



cement / vápno / sádra / betony / malty / omítky  
vápence pro odsiřování / vápence pro hnojení  
odpady / normy a marketing

---

# Vápno, cement, ekologie 2022

Sborník přednášek – 28. odborný seminář

**17.–19. 5. 2022**

Kongresový hotel Jezerka

---

Sborník přednášek

**Vápno, cement, ekologie**

Kongresový hotel Jezerka

**Redakce**

Výzkumný ústav maltovin Praha, s.r.o.  
153 00 Praha 5 – Radotín, Na Cikánce 2

Ing. Stanislava Rollová

Tel.: 602 115 201

e-mail: [rollova@vumo.cz](mailto:rollova@vumo.cz)

[www.vumo.cz](http://www.vumo.cz)

**Sborník**

**Vápno, cement, ekologie 2022**

28. odborný seminář

Kolektiv autorů

Vydavatel: Výzkumný ústav maltovin Praha

1. vydání

květen 2022

brožované

**ISBN 978-80-906541-7-4**

## Obsah:

<b>Aktuální novinky v oblasti legislativy odpadového hospodářství</b> <i>Mgr. Petra Urbanová, Ministerstvo životního prostředí</i> .....	5 – 8
<b>Technologická řešení pro zpracování a využití nejen alternativních paliv</b> <i>Aleš Bednář, ERITECH a.s.</i> .....	9 – 15
<b>Technologie pro dopravu a dávkování alternativních paliv</b> <i>Ing. Jan Tůma, BEUMER Group Czech Republic a.s.</i> .....	16 – 24
<b>Zatopené mosty na vodním díle Švihov</b> <i>Ing. Vladimír Veselý, Svaz výrobců betonu ČR</i> .....	25 – 36
<b>Komplexní řešení v energetice a v těžbě a zpracování minerálních surovin</b> <i>Ing. Pavel Antonín, Aleš Čekal, Weir Minerals Czech &amp; Slovak, s.r.o.</i> .....	37 – 40
<b>Novinky v oblasti měření sypkých materiálů</b> <i>Bc. Jan Plíhal, LEVEL INSTRUMENTS CZ – LEVEL EXPERT s.r.o.</i> .....	41 – 45
<b>Realizace průmyslového odsávání v oblasti výroby vápna a cementu</b> <i>Miroslav Krejčíř, Herding, TŽP spol. s r.o.</i> .....	46 – 52
<b>Analýza plynu při procesu spalování v rotační peci</b> <i>Ing. Michal Rejzek, SICK spol. s r.o.</i> .....	53 – 58
<b>Praktické ukázky využití simulací v cementárenství</b> <i>Ing. Ondřej Čepl, Ing. Jiří Vondál, Ph.D., SVS FEM s.r.o.</i> .....	59 – 72
<b>Paliva z odpadů jsou budoucností energetického využití nerecyklovatelných materiálů</b> <i>Ing. Petr Havelka, Česká asociace odpadového hospodářství</i> .....	73 – 81
<b>Technologie pro balení a dopravu cementu a maltových směsí</b> <i>Ing. David Horyna, BEUMER Group Czech Republic a.s.</i> .....	82 – 86
<b>Role fotovoltaiky při snižování cen energie pro průmysl</b> <i>Tomáš Korostenský, Solární Asociace</i> .....	87 – 91
<b>Monitorování iontové mobility sodíku a draslíku cementovou maticí za účelem stanovení citlivosti vzniku ASR způsobených alkáliemi z vnějšího prostředí</b> <i>Ing. Martin Janča, Centrum materiálového výzkumu FCH VUT</i> .....	92 – 107
<b>Hodnocení vlivu obsahu strusky v cementu na riziko vzniku alkalicko-křemičité reakce</b> <i>Ing. Kateřina Jiroušková, Výzkumný ústav maltovin Praha, s.r.o.</i> .....	108 - 116



**Porovnání metodik vyluhování těžkých kovů a dalších parametrů ze stavebních materiálů pro styk s pitnou vodou bez a s umělou karbonatací**

*Ing. Šárka Klímešová, Výzkumný ústav maltovin Praha, s.r.o. .... 117 – 119*

**Příprava beta dikalcium silikátu se stabilizátorem**

*Ing. Simona Ravaszová, doc. Ing. Karel Dvořák, Ph.D., Fakulta stavební, Vysoké učení technické v Brně ..... 120 – 127*

# **AKTUÁLNÍ NOVINKY V OBLASTI LEGISLATIVY ODPADOVÉHO HOSPODÁŘSTVÍ**

*Mgr. Petra Urbanová, Ministerstvo životního prostředí*

Nová odpadová legislativa (nový zákon o odpadech č. 541/2020 Sb., zákon o výrobcích s ukončenou životností č. 542/2020 Sb. a novela zákona o obalech č. 545/2020 Sb.), která nabyla účinnosti dne 1. ledna 2021, zásadně podporuje přechod na oběhové hospodářství a reflektuje všechny závazné cíle vyplývající z přijatého evropského práva.

Zároveň finalizuje příprava aktualizace Plánu odpadového hospodářství České republiky pro období 2015–2024, který představuje základní strategický dokument a vizi pro odpadové hospodářství do roku 2035. Aktualizace byla pozdržena v důsledku přípravy nových právních předpisů, nicméně na konci 1. čtvrtletí 2022 byl Plán odpadového hospodářství České republiky předložen ke schválení vládě České republiky. Následovat bude aktualizace krajských Plánů odpadového hospodářství.

Návrh nového zákona o omezení dopadu vybraných plastových výrobků na životní prostředí, který transponuje požadavky směrnice o omezení dopadu některých plastových výrobků na životní prostředí, opakovaně schválila vláda v listopadu 2021. Návrh zákona je projednáván v Poslanecké sněmovně Parlamentu České republiky.

## **PROVÁDĚCÍ PŘEDPISY K ZÁKONU O OPADECH**

Dne 7. srpna 2021 nabyla účinnosti vyhláška č. 273/2021 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady (dále jen „vyhláška o podrobnostech nakládání s odpady“). Vyhláška zejména upřesňuje některé povinnosti zákona č. 541/2020 Sb., o odpadech (dále jen „zákon o odpadech“) a zajišťuje tak povinnosti vyplývající z evropských předpisů a spočívající v povinnosti zajistit ochranu životního prostředí a lidského zdraví při nakládání s odpady.

Oproti předchozí právní úpravě vyhláška zahrnuje oblasti, které byly dříve upraveny řadou samostatných prováděcích předpisů. K novému zákonu o odpadech byla samostatně vydána pouze vyhláška, kterou se stanoví katalog odpadů a upravuje

hodnocení nebezpečných vlastností odpadů, a dále budou postupně vydávány samostatné vyhlášky, které budou stanovovat doplňující kritéria pro vedlejší produkty a přechod z odpadového režimu. Kromě uvedených oblastí upravuje vyhláška o podrobnostech nakládání s odpady všechny podrobnosti, které měly být k novému zákonu o odpadech stanoveny na úrovni prováděcích předpisů.

Hlavní principy dosavadních vyhlášek zůstaly z velké části zachovány. V rámci revize právní úpravy byla předchozí právní úprava v prováděcích předpisech adaptována na novou zákonnou právní úpravu, zejména pokud jde o novou terminologii, instituty a povinnosti. Vyhláška o podrobnostech nakládání s odpady ale přinesla i některé novinky oproti stávající právní úpravě, např. změnu podmínek u stanovování ekotoxicity pro účely zasypávání (využívání odpadů na povrchu terénu), změnu požadavků na limity obsahu škodlivin v odpadech využívaných k zasypávání nebo změnu podmínek využití strusky ze spalování ostatních odpadů k zasypávání.

V dubnu 2022 vyšla novela vyhlášky o podrobnostech nakládání s odpady. Přílohou č. 4 vyhlášky byl v bodě A vymezen seznam odpadů, které je zakázáno ukládat na skládky, neboť jeho uložení na skládku může mít negativní dopad na životní prostředí nebo zdraví lidí. Poslední z položek tohoto seznamu byla položka č. 11: Odpady skupiny 18 a odpady vzniklé jejich úpravou. Jednalo se zejména o odpady ze zdravotní a veterinární péče. Následná praxe však ukázala, že kompletně zakázat skládkování odpadů ze zdravotní a veterinární péče bez přechodného období je v tuto chvíli na území České republiky za dané situace velmi problematické (zejména v některých regionech), což je dále komplikováno stávající pandemickou situací.

Požadavek na zákaz ukládání odpadů ze zdravotní a veterinární péče na skládku lze obecně považovat za zcela oprávněný, zejména s ohledem na složení těchto odpadů a jejich možné dopady na životní prostředí a zdraví lidí. V tuto chvíli však v některých regionech nejsou dostatečné kapacity pro spalování nebo energetické využití odpadů ze zdravotní a veterinární péče.

MŽP tedy novelou vyhlášky o podrobnostech nakládání s odpady nastavilo přechodné období pro zákaz ukládání na skládku odpadů skupiny 18 až do konce roku 2027, aby se předešlo vzniku kritické situace v oblasti nakládání s těmito odpady. Předpokládá se, že během tohoto přechodného období budou kapacity odpadových zařízení v potřebném rozsahu navýšeny.

## **VYHLÁŠKA, KTEROU SE STANOVÍ PODMÍNKY, PŘI JEJICHŽ SPLNĚNÍ PŘESTÁVÁ BÝT PALIVO Z ODPADU ODPADEM**

Zákon č. 541/2020 Sb., o odpadech, neumožňuje, aby s výjimkou paliv vyrobených z biomasy přestala být paliva vyrobená z odpadu až do svého finálního zpracování odpadem. To výrazným způsobem ztěžuje výrobu a uplatnění takovýchto paliv. Zároveň větší energetické využívání odpadu právě ve formě paliv vyrobených z odpadu může přispět k odklonu odpadů od skládkování. Ministerstvo životního prostředí proto připravilo návrh vyhlášky, kterou se stanoví podmínky, při jejichž splnění přestává být palivo z odpadu odpadem.

V návaznosti na příslušné zmocnění v zákoně č. 541/2020 Sb., o odpadech, navrhovaná vyhláška vymezuje podrobnosti, při jejichž splnění přestává být palivo vyrobené z odpadu a palivo vyrobené z odpadní biomasy odpadem. Možnost nastavit na národní úrovni kritéria, za nichž může odpad přestat být odpadem, a základní požadavky na tato kritéria, je stanovena v čl. 6 směrnice Evropského parlamentu a Rady 2008/98/ES ze dne 19. listopadu 2008 o odpadech a o zrušení některých směrnic. Návrh vyhlášky odpovídá jak požadavkům směrnice, tak zmocnění v zákoně o odpadech.

Návrh vyhlášky dále nastavuje specifické požadavky na informace o odpadu vstupujícím do výroby paliva z odpadu a požadavky na vedení průběžné evidence v zařízeních, která vyrábějí paliva z odpadu.

Vyhláška nastavuje kritéria pro dva typy odpadu, které mohou přestat být odpadem. Jedná se o základní kritéria pro paliva z odpadů a dále o zvláštní požadavky na paliva vyrobená z odpadní biomasy. Základní rozdíl vychází z toho, že palivo vyrobené z odpadní biomasy splňuje zároveň definici biomasy podle vyhlášky č. 415/2012 Sb., o přípustné úrovni znečišťování a jejím zjišťování a o provedení některých dalších ustanovení zákona o ochraně ovzduší, ve znění pozdějších předpisů, a může tak být spalováno za jednodušších pravidel podle právní úpravy v oblasti ochrany ovzduší.

Nezbytnost změny stávající právní úpravy je dána zejména snahou o zjednodušení využívání paliv z odpadů, které by mělo odklonit odpady ze skládek směrem k jejich energetickému využívání.

## **STRATEGICKÝ RÁMEC CIRKULÁRNÍ EKONOMIKY V ČR**

Strategický rámec cirkulární ekonomiky České republiky 2040 (dále také „Strategický rámec“) byl schválený vládou ČR 13. prosince 2021 a formuluje priority a kroky vedoucí k dlouhodobé udržitelnosti České republiky proti budoucím ekologickým hrozbám, včetně změny klimatu a ztráty biodiverzity, a rozvoji udržitelného sociálního systému. Strategický rámec definuje jednotlivé cíle a stanovuje opatření a nástroje pro jejich dosažení.

Účelem Strategického rámce je formulovat předpoklady, cíle a opatření pro to, aby byla Česká republika prostřednictvím cirkulární ekonomiky dlouhodobě odolná vůči budoucím environmentálním hrozbám včetně změny klimatu a rozvíjela celkově udržitelný společenský systém. Česká republika musí být schopna reagovat na budoucí zásadní výzvy i v souvislosti s pandemií nemoci COVID-19. Budování cirkulární ekonomiky by se mělo stát prioritou České republiky. Strategický rámec cirkulární ekonomiky České republiky 2040 rovněž reflektuje nezbytnost prosazení principů oběhového hospodářství a zdůrazňuje oběhové hospodářství jako prioritu České republiky. Oběhové hospodářství se stalo jedním z klíčových konceptů v oblasti řady politik EU.

Strategický rámec stanovuje 10 prioritních oblastí, kterými jsou: produkty a design; průmysl, stavebnictví, suroviny a energetika; bioekonomika a potraviny; spotřeba a spotřebitelé; odpadové hospodářství; voda; výzkum, vývoj a inovace; vzdělávání a znalosti; ekonomické nástroje; cirkulární města a infrastruktura.

Dokument nastavuje další směřování rozvoje cirkulární ekonomiky v České republice do roku 2040 a umožnit i čerpání prostředků z EU fondů a Národního plánu obnovy, které budou stěžejními finančními nástroji pro cirkulární ekonomiku v České republice. V roce 2022 bude připraven navazující implementační Akční plán pro období 2022-2027, který stanoví konkrétní aktivity a úkoly na následující šestileté období s cílem přispět naplnění cílů stanovených ve Strategickém rámci. Akční plán bude předložen vládě do 31. října 2022.



# ERITECH

DODAVATEL KOMPLETNÍCH TECHNOLOGICKÝCH ŘEŠENÍ  
PRO ZPRACOVÁNÍ A VYUŽITÍ NEJEN ALTERNATIVNÍCH  
PALIV



## ENVIROMENTÁLNÍ POLITIKA

RÁDI BYCHOM ABY NA PLANETĚ BYLO LÉPE



EFFECTIVE RECYCLING INNOVATIVE TECHNOLOGY



# ZÁKLADNÍ INFORMACE

**ERITECH** je vysoce kvalifikovaným dodavatelem technologických systémů zaměřených na zpracování a využití odpadů a alternativních paliv



## Zaměření na trhu

*Dodávka technologických systémů zaměřených na:*

1. zpracování a využití tuhých odpadů
2. zpracování a využití kalů a kapalných odpadů
3. mechanickou dopravu a dávkování materiálu
4. pneumatickou dopravu a dávkování materiálu

*Technologické části a dodávky*

1. Filtrační systémy a průmyslová filtrace
2. Stroje a zařízení
3. Technologie příjmu a skladování paliv

**ERITECH** je certifikovaná společnost ISO 9001  
ISO 14001  
ISO 45001



## Certificate of Registration

Tímto se potvrzuje, že systém řízení společnosti

ERITECH a.s.

Národní 961/25, Staré Město

110 00 Praha 1, Česká republika

byl prověřen společností Alcumus ISOQAR a je řízen v souladu s požadavky

ISO 14001:2015



Číslo certifikátu: 17564.E15-001  
První certifikát vydán: 21. března 2019  
Přechodní ukončení platnosti: 28. května 2021  
Aktuální certifikát vydán: 28. května 2021  
Platnost aktuálního certifikátu do: 21. března 2022

[Předložit certifikát:](#)

Dodávky, instalace a provozování technologických částí pro manipulaci s materiály a využití odpadů.

Podpis:  
Steve Stubley, Technický ředitel  
(za Alcumus ISOQAR)

EFFECTIVE RECYCLING INNOVATIVE TECHNOLOGY

# HODNOTY ZA KTERÝMI SI STOJÍME



1. Kvalita
2. Progresivita
3. Upřímnost
4. Aktivní přístup
5. Ochrana životního prostředí



EFFECTIVE RECYCLING INNOVATIVE TECHNOLOGY

# STOJÍME NA TŘECH ZÁKLADNÍCH PILÍŘÍCH



ENGINEERING

GENERÁLNÍ  
DODAVATEL

KONSTRUKCE  
ZAŘÍZENÍ



Engineering & Návrh projektů zaměřených na dodávku průmyslových technologických systémů pro průmyslové procesy a stavební engineering



Dodavatel technologií a EPC projektů vedené týmem zkušených projektových manažerů a inženýrů. Úzká spolupráce s renomovanými a na trhu známými a prověřenými společnostmi



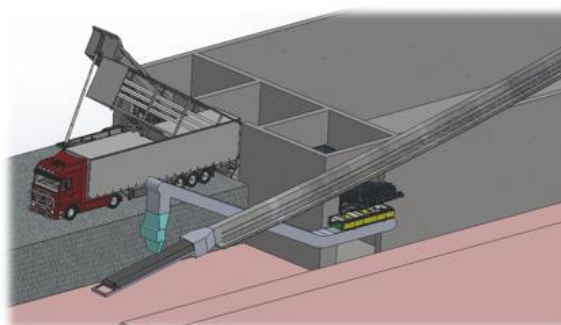
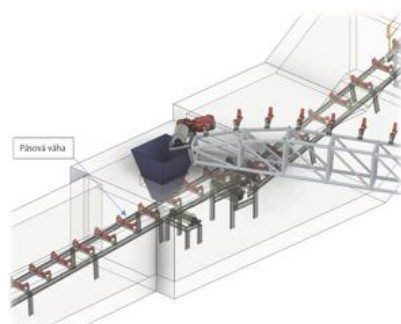
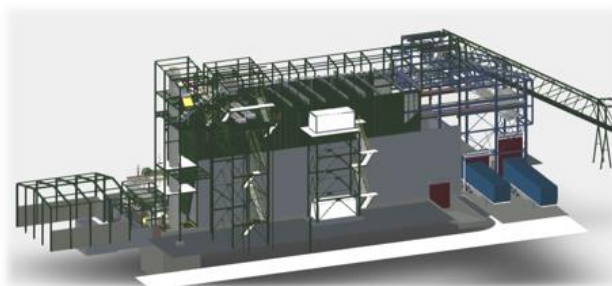
Návrh a vývoj vlastních systémů a produktů na míru

EFFECTIVE RECYCLING INNOVATIVE TECHNOLOGY

## ENGINEERING



- Poradenství
- Studie proveditelnosti
- Technologické návrhy
- Projekty
- EIA



EFFECTIVE RECYCLING INNOVATIVE TECHNOLOGY



# TECHNOLOGICKÉ DODÁVKY, EPC



- Dodávky technologických celků
- Dodávky strojů a zařízení
- Dodávky kompletní technologie vč. provedení stavby
- Montáž, oživení, uvedení do provozu
- Implementace do linky zákazníka
- Dokumentace skutečného stavu

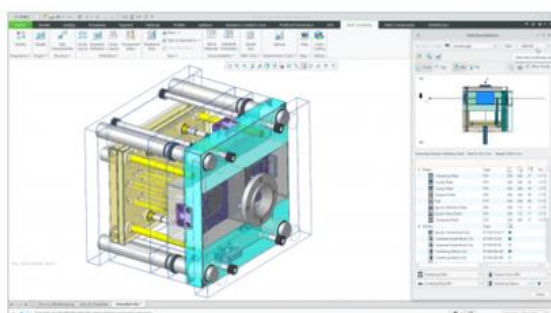
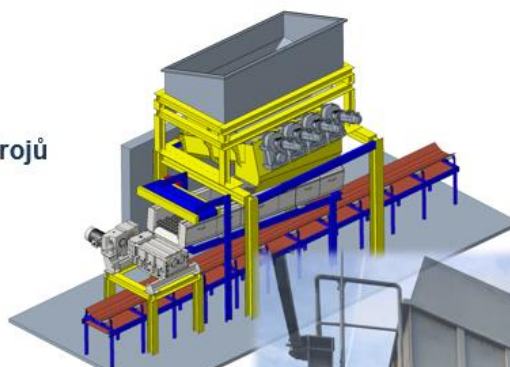


EFFECTIVE RECYCLING INNOVATIVE TECHNOLOGY

# KONSTRUKCE STROJŮ



- 3D modeling
- Vlastní konstrukční zázemí
- Spolupráce s výrobcí jednoúčelových strojů



EFFECTIVE RECYCLING INNOVATIVE TECHNOLOGY

# KONSTRUKCE STROJŮ

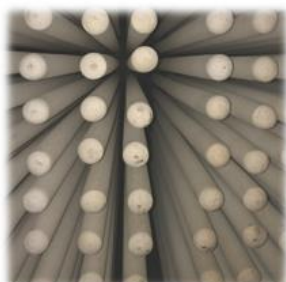
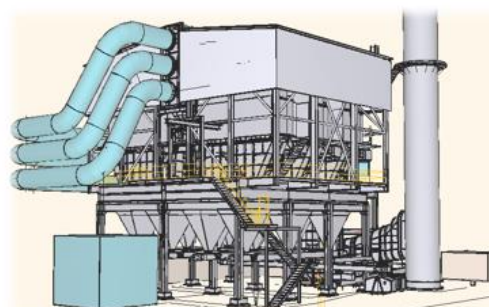
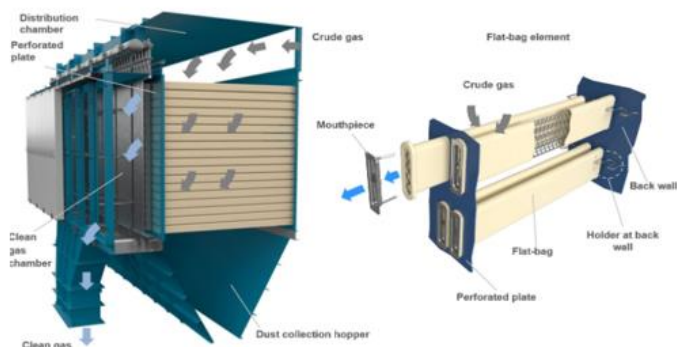
Zařízení pro odběr vzorků z málo přístupných a atypických míst



EFFECTIVE RECYCLING INNOVATIVE TECHNOLOGY

# FILTRAČNÍ ZAŘÍZENÍ & PRŮMYSLOVÁ VENTILACE

POSKYTUJEME OPTIMÁLNÍ CELKOVÉ PROCESNÍ ŘEŠENÍ PRO JEDNOTLIVÉ PROVOZY VČETNĚ ENGINEERINGU CELÝCH PROJEKTŮ



PRAKTICKÉ ZKUŠENOSTI A KNOW-HOW  
PROCESU FILTRACE A PRŮMYSLOVÉ VENTILACE  
VÝBĚR OPTIMÁLNÍCH ZAŘÍZENÍ – CENTRÁLNÍ  
SYSTEMY I LOKÁLNÍ ZAŘÍZENÍ

EFFECTIVE RECYCLING INNOVATIVE TECHNOLOGY



# ZPRACOVÁNÍ ODPADU & VYUŽITÍ ODPADU



Netříděný odpad



**Příjem a skladování**  
Vykládka vozidel – Skladovací haly – Sila – Hala vybavená jeřáby



Otevírání balíků + Drcení

Třídění a klasifikace

**Rozměrové třídění**

- Hvězdicové síto
- Diskové síto
- Bubnové síto
- Wind Shiftery



**Separace kovu**

- Permanentní magnet
- Elektromagnet
- EddyCurrent
- Detekce



**Klasifikace materiálu**

- Analýza (Neuronové sítě)
- Infračervený senzor
- Dle měrné hmotnosti



**Klasifikované a vytríděné materiály**  
Připravené pro trh

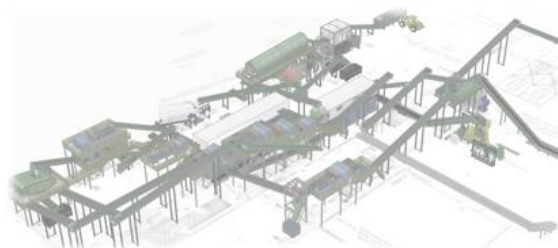
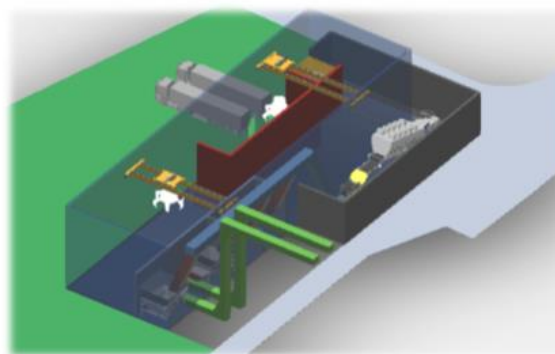
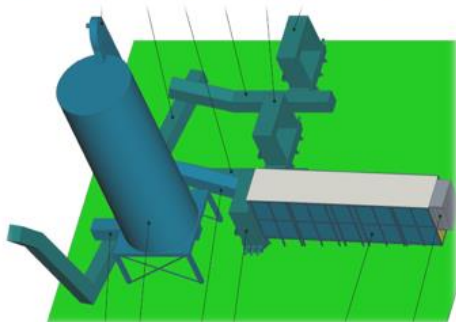


EFFECTIVE RECYCLING INNOVATIVE TECHNOLOGY

# TECHNOLOGIE PŘÍJMU A SKLADOVÁNÍ A ÚPRAVY PALIVA



- Příjem paliva (zásobníky, posuvné podlahy, ...)
- Skladování (sila, skladovací haly, ...)
- Třídění paliva, analýza vzorků



EFFECTIVE RECYCLING INNOVATIVE TECHNOLOGY

# ZDROJE ODPADU



## Pevný

- Domovní
- Industriální
- Plasty
- Kovy
- Pneumatiky

## Organický

- Gastro
- Zahradní
- Domácí biomasa

## Nebezpečný

- Kaly
- Kontaminovaná půda
- Kontaminované materiály

## Agrární

- Sláma
- Plevy
- Dřevěné třísky
- Kůra
- Dřevěné pelety
- Piliny

## Tekutý

- Odpadní voda
- Rozpouštědla
- Organický
- Čistidla
- Oleje



EFFECTIVE RECYCLING INNOVATIVE TECHNOLOGY



Aleš Bednář

+420 739 441 903

ales.bednar@eritech.cz





## Technologie BEUMER pro dopravu a dávkování alternativních paliv

### Flexibilní řešení pro alternativní paliva Příklad z praxe

Vápnó, cement, ekologie 2022  
Seč

MADE  
DIFFERENT

1

## Fakta a čísla



- Firma založena v roce **1935**
- Nezávislá rodinná firma, třetí generace vlastníků



- Roční obrat cca **1 miliarda EUR**



- **+ 4,500** zaměstnanců



- Celosvětová působnost
- Více než **35 firem ve skupině**



MADE  
DIFFERENT

© BEUMER Group / 2

2

## Beumer – systémy pro alternativní paliva (AFR)



**Základní pravidlo: použití AFR vyžaduje flexibilitu**

**Většinou se jedná o jeden spalovací proces s více druhy paliv**

**- od různých dodavatelů**

**- z různých zdrojů**

**- spotové příležitosti – těžce spalovatelné materiály**

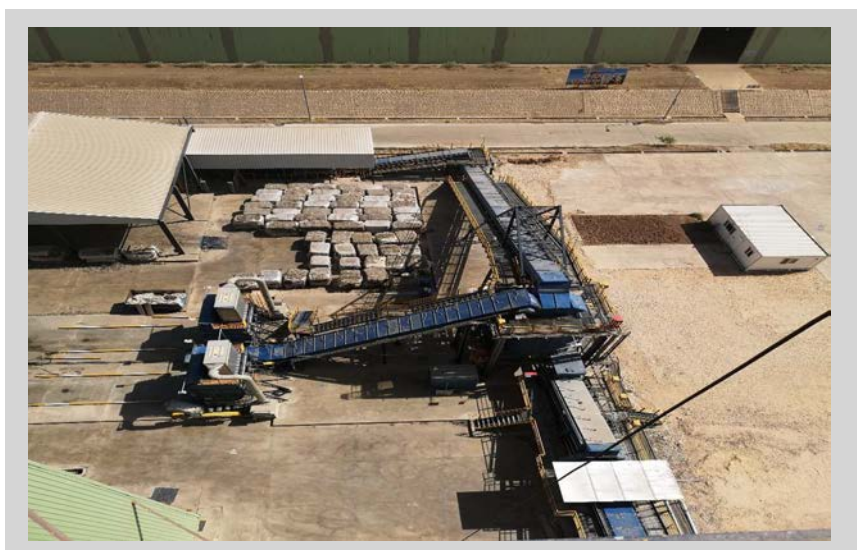
**Jak zajistit v takovém případě správné dávkování do systému?**

MADE  
DIFFERENT

© BEUMER Group / 3

3

## FLEXIBILNÍ ŘEŠENÍ PRO TAP



### Umístění

Gasin Cement Company,  
Sulaymaniya, Iraq

### Požadavek zákazníka na nový systém

Volumetrické dávkování z  
různých zdrojů do jednoho  
místa (zásobníku)

- Zpracování balíků
- Double dock – dvojitá vykládací stanice

**Celkový výkon 28 t/h**

MADE  
DIFFERENT

© BEUMER Group / 4

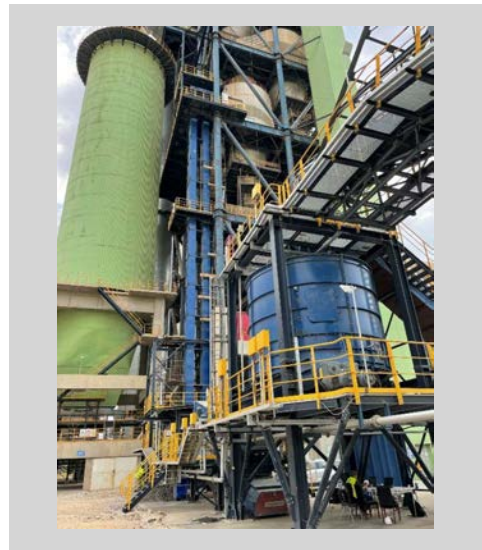
4

## Obecné informace



### • Rozsah dodávky

- ✓ Double dock – vykládací stanice (BG OptiDock)
- ✓ Řetězový dopravník
- ✓ Sběrný zásobník 50 m<sup>3</sup>
- ✓ Separátor kovů
- ✓ Hvězdicový třídič
- ✓ Pásový dopravník
- ✓ Korečkový pásový elevátor
- ✓ Gravimetrické dávkovací zařízení (BG OptiFeed Duo)
- ✓ Šroubový (šnekový) dopravník
- ✓ Prachové filtry
- ✓ Dodávka dalších mechanických částí

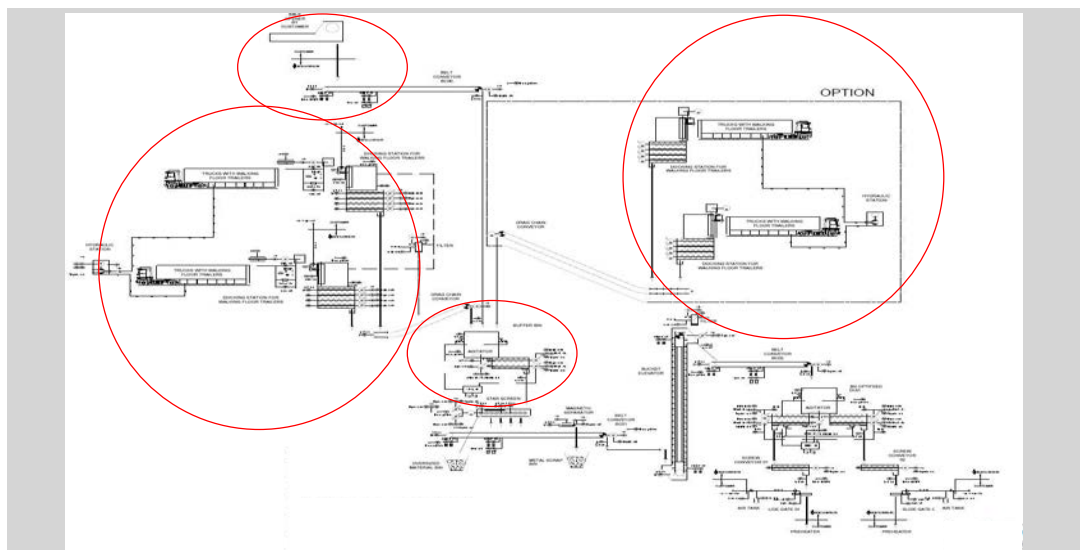


MADE  
DIFFERENT

© BEUMER Group / 5

5

## Obecné procesní schéma



MADE  
DIFFERENT

© BEUMER Group / 6

6

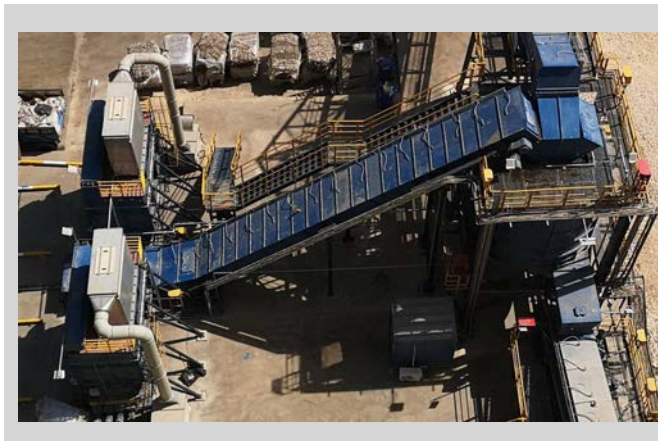


## BG OptiDock – stanice pro vykládku kamionů



### Technická data

- Dopravní výkon: 300 m<sup>3</sup>/h
- Počet šneků: 2 x 4
- Řetězový dopravník-délka: 18 m
- Řetězový dopravník-šířka: 1200 mm
- Rychlost: 0.3 m/s
- Dopravní výška: 10 m
- Stoupání: 40°



MADE  
DIFFERENT

© BEUMER Group / 7

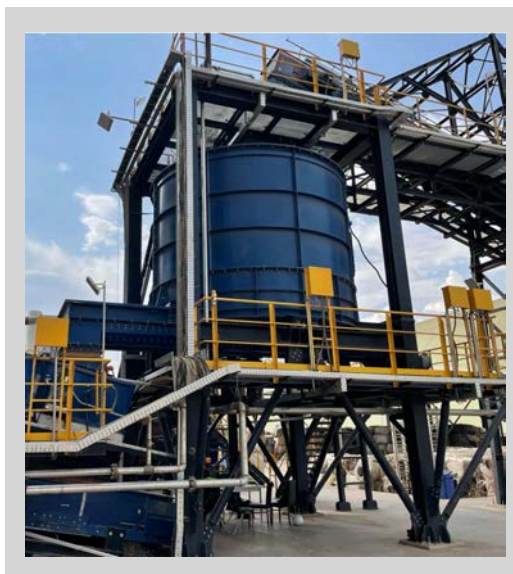
7

## Sběrný zásobník



### Technická data

- Objem nádrže: 50 m<sup>3</sup>
- Rozměry nádrže: Ø 4 x 4 m
- aktivátor u plochého dna
- Dávkovací dvojité šnek: 2 x 550 mm



MADE  
DIFFERENT

© BEUMER Group / 8

8



## Separátor kovů a neshodných materiálů



### Hlavní parametry

- Magnetický separátor kovů
- Hvězdicový třídič ve sklonu pro efektivnější třídění
- Materiál je odebrán pomocí uzavřeného dopravníku



MADE  
DIFFERENT

© BEUMER Group / 9

9

## Pásový korečkový elevátor

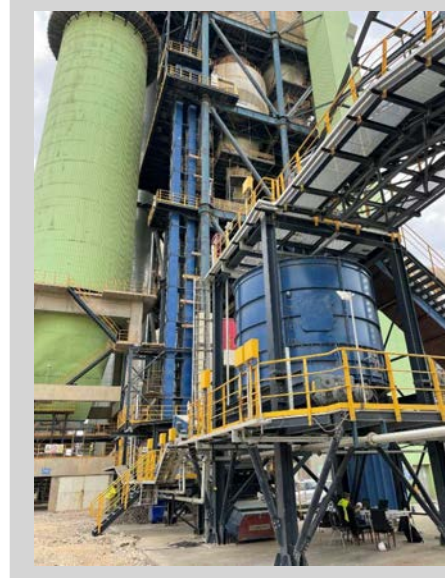


### Hlavní parametry

- Jednoduché a známé řešení
- Tradiční BEUMER výrobek
- Nízké náklady na údržbu
- Lehká konstrukce

### Technická data

Výška: 42 m  
Šířka pásu: 630 mm



MADE  
DIFFERENT

© BEUMER Group / 10

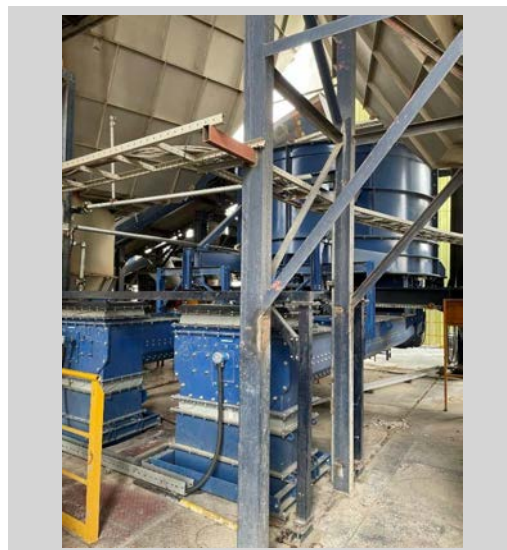
10

## BG OptiFeed Duo – Gravimetrický dávkovač na dvě paralelní linky



### Hlavní parametry

- Šnekový dávkovač pro dvě linky
- Uzavřená, bezprašná konstrukce
- Aktivátor u dna zásobníku pro plynulé vyprazdňování
- Průběžná kalibrace
- Dva nezávislé dávkovací dvojšneky
- Každý se samostatným vážícím systémem



MADE  
DIFFERENT

© BEUMER Group / 11

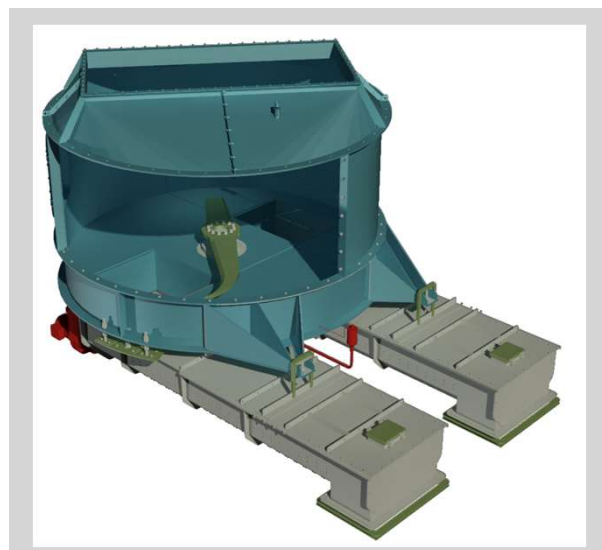
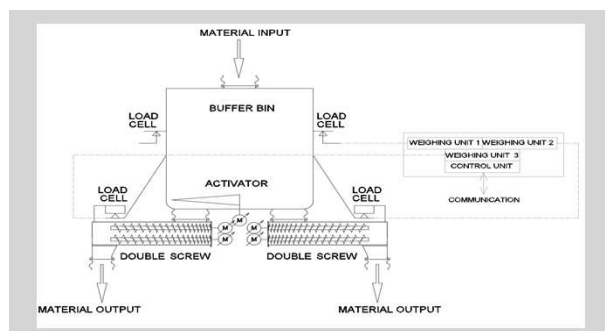
11

## BG OptiFeed Duo – Gravimetrický dávkovač na dvě paralelní linky



### Technická data

- Zásobník: 25 m<sup>3</sup>
- Průměr: 4 m
- Dávkovací výkon: 2 x 14 t/h
- Přesnost: +/- 1,5 %



MADE  
DIFFERENT

© BEUMER Group / 12

12

## PŘÍKLAD Č.2 – DÁVKOVÁNÍ NA SPOLEČNÝ DOPRAVNÍK

**Umístění**

Retznei Cement,  
Lafarge Holcim Group,  
Rakousko

**Požadavek zákazníka  
na nový systém**

Gravimetrické dávkování ze  
dvou rozdílných zdrojů

- Hala na přípravu paliva
- Doplňkové vykládací místo

MADE  
DIFFERENT

© BEUMER Group / 13

13

## Obecné informace

**Zadání**

Vykládka, gravimetrické  
dávkování, manipulace a  
dávkování TAP do  
výměníku

**Výkony**

Celková kapacita  
15 t/h  
100 m<sup>3</sup>/h

MADE  
DIFFERENT

© BEUMER Group / 14

14



## PŘÍKLAD Č.3 – DÁVKOVÁNÍ Z JEŘÁBOVÉ HALY



### Umístění

OYAK Denizli Cimento,  
Denizli, Turecko

### Požadavek zákazníka na nový systém

Gravimetrické dávkování dvou rozdílných paliv ze skladové haly

- TAP
- Drcené gumy

MADE  
DIFFERENT

© BEUMER Group / 15

15

## Obecné informace



### Cíl projektu

Skladování, doprava a dávkování 4 různých alternativních paliv do 4 různých dávkovacích míst

### Výkony

Celková kapacita  
24 t/h  
200 m<sup>3</sup>/h

MADE  
DIFFERENT

© BEUMER Group / 16

16

## Systemy pro alternativní paliva

**Děkujeme za Vaši pozornost.**

**MADE  
DIFFERENT**

# ZATOPENÉ MOSTY NA VODNÍM DÍLE ŠVIHOV

*Ing. Vladimír Veselý, Svaz výrobců betonu ČR, [vladimir.vesely@svb.cz](mailto:vladimir.vesely@svb.cz)*

Stavby, výtvořené lidským duchem a šikovnými rukama, jsou neoddelitelnou součástí našeho životního prostředí. Ovlivňují naše estetické cítění a v případě historických staveb, či souborů staveb, vytvářejí genia loci jak konkrétních urbanistických celků, tak i míst v extravilánu. Navíc stavby, které přestaly sloužit svému účelu nebo dokonce k němu sloužit vůbec nezačaly, se po čase stávají němými svědky historie vývoje společnosti. Mezi takovéto stavby bezesporu patří dva mosty zatopené vodním dílem Švihov na řece Želivce. Jedná se o mosty přes Sedlický a Sedmpanský potok.

## 1. Lokalizace

Mosty přes Sedlický a Sedmpanský potok se nacházejí na původně plánované trase dálnice mezi obcemi Hulice a Borovsko. Mosty se nacházejí v prvním ochranném pásmu vodního zdroje což znamená, že přístup k nim bez povolení a za přísných opatření není prakticky možný.



Obr. 1 Lokalizace zatopených mostů přes Sedmpanský a Sedlický potok na VD Švihov [1]

## 2. Historický kontext

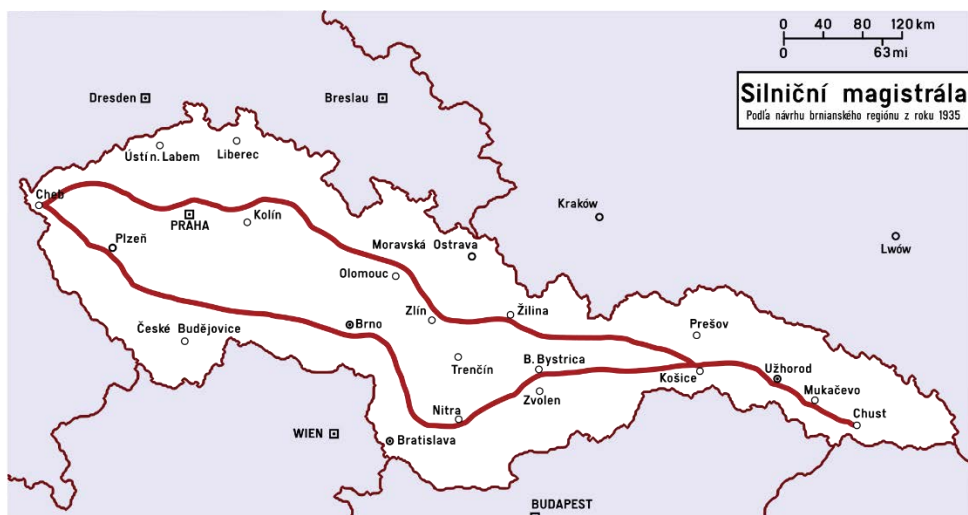
Zatopené mosty přes Sedmpanský a Sedlický potok bývají často nesprávně nazývány jako „Mosty Baťovi dálnice“, „Mosty protektorátní dálnice“ či dokonce jako „Mosty Hitlerovi dálnice“. Historii jejich vzniku v širších souvislostech doby uvádí velmi detailně publikace Stavby, kterým doba nepřála-Výstavba dálnic v letech 1938-1950 na území Čech a Moravy autorů Václava Lídla a Tomáše Jandy [1] z níž je možné se dopracovat k pojmenování mostů faktograficky správněji viz název článku.

Výstavba dálnic na území Česka, respektive Československa, a to jak ideově, tak i konkrétní stavební činností, spadá do období První republiky. První úvahy o dálniční síti se objevily již v roce 1935, v kterém vznikly nezávisle hned dva ideové návrhy. První návrh vypracovala tzv. Dopravní komise při Česko-slovenském regionalistickém ústředí, tvořená členy Sdružení inženýrů a architektů. Trasa dálnice byla navržena téměř přímočaře středem republiky z Plzně do Košic viz obr.2. Druhý návrh předložil brněnský region. Tento odvážnější návrh počítal s dvěma větvemi dálnice, severní a jižní, z Chebu až do Chustu ve východním cípu Zakarpatské Ukrajiny viz obr.3. Třetím návrhem byla trasa dálnice ve vizionářské publikaci Tomáše Bati „Budujeme stát pro 40 miliónů lidí, která vyšla poprvé v roce 1937 a druhé rozšířené vydání pak v roce 1938 [3]. Tato varianta počítala s trasou mezi Chebem a Velkým Očkovem na východním cípu Zakarpatské Ukrajiny a s protnutím údolí řeky Želivky na ose Dolní Kralovice – Světlá nad Sázavou, viz obr.4.

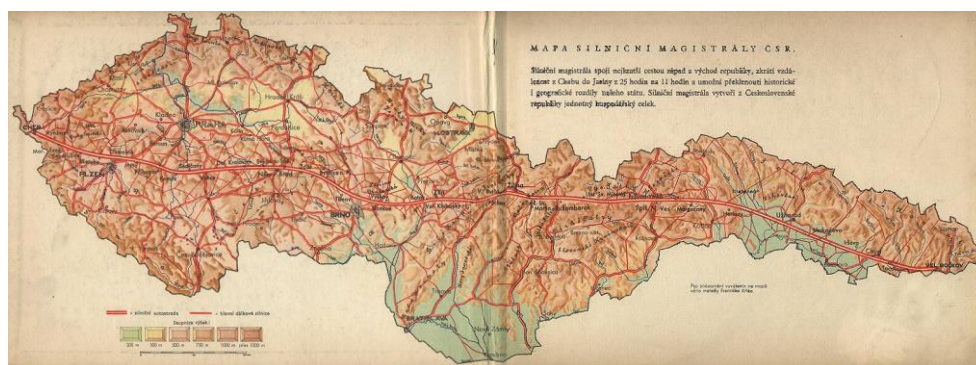


Obr.2 Národní silnice Plzeň – Košice, návrh ČSRÚ [3]





Obr.3 Silniční magistrála podle návrhu brněnského regionu [3]



Obr. 4 Silniční magistrála dle návrhu J. A. Baťa [3]

J.A. Baťa navíc nechal zpracovat na vlastní náklady projekt části spojující Moravu se Slovenskem, což bylo i impulzem pro tehdejší orgány státní správy ke změně postojů k dálniční síti Československa. Snad právě proto se někdy o artefaktech nevyužitých částí staveb dálnice hovoří jako o „Baťově dálnici“, i když konečné řešení trasy bylo nakonec jiné.

Rozhodujícím impulsem pro intenzivní zahájení prací se stala „Mnichovská dohoda“ na základě již přišlo meziválečné Československo o významné části území a byla tím rovněž velmi zasažena dopravní infrastruktura státu v nových hranicích. Z důvodu nutnosti přizpůsobit dopravní síť novým podmínkám byl již 5. října 1938 schválen plán příprav a realizace velkých dopravních staveb. Krátce na to byl tehdejším ministrem veřejných prací, divizním generálem Karlem Husárkem, pověřen brig. gen. ženijního vojska Ing. Václav Nosek organizací úřadu pro stavbu magistrály a vedením přípravných prací stavby magistrály Praha – Velký Bočkov. Události pak, vzhledem ke



strategickému významu dopravní tepny pro územně silně okleštěnou První republiku, nabraly rychlý spád. Do přípravy dálnice byla zapojena armáda, disponující odborníky ženijního vojska. Jejich participaci projednal generál Nosek 24. října 1938 s generálem Eliášem. Následujícího dne bylo uloženo Zemskému úřadu v Praze vyřešení trasy magistrály mezi Prahou a Jihlavou včetně pražského okruhu. Skupina úředníků na Zemském úřadu pod vedením Dr. Karla Valiny, vládního rady, předložila mapové podklady trasy v měřítku 1:25 000 již 5. listopadu 1938, tedy za 12 dnů od zadání. Z pohledu dnešních postupů a termínů něco neuvěřitelného.

4. listopadu bylo schváleno zavedení jízdy vpravo, s termínem od 1.5.1939, a bylo zřízeno Velitelství stavby dálkových silnic VSDS. Přejmenováním VSDS na Generální ředitelství stavby dálnic GŘSD dne 23. 12. 1938 vzniká tak instituce ne nepodobná dnešnímu ŘSD. Zároveň ve stejný den dochází k zavedení pojmu dálnice, který je vytvořen uměle. Autorem nového slova, vzniklého spojením první slabiky slova **dálná** (nebo **dálková**) doprava s koncovkou slova **silnice** (případně **železnice**) do novotvaru „dálnice“ je štábní kapitán Ing. Karel Chmel viz obr.5.



Obr.5. Ing. Karel Chmel, autor nového pojmu „dálnice“ [5]  
Chmel [2]



obr.6. 24.1.1939 7.00 Chřiby. Stavba Československé dálnice zahájena. Sekeru v ruce drží Ing. Karel Chmel [2]

Již 13. ledna 1939 schvaluje vláda „Úřední návrh česko-slovenské dálnice a dává souhlas k zahájení přípravných prací. Následně dne 24. ledna 1939 bylo v 7.00 zahájeno kácení lesa v Chřibech na trati III v tehdy plánovaném směru Brno – Zlín

viz. obr.6. Byť tato trasa nakonec nebyla do podoby dnešní dálniční sítě zahrnuta, je možné tento čin považovat za start budování dálnic na území dnešní ČR.

Události v první polovině roku 1939 pak nabraly velmi rychlý spád. Pokud se týče výstavby dálniční sítě došlo po okupaci a vzniku Protektorátu Čechy a Morava již za několik málo dní, konkrétně 26. 3. 1939, k jednání ministra veřejných prací Dominika Čipery a generálního inspektora německých silnic Fritze Todta. na níž byly převzaty německé standardy pro výstavbu dálnic. Dále byly 11. 4. 1939 zahájeny na území Protektorátu práce na dálnici Breslau – Wien viz. obr. 15 přetínající ve směru Severo-jihním území Moravy a křížící se u Brna s dálnicí plánovanou českými inženýry. Zbytky této dálnice, která může být jako jediná na našem území označována přívlastkem Hitlerova, je možné pozorovat dodnes.

Ve dnech 24. až 26. 4. 1939 byly zadávány díly úseku tratě I. Konkrétní díl 11/1 v oblasti Dolních Kralovic, dnes již neexistující obce zatopené vodním dílem Švihov, byl zadán berounské firmě Jelínek a synové za zadávací částku 18 331 782 Korun [2]. Vlastní stavbu tratě I oficiálně zahájil generální ředitel GŘSD In. Václav Nosek, a to v úterý 2. května 1939 na třetím kilometru budoucí trasy u Průhonic. Nutno dodat, že právě trať I byla základem pro trasu novodobé dálnice mezi Prahou a Brnem a některé stavby zahájené v období protektorátu byly do ní zintegrovány. Příkladem je most přes údolí potoka Šmejka či Most u Píště.

### **3. Zatopené mosty**

Stavba mostů přes Sedlický a Sedmpanský potok byla zahájena sice v roce 1939, ale v průběhu 2. světové války musela být vlivem okolností přerušena jako ostatně i další stavební práce na zahájené dálnici. Nejdříve došly pracovní síly, muži rukovaly na frontu a následně došel i stavební materiál, především cement, který byl rekvírován pro válečné účely (stavba Atlantického obraného valu a pod). Rovněž ocel, potřebná pro propojování spár v cementobetonovém krytu, byla rekvírována pro válečnou výrobu a .

Nejdříve 1. 8. 1941 došlo k zákazu zahajování nových staveb a v roce 1942, konkrétně 30. dubna byly zastaveny veškeré práce na rozestavěné dálnici.

### 3.1 Most přes Sedlický potok

Most přes Sedlický potok je z obou mostů „ten větší“ a navíc je téměř po vozovku ponořen do vod nádrže Švihov. Konstrukčně jde vlastně o dva samostatné obloukové mosty s rozpětím oblouku 100 m a vzepětím 25 m a šířkou vozovky 22 m [6]. Výška nad údolím potoka pak činila 100 m obr.7.

Stavba mostu byla zadána pražské firmě Ing. Domanský, vedením stavby byl pověřen stavbyvedoucí Ferdinand Čulík. Zadávací částka za stavbu mostu činila 5 552 400,- Korun [1]



Obr. 7 Stavba skruže oblouku pod pravou částí mostu ve směru do Brna.

Do roku 1942, do zastavení veškerých prací byla dokončena zhruba 1/3 díla, reprezentovaná jedním mostním obloukem.

Již těsně po ukončení 2. světové války, 28. listopadu 1945, se schází na Ministerstvu dopravy porada ohledně dostavby úseku dálnice z Prahy do Humpolce. V srpnu 1946 byly zahájeny práce na dokončení rozestavěné části mostu. V roce 1950 byla dokončena stavba celého mostu (obě části) původním dodavatelem firmou Ing. Jakuba Domanského, avšak znárodněnou a již pod novým názvem Československé stavební závody. V dubnu 1951 bylo uklizeno staveniště a následující rok byl most zkolaudován. V některých zmínkách bývá proto tento most nesprávně označován jako „nedokončený“. Chybí totiž navazující část úseku dálnice, a to těleso náspu na

„brněnské“ straně stavby. Na stavbě dálnice utichly stavební práce z důvodu názoru vedoucích činitelů státu, že automobilová doprava nemá perspektivu. Dohled nad dokončenými částmi byl prováděn občasně osobními návštěvami pracovníků GŘSD s komplikacemi (vlakem a pěšky), protože k opuštěným stavbám nevedlo žádné silniční napojení viz obr. 8 a 9.



Obr.8 Pohled na dokončený most přes sedlický potok



Obr.9 Pohled na most z údolí Sedlického potoka, rok 1964

### 3.2 Most přes Sedmpanský potok

Most přes Sedmpanský potok, někdy uváděn pod názvem Most Hulice, je z obou mostů „ten menší“. Do vod nádrže Švihov bývá ponořen částečně, při nízkém stavu vody v nádrži je vidět zcela. Konstrukčně jde o trémový most mezi dvěma podporami na levém a pravém břehu potoka, který vytéká z malého rybníku Medulán severně od obce Sedmpány a který je tak v některých mapových podkladech i takto nazýván.

Stavbu mostu prováděla firma Ing. J. Nebeský z Prahy. Stavba probíhala mezi léty 1939 až 1942 (zastavení veškerých prací), kdy byl most dokončen ze 70%. Po válce byl most dokončen mezi lety 1946 až 1950 viz obr.10.



Obr. 10 Most přes Sedmpanský potok

## 4. Osud

Po únoru 1948 bylo ještě pokračováno ve výstavbě na dálnici, avšak postupně byl redukován počet pracovníků a v roce 1950 bylo zrušeno Ministerstvo techniky. Některé pravomoci přešly na Ministerstvo stavebních prací, ale v té době již byla zrušena organizační jednotka, která měla výstavbu dálnice na starosti a s výstavbou dálnic se již nepočítalo. Staveniště dálnice bylo zcela opuštěno. Mezi Prahou a Humpolcem a na Moravě v Chříbech zůstává na různém stupni rozpracovanosti 77 km zemního tělesa a přes 60 mostů. Od roku 1942 zůstává nedokončeno celkem 111 km německé dálnice. Počínaje rokem 1950 tedy na území Československa zůstává celkem 188 km rozestavěných dálnic a stavby začínají chátrat. Vedoucí pozice při výstavbě dálnic, kterou ve třicátých letech Československo v Evropě a vlastně i ve světě zaujalo, je navždy ztracena. Bohužel do dnešních dnů.

V roce 1964 je zpracován investiční záměr na vybudování vodního díla Švihov a následující rok je stavba zahájena (ukončení 1975). Proto při obnovení prací na dálniční síti Československa v roce 1967

Musí být trasa upravena nejen s ohledem na nové standardy, ale právě i pro kolizi předchozí trasy s vodním dílem. Po ukončení stavby vodního díla Švihov pak mosty přes Sedlický a Sedmpanský potok pohltila hladina přehradní nádrže viz obr. 11., 12., 13. a 14.



Obr. 11.1 Pohled na Most přes sedlický potok z dronu



Obr. 11.2 Pohled na Most přes sedlický potok z dronu





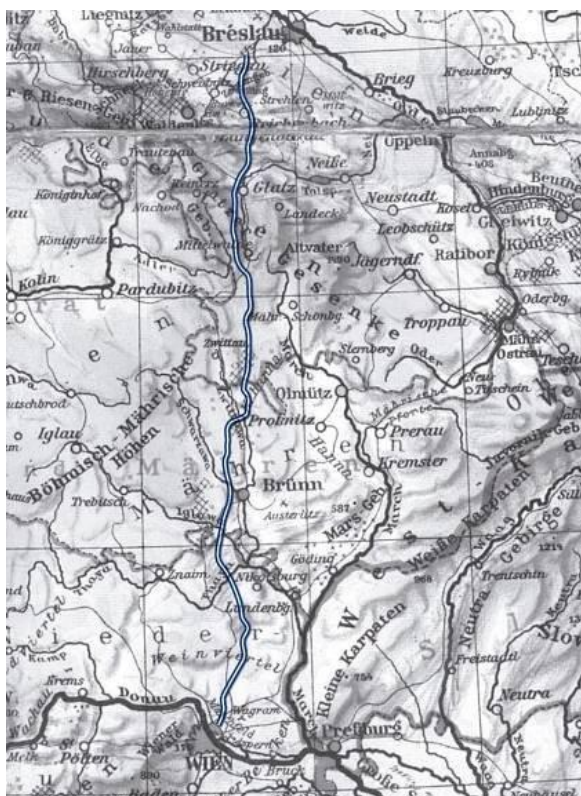
Obr.12 Boční pohled na Most přes Sedlický potok



Obr.13 Boční pohled na Sedmpanský potok



Obr. 14 Sedmpanský most, pohled zespodu



Obr. 15 Trasa plánované dálnice Breslau – Wien

## 5. Závěrem

Jak bylo uvedeno v úvodu článku, zatopené mosty jsou nedílnou součástí historie výstavby dálnic v České republice a jsou důkazem technické úrovně stavebních inženýrů té doby.

Zhlédnout tyto konkrétní artefakty doby je obtížné vzhledem k tomu, že se nacházejí v 1. stupni pásnu hygienické ochrany vodního zdroje. Možnost je vidět je vázána na přísná opatření a lze je zhlédnout jen v případě mimořádného povolení a v doprovodu odpovědných pracovníků. Tak tomu bylo i v případě exkurse České betonářské společnosti „VD Želivka a zatopené mosty“ [8].

## Liteatura

[1] Stavby, kterým doba nepřála-Výstavba dálnic v letech 1938-1950 na území Čech a Moravy,

Václav Líd, Tomáš Janda, Ředitelství silnic a dálnic ČR, Druhé vydání Praha 2006.

[2] Dějiny výstavby dálnic a rychlostních silnic na Slovensku. In: Wikipedie. Dostupné z: [cs.wikipedia.org](http://cs.wikipedia.org)



[3] Baťa. J.A. *Budujeme stát pro 40,000.000 lidí*. 2. rozšířené vydání, Zlín 1938

[4] BAROCH, P. STROJ ČASU: Jak se stavěla D1, matka všech českých dálnic. iDNES.cz [online].

19. 6. 2013. Dostupné z: idnes.cz

**Fotografie:**

1 – mapy.cz,

2, 3 – [2],

6, 7, 8, 9, 11, 15 – [1],

4 – [3],

5 – [4],

10 – mapy.cz (fotogalerie – Viktor Stískala),

12, 13 14 – autor článku

# KOMPLEXNÍ ŘEŠENÍ V ENERGETICE A V TĚŽBĚ A ZPRACOVÁNÍ MINERÁLNÍCH SUROVIN

*Ing. Pavel Antonín, Aleš Čekal, Weir Minerals Czech & Slovak, s.r.o.*

Firma Weir Minerals Czech & Slovak s.r.o. je součástí mateřské společnosti Weir Minerals Europe Limited, která patří do divize Minerals skupiny Weir. Firma Weir letos slaví 150 let od založení první afilace dnešního celosvětově působícího koncernu. Vzpomínáme na základní milníky našeho vývoje, díky nimž jsme se stali renomovanou firmou v oboru těžby a zpracování minerálních surovin:

- 1891 založení firmy LEWIS Pumps
- 1916 založení firmy GEHO
- 1923 LINATEX Sheet Rubber uvedeny na trh
- 1938 založení firmy WARMAN
- 1975 vyrobeno vyložení kulových mlýnů VULCO
- 1975 uvedeny na trh corozivzdorné ventily LEWIS
- 1976 založena firma MULTIFLO odvodňovací systémy
- 1992 nákup firmy FLOWAY
- 1993 uvedení na trh ASME ventilů DELTA INDUSTRIAL
- 1994 WARMAN uvádí na trh čerpadla pro odsíření typ GSL
- 1996 uvedení na trh hydrocyklonů CAVEX
- 2001 WARMAN uvádí na trh čerpadla MC pro mlecí okruhy
- 2002 ventily ISOGATE uvedeny na trh
- 2011 WARMAN uvádí na trh čerpadla WBH
- 2013 ENDURON produkty pro zpracování minerálních surovin
- 2014 nákup firmy TRIO
- 2015 nákup firmy DELTA INDUSTRIAL
- 2016 uvedení na trh kuželového drtiče TRIO TP
- 2018 SYNERTREX pro sledování a vyhodnocování provozních stavů strojů
- 2018 WARMAN slaví 80 let
- 2020 CAVEX 2 hydrocyklon uveden na trh

V ČR a SR působíme od roku 1992, kdy byla založena organizační složka WARMAN International Czech & Slovak a jejímž právním nástupcem se v roce 2018 stala firma Weir Minerals Czech & Slovak, s.r.o., jejímž jediným společníkem a tedy vlastníkem je stejně jako u původní organizační složky mateřská společnost Weir Minerals Europe Limited.

## Portfolio výrobků pro mokré procesy

Součástí koncernu Weir jsou především firmy vyrábějící zařízení potřebná v segmentu těžby a zpracování minerálních surovin. Firma Weir Minerals je výrobce abrazivzdorných zařízení **pro obory těžby a zpracování minerálních surovin**, výrobce abrazivzdorných čerpadel WARMAN®, jednotek MULTIFLO® pro odvodnění dolů, pístomembránových čerpadel GEHO®, třídících a odvodňovacích sít LINATEX®, gumových výrobků LINATEX®, abrazivzdorných nožových ventilů ISOGATE®, hydrocyklonů CAVEX® a abrazivzdorných vyložení VULCO®.

**Portfolio výrobků rozšiřujeme zdokonalováním existujících produktových řad, vývojem nových výrobků splňujících požadavky trhu a také novými akvizicemi doplňujícími naše stávající portfolio a posilujícími synergicky působícími efekty**

Weir Minerals pokrývá všechna mírná, středně těžká i těžká a ultratěžká nasazení v energetice, těžebním průmyslu a v těžkém strojírenství. Nabízí výrobky ze sortimentu např.:



Čerpadla WARMAN®



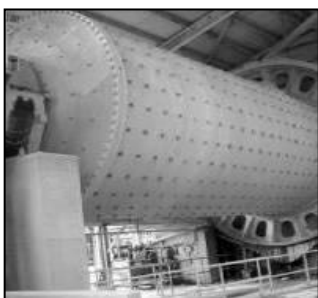
Odvodnění dolů MULTIFLO®



Hydrocyklony CAVEX®



Ventily ISOGATE®



Abrazivzdorná vyložení VULCO®



Hadice LINATEX®



Síta ENDURON®



Gumové výrobky LINATEX®

## Portfolio výrobků pro suché procesy

Portfolio výrobků rozšiřujeme zdokonalováním existujících produktových řad, vývojem nových výrobků splňujících požadavky trhu a také novými akvizicemi doplňujícími naše stávající portfolio a posilujícími synergicky působícími efekty. Tímto způsobem byla firma WEIR Minerals rozšířena o firmu TRIO Engineering Products, specializovanou na výrobu drtičů a třídíčů.



Výrobky TRIO® pro drcení a třídění - podavače, drtiče, třídíče

Weir Minerals v roce 2018 získal také renomovaného celosvětově působícího výrobce těžebních nástrojů a technologií firmu ESCO. Díky produktům této firmy se Weir Minerals stává opravdu komplexním dodavatelem řešení pro těžební společnosti.

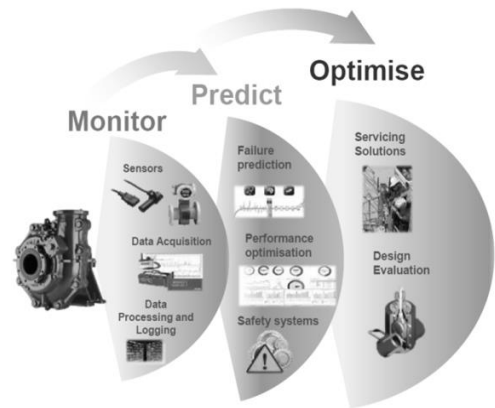


## Servis jako nástroj pro zajištění nejnižších provozních nákladů

Weir Minerals nabízí komplexní profesionální servis a odbornou podporu zákazníků. Poskytujeme servis přesně podle Vašich potřeb. Naše závazky k zákazníkovi nekončí pouhou dodávkou zařízení. Jsme vždy připraveni pomáhat zákazníkovi při spouštění technologických celků, v nichž jsou zařazeny naše výrobky a být nápomocni při řešení



technologicko-provozních problémů. Díky evropské servisní síti, zahrnující stabilní a mobilní servisní střediska, jsme v oblasti servisu získali cenné zkušenosti v oblasti péče o naše zákazníky. Získané zkušenosti navzájem sdílíme a toto významným způsobem přispívá k efektivitě servisních zákroků. Naše servisní střediska, spolu s vysoce kvalifikovanými techniky zaručují, že budeme právě tam, kde nás potřebujete, abychom Vaše zařízení



udrželi vždy ve špičkové kondici. Tento závazek a důvěra v naše výrobky, spolu s naší strategií služeb, jsou také důvodem, proč se tolik světových firem rozhodlo pro naše vysoce výkonná zařízení. Společnost Weir Minerals v rámci své obchodní filosofie klade velký důraz na **bezpečnost a na poprodejní služby**, které mají rozhodující vliv na zajištění optimálního provozu a minimalizaci celkových provozních nákladů Vašich zařízení. Důsledně investujeme do rozšiřování námi poskytovaných služeb, jako do základního prvku naší strategie růstu. To nám také umožnilo zvýšit úroveň podpory, kterou poskytujeme našim zákazníkům, a která také rozvíjí a zpevňuje naše vzájemné pracovní vztahy.

Náš servisní tým poskytuje profesionálně řízené, vysoce kvalitní servisní práce, které zajišťují optimální provoz Vašich zařízení a minimalizaci neplánovaných odstávek.

Celý proces péče se odehrává ve třech krocích:

- a) Monitoring
- b) Předpověď dalšího vývoje
- c) Optimalizace – v rámci servisního zásahu

Optimální provoz a produktivita (**PRODUCTIVITY**) je vždy podmnožinou více parametrů. Veškeré zásahy jsou vždy na prvním místě vyhodnocovány **z pohledu bezpečnosti (SAFETY)** a to pro obsluhu i pro servisního technika WM.

Následuje:

- a) Vyhodnocení, jaké existují možnosti řešení (**OPTIONS**)
- b) Vyhodnocení, jaký důsledek má zásah na vlastní výkonnost zařízení (**PERFORMANCE**)
- c) Posouzení vlivu na provozní spolehlivost (**RELIABILITY**).

Naše nabídka služeb sahá od jednotlivých servisních prací na vyžádání až po celoroční smlouvy na poskytování komplexní péče.

# NOVINKY V OBLASTI MĚŘENÍ SYPKÝCH MATERIÁLŮ

*Bc. Jan Plíhal, LEVEL INSTRUMENTS CZ – LEVEL EXPERT s.r.o.*

Společnost LEVEL INSTRUMENTS CZ – LEVEL EXPERT s.r.o., se specializuje na dodávky měřicí techniky pro průmyslové provozy, zejména techniky pro měření výšky hladiny kapalin a sypkých materiálů, rozhraní mezi nemísícími se kapalinami a rovněž k měření tlaku. Nabízíme přístroje a systémy vyhovující specifickým požadavkům nejrůznějších odvětví průmyslu. Přístroje uživateli poskytují spolehlivé údaje o výšce hladiny měřeného produktu, tj. o jeho množství, a o tlaku, a to bez ohledu na druh měřeného média. Tento článek se věnuje problematice v oblasti měření hladin sypkých a prašných materiálů pomocí radarových hladinoměrů.

Procesy při výrobě vápna a cementu vyžadují od použitých snímačů vysokou spolehlivost, účinnost a odolnost vůči náročným provozním podmínkám. Cement a vápno se vyrábějí pálením při vysoké teplotě. Jejich nepříjemnou vlastností je také velká prašnost a možnost tvorby nánosů. Tyto náročné podmínky kladou na použitou měřicí techniku vysoké požadavky. Radarové hladinoměry VEGA spolehlivě měří ve všech oblastech tohoto průmyslového segmentu: od lomu až po samotné skladování cementu.

## CHLAZENÍ SLÍNKU

Slínek musí být po opuštění rotační pece rychle ochlazen na teplotu okolo 200 °C, při níž látky vzniklé vypálením vykrystalizují. Slínek je ochlazován v chladiči proudem stlačeného vzduchu. Pro to, aby chlazení bylo co nejefektivnější, je nezbytné zjistit sílu slínkové vrstvy v chladiči. Velká teplota média vytváří velmi obtížné měřicí podmínky. Vhodnou volbou k měření tloušťky vrstvy slínku je vysokoteplotní radarový hladinoměr VEGAPULS 68 a nyní také provedení s označením 6X. Měření pomocí mikrovlnné technologie není z principu ovlivňováno teplotou a nepříznivý vliv teploty na vlastní sondu lze účinně omezit kontinuálním chlazením vzduchem pomocí ofukového systému. Proto není problém tento hladinoměr použít při provozní teplotě přesahující 1 000 °C.

Při chlazení slínku je třeba měřit také tlak chladicího vzduchu. Pro tento typ aplikace se hodí např. převodník tlaku VEGABAR 82, který je díky robustní keramické membráně ideálním řešením pro monitorování tlaku vzduchu v slínkovém chladiči.

## **USKLADNĚNÍ SLÍNKU V SLÍNKOVÉM SILE**

Po vychlazení v chladiči se slínek uskládňuje ve slínkových silech. Z nich je dopravován do válcových nebo kulových mlýnů, kde se mele spolu se sádrovcem a dalšími přísadami, jejichž obsah se řídí podle požadovaných vlastností hotového produktu. Výsledkem je jemný prášek – cement.

Vzhledem k vysoce abrazivním vlastnostem slínku a provozní teplotě ve slínkovém sile až 200 °C je kontaktní měření ve slínkovém sile absolutně vyloučeno. Zde se uplatní vysokofrekvenční radarový hladinoměr VEGAPULS 6X, určený pro měření hladiny sypkých materiálů. Vyznačuje se snadnou instalací a uvedením do provozu. Úzký vyzařovací paprsek a vysoké dynamické echo umožňuje velmi dobře zaměřit mikrovlnný signál a zároveň zcela eliminuje případné falešné odrazy.

Pro limitní spínače zaplnění ve slínkovém sile jsou velmi důležitými vlastnostmi odolnost a spolehlivost. Proto patří v současné době mezi nejpoužívanější limitní spínače pro detekci maximální, střední nebo minimální hladiny rotační spínače Rotonivo RN 3000. Z principu rotačních spínačů plyne, že na nich nevznikají téměř žádné nánosy. Limitní spínače Rotonivo se vyznačují odolnou mechanickou konstrukcí, díky níž vykazují minimální opotřebení, a jednoduchým uvedením do provozu. Sondy jsou k dispozici pro montáž shora nebo z boku. Jsou vybaveny těsněním a ložiskem na konci ochranné trubky a je možné je použít do provozního tlaku až 1 MPa. Díky jedinečné konstrukci a adaptérům, které zvyšují jejich odolnost proti vysoké teplotě, je možné sondy instalovat do zásobníku s provozní teplotou až 1 100 °C. Vhodnou alternativou jsou také robustní kapacitní spínače hladiny VEGACAP 65.

## **MĚŘENÍ HLADINY V CEMENTOVÉM SILE**

Hotový cement se skladuje v cementových silech. Extrémní prašnost během plnění a vyprazdňování sil, kde se cement skladuje, vylučuje použití např. bezkontaktních

ultrazvukových hladinoměů. Radarový hladinomě VEGAPULS 6X zcela vyhovuje těmto náročným podmínkám, protože mikrovlnný signál není ovlivňován prašností. Vzhledem k měřicímu rozsahu do 120 m je tento vysokofrekvenční hladinomě pro tato síla ideální volbou. K odstranění usazeného prachu a nánosů se používá tzv. ofukový systém, který čistí čelo antény proudem stlačeného vzduchu.

## **VÝROBA VÁPNA**

Zatímco při výrobě cementu se používají dlouhé rotační pece, vápno se pálí ve vertikálních pecích. Pec je plněna shora a pálené vápno je odebíráno ze spodní části pece. Důležitým předpokladem pro optimální provoz pecí je správné plnění. Vzhledem k vysokým teplotám během provozu jsou na instalované hladinomě kladeny extrémní požadavky. V minulosti byly často používány radiometrické systémy a elektromechanické hladinomě, ale dnes, vzhledem k technickému pokroku a příznivému vývoji cen, stále častěji najdou v těchto úlohách uplatnění radarové hladinomě. Robustní mikrovlnné hladinomě poskytují navzdory extrémním podmínkám spolehlivé výsledky měření. Ačkoliv teploty v místě, kde je hladinomě namontován, mohou dosahovat až 200 °C. Vysokofrekvenční radarové hladinomě jsou navíc naprosto bezúdržbové.

## **1 MILION RADAROVÝCH HLADINOMĚŮ VEGA**

Příběh úspěchu přední firmy v oboru radarových hladinoměů na světovém trhu začal před více než třiceti lety. Zahrnuje milníky, jako je první dvouodičový radarový hladinomě na světě a první 80 GHz radarový snímač pro kapaliny na trhu. Celkem se nyní po celém světě používá více než jeden milion radarových přístrojů od společnosti VEGA – v odvětvích, jako jsou chemický, energetický, potravinářský, ropný a plynárenský průmysl a mnohé další. S každou novou generací přístrojů byla společnost schopna stanovit nové standardy a vyvinout nové funkce, díky nimž jsou produkty ještě spolehlivější, přesnější, robustnější a flexibilnější. Důraz je vždy kladen na vysokou kvalitu snímačů.

Za téměř třicet let se radarové hladinomě VEGA staly jedničkou v oblasti radarových hladinoměů na trhu. Nyní představuje naprostou novinku, hladinomě VEGAPULS 6X, který udělal velký krok k tomu, aby se stal všestranným radarovým hladinoměem pro



měření polohy hladiny sypkých materiálů. Tento hladinoměř pracuje na frekvenci 80 GHz, což umožňuje snadné zaostření vysílaného signálu. V zásobnících a silech s mnoha vnitřními překážkami pomáhá lepší zaostřování snížit vliv falešných odrazů. Znamená to, že spolehlivé a přesné měření je možné i při složité vnitřní struktuře zásobníku.

Nové mikrovlnné komponenty dovolují detekovat i ty nejslabší odražené signály. Dokonce i produkty, které až donedávna byly velmi obtížně měřitelné pro jejich špatné odrazné vlastnosti (např. plastový prášek nebo dřevní štěpku), je nyní možné měřit s velkou spolehlivostí. Tím je výrazně rozšířen rozsah použití radarové techniky pro měření sypkých materiálů.

## **VEGAPULS 6X: JEDNODUCHÝ VZOREC PRO MĚŘENÍ HLADINY**

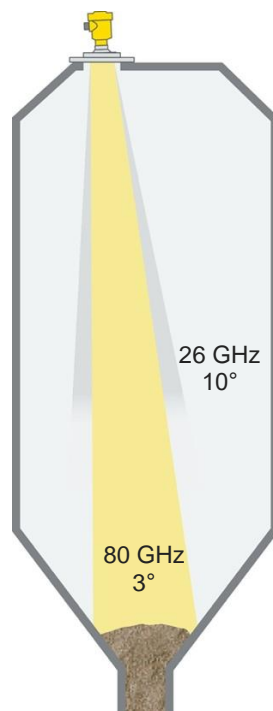
Díky novému hladinoměři VEGAPULS 6X nyní nabízíme jeden snímač pro všechny měřicí úlohy. Volba správné frekvence nebo určení relativní permitivity média již nejsou překážkami, protože výběr správných specifikací snímače je teď mnohem jednodušší. Nový konfigurační nástroj se ptá na typ úlohy a potom rychle určí, jaká verze snímače je pro danou aplikaci nejlepší. Celý postup nyní vyžaduje jen několik kliknutí myši. Vhodnou alternativou je rovněž odborná diskuse s našimi techniky, kteří se problematice měření hladin věnují desítky let.

Proč je dynamický rozsah radarových hladinoměřů důležitý? Dynamický rozsah radarových hladinoměřů určuje, na kterých aplikacích může být hladinoměř úspěšně použit. Udává rozdíl mezi největším a nejmenším signálem, který hladinoměř dokáže zpracovat. Vzhledem k tomu, že dynamický rozsah vysokofrekvenčních radarových hladinoměřů VEGAPULS 6X je 120 dB, je možné měřit dokonce i nejmenší odražené signály. To zajišťuje menší nejistotu měření a lepší spolehlivost pro média s dobrými odraznými vlastnostmi, jako jsou uhlí, ruda a kamenivo, a pokud jde o měření médií se špatnými odraznými vlastnostmi.

## TEORETICKÝ ZÁKLAD

Energie a úhel paprsku vyzařovaného radarem jsou závislé na dvou faktorech: frekvenci a vyzařovací charakteristice antény. Radarový hladinoměr VEGAPULS 6X pracuje s frekvencí 80 GHz a anténním systémem o průměru 75 mm. Vyzařovací úhel hladinoměru je jen 3°, čímž je dosaženo spolehlivého a přesného měření. Vyzařovací paprsek hladinoměru o frekvenci 80 GHz lze nasměrovat tak, aby se vyhnul veškeré vnitřní instalaci a nánosům na stěně zásobníku. Pro srovnání: radarový hladinoměr s frekvencí 26 GHz a anténou o stejném průměru má vyzařovací úhel přibližně 10° (obr. 1). Širší paprsek vytváří více falešných odrazů od vnitřních instalací v zásobníku a nánosů materiálu na stěně zásobníku. Zpracování naměřeného signálu je náročnější a méně spolehlivé.

Obrázek 1) Srovnání vyzařovací frekvence 26 GHz a 80 GHz radarové technologie



## ZÁVĚR

Radarové hladinoměry VEGAPULS 6X a další produkty ze sortimentu německé společnosti VEGA Grieshaber KG dodává na český a slovenský trh její výhradní zástupce pro Českou republiku a Slovensko, společnost LEVEL INSTRUMENTS CZ – LEVEL EXPERT s. r. o.

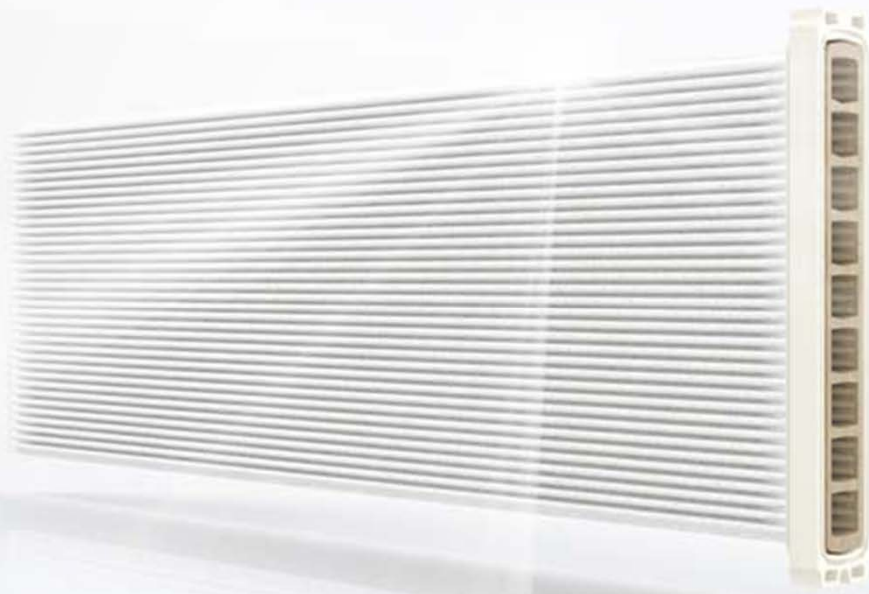
# ***Představení produktů firmy HERDING, Technika životního prostředí, spol. s r.o.***

*Prezentuje: Krejčíř Miroslav  
Technicko- obchodní zástupce*

***čistá produktivita***

*trvalá. efektivní.  
filtrace.*

**ČISTĚ POVRCHOVÁ FILTRACE**



ORIGINÁLNÍ  
PRODUKT  
SPOLEČNOSTI  
HERDING

made in germany

## VÝHODY

### FILTRAČNÍ TECHNOLOGIE HERDING

Filtrační technologie Herding® je založena na čistě povrchové filtraci. Důsledně chrání člověka a stroj před škodlivými výrobními emisemi a umožňuje zpětné získávání filtrovaného materiálu bez jeho kontaminace. To výrazně zvyšuje vaši výrobní produktivitu.

Nízké hodnoty úletu tuhých částic, stabilní provozní podmínky a vysoká energetická účinnost jsou klíčovými vlastnostmi této inovativní technologie. Filtrační prvky Herding® vykazují extrémní odolnost a v závislosti na odsávaném procesu i extrémní životnost (více než 15 let). Filtry Herding® tak významně přispívají k ochraně životního prostředí a trvalé udržitelnosti.

Filtrační prvky Herding® se již po desetiletí osvědčují při účinné a bezpečné separaci částic ve všech oblastech průmyslu. I u nejjemnějších filtrovaných prachů je ve většině případů možná energeticky účinná recirkulace vzduchu, což platí i pro toxický nebo výbušný prach. Filtrační jednotky lze použít do teploty až 450 °C.

**VYSOKÁ  
ŽIVOTNOST**



**STABILNÍ  
PROVOZNÍ  
PODMÍNKY**



**ENERGETICKÁ EFEKTIVITA V  
DŮSLEDKU NÍZKÉHO TLAKU  
REGENERAČNÍHO VZDUCHU**



**KOMPAKTNÍ  
KONSTRUKCE**



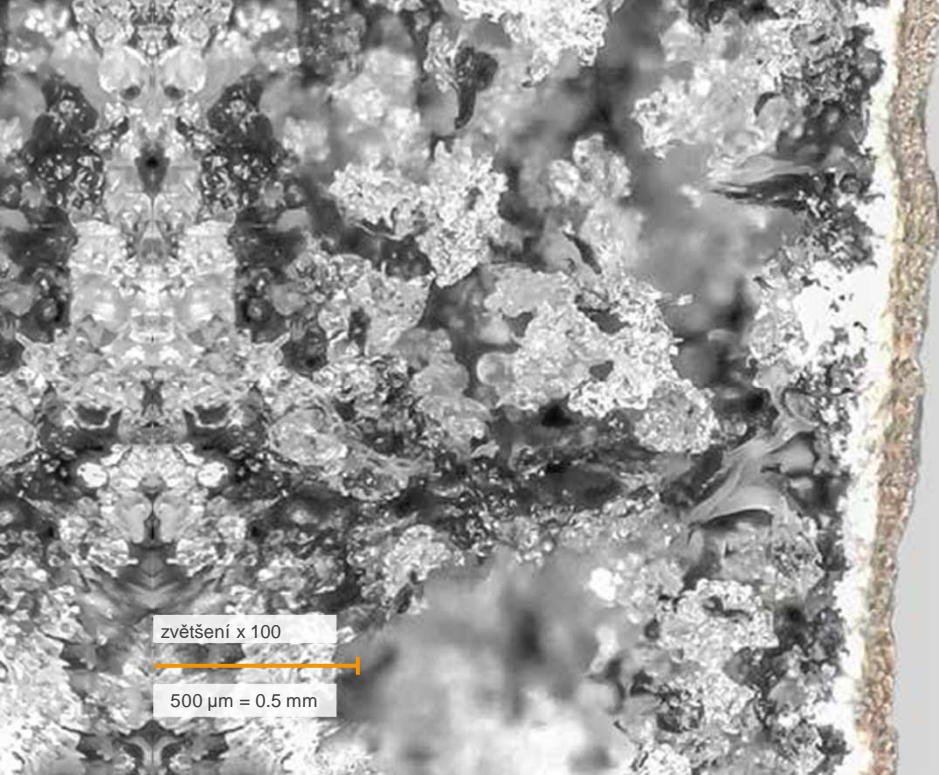
**ZNOVUZÍSKÁVÁNÍ PRODUKTU BEZ  
JEHO KONTAMINACE**

**ČISTÝ VZDUCH DÍKY VELMI  
NÍZKÉ HODNOTĚ ÚLETU TUHÝCH  
ČÁSTIC**



**ODOLNOST PROTI  
CHEMIKÁLIÍM**





zvětšení x 100

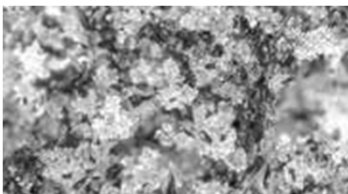
500  $\mu\text{m}$  = 0.5 mm

## FILTRAČNÍ TECHNOLOGIE HERDING S ČISTĚ POVRCHOVOU FILTRACÍ

# KONSTRUKCE

### FILTRAČNÍ MATRICE Kompaktní tuhý korpus

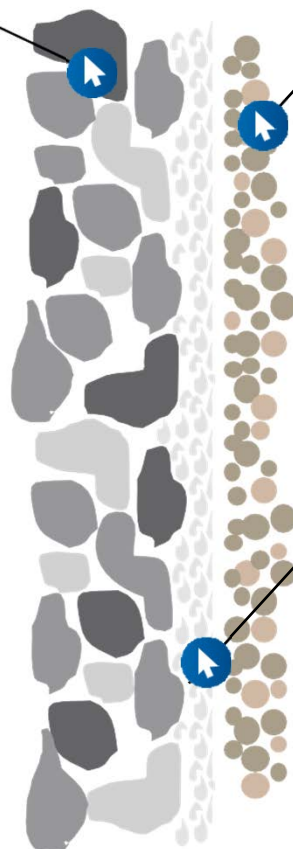
**Herding DELTA, PRO, HSL**  
Slinutý PE (polyethylen)



**Herding BETA**  
Slinutý PPS (polyfenylensulfid)



**Herding ALPHA**  
Jíl s keramickým pojivem



### EFEKTIVNÍ SEPARACE PRACHOVÝCH ČÁSTIC

Spektrum částic, které má být  
filtrováno, je odděleno na  
povrchu filtračního média.

Žádné ukládání jemných  
prachových částic v těle filtru.

### POVRCHOVÁ ÚPRAVA

Mikroporézní  
homogenní  
vrstva,  
zpracovaná do  
povrchu filtru





# INSTALACE

## SMĚR INSTALACE

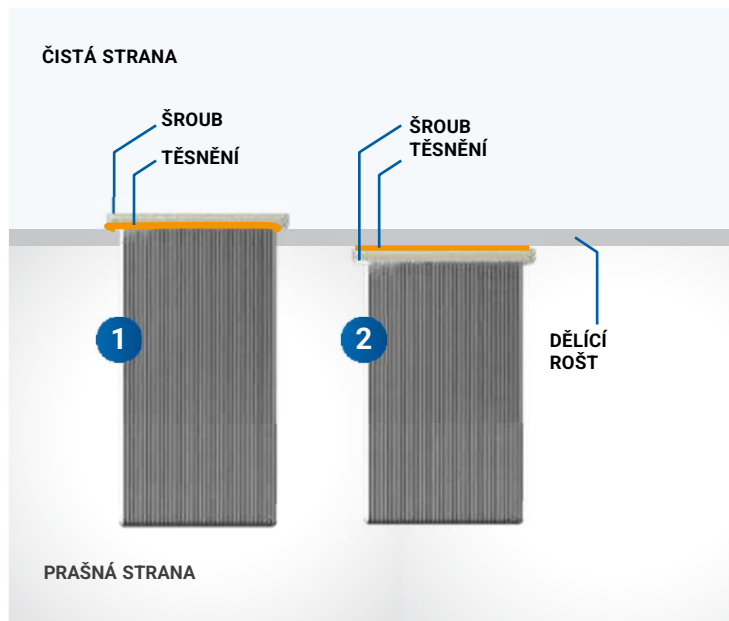
V závislosti na individuální potřebě a na požadavcích procesu je možná horizontální nebo vertikální instalace filtračních prvků.

### 1 INSTALACE Z „ČISTÉ“ STRANY

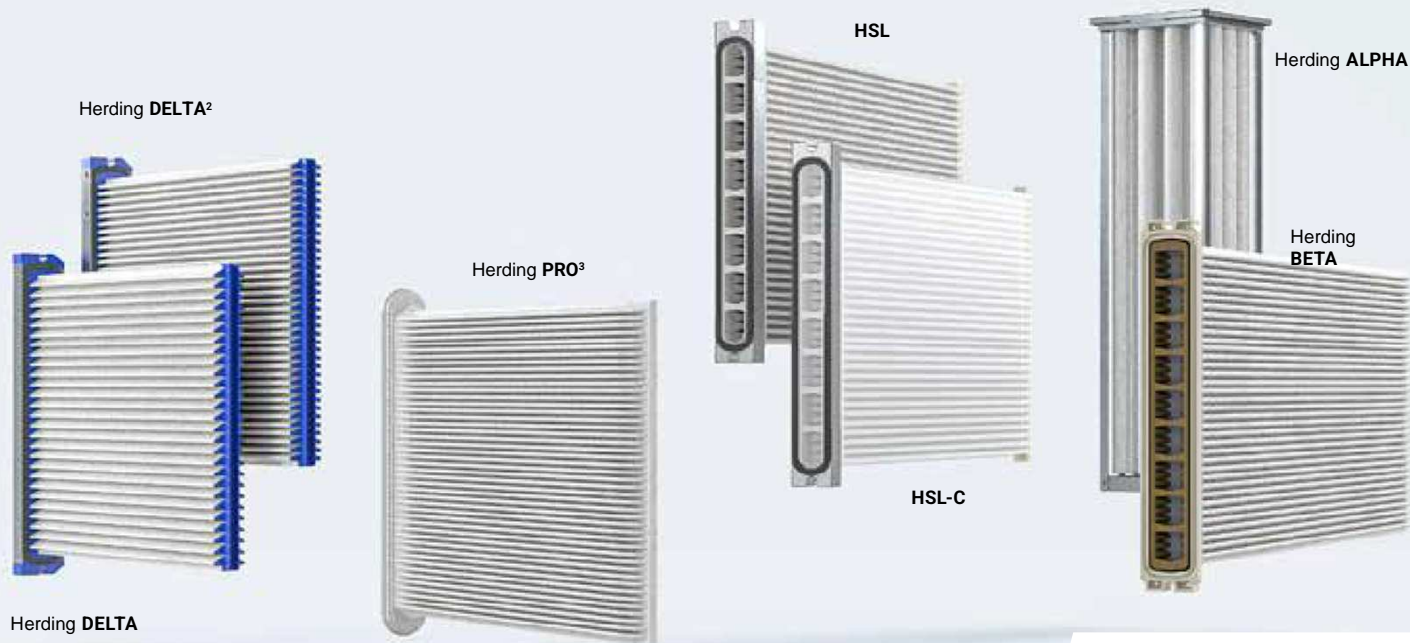
Instalace ze strany čistého přefiltrovaného plynu umožňuje optimální přístup k filtračním prvkům a poskytuje nejvyšší možnou ochranu před kontaminací personálu.

### 2 INSTALACE Z „PRAŠNÉ“ STRANY

Instalace filtračních prvků ze strany nepřefiltrovaného plynu umožňuje přímou a jednoduchou revizi této oblasti. Pro montáž a demontáž filtračních prvků není nutná velká stavební výška.



Montáž filtračních prvků	Herding DELTA DELTA <sup>2</sup>	Herding PRO <sup>3</sup>	HSL	HSL-C	Herding BETA	Herding ALPHA
Horizontální	✓	✓	✗	✗	✗	✗
Vertikální	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Z „čisté“ strany	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Z „prašné“ strany	✓	✗	✓	✓	✗	✗



# FILTRY

	Herding DELTA DELTA <sup>2</sup>	Herding PRO <sup>3</sup>	HSL	HSL-C	Herding BETA	Herding ALPHA
<b>Provozní teplota max. do [°C]</b>	70	70	70	100	160	450
<b>Zbytkový obsah prachu na čisté straně [mg/bm<sup>3</sup>]</b>	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.5	< 2.0
<b>Filtrační plocha [m<sup>2</sup>]</b>	1.10 - 7.10	3.15	0.54 - 7.64	0.89 - 7.64	2.20 - 4.75	3.00
<b>Lepivé prachy (s použitím Precoatingu)</b>	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<b>Abrazivní prachy</b>	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<b>Možnost regenerace</b>	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<b>Povrchová úprava s PTFE</b>	✓	✓	✓	✓	✓	✗
<b>DustExZoneBarrier podle VDI 2263</b>	✓	✓	✓	✓	✓	✗
<b>Možnost vracení vzduchu (v závislosti na třídě prachu)</b>	✓	✓	✓	✓	✓	✗
<b>Antistatické provedení</b>	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<b>Nenabíjíitelné provedení</b>	✓	✗	✓	✓	✗	✗
<b>Léčiva/potraviny schváleno EU</b>	✓	✓	✓	✓	✓	✗
	✓	✓	✓	✓	✓	✗



## HERDING - ČISTÁ PRODUKTIVITA

### Německá kvalita

Od filtračního prvku až po kompletní odsávací systém. Výrobní řetězec začíná výrobou filtračního média a končí finální montáží hotových celků.

Díky výrobnímu závodu v Německu je zajištěn extrémně vysoký standard kvality a flexibilita pro zákazníky z celého světa. Na základě výhodného modulárního principu je k dispozici řada typů filtračních skříní, které lze individuálně přizpůsobit. Filtrační jednotky mohou být vyrobeny z různých konstrukčních materiálů a zajistit tak jejich dlouhou životnost i v chemicky agresivním prostředí.

#### Herding **MAXX**

Pro velmi vysoké odsávací výkony

#### Herding **RESIST**

Pro aplikace s vysokým provozním tlakem a snadnou čistitelností

#### Herding **PROCESS**

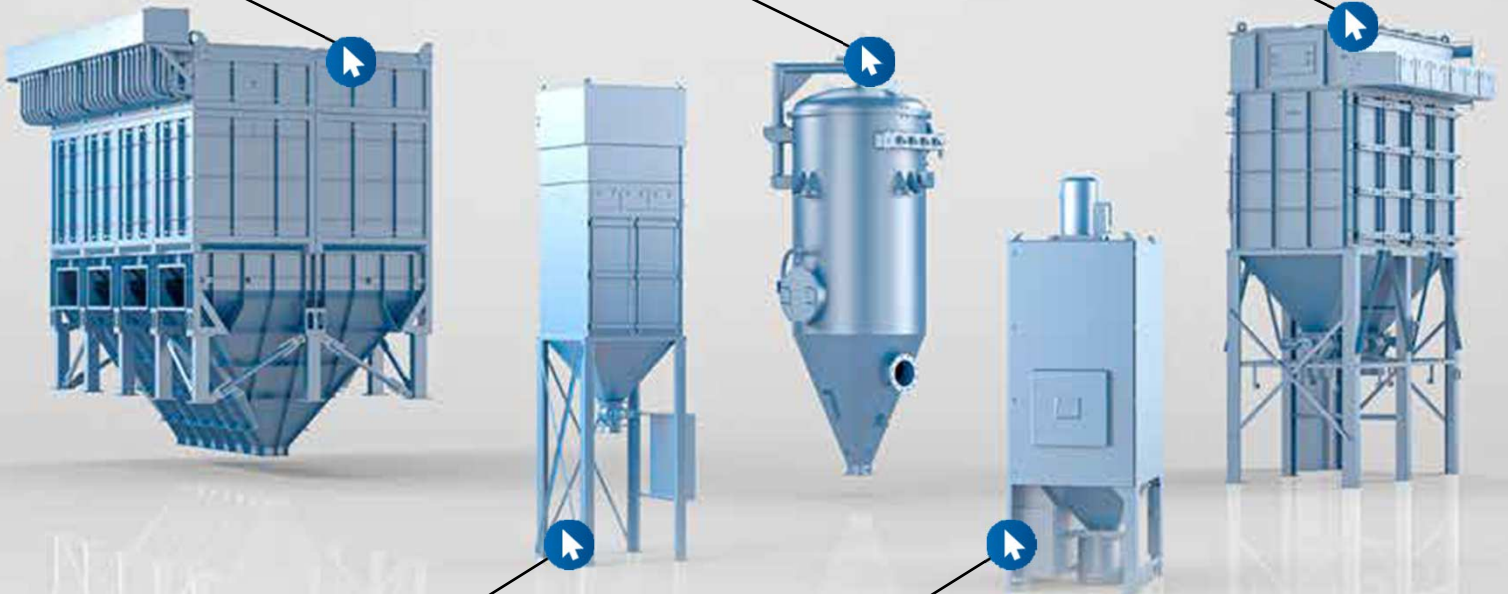
Série pro nejvyšší technologické nároky

#### Herding **FLEX**

Standardní typová řada pro všechna průmyslová odvětví

#### Herding **COMP**

Kompaktní filtrační systém pro omezený zástavbový prostor







# ***Děkuji za pozornost!***

*Krejčíř Miroslav*  
*Technicko- obchodní zástupce*

tel: +420 736 768 503

mail: [krejcir.miroslav@herding.cz](mailto:krejcir.miroslav@herding.cz)

[www.herding.cz](http://www.herding.cz)

Herding TŽP, spol. s r.o.  
Toušeňská 283  
250 81 Nehvizdy

tel: +420 326 792 051  
mail: [herding@herding.cz](mailto:herding@herding.cz)  
[www.herding.cz](http://www.herding.cz)

**SLEDUJTE NÁS NA**



# ANALÝZA PLYNU PŘI PROCESU SPALOVÁNÍ V ROTAČNÍ PECI

*Ing. Michal Rejzek, SICK spol. s r.o.*

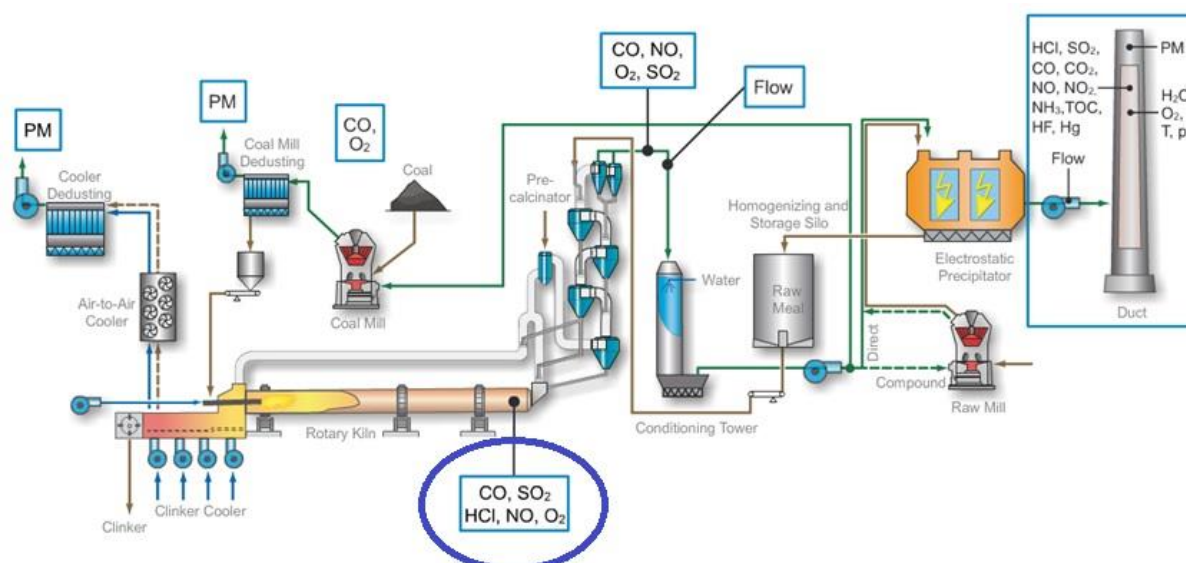
V současnosti je v celosvětovém cementářenském průmyslu jednoznačným trendem používání alternativních paliv. Ovšem rozdílné složení těchto paliv a často velice agresivní spaliny mají na řízení procesů nežádoucí dopad. Instalováním procesní analýzy plynů ve vstupu rotační pece můžeme dosáhnout spolehlivého řízení primárního procesu regulace spalování a spolehlivého sledování podstatných složek spalin.

Moderní procesní fotometr v kombinaci s vyhřívanou odběrovou sondou a odběrovým vedením umí tuto měřicí úlohu řešit i v extrémně náročných podmínkách, způsobených přítomností alternativních paliv.

## **Současné požadavky**

Přestože konvenční fosilní paliva, jako je zemní plyn, topné oleje a uhlí jsou v cementářenském průmyslu široce využívána, trend nahrazování alternativními palivy je na vzestupu. Poměr objemu alternativních paliv k celkovému objemu paliva může v některých cementárnách dosáhnout až 80 procent. Trend alternativních paliv je na jedné straně poháněn rostoucími cenami primárních paliv, na druhé straně evropskou a severoamerickou legislativou, která trvá na tom, aby určité typy odpadů před jejich konečným uložením prošly spalováním ve vysokých teplotách. Nahrazování plynu, topných olejů nebo uhlí alternativními palivy má významný dopad na procesní analýzu plynů v produkci slínku. V posledních letech bylo měření koncentrací  $O_2$  a  $CO_2$  ve spalinách vstupu pece (doplňené měřením  $NO$  v moderních závodech) z hlediska procesního řízení dostačující. Příležitostně se koncentrace  $SO_2$  měřily spolu s ostatními komponenty. Se zavedením alternativních paliv často dramaticky stoupá podíl chloridů a síry ve spalinách.

Obrázek 1 – Měření v cementárnách



V důsledku tohoto je nutné při odbírání vzorků plynu ze vstupu pece zvažovat mnohem vyšší rosný bod kyselin. Pokud chceme zamezit zanášení a znečišťování odběrové sondy a dalších zařízení, stoupnou nám tím požadavky na systém odběru a úpravy vzorku. Dokonce ani některá opatření (např. přidání peroxidu vodíku a zavedení rozdělených odběrových vedení pro jednotlivé analyzátoři SO<sub>2</sub> i kombinované měření CO, NO a O<sub>2</sub> v druhém analyzátoru) nemohou uchránit odběrové vedení a měřicí komory před rychlou korozi, i kdyby byly vyrobeny z nerezové oceli. Proto se při měření ve vstupu pece (se zmíněným složením spalin za přítomnosti alternativních paliv) stávají systémy odběru a úpravy vzorku pracující na principu vychlazení a vysušení vzorku (cold – dry) velice složitými a náročnými na údržbu.

Extraktivní měřicí metody, pracující s neupraveným vyhřátým vzorkem (hot-wet) dokázaly, že jsou vhodné při používání agresivních plyných směsí a dokonce obstojí i v extrémně drsných podmínkách vstupu pece. Základní myšlenka je jednoduchá: udržet všechny části, které jsou v kontaktu se vzorkem plynu vysoko nad rosným bodem kyselin, aby se zabránilo kondenzaci a tudíž i korozi. Požadavek na teplotu 200°C (a vyšší) v celé odběrové trase vzorku a přítomnost vysokých koncentrací vodních par může zajistit jen analyzační zařízení speciálně vyrobené pro vyhřívání odběrové systémy. V kombinaci s vysokoteplotní odběrovou sondou SCP3000, speciálně navrženou pro komplikované podmínky ve vstupu pece, nabízí

multikomponentní analyzátor MCS od firmy SICK řešení pro potřeby regulace spalování a procesní optimalizaci v cementárnách za použití alternativních paliv. Společně se základními plyny, jako je O<sub>2</sub>, CO a NO, mohou být jedním analyzátozem simultánně vyhodnocovány i ostatní procesní parametry, jako je obsah SO<sub>2</sub> a HCl. Investice do hot-wet MCS systému a do cold-dry odběrového systému jsou sice podobné, ale výhodnost hot-wet odběrových zařízení může být jednoduše vyčíslena za celou dobu životnosti zařízení. U náročného měření ve vstupu pece mohou být provozní náklady o více než 40 % nižší, než u cold dry odběrového systému.

### **Měření ve vstupu pece za působení alternativních paliv**

Společné spalování alternativních paliv vyžaduje spolehlivou procesní kontrolu, zejména pokud se jejich složení a obsah energie mohou výrazně lišit, a to i přes stanovený a schválený podíl a složení. Pokud jsou používána různorodá sekundární paliva, procesní výkyvy mohou být obrovské. Kontinuální analýza plynů ve vstupu pece poskytuje hodnoty v reálném čase. Tyto údaje mohou být použity pro zpětnovazební regulaci. Hodnoty koncentrací složek jako je O<sub>2</sub>, CO a NO mohou být použity k monitorování a řízení primárního spalování, které má přímý dopad na kvalitu produkovaného slínku. Přítomnost plynných komponentů, jako je SO<sub>2</sub> a HCl, naznačuje totiž pravděpodobnost usazování pevných částic na stěnách pece v blízkosti vstupu. Na základě hodnot analyzátoru je rovněž možné řídit i případný chloridový bypass.

### **Řešení pro analýzu plynů ve vstupu pece**

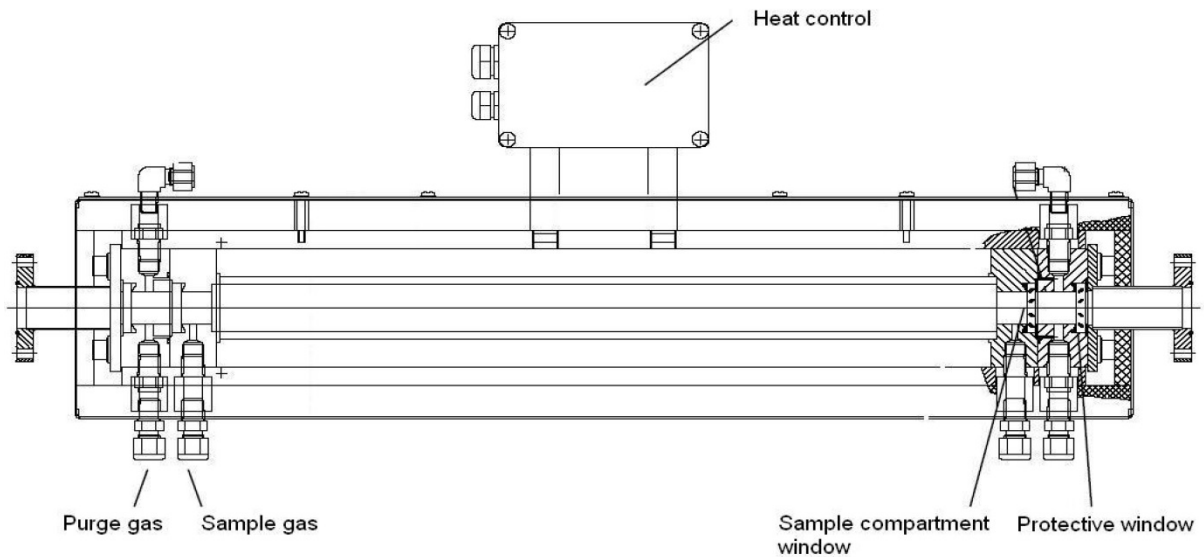
Hot-Wet MCS odebírá vzorek v blízkosti středu vstupu pece přes vodou chlazenou vysokoteplotní sondu, vyhřívaný prachový filtr, vyhřívané odběrové vedení a vyhřívanou pumpu. Proto je vzorek plynu udržován nad teplotou 200°C od konce vodou chlazené sondy přes analyzátor, do kterého je vzorek přiváděn bez jakéhokoliv dodatečného čištění, nebo jakékoliv úpravy. Uvnitř analyzátoru prochází vzorek plynotěsnou komorou, která je také vyhřátá na 200°C. Aby se předešlo studeným místům v toku vzorku, je jeho teplota udržována vždy nad rosným bodem vody i kyseliny. Tím je zamezeno kondenzaci prvků korozivního plynu a akumulaci nečistot ve vzorku, nebo uvnitř analyzátoru.



Sonda SCP3000 je speciálně navržena pro extrémně náročné podmínky ve vstupu pece. Vysoký podíl prachu v kombinaci s velkým obsahem chlóru a sirnatých směsí v prostředí pece zvyšuje pravděpodobnost tvorby pevných usazenin na špičce vodou chlazené sondy. To může snadno způsobit ucpání odběrových sond, pokud se tomu nezabrání preventivními kroky. V SCP3000 je zanášení efektivně zabráněno optimalizovaným tvarem vstupu sondy a pravidelným pročišťováním sondy pomocí občasného vysokotlakového rázového profuku. Tělo sondy je vyrobeno ze žáruvzdorné oceli odolné proti vysokým teplotám. To sondě propůjčuje vysokou odolnost proti průhybu. Otvor pro vtok plynu je směřován pod určitým úhlem vůči toku plynu, což zabraňuje snadnému vniknutí prachových částic do sondy. V důsledku toho je množství nežádoucích prachových částic redukováno, a dále zachyceno na vyhřívaném prachovém filtru.

Filtr a trubku sondy je možné proplachovat stlačeným vzduchem pravidelně, nebo manuálně na vyžádání prostřednictvím rázového profuku. Patentovaný mechanismus umožňuje periodické otáčení sondy v +/- 45° a 10 cm vzad a vpřed. Tím je odstraněn surový materiál a jiné pevné látky (nečistoty), které se hromadí na vnějšku trubky a mohou tak bránit sondě, aby se stáhla zpět otvorem ve zdi pece. Podstatné je, že sonda se může zatáhnout zpátky kdykoliv, jako prevence před poškozením (způsobeným např. chladicím zařízením), ale i když je potřeba běžná údržba. Proto je na ní nainstalován elektromechanický pohon. Záložní systém, založený na stlačeném vzduchu, umožňuje trubce sondy, aby se stáhla zpět i bez elektrické energie. Kompletní odběrový systém je napojen na řídicí jednotku, která umožňuje automatizovaný provoz zařízení, nebo manuální obsluhu přes dotykový panel.

Obrázek 2 - Procesní komora MCS300P



Tento Hot-Wet multikomponentní analyzátor plynu využívá nedisperzní IR procesní fotometr, a je schopený měřit současně až 6 IR aktivních plynných složek. Jednou z možností je i možnost měření kyslíku pomocí snímače oxidu zirkoničitého. Zdroj světla přenáší IR záření přes vyhřívanou měřicí komoru. Za ní světlo prochází soustavou interferenčních plynem plněných filtrů, používaných pro absorpci jednotlivých plynných složek. Spektrální filtry jsou namontovány na rotačních kolech, která při rotaci provádějí další korelační kroky. Nakonec je zbytkové záření soustředěno na detektor a analyzováno pro charakteristický vzor individuálního měření a referenčních kanálů v dané časové sekvenci. S měřícím filtrem v dráze světla je detekovaný signál nezávislý na koncentraci příslušné plynné složky v měřicí komoře. Použitím referenčního filtru je vytvořen signál nezávislý na měřené složce. Kombinací těchto dvou signálů je zbytkový extinkční signál takřka nezávislý na změnách v optických vlastnostech fotometru samotného. To nabízí dlouhodobou stabilitu a vynikající reprodukovatelnost měření. Po korekci interference je extinkční signál z každého kanálu přeměněn na signál udávající koncentraci prostřednictvím jeho vlastních kalibračních funkcí. V aplikaci vstupu pece je analyzační systém běžně nakonfigurovaný pro měření veškerých relevantních komponentů současně: O<sub>2</sub> (0 – 21 vol%), CO (0 – 2 vol%), NO (0 – 0,6 vol%), SO<sub>2</sub> (0 – 5 vol%) a HCl (rozsah 0 – 0,5 vol%).

Kombinace SCP3000 a technologií MCS si v cementárnách poradí se zásadními komplikacemi měření ve vstupu pece, s vysokými teplotami plynu a nánosy prachu, ale i s vysokým rosným bodem kyselin, aniž by potřebovala systém pro úpravu vzorku, který by byl velice náročný na údržbu. Automatické samočistící a samoregulační schopnosti analyzátoru umožňují dlouhodobý bezporuchový provoz a znatelné výsledky s ohledem na snížení provozních nákladů v porovnání s konvenčními cold dry odběrovými systémy.

## **Shrnutí**

Trend sledující používání alternativních paliv v cementárenském průmyslu je zřejmý. Z důvodu měnícího se složení a obsahu energie v sekundárních palivech vzrůstá potřeba sofistikovanějšího procesního řízení, kterého se dá dosáhnout pomocí uzavřené řídicí smyčky, založené na měření procesně relevantních složek plynů ve vstupu pece. Zde je analyzátor vystaven extrémním teplotám i nánosům prachu a velmi vysokému rosnému bodu kyseliny vzorku. Hot-Wet odběrové technologie, které představujeme v tomto článku, nepodléhají korozi a znečišťování díky omezení tvorby studených míst v toku vzorku. Navíc schopnost analyzovat vícesložkově dovoluje měřit současně všechny důležité procesně relevantní složky plynu jediným zařízením. Zásluhou tohoto přístupu je úprava vzorku redukována do vyhřívaného prachového filtru, což zaručuje nízkou potřebu údržby. Hot-Wet MCS technologie dokázala, že je spolehlivým řešením v cementárenském průmyslu, stejně jako analýza odpadního plynu ve spalovnách odpadu.

## **LITERATURA**

[1] Manfred Stromberg a Michael Markus: Combustion Control and Process Optimisation – WorldCement,

# PRAKTICKÉ UKÁZKY VYUŽITÍ SIMULACÍ V CEMENTÁRENSTVÍ

*Ing. Ondřej Čepl, Ing. Jiří Vondál, Ph.D.*

*SVS FEM s.r.o.*

Využívání numerických simulací při návrhu a vylepšení provozu cementárenských, těžebních a zpracovatelských zařízení je čím dál dostupnější. Simulace poskytují informace o vnitřních dějích, které nejen z důvodu agresivního prostředí, není možné získat jiným způsobem. Díky vhledu do procesů uvnitř zařízení lze celý proces úprav a vývoje urychlit a zefektivnit, ale hlavně reagovat na samotnou příčinu daného problému či vylepšení. Samotné simulační nástroje prochází velkou řadou změn, přičemž v poslední době jsou stále přístupnější konstruktérům a designérům. Cílem příspěvku je na konkrétních příkladech poukázat na současné možnosti, jak v oblasti návrhu zařízení a strojů pro cementárenský průmysl, tak i pro optimalizaci stávajících procesů a zvýšení jejich účinnosti.

## ÚVOD

Zpracovatelský a těžební průmysl je velmi nákladný jak energeticky a materiálově, tak je ke správnému chodu nutný i kvalifikovaný a schopný personál. Návrhy vedoucí k úsporám jsou velmi žádané a mohou mít velmi krátkou návratnost, obzvláště při aktuálnímu zdražování nejen železa a oceli, ale i energií a dalších vstupů. Simulační nástroje jsou ideální pro hledání optimálního řešení. Může se jednat o snížení hmotnosti zařízení při zachování jeho funkčnosti, či odhalení chyb již méně funkčních strojů, až po úplný vývoj nového stroje. V posledních letech se simulace využívají stále častěji, protože lze inovace dělat i jiným způsobem, než jen metodou pokus-omyl. Není potřeba vyrábět každý nový návrh a testovat jeho funkčnost a parametry. Díky simulacím je možné vyzkoušet jednotlivé varianty virtuálně, zdokonalit jejich funkčnost a až poté experimentálně otestovat pouze finální návrh.

V simulačních nástrojích je možné modelovat celou řadu úloh – od konstrukčních návrhů, zjištění vznikajícího napětí a detekci nebezpečných míst, přes pohyb sypkého

materiálu, rozpad částic, drcení a lisování, zjišťování charakteru proudění až po pneumatickou a hydraulickou dopravu reálných tvarů částic. Numerické simulace rozdělujeme do vybraných základních oblastí:

- 1) Simulace sypkých hmot (Metoda diskretních elementů – DEM)
- 2) Simulace proudění (počítačová dynamika tekutin – CFD)
- 3) Pevnostní simulace (nejčastěji Metoda konečných prvků – MKP)
- 4) Optimalizace (parametrická a topologická)

Jedná se o přehled základních simulačních oblastí, které jsou typické pro cementárenský průmysl. Pevné hranice mezi jednotlivými přístupy se stále více smývají a v současné době je populární spojovat více oblastí dohromady a vytvářet komplexní multifyzikální analýzy, které lépe popisují reálné situace a fyzikální děje. Pro ilustraci je možné zmínit unášení částic proudem vzduchu, kde jsou popsány jak jednotlivé částice pomocí DEM metody, tak i rychlostní a tlaková pole tekutiny s využitím CFD.

Dále jsou prezentovány konkrétní příklady simulací s využitím softwaru Ansys a Rocky DEM, které jsou v naší firmě SVS FEM k těmto účelům využívány.

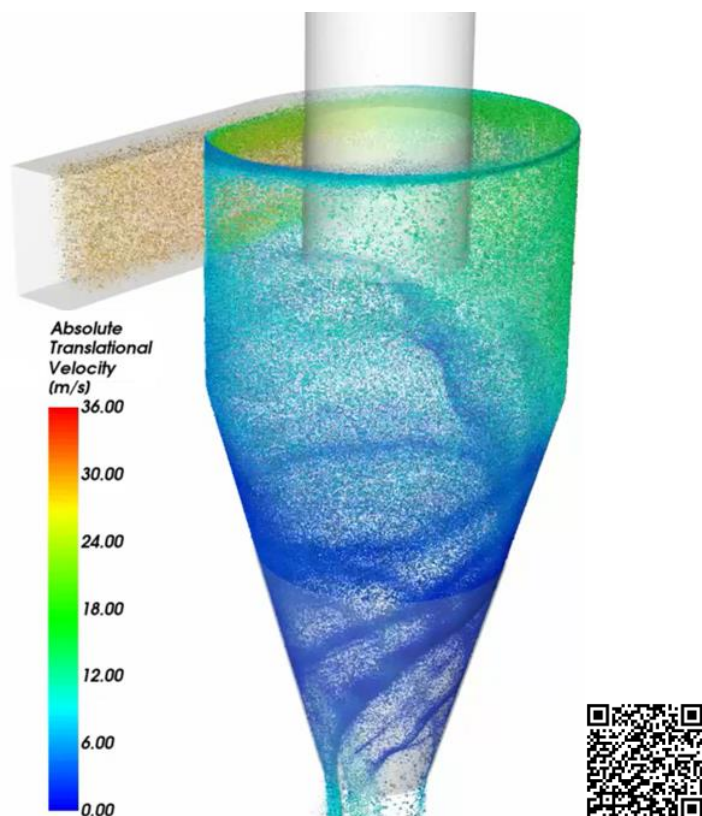
## **SIMULACE SYPKÝCH HMOT**

K modelování toku sypkých hmot se využívá DEM metoda (Discrete Element Method). Sypký materiál je tvořený skupinou částic. U každé částice je sledována její poloha (rychlost a zrychlení) a samotný pohyb je ovlivněn jak interakcemi s ostatními částicemi, tak i se stěnami okolních součástí. Reálný materiál však obsahuje obrovské množství částic různých tvarů a velikostí, někdy je navíc potřeba řešit jejich rozpad, ovlivnění od vnějšího pole, či specifický tvar částice. Proto byly simulace v minulosti omezené na malý počet kulových částic. S rozvojem výpočetní techniky, zejména grafických karet, ale také softwarovými vylepšeními, se zásadně rozšířily možnosti použití.

Software Rocky DEM, který je založený na výše zmíněné DEM metodě, dokáže simulovat částice libovolného tvaru. Velkou výhodou je využití grafických karet, které závratně zrychlují výpočet. Díky optimalizovaným algoritmům Rocky DEM, vysoké výkonnosti a použití více grafických karet současně (multi-GPU), byla vytvořena největší DEM úloha na světě, která v jeden okamžik obsahovala téměř 200 milionů částic [1] – viz obrázek 1.



Propojením DEM a CFD metody vznikla jednoduše<sup>1</sup> provázaná simulace cyklónového odlučovače. Cyklón využívá sedimentačního efektu uvnitř zařízení a současně slouží ke snížení objemu nečistot v proudu vzduchu pokračujícího do filtračního zařízení. Vysoký počet částic v simulaci umožňuje velmi přesně predikovat interakci částic jednak mezi sebou a také se stěnou. Tím můžeme identifikovat jak erozně, tak i teplotně namáhaná místa. Na obrázku 1 lze vidět geometrii odlučovače spolu se simulovanými částicemi.



Obrázek 1: Simulace cyklónového odlučovače s použitím téměř 200 milionů částic [1]

Simulační nástroj Rocky DEM nabízí velký rozsah aplikací. Je možné simulovat jak klasické kulovité částice, tak i částice reálného tvaru (polyhedrony, vlákna, folie, 2D tvary, atd.). Navíc je možné definovat ohebné částice, případně jejich rozpad, který se využívá např. při simulacích mletí. Díky propojení na další simulační nástroje je možné simulovat také přestup tepla z/do částic, sušení, uvolnění prchavin a další vícefázové jevy.

---

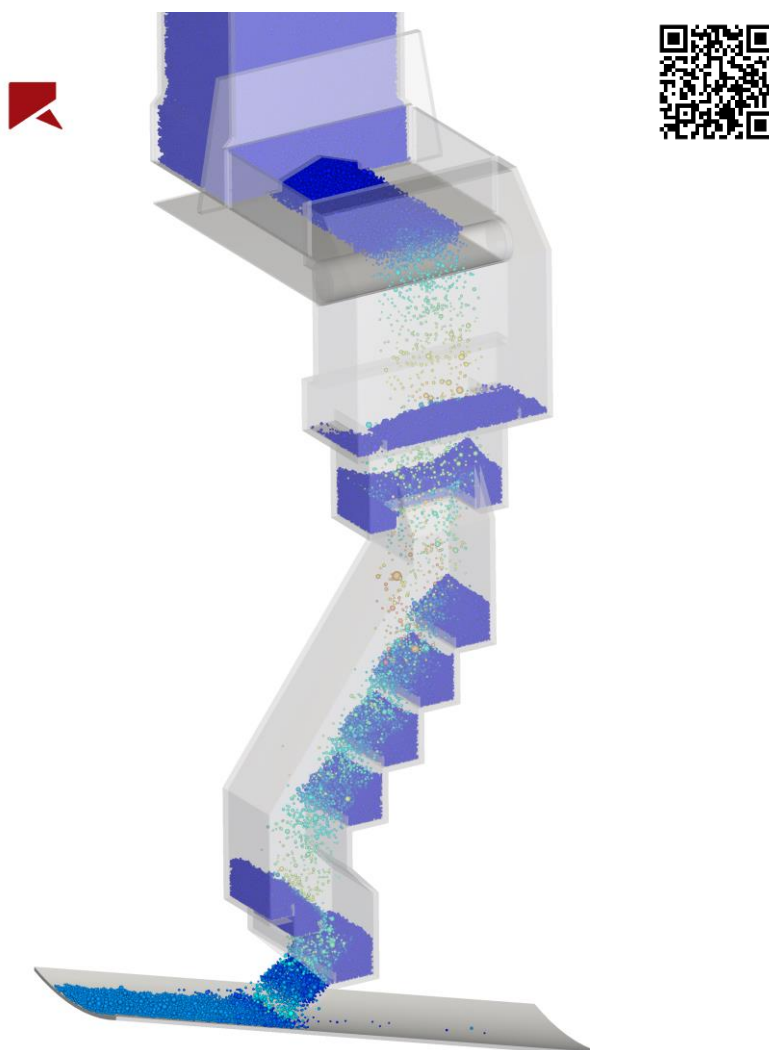
<sup>1</sup> Rychlostní pole tekutiny ovlivňuje pohyb částic, ale částice již neovlivňují rozložení rychlostního pole.

U sypkých materiálů se lze setkat s materiály podobné struktury (cementy, vápna, slínky, ...), ale fyzikální vlastnosti daného materiálů se liší v závislosti na konkrétním závodu či výrobě. Proto při simulacích hraje velkou roli kalibrace materiálu. Kalibrace spočívá v experimentálním měření, při kterém lze zjistit určité parametry, např. statický a dynamický sypný úhel. Pro vyhodnocení se využívá metod zpracování obrazu, což umožňuje rychlou digitalizaci. Zkoušky jsou rozdílné v závislosti na konkrétním problému. Zjištěné parametry skutečného materiálu se zadají do Rocky DEM, který vytvoří virtuální materiál s odpovídajícími vlastnostmi. Následně jsou pomocí optimalizačních metod automatizovaně identifikovány konkrétní materiálové vlastnosti vhodné pro numerickou simulaci sypkých hmot typu DEM.

Dále jsou představeny 3 oblasti použití Rocky DEM s konkrétními ukázkami úloh z praxe.

### **Snižování prašnosti**

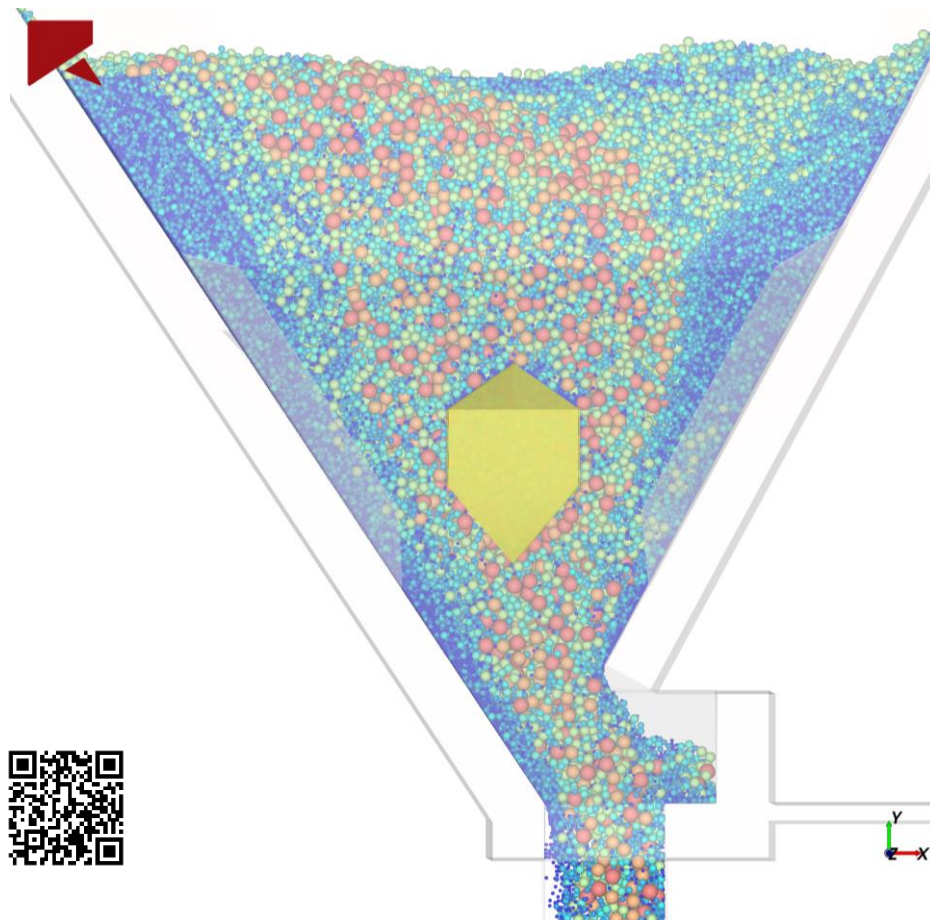
Neodmyslitelnou součástí přepravy a zpracování cementu je prašné prostředí. Na základě simulací, a z toho plynoucích konstrukčních úprav, je možné snížit prašnost na velmi nízkou úroveň. Řešená úloha spočívala v požadavku na minimalizaci prašnosti u návrhu nového skluzu k přepravě slínku z jednoho dopravníkového pásu na druhý v jiné výškové hladině – viz obrázek 2. Základním předpokladem pro snížení prašnosti bylo snížení rychlosti částic slínku na vstupu a výstupu skluzu, kde se částečně otevřeným prostorem šířily částice prachu. Po sérii simulací v Rocky DEM a otestování několika konstrukčních variant byla průměrná translační rychlost na výstupu (tj. těsně před dopadem na druhý dopravníkový pás) snížena z původních 5 m/s na rychlost 0.7 m/s. Konstrukční a materiálová náročnost navrženého skluzu byla velmi podobná jako původní varianta. Funkčnost a průchodnost skluzu byla zachována. Navíc byly určeny oblasti, které jsou nejvíce opotřebovávány. Například opotřebení druhé svislé příčky seshora je přibližně 5 × vyšší než opotřebení spodního plechu, po kterém částice již kloužou na dopravník. Po výrobě a instalaci finální verze skluzu se potvrdilo snížení prašnosti v okolí skluzu.



Obrázek 2: Konstruktivní úpravy skluzu při přepravě slínku ke snížení prašnosti pro společnost Melkov s.r.o.

### **Segregace částic**

Další často řešené téma je segregace částic v silu. Hrubý materiál setrvává ve vnitřní části, kdežto jemný se hromadí u stěn. Jev je způsobený vířením materiálu nad povrchem násypu. Po delším čase (řádově v měsících) vznikne vrstva nahromaděného jemného prachu u stěny, která se následně odtrhne. Jemné částičky mají zcela odlišné vlastnosti než původní materiál a jsou podobnější tekutinám. Vlastnosti jsou podobné jako u fluidních popílků. Proto je velmi obtížné strženou vrstvu zastavit. U praktické úlohy bylo řešeno silo o kapacitě 80 kubických metrů. Velikost



Obrázek 3: Vnitřní vestavba, která chrání proti tvorbě segregovaných oblastí v silu společnosti Českomoravský cement a.s.

částic se pohybovala od desítek mikrometrů až po 50 mm. Kalibrace materiálu (vápenec s 5 až 10 % popílků a nepatrným množstvím sádry a železité korekce) byla velmi důkladná, neboť bylo použito vysoké zvětšení virtuálních částic pro simulaci. Jelikož se jedná o dlouhodobý proces, simulace probíhala s již nahromaděnou vrstvou. Pomocí simulace bylo pozorována doména při odebírání standardního provozního množství (60 až 90 t/hod) a byla postupně navržena vhodná vnitřní vestavby, která mísí velké částice uprostřed, jenž s sebou strhávají i malé částice u okrajů. Řešení je zobrazeno na obrázku 3. Pomocí vnitřní vestavby lze snížit velikost vrstvy jemných částic. Toto řešení zcela neodstraní problém, ale výrazně omezí velikost jemné vrstvy. Při návrhu je nutno zajistit, aby nedocházelo k ucpávání, ale ovlivněná oblast byla co největší. K tomuto účelu byl opět využit Rocky DEM, pomocí kterého lze efektivně zhodnotit navrhovanou vestavbu. Hodnotícím kritériem byla také průměrná velikost odebíraných částic, která se díky navržené vestavbě zmenšila o 2 mm. Objem, o který

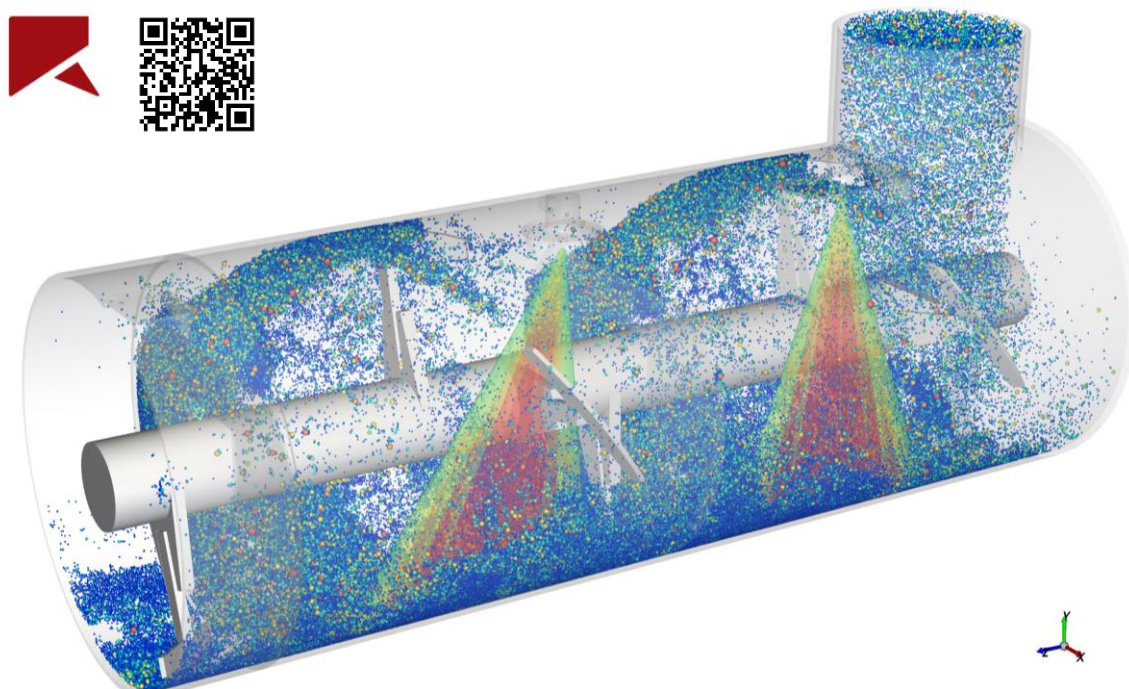


se zmenšila kapacita je k celkové velikosti relativně malý, jedná se o 0,36 m<sup>3</sup>, což je 0,5 %. Výstupem ze simulace jsou i síly působící na vestavbu (max 44 kN), díky čemuž lze vestavbu a její uchycení optimálně dimenzovat.

### Vlhčení sypkého materiálu

Poslední příklad využití simulací je optimalizace natočení trysek pro úpravu vlhkosti sypkého materiálu. Pohyb materiálu v mísicím stroji je téměř vždy neznámý, obzvláště jedná-li se o sypký materiál, který znemožňuje vzhled do procesu. Z tohoto důvodu byla použita simulace v Rocky DEM, kde byl zanalyzován pohyb částic. Hmotnostní průtok materiálu se pohybuje kolem 5 t/h a velikost částic na úrovni 0,1 až 2 mm. Voda je nastříkována s použitím tří trysek ve tvaru plochého kužele.

Na základě simulace byly vyhodnoceny různé varianty natočení vlhčící trysky a nalezeno vhodné řešení. Na obr. 4 je znázorněna jedna varianta návrhu trysek vlhčícího stroje. Primárně byla hledána oblast, kde se částice rovnoměrně navlhčí (výstupní částice stráví v oblasti postřiku stejný čas) a plynule postupují vlhčícím zařízením. Pomocí simulace bylo možné zjistit nejen vhodné oblasti, ale i místa, kam není výhodné trysky směřovat. U prvního úseku byla nalezena poloha trysky, při které



Obrázek 4: Hledání optimálního natočení trysky při vlhčení prášku, aby bylo dosaženo požadovaných vlastností

se kapalina dostane až 3 × více částicím než při původním natočení. U ostatních úseků byl nárůst o cca 20 % oproti původnímu natočení trysek.

Důvodů, proč se vyvarovat určitým místům bylo více, nejzásadnější jsou však následující tři:

- Při vykreslení částic bylo možné pozorovat oblasti, kudy neprochází téměř žádné částice (lopatky posouvají a směřují téměř všechny příchozí částice)
- S využitím parametru zdržné doby byly nalezeny místa, kde materiál stagnoval nebo cirkuloval
- Dále byly pozorovány oblasti, kde probíhalo zavíření a průchod části materiálu pod tryskou proběhlo vícekrát.

Finální vyhodnocení probíhalo s využitím parametru Particle visibility, který udává, jak moc je daná částice viditelná z pohledu trysky v každém časovém kroku. Tento přístup je možné použít také při posuzování kvality postřiků a sprejů. Výstupem bylo doporučení pro optimální natočení trysek a doporučená úprava geometrie mísiče.

## **SIMULACE PROUDĚNÍ**

Hlavní používaným přístupem při simulacích proudění je CFD (Computational Fluid Dynamics = počítačová dynamika tekutin). V oblasti proudění je vytvořena výpočetní síť a samotný výpočet již probíhá na vytvořené síti. Výpočet je založen na řešení základních rovnic mechaniky tekutin, tj. rovnice kontinuity a Navier-Stokesova rovnice, případně rovnice pro přenos tepla [3]. Tento způsob je naprosto dominantní, avšak v některých případech (převážně proudění s volnou hladinou) je možné použít bezsíťové metody MPS<sup>2</sup> (Moving Particle Simulation) nebo SPH (Smooth-Particle Hydrodynamics).

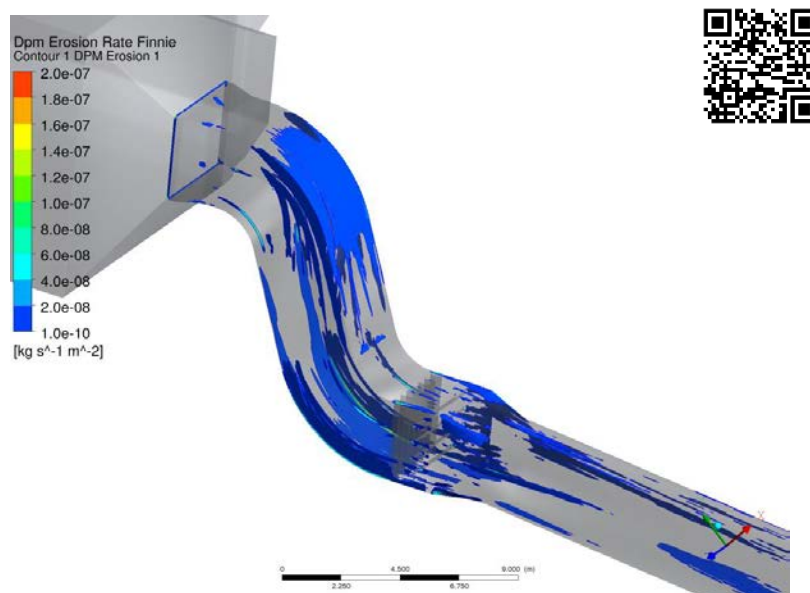
Pomocí výpočtů lze simulovat nepřeberné množství úloh – od obtékání překážky, kde se zjišťují základní informace o proudění (rychlostní a tlaková pole) až po komplexní simulace spalování se zahrnutím chemických reakcí (teplotní a koncentrační pole). Tímto způsobem se také prověřuje pozice rozváděcích lopatek ve spalínovodech, navrhují se hořáky či modeluje proces kalcinace [4]. V dnešní době nejsou výpočty omezené pouze na proudění vzduchu a vody. S potřebou simulovat komplexní děje se

---

<sup>2</sup> Tato metoda je využívána např. v softwaru Particleworks.

stále více rozvíjí multifázové (zahrnutí dvou a více fází, např. spaliny a částice) a multifyzikální (např. teplotní a napěťová analýza) simulace.

Nové možnosti nabízí simulace proudění s částicemi, díky čemuž lze vytvářet velice komplexní úlohy. Jedná se o kombinaci DEM a CFD přístupu se zahrnutím vzájemného ovlivnění částic a tekutiny. Spojením obou přístupů lze velice přesně modelovat situace, kde velkou roli hraje jak proudění, tak i samotné částice v tekutině. Takovými výpočty lze simulovat např. transport částic v potrubí a jeho erozi způsobenou otěrem částic viz obr. 5, víření a usazování prachu, fluidizace (fluidní lože) či tlakové dělo.

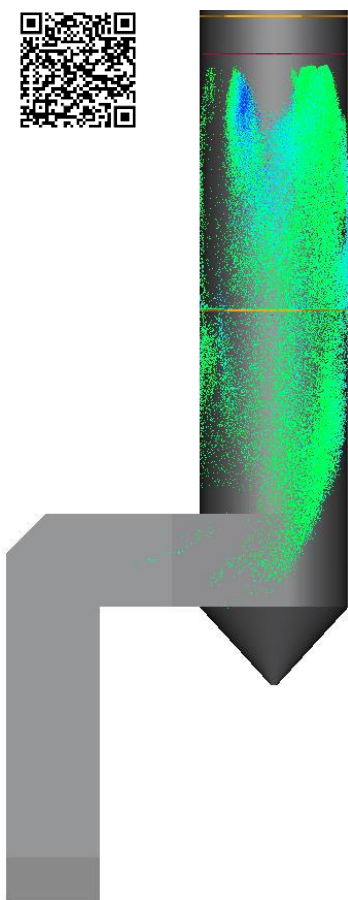


Obrázek 5: Identifikace míst potrubí se zvýšenou erozní zátěží

Dále je představeno využití simulací proudění v praktických případech.

### Rozstřík kapalin

Nástřík kapalin je častou úlohou v prostředí cementárenství. Ať už se jedná o snižování NO<sub>x</sub> pomocí nástřiku močoviny metodu SNCR, vlhčení spalin před elektroodlučovačem, nebo snižování prašnosti pomocí vodní mlhy. U všech těchto úloh jsou striktní požadavky na místo zástřiku ať už z pohledu prostoru, nebo teplotního a rychlostního pole. Pro tyto úlohy dokážeme v dnešní době s vysokou úspěšností nasadit kontrolu provozu, nebo návrh nového systému s pomocí počítačového modelování proudění (CFD). Součástí predikce je jak určení trajektorie



Obrázek 6: Určení vypařovací dráhy kapek

kapek, tak i určení dráhy na které dojde k vypaření jednotlivých kapek a následného ovlivnění teplotního a koncentračního pole.

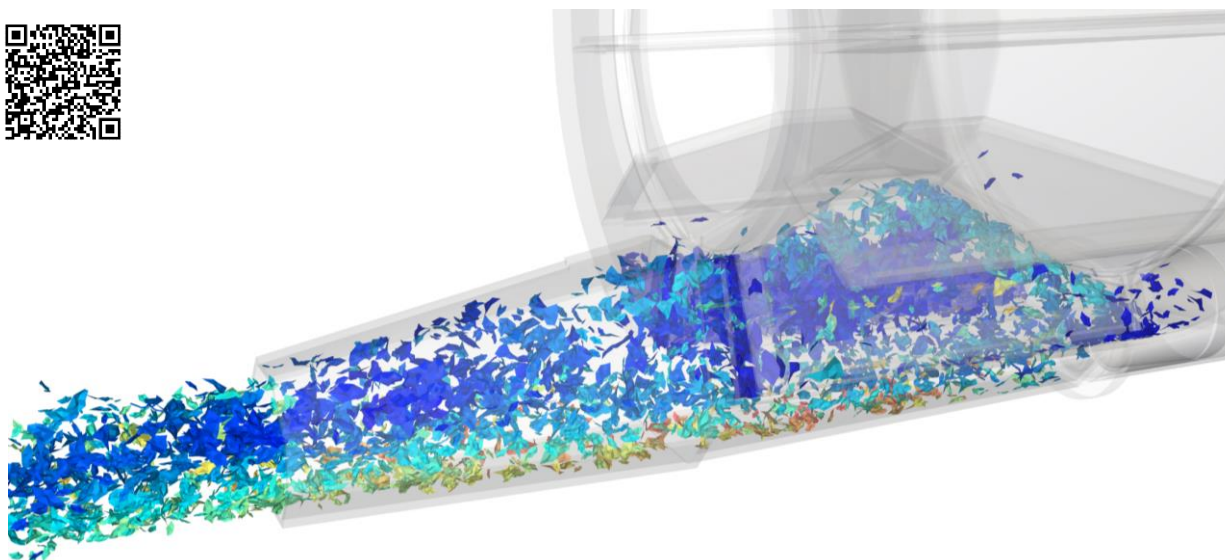
Praktická ukázka využití je z výpočtu pro elektrárnu Ledvice, kde byl proveden návrh vodního zástřikového systému do proudu spalin. Pomocí CFD metod byly navrženy pozice trysek, jejich počet s cílem co nejvíce zkrátit vypařovací délku kapek vody (viz obrázek 6). Pro spaliny o teplotě nad 300 °C a rychlosti nad 10 m/s bylo navrženo celkem 350 trysek umožňujících rozpráší až 75 kg/h vody. Cílem bylo také navrhnout trysky s co nejjednodušší konstrukcí (otvor v potrubí), které pro danou aplikaci budou plnit požadované parametry. Návrh byl experimentálně ověřen ve spolupráci s Laboratoří sprejů na VUT v Brně. Navržené rozložení trysek také minimalizuje dopad kapek na stěny spalinovodu a tím brání dalším nežádoucím jevům při provozu.

### **Spalování na primárním hořáku**

Správně nastavený spalovací proces je velkou výzvou pro oblast cementárenství především vzhledem k neustálým změnám ve skladbě paliv. Ať už se jedná o uhlí, kapalná paliva, nebo tuhá alternativní paliva, tak modelování pomocí CFD může ukázat jakým způsobem se změní spalovací proces po změně paliva. Může se jednat o palivo s jinou výhřevností, velikostní frakcí, tvarem a vlastnostmi částic. Spolupracujeme na projektech zaměřených na úpravy nastavení primárního hořáku a změnách v dávkování TAP. Výstupy ze simulací slouží jako podklad pro rozhodování, jak změny paliv ovlivní spalovací proces a teplotní poměry uvnitř rotační pece.

## Pneumatická doprava TAP

Příklad využití kombinace CFD a DEM přístupu je posouzení návrhu trysek pneumatické dopravy sypkého TAPu. Simulace proběhla propojením programu RockyDEM a Ansys Fluent, kdy šlo o kompletní dvoucestnou simulaci<sup>3</sup> s částečným zahrnutím vlastních tvarů plastových částic. V rámci úlohy byly posuzovány dva návrhy trysek. První je aktuální používaná a druhá je nově navržená. Použití nová trysky mělo vést ke zvýšení přepravovaného množství TAPu. Na obrázku 7 lze vidět simulaci jednocestné varianty s úplným vykreslením tvaru částic. Pomocí turniketu je do potrubí dávkováno TAP (plastové částice, fólie, igelit), které je dále distribuováno proudem vzduchu. V simulaci proběhl výpočet vyprázdnění jedné komory, která byla naplněná materiálem. Byl zahrnut vliv změny fluidní domény vlivem otáčení turniketu (13 ot/min) i vliv částic na rychlostní a tlaková pole. Hmotnostní průtok vzduchu je cca 1 kg/s, přepravované množství materiálu je až 25 t/h. Hodnotila se rychlost vyprazdňování komory a tlakové ztráty. Výstupy ze simulací pomohly zhodnotit a porovnat dvě varianty natočení vzduchových trysek.



Obrázek 7: Pohyb částic TAPu při ověření návrhu nové trysky v pneumatické dopravě společnosti SchenckProcess s.r.o.

<sup>3</sup> Je zahrnut vliv tekutiny na částice i změna proudění v důsledku přítomnosti částic.



## OPTIMALIZACE

Trendem poslední doby je snižování hmotnosti součástí v důsledku strmě rostoucí ceny materiálů (ocel, železo) a energií. K tomuto účelu se využívá topologická optimalizace. Jedná se o návrh součásti na základě jejího zatížení tak, aby hmotnost (nebo objem) byla co nejmenší, ale funkčnost součásti se zachovala. V podstatě jde o odstranění „zbytečných“ oblastí. Může se také jednat o zcela nový návrh, kdy předem není známý tvar součásti. Po definici výchozího tvaru (např. kvádr) s předepsanými vazbami na další díly a zatížením je postupně odebírán materiál z celkového objemu výchozího dílu. Po celou optimalizace jsou však brány v potaz definované omezení, a proto odebrání některých oblastí pocítíme více než jiné. Simulační programy dokáží samy vyhodnotit, jak je která oblast důležitá a odstraní pouze ty, bez kterých se lze obejít. Příklad programu je Ansys OptiSlang.

Nemusí se jednat pouze o nalezení vhodného tvaru součásti, ale můžu jít o ideální nastavení, zdokonalení výrobního procesu nebo optimalizaci konkrétního parametru zařízení.

Na základě desítek až stovek simulací pro různé parametry je vytvořena odezвовá plocha a v ní nalezeno vhodné místo, ze kterého jsou již zjištěny hledané parametry. Volba konkrétních hodnot parametrů je klíčová a při ručním nastavování metodou pokus-omyl by tento proces vedl k výrazně vyššímu počtu simulací, dokonce by optimum mohlo být tak daleko, že bychom se k němu ani nedostali. Výše zmíněný simulační software tento proces zvládá zcela automaticky a na základě již vypočtených úloh navrhuje nové hodnoty parametrů zcela autonomně.

V neposlední řadě je optimalizace využívána při kalibraci sypkých materiálů. Pro sypké materiály neexistuje žádná komplexní databáze. Závislosti se liší na mnoho parametrech (stupeň mletí, vlhkost, sypná hustota, ...) a nalezení vhodných parametrů pro simulace může být pěkný oříšek [5]. Zato optimalizační nástroj dokáže provést několik výpočtů a naladit simulační parametry s provedenými experimenty.

## ZÁVĚR

V dnešní době se velmi hledí na účinnost, úsporu, snížení energetických nároků a množství používaného materiálu. Při požadavku na zachování funkčnosti a zvýšení efektivity se to stává velmi obtížným úkolem. Úspěšné firmy a výrobci jsou nuceni inovovat výrobky a šetřit každý gram materiálu při zachování, nebo navýšení spolehlivosti. Již není možné si vystačit s analytickými a empirickými vzorci, experimenty a zkušenostmi pracovníků firmy. Právě díky vhledu do problematiky a novým možnostem si numerické výpočty vydobily své nenahraditelné místo v návrhovém procesu firem, pro které není vývoj cizí. S pomocí numerických simulací je během návrhového procesu výrazně snazší predikovat případné vady, navrhnout ochranná či preventivní opatření, posoudit stovky různých návrhových změn a najít optimální variantu. A to je také důvodem, proč jsou dnes numerické simulace hnacím motorem úspěšných firem.

## Poděkování

Děkujeme společnostem Melkov s.r.o., Českomoravský cement a.s. a SchenckProcess s.r.o. za poskytnutí podkladů a možnost prezentovat data z jejich zařízení.

## LITERATURA

[1] DAROZ, Vinicius. ESSS Rocky's 200 million particle simulation on Oracle Cloud pushes DEM analysis to a new height [online]. March 4, 2022 [cit. 2022-04-25].

Dostupné z: <https://rocky.esss.co/blog/rocky-200-million-particle-simulation-on-oracle-cloud>

[2] Livermore Software Technology (LST), An Ansys Company, LS-DYNA Keyword Users's Manual, Volume II. 2020.

[3] Ansys® Ansys Fluent, Release 21.2, Help System, ANSYS Fluent Theory Guide, Basic Fluid Flow, ANSYS, Inc.

[4] ANDERLE, Milan. *Vývoj modelu kalcinace pro ANSYS Fluent* [online]. Brno, 2017 [vid. 2020-09-01]. Diploma thesis. Brno University of Technology. Dostupné z: [vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/108212](http://vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/108212)

[5] ROESSLER, Thomas, Christian RICHTER, André KATTERFELD a Frank WILL. Development of a standard calibration procedure for the DEM parameters of cohesionless bulk materials – part I: Solving the problem of ambiguous parameter combinations. *Powder Technology*. 2019, 343, 803-812. ISSN 00325910.  
Dostupné z: doi:10.1016/j.powtec.2018.11.034

# PALIVA Z ODPADŮ JSOU BUDOUCNOSTÍ ENERGETICKÉHO VYUŽITÍ NERECYKLOVATELNÝCH MATERIÁLŮ

*Ing. Petr Havelka,  
výkonný ředitel České asociace odpadového hospodářství*

**Anotace:** ČAOH sdružuje většinu renomovaných výrobců paliv z odpadů v České republice. Tyto společnosti mají více než 20 letou zkušenost s výrobou kvalitních paliv z odpadů, která jsou vyráběna dle potřeb jednotlivých zákazníků. Evropská unie vyhlásila cíle na zásadní redukci množství vznikajících směsných komunálních odpadů. Do konce desetiletí má jejich množství klesnout na polovinu. Zásadní roli má mít třídění odpadů a příprava druhotných surovin pro recyklaci. Z procesů třídění však vzniká i nemalé množství v recyklaci nevyužitelných odpadů, které mají velký energetický potenciál. Proto Evropská unie podporuje energetické využívání UPRAVENÝCH odpadů a paliv z odpadů. Moderní energetické zdroje na paliva z odpadů jsou velmi potřebnou koncovkou právě pro vytríděné nerecyklovatelné odpady. Mezi takové zdroje umožňující využití moderních paliv patří například i cementárny. Pro rozvoj energetického využití UPRAVENÝCH odpadů/paliv potřebuje Česká republika kvalitní vyhlášku k palivům z odpadů, která sjednotí pravidla dle evropských technických norem a zároveň, v souladu s evropskou legislativou, stanoví konec odpadového režimu pro tato paliva. Tak, jak to evropská legislativa předpokládá. Paliva jsou připravována dle kvalitativních požadavků konkrétních odběratelů a jejich technologií. Fungující spolupráce a kvalita paliv je ověřena délkou obchodních vztahů a pokračuje již dlouhá léta. Cesta energetického využití paliv z odpadů má řadu zásadních výhod. V přednášce budou mimo jiné zmíněny výhody využívání paliv z odpadů i konkrétní kvalitativní kritéria, kterých paliva vyráběná v ČR dosahují.

## STANOVENÍ PODMÍNEK PŘECHODU MIMO ODPADOVÝ REŽIM PŘEDPOKLÁDÁ EVROPSKÁ LEGISLATIVA

Vyhláška k palivům z odpadů definující přechod do neodpadového režimu je předpis, který v právním prostředí ČR dlouhodobě chybí. ČR má v tomto směru manko oproti řadě jiných států Evropské unie, které již vyhlášku mají. Vydání vyhlášky k TAP předpokládají jak doprovodné dokumenty již schváleného balíku nové české odpadové legislativy, tak zejména legislativa evropská<sup>1</sup>.

### POTŘEBA DEFINOVÁNÍ VYHLÁŠKY SE S NOVOU ODPADOVOU LEGISLATIVOU STALA ZŘEJMOU NEZBYTNOSTÍ

Potřeba vyhlášky se nyní ukázala jako zcela zásadní ve vztahu k nové kompetenci Ministerstva průmyslu a obchodu vyjadřovat se ve věci posouzení stavu „odpad x neodpad“. **Výrobci paliv z odpadů po dobu více než 25 let úspěšně vyráběli a uváděli na trh paliva z odpadů mimo odpadový režim a v souladu se zákonem č.22/1997, zákon o technických požadavcích na výrobky.** Byla a jsou to paliva, plnicí požadavky evropských technických norem, a to vše v souladu se všemi povoleními. Celou svou produkci dlouhodobě uplatňují na trh a jejich produkty jsou velmi žádané. Ministerstvo průmyslu a obchodu však s novou kompetencí, s odkazem na neexistující předpis k palivům z odpadů, zatím nevydalo **ani jedno souhlasné stanovisko k tomu, že doposud vyráběná paliva nejsou odpadem**<sup>2</sup>. Ty tak po 25 letech úspěšného nakládání s nimi, jakožto s palivy (výrobky), nově mají zůstat v režimu odpadů. Situace v ČR se v tomto tak vrací o několik desítek let zpět, a to zcela zbytečně a v rozporu s evropským směřováním.

ČR potřebuje naopak rozvoj Evropou podporovaných cest energetického využívání UPRAVENÝCH odpadů a navyšování kapacity takových moderních zdrojů. Jasně to v praxi ukázaly problémy s nemožností uplatnění vysokovýhřevných výmětů z třídění plastů v roce 2021.

---

<sup>1</sup> Balíček směrnic Evropské unie k oběhovému hospodářství

<sup>2</sup> Připomínky ČAOH k návrhu vyhlášky k palivům z odpadů



## **NENÍ ZDE OBJEKTIVNÍ POTŘEBA JÍT NAD RÁMEC PLATNÝCH EVROPSKÝCH TECHNICKÝCH NOREM**

Objektivně zde není potřeba, aby vyhláška k palivům z odpadů šla v jakýchkoli parametrech nad rámec platné evropské legislativy, či platných evropských technických norem<sup>3</sup>. Odvětví výroby paliv z odpadů v ČR za posledních cca 25 let evidentně prokázalo, že je plně a dlouhodobě funkční a má velmi dobré a stabilní výsledky na poli energetického využití paliv z odpadů. Rovněž bylo praxí potvrzeno, že použití těchto výrobků – paliv z odpadů (TAP) neomezilo kvalitu následných výrobků, vyráběných s využitím TAP, a nemělo negativní vliv požadovaný stupeň ochrany životní prostředí. Oblast je i logicky a efektivně samokontrolovatelná, neboť dodávky paliv a jejich kvalita jsou pod smluvními dohodami a je v evidentním zájmu odběratele, aby bedlivě sledoval kvalitu paliv, aby chránil svou technologii. Toto se efektivně děje celých 25 let. Stát v dané oblasti prováděl po celou dobu průběžné kontroly. Nebyly zjištěny žádné systémové problémy. Důkazem dlouhodobé funkčnosti toho segmentu jsou každoročně vydávané zprávy Ministerstva průmyslu a obchodu<sup>4</sup> z této oblasti, které ukazují na dlouhodobě velmi dobře odváděnou činnost na poli energetického využití paliv z odpadů a na jejich postupný nárůst v palivové základně na straně odběratelů. Tedy se dlouhodobě prokázala plná funkčnost tohoto segmentu výroby TAP na základě tehdy platné odpadové legislativy a stále platné legislativy výrobové.

Nová vyhláška by měla obsahovat technické podmínky kopírující obsah osvědčených evropských technických norem pro paliva z odpadů. Úzce ve vztahu k těmto technickým parametrům by měly být ve vyhlášce definovány podmínky přechodu odpadů na palivo (neodpad) tak, jak předpokládá evropská legislativa.

Případné uměle definované další povinnosti, které evropská legislativa a technické normy neznají, fakticky nereagují na praktickou potřebu, ale spíše staví umělou bariéru od vyšší možnosti rozvoje energetického využívání upravených odpadů cestou paliv z odpadů. To však s jistotou není v zájmu České republiky a možnosti splnění jejich cílů z balíčku oběhového hospodářství.

---

<sup>3</sup> Například evropská technická norma ČSN EN 15359, resp. její nová obdoba ČSN EN ISO 21640

<sup>4</sup> [https://www.mpo.cz/cz/energetika/statistika/obnovitelne-zdroje-energie/statistika-energetickeho-vyuzivani-odpadu-a-alternativnich-paliv-1989\\_2020--262451/](https://www.mpo.cz/cz/energetika/statistika/obnovitelne-zdroje-energie/statistika-energetickeho-vyuzivani-odpadu-a-alternativnich-paliv-1989_2020--262451/)

## PALIVA Z ODPADŮ MAJÍ VIDITELNĚ LEPŠÍ VLASTNOSTI NEŽ ŘADA STANDARDNÍCH PALIV, VČETNĚ PALIV PŘÍRODNÍHO PŮVODU

Při odborných konzultacích ohledně vhodného nastavení vyhlášky bylo prokázáno, že dlouhodobě vyráběná paliva z odpadů v České republice, odpovídající požadavkům evropských technických norem mají o poznání lepší vlastnosti a složení, než řada přírodních paliv a paliv doposud hojně používaných. Podobných srovnání je větší množství, ale pro účely tohoto textu bylo vybráno srovnání provedení Výzkumným ústavem hnědého uhlí v Mostě. Níže uvedená tabulka ukazuje naměřené hodnoty klíčových prvků a vlastností paliv, a to jak samotného uhlí, tak různých forem standardně využívané biomasy. V neposlední řadě jsou ve srovnání uvedeny výsledky paliva TAP Rumpold, které je jedním z paliv dlouhodobě a po řadu let vyráběných a dodávaných na trh mimo odpadový režim v souladu se všemi požadavky legislativy a takto i využívaného v příslušném energetickém zdroji s IPPC povolením.

Kvalitativní ukazatel	Voda	Výhřevnost	Obsah síry a jejích sloučenin	Obsah chlóru a jeho sloučenin	Obsah arsenu a jeho sloučenin	Obsah kadmia a jeho sloučenin	Obsah rtuť a jejích sloučenin	Obsah olova a jeho sloučenin	Obsah niklu a jeho sloučenin
Jednotka	% hm.	MJ·kg <sup>-1</sup>	% hm.	mg·kg <sup>-1</sup>	mg·kg <sup>-1</sup>	mg·kg <sup>-1</sup>	mg·kg <sup>-1</sup>	mg·kg <sup>-1</sup>	mg·kg <sup>-1</sup>
limitní hodnoty	< 15	> 15	< 0,3	< 50	< 1	< 0,5	< 0,05	< 10	< 3
piliny	30,86	18,98	0,16	346	0,061 ± 0,009	0,410 ± 0,055	0,010 ± 0,001	0,54 ± 0,11	nestanoven
uhlí	27,22	27,43	0,92	133	2,25 ± 0,33	< 0,1	0,122 ± 0,009	6,6 ± 1,3	nestanoven
pelety z biomasy	13,74	18,53	0,1	54	nestanoven	nestanoven	nestanoven	nestanoven	nestanoven
ADK 1	19,65	4,23	0,46	36	4,82 ± 0,70	0,79 ± 0,11	1,65 ± 0,12	0,063 ± 0,013	nestanoven
ADK 2	26,47	3,64	0,36	11	4,75 ± 0,69	0,64 ± 0,08	1,11 ± 0,08	0,053 ± 0,011	nestanoven
uhlí		20,28	1,03	258	1,57 ± 0,23	0,186 ± 0,025	0,198 ± 0,014	4,06 ± 0,81	nestanoven
pelety	5,78	19,13	0,72	743	<0,02	<0,1	0,007 ± 0,001	0,085 ± 0,017	nestanoven
štěpky	51,62	18,66	0,8	52	0,021 ± 0,003	0,57 ± 0,08	0,014 ± 0,002	0,350 ± 0,070	nestanoven
TAP Rumpold	1,38	28,3	0,3	298	0,51 ± 0,07	<0,1	0,032 ± 0,004	3,59 ± 0,71	nestanoven
43 408 štovík	9,99	14,83	0,28	349	0,061	0,1	0,172	1,15	nestanoven
43 409 vojtěška	9,35	15,97	0,33	1640	0,056	0,1	0,126	2	nestanoven
42565 štovík	7,9	15,96	0,31	1100	0,117	0,413	0,012	1,16	nestanoven
katalog Ko	26,5	27,1	0,9	405*	7,5	0,8	Neuvedeno	5,41	Neuvedeno
katalog O1	26,3	27,1	1	386*	8,1	0,81	Neuvedeno	8,15	Neuvedeno
Katalog O2	26,3	26,9	1	414*	9,6	0,78	Neuvedeno	5,6	Neuvedeno

Výsledky analýz různých druhů paliv, VUHU, Most

Z provedených analýz je zřejmé, že paliva z odpadů – TAP Rumpold mají lepší parametry než několik druhů analyzovaného uhlí a v řadě hodnot také viditelně až násobně lepší parametry než standardně využívané formy biomasy.

Pokud tedy stát z řady důvodů podporuje energetické využití biomasy s uvedenými kvalitativními parametry, a činí to samozřejmě mimo odpadový režim, tedy v režimu paliv, pak je jistě na místě, aby takto nahlížel i na očividně kvalitativně lepší množinu paliv, tedy paliv splňujících parametry evropských technických norem pro paliva z odpadů.

Na druhé straně, pokud by stát do vyhlášky k palivům z odpadů navrhoval povinnosti nad rámec dlouhodobě prověřených a funkčních evropských technických norem pro paliva z odpadů, pak je třeba každou takovou povinnost velmi podrobně odůvodnit, doložit objektivní potřebu požadavku nad rámec evropské legislativy a doplnit k ní náklady, které s sebou navrhovaná další povinnost nese. V takovém případě by bylo rovněž logické vztáhnout podobné kvalitativní nároky i na paliva z biomasy a jakákoli jiná kvalitativně horší paliva, než ta odpovídající evropským technickým normám pro paliva z odpadů. Tedy pokud má být sledovaným cílem deklarovaná ochrana životního prostředí.

Současně pokud stát bude mít za to, že požadavky evropských norem pro paliva z odpadů jsou nedostatečné, pak je třeba, aby Česká republika současně v EU iniciovala postup na aktualizaci těchto evropských norem, protože je v obecném zájmu, aby vysoký standard ochrany veřejných zájmů fungoval na celém území EU. Případné vyšší nároky nad rámec evropských norem by pak měly být zakotveny a vymáhány až po-té, co by prosazovaný názor na nutné zpřísnění norem, potvrdila i sama Evropská unie.

## **JAKÉ JSOU VÝHODY ENERGETICKÉHO VYUŽITÍ ODPADŮ FORMOU TAP MIMO ODPADOVÝ REŽIM?**

Výrobek TAP je vyroben z definovaných odpadů na definované technologii. Kvalita výrobku se prokazuje výstupní kontrolou, která je prováděna definovaným procesem v souladu s harmonizovanými normami. Normy stanovují způsob odběru vzorků tak,

aby byla zajištěna jejich validace, stanovují standardní operační postupy stanovení jednotlivých ukazatelů a pokud si odběratel a dodavatel dohodné sledování dalších ukazatelů, tak stanoví i způsoby stanovení dalších ukazatelů. Toto se děje průběžně a vzorky v souladu s normami jsou archivovány pro případnou kontrolu. Výrobek se pak dělí do tříd daných technickou normou. Třídy kvality paliv pak vytváří podklad pro jednoduché obchodování s výrobkem, stejně jako je tomu u jiných paliv. Přesto každý energetický zdroj musí projít zkouškou, zda daná třída paliva, případně třída lepší zajistí předepsanou ochranu ovzduší odpovídající přísné evropské legislativě, a to vždy na konkrétní technologii. Pak certifikovaný výrobek TAP může odebírat od jakéhokoliv výrobce v dané třídě. Toto vytváří jednotný trh a zvyšuje možnosti využívání odpadů chtěným a bezpečným způsobem.

Dále si uvedme příkladný výčet výhod použití paliv z odpadů mimo odpadový režim:

- a) **Dle EU se jedná se o technologii udržitelnou a tudíž podporovanou jak v rámci ekonomických pobídek, tak strategií EU** – příkladem budiž Operační program životní prostředí pro období 2021 – 2027<sup>5</sup>, kde v kapitole energetické využití je taxativně odmítnuto možnost podpory energetického využití neupravených směsných odpadů. Naproti je zde prosazena podpora energetického využití UPRAVENÝCH odpadů v řadě možných technologických přístupů.
- b) **Značná výhoda pro provozovatele energetického zdroje** - Nová odpadová legislativa v ČR je nastavena tak, že pokud provozovatel energetického zdroje energeticky využívá odpad. Pak dodavatel odpadu v souladu s vyhláškou je povinen oznámit odběrateli každou významnou změně vstupujícího odpadu odběrateli. Odběratel energeticky využívaného odpadu znovu musí posoudit změnu jiného vstupujícího odpadu a případně znovu absolvovat proces posouzení provozu svého zařízení a stanovení nových podmínek jeho provozu. Naproti tomu, pokud bude energetický zdroj využívat palivo z odpadu mimo odpadový režim, pak jeho dodavatel je plně vázaný zajištěním kvality dodávaného paliva, **kteřou průběžně sleduje**, vzorky archivuje a výsledky poskytuje odběrateli. Případné změny na vstupu odpadů sleduje a koriguje tak, aby jeho výrobek TAP splnil definované kvalitativní požadavky pro odběratele.

---

<sup>5</sup> OPŽP 2021 – 2027 – Pravidla pro žadatele Operační program životní prostředí 2021 - 2027

Ten pak logicky nepodléhá potřebě opakovaného posuzování provozu zařízení a jeho podmínek.

**c) Výhody v povolovacím procesu** – pokud odběratel chce využívat TAP nebo odpady, musí projít stejným schvalovacím procesem na konkrétní technologii v rámci IPPC, či povolení provozu energetického zařízení, v souladu s ochranou ovzduší. Jak TAP, tak odpad se energeticky využívají v souladu s předpisy za stejných podmínek. Zákon o ochraně ovzduší oba materiály posuzuje stejně. To je z pohledu ochrany životního prostředí zásadní věc.

Výrobní zařízení na TAP, který je mimo režim odpadů, musí splňovat celou řadu povinností prokazování kvality. Výrobek TAP má taxativně definované a průběžně sledované vlastnosti. To na straně odpadů není v takovém rozsahu a takové míře zajištěno a tak musí být využívání odpadů podřízeno procesu vyšší míry verifikace v povolovacím procesu v případě změn na straně vstupujících odpadů.

Další výhodou v rámci povolovacího procesu je tzv. výhoda větší míry prosaditelnosti záměru. Z konkrétních povolovacích procesů je již prokázáno, že pokud jsou v daném zdroji využívána paliva z odpadů, splňující evropské technické normy, tedy homogenizovaná a kvalitativně stálá paliva mimo odpadový režim a nikoli odpady samotné, pak je jednodušší projít celým povolovacím procesem zařízení. I ekologické organizace a různé druhy občanských spolků vnímají tuto cestu jako bezpečnější a nevykazují vůči ní takovou míru citlivosti a negace.

**d) Reputační výhody** – reputační rizika a obecné public relations nastavení jsou zpravidla výrazně jednodušší, pokud se v daném zařízení nevyužívají odpady samotné. Jedním z cílů evropských technických norem v oblasti paliv z odpadů bylo a je obecné snížení reputačních rizik a zvýšení důvěry v energetické využívání energie uložené v těchto nerecyklovatelných materiálech – palivech z odpadů. Jak již bylo uvedeno, i Evropská unie podporuje tyto cesty, jako o poznání vstřícnější ke vnímání veřejnosti a ve vztahu k plnění smyslu cílů balíčku oběhového hospodářství. Logicky je výhodnější systémově využívat poznanou materii, v tomto případě výrobek TAP, který je podrobně sledován a je k němu definována stálá kvalitativní odpovědnost. Způsob sledování je stanoven technickými normami je tedy praxí plně respektovaný a využívaný. Odpad je definován obecným katalogovým číslem. Jeho materiálové složení se



však může v průběhu doby měnit, aniž by o tom bylo podrobné sledování a aniž by byla definována metoda sledování. Cesta paliva z odpadu je tedy vybavena vyšší úrovní kvalitativního monitoringu, který obecně snižuje možná rizika a tedy i reputační rizika.

- e) Technicko-provozní výhody** – pro provozovatele energetického zdroje je klíčovou prioritou ochrana jeho technologie. Nekvalitní odpady, či nekvalitní palivo obecně, by mohlo mít nemalé negativní dopady na samotnou technologii. Zatímco u odpadů není možno plně deklarovat jejich neměnnost a kvalitativní stabilitu v čase, a to již z podstaty toho, že odpad je nehomogenní materiál, který je navíc zpravidla od širšího spektra původců, naopak palivo z odpadů tyto nevýhody řeší a plně eliminuje. Výrobce paliva z odpadů přebírá odpovědnost za kvalitu jím dodávaného paliva a za jeho homogenitu v jak aktuální, tak časovou. Palivo mimo odpadový režim je navíc vyrobeno v podmínkách a postupy odpovídajícími evropským normám a potřebné certifikaci. I tato forma vyššího managementu kvality je výhodou pro odběratele a je rovněž snížením jeho rizik. Z uvedené logicky plyne, že schválením katalogového čísla do palivové základny energetického zdroje není zajištěna kvalita.
- f) Administrativní výhody** – pokud je palivo z odpadu mimo odpadový režim, nespádají na jeho odběratele administrativně náročné podmínky odpadové evidence. Pokud množství dodaných odpadů překročí určitý rámeček, musí být u odběratele schváleny například sklady pro příjem odpadů, jako zařízení dle zákona o odpadech atd. Materiál je v odpadové evidenci ukončen v odpadovém režimu výrobou TAP a přípravou pro konkrétního odběratele. Energetická koncovka tak u paliva mimo odpadový režim není vázána administrativně náročnými povinnostmi odpadové evidence.
- g) Obchodní výhody** – pokud je palivo z odpadu mimo odpadový režim, tedy je v režimu výrobku, pak i z hlediska obchodního, je méně problematické definovat kvalitu při jeho uvádění na trh a při jeho tržním využití. Výrobek již obsahuje návod na použití, zpravidla podnikovou normu na výrobu a samozřejmě průběžné prokazování kvality. Paliva se dělí do tříd podle norem a na straně odběratele pak je díky normotvorbě jasné, jaký materiál obdrží. To na straně odpadu není možné, tam žádné normy nejsou a odběratel musí podrobit a opakovaně podrobovat odpad kvalitativnímu posouzení. Ve státech, kde se paliva z odpadů vyhovující požadavkům evropských technických norem

standardně pohybují mimo odpadový režim, se trhy s palivy vyvinuly značně rychleji a do větších objemů, než ve státech, kde se k tomuto energetickému využití přistupuje restriktivně.

**Na druhou stranu, kde s jistotou není možno hledat zvýhodnění, pokud je palivo z odpadu mimo odpadový režim, je otázka emisních limitů příslušného energetického zdroje.** Zde je třeba podtrhnout a zdůraznit, že vyvedení do neodpadového režimu nemá, nikdy nemělo a nebude mít vliv na jakékoli změny podmínek ve vztahu k ochraně ovzduší. Ty jsou jasně stanoveny evropskou legislativou a příslušným IPPC povolením. Této sféry se oblast „odpad x neodpad“ nedotýká. Je potřeba toto zdůraznit, protože někdy bývá kritiky účelově zmiňováno právě to, že motivací pro neodpadový režim je údajné cílené snížení standardů ochrany ovzduší. Toto však mohou sdělovat jen osoby bez znalosti dané problematiky, neboť toto prostě není možné z pohledu evropské legislativy. A je to tak správně.

## LITERATURA

- [1] Balíček směrnic Evropské unie k oběhovému hospodářství, Brusel, 2018
- [2] Česká asociace odpadového hospodářství: Přípomínky k návrhu vyhlášky MŽP k palivům z odpadů, Praha, duben 2022
- [3] Například evropská technická norma ČSN EN 15359, resp. její nová obdoba ČSN EN ISO 21640 + normy související
- [4] Ministerstvo průmyslu a obchodu - Statistika energetického využívání odpadů a alternativních paliv 1989 – 2020  
[https://www.mpo.cz/cz/energetika/statistika/obnovitelne-zdroje-energie/statistika-energetickeho-vyuzivani-odpadu-a-alternativnich-paliv-1989\\_2020--262451/](https://www.mpo.cz/cz/energetika/statistika/obnovitelne-zdroje-energie/statistika-energetickeho-vyuzivani-odpadu-a-alternativnich-paliv-1989_2020--262451/)
- [5] OPŽP 2021 – 2027 – Pravidla pro žadatele Operační program životní prostředí 2021 - 2027



# BEUMER GROUP řešení pro cementárny & průmysl stavebních hmot

seminář VUMO, Seč, 18.5.2022

Ing. David Horyna

MADE  
DIFFERENT

V 1.0

1

## Cementárny & průmysl stavebních hmot



2

## Doprava na dlouhé vzdálenosti




### Pásové dopravníky pro sypké materiály v jakémkoliv terénu

- Dlouhé dopravní vzdálenosti
- Horizontální a vertikální ohyby

### Parametry / výhody:

- Dopravní vzdálenosti do 20 km
- Kapacita do 12,000 t/h
- Otevřené i uzavřené dopravní systémy

 **Yadong Cement, 26 km doprava vápence**  
Čína



**MADE  
DIFFERENT**

© BEUMER Group / 3

3

## Korečkové elevátory / slínkové dopravníky



### Dopravníky sypkých hmot pro všechny části cementárny

- Vertikální doprava sypkých hmot (elevátory)
- Doprava horkých materiálů (slínek)

### Parametry / výhody:

- Vertikální doprava sypkých hmot do výšek i více než 200 m
- Doprava materiálů o teplotě do 450°C a velkých sklonech
- Zvýšená kapacita při použití pásových dopravníků
- Náhrada klasické pneumatické dopravy



**MADE  
DIFFERENT**

© BEUMER Group / 4

4



## Paletizace



### Vysokokapacitní paletizace

- Více než 40 letá zkušenost ve vývoji a konstrukci vysokokapacitních paletizačních zařízení
- Complexní sortiment paletizátorů vysoké technické úrovně včetně robotické paletizace
  - BEUMER paletpac®
  - BEUMER robotpac®

### Parametry / výhody:

- Kapacita zařízení do 5,500 pytlů/h
- Dvojité pásové polohovací zařízení pro šetrnou manipulaci s pytlí

 **BEUMER paletizace a balení**  
paletpac® 5000, Arabian Cement



**MADE  
DIFFERENT**

© BEUMER Group / 5

5

## Paletizace



### Vysokokapacitní paletizace

- Více než 40 letá zkušenost ve vývoji a konstrukci vysokokapacitních paletizačních zařízení
- Complexní sortiment paletizátorů vysoké technické úrovně včetně robotické paletizace
  - BEUMER paletpac®
  - BEUMER robotpac®

### Parametry / výhody:

- Kapacita zařízení do 1,200 pytlů/h

 **BEUMER paletizace a balení**  
robotpac®



**MADE  
DIFFERENT**

© BEUMER Group / 6

6



## Balení do folie



### Vysokokapacitní balicí technika

- Technologie Stretch hood

### Parametry / výhody:

- Vysoká stabilita při velké zátěži
- Vysoká kapacita do 210 palet/h



**BEUMER balení do folie**  
Stretch Hood A

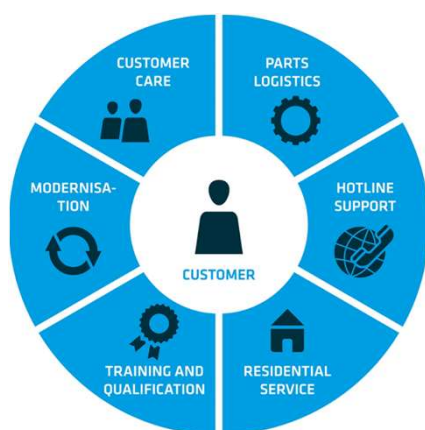


**MADE  
DIFFERENT**

© BEUMER Group / 7

7

## Customer Support



**BEUMER zákaznický servis**

### BEUMER zákaznický servis

- **Dodávky náhradních dílů**
  - Celosvětový systém distribuce a výměny
- **Hotline podpora**
  - 24/7 non-stop hot-line servis zajištěný techniky s bohatými zkušenostmi z terénu
- **Rezidenční on-site servis**
  - On-site team našich servisních techniků zodpovědný za bezproblémový chod Vašich zařízení a zajištění efektivity a vysokého výkonu.
- **Školení a kvalifikace**
  - Standardní nebo na míru sestavená školení Vašich zaměstnanců pro zvýšení jejich kvalifikace
- **Modernizace**
  - Up-date s ohledem na nejnovější technologie
- **Zákaznický servis**
  - Pravidelná údržba a servis on-site
  - Inspekční prohlídky



**MADE  
DIFFERENT**

© BEUMER Group / 8

8



**Děkuji za pozornost**

OPEX MODEL

NET ZERO AS A SERVICE

Nástroj na snížení cen energií a redukce uhlíkové stopy

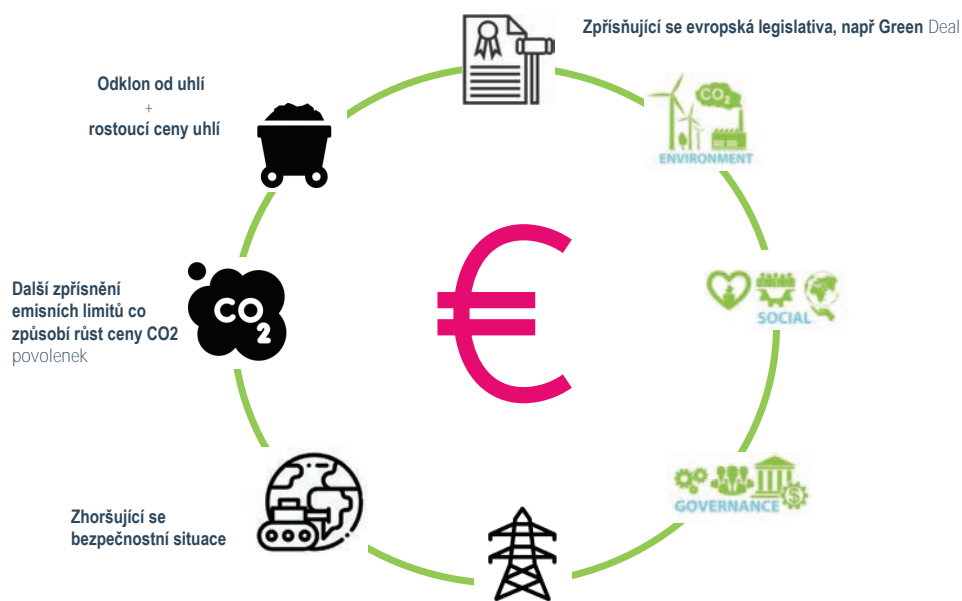


„Pomáháme firmám k investicím do obnovitelných zdrojů energie, udržitelnosti a snížení uhlíkové stopy“

1

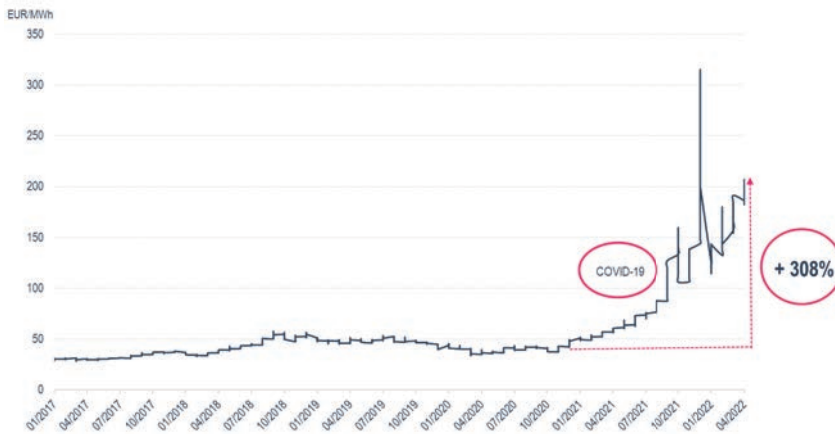
OPEX MODEL

Evropská i česká energetika prochází zásadní transformací.



2

## Vývoj ceny silové elektřiny v České republice

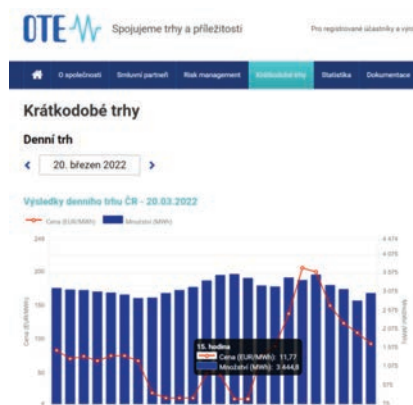


- ❖ Cena silové **elektřiny** se od roku 2017 zvýšila o 588% a od ledna 2021 do dubna 2022 o 308%. Na druhé straně **náklady na nové technologie** se snížily, což na trhu vytváří velmi **zajímavý potenciál** pro využití nových technologií (např. fotovoltaiky).
- ❖ Během období pandemie COVID19 cena elektřiny krátkodobě stagnovala vlivem snížené poptávky po elektřině.
- ❖ V posledních 20 letech se nevybudoval jediný systémový (páteří) zdroj elektřiny v celé Evropě. Většina zdrojů se dostává na hranici technické životnosti nebo je uzavírána vlivem regulačních nařízení (uhlí, jádro). Tento efekt bude mít další vliv na zvyšování ceny elektřiny ze sítě.

3

## Obchodování vyrobené energie na trhu

- ❖ Energie vyrobená z vlastní výroby se dále monetizuje **těmito způsoby**:
- ❖ Prodej v rámci podniku – energetické započtení vyrobené a celkově spotřebované energie, kde vzniká výnos v podobě úspor plateb za energie
- ❖ Prodej přebytků vyrobené energie na:
  - ❖ - krátkodobých trzích - OTE
  - ❖ - dlouhodobých trzích PXE
  - ❖ - jiná forma přímého kontraktu (PPA)
- ❖ Nutná je i platba za odchylku predikce výroby vs skutečná dodávka do sítě.



❖ ! Cena je tržní a dosahuje i záporných hodnot!

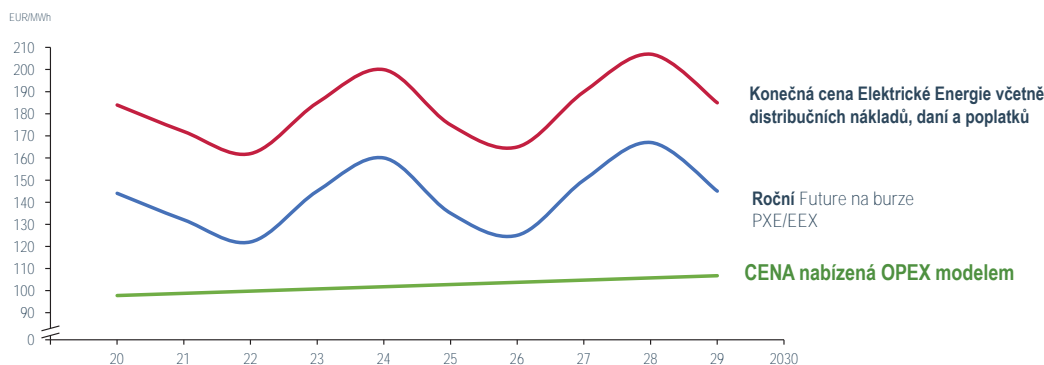
PXE trhy					
Česko	Slovensko	Maďarsko	Rumunsko	Polsko	Bulharsko
min: 190,21 € (1,08%)	min: 250,23 € (1,04%)	min: 280,04 € (2,04%)	min: 282,74 € (2,07%)	min: 180,50 € (0,02%)	min: 160,74 € (2,03%)
max: 227,74 € (1,84%)	max: 220,90 € (1,04%)	max: 242,40 € (1,04%)	max: 237,40 € (1,07%)	max: 174,30 € (1,06%)	max: 227,40 € (1,14%)
OH: 203,40 € (2,21%)	OH: 200,00 € (2,11%)	OH: 210,10 € (1,04%)	OH: 210,10 € (1,04%)	OH: 177,70 € (2,02%)	OH: 208,10 € (2,07%)



4

## Vývoj ceny silové elektřiny v České republice – naše nabídka

- ❖ Instalace FVE přináší stabilní a predikovatelnou cenu vyrobené energie v dlouhodobém horizontu
- ❖ Ovšem výroba energie z FVE je značně nepredikovatelná a vyžaduje stálý dohled nad provozem FVE a prodejem vyrobené energie



- S námi máte možnost zafixovat cenu elektřiny – eliminace rizik spojených s volatilitou cen
- Cena bude ročně indexována na bázi inflace nebo indexu průmyslových cen
- Délka trvání smlouvy 20 let s opcí na prodloužení

5

## Popis OPEX modelu

OPEX model, známý také jako RESCO model

- ❖ Instalace výroby energie v areálu podniku (střechy, volné plochy, parkoviště, atd.)
- ❖ Primárně určená pro snížení spotřeby nakupovaných energií od třetích stran
- ❖ Nad rámec úspor však rovněž dodává přebytky vyrobené elektrické energie do veřejné distribuční sítě
- ❖ Přebytky se obchodují dle uzavřených krátkodobých nebo dlouhodobých kontraktů
- ❖ Poskytovatel OPEX modelu jako celkovou službu nabízí:
  - profinancování celé investice
  - vyprojektování FVE a získání stavebního povolení
  - jednání s provozovatelem distribuční soustavy
  - získání dotace
  - výběr technologie a montážní firmy
  - provoz, servis a monitoring
  - obchodování s vyrobenou elektřinou, přebytky a odchylkou dodané energie
- ❖ OPEX model je pro podnik bez investic, bez starostí o provoz a prodej elektrické energie
- ❖ **Vstupuje do finanční bilance podniku jako provozní náklad** – platba za nakoupenou elektrickou energii.
- ❖ Investice, provoz a prodej elektrické energie je starostí poskytovatele OPEX modelu, kterého výnos je prodej elektrické energie podniku a přebytků na dalších trzích.

6

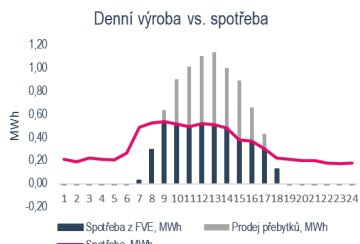


## Ekonomické porovnání instalací FVE

### Instalace FVE – OPEX MODEL



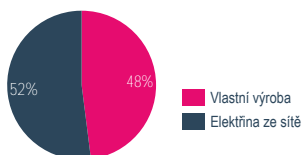
❖ FVE je dimenzována s největší možnou kapacitou, proto pokrývá také největší část spotřeby.



❖ Vyšší výkon způsobuje přebytky. Vhodná je orientace panelů západ-východ, čímž se prodlužuje doba po kterou lze dodávat zelenou energii v rámci dne.

❖ V případě maximálního využití ploch, je možné pokrýt také zvýšení spotřeby v budoucnu (např. z důvodu elektromobility).

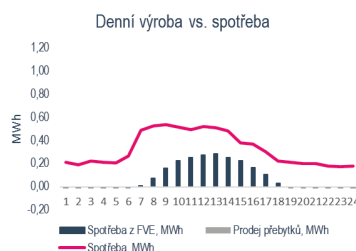
❖ Riziko nese majitel FVE, nikoli majitel nemovitosti



### Instalace FVE – CAPEX MODEL (vlastní investice podniku)

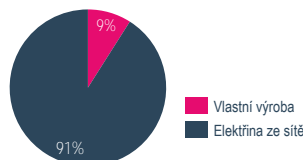


❖ I optimální velikost FVE bude v létě způsobovat přebytky a v zimě bude výroba nedostatečná.



❖ Při nižším výkonu je typicky zvolena orientace panelů na jih, kdy dochází k největšímu výkonu přes poledne, kdy může být v řadě provozů snižena spotřeba

❖ V případě přehodnocení situace, nelze na rozšíření instalace FVE uplatnit další/dodatečnou dotaci



## Porovnání mezi OPEX a CAPEX modelem

### OPEX MODEL

Poskytovatel OPEX modelu je vlastníkem aktiva (FVE)

Nulové vstupní investiční náklady pro zákazníka. Zákazník se může plně věnovat své podnikatelské činnosti

Rychlý rozhodovací proces, jelikož zákazník se rozhoduje jen jednou – není nutné interní CAPEX rozhodnutí

Zákazník platí POUZE za vyrobenou elektřinu

O 40%-60% levnější než u vašeho dodavatele

Zákazník generuje úsporu hned první den

Poskytovatel OPEX modelu nese všechny náklady a řeší technické závady

Poskytovatel OPEX modelu bere na sebe riziko výkonnosti a garantuje dostupnost výroby elektřiny.



Vlastnictví



Investice



Časová efektivita



Úspora



Technické know-how



Výkonnostní risk

### CAPEX MODEL

Zákazník je vlastníkem aktiva (FVE)

100% investice je na vrub zákazníka

Proces rozhodnutí o nové investiční výstavbě obvykle trvá relativně dlouho

Žádné poplatky za vyrobenou elektřinu.

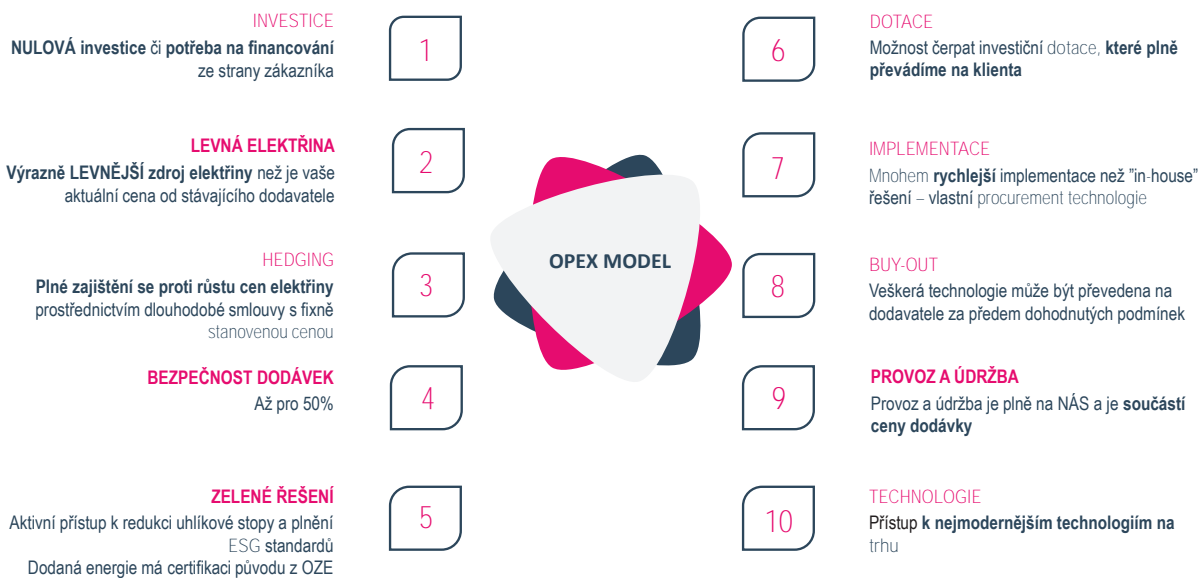
Investovaný kapitál je splácen z úspor z vyrobené elektřiny

Návratnost investice až 8 let, záleží na tržní ceně elektřiny, ceně technologie a nákladech financování

O&M jde na vrub zákazníka

Zákazník nese všechna provozní rizika a z nich plynoucí ztráty.

## Výhody pro zákazníka



9

## Přednášející

## Kontakt

**Tomáš Korostenský, MBA**  
člen dozorčí rady Solární asociace

telefon: +420 777 207 801  
email: tomas.korostensky@ekotechnik.cz

10

# **Monitorování iontové mobility sodíku a draslíku cementovou matricí za účelem stanovení citlivosti vzniku ASR způsobených alkáliemi z vnějšího prostředí**

*Ing. Martin Janča, Centrum materiálového výzkumu FCH VUT*

Možnost vzniku alkalicko-křemičitanové reakce (ASR) je zásadním problémem pro životnost betonu. Souběh klíčových parametrů, jako je přítomnost alkálií, reaktivní  $\text{SiO}_2$ , vlhkost a teplota, předurčuje možnost jejího vzniku. Jakmile se vytvoří gel ASR, má za následek praskání a odlupování betonu spolu se zhoršením celkových vlastností. Riziko vzniku ASR závisí na koncentraci alkálií a jejich pohyblivosti, tedy schopnosti pronikat do betonu k reaktivnímu kamenivu. Tato studie se zabývá stanovením mobility iontů  $\text{Na}^+$  a  $\text{K}^+$ , ale i  $\text{Ca}^{2+}$  z vnějších zdrojů (0,5 a 1,0 mol/l roztoků uhličitanu Na/K, dusičnanu Na/K a hydroxidu Na/K) do cementové matrice, protože je to první krok pro realizaci ASR. Koncentrace iontů v imerzních roztocích (ICP), ale i v samotné cementové matrici (SEM-EDX) byla studována v závislosti na době od 0 do 120 dnů loužení a teplotě (25 °C a 40 °C). Reakční produkty byly charakterizovány pomocí SEM-EDX. Byly pozorovány různé rychlosti difúze a chování v závislosti na typu aniontu vnějšího alkalického zdroje.

## **INTRODUCTION**

Pro možnost vzniku produktů alkalicko-křemičitanové reakce (ASR) v betonu jsou nezbytné tři podmínky (reaktivní kamenivo, vlhkost a alkálie). Odstraněním jednoho z těchto pilířů je celý systém bezpečný a není třeba se obávat možnosti degradace ASR. Na druhou stranu není téměř žádná šance ochránit beton před přístupem vlhkosti, jelikož odolnost vůči vodě je jedna z klíčových vlastností betonu. Jako nejužitečnější se jeví použití nereaktivního kameniva, což není vždy možné. V některých oblastech se vyskytuje pouze reaktivní kamenivo a představa přepravy kamene na velké vzdálenosti je ekonomický i ekologický nesmysl. Třetím pilířem je obsah alkálií v materiálech. Tento přístup se používá nejčastěji a odráží také potřebu sledovat koncentraci alkálií při výrobě cementu.

Slínek obsahuje až 2 % hmot. (vyjádřeno v oxidech) alkálií. [1-3] V průměru se obsah alkálií pohybuje kolem 1 % hmot. a pochází především z jílových surovin a živce. Cementářské slínky v celé Evropě mají obvykle vyšší obsah draslíku asi o 0,4-1,8 % hmot.  $K_2O$  než obsah sodíku, který činí 0,05-0,5 % hmot.  $Na_2O$ . Slínky s obsahem  $K_2O$  na horní hranici obvykle obsahují menší nebo střední množství  $Na_2O$ . [1, 2, 4] Poměr  $K_2O / Na_2O$  se však pohybuje v poměrně širokém rozmezí od méně než 0,25 do 10. Cementářský slínek také obsahuje až 2 % hm. síranů běžně počítaných jako  $SO_3$ . [2, 5] Při výpalu slínku se sírany nejčastěji spojují s alkáliemi.

Ve slínku je však obvykle přebytek alkálií. Přebytek alkálií, které nejsou vázány ve formě síranů, je přítomen ve slinovací zóně v tavenině vápenatého aluminoferitu a v pevných fázích alitu a belitu. Při ochlazování a krystalizaci taveniny se alkálie přednostně dostávají do  $C_3A$  (trikalcium aluminátu), kde v závislosti na své koncentraci ovlivňují výslednou krystalovou strukturu. Draslík, který se ve slínku běžně vyskytuje ve vyšších koncentracích než sodík, má větší vliv na vlastnosti slínku, a tedy i cementu. Také přechází do fáze  $C_3A$ , ale vždy v kombinaci s křemíkem nebo trojmocným atomem železa. Podobně jako u sodných iontů byla pozorována změna krystalové struktury na ortorhombickou. [6]

Materiály na bázi cementové matrice jsou porézní materiály s velikostí pórů od makro až po nano velikost. Obsah a velikost pórů závisí na způsobu zpracování a složení materiálu na bázi cementu. Póry jsou většinou způsobeny nadbytkem záměsové vody, kdy pouze její část je použita k hydrataci slínkových fází, zbytek je přidán pro zlepšení zpracovatelnosti a následně odpařen. Póry v materiálu si lze představit jako vzájemně propojené kapiláry. Těmito kapilárami do něj mohou pronikat látky zvenčí, kde mohou reagovat se složkami betonu, jako je kamenivo nebo výztuž. Kromě kapilárních pórů existují také vzduchové póry, které jsou větší. [7]

Přítomnost pórů zvyšuje riziko průniku nežádoucích látek (v naší studii zastoupených různými zdroji alkálií) do struktury. Ty mohou mít negativní vliv na celkové vlastnosti systémů a způsobit jejich degradaci. Toto pronikání látek do vnitřní struktury je řízeno různými procesy transportu. Hnací silou difúze je koncentrační gradient, který nutí celý systém k jeho vyrovnávání migrací látky z prostředí s vyšší koncentrací do prostředí s nižší koncentrací. [8] Samotný tok je popsán Fickovými zákony. Spolu s difuzí existují tři další transportní mechanismy. Propustnost představuje proces řízený tlakem. Kapalina je v podstatě vtlačována do betonu pomocí zvýšeného tlaku ve srovnání s tlakem uvnitř kapilárního systému betonu. Zvýšený tlak je například v okolí

cementového materiálu, když je umístěn pod vrstvou vody. [9, 10] Jiné představuje kapilární sání, které vzniká v důsledku interakce mezi molekulami kapaliny a stěnou kapiláry (v našem případě cementového materiálu). Interakce těchto dvou prostředí je větší než interakce mezi samotnými molekulami kapaliny. Kapilarita není ovlivněna ambientním tlakem jako propustnost. V neposlední řadě je to migrace. [11] Migrace je jedním ze způsobů transportu, kdy kationty pronikající při difúzi musí být vyváženy odpovídajícími protilehlými anionty. Pokud se tak nestane, celý prvek se elektricky nabije a vytvoří dva opačně nabitě póly. Příčinou elektrického pole může být také rozdílná rychlost migrace (pohyblivost). Ionty obsažené v okolním roztoku (póru) pak migrují k příslušným pólům podle svého náboje. Hlavním studovaným případem je migrace chloridových iontů. K popisu celého procesu se používá Nernstova-Planckova rovnice, která doplňuje Fickovy rovnice o vliv koncentračního gradientu a elektrických sil. [12,13]

Všechny tyto transportní mechanismy mohou koexistovat a vzájemně se ovlivňovat ve fázích průniku sloučenin a následné jejich mobility uvnitř struktury betonu. Cílem této studie je sledovat mobilitu vybraných iontů pocházejících z vnějších zdrojů v cementové matici a předpovědět tak možnost vzniku ASR.

## **Příprava testovacích těles**

Jako pojivo byl zvolen běžný portlandský cement typu CEM I 42,5R RC - silniční cement. Tento typ cementu obsahuje 95-100 % slínku a maximálně 5 % dalších složek. Zároveň se jedná o tzv. rychle tuhnoucí cement, který se vyznačuje vyšším nárůstem pevnosti v počátečních fázích hydratace. Pochází z české cementárny Mokrý (Heidelbergcement group, Mokrý, CZ). Jeho základní parametry lze popsat jako objemovou hmotnost  $3,130 \text{ g/cm}^3$ , měrný povrch podle Blaineho metody  $309 \text{ m}^2/\text{kg}$ . Charakteristické chemické složení stanovené podle ČSN EN 196-2 je shrnuto v tabulce 1. Fázové složení bylo stanoveno metodou XRD (Empyrean PANalytical, Malvern Panalytical Ltd., Malvern, UK); s následujícími parametry analýzy: Cu K $\alpha$ 1 záření ( $1,54059 \text{ \AA}$ ) proud trubice 30 mA a napětí 40 kV; osa skenování gonio; velikost kroku  $0,01313^\circ 2\Theta$  čas na krok 96 s, rozsah skenování  $4,5-90^\circ 2\Theta$ , výsledky byly vyhodnoceny pomocí softwaru HighScore plus, jsou shrnuty v tabulce 2.



Tabulka 1) Chemické složení cementu stanovené podle normy EN 196-2. Zkratky UR a LOI znamenají nerozpustný zbytek a ztrátu žíháním.

CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	SO <sub>3</sub>	Cl <sup>-</sup>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O ekv	UR	LOI
63,3	20,3	4,6	3,5	1,5	3,18	0,028	0,73	0,15	0,63	0,41	1,53

Tabulka 1) Fázové složení použitého cementu v hmotnostních procentech.

Stanoveno pomocí XRD. Význam použitých zkratk: C<sub>3</sub>S - křemičitan trikalcia, C<sub>2</sub>S - křemičitan dikalcia, C<sub>3</sub>A - hlinitan trikalcia, C<sub>4</sub>AF - tetrakalcium aluminu-ferit, CaO - vápno, CaCO<sub>3</sub> - kalcit, C<sup>SH</sup> - sádrovec.

C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> A	C <sub>4</sub> AF	CaO	CaCO <sub>3</sub>	C <sup>SH</sup>	Amorphous
69,25	10,89	6,52	10,96	NA	NA	2,38	NA

## Uložení v alkalickém roztoku

Připravené vzorky byly po dokončení hlavního hydratačního procesu následně uloženy do alkalických roztoků. Ke studiu iontové výměny mezi roztokem a zkušebním vzorkem byly použity roztoky alkálií sodíku a draslíku o koncentraci 0,5 a 1,0 mol/l. K přípravě těchto roztoků byly použity následující chemikálie: Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (Penta chemicals, CZ, čistota p.a.), NaNO<sub>3</sub>, KNO<sub>3</sub>, NaOH a KOH (Lach-Ner, s.r.o., CZ, čistota p.a.) a demineralizovaná voda (FCH VUT, CZ). Vzorek byl ponořen do specifického alkalického roztoku za použití polypropylenových uzavíratelných nádob. Poměr hmotnosti vzorku k objemu roztoku byl zvolen 1/5. Ve zvolených časových intervalech - 1, 7, 28, 56, 84 a 120 dní byly sledovány změny koncentrace příslušných roztoků média pomocí optické emisní spektrometrie – indukčně vázané plazmy (ICP-OES) (Horiba Scientific - Ultima 2, Japonsko), změny vodivosti roztoku pomocí multifunkčního měřicího zařízení (SevenCompact TM duo S213, Cond sonda InLab 717; Mettler Toledo, SUI). Současně byly charakterizovány změny morfologie cementových past a distribuce alkálií v těchto vzorcích pomocí skenovací elektronové mikroskopie doplněné o EDX mapování (Zeiss EVO LS 10, DE). Vzorky byly nalepeny na uhlíkovou pásku a odhalené lomové plochy byly naprašovány zlatem. Pracovní vzdálenost při měření byla nastavena na 12 mm a urychlovací napětí bylo 15 kV. Kromě toho byly pomocí přístroje vyhodnoceny změny pórovitosti pomocí MIP. (Poremaster (Quantachrome Instruments, USA). Rozsah pracovního tlaku byl od 0,14 do 231 MPa, což pokrývalo rozsah průměrů pórů od 6,5 do 1 000 nm. Tato měření

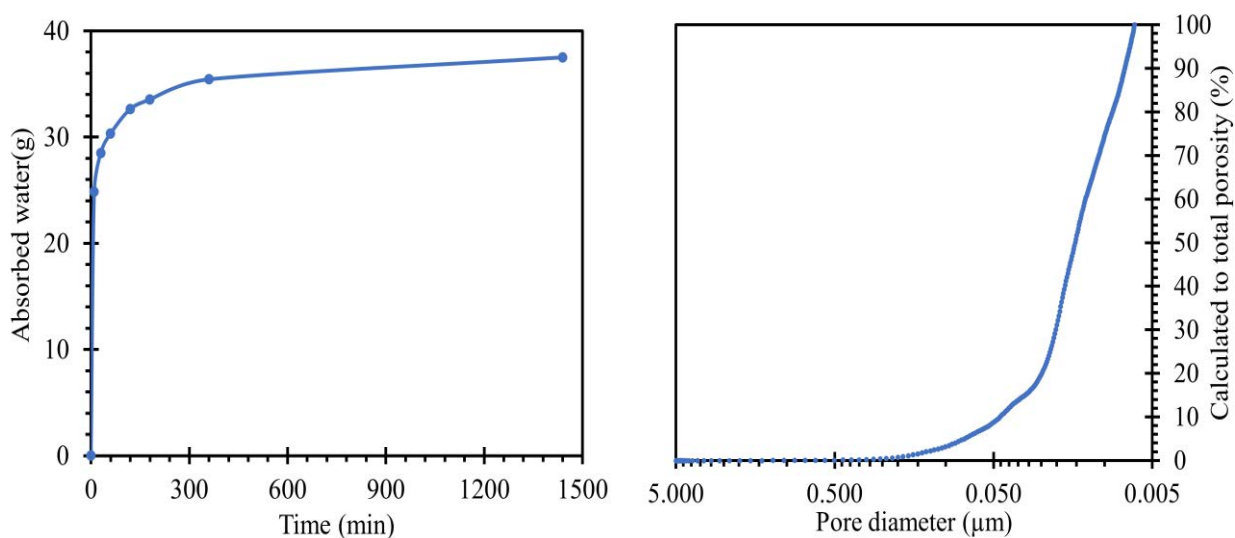
byla provedena za použití Hg s povrchovým napětím 0,480 N/m a kontaktním úhlem 140°.

## Výsledky a diskuze

Při zkoušce nasákavosti (obrázek 1 vlevo) na silničním cementu byla zjištěna celková nasákavost (po 24 hodinách ponoření) 37,05 g nasáté vody. Tato hodnota odpovídá absorpci vody 6,7 % vzhledem k hmotnosti tělesa. Důvodem absorpce vody tělesy je kapilární jev v pórech, kdy póry větších rozměrů jsou schopny pojmout více vody. [14] Kromě toho je nasákavost tělesa jedním z klíčových aspektů pro migraci alkalických iontů z vnějšího prostředí do struktury.

Rozložení velikosti pórů v připravených vzorcích je znázorněno křivkou na obrázku 1 vpravo. Pro celkové relevantní vyhodnocení získaných výsledků lze správně vyhodnotit pouze oblasti mezi 10 nm a 5  $\mu\text{m}$ . Velikosti pórů nad tímto intervalem leží mimo kalibrační rozsah přístroje a mohou také nadále vytvářet shluky v materiálu vedoucí k dutinám nebo trhlinám. Obecně se nepředpokládá, že by se vyskytovaly ve ztuhnutém cementovém kompozitu s dobrou zpracovatelností. Na druhé straně póry o velikosti do 10 nm představují hranici dutin, do kterých může pod tlakem pronikat rtuť. Charakteristický exponenciální tvar vypočtených hodnot celkové pórovitosti odpovídá připravenému vzorku běžným cementovým pastám. [15, 16]

**Obrázek 1)** Vlevo - výsledky zkoušky nasákavosti zkušebních vzorků udávající množství absorbované vody v průběhu času; vpravo - zjištěná pórovitost, přepočtená na celkovou pórovitost v rozsahu 0,005 až 5  $\mu\text{m}$ , měřená pomocí MIP.



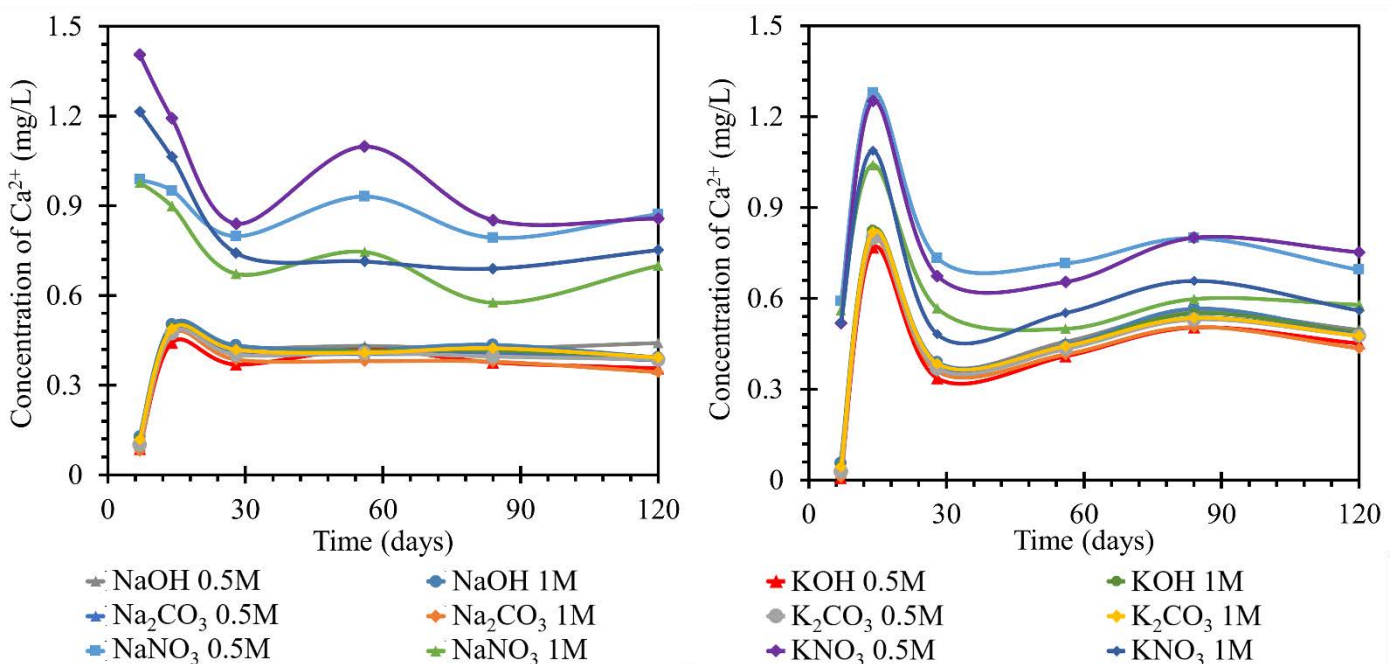
Chování kationtů  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  a  $\text{K}^+$  bylo sledováno v roztocích uhličitánů, dusičnanů nebo hydroxidu sodného či draselného o dané koncentraci při 25 °C a 40 °C metodou ICP. Byly sledovány změny koncentrace alkálií příslušného typu (sodného nebo draselného a současně koncentrace vápenatých iontů), takže bylo možné charakterizovat jak procesy spojené s pouhou výměnou nebo substitucí iontů ve struktuře sledovaných vzorků, tak procesy vedoucí k přeměně CSH gelu a příslušných hydratačních produktů na typ  $\text{C}(\text{Na})\text{SH}$  nebo  $\text{C}(\text{K})\text{SH}$ .

S ohledem na skutečnost, že ICP-OES lze pozorovat pouze změny chemického složení alkalických roztoků a že úbytek koncentrace alkálií nemusí nutně souviset s difuzí do struktury nebo pórů vzorku, ale může také vést ke vzniku různých forem krystalických a amorfních nebo gelových produktů na povrchu zkoumaných vzorků.

### Monitorování koncentrace vápenatých iontů

Jak je patrné z grafů chování vápníku v roztocích (obrázek 2), lze pozorovat dva trendy v chování tohoto iontu. V prvním případě jsou nárůsty i poklesy koncentrace výraznější (dosahují vyšších nebo nižších hodnot ve srovnání s druhou skupinou při zachování stálého trendu). Skupiny s výraznějšími trendy mají jako společného jmenovatele dusičnanový aniont. Výraznější trendy se vyskytují jak u roztoků sodíku, tak u roztoků draslíku s tímto aniontem.

**Obrázek 2)** Výsledky sledování koncentrací vápenatých iontů v jednotlivých roztocích, vlevo při laboratorní teplotě 25 °C, vpravo při 40 °C. Koncentrace  $\text{Ca}^{2+}$  byly stanoveny metodou ICP-OES; chybové úsečky nejsou pro přehlednost uvedeny, dosahují však maximálně 1,83 %.



Pokles koncentrace v roztocích dusičnanů je pravděpodobně způsoben tvorbou krystalických produktů reakcí s aniontem těchto roztoků. V roztocích hydroxidů a uhličitanů se po počátečním nárůstu o 0,5 mg/l do 7. dne koncentrace následně zvýší téměř na původní koncentraci do 14. dne. Od tohoto dne koncentrace klesá přibližně o 0,1 mg/l. Tento vývoj odpovídá rovnovážnému stavu. Prvních 7 dní, kdy se koncentrace vápníku v roztoku zvyšuje, je tedy pro vývoj dusičnanů velmi rozdílných. To je pravděpodobně způsobeno rozpouštěním portlanditu z trámečku nebo uvolňováním pórového roztoku obsahujícího vápenaté ionty. Po tomto nárůstu se pak proces snižuje a od 28. dne se stává ustáleným a lze předpokládat proces rovnováhy. Množství vápníku uvolněného do roztoku v dusičnanech draselných je během měření přibližně o 0,3 mg/l vyšší než množství uvolněné do roztoků dusičnanu sodného. Konečné množství vápníku v roztoku dusičnanů je tedy vyšší než původní množství přibližně o 0,75 až 0,9 mg/l. To je v kontrastu s vývojem množství v roztocích hydroxidů a uhličitanů, kde se původní množství snížilo na konečné množství přibližně o 0,5 mg/l. Zvýšení expoziční teploty na 40 °C má na skutečné chování křivek koncentrace vápenatých iontů v roztocích jen malý vliv. Vývoj vápníku ve zkušebním vzorku je z hlediska křivek při 40 °C téměř stejný jako při 25 °C. Koncentrace dusičnanů v roztocích je z hlediska hodnot rovněž téměř stejná. Při 40 °C je maximum nárůstu koncentrace 1,4 mg/l, zatímco při 25 °C je maximum rovněž na úrovni 1,3 mg/l. Hlavní rozdíl ve vývoji vápenatých iontů v dusičnanových roztocích spočívá v mírnějším nárůstu koncentrace do 7. dne, od kterého prudce stoupá až k výše zmíněnému maximu 1,3 mg/l vápníku. Od tohoto bodu koncentrace klesá, ale stále je vyšší než počáteční koncentrace. Trend koncentrace se ustálí na hodnotě o 0,7 mg/l vyšší než počáteční koncentrace. Tento popsáný jev platí pro roztoky dusičnanů o koncentraci 0,5 mol/l. Chování vápníku v roztocích o koncentraci 1 mol/l má stejný průběh, pouze dosahuje hodnot o 0,2 mg/l nižší koncentrace. Konečné ustálení chování koncentrace patří k difúzní rovnováze systému trámeček/roztok. Celkové chování koncentrace vápníku v dusičnanech při 40 °C je plynulejší s menšími výkyvy. Kromě toho jsou křivky jednotlivých dusičnanových roztoků méně rozkročené. Chování křivek pro koncentrace uhličitanů a hydroxidů je při obou teplotách shodné. Počáteční pokles do 7. dne, následný nárůst do 14. dne, odtud mírný pokles a ustálení koncentrace v difúzní rovnováze. Rozdíl v chování při vyšší teplotě spočívá v tom, že počáteční pokles do 7. dne je při 40 °C jen o polovinu větší (o 0,5 mg/l) než při 25 °C (kdy koncentrace klesá o 0,8 mg/l). Při 40 °C tedy s dalším zvyšováním koncentrace stoupá až nad počáteční

koncentraci, přičemž po následném poklesu dosáhne vrcholu 0,85 mg/l, a poté se koncentrace ustálí na hodnotě o 0,3 mg/l vyšší než počáteční koncentrace, v difúzní rovnováze.

Přírůstky koncentrací vápníku v jednotlivých roztocích jsou pravděpodobně způsobeny rozpouštěním produktů z tvrdnutí cementové matrice nebo vyluhováním pórového roztoku z cementové matrice. [17] Pro nás jsou důležitější koncentrační ztráty. Předpokládají vznik produktů obsahujících vápenaté ionty. Takovými produkty mohou být kalcit - uhličitan vápenatý ( $\text{CaCO}_3$ ) vznikající při karbonataci vzduchem a portlandit - hydroxid vápenatý  $\text{Ca(OH)}_2$  vznikající jako vedlejší produkt hydratačního procesu, tedy vznik primárního CSH gelu [18-20] Kromě toho může vznikat CSH nebo CASH gel (kde A označuje alkálii, tento produkt bude diskutován v dalších kapitolách). Lze předpokládat, že tyto produkty mohou částečně eliminovat difúzi, zejména přes menší póry. Tvorbu portlanditu ve formě krystalů na povrchu trámce lze pak potvrdit analýzou SEM obrazu vzorku. [21, 22] Mezi těmito produkty a roztokem existuje rovnováha, což by znamenalo celkový pokles koncentrace oproti původnímu stavu. Jelikož tento pokles koncentrace nedosahuje v provedeném experimentu významných hodnot (zde pokles o 0,2 mg/l), můžeme předpokládat malé množství těchto vznikajících produktů. Zkušební vzorek vykazuje zvýšení obsahu vápníku v roztoku, pravděpodobně v důsledku úbytku vápníku z trámečku. Je zřejmé, že tvorba produktů v dusičnanech je potlačena dusičnanovým aniontem, s nímž se tvoří snadněji rozpustné produkty. [22]

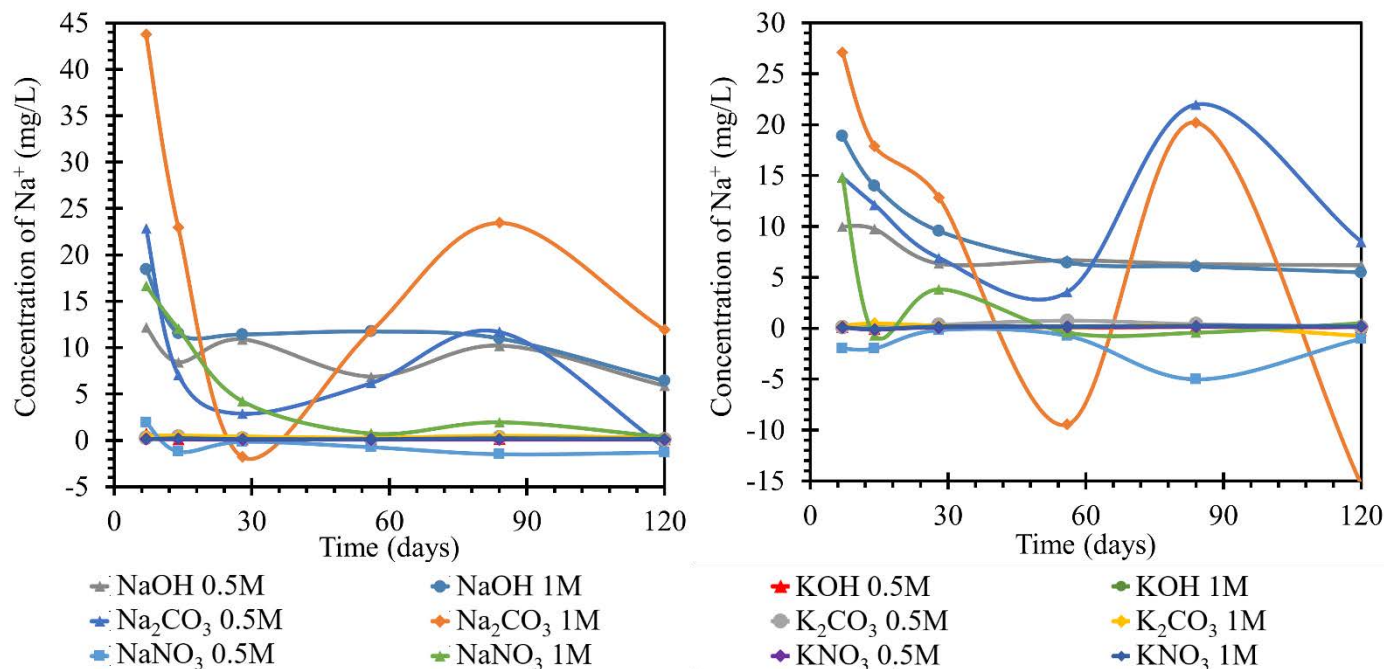
### **Monitorování koncentrace sodných iontů**

Chování koncentrace sodíku v roztoku draslíku při 25 °C a 40 °C je znázorněno v grafech na obrázku 3. U zkušebních vzorků při nižší z těchto teplot koncentrace sodíku v okolním roztoku do 7. dne stagnuje nebo mírně klesá. Toto chování je nejméně patrné v roztoku dusičnanu draselného, a to bez ohledu na koncentraci. V dusičnanovém roztoku dosahuje tento nárůst maximálně 0,1 mg/l sodíku ve srovnání s počáteční koncentrací. Při této koncentraci se nadále stabilizuje a dále výrazně nekolísá. Nejstrmějšího nárůstu s nejvyšším maximem ve srovnání s ostatními vzorky dosahuje chování sodíku v hydroxidu draselném o koncentraci 1 mol/l. Vrchol počátečního trendu je v 7. den při koncentraci o 0,7 mg/l vyšší než počáteční koncentrace. Tento nárůst však klesá přibližně o 0,6 mg/l do 14. dne, kdy je sodík z roztoku spotřebován. Koncentrace se ustálí na přibližně 0,1 mg/l. Chování



koncentrace v roztoku hydroxidu o koncentraci 0,5 mol/l je poněkud odlišné. Počáteční nárůst koncentrace je pouze 0,3 mg/l v 7. den a poté koncentrace klesá o 0,15 mg/l. Z koncentrace o 0,15 mg/l vyšší než počáteční koncentrace se však poté opět zvýší na 0,3 mg/l v 84. dni. Od té doby klesá až do konce měření. Lze tedy předpokládat tvorbu produktu a jeho možné rozpouštění. Vývoj koncentrace vápníku v roztoku uhličitanu sleduje stejný trend jako v 0,5 M hydroxidu draselném. Roztoky uhličitanu draselného vykazují nárůst koncentrace sodíku až do 14. dne, kdy v roztoku o koncentraci 1 mol/l je nárůst mezi 7. a 14. dnem pozvolný a dosahuje maxima při koncentraci zvýšené o 0,5 mg/l. Koncentrace v roztoku uhličitanu o koncentraci 0,5 mol/l je po celou dobu vývoje o 0,1 mg/l nižší. Od 14. dne koncentrace klesá až do 56. dne. Od tohoto dne dochází k nárůstu koncentrace na hodnotu odpovídající původnímu maximu 0,5, resp. 0,4 mg/L. Poté koncentrace klesá. Při teplotě 40 °C se celkový průběh jednotlivých křivek mění. Nejvýraznější z nich lze pozorovat na samém počátku působení každého média přibližně do 28. dne. Vzorky  $K_2CO_3$  1 mol/l a KOH 0,5 mol/l vykazují zcela odlišný vzorec chování koncentrace, ale opakovaná měření zcela vyloučila jakoukoli chybu v přípravě nebo stanovení tím, že se získaly identické výsledky. Zbývající prostředí vykazují podobný charakter, kdy zejména chování obsahu sodíku v systému roztoku dusičnanů nebo hydroxidů u testovacích tělesech při 40 °C je velmi jednoduché a popisuje jednoduchou difúzi s vyrovnáváním koncentrací. Po ponoření trámečku do roztoku dochází k mírnému kolísání koncentrace sodíku do kladných a záporných hodnot až do 28. dne. Toto kolísání lze přičíst nastolení rovnováhy v systému. Ve 28. dni se koncentrace ustálí na hodnotě o 0,1 až 0,2 mg/l vyšší než počáteční koncentrace. To koresponduje s koncentrací sodíku v materiálovém listu používaného cementu.

**Obrázek 3)** Výsledky sledování koncentrací sodíkových iontů v jednotlivých roztocích, vlevo při laboratorní teplotě 25 °C, vpravo při 40 °C. Koncentrace Na<sup>+</sup> byly stanoveny metodou ICP-OES; pro přehlednost nejsou uvedeny chybové úsečky, ale dosahují maximálně 1,91 %.



V případě sledování sodných iontů v roztocích sodíku lze v první polovině pozorovat velmi výrazné křivky. Nejvýraznější změny koncentrací v průběhu experimentálního období lze pozorovat u roztoku uhličitanu sodného o koncentracích 0,5 a 1 mol/l při 25°C. Toto chování lze přičíst postupné tvorbě a přeměně především sekundárních produktů na povrchu testovacích tělesech, které se zdají být dobře rozpustné. Koncentrace roztoku hydroxidu sodného o koncentraci 1 mol/l výrazně klesá z počátečních 23 mg/l na 11 mg/l do 7. dne pozorování a poté klesá velmi mírně na konečných 8,5 mg/l; zředěný roztok o koncentraci 0,5 mol/l se chová podobně s přibližně polovičními změnami koncentrace. Výrazné poklesy koncentrace lze pozorovat v případě roztoků dusičnanů, kde koncentrace sodných iontů v roztoku dusičnanu 0,5 mol/l trvale klesá z počátečních přibližně 23 mg/l na 3 mg/l ve 28. dni experimentu, po kterém následuje další pokles, pravděpodobně v důsledku vzniku a rozpuštění jednoho z krystalických produktů na povrchu testovaných těles. Chování roztoku dusičnanu o koncentraci 1 mol/l pak vykazuje ustálený klesající charakter, když se snižuje až ke konečným hodnotám blízkým nulovému konfigmentu. Zjevné vyčerpání sodných iontů v tomto prostředí se pak v následujících částech projevuje silným pokrytím testovacích těles vrstvou krystalizovaného dusičnanu.

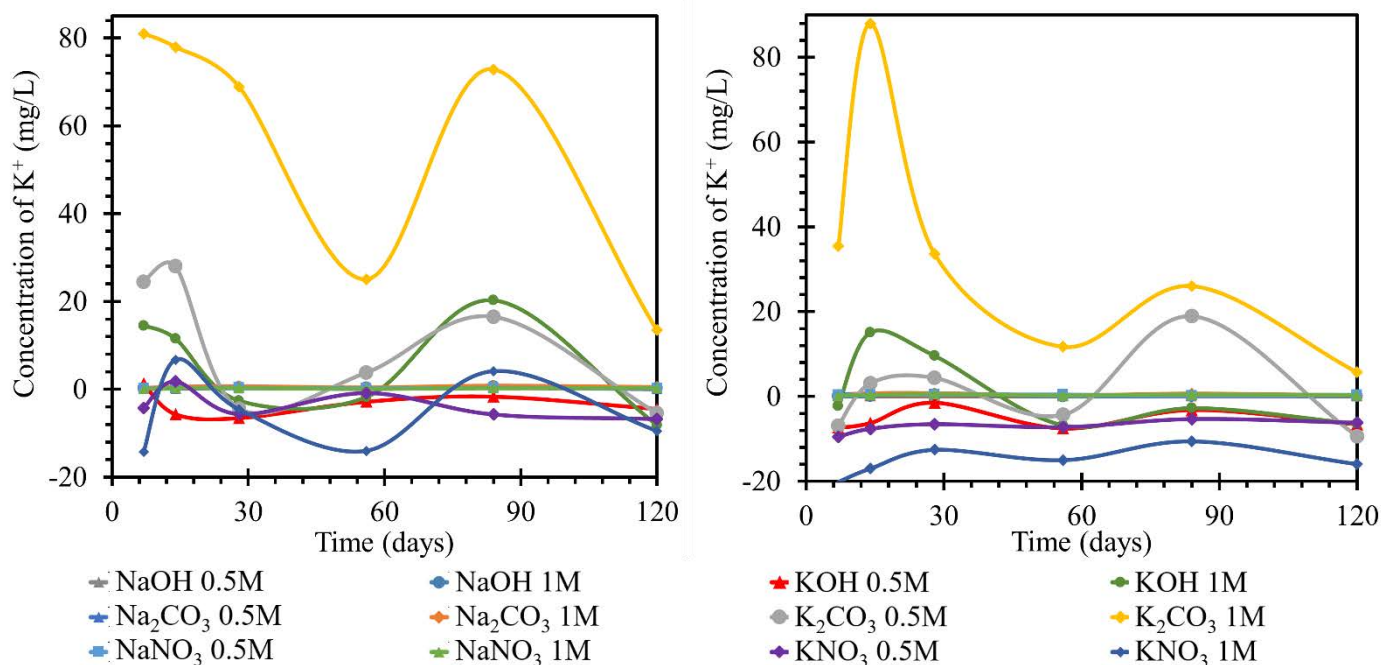
V případě souběžného experimentu prováděného při zvýšené teplotě na 40 °C je pak možné pozorovat výraznější kolísání koncentračních křivek v roztocích uhličitanů. Jak je patrné ze získaných výsledků, průběh jednotlivých křivek dusičnanů je při obou studovaných teplotách podobný, včetně hodnot koncentrací iontů dosažených v příslušném roztoku, s jedinou výjimkou, a to u roztoku NaOH o koncentraci 1 mol/l. V případě roztoku NaOH o koncentraci 1 mol/l je průběh křivek podobný. Zde je patrný mnohem vyšší úbytek koncentrace tohoto iontu. Během depozice při vyšší teplotě se na povrchu testovacího tělesa vytvořil produkt podobný gelu.

### **Monitorování koncentrace draselných iontů**

Draslík je poměrně úzce spjat se sodíkem, což je dáno jejich postavením v periodické tabulce prvků, reaktivitou a mnoha dalšími vlastnostmi. Jak částečně nastínily výsledky v předchozí kapitole, podobné závislosti chování lze pozorovat při sledování koncentrací draselných iontů jako doplňkového iontu v sodíku. Původní domněnka, že může docházet k prosté výměně sodných iontů za draselné a naopak, je zde zcela vyvrácena, neboť, jak ukazují výsledky ICP i dále diskutované výsledky SEM-EDX, dochází pouze k částečné výměně, a mnohem častěji tedy buď ke vzniku dvojkrytalických produktů prostředí, nebo ke vzniku hydratačního gelu  $C(NaK)SH$ .

V případě testovaných tělese ze silničního cementu není chování draslíku při 25 °C v roztocích sodíku snadno popsitelné, jak ukazuje časový průběh změny koncentrace na obrázku 4 vlevo. Ve všech roztocích se koncentrace draslíku postupně zvyšuje až do 14. nebo 28. dne, kdy dosáhne koncentrace přibližně 0,4 mg/l. Od 28. dne se koncentrace draslíku v různých roztocích vyvíjí s různou intenzitou, ale stále v kladných hodnotách ve srovnání s počáteční koncentrací během sledovaného období. Nejintenzivněji se vyvíjí koncentrace draslíku v uhličitanu sodném o koncentraci 1 mol/l, která dosahuje hodnot o 0,83 mg/l vyšších než počáteční hodnoty. Nejméně intenzivní je vývoj v 0,5 mol/l hydroxidu sodného, kde se koncentrace zvyšuje o 0,27 mg/l. Ostatní koncentrace se pohybují mezi maximálními koncentracemi obou roztoků. Chování obsahu draslíku ve všech roztocích odpovídá nastolení rovnováhy.

**Obrázek 4)** Výsledky sledování koncentrací draselných iontů v jednotlivých roztocích, vlevo při laboratorní teplotě 25 °C, vpravo při 40 °C. Koncentrace  $K^+$  byly stanoveny metodou ICP-OES; chybové úsečky nejsou pro přehlednost uvedeny, dosahují však maximálně 1,85 %.



Před popisem vývoje draselných iontů v roztocích dusičnanu draselného a hydroxidu draselného s zkušebními vzorky při uvedených teplotách je třeba zmínit, že obsah draslíku v obou roztocích končí svůj vývoj při koncentracích nižších než výchozí. Koncentrace se ustálí na hodnotách až o 15 mg/l nižších. Při teplotě 25 °C má vývoj všech roztoků hydroxidů a dusičnanů s trámečkem ze silničního cementu má sinusoidální tvar kolísající kolem původní koncentrace. Tento trend je pak nejvýraznější u roztoků o koncentraci 1 mol/l, ale trend sledují i roztoky o koncentraci 0,5 mol/l. Celý tento trend pak naznačuje ustálení koncentrace v systému a nejsou zde žádné výrazné koncentrační trendy naznačující tvorbu produktů. Při teplotě 40 °C je do 56. dne vývoj draslíku ve všech roztocích dusičnanů a hydroxidů nižší než původní koncentrace. Vývoj křivek popisujících draselné ionty v roztocích draslíku dosahuje při obou teplotách podobného charakteru jako vývoj sodných iontů v předchozí kapitole. To znamená, že křivky uhličitanů dosahují značných výkyvů z hlediska růstu a poklesu koncentrací draselných iontů v příslušných prostředích, a to především v důsledku vzniku a následného rozpouštění krystalických produktů na povrchu zkušebních vzorků. Působení hydroxidů a dusičnanů pak vykazuje jen malé výkyvy. Roztoky

o koncentraci 0,5 mol/l po počátečním poklesu na 6,5 mg/l zůstávají na této koncentraci a kolísají kolem ní. Z křivek na obrázku 5 vpravo je pak patrné, že v případě depozice zkušebních těles v roztocích o teplotě 40 °C vykazují změny koncentrace tohoto prvku opačné trendy ve smyslu vyšších koncentračních změn v prvních dnech expozice a naopak nižších maxim v posledních fázích tohoto experimentu. Chování obsahu draslíku v dusičnanech je doprovázeno počátečním nárůstem během prvních sedmi dnů. Sedmý den tento nárůst dosahuje koncentrace 0,75 mg/l v roztoku o koncentraci 1 mol/l. Koncentrace v roztoku 0,5 mol/l byla v tomto maximu přibližně o 0,1 mg/l nižší. Dvacátý osmý den koncentrace klesá pod počáteční hodnotu přibližně 0,2 mg/l v roztoku o koncentraci 1 mol/l. Po mírném zvýšení, kdy se koncentrace draslíku v roztoku 0,5 mol/l vyrovná počáteční koncentraci, koncentrace do 120. dne dále klesá oproti počáteční hodnotě. Koncentrace draslíku v roztoku o koncentraci 0,5 mol/l se liší o 0,1 mg/l od koncentrace v roztoku o koncentraci 1 mol/l. Koncentrace draslíku v uhličitanech a hydroxidech se liší od původní koncentrace maximálně o  $\pm 0,1$  mg/l. Nejvyšší nárůst je v uhličitanu sodném 1 mol/l. Nejnižší koncentrace je dosaženo v hydroxidu sodném 0,5 mol/l. Koncentrace draslíku se ve všech třech roztocích střetávají přibližně o 0,6 mg/l nižší než původní koncentrace v 56. den. Dále v hydroxidech zůstává koncentrace draslíku nižší než původní a není zřejmý rozdíl v chování koncentrace v různě koncentrovaných roztocích. V uhličitánových roztocích se koncentrace draslíku od 56. dne do 120. dne mírně zvyšuje. Koncentrace draslíku v roztoku uhličitanu o koncentraci 1 mol/l je přibližně o 0,6 mg/l vyšší než v roztoku o koncentraci 0,5 mol/l.

Jak bylo uvedeno výše, pro vyhodnocení vývinu sodných iontů by v případě, že by došlo ke katexovému efektu, muselo dojít k vývinu sodíku a úbytku draslíku ve stejném roztoku (nebo naopak). Tento proces je patrný v některých roztocích dusičnanů a hydroxidů při vyšších teplotách. Podle výše uvedených křivek většina procesů odpovídá pouze ustálenému stavu koncentrace systému. Toto běžné kolísání lze přičíst tvorbě gelů nebo nestabilních solí. Uhličitánové křivky pak mají stejně jako v předchozích případech vysokou intenzitu vývoje, pravděpodobně v důsledku karbonatace. To dokládá i rozporuplný vývoj vápníku. Při různých teplotách i při různých koncentracích jsou křivky vývoje shodné, liší se pouze intenzitou jednotlivých poklesů a nárůstů koncentrace. Všechny poklesy koncentrací draslíku pak naznačují odpadávání krystalů soli na povrchu TS, což potvrzují snímky SEM. Vzhledem k tomu, že je zde společný trend s vývojem sodných iontů v roztoku, lze předpokládat vznik



dvojných solí. Opět je třeba zmínit, že tvorba gelu (CASH) by byla doprovázena jeho následnou expanzí adsorpcí vody. Tato expanze by rovněž vedla k tvorbě pórů a možnému vzniku výkvětů na povrchu (což nelze očekávat v tak krátkém časovém intervalu, jako je experiment).

## ZÁVĚR

V tomto článku byl studován jev prostupu alkalických iontů, konkrétně sodíku a draslíku, do cementových kompozitů připravených ze silničního cementu. Dalšími studovanými experimenty byly proměnné, jako je zvýšená teplota expozice, zvýšená koncentrace roztoku a v neposlední řadě typ aniontů v roztoku.

Ukázalo se, že ionty sodíku i draslíku ve všech třech studovaných prostředích, tedy uhličitanovém, hydroxidovém a dusičnanovém, pronikají do kompozitu a dále do jeho struktury různými mechanismy. Hnací silou je zvýšená teplota experimentu a také zvýšená koncentrace roztoku, kterému jsou testované tělesa vystaveny.

V případě expozice dusičnanem sodným nebo draselným dochází k pronikání alkalických iontů do testovacích těles a k prostupu celého objemu vzorku nejučinněji, přičemž v případě dusičnanu sodného k tomu dochází rychleji vzhledem k tomu, že sodný ion má vyšší pohyblivost než draselný ion. Působením uhličitanů a hydroxidů se mohou původní a tradiční hydratační produkty přeměnit na modifikovaný alkalicko-křemičitý gel - CASH gel, zatímco v případě uhličitanů je tento jev pouze nepatrný. Ve skutečnosti je nejvýznamnějším důsledkem působení uhličitanových roztoků vznik slupky v blízkosti povrchu v důsledku degradace uhličitanů spojené s tvorbou kalcitu, která snižuje alkalitu okolí na neutrální oblast, což má zabránit vzniku ASR. Naopak k tomu dochází při přítomnosti hydroxidů, kdy toto vysoce alkalické prostředí postupně prostupuje celým objemem testovaného tělesa a dochází k velmi intenzivní přeměně původního gelu CSH na modifikovaný gel CASH nebo dokonce na gel ASR.

## LITERATURA

- [1]. Lawrence, C.D. 4 - The Constitution and Specification of Portland Cements. In Lea's Chemistry of Cement and Concrete (Fourth Edition), Hewlett, P.C., Ed.; Butterworth-Heinemann: Oxford, 1998; pp. 131-193.
- [2]. Moir, G. 1 - Cements. In Advanced Concrete Technology, Newman, J., Choo, B.S., Eds.; Butterworth-Heinemann: Oxford, 2003; pp. 3-45.

- [3]. Schumacher, G.; Juniper, L. 15 - Coal utilisation in the cement and concrete industries. In *The Coal Handbook: Towards Cleaner Production*, Osborne, D., Ed.; Woodhead Publishing: 2013; Volume 2, pp. 387-426.
- [4]. Santos, T.; Andrade Neto, J.; Cilla, M.; Ribeiro, D. Influence of the Content of Alkalis (Na<sub>2</sub>O and K<sub>2</sub>O), MgO, and SO<sub>3</sub> Present in the Granite Rock Fine in the Production of Portland Clinker. *Journal of Materials in Civil Engineering* 2022, 34, 04021464, doi:10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0004201.
- [5]. Horkoss, S.; Lteif, R.; Rizk, T. Influence of the Clinker SO<sub>3</sub> on the Cement Characteristics. *Cement and Concrete Research* 2011, 41, 913–919.
- [6]. Gobbo, L.; Sant'Agostino, L.I.; Garcez, L. C3A polymorphs related to industrial clinker alkalis content. *Cement and Concrete Research* 2004, 34, 657-664.
- [7]. Roy, D.M. Relationships Between Permeability, Porosity, Diffusion And Microstructure Of Cement Pastes, Mortar, And Concrete At Different Temperatures. *MRS Online Proceedings Library* 1988, 137, 179-189.
- [8]. Liberati, E.A.P.; Nogueira, C.G.; Leonel, E.D.; Chateauneuf, A. Nonlinear formulation based on FEM, Mazars damage criterion and Fick's law applied to failure assessment of reinforced concrete structures subjected to chloride ingress and reinforcements corrosion. *Engineering Failure Analysis* 2014, 46, 247-268.
- [9]. Martys, N.S.; Ferraris, C.F. Capillary transport in mortars and concrete. *Cement and Concrete Research* 1997, 27, 747-760.
- [10]. Marchon, D.; Flatt, R.J. 8 - Mechanisms of cement hydration. In *Science and Technology of Concrete Admixtures*, Aïtcin, P.-C., Flatt, R.J., Eds.; Woodhead Publishing: 2016; pp. 129-145.
- [11]. Conciatori, D.; Sadouki, H.; Brühwiler, E. Capillary suction and diffusion model for chloride ingress into concrete. *Cement and Concrete Research* 2008, 38, 1401-1408.
- [12]. 10 - Electrical tests to analyse the transport properties of concrete – I: modelling diffusion and electromigration. In *Transport Properties of Concrete (Second Edition)*, Claisse, P.A., Ed.; Woodhead Publishing: Oxford, 2021; pp. 157-186.
- [13]. Linderoth, O.; Wadsö, L.; Jansen, D. Long-term cement hydration studies with isothermal calorimetry. *Cement and Concrete Research* 2021, 141, 106344.
- [14]. Wang, Y.; Li, L.; An, M.; Sun, Y.; Yu, Z.; Huang, H. Factors Influencing the Capillary Water Absorption Characteristics of Concrete and Their Relationship to Pore Structure. *Applied Sciences* 2022, 12.

- [15]. Zhao, H.; Ding, J.; Huang, Y.; Tang, Y.; Xu, W.; Huang, D. Experimental analysis on the relationship between pore structure and capillary water absorption characteristics of cement-based materials. *Structural Concrete* 2019, 20, 1750-1762.
- [16]. Diamond, S. Mercury porosimetry: An inappropriate method for the measurement of pore size distributions in cement-based materials. *Cement and Concrete Research* 2000, 30, 1517-1525.
- [17]. Slegers, P.A.; Rouxhet, P.G. The hydration of tricalcium silicate: Calcium concentration and portlandite formation. *Cement and Concrete Research* 1977, 7, 31-38.
- [18]. Galan, I.; Glasser, F.; Baza Herrero, D.; Andrade, C. Calcium carbonate coating on portlandite crystals; 2013.
- [19]. Scrivener, K.L.; Juilland, P.; Monteiro, P.J.M. Advances in understanding hydration of Portland cement. *Cement and Concrete Research* 2015, 78, 38-56.
- [20]. Galmarini, S.; Bowen, P. Atomistic simulation of the adsorption of calcium and hydroxyl ions onto portlandite surfaces — towards crystal growth mechanisms. *Cement and Concrete Research* 2016, 81, 16-23.
- [21]. Goto, S.; Roy, D.M. Diffusion of ions through hardened cement pastes. *Cement and Concrete Research* 1981, 11, 751-757.
- [22]. Carde, C.; François, R. Effect of the leaching of calcium hydroxide from cement paste on mechanical and physical properties. *Cement and Concrete Research* 1997, 27, 539-550.

# HODNOCENÍ VLIVU OBSAHU STRUSKY V CEMENTU NA RIZIKO VZNIKU ALKALICKO-KŘEMIČITÉ REAKCE

*Ing. Kateřina Jiroušková, Výzkumný ústav maltovin Praha, s.r.o.*

Výzkumný ústav maltovin a Vysoké učení technické v Brně zahájili v roce 2019 řešení projektu č. TH04010207 „Zvýšení trvanlivosti cementobetonových krytů (CBK) pozemních komunikací omezením vlivu alkalicko křemičité reakce (ASR)“ - zabývající se problematikou alkalicko křemičité reakce z pohledu vyráběných cementů.

Cílem řešení projektu je poznání mechanismů uvolňování a reaktivity jednotlivých alkálií a návrh vhodných technologických postupů v oblasti výroby a použití zejména směsných cementů pro eliminaci alkalicko křemičité reakce (ASR) v betonech pro cementobetonové kryty (CBK).

V současnosti se eliminace ASR řeší výběrem vhodného kameniva a cementu s odpovídající hodnotou alkalického ekvivalentu. Tento parametr zavádí limitovaný obsah alkálií bez zohlednění rozdílného chování sodíku a draslíku a jejich původu. Odstraněním tohoto problému by bylo možno selektivně hodnotit a tím i využít nejen silniční portlandské cementy CEM I, ale i další struskové cementy CEM II až CEM III s modifikovaným obsahem  $C_3A$  a známým obsahem jednotlivých alkalických oxidů.

Proto se výzkumná práce zaměřila především na selektivní hodnocení působení jednotlivých alkálií a na kvantifikaci vlivu směsných cementů na eliminaci ASR.

Řešitelské týmy se zaměřili v projektu na následující body:

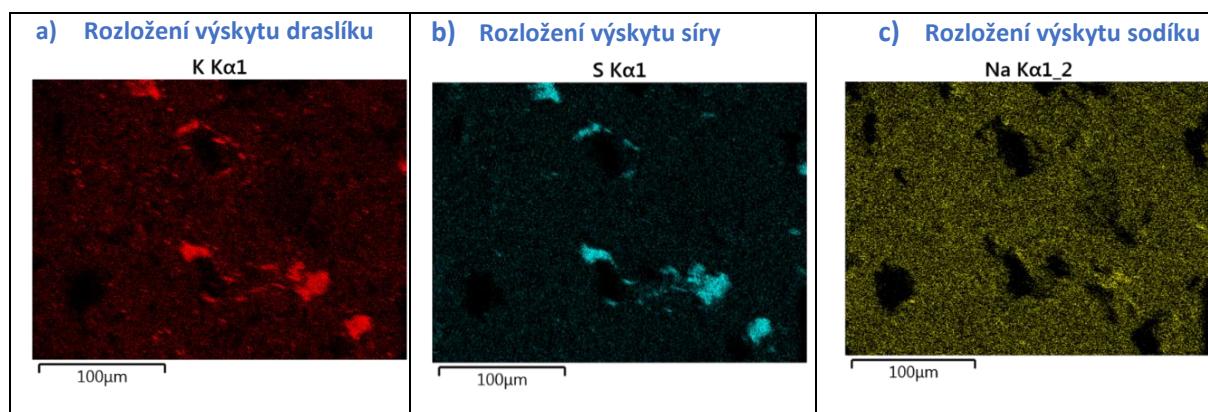
- zjištění rozdílů v aktivitě alkálií podle druhu ( $Na^+$ ,  $K^+$ ) při ASR;
- zjištění způsobu vazby alkálií v portlandském slínku;
- zjištění rozdílů v mobilitě alkálií podle druhu ( $Na^+$ ,  $K^+$ ) a podle způsobu jejich vazby v portlandském slínku a jejich vliv na nastartování a průběh ASR;
- určení rizikových forem výskytu alkálií ve slínku a cementu z hlediska vzniku ASR;
- nalezení vhodných způsobů odhadu chování daného cementu s daným typem kameniva;
- určení možností eliminace rizik vzniku ASR úpravou složení slínku a použitím vhodných složek cementu, bránících nastartování ASR.

# 1. Stanovení rozdílného chování sodíku a draslíku v hydratujícím systému

V první části projektu jsme se zaměřili na ověření rozdílného chování sodíku a draslíku obsažených v hydratujícím systému, tzn. vlivu alkálií obsažených v cementu .

Pomocí mappingu na elektronovém mikroskopu byl potvrzen výskyt draslíku ve slínku převážně jako minerálu arkanit (síran draselný). Draslík a síra se vyskytují společně na stejném místě, většinou v okolí uzavřených pórů, Obr.1 a), 1 b). Oproti tomu sodík, je rovnoměrně rozptýlen po celé hmotě slínku, Obr.1 c). Z toho plyne, že sodík vstupuje do krystalové mřížky slínkových minerálů, většinou trikalciumaluminátu. Trikalciumaluminát pak krystaluje v ortorhombické soustavě namísto v soustavě kubické.

Obrázek 1: Rozložení výskytu sodíku, draslíku a síry



Kromě přítomnosti arkanitu není ale zřejmé, na jaké slínkové minerály jsou alkálie ještě vázány. Proto byly laboratorně připraveny surovinové směsi z čistých chemikálií a do nich byly přidávány alkálie ve formě uhličitanů sodných a draselných a síranů sodných a draselných. Jejich množství bylo spočítáno tak, aby ve slínku jejich podíl odpovídal obsahu 1,2 % ekvivalentu  $\text{Na}_2\text{O}$  (tato hodnota vychází z normy ČSN 72 117 Stanovení reaktivnosti kameniva s alkáliemi). Z takto připravených surovinových směsí byly v laboratorní peci vypáleny slínky. Všechny surovinové směsi měly stejné moduly a stupeň sycení. Slínky byly kvantativně a kvalitativně analyzovány na elektronovém mikroskopu a bylo potvrzeno, že alkálie přednostně vstupují do slínkových fází dle následujícího pořadí  $\text{C}_3\text{A} > \text{C}_4\text{AF} > \text{C}_2\text{S} > \text{C}_3\text{S}$ .

Pro vznik ASR je důležitý faktor, jak rychle přechází jednotlivé alkálie do pórových roztoků a jsou tak k dispozici pro reakci s reaktivními křemičitany na povrchu kameniva. Způsob vazby alkálií ve slínku ovlivňuje rychlost přecházení iontů  $\text{Na}^+$  a  $\text{K}^+$  do roztoku v průběhu hydratace cementu a z toho plyne, že každý může do reakcí vstupovat v jiné fázi tvrdnutí betonu.

Pro ověření rychlosti přecházení alkálií do roztoku byl pomocí výluhové zkoušky simulován hydratační proces během tvrdnutí betonu. Byly připraveny cementové suspenze a v nich byl v daných intervalech stanoven podíl rozpuštěných alkálií přešlých do roztoku.

V Grafu 1 je zaznamenána kinetika vyluhování alkálií, ze slíneků připravených s dotovanými alkáliemi ve formě  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  a  $\text{K}_2\text{CO}_3$ . Na těchto grafech lze pozorovat, že:



- sodík (modrá křivka) se začne rozpouštět až po jedné hodině, ve stejnou dobu se začíná rozpadat primární ettringit a začíná hydratace trikalciumaluminátu C3A z toho plyne, že je sodík přítomen hlavně v mřížce C3A
- v případě draslíku (zelená křivka) se objevil ve slínku arkanit, přestože ve vzorku neměla být přítomna žádná síra, zřejmě tedy došlo ke kontaminaci vzorku a draslík který se rozpouští okamžitě je ve formě arkanitu

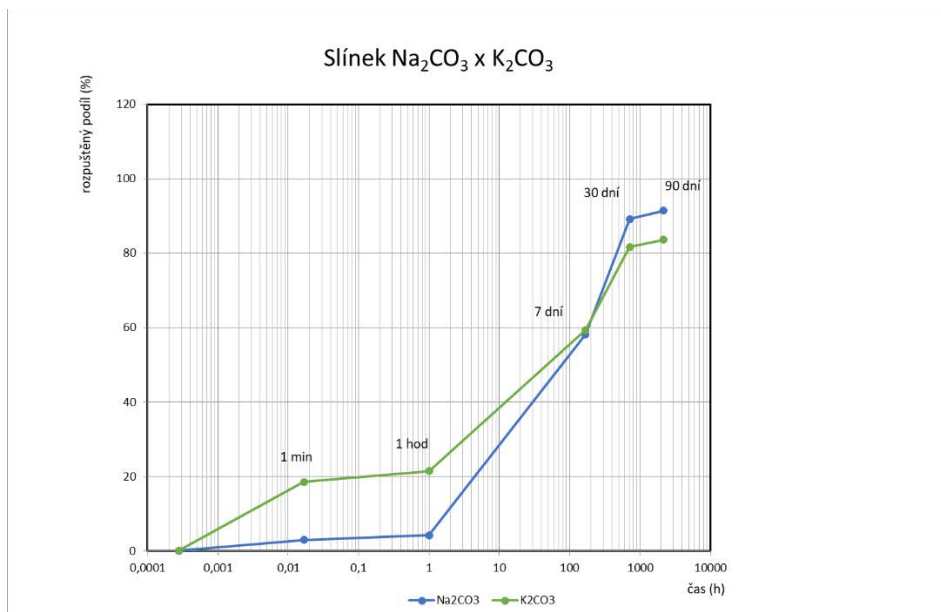
V Grafu 2 je zaznamenána kinetika vyluhování alkálií, ze slínek připravených s dotovanými alkáliemi ve formě  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  a  $\text{K}_2\text{SO}_4$ . Na těchto grafech lze pozorovat, že:

- draselné ionty (fialová křivka) v přítomnosti síry zůstávají převážně ve formě arkanitu, do roztoku přechází okamžitě z 80 %
- sodík se se sírou vyvázal ze 40 % (oranžová křivka), následně přechází do roztoku sodíkové ionty vázané v C3A, po 7 dnech je sodík rozpuštěn pouze z 60%

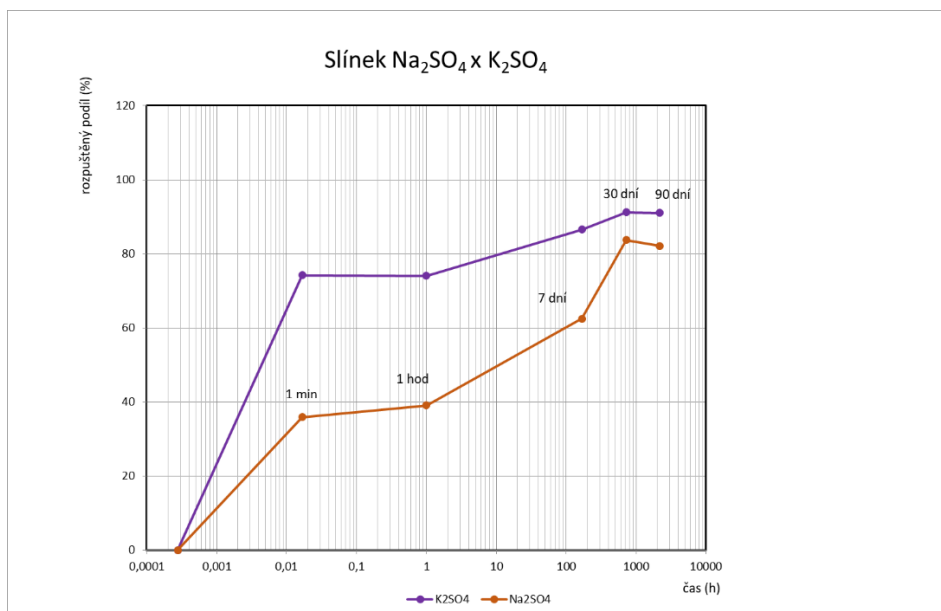
### **Závěr:**

***Ukazuje se, že je draslík v cementech přítomen především ve své rozpustné formě jako síran, takže během procesu tuhnutí dojde ihned k jeho rozpuštění a následnému zreagování. Kdežto sodík je zabudovaný do krystalové mřížky a uvolňuje se postupně ve fázi, kdy už je proces tuhnutí ukončen. Tím může docházet k porušování struktury ztvrdlého betonu. Z uvedeného plyne, že sodík je v procesu vzniku ASR mnohem více nebezpečný.***

Graf 1: Porovnání kynetiky vyluhování slínek připravených s dotovanými alkáliemi ve formě  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  a  $\text{K}_2\text{CO}_3$



Graf 2: Porovnání kynetiky vyluhování slínek připravených s dotovanými alkáliemi ve formě  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  a  $\text{K}_2\text{SO}_4$



## 2. Stanovení vnějšího vlivu alkálií a zjištění rozdílu reakce Na<sup>+</sup> a K<sup>+</sup> iontů

### 2.1 Rozdílné dilatometrické chování v roztoku NaOH a KOH podle ASTM C-1260-14 (upravené podle TP 137)

Klíčové informace o vnějším vlivu alkálií a zjištění rozdílu reakce Na a K iontů byly získány pomocí modifikované dilatometrické zkoušky.

Tato metoda umožňuje zjistit během 16 dní alkalicko křemičitou reakci kameniva s alkáliemi ve zkušebních maltových trámečkách o rozměru 25 x 25 x 28,5 cm. Trámečky se umístí do 1N roztoku NaOH na dobu 14 dní a po celou dobu se udržuje teplota 80 °C.

Za účelem zjištění rozdílného chování alkálií dodaných zvenčí tzn., že chování není ovlivněno způsobem jejich vazby, byla metoda modifikována a trámečky byly ukládány jak do 1N roztoku NaOH, tak roztoku KOH.

Trend rozdílného chování je patrný na výsledcích uvedených v Tabulce 2. Zatímco alkalická rozpínavost vzorků uložených v roztoku KOH (vnější vliv draselných iontů) nepřekročila hodnotu 0,1% délky, vzorky uložené v roztoku NaOH (vnější vliv sodných iontů) vykazovaly alkalickou rozpínavost v závislosti na obsahu strusky.

Tabulka 1 Klasifikace kameniva do betonu z hlediska rizika reakce s alkáliemi (zkouška podle TP 137)

nízká	≤	0,1 % délky
střední	>	(0,1 - 0,2) % délky
vysoká	>	0,2 % délky

Tabulka 2 Porovnání alkalické rozpínavosti v roztoku NaOH a KOH

Označení cementu	Obsah strusky (% hm.)	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	ekv. Na <sub>2</sub> O	Alkalická rozpínavost v NaOH (%)	Alkalická rozpínavost v KOH (%)
CEM I	0	0,18	0,83	0,73	0,210	0,075
CEM II/A-S	10	0,22	0,79	0,74	0,174	0,063
CEM II/A-S	20	0,25	0,75	0,74	0,140	0,069
CEM II/B-S	30	0,28	0,7	0,74	0,097	0,048

## 2.2 Výsledky dlouhodobých dilatometrických zkoušek podle ČSN 72 1179 (upravené podle TP 137, příloha č.2)

Současně byly na stejných směsích prováděny dlouhodobé dilatometrické zkoušky podle ČSN 72 1179, kdy byly jednotlivé alkálie přidávány do záměsové vody tak, aby jejich obsah odpovídal 1,2 % ekv. Na<sub>2</sub>O v cementu. Zde byly rozdíly mezi účinkem Na<sub>2</sub>O a K<sub>2</sub>O mnohem menší.

Tabulka 3 Výsledky dlouhodobých dilatometrických zkoušek podle ČSN 72 1179

Označení cementu	Obsah strusky (% hm.)	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	ekv. Na <sub>2</sub> O	Alkalická rozpínavost (%)	Alkalická rozpínavost (%)
					Cement dotovaný Na	Cement dotovaný K
CEM I	0	0,18	0,83	0,73	0,036	0,030
CEM II/B-S	30	0,28	0,7	0,74	0,011	0,011

Tabulka 4 Klasifikace kameniva do betonu z hlediska rizika reakce s alkáliemi po 6 měsících (zkouška podle ČSN 721179)

nízká	≤	0,070 % délky
střední	>	(0,070-0,100) % délky
vysoká	>	0,100 % délky

### Závěr:

**Z dosažených výsledků dilatometrických zkoušek je evidentní rozdíl mezi účinky sodíku a draslíku a rozdíl mezi tím, kdy jsou alkálie obsaženy v betonové směsi od počátku, nebo když vstupují zvenčí až do ztvrdlého betonu i při vysoké koncentraci.**

**Lze tedy vyvodit, že průběh ASR nezávisí pouze na obsahu ekv. Na<sub>2</sub>O ale také na mobilitě a rychlosti difuze alkálií v pórovém roztoku (sodík má menší iontový poloměr a vyšší hustotu náboje).**

**Dále se potvrdilo, že směsné cementy mají na průběh ASR značný vliv. Složky cementu, díky pucolánové reakci, snižují celkovou alkalitu vody v pórech ztvrdlého betonu a obsah alkálií schopných vstupovat do reakce (alkálie jsou ve strusce přítomny ve sklovité fázi, takže se snižuje jejich dostupnost). Dále snižují propustnost a možnost difuze v betonu. Složky mají vysoký obsah reaktivního SiO<sub>2</sub> velice jemně rozptýlený, a reakce ASR tedy proběhne ještě dříve, než stihne směs zatvrdnout.**

**Tyto závěry se v letošním roce ověřují zkouškami na připravené poloprovodní ploše, která bude porovnávat vliv sodných a draselných iontů působících zvenčí a dále vliv obsahu strusky.**

### 3. Nová metodika zkoušení - obsah alkálií v roztoku nad hydratujícím cementem

---

V další fázi projektu jsme se zaměřili na vývoj nové metodiky, která by doplnila hodnocení pomocí alkalického ekvivalentu a která by pomohla kvantifikovat citlivost celého systému pro vznik ASR a zjišťovat úroveň rizika. Cílem vytvoření nového zkušební postupu je rychlá laboratorní kontrola cementu k vyhodnocení rizika vzniku alkalicko křemičité reakce.

Na vznik ASR mají značný vliv směsné cementy. Vhodný poměr hlavních složek cementu závisí na obsahu jednotlivých alkálií  $\text{Na}^+$  a  $\text{K}^+$  a lze jej stanovit s využitím nové zkušební metodiky a vyhodnocení dle příslušného modelového grafu pro daný cement.

Každý výrobce cementu tak bude moci na základě grafu určit rizikovost daného cementu pro vznik ASR a bude tak mít informaci, o chování daných cementů během zrychlené dilatometrické zkoušky rozpínání podle TP 137 příloha č. 1. (V metodice se uvažuje použití kameniva droba, jako středně reaktivní kamenivo, nejčastěji používaného na stavbách cementobetonových pozemních komunikací v ČR.)

Na základě výsledků dilatometrických a výluhových zkoušek byly vytvořeny modelové grafy pro každý vyráběný cement. V grafech jsou znázorněny vztahy mezi alkalickou rozpínavostí daného cementu s kamenivem droba a obsahem strusky a obsahem alkálií v roztoku nad hydratujícím cementem v čase 1 hodina.

Příklad použití je uveden v grafu 3 :

1. Modrá křivka znázorňuje vztah mezi alkalickou rozpínavostí a obsahem strusky.

Výrobce bude moci doplnit charakteristiku cementu o informaci jaká je úroveň rizika vzniku ASR. Na grafu je šipkami purpurové barvy naznačený postup při odečítání. Alkalická rozpínavost je pro tento cement s obsahem strusky 20% přibližně 0,135 %, tzn. že směs daného cementu a kameniva droba bude při dilatometrické zkoušce vykazovat střední rizikovost.

2. Oranžová křivka znázorňuje vztah mezi podílem vyluhovaného sodíku a alkalickou rozpínavostí.

Příklad využití: Cement, u něhož není známá informace o obsahu strusky.

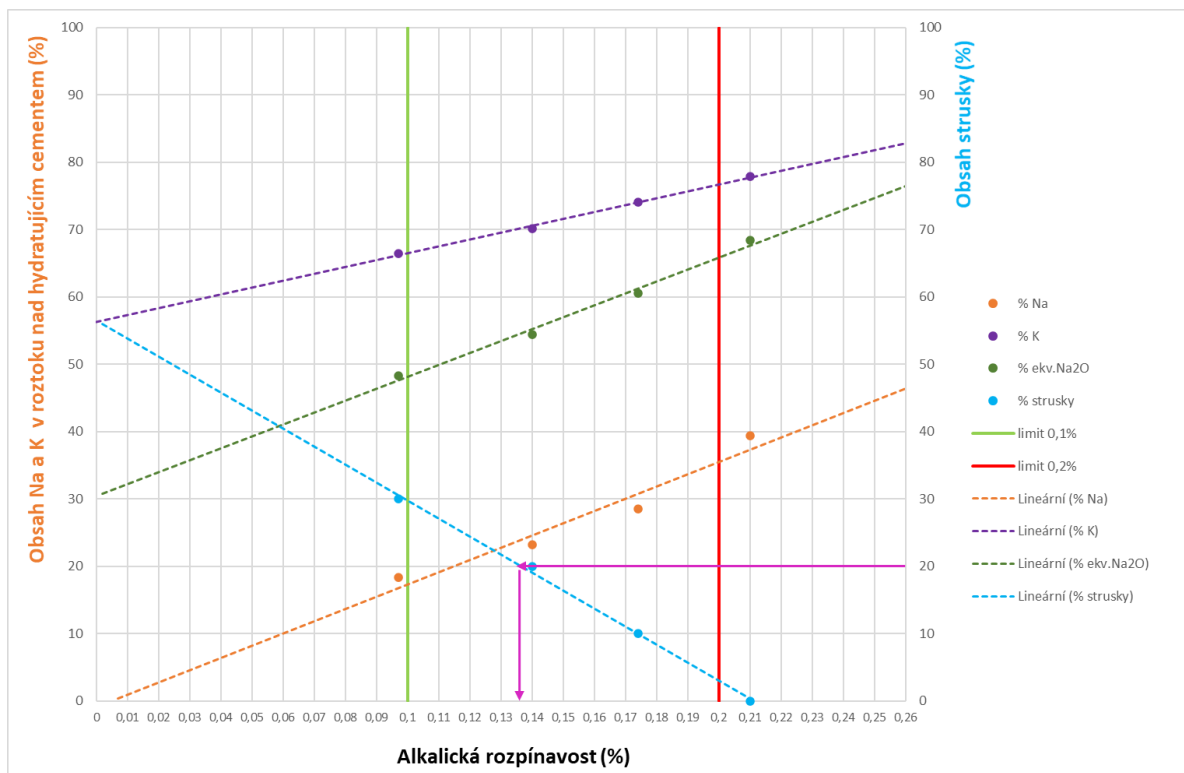
Provede se výluhová zkouška a stanoví se obsah sodíku, případně draslíku v roztoku (např. 20 %). Na oranžové křivce se pro daný cement odečte alkalická rozpínavost 0,115 %, tzn., že směs daného cementu a kameniva droba bude při dilatometrické zkoušce vykazovat střední rizikovost.

Modelový graf postihuje jak vliv alkálií zevnitř tak vliv alkálií zvenku. Oranžová křivka znázorňuje vztah mezi podílem vyluhovaného sodíku a alkalickou rozpínavostí, tzn. vliv alkálií přicházející do systému společně s cementem. Kdežto modrá křivka, která znázorňuje vztah mezi alkalickou rozpínavostí a obsahem strusky, vypovídá o citlivosti daného systému vůči alkáliím působících zvenčí.

Díky těmto výsledkům bude pro výrobce možné určovat chování daného cementu s kamenivem droba při dilatometrické zkoušce a obsah strusky potřebný k tomu, aby se alkalická rozpínavost pohybovala v rozmezí do 0,1 % (hodnocení jako nízká rizikovost) nebo do 0,2 % (hodnocení jako střední rizikovost). Chování je specifické pro každý cement

a nesporná výhoda spočívá v tom, že v grafech jsou znázorněny vztahy, ve kterých je zohledněno jak složení cementu tak přítomnost kameniva, které má vliv na vznik a průběh alkalicko-křemičité reakce. Uvedená metodika výluhové zkoušky jednotlivých alkálií určuje míru rizikovosti použitého směsného cementu pro vznik alkalicko křemičité reakce v cementobetonových krytech (CBK).

**Graf 3: Modelový vztah mezi alkalickou rozpínavostí, obsahem strusky a obsahem alkálií dostupných během procesu tvrdnutí**





## 4. Nové informace získané v rámci projektu

---

V současnosti se ochrana před alkalicko-křemičitou reakcí zaměřuje na reaktivnost kameniva a alkalický ekvivalent v cementu. Ovšem otázka reaktivnosti kameniva není vždy jednoznačná. Jsou známy případy, kdy se příznaky alkalické rozpínivosti objevili i přesto, že bylo kamenivo hodnoceno jako nereaktivní. Stejně tak požadavek na alkalický ekvivalent v použitém cementu není dostatečnou zárukou, že ke vzniku ASR nedojde.

Na základě výsledků dilatometrických zkoušek (zrychlené a dlouhodobé, kdy první zohledňuje především vliv alkálií působící zvenčí a ta druhá hodnotí především vliv alkálií obsažené v systému) lze říci, že výrazně větší vliv mají alkálie vstupující zvenčí, zejména  $\text{Na}^+$ , (rozmrazovací sole) oproti  $\text{K}^+$ .

Používání rozmrazovacích solí se při zimní údržbě nelze vyhnout, ale v rámci výzkumného úkolu bylo prokázáno, že na omezení vzniku alkalicko-křemičité reakce mají vliv především složky cementu s pucolánovými vlastnostmi.

- Podstatně snižují riziko vzniku ASR tím, že reagují s hydroxidem vápenatým (portlanditem) za vzniku převážně kalcium silikát hydrátů CSH. Důsledkem této interakce je snížení pH.
- Velmi jemně semletá struska v cementu vnáší rovnoměrně rozložený reaktivní  $\text{SiO}_2$ , který může reagovat s alkáliemi z cementu ještě během procesu tuhnutí, kdy tvorba alkalicko-křemičitého gelu není škodlivá, protože je cementová pasta ještě plastická.
- Alkálie jsou ve strusce (ve složkách cementu) vázány ve sklovité fázi, tím se snižuje jejich dostupnost a reaktivita. Proto se použitím náhrad cementu relativně snižuje obsah alkálií přítomný v cementu.
- Granulometrická návaznost mletého slínku a mleté strusky vede k hutnější struktuře a tím se snižuje možnost vlivu alkálií působících zvenčí (rozmrazovací sole), které by se mohly dostat k reaktivním zrnům kameniva.
- Po ztuhnutí je struktura cementového kamene více uzavřená a hutná a brání tak prostupu alkálií působících zvenku. Sníží se také průnik vody do zatvrdělého betonu.

### **Závěr:**

***Pro zvýšení trvanlivosti cementobetonových krytů pozemních komunikací omezením vlivu alkalicko-křemičité reakce je vhodné ve srovnání s portlandským cementem CEM I použití směsných cementů s obsahem (20 – 50) % další hlavní složky s pucolánovými vlastnostmi. Vhodný poměr hlavních složek cementu závisí na obsahu jednotlivých alkálií  $\text{Na}^+$  a  $\text{K}^+$  a lze jej stanovit s využitím nové zkušební metodiky a vyhodnocení dle příslušného modelového grafu pro daný cement. Nová zkušební metoda doplňuje hodnocení za pomoci alkalického ekvivalentu.***

**T A**

**Č R**

Literatura: Reakce kameniva s alkáliemi v betonu (Ing. Sylva Modrý)

# **POROVNÁNÍ METODIK VYLUHOVÁNÍ TĚŽKÝCH KOVŮ A DALŠÍCH PARAMETRŮ ZE STAVEBNÍCH MATERIÁLŮ PRO STYK S PITNOU VODOU BEZ A S UMĚLOU KARBONATACÍ**

*Ing. Šárka Klimešová, Výzkumný ústav maltovin Praha, s.r.o.*

Vývoj metodik zkoušení hygienických parametru pro materiály obsahující cement ve styku s pitnou vodou od vyhlášky MZ č. 37/2001 Sb., o hygienických požadavcích na výrobky přicházející do přímého styku s vodou a na úpravu vody, až po poslední novelu vyhlášky MZ č. 409/2005 Sb., o hygienických požadavcích na výrobky přicházejícími do přímého styku s vodou a na úpravu vody, z roku 2021 s platností od 1.1.2022.

## **VÝVOJ METODIK V RÁMCI LEGISLATIVY ČR**

Od roku 2001 se ve spolupráci SZÚ, VÚM a vodárenské společnosti postupně upravovala metodika vyluhování materiálů s obsahem cementu (torkrety, betony) tak, aby byla co nejbližší reálné praxi při používání těchto materiálů.

Vzhledem k dlouhodobé dobré zkušenosti s používáním těchto materiálů pro styk s pitnou vodou, příp. surovou vodou, bylo potřeba dopracovat metodiky zkoušení (především způsobu vyluhování) tak, aby dlouhodobým dobrým zkušenostem odpovídalo i laboratorní zkoušení. Vodárenské společnosti historicky bezproblémově používají v přímém styku s vodou torkrety, betonová potrubí, skruže či vodojemy.

Ve vyhlášce č. 37/2001 Sb. se materiály podrobovaly vyluhování 3x 72 h, nebyl stanoven tvar zkušebních těles ani doba uložení těles před samotným zkoušením, běžně se malta natřela na skleněnou destičku a po zatvrdnutí se okamžitě zkoušela. Proplachování před zkoušením bylo 60 min pod tekoucí pitnou vodou a 2 min testovací vodou. Výluh se prováděl testovací vodou (deionizovanou vodou). Byly pouze 2 vyluhovací poměry 1:1 až 1:2 a všechny parametry ve výluhu musely plnit 10% limitu pro pitnou vodu.

Ve vyhlášce č. 409/2005 Sb. se shodně materiály podrobovaly vyluhování 3x 72h, je zde však již stanoven tvar a doba uložení zkušebních těles před samotným zkoušením

(obvykle hranol 4x4x16 cm a nejedná-li se o torkrety je uložení 28 dní). Pro materiály s obsahem cementu je zde již spousta specifických parametrů v metodice zkoušení, jako např. předúprava proplachováním pitnou vodou před samotným zkoušením po dobu 3x 24h, 1x 72h a 1x 24h. Dále tekoucí pitnou vodou 60 min a 2 min testovací vodou. Vyluhování se provádí deionizovanou vodou. Vyluhovací poměry jsou 1:1 až 1:2 a 1:4, dle účelu použití materiálu. Další změna je ve vyhodnocování - zjištěný podíl na znečištění vody způsobený výrobkem přicházejícím do přímého styku s vodou, který je určen k trvalému styku s pitnou vodou, dosáhnout nejvýše 10 % hygienického limitu sledovaného ukazatele pitné vody, s výjimkou ukazatelů TOC a CHSK<sub>Mn</sub>, kde podíl může dosáhnout u TOC nejvýše 20 % a u CHSK<sub>Mn</sub> nejvýše 30 % hygienického limitu, a ukazatele hliník u výrobků na bázi cementu, kde podíl může dosáhnout hygienického limitu pro pitnou vodu. Minimální rozsah stanovovaných ukazatelů pro cementové hmoty: Cr, Pb, pH, Cd, Al, As, TOC, CHSK<sub>Mn</sub>, dusitany, amonné ionty, vodivost, zákal, barva, pach, chuť.

Poslední novelou této vyhlášky se pro cementové materiály ještě doplnila „umělá karbonatace“, která simuluje umělé stárnutí materiálu. Zkušební tělesa jsou na poslední část doby uložení před zkoušením vložena do karbonatačního roztoku. Samotná předúprava, proplachování a samotné vyluhování je stejné jako v původním znění vyhlášky, dochází z přesnění a změně vyluhovacích poměrů na 1:1 u potrubí o průměru menším než 80 mm; 1:2 u potrubí o průměru od 80 mm do 300 mm; 1:8 u potrubí o průměru větším než 300 mm nebo vnitřních cementových vystýlek vodojemů, Požadavek na rtuť se zmírnil na 30% hygienického limitu pro pitnou vodu. Je přesněji definována srovnávací voda pro sensorické hodnocení. Minimální rozsah stanovovaných ukazatelů byl upraven přidáním Ni a odebráním dusitanů.

Přiblížení praxi je především díky definování tvaru zkušebních těles, doby uložení zkušebních těles, prodloužení předúpravy (v praxi jsou běžné četné proplachy výrobků před uvedením do užívání), umělé stárnutí a úprava požadavků na hygienické limity. Většina parametrů při porovnání jednotlivých metodik po umělém stárnutí vykazuje lepší vlastnosti.

## **PŘIPRAVOVANÁ EVROPSKÁ NORMA**

V současné době je v Evropě připravován návrh evropské normy prEN 14944-3 Influence of cementitious products on water intended for human consumption – Test

methods – Part 3: Migration of substances from factory – made cementitious products, který je ve značné shodě s naší současnou legislativou. Tato norma navíc popisuje více možných tvarů zkušebních těles a uspořádání uložení těchto těles, vyluhovacím médiem je upravená deionizovaná voda a chlоровaná upravená deionizovaná voda. Tato upravená deionizovaná voda se ukazuje po prvních zkušebních testech jako „méně hladová“, tzn. je menší vyluhovatelnost jednotlivých parametrů.

## LITERATURA

[1] Vyhláška Ministerstva zdravotnictví č. 409/2005 Sb., o hygienických požadavcích na výrobky přicházejícími do přímého styku s vodou a na úpravu vody

[2] Vyhláška Ministerstva zdravotnictví č. 37/2001 Sb., o hygienických požadavcích na výrobky přicházející do přímého styku s vodou a na úpravu vody

[3] Draft prEN 14944-3 Influence of cementitious products on water intended for human consumption – Test methods – Part 3: Migration of substances from factory – made cementitious products, září 2021 CEN-CENELEC

**T A** Porovnání metodik bylo prováděno v souvislosti výzkumným projektem TA ČR č. TH01031196

**Č R** „Výzkum a vývoj procesu „umělé karbonatace“ pro hodnocení trvanlivosti a ekologické bezpečnosti stavebních materiálů v provozní praxi“.

# Příprava beta dikalcium silikátu se stabilizátorem

RAVASZOVÁ Simona<sup>1,a \*</sup>, DVOŘÁK Karel<sup>1,b</sup>

<sup>1</sup>Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Veveří 331/95, 602 00, Brno,  
Česká republika

<sup>a</sup>ravaszova.s@fce.vutbr.cz, <sup>b</sup>dvorak.k@fce.vutbr.cz

**Abstrakt.** Článek se zabývá laboratorní přípravou slínkového minerálu belitu. Sleduje stabilitu  $\beta$ -C<sub>2</sub>S s ohledem na režim výpalu a vliv stabilizační přísady H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>. Belit byl připraven vysokorychlostním mletím za použití reakce v pevném stavu při teplotách 1150, 1250, 1350 a 1450 °C s 30minutovou izotermickou výdrží. Článek se podrobněji zabývá vyšší teplotou 1450 °C, kde porovnává obsah jednotlivých fází belitu se vzorky připravenými bez stabilizátoru H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>. Výsledky ukázaly výrazný stabilizační účinek boru při vyšší teplotě výpalu. Vliv stabilizátoru se výrazněji projevuje v režimech výpalu, kde se snadněji tvoří  $\gamma$ -C<sub>2</sub>S, zejména při teplotě výpalu 1450 °C s izotermickou výdrží 0, 30, 60 a 90 min. Ve vzorcích se stabilizační přísadou bylo identifikováno dvojnásobné množství  $\beta$ -C<sub>2</sub>S ve srovnání se vzorky připravenými bez stabilizátoru. Při teplotě 1450 °C a 90 minutách byl pomocí stabilizátoru H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> připraven téměř 100%  $\beta$ -C<sub>2</sub>S.

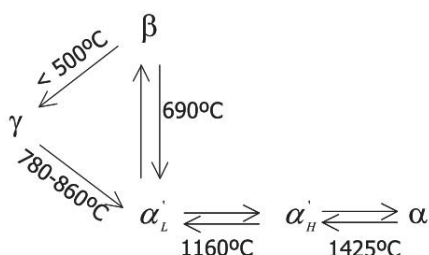
## Úvod

Křemičitan vápenatý Ca<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub> (zkráceně C<sub>2</sub>S-belit) patří do skupiny silikátů a spolu s alitem je jednou z hlavních složek portlandského slínku. Obsah C<sub>2</sub>S ve slínku klesá na úkor C<sub>3</sub>S a pohybuje se v rozmezí 20 až 25 % v závislosti na procesu chlazení slínku. Dosud bylo objeveno 5 krystalických modifikací (polymorfů) za normálních podmínek:

- $\alpha$  - C<sub>2</sub>S      hexagonální soustava,
- $\alpha_H'$  - C<sub>2</sub>S    orthorombická soustava (vysoká teplota),
- $\alpha_L'$  - C<sub>2</sub>S    orthorombická soustava (nízká teplota),
- $\beta$  - C<sub>2</sub>S      monoklinická soustava.
- $\gamma$  - C<sub>2</sub>S      ortorhombická soustava.

Tyto modifikace se ve slínku objevují jako pevné roztoky, ale obsahují nejen čistý  $C_2S$ , ale také  $Al_2O_3$ ,  $MgO$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $TiO_5$  a další [1, 2]. Všechny výše uvedené modifikace jsou pozorovatelné v průmyslově vyráběném slínku. Při jejich stabilizaci je rozhodující druh a množství vedlejších produktů, teplota výpalu a proces chlazení. Většina z nich je stabilní v čistém stavu pouze při zvýšených teplotách. Pouze  $\beta$ - $C_2S$  je stabilní i při pokojové teplotě [3].

K polymorfním přeměnám  $C_2S$  dochází při teplotách chlazení nad  $1400\text{ }^\circ\text{C}$  [6]. Přechody polymorfních modifikací jsou znázorněny na Obr. 1.



Obr. 1: Polymorfní transformace  $C_2S$

$\beta$ - $C_2S$  je jedním z velmi důležitých polymorfů průmyslového portlandského slínku, z důvodu nízkého vývinu tepla při hydrataci cementu [4].

Modifikace  $\beta$ - $C_2S$  je metastabilní monoklinická fáze, která je v nestabilním hypotermickém stavu. Její přeměna na  $\gamma$ - $C_2S$  je v cementářském průmyslu nežádoucím jevem, který je doprovázen objemovými změnami. Dochází k nárůstu objemu a následnému samovolnému rozkladu slínku na prach. Výsledkem tohoto jevu je hydraulicky neúčinná modifikace slínku, které chybí pojivové vlastnosti. Přeměně  $\beta$ - $C_2S$  na  $\gamma$ - $C_2S$  lze zabránit rychlým ochlazením, stabilizací v přítomnosti skelné fáze a působením některých oxidů v krystalické mřížce pevného roztoku ( $P_2O_5$ ,  $B_2O_3$ ,  $Mn_2O_3$  atd.) [5, 6].

Při ochlazování belitového slínku probíhají složité procesy, které jsou ovlivněny především přítomností nečistot v belitu, a tím se také mění teplota modifikačních přechodů.

Článek se zabývá přípravou  $\beta$ - $C_2S$  s využitím stabilizační přísady  $H_3BO_3$ . Sleduje vliv teploty a výdrže na čistotu připraveného slínkového minerálu. Podrobněji se zabývá teplotou  $1450\text{ }^\circ\text{C}$ , kde porovnává obsah jednotlivých fází belitu se vzorky připravenými bez stabilizační přísady  $H_3BO_3$ .



## Materiály a metody

Jako základní suroviny pro přípravu  $C_2S$  byly použity uhličitan vápenatý ( $CaCO_3$ , p.a. 99,7 %), amorfni oxid křemičitý ( $SiO_2$ , p.a. 99,9 %) a kyselina boritá ( $H_3BO_3$ , p.a. 99,5 %) jako stabilizační přísada. Dávkování surovin vycházelo ze stechiometrických poměrů  $CaO$  a  $SiO_2$  v  $C_2S$ , přičemž celková hmotnost vzorku byla zaokrouhlena na gramy. Jako zdroj  $CaO$  byl použit  $CaCO_3$ , který byl dávkován v odpovídajícím množství. Jednotlivé hmotnosti jsou uvedeny v Tabulce 1.

Tabulka 1: Chemické složení v g pro 100 g konečného produktu  $C_2S$

	$CaCO_3$ [g]	$SiO_2$ [g]	$H_3BO_3$ [g]
$\beta$ - $C_2S$	120	36	0.37
	120	36	—

Nejprve byly rozemlety granule oxidu křemičitého ( $SiO_2$ ) pro jeho rychlejší a lepší reaktivitu. Následně byly naváženy suroviny podle Tab. 1 (celkem třikrát), které byly homogenizovány a rozemlety s vodou (180 ml) v planetovém mlýně Pulverisette 6. Byla použita mlecí kapsle o objemu 500 ml s 25 ocelovými mlecími kuličkami o průměru 20 mm. Režim mletí byl 15 minut při 500 otáčkách za minutu.

Suspenze vzniklá mletím byla poté vysušena v laboratorní sušárně Binder FD 53 při teplotě 105 °C po dobu 24 hodin. Sušením suspenze se samovolně vytvořily velmi pevné zbalky o průměru 10 mm. Sbalky byly umístěny do laboratorní pece pro reakci v pevném stavu.

K výpalu byly použity platinové kelímky. Ty byly naplněny do 3/4 objemu (přibližně 25 g) vytvořenými ztuhlými zbalky bez ztuhnutí. Byly navrženy čtyři teploty výpalu: 1150, 1250, 1350 a 1450 °C při 30minutové izotermické výdrži a nárustem 8 °C/min. Při teplotě 1450 °C byla délka výpalu rozšířena o izotermické výdrže 0, 60 a 90 min.

Naplněné platinové kelímky byly umístěny do studené superkanthalové vysokoteplotní pece Classic 2018 S s postupným zvyšováním teplot výpalu.

Po dosažení požadované teploty a výdrže byly jednotlivé platinové kelímky vyjmuty z pece a okamžitě ochlazeny na pokojovou teplotu pomocí proudu studeného vzduchu. Po ochlazení následoval proces přípravy vzorků pro XRD analýzu.

Získaný materiál byl před XRD analýzou znovu rozemlet. Mletí probíhalo pomocí vibračního diskového mlýna RS 200 po dobu 20 sekund při 900 otáčkách za minutu.

Takto získaný prášek byl ihned vzduchotěsně uzavřen ve fólii pomocí vakuové svářečky spolu se silikagelem, aby se zabránilo reakci se vzdušní vlhkostí.

Analýza XRD byla provedena pro každý vzorek zvlášť z důvodu vysoké citlivosti vzorků na vlhkost.

XRD analýza byla stanovena pomocí multifunkčního difraktometru od společnosti PANalytical s následným vyhodnocením difraktogramů pomocí programu HighScore Plus a Rietveldovy analýzy prostřednictvím databáz struktur anorganické chemie (ICSD).

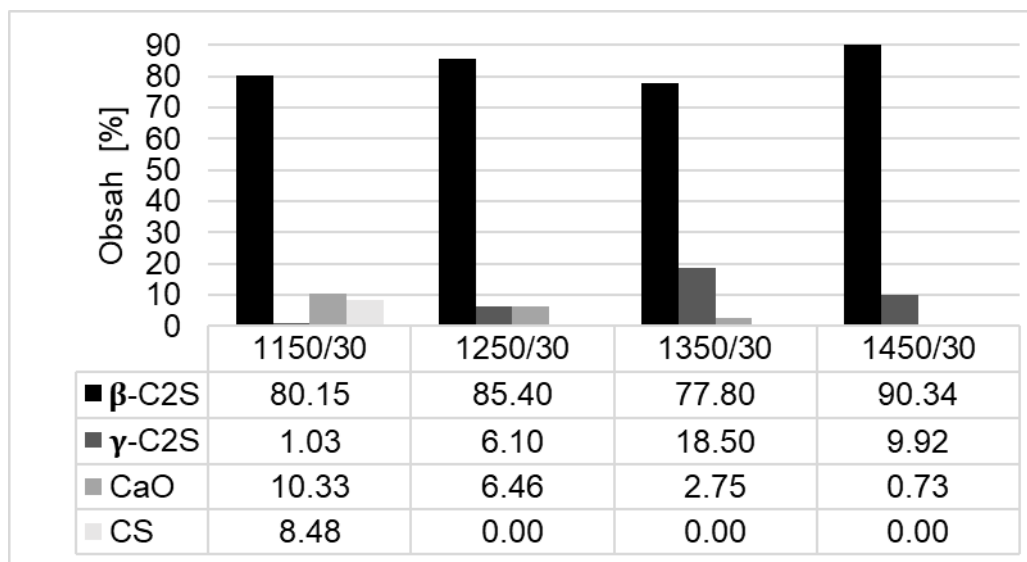
## Výsledky a diskuse

Na základě vyhodnocení rentgenové analýzy byly na difrakčních záznamech identifikovány difrakční linie  $\beta$ -C<sub>2</sub>S (karta ICSD 01-083-0465),  $\gamma$ -C<sub>2</sub>S (karta ICSD 01-080-0941) a volného vápna CaO (karta ICSD 00-043-1001).

V případě vzorku vypáleného při 1150 °C byla identifikována difrakční linie wollastonitu CaSiO<sub>3</sub> (CS) (karta ICSD 01-084-0654). Vznik wollastonitu ve vzorcích nebyl očekáván, ale jeho přítomnost lze vysvětlit s ohledem na kinetiku vzniku minerálů belit - rankinit - wollastonit. Vzhledem k tomu, že směs surovin byla velmi jemně mletá, je možné, že belit - rankinit - wollastonit vznikal lokálně. Vzhledem k tomu, že se nejedná o rovnovážný systém 1:1 (poměr CaO:SiO<sub>2</sub>), ale 2:1, zůstává volné CaO, které postupně nasycuje wollastonit a vytváří belit.

V důsledku hydratace byla na difraktogramu identifikována difrakční linie portlanditu Ca(OH)<sub>2</sub> (karta ICSD 01-084-1271). V důsledku hydratace se na difrakčním záznamu objevily dvě linie portlanditu. Portlandit byl přepočítán na volné CaO s následným přepočtem všech minerálů zastoupených v jednotlivých vzorcích.

Obsah jednotlivých minerálů je uveden na následujícím Obr. 2. Procentuální zastoupení minerálů ve vzorku vypáleném při 1450 °C s 0, 30, 60 a 90minutovou výdrží je uvedeno v následující Tabulce 2.



Obr. 2: Obsah jednotlivých minerálů

Tabulka 2: Procentuální zastoupení jednotlivých minerálů ve vzorku vypáleném při teplotě 1450 °C s izotermickou výdrží 0, 30, 60 a 90 min.

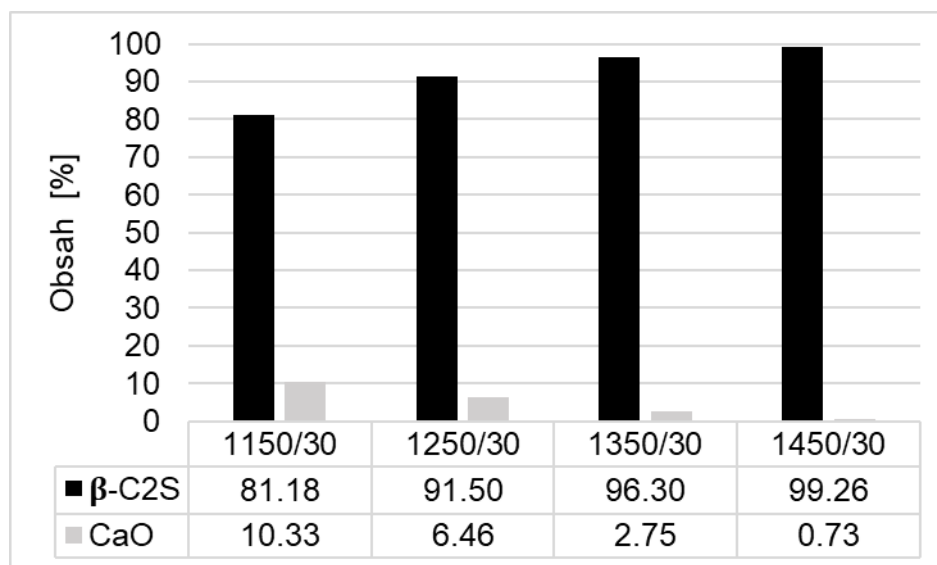
	1450/0		1450/30		1450/60		1450/90	
	* H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	** H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	* H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	** H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	* H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	** H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	* H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	** H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>
<b>β-C<sub>2</sub>S</b>	51.89	80.73	45.7	90.34	42.1	96.8	41.4	98.14
<b>γ-C<sub>2</sub>S</b>	46.67	17.49	54.30	8.92	57.90	2.30	58.6	1.10
<b>CaO</b>	1.44	1.77	0	0.73	0	0.81	0	0.76

\* se stabilizátorem \*\* bez stabilizátoru

Přidáním stabilizační přísady H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> do směsi surovin došlo pouze k mírnému zvýšení obsahu β-C<sub>2</sub>S u vzorků s 30minutovou výdrží a teplotou výpalu 1150 až 1350 °C. Od teploty 1350 °C je pozorován poměrně vysoký podíl nežádoucího γ-C<sub>2</sub>S.

Při teplotě 1450 °C byl porovnán obsah jednotlivých minerálů u vzorků připravených bez stabilizátoru a se stabilizátorem H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>. Při této teplotě a zvyšující se dobou se množství β-C<sub>2</sub>S zvyšuje mnohem výrazněji ve srovnání se vzorky bez stabilizátoru. Množství β-C<sub>2</sub>S ve vzorcích se stabilizátorem je téměř dvojnásobné ve srovnání se vzorky bez stabilizátoru. Ve vzorcích bez stabilizátoru není po 30 minutách identifikováno volné vápno ve srovnání se vzorky se stabilizátorem, kde se množství volného vápna pohybuje kolem 1 % i po 90 minutách výpalu.

Celkové množství  $\beta$ -C<sub>2</sub>S vzniklé s přidavkem stabilizátoru vyjádřené k CaO je uvedeno na následujícím Obr. 3. V Tabulce 3 je uveden relativní podíl  $\beta$ -C<sub>2</sub>S a CaO u vzorků vypalovaných při 1450 °C s H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> a bez něj.



Obr. 3: Celkové množství belitu vzniklého s přidavkem stabilizátoru vyjádřené jako poměr k CaO

Tabulka 3: Relativní obsah C<sub>2</sub>S a CaO ve vybraném vzorku vypáleném při 1450 °C s H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> a bez něj

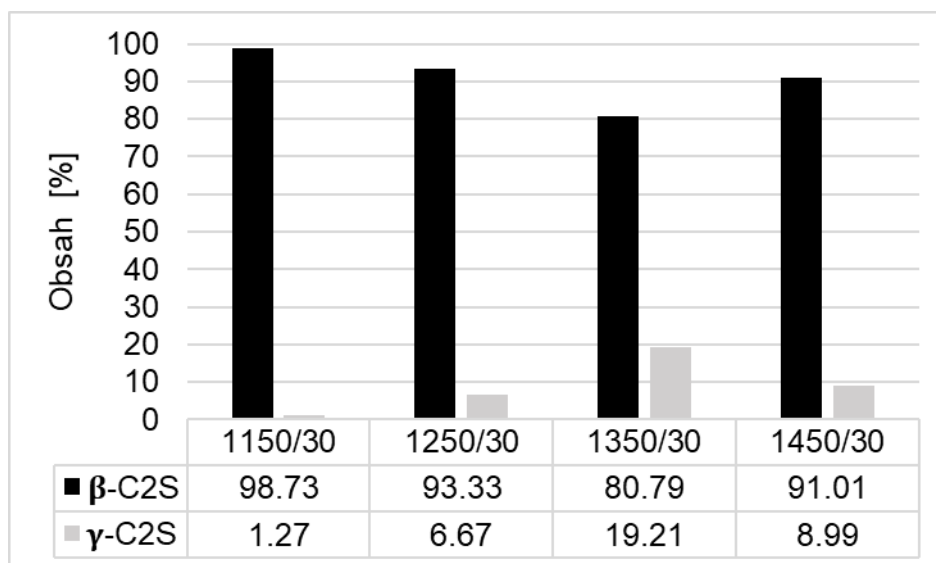
	1450/0		1450/30		1450/60		1450/90	
	* H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	** H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	* H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	** H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	* H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	** H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	* H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	** H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>
<b>C<sub>2</sub>S</b>	98.65	98.22	100	99.26	100	99.1	100	99.24
<b>CaO</b>	1.44	1.77	0	0.73	0	0.81	0	0.76

\* se stabilizátorem \*\* bez stabilizátoru

Při nižších teplotách výpalu do 1250 °C je množství volného vápna poměrně vysoké. Se zvyšující se teplotou výpalu množství volného vápna postupně klesá. Při teplotě 1450 °C je jeho hodnota přibližně rovna 1 %.

Při teplotě výpalu 1450 °C je již po 30 minutách dosaženo téměř 100%  $\beta$ -C<sub>2</sub>S. Při porovnání vzorků při teplotě 1450 °C je vidět, že u vzorků bez stabilizátoru je obsah vápna přítomný do 30 minut výdrže. U stabilizovaných vzorků identifikujeme volné vápno v množství přibližně 1 % v celém rozsahu izotermických výdrží.

Dále byl vyjádřen relativní obsah  $\beta$  a  $\gamma$ -C<sub>2</sub>S ve vybraných stabilizovaných a nestabilizovaných vzorcích. Na následujícím Obr. 4. a v Tabulce 4 je uveden relativní podíl  $\beta$ -C<sub>2</sub>S a  $\gamma$ -C<sub>2</sub>S u vzorků vypalovaných při 1450 °C s H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> a bez něj.



Obr. 4 Obsah  $\beta$  a  $\gamma$ -C<sub>2</sub>S ve vzorcích s H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>

Tabulka 4: Obsah  $\beta$  a  $\gamma$ -C<sub>2</sub>S ve vzorcích vypalovaných při 1450 °C s H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> a bez H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>

	1450/0		1450/30		1450/60		1450/90	
	* H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	** H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	* H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	** H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	* H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	** H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	* H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	** H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>
$\beta$ -C <sub>2</sub> S	52.65	82.19	45.7	91.01	42.1	97.68	41.4	98.89
$\gamma$ -C <sub>2</sub> S	47.35	17.81	54.3	8.99	57.9	2.32	58.6	1.11

\* se stabilizátorem \*\* bez stabilizátoru

Se zvyšující se teplotou výpalu se zvyšuje obsah  $\gamma$ -C<sub>2</sub>S na úkor požadované formy  $\beta$ -C<sub>2</sub>S. Od teploty 1350 °C je obsah  $\gamma$ -C<sub>2</sub>S poměrně vysoký.

Při zkoumání vlivu stabilizátoru při vyšší teplotě 1450 °C je patrný jeho významný vliv. Se zvyšující se výdrží při teplotě 1450 °C klesá obsah nežádoucího  $\gamma$ -C<sub>2</sub>S ze 47 % při 0 min na 1 % po 90 min výpalu. Naproti tomu u nestabilizovaných vzorků je obsah  $\gamma$ -C<sub>2</sub>S i po 90 minutách výrazně nad 50 %. U stabilizovaných vzorků se tedy podařilo dosáhnout téměř dvojnásobného množství  $\beta$ -C<sub>2</sub>S v celém rozsahu izotermických výdrží. Při režimu výpalu 1450 °C/90 min bylo připraveno téměř 100 % čistý  $\beta$ -C<sub>2</sub>S.

## Závěr

Článek se zaměřil na laboratorní přípravu a stabilizaci  $\beta$ -C<sub>2</sub>S pomocí boru dodávaného do surovinové moučky prostřednictvím H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>. Výsledky ukázaly významný stabilizační účinek bóru, který se výrazně projevil při vyšších teplotách výpalu. Vliv použití stabilizátoru se výrazněji projevuje v režimech výpalu, kde se  $\gamma$ -C<sub>2</sub>S tvoří snadněji zejména při teplotě výpalu 1450 °C s izotermickou výdrží 0, 30, 60 a 90 min. U těchto vzorků bylo možné po přidání stabilizační přísady získat téměř dvojnásobný obsah  $\beta$ -C<sub>2</sub>S oproti nestabilizovaným vzorkům. S delší dobou výpalu se množství  $\beta$ -C<sub>2</sub>S lineárně zvyšovalo. Při režimu výpalu 1450 °C a 90 minutách byl připraven  $\beta$ -C<sub>2</sub>S v čistotě 99 %.

V oblasti stabilizace by bylo vhodné zabývat se dalšími možnými stabilizačními ionty, případně optimalizovat množství bóru a sledovat jeho stabilizační účinky.

## Poděkování

Děkujeme za finanční podporu prostřednictvím projektu (20-00676S) Effects of mechano-chemical activation on the process of formation, structure, and stability of selected clinker minerals a projektu "Studium kinetiky krystalizace různých polymorfů trikalciumpilikátu" (FAST-J-21-7309).

## Zdroje

- [1] H.F.W. TAYLOR, Cement chemistry 2nd ed., T. Telford, 1997.
- [2] P. HEWLETT, Lea's Chemistry of Cement and Concrete., Elsevier, 2004.
- [3] S.N. GHOSH, R.P. BHASKARA, A.K. PAUL and K. RAINA. The chemistry of dicalcium silicate mineral. *J. Materials Science*, (1979)
- [4] S. RAVASZOVÁ and K. DVOŘÁK. The influence of cooling process on the formation of dicalcium silicate. *Solid State Phenomena* (2019), 41-46, doi:10.4028/www.scientific.net/SSP.296.41
- [5] L. KACIMI, A. SIMON-MASSERON, S. SALEM, A. GHOMARI nad Z. DERRICHE. Synthesis of belite cement clinker of high hydraulic reactivity. *Cement and Concrete Research* (2009), 559-565, doi: 10.1016/j.cemconres.2009.02.004
- [6] A. WESSELSKY and O.M. JENSEN. Synthesis of pure Portland cement phases. *Cement and Concrete Research* (2009), 973-980 doi: 10.1016/j.cemconres.2009.07.013.





TAM, KDE HODNOTY PŘETRVÁVAJÍ

## VEGAPULS 6X

První univerzální radarový hladinoměr  
pro měření kapalin a sypkých materiálů

*S hladinoměrem VEGAPULS 6X získáte to nejlepší, co je dnes technicky možné. Tento hladinoměr je výsledkem našich praktických zkušeností z více než 1 milionu používaných radarových hladinoměrů na celém světě. Tento úspěch nás motivuje, protože vždy je někdo z nás přesvědčen: "Že to jde ještě lépe."*

*VEGAPULS 6X od základu změní měření hladin. Výběr, integrace do technologie a používání přístroje je nyní mnohem jednodušší.*

*Stručně řečeno: Jedná se o univerzální hladinoměr pro všechny aplikace.*

### Vnitřní hodnoty hladinoměru:

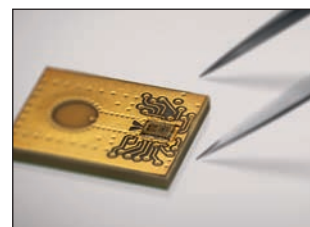
Provozní teplota: -196 ... + 450 °C

Provozní tlak: -1 ... +160 bar

Měřicí rozsah: 0 ... 120 m

Přesnost měření: ± 1 mm

Pracovní frekvence: 80 GHz, 26 GHz, 6 GHz



80GHz mikrovlnný čip 2. generace

**LEVEL EXPERT**  
Řešení pro vaše aplikace...

HLADINA | PRŮTOK | TLAK | TEPLOTA | ROZHRANÍ

**LEVEL INSTRUMENTS CZ**  
LEVEL EXPERT

Výhradní zástupce společnosti VEGA Grieshaber KG pro ČR a Slovensko:

**LEVEL INSTRUMENTS CZ - LEVEL EXPERT s.r.o.**

Příbramská 1337/9, 710 00 Ostrava

Česká republika

Tel.: 00420 599 526 776, 00420 599 526 171 nebo 174

Fax: 00420 599 526 777, Hot-line: 00420 774 464 120

E-mail: [info@levelexpert.cz](mailto:info@levelexpert.cz)

<http://www.levelexpert.cz>





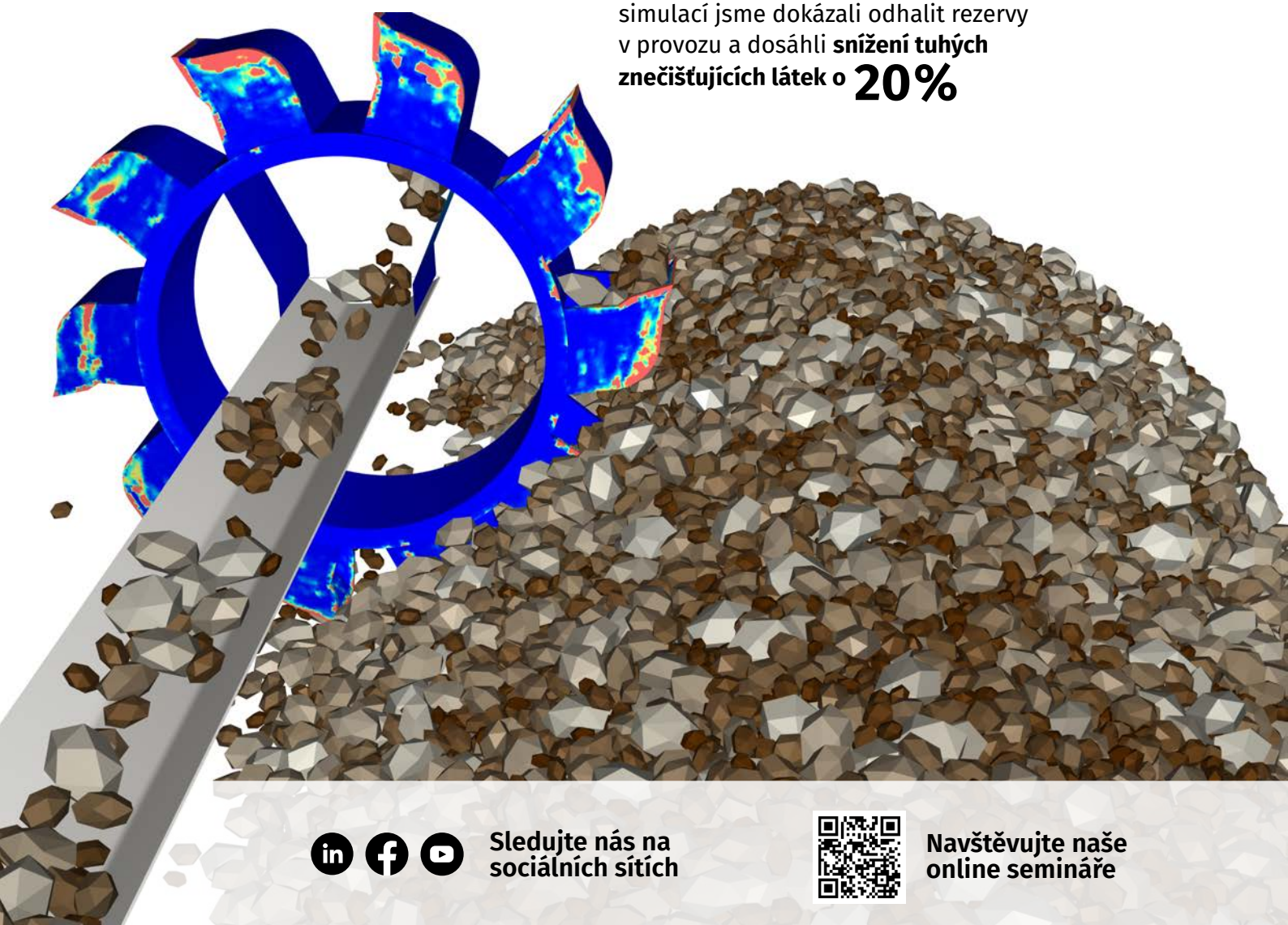
# Numerické simulace v cementářenském průmyslu

## Analýzy proudění tekutin, sypkých hmot a pevnostní analýzy

Provádíme numerické analýzy cementářenských zařízení s využitím špičkových, moderních nástrojů v programech **Ansyes** a **Rocky DEM**. Máme dlouholeté zkušenosti v oblasti modelování proudění, řešení pevnostních analýz a také disponujeme unikátním software pro numerické výpočty sypkých hmot.

### Příklad z praxe:

Při kombinaci pečlivé mechanické inspekce elektroodlučovače a pokročilých numerických simulací jsme dokázali odhalit rezervy v provozu a dosáhli **snížení tuhých znečišťujících látek o 20%**



Sledujte nás na  
sociálních sítích



Navštěvejte naše  
online semináře



## VÝVOJ A VÝROBA MAGNETICKÝCH SEPARÁTORŮ

### Pro cementářský průmysl nabízíme:

- ZÁVĚSNÉ PERMANENTNÍ A ELEKTROMAGNETICKÉ SEPARÁTORY
- BUBNOVÉ MAGNETICKÉ SEPARÁTORY
- MAGNETICKÉ VÁLCE
- DETEKTORY KOVŮ
- ★ ŘEŠENÍ MAGNETICKÉ SEPARACE FEROMAGNETICKÝCH ČÁSTIC
- ★ OCHRANU TECHNOLOGICKÝCH ZAŘÍZENÍ PŘED POŠKOZENÍM NÁHODNÝM KOVOVÝM PŘEDMĚTEM
- ★ ATEX PROVEDENÍ DO PROSTŘEDÍ S NEBEZPEČÍM VÝBUCHU PRACHU
- ★ KONZULTACE A TECHNOLOGICKÉ TESTY
- ★ NÁVRH A KONSTRUKČNÍ ZPRACOVÁNÍ
- ★ DODÁVKU S MOŽNOSTÍ DOHLEDU a MONTÁŽE
- ★ POZÁRUČNÍ SERVIS



**WAMAG, spol. s r.o., Pražská 270, 252 10 Mníšek pod Brdy**  
Tel.: +420 318 599 550 | E-mail: [info@wamaq.cz](mailto:info@wamaq.cz)  
[www.wamaq.cz](http://www.wamaq.cz)

ČLEN MEZINÁRODNÍ SKUPINY GOUDSMIT MAGNETICS





**SOME THINK  
WASTE IS  
WORTHLESS.  
WE THINK  
DIFFERENT.**

**MADE  
DIFFERENT**

[beumer.com](http://beumer.com)



**Výzkumný ústav maltovin Praha, s.r.o.**  
Na Cikánce 2, 15300 Praha 5

**SVAZ** VÝROBCŮ  
CEMENTU ČR

**S.V.V.** SVAZ VÝROBCŮ  
VÁPNA  
ČESKÉ REPUBLIKY

 SVAZ VÝROBCŮ  
SUCHÝCH OMÍTKOVÝCH  
A MALTOVÝCH SMĚSÍ ČR