



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

POJIVA A MALTOVÉ SMĚSI NA BÁZI SÍRANU VÁPENATÉHO

BINDERS AND MIXTURES BASED ON CALCIUM SULFATE

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

BC. JAN HANÁČEK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. DOMINIK GAZDIČ, Ph.D.

BRNO 2016



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. Jan Hanáček
Název	Pojiva a maltové směsi na bázi síranu vápenatého
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

Online databáze Science Direct, Web of Science, Scopus, Elsevier.
Sborníky konferencí Maltoviny 2006-2014.
FRIDRICHOVÁ, M: Historické a současné anhydritové maltoviny, sborník konference Technologie ochrany památek, Praha 2002
APLEYARD, FRANK C. Gypsum and Anhydrite, Industrial Minerals and Rocks – 5th Edition.
BAYER, G., WIEDEMANN, H. G. Displacement reaction in gypsum and in anhydrite, Science Direct - Thermochimica Acta
MOORE, W. J.: Fyzikální chemie, SNTL 1979

Zásady pro vypracování

Cílem práce je příprava maltových směsí pro podlahové potěry ze síranu vápenatého. V rámci teoretické části práce proveďte:

- studium dostupné tuzemské a převážně zahraniční literatury na dané téma, včetně dosud provedených zkoušek a dosažených výsledků na ústavu THD,
- studium obecné teorie maltovin na bázi síranu vápenatého s cíleným zaměřením na anhydritové maltoviny,
- popis jednotlivých druhů pojiv a průmyslově vyráběných maltových směsí; normativních požadavků vztahujících se k tomuto typu maltových směsí dle platných norem
- studium běžně používaných modifikujících přísad, popis jejich fungování

V rámci experimentální části práce proveďte:

- návrh složení anhydritových maltových směsí; typ pojiva, druh budiče, vybrané modifikující přísady (plastifikační, odpěňovací, provzdušňující, retenční, aj.),
- laboratorní zkoušky dle normových požadavků – technické požadavky na pojiva (CAB) a průmyslově vyráběné maltové směsi (CA),
- na základě vyhodnocení dílčích výsledků případnou optimalizaci dávkování,
- vyhodnocení dosažených výsledků, srovnání s komerčně vyráběnými směsí a následné doporučení pro další výzkum v dané oblasti.

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 uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání 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

Diplomová práce se zabývá výzkumem a vývojem v oblasti síranových pojiv, zejména anhydritové maltoviny. Teoretická část se věnuje obecné teorii síranových pojiv a anhydritových maltovin. Druhá část obsahuje popis normových požadavků litých potěrů a způsobů technologie jejich pokládky.

Praktická část diplomové práce se zabývá výzkumem a vývojem anhydritové maltoviny se zaměřením na samonivelační potěry. Pro tyto směsi byly použity rozličné druhy plastifikačních přísad. Jejich účinnost a výsledné charakteristiky byly porovnány.

Klíčová slova

Síranové pojivo, sádrovec, anhydrit, budič, samonivelační směs

Abstract

This Diploma Thesis deals with the research and advancements in the field of sulphate binders, especially the anhydrite binder. The theoretical part of the thesis is dedicated to the fundamentals of sulphate binders and anhydrite binders. Its second part also introduces standard requirements for screed coatings together with technological methods of their application.

Practical part of the thesis looks at the research and production of anhydrite binder with special emphasis on self-levelling compounds. Various types of plasticizers were used in these compounds and their effectiveness and final product quality are compared.

Keywords

Sulphate binder, gypsum, anhydrite, exciter, self-leveling compound

Bibliografická citace VŠKP

Bc. Jan Hanáček *Pojiva a maltové směsi na bázi síranu vápenatého*. Brno, 2015. 81 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 samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje

V Brně dne 13. 1. 2016

.....

Podpis autora

Bc. Jan Hanáček

Poděkování:

Panu Ing. Dominiku Gazdičovi, Ph.D., děkuji za odborné vedení a podporu při zpracování mé diplomové práce. Poděkování patří i ostatním členům Ústavu stavebních hmot a dílců.

OBSAH

ÚVOD.....	10
I. TEORETICKÁ ČÁST	11
1. TEORIE SÍRANOVÝCH MALTOVIN	11
1.1 Sádrovec.....	11
1.1.1 Vznik přírodního sádrovce	12
1.1.2 Naleziště sádrovce u nás a v zahraničí.....	12
1.2 Průmyslové sádrovce	15
1.2.1 Energosádrovec.....	16
1.2.1.1 Suchá vápencová metoda	16
1.2.1.2 Polosuchá vápenná metoda	17
1.2.1.3 Mokrá vápencová metoda.....	17
1.2.1.4 Produkce energosádrovce v ČR a na Slovensku.....	18
1.2.1.5 Využití energosádrovců	19
1.2.2 Chemosádrovec.....	19
1.2.2.1 Sádrovec z výroby titanové běloby	19
1.2.2.2 Sádrovec z výroby kyseliny fosforečné	20
1.3 PRODUKTY DEHYDRATACE SÁDROVCE	21
1.3.1 $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$	22
1.3.2 CaSO_4 III	23
1.3.3 CaSO_4 II.....	23
1.3.4 CaSO_4 I.....	24
2. ANHYDRITOVÉ MALTOVINY	24
2.1 Teorie hydratace anhydritu	25
2.2 Aktivace hydratace anhydritu	26
2.3 Požadavky na zpracování anhydritové maltoviny	28
3. ANHYDRITOVÉ PODLAHY.....	29
3.1 Způsoby aplikace anhydritových potěrů.....	30
3.1.1 Anhydritový potěr na izolační vrstvě	30
3.1.2 Topný anhydritový potěr	31
3.1.3 Spojovací anhydritový potěr.....	33

3.1.4 Anhydritový potěr na separační vrstvě	34
3.2 Technologie provádění přípravy, uložení potěru a jeho ošetřování.....	34
3.3 Sintrová vrstva	36
3.4 Vytvrdlý anhydritový potěr.....	37
3.5 Modifikující přísady do anhydritových směsí	38
3.6 Rozdíly mezi cementovým a anhydritovým litým potěrem	39
3.7 Tuzemští dodavatelé anhydritových litých potěrů a pytlovaných směsí	42
4. LEGISLATIVNÍ POŽADAVKY NA ANHYDRITOVÉ POTĚROVÉ SMĚSI	42
4.1. Norma ČSN EN 13813.....	42
4.2. Norma ČSN EN 13454.....	43
4.2.1. Pojiva a průmyslově vyráběné maltové směsi	44
4.2.1.1. Požadavky na pojiva (CAB, CAC) a průmyslově vyráběná směsi (CA) ..	44
4.2.2. Normové postupy zkoušek.....	45
4.2.2.1. Stanovení pH	45
4.2.2.2. Stanovení konzistence a počátku tuhnutí	45
4.2.2.3. Hodnota rozlití použitím střešacího stolku	46
4.2.2.4. Stanovení pevnosti	47
5. DOSAŽENÉ VÝSLEDKY VÝZKUMŮ ANHYDRITOVÝCH SMĚSÍ	50
II. PRAKTICKÁ ČÁST.....	52
6. METODIKA A POSTUP PRÁCE	52
6.1. Etapa I: Zkoušky prováděné na anhydritových pastách.....	53
6.2. Etapa II: Zkoušky prováděné na anhydritových maltách.....	53
6.3. Etapa III: Zkušební odliv samonivelačního potěru	54
7. POUŽITÉ PŘÍSTROJE	55
8. POUŽITÉ SUROVINY	56
9. VYHODNOCENÍ	58
9.1. Etapa I: Zkoušky prováděné na anhydritových pastách.....	58
9.1.1. Stanovení pH	58
9.1.2. Stanovení technologických vlastností na anhydritových pastách.....	58
9.1.3. Hydratační proces.....	61
9.2. Etapa II: Zkoušky prováděné na anhydritových maltách.....	64
9.2.1. Technologické vlastnosti anhydritových malt při konstantní dávce vody 225 ml	64

9.2.2. Zkoušky anhydritové malty na konstantní rozliv (150 ± 5) mm a jejich pevnosti	67
9.3. Etapa III: Zkušební odliv samonivelačního potěru	69
9.3.2. Stanovení vizuálních charakteristik.....	70
DISKUSE	71
ZÁVĚR.....	73
POUŽITÁ LITERATURA	74
SEZNAM OBRÁZKŮ	77
SEZNAM TABULEK.....	79
SEZNAM GRAFŮ	80
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	81

ÚVOD

Výroba a využití síranových pojiv jsou v dnešní době stále více v oblibě. Pro jejich vznik je potřeba menší množství energie, a to z důvodu nižších teplot při výpalu této suroviny. Z hlediska ekonomického jsou síranová pojiva vnímána jako velmi atraktivní produkt.

Síranová pojiva nacházejí dlouhodobě široké uplatnění při výrobě tvarovek, sádrokartonových desek, omítek, ale i samonivelační směsí. Území České republiky je na výskyt přírodního sádrovce poměrně chudé, vyskytuje se zde jen jedno ložisko, a to v Kobeřicích. Z důvodu nedostatku této přírodní suroviny se hledalo alternativní řešení spočívající ve využití odpadních sádrovců, které se získávají odsiřováním spalin v tepelných elektrárnách nebo vznikají při neutralizačních procesech v chemickém průmyslu. Hotovou směs, tzv. „compound“, dovážíme ve velkém množství z Německa a Rakouska, přírodní anhydrit z Polska.

Hlavním konkurentem litého síranového potěru se stala cementová nivelační směs. Tento potěr byl však vyvinut později. Anhydritová podlaha má v porovnání s cementovou mnoho výhod, např. lepší samonivelační účinek, tepelnou vodivost, snadnost pokládky, aj. I přes tato pozitiva si nevydobyла větší důvěru u spotřebitelů. Využití anhydritového samonivelačního potěru je však v současnosti na vzestupu.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1. TEORIE SÍRANOVÝCH MALTOVIN

Maltoviny jsou anorganická prášková pojiva, která se vyrábí z pálených hornin. Po promíchání s vodou vytvoří dobře zpracovatelnou hmotu, jež po určité době za vzniku nových chemických sloučenin vykáže dostatečnou pevnost. [1]

Mezi tzv. vzdušné maltoviny můžeme zařadit síranová pojiva, ale i vzdušné vápno a hořečnatou maltovinu. U těchto maltovin po rozmíchání s vodou dochází k tuhnutí a tvrdnutí pouze na vzduchu. Jsou stále jen v suchém prostředí, ve vlhkém prostředí dochází ke snížení pevností a následnému rozpadu.

1.1 Sádrovec

Dihydrát síranu vápenatého, sádrovec, je základní surovina, která se využívá k výrobě sádrových maltovin. Jeho chemický vzorec je $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Tento minerál je nejčastěji bezbarvý až průhledný (průsvitný) nebo může být zbarven do bíla, avšak jsou známy i jiné barevné kombinace (světle modrá, fialová, žlutá, hnědá), což je způsobeno jílly nebo přítomností různých oxidů a hydroxidů. Sádrovec je morfologicky tvořen několika desítkami různých krystalů, kdy mezi nejrozšířenější patří tabulky, čočkovité, jehličkovité a prizmatické tvary. Dochází často taky ke dvojčatí, tj. vytvoření vlaštovčích ocasů. Ke krystalizaci dochází v jednodílné soustavě. Jeho tvrdost je 1,5 až 2 dle Mohsovy stupnice. Charakterizuje se skelným až perleťovým leskem a objemovou hmotností v rozmezí 2 300 až 2 320 kg/m^3 . Vyznačuje se dokonalou štěpností podle {010}, zřetelnou podle {100} a {011}. Má řadu ušlechtilých odrůd, např. *alabastr* (úběl), který je jemně zrnitý až celistvý, bíle zbarven. *Selenit* se vyznačuje hedvábným, perleťovým leskem a tvoří vláknité agregáty. *Mariánské sklo* má velké krystaly, které jsou čiré a průsvitné. Charakteristické pro *saharskou růži* je skelný vzhled s velkými okrovými až nahnědlými krystaly (viz obr. 1).

Ve vodě se rozpouští jen málo (při 18 °C je to asi 0,20 %, při 40 °C asi 0,21 % a při 100 °C asi 0,17 % hmot.). Chemicky čistý sádrovec obsahuje 32,56 % CaO, 46,51 % SO_3 a 20,93 % H_2O . [1]



a) saharská růže

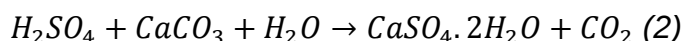
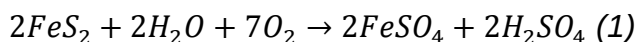


b) dvojčatí krystalu sádrovce [15]

Obr. 1: Krystaly sádrovce

1.1.1 Vznik přírodního sádrovce

- Primární – vznikl z uzavřených moří nebo slaných jezer odpařením vody. Tím se zvětšovala koncentrace solí v těchto vodách obsažených, až došlo k přesycení roztoků. Proto docházelo postupně k jejich vylučování a usazování. Nejdříve se vylučovaly soli ve vodě málo rozpustné, mezi něž patří i síran vápenatý, a pak teprve soli rozpustnější, zejména sloučeniny sodné a draselné. Proto takto vzniklá ložiska mají spodní vrstvy sádrovcové a nadloží většinou ze solí sodných a draselných.
- Sekundární – vznikl rozkladem pyritu za přítomnosti vápence. Tyto reakce probíhaly přibližně takto:



Některá ložiska sádrovce jsou velmi čistá. Jiná jsou do různého stupně znečištěna anhydritem, dolomitem, vápencem, slíny, jíly, bitumeny apod. [1]

1.1.2 Naleziště sádrovce u nás a v zahraničí

V České republice je jediné naleziště ležící v opavské pánvi v Kobeřicích - jih. Zde na ploše cca 60 ha těží společnost GYPSTREND s. r. o. sádrovec, který je znečištěn šedými jíly, což má vliv na jeho zbarvení. Část sádrovce odebírají cementárny jako regulátor tuhnutí cementu. Zbytek vytěženého sádrovce je kalcinací zpracován na sádrové pojivo. Toto sádrové pojivo je využíváno i na výrobu

příčkových tvárnic a sádrových omítek. Společnost GYPSTREND s.r.o. uzavřela smlouvu se společností Precheza Přerov, která zpracovává sádrovec z výroby titanové běloby. Materiál se bude zpracovávat přímo v místě vzniku tohoto sádrovce. Charakteristické vlastnosti sádrovce těženého v Kobeřicích jsou uvedeny v tabulce 1.

Tab. 1: Charakteristika sádrovce těženého v Kobeřicích společností GYPSTREND s.r.o. [16]

Parametr	Hodnota
$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	60 - 80 %
Vlhkost	max. 10 %
Ztráta žíháním	10 - 16 %
SiO_2 + nerozpustný zbytek	8 - 15 %
CaSO_4	0 - 0,5 %
SO_3	28 - 37 %
CaO	24 - 36 %
MgO	0,2 - 1 %
Seskvioxidy (Al_2O_3 , Fe_2O_3)	1 - 2,6 %
Hmotnostní aktivita ^{226}Ra	max. 80 Bq/kg průměrně: 10 ± 4 Bq/kg

V rozmezí let 1993 až 1995 se každý rok na území České republiky vytěžilo přes 500 000 tun sádrovce. Od roku 1996 došlo k útlumu těžby, až do roku 2001, kdy se získalo jen 24 000 tun. Poté nastalo opět zvýšení těžby, ale jen na krátkou dobu. V roce 2013 bylo v Kobeřicích vytěženo už jen 11 000 tun suroviny. K tomuto poklesu došlo využíváním sádrovce z průmyslové výroby, hlavně sádrovce vzniklého z odsíření spalin a z výroby titanové běloby. Více o množství těžby sádrovce v České republice z období let 1993 až 2013 je uvedeno v tabulkách 2 a 3.



Obr. 2: Těžba sádrovce společností GYPSTREND Kobeřice [18]

Tab. 2: Těžba sádrovce na území ČR v rozmezí let 1993 až 2008 [13]

rok	vytěženo [kt]	rok	vytěženo [kt]
1993	560	2001	24
1994	591	2002	108
1995	542	2003	104
1996	443	2004	71
1997	241	2005	25
1998	222	2006	16
1999	136	2007	66
2000	82	2008	35

Tab. 3: Těžba sádrovce na území ČR v rozmezí let 2009 až 2013 [13]

Rok	2009	2010	2011	2012	2013
Počet ložisek celkem	5	5	5	5	5
z toho těžených	1	1	1	1	1
Zásoby celkem, [kt]	504 276	504 269	504 256	504 240	504 227
bilanční prozkoumané	119 149	119 142	119 129	119 113	119 100
bilanční vyhledané	302 990	302 990	302 990	302 990	302 990
nebilanční	82 137	82 137	82 137	82 137	82 137
vytěžitelné	2 308	2 301	2 288	2 272	2 259
Těžba, [kt]	13	5	11	14	11

Ložiska v sousedních státech:

- Slovenská republika – Zlatá Baňa, Banská Štiavnica, Novoceská Huta (alabastr), Spišská Nová Ves (s obsahem 10 – 15 % anhydritu II), Vlkanová u Zvolena (mariánské sklo)
- Polsko – Wieliczka a Bochnia
- SRN – Strassfurt, Mainz, Braunschweig
- Rakousko – Salzburg [8]

V sousedních státech se sádrovec těží mnohem víc než u nás (viz tab. 4).

Tab. 4: Těžba sádrovce v sousedních státech [14]

Země [kt]	2009	2010	2011	2012	2013
Německo	1 898	1 822	2 021	1 949	1 778
Polsko	1 277	1 179	1 226	1 228	1 085
Slovensko	131	87	143	138	56
Rakousko	911	872	815	792	635

Světová těžba sádrovce s anhydritem v období let 2009 až 2013 mírně rostla (tab. 5). Mezi nejvyšší producenty ve světě patří Čína s 38 000 000 t sádrovce, což je cca 23 % z celkového množství. Dalšími velkými světovými producenty sádrovce jsou Írán a USA. V Evropě je největší těžba sádrovce ve Španělsku (více v tab. 6). Světové ložiskové zásoby sádrovce se v současnosti odhadují na 2,6 mld. t. [13]

Tab. 5: Světová těžba sádrovce s anhydritem [14]

Rok	2009	2010	2011	2012	2013
Těžba [kt]	141 824	148 577	154 120	164 055	169 110

Tab. 6: Světoví producenti těžby sádrovce [12]

Země, [kt]	2012	2013	Země, [kt]	2012	2013
USA	15 800	16 300	Lotyšsko	253	272
Čína	38 000	38 000	Makedonie	158	163
Írán	19 000	21 119	Portugalsko	264	299
Albánie	91	112	Rumunsko	879	880
Bosna - Hercegovina	73	69	Rusko - Evropa	5 000	5 100
Bulharsko	114	119	Řecko	621	760
Francie	5 000	5 200	Španělsko	6 360	7 125
Chorvatsko	127	143	Švýcarsko	320	320
Itálie	2 563	3 163	Ukrajina	2 224	2 200
Kypr	328	315	Velká Británie	1 700	1 700

1.2 Průmyslové sádrovce

Na území České republiky se vyskytuje jen jedna lokalita pro těžbu přírodního sádrovce, proto dochází k velkému využití odpadních sádrovců vznikajících v průmyslové výrobě jako vedlejší energetický produkt. Nejpočetnější jsou tzv. energosádrovce vznikající při odsíření spalín tepelných elektráren. Mezi další reprezentanty můžeme zařadit tzv. chemosádrovce, které jsou produkovány při výrobě titanové běloby nebo při výrobě kyseliny fosforečné, borité, fluorovodíkové a citronové. Tyto sádrovce jsou charakteristické svou velmi vysokou chemickou čistotou. Od přírodní suroviny se odlišují sypanou hmotností, typem krystalů, malou velikostí zrna a vyšší vlhkostí, která je nevýhodou a plyne z technologického postupu výroby. [8]

1.2.1 Energosádrovec

Energosádrovec, označovaný jako FGD (flue-gas desulfurization – desulfatace spalin), vzniká odsířením spalin produkovaných v tepelných elektrárnách. K získání tohoto sádrovce se používá suchá, polosuchá a mokrá vápencová metoda (způsoby odsíření v tepelných elektrárnách společnosti ČEZ jsou uvedeny v tab. 7). Sádrovec vzniklý tímto způsobem má velmi vysokou čistotu.

K odsiřování spalin dochází třemi základními metodami. Jsou to:

- *suchá*
- *polosuchá*
- *mokrá*

Podíváme-li se na následující tabulku se seznamem tepelných elektráren skupiny ČEZ, a.s., můžeme s přehledem konstatovat, že nejrozšířenější metodou využívanou k odsíření spalin je mokrá vápencová metoda.

Tab. 7: Tepelné elektrárny ČEZ, a.s. a jejich způsoby odsíření [19]

Elektrárna	Bloky	Metoda
Dětmovice	4 x 200 MW	mokrá vápencová
Hodonín	50 MW, 55MW	fluidní spalování
Chvaletice	4 x 200 MW	mokrá vápencová
Ledvice	3 x 110 MW	2x polosuchá metoda, 1 fluidní kotel
Mělník II	2 x 110 MW	mokrá vápencová
Mělník III	500 MW	mokrá vápencová
Počerady	5 x 200 MW	mokrá vápencová
Poříčí II	3 x 55 MW	fluidní spalování
Prunéřov I	4 x 110 MW	mokrá vápencová
Prunéřov II	5 x 210 MW	mokrá vápencová
Tisová I	2 kotle pro 3 x 57 MW + 1 x 12,8MW	fluidní spalování
Tisová II	112 MW	mokrá vápencová
Tušimice II	4 x 200 MW	mokrá vápencová

1.2.1.1 Suchá vápencová metoda

Pomocí suché vápencové metody dochází k odsíření spalin dvěma způsoby, a to tak, že se do kotle přidá jemně mletý vápenec, nebo ve fluidní vrstvě dochází

k odstranění ve spalinách. Účinnost je závislá na kvalitě a koncentraci sorbentu, na teplotě a tlaku.

- Suchá aditivní vápencová metoda - jako aditivum se nejčastěji používá uhličitán vápenatý CaCO_3 o velikosti $60\text{ }\mu\text{m}$, dolomitický vápenec MgCO_3 nebo pálené vápno CaO , Ca(OH)_2 , Mg(OH)_2 a MgCO_3 . Endotermické a exotermické reakce probíhají za teplot v rozmezí 800 až $1\,100\text{ }^\circ\text{C}$.
- Fluidní spalování s aditivy - ke spalování dochází při normálním nebo zvýšeném tlaku, kdy kalcinace probíhá při teplotách okolo $850\text{ }^\circ\text{C}$.

1.2.1.2 Polosuchá vápenná metoda

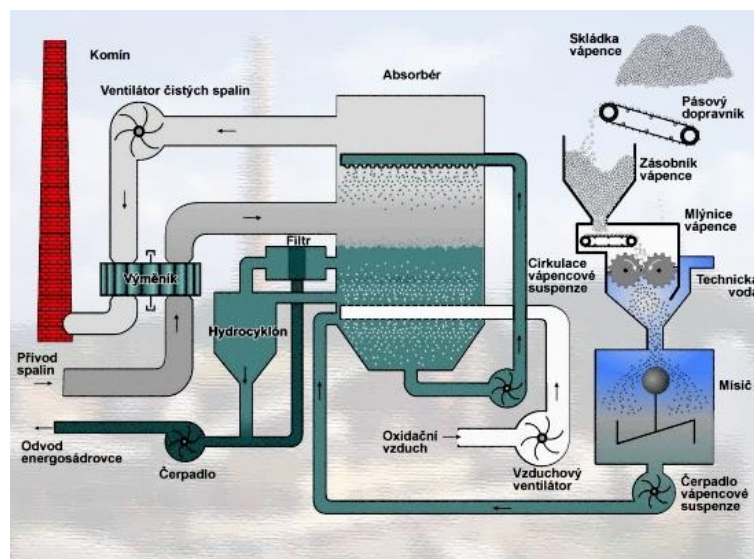
Vytvořená vodní suspenze z hydroxidu vápenatého Ca(OH)_2 se vstřikuje do rozprašovací sušárny, která je součástí odsiřovacího reaktoru. Jako aditivum se používá pálené vápno CaO , které je hašeno v hasicích linkách za vzniku Ca(OH)_2 . Rozprašování Ca(OH)_2 se provádí rozprašovacími tryskami nebo rozprašujícími kotouči s otvory. [7]

Polosuchá vápenná metoda se využívá pro odsiřování spalin ze spalování kvalitnějšího uhlí, které má menší obsah síry. V porovnání s mokrou vápennou metodou má tato metoda menší investiční náklady.

1.2.1.3 Mokrý vápencová metoda

Nejvíce využívaná metoda, při které vzniká energosádrovec (Japonsko a Evropa) nebo kal (USA). Produkce kalu je výrazně nižší než produkce energosádrovce.

Spaliny se zbaví popílku pomocí elektrostatického odlučovače a ve výměníku se ochladí. Poté jsou o teplotě 150 až $200\text{ }^\circ\text{C}$ vedeny do absorbéru (soproudý nebo protiproudý), ve kterém dojde k odsiřování. Vápenec s obsahem $\text{CaCO}_3 > 90\text{ }\%$ a vápenec s hořečnatou příměsí se používá jako sorbent. Aby byl sorbent dobře účinný, je třeba jej dostatečně namlít (zrnitost z $90\text{ }\%$ má částice o velikosti do $90\text{ }\mu\text{m}$) a vytvoří se vodní suspenze, která se rozstříkuje. Vzniklý energosádrovec se odvede do hydrocyklónu, kde dojde k odvodnění, promytí a vysušení na vlhkost kolem $10\text{ }\%$. Jeho uložení je v deponiích nebo v halách. Nevýhodou této metody je tvorba úsad a nánosů v absorbéru a vodních kruzích. Vzniklý energosádrovec má konzistence jemného prášku, vlhkost se pohybuje v rozmezí 6 až $15\text{ }\%$ hm. Sypná hustota 950 až $1\,050\text{ kg/m}^3$. [7,10]



Obr. 3: Schéma odsíření mokrou vápencovou cestou [11]

Tab. 8: Energosádrovec ČEZ, a.s. [20]

Obsah $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$	min. 90 % hm.
Vlhkost	max. 10 % hm.
Obsah chloridů	max. 0,1 % hm.
Obsah oxidu hořečnatého	max. 0,2 % hm.
Hodnota pH	5 - 8
Hmotnostní aktivita Ra^{226}	max. 300 Bq/kg
Index hmotnostní aktivity I	max. 2,0

1.2.1.4 Produkce energosádrovce v ČR a na Slovensku

Produkce energosádrovce je vyšší v porovnání s ostatními průmyslově vyráběnými sádrovci. Množství vzniklého energosádrovce odpovídá kvalitě uhlí a výrobě elektřiny.

U našich východních sousedů na Slovensku se nacházejí dvě tepelné elektrárny produkující energosádrovec. V elektrárně Vojany se spaliny odsíří a vzniklá sádrovcová suspenze se smíchá s popelem z ostatních kotlů. Vzniklý stabilizát se skladuje. V další elektrárně Nováky se část sádrovcové suspenze použije pro výrobu stabilizátoru a ukládá se na skládku. Druhá část sádrovcové suspenze se odvodní a energosádrovec se expeduje.

Tab. 9: Roční produkce energosádrovce [21]

Elektrárna	Roční produkce energosádrovce [t/rok]
Opatovice	85 000
Počerady	100 000 až 400 000
Prunéřov	100 000 až 400 000
Dětmarovice	20 000
Mělník	120 000

1.2.1.5 Využití energosádrovců

Produkt energosádrovec se využívá v mnoha průmyslových odvětvích. Slouží i k výrobě *speciálních hnojiv*, která jsou charakteristická svým vyšším množstvím síry. V zemědělství se energosádrovec používá pro *substráty k pěstování žampionů*. Jeho nejčastější použití je ve stavebnictví, kde se používá v *cementářství* jako regulátor tuhnutí (elektrárna Dětmarovice, Počerady), pro výrobu *pórobetonu* nebo *sádrových tvárnic a omítek*. Značná část energosádrovce se spotřebuje k výrobě *sádrovláknitých a sádrokartonových desek* (společnost Rigips zpracovává veškerý sádrovec vzniklý při odsiřování spalin v elektrárně Mělník, elektrárna Počerady zásobuje firmu Knauf). V podlahářství se energosádrovec využije pro výrobu samonivelačních směsí, které jsou založeny na bázi sádrovce (podlahy anhydritové nebo na bázi alfa sádry).

1.2.2 Chemosádrovec

Mezi chemosádrovce můžeme zařadit sádrovce, které vznikají jako odpadní surovina ve výrobě titanové běloby a kyselin fosforečné, borité, citronové, fluorovodíkové.

1.2.2.1 Sádrovec z výroby titanové běloby

Českým producentem sádrovce vznikajícího při výrobě titanové běloby TiO_2 je společnost Precheza Přerov. Jejich sádrovce nesou název:

- *PREGIPS* - průmyslový síran vápenatý $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Sádrovec vzniká při výrobě titanové běloby neutralizací odpadních vod, která se provede přidáním velmi jemně mletého vápence. Následně se sádrovec oddělí na odstředivkách a vymyje se doprovodných ve vodě rozpustných solí. Sádrovec je ve formě jemného krystalického prášku bílého až světle krémového zabarvení, bez zápachu. Není žíravý ani dráždivý. Sádrovec je zdravotně nezávadný,

nehořlavý, neradioaktivní a nejedovatý. Rozpustnost ve vodě je 2 g/l. PREGIPS je dodáván v práškové podobě, odstředěný, volně ložený v železničních vagonech, případně nákladních automobilech nebo přepravních kontejnerech. Roční produkce sádrovce v PREGIPS je cca 110 000 tun. Sádrovec se využívá při výrobě sádrových pojiv, sádry a v cementárnách. [22]

Tab. 10: Přehled základních kvalitativních údajů sádrovce PREGIPS [22]

Parametr	Hodnota
obsah $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ v sušině	min. 95 %
pH	5 - 8
MgO rozpustný ve vodě	max. 0,1 %
Na_2O rozpustný ve vodě	max. 0,06 %
chloridový ion rozpustný ve vodě	max. 0,01 %
vlhkost	max. 13 %

- **PRESTAB** - jedná se o směs průmyslového sádrovce a oxidu - hydroxidu železitého. Jeho původní zbarvení je černozelelé, avšak dochází ke změně barvy do rezavě hnědé vlivem vzdušné oxidace. Nehořlavá, nevýbušná látka bez zápachu. Používá se pro rekultivaci výsypek povrchových uhelných dolů, jam, odkališť nebo skládek odpadů. Množství jeho produkce se odhaduje na cca 120 000 tun ročně.

1.2.2.2 Sádrovec z výroby kyseliny fosforečné

Kyselina fosforečná se na našem území vyrábí společností Fosfa Poštorná. Hlavní surovina pro její výrobu je fluorapatit dovážený ze severozápadu Ruska, poloostrova Kola. Pro výrobu kyseliny fosforečné se využívala extrakční cesta, při které vznikal sádrovec bílé barvy s vysokou čistotou. Takto vzniklý sádrovec se uložil do lagun o množství cca 800 000 m³. Pokud má sádrovec více než 1,7 % P_2O_5 , dochází k zabránění hydrataci a tvrdnutí. Fosfosádra obsahuje kolem 3 % fosforu a vzniká jí kolem 5 t na 1 t vyrobeného P_2O_5 . V dnešní době k produkci sádrovce již nedochází, a to z důvodu změny technologie výroby kyseliny fosforečné extrakční cestou na cestu termickou. [6, 17, 23]



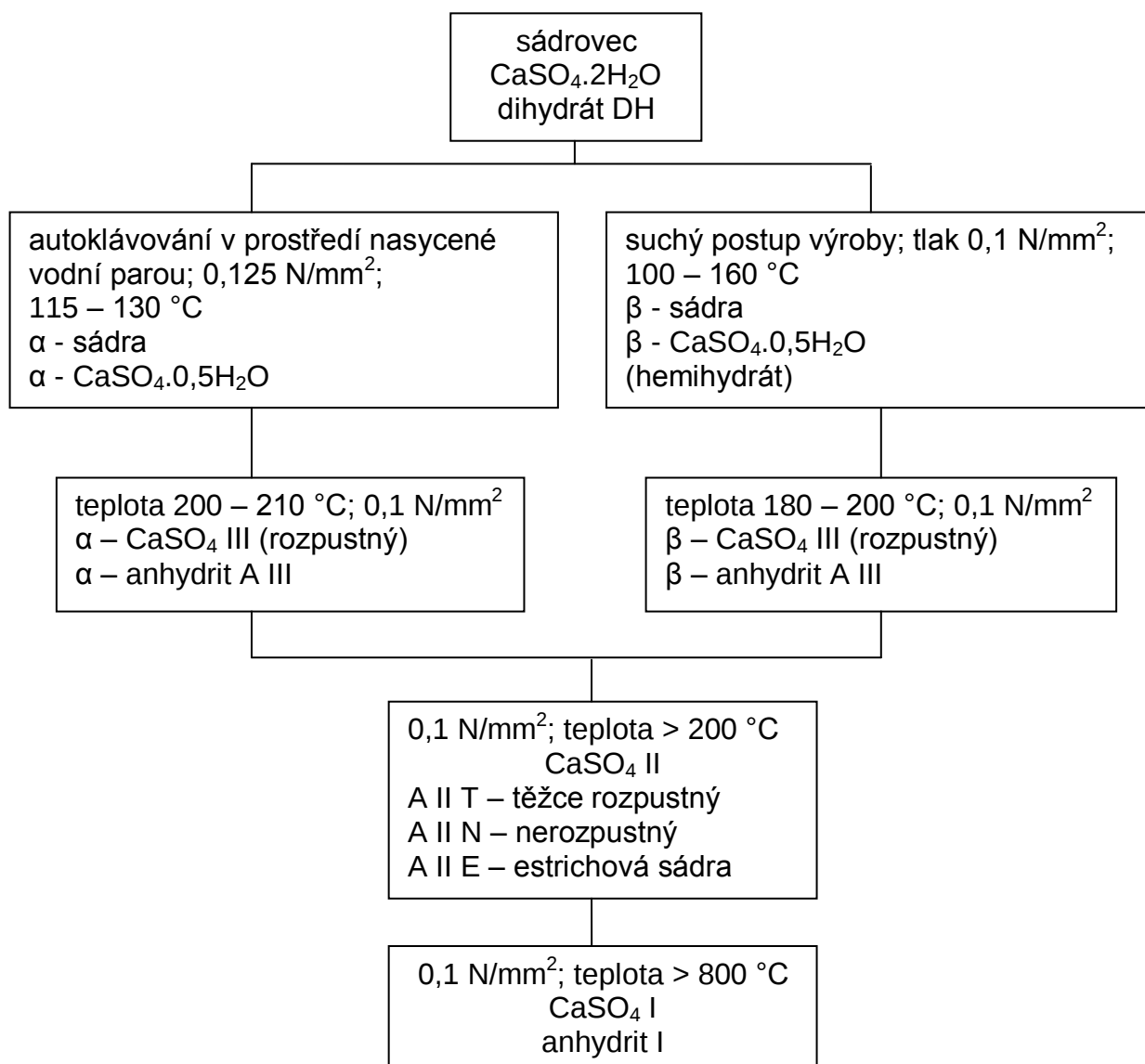
Obr. 4: Deponie sádrovce Fosfa Poštorná [18]

1.3 PRODUKTY DEHYDRATACE SÁDROVCE

Dehydratace krystalicky vázané vody působením tepla je hlavní princip zpracování sádrovce, dihydrátu síranu vápenatého $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Přírodní i syntetický sádrovec je stálý do teploty 42°C . Zvýšením teplot od 75 až 80°C v něm nastávají změny, postupně ztrácí vodu a dehydratuje. Tato reakce nabývá na rychlosti při teplotě, kdy tenze par převyší atmosférický tlak. [2]



Z výchozích surovin se tepelným působením obdrží pojiva, která se ve svých vlastnostech v podstatě liší. Poměry v soustavě $\text{CaSO}_4 - \text{H}_2\text{O}$, i přes svou zdánlivou jednoduchost, která vyplývá z chemických rovnic, jsou mnohem složitější. Při nižších teplotách se tvoří různé krystalické formy hemihydrátu (α a β – sádra) $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$. Za vyšších teplot sádrovec zcela dehydratuje za vzniku bezvodého síranu CaSO_4 . Vlastnosti sádrových pojiv (pevnost, počátek a dobu tuhnutí) ovlivní nejen různé formy CaSO_4 , ale i použití rozličné technologie výroby. [2,8]



Obr. 5: Schéma dehydratace sádrovce [2]

1.3.1 $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$

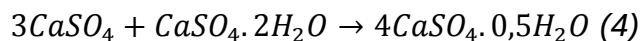
- α – hemihydrát (α – sádra) vzniká zahříváním sádrovce v rozmezí teplot 115 až 130 °C a mírného přetlaku 0,12 až 0,13 N/mm² v autoklávech, v prostředí nasycení vodní parou (tzv. mokrý způsob výroby). Tento hemihydrát má měrnou hmotnost 2 720 až 2 760 kg/m³. Jeho krystalky se při přípravě kaše pomalu rozpouštějí, což se projeví nejen pomalejším tuhnutím, ale i vznikem uspořádanější mřížky dihydrátu, který dává po zatvrdnutí kaše větší pevnosti. Z tohoto důvodu α – polohydrát potřebuje pro stejnou tekutost kaše menší množství vody než β – polohydrát (vodní součinitel $v/s = w = 0,35$ až 0,45 proti 0,50 až 0,70). Její výroba je náročná technologicky, ale i finančně. K jejímu

zhotovení dochází pomocí autoklávů (přetlak, teplota 124 °C) a pomocí roztokové metody (dehydratace v roztoku solí). Na našem území se její produkcí zabývá firma KM Beta v Bzenci. Dalším evropským producentem je Maďarsko a Německo. [2]

- β – hemihydrát (β – sádra) vzniká zahříváním sádrovce v rozmezí teplot 100 až 160 °C a normálního tlaku. Voda je uvolněna ve formě páry, což se projeví nakypřováním („vaření“ sádry) ve vařácích nebo v rotační peci (suchý způsob výroby). Její struktura je rozlískovaná a narušená, tím se zvětší měrný povrch. Měrná hmotnost je 2 360 až 2 680 kg/m³. Při stejné zrnitosti má β – hemihydrát větší měrný povrch než α – hemihydrát, a tím dochází k větší spotřebě vody, $w = 0,5 - 0,7$. Její výroba se provádí výpalem sádrovce na roštu, kalcinací ve vzhnosu a v rotačních pecích. [2]

1.3.2 CaSO₄ III

Anhydrity CaSO₄ III vystupují ve dvou formách α a β podle toho, jestli vznikly z α nebo β polohydrátu. Tyto anhydrity jsou nejen nestálé, ale přeměňují se opět na polohydrát CaSO₄·0,5H₂O i vzdušnou vlhkostí.



V porovnání s hemihydrátem jsou formy α i β reaktivnější, kdy jejich vodní součinitel je $w = 1,0$. S vodou rychle tuhnou a jejich pevnosti jsou velmi nízké. β – modifikace má větší měrný povrch a je poréznější než α – modifikace, tudíž je nestálější a působením vzdušné vlhkosti se přemění na hemihydrát. [1,2]

1.3.3 CaSO₄ II

Vlastnosti anhydritu II jsou velice podobné anhydritu těženému v přírodě. Je stabilní, měrná hmotnost je v rozmezí 2 900 až 3 100 kg/m³, tvrdost 2,9 až 3,5 dle Mohse. S vodou reaguje pomalu ($w = 0,27$), proto dochází k přidání budičů, které tuto reakci urychlí. Výsledné pevnosti jsou v rozmezí 15 až 25 N/mm².

Podle stupně výpalu a reaktivity rozlišujeme:

- anhydrit A II – T : těžce rozpustný; vzniklý při výpalu na 200 až 300 °C; reakce s vodou s rostoucí teplotou výpalu klesá
- anhydrit A II – N : nerozpustný; vzniká zahřátím na 300 až 600 °C; je identický s přírodním anhydritem; s vodou reaguje neobvykle pomalu

- anhydrit A II – E : estrichová sádra; vzniká výpalem nad 600 °C, kdy část A II se rozpadá na CaO a SO₃. Proto obsahuje směs CaSO₄ a CaO, ten svou aktivitou (budič) urychluje reakci s vodou. [1,2]

1.3.4 CaSO₄ I

CaSO₄ I je nestabilní, vysokoteplotní modifikace vznikající výpalem sádrovce v rozmezí teplot 800 až 1000 °C. Tento výpal se provádí v rotačních a šachtových pecích. Vzniká směs, kterou označujeme jako tuhnoucí či potěrovou sádro. Maltovina obsahuje CaSO₄, ale i asi 2 až 3 % CaO, který působí jako budič hydratace. [1]

2. ANHYDRITOVÉ MALTOVINY

Anhydritové pojivo je nehydraulická (vzdušná) maltovina, vyrobená z přírodního anhydritu jeho jemným semletím nebo z nerozpustného anhydritu CaSO₄ II, který je získán vypálením sádrovce při teplotě 500 až 750 °C. Jeho výroba je taktéž možná ze syntetického anhydritu II, odpadajícího při chemické výrobě (HF). Anhydrit je následně smíchán s budiči, které umožní jeho rychlou reakci pojiva s vodou. Krystalizace anhydritu se děje v kosočtverečné (rombické) soustavě. Jeho měrná hmotnost je 2 800 až 3 000 kg/m³, objemová hmotnost ve volně sypaném stavu 600 až 1 000 kg/m³ a ve střešeném stavu 900 až 1500 kg/m³. Anhydrit obvykle bývá bezbarvý, bílý, namodralý, šedý a světle fialový. Jeho vryp je bílý, lesk skelný až perleťový a lom lasturnatý. Tvrdost podle Mohse je v rozmezí 3 až 3,5 a hustota 2980 kg/m³. Štěpnost anhydritu je výborná {010}, {100} a dobrá {001}. Krystaly se jeví jako vláknité, kuličkové, jemně zrnité až celistvé agregáty. Stejně jako u sádrovce dochází k dvojčatí krystalů a mají tvar prizmatických tabulek. Čistota anhydritu je od 85 až 93 % a jeho složení odpovídá 41,13 % CaO, 58,37 % SO₃, 0,17 % CO₂ a 0,02 % FeS₂ (hodnoty jsou uvedeny pro chemicky čisté CaSO₄). [2,3,25]



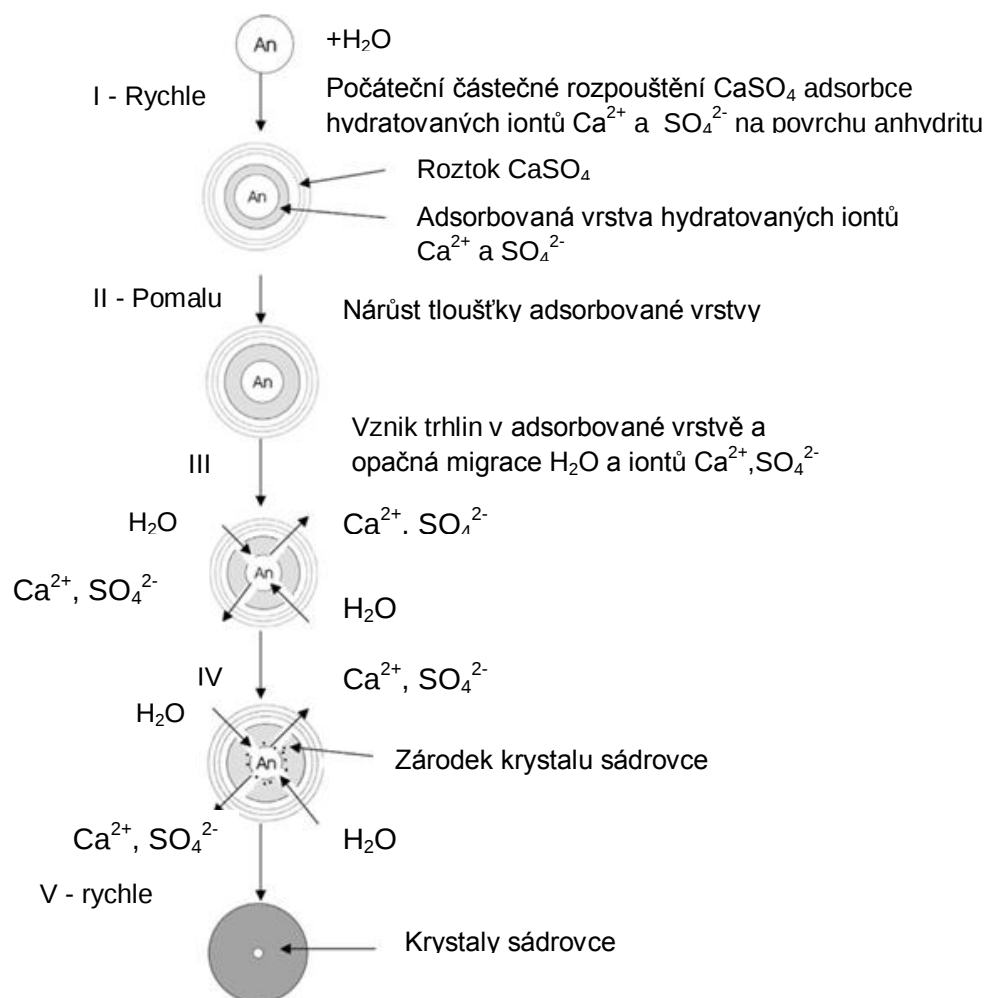
Obr. 6: Anhydrit [24]

Porovnáme-li sádrovec s anhydritem, můžeme říci, že anhydrit je méně rozpustný a stálý až do 800 °C. V ložiscích anhydritu mohou být přítomny organické látky, magnezit, dolomit, pyrit, chlorit, vápenec, a tím dochází k jeho znečištění. Nejčastější povrchové znečištění anhydritu je způsobeno sádrovcem, v podzemí jsou to obvykle rozpustné soli. V České republice k těžbě anhydritu nedochází. Na Slovensku se ložisko anhydritu nachází v Novoveské Huti a Spišské Nové Vsi. V Německu se těží ve Strassfurtu, Bavorsku, Durynsku a v Dolním Sasku. V Polsku se anhydrit vyskytuje u lokalit Lubichów, Nowy Łąd, Nowy Łąd-Pole, Radłówka a v Rakousku v Hall in Tirol. Maltovina z anhydritu je zdravotně nezávadná, není žíravá na pokožku a dýchací orgány, na rozdíl od vápna. Neprovádí se ve vlhkých provozech.

2.1 Teorie hydratace anhydritu

Základní princip tuhnutí a tvrdnutí anhydritu, který je rozemlet, je takový, že se naváže na vodu, tím dojde k hydrataci a anhydrit se přemění na sádrovec. Za normálních podmínek rozemletý anhydrit hydratuje a tuhne velmi pomalu a jen částečně, což je způsobeno nízkou rozpustností.





Obr. 7: Schéma hydratace anhydritu [5]

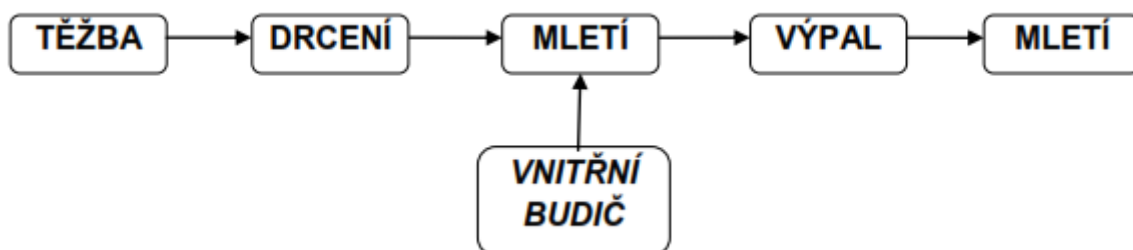
Anhydritové pojivo je velmi citlivé na množství přidané vody. Teoreticky 100 g anhydritu potřebuje 26,4 g vody pro úplnou hydrataci (vodní součinitel $w = 0,264$). Podle zkušeností však stačí vodní součinitel $w = 0,20$, zhydratuje jen 63 % anhydritu, zbytek tvoří plnivo. To je hlavní rozdíl oproti sádře, u které se pracuje s přebytkem vody. [2]

2.2 Aktivace hydratace anhydritu

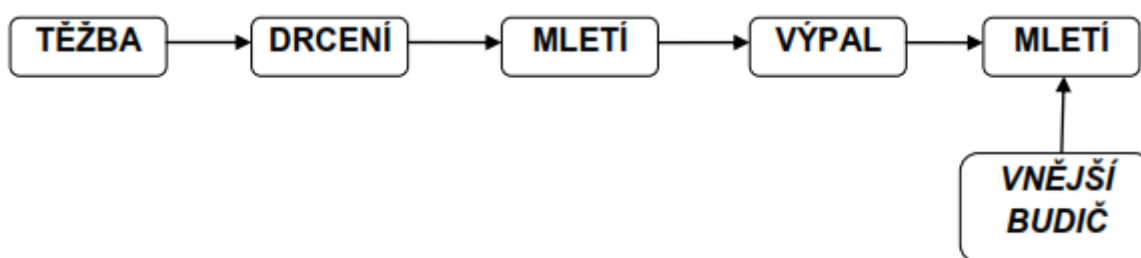
Hydratace anhydritu lze urychlit látkami, které mají v tomto směru katalytický účinek pozitivního charakteru. Tyto látky nazýváme katalyzátory tuhnutí a tvrdnutí anhydritového pojiva anebo aktivační přísady. Použitím katalyzátorů nejen urychlíme tuhnutí pojiva, ale dochází i k mechanickému zpevnění zatvrdlého pojiva. [4]

Buzení anhydritů:

- *vnitřní* – budič je přidáván při mletí před výpalem
- *vnější* – budič je přidáván při mletí po výpalu



Obr. 8: Schéma vnitřního buzení anhydritu



Obr. 9: Schéma vnějšího buzení anhydritu

Typy budičů:

- síranové – NaHSO_4 , KHSO_4 , K_2SO_4 , Na_2SO_4 , ZnSO_4 aj.
- zásadité – vápno, pálený dolomit, granulovaná vysokopecní struska, vodní sklo, cement
- směsné – vznikají kombinací několika budičů síranových nebo zásaditých (ZnSO_4 a K_2SO_4 , směs portlandského cementu a Na_2SO_4), tyto budiče se označují za nejúčinnější. [1]

Tab. 11: Budiče pro anhydritové pojivo [2]

Budiče		Množství
zásadité	portlandský cement	$\leq 7 \%$
	vápenný hydrát	
	vysokopeční struska	
síranové	síran hlinitý	$< 3 \%$
	síran zinečnatý	
	síran draselný	
směsné	zásadosíranový	5 %, z toho nejvýše 3 % sulfátu

Působení alkalických a síranových budičů se od sebe liší. Chemické katalyzátory při hydrataci vytvářejí meziprodukty, což se u alkalických neděje. V alkalickém prostředí dochází k méně intenzivní a pomalejší hydrataci.

Mechanismus tuhnutí a tvrdnutí anhydritu za přítomnosti aktivačních přísad:

- Hlavní část hydratace nastane již za 24 až 72 hodin. Hydratací se vytvoří tolik sádrovce, že pojivo zatuhne. U síranového buzení je hydratace rychlejší a hlubší než u alkalického a směsného buzení.
- Při vysychání zatuhlého pojiva se voda v této periodě částečně chemicky váže a zároveň i odpařuje. Mechanická pevnost stoupá.
- Pozvolná dehydratace zatvrdlého pojiva se děje vybíráním vlhkosti z okolí. [4]

Hydratace anhydritu je závislá na mineralogickém a chemickém charakteru pojiva, ale taktéž i na množství a druhu přidaného budiče.

2.3 Požadavky na zpracování anhydritové maltoviny

Při zpracování anhydritových maltovin je třeba pamatovat na tyto požadavky:

1. Anhydritovou maltovinu nelze smíchat cementem, ale ani s vápnem. Vlivem síranového rozpínání by mohlo dojít k úplnému rozrušení výrobku.
2. Anhydritová maltovina je velmi citlivá na dávku přidávané vody.
3. Při přídávku výplně se nemá překročit poměr této maltoviny ku výplni 1:3
4. Dílce vyrobené z anhydritové maltoviny lze spojovat a omítat jen anhydritovou maltovinou.
5. Použití anhydritové maltoviny je možné jen v prostředí trvale suchém.

6. Při teplotě vyšší než 32 °C se tuhnutí zpomaluje a při 41 °C se úplně zastavuje.[1]

Anhydrit můžeme skladovat maximálně jen 6 týdnů. Jeho využití je jen v trvale suchém prostředí, protože při zvýšené vlhkosti dochází ke snížení jeho pevností.

3. ANHYDRITOVÉ PODLAHY

V dnešní době jsou anhydritové podlahy nejpoužívanějším typem podlah v občanské a bytové výstavbě. Mezi největší výhody anhydritové lité podlahy patří rychlost pokládky a její rovinatost. Jsou velice využívány pro podlahové topení, kde není třeba vytvoření dilatačních spár. Podlahy mají vysokou pevnost v tahu za ohybu a téměř nulovou tepelnou roztažnost. Jejich finanční náročnost je téměř stejná jak u klasických cementových potěrů.

Litý potěr je stavební materiál, který samovolným rozlitím čerstvé směsi vytváří roznášecí vrstvu podlahového souvrství. Jeho konzistence je taková, že umožňuje využití vlastností kapaliny vlivem gravitace se ustálit v dokonalou rovinu. Náležitému samovolnému rozlití brání zrna kameniva, a proto se směs duralovými latěmi zhutní. Tímto se hladina rozvlní a tekutá směs se sama rozlije do roviny.[8]

Tuzemští výrobci litých anhydritových potěrů dovážejí pojivo, tzv. „compound“, ze zahraničí, nejvíce z Německa. Compound je směs pojiva a nutných přísad. Pojivovou složkou těchto směsí je síran vápenatý ve formě anhydritu, α -hemihydrátu, nebo jejich kombinace. Jako plnivo se používá kamenivo o frakci 0 – 4 mm. Nejčastější používané přísady jsou plastifikační, způsobující retardaci hydratace, antisegregační, odpěňovací a budiče.

Výhody anhydritové podlahy:

- Téměř nulová smrštivost anhydritu při tuhnutí
- Minimální tepelná roztažnost
- Výborná tepelná vodivost anhydritové podlahy vyšší o cca 30 %
- Samonivelační schopnost zajišťující perfektní rovinatost
- Vysoká pevnost podlahy v relativně tenkých vrstvách bez armování
- Méně náročná a rychlejší pokládka
- Nižší výsledná cena anhydritové podlahy

- Nedotvarování ve formě nežádoucích zvednutých pružících rohů [26]

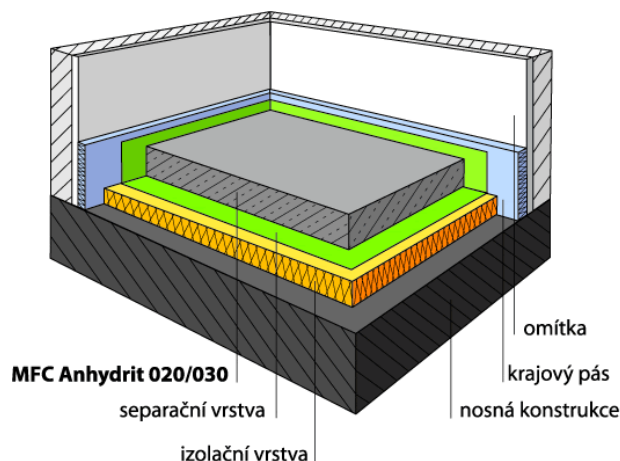
Anhydritové podlahy nejsou vhodné pro použití v trvale vlhkých provozech, jako jsou veřejné sprchy, závodní kuchyně, prádelny. Rovněž nejsou vhodné do exteriéru a jako pochozí vrstva bez podlahové krytiny.

3.1 Způsoby aplikace anhydritových potěrů

V dnešní době se anhydritové podlahy provádějí v těchto pevnostních třídách:

- **Anhydritový potěr třídy AE 20** – použití do bytových a komerčních prostor. Pevnost v tlaku je min. 20 N/mm².
- **Anhydritový potěr třídy AE 30** – použití do komerčních prostor a průmyslových objektů se zvýšenou zátěží. Pevnost v tlaku je min. 30 N/mm².

3.1.1 Anhydritový potěr na izolační vrstvě



Obr. 10: Anhydritový potěr na izolační vrstvě [26]

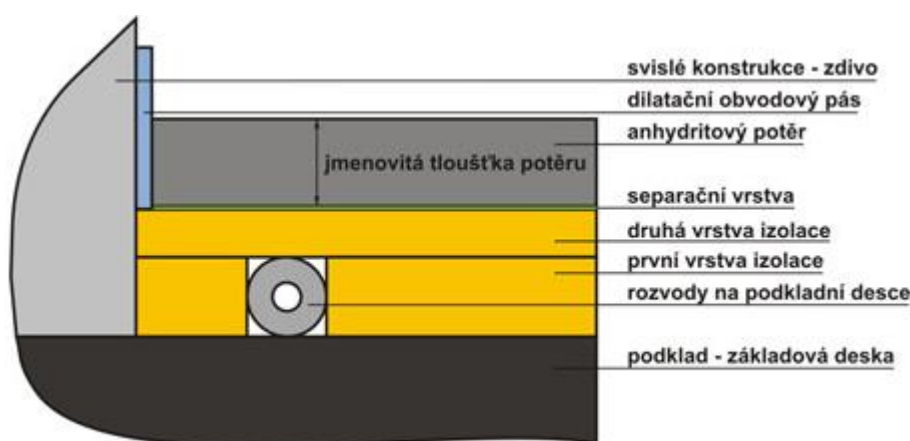
Izolační vrstva zajišťuje tepelnou izolaci, ale i útlum kročejového hluku. Provozní zatížení, stlačitelnost a výška izolační vrstvy nám určí minimální tloušťku anhydritového potěru. Podklad pro provedení anhydritového potěru musí být suchý a očištěný od nečistot. Pokud jsou v podkladní vrstvě praskliny a díry, musí se tyto nedostatky vyplnit a zarovnat. Je-li podkladní vrstva na terénu, provede se izolace proti vztlínající půdní vlhkosti.

Postup pokládky

Na podklad, který je čistý, se kladou desky izolantu na vazbu, přičemž se dbá na těsnou pokládku, aby nedocházelo ke vzniku spár. Při vícevrstvěném kladení izolace

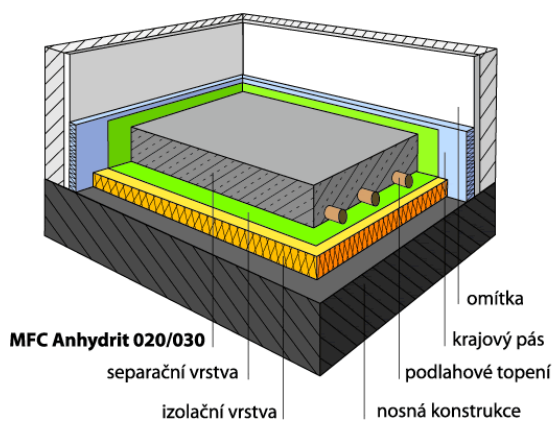
je nutné pokládku provádět tak, aby se spoje nepřekrývaly. Pokud jsou na stávajícím podkladu taženy rozvody instalací, je ideální provést pokládku izolantu ve dvou vrstvách. Tloušťka první vrstvy je zvolena tak, aby se po jejím položení plocha vyrovnala na výšku rozvodů a mohla se druhá vrstva izolantu položit již bez přerušení.

Celá izolační vrstva se překryje separační vrstvou tvořenou nejčastěji PE fólií. Tato fólie se pokládá s přesahem cca 10 cm a ve spojích se slepí. Po obvodu kolem svislých konstrukcí se provede montáž dilatačních pásů pomocí navařené PE fólie o tloušťce min. 5 mm, která je slepena se separační vrstvou. Aby vznikla nepropustná vana, musí se práce provádět pečlivě. Anhydritové podlahy na izolační vrstvě se provádějí v závislosti na požadovaném provozním zatížení a vlastnostech izolačního souvrství od 35 mm. Anhydritové podlahy na izolační vrstvě lze provádět ve velkých plochách zcela beze spár.[26]



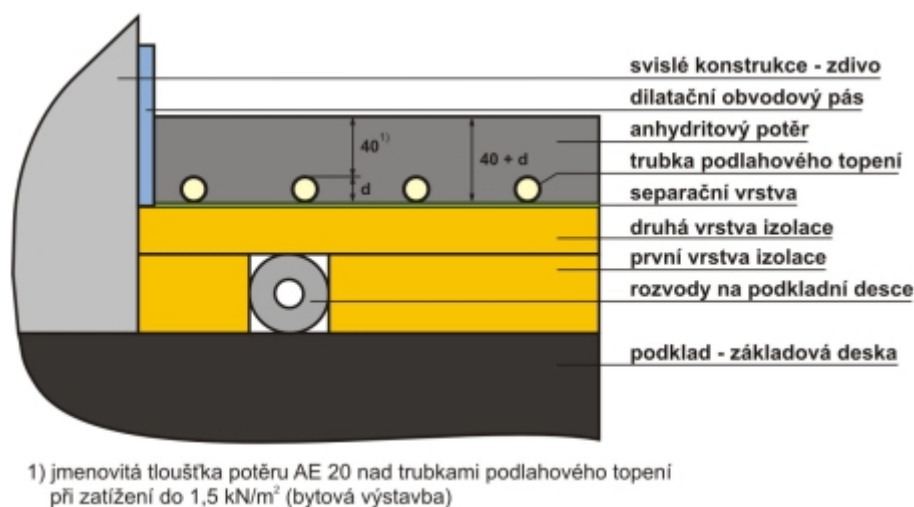
Obr. 11: Řez anhydritového potěru na izolační vrstvě [26]

3.1.2 Topný anhydritový potěr



Obr. 12: Topný anhydritový potěr [26]

Potěr je pokládán na separační a izolační vrstvě, která zajišťuje nejen ochranu proti kročejovému hluku, ale i tepelnou izolaci. Tloušťka podlahy závisí na průměru trubek sloužících pro podlahové vytápění a hlavně na velikosti provozního zatížení. Výhodou tohoto potěru je, že se směs rozlije a obklopí trubky sloužící pro podlahové vytápění, čímž se zajistí přenos tepla v maximálním množství. Podklad pro podlahu musí být opatřen hydroizolací proti vlhkosti, je-li konstrukce na terénu. Praskliny a jiné výtlučky se vyplní a zarovnájí. Podklad musí být opět suchý a čistý. Na podklad se na vazbu položí izolační desky v jedné nebo více vrstvách (provede-li se rozvod instalací podlahou). Celkový řez podlahou je na obr. 13.



Obr. 13: Řez anhydritovou podlahou [26]

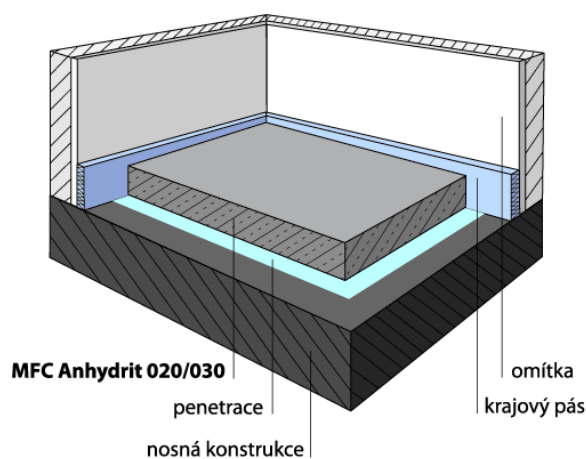
Topný anhydritový potěr lze již po 7 dnech od pokládky začít vysoušet pomocí spuštění podlahového topení. Při vysoušení anhydritové podlahy je třeba dodržet tento přesný postup:

- **Při zahájení vysoušení** podlahy je první den udržována vstupní teplota vody trvale na 25 °C. Každý další den se teplota vstupní vody do podlahového topení z kotle zvyšuje o 10 °C až na maximální teplotu 55 °C.
- **Maximální teplota** vstupní vody je udržována kontinuálně bez poklesu teploty v nočních hodinách do vysoušení potěru, nejméně však tři dny. Vstupní teplota vody smí krátkodobě přesáhnout 55 °C, nikdy však nesmí překročit teplotu 60 °C!

- **Kontrola vysušení** anhydritové podlahy se provádí během procesu vysoušení. Průhledná fólie o velikosti cca 50 x 50 cm se přilepí po obvodu na povrch lité podlahy. Pokud pod fólií nezkondenzuje během 24 hodin žádná vlhkost, je dosaženo vysušení podlahy pro pokládku krytin a můžeme zahájit snižování teploty vstupní vody.

Fáze snižování teploty vstupní vody musí poté proběhnout opět postupně. Každý den se snižuje teplota vstupní vody o 10 °C až na zahajovací teplotu 25 °C. [26]

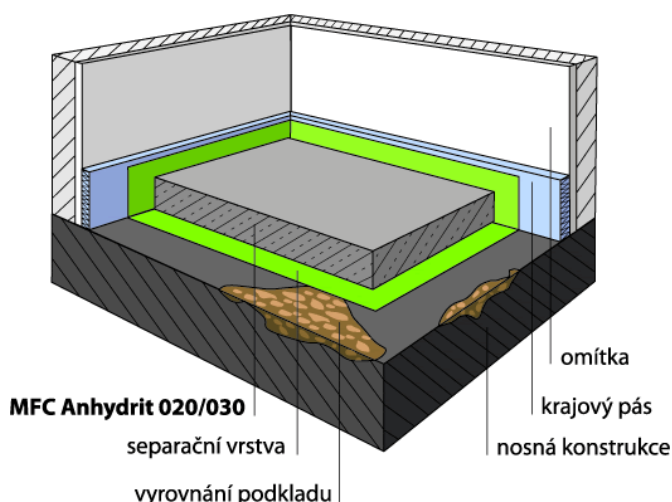
3.1.3 Spojovací anhydritový potěr



Obr. 14: Spojovací anhydritový potěr [26]

Spojovací anhydritový potěr se nejvíce využívá u rekonstrukcí, jeho funkce spočívá ve vyrovnání nerovného podkladu před položením povrchové krytiny. Provádí se celoplošně v jedné vrstvě spojené s podkladem bez přerušení. Tloušťka potěru není omezena, ale nesmí být menší než trojnásobek velikosti použitého plniva, avšak minimálně 10 mm. Podklad pro potěr musí být dostatečně pevný, bez prasklin a nečistot ovlivňující pevné spojení. Je-li podklad savý, musí být napenetrován. Tímto se zabrání odsátí vody z potěru do podkladní konstrukce. Je-li stěrka použita na podlahu z čerstvého betonu, musí být tento beton dostatečně vyzrálý.

3.1.4 Anhydritový potěr na separační vrstvě



Obr. 15: Anhydritový potěr na separační vrstvě [26]

Anhydritový potěr na separační vrstvě se provádí u konstrukcí, kde spojovací potěr nelze provést. Jeho nejčastější použití je u rekonstrukcí. Provádí se tak, že se podklad oddělí od anhydritové podlahy separační vrstvou a dilatačním pásem u svislých konstrukcí. Při pokládce je nutné vytvořit nepropustnou vanu ze separační vrstvy, která je nejčastěji provedena z PE fólie. Minimální tloušťka podlahy je 30 mm. Podklad musí být bez nečistot, suchý, praskliny vyplněné. Proti působení zemní vlhkosti se provede izolační opatření.

3.2 Technologie provádění přípravy, uložení potěru a jeho ošetřování

- Jako tepelná izolace se obvykle uvažuje polystyren EPS, minimálně třídy 100 Z, S. Pro více zatížené podlahy se používá 150 Z, S, pro podlahy s užitným zatížením 500 kg/m² se uvažuje použití třídy 200 Z,S. [28]
- U svislých konstrukcí se provede okrajová dilatace, pomocí které se zabrání přenosu chvění do nosné konstrukce a dochází i k umožnění tepelné roztažnosti.
- Položení separační podkladní vrstvy se provádí pomocí PE fólie minimální tloušťky 0,1 mm a speciálním povrstveném papíru minimální tloušťky 0,15 mm. Lepicí páskou slepíme jednotlivé pásy separační vrstvy a u okraje se překládají přes PVC fólii okrajového pásu tak, aby nedošlo k úniku potěru do podkladních vrstev. Při užití aluminiové fólie, jako izolační a separační vrstvy, je nutné dbát na kaširování fólie PE vrstvou. Ve vlhkém prostředí hliník reaguje se síranem vápenatým a vzniká vodík, který uniká a způsobí v potěru nerovnosti a povrchové vady. [28]
- Dilatační spáry se provádějí u dveřních otvorů, v místech s různou výškou potěru a u ploch v půdorysném tvaru „L“, „U“ a s poměrem stran velikosti 1:4.

- Při použití nechráněné kovové výztuže může dojít k poruše potěru. V důsledku chemické reakce pojiva a kovu může dojít k prokreslení výztuže na povrch. [28]
- Parametry určující tloušťku realizovaného potěru jsou nejen celková nosnost podlahového souvrství (projektované zatížení), ale i stlačitelnost izolační vrstvy, pevnostní třída litého podlahového potěru a požadavky investora s ohledem na výškové osazení dveří. To vše s ohledem na minimální tloušťku potěru stanovenou normou pro danou pevnostní třídu. [27]
- Před pokládkou potěru je nutné určit výšku roznášecí podlahové desky, která se provádí tzv. vágorisem. Pomocí laseru, nivelačních podložek kontrolujeme tloušťku potěru.
- Realizace pokládky anhydritového potěru se provádí až po ukončení všech mokrých stavebních procesů. Prostory pro pokládku musí být uzavřené a utěsněné. Tím zabráníme průvanu či cirkulaci vzduchu uvnitř stavby, což by mohlo způsobit příliš rychlé lokální vysychání. Rovněž je nutné zastínit místnost tmavou fólií, aby nedocházelo k průniku slunečního záření, čímž se vyhneme nerovnoměrnému pnutí. V prvotní fázi tvrdnutí potěru (při jeho nedostatečných pevnostech) by mohlo dojít ke smrštění a ke vzniku trhlin. [27]
- Teplota při realizaci potěru nesmí klesnout pod 5 °C a být vyšší než 30 °C po dobu 48 hodin. Při nízkých teplotách by mohlo dojít k zamrznutí vody v čerstvé směsi a při vysokých teplotách hrozí rychlé vyschnutí potěru, tím by v potěru vznikly praskliny. Doba zpracovatelnosti je minimálně 4 hodiny. [27]
- Směs potěru se kontroluje zkouškou rozlití Haegermannova trychtýře. Kontrola se provádí v betonárnách po namíchání a dále na místě pokládky.
- Doprava směsi na místo pokládky se provádí pomocí autodomíchavačů s objemem až 8 m³, ze kterých se směsi čerpají pomocí pístových nebo šnekových čerpadel. Následně se směs přepraví pomocí gumových hadic na požadované místo, které by nemělo být vzdálenější než 180 m.
- Optimální konzistence směsi by měla být v rozmezí 22 až 26 cm zjištěném zkouškou rozlití. Při realizaci potěru na podlahovém topení je doporučeno nastavit konzistenci 22 - 23 cm. Při vyšších konzistencích by pak hrozilo riziko prorýsování systémových desek podlahového topení do povrchu potěru. [27]
- Lití je prováděno pomocí čerpacích hadic, doporučená vzdálenost konce hadice od pevného podkladu je cca 20 cm, z důvodu zabránění nežádoucího znečištění stěn, jiných konstrukcí nebo prvků stavby. [27]

- 3 až 5členná četa je schopna položit zhruba 1 000 m² potěru za jednu směnu. K vyrovnání se využívají duralové tyče šířky 0,75 až 2,5 m. [27]
- Nivelace se provádí pomocí tzv. „nivelačních latí“ v co nejkratší době po nalití, maximálně však do 25 min. Nivelace je vhodné provádět ve třech krocích, nejprve v celé tloušťce realizovaného potěru, následně ve dvou na sobě navzájem kolmých směrech. Poslední znivelování se provádí pouze v povrchové části čerstvého potěru a jedná se v podstatě o finální jemné urovnání povrchu, které ve výsledku poskytuje možnost dosažení rovinnosti 2 mm/2 m. Smyslem hutnění je nejen urovnání povrchu, ale i homogenizace potěru a jeho odvodnění, které je důležité pro dodržení pevnostních charakteristik a optimální tepelné vodivosti. [27]
- Litý anhydritový potěr je pochůzný již po 24 hodinách od provedení pokládky. Po pěti dnech je podlaha schopna přenést 50 % zatížení. V následujících 48 hodinách po provedení se anhydritové podlahy musí chránit před působením slunečního záření, teplot vyšších než 30 °C a průvanu. Poté je vhodné začít s větráním, při kterém dochází k výměně vzduchu. Vysychání podlahy můžeme uspořádat i použitím odvlhčovacích zařízení.
- Vysušíme-li potěr do zbytkové vlhkosti max 1 hm. %, můžeme po 28 dnech spoléhat na deklarované pevnosti.
- Jednoduchá a hlavně nedestruktivní metoda kontroly stavu vyschnutí se provádí přiložením PE fólie 500/500 mm. Tuto fólii po obvodu přilepíme lepicí páskou k podkladu. Pokud pod fólií zkondenzuje voda v průběhu následujících 24 hodin, podlaha ještě není dostatečně vyschlá pro pokládku nášlapné vrstvy. [28]
- Vyskytnou-li se v potěru trhliny, lze je sanovat pomocí sponkování.

3.3 Sintrová vrstva

Při tuhnutí a tvrdnutí se kapilárním transportem dopravuje voda na povrch potěru, která může obsahovat rozpuštěné látky (např. vápník, přísady), ty se usazují na povrchu potěru a vytvářejí tzv. „slinutou“ vrstvu (sintr). Ke vzniku slinuté vrstvy dochází nejčastěji v prvních dnech po položení potěru. Jejich tloušťka odpovídá cca několika desetinám milimetru a jeví se matně až hladce. [28]

Vznik sintru ovlivňuje i druh použitého síranového budiče, který tvoří hydratované sírany nebo podvojně soli. V praxi nejvíce využívaný budič síran draselný K₂SO₄ v porovnání se síranem sodným Na₂SO₄ vytváří slabší vrstvu sintru. Při použití síranu sodného dochází ke krystalizaci až okem viditelných krystalků.

Množství vzniklého šlemu závisí nejen na tloušťce potěru při realizaci, ale také na druhu písku použitého pro výrobu litého potěru. Při tvorbě této vrstvy mohou vznikat praskliny, které zasahují i do konstrukční vrstvy potěru, nemají však žádný vliv na kvalitu realizované podlahy. Tato tenká vrstva je nesoudržná s vlastní matricí potěru, a proto je vhodné ji vždy odstranit. U pokládky nelepených nášlapných vrstev není nutné šlem odstraňovat, ale musíme počítat s delší dobou vysychání. V raných stádiích zralosti potěru lze šlem odstranit prostým zametením nebo seškrábnutím, později je třeba potěr brousit brusným papírem nebo diamantovým kotoučem. Odstranění šlemu ovlivní rychlost vysychání potěru tak, že proces vysychání je jednodušší a rychlejší. [27]

3.4 Vytvrdlý anhydritový potěr

Anhydritové potěry lze bez problému použít v různých konstrukcích až do zatížení dosahující 5 kN/m². Smršťovací spáry sloužící jen jako ochrana před výskytem divoké trhliny, je možné vytvořit prořezem do cca 1/3 – 1/2 tloušťky potěru, a to nejdéle 5 dnů po jeho potěru, avšak nejlépe cca 24 hodin po dosažení pochůznosti potěru. [27,28]

Nejvyšší dovolené vlhkosti v době pokládky nášlapné vrstvy jsou uvedeny v tab. 12 a technické parametry Anhydritu v tab. 13.

Tab. 12: Nejvyšší dovolená vlhkost cementového potěru nebo potěru na bázi síranu vápenatého v hmotnostních % v době pokládky nášlapné vrstvy [29]

Nášlapná vrstva	Cementový potěr, beton	Potěr na bázi síranu vápenatého
Kamenná nebo keramická dlažba	5 %	0,5 %
Lité podlahy na bázi cementu	5 %	Nelze provádět, popř.dle výrobce
Syntetické podlahoviny	4 %	0,5 %
Paropropustná textilie	5 %	1 %
PVC, linoleum, guma, korek	3,5 %	0,5 %
Dřevěné podlahy, vlasy, laminátové podlahoviny	2,5 %	0,5 %

Tab. 13: Parametry ANHYMENTU [28]

Parametr	Hodnota
Objemová hmotnost čerstvé směsi	2 100 – 2 200 kg/m ³
Objemová hmotnost zatvrdlé směsi	2 000 – 2 100 kg/m ³
Zpracovatelnost čerstvé (tekuté) směsi	Do 240 minut od výroby
Pochůznost	Po cca 1-2 dnech v závislosti na teplotě a vlhkosti prostředí
Zatížitelnost (25 % hodnoty dosažené po 28 dnech)	Po cca 1-2 dnech v závislosti na teplotě a vlhkosti prostředí
Součinitel tepelné vodivosti λ	Cca 1,2 W/mK
Koeficient délkové teplotní roztažnosti α	0,015 mm/mK
Hořlavost	Nehořlavá látka (třída hořlavosti A1)
Objemové změny: roztažnost smrštění	0,1 – 0,2 mm/m 0,01 mm/m
Hmotnostní aktivita Ra ²²⁶ (dle vyhlášky SÚJN č. 499/2005 Sb.	≤ 150 Bq/kg
Index hmotnostní aktivity dle vyhlášky SÚJB č. 499/2005 Sb.	≤ 0,5
Statistický modul pružnosti	18 GPa – AE 20 20 GPa – AE 30

3.5 Modifikující přísady do anhydritových směsí

Modifikující přísady jsou chemické látky přidávané do směsi během míchání pro zlepšení jejich vlastností v čerstvém i zatvrdlém stavu. Dávkování těchto látek je doporučeno výrobcem, zpravidla v malém množství (hmotnostní %). Přísady jsou dodávány jako tekuté nebo práškové.

Typy používaných přísad:

- Plastifikační
- Antisegregační
- Retardační
- Odpěňovací, aj.

Plastifikační přísady - nejčastěji využívanými jsou přísady plastifikační, které redukcí vody zlepšují zpracovatelnost čerstvé směsi. Při jejich použití se sníží množství vody, která je potřebná pro dosažení optimální zpracovatelnosti a tím se sníží i vodní

součinitel w a zvýší se konečné pevnosti. Z chemického hlediska se používají tyto skupiny organických sloučenin:

- LS soli nebo deriváty ligninsulfoanů
- PC estery polykarboxylových kyselin
- SNF sulfonované naftalenformaldehydové kondenzáty
- SMF sulfonované melaminformaldehydové kondenzáty
- CAE kopolymery karboxyakrylové kyseliny s akrylesterem [9]

Pro ztekucení stavebních hmot na bázi cementu, sádry a anhydritu se využívají např. plastifikátor vyráběný společností BASF, tzv. *Melment*[®], nebo od STACHEMY tzv. *Stachement MM*, které fungují na bázi sulfonovaného polykondenzačního produktu Melaminu.

Odpěňovací přísada – pomocí této přísady dochází k vytěsnění vzduchu z maltové směsi během míchání, dopravy i hutnění. Vytěsněním vzduchu se zvýší hutnost zatvrdlé malty a docílí se hladkého povrchu bez bublin a pórů. Z chemického hlediska jsou tyto látky vyrobeny na bázi esterů minerálních kyselin, polyglykolů a mastných kyselin. Jsou dodávány v kapalně nebo v pevné formě. [35]

3.6 Rozdíly mezi cementovým a anhydritovým litým potěrem

Cena

- Anhydrit – s porovnáním s cementem je cena za 1 m³ anhydritové lité podlahy dražší.
- Cement – cena za 1 m³ cementové lité podlahy je nižší, ale aplikuje se ve vyšší vrstvě. K celkové ceně je třeba připočíst další komponenty, jako je např. kari síť a případně srovnávací stěrka použita před pokládkou.

Jelikož se tyto druhy litých podlah provádějí v rozdílných tloušťkách, je nutné tyto ceny převést na 1 m² podlahové plochy. Orientační cena lité anhydritové a cementové podlahy prováděné společností Tokarex je uvedena v tabulce 14.

Tab. 14: Orientační ceny provedení potěrů firmou Tokarex [26]

Anhydritový potěr o tl. 40 mm	240,- Kč s DPH/m ²
Anhydritový topný potěr o tl. 55 mm	320,- Kč s DPH/m ²
Cementová podlaha o tl. 50 mm	330,- Kč s DPH/m ²
Cementová podlaha o tl. 60 mm	400,- Kč s DPH/m ²

Pokládka

Porovnáme-li způsob pokládky těchto dvou potěrů, v provedení se neliší. Dodávají se přímo z betonáren v tekutém stavu, čerpají se (anhydrit až na 100 m, cement na 40 m) a pokládají.

Únosnost

Únosnost obou potěrů je srovnatelná.

- Potěr s pevností v tlaku 20 N/mm² – využití v bytech s běžným užitím
- Potěr s pevností v tlaku 30 N/mm² – využití pro podlahy s vyšším zatížením způsobené stroji, těžkým nábytkem, aj.

Příprava podkladu

Lité potěry se provádí na vodotěsné povrchy s tepelnou nebo kročejovou izolací. U svislých konstrukcí se použijí dilatační pásy. Příprava podkladu je srovnatelná.

Smršťování

- Cement – smrštění cementového litého potěru je až 1 mm/m, kdy dochází k velké náchylnosti k praskání (možnost prasklin v dlažbě, časem dochází ke zvedání v rozích a nepřiměřenému namáhání podlahového topení v tahu).
- Anhydrit – smrštění anhydritového litého potěru je 0,1 mm/m, tudíž jeho náchylnost k praskání je minimální. U tohoto typu podlahy nedochází ke zvedání v rozích a k nepřiměřenému namáhání podlahového topení v tahu. Až 500 m² bez dilatačních spár. [30]

Podlahové topení

- Cement – nevýhodou u cementových potěrů je smrštění při tuhnutí a velká tepelná roztažnost. Tyto vlastnosti mají vliv na oddělení potěru od topné trubky, vznikne vzduchová mezera a tím se zvýší náklady na topení.
- Anhydrit – k trubkám k topení má velmi vysokou přilnavost a celkově je vnímám tepleji. V okolí topných trubek nedochází k oddělení trubek od potěru, tudíž se nevytvoří vzduchové mezery jako u cementu.

Vlhké prostředí

- Cement – cementový litý potěr je vhodný pro vlhké a mokré prostředí, tzn. na podlahy v okolí bazénů, v prádelnách, ve sklepech, v závodních kuchyních. Jejich využití je i v místnostech, kde je možný průnik vlhkosti do potěru.
- Anhydrit – Nevýhodou těchto potěrů je, že se nesmí použít do vlhkých místností. Anhydritový potěr s vodou začne bobtnat, ale po opětovném vyschnutí se potěr vrátí do původního stavu. Při bobtnání dochází k porušení povrchových úprav, např. vyloupnutí parket, odloupnutí dlažby aj.

Ošetřování

- Cement – při ošetřování cementového litého potěru je nutné zabránit oslunění a průvanu. Kropením vodou v časovém úseku 2 – 3 dny omezíme vznik trhlin na podlaze.
- Anhydrit – u anhydritové podlahy je třeba zabránit průvanu, slunečního záření a uzavření pórů podobu 2 dnů. Po této době se podlaha začne řízeně větrat, případně zapneme podlahové vytápění na 30 °C.

Tloušťka vrstvy

- Cement – Doporučená tloušťka u podlahového topení 8 cm (min. 7 cm), bez podlahového topení 6 cm (min. 5 cm). Slabší vrstvy jsou špatně zpracovatelné tzv. rozvlněním a nelze zaručit rovinnost a hladkost povrchu.
- Anhydrit – Doporučená tloušťka u podlahového topení 6 cm (min. 5 cm), bez podlahového topení 4,5 cm (min 3,5 cm). [30]

3.7 Tuzemští dodavatelé anhydritových litých potěrů a pytlovaných směsí

Nabídkou anhydritových podlah se v dnešní době zabývá mnoho společností. Anhydritový potěr se dodává buď jako *pytlovaná směs*, nebo jako *čerstvá namíchaná směs*.

- Pytlovaná směs – jedná se zpravidla o dováženou směs, tzv. “compound” ze zahraničí, nejčastěji z Německa a Rakouska (firma Morfico používá přírodní anhydrit těžený v Polsku). Compound je směs pojiva a přísad. Tuto směs dodavatelé zabalí a expedují do prodeje, kde si ji zákazník koupí a podle pokynů ji svépomocí aplikuje. Dodavateli na českém trhu jsou např. Morfico, KVK, Baunit, Hasit, Thomsit, aj.
- Čerstvá namíchaná směs – tato směs se namíchá v betonárnách a dováží na místo pokládky pomocí autodomíchávačů nebo se zhotoví přímo v TransMixu. Mezi nejznámější dodavatele patří společnost Cemex se svým potěrem Anhylevel, Zappa s AnhyScreed a Českomoravský beton s Anhyment, Morfico s MFC Anhydrit, aj.

4. LEGISLATIVNÍ POŽADAVKY NA ANHYDRITOVÉ POTĚROVÉ SMĚSI

Požadavky na anhydritové potěrové směsi jsou uvedeny v následujících normách:

- ČSN 74 4505
- ČSN EN 13813
- ČSN EN 13454-1
- ČSN EN 13454-2+A1
- ČSN EN 13892-1
- ČSN EN 13892-2

4.1. Norma ČSN EN 13813

„Potěrové materiály a podlahové potěry – Potěrové materiály – Vlastnosti a požadavky“ je zásadní normou zabývající se základními požadavky na potěrové

materiály. Tyto potěrové materiály, využívající se na vnitřní konstrukce podlah, se rozdělují podle druhu pojiva a jejich vlastností, které je nutno odzkoušet.

Tab. 15: Potěrové materiály a zkoušky, které se provádí na jednotlivé druhy [31]

Potěrové materiály	Označení	Pevnost v tlaku	Pevnost v tahu za ohybu	Odolnost proti ohrusu "Böhme"			Odolnost proti ohrusu "BCA"	Odolnost proti opotřebení valivým zatížením			Tvrdost povrchu	Tvrdost proti vtláčení	Odolnost proti opotřebení valivým zatížením potěru s podlahovou krytinou	Doba zpracovatelnosti	Smrštění a rozpínání	Konzistence	Hodnota pH	Modul pružnosti v tahu za ohybu	Odolnost v rázu	Přidržitost
cementové	CT	N	N	N ^a (jedna ze tří)			O	-	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O ^a	O
ze síranu vápenatého	CA	N	N	O	O	O	O	-	O	O	O	O	O	N	O	-	O	-	O	
z hořečnaté maltoviny	MA	N	N	O	O	O	N ^a	-	O	-	O	O	O	O	O	-	O	-	O	
asfaltové	AS	-	-	O	O	O	-	N	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
pryskyřičné	SR	O	O	-	N ^a (jedna ze dvou)		O	-	O	-	O	O	-	O	N ^a	N				
Legenda:																				
N		Normativní																		
O		Volitelné, přichází-li to v úvahu																		
-		Netýká se																		
a		Jen pro potěrový materiál určený pro povrch odolný otěru																		

4.2. Norma ČSN EN 13454

„Pojiva, kompozitní pojiva a průmyslově vyráběné maltové směsi pro podlahové potěry ze síranu vápenatého“ je rozdělena do dvou částí:

- „Část 1: Definice a požadavky“
- „Část 2 : Zkušební metody“

V této normě jsou popsány postupy zkoušek pro potěrové materiály, jež jsou založeny na bázi síranu vápenatého (α sádra, anhydrit a jejich směs), které jsou rozděleny na průmyslově vyráběné maltové směsi a na samotná pojiva.

4.2.1. Pojiva a průmyslově vyráběné maltové směsi

Pojivo ze síranu vápenatého (CAB) – jsou to různé formy síranu vápenatého s nebo bez příměsí a přísad. Pojivo má po hydrataci pojivové vlastnosti.

Kompozitní pojivo ze síranu vápenatého (CAC) – směs kompozitního pojiva založeného na síranu vápenatém s ostatními přísadami.

Průmyslově vyráběné maltové směsi (CA) – směs pojiva, kompozitních pojiv, kameniva s přísadami a příměsmi. Vyrábí se ve třech konzistencích:

- zavlhlá
- plastická
- tekutá

Výroba a dodávka průmyslově vyráběných maltových směsí:

- předem dávkované (suché) – dávkování složek průmyslově, aplikace na stavbě dle pokynů výrobce
- předem průmyslově umísené (suché) – aplikace na staveništi zamícháním vodou
- předem průmyslově umíchané (vlhké) – dodávka na staveniště přímo k užití [32]

4.2.1.1. Požadavky na pojiva (CAB, CAC) a průmyslově vyráběná směsi (CA)

Vlastnosti, zkušební metody a jejich požadované hodnoty jsou uvedeny v tabulce 16.

Tab. 16: Charakteristické hodnoty pro CAB, CAC a CA [32]

Charakteristické hodnoty		Pojiva		Směsi
		CAB	CAC	CA
CaSO ₄ jako SO ₃		≥ 50 %	≥ 30 %	-
pH		≥ 7,0	≥ 7,0	≥ 7,0
Hodnota rozlití	zavlhlé směsi	-	-	110 až 140 mm
	plastické směsi	-	-	≥ 150 mm < 220 mm
	tekuté směsi	-	-	≥ 220 mm
Tuhnutí		≥ 30 minut ≤ 12 hodin	≥ 30 minut ≤ 12 hodin	-
Doba zpracovatelnosti		-	-	30 minut
Smrštění nebo rozpínání		≤ 0,2 mm/m	≤ 0,2 mm/m	≤ 0,2 mm/m

4.2.2. Normové postupy zkoušek

Níže jsou uvedeny normové postupy zkoušek, a to:

- stanovení pH
- stanovení konzistence a počátku tuhnutí
- hodnota rozlití použitím střešovacího stolku
- stanovení pevností

4.2.2.1. Stanovení pH

Zjišťovaný vzorek pojiva se zváží a rozetře se. Poté se v hmotnostním poměru 1:10 smíchá s destilovanou vodou a 5 minut se míchá. Výsledek zkoušky se změří pH-papírkem nebo pH-metrem s přesností na $\pm 0,5$ pH. Hodnota pH se požaduje ≥ 7 (nepožaduje se u průmyslově vyráběné maltové směsi vyráběné z CAB a CAC). [33]

4.2.2.2. Stanovení konzistence a počátku tuhnutí

Postup této zkoušky je shodný s metodou v normě EN 196-3, kde se slovo „cement“ zamění za „pojivo“. Jako zkušební zařízení se používá míchačka a Vicatův přístroj.

Pro stanovení konzistence se připraví kaše z 500 ± 1 g pojiva a odváženého určeného množství vody. Do nádoby míchačky se nalije voda, přisype se pojivo a zaznamená se tzv. nulový čas. Míchačka se uvede do provozu nízkou rychlostí po dobu 90 s. Po uplynutí této doby se na 15 s míchání zastaví a stěrkou se setře kaše ulpělá na stěnách nádoby. Opět se míchačka uvede do chodu nízkou rychlostí po dobu 90 s. Takto zamíchaná kaše se plní do Vicatova prstence, který je položen na namaštěné destičce. Povrch kaše se po naplnění prstence zarovná a Vicatův přístroj s penetračním válečkem je nastaven v nulové pozici. Penetrační váleček se nastaví na střed kaše tak, aby byl ve styku s ní. Pohyblivá část přístroje se uvede do pohybu, kdy váleček vniká do kaše. Po 30 s se odečte hodnota na stupnici. Je-li vzdálenost mezi spodní plochou válečku a destičky v rozmezí (6 ± 3) mm, zaznamená se množství použité vody a vypočte se vodní součinitel $w = \frac{m_{vody}}{m_{pojiva}}$ [-]. Pokud toto rozmezí není nedodrženo, zkouška se opakuje.

Při stanovení počátku tuhnutí se penetrační váleček zamění za ocelovou jehlu. Postup při míchání kaše je stejný jako u stanovení konzistence. Hodnotu proniknutí jehly do kaše odečteme nejdéle po 30 s. Pronikne-li jehla do vzdálenosti (6 ± 3) mm

od destičky, zaznamená se od nulového času uplynulá doba. Tento čas se zaokrouhlí s přesností na 5 minut. [33]



Obr. 16: Penetrační váleček a jehla Vicatova přístroje



Obr. 17: Zkušební vzorek pro stanovení konzistence a počátku tuhnutí

4.2.2.3. Hodnota rozlití použitím střešacího stolku

Střešací stolek se před prvním použitím několikrát použije „naprázdno“. Na desku střešacího stolku se položí kovový kužel, který se naplní maltou (zhotovenou podle postupu u stanovení pevností) ve dvou vrstvách. Každá vrstva se zhutní deseti lehkými údery dusadla. Kovový kužel se odstraní a patnácti rázy se malta rozlije. Rozlitý koláč se změří ve dvou na sebe kolmých směrech, jehož hodnota se zprůměruje a zaznamená se s přesností na 1 mm. Hodnota pro normální rozlití je (150 ± 5) mm. [33]



Obr. 18: Střásací stolek



Obr. 19: Vzorek malty před a po zkoušce rozlití na střásacím stolku

4.2.2.4. Stanovení pevnosti

Postup pro stanovení pevnosti v tahu za ohybu a pevnosti v tlaku je popsán v normě EN 196-1, kde se slovo „cement“ zamění za „pojivo“. Při této zkoušce použijeme tato zkušební zařízení: míchací zařízení, střásací stolek, forma se dnem, vibrační stolek, zkušební zařízení pro stanovení pevnosti v tahu ohybem a v tlaku.

Pro vytvoření zkušebních těles je potřeba 675 g pojiva, 1350 g normalizovaného písku a voda. Množství vody je odvozeno od hodnoty rozlití (150 ± 5) mm, které nesmí být nižší než 225 ml.

Do míchacího zařízení se nalije voda, nasype se pojivo a zapne se míchání nízkou rychlostí. Po 30 s se přidá po dobu 30 s písek. Rychlost se přepne na vyšší otáčky a pokračuje se opět 30 s. V následujících 90 s se míchání zastaví a otre se ulpělá malta. Dále se pokračuje vysokou rychlostí 60 s. Forma na výrobu zkušebních těles o velikosti 40 mm x 40 mm x 160 mm se položí na vibrační stůl, který se uvede

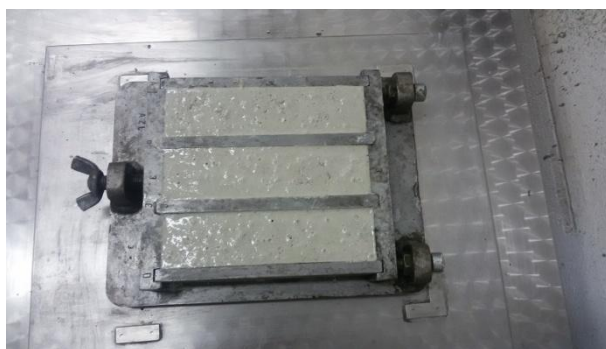
do chodu. Malta se plní ve dvou vrstvách, kdy první vrstva se ukládá 15 s do poloviny výšky formy. Následujících 15 s se vzorek hutní bez plnění a v dalších 15 s se přidá zbytek malty. Celková doba hutnění odpovídá (120 ± 1) s. Forma se sejme z vibračního stolku a povrch se urovná horizontálním pilovitým pohybem. [33]

○ Ošetření a uložení vzorku

Forma se zkušební maltou se zakryje skleněnou či ocelovou deskou nebo se použije jiný nepropustný materiál. Po 48 hodinách se vzorky opatrně vyjmou z forem. Doba uložení je uvedena v tabulce 17.

Tab. 17: Teplota uložení a doba uložení zkušebních těles [34]

Potěrový materiál	Teplota uložení [°C]	Doba uložení [dnů]					
		ve formě			vyjmuté z formy		
		vlhkost uložení [RH]					
		(95 ± 5) % R _H	(65 ± 5) % R _H	(50 ± 5) % R _H	(95 ± 5) % R _H	(65 ± 5) % R _H	(50 ± 5) % R _H
cementový ^{a)}	20 ± 2	2	-	-	5	21	-
ze síranu vápenatého ^{b)}	20 ± 2	2	-	-	-	26	-
z hořečnaté maltoviny	20 ± 2	-	1	-	-	27	-
pryskyřičný	23 ± 2	-	-	1 ^{c)}	-	-	27 ^{c)}
^{a)} Cementové potěrové materiály, které jsou výrobcem označeny jako modifikované polymerem, mají být ukládány jako pryskyřičné potěrové materiály.							
^{b)} Zkušební tělesa určená pro zkoušení smrštění nebo rozpínání mají být ukládána podle postupu uvedeného v ČSN EN 13454-2+A1.							
^{c)} Nebo po kratší dobu označenou výrobcem.							



Obr. 20: Vzorek čerstvé malty (vlevo) a po odformování (vpravo)

- Objemová hmotnost

Pro zjištění objemové hmotnosti zkušebních těles se zkušební vzorek změří, zváží a zjištěné hodnoty se dosadí do vzorce $\rho = \frac{m}{V}$ [kg/m³].

- Pevnost materiálu

Zkouší se na trámečcích o rozměrech 40 mm x 40 mm x 160 mm, které byly zhotoveny podle normy ČSN EN 13454-2+A1.

Pevnost v tahu za ohybu – na zkušebním lisu se zjistí síla F_f [N] a výsledná pevnost se vypočítá podle vzorce $R_f = \frac{1,5 \times F_f \times l}{b \times d^2}$ [N/mm²], která se značí jako „F“ s pevností v N/mm².

Tab. 18: Pevnostní třídy průmyslově vyráběných maltových směsí (CA) podle pevností v tahu za ohybu [32]

Třída ^{a)}	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F10	F15	F20	F30	F40	F50
Pevnost v tahu za ohybu [N/mm ²]	1	2	3	4	5	6	7	10	15	20	30	40	50
^{a)} pro síran vápenatý jsou třídy F3 a F20 doporučené													



Obr. 21: Zkoušení vzorku na pevnost v tahu za ohybu

Pevnost v tlaku - maximální zatížení F_c [N] se zjistí na dvou polovinách vzorku zkoušených v tahu za ohybu a dosadí se do vzorce $R_c = \frac{F_c}{A}$ [N/mm²] kde $A = 1600 \text{ mm}^2$. Pevnost v tlaku se označuje „C“ a pevnostní třídou v N/mm².

Tab. 19: Pevnostní třídy průmyslově vyráběných maltových směsí (CA) podle pevnosti v tlaku [32]

Třída ^{a)}	C5	C7	C12	C16	C20	C25	C30	C35	C40	C50	C60	C80
Pevnost v tlaku [N/mm ²]	5	7	12	16	20	25	30	35	40	50	60	80
^{a)} Pro síran vápenatý jsou třídy C12 a C60 doporučené												



Obr. 22: Zkoušení vzorku na pevnost v tlaku

Tab. 20: Charakteristické a mezní hodnoty pevností v tahu za ohybu a tlaku [32]

Pevnostní třída	Nejmenší pevnost v tahu za ohybu [N/mm ²]				Nejmenší pevnost v tlaku [N/mm ²]			
	Zkoušení po				Zkoušení po			
	3 dnech		28 dnech		3 dnech		28 dnech	
	Charakt. hodnota	Mezní hodnota	Charakt. hodnota	Mezní hodnota	Charakt. hodnota	Mezní hodnota	Charakt. hodnota	Mezní hodnota
20	1,5	1,0	4,0	3,5	8,0	5,5	20,0	17,5
30	2,0	1,5	5,0	4,5	12,0	9,5	30,0	27,5
40	2,5	2,0	6,0	5,5	16,0	13,5	40,0	37,5

5. DOSAŽENÉ VÝSLEDKY VÝZKUMŮ ANHYDRITOVÝCH SMĚSÍ

Z poznatků získaných v oblasti přípravy anhydritové maltoviny v ÚTHD bylo v minulosti odzkoušeno buzení anhydritů různými druhy síranových nebo zásaditých budičů a jejich kombinace.

Byly odzkoušeny tyto budiče:

- Síranové:
 - ♦ energosádrovec Počerady
 - ♦ α -sádra Gaprom
 - ♦ síran draselný K_2SO_4
 - ♦ síran sodný bezvodý Na_2SO_4
- Zásadité:
 - ♦ hlinitanový cement 52,5 Lafarge
 - ♦ vápenný hydrát CL 90
 - ♦ portlandský cement CEM I 42,5
 - ♦ popílek Dětmárovice
- Kombinace:
 - ♦ síran sodný bezvodý Na_2SO_4 a portlandský cement

Tyto vybrané budicí přísady byly odzkoušeny na anhydritových pastách. Jejich účinnost byla posouzena na základě provedených technologických vlastností a průběhu hydratačního procesu. Jednou z nejúčinnějších budicích přísad se stal směsný budič složený z 1 % síranu vápenatého a 4 % portlandského cementu. Tato kombinace vykazovala nejvyšší hodnotu z odzkoušených budičů a její pevnost v tlaku po 28 dnech hydratace dosahovala až $28,5 \text{ N/mm}^2$. [3]

V dalším výzkumu se porovnávaly základní technologické zkoušky prováděné na pastách z anhydritu těženého v Polsku a na německé průmyslové směsi, tzv. compoundu. Tato průmyslová směs smícháním s vodou hydratuje a její výsledné pevnosti v tlaku byly až dvojnásobně vyšší, než pevnosti modifikovaného přírodního anhydritu. [8]

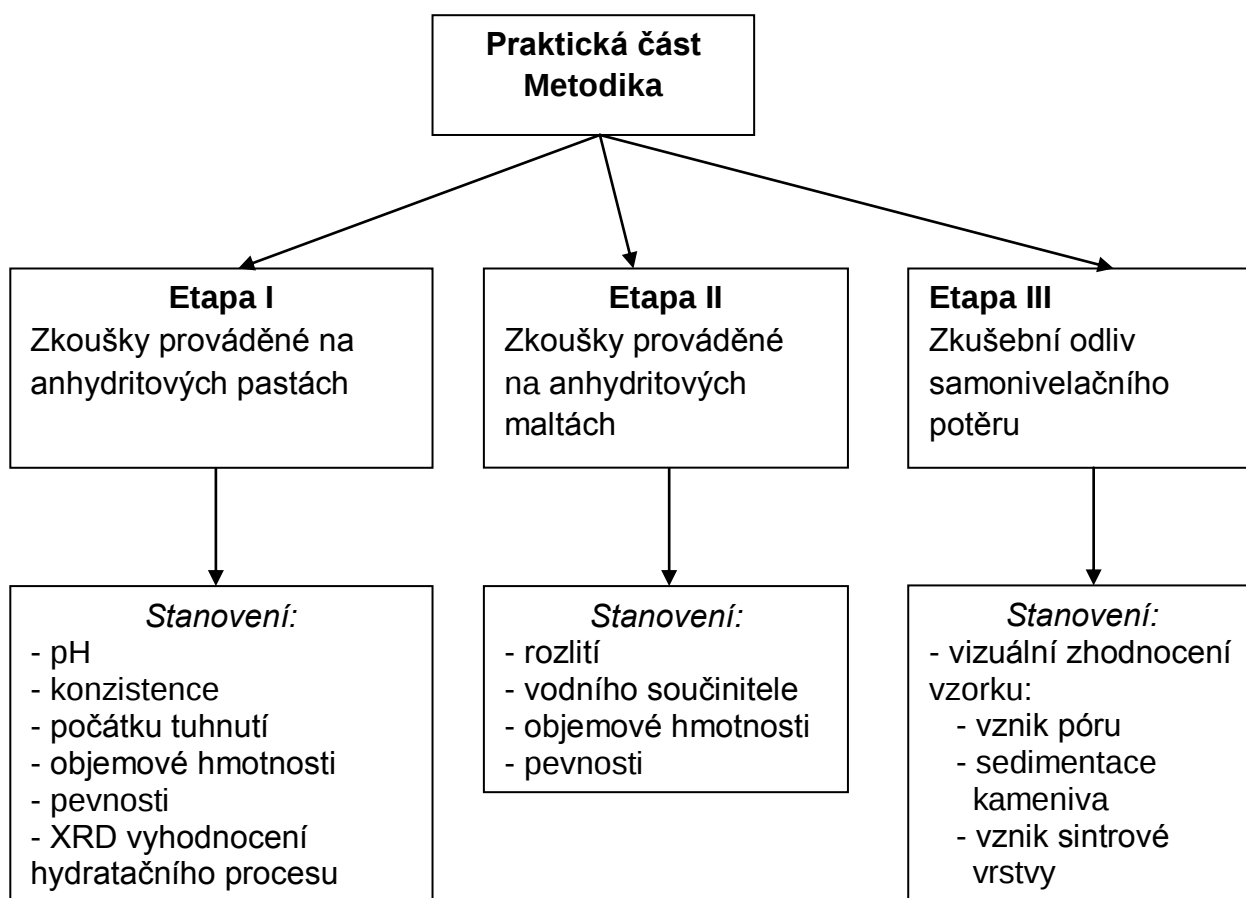
II. PRAKTICKÁ ČÁST

6. METODIKA A POSTUP PRÁCE

Cílem praktické části diplomové práce byl vývoj a výzkum síranového pojiva na bázi anhydritu zaměřený na průmyslovou výrobu suchých maltových samonivelačních směsí. Tato studie byla provedena podle platných ČSN norem.

Práce se zaměřila na odzkoušení různých druhů plastifikačních přísad. Tyto přísady byly přidávány v různých hmotnostních dávkách. Nejprve se zkoušely jejich technologické vlastnosti na anhydritových pastách, poté na anhydritových normových maltách. Sledoval se jejich vliv zejména na dosahované základní technologické vlastnosti, jako je konzistence, počátek tuhnutí a pevnost.

Koncepčně je tato práce rozdělena do 3 etap.



Obr. 23: Schematické rozdělení etap praktické části

6.1. Etapa I: Zkoušky prováděné na anhydritových pastách

První etapa byla věnována zkouškám prováděných na anhydritových pastách. Tyto pasty byly složeny z:

- anhydritu
- vody
- směsné budící přísady – 1 % Na_2SO_4 a 4 % portlandského cementu na hm. anhydritu
- plastifikační přísady Melment® F 10, F 15 G, F 17 G, F 217 G, F 245 v dávce 0,1 %, 0,3 % a 0,6 % na hm. anhydritu

Na anhydritových pastách byly stanoveny tyto zkoušky:

- *pH anhydritu a anhydritu s budiči dle ČSN EN 13454-2+A1*
- *konzistence dle ČSN EN 13454-2+A1* – v této zkoušce se sledovala účinnost použité plastifikační přísady a její dávkování na množství potřebné záměsové vody. Pro tuto zkoušku byla namíchána anhydritová pasta s vodním součinitelem pro dosažení normální konzistence (6 ± 1) mm
- *počátku tuhnutí dle ČSN EN 13454-2+A1* – v této zkoušce se zjišťoval počátek tuhnutí anhydritové pasty, která byla smíchána s potřebným množstvím záměsové vody
- *objemové hmotnosti* – provedeno na zkušebních tělesech vždy před pevnostní zkouškou
- *pevnosti v tahu za ohybu a v tlaku dle ČSN EN 13454-2+A1* – byly provedeny na pastách o vodním součiniteli odpovídajícím kaši normální konzistence po 3 a 28 dnech hydratace. Pro tyto účely byla vyrobena zkušební tělesa o rozměrech 20 x 20 x 100 mm. Expozice vzorků byla provedena dle tab. 17.
- *hydratační proces* - vybrané zbytky vzorků po provedených technologických zkouškách byly umrtveny smícháním s lihem a následně acetonem. Poté se použily ke studiu hydratačního procesu pomocí metody XRD analýzy.

6.2. Etapa II: Zkoušky prováděné na anhydritových maltách

Druhá etapa se na základě výsledků z první etapy zaměřila na zkoušky prováděné na maltách.

Tyto malty byly složeny z:

- 675 g anhydritu
- 1350 g normalizovaného písku CEN
- vody
- směsné budicí přísady - 1 % Na_2SO_4 a 4 % portlandského cementu z hm. anhydritu
- plastifikační přísady Melment® F 10, F 15 G, F 17 G, F 217 G a F 245 v dávkách 0,1 %, 0,3 % a 0,6 % z hm. anhydritu

Po smíchání byly provedeny tyto zkoušky na normových maltách:

- *stanovení rozlití pomocí střešacího stolku ČSN EN 12454-2+A1* – pro tuto zkoušku se nejprve zhotovila malta s konstantní dávkou vody 225 ml. V následujícím kroku se provedla zkouška malt na konstantní rozliv (150 ± 5 mm). Malta se míchala normovým postupem, hodnota rozlití se zjistila pomocí patnácti úderů střešacího stolku.
- *stanovení objemové hmotnosti a pevností* - z malty se vhodným rozlitím vytvořily zkušební tramečky o normativních rozměrech 40 x 40 x 160 mm, které byly uloženy v prostředí popsáném v normě ČSN EN 13892-1, viz tab. 17. Na těchto vzorcích se po 3 a 28 dnech hydratace zjistila objemová hmotnost, následně i pevnost v tahu za ohybu a v tlaku.

6.3. Etapa III: Zkušební odliv samonivelačního potěru

Třetí etapa se věnovala vylití směsi do podoby dlaždic vytvořených z ocelové formy o velikosti 250 x 250 x 35 mm.

Pro její přípravu byly použity následující směsi:

- ♦ směs A (REF):
 - anhydrit 2025 g
 - normalizovaný písek CEN 4050 g
 - voda 675 g
 - směsná budicí přísada: 1 % Na_2SO_4 a 4 % portlandského cementu z hm. anhydritu,

- ♦ směs B:
 - složení směsi 1 + plastifikační přísada Melment[®] F 217 G v dávce 0,3 % z hm. anhydritu,
- ♦ směs C:
 - složení směsi 1 + plastifikační přísada Melment[®] F 217 G v dávce 0,3 % z hm. anhydritu + odpěnovací přísada Agitan[®] P 803.

Namíchaná směs se nalila do ocelových forem a urovnala se mírným rozvlněním. Po vytvrdnutí se dlaždice vizuálně posoudily a rozřízly. Sledovala se jejich pórová struktura, sedimentace kameniva a vznik sintrového povrchu.

7. POUŽITÉ PŘÍSTROJE

- zkušební formy: sloužily pro výrobu zkušebních těles o rozměrech 20 x 20 x 100 mm a o normativních rozměrech 40 x 40 x 160 mm. Pro výrobu dlaždic byla použita forma o rozměrech 250 x 250 x 35 mm.
- Vicatův přístroj: slouží pro stanovení normální konzistence a stanovení počátků tuhnutí
- normativní míchačka: použita pro míchání malt podle normového předpisu
- vibrační stůl: využití pro zhutňování směsi



Obr. 24: Normativní míchačka (vlevo) a vibrační stůl (vpravo)

- zatěžovací lis: pro stanovení pevností vzorků 20 x 20 x 100 mm a 40 x 40 x 160 mm. Pro zkoušky tahu v ohybu byl použit lis s rozpětím 10 kN a přesností $\pm 0,05$ kN.

Pevnosti v tlaku se zjistili na lise o rozpětí 40 kN s přesností $\pm 0,2$ kN a o rozpětí 200 kN s přesností ± 1 kN.



Obr. 25: Zatěžovací lis v ÚTHD FAST

- XRD Rentgenová difrakční analýza: provedeno na difraktografu od firmy PANalytical s PIXcel3D detectorem za podmínek:

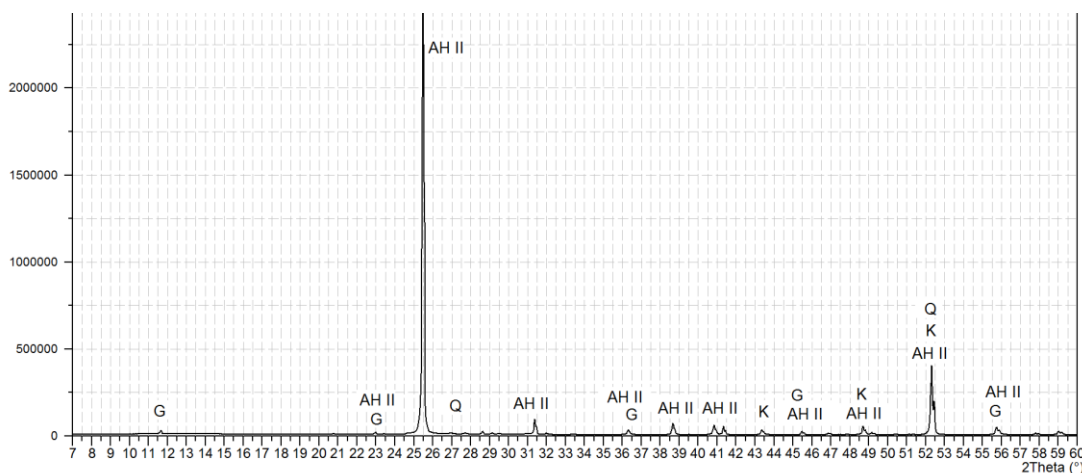
- zaření Cu K-alpha
- vlnová délka 1.54184 Å
- Napětí (kV)/Proud (mA): 45/40
- Liniový scan
- Režim 1D
- Čas na krok 157,845 s
- Velikost kroku 0,0131°

Vyhodnocení bylo provedeno pomocí programu HighScore Plus a databáze PDF.

- pH metr: měření bylo provedeno na elektronickém pH – metru Mettler Toledo Easy 21.

8. POUŽITÉ SUROVINY

- přírodní anhydrit: jako výchozí vzorek byl použit anhydrit dodávaný firmou Morfico. Jedná se o přírodní anhydrit těžený v Polsku. Jeho rentgenogram je znázorněn na obr. 26.



Obr. 26: Rentgenogram přírodního anhydritu

V rentgenogramu vzorku přírodního anhydritu byly identifikovány následující minerály:

- A II – anhydrit II CaSO_4 ($d_{hkl} = 3,49; 2,85; 2,33 \text{ \AA}$)
- G – sádrovec $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ($d_{hkl} = 7,56; 4,27; 3,79 \text{ \AA}$)
- Q – křemen SiO_2 ($d_{hkl} = 4,21, 3,36 \text{ \AA}$)
- K – kalcit CaCO_3 ($d_{hkl} = 3,86, 3,035 \text{ \AA}$)

Tab. 21: Kvantitativní fázová analýza Rietveld

Prvek	Množství
anhydrit II	90 %
sádrovec	5,7 %
kalcit	3,4 %

- portlandský cement: jako budič v dávce 4 % z množství pojiva. Použil se portlandský cement CEM I 42,5 R společnosti HeidelbergCement Group ze závodu Mokrý.
- síran sodný Na_2SO_4 : pro práci byl použit síran sodný od společnosti PENTA Chrudim, dodávaný v práškové formě jako bezvodý, čistota p.a., min. obsah Na_2SO_4 99,0 %
- kamenivo: normalizovaný křemičitý písek CEN EN 196 – 1 o hmotnosti $1\,350 \pm 5 \text{ g}$
- plastifikační přísada Melment®: plastifikační přísady byly použity od společnosti BASF: F 10, F 15 G, F 17 G, F 217 G a F 245. Tyto plastifikátory jsou založeny na bázi sulfonovaného polykondenzačního produktu Melaminu a jsou primárně určené pro pojiva na bázi síranu vápenatého. Jedná se o bílý nebo slabě šedý

prášek s doporučeným dávkováním od výrobce 0,2 – 2 % z hmotnosti pojiva (F 217 G: 0,25 – 2,5 %).

- pěnotvorná přísada Agitan® P 803: pěnotvorná přísada dodána firmou Münzing, je založena na bázi kapalných uhlovodíků a polyglykolu na organickém nosiči. Doporučené dávkování výrobcem je v rozmezí 0,05 až 0,5 % na celkovou hmotnost.

9. VYHODNOCENÍ

9.1. Etapa I: Zkoušky prováděné na anhydritových pastách

9.1.1. Stanovení pH

Pomocí elektronického pH – metru byla zjištěna pH hodnota anhydritu 8,2. S přidavkem budících přísad se pH zvýšilo na hodnotu 11,7.

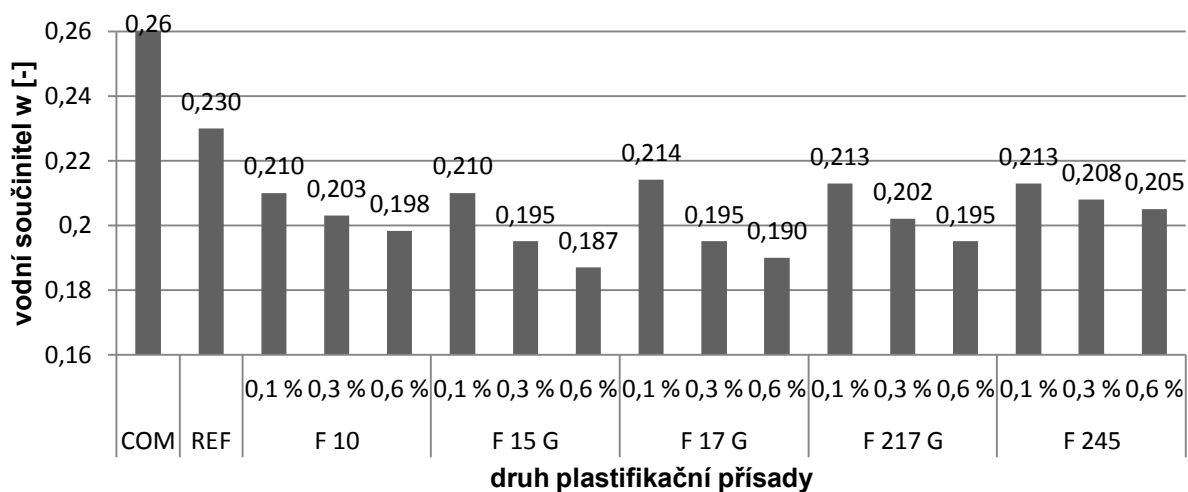
9.1.2. Stanovení technologických vlastností na anhydritových pastách

Přehled dosahovaných technologických vlastností na anhydritových pastách jsou uvedeny v tab. 22 a 23.

Tab. 22: Hodnoty normální konzistence a počátek tuhnutí anhydritových past

plast. přísada		vodní součinitel w [-]	vzdálenost dle Vicata [mm]	počátek tuhnutí [hod:min]
typ	množství			
REF		0,230	5	1:10
F 10	0,1 %	0,210	7	1:00
	0,3 %	0,203	6	1:00
	0,6 %	0,198	6	1:05
F 15 G	0,1 %	0,210	5	1:10
	0,3 %	0,195	5	2:20
	0,6 %	0,187	6	3:45
F 17 G	0,1 %	0,214	7	1:10
	0,3 %	0,195	6	1:20
	0,6 %	0,190	5	1:40
F 217 G	0,1 %	0,213	6	1:00
	0,3 %	0,202	5	1:15
	0,6 %	0,195	7	1:15
F 245	0,1 %	0,213	6	0:50
	0,3 %	0,208	6	1:00
	0,6 %	0,205	7	1:00

Grafické znázornění vlivu druhu plastifikační přísady na změnu vodního součinitele je uvedena v grafu 1.



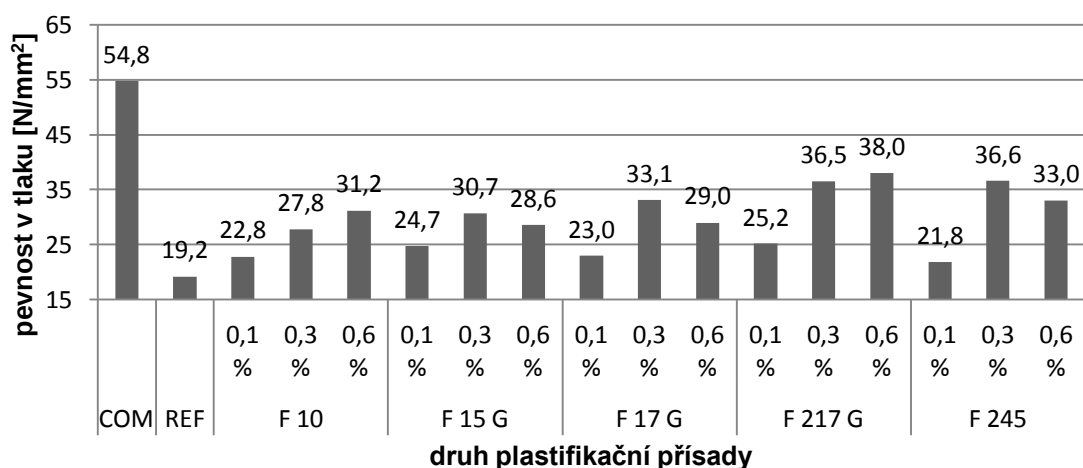
Graf 1: Vliv druhu plastifikační přísady na vodní součinitel w

Nejprve se na anhydritových pastách zjistila hodnota optimální konzistence pomocí Vicatova přístroje. Největší vodní součinitel $w = 0,230$ vykazovala referenční směs. S přidáním plastifikačních přísad se množství potřebné vody zredukovalo. Největší plastifikační účinek měly plastifikátory F 15 G a F 17 G v dávce 0,6 %, které snížily vodní součinitel až o 10 %.

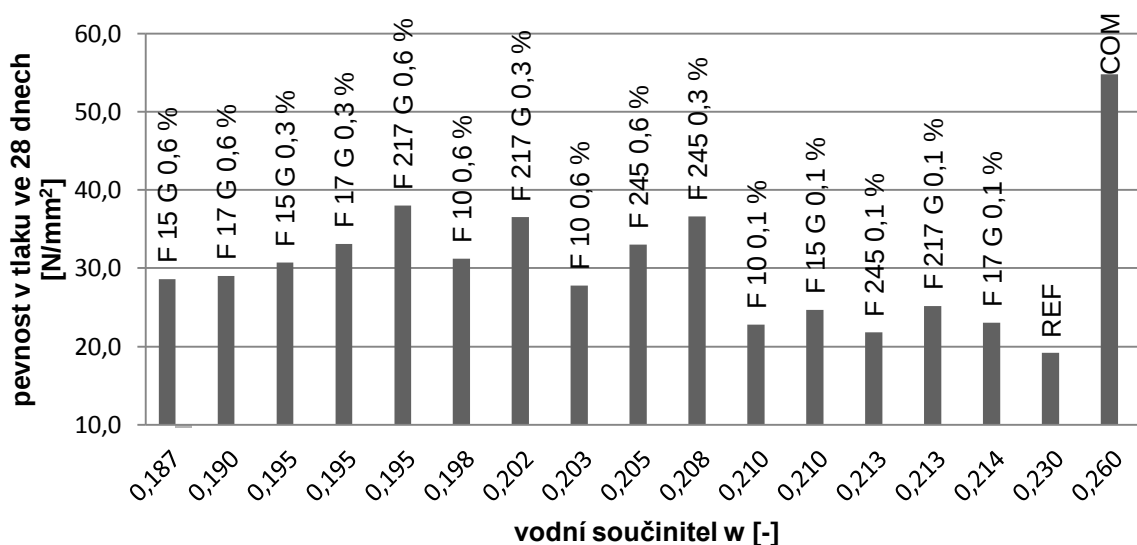
Tab. 23: Technologické vlastnosti anhydritových past

anhydrit s budiči		vodní součinitel [-]	pevnost [N/mm ²]				objemová hmotnost [kg/m ³]	
plast. přísada			v tlaku		v tahu za ohybu			
typ	množství		3 dny	28 dnů	3 dny	28 dnů	3 dny	28 dnů
COM		0,260	-	54,8	-	7,3	-	2 821
REF		0,230	6,4	19,2	1,72	3,68	2 009	1 884
F 10	0,1 %	0,210	12,6	22,8	2,56	5,70	2 114	1 999
	0,3 %	0,203	12,1	27,8	2,79	7,06	2 101	1 991
	0,6 %	0,198	11,7	31,2	2,54	9,30	2 123	2 013
F 15 G	0,1 %	0,210	11,9	24,7	3,06	7,12	2 090	1 959
	0,3 %	0,195	14,9	30,7	3,09	9,25	2 113	2 010
	0,6 %	0,187	15,3	28,6	3,11	8,75	2 116	1 989
F 17 G	0,1 %	0,214	10,7	23,0	2,35	6,88	2 082	1 966
	0,3 %	0,195	12,5	33,1	2,57	7,65	2 044	1 998
	0,6 %	0,190	14,3	29,0	2,60	7,20	2 065	1 950
F 217 G	0,1 %	0,213	9,1	25,2	2,64	6,68	2 078	1 954
	0,3 %	0,202	15,6	36,5	2,86	8,21	2 117	2 017
	0,6 %	0,195	15,8	38,0	2,67	9,15	2 113	2 033
F 245	0,1 %	0,213	8,6	21,8	2,59	6,51	2 096	1 923
	0,3 %	0,208	12,3	36,6	1,68	6,68	2 089	1 917
	0,6 %	0,205	13,9	33,0	1,94	7,62	2 038	2 006
Legenda: COM – komerčně vyráběný anhydritový compound [8]								

Grafické znázornění vlivu druhu plastifikační přísady na pevnost v tlaku a vlivu vodního součinitele na pevnost v tlaku ve 28 dnech hydratace je uvedeno v grafech 2 a 3.



Graf 2: Vliv druhu plastifikační přísady na pevnost v tlaku ve 28 dnech

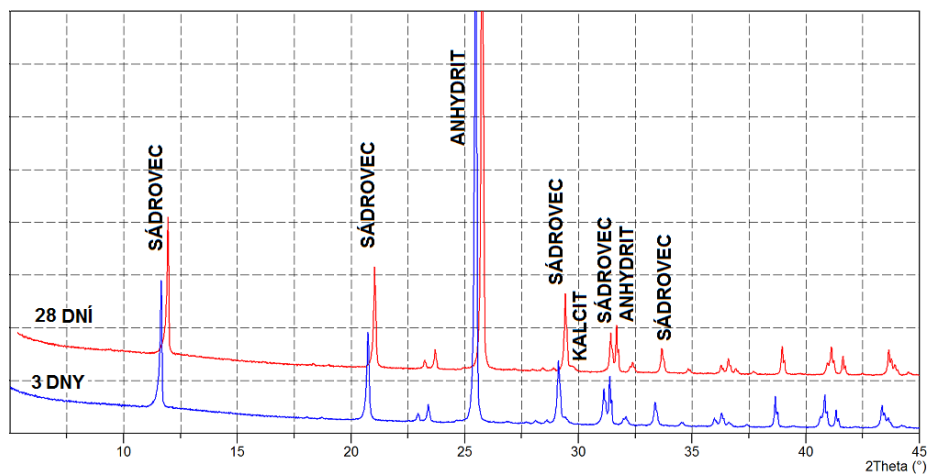


Graf 3: Vliv vodního součinitele na pevnost v tlaku ve 28 dnech

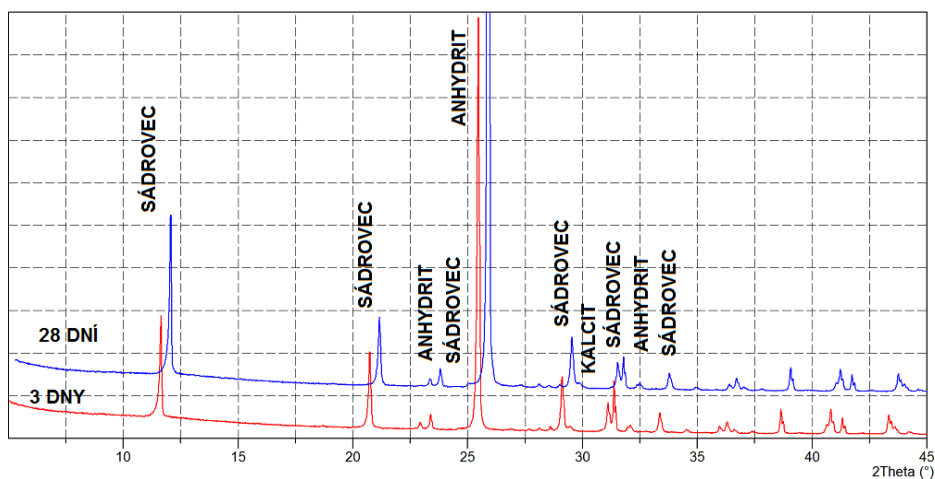
Vlivem redukce vodního součinitele docházelo u všech plastifikačních přísad pravidelně ke zvýšení pevností ve 3 a 28 dnech hydratace. Nejvíce znatelné je to u plastifikační přísady F 217 G v dávce 0,6 %, kdy její pevnost v tlaku ve 28 dnech hydratace dosahovala až 38 N/mm^2 , což je dvojnásobná hodnota proti referenční směsi. I u plastifikátoru F 15 G a F 17 G v dávce 0,6 % byly jejich pevnosti srovnatelné. Porovnáme-li účinnost plastifikačních přísad v dávkování 0,3 %, nejúčinnějšími plastifikačními přísadami se staly F 217 G a F 245, které dosahovaly pevnosti v tlaku ve 28 dnech hydratace až 36 N/mm^2 , proti referenční směsi byly jejich pevnosti také dvojnásobné. Nejnižší pevnost vykazovala referenční směs, jejíž pevnost v tlaku ve 28 dnech hydratace dosahovala jen $19,2 \text{ N/mm}^2$, což bylo způsobeno vysokým vodním součinitelem. Komerčně vyráběný anhydritový potěr vykazoval pevnosti až $54,8 \text{ N/mm}^2$. Směs s nejvyšší hodnotou pevnosti ve 28 dnech hydratace, a to s plastifikační přísadou F 217 G v dávce 0,6 %, měla cca o třetinu nižší pevnost, než dosahoval compound.

9.1.3. Hydratační proces

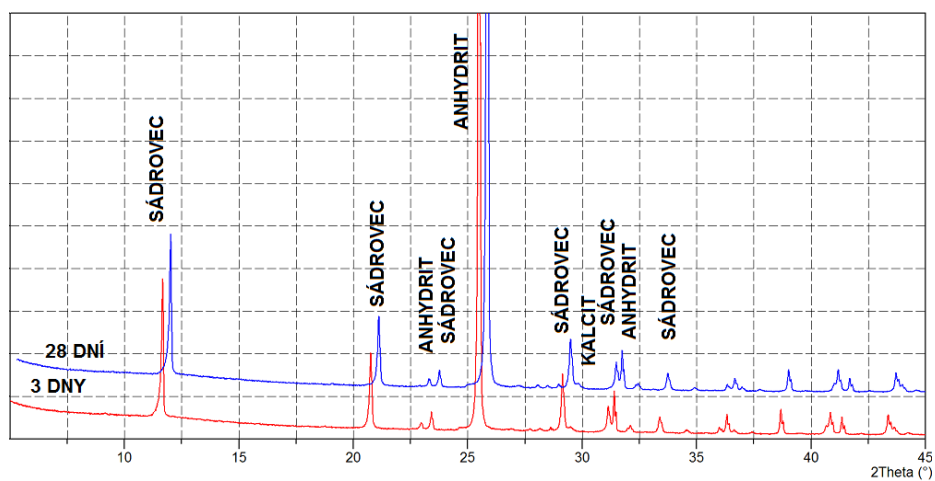
Mineralogický rozbor hydratovaných vzorků metodou XRD analýzy je dokumentován na obr. 27 - 32.



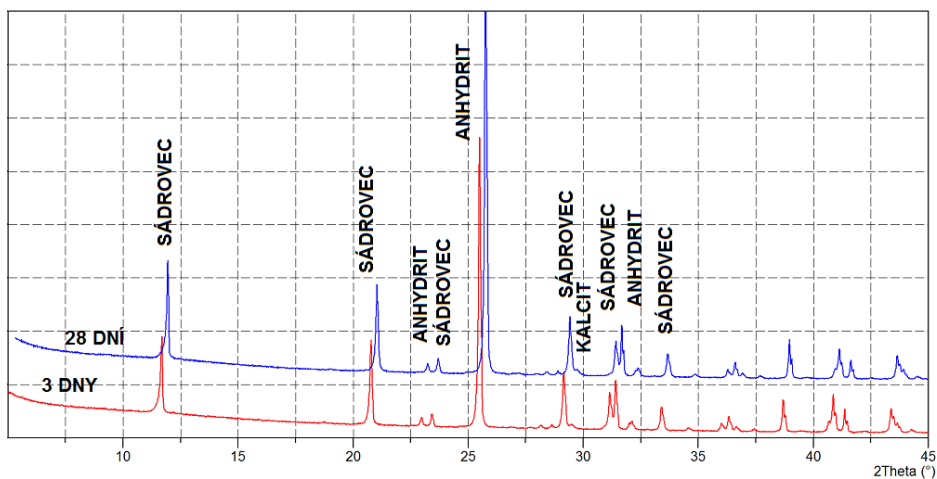
Obr. 27: Rentgenogram referenční směsi



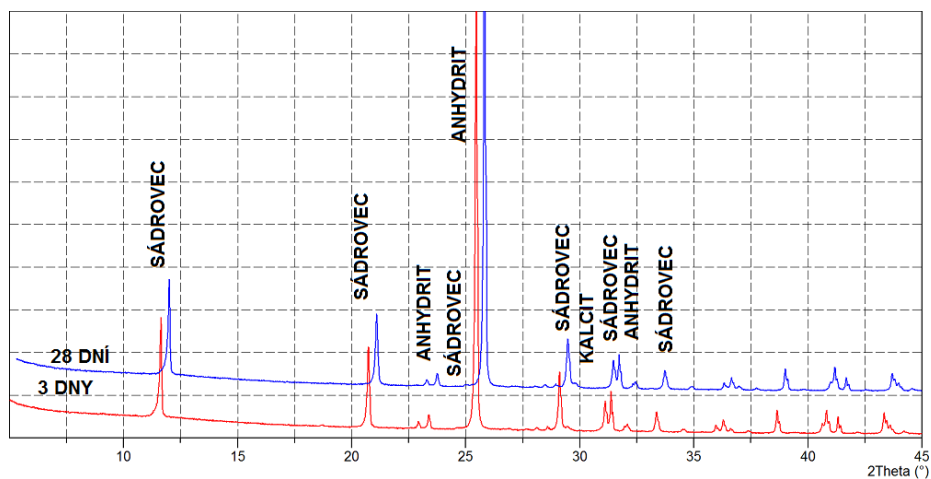
Obr. 28: Rentgenogram směsi s plastifikační přísadou F 10 v dávce 0,3 %



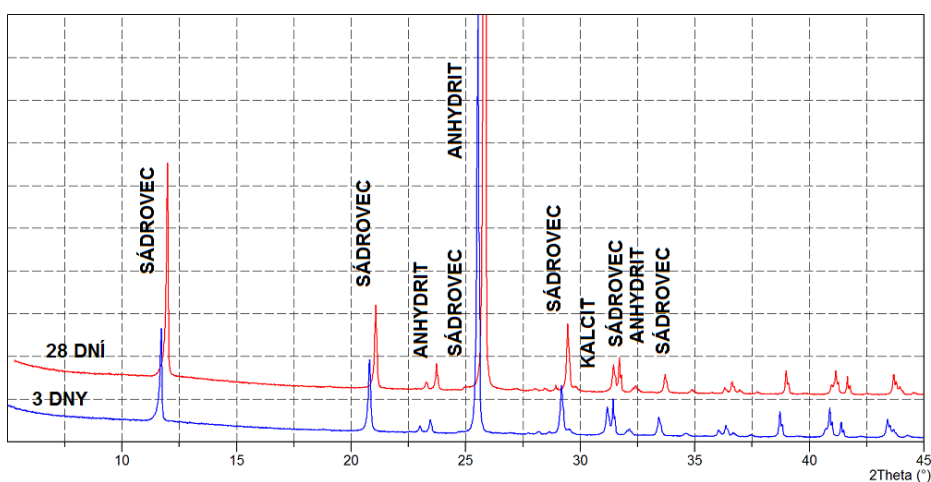
Obr. 29: Rentgenogram směsi s plastifikační přísadou F 15 G v dávce 0,3 %



Obr. 30: Rentgenogram směsi s plastifikační přísadou F 17 G v dávce 0,3 %



Obr. 31: Rentgenogram směsi s plastifikační přísadou F 217 G v dávce 0,3 %



Obr. 32: Rentgenogram směsi s plastifikační přísadou F 245 v dávce 0,3 %

V rentgenogramech vzorků byly identifikovány tyto minerály:

- sádrovec, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, číslo karty ICDD 00-021-0816, d [Å] / I [%]: 2,87/100; 4,28/90; 7,60/45
- anhydrit II, CaSO_4 , číslo karty ICDD 01-072-0503, d [Å] / I [%]: 3,49/100; 2,85/30; 2,21/19
- kalcit, CaCO_3 , číslo karty ICDD 00-024-0027, d [Å] / I [%]: 3,030/100

Po kvalitativní stránce byl průběh všech rentgenogramů v podstatě stejný. V rentgenogramech byly identifikovány dominantní difrakční linie sádrovce a anhydritu II. S přibývajícím dobou uložení se difrakční linie anhydritu snižovaly, a naopak intenzita linií sádrovce se zvyšovala. Vedle anhydritu a sádrovce, jakožto dvou základních minerálních fází, byla ve vzorcích identifikována již jen okrajově zastoupená fáze kalcitu.

9.2. Etapa II: Zkoušky prováděné na anhydritových maltách

9.2.1. Technologické vlastnosti anhydritových malt při konstantní dávce vody 225 ml

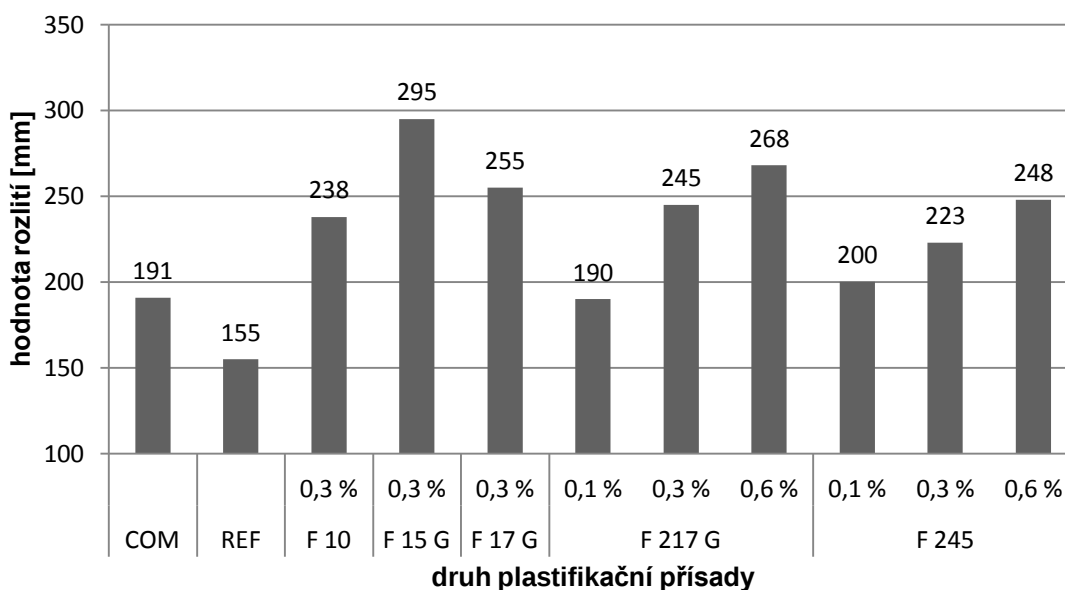
Hodnoty dosahovaných technologických vlastností provedených na anhydritových normových maltách uvádí tab. 24.

Tab. 24: Dosažené technologické parametry na anhydritových maltách při konstantní dávce vody 225 ml

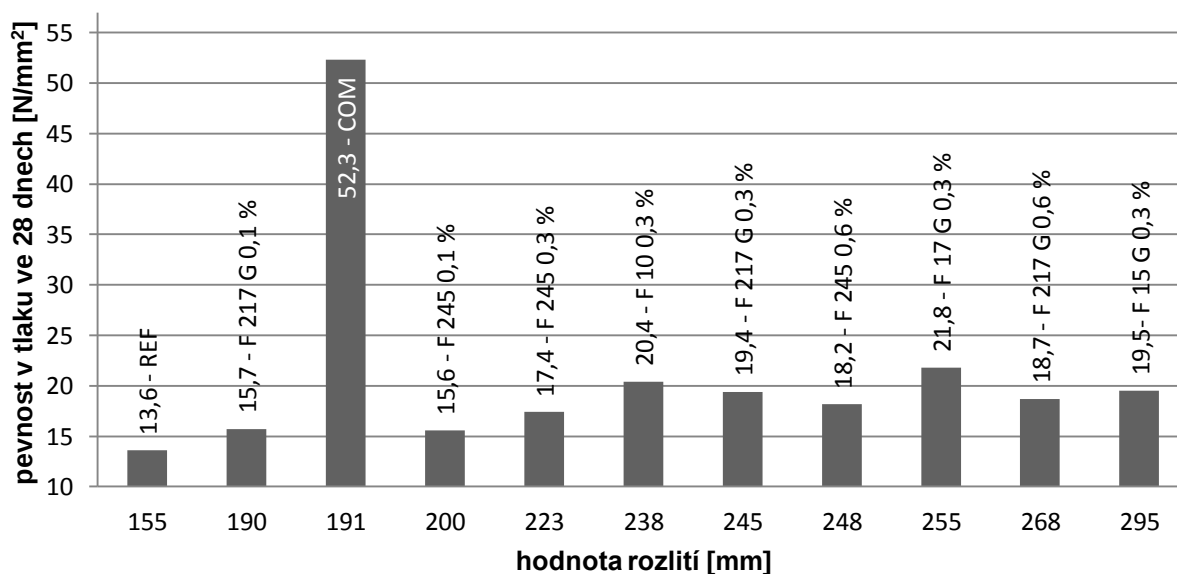
anhydrit s budiči		hodnota rozlití [mm]	vodní součinitel w [-]	pevnost [N/mm ²]				objemová hmotnost [kg/m ³]	
plast. přísada				v tlaku		v tahu za ohybu			
typ	množství			3 dny	28 dnů	3 dny	28 dnů	3 dny	28 dnů
COM		191	0,333	-	52,3	-	10,9	-	2 195
REF		155	0,333	4,1	13,6	1,18	3,79	2 386	2 124
F 10	0,3 %	238	0,333	5,3	20,4	1,45	4,56	2 261	2 165
F 15 G	0,3 %	295	0,333	5,4	19,5	1,50	4,37	2 273	2 165
F 17 G	0,3 %	255	0,333	5,1	21,8	1,51	4,74	2 251	2 146
F 217 G	0,1 %	190	0,333	4,0	15,7	1,15	4,38	2 216	2 131
	0,3 %	245	0,333	4,9	19,4	1,43	4,62	2 206	2 154
	0,6 %	268	0,333	2,9	18,7	1,46	4,52	2 288	2 147
F 245	0,1 %	200	0,333	2,9	15,6	1,35	3,82	2 240	2 126
	0,3 %	223	0,333	4,2	17,4	1,52	4,49	2 235	2 130
	0,6 %	248	0,333	4,4	18,2	1,50	4,89	2 283	2 175

Legenda: COM – komerčně vyráběný anhydritový compound [8]

Grafické znázornění vlivu plastifikační přísady na rozlití a vliv hodnoty rozlití na pevnost v tlaku ve 28 dnech hydratace zobrazuje graf 4 a 5.



Graf 4: Vliv druhu plastifikační přísady na rozlití



Graf 5: Vliv hodnoty rozlití na pevnost v tlaku v 28 dnech

Z anhydritu, normalizovaného písku, budících přísad, plastifikačních přísad a 225 ml vody byla vytvořena normová malta, která byla nejprve podrobena zkoušce rozlitím. Vlivem přidání plastifikačních látek bylo rozlití malt větší, než (150 ± 5) mm. Rozlití referenční směsi bylo 155 mm, což je ze všech směsí nejmenší dosažená hodnota. Největší účinek projevila plastifikační přísada F 15 G v dávce 0,3 %, jejíž hodnota rozlití byla téměř dvojnásobná, tj. 295 mm.

Co se týče dosahovaných pevností, přidáním plastifikačních přísad, které vykázaly pozitivní účinek, došlo ke změně dosahovaných hodnot. Přidáním plastifikační přísady dávkované v množství 0,1 % se výsledná pevnost mírně zvýšila, cca o 13 %. Vyšší množství plastifikační přísady mělo vliv na intenzivnější nárůst pevností, nejvíce znatelné to bylo u plastifikační přísady F 17 G v dávce 0,3 %, kdy pevnost z $13,6 \text{ N/mm}^2$ (REF) vzrostla až na $21,8 \text{ N/mm}^2$, což je cca o 60 % více. I přes tyto nejvyšší zjištěné pevnosti jsou tyto hodnoty o více než polovinu menší, než pevnosti získané hydratací anhydritového průmyslového pojiva dováženého ze zahraničí.

Pro relativně nízké pevnosti normových malt jak ve 3 dnech, tak i po 28 dnech hydratace, nenaplnily zcela tyto anhydritové normové malty požadavky normy ČSN EN 13454 – 1 pro nejnižší pevnostní třídu 20, viz tab.20.

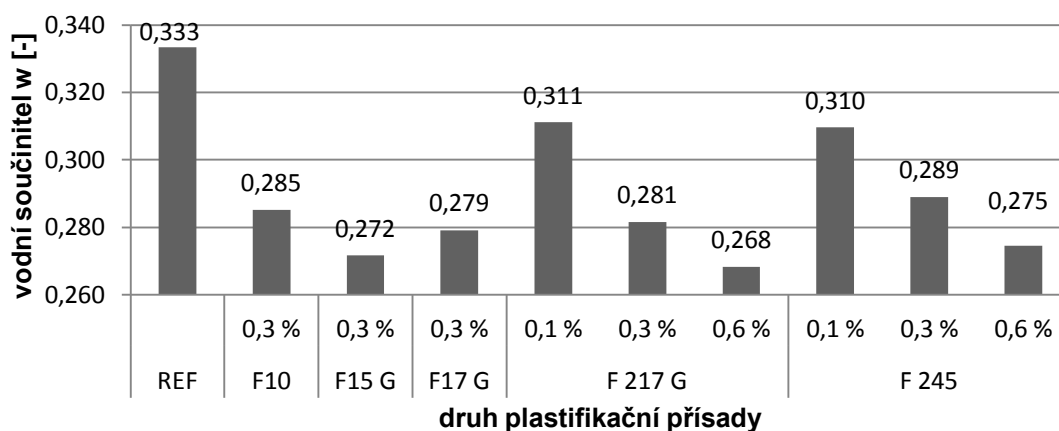
9.2.2. Zkoušky anhydritové malty na konstantní rozliv (150 ± 5) mm a jejich pevnosti

Přehled dosahovaných technologických vlastností anhydritových malt provedených na konstantní rozliv (150 ± 5) mm uvádí tabulka 25.

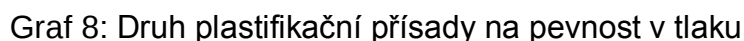
Tab. 25: Technologické vlastnosti anhydritové malty na konstantní rozliv (150 ± 5) mm

anhydrit s budiči		vodní součinitel [-]	pevnost [N/mm ²]				objemová hmotnost [kg/m ³]	
plast. přísada			v tlaku		v tahu za ohybu			
typ	množství		3 dny	28 dnů	3 dny	28 dnů	3 dny	28 dnů
REF		0,333	4,1	13,6	1,18	3,79	2 386	2 124
F10	0,3 %	0,285	6,9	25,8	1,34	5,96	2 270	2 193
F15 G	0,3 %	0,272	10,4	25,9	2,16	6,33	2 291	2 182
F17 G	0,3 %	0,279	10,2	27,5	1,61	6,05	2 293	2 207
F 217 G	0,1 %	0,311	6,5	16,8	1,20	4,66	2 223	2 126
	0,3 %	0,281	8,7	22,1	1,62	5,63	2 236	2 199
	0,6 %	0,268	8,1	30,4	1,88	6,08	2 235	2 215
F 245	0,1 %	0,310	6,9	19,4	1,51	4,78	2 236	2 175
	0,3 %	0,289	7,7	22,7	1,69	5,71	2 253	2 182
	0,6 %	0,275	7,8	27,3	1,62	6,44	2 238	2 201

Grafické znázornění vlivu plastifikační přísady na změnu vodního součinitele, vlivu vodního součinitele na pevnost v tlaku po 28 dnech hydratace a porovnání působení plastifikační přísady na pevnost v tlaku ve 28 dnech hydratace při konstantním vodním součiniteli a při konstantním rozlivu je zobrazeno na grafech 6, 7 a 8.



Graf 6: Vliv druhu plastifikační přísady na změnu vodního součinitele



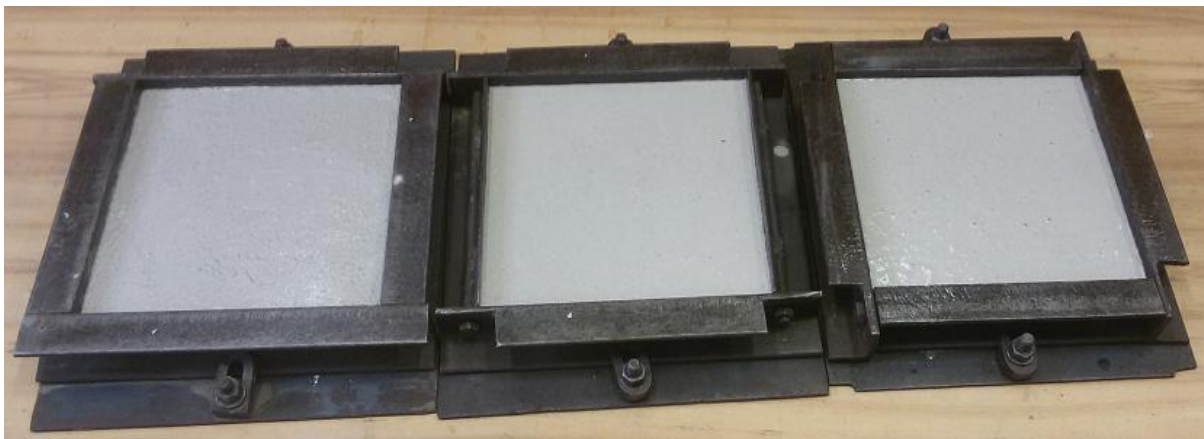
Redukce vodního součinitele měla za následek i mírné zvýšení konečných pevností ve 3 a 28 dnech hydratace. Všechny vzorky normových malt s dávkou plastifikační přísady 0,3 % a 0,6 % splnily požadavky normy pro pevnostní třídu 20. Tato změna byla nejvíce znatelná u malty s plastifikační přísadou F 217 G v dávce 0,6 %, kde se její pevnost zvýšila téměř o 60 % a to z hodnoty 18,7 N/mm²

na 30,4 N/mm². Dle normy ČSN EN 13454-1 můžeme REF směs zařadit jako C12F3 a směs s plastifikační přísadou F 217 G v dávce 0,6 % jako C30F6.

9.3. Etapa III: Zkušební odliv samonivelačního potěru

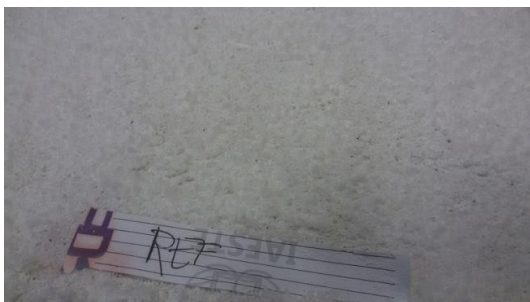
9.3.1. Rozbor povrchové vrstvy potěru

Vylití směsi do podoby dlaždic vytvořených z ocelové formy o velikosti 250 x 250 x 35 mm je zobrazeno na obr. 33.



Obr. 33: Čerstvá směs v ocelové formě, vlevo – směs A, uprostřed – směs B a vpravo – směs C

Na zatvrdlých vzorcích dlaždic se vytvořil šlem, který je zdokumentován na obr. 34.



a) směs A



b) směs B



c) směs C



d) seškrábnutí sintrové vrstvy

Obr. 34: Vysrážení sintrové vrstvy na vzorcích

Na všech vzorcích vykryštovala souvislá, okem viditelná vrstva krystalků. Tato vrstva nebyla homogenní, lišila se výškou a svým množstvím. U vzorku referenční malty byl tento šlem nejvíce znatelný. Přidáním plastifikační přísady F 217 G se vrstva tohoto šlemu zmenšila. Na vzorku malty s plastifikační přísadou F 217 G a odpěňovací přísadou se šlem vytvořil jen v malém množství, nesouvisle a jen místy.

9.3.2. Stanovení vizuálních charakteristik

Vizuální posouzení vzorků proběhlo na rozřezaných vzorcích dlaždic (viz obr. 35).



A.



B.



C.

Legenda:

A. REF směs

B. směs s plastifikátorem

C. směs s plastifikátorem a odpěňovací přísadou

Obr. 35: Rozříznuté vzorky dlaždic

Po rozřezání zatvrdlých vzorků dlaždic lze konstatovat:

Referenční vzorek (A.) a směs s plastifikátorem (B.) neobsahovaly odpěňovací přísadu. Na jejich povrchu, ale i v řezu, se vytvořily malé dutinky vzduchu, které vznikly při míchání. U referenční směsi se vytvořilo více vzduchových dutin, než u směsi B. Směs C. obsahuje nejen přísadu plastifikační, ale i odpěňovací. Přidáním odpěňovací přísady nevznikly na jejím povrchu vzduchové bubliny, jen v řezu se objevilo jejich minimální množství. Sedimentace u kameniva nebyla pozorována u žádného vzorku.

DISKUSE

Cílem diplomové práce byla problematika vývoje anhydritových samonivelačních potěrů. Pro tento výzkum byl využit přírodní anhydrit těžený v Polsku a různé druhy plastifikačních přísad řady Melment®, které byly dávkovány v množství 0,1 %, 0,3 %, a 0,6 % z množství pojiva. Výsledné charakteristiky byly vzájemně porovnány.

Použitý anhydrit, jako základní surovina pro účely zkoušek se vyznačoval vysokou čistotou, obsah $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ min. 90 %, jeho znečištění bylo způsobeno marginálním množstvím sádrovce a kalcitu. Orientační hodnoty pH, stanovené pomocí elektronického pH - metru, dosahovaly u přírodního anhydritu 8,2. Přidáním budících přísad se pH hodnota zvýšila na 11,7.

V rámci první etapy praktické části byly provedeny zkoušky na anhydritových pastách, kde se sledovala účinnost jednotlivých typů plastifikačních přísad. Jejich přidáním došlo k redukci vodního součinitele a tím se zvýšily i konečné pevnosti. Plastifikační přísady byly přidány ve třech dávkách. U anhydritových past s vyšší dávkou plastifikační přísady v dávce 0,3 % a 0,6 % se zvýšilo nejen ztekucení, ale docházelo i k nárůstu pevností. Dávka 0,1 % vykazovala tyto hodnoty minimální. Nejvyšší redukce záměsové vody nastala u plastifikačních přísad F 15 G a F 17 G. Anhydritová pasta modifikovaná plastifikační přísadou F 217 G v dávce 0,6 % měla pevnost v tlaku ve 28 dnech hydratace až 38 N/mm^2 , což je téměř dvojnásobná hodnota proti referenční směsi. Porovnáme-li účinnost plastifikačních přísad v dávkování 0,3 %, nejúčinnějšími plastifikačními přísadami se staly F 217 G a F 245, které dosahují pevnosti v tlaku až 36 N/mm^2 ve 28 dnech hydratace. Proti referenční směsi byla jejich pevnost také dvojnásobná. Co se týče průběhu hydratačního procesu, s přibývajícím dobou uložení se difrakční linie anhydritu snižovaly a intenzita linií sádrovce rostla.

V rámci druhé etapy byly provedeny zkoušky na anhydritových maltách normovými postupy. Pro tento účel se pracovalo s omezeným dávkováním plastifikačních přísad. Bez změny dávkování byly ponechány plastifikační přísady vykazující nejvyšší pevnosti při zkouškách na anhydritových pastách (F 217 G a F 245), plastifikační přísady F 10, F 15 G a F 17 G byly odzkoušeny jen v dávkování 0,3 %. Nejprve byly realizovány zkoušky na konstantní množství záměsové vody. Největší ztekucující účinek projevila plastifikační přísada F 15 G v dávce 0,3 %, jejíž

hodnota rozlití byla téměř dvojnásobná, tj. 295 mm. Tyto přísady zvýšily i konečné pevnosti, téměř o 60 % u směsi s přísadou F 17 G. Její pevnost dosahovala $21,8 \text{ N/mm}^2$, což je stále poloviční hodnota dosahovaných a zjištěných u průmyslově vyráběného anhydritového pojiva. U anhydritových malt s konstantním rozlivem $(150 \pm 5) \text{ mm}$ se snížil vodní součinitel a tím vzrostly i jejich pevnosti. Tento rozdíl byl nejvíce znatelný u anhydritové malty s plastifikační přísadou F 217 G v dávce 0,6 %, kde došlo ke zvýšení pevností až o 60 %. Porovnáme-li použité plastifikátory v dávce 0,3 % mezi sebou, nejvyšší pevností v tlaku $27,5 \text{ N/mm}^2$ ve 28 dnech hydratace vykazovala malta s plastifikační přísadou F 17 G.

V rámci třetí etapy byla provedena reálná aplikace potěru vylitého do podoby dlaždic. Pro tuto aplikaci byla namíchána nejprve referenční směs, do ostatních směsí byla přidána plastifikační a odpěňovací přísada. Hlavním cílem bylo sledování jejich vizuálních charakteristik. V referenční směsi a ve směsi s plastifikační přísadou se objevily malé, okem viditelné, vzduchové dutiny. Přidáním odpěňovací přísady došlo ke snížení těchto vzduchových pórů na minimum. Vlivem použití síranu sodného bezvodého, jako budící přísady, došlo na povrchu k vykrytalizování sintrové vrstvy. Tento šlem vznikl u referenční směsi po celém povrchu. Přidáním plastifikační přísady se množství vykrytalizovaného šlemu zmenšilo. U směsi s plastifikační a odpěňovací přísadou se tento šlem vytvořil jen v malém množství, nesouvisle a jen místy. Sedimentace u kameniva nebyla pozorována u žádného vzorku.

ZÁVĚR

V diplomové práci byla na anhydritu sledována účinnost vybraných plastifikačních přísad primárně určených na pojiva ze síranu vápenatého. Přidáním těchto plastifikačních přísad se zlepšila nejen zpracovatelnost čerstvé směsi, ale i výsledné technologické vlastnosti zatvrdlých směsí, zejména pevností. Zlepšení těchto technologických vlastností bylo nejvíce patrné u plastifikátorů přidaných v dávkách od 0,3 %.

Nejvyšších pevností v tlaku ve 28 dnech hydratace nabývá anhydritová malta s plastifikátorem F 217 G v dávce 0,6 %. Srovnáme-li tuto směs s anhydritovým průmyslovým pojivem, jsou její dosahované pevnosti téměř poloviční. Porovnáme-li technologické výsledky zjištěné v této studii, jako neoptimálnější plastifikační přísada se jeví F 17 G, která sice vykazuje o 3 N/mm^2 nižší pevnosti než výše zmíněná F 217 G v dávce 0,6 %, ale její potřebná dávka je nižší a dosahovala i výborné ztekucující účinky.

Použitím budící přísady Na_2SO_4 došlo na povrchu vzorků ke vzniku sintrové vrstvy, ta se s přidavkem plastifikační a odpěňovací přísady zmenšovala. Pro její omezení by bylo vhodné odzkoušení jiných budících přísad, např. K_2SO_4 , která dosahuje srovnatelných pevností jako použitá Na_2SO_4 .

V dalším výzkumu by bylo vhodné prozkoumat, zda a v jakém množství tento rozdíl způsobuje jejich geneze. Zvýšení konečných pevností je možné ověřit odzkoušením jiných druhů budících přísad v různém množství, dále přidáním dalších druhů modifikačních přísad a použitím vhodné skladby kameniva. Ověřením těchto návrhů se mohou jejich pevnosti zvýšit tak, aby tato směs z přírodního anhydritu byla srovnatelná s compoundem.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] VAVŘÍN, F., *Maltoviny*. 3. vyd. Brno: Vysoké učení technické, 1987, 253 s.
- [2] SCHULZE, W., *Necementové malty a betony*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1990, 271 s.
- [3] GAZDIČ, D., *Výzkum a vývoj síranových pojiv na bázi anhydritu : disertační práce*. Brno, 2010. 159 s. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební. Ústav stavebních hmot a dílců. Vedoucí disertační práce prof. Ing. Marcela Fridrichová, CSc.
- [4] BÁRTA, R., *Technologie silikátů* (Sborník výzkumných prací III), SNTL, Praha, 1957
- [5] SIEVERT, T., A. WOLTER and N.B. SINGH. *Hydration of anhydrite of gypsum (CaSO₄.II) in a ball mill*, Cement and concrete research, February, 2004, Pages 623 – 630
- [6] SÖHNEL, O., *Průmyslové technologie I*. 1. vyd. Ústí nad Labem: Univerzita Jana Evangelisty Purkyně v Ústí nad Labem, Fakulta životního prostředí, 2010, 178 s. ISBN 978-80-7414-311-3.
- [7] HEMERKA, Jiří a Pavel VYBÍRAL. *Ochrana ovzduší*. 1. vyd. V Praze: České vysoké učení technické, 2010, 148 s. ISBN 978-80-01-04646-3.
- [8] BĚŤÁK, R., *Výzkum v oblasti přípravy anhydritových samonivelačních potěrů*. Brno, 2014. 52 s., Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce Ing. Dominik Gazdič, Ph.D.
- [9] PYTLÍK, P. *Technologie betonu*, 2. vyd. Brno: Vysoké učení technické, 2000, 389 s. ISBN 80-214-1647-5.
- [10] Energosádovec. *EOP* [online]. [cit. 2015-10-27]. Dostupné z: <http://www.eop.cz/energoadrovec>
- [11] Mokrý vápencová vypírka. *CEZ* [online]. [cit. 2015-10-28]. Dostupné z: http://www.cez.cz/edee/content/file/static/encyklopedie/encyklopedie-energetiky/02/vypirka_5.html
- [12] Mineral commodity summaries 2015. *USGS* [online]. [cit. 2015-09-25]. Dostupné z: <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2015/mcs2015.pdf>

- [13] Surovinové zdroje ČR – nerostné suroviny, vydání z roku 2014, stav 2013. *Česká geologická služba* [online]. [cit. 2015-09-25]. Dostupné z: <http://www.geology.cz/extranet/publikace/online/surovinove-zdroje>
- [14] WORLD-MINING-DATA. *World Mining Congress* [online]. [cit. 2015-09-25]. Dostupné z: <http://www.wmc.org.pl/sites/default/files/WMD2015.pdf>
- [15] Sádrovec – $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. *Ložiska nerud* [online]. [cit. 2015-11-28]. Dostupné z: <http://geologie.vsb.cz/loziska/loziska/nerudy/s%C3%A1drovec.html>
- [16] Profil společnosti. *Gypstrend s.r.o. sádrovcové doly* [online]. [cit. 2015-11-11]. Dostupné z: <http://www.gypstrend.cz/?clanek=1>
- [17] CESNIENE, J., *Influence of phosphatic impurities on the anhydrite binding material of phosphogypsum*, Lithuanian Energy Institute, April, 2007, Pages 153 – 160
- [18] Mapy. *seznam.cz* [online]. Dostupné z: www.mapy.cz
- [19] Odsiřování spalin v elektrárnách skupiny ČEZ. *Skupina ČEZ* [online]. [cit. 2015-11-02]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/edee/content/file/investori/odsirovani.pdf>
- [20] Energosádrovec. *Skupina ČEZ* [online]. [cit. 2015-11-02]. Dostupné z: <http://www.cezep.cz/energosedrovec.html?id=124>
- [21] Podniková informace. *ČEZ*, 2013
- [22] Pregips. *Precheza* [online]. [cit. 2015-11-05]. Dostupné z: http://www.precheza.cz/root/ke-stazeni/TSD/pregips_cz_print.pdf
- [23] Podniková informace. *Fosfa a.s.*, 2013
- [24] Anhydrit – nejen stavební surovina. *Svět minerálů* [online]. [cit. 2015-11-10]. Dostupné z: <http://www.svetmineralu.cz/magazin/anhydrit-nejen-stavebni-surovina>
- [25] Anhydrite. *Handbook of Mineralogy* [online]. [cit. 2015-11-10]. Dostupné z: <http://www.handbookofmineralogy.com/pdfs/anhydrite.pdf>
- [26] Anhydritové podlahy. *TOKAREX spol. s.r.o.* [online]. [cit. 2015-11-10]. Dostupné z: <http://www.tokarex.cz/anhydritove-podlahy/>
- [27] AnhyLevel – technologický předpis. *CEMEX* [online]. [cit. 2015-12-02]. Dostupné z: http://www.specialni-produkty.cz/Anhylevel_technologicky_predpis.html
- [28] Technický list Anhyment. *Českomoravský beton* [online]. [cit. 2015-12-02]. Dostupné z: <http://www.lite-smesi.cz/index.php/stahnout-soubor?id=3781>

- [29] ČSN 74 4505. *Podlahy – Společná ustanovení*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
- [30] Anhydritový nebo cementový litý potěr – porovnání. *WINKLMANN spol. s.r.o.* [online]. [cit. 2015-12-12]. Dostupné z:
www.winklmann.cz/dokument.ashx?idDokument=97
- [31] ČSN EN 13813. *Potěrové materiály a podlahové potěry – Potěrové materiály – Vlastnosti a požadavky*. Praha: ČNI, 2003
- [32] ČSN EN 13454-1. *Pojiva, kompozitní pojiva a průmyslově vyráběné maltové směsi pro podlahové potěry ze síranu vápenatého – Část 1: Definice a požadavky*. Praha: ČNI, 2005
- [33] ČSN EN 13454-2+A1. *Pojiva, kompozitní pojiva a průmyslově vyráběné maltové směsi pro podlahové potěry ze síranu vápenatého – Část 2: Zkušební metody*. Praha: ČNI, 2008
- [34] ČSN EN 13892-1. *Zkušební metody potěrových materiálů – Část 1: Odběr vzorků, zhotovení a ošetřování zkušebních těles*. Praha: ČNI, 2003
- [35] Přísady do betonů a malt III. *mct* [online]. [cit. 2015-12-20]. Dostupné z:
<http://www.mct.cz/soubor/prisady-do-betonu-iii/>

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Krystaly sádrovce	12
Obr. 2: Těžba sádrovce společností GYPSTREND Kobeřice [18].....	13
Obr. 3: Schéma odsíření mokrou vápencovou cestou [11].....	18
Obr. 4: Deponie sádrovce Fosfa Poštorná [18]	21
Obr. 5: Schéma dehydratace sádrovce [2]	22
Obr. 6: Anhydrit [24]	25
Obr. 7: Schéma hydratace anhydritu [5].....	26
Obr. 8: Schéma vnitřního buzení anhydritu	27
Obr. 9: Schéma vnějšího buzení anhydritu.....	27
Obr. 10: Anhydritový potěr na izolační vrstvě [26]	30
Obr. 11: Řez anhydritového potěru na izolační vrstvě [26]	31
Obr. 12: Topný anhydritový potěr [26]	31
Obr. 13: Řez anhydritovou podlahou [26]	32
Obr. 14: Spojovací anhydritový potěr [26]	33
Obr. 15: Anhydritový potěr na separační vrstvě [26]	34
Obr. 16: Penetrační váleček a jehla Vicatova přístroje	46
Obr. 17: Zkušební vzorek pro stanovení konzistence a počátku tuhnutí	46
Obr. 18: Střásací stolek	47
Obr. 19: Vzorek malty před a po zkoušce rozlití na střásacím stolku	47
Obr. 20: Vzorek čerstvé malty (vlevo) a po odformování (vpravo).....	48
Obr. 21: Zkoušení vzorku na pevnost v tahu za ohybu	49
Obr. 22: Zkoušení vzorku na pevnost v tlaku	50
Obr. 23: Schematické rozdělení etap praktické části.....	52
Obr. 24: Normativní míchačka (vlevo) a vibrační stůl (vpravo)	55
Obr. 25: Zatěžovací lis v ÚTHD FAST	56
Obr. 26: Rentgenogram přírodního anhydritu.....	57
Obr. 27: Rentgenogram referenční směsi	62
Obr. 28: Rentgenogram směsi s plastifikační přísadou F 10 v dávce 0,3 %.....	62
Obr. 29: Rentgenogram směsi s plastifikační přísadou F 15 G v dávce 0,3 %.....	62
Obr. 30: Rentgenogram směsi s plastifikační přísadou F 17 G v dávce 0,3 %.....	63
Obr. 31: Rentgenogram směsi s plastifikační přísadou F 217 G v dávce 0,3 %.....	63
Obr. 32: Rentgenogram směsi s plastifikační přísadou F 245 v dávce 0,3 %.....	63

Obr. 33: Čerstvá směs v ocelové formě, vlevo – směs A, uprostřed – směs B a vpravo – směs C	69
Obr. 34: Vysrážení sintrové vrstvy na vzorcích	69
Obr. 35: Rozříznuté vzorky dlaždic.....	70

SEZNAM TABULEK

Tab. 1: Charakteristika sádrovce těženého v Koberčicích společností GYPSTREND s.r.o. [16]	13
Tab. 2: Těžba sádrovce na území ČR v rozmezí let 1993 až 2008 [13]	14
Tab. 3: Těžba sádrovce na území ČR v rozmezí let 2009 až 2013 [13]	14
Tab. 4: Těžba sádrovce v sousedních státech [14]	14
Tab. 5: Světová těžba sádrovce s anhydritem [14]	15
Tab. 6: Světoví producenti těžby sádrovce [12]	15
Tab. 7: Tepelné elektrárny ČEZ, a.s. a jejich způsoby odsíření [19]	16
Tab. 8: Energosádrovec ČEZ, a.s. [20]	18
Tab. 9: Roční produkce energosádrovce [21]	19
Tab. 10: Přehled základních kvalitativních údajů sádrovce PREGIPS [22]	20
Tab. 11: Budiče pro anhydritové pojivo [2]	28
Tab. 12: Nejvyšší dovolená vlhkost cementového potěru nebo potěru na bázi síranu vápenatého v hmotnostních % v době pokládky nášlapné vrstvy [29]	37
Tab. 13: Parametry ANHYMENTU [28]	38
Tab. 14: Orientační ceny provedení potěrů firmou Tokarex [26]	40
Tab. 15: Potěrové materiály a zkoušky, které se provádí na jednotlivé druhy [31]	43
Tab. 16: Charakteristické hodnoty pro CAB, CAC a CA [32]	44
Tab. 17: Teplota uložení a doba uložení zkušebních těles [34]	48
Tab. 18: Pevnostní třídy průmyslově vyráběných maltových směsí (CA) podle pevností v tahu za ohybu [32]	49
Tab. 19: Pevnostní třídy průmyslově vyráběných maltových směsí (CA) podle pevnosti v tlaku [32]	50
Tab. 20: Charakteristické a mezní hodnoty pevností v tahu za ohybu a tlaku [32]	50
Tab. 21: Kvantitativní fázová analýza Rietveld	57
Tab. 22: Hodnoty normální konzistence a počátek tuhnutí anhydritových past	58
Tab. 23: Technologické vlastnosti anhydritových past	60
Tab. 24: Dosažené technologické parametry na anhydritových maltách při konstantní dávce vody 225 ml	65
Tab. 25: Technologické vlastnosti anhydritové malty na konstantní rozliv (150 ± 5) mm	67

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1: Vliv druhu plastifikační přísady na vodní součinitel w	59
Graf 2: Vliv druhu plastifikační přísady na pevnost v tlaku ve 28 dnech.....	60
Graf 3: Vliv vodního součinitele na pevnost v tlaku ve 28 dnech	61
Graf 4: Vliv druhu plastifikační přísady na rozlití.....	65
Graf 5: Vliv hodnoty rozlití na pevnost v tlaku v 28 dnech	66
Graf 6: Vliv druhu plastifikační přísady na změnu vodního součinitele	67
Graf 7: Vliv vodního součinitele na pevnost v tlaku	68
Graf 8: Druh plastifikační přísady na pevnost v tlaku.....	68

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

tab.	tabulka
obr.	obrázek
cca.	přibližně
tzv.	tak zvaný
charakt. hodnota	charakteristická hodnota
hm.	hmotnost
tj.	to je
plast. přísada	plastifikační přísada
aj.	a jiné
COM	compound
REF	referenční směs
ČR	Česká republika