

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

## VÝZKUM V OBLASTI PŘÍPRAVY ANHYDRITOVÝCH SAMONIVELAČNÍCH POTĚRŮ

RESEARCH IN THE PREPARATION OF SELF-LEVELING ANHYDRITE SREEDS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

ROSTISLAV BĚŽÁK

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. DOMINIK GAZDIČ Ph.D.

BRNO 2014



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

<b>Studijní program</b>	B3607 Stavební inženýrství
<b>Typ studijního programu</b>	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
<b>Studijní obor</b>	3607R020 Stavebně materiálové inženýrství
<b>Pracoviště</b>	Ústav technologie stavebních hmot a dílců

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

<b>Student</b>	Rostislav Běťák
<b>Název</b>	Výzkum v oblasti přípravy anhydritových samonivelačních potěrů
<b>Vedoucí bakalářské práce</b>	Ing. Dominik Gazdič, Ph.D.
<b>Datum zadání bakalářské práce</b>	30. 11. 2013
<b>Datum odevzdání bakalářské práce</b>	30. 5. 2014

V Brně dne 30. 11. 2013

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

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

## **Podklady a literatura**

Sborníky konferencí Maltoviny 2006-2012.

Fridrichová, M: Historické a současné anhydritové maltoviny, sborník konference Technologie ochrany památek, Praha 2002

APLLEYARD, 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 - Thermochemica Acta

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

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

## **Zásady pro vypracování**

Cílem práce je výzkum v oblasti přípravy anhydritových samonivelačních potěrů se zaměřením na sledování vlivu vnitřních a vnějších parametrů na dosahované vlastnosti.

V rámci práce se provedte:

- studium obecné teorie síranových maltovin
  - popis potenciálních surovinových zdrojů; přírodní, průmyslové, technologie výroby, produkce, srovnání s evropskými státy
  - studium anhydritové maltoviny; technologické vlastnosti, mechanismu buzení anhydritu, typy budících přísad, způsoby použití
  - popis normových požadavků na anhydritové potěry
  - popis způsobu použití samonivelačních směsí, jejich výhody a nevýhody
  - popis technologického způsobu provádění
  - v rámci experimentu se zaměřit na sledování vlivu vnitřních a vnějších parametrů na dosahované technologické vlastnosti připravených anhydritových potěrů v průběhu vysychání, a dále na řešení problematiky vyplavování jemných částic a tvorbu tzv. anhydritového šlemu
- Rozsah práce cca 40 stran formátu A4 včetně příloh.

## **Předepsané přílohy**

.....

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

## **Abstrakt**

Bakalářská práce navazuje na dosavadní výsledky v oblasti výzkumu anhydritové maltoviny a je rozdělena na dvě části. Teoretická část je zaměřena na obecnou teorii síranových pojiv a anhydritových maltovin. Dále obsahuje popis technologie pokládky potěru, normové požadavky a porovnání dnes využívaných litých potěrů.

Praktická část se zabývá výzkumem a vývojem anhydritové maltoviny, a to se zaměřením na její využití v oblasti litých samonivelačních potěrů. Pro přípravu samonivelačních směsí byly využity dva rozličné anhydrity a jejich výsledné charakteristiky byly porovnány.

## **Klíčová slova**

Anhydrit, budič, potěr, samonivelace, sádrovec, síranové pojivo

## **Abstract**

Bachelor's thesis extends the existing results in the field of research of an anhydrite binder and it is divided into two sections. The theoretical section is focused on general sulphate binders and anhydrite binders. Further it contains the description of the technology of floor screed application, demands of norms and comparison of screeds, which are used nowadays.

The experimental section concerns with the research and the development of an anhydrite binder and mainly the utilization of this binder in the field of cast self-leveling floor screeds. For the preparation of self-leveling mixtures were used two different types of anhydrite and their main features were compared.

## **Keywords**

Anhydrite, exciter, screed, self-leveling, gypsum, sulphate binder



## Bibliografická citace VŠKP

Rostislav Běťák *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.

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne .....

.....  
podpis autora

**Poděkování:**

Za odborné vedení a podporu při řešení bakalářské práce děkuji Ing. Dominiku Gazdičovi Ph.D. a dalším členům Ústavu stavebních hmot a dílců, kteří mi byli při zpracování nápomocni.

# OBSAH

ÚVOD .....	1
<b>I. TEORETICKÁ ČÁST .....</b>	<b>2</b>
<b>1. TEORIE SÍRANOVÝCH MALTOVIN .....</b>	<b>2</b>
1.1 SÁDROVEC .....	2
1.1.1 PŘÍRODNÍ SÁDROVEC – GENEZE .....	3
1.1.2 SÁDROVEC V ČESKÉ REPUBLICE .....	3
1.2 SÁDROVEC PRŮMYSLOVĚ VYROBENÝ .....	5
1.2.1 ENERGOSÁDROVEC .....	5
1.2.2 CHEMOSÁDROVCE .....	6
1.3 PRODUKTY DEHYDRATACE SÁDROVCE .....	8
1.3.1 RYCHLETUHNOUCÍ SÁDRA ( $\text{CASO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$ ) .....	10
1.3.2 $\text{CASO}_4$ III .....	11
1.3.3 ANHYDRITOVÁ MALTOVINA $\text{CASO}_4$ II .....	11
1.3.4 POMALU TUHNOUCÍ SÁDRA $\text{CASO}_4$ I .....	12
<b>2. ANHYDRITOVÁ MALTOVINA .....</b>	<b>13</b>
2.1 PŘÍRODNÍ ANHYDRIT .....	13
2.1.1 GENEZE .....	14
2.2 SYNTETICKÝ ANHYDRIT .....	14
2.3 TERMICKÝ ANHYDRIT .....	15
2.4 TEORIE HYDRATACE SÍRANOVÝCH POJIV .....	15
2.4.1 HYDRATACE $\text{CASO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$ .....	17
2.5 HYDRATACE ANHYDRITOVÉ MALTOVINY $\text{CASO}_4$ II .....	17
2.6 AKTIVACE HYDRATACE ANHYDRITU .....	19
2.6.1 SÍRANOVÉ BUDIČE .....	20
2.6.2 ZÁSADITÉ BUDIČE .....	21
2.6.3 SMĚSNÉ BUDIČE .....	21
2.6.4 VYUŽITÍ ANHYDRITOVÉ MALTOVINY .....	21
2.7 ANHYDRITOVÉ LITÉ POTĚRY .....	22
2.7.1 POPIS NORMOVÝCH POŽADAVKŮ NA ANHYDRITOVÉ POTĚRY .....	23
2.7.2 POPIS TECHNOLOGICKÉHO ZPŮSOBU PŘÍPRAVY POTĚRU .....	24
2.7.3 TECHNOLOGICKÝ POSTUP ULOŽENÍ POTĚRU .....	26
2.7.4 OŠETŘOVÁNÍ VYTVRZENÉHO ANHYDRITOVÉHO POTĚRU .....	27
2.7.5 SINTROVÁ VRSTVA .....	27
2.7.6 VYSYCHÁNÍ POTĚRU .....	28
2.8 CEMENTOVÝ SAMONIVELAČNÍ POTĚR .....	30
2.9 POPIS ZPŮSOBU POUŽITÍ SAMONIVELAČNÍCH SMĚSÍ .....	31
2.10 PŘEDNOSTI A ZÁPORY LITÝCH POTĚROVÝCH SMĚSÍ .....	32
2.10.1 SAMONIVELAČNÍ LITÝ POTĚR NA BÁZI A – HEMIHYDRÁTU .....	32
2.10.2 SAMONIVELAČNÍ LITÝ POTĚR NA BÁZI ANHYDRITU .....	33
2.10.3 SAMONIVELAČNÍ CEMENTOVÝ POTĚR .....	34
2.10.4 TECHNOLOGICKÉ PŘEDNOSTI LITÉHO POTĚRU .....	35
<b>II. PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>37</b>
<b>3. METODIKA A POSTUP PRÁCE .....</b>	<b>37</b>

3.1	PRVNÍ ETAPA.....	37
3.2	DRUHÁ ETAPA .....	38
3.3	TŘETÍ ETAPA .....	39
<b>4.</b>	<b>POUŽITÉ PŘÍSTROJE .....</b>	<b>39</b>
<b>5.</b>	<b>POUŽITÉ SUROVINY.....</b>	<b>40</b>
<b>6.</b>	<b>VYHODNOCENÍ .....</b>	<b>41</b>
6.1	PRVNÍ ETAPA – ROZBOR VSTUPNÍCH SUROVIN.....	41
6.1.1	MINERALOGICKÉ SLOŽENÍ VZORKŮ STANOVENÉ XRD ANALÝZOU .....	41
6.1.2	SLOŽENÍ VZORKŮ STANOVENÉ DTA .....	42
6.1.3	TECHNOLOGICKÉ VLASTNOSTI VZORKŮ .....	43
6.1.4	SEM ANALÝZA.....	43
6.2	DRUHÁ ETAPA – PŘÍPRAVA SAMONIVELAČNÍ SMĚSI .....	44
6.2.1	STANOVENÍ NORMOVÉ PEVNOSTI POJIV DLE ČSN EN 13454 – 2 PRO POJIVA CAB, CAC .....	44
6.2.2	STANOVENÍ CHARAKTERISTIK RECEPTURY 0 – 4.....	45
6.2.3	STANOVENÍ CHARAKTERISTIK RECEPTURY 0 – 8.....	46
6.3	TŘETÍ ETAPA – POLOAPLIKAČNÍ METODA POKLÁDKY POTĚRU.....	47
6.3.1	STANOVENÍ VIZUÁLNÍCH CHARAKTERISTIK .....	47
6.3.2	ROZBOR POVRCHOVÉ VRSTVY POTĚRU .....	47
	<b>DISKUZE A ZÁVĚR.....</b>	<b>49</b>
	<b>POUŽITÁ LITERATURA.....</b>	<b>50</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>52</b>
	<b>SEZNAM TABULEK .....</b>	<b>52</b>

## Úvod

Uplatnění stavebních pojiv i materiálů je silně závislé na tradici a vztahu, který si k nim lidé časem vytvářejí. V zemích s dlouhodobou tradicí využívání sádry, byť dříve pouze jako suroviny pro omítky, kterou je například SRN, nachází sádrová pojiva široké uplatnění ve výrobě sádrokartonových desek, tvarovek, omítek a v neposlední řadě samonivelačních směsí.

V České republice z důvodu nedostatečných přírodních zdrojů nedoznaly v minulosti síranové maltoviny širokého uplatnění. Široká veřejnost má díky malé tradici a nevalné kvalitě sádry produkované v tuzemsku k ní nedůvěru kvůli funkčním vlastnostem a trvanlivosti sádry. Proto dovozci pojiv na náš trh záměrně zaměňují slovo „sádra“ za síran vápenatý či anhydrit, ale v mnoha případech se jedná o klamání zákazníka. S vývojem technologie desulfatace kouřových plynů se na našem území objevil kvalitní zdroj sádrovce, ale obrat od importu z okolních zemí k výrobě maltoviny u nás nenastal. Limitujícím faktorem pro síranová pojiva v porovnání s cementovými zůstává cenová nákladnost jejich dovozu. Pro optimalizaci ekonomického aspektu je tedy na místě se zabývat vývojem obdobných síranových pojiv v tuzemském prostředí, a to z ekonomicky výhodnějších zdrojů.

Potěr na bázi síranu vápenatého byl poprvé vyroben již v bývalém Západním Německu s využitím přírodního anhydritu. Technologie litého síranového potěru byla vyvinuta v předstihu oproti cementové samonivelační směsi, a tak i přes počáteční nedůvěru si získává stále větší podíl na trhu. Pro vývoj anhydritových potěrů se jeví jako nejvhodnější finančně dostupný polský přírodní anhydrit, který je třeba zpracovat a upravit tak, aby se stal konkurenceschopným ostatním dováženým pojivům.

# I. TEORETICKÁ ČÁST

## 1. Teorie síranových maltovin

Maltovina je anorganické stavební pojivo, připravené z vhodných surovin obvykle výpalem za vysoké teploty, které po rozdělení s vodou a plnivem tvoří plastickou směs, jež následně tuhne a tvrdne za vzniku krystalických novotvarů jako zplodin hydratačního procesu.

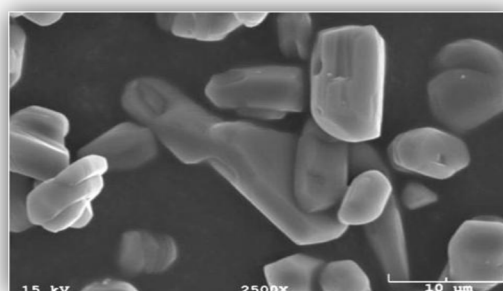
Síranová pojiva spolu se vzdušným vápnem i Sorelovou maltovinou označujeme jako maltoviny vzdušné, které po rozmísení s vodou tuhnou a tvrdnou jen na vzduchu a jsou stálé v suchém prostředí.

### 1.1 Sádrovec

Výchozí surovinou pro výrobu síranových pojiv je jednoklonný nerost dihydrát síranu vápenatého  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . Čistý je bezbarvý, ale často je zbarven příměsí jílu či různých oxidů popř. hydroxidů do světle modré, fialové, žluté až hnědé barvy a je průhledný až průsvitný. Jsou známy desítky morfologicky odlišných krystalů jako dvojčatí, viz obr. 1, dále tabulky a prizmatické, jehličkovité a čočkovité tvary. Jeho lesk je skelný až perleťový a tvrdost dle Mohse je  $T = 1,5 - 2$  podle směru namáhání. Sádrovec má dokonalou štěpnost  $\{010\}$ , zřetelnou  $\{100\}$  a  $\{011\}$ . Objemová hmotnost sádrovce je  $2310 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ . Vyskytuje se ve čtyřech odrůdách a to jako Alabastr, Selenit, Mariánské sklo a Saharská růže. Rozpustnost ve vodě je 0,20 % hmotnosti při teplotě  $18 \text{ }^\circ\text{C}$  a 0,17 % hmotnosti při teplotě  $100 \text{ }^\circ\text{C}$ . Chemické složení čistého  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  je 46,50 % CaO, 32,57 %  $\text{SO}_3$  a 20,93 %  $\text{H}_2\text{O}$ . V praxi čistota přírodního sádrovce dosahuje 75 %. [19]



Obrázek č. 1: Čiré dvojčatění krystalu sádrovce [4]



Obrázek č. 2: Krystal monoklinického sádrovce ve zvětšení [8]

### 1.1.1 Přírodní sádrovec – geneze

*Primární* – vzniká jako sedimentární hornina po evaporaci vnitrozemských moří a lagun často spolu s anhydritem  $\text{CaSO}_4$ , jakožto první produkty při odpařování mořské vody, protože jsou nejméně rozpustné. Primárně vzniká většinou sádrovec, oba minerály do sebe ale mohou při rekrystalizaci a hydrataci přecházet v závislosti na okolním prostředí.

*Sekundární* – vzniká rozkladem pyritu na kyselinu sírovou a síran železnatý za přítomnosti vody, přičemž kyselina sírová reaguje s vápencem ve vodném prostředí na sádrovec. Při nedostatku vody vykrytalizuje anhydrit II.



Ložiska v sousedících státech:

*Slovenská republika* – Zlatá Baňa, Banská Štiavnica, Novoveská Huta (alabastr),  
Spižská Nová Ves (s obsahem 10 – 15 % anhydritu II)  
Vlkanová u Zvolena (mariánské sklo)

*Polsko* – Wieliczka a Bochnia

*SRN* – Strassfurt, Mainz, Braunschweig

*Rakousko* – Salzburg [6]

### 1.1.2 Sádrovec v České republice

Jediné těžitelné ložisko sádrovce v ČR je vázáno na primárně vzniklé miocénní sedimenty opavské pánve (okrajová část karpatské předhlubně), avšak větší část produktivního badenu leží na polské straně. Sádrovec zde vznikl vysrážením z přesyceného roztoku za současného naplavování jílu, které tvoří spodní vrstvy šedé barvy s obsahem asi 50 %  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . Horní vrstvy jsou tvořeny makrokrytalickým sádrovcem s dutinami vyplněnými jílem s obsahem 84 % až 90 % sádrovce a nadloží, které obsahuje cca 60 % dihydrátu. Při takto nestejném znečištění po výšce ložiska je nezbytná selektivní těžba. [30]





Obrázek č. 3: Krystaly sádrovce z Kobeřic znečištěné šedými jíly [4]

Firma Gypstrend spravuje v současnosti doly Kobeřice – jih, kde se těží povrchově jámovým lomem a je tedy jediným těžitelem a zpracovatelem přírodního sádrovce u nás. Průměrný obsah sádrovce v surovině je 70 – 80 %. Na znečištění se nejvíce podílejí šedé jíly, viz obr. 3, které dávají následně vyrobené sádře charakteristické šedé zbarvení. Roční těžba se pohybuje kolem 14 000 t, přičemž její firma Gypstrend používá k výrobě tvarovek a sádrového pojiva, které je buďto šedé nebo její směchá s chemosádrovcem z Prechezy a kalcinací vyrobí bílou sádru. [9]

Tabulka č. 1: Těžba sádrovce v ČR [11]

Rok	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Těžba sádrovce v ČR (kt)	71	25	16	66	35	13	5	11	14
Vytěžitelné zásoby (kt)									2272

Tabulka č. 2: Světová těžba sádrovce v mil. t [10]

Země	2009	2010	2011	2012	2013
Čína	45,0	47,0	45,0	48,0	50,0
USA	11,5	10,2	9,4	15,8	16,3
Irán	13,0	13,0	13,0	13,0	14,0
Thajsko	8,5	8,5	8,5	9,0	9,0
Španělsko	11,5	11,5	11,5	7,1	7,1
Rusko	2,8	2,9	2,9	3,2	6,0
Japonsko	5,7	5,7	5,8	5,5	5,5
Mexiko	5,5	5,8	5,8	4,7	5,0
Indie	2,5	2,5	2,5	2,5	3,6
Kanada	3,5	2,7	3,5	2,5	1,9
SRN	1,8	1,9	1,9	2,0	1,9
Polsko	1,4	1,5	1,5	1,2	1,4

Světové ložiskové zásoby sádrovce se v současnosti odhadují na 2,6 mld. t. [11]

## 1.2 Sádrovec průmyslově vyrobený

Naše země disponuje malými zásobami přírodního sádrovce pro pokrytí poptávky. Navíc vzhledem k nižší kvalitě i z hlediska udržitelného rozvoje a ekonomického aspektu je v současné době z větší části nahrazen odpadními sádrovci, které jsou z hlediska legislativy označovány jako vedlejší energetické produkty (energósádrovec, odpadní sírany ze skláren, chemosádrovec, fosfosádrovec, citrosádrovec aj.). Jedná se většinou o chemicky velmi čisté suroviny s obsahem sádrovce nad 90 %, které jsou z hygienického i ekologického hlediska (vč. zjištěné přirozené radioaktivity) považovány za nezávadné. Od přírodní suroviny se však odlišují malou velikostí zrna, sypanou hmotností, typem krystalů a vyšší vlhkostí, která je nevýhodou a plyne z technologického postupu výroby. [12]

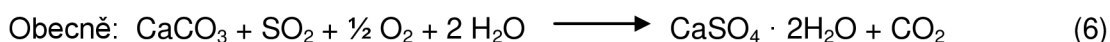
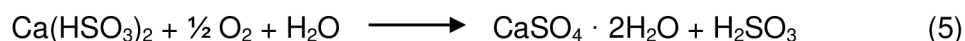
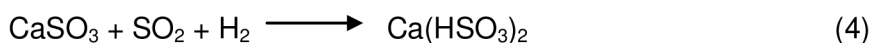
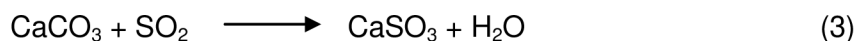
### 1.2.1 Energósádrovec

Energósádrovec je nejvíce využívaným typem odpadních sádrovců v současné době, jelikož vzniká ve velkém množství při odsiřování spalin v uhelných elektrárnách, viz tabulka č. 3. Energósádrovce dosahují čistoty až 98 %  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , avšak obsahují na druhou stranu nečistoty, které se v přírodním sádrovci běžně nevyskytují. Jedná se hlavně o chloridy, fluoridy, rozpustné Mg a Na soli, siřičitan vápenatý a nezreagovaný  $\text{CaSO}_3$  (vliv použitého paliva, vápence a dalších přísad). Stupeň bělosti sádrovce z hnědého uhlí se pohybuje v rozmezí 20 – 40 %, oproti energósádrovci ze spalování černého uhlí se jedná o výrazně tmavší barvu. Tato tmavší barva je způsobena obsahem sloučenin železa a také delší dobou setrvání krystalů sádrovce v prací suspenzi. Obecně má krémové až béžové zabarvení, a to vlivem obsažené kyseliny huminové. Uplatnění hnědouhelného energósádrovce je do jisté míry omezeno právě tmavší barvou. Typ spalovaného uhlí ovlivní morfologii i velikost krystalů dihydrátu, kdy černouhelné mají menší a oválnější krystaly. [13]

#### Odsiřování spalin

- ↳ *Suchou metodou* – ve fluidních kotlích, kdy se s palivem přidává velmi jemně mletý vápenec, který podléhá kalcinaci a následně reaguje s oxidem siřičitým při souproudé reakci. Nevýhodou této metody je tím pádem nízká účinnost odsiřování spalin a také to, že vedlejším energetickým produktem není sádrovec.
- ↳ *Polosuchou metodou* – škodliviny jsou ze spalin absorbovány na částicích vápenné suspenze. Částice takto vzniklého produktu jsou následně vlivem tepla kouřových plynů usušeny. U nás je nainstalována v elektrárně Ledvice.

↳ *Mokrou vápencovou vypírku* – plyny jsou zbaveny poléťavého popílku a následně zchlazeny ve výměníku na 140 °C. Dále vedou do procesu vypírky oxidů síry do absorbéru (pračky), kde je surový mletý vápenec společně s vodou ve formě vápencové suspenze vháněn většinou protiproudě v horní části absorbéru. V absorbéru dojde k reakci oxidů síry s uhličitánem vápenatým  $\text{CaCO}_3$  za vzniku siřičitanu vápenatého a po dooxidování zavedeným vzduchem v nižší části vznikne konečný krystalický dihydrát síranu vápenatého ve vodné suspenzi. V této formě je odčerpáván přes zahušťovací hydrocyklony, kde je oddělen ze suspenze těžší dihydrát na pásové filtry s vakuovým odsáváním volné vody. Sádrovec se zbytkovou vlhkostí cca 11 % je pak dopraven do skladu. [13]



Tabulka č. 3: *Produkce energosádrovce v ČR [13,14]*

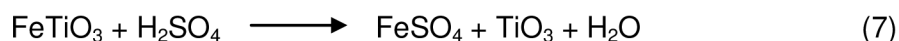
Elektrárna	Produkce energosádrovce (kt)
Mělník (220 MW)	120
Prunéřov I (440 MW)	200
Prunéřov II (1050 MW)	550
Celá ČR	cca 2500

### 1.2.2 Chemosádrovce

Obecně používané a nepřesné označení sádrovců, které vznikají jako odpad v chemickém, potravinářském a sklářském průmyslu. Většinou se jedná o suroviny chemicky velmi čisté s obsahem sádrovce a anhydritu i více než 98 %. Využití chemosádrovce je ovlivněno požadavky na jeho barevnost a dále jeho inertními a zdravotně nezávadnými vlastnostmi. [12]

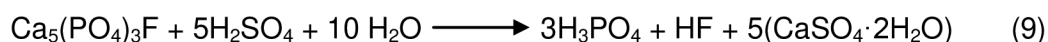
*Titanosádrovec* – pochází z výroby titanové běloby z ilmenitu  $\text{FeTiO}_2$  a jeho obchodní název je Pregips. Nečistoty doprovázející tento sádrovec jsou  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$  a  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Jeho výroba probíhá v závodě Precheza Přerov a získává se neutralizací vyčleněných odpadních vod z výroby titanové běloby vodnou suspenzí velmi jemně

mletého vápence s následnou separací na odstředivkách a vmytím doprovodných ve vodě rozpustných solí. Jedná se o velmi čistý sádrovec (nazývá se Pregips), který je nehořlavý, neagresivní, netoxický a po dvoustupňovém čištění bíle zbarvený i díky obsahu  $\text{TiO}_2$ . Nevyčištěný sádrovec má vlivem  $\text{FeSO}_4$  – zelené skalici zelené zbarvení. Jednostupňově vyčištěný odpadní dihydrát má zbarvení do červena a je prodáván pod označením Prestab. Oproti energosádrovci Pregips téměř neobsahuje prvky chlór a fluor, které jsou v cementářském průmyslu nežádoucí. [12]



Ročně je expedováno více než 120 000 tun bílého průmyslového sádrovce Pregips a to jako přísada do cementu, k výrobě sádry a sádrových pojiv. [15]

*Fosfosádrovec* – vzniká při výrobě kyseliny fosforečné reakcí mezi kyselinou sírovou a fosforečnany. Hlavním českým výrobcem fosfosádrovce byla Fosfa Poštorná. Dříve sádrovec vznikal při výrobě kyseliny fosforečné extrakční cestou z fosforitu a apatitu za vzniku čistého, bílého sádrovce a dihydrogen fosfátu vápenatého. Dnes leží obrovské množství sádrovce v deponiích, jelikož obsahuje zbytky fosfátů, které retardují v cementu tuhnutí. Na druhou stranu jeho obsah do 1 % v surovinové moučce kladně ovlivňuje výpal slínku. Nečistoty fosfosádrovce ve formě hydroxyapatitu  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH} \cdot n\text{H}_2\text{O}$  se při výpalu na anhydrit při 800 °C přemění z amorfni na krystalickou fázi  $\text{Ca}(\text{PO}_4)_2$ , ale obsažený oxid fosforečný  $\text{P}_2\text{O}_5$  i tak zpomaluje proces hydratace anhydritové maltoviny. Jeho obsah by měl být menší než 1,7 %, ale obecně platí, že čím méně jej bude dihydrát obsahovat, tím vyšší budou výsledné pevnosti maltoviny. [12,28]

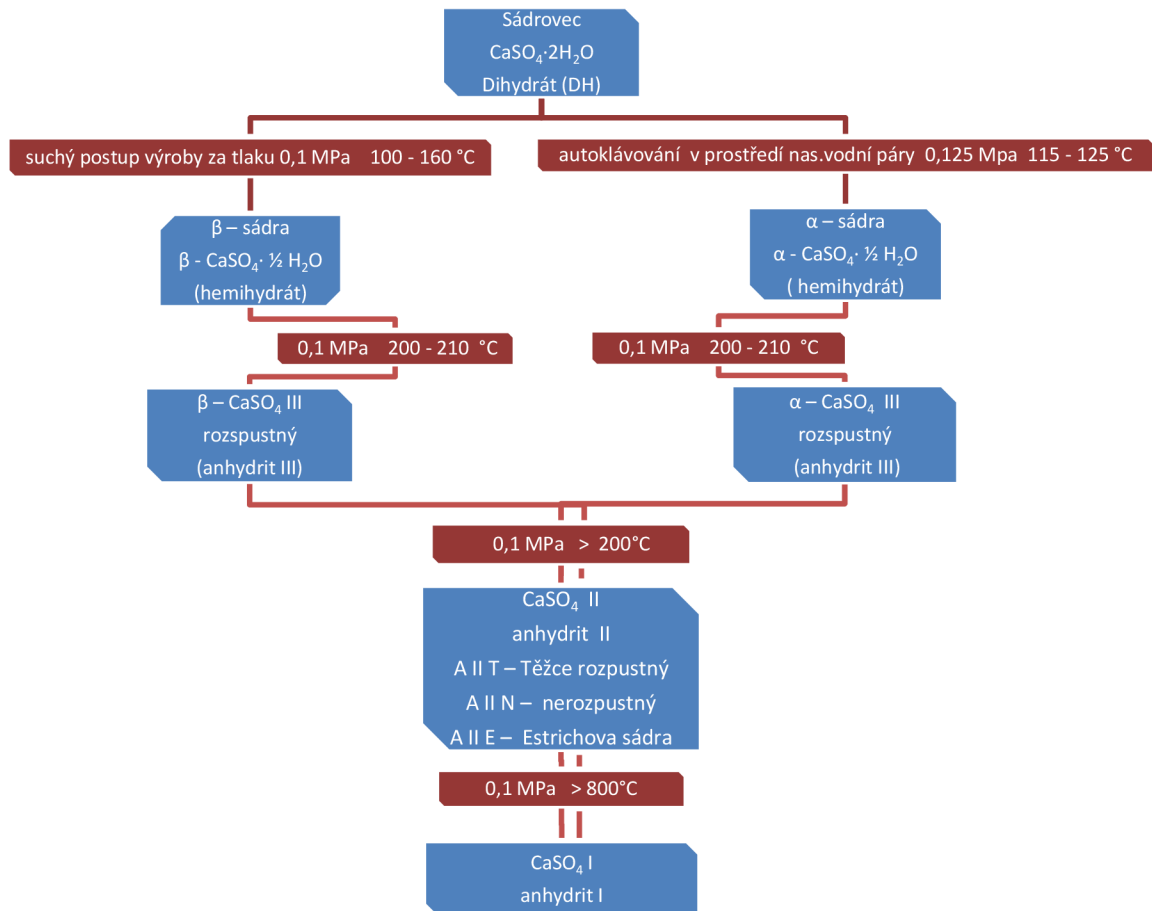


*Fluorosádrovec* – vzniká při výrobě kyseliny fluorovodíkové. Základní složkou je dihydrát, jehož obsah je obvykle vyšší než 95 %. Hlavními nečistotami jsou zbytková kyselina fluorovodíková, kyselina sírová a anorganické soli. Nečistoty se odstraňují propíráním. [12]

*Borosádrovec* – vzniklý z výroby kyseliny borité obsahuje dihydrát síranu vápenatého sloučeniny bóru, jejichž obsah někdy převyšuje 10 hmotnostních procent. Jde o neutralizaci kyseliny sírové vápnem, kdy po filtraci odpadá vedlejší odpadní produkt.



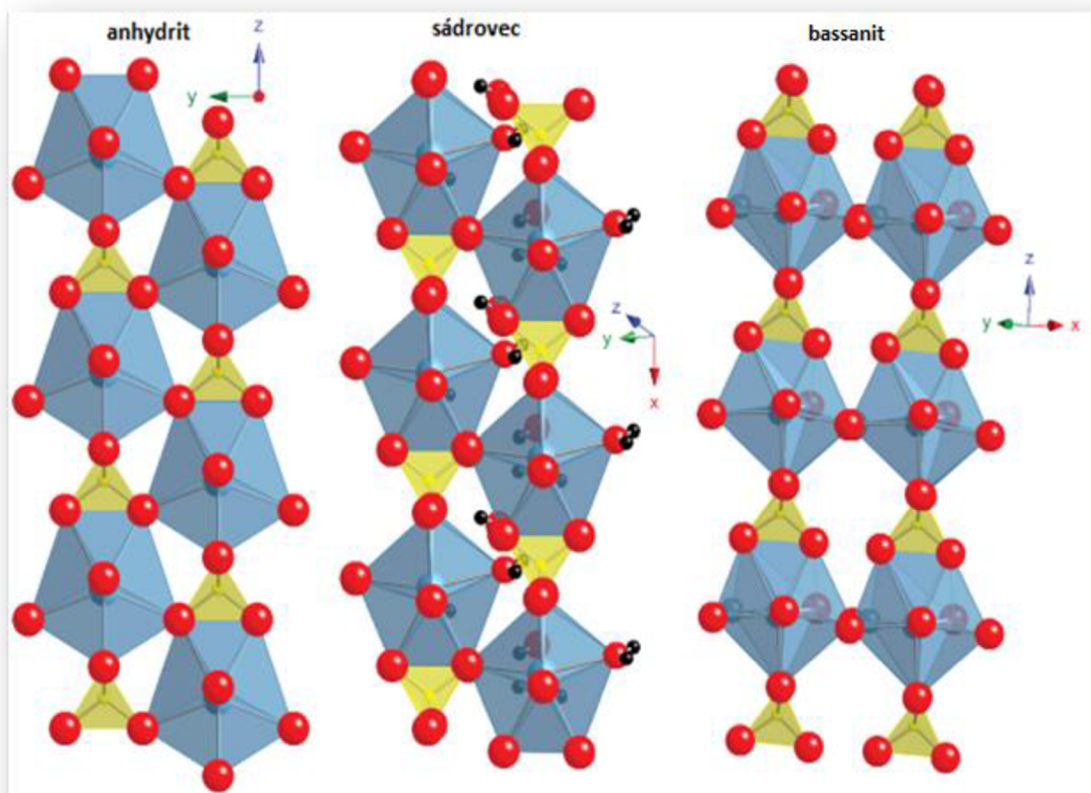
bezvodého síranu  $\text{CaSO}_4$ . Přítomnost různých forem  $\text{CaSO}_4$  a použití rozličné technologie výroby ovlivňuje vlastnosti sádrového pojiva, a to zejména jeho pevnost, počátek a dobu tuhnutí.



Obrázek č. 4: Schéma dehydratace sádrovce do konečné modifikace  $\text{CaSO}_4$  I [1]

Dehydratace v prostředí nasycené vodní páry neprobíhá stejně jako ve všech ostatních prostředích. Míru dehydratace velmi ovlivňuje časové trvání zvýšené teploty, kdy dochází k úplné dehydrataci sádrovce na anhydrit i při 100 °C za zvýšeného tlaku během 28 dní. Dále  $\text{CO}_2$  usnadňuje kalcinaci sádrovce. Za přítomnosti suchého  $\text{CO}_2$  přechází dihydrát v hemihydrát velmi rychle již při 31 °C. Ve vodném roztoku nasyceném  $\text{CO}_2$  přechází  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  v  $\text{CaSO}_4$  již při 125 °C. V 0,2% roztoku  $\text{H}_2\text{SO}_4$  při 150 °C se sádrovec kompletně dehydratoval vlivem vyšší kinetiky rozpouštění v anhydrit již po 4 hod. s 1,5% roztokem  $\text{H}_2\text{SO}_4$  je možné dehydrovat dihydrát při 90 °C během 24 hodin. [8,16]





Obrázek č. 5: Krystalografické struktury anhydritu, sádrovce a bassanitu jsou tvořeny polyedry Ca, které sdílejí vazbu s tetraedry  $SO_4$  a utvářejí řetězec. Množství vázané  $H_2O$  a způsob spojení Ca s  $SO_4$  charakterizuje daný minerál. [17]

### 1.3.1 Rychletuhnoucí sádra ( $CaSO_4 \cdot \frac{1}{2} H_2O$ )

Vzniklý hemihydrát vystupuje ve dvou formách  $\alpha$  a  $\beta$ , které jsou po stránce chemické i krystalografické (tetragonální) shodné, ale liší se morfologií, která je ovlivněna vnějšími podmínkami při průběhu kalcinace.

$\alpha$  – hemihydrát ( $\alpha$  – sádra) tvoří prizmatické, dobře vyvinuté malé hutné krystalky. Vzniká při zahřívání sádrovce na teplotu 115 – 130 °C za mírného přetlaku (0,12 – 0,13 MPa) v autoklávech, krystalizací v roztoku soli a ve spodní vrstvě vařáku. Zásadní je, že krystalická voda se při kalcinaci uvolňuje v kapalné formě a nenarušuje strukturu krystalu unikáním v plynné fázi. Měrná hmotnost je 2700 až 2760  $kg \cdot m^{-3}$ . Krystaly se při přípravě kaše rozpouští pomaleji oproti krystalům  $\beta$  – sádry. To se projevuje pomalejším tuhnutím a vznikem uspořádané mřížky dihydrátu, která vykazuje po zatvrdnutí kaše větší pevnosti. Pro přípravu kaše normální konzistence je zapotřebí hodnoty vodního součinitele v rozmezí 0,35 – 0,42. [1]

Technologicky je výroba náročná a nákladná. V ČR ji provozuje pouze KM BETA ve svém závodě v Bzenci a v Evropě se vyrábí převážně v Německu a Maďarsku.

$\beta$  – hemihydrát ( $\beta$  – sádra) vzniká za normálního tlaku při teplotě 100 až 160 °C. Voda se uvolňuje ve formě páry, dochází k nakypřování hmoty, narušování až

rozlískování struktury v rovině nejvyšší stěpnosti vznikajících krystalů, a tím pádem ke zvětšení měrného povrchu oproti  $\alpha$  – sádre. Proto  $\beta$  – sádra dosahuje vyšší potřeby rozdělovací vody, a to v rozmezí cca 0,5 – 0,7. To má za následek i výrazný pokles dosažených pevností v tlaku oproti  $\alpha$  – sádre. Měrná hmotnost je 2630 až 2680  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ .

Tabulka č. 5: Rozdíly mezi hemihydráty  $\alpha$  a  $\beta$

Vlastnost	$\alpha$ – sádra	$\beta$ – sádra
velikost částic	10–20 $\mu\text{m}$	1–5 $\mu\text{m}$
porosita částic	není porézní	je porézní
měrná hmotnost	2700–2760 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	2630–2680 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$
kalcinační teplo	575 $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$	590 $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$
hydratační teplo	17,2 $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$	16,9 $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$
poruchy v krystalické mřížce	malé	velké
vodní součinitel	0,30–0,35	0,6–0,8
rychlost vývoje pevností	menší	větší
konečná pevnost	až 30 MPa	do 10 MPa

### 1.3.2 $\text{CaSO}_4$ III

Anhydrity III vystupují opět ve dvou formách  $\alpha$  a  $\beta$  podle toho, zda vznikly z  $\alpha$  nebo  $\beta$  hemihydrátu. Jsou nestálé a přeměňují se zpět na půlhydrát  $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$ , přitom je  $\beta$  –  $\text{CaSO}_4$  III vlivem své poréznosti a velkého měrného povrchu více nestálý jako  $\alpha$  –  $\text{CaSO}_4$  III.

Obě modifikace anhydritu jsou reaktivnější než HH, potřebují pro přípravu kaše více vody ( $w = 1,0$ ), enormně rychle tuhnou a dávají minimální pevnosti. Kalcinace zbylé  $\frac{1}{2}$   $\text{H}_2\text{O}$  z krystalové mřížky způsobí rozlískování struktury po vrstvách a vznik tzv. xenomorfního zrna i zvětšení měrného povrchu. Vyroběný  $\beta$  – hemihydrát vždy obsahuje jisté procento AH III, proto se skladuje v dozrávacích silech, kde se nestabilní anhydrit III přemění zpět na hemihydrát.

### 1.3.3 Anhydritová maltovina $\text{CaSO}_4$ II

Dle stupně výpalu a reaktivity rozlišujeme:

- ↪ *Anhydrit II / T* – je těžce rozpustný, vzniká při výpalu na 200 až 300 °C.
- ↪ *Anhydrit II / N* – je nerozpustný, vzniká výpalem na 300 až 600 °C.
- ↪ *Anhydrit II / E* – jedná se o Estrichovu sádro, která vzniká výpalem nad 600 °C, kdy se již část anhydritu A II rozpadá na  $\text{CaO}$  a  $\text{SO}_3$ .

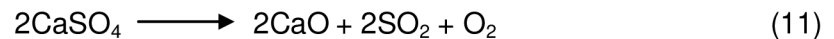
Jediná stabilní forma  $\text{CaSO}_4$  II vzniklá při 300 – 600 °C je označována N – nerozpustný anhydrit a odpovídá morfologicky přírodnímu anhydritu. Krystalizuje v soustavě rombické, má nízkou spotřebu rozdělovací vody ( $w = 0,27$ ) a dobré i výsledné pevnosti  $R = 15 – 25$  MPa. Jeho měrná hmotnost nabývá hodnot



2900 – 3100 kg·m<sup>-3</sup> a tvrdost T = 3,0 až 3,5 dle Mohse. S vodou reaguje nezvykle pomalu, avšak tuto reakci je možné urychlit přidáním urychlovačů, např. síranu K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, který spolu s CaSO<sub>4</sub> vytváří lehce rozpustné intermediální soli K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>·4CaSO<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O. [1]

### 1.3.4 Pomalu tuhnutí sádra CaSO<sub>4</sub> I

Anhydrit I je vysokoteplotní modifikace, která se připravuje výpalem sádrovce na teplotu 800 – 1000 °C v šachtových nebo rotačních pecích, kde již dochází k částečnému rozkladu síranu vápenatého podle rovnice:



Vznikne-li přitom směs obsahující 78 – 85 % nerozpustného anhydritu CaSO<sub>4</sub>, 8 – 15 % hemihydrátu, 2 – 3 % CaO, pak dostáváme maltovinu, kterou označujeme jako pomalu tuhnutí či potěrovou sádro. CaO zde obsažené pak působí jako budič hydratace. Při vodním součiniteli w = 0,27 dosáhne sádra pevnosti R = 25 MPa. Pro vysokou teplotu dehydratace je výroba nákladná a tato maltovina není téměř vyráběna.

## 2. Anhydritová maltovina

Anhydritové maltoviny jsou nehydraulické (vzdušné) maltoviny. Vyrábí se jemným semletím přírodního nebo nerozpustného anhydritu  $\text{CaSO}_4$  II získaného vypálením sádrovce na 500 až 750 °C, nebo ze syntetického anhydritu II odpadajícího při chemické výrobě (HF) a některého nebo několika budičů, které umožňují rychlou reakci pojiva s vodou. [1]

Anhydritové maltoviny mají měrnou hmotnost 2800 až 3000  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$  a objemovou hmotnost ve stavu volně sypaném 600 až 1000  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$  a ve stavu setřeseném 900 až 1500  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ . [7]

### 2.1 Přírodní anhydrit

Jedná se o minerál, ve kterém se nepřítomnost  $\text{H}_2\text{O}$  odráží v jeho názvu. Anhydrit pochází z řeckého termínu „anhydros“ = bezvodý, ale z chemického hlediska se jedná o anhydrid. Jedná se o zajímavý nerost, který je v náležité čistotě schopen hydratovat bez jakéhokoli výpalu, jen je zapotřebí jej pomlít a přidat budič hydratace.

Přírodní anhydrit  $\text{CaSO}_4$  II N krystalizuje v soustavě kosočtverečné (rombické), bývá bezbarvý, bílý, šedý, namodralý, světle fialový nebo šedý. Lesk označujeme jako skelný až perleťový, vryp bílý. Má hustotu 2980  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ , tvrdost podle Mohse 3 – 3,5. Štěpnost je výborná podle {010} a {100}, dobrá podle {001} a lom se jeví jako lasturnatý. Bývá znečištěn hlavně sádrovcem, vápencem, chloritem a pyritem. Jeho rozpustnost ve vodě nad 40 °C je nižší než u sádrovce a je stálý do teploty asi 800 °C. Tvoří přibližně 40 forem krystalů – vláknité, kuličkovité, jemně zrnité až celistvé agregáty, pseudomorfozy. Krystaly mají tvar prizmatických tabulek (plochy jsou rýhované), dvojčatí. Chemické složení čistého  $\text{CaSO}_4$  je 41,13 % CaO, 58,37 %  $\text{SO}_3$ , 0,17 %  $\text{CO}_2$  a 0,02 %  $\text{FeS}_2$ . Jeho čistota se udává v rozmezí 85 – 93 %. [5]



Obrázek č. 6: Krystal přírodního anhydritu [4]

### 2.1.1 Geneze

- ↪ Má obdobný způsob vzniku jako sádrovec. Vzniká převážně jako sedimentární hornina po evaporaci vnitrozemských moří a lagun často spolu s  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ .
- ↪ Může vzniknout i hydrotermálními pochody ve vyvěřelých horninách.

Některá ložiska anhydritu jsou značně znečištěna sádrovcem, vápencem, magnezitem, dolomitem či organickými látkami. V praxi jsou většinou povrchová ložiska anhydritu znečištěna sádrovcem, podzemní ložiska často obsahují ve vodě rozpustnou sůl kamennou. Sádrovec je měkký minerál, mele se rychleji než anhydrit a následně snadno obaluje anhydritové částice a brání tak jejich dalšímu rozměňování. Všechny tyto látky velmi nepříznivě ovlivňují vlastnosti anhydritové maltoviny. I přes tyto nečistoty bývá přírodní anhydrit bílý. [6]

Naleziště v Evropě:

*Slovensko* – Novoveská Huť, Spišská Nová Ves

*SRN* – Stassfurt, Bavorsko, Durynsko, Dolní Sasko

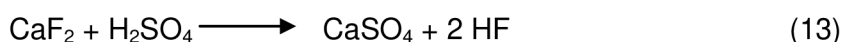
*Itálie* – Vulpin v Lombardii

*Rakousko* – Hall Tirolsko

*Polsko* – Lubichów, Nowy Łąd, Nowy Łąd-Pole Radłówka – roční těžba se pohybuje kolem 150 kt anhydritu

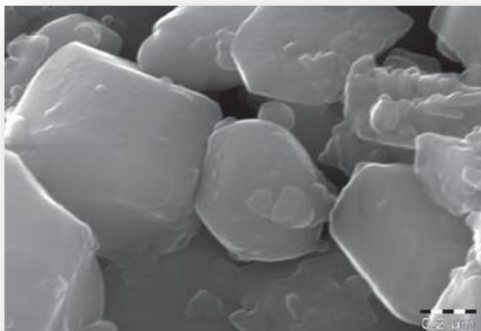
## 2.2 Syntetický anhydrit

Vzniká jako vedlejší produkt při výrobě kyseliny fluorovodíkové HF. Výchozí surovinou je minerál  $\text{CaF}_2$  fluorit, který se v přírodě vyskytuje nejčastěji jako fialový nebo zelenomodrý nerost kazivec. [18]



Fluorovodík se v plynné formě z minerálu uvolňuje působením koncentrované kyseliny sírové při výpalu v rotační peci na teplotu na 400 – 600 °C. Dále prochází kondenzací a rozpouštěním ve vodě dokud nevznikne kyselina fluorovodíková. Po výpalu vychází z rotační pece, dle rovnice (13), pevný vedlejší produkt syntetický anhydrit, jež má na rozdíl od termického sférické krystaly a sytější žlutou barvu. Pozůstatky fluoritu dávají anhydritu jeho nažloutlou barvu. Syntetický anhydrit má obsah kyselých zbytků a prochází neutralizací, z které si odnáší jistý podíl volného CaO. Čistota  $\text{CaSO}_4$  je v rozmezí 93 – 96 %. [18]

Pro přípravu anhydritové maltoviny ze syntetického anhydritu je zapotřebí vypálený anhydrit dále drtit, mlít na požadovaný měrný povrch a přidat vhodný vnější budič. [18]



Obrázek č. 7: SEM snímek termického anhydritu [29]

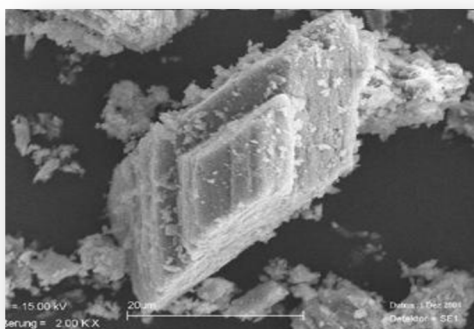
Produkce:

*SRN* – Stulln, Dohna, Hanover,  
Leverkusen, Gmünd

## 2.3 Termický anhydrit

Výchozí surovinou je energosádrovec, jehož krystalicky vázaná voda je při vysokoteplotní kalcinaci na teplotu 800 °C odstraněna. Takto získáváme ve vysoké kvalitě anhydrit II N, který je stabilní a je schopen hydratovat. Při této kalcinaci je možné z velmi čistého energosádrovce dosáhnout čistoty anhydritu 96 – 98 % s minimem volného CaO, jako zůstatek po technologii odsíření.

Pro přípravu anhydritové maltoviny se domílá s vhodným budičem a následně tato maltovina dosahuje vysokých pevností. Typicky má sametovou až nažloutlou barvu.



Obrázek č. 8: REM snímek termického anhydritu [29]

Produkce:

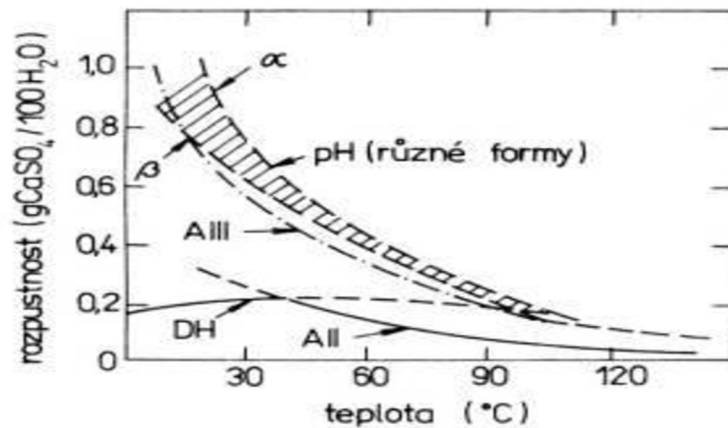
*SRN* – 500 kt·ročně  
*Nizozemsko*

## 2.4 Teorie hydratace síranových pojiv

Hydratace všech pojiv na bázi  $\text{CaSO}_4$  je zpětnou reakcí dehydratace sádrovce a při jeho opětovné krystalizaci vede k tuhnutí a tvrdnutí směsi.

Principem tuhnutí sádry a tvorby krystalů  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  je rozdílná rozpustnost původního hemihydrátu (885 mg na 100 g vody) a nově vznikajícího dihydrátu (204 mg

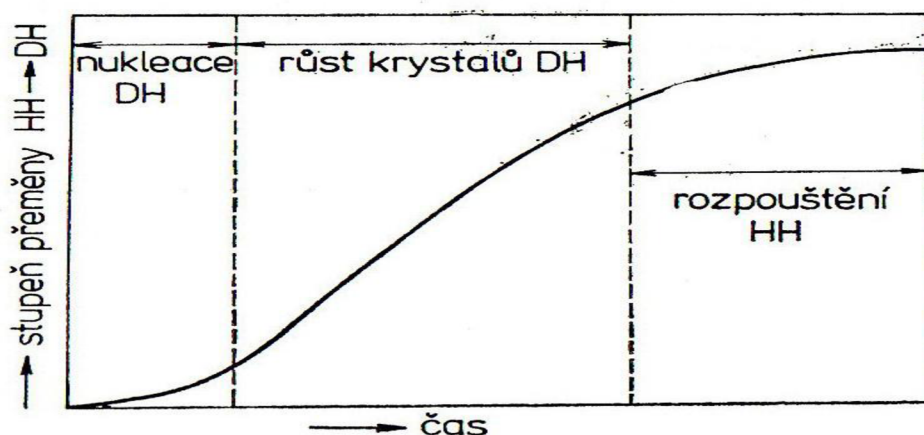
na 100 g vody). Vlivem této větší rozpustnosti hemihydrátu vzniká roztok jím nasycený nad mez nasycení, přičemž dochází k hydrataci na dihydrát, který se vlivem své nižší rozpustnosti z roztoku vysráží. Roztok se po vyloučení dihydrátu stává nenasyceným a je schopen rozpouštět další hemihydrát. Vznikající krystalky postupně rostou a vzájemně srůstají a prorůstají, než vytvoří mikrostrukturu zatvrdlé sádry jako nositele fyzikálních a chemických vlastností zatvrdlého produktu. [1]



Obrázek č. 9: Rozpustnost hydratovaného dihydrátu, hemihydrátu síranu vápenatého a anhydritu v závislosti na teplotě [2]

Hydratační mechanismus je složitý, vykládá se několika způsoby a lze jej popsat následovně:

- ↪ *I. perioda – indukční*, kdy sádrová suspenze mění jen nepatrně svoji viskozitu a dochází k rozpouštění pojiva ve vodě a k vytváření roztoku. Vlivem přesycení roztoku dochází k tvorbě zárodků dihydrátu, které mohou být volné nebo vytvořené přímo na zrnech hemihydrátu.
- ↪ *II. perioda – hlavní*, dochází k hydrataci hemihydrátu a růstu krystalů dihydrátu. Viskozita stoupá exponenciálně s časem. Po vytvoření určitého počtu zárodků dochází k jejich růstu. Při růstu krystalů se vytvářejí mezikrystalové kontakty neboli skelet, vedoucí k vytvoření mikrostruktury. Směs přechází v tuhou látku a vyvíjí se hydratační teplo.
- ↪ *III. Perioda – rekrystalizace a shromažďovací krystalizace* probíhá ještě ve vlhkém zhydratovaném produktu. Vytvářejí se jak velké krystaly sádrovce, tak i malé nedokonalé krystalky, ale jakmile krystaly dihydrátu dosáhnou určité velikosti, reakce končí. Zmenšením i odstraněním některých interkrystalických srůstů vlivem růstu krystalů dihydrátu se snižuje stupeň prorůstání, takže mikrostruktura sádry se stává pórovitější a pevnost menší o 15 až 30 %. [1]



Obrázek č. 10: Časová závislost stupně hydratace ve vodní suspenzi hemihydrátové sádry (DH – dihydrát, HH – hemihydrát) [2]

Na obrázku č. 10 je patrná indukční perioda, v níž nastává pomalá nukleace krystalizačních zárodků. V další fázi již krystaly tyto zárodky rychle obrůstají, což se odráží na vzestupu křivky. Rychlý růst krystalů pokračuje, až se volný povrch hemihydrátu zmenší vrstvou hydratovaného dihydrátu, která brzdí transport vody k nezhydratovaným částem zrna a rychlost rozpouštění dále ovlivňuje difuzní transport a hydratace se zpomaluje. [30]

#### 2.4.1 Hydratace $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$

Při tuhnutí sádry je limitujícím dějem rozpouštění hemihydrátu do vodného roztoku a difúzní transport rozpuštěného  $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$  od povrchu rozpouštějícího se zrna, avšak neméně závisí na tom, kolik obsahuje anhydritu. Čím je vyšší teplota výpalu sádry, tím více obsahuje anhydritu, a tím pomaleji tuhne. Doba tuhnutí sádry závisí na řadě faktorů. Obecně ji lze zkrátit prodloužením doby míchání, snížením vodního součinitele, zvýšením teploty záměsové vody nebo přidáním urychlovačů tuhnutí (NaCl, KCl,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ). Některé látky naopak dobu tuhnutí sádry prodlužují (klíh, kreatin, melasa, mléko, agar, kyselina citrónová) [2]

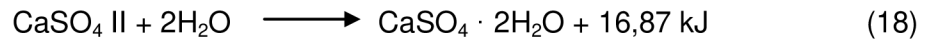
Z kalorimetrických měření se zjistilo, že hydratace obou hemihydrátů uvolňuje různé hydratační teplo díky rozdílné morfologii krystalů.



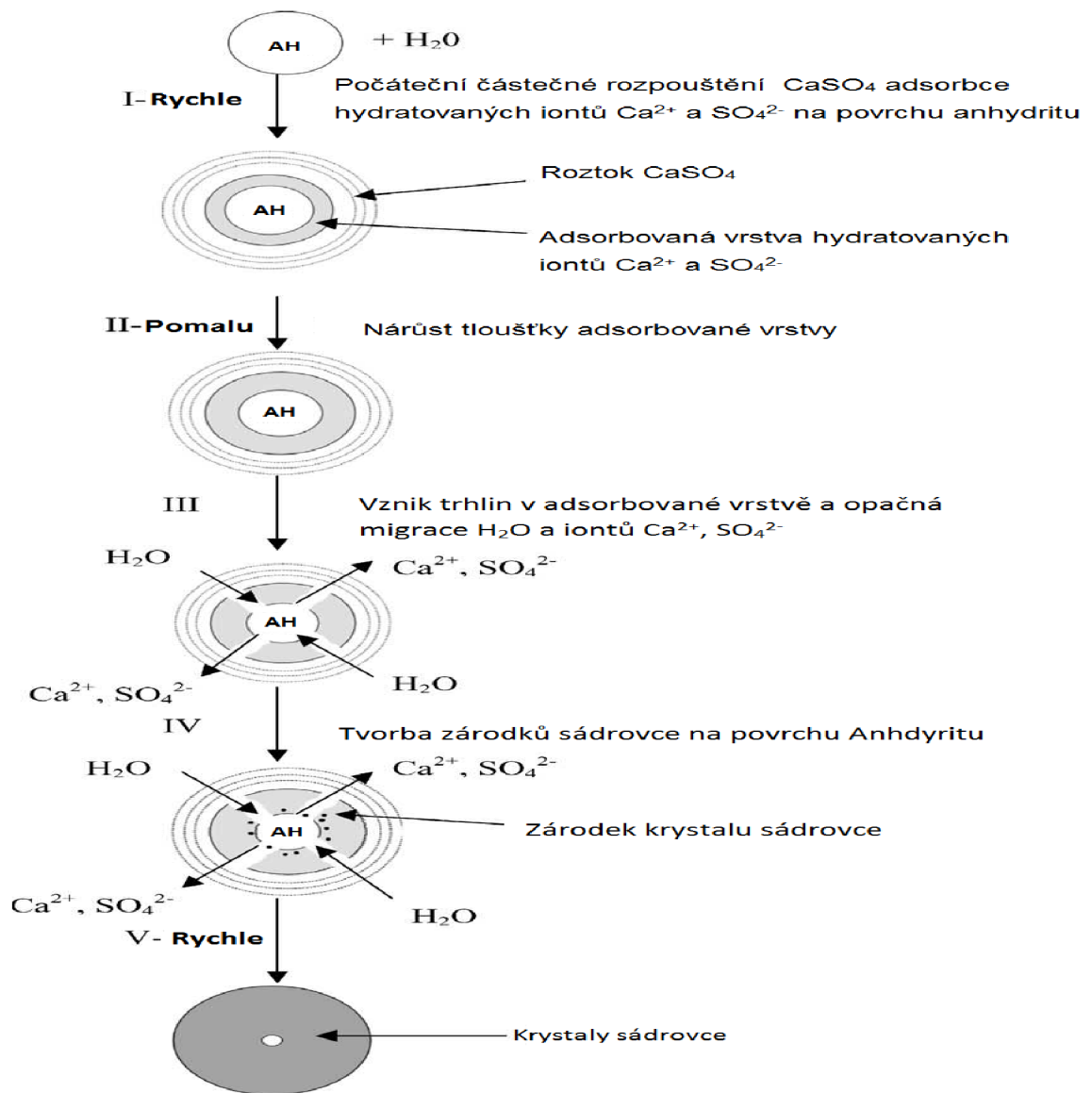
#### 2.5 Hydratace anhydritové maltoviny $\text{CaSO}_4$ II

Podstatou tuhnutí a tvrdnutí rozemletého anhydritu je především přeměna anhydritu ve vodném roztoku se současným chemickým vázáním vody na sádrovec,

který se vlivem nižší rozpustnosti z roztoku vysráží za současného tuhnutí a tvrdnutí podle rovnice:

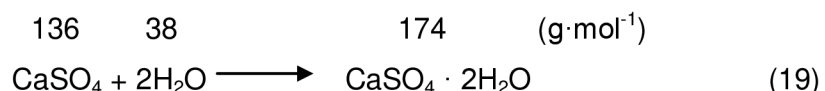


Rychlost hydratace rozemletého anhydritu a s tím spojené tuhnutí pojiva je za normálních podmínek velmi pomalá a jen částečná, a to vlivem nízké rozpustnosti anhydritu dle obr. 9. Při teplotě nad 40 °C tuhnutí téměř neprobíhá, protože dihydrát z roztoku nevykristalizuje. Mechanismus hydratace anhydritu je vyobrazen na obr. 11.



Obrázek č. 11: Schéma hydratace anhydritu [20]

Anhydritové pojivo je velmi citlivé na přídavek vody. Teoreticky potřebuje 100 g anhydritu pro úplnou reakci 26,4 g vody ( $\frac{38}{136}$ ), tedy vodní součinitel je  $w = 0,264$ .



Podle zkušeností však stačí vodní součinitel  $w = 0,20$ , jelikož jen 63 % anhydritu zcela zhydratuje, zbytek pak pouze tvoří plnivo. [1]

## 2.6 Aktivace hydratace anhydritu

Samotný přírodní anhydrit je po zamíchání s vodou schopen zatuhnout, avšak s výslednými pevnostmi v řádech jednotek MPa. Hydrataci anhydritu je možné urychlit látkami, které mají v tomto směru katalytický účinek pozitivního charakteru. Těmto látkám říkáme katalyzátory tuhnutí a tvrdnutí anhydritového pojiva – budící (aktivační) přísady. Budiče nejen urychlují zatuhnutí pojiva, ale i znamenitě přispívají k mechanickému zpevnění zatvrdlého pojiva. [3]

Podle toho v jaké fázi výroby přidáváme budiče k anhydritovému pojivu se budící přísady dále dělí na:

- ↪ *Vnitřní* – budiče jsou přidávány k surovině již před vlastním výpalem nebo jsou v ní již obsažené. Např. volné CaO vzniklé při rozpadu CaSO<sub>4</sub> při výpalu pomalutuhnoucí sádry.
- ↪ *Vnější* – přidávají se až při mletí anhydritu a jsou následně homogenizovány nebo se dávkuje společně se záměsovou vodou. [1]

Vnější katalyzátory tuhnutí a tvrdnutí anhydritu lze rozdělit do tří skupin:

- ↪ *Síranové* – např. NaHSO<sub>4</sub>, KHSO<sub>4</sub>, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, KAl(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> aj.
- ↪ *Zásadité* – např. vápno, granulovaná vysokopecní struska, vodní sklo, portlandský cement, aj.
- ↪ *Směsné* – např. vznikají smícháním několika budičů síranových nebo zásaditých, jako je např. směs ZnSO<sub>4</sub> a K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> nebo směs portlandského cementu a Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> atd. [1]



Tabulka č. 6: Budiče pro anhydritové pojivo [1]

Budič	Množství
<b>zásaditý</b> portlandský cement vápený hydrát vysokopecní struska	≤ 7 %
<b>síranový</b> síran hlinitý síran zinečnatý síran draselný	< 3 %
<b>směsný</b> zásaditosíranový	< 5 %, z toho nejvýše 3 % sulfátu

Průběh působení síranových a zásaditých katalyzátorů, ale i samotný mechanismus tuhnutí pojiva se od sebe značně odlišují. Směsné budiče uplatňují oba mechanismy buzení anhydritu.

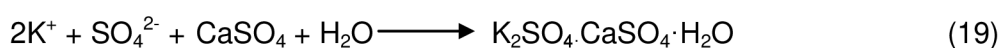
### 2.6.1 Síranové budiče

U síranových katalyzátorů jde o působení chemické a tvorbu komplexních meziproduktů při tuhnutí anhydritu. Průběh hydratace anhydritu za přítomnosti síranových látek je možné vystihnout tímto schématem reakcí, které probíhají za sebou více méně odděleně. [3]

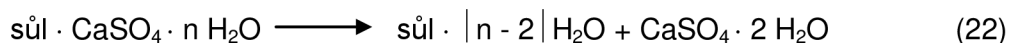
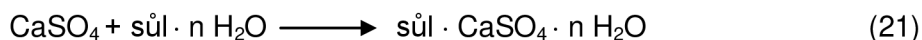
- ↳ Rozpuštění anhydritu.
- ↳ Přesycování roztoku a tvorba nestálých komplexních solí.
- ↳ Rozklad komplexních solí a vylučování krystalů sádrovce.

Síran sodný i síran draselný významně katalyzují průběh hydratačního procesu. Ve vzorcích buzených síranem draselným, či analogicky síranem sodným, se vždy vyskytuje nestálá podvojná vápenatodraselná sůl  $K_2SO_4 \cdot CaSO_4 \cdot H_2O$  syngenit (nebo eugsterit  $2Na_2SO_4 \cdot CaSO_4 \cdot 2H_2O$ ) a případně také hydratovaný samotný síran (mirabilit  $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$ ). [21]

Tyto nestabilní podvojně soli vytvořené chemickými aktivátory se soustředí na povrchu anhydritu  $CaSO_4$  a rozloží se do různých iontů (kationty  $K^+$ , anionty  $SO_4^{2-}$ ). Tyto ionty díky narušení struktury anhydritu II zvýší jeho rozpustnost a tím i schopnost reakce s vodou. [20]



Obecná rovnice tvorby dihydrátu platí v podstatě pro všechny sírany, které se od sebe liší jedine aktivitou, jež závisí hlavně na pohyblivosti kationů ve vodním roztoku.



### 2.6.2 Zásadité budiče

U zásaditých katalyzátorů je mechanismus a chemizmus hydratace anhydritu podstatě odlišný. Budící přísady působí jako katalyzátory fyzikální, tj. jako typické katalyzátory bez tvorby meziproductů. U alkalického aktivování se rozpustnost anhydritu snižuje. Rychlost hydratace anhydritu v alkalickém prostředí (v roztoku  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) je pomalejší a méně intenzivnější.[3]

### 2.6.3 Směsné budiče

V praxi se ukázaly jako zdaleka neúčinnější možnost aktivace anhydritu. Jejich dávkování se udává do 5 % hmotnosti anhydritu, přičemž obsah síranů je do 3 %.

Celý mechanismus tuhnutí a tvrdnutí anhydritového pojiva za přítomnosti budící přísady lze zjednodušeně rozložit na tyto vzájemně se prolínající úseky:

- ↪ Hlavní část hydratace – nastává za 24 až 72 hodin. Za tento čas se vytvoří hydratací tolik sádrovce, že pojivo zatuhne. U síranového budiče je hydratace hlubší a rychlejší než u alkalického a směsného.
- ↪ Vysychání zatuhlého pojiva – voda v této periodě se částečně chemicky váže a zároveň se odpařuje. Mechanické pevnosti stoupají.
- ↪ Pozvolné dohydratování zatvrdlého pojiva pohlčováním vlhkosti z okolí. [3]

### 2.6.4 Využití anhydritové maltoviny

Tato maltovina představuje velmi dobrý surovinový základ pro přípravu jak suchých, tak i litých směsí pro samonivelační podlahové potěry. Dále je možné ji využít k přípravě suchých samonivelačních stěrek, a to ve většině případů jako směs s  $\alpha$  – sádrou, která dosahuje vyšších pevností v kratším časovém horizontu. Anhydritová maltovina je vhodná i pro malty na zdění a omítání.

## 2.7 Anhydritové lité potěry

Lité samonivelační anhydritové směsi představují novou generaci podlahových potěrů, které jsou určeny zejména pro vnitřní užití, a to především v obytných, občanských a průmyslových objektech s provozním zatížením do  $7,5 \text{ kN}\cdot\text{m}^2$ . Podlahová vrstva slouží jako podkladní vrstva pod nášlapnou vrstvu (vinyl, dlažba, koberec, vlysy apod.). Přímou jako nášlapnou vrstvu ji není možné využít (sama o sobě nemá dostatečnou odolnost proti obrusu – provádí se epoxidové stěrky). [6]

Litý potěr je stavební materiál, který samovolným rozlitím čerstvé směsi vytváří roznášecí vrstvu podlahového souvrství. Má takovou konzistenci, která umožňuje využití vlastnost kapaliny se vlivem gravitace ustálit v dokonalou rovinu. Náležitému samovolnému rozlití brání zrna kameniva, a proto se směs zhutňuje duralovými latěmi, kterými se hladina rozvlí a následně se tekutá směs sama rozlije do roviny.

Pojivová složka pro lité podlahové potěry je v drtivé většině na naše území dodávána výrobcí síranových pojiv ze zahraničí, nejčastěji z Německa, jako tzv. "compound". Ten se totiž sestává nejen z pojivové fáze, ale i z nutných přísad, kterými jsou antisegregační, plastifikační, odpěňovací přísadu a dále budiče i retardéry hydratace. Pojiva mají deklarovanou dobu počátku tuhnutí i konečné pevnosti a zpravidla se do výrobních směsí dávkuje v dohodnutém dávkování. Jako pojivo se používá síran vápenatý v různých formách, zejména jako anhydrit nebo  $\alpha$  – půlhydrát, případně jejich kombinace. Jako kamenivo se používá nejčastěji frakce 0 – 4 mm betonářských praných písků při požadované křivce zrnitosti s nízkým podílem humusovitých, jílových a odplavitelných částic.

Samonivelační potěr se v dnešní době nejčastěji aplikuje jako:

- ↪ *Plovoucí* – roznášecí deska potěru je v celé ploše od nosné konstrukce stropu oddělena izolační vrstvou podle požadavků na tepelný odpor i vrstvou dynamicky netuhé vrstvy kročejové izolace. Anhydritový potěr je rovněž oddělen od svislých konstrukcí pásem 5 – 10 mm pěnového polyetyleny.
- ↪ *Topný* – uspořádáním je téměř totožný s plovoucím potěrem s tím rozdílem, že do vrstvy anhydritového potěru je zabudováno podlahové topení vodní nebo elektrické a o jeho výšku je zvýšena vrstva aplikovaného potěru.

Potěr je možné aplikovat jako:

- ↪ *Potěr na oddělovací vrstvě* – jedná se o konstrukční řešení, kdy je na pevném podkladě položena separační vrstva (polyetylenová folie, voskový papír) a anhydritový potěr je realizován na tuto vrstvu. Podkladní vrstva není spojena s potěrem a je umožněn vodorovný pohyb mezi nimi.

- ↪ *Potěr spřážený s podkladem* – není samonosnou konstrukcí a kopíruje všechny deformace svého podkladu. Používá se zejména jen jako vyrovnávací vrstva a klade se v tloušťkách od 30 mm. Typologicky lze do této kategorie zařadit i stěrky, které se aplikují v menších tloušťkách s nutností penetrace podkladu proti odsátí vody. [7]

### 2.7.1 Popis normových požadavků na anhydritové potěry

Norma ČSN EN 13813 – 2003 „Potěrové materiály a podlahové potěry – Potěrové materiály – Vlastnosti a požadavky“ stanovuje označení potěrů a zkoušky prováděné na jednotlivých druzích i jaké třídy vlastností lze z nich předepsat. Např:

- ↪ CA – potěr na bázi síranu vápenatého (cementový potěr = CT).
- ↪ C50 – pevnost v tlaku, zde 50 MPa.
- ↪ F6 – pevnost v tahu za ohybu, zde 6 MPa.
- ↪ A6 – třída odolnosti proti obrušování metodou Böhme, zde  $6\text{cm}^3 / 50\text{cm}^2$ . [22]

Pevnost v tlaku i pevnost v tahu za ohybu musí být deklarována výrobcem a stanovuje se dle ČSN EN 13892 – 2 „Zkušební metody potěrových materiálů – část 2: Stanovení pevnosti v tahu za ohybu a pevnosti v tlaku“. [22]

Norma ČSN 74 4505 „Podlahy – Společná ustanovení“ uvádí požadavky na vlastní konstrukce – nejčastěji používané potěry cementové a potěry na bázi síranu vápenatého.

- ↪ Pojednává o mezní odchylce místní rovinnosti nášlapné vrstvy, což je odchylka skutečně provedeného povrchu od proložené odměrné úsečky délky 2 m v rozmezí  $\pm 2$  mm pro místnosti s trvalým pobytem osob.
- ↪ Dále o celkové rovinnosti povrchu nášlapné vrstvy, která se měří geodeticky dle ČSN 73 0205 a má být stanovena v návrhu podlahy. Jelikož potěr není nášlapnou vrstvou, pak rovinnostní požadavky na něj jsou jako na vrstvu podkladní a vychází pouze z návrhu podlahy, který vychází z odst. 5.1.2. Za návrh podlahy je odpovědný projektant, ale ve většině případů požadavky na rovinnost podkladních vrstev zcela chybí.
- ↪ Stanovuje nejmenší návrhové tloušťky plovoucích potěrů při stlačitelnosti podkladních vrstev  $\leq 3$  mm ( $\leq 5$  mm pro plošné zatížená  $\leq 2$  kN/m<sup>2</sup> a pro plošné zatížená  $\leq 3$  kN/m<sup>2</sup>). [23]

Tabulka č. 7: Požadavky na nejmenší tloušťky plovoucích potěrů při stlačitelnosti podkladních vrstev  $\leq 3$  mm ( $\leq 5$  mm pro plošné zatížená  $\leq 2$  kN/m<sup>2</sup> a pro plošné zatížená  $\leq 3$  kN/m<sup>2</sup>) [23]

Materiál potěru	Třída pevnosti v tahu za ohybu podle ČSN EN 13813	Plošné zatížení			
		$\leq 2,0$ kN/m <sup>2</sup>	$\leq 3,0$ kN/m <sup>2</sup>	$\leq 4,0$ kN/m <sup>2</sup>	$\leq 5,0$ kN/m <sup>2</sup>
		Bodové zatížení			
		–	$\leq 2,0$ kN	$\leq 3,0$ kN	$\leq 4,0$ kN
litý potěr cementový nebo na bázi síranu vápenatého	F 4	$\geq 35$ mm	$\geq 50$ mm	$\geq 60$ mm	$\geq 65$ mm
	F 5	$\geq 30$ mm	$\geq 45$ mm	$\geq 50$ mm	$\geq 55$ mm
	F 7	$\geq 30$ mm	$\geq 40$ mm	$\geq 45$ mm	$\geq 50$ mm

Tabulka č. 8: Požadovaná nejvyšší dovolená vlhkost cementového potěru nebo potěru na bázi síranu vápenatého v hmotnostních % v době pokládky nášlapné vrstvy [23]

Nášlapná vrstva	Cementový potěr, beton	Potěr na bázi síranu vápenatého
Kamenná nebo keramická dlažba	5 %	0,5 %
Lité podlahoviny 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, vlysy, laminátové podlahoviny	2,5 %	0,5 %

V případě, že součástí podlahy je systém podlahového vytápění, musí být požadavek na nejvyšší dovolenou vlhkost u cementového potěru snížen o 0,5 %, u potěru na bázi síranu vápenatého o 0,2 %. Vlhkost zjištěná přístrojem CM karbidovou metodou a gravimetricky je u anhydritových potěrů zaměnitelná, avšak u cementového je nutné udělat přepočty dle normy. [23]

## 2.7.2 Popis technologického způsobu přípravy potěru

- ↪ K položení tepelné izolace je nutno použít výrobky určené do podlahových souvrství s odpovídající stlačitelností, tedy polystyren EPS minimálně třídy 100 Z. Vícevrstvé izolace se pokládají tak, že se ve spojích překládají a tenčí desky se zakrývají silnějšími.
- ↪ Provedení okrajových izolačních, dilatačních pásků umístěných na svislých konstrukcích a potrubím procházející vrstvou potěru. Optimálním materiálem pro obvodové dilatace je pěnový polyethylen s přilepenou PVC fólií. Jeho nejmenší tloušťka je 5 mm pro nevytápěné potěry a 10 mm pro potěry

s podlahovým topením vzhledem k teplotní roztažnosti materiálu. Okrajová dilatace zabraňuje šíření chvění do nosné konstrukce a umožňuje potěru se tepelně roztahovat jak během hydratace, tak během zahřívání potěru.

- ↪ Položení separační podkladní vrstvy (PE fólie minimální tloušťky 0,1 mm, speciální povrstvený papír minimální tloušťky 0,15 mm). Jednotlivé pásy separační vrstvy se slepují lepicí páskou a u okraje se překládají přes PVC fólii okrajového pásu tak, aby potěr nemohl uniknout do podkladních vrstev. Při užití aluminiové fólie jako separační a izolační vrstvy je nutné dbát na kaširování fólie PE vrstvou. Samotný hliník reaguje ve vlhkém prostředí se síranem vápenatým za vzniku vodíku, který uniká a působí v potěru nerovnosti a povrchové vady. [25]
- ↪ Dále je nevyhnutelné převzít konstrukční spáry z podkladních vrstev a vytvořit dilatační spáry v místech různých konstrukčních výšek potěru nebo skokových změn výšek podkladu. Vlastnosti anhydritových potěrů dovolují v případě prostorů typu čtverec a obdélník neprovádět dilatační spáry v ploše do 600 m<sup>2</sup>. U vytápěného potěru je maximální možná plocha bez dilatačních spár 300 m<sup>2</sup>. [24]
- ↪ Parametry, které určují tloušťku realizovaného potěru, jsou celková nosnost podlahového souvrství (projektované zatížení), 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. Pro dodržení výšky realizovaného potěru se využívají po ploše rozestavěné výškové nivelety – trojnožky. Ty se nastaví do požadované výšky v rastru cca 1,5 x 1,5 m v ploše a po docílení požadované výškové úrovně lití se odstraní. Pro větší otevřené plochy se užívá kontrola požadované nivelety rotačním laserovým přístrojem. [24]
- ↪ Realizaci pokládky anhydritového potěru je možné provádět až po provedení mokrých stavebních procesů. Prostory pro pokládku musí být uzavřené a utěsněné tak, aby se zabránilo průvanu, či cirkulaci vzduchu uvnitř stavby, což by mohlo způsobit příliš rychlé lokální vysychání. Rovněž je potřeba zastínit místnost tmavou fólií, aby nedocházelo k průniku slunečního záření, čímž se vyhneme nerovnoměrnému pnutí. V prvotní fázi tvrdnutí potěru by pak došlo ke smrštění materiálu při nedostatečných pevnostech potěru ke vzniku trhlin. [24]

### 2.7.3 Technologický postup uložení potěru

- ↪ V době lití a zrání potěru musí být teplota vzduchu i konstrukce minimálně 5 °C a maximálně 30 °C. Prostory, ve kterých se dokončí aplikace litím, musí být uzavřené a zastíněné.
- ↪ Doprava směsi je prováděna autodomíchávači o objemu cca 8 m<sup>3</sup> s uváděnou dobou zpracovatelnosti potěru až 4 hodiny nebo pomocí mobilního míchacího zařízení se zásobníkem i čerpadlem – Transmixem.
- ↪ Konzistence směsi se kontroluje rozlitím Haegermannova kužele (dle ČSN EN 1015 – 3 výška 60 mm, horní průměr 70 mm, spodní průměr 100 mm) na suchou skleněnou desku na požadované rozlití koláče 240 mm ± 10 mm. [25]
- ↪ Směs je dopravována gumovými hadicemi pomocí šnekových nebo pístových čerpadel. Převážná kapacita je cca 6 – 16 m<sup>3</sup>·h<sup>-1</sup> v závislosti na čerpací vzdálenosti a výšce do maximální vzdálenosti cca 180 m. [25]
- ↪ Při lití je doporučena vzdálenost konce hadice od pevného podkladu cca 200 mm. Tekutá směs se ukládá kývavým pohybem hadice, aby se dosáhlo rovnoměrného rozmístění a vytlačení vzduchu zpod separační vrstvy. [24]



Obrázek č. 12: Počátek ukládání směsi topného potěru na separační vrstvě

- ↪ Nivelace směsi se provádí krátkými vibračními pohyby pomocí duralových latí ve dvou na sebe kolmých směrech. První se provádí v celé tloušťce realizovaného potěru a druhý již jen v povrchové vrstvě čerstvého potěru, což ve výsledku umožňuje dosažení rovinnosti 2 mm/2 m. Tímto hutněním však dojde i k homogenizaci potěru a jeho odzdušnění, které je důležité pro dodržení pevnostních charakteristik a optimální tepelné vodivosti. [24]

## 2.7.4 Ošetřování vytvrzeného anhydritového potěru

Velmi důležitou částí realizace litých potěrů je zrání a vysychání. Anhydritový potěr je pochozí do 48 hodin po ukončení pokládky v závislosti na teplotě a vlhkosti prostředí. Doba nutná pro získání deklarovaných vlastností je 28 dní. Proces krystalizace dihydrátu a tvrdnutí směsi je ukončen cca po 10 dnech, po kterých jsou pevnostní charakteristiky závislé pouze na množství zbytkové vlhkosti.

Dále je tedy třeba materiál vysušit do maximální zbytkové vlhkosti 1 % respektive 0,5 % hm podle nášlapné vrstvy dle ČSN 74 4505. To znamená ihned po 48 hodinách přistoupit k intenzivnímu větrání okny, pokud to podmínky dovolují, a pozvolným nástupem teplot podlahového topení od 7. dne. Při podmínkách prostředí 20 °C a 50% relativní vlhkosti vzduchu obvykle potěr vyschne na 1 % zbytkové vlhkosti rychlostí 1 cm tloušťky potěru za 1 týden bez dodané energie topením. V případě, že není dodržena podmínka o začátku vysoušení potěru po prvních 48 hodinách, existuje riziko následných objemových změn, které vznikají v důsledku vysoké zbytkové vlhkosti v potěru, jež způsobuje tzv. „sekundární krystalizaci“ doprovázenou bobtnáním potěru.[24]

Jednoduchá a hlavně nedestruktivní metoda kontroly stavu vyschnutí se provádí přiložením PE folie 500/500 mm, kterou po obvodu přilepíme lepicí páskou k podkladu. Pokud v průběhu 24 hodin pod folii zkondenzuje voda, podlaha ještě není dostatečně vyschlá pro pokládku nášlapné vrstvy. [25]

V případě, že se vyskytnou v potěru nežádoucí trhliny, je možné je sanovat tzv. sponkovaním, kdy se trhlina prořízne brusku a po cca 25 cm se kolmo na ni provedou zářezy sahající min. do 1/3 hloubky trhliny. Do těchto řezů se vloží profilované sponky a trhlina včetně příčných řezů s vloženými sponkami se zalije rychle tuhnoucí polyuretanovou či epoxidovou pryskyřicí. [25]

## 2.7.5 Sintrová vrstva

Po zatumnutí a vytvrnutí se kapalina (roztok vody, rozpuštěných přísad a síranů) kapilárním transportem dopravuje na povrch potěru a zde vykrytalizuje v tzv. „slnutou“ vrstvu (sintr). Takové slnuté vrstvy vznikají během prvních 48 hodin při vyschnutí odloučené vrstvy vody a následném kapilárním transportu vody ven z potěru a závisí do značné míry na druhu použití síranového budiče. Mají tloušťku cca několik desetin milimetru, jeví se matně a často jsou posety prasklinami, které ovšem do konstrukční vrstvy nezasahují.

Hlavní vliv na míru krystalizace na povrchu mají tedy sírany používané jako budiče. Tvoří různé podvojně soli nebo hydratované sírany, které na povrchu spolu



s hydratovaným sádrovcem utvoří onen šlem. Komerčně více využívaný  $K_2SO_4$  tvoří oproti  $Na_2SO_4$  slabé sintrové vrstvy. Oproti tomu síran sodný způsobí vykrystalizování vrstvy drobných, až okem viditelných krystalků, v tloušťce cca 1 – 2 mm.

Tloušťka šlemu závisí nejen od množství záměsové vody, ale také od druhu použitého písku pro výrobu litého potěru. Tato tenká vrstva je nesoudržná s vlastní matricí potěru, a proto je třeba ji vždy odstranit pro větší přídržnost následných vrstev podlahy i z toho důvodu, že významně zpomaluje vysychání potěru. V raných stádiích zralosti potěru je možné ji odstranit prostým zametením nebo seškrábnutím, v pozdějších stádiích je třeba potěr brousit odpovídajícím brusným papírem nebo diamantovým kotoučem. [24]

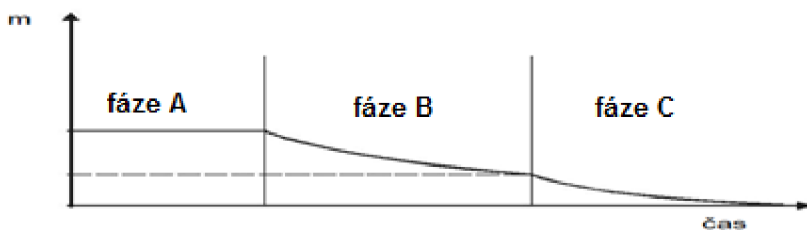


Obrázek č. 13: Nesoudržná vrstva šlemu vykrystalizovaná na povrchu potěru dodávaného firmou Cemex [24]

### 2.7.6 Vysychání potěru

Při vysychání anhydritového potěru existuje mezi povrchem a okolním vzduchem mezní vrstva, která je analogická s přestupem tepla mezi dvěma prostředími. Vyjadřuje koncentrační spád mezi vlhkostí okolního vzduchu a povrchu. Difuze páry touto mezní vrstvou se řídí zákony difuze. [27]

Průběh sušení hygroskopické látky v prostředí nenasyceném vodní parou je charakterizován třemi úseky sušení, které jsou odděleny inflexním bodem a rozdílnou rychlostí sušení.

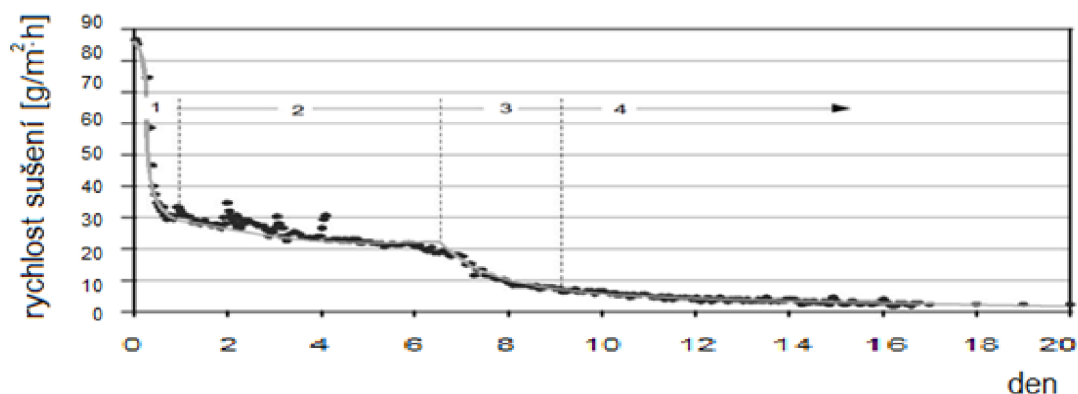


Obrázek č. 14: Charakteristika časového průběhu rychlosti sušení a rozložení vlhkost [27]

**Sušení fáze A:** Voda se odpařuje z povrchu potěru tak dlouho, dokud je kapilárním transportem dopravováno z vnitřku na povrch dostatečné množství vody. Rychlost sušení je konstantní a je určena odpařovací kapacitou mezní vrstvy.

*Sušení fáze B:* Vlhkost na povrchu klesne pod maximum hygrokopické vlhkosti, které je často také označováno jako kritický obsah vlhkosti. Rychlost sušení je výrazně menší, protože závisí i na transportu vlhkosti z materiálu a povrchové difuzi mezní vrstvy.

*Sušení fáze C:* Kritického obsahu vlhkosti je dosaženo již na spodní straně vzorku a rychlost sušení se snižuje asymptoticky k nule, dokud se nedosáhne obsahu rovnovážné vlhkosti. [27]



Obrázek č. 15: Jednostranné vysychání CSF ihned od zamíchání při normálních podmínkách 20 °C / 65 % relativní vlhkost. [27]

Obrázek č. 15 popisuje laboratorní jednostranné vysychání vzorku o rozměrech 300x300x46 mm při 20 °C / 65 % relativní vlhkosti. Ztráta hmotnosti v důsledku schnutí byla stanovena automaticky kontinuální vážením. Chování vysychání může být dle Wiegrinka [27] rozděleno do 4 fází:

*Fáze 1:* V prvních 2 hodinách má schnutí zkušebních vzorků velmi vysokou rychlost cca 85 g/m<sup>2</sup>·h, jelikož je volná voda k dispozici na povrchu a odpaření se tak děje z vodní hladiny na celém povrchu vzorku. Po vyschnutí povrchu musí kapalina prostupovat strukturou pórů a v souladu s tím se rychlost sušení významně sníží v průběhu prvních 12 hodin na cca 30 g/m<sup>2</sup>·h

*Fáze 2:* Ve druhé fázi zkušebního vzorku vykazuje rychlost schnutí téměř konstantní hodnotu. Na rozhraní pevné a plynné fáze tedy existuje mezní vrstva, která do jisté míry zabraňuje odvodu vlhkosti z povrchu zkušebního tělesa do okolního vzduchu. Převážná kapacita této mezní vrstvy závisí na rozdílu parciálních tlaků vodní páry na povrchu a okolního vzduchu. Dále platí, že dokud je odpařovací kapacita mezní vrstvy nižší než doprava vlhkosti z vnitřku zkušebního vzorku, zůstává rychlost sušení přibližně konstantní. Kapilární transport kapaliny z potěru k povrchu je úměrný jak vlhkovému gradientu, tak velikosti a distribuci pórů v již zatuhlém tělese. S postupnou hydratací se zhušťuje struktura pórů, a to sníží rychlost schnutí na cca 24 g/m<sup>2</sup>·h do 3 dnů. Následně se rychlost sušení mírně snižuje až do 6. dne do cca

21 g/m<sup>2</sup>·h. S postupem času a zvyšujícím se stupněm vyschnutí výkon kapilárního transportu klesá. Až na konci 2. fáze je dosaženo kritického obsahu vody na povrchu, což odpovídá inflexnímu bodu při přechodu z fáze A na B dle obr. 14.

Fáze 3: Rychlost sušení se postupně snižuje, protože spolu se snižujícím se obsahem vody klesá i kapilární transport vody. Sušení postupuje hlouběji do potěru a v této fázi se již postupně absorbuje vlhkost z interiéru, ačkoliv difúzní transportní mechanismus směrem ven z materiálu je stále převládající. V povrchových vrstvách se doprava kapaliny děje pouze difuzí pórového prostoru. Vliv difúzního odporu mezní vrstvy na sušení není zde tak silný, protože faktor difúzního odporu pórů je  $\mu = 25$  a mezní vrstvy jen  $\mu = 1$ .

Fáze 4: Sušení se v této fázi odehrává výhradně difúzním procesem. Rychlost sušení se postupně snižuje s vysycháním stále hlubších vrstev. Klesající je i hnací síla schnutí, tedy rozdíl parciálních tlaků v tělese a na povrchu. Křivka sušení probíhá již asymptoticky k rovnovážné vlhkosti v závislosti na příslušné relativní vlhkosti okolního vzduchu. Po 20 dnech je vzorek téměř suchý i na spodní straně, avšak druhý inflexní bod, tedy přechod mezi fázemi sušení B a C na obrázku č. 14, nelze vlivem velmi nízké rychlosti sušení určit.

## 2.8 Cementový samonivelační potěr

V minulosti byly nejpoužívanějším materiálem pro roznášecí vrstvy v podlahové konstrukci cementové zavlhle potěry. V současnosti jsou již z velké části v bytové i občanské zástavbě nahrazeny litými potěry s pojivem na bázi síranu vápenatého. Děje se tak kvůli „achillově patě“ cementu – relativně velkému smrštění a i vzhledem k nástupu nové rychlejší a přesnější technologie litého potěru. V posledních letech se vyvinula technologie litého potěru i na bázi cementu, který se co do rychlosti a rovinnosti vyrovná síranovým směsím. V pevnostech jej dokonce předčí, ale hlavní technologická nevýhoda smrštění je samozřejmě neměnná.

Potěry na bázi „směsných cementových pojiv se sádro“, obecně označované jako „cementové“, se na trhu objevují zatím v omezeném rozsahu, a to s technicko-aplikačními limity oproti potěrům „sádrovým“.

Dále se vyrábějí cementové potěry, které obsahují méně pojivové fáze jako původce smrštění a o to více kameniva frakce 0 – 4 či 0 – 8 mm. Dále se používá vyšší podíl inertního plniva mikromletého vápence spolu s protismršťující a superplastifikační přísadou.

V průběhu jejich vyzrávání se vyskytují smršťovací trhliny vycházející hlavně z plastického smrštění, odpařování a neméně z mineralogických změn při hydrataci. Výrobci se snaží tyto objemové změny co nejvíce potlačit různými přísadami,

příměsemi i „sealingem“ povrchové vrstvy. Mimo to, další rizikový faktor tvarové nestability je konkávní deformace potěrové desky, kdy dojde k vyvýšení rohů desky. Jedná se o typickou poruchu cementových potěrů, způsobenou rychlým nerovnoměrným vysycháním, doprovázenou nadměrným smrštěním. V závislosti na podmínkách vysychání a tloušťce potěrové vrstvy k ní dochází v časovém období několika týdnů až měsíců od aplikace potěru. U cementových samonivelačních potěrů potenciál této deformace představuje, ve srovnání se sádrovými potěry, značnou nevýhodu, která do jisté míry může eliminovat použití. [26]

Vývoj v oblasti redukce smrštění dospěl k řešení využití ochranných přípravků (curingy, sealery) ve formě akrylátových či voskových disperzí aplikovaných na čerstvý cementový potěr. Tato vrstva dávkovaná dle předpisu zadržuje vodu v povrchových vrstvách, a tím zabraňuje přílišnému smrštění v prvotních fázích tuhnutí. Před následnou aplikací finálních „lepených“ podlahových krytů (dlažby, parkety, vinyl, PVC) je zpravidla nutné tyto ochranné filmy odstranit, jelikož snižují přídržnost, což zvyšuje pracnost a nákladnost celé podlahové skladby. V minulém roce zavedla společnost Cemex zcela novou technologii cementového potěru, která nevyžaduje ochranný uzavírající nástřik v čerstvém stavu a díky stavební chemii vykazuje smrštění pod 0,5mm/m. Tato úprava se však podepíše na finálním vzhledu potěru, kdy se povrch jeví nehomogenně, ale nejedná se přímo o nesoudržnou vrstvu, kterou by bylo nutné odstranit broušením.

Obecně se příprava pokládky (je zapotřebí dilatace v ploše) ani samotná realizace potěru od anhydritového potěru příliš neodlišuje a platí stejné zásady, i když je dobré brát na zřetel, že cement je náchylnější k tvorbě trhlin za zvýšené teploty i proudění vzduchu. Čerpání značně viskózní směsi šnekovými čerpadly je problematické hlavně při čerpání do výšky a při započítání čerpání do suchých hadic. Dostupná jednopístová čerpadla svými rázy poškodí separační vrstvu a také nejsou ideálním řešením. Konzistence směsi se používá mírně tekutější pro snazší čerpání (rozlití Haegermannova kužele 250 mm). Technologie litého cementového potěru postoupila v posledních letech na takovou úroveň, že je plně konkurenceschopná anhydritovým potěrům.

## **2.9 Popis způsobu použití samonivelačních směsí**

Samonivelační stěrky a potěry jsou dnes klasifikovány dle ČSN EN 13813 a jsou zahrnuty do jedné výrobové skupiny. Společným znakem, jak již vyplývá z názvů předmětných materiálů, je samonivelace. Obecně rozdělujeme samonivelační hmoty podle velikosti kameniva, z čehož vyplývá i tloušťka jejich aplikace.

*Stěrka* je jemnozrný materiál s maximální velikostí zrna většinou do cca 0,6 mm, výjimečně do 1,2 mm, používán obvykle v tloušťkách 4 – 8 mm. V tuzemsku převládá pojivová koncepce směsného pojiva na bázi portlandského cementu, hlinitanového cementu a vhodného typu sádry a to s majoritou hlinitanového cementu. V menším rozsahu jsou používány stěrky „sádrové“ na bázi  $\alpha$  – hemihydrátu, anhydritu a jejich směsí. Použití stěrek v podlahových skladbách je především ve vyrovnávacích vrstvách podkladů před pokládkou finálních podlahových vrstev, méně jako záливkové a pojivové hmoty. Na rozdíl od potěrů jsou stěrky vždy aplikovány jako sdružené pro co nejpevnější spojení s podkladem. Vyrábí se v širší řadě pevnostních tříd s různým stupněm zušlechtnění redispergovatelnými polymery, které dodávají materiálu vysokou otěruvzdornost, zvýšení modulu pružnosti i pevnosti tahu. Takto upravené kvalitní stěrky se používají jako konečná, nášlapná vrstva podlahové skladby.[26]

*Potěr* chápeme jako kompozitní materiál s maximální velikostí zrna obvykle do 4 mm, méně často do 8 mm. Aplikují se nejčastěji v tloušťkách 15 – 60 mm, a to výhradně pro roznášecí vrstvy v podlahové konstrukci. V tuzemsku dominují v bytové zástavbě potěry na bázi síranu vápenatého, ale v občanské i komerční zástavbě již převaha síranových potěrů není tak zřetelná nebo není vůbec. Lité cementový potěr má i řadu nedostatků, avšak u staveb s časovým harmonogramem dosahuje čím dál častějšího uplatnění, vzhledem k možné dřívější aplikaci nášlapných vrstev. Síranová pojiva oproti cementovým mají nižší pojivovou schopnost, z hlediska konečných pevností výrobků, a musí být dávkována ve srovnání s cementovými ve větších objemech. [26]

## **2.10 Přednosti a zápory litých potěrových směsí**

### **2.10.1 Samonivelační litý potěr na bázi $\alpha$ – hemihydrátu**

Tyto lité směsi nejsou v Česku příliš častou volbou, přestože se technologický postup, rychlost ani rovinnost neliší od litého anhydritového potěru.  $\alpha$  – HH díky svým pojivým schopnostem je retardován ředěnými organickými kyselinami, jelikož doba zpracovatelnosti je jinak neúměrně krátká. Nástup pevností dle míry retardace je cca po 2 hodinách a je velmi rychlý. Obecné vlastnosti jsou společné pro obě síranová pojiva. Potěr na bázi  $\alpha$  –  $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$  se odlišuje v těchto vlastnostech:

- ↪ Reakce hydratace proběhne téměř do konce do 48 hodin.
- ↪ Potěr je pak pochozí již po 16 hodinách a částečně zatížitelný po 24 hodinách.
- ↪ Rozsah teplot pro zpracování potěru z  $\alpha$  – sádry je od 5 °C až do 35 °C. Sádra je schopna hydratovat i při mnohem vyšších teplotách než je tomu u anhydritu.

- ↪ Proteplování vrstvy potěru otopnou soustavou může nastat dříve cirka po 24 hodinách.
- ↪ Stavba nemusí být tak pečlivě utěsněna před proudícím vzduchem a následným lokálním vysušením, protože  $\alpha$  – sádra dosáhne dostatečné pevnosti v krátkém horizontu.
- ↪ Hydratací vzniká sádrovec bez jakéhokoli šlemu (pojivo není třeba aktivovat síran), což přináší rychlejší vysychání a odpadá i broušení.

### 2.10.2 Samonivelační litý potěr na bázi anhydritu

Je hlavní zástupce litých směsí, který v poslední dekádě téměř vytlačil použití tradičních zavlhých potěrů díky své rychlé čisté a méně fyzicky náročné pokládce. Hlavní výhoda síranových potěrů oproti cementovým spočívá v jejich objemové stabilitě, kdy mírně převládá rozpínání oproti smrštění. Obecné výhody anhydritových potěrů jsou:

- ↪ Při hydrataci dochází k navázání vody do struktury a pouze ke smrštění plastickému a odpařováním (do 0,03 mm/m do vyschnutí), přičemž výsledný produkt sádrovec má větší objem než výchozí anhydrit či sádra (hodnota rozpínání se uvádí do 0,1 mm/m do vyschnutí).
- ↪ Anhydritové pojivo dosahuje vyšší pevnosti v tahu za ohybu, která je pro podlahové konstrukce nad stlačitelným podkladem nejdůležitějším aspektem. Poměr pevnosti v tahu a pevnosti v tlaku přesahuje 20 %.
- ↪ Při dostatečné pevnosti je možné vytvářet podlahové vrstvy s nízkou tloušťkou (30 mm) a tím i nižší plošnou hmotnost.
- ↪ Velkou výhodou je pak zanedbatelné smrštění, což umožňuje vytvoření velkých ploch bez smršťovacích dilatací (u nevytápěného potěru až 600 m<sup>2</sup>, u vytápěného do 300 m<sup>2</sup>).
- ↪ Vyžadují kratší a méně intenzivní ošetřování (2 dny ochrany před prudkým vysušením) a jsou obecně méně náchylné k poruchám vlivem proudícího vzduchu a vyšších teplot oproti cementovému potěru.
- ↪ U vytápěného potěru je možno začít s topením po 7 dnech od uložení.
- ↪ Konzistence a kamenivo 0 – 4 mm umožňuje snadné čerpání šnekovými čerpadly.
- ↪ Anhydritový potěr je cenově výhodnější oproti cementovému. Výsledná cena má hodně proměnných, ale řádově se pohybuje okolo 350 Kč·m<sup>2</sup>.

Nevýhodami anhydritové lité směsi jsou:

- ↪ Potěr je pak pochozí až po 48 hodinách a částečně zatížitelný po 3 dnech.

- ↪ Reakce hydratace proběhne téměř do konce za 5 – 7 dní.
- ↪ Výrazný pokles pevnosti při kontaktu s vlhkostí a teplotní stabilita pouze do 40 °C.
- ↪ Na povrchu vykristalizuje vrstva sintru, kterou je třeba odstranit před lepením dalších vrstev podlahy i pro rychlejší průběh vysychání.
- ↪ Možnost překrytí potěru dalšími podlahovými krytinami je podmíněna jeho zbytkovou vlhkostí, jejíž mezní hodnoty jsou stanoveny v ČSN 74 4505 cca 0,5 % vlhkosti. Doba sušení závisí od okolních podmínek – teploty, vlhkosním spádu, proteplování. Běžně se uvádí 1 měsíc jako doba potřebná pro normové vysušení.

Potěry na bázi síranu vápenatého nejsou vhodné pro použití do trvale mokřých prostor (např. veřejné a soukromé bazény, sprchy, velkokuchyně, prádelny, umývárny, sauny apod.), protože síran vápenatý není hydraulické pojivo a nesmí být trvale vystaven působení vlhkosti. Za vlhka klesá pevnost podlah až o 50 % původní hodnoty. Pokud však podlaha opět znovu vyschne bez mechanického poškození, dosáhne pevnosti jako před provlhčením. Použití anhydritových potěrů je limitováno pouze do trvale suchých prostor zejména v obytných, občanských, průmyslových objektech s provozním zatížením do 7,5 kN·m<sup>-2</sup>, v kancelářských budovách.

### 2.10.3 Samonivelační cementový potěr

Tento zástupce tradičního podlahového materiálu, se za přispění technologie betonu a stavební chemie snaží eliminovat relativně velké smrštění, které u takto tekuté konzistence jinak nastává. Na druhou stranu tento materiál benefituje z povahy pojiva, které je hydraulické a snáší vlhké prostředí a není nutné jej úplně vysušit před pokládkou nášlapné vrstvy. V porovnání s ostatními litými potěry přináší cementový tyto výhody:

- ↪ Z ČSN 74 4505 vyplývá možnost překrytí potěru dalšími podlahovými krytinami při vyšší zbytkové vlhkosti cca 5 % dle druhu finální vrstvy. Díky tomu se dosahuje kratší technologické přestávky a rychlejšího dokončení stavby.
- ↪ Je vhodný do vlhkých prostor (koupelny, kuchyně, garáže), ale není vhodný pro venkovní použití nebo do prostor cyklicky namáhaných mrazem.
- ↪ Potěr je pak pochozí po 24 hodinách a částečně zatížitelný po 3 dnech

Nevýhodami cementové směsi jsou:

- ↪ Smrštění do stabilizované vlhkosti se uvádí maximálně 0,5 mm·m<sup>-1</sup>. Při větší tloušťce a nadměrném smrštění může nastat konkávní smrštění tj. zvedání rohů potěru.

- ↪ Maximální plocha potěru bez smršťovací dilatace je 40 m<sup>2</sup> s ramenem ne delším jak 6,5 m. Dilatační profily se buďto ukotví ještě před pokládkou nebo se potěr prořeže v požadovaném rastru co nejdříve po zatvrdnutí směsi.
- ↪ Vznikající prašnost při prořezávání spár.
- ↪ Minimální doporučená tloušťka odděleného nebo plovoucího potěru výrobcem je 50 mm, přestože norma stanovuje minimum pouze 35 mm.
- ↪ Má kratší dobu zpracovatelnosti, je velmi citlivý na vyšší teploty jak 20 °C a proudění vzduchu. Musí se intenzivněji ošetřovat po delší dobu.
- ↪ Je zapotřebí použití sealeru (ochranného postříku), a to v množství minimálně 0,2 kg·m<sup>-2</sup> na čerstvý povrch.
- ↪ Častěji se používá kamenivo do 8 mm ve snaze eliminovat smrštění, ale tím se zhoršuje čerpatelnost šnekovými čerpadly. Ve spojení s nadmírou plastifikačních přísad a značné viskozitě potěru (tzv. medovitost) je čerpání šnekovými čerpadly obtížné.
- ↪ Nelze začít se zahříváním otopnou soustavou dříve než 21 dní od uložení.
- ↪ 1 m<sup>3</sup> potěru je o 200 Kč dražší oproti anhydritovému, ale používá se větší tloušťce. Při aplikaci na podlahové topení je objem potěrů podobný, cena se pak příliš neliší a řádově se pohybuje kolem 400 Kč·m<sup>-2</sup>.

Použití cementových potěrů pro vnitřní použití není omezeno, a tím pádem se používá především v prostorech s trvalou vlhkostí, kde nemůže být aplikován potěr na bázi síranu vápenatého. I když má potěr zdánlivě málo výhod oproti anhydritovému, jsou natolik důležité, že často zapříčiní upřednostnění cementového potěru. Hlavními atributy jsou kratší technologická přestávka a stálosti ve vlhku. K prospěchu cementu hovoří i to, že je pro neobornou veřejnost nástupcem starých osvědčených zavlhých potěrů s dobrou životností.

#### **2.10.4 Technologické přednosti litého potěru**

- ↪ Velmi vysoký výkon pokládky, lze položit až 1400 m<sup>2</sup>·den<sup>-1</sup>.
- ↪ Vlastní zhutnění – homogenní skladba potěru v celé tloušťce.
- ↪ Přesné výškové ustanovení potěru dle požadavků.
- ↪ Možnost místnosti výškově oddělit pro pokládku různě silných nášlapných vrstev, což umožní následný rovný finální povrch bez přechodových lišt.
- ↪ Samonivelací lze běžně dosáhnout odchylky od vodorovné úsečky ± 2 mm/2 m.
- ↪ Čistota při pokládce hadicemi.
- ↪ Vysoké pevnosti v tlaku i v tahu za ohybu.
- ↪ Minimální pórovitost díky odpěňovací přísadě i vlastní tekutosti.



- ↵ Dobrá tepelná vodivost – optimální pro podlahové vytápění, kdy topná tělíska jsou zcela opláštěná potěrem, který zajišťuje rozvod tepla (součinitel tepelné vodivosti  $\lambda = 1,2 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ).
- ↵ Součinitel teplotní roztažnosti  $\alpha = 12 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ .
- ↵ Objemová hmotnost čerstvé směsi  $2100 - 2200 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ .
- ↵ Objemová hmotnost zatvrdlé směsi  $2000 - 2100 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ .

## II. PRAKTICKÁ ČÁST

### 3. Metodika a postup práce

Cílem bakalářské práce je výzkum v oblasti přípravy samonivelační potěrové směsi na pojivové bázi anhydritu, a to anhydritu z druhotných surovinových zdrojů a také z primárně těženého anhydritu z Polska.

Hlavní náplní práce je příprava samonivelační směsi náležité konzistence vhodné pro komerční využití. Vychází se jednak z dřívějších poznatků získaných v této oblasti v rámci ÚTHD, zejména problematiky hydratačního procesu anhydritu, dále z podkladů výrobce anhydritového potěru. Připravené směsi z komerčně používaného compoundu a přírodního anhydritu byly vzájemně porovnány.

Metodicky je praktická část bakalářské práce rozdělena do 3 etap, ve kterých se hodnotí nejen jednotlivé vlastnosti vstupních surovin, ale i vlastnosti vzniklých výsledných produktů. U jednotlivých surovin a receptur byly sledovány především ty vlastnosti, které jsou požadovány normou ČSN EN 13813.

#### 3.1 První etapa

V rámci první etapy byl proveden rozbor vstupních surovin. V první řadě šlo o průmyslově vyráběné anhydritové pojivo, které se dováží jako hotový compound z Německa. Následně se provedl rozbor přírodního anhydritu, který byl již na ústavu používán a zkoušen.

Při mineralogickém rozboru byly vzorky podrobeny XRD analýze pro určení obsažených fází. Difrakční termickou analýzou se zjišťovala čistota vzorků, tedy zbytkové množství vápence či sádrovce, které podléhá dehydrataci při této vysokoteplotní zkoušce. Morfologie obou maltovin byla sledována elektronovým rastrovacím mikroskopem. Dále byly odzkoušeny jejich technologické vlastnosti jako normová konzistence, počátek a konec tuhnutí a stanovení pH dle stávající normy ČSN EN 13454 – 2. Dále se zjišťoval měrný povrch, měrná hmotnost a vlastnosti zkoušených anhydritů byly srovnány. Označení vzorků v následujícím textu:

- ↪ Přírodní anhydrit modifikovaný směsným budičem – vzorek A
- ↪ Přírodní anhydrit – vzorek B
- ↪ Anhydritový compound – vzorek C

## 3.2 Druhá etapa

Druhá etapa byla věnována přípravě samonivelační potěrové směsi náležité konzistence dle receptury výrobce pojiva. Jednotlivé receptury s různými frakcemi kameniv nebo receptury předepsané normou jsou vždy provedeny z obou zkoušených pojiv pro jejich výsledné porovnání. U všech záměsí byly stanoveny pevnosti v tahu za ohybu a v tlaku po 3, 7, 14 a 28 dnech.

Jako první proběhlo stanovení pevnosti v tlaku a v tahu za ohybu vzorku A i C s normalizovaným pískem podle receptury v ČSN EN 13454 – 2 pro pojiva CAB, CAC a jejich zařazení do příslušné pevnostní třídy. Množství vody musí být upraveno tak, aby hodnota rozlité směsi byla větší jak 150 mm a přitom obsah vody nesmí být nižší jak 225 ml.

- ↪ *Pojivo A*: 675 g anhydrit (+1 % Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> a 4 % CEM I), 1350 g CEN písek, 225 ml voda, 0,1 % Melflux. Modifikovaný anhydrit vybranými budiči byl doplněn o plastifikační přísadu, aby dosáhl srovnatelného rozlité jako vzorek C.
- ↪ *Pojivo C*: 675 g anhydritový compound, 1350 g CEN písek, 225 ml voda.

Pro dále připravované samonivelační směsi se poměr dávkování pojiva a kameniv do záměsí odvíjí od záměsového listu společnosti Cemex a je pro oba zkoušené vzorky stejný. Měřítkem konzistence pro zajištění reprodukovatelnosti je rozlívňá zkouška Haegermannova trychtýře na rozlívňém terči. Požadovaná hodnota rozlité směsi je 240 ± 10 mm.

- ↪ *Záměs A*: Jako síranový budič byl vybrán síran sodný, jako alkalický aktivátor byl zvolen portlandský cement. Jejich hmotnostní poměr vůči pojivu (1 %:4 %) se v předešlém výzkumu na ústavu THD ukázal jako velmi účinný, a proto byl převzat pro modifikaci anhydritu v této práci. Proběhla optimalizace dávkování plastifikační přísady Melflux 4930F, pro dosažení maximálního účinku a minimalizace potřeby záměsové vody s výsledným dávkováním 0,3 % na hmotnost anhydritu.
- ↪ *Záměs C*: Pojivový compound se zamíchal pouze s kamenivem a záměsovou vodou do požadované konzistence.

Plnivo bylo použito dvou frakcí, a to 0 – 4 mm z lokality Žabčice a 4 – 8 mm těžené z lokality Náklo. Z nich byly připraveny dvě granulometricky odlišné receptury:

- ↪ *Záměs s označením 0 – 4*: Použité kamenivo je pouze frakce 0 – 4 mm.
- ↪ *Záměs s označením 0 – 8*: Použita byla směs uvedených dvou frakcí kameniv 0 – 4 mm a 4 – 8 mm. Výpočet křivky zrnitosti byl proveden dle Fullera, který obsahuje nejvíce jemné frakce a je vhodnější pro čerpatelné směsi.

$$\text{Fuller: } y = \left( \frac{D}{D_{MAX}} \right)^{0,5} \cdot 100 \%$$

Návrh granulometrické skladby je pro kvalitu samonivelačních směsí jednoznačně determinující. Kamenivo z různých lokalit se chová odlišně, zejména se různí jejich kompatibilita s použitými přísadami. Vzhledem k nižším pojivým schopnostem vzorku A byla navržena receptura s kamenivem 0 – 8 mm, od které se očekávalo menší množství rozdělovací vody a vyšší pevnosti v tlaku. Kamenivo 4 – 8 mm bylo zvoleno těžené, jelikož má výborný tvarový index a je vhodné pro snazší čerpatelnost směsi.

### 3.3 Třetí etapa

Třetí etapa byla věnována přípravě metody pro výzkum chování potěru v poloaplikačních podmínkách. Za použití receptury s kamenivem 0 – 4 mm se připravily vzorky v ocelových formách pro dlaždice o rozměrech 250 x 250 x 40 mm. Tyto formy byly naplněny směsí náležitě konzistence a následně byl potěr mírně rozvlněn pro imitaci postupu používaného v praxi. Na zatvrdlých vzorcích se sledovaly, vizuálně stanovitelné charakteristiky.

V počáteční fázi byla pozorována povrchová vrstva vzorků, a to především se zaměřením na sintrové vrstvy krystalizující na zatvrdlém potěru. Nesoudržná vrstva byla lehce ze vzorků odstraněna a byla podrobena XRD analýze pro zjištění mineralogického složení. V další fázi byly vzorky rozřezány a vizuálně posouzeny.

## 4. Použité přístroje

*Zkušební formy* – pro výrobu zkušebních těles byly použity ocelové formy o normových rozměrech 40 x 40 x 160 mm.

*Střásací stolek dle ČSN EN 1015 – 3* – pro stanovení zkoušky rozlití se u pojiv dle ČSN EN 13454 – 2 používá střásacího stolku.

*Rozlivný terč, Haegermannův kužel* – konzistence u samonivelačních směsí se obvykle stanovuje zkouškou rozlití. Pro potěrové směsi se využívá skleněná deska a rozlivný prstenec – Haegermannův kužel.



Obrázek č. 16: Haegermannův kužel a rozlivný terč

*Blainův přístroj* – stanovení měrného povrchu bylo určeno dle ČSN EN 196 – 6 permeabilní metodou na Blainově přístroji.

*Vicatův přístroj* – pro stanovení normální konzistence a počátku doby tuhnutí byl použit dle ČSN EN 196 – 3 Vicatův přístroj.

*Zatěžovací lis* – stanovení pevností vzorků 40x40x160 mm bylo uskutečněno na lisu 0 – 40 kN s přesností 0,1 kN, popř. 0 – 100 kN s přesností 0,5 kN na ÚTHD FAST.

*SEM analýza* – byla provedena na zařízení MIRA3 TESCAN. Zaznamenal se tvar a velikost zrn při zvětšení 1000x, 5000x a 10000x.

*Stanovení pH* – proběhlo měření na elektronickém pH – metru.

*XRD Rentgenová difrakční analýza* – byla provedena na přístroji difraktografu Empyrean od firmy PANalytical s charakteristickým zářením Cu K $\alpha$ ,  $\lambda = 0,15405 \text{ \AA}$ .

*DTA difrakční termická analýza* – byla provedena na derivatografu Mettler Toledo TGA/SDTA851e.

## 5. Použité suroviny

*Přírodní anhydrit* – jako hlavní zkoušený vzorek byl použit přírodní těžený anhydrit z Polska, který byl dodán v množství 50 kg firmou Morfico.

*Termický anhydrit* – pro experimentální účely byl použit komerčně používaný a průmyslově vyrobený compound pojiva s přísadami, který se vyrábí v SRN.

*Portlandský cement* – byl použit cement CEM I 42,5 R od výrobce Cement Hranice s deklarovaným počátkem tuhnutí 120 min.

*Použité kamenivo*

- ↪ 0 – 4 mm normalizovaný křemičitý písek CEN,
- ↪ 0 – 4 mm z lokality Žabčice – jedná se o prané těžené betonářské písky,
- ↪ 4 – 8 mm z lokality Náklo – jedná se o těžené kamenivo.

*Síran sodný  $\text{Na}_2\text{SO}_4$*  – pro práci byl použit síran sodný společnosti Penta Chrudim, dodávaný v práškové formě jako bezvodý a velmi čistý.

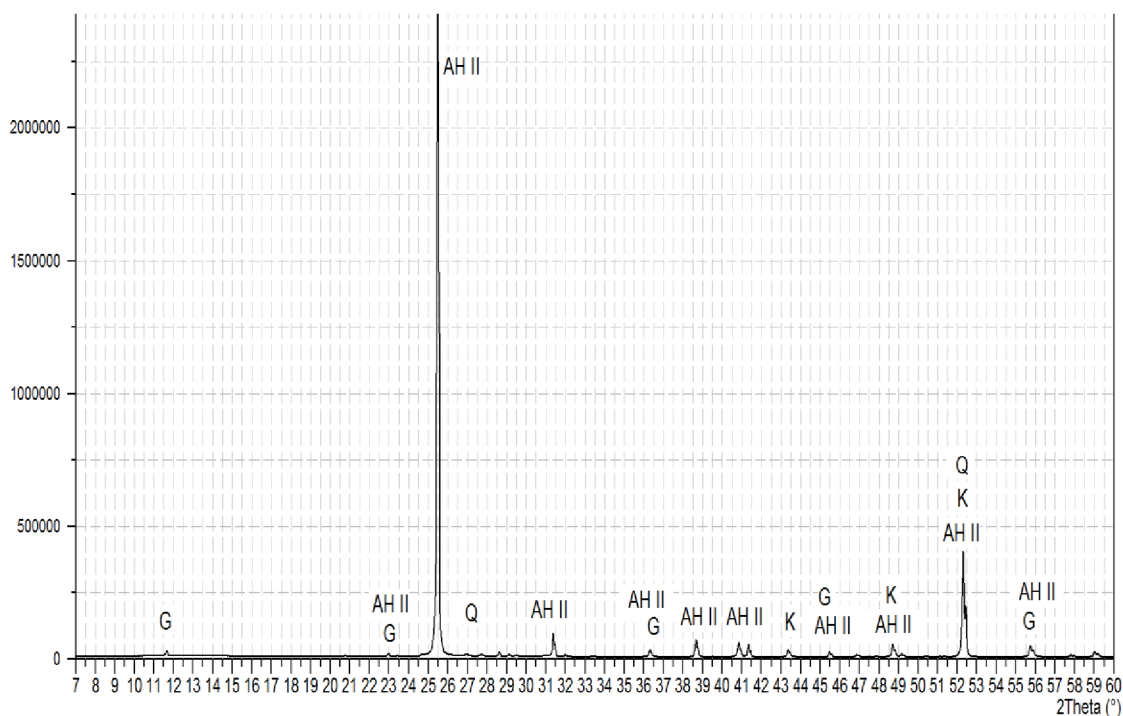
*Melflux ® 4930F* – tento superplastifikátor je založený na nejnovější technologii polymerů. Jedná se o práškový polykarboxylátether s typickými postranými řetězci polyethylen glykolu. Výrobce je BASF Construction Polymers GmbH.

## 6. Vyhodnocení

### 6.1 První etapa – rozbor vstupních surovin

#### 6.1.1 Mineralogické složení vzorků stanovené XRD analýzou

Mineralogický rozbor výchozích anhydritů, značených vzorek B a vzorek C, byl proveden metodou XRD analýzy, viz obrázek č. 17 a č. 18.

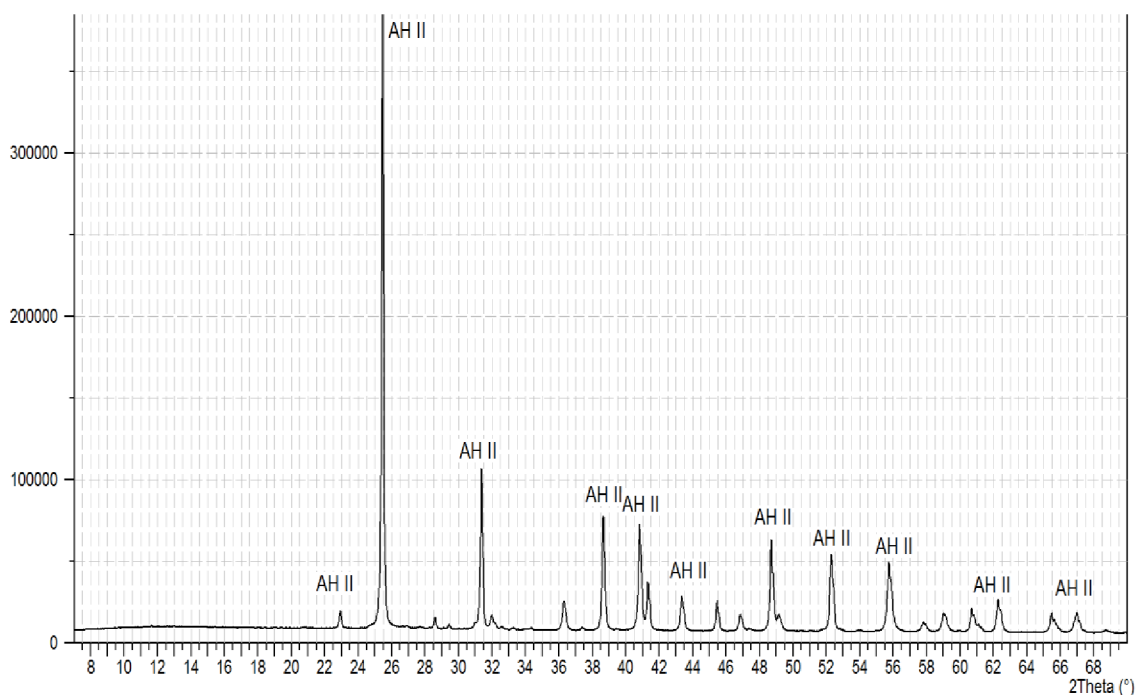


Obrázek č. 17: Rentgenogram přírodního anhydritu – vzorek B

V rentgenogramech vzorků byly identifikovány tyto minerály:

- ↻ sádrovec  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  ( $d_{\text{hkl}} = 7,56; 4,27; 3,79 \text{ \AA}$ ), označení G,
- ↻ anhydrit II  $\text{CaSO}_4$  ( $d_{\text{hkl}} = 3,49; 2,85; 2,33 \text{ \AA}$ ), označení A II,
- ↻ kalcit  $\text{CaCO}_3$  ( $d_{\text{hkl}} = 3,86; 3,035 \text{ \AA}$ ), označení K,
- ↻ křemen  $\text{SiO}_2$  ( $d_{\text{hkl}} = 4,21; 3,36 \text{ \AA}$ ), označení Q.

Jako hlavní byly v rentgenogramu A identifikovány difrakční linie anhydritu II, který byl akcesoricky doprovázen sádrovcem, dále byl identifikován i peak kalcitu a velmi slabě se objevila i linie křemene. XRD analýza s vyhodnocením kvantitativní fázové analýzy Rietveld přibližně vyhodnotila obsah sádrovce na 5,7 % a zastoupení kalcitu na 3,4 %, zbylých 90 % tvoří modifikace anhydritu II.



Obrázek č. 18: Rentgenogram termického anhydritu – vzorek C

U vzorku C XRD analýza identifikovala téměř výhradně linie anhydritu II, jak můžeme vidět na obrázku č. 18. Jedná se tedy o velmi čisté  $\text{CaSO}_4$  II N, kvantitativní fázové vyhodnocení Rietveld přibližně stanovilo čistotu AH II na 99 %.

### 6.1.2 Složení vzorků stanovené DTA

Termogram vzorku B vykázal na křivce DTA endotermické zvlnění s maximem  $140\text{ }^\circ\text{C}$ , které odpovídá dehydrataci sádrovce, na které po delším indiferentním intervalu navázala cca od teploty  $600\text{ }^\circ\text{C}$  endotermní prodleva rozkladu uhličitanu vápenatého.

Oproti tomu termogram vzorku C vykázal jediné endotermické zvlnění, a to jen při odchodu volné vody, žádné další rozkladné endotermické reakce nebyly identifikovány, čímž by bylo možné identifikovat sádrovec. Dále byl vyhodnocen malý exotermický efekt, který odpovídá oxidaci malého množství organických látek.

### 6.1.3 Technologické vlastnosti vzorků

Výsledky technologických vlastností vzorků jsou uvedeny v tabulce č. 9.

Tabulka č. 9: Technologické vlastnosti zkoumaných anhydritů

Technologické vlastnosti	Označení vzorku		
	Vzorek A	Vzorek B	Vzorek C
<b>Tuhnutí</b>			
Normální konzistence [%]	26	21	26
Počátek tuhnutí [hod:min]	2:05	7:35	4:20
Doba tuhnutí [hod:min]	3:30	20:00	6:30
<b>Stanovení pH</b>	11,5	-	11,5
<b>Měrný povrch</b> [ $\text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$ ]	288	291	408
<b>Měrná hmotnost</b> [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ]	2797	-	2821
<b>Pevnost v tlaku – 28 dnů</b> [MPa]	28,5	4,0	54,8
<b>Pevnost v tahu za ohybu – 28 dnů</b> [MPa]	5,7	1,2	7,3

Na základě výsledků zkoušek technologických vlastností lze konstatovat že:

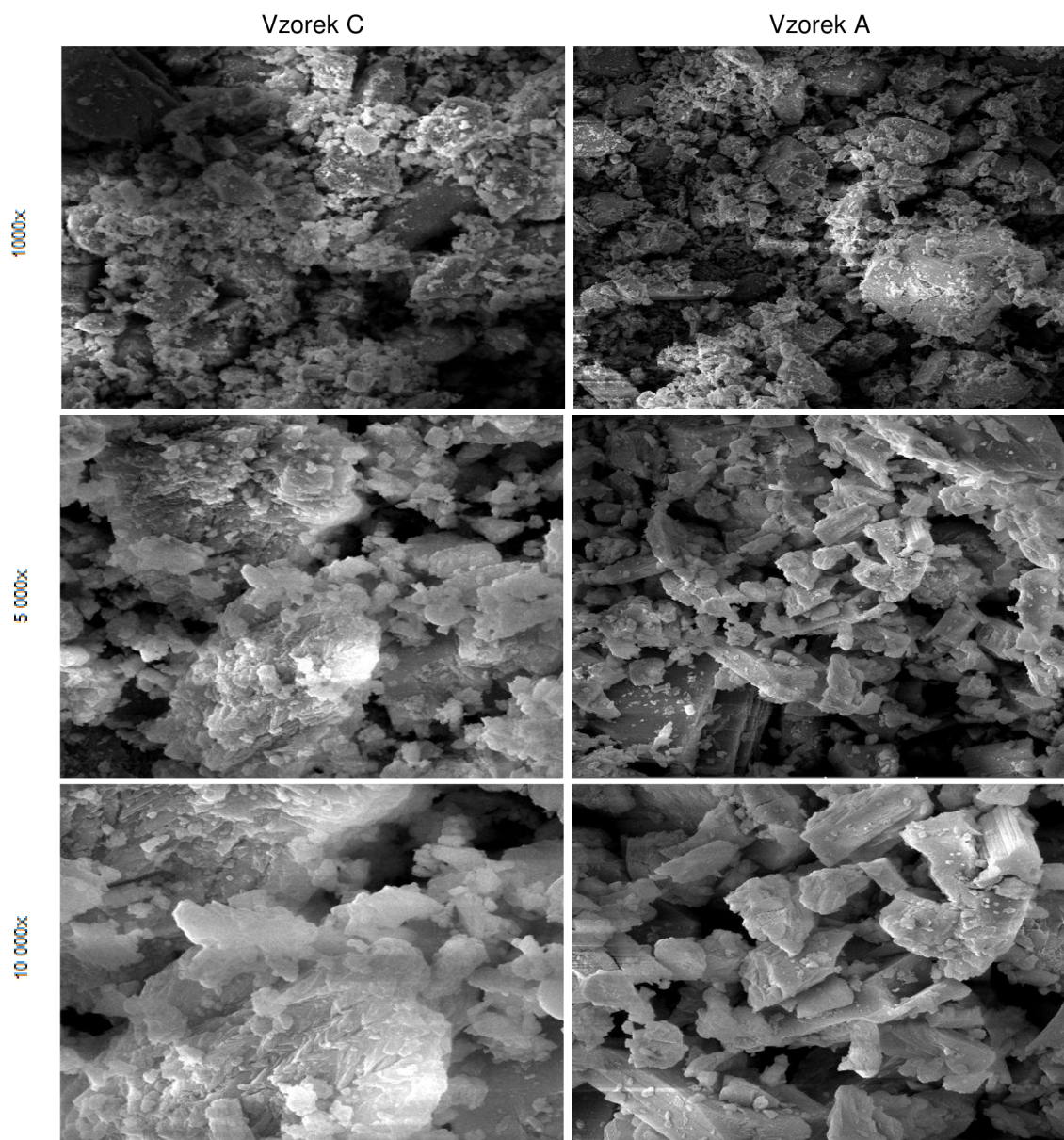
- ↪ Doba tuhnutí obou anhydritů je značně odlišná a závisí od stupně buzení anhydritu. Vzorek C pravděpodobně obsahuje i retardační přísadu, aby dosáhl požadované doby zpracovatelnosti 4 hodiny. Vzorek A vlivem aktivace hydratace zatuhl nejrychleji ze zkoušených vzorků, viz tabulka č. 9. Pro úplnost byl zkoušen nemodifikovaný vzorek B, který je téměř nerozpustný a doba tuhnutí dosahuje 20 hodin.
- ↪ Přestože vzorek C obsahuje přibližně o 10 % více  $\text{CaSO}_4$  oproti vzorku A, dosahuje v porovnání s ním téměř dvojnásobných pevností. Hodnota pevnosti v tlaku vzorku C (54,8 MPa) je velmi vysoká, a je jí dosaženo, zdá se, díky chemické čistotě, dokonalé technologii aktivace hydratace a způsobu výroby anhydritu. Zatuhnutí vzorku B dle všech ukazatelů však nesouvisí s chemickým procesem hydratace, ale jde spíše o fyzikální projev určité sedimentace částic až dílčí želatinace s nízkými pevnostmi. Vzorek A dosahuje pevností, které přímo neumožňují jeho použití spolu s kamenivem v praxi, a tak jeho vývoj bude podroben dalšímu výzkumu.
- ↪ Zvýšený měrný povrch v předchozím výzkumu ukázal, že má vliv na urychlení hydratace, avšak na výsledné pevnosti tento aspekt vliv téměř nemá.

### 6.1.4 SEM analýza

Zrna obou vzorků anhydritu se od sebe navzájem odlišují nejen velikostí, ale i tvarem zrn. Mají rombický charakter anhydritu II, který je lépe zřetelný u AH vzorku C



dle obrázku č. 19. Přírodní anhydrit tvoří lépe ohraničené a zřetelné krystalky velikosti cca 5 – 10  $\mu\text{m}$ , přičemž odhadnutá velikost zrn vzorku C činí 1 – 4  $\mu\text{m}$ .



Obrázek č. 19: Porovnání snímků SEM termického a přírodního anhydritu

## 6.2 Druhá etapa – příprava samonivelační směsi

### 6.2.1 Stanovení normové pevnosti pojiv dle ČSN EN 13454 – 2 pro pojiva CAB, CAC

Pro samonivelační směsi je požadováno rozliti větší jako 150 mm, čehož by samotná pojiva při dané dávce záměsové vody nedosáhla, proto jsou přidány plastifikační přísady v obou vzorcích tak, aby dosáhly podobného rozlité. Dosažené technologické hodnoty vzorků jsou uvedeny v tabulce č. 10.

Tabulka č. 10: Technologické vlastnosti pojiv CAB stanovené dle ČSN EN 13454 – 2

Technologické vlastnosti	Označení vzorku	
	Vzorek A	Vzorek C
<b>Konzistence – hodnota rozlití [mm]</b>	187	191
<b>Pevnost v tlaku [MPa]</b>		
3 dny	8,1	22,7
7 dnů	10,2	38,3
14 dnů	9,7	47,1
28 dnů	22,4	52,3
<b>Pevnost v tahu za ohybu [MPa]</b>		
3 dny	1,7	5,2
7 dnů	2,9	6,4
14 dnů	2,8	8,8
28 dnů	4,7	10,9
<b>Objemová hmotnost [kg·m<sup>-3</sup>]</b>		
3 dny	2281	2259
7 dnů	2161	2268
14 dnů	2136	2183
28 dnů	2216	2195

Dosažené výsledky v této zkoušce lze shrnout následovně:

- ↪ Pevnosti u připravené malty se stanovují dle normy pouze po 3 a 28 dnech, pro přehlednost byly provedeny zkoušky i po 7 a 14 dnech hydratace.
- ↪ Vzorek A svými výslednými pevnostmi jak po 3 dnech, tak i po 28 dnech naplnil požadavky normy pro pevnostní třídu 20.
- ↪ Vzorek C dosáhl velmi vysokých pevností, a proto jej lze zařadit do nejvyšší pevnostní třídy 40 dle ČSN EN 13454 – 1, i když vykázané pevnosti zřetelně převyšují požadavky této třídy.

## 6.2.2 Stanovení charakteristik receptury 0 – 4

Výsledky technologických vlastností vzorků jsou uvedeny v tabulce č. 11.

Tabulka č. 11: Technologické vlastnosti připravené potěrové směsi 0 – 4

Technologické vlastnosti	Označení vzorku	
	Vzorek A	Vzorek C
<b>průměrný rozliv směsi [mm]</b>	237	245
<b>vodní součinitel [-]</b>	0,31	0,50
<b>Pevnost v tlaku [MPa]</b>		
3 dny	6,2	7,5
7 dnů	7,0	15,5
14 dnů	10,2	18,6
28 dnů	8,5	23,9
<b>Pevnost v tahu za ohybu [MPa]</b>		
3 dny	1,4	2,3
7 dnů	1,7	3,8
14 dnů	2,7	5,4
28 dnů	2,4	7,2
<b>Objemová hmotnost [kg·m<sup>-3</sup>]</b>		
3 dny	2184	2200
7 dnů	2015	2127
14 dnů	1962	2028
28 dnů	1988	2104

Dosažené výsledky v této zkoušce lze shrnout následovně:

- ↪ Vzorek A měl vlivem použité plastifikační přísady i nižšího měrného povrchu velmi nízký vodní součinitel, ale i přesto vývoj pevností nebyl velký. Tato receptura proto není příliš vhodná pro aplikaci v praxi.
- ↪ Vzorek C s touto recepturou je v podstatě obdobný s běžně používaným potěrem. Při tomto dávkování pojiva se dosáhlo pevností, které lze očekávat u potěru třídy CA 20 – F4.

### 6.2.3 Stanovení charakteristik receptury 0 – 8

Výsledky technologických vlastností vzorků ukazuje tabulka č. 12.

Tabulka č. 12: Technologické vlastnosti připravené potěrové směsi 0 – 8

Technologické vlastnosti	Označení vzorku	
	Vzorek A	Vzorek C
<b>průměrný rozliv směsi [mm]</b>	241	237
<b>vodní součinitel [-]</b>	0,28	0,41
<b>Pevnost v tlaku [MPa]</b>		
3 dny	9,0	12,9
7 dnů	15,4	22,0
14 dnů	13,8	27,6
28 dnů	21,3	30,3
<b>Pevnost v tahu za ohybu [MPa]</b>		
3 dny	1,7	2,9
7 dnů	2,5	4,8
14 dnů	3,3	5,5
28 dnů	4,2	7,8
<b>Objemová hmotnost [kg·m<sup>-3</sup>]</b>		
3 dny	2291	2243
7 dnů	2244	2172
14 dnů	2156	2153
28 dnů	2236	2170

Dosažené výsledky v této zkoušce lze shrnout následovně:

- ↪ Receptura s větší frakcí kameniva vykazuje vyšší objemovou hmotnost a nižší vodní součinitel oproti receptuře 0 – 4, jelikož má menší povrch zrn, který se musí smočit. Vzorek A téměř dosáhl teoretického vodního součinitele 0,26, který je však vypočítán pro hydrataci veškerého anhydritu ve směsi. Dosavadní výzkum ukázal, že je schopno hydratovat cca 60 % přírodního AH II. V porovnání s recepturou 0 – 4 dosáhly oba vzorky vyšších pevností v každém sledovaném období.
- ↪ U vzorku A došlo se změnou granulometrie kameniva k dvojnásobnému nárůstu pevností v tlaku na hodnotu 21,3 MPa. Pevnostní charakteristiky této receptury jsou již konkurenceschopné běžně využívaným potěrům nižších pevnostních tříd.
- ↪ Větší zrna kameniva do jisté míry brání samonivelaci. I když směs zůstává tekutou, bylo by zapotřebí dodat více energie pro docílení rovného povrchu.



## 6.3 Třetí etapa – poloaplikační metoda pokládky potěru

### 6.3.1 Stanovení vizuálních charakteristik

Vizuální posouzení vzorků proběhlo na vytvořených dlaždicích dle obrázku č. 22.



Obrázek č. 20: Vzorek A



Obrázek č. 21: Vzorek C

O zatvrdlých vzorcích lze po rozřezání konstatovat:

- ↪ Vzorek A neobsahoval na rozdíl od vzorku C odpěňovací přísadu a na jeho povrchu i na řezu byly patrné malé dutinky vzniklé při míchání či vlivem plastifikační přísady, viz obrázek č. 20. Na obrázku č. 21 je mírně patrná sedimentace větších zrn kameniva, ale ve větší míře nastala u vzorku A. Vzorek C vykazoval hladký povrch bez bublinek a sedimentace u něj téměř nenastala.

### 6.3.2 Rozbor povrchové vrstvy potěru

Výsledný šlem vzniklý na vzorku A je dokumentován na obrázku č. 23 a č. 24.



Obrázek č. 232: Čerstvá potěrová směs v ocelové formě



Obrázek č. 243: Detail vykrystalizované vrstvy sintru na vzorku A



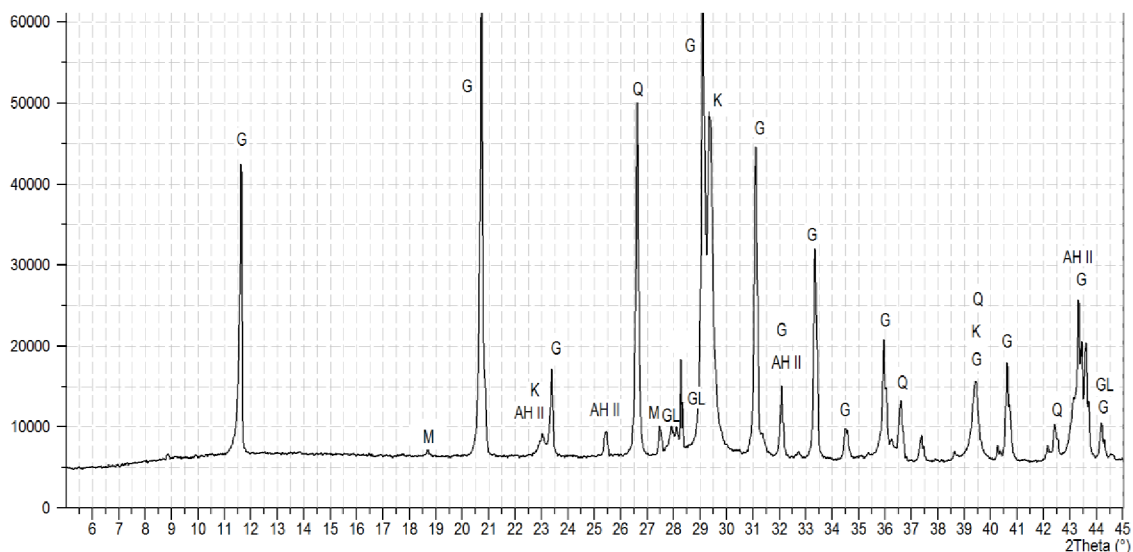
Obrázek č. 22: Vrstva vzniklého šlemu výšky několika milimetrů na vzorku A

Po pozorování povrchových vrstev potěru lze konstatovat:

- ↪ Na vzorku A vykrytalizovala souvislá vrstva okem patrných krystalků, která nebyla tak homogenní a ani nebyla všude stejně vysoká. Takto vzniklý šlem je důsledek použití síranu sodného jako aktivátoru hydratace a jeho reakcí s anhydritem. Jeho mineralogické složení je podrobena XRD analýze.
- ↪ U vzorku C se na povrchu objevila bílá homogenní vrstva šlemu o tloušťce desetín milimetru. Tato vrstva se výrazně liší od šlemu na vzorku A, z čehož je patrné, že v komerčním compoundu je obsažen jiný budič než ve vzorku A. Množství odebraného šlemu nebylo dostačující pro stanovení mineralogického složení.

Proběhlá XRD analýza šlemu vzniklého na vzorku A identifikovala tyto minerály:

- ↪ sádrovec  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  ( $d_{\text{hkl}} = 7,56; 4,27; 3,79 \text{ \AA}$ ), označení G,
- ↪ anhydrit II  $\text{CaSO}_4$  ( $d_{\text{hkl}} = 3,49; 2,85; 2,33 \text{ \AA}$ ), označení A II,
- ↪ kalcit  $\text{CaCO}_3$  ( $d_{\text{hkl}} = 3,86, 3,035 \text{ \AA}$ ), označení K,
- ↪ křemen  $\text{SiO}_2$  ( $d_{\text{hkl}} = 4,21, 3,36 \text{ \AA}$ ), označení Q,
- ↪ mirabilit  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  ( $d_{\text{hkl}} = 5,49; 4,766; 3,253 \text{ \AA}$ ), označení M,
- ↪ glauberit  $\text{Na}_2\text{Ca}(\text{SO}_4)_2$  ( $d_{\text{hkl}} = 3,173; 3,108; 2,034 \text{ \AA}$ ), označení GL.



Obrázek č. 25: Rentgenogram odloučené vrstvy šlemu na vzorku A

Jako hlavní byly v rentgenogramu šlemu ve vzorku A identifikovány difrakční linie sádrovce, který byl v několika případech doprovázen anhydritem II, viz obrázek č. 26. Dále se slabě objevila i linie křemene a kalcitu, marginálně byly identifikovány difrakční linie podvojných solí mirabilitu a glauberitu, které vznikají při síranové aktivaci hydratace.

## Diskuze a závěr

Cílem bakalářské práce byla problematika vývoje anhydritových samonivelačních potěrů. Za tímto účelem byly vybrány dva surovinové zdroje pro jejich možné porovnání. Jeden je komerčně užívaný průmyslově vyrobený anhydrit ze SRN, druhým je přírodní anhydrit těžený v Polsku.

Jedná-li se o kvalitu zkoušených anhydritů, je zřejmé, že se vzorky značně liší, a to hlavně vlivem jejich různé geneze. Znečištění přírodního anhydritu je determinováno jeho evaporací spolu se sádrovcem a kalcitem. Termický anhydrit se dle zjištění mineralogicky sestává výhradně ze  $\text{CaSO}_4$  II a je morfologicky mírně odlišný od přírodního. Průmyslový anhydrit spolu s nutnými přísadami tvoří compound, který s vodou hydratuje za vývinu velmi vysokých pevností okolo 55 MPa, což je téměř dvojnásobek hodnoty, která byla dosažena s modifikovaným přírodním anhydritem.

Rozdílné pojivé vlastnosti zkoušených maltovin se potvrdily při normové zkoušce pojiv, kdy komerční compound pevnostními charakteristikami výrazně převýšil požadavky nejvyšší pevnostní třídy 40. Přírodní modifikovaný anhydrit se svými dosaženými pevnostmi ještě řadí do pevnostní třídy 20 a je tedy klasifikován jako pojivo. Pevnosti připravených maltových směsí byly adekvátní k výchozím pevnostem samotných pojiv. Samonivelační směs na bázi přírodního anhydritu modifikovaného směsným budičem s kamenivem 0 – 4 mm dosáhla i přes přídavek velmi účinné plastifikační přísady pevnosti v tlaku pouhých 10 MPa. Obdobná směs s kamenivem 0 – 8 mm dosáhla díky změně granulometrie pevnosti v tlaku 21,3 MPa. Takto připravená směs je po pevnostní stránce použitelná pro aplikaci v praxi. Po technologické stránce je zapotřebí se dále zabývat kompatibilitou kameniv i pojiva s plastifikační přísadou a také přidávkem zušlechťujících přísad, především odpěňovací. Další vývoj by mohl směřovat k docílení plynulejší křivky zrnitosti a především k optimalizaci budičů hydratace přírodního anhydritu. V bakalářské práci byl jako aktivátor použit síran sodný, který však zapříčiňuje tvorbu nežádoucí sintrové vrstvy na povrchu potěru, a to v poměrně silné vrstvě.

Otázkou pro další výzkum zůstává to, do jaké míry je dán tak markantní rozdíl v dosahovaných pevnostech obou anhydritů převážně jejich genezí, různými budiči hydratace či množstvím a druhem přísad. Samonivelační směs na bázi přírodního anhydritu navržená v rámci práce má potenciál k využití především tam, kde by se potěr aplikoval na nestlačitelný podklad, například pěnobeton. Výsledky této práce budou následně podkladem k dalšímu výzkumu dané problematiky v diplomové práci.

## Použitá literatura

- [1] SCHULZE, W., *Necementové malty a betony*. 1. vyd. Překlad Vladimír Lach. Praha: SNTL, 1990, 271 s. ISBN 80-030-0188-9
- [2] ŠKVÁRA, F., *Technologie anorganických pojiv I*. 1. vyd. Praha: VŠCHT, 1995, 150 s. ISBN 80-708-0224-3.
- [3] BÁRTA, R., *Technologie silikátů* (Sborník výzkumných prací III), SNTL, Praha, 1957
- [4] Ložiska nerud [online]. 2006 [cit. 2014-02-10].  
Dostupné z: <http://geologie.vsb.cz/loziska/loziska/nerudy/sadrovec.html>
- [5] PALACHE, C. et al. *Anhydrit. Mineral data publishing*. [online]. 2005 [cit. 2013-12-10].  
Dostupné z: <http://www.handbookofmineralogy.com/pdfs/anhydrite.pdf>
- [6] ŠVEC, Marek. *Vývoj síranového pojiva z přírodního anhydritu*: diplomová práce. Brno, 2007. 77 s. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební. Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Marcela Fridrichová, CSc.
- [7] GAZDIČ, Dominik. *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.
- [8] GHAZAL A., VLADIMIROG. Papangelakis *Mechanism and kinetics of gypsum–anhydrite transformation in aqueouselectrolyte solutions*, Elsevier, Hydrometallurgy, March 2011, Pages 122–129
- [9] Gypstrend s.r.o. sádrovcové doly [online]. [cit. 2014-02-10].  
Dostupné z: <http://www.gypstrend.cz/?clanek=1>
- [10] USGC: Mineral commodity summary, [online]. 2014 [cit. 2014-04-05]  
Dostupné z: <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2014/mcs2014.pdf>
- [11] Těžba sádrovce v České republice  
Dostupné z: [http://www.geology.cz/extranet/publikace/online/surovinove-zdroje/SUROVINOVE\\_ZDROJE\\_CESKE\\_REPUBLIKY\\_2013.pdf](http://www.geology.cz/extranet/publikace/online/surovinove-zdroje/SUROVINOVE_ZDROJE_CESKE_REPUBLIKY_2013.pdf)
- [12] TOMANCOVÁ, L., Využití odpadů a druhotných materiálů jako alternativních surovin a paliv v cementářské výrobě. 2012. Dostupné z: [http://www.vustah.cz/wp-content/uploads/vysledky\\_vezpom/2008\\_Tomancova.pdf](http://www.vustah.cz/wp-content/uploads/vysledky_vezpom/2008_Tomancova.pdf)
- [13] Odsiřování spalin v elektrárnách skupiny ČEZ [online]. 2006 [cit. 2014-01-15].  
Dostupné z: <http://www.cez.cz/edee/content/file/investori/odsirovani.pdf>
- [14] KUTNAROVÁ, A., *Spalovna komunálního odpadu malešice x tepelné elektrárny prunéřov* [online]. 2013 [cit. 2014-04-15].  
Dostupné z: [http://www1.fs.cvut.cz/stretech/2013/sbornik\\_2013/79.pdf](http://www1.fs.cvut.cz/stretech/2013/sbornik_2013/79.pdf)
- [15] Prospekt akciové společnosti PRECHEZA pro bílý průmyslový sádrovec PREGIPS

- [16] PIRONON, J., DUBESSY, J. et al., *Dehydration of gypsum under dry CO<sub>2</sub> injection*, Energy Procedia 37 2013, Pages 4575 – 4582
- [17] BISHOP, J. L., LANE M. D., et al *Properties of Ca-sulfates: Gypsum, Bassanite and Anhydrite*, American Mineralogist, September, 2013
- [18] *Ein Überblick über die Fluorchemie* [online]. [cit. 2014-05-04].  
Dostupné z: <http://www.fluorchemie.de/files/eurofluor.pdf>
- [19] PALACHE, C. et al. *Anhydrit. Mineral data publishing*. [online]. 2005 [cit. 2014-04-10].  
Dostupné z: <http://www.handbookofmineralogy.com/pdfs/gypsum.pdf>
- [20] T. SIEVERT, A. WOLTER, N.B. SINGH, *Hydration of anhydrite of gypsum (CaSO<sub>4</sub>.II) in a ball mill*, Cement and concrete research, February, 2004, Pages 623–630
- [21] FRIDRICOVÁ, M., BENDA J., *Modifikace přírodního anhydritu*, IV. odborná konference MALTOVINY, 2005, Brno
- [22] ČSN EN 13813. *Potěrové materiály a podlahové potěry – Potěrové materiály – Vlastnosti a požadavky*. Praha: ČNI, 2003.
- [23] ČSN 74 4505. *ČSN 74 4505 Podlahy – Společná ustanovení*“. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
- [24] Cemex *Technologický předpis* [online]. [cit. 2014-05-20]. Dostupné z: [http://www.specialni-produkty.cz/Anhylevel\\_technologicky\\_predpis.html](http://www.specialni-produkty.cz/Anhylevel_technologicky_predpis.html)
- [25] Českomoravský beton *Technický list* [online]. [cit. 2014-05-18].  
Dostupné z: <http://www.lite-smesi.cz/dokumenty-ke-stazeni/technicke-listy.html>
- [26] ŠTENKO, M. *Studium objemových změn samonivelačních podlahových hmot z hlediska jejich konečné objemové stability, ve vazbě na jejich materiálové složení a volbu vhodných měřících metod*. Disertační práce. 2011. Brno, 129s Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební. Ústav stavebních hmot a dílců. Vedoucí disertační práce. Šťastník Stanislav.
- [27] WIEGRINK, K., *Modellierung des Austrocknungsverhaltens von Calciumsulfat-Fließestrichen und der resultierenden Spannungen und Verformungen* München, 2002, 142s. Technische Universität München
- [28] CESNIENE, J., *Influence of phosphatic impurities on the anhydrite binding material of phosphogypsum*, Lithuanian Energy Institute, April, 2007, Pages 153 – 160
- [29] Information der Industrierverband WerkMörtel, *Die Rohstoffe für Calciumsulfat-Fließestrich*, Duisburg, [online] 2009 [cit. 2014-05-18]. Dostupné z: <http://www.gips.de/wp-content/uploads/downloads/2011/11/rohstoffe.pdf>
- [30] FRIDRICOVÁ, M., *Maltoviny II*. (Přednáška), Brno, 20.3. 2014



## Seznam obrázků

Obrázek č. 1: Číré zdvojitění krystalu sádrovce [4].....	2
Obrázek č. 2: Krystal monoklinického sádrovce ve zvětšení [8].....	2
Obrázek č. 3: Krystaly sádrovce z Koberic znečištěné šedými jíly [4].....	4
Obrázek č. 4: Schéma dehydratace sádrovce do konečné modifikace $\text{CaSO}_4 \text{ I}$ [1].....	9
Obrázek č. 5: Krystalografické struktury anhydritu, sádrovce a bassanitu jsou tvořeny polyedry Ca, které sdílejí vazbu s tetraedry $\text{SO}_4$ a utvářejí řetězec. Množství vázané $\text{H}_2\text{O}$ a způsob spojení Ca s $\text{SO}_4$ charakterizuje daný minerál. [17].....	10
Obrázek č. 6: Krystal přírodního anhydritu [4].....	13
Obrázek č. 7: SEM snímek termického anhydritu [29].....	15
Obrázek č. 8: REM snímek termického anhydritu [29].....	15
Obrázek č. 9: Rozpuštěnost hydratovaného dihydrátu, hemihydrátu síranu vápenatého a anhydritu v závislosti na teplotě [2].....	16
Obrázek č. 10: Časová závislost stupně hydratace ve vodní suspenzi hemihydrátové sádry (DH – dihydrát, HH – hemihydrát) [2].....	17
Obrázek č. 11: Schéma hydratace anhydritu [20].....	18
Obrázek č. 12: Počátek ukládání směsi topného potěru na separační vrstvě.....	26
Obrázek č. 13: Nesoudržná vrstva šlemu vykrytalizovaná na povrchu potěru dodávaného firmou Cemex [24].....	28
Obrázek č. 14: Charakteristika časového průběhu rychlosti sušení a rozložení vlhkost [27].....	28
Obrázek č. 15: Jednostranné vysychání CSF ihned od zamíchání při normálních podmínkách 20 °C / 65 % relativní vlhkost. [27].....	29
Obrázek č. 16: Haegermannův kužel a rozlivný terč.....	39
Obrázek č. 17: Rentgenogram přírodního anhydritu – vzorek B.....	41
Obrázek č. 18: Rentgenogram termického anhydritu – vzorek C.....	42
Obrázek č. 19: Porovnání snímků SEM termického a přírodního anhydritu.....	44
Obrázek č. 20: Vzorek A.....	47
Obrázek č. 21: Vzorek C.....	47
Obrázek č. 22: Čerstvá potěrová směs v ocelové formě.....	47
Obrázek č. 23: Detail vykrytalizované vrstvy sintru na vzorku A.....	47
Obrázek č. 24: Vrstva vzniklého šlemu výšky několika milimetrů na vzorku A.....	47
Obrázek č. 25: Rentgenogram odloučené vrstvy šlemu na vzorku A.....	48

## Seznam tabulek

Tabulka č. 1: Těžba sádrovce v ČR [11].....	4
Tabulka č. 2: Světová těžba sádrovce v mil. t [10].....	4
Tabulka č. 3: Produkce energosádrovce v ČR [13, 14].....	6
Tabulka č. 4: Zdroje síranových pojiv [1].....	8
Tabulka č. 5: Rozdíly mezi hemihydráty $\alpha$ a $\beta$ .....	11
Tabulka č. 6: Budiče pro anhydritové pojivo [1].....	20
Tabulka č. 7: Požadavky na nejmenší tloušťky plovoucích potěrů při stlačitelnosti podkladních vrstev $\leq 3 \text{ mm}$ ( $\leq 5 \text{ mm}$ pro plošné zatížená $\leq 2 \text{ kN/m}^2$ a pro plošné zatížená $\leq 3 \text{ kN/m}^2$ ).....	24
Tabulka č. 8: Požadovaná nejvyšší dovolená vlhkost cementového potěru nebo potěru na bázi síranu vápenatého v hmotnostních % v době pokládky náslapné vrstvy [23].....	24
Tabulka č. 9: Technologické vlastnosti zkoumaných anhydritů.....	43
Tabulka č. 10: Technologické vlastnosti pojiv CAB stanovené dle ČSN EN 13454 – 2.....	45
Tabulka č. 11: Technologické vlastnosti připravené potěrové směsi 0 – 4.....	45
Tabulka č. 12: Technologické vlastnosti připravené potěrové směsi 0 – 8.....	46