

# SYSTÉM KONTROLY KVALITY PŘI VÝROBĚ CEMENTU ■ SYSTEM OF QUALITY CONTROL DURING THE CEMENT PRODUCTION PROCESS

Kateřina Jiroušková

Výroba cementu je složitý a chemicky i energeticky náročný proces, a je tedy pod neustálým dohledem řady procesních pracovníků, kteří jej na základě on-line dostupných chemických, energetických a emisních údajů řídí. Cílem tohoto článku je nastínit odborníkům z jiných stavebních oborů, ale i laikům, jaké kontrolní kroky jsou během celé výroby prováděny, aby byla zajištěna požadovaná kvalita a bezpečnost konečného produktu – cementu. V první části je pro lepší srozumitelnost popsána výroba cementu. Druhá část je zaměřena na samotný systém kontroly kvality během celého výrobního procesu.

■ Cement production is a sophisticated and chemically and energy demanding process, and is therefore under permanent supervision of the many process engineers with on-line available chemical, energy and emission data. The aim of this article is to outline to the experts from other construction branches, but also to common readers, which control steps during the whole production are carried out in order to ensure the quality and safety of the final product – cement. For better comprehensibility, the first part describes the cement production process. The second part is focused on the system of quality control during the entire production process.

## CEMENT JAKO STANOVENÝ VÝROBEK A OZNAČENÍ CE

Z hlediska legislativních požadavků můžeme výrobky rozdělit do dvou skupin:

- nestanovené výrobky,
- stanovené výrobky.

Podle zákona č. 22/1997 Sb. patří cement mezi stanovené výrobky. Z tohoto zákona vyplývá povinnost výrobců uvést na trh výrobky jen po posouzení shody jejich vlastností s požadavky na bezpečnost stanovenými tímto zákonem a technickými předpisy (v případě cementu technická norma ČSN EN 197-1).

Při splnění normativních požadavků získá cement označení CE, které garantuje, že výrobek je spolehlivě bez-

pečný a kvalitní a že splňuje všechny požadavky na bezpečnost, zdravotní nezávadnost a ochranu životního prostředí. Toto označení zároveň umožňuje umístit výrobek na jednotný evropský trh.

## VÝROBA CEMENTU

### Těžba suroviny

Hlavní surovinou pro výrobu cementu je nízkoprocentní vápenec, který se těží v lomech (obr. 1). Vytěžená surovina je podrcena a dopravována na předhomogenizační skládku, která zároveň zajišťuje dostatečnou zásobu suroviny. Systém zakládání a odebírání vápence na skládce je prvním stupněm homogenizace suroviny.

### Příprava suroviny – sušení a mletí

Protože složení těžných vápenců obvykle neodpovídá konečným požadavkům pro výpal kvalitního slinku, je potřeba upravovat vápencovou surovinu, zejména její chemické složení, dalšími komponenty. Podle místních podmínek se přidává vysokoprocentní korekční vápenec, sádrovec, popílek a železitá, případně křemičitá korekce. Směs základních surovin a korekčních surovin je v surovinových mlýnech rozemleta na jemný prášek a současně vysušena. Poté je rozemletá surovina dopravena do sil na surovinovou moučku a zde je dále homogenizována.

### Výpal portlandského slinku

Nejdůležitější částí procesu výroby cementu je výpal slinku. Surovinová moučka prochází čtyř až šestistupňovou soustavou disperzního výměníku tepla. Zde dochází využíváním energetického obsahu kouřových plynů z pece k protiproudému předehřátí suroviny na teplotu 800 až 1 000 °C a k částečnému až téměř úplnému rozkladu vápence. Surovina pokračuje do rotační pece, kde při teplotě 1 450 °C vzniká tavenina. Při této teplotě se tvo-

ří čtyři nejdůležitější slinkové minerály: trikalciumpilikát – alit ( $3 \text{ CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ), dikalciumpilikát – belit ( $2 \text{ CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ), tetrakalciumaluminátferit – brownmillerit ( $4 \text{ CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ ), trikalciumpaluminát – celit ( $3 \text{ CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ ). Následným prudkým ochlazením slinku v chladiči za rotační peci se minerály stabilizují a vzniká portlandský slinek.

### Mletí cementu

Hotový slinek je uskládňován ve slinkovém síle. Odtud je dopravován do cementových mlýnů, kde se mele spolu s regulátorem tuhnutí (sádrovcem). V průběhu mletí mohou být přidávány další složky v závislosti na požadovaném druhu cementu (vysokopeční granulovaná struska, popílek, vápenec...). Hotový cement je skladován v cementových sílech, odkud se uvolňuje k expedici.

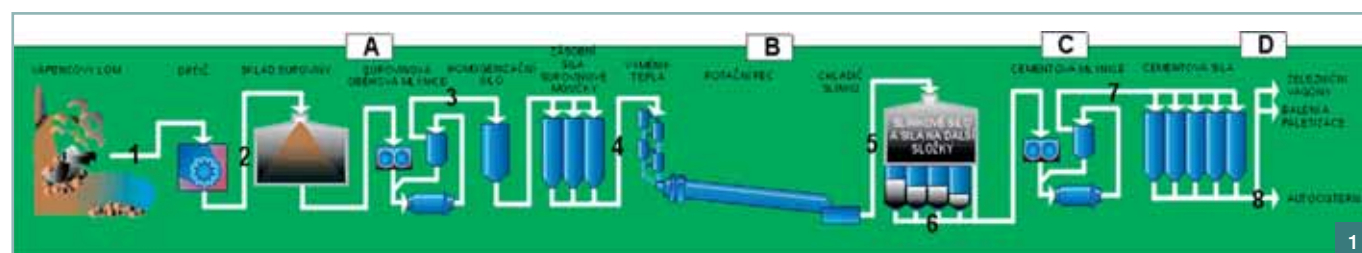
### Nakládka a doprava cementu

Vyrobený cement je uskládňován odděleně podle druhu a pevnostní třídy v samostatných cementových sílech. Odtud je nakládán volně ložený buď do autocisteren nebo železničních vagonů. Mnohem menší objem cementu je zákazníkovi dopravován balený v pytlích.

## SYSTÉM KONTROLY KVALITY CEMENTU BĚHEM VÝROBNÍHO PROCESU

Útvar kontroly a řízení kvality zabezpečuje dohled nad celým výrobním procesem. Kontrolou procházejí také všechny vstupní materiály a vyrobený a expedovaný cement. Laboratoře jsou vybaveny špičkovou laboratorní technikou.

**Provozní laboratoř** – vzorky pro kontrolní zkoušky jsou odebírány pomocí automatických vzorkovacích stanic v určených časových intervalech a do laboratoře jsou dopravovány potrubní poštou. Zde se analyzují a na základě každé odchylky se provádí





Obr. 1 Schéma výrobního procesu cementárny (zdroj: Českomoravský cement, a. s.) ■ Fig. 1 Cement production scheme (source: Českomoravský cement, a. s.)

Obr. 2 Automatizovaná laboratoř – příprava vzorků pro analýzu ■ Fig. 2 Automated laboratory – preparation of samples for analysis

Tab. 1 Zkoušky a analýzy prováděné u vstupních materiálů ■ Tab. 1 Testing and analysis carried out on raw materials

	Materiál	Zkoušky
Komponenty surovinové směsi	Vysokoprocentní vápenec	chemické složení (XRF)
	Nízkoprocentní vápenec	chemické složení (XRF)
	Popílek	obsah CaO, MgO, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , SiO <sub>2</sub> , SO <sub>3</sub> (XRF)
	Energosádrovec	chemické složení (XRF)
	Železitá korekce	obsah Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (XRF)
	Křemičitá korekce	obsah SiO <sub>2</sub> , Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (XRF), vlhkost
Složky cementu	Granulovaná vysokopecní struska	chemické složení (XRF), vlhkost, sypná hmotnost, obsah sklovité fáze (XRD)
	Vápenec	obsah CaCO <sub>3</sub> (XRF), obsah jílovitého podílu dle ČSN EN 933-9, obsah TOC dle ČSN EN 13639
	Energosádrovec	chemické složení (XRF), vlhkost
	Křemičitý popílek	ztráta žháním dle ČSN EN 196-2, obsah volného CaO dle ČSN EN 451-1, objemová stálost dle ČSN EN 196-3, obsah SiO <sub>2</sub>
Paliva	Uhlí	výhřevnost, vlhkost, obsah popela, obsah síranů a chloridů
	Tuhá alternativní paliva TAP	výhřevnost, sypná váha, vlhkost, obsah chloridů, popela, obsah biomasy dle ČSN EN 15440
	Mazut, Kapalná alternativní paliva	výhřevnost, obsah síry
	Plyn zemní naftový	výhřevnost

Vysvětlivky: XRF – rentgenfluorescenční analýza, XRD – rentgenová difrakční analýza, TOC – celkový organický uhlík (Total Organic Carbon)

dí ve všech fázích výroby okamžitá korekce. Celý proces od odběru vzorku až po jeho analýzu má řada cementáren plně automatizovaný (obr. 2). Vzorky jsou podrobovány dvěma kontrolám: chemické analýze na rentgenfluorescenčním a rentgendifrakčním analyzátoru a zkoušce jemnosti mletí na laserovém granulometru.

**Fyzikálně mechanická laboratoř** provádí zkoušky podle řady norem ČSN EN 196, tzn. zkoušky pevností, stanovení spotřeby vody a tuhnutí cementu a další zkoušky požadované odběrateli.

**Palivová laboratoř** slouží k analýzám všech vstupních paliv. Přesné kontroly umožňují optimalizaci výpalu, a tím stabilizaci kvality slinku a také snižování spotřeby energie.

**Analytická laboratoř** zajišťuje doplňkové chemické analýzy.

**Betonářská laboratoř** je primárně zaměřena na zkoušení vlastností čerstvého a ztvrdlého betonu a kameniva. Výsledky pomáhají ověřovat užité vlastnosti vyráběných produktů pro konkrétní aplikace zákazníků.

Na všechny kontrolní operace jsou vypracovány písemné návody, které určují časový harmonogram odběrů, metodiku jednotlivých analýz a jejich záznam do databází. Zkoušky se

provádějí jak podle evropských standardů, tak i podle metodik, které lépe a přesněji vypovídají o chování cementu v čerstvém betonu. Řízení kvality produktů podléhá zásadám certifikovaného systému integrovaného managementu, především pak požadavkům ČSN EN ISO 9001.

Výroba cementu je složitý a energeticky náročný proces a proto kontrolní operace probíhají ve všech výrobních fázích. Laboratorní zkoušky se nevztahují jen na zkoušení hotového výrobku, ale zahrnují také rozboru všech vstupních surovin a meziproduktů. Systém kontroly kvality lze proto rozdělit do tří fází:

#### Vstupní kontrola

Vstupní kontrolní přejímkou procházejí všechny materiály odebírané od externích dodavatelů. Jsou to korekční složky pro úpravu surovinové moučky, některé hlavní a doplňující složky přidávající se k mletí slinku podle druhu vyráběného cementu a paliva. U všech těchto materiálů je vyžadováno, aby byly dlouhodobě kvalitativně stabilní a splňovaly požadované vlastnosti.

#### Mezioperační kontrola

Do mezioperační kontroly spadá celý výrobní proces od těžby vápence v lo-

mech až po uložení hotového cementu v expedičních silech.

Při těžbě suroviny se odebírá pomocí pneumatického vzorkovače vrtná moučka, z které jsou prováděny pravidelné analýzy chemického složení těžené horniny. Na předhomogenizační skládce se na základě analýz zakládá surovina tak, aby došlo k vyrovnání chemického složení a byla tak připravena optimální směs pro mletí surovinové moučky.

Základním předpokladem pro dosažení stálé a vysoké kvality portlandského slinku a cementu je vysoký stupeň homogenity vstupní surovinové směsi. Před vstupem homogenizované vápencové drtě do surovinového mlýna jsou přidávány korekční složky, jejichž pomocí se upravuje chemické složení. Jejich dávkování je možné řídit za pomoci např. kontinuálního neutronového analyzátoru CBA (Cross Belt Analyser), umístěného nad dopravním pásem suroviny (obr. 3). Analýzy probíhající v několikasekundových intervalech umožňují přesné dávkování korekčních složek, a tím přípravu vysoce kvalitní suroviny.

V portlandském slinku se kromě základní silikátové analýzy na rentgenfluorescenčním spektrometru (XRF) stanovuje také obsah slinkových minerálů



Obr. 3 Rentgenfluorescenční spektrometr ■ Fig. 3 X-ray fluorescence spectrometer

Obr. 4 Neutronový analyzátor XBA umístěný nad dopravním pasem surovinové moučky ■ Fig. 4 XBA neutron analyzer located above the conveyor belt with raw meal



Tab. 2 Zkoušky a analýzy prováděné u meziproduktů ■  
Tab. 2 Testing and analysis carried out on intermediates

Materiál	Zkoušky
Mletá surovina	chemické složení (XRF), jemnost mletí
Slínek	chemické složení (XRF), fázové složení (XRD)
Cement	chemické složení (XRF), fázové složení (XRD), granulometrická křivka, případně měrný povrch dle ČSN EN 196-6, ztráta žháním, fyzikální a mechanické parametry

Tab. 3 Zkoušky a analýzy prováděné u konečného produktu – cement ■  
Tab. 3 Testing and analysis carried out on the finished product – cement

Materiál	Zkoušky
Cement na expedici	nerozpuštěný zbytek dle ČSN EN 196-2, objemová stálost, doba tuhnutí dle ČSN EN 196-3, pevnosti dle ČSN EN 196-1, stanovení obsahu síranů a chloridů dle ČSN EN 196-2, obsah ve vodě rozpustného Cr <sup>VI+</sup> (pro balený cement) dle ČSN EN 196-10, hmotnostní obsah přírodních radionuklidů (jednou za dva roky)

a zbytkového volného vápna na rentgenovém difraktometru (XRD). Oba analyzátoři jsou součástí jednoho přístroje (obr. 4).

### Výstupní kontrola

Z mlýnice cementu se cement dopravuje do expedičních sil, odkud je přes automatizovaná nakládací místa nakládán do autocisteren nebo do vagonů RAJ (vagony na přepravu cementu, pozn. red.). Část cementu prochází na balicí linku, odkud je přes mezisklad expedován balený cement na paletách. Na balicí lince je podle konkrétních podmínek závodu instalováno zařízení k dávkování speciální přísady, která redukuje při zpracování cementu šestimocné rozpustné formy chromu na nerozpustné trojmocné. Balený cement je určen především pro

ruční zpracování, kdy by šestimocný chrom mohl vyvolat u citlivých pracovníků alergickou reakci, a proto je nutno jej redukovat.

Při výstupní kontrole cementu je kladen velký důraz na splnění požadavků stanovených normou ČSN EN 197-1. Všechny zkoušky jsou řádně dokumentovány a archivovány a vzorky cementu odebrané během expedice jsou skladovány po dobu devadesáti dnů. Ucelený měsíční přehled výsledků zkoušek pro každý druh cementu je uveden ve statistickém hodnocení kvality cementu a výrobce ho buď zveřejňuje na svých webových stránkách, nebo ho poskytuje zákazníkovi na požádání. Posouzení shody provádí certifikační orgán v souladu s požadavky normy ČSN EN 197-2 na základě

Zdroje:

- [1] Webové stránky členů svazu výrobců cementu SVC ČR
- [2] Webové stránky Úřadu pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, [www.unmz.cz](http://www.unmz.cz).

odebraných vzorků expedovaného cementu. V případě, že výrobce dohodne se zákazníkem další požadavky, např.: teplotu, měrný povrch atd., musí zajistit jejich plnění.

Ing. Kateřina Jiroušková,  
Výzkumný ústav maltovin  
Praha, s. r. o.  
Na Cikánce 2  
153 00 Praha 5-Radotín  
[www.vumo.cz](http://www.vumo.cz)

