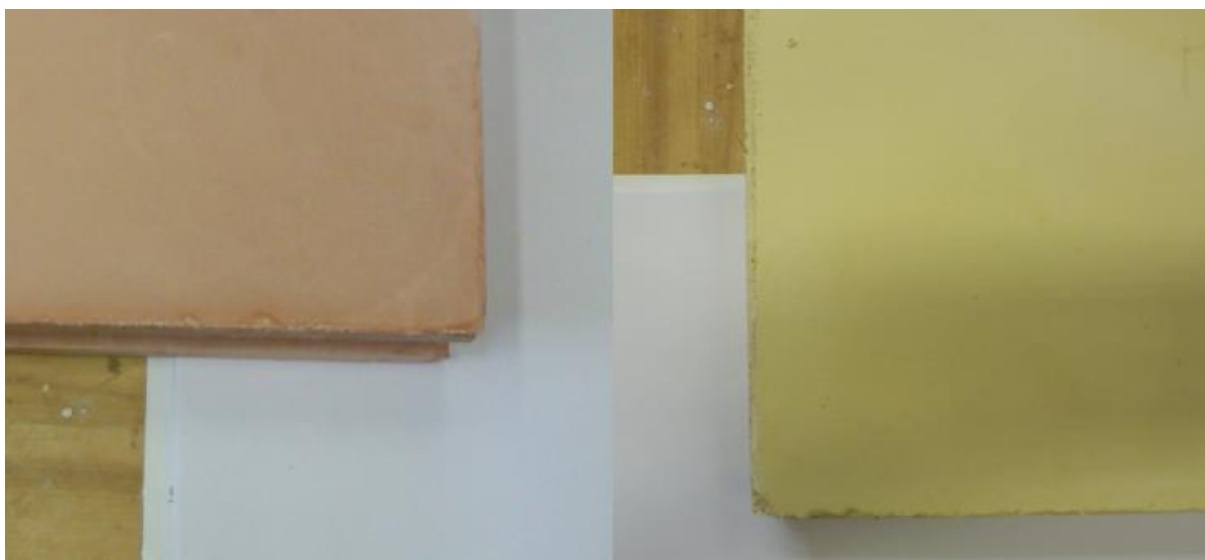
Podle další receptury byly zhotoveny tvárnice z 10 kg sádry, 0,2 % retardantu a 0,1 % Berolanu, avšak s různou dávkou vody, označené:

- V1 obsahující 9 kg vody ($w = 0,9$)
- V2 obsahující 7,5 kg vody ($w = 0,75$)
- V3 obsahující 6,3 kg vody ($w = 0,63$)

Cílem této receptury bylo dosažení různých tříd objemové hmotnosti a srovnání pevností takto vyrobených tvárnice se vzorky přibližně stejných objemových hmotností, dosažených

odstupňováním přísady Berolan HS – 30. Z výše uvedených výsledků měření vyplývá, že receptury byly navrženy správně, jelikož se podařilo dosáhnout všech tříd objemových hmotností. Porovnání pevností je graficky znázorněno v další části práce.

U této receptury bylo také ozkoušeno probarvení tvárnic pomocí pigmentů dvou barev – růžové a žluté, kdy dávka pigmentu byla 0,3 % z hmotnosti sádry. Vyhodnocení bylo provedeno vizuálně. Vyrobené tvárnice byly vybarveny kvalitně a rovnoměrně, bez rozdílů v odstínu, viz obr. č. 18.



Obr. č. 18: Tvárnice obarvené pigmenty

Nakonec byly vyrobeny dvě tvarovky stejné receptury (10 kg sádry; 0,2 % retardantu; 7,25 kg vody; 0,1 % Berolanu), označené N1 a N2. Cílem poslední receptury bylo vyrobít dvě tvárnice stejných vlastností, které by tak byly vhodné pro vyzkoušení hydrofobního přípravku Lukofob 39. Z hodnot uvedených v předchozí kapitole vyplývá, že návrh byl v pořádku.

5.2.2 Odlev

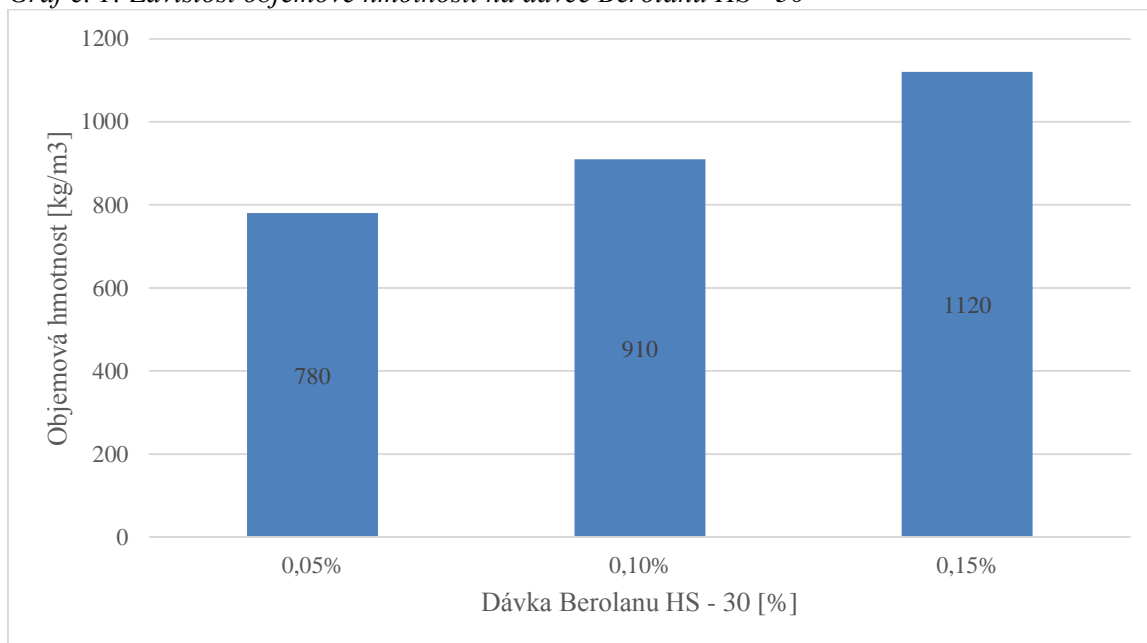
Dle množství navržených receptur bylo provedeno několik odlevů tvárnic za pomoci dřívě zhotovené formy. Díky několika úpravám, které byly učiněny v rámci předchozího výzkumu, jako například hydrofobizace bočnic formy, přidání kovového plátu a nahrazení ocelové struny používané k seříznutí přebytku sádrové kaše kovovou lištou, probíhal opakovaný odlev bez

jakýchkoli problémů. Jediným nedostatkem vylepšené formy by mohly být dřevěné bočnice, které byly opakovaným používáním kovové lišty k seříznutí poněkud silněji opotřebovány.

5.2.3 Závislost objemové hmotnosti na dávce Berolanu

Pro lepší názornost bylo provedeno grafické vyhodnocení závislosti objemové hmotnosti na dávce provzdušňující přísady Berolan HS – 30. Viz graf č. 1.

Graf č. 1: Závislost objemové hmotnosti na dávce Berolanu HS - 30

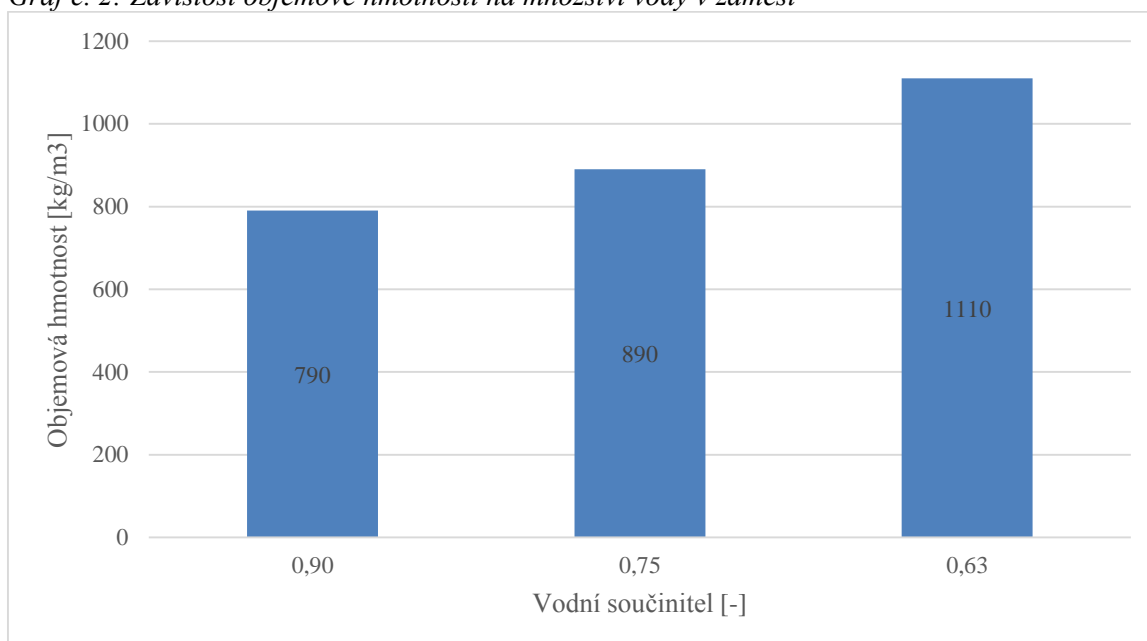


Z grafu je patrné, že při lehkém zvýšení dávky roste objemová hmotnost. Podle toho lze usoudit, že v těchto dávkách má Berolan vliv na plasticitu směsi a vylepšuje její zpracovatelnost, což má za následek nárůst objemové hmotnosti.

5.2.4 Závislost objemové hmotnosti na vodním součiniteli

Ze stejných důvodů jako v předchozím případě je graficky znázorněna i závislost objemové hmotnosti na množství vody v záměsi. Viz graf č. 2.

Graf č. 2: Závislost objemové hmotnosti na množství vody v záměsi

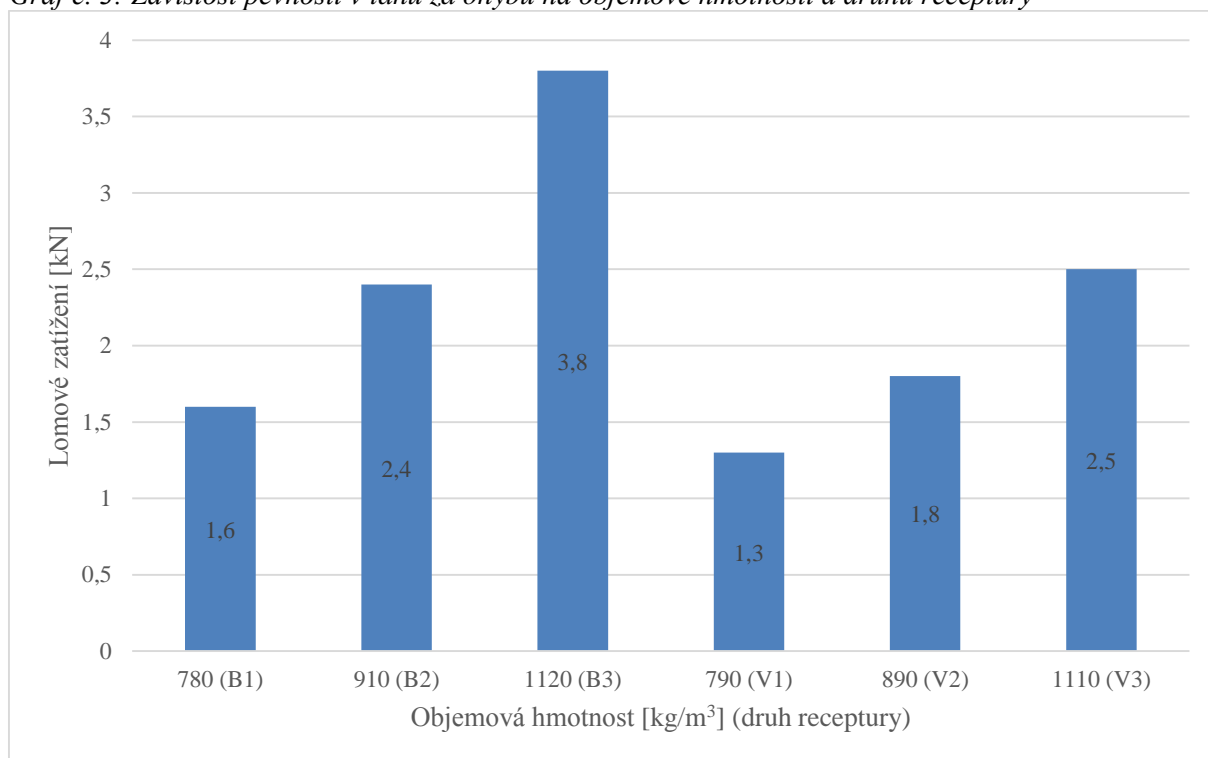


Na grafu č. 2 můžeme vidět, že při snižování vodního součinitele narůstá objemová hmotnost sádrové tvárnice. Je však nutné podotknout, že hodnoty vodního součinitele 0,63 a 0,90 jsou téměř hraniční, a proto větších rozdílů v objemové hmotnosti dalším upravováním pouze vodního součinitele lze jen těžko dosáhnout. Pokud by bylo zapotřebí, bylo by tedy možné výraznějších rozdílů dosáhnout za pomoci kombinace dávky Berolanu a úpravy vodního součinitele.

5.2.5 Závislost pevnosti na objemové hmotnosti a druhu receptury

Dalším zajímavým vyhodnocením je grafické znázornění závislosti pevnosti v tahu za ohybu na objemové hmotnosti a druhu receptury. Viz graf č. 3.

Graf č. 3: Závislost pevnosti v tahu za ohybu na objemové hmotnosti a druhu receptury



Z posledního grafu je dobře patrné, že s rostoucí objemovou hmotností tvárnic rostla i jejich pevnost v tahu za ohybu, která je vyjádřena maximálním lomovým zatížením. Dále je z tohoto grafu snadno poznat, že tvárnice vyrobené ze sádrové směsi optimalizované přísadou Berolan dosahují lepších výsledků maximálních lomových zatížení, než tvárnice upravované pomocí množství vody v záměsi.

5.3 Kalkulace výrobních nákladů

Za účelem zjištění úspory při hromadné výrobě sádrových tvárnic z chemosádrovce, za použití provzdušňující přísady Berolan HS – 30 jako náhrady za běžně využívané plastifikační a superplastifikační přísady Melment a Melflux, byla provedena stručná kalkulační výrobních nákladů. Dále pak byla cena srovnána s cenou komerční sádrové tvárnice SUPERBLOK firmy Gypstrend.

Receptura s Melfluxem ($w = 0,725$; Melflux 0,05 % z hmotnosti sádry)

Na 100 ks ... 1000 kg sádry + 725 kg vody + 0,5 kg Melfluxu + práce ... 4300 Kč (bez DPH)

Počet kusů potřebných na 1 m² ... $1 / (0,5 \times 0,3) = 6,7$ ks

Cena za 1 ks ... $4300 / 100 = 43,00$ Kč (bez DPH)

Cena za 1 m² ... $6,7 \times 43,00 = 288$ Kč (bez DPH)

Receptura s Melmentem (w = 0,725; Melment 0,1 % z hmotnosti sádry)

Na 100 ks ... 1000 kg sádry + 725 kg vody + 1 kg Melmentu + práce ... 4270 Kč (bez DPH)

Počet kusů potřebných na 1 m² ... $1 / (0,5 \times 0,3) = 6,7$ ks

Cena za 1 ks ... $4270 / 100 = 42,7$ Kč (bez DPH)

Cena za 1 m² ... $6,7 \times 42,7 = 286,1$ Kč (bez DPH)

Receptura s Berolanem (w = 0,725; Berolan 0,1 % z hmotnosti sádry)

Na 100 ks ... 1000 kg sádry + 725 kg vody + 1 kg Berolanu + práce ... 4170 Kč (bez DPH)

Počet kusů potřebných na 1 m² ... $1 / (0,5 \times 0,3) = 6,7$ ks

Cena za 1 ks ... $4170 / 100 = 41,7$ Kč (bez DPH)

Cena za 1 m² ... $6,7 \times 41,7 = 279,4$ Kč (bez DPH)

Úspora vůči receptuře s Melmentem na 1 m² ... 8,6 Kč ... 3,0 % ceny za m².

Úspora vůči receptuře s Melfluxem na 1 m² ... 6,7 Kč ... 2,3 % ceny za m².

Srovnání cen s komerčně vyráběnou tvárnici SUPERBLOK firmy Gypstrend:

Počet kusů tvárnice SUPERBLOK potřebných na 1 m² ... $1 / (0,45 \times 0,3) = 7,4$ ks

Cena za 1 ks tvárnice SUPERBLOK dle platného ceníku ... 46 Kč (bez DPH)

Cena za 1 m² tvárnice SUPERBLOK dle platného ceníku ... $7,4 \times 46 = 340$ Kč (bez DPH)

Úspora oproti tvárnici SUPERBLOK na 1 ks ... 4,3 Kč ... 9,4 % ceny za kus.

Úspora oproti tvárnici SUPERBLOK na 1 m² ... 60,6 Kč ... 17,8 % ceny za m².

Jelikož má komerčně vyráběná tvárnice SUPERBLOK od firmy Gypstrend jiné rozměry lícové plochy, je zapotřebí více kusů na 1 m² a procentuální rozdíl ceny za 1 m² je tak výrazně vyšší ve srovnání s procentuálním rozdílem ceny za 1 kus tvárnice.

6 DISKUZE VÝSLEDKŮ

Na základě zjištěných měření, vypočtených výsledků a nově získaných zkušeností lze konstatovat:

- Z důvodů otestování vlastností byla k výrobě použita sádra komerčně vyráběná firmou Rosomac optimalizovaným poloprovozním způsobem z přerovského chemického sádrovce firmy PRECHEZA. Tento produkt se ukázal vhodným jak z důvodů kvality, potvrzené při výrobě a normových zkouškách tvárnic, tak z hlediska ekonomického.
- Navržené optimalizované receptury byly modifikovány několika přísadami. První z nich byl provzdušňující přípravek Berolan HS – 30, který se ukázal jako výhodná náhrada plastifikčních přísad Melment a Melflux. Při menších dávkách byly potvrzeny jeho kladné účinky na plasticitu kaše a zpracovatelnost při menší dávce záměsové vody. Za pomoci tohoto produktu bylo dosaženo všech tříd objemové hmotnosti, avšak nepodařilo se z technických důvodů docílit extrémního vylehčení tvárnice. K dosažení tohoto cíle bych doporučil vyzkoušení míchadla o větším výkonu a zřejmě dalšího, ovšem už jen skromného navýšení dávky Berolanu. Dalším testovaným produktem byl červený a žlutý pigment k probarvení tvárnic. Ten se v navržené receptuře osvědčil a jeho použitím bylo docíleno kvalitního rovnoměrného probarvení tvárnice, což je možné využít k odlišení tvárnic různých tříd dle normy. Dalším úspěšně odzkoušeným produktem byl vnější hydrofobní nátěr LUKOFOB 39, za jehož pomoci bylo u tvárnice docíleno snížení nasákavosti, spadající tak dle normy do kategorie H2 – nasákavost $\leq 5\%$.
- Odlev zkušebních těles za pomoci formy vylepšené v předcházejících výzkumech probíhal ve všech případech úspěšně, snadno a rychle. Jedinou výtkou je při takovémto vícenásobném použití formy silnější opotřebení bočnic formy, které by se však daly opatřit několik mikronů tenkým plechovým páskem, po kterém by kovová lišta používaná k seříznutí přebytku směsi mohla klouzat.
- Z výsledků zkoušek provedených na sadách tvárnic různých receptur bylo zjištěno, že tvárnice splňovaly normové rozměrové požadavky a požadavky na rovinnost. Bylo dosaženo všech tříd objemové hmotnosti (D - vysoké, M - střední a L – nízké). U všech tvárnic byl splněn normový požadavek na minimální lomové zatížení, pouze u tvárnice V3, podle receptury obsahující nejvíce vody v záměsi, byl výsledek na hranici minima. Všechny vzorky byly podrobeny měření pH a u všech byl výsledek nízké pH. Nově byla provedena zaprvé zkouška nasákavosti, jejímž výsledkem bylo u neošetřené tvárnice

zařazení do třídy H3, u které není hranice nasákavosti stanovena. U další tvárnice, která byla opatřena vodoodpudivým nátěrem, byl výsledek kategorie H2 – nasákavost $\leq 5\%$. Další nově provedenou zkouškou bylo měření tepelné vodivosti na tvárnících různých tříd objemových hmotností. Touto zkouškou byl zjištěn rozdíl tepelné vodivosti mezi zatvrdlou sádrovou kaší různých objemových hmotností a směsí, u které bylo různých tříd objemové hmotnosti dosaženo za pomoci provzdušňující přísady Berolan v receptuře. Bylo zjištěno, že tepelná vodivost tvárníc byla nižší.

- Z provedené kalkulace výrobních nákladů bylo zjištěno, že ekonomicky nejvýhodnější přísadou modifikující vlastnosti sádrové kaše je produkt Berolan HS – 30. Dále pak vyplývá ze srovnání cen s komerčním výrobkem SUPERBLOK firmy Gypstrend, že tvárnice vyráběná z chemosádrovce Pregips je výrazně levnější.

ZÁVĚR

V rámci diplomové práce byla řešena výroba sádrových příčkových tvárnic, kde základní surovinou byl chemosádrovec Pregips, dále pak návrh optimalizovaných receptur sádrových směsí s přidavkem různých modifikujících přísad. Odzkoušení provzdušňující přísady Berolan HS – 30 k dosažení různých objemových hmotností, hydrofobního nátěru Lukofob 39 pro snížení nasákavosti a pigmentů k probarvení tvárnic. Použití navržených receptur a všech surovin bylo úspěšné a každá z modifikujících přísad měla kladný efekt na výsledné vlastnosti tvárnice.

Po návrhu receptur a odlevu sady tvárnic se přistoupilo k provedení normových zkoušek za účelem stanovení základních technologických parametrů a srovnání dosažených výsledků s normovými požadavky. Z naměřených a vypočtených hodnot bylo zjištěno, že tvárnice všech receptur splňovaly veškeré normové nároky.

Nakonec byla provedena stručná kalkulace výrobních nákladů a srovnání s výrobkem SUPERBLOK firmy Gypstrend, ze kterých vyplynulo, že ekonomicky nejvýhodnější přísada modifikující konzistenci sádrové kaše je přípravek Berolan HS – 30, a že tvárnice, vyráběná hromadně z chemosádrovce Pregips, by byla podstatně levnější než komerční produkt SUPERBLOK.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] SCHULZE, W., TISCHER, W., ETTTEL, W., LACH, V. *Necementové malty a betony*, Praha: STNL, 1990. ISBN 80-03-0188-9.
- [2] VAVŘÍN, F. *Maltoviny*. Brno: Rektorát vysokého učení technického v Brně, 1980.
- [3] FRIDRICHOVÁ, M. *Maltoviny II – přednášky*. Brno, 2012.
- [4] ŠAUMAN, Z. *Maltoviny I*. Vysoké učení technické v Brně, 1993.
- [5] HLAVÁČ, J. *Základy technologie silikátů*, 2. vydání. Praha: STNL, 1988.
- [6] Gypstrend: *Sádrovcové doly, těžba a zpracování sádrovce* [online] Koberice, 2007.
[cit. 2015-9-20] Dostupné z: <http://www.gypstrend.cz/?clanek=1>
- [7] WEIGLOVÁ, J. *Možnosti využití energosádrovců a druhotných surovin obsahujících sířičitany pro přípravu kompozitů*. Brno, 2010. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická.
- [8] SKOUPIL, Z. *Vývoj sádrových prvků jako součásti komplexního příčkového systému*. Brno, 2012. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební.
- [9] VERNER, F. *Vývoj sádrových příčkových tvárnic*. Brno, 2014. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební.
- [10] Podklady firmy Isolava [online] 2015. Dostupné z: <http://www.isolava.be/>
- [11] Podklady firmy Multigips [online] 2015. Dostupné z: <http://www.multigips.com>
- [12] Podklady firmy Placo [online] 2015. Dostupné z: <http://www.placo.fr>
- [13] Podklady firmy GPM [online] 2015. Dostupné z: <http://www.gpmsrl.eu/plaster.html>
- [14] Podklady firmy Baldelli [online] 2015. Dostupné z: <http://www.baldelli-company.com/eng/>
- [15] Podklady firmy Grupo FKS [online] 2015. Dostupné z: http://www.grupofks.com.br/bloco_gesso_en.html
- [16] Podklady firmy Volma [online] 2015. Dostupné z: <http://www.volma.ru>
- [17] Podklady firmy Magma [online] 2015. Dostupné z: <http://www.magma-gips.ru/>
- [18] Podklady firmy CNBM [online] 2015. Dostupné z: <http://www.cnbmtechnology.com>
- [19] Podklady firmy Gypsonite [online] 2015. Dostupné z: <http://www.gypsonite.com/>

[20] ČSN EN 12859 Sádrotvárnice – Definice, požadavky a zkušební metody. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Saharská růže

Obr. 2: Mariánské sklo

Obr. 3: Vlaštovčí ocase

Obr. 4: Skládka energosádrovce

Obr. 5: Pokládka samonivelační anhydritové podlahy

Obr. 6: Aplikace sádrokartonových desek

Obr. 7: Schématické zobrazení výroby sádrovláknité desky firmy Farmacell

Obr. 8: Zkušební zařízení na stanovení pevnosti v tahu za ohybu rozměry v milimetrech

Obr. 9: Půdorysný náčrt smontované formy s rozměry v milimetrech

Obr. 10: Rozebrané bočnice formy s kovovými úhelníky a křídlovými šrouby

Obr. 11: Řez bočnicemi formy tvořícími pero a drážku tvárnice

Obr. 12: Smontovaná forma v reálné podobě

Obr. 13: Sádrová tvárnice po odformování

Obr. 14: Původní forma a její upravená verze

Obr. 15: Tvárnice při zkoušce pevnosti v tahu za ohybu

Obr. 16: Tvárnice bez hydrofobního nátěru a s nátěrem při zkoušce nasákavosti

Obr. 17: Měření součinitele tepelné vodivosti metodou horkého drátu

Obr. 18: Tvárnice obarvené pigmenty

SEZNAM TABULEK

- Tab. 1: Hodnoty tepelné vodivosti zatvrdlé sádry dle EN ISO 10456:2007
- Tab. 2: Lomové zatížení sádrových tvárnic třídy A dle ČSN EN 12859
- Tab. 3: Lomové zatížení sádrových tvárnic třídy R dle ČSN EN 12859
- Tab. 4: Výsledky objemových hmotností dle normy ČSN EN 12859
- Tab. 5: Vyhodnocení naměřených lomových zatížení dle normy ČSN EN 12859
- Tab. 6: Výsledky pH
- Tab. 7: Přehled kvalitativních znaků sádrovce Pregips
- Tab. 8: Vyhodnocení rozměrů
- Tab. 9: Vyhodnocení rovinnosti
- Tab. 10: Vyhodnocení objemové hmotnosti
- Tab. 11: Lomové zatížení sádrových tvárnic třídy A dle ČSN EN 12859
- Tab. 12: Vyhodnocení lomového zatížení
- Tab. 13: Vyhodnocení pH
- Tab. 14: Vyhodnocení nasákavosti
- Tab. 15: Hodnoty tepelné vodivosti zatvrdlé sádry dle ČSN EN ISO 10456
- Tab. 16: Vyhodnocení tepelné vodivosti

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1: Závislost objemové hmotnosti na dávce Berolanu HS - 30

Graf 2: Závislost objemové hmotnosti na množství vody v záměsi

Graf 3: Závislost pevnosti v tahu za ohybu na objemové hmotnosti a druhu receptury