

# Recenzované výzkumné články

## Provozní zkoušky přídatku páleného vápna do aglomerační směsi

## Operational Trials of Burnt Lime Addition into the Sinter Mixture

Ing. Petr Klus, Ph.D.; Ing. Piotr Zubek; Ing. Roman Szturc

TŘINECKÉ ŽELEZÁRNY, a.s., Průmyslová 1000, 739 61 Třinec-Staré Město, Česká republika

*Předložený článek se věnuje provozně experimentálnímu ověření vlivu přídatku páleného vápna do aglomerační směsi na proces spékání a kvalitu aglomerátu v podmínkách TŽ, a.s. Zkoušky byly provedeny ve spolupráci s firmou Vápenka Vitošov s.r.o. a německou společností FELS Werke GmbH. Cílem experimentu bylo stanovit možné zvýšení specifického výkonu výroby aglomerátu a dále ověřit výhody a nevýhody této technologie. Dosažené výsledky ukazují, že při průměrném dávkování vápna  $1,5 \text{ t}\cdot\text{h}^{-1}$  do aglomerační směsi lze v daných provozních podmínkách dosáhnout navýšení specifické výrobnosti aglomeračního zařízení až o 11 %. Zvýšení produktivity ovšem silně závisí na kvalitě vstupních surovin zakládanych do homogenizačních hromad a na kvalitě použitého vápna. Z pohledu vlivu využití této technologie na kvalitu vyrobeného aglomerátu, zahrnující pevnost, prosev a obsah FeO, nebyly zpozorovány zásadní odchylky od běžných hodnot.*

**Klíčová slova:** spékání železných rud; pálené vápno; kvalita aglomerátu; výrobnost; verifikace

*The presented article focuses on the operational trial of the burnt lime addition into the sinter mixture and its effect on the sintering process and the quality of the sinter under the conditions of the metallurgical plant TŽ, a.s. The trials were performed on the sinter plant in cooperation with companies Vápenka Vitošov s.r.o., Czech Republic and FELS Werke GmbH, Germany. The main aim of the experiment was to determine a possible increase in the specific productivity of the sinter and verify the advantages and disadvantages of this technology. Based on the achieved results, it can be stated that with the use of average dosing of lime of 1.5 tons per hour to the sinter mixture, it is possible to increase the specific productivity of the sinter machine by up to 11 % in the specific operational conditions. However, the value of the increasing productivity strongly depends on the quality of the input raw materials placed into the homogenization yards and on the quality of the used burnt lime. Concerning the influence of the use of this technology on the quality of the produced sinter, no significant deviations from normal values were observed.*

**Key words:** sintering of iron ore; burnt lime; sinter quality; productivity; verification

Aglomerační směs pro výrobu vysokopecního aglomerátu obsahuje železonosné složky: aglorudu, koncentrát, dále bazické přísady, část paliva a v neposlední řadě recyklovatelné sekundární suroviny. Aglomerační vsázka by měla mít kromě požadovaného chemického složení i vhodné granulometrické složení s optimální hodnotou vlhkosti. Tyto uvedené charakteristiky patří mezi významné parametry ovlivňující sbalitelnost a následnou prodyšnost aglomerační směsi, která má společně s rychlostí proudění prosávaného vzduchu přes spěkanou vrstvu zásadní vliv na samotný výkon spékacího procesu (prostřednictvím rychlosti spékání po výšce vrstvy – vertikální rychlosti, doby spékání, výrobnosti aj.) a výslednou kvalitu vyrobeného aglomerátu [1 – 5].

Jako základní složka pro dosažení vhodného stupně vlhkosti směsi se v procesu její předpeletizace používá voda, která zároveň slouží jako pojivo zajišťující pevné spojení všech složek aglomerační vsázky.

Vlhkost materiálu má rozhodující vliv na schopnost a rychlost sbalování a na vlastnosti surových sbalků.

Zvyšování vlhkosti se projevuje změnou tvaru a velikosti sbalků, které se se zvyšováním vlhkosti zvětšují. Pevnost surových sbalků se se zvyšováním vlhkosti směsi zvětšuje, ale po překročení optimální hodnoty vlhkosti pevnost klesá, přičemž charakter závislosti je daný zrnitostí materiálu [6].

Některé studie [7, 8] ukázaly, že pevné látky, jako je vápenec nebo pálené vápno, lze také v procesu předpeletizace aglomerační směsi použít jako pojivo vyznačující se dobrými vazebnými účinky [4].

Při použití páleného vápna se jeho objem při kontaktu s vodou rapidně zvětšuje, čímž se zvyšuje prodyšnost vsázky. Vápno je hygroskopické a rychle pohlcuje vodní páru, kterou plynná fáze vnáší do nižších vrstev, a tím brání vytváření převlhčeného pásma. To společně se

zvětšením mechanické pevnosti sbalků zmenšuje odpor této vrstvy proti přechodu plynné fáze [6, 9 – 10].

Při využití vápna v procesu spékání tedy dochází vlivem jeho hydraulických schopností a mineralogických změn ke zlepšení sbalitelnosti aglomerační směsi a zvýšení prodyšnosti, vertikální rychlosti spékání, a tím i zvýšení výkonu spékacího procesu.

Díky instalaci a zprovoznění intenzivního mísiče z minulých let byly na aglomeračním provozu TŽ, a.s. splněny všechny podmínky pro možnost odzkoušení technologie přidavku vápna do aglomerační směsi za účelem ověření jejího vlivu na proces spékání a kvalitu aglomerátu.

## Provozní zkoušky

Pro experimentální ověření možností této technologie v podmínkách TŽ, a.s. bylo připraveno technické řešení zobrazené na obr. 1a – 1c. Řešení vycházelo z využití zmíněného dávkování vápna pomocí mobilního sila o objemu 70 m<sup>3</sup> položeného na mobilní betonový základ a systému 4 šnekových dopravníků zajišťujících přepravu vápna do intenzivního mísiče.

Nominální dávkované množství vápna bylo stanoveno na hodnotu 3,3 t·h<sup>-1</sup>, s možností zvýšení na maximální hodnotou 4 t·h<sup>-1</sup>, přičemž do této maximální hodnoty bylo dávkované množství plynule nastavitelné, což zabezpečila regulace rychlosti prvního šnekového dopravníku. Mezi posledním šnekovým dopravníkem a napojením na přírubu intenzivního mísiče byl umístěn uzavírací bezpečnostní ventil k ochraně proti vnikání vlhkosti do ústí šnekového dopravníku.

Řídicí jednotka sila, zahrnující ovládací prvky pro plnění a řízení cyklu čerpení, vibrování, indikaci hladiny

materiálu v silu, definování vstupních parametrů (manuální/automatické volby) a řízení pohonů šnekových dopravníků, byla napojena do hierarchicky výše postaveného řídicího systému aglomeračního závodu.



Obr. 1 Systém dávkování vápna do aglomerační směsi

Fig. 1 Dosing system of lime addition into the sinter mixture

Regulace dávkovaného množství vápna probíhala pomocí jejího napojení na systém poměrového dávkování aglomerační směsi. Současně byla do systému aglomerace nahrána ovládací vizualizace k řízení dávkování vápna (obr. 1d).

Silo bylo připojeno k přívodu elektrické energie a stlačeného vzduchu (tlak min. 6 bar) pro uzavírací ventil a čerpení sila vzduchem (suchý stlačený vzduch zbavený vlhkosti a oleje).

K provozním zkouškám bylo použito pálené vápno dodané firmou Vápenka Vitošov s.r.o. s předem nasmlouvanými parametry, které uvádí tab. 1.

Tab. 1 Parametry páleného vápna používaného v rámci zkoušek

Tab. 1 Burnt lime parameters used for operational trials

Pálené vápno	CaO+MgO	CaO volné	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CO <sub>2</sub>	SO <sub>3</sub>
	[%]					
Chemické složení	min. 94,0	min. 88,0	0,67	0,14	2,63	max. 0,1
Reaktivita t60	0,8 minut					
Ztráta žíháním	max. 6,0					

Samotné provozní experimenty byly zahájeny v červnu roku 2021 v délce trvání 6 měsíců pro získání dostatečného množství experimentálních dat a za účelem ověření vlivu přidavku vápna na výrobní a kvalitativní parametry výroby aglomerátu.

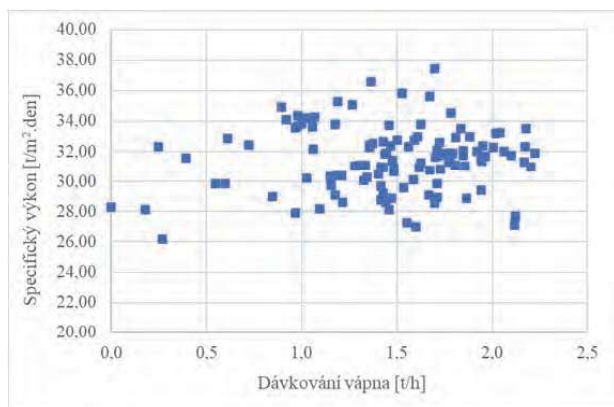
Vyhodnocení zkoušek korespondovalo s vytvořeným návrhem, jehož cílem bylo především:

- určit vliv přidavku vápna na zvýšení výrobnosti vyjádřené pomocí specifického výkonu výroby aglomerátu,
- ověřit výhody a nevýhody této technologie v podmínkách TŽ.

## Diskuse dosažených výsledků

Jedním z hlavních sledovaných parametrů procesu spékání u zkoušek přidavku vápna byl specifický výkon, respektive vliv přidavku vápna na specifický výkon, jehož závislost na množství vápna je zobrazena na obr. 2. Je zde patrný trend postupného nárůstu specifického výkonu se zvyšujícím se množstvím dávkovaného vápna do aglomerační směsi.

Na základě těchto dosažených výsledků bylo provedeno srovnání specifických výkonů bez dávkování vápna a při dávkování vápna v rozmezí 0,2 – 2,2 t·h<sup>-1</sup> (tab. 2).



Obr. 2 Celkový trend vlivu přidavku vápna na specifický výkon spékacího procesu během provozních zkoušek

Fig. 2 The overall trend of the lime addition effect on the specific productivity of the sintering process during operational trials

Tab. 2 Porovnání specifického výkonu procesu spékání bez přidavku páleného vápna a při přidavku páleného vápna

Tab. 2 Comparison of specific productivity of sintering process without burnt lime addition and with burnt lime addition

Dávkové množství vápna [t·h <sup>-1</sup> ]	Průměrný specifický výkon [t·m <sup>-2</sup> ·den <sup>-1</sup> ]
0,0 (bez vápna od zprovoznění sila)	28,27
Ø 1,5	31,49
<b>Zvýšení specifického výkonu procesu</b>	<b>3,22</b>

Při průměrném dávkovaném množství páleného vápna do směsi 1,5 t·h<sup>-1</sup> (průměrný procentuální přídavek vápna k aglomerační směsi = 0,7 %) se za celé období provozních zkoušek zvýšil průměrný specifický výkon procesu o 11 %.

Z literárních poznatků [6] vyplývá, že přidavkem 1 % vápna se zvyšuje výkon spékacího procesu v rozmezí 2 % až 15 %. Příčinou tak širokého rozptylu hodnot je rozdílná kvalita spékané vsázky, její materiálové složení a také kvalita použitého vápna.

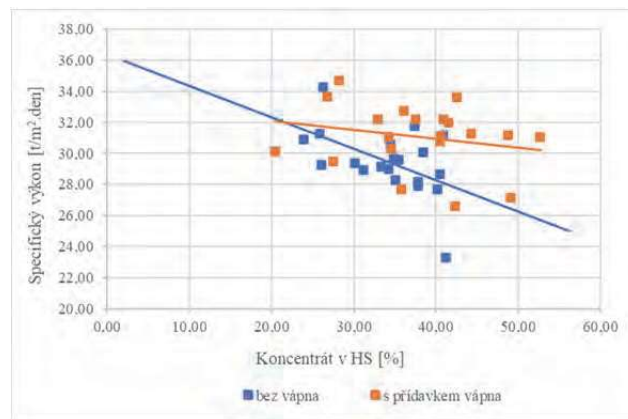
Například zvětšování podílu koncentráту v aglomerační vsázce vede v provozních podmínkách ke zvětšení podílu zrn menších než 0,5 mm. To se projevuje snížením prodyšnosti vsázky, čímž dochází ke snížení výkonu spékání. Tento zhoršený vliv je možné do jisté míry vyrovnat zvýšením vlhkosti vsázky, což je však spojeno se zhoršením pevnosti aglomerátu; dále lze za stejným účelem zvýšit obsah paliva ve vsázce nebo přidat do vsázky vápna [6].

Tuto skutečnost potvrzují získané výsledky experimentálního provozního dávkování vápna do aglomerační směsi (obr. 3) znázorňující závislost vlivu množství koncentráту ve směsi a přidavku vápna na specifický výkon. Jak je z obr. 3 patrné, přidavkem vápna došlo ke zvýšení výkonu spékacího procesu i při vyšším množství koncentráту v homogenizační směsi. Platí však, že vliv vápna na prodyšnost aglomerační směsi, která obsahuje větší podíl

koncentráту, je méně výrazný než v případě nižších podílů koncentráту ve směsi. [6]

Při předpeletizaci aglomerační vsázky, obsahující menší podíly koncentráту, se jemnozrnné částice nabalují na povrch větších zrn a jen malá část koncentráту se podílí na tvorbě mikrosbalků. Při větším množství koncentráту v aglomerační vsázce se většina koncentráту sbaluje do mikrosbalků nebo sbalků [6].

Zvyšování obsahu vápna ve směsi, která obsahuje vyšší podíly koncentráту, se projevuje podobně jako při peletizaci, a to převážně zvýšením pevnosti sbalků. Nemá však výrazný vliv na změnu granulometrického složení, a tím i na prodyšnost předpeletizované aglomerační vsázky. Výše uvedený minimální vliv na zrnitost a prodyšnost se nijak nepříznivě neprojevuje na výkonu spékacího procesu a ten je při použití vápna výrazně vyšší [6].



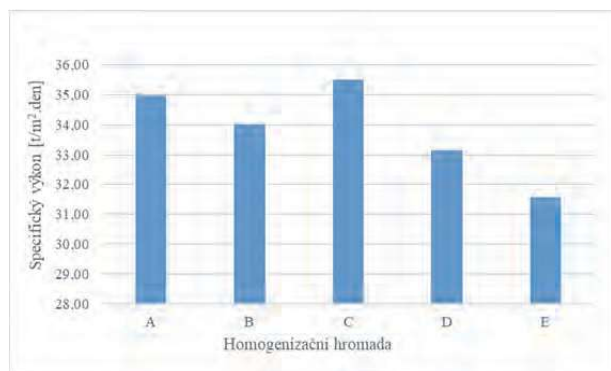
Obr. 3 Vliv koncentráту a přidavku vápna na specifický výkon

Fig. 3 Effect of iron ore concentrate and burnt lime addition on the specific productivity

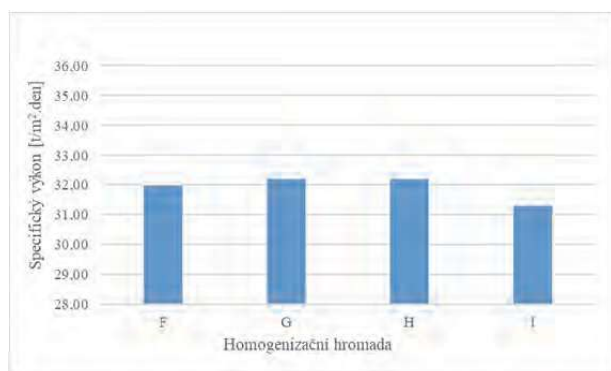
Přidavkem vápna bylo tedy v provozních podmínkách TŽ, a.s. možné zvýšit specifický výkon procesu spékání. Avšak dle uvedených experimentálních poznatků je toto navýšení produktivity silně závislé na kvalitě vstupních surovin zakládáných do homogenizačních hromad. Potvrzují to dosažené rozdíly ve specifickém výkonu pro každou hromadu, která byla v průběhu provozních zkoušek ve spotřebě.

Specifické výkony vztažené na jednotlivé homogenizační hromady, které byly ve spotřebě v období dávkování vápna, jsou graficky vyobrazeny na obr. 4. Porovnání specifických výkonů bylo provedeno v závislosti na procentuálním přidavku vápna (0,5; 0,7 a 0,8 %) k dané hromadě a její homogenizační směsi.

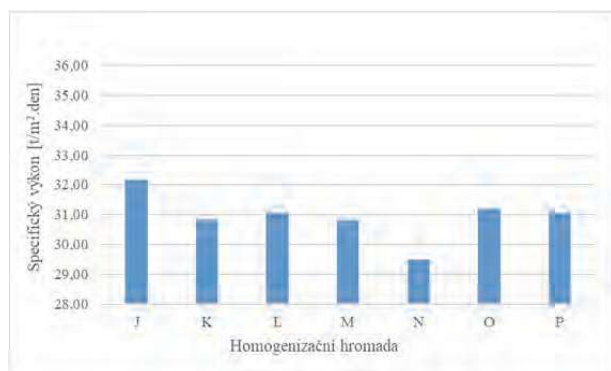
Při detailnější analýze materiálového a granulometrického složení jednotlivých homogenizačních hromad, jakož i jejich bohatosti, poměru množství aglorudy ke koncentráту a dalších neméně významných provozních parametrů, které mohou ovlivňovat specifický výkon procesu, nebyly ovšem zpozorovány zásadní odchylky od běžných hodnot.



(a)



(b)



(c)

Obr. 4 Porovnání specifických výkonů homogenizačních hromad při přidavku vápna ke směsi (a) = 0,5 %; (b) = 0,7 %; (c) = 0,8 %

Fig. 4 Comparison of specific productivity of homogenization yards with percentual lime addition to the mixture (a) = 0.5 %; (b) = 0.7 %; (c) = 0.8 %

## Závěr

Provedené provozně experimentální ověření vlivu přidavku páleného vápna do aglomerační směsi na proces spékání a kvalitu aglomerátu a jeho dosažené výsledky lze shrnout do následujících bodů:

- V rámci provedených provozních zkoušek byl ověřen především vliv dávkovaného množství na specifický výkon spékacího procesu.
- Bylo zjištěno, že při průměrném procentuálním přidavku vápna ke směsi 0,7 % lze dosáhnout navýšení specifického výkonu procesu až o 11 %, což v daných podmínkách odpovídalo zvýšení o  $3,2 \text{ t} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{den}^{-1}$ .

- Hodnota navýšení produktivity vyjádřená specifickým výkonem aglomeračního zařízení závisí na kvalitě vstupních surovin zakládaných do homogenizačních hromad a také na kvalitě použitého vápna.
- Na základě analýzy výrobních dat pro jednotlivé homogenizační hromady byla nalezena jediná odchylka korelující s dobou jejich spotřeby, kdy horších výsledků specifického výkonu bylo dosažováno u hromad, které byly ve spotřebě více než 10 dní. Co bylo příčinou tohoto jevu, se v rámci provedeného rozboru nepodařilo blíže specifikovat.
- Vliv přidavku vápna na kvalitu vyrobeného aglomerátu (pevnost, prosevy, obsah FeO) nebyl pozorován.

Vzhledem k nedostatečné kapacitě síla a dopravních tras neumožnila tato zapůjčená technologie plné využití potenciálu přidavku páleného vápna, přičemž technický návrh zkoušek vycházel z jednoduchého technologického řešení a délce zkoušky cca 1 měsíc.

Jelikož byl v rámci experimentálních zkoušek potvrzen pozitivní vliv přidavku vápna na výrobnost, což se projeví ve zvýšení specifického výkonu procesu spékání, který ovšem závisí na mnoha faktorech (materiálové složení homogenizační směsi, vlhkost směsi, množství zpětného aglomerátu ve směsi aj.), bylo doporučeno pokračovat v provozních zkouškách pro validaci a zpřesnění doposud získaných výsledků.

## Literatura

- [1] LEGEMZA, J., FRÖHLICHOVÁ, M., FINDORÁK, R. *Tradiční a alternativní paliva v metalurgii*. Košice: Technická univerzita v Košiciach, 2015, 286 s. ISBN 978-80-553-2154-7.
- [2] MATSUMURA, M., YAMAGUCHI, Y., KAMIJO, C. Improvement of Sinter Productivity by Adding Return Fine on Raw Materials after Granulation Stage (Development of RF-MEBIOS). In *Nippon Steel Technical Report*; 2020, No. 123, pp. 23-32.
- [3] SINGH, T. et al. Analyses of Pressure Drop in High-Temperature Zone during Iron Ore Sintering. In *Iron Ore Conference 2021*: Perth, Australia and Online, 8-10 Nov. 8<sup>th</sup> to 10<sup>th</sup>, 2021, 9 p.
- [4] ZHOU, H. et al. Influence of Quick Lime on Pore Characteristics of High-temperature Zone in Iron Ore sinter Based on XCT Technology. *Journal of Materials Research and Technology*, 15 (2021) 4475-4486. ISSN 2238-7854.
- [5] ALENCAR, J. P. S. G. et al. The Effects of Agglomeration Time and Burnt Lime Addition on the Optimization of Iron Ore Cold Agglomeration Process. *Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração*, 18 (2021) 6 p. ISSN 2176-1523.
- [6] MAJERČÁK, Š. *Vysokopecná vsádzka*. Bratislava: Alfa, Praha: SNTL, 1986, 280 s.
- [7] KASAI, E. et al. The Effect of Raw Mixture Properties on Bed Permeability during Sintering. *ISIJ International*, 29 (1989) 1, 33-42. Online ISSN 1347-5460.
- [8] ZHOU, M. et al.: Characterization of Granule Structure and Packed Bed Properties of Iron Ore Sinter Feeds that Contain Concentrate. *ISIJ International*, 57 (2017) 6, 1004-1011. Online ISSN 1347-5460.
- [9] KURKIN, V. M. et al.: Effect of Lime on Sintering. *Metallurgist*, 51 (2007) 7-8, 420-424. Online ISSN 1573-8892.
- [10] MASCARENHAS, I. P. et al. Implementation of the Intensive Mixer at Sinter Plant. In: *The 6<sup>th</sup> International Congress on the Science and Technology of Ironmaking – ICSTI, the 42<sup>nd</sup> International Meeting on Ironmaking and the 13<sup>th</sup> International Symposium on Iron Ore*, Oct. 14<sup>th</sup> to 18<sup>th</sup>, 2012, Rio de Janeiro, RJ, Brazil, 2012, pp. 777-787. ISSN 2176-3135.