



Environment and Plant Technology

Technical Report

A-2025/0807

Assessment of potential emission abatement techniques for the Alpacem Anhovo Cement Plant

VDZ Technology gGmbH

P. O. Box 30 10 63
40410 Duesseldorf

Toulouser Allee 71
40476 Duesseldorf

T +49 (0)211 45 78 0
F +49 (0)211 45 78 296

info@vdz-online.de
www.vdz-online.de

Registration office: Duesseldorf
Court of registration: Duesseldorf
HRB-No. 66898

Chief Executive VDZ e.V.:
Dr Martin Schneider

Managing directors:
Dr Christoph Müller
Dr Jörg Rickert
Dr Ute Zunzer

Assessment of potential emission abatement techniques for the Alpacem Anhovo Cement Plant

Client:	Alpacem Cement, d.d. Anhovo 1 5210 Deskle Slovenia
Ordering date:	01.08.2025
Client's order number:	POR25-09883
Our order number:	A-2025/0807
Project manager:	Dr Helmut Hoppe
Person in charge:	Dr Ute Zunzer
Department:	Environment and Plant Technology
Despatch date:	29.10.2025
Content:	21 pages

Index of Contents

1	Introduction	5
2	Description of cement production at Alpacem Anhovo cement plant	6
2.1	Kiln system	6
2.2	Flue gas paths and modes of operation	6
2.3	Emission abatement measures	6
2.4	Utilization of alternative fuels	7
3	Emission limit values and current emission situation	8
3.1	Emission limit values on European and national level	8
3.2	Emission limit values in Slovenia	8
3.3	Options to apply for derogations	10
3.4	Average emission concentration 2023 and 2024 and required abatement rates	10
4	State of emission abatement in the cement industry for NO_x, NH₃, TOC, CO and Hg	12
4.1	NO _x and NH ₃	12
4.2	CO and TOC	13
4.3	Hg	13
5	Alpacem's concept to meet future emission limit values for NO_x, NH₃, TOC, CO and Hg	15
6	Summary and outlook	17
7	References	19
8	VDZ reference list	21

List of Abbreviations:

AEL:	Associated Emission Level
BAT:	Best Available Technique
BREF:	BAT Reference (Document)
ELV:	Emission Limit Value
HD:	High-Dust
IED:	Industrial Emissions Directive
LD:	Low-Dust
PCDD/F:	Polychlorinated dioxins and furans
RDF:	Refuse Derived Fuel
RTO:	Regenerative Thermal Oxidation or Regenerative Thermal Oxidizer
SCR:	Selective Catalytic Reduction
SNCR:	Selective Non-Catalytic Reduction
s.t.p.:	Standard Temperature and Pressure
TOC:	Total Organic Carbon
VDZ:	Verein Deutscher Zementwerke (German Cement Works Association)

1 Introduction

Alpacem Cement, d.d. operates in the Alpe-Adria region, specializing in the production of cement and other binders, concrete, and aggregates such as sand and gravel. In Slovenia, their Anhovo cement plant has an annual production capacity of approximately 1.3 Mio. tons of cement.

The cement plant at Anhovo must adhere to national emission limits for key flue gas components, which are primarily based on the European Industrial Emissions Directive (IED), specifically the regulations for cement plants that co-incinerate waste [IED, 2010].

Previously, the existing emission abatement methods were sufficient to meet these limits. However, the Slovenian Parliament has worked towards aligning emission limits for both co-incineration and incineration plants. This effort resulted in a new Regulation on Waste Incineration Plants and Co-Incineration Plants [REG, 2025], adopted in June 2025, which imposes significantly stricter emission limit values for several flue gas components. Some of these new limits exceed the regulations set by the IED and are on a level for which there are no comparable cases in the European cement industry to date. Though the Alpacem Anhovo cement plant already employs "Best Available Techniques" (BAT's) for the production of cement [BAT, 2013], it is likely that meeting the stricter limit values will not be possible in all cases. In particular, for the air pollutants NO_x, NH₃, TOC (ΣC), CO and Hg, processes with higher reduction potential will be required in future in order to comply with the new limit values. Some of these potential mitigation measures go beyond the BAT Reference (BREF) Document [BAT, 2013] for cement plants and the achievable emission levels specified therein. Nevertheless, it may be necessary to apply for derogations for certain limit values in order to enable safe kiln operation. Against this background, Alpacem Cement, d.d. has developed in co-operation with a technology provider a concept that could largely meet future emission reduction requirements.

VDZ Technology gGmbH was commissioned by Alpacem Cement, d.d. to assess the current emission situation and the potential emission abatement techniques in or beyond the status of BAT for cement plants. By this, the state-of-the-art in the cement industry shall be considered and the proportionality of measures to enable the production of cement clinker that is justifiable from a technical and economic point of view.

2 Description of cement production at Alpacem Anhovo cement plant

2.1 Kiln system

The kiln system of the Alpacem Anhovo cement plant includes a rotary kiln with a five-stage suspension preheater, an in-line calciner (including a so-called “hot disc”), a bypass, and a downstream clinker cooler (see **Figure 2-1**). After the preheater, the exhaust gas flow is split into two separate flows that pass through two raw mills and two fabric filters. The maximum kiln capacity according to the environmental permit is 3,180 t_{cl}/d.

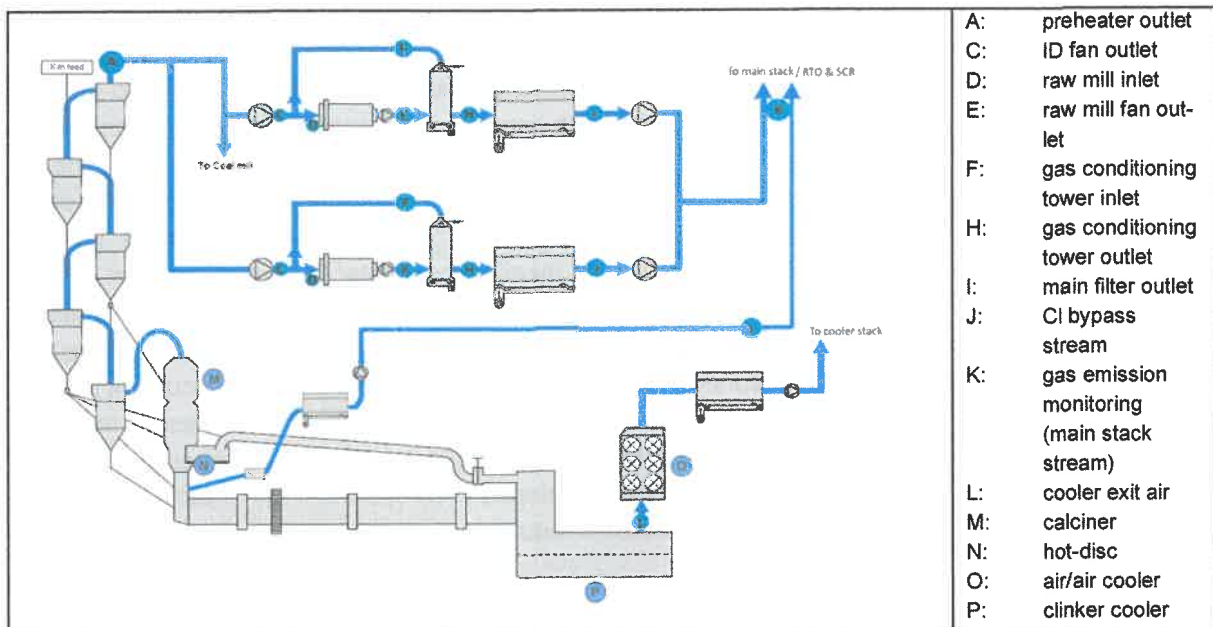


Figure 2-1 Process scheme of the clinker production

Fuels such as natural gas, petcoke and RDF (Refuse Derived Fuel) are burned in the main firing while used tyres, petcoke and RDF are used as fuels in the hot-disc calciner (see **Figure 2-1**).

2.2 Flue gas paths and modes of operation

The kiln exhaust gas passes through the precalciner and preheater, then is split into two partial flows after exiting the preheater. Subsequently, the preheater exit gas (raw gas) is used for drying the raw material in the raw mills. Most of the time the kiln plant is operated in the so-called “compound mode” (two raw mills in operation) or in “semi-direct mode” (only one raw mill in operation). In the so-called “direct operation” (no raw mill in operation) the raw gas is cooled down in conditioning towers and is dedusted in the fabric filters. This mode of operation accounts for only 1% of the annual operating time. In this mode of operation, the raw gas bypasses raw mills and is cooled down. The combined gas stream is emitted into the atmosphere via the main stack.

The bypass gas is dedusted in a separate filter and is merged with the main flue gas stream. The separated bypass dust is stored in a silo and can be utilized in the cement grinding process.

The cooler exit air is cooled down in an air/air cooler, dedusted and emitted into the atmosphere via a separate stack.

2.3 Emission abatement measures

The rotary cement kiln of the Alpacem Anhovo cement plant is equipped with various emission abatement measures. Modern bag filters are installed in both flue gas lines, in the cooler exit air and in the

bypass gas stream to reduce the dust emissions (see **Figure 2-1**). For NO_x reduction, a low-NO_x burner and an in-line calciner (staged combustion) are employed as "primary measures". Furthermore, the SNCR process (Selective Non-Catalytic Reduction) is used as a "secondary measure" for NO_x reduction. If necessary, the concentration of sulphur oxides in the flue gas can be reduced by injecting dry sodium bicarbonate (NaHCO₃). All these control measures are classified as "Best Available Techniques" (BAT) for emission abatement in the cement industry [BREF, 2013] (see **chapter 4**).

2.4 Utilization of alternative fuels

At the Anhovo rotary kiln, fossil fuels like natural gas and petcoke are utilized in the main firing and in the hot disc. In addition, also waste fuels or so-called "alternative fuels" are used. According to this, the regulations of the European Industrial Emissions Directive (IED) and of the Slovenian environmental legislation for cement plants co-incinerating waste apply (see **chapter 3.1**).

3 Emission limit values and current emission situation

3.1 Emission limit values on European and national level

The Industrial Emissions Directive (IED) is the most important European regulation to control the emissions of industrial installations. The competent authorities must issue permits and set emission limit values based on the application of Best Available Techniques (BAT's) for the individual industrial sectors. At the moment there are BAT Reference Documents (BREF Documents) for 37 industrial and agricultural processes. The BREF Document contains a description of the individual process, the formation of different pollutants and different measures to control the release of the pollutants into the environment. Finally, selected emission abatement techniques are classified as BAT and a BAT associated emission level (BAT-AEL) is defined which can be achieved when a BAT is applied at the respective process. The so-called BAT Conclusions [CON, 2013] are shorter and more condensed documents and contain the most important information about BAT's and the achievable emission levels for the respective industrial sector.

In the European BREF Document for the cement industry [BAT, 2013] several emission abatement techniques have been classified as BAT. Furthermore, the BAT-AEL's have been defined for the abatement of several air pollutants. The following **chapter 4** contains a short description of the BAT's for the abatement of the relevant air pollutants (NO_x, NH₃, TOC, CO, Hg) and, if available, the BAT-AEL's.

The regulations of European Directives like the IED have to be implemented into the national legislation of the member states. In Slovenia, the IED has been implemented in the Environmental Protection Act and the Regulation on Waste Incineration Plants and Co-Incineration Plants [REG, 2025].

3.2 Emission limit values in Slovenia

The currently prescribed national emission limit values for the Alpacem Anhovo cement plant are listed in **Table 3-1** below. In addition, the emission limit values (for cement plants co-incinerating waste) of the European IED [IED, 2010] are shown in the right-hand column.

Table 3-1 Current emission limit values for the Alpacem Anhovo cement kiln compared to the values of the IED

Pollutant	Unit	Current ELV	Emission limit values according to IED
Dust	mg/m ³ (s.t.p., ref. to 10 % O ₂)	20	30
NO _x		500	500
TOC (ΣC)		50	10*
CO		/	***
NH ₃		50	/
SO _x		50	50*
HCl		10**	10
HF		1**	1
Hg		0,05**	0,05
Cd and Tl		0,05**	0,05
Other heavy metals / trace elements (Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V)		0,5**	0,5 (Total value)
PCDD/F	ng I-TEQ/m ³	0,1**	0,1

* The competent authority may grant derogations for emission limit values set out in this point in cases where TOC and SO₂ do not result from the co-incineration of waste

** Spot measurements

*** The competent authority may set an emission limit value for CO.

The currently applicable limit values are largely based on the specifications of the European IED, but there are differences for individual components:

- For the dust component the limit value was lower than in the IED.
- For TOC (ΣC) a higher limit was set in accordance with the IED regulations.
- In contrast to the regulations of the IED (see No. 2.4 of annex VI), no limit value has yet been set for CO.
- A limit value of 50 mg/m³ had to be met for NH₃ although the IED does not yet provide a limitation for this component.

In 2024, Slovenia adopted a revised Environmental Protection Act requiring cement plants, which are co-incinerating waste, to comply with the same emission limit values like waste incineration plants. This alignment was further detailed and formalized in 2025 through the adoption of a new Regulation on Waste Incineration Plants and Co-Incineration Plants [REG, 2025], which explicitly defines the applicable emission limit values and sets out the conditions under which derogations may be granted.

The new emission limit values are much stricter than the currently applicable limit values and are based on the achievable emission levels of the waste incineration BREF [BAT, 2019] and not on the achievable emission levels (BAT-AEL's) of the cement BREF [BAT, 2013]. The new decree also provides emission limit values in the half-hourly average and also annual average limit values for TOC (ΣC) and Hg (see Table 3-3). The new limit values are contained in Annex 4, No. 1.2 of the new Regulation for cement plants co-incinerating waste [AN4, 2025].

Table 3-2 New Slovenian emission limit values for cement plants co-incinerating waste [AN4, 2025]

Table 3-2 New Slovenian Emission limit values for cement plants or manufacturing waste plants (2022)					
Pollutant	Unit	Emission limit values (ELV's)			
		Daily average	ELV for all half-hourly averages	ELV for 97 % of the measured values	Annual average
Dust	mg/m ³ (s.t.p., dry, ref. to 10 % O ₂)	5	30	15	/
NO _x		150	500	400	/
TOC (ΣC)		10	80	50	10
CO		50	/	100	/
NH ₃		10	/	/	/
SO _x		40	200	75	/
HCl		8	40	30	/
HF		1	4	2	/
Hg		0,02	/	/	0,02
		Emission limit values over sampling period			
Cd and Tl	mg/m ³ (s.t.p., dry, ref. to 10 % O ₂)	0,02			
Other heavy metals / trace elements (Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V)		0,3			
PCDD/F	ng I-TEQ /m ³ (s.t.p., dry, ref. to 10 % O ₂)	0,06			

The new limit values are not aligned with the BAT-AEL's of the cement BREF, but with the upper end of the ranges (BAT-AEL's) of the waste incineration BREF [BAT, 2019]. The new limit values represent a significant tightening of standards for nearly all exhaust gas components and are among the lowest limit values for cement plants in Europe. With the current emission control measures in place, it would be challenging to consistently meet these more stringent requirements. Therefore, emission reduction measures with a higher reduction potential should be envisaged. The following **chapter 4** contains a description of abatement techniques, which had been classified as BAT for the cement sector, and of additional (emerging) techniques, which are beyond the status of BAT.

3.3 Options to apply for derogations

The European IED offers operators of cement kilns, in which waste is co-incinerated, the possibility of applying for exemptions from the limit values for SO₂ and TOC if the emissions of these components do not originate from the incineration of waste (see Annex VI, Part 4, No. 2.3 of the IED).

This possibility has also been incorporated into Slovenian Regulation on Waste Incineration Plants and Waste Co-Incineration Plants (see Article 8) [REG, 2025]. In other countries, e.g. in Germany, it is also possible to apply for derogations for CO, NH₃ and Hg if the emissions are predominantly due to the composition of the raw material (raw-material-generated emissions).

VDZ has recently carried out laboratory measurements [VDZ, 2025] with raw material samples from the Alpacem Anhovo cement plant and determined the raw-material-generated emissions of several flue gas components. The investigations have shown that the new emission limits for several components could not be met with the best proven emission reduction measures due to the emissions from the raw material alone.

In addition, the provisions in Annex 5, Section 3.3 of the above mention Slovenian Regulation [AN5, 2025] allow derogations to be granted in cases where the technology that would enable compliance with the limit values is not available on the market. Taking into account the current state-of-the-art in emission reduction processes, compliance with the new limits would be extremely challenging for any cement plant.

3.4 Average emission concentration 2023 and 2024 and required abatement rates

The annual averages of the flue gas components for 2023 and 2024, which are measured continuously, are listed in the following **Table 3-3**. Furthermore, the required abatement rate to meet the future emission limit values for NO_x, NH₃, TOC and CO are listed – compared to the emission situation in 2024.

Table 3-3 Emission concentration (main stack) of different flue gas components in 2023 and 2024 (annual averages; measurement uncertainty not considered)

Parameter	Annual averages		New emission limit value	Required abatement rate
	2023	2024		
	[mg/m ³] (s.t.p., 10 % O ₂)			[%]
Dust	0,99	1,1	5	
SO _x	8,4	8,6	40	
NO _x	502	479	150	> 69
NH ₃	29,9	28,4	10	> 65
TOC	30,9	28,1	10	> 64
CO	339	267	50	> 81

The annual average values for dust and SO₂ in 2023 and 2024 were well below the new emission limits. For the component NH₃, the annual average is significantly above the new limit value of 30 mg/m³. Safe compliance with a daily average value of this magnitude is not possible. For NO_x, TOC and CO, the current annual average emission concentrations are well above the new limit values. If these stricter emission limits were introduced, high reduction rates would be required to meet to limit values. The following **chapter 4** gives a short overview about available abatement techniques for the respective air pollutants and the achievable emission levels.

4 State of emission abatement in the cement industry for NO_x, NH₃, TOC, CO and Hg

4.1 NO_x and NH₃

A reduction of NO_x emissions (NO and NO₂, expressed as NO₂) from the clinker burning process is possible by so-called primary (process-integrated) measures and secondary measures. According to the BREF Document for the cement industry the following measures have been classified as BAT:

Primary measures:

- flame cooling
- low-NO_x burners
- mid-kiln firing
- addition of mineralisers
- process optimisation

Secondary measures:

- selective non-catalytic reduction (SNCR)
- selective catalytic reduction (SCR)

High NO_x reduction rates are only achievable by the application of secondary measures like the SNCR, SCR and the RTO-SCR (combination of low-dust SCR with a Regenerative Thermal Oxidizer) process. In all three processes ammonia solution can be used as reducing agent for nitrogen oxides. The SCR process can be installed in different configurations, namely as High-Dust-SCR (HD-SCR) and Low-Dust-SCR (LD-SCR). Another configuration of the SCR process (Semi-Dust-SCR) has been installed once in an Austrian cement plant [KÖC, 2014]. The status of BAT for the SCR process was subject to a restriction, namely that the applicability of selective catalytic reduction "is subject to appropriate catalyst and process development in the cement industry" [BAT, 2013]. However, this classification reflects the state of knowledge in 2010. Since then, SCR demonstration projects have been carried out in the German cement industry. Within the demonstration projects long-term experiences have been gained with the operation of the HD-SCR process, the LD-SCR process and the RTO-SCR process. The results have been summarized in extensive Technical Reports [BMU, 2014], [BMU, 2015], [BMU, 2022]. Meanwhile, there are more than 20 SCR plants in operation in the German cement industry and more in Austria and Italy. Therefore, the SCR process can be seen as state-of-the art technology in the cement industry. The current state of knowledge regarding the application of the SCR process in the cement industry has been summarised in specialist publications in recent years [HOP, 2019], [HOE, 2024]. The obtained long-term results have shown that a NO_x emission level below 200 mg/m³ and a NH₃ emission level below 30 mg/m³ (as daily averages) can be achieved. However, it has not been proven that NO_x emission levels below 150 mg/m³ or NH₃ emission levels below 10 mg/m³ (as daily averages) can be safely maintained. Furthermore, the available operational experiences from many SCR projects have shown that SCR catalysts have a certain abatement potential for TOC (ΣC), but not for CH₄ and other C₁/C₂ components and not for CO.

Meanwhile, a revision process for the cement BREF is being prepared. However, the actual work will not begin before 2027. It is likely that the amended cement BREF Document will classify the SCR process as BAT without restrictions.

According to the cement BREF Document the NO_x and NH₃ emission levels, which are listed in **Table 4-1**, can be achieved by the application of BATs at cement kilns.

Table 4-1 BAT-AEL's for NO_x and NH₃

Parameter	Unit (s.t.p, 10 % O ₂)	BAT-AEL (daily average)	Remark
NO _x	mg/m ³	< 200 - 450	for preheater kilns
NH ₃		< 30 - 50	if SNCR process is applied

4.2 CO and TOC

The cement BREF Document, which reflects the state of emission abatement in 2010, contains very little information on reducing CO and TOC emissions. The only BAT for reduction of TOC emissions is "to avoid feeding raw materials with a high content of volatile organic compounds (VOC) into the kiln system via the raw material feeding route" [BAT, 2013]. Regarding carbon monoxide only the reduction of CO trips is discussed in the BREF Document. At that time, there were no operational experiences available in the cement industry with downstream emission reduction measures based on the combustion/oxidation of TOC and CO. Therefore, BAT-AEL's have not been specified in the cement BREF Document.

The German VDI Guideline 2094 [VDI, 2021] is a more recent document and contains descriptions of cement production technologies, the utilization of waste in the cement industry and of emissions from the cement production process and emission control measures. Furthermore, so-called "emerging techniques" are covered in the document.

To control the emissions of CO only primary (process-integrated) measures are mentioned which exhibit only a limited reduction potential and which are not suitable to achieve very low CO emission levels. To control the emissions of organic compounds (TOC) it is noted that no raw materials with high VOC content should be fed into the kiln system via the raw material feeding route (see above). Furthermore, operational experiences from the SCR demonstration projects and other SCR projects are mentioned according to which a 40 - 70 % reduction of TOC can be achieved with the SCR catalyst. However, the reduction rate for C₁/C₂ components is much lower and CH₄ is not decomposed at the SCR catalyst.

Downstream (tail-end) abatement measures to control the emissions of CO and TOC are mentioned in the chapter about "emerging techniques". The so-called Regenerative Thermal Oxidation (RTO) is an appropriate measure to reduce the CO and TOC emissions. The dedusted flue gas is heated up to temperatures of at least 850 °C to achieve an almost complete oxidation of both components. Long-term operational experiences have been gained in an Austrian cement plant [PHI, 2013] and high reduction rates of about 99 % for both components could be achieved. By this, an CO emission level below 100 mg/m³ and a TOC emission level below 20 mg/m³ was complied with.

Furthermore, the RTO-SCR process has been classified as "emerging technique" in the VDI guideline. The RTO-SCR process is a multicomponent abatement measure, namely a combination of a Low-Dust SCR system and a Regenerative Thermal Oxidizer. By this, a reduction of NO_x, NH₃, CO and TOC is achievable. Operational experiences are available from cement plants in Austria [MAU, 2018] and Germany. In addition, extensive operational experiences are available from a demonstration project in a German cement plant [BMU, 2022]. The demonstration project has shown that a CO emission level below 100 mg/m³ and a TOC emission level below 10 mg/m³ could be met.

4.3 Hg

The cement BREF Document contains very little information about measures to control the emission of trace elements. The only measure, which has been classified as BAT, is to select materials with low content of the relevant metals and to limit the content of the relevant metals in the input material

streams, especially the input of mercury due to its high volatility. Despite the apparent lack of options for controlling Hg emissions, a BAT-AEL of $< 0.05 \text{ mg/m}^3$ was set.

Table 4-2 BAT-AEL's for Hg

Parameter	Unit (s.t.p, 10 % O ₂)	BAT-AEL (daily average)	Remark
Hg	mg/m ³	$< 0,05$ *	

* values close to $0,05 \text{ mg/m}^3$ require consideration of additional techniques (e.g. lowering of the flue gas temperature, activated carbon)

The German VDI standard 2094 [VDI, 2021] specifies further measures for limiting Hg emissions from cement kilns. As stated in the cement BREF document, it is recommended to avoid the use of raw materials and fuels with high mercury content in the clinker burning process. Furthermore, the removal of filter dust and the utilisation of dust during cement grinding are mentioned. SCR projects in the cement industry have shown that some of the elemental mercury in the exhaust gas stream is converted to ionic mercury at the catalyst. This enables increased separation as particle-bound mercury during the dedusting of the kiln exhaust gas. The injection of adsorbents such as activated carbon or hearth furnace coke is also described in the VDI guideline.

The chapter on emerging techniques also mentions two newer methods for Hg reduction, namely the XMercury process and the SPC (Sorbent Polymer Catalyst Composite) process. The XMercury process has been tested in cement plants in Austria and Germany [KER, 2015], [BMU, 2022]. In this process, Hg is expelled from part of the filter dust and then adsorbed on activated carbon or coke. This measure leads to a relieve of Hg cycles and thus also to a reduction in Hg emissions.

The SPC process is based on modules with polymer matrices into which catalytically active compounds are incorporated. Dust and water are deposited on the surface of the composite material, while gaseous pollutants penetrate into the composite material. SO₂ is oxidised to sulphuric acid, which drips off and can be recycled later. Elemental and ionic Hg is adsorbed on the surface and thus loaded onto the module. Regeneration of the modules is not planned, i.e. the loaded modules must be disposed of. The SPC process should enable Hg separation rates of over 85 % to be achieved. There is little operational experience from the cement industry to date – there are only a few results from a pilot test in an American cement plant.

5 Alpacem's concept to meet future emission limit values for NO_x, NH₃, TOC, CO and Hg

In co-operation with a technology provider, Alpacem Cement, d.d. has developed a concept in order to meet future emission reduction requirements. The installation of an RTO-SCR system (combination of Low-NO_x SCR and Regenerative Thermal Oxidizer; see **chapter 4.1** and **4.2**) is planned, which will achieve high reduction rates for NO_x, NH₃, CO and TOC (Σ C) components. Due to the high exhaust gas flow rate, the installation of a 7-tower variant is planned (see **Figure 5-1**).

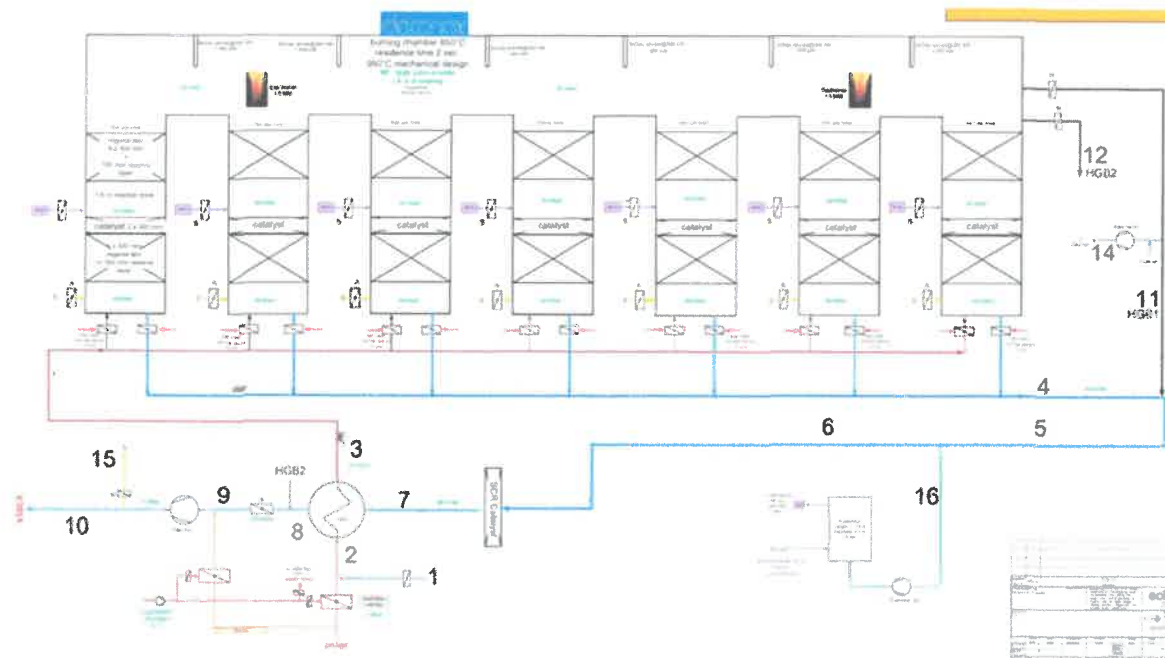


Figure 5-1 Flowsheet of an RTO-SCR plant (7-tower version); (Source: Scheuch GmbH, Auroldmünster, Austria)

NO_x reduction takes place at the SCR catalyst using the NH₃ present in the exhaust gas stream as a reducing agent. If necessary, additional ammonia water is injected as a reducing agent. During operating phases in which there is only a very low NO_x concentration and NH₃ is present in excess, increased NH₃ emissions may occur. Therefore, it cannot always be guaranteed that a very low NH₃ limit value (e.g. 10 mg/m³) can be reliably complied with. However, the existing operational experiences from plants in Austria and Germany have shown that an NH₃ emission level below 30 mg/m³ can be met.

With regard to NO_x reduction, it can be stated that an emission level below 200 mg/m³ (as daily average) can be reliably complied with using an RTO-SCR system. The objective of the German demonstration project was not to identify the maximum NO_x reduction potential. Operational experiences from an Austrian project have shown that a NO_x level around 150 mg/m³ can be maintained with a low NH₃ escape at the same time [MAU, 2018]. Whether an emission level below 150 mg/m³ (as daily average) could also be reliably complied with has not been investigated in the projects carried out to date.

The abatement of CO and TOC (Σ C) is carried out in a combustion chamber at a minimum temperature of 850 °C. The aim is to carry out oxidation in an autothermal process. If this is not achievable, the combustion chamber can also be fired with natural gas. However, there is not yet sufficient operating experience to assess whether an emission limit value of 50 mg/m³ for CO and 10 mg/m³ for TOC (Σ C) can be reliably complied with.

Operational experiences with SCR and RTO-SCR projects to date have shown that a period of at least 2 - 3 years should be allowed for optimising the system. During this time, frequent downtimes of the

system are to be expected, for which higher emission limits for the components NO_x , NH_3 , CO and TOC (ΣC) must be specified.

The concept of Alpacem Cement, d.d. for Hg reduction combines several complementary primary and secondary measures which can be regarded as state-of-the-art in the cement industry:

- selection of input material with low Hg content and implementation of a quality assurance system for the raw materials and fuels used
- optimization of the conditioning tower and reduction of the operating temperature of the dust filter from 150 to 130 °C
- application of dust shuttling during direct operation (raw mill off) of the kiln system
- injection of activated carbon upstream of the main dust filter if necessary to cut short-term Hg peaks.

Based on the technical configuration of the Anhovo cement plant the installation of the XMercury process would not be appropriate and not feasible for technical and economic reasons. The extremely high volume of filter dust (approximately 30 - 35 t/h) would require a system several times larger than existing reference plants. This would lead to an excessive energy demand and operational complexity. Under such conditions, the application of this process is not advisable.

Therefore, while further Hg reduction measures are being pursued, it should be emphasised that setting a very low emission limit value (e.g. 0,02 mg/m³) at this stage (before full implementation and optimisation of the planned Hg reduction measures) would pose a significant compliance risk. A stepwise approach, based on demonstrated performance data, would be more appropriate in this case.

6 Summary and outlook

Alpacem Cement, d.d. operates a rotary kiln plant for the production of cement clinker at its Anhovo site in Slovenia. Until now, the plant had to comply with emission limits that were largely based on the European Industrial Emissions Directive (IED). To reduce emissions of various air pollutants, processes have been used that had been classified as Best Available Techniques (BAT) for plants in the cement industry.

A change in the national environmental legislation has now significantly tightened the emission limits for some components. The new limits are now based on the upper end of the BAT Associated Emission Levels (BAT-AEL) from the BAT Reference Document (BREF Document) for waste incineration plants. This is intended to harmonise the Slovenian regulations for incineration plants and co-incineration plants.

Some of the new emission limits are significantly below the BAT Associated Emission Levels (BAT-AEL) for cement plants and are unprecedented in the European cement industry. These limits are almost impossible to comply with using existing emission reduction processes. Further measures are required in order to comply with the new limits, particularly for the air pollutants NO_x , NH_3 , TOC (ΣC), CO and Hg.

In order to meet the new requirements, Alpacem Cement, d.d. has co-operated with a technology provider to develop a concept for future emission reduction. This involves the installation of an RTO-SCR plant, which can achieve high reduction rates for the air pollutants NO_x , NH_3 , TOC and CO. To reduce Hg emissions, a combination of various primary measures and the injection of activated coal containing adsorbents will be used in future.

RTO-SCR plants are not yet BAT or state-of-the-art in the cement industry. Operating experiences are available from individual plants in Austria and Germany. In addition, an extensive demonstration project on the application of an RTO-SCR plant was carried out in a German cement plant. However, it has not yet been proven that the low limit values that are to apply to the cement plant in Anhovo can be reliably complied with using this multi-component abatement technique.

It is also questionable whether a Hg limit value of $0,02 \mu\text{g}/\text{m}^3$ can be reliably complied with using the planned reduction measures. Operational experiences with so-called "Emerging Techniques" for Hg reduction are limited, and in many cases their application is not possible or practical for technical and economic reasons. Furthermore, it can be stated that based on the technical configuration of the Anhovo cement plant the installation of the XMercury process would not be feasible for technical and economic reasons. The extremely high volume of filter dust (30 – 35 t/h) would require a system several times larger than existing reference plants. This would lead to an excessive energy demand and operational complexity. Under such conditions, the application of this process is not advisable.

Therefore, derogations should be requested for certain air pollutants and limit values should be set that can be complied with using proven emission reduction methods. Slovenian environmental law provides the possibility for the application of such derogations, but explicitly only for the components SO_2 and TOC (ΣC). However, an additional possibility for granting exemptions is foreseen in Annex 5 of the Regulation on Waste Incineration Plants and Co-Incineration Plants [AN5, 2025]. This possibility exists, if the technology, which would enable to meet the emission limit values, is not available on the market. To date, there is insufficient operational experience with the use of advanced emission reduction techniques to show that the new limits for NO_x , NH_3 , CO, TOC and Hg can be reliably complied with. It is therefore recommended to use the results of the multi-year demonstration project at the Allmendingen cement plant (see Table 6-1) as a guide and to set corresponding emission limits for the Alpacem Cement kiln plant. For the flue gas component Hg, reduction measures like dust shuttling, injection of adsorbents and process optimisation are being pursued. It should be emphasized that setting a very low emission limit value (e.g. $0,02 \text{ mg}/\text{m}^3$) at this stage (before full implementation and

optimisation of the planned measures) would pose a significant compliance risk. A stepwise approach, based on demonstrated performance data, would be more appropriate in the case.

Table 6-1 Achievable emission limit values according to the long-term demonstration project in the Allmendingen cement works [BMU, 2022]

Component	Achievable emission limit (as daily average)
	[mg/m ³] (10 % O ₂)
NO _x	200
NH ₃	30
CO	100
TOC (ΣC)	10
Hg	0,03 *

* According to operational experiences from many cement works with the application of BAT's for Hg abatement

In several European countries, however, such derogations are also granted for other components if the emissions originate predominantly from the raw material. To this end, VDZ recently carried out raw material investigations with expulsion tests to determine the extent of "raw material-generated emissions" of certain flue gas components [VDZ, 2025]. The results of these laboratory investigations are summarized in a separate Technical Report [VDZ, 2024].

In principle, it is to be expected that the implementation of the planned emission reduction measures will lead to a further improvement of the environmental situation in the vicinity of the cement plant.

However, operational experiences from other SCR and RTO-SCR projects show that a sufficiently long period of time must be allowed for the optimisation of the new plants. It is to be expected that this will also result in frequent shutdowns of the emission reduction plants, during which modifications and maintenance work can be carried out. Emission limits must be set for these periods that can be complied with using conventional measures.

VDZ Technology gGmbH
Environment and Plant Technology


Dr Ute Zunzer


Dr Helmut Hoppe


D. Joschko

7 References

- [AN4, 2025] Annex 4 to the "Regulation on Waste Incineration Plants and Waste Co-Incineration plants". Official Journal of the Republic of Slovenia, No 45/25 of 20 June 2025
- [AN5, 2025] Annex 5 to the "Regulation on Waste Incineration Plants and Waste Co-Incineration plants". Official Journal of the Republic of Slovenia, No 45/25 of 20 June 2025
- [BAT, 2013] Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Production of Cement, Lime and Magnesium Oxide. European Commission, Joint Research Centre, 2013
- [BAT, 2019] Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Waste Incineration. European Commission, JRC Science for Policy Report, 2019
- [BIN, 2016] Th. Binninger, K. Schulze: Regenerative Thermal Oxidation in the Cement Industry – Technology and Operation. Waste Management, Vol. 6., S. 417 – 428, TK Verlag, Neuruppin, 2016
- [BMU, 2014] BMU-Umweltinnovationsprogramm: Abschlussbericht zum Vorhaben „Minderung von NO_x-Emissionen in einer Drehofenanlage der Zementindustrie mittels SCR-Technologie (High-Dust) – KfW Aktenzeichen MB e1 – 001599“. Autoren: D. Edelkott, J. Thormann, V. Hoenig, H. Hoppe, M. Oerter, C. Seiler; 2014
- [BMU, 2015] BMU-Umweltinnovationsprogramm: Abschlussbericht zum Vorhaben „Katalytische Low-Dust-Entstickung des Abgases an einer Drehofenanlage der Zementindustrie (Reingas-SCR) – KfW-Aktenzeichen NKa3 – 001706“. Autoren: K. Rechberger, N. Boddendiek; 2015
- [BMU, 2022] BMUV-Umweltinnovationsprogramm: Abschlussbericht zum Vorhaben „Verfahrenskombination von katalytischer Entstickung, thermischer Abgasnachverbrennung und der energetisch-stofflichen Verwertung von biologischen Abfallschlämmen zur Minderung der Emissionen bei gleichzeitiger energetischer Optimierung der Klinkerproduktion in einem Zementwerk – Projekt-Nr. 3174. Autoren: J. Althammer, H. Hoffmann, S. Viola, M. Pirker, H. Hoppe; 2022
- [BMU, 2021] BMUV-Umweltinnovationsprogramm: Kurzbeschreibung des Vorhabens „Verfahrens- und anlagentechnische Demonstration eines neuartig integrierten Heißgasfilter-Katalysator-Systems (HGF-SCR) zur ressourcenschonenden und hochverfügbaren Reduktion von NO_x- und NH₃-Emissionen in Zementdrehofenabgasen“.
- Siehe: <https://www.umweltinnovationsprogramm.de/projekte/verfahrens-und-anlagentechnische-demonstration-eines-neuartig-integrierten-heissgasfilter>
- [CON, 2013] Commission Implementing Decision of 26 March 2013 establishing the best available techniques (BAT) conclusions under Directive 2010/75/EU of the European Parliament and of the Council on industrial emissions for the production of cement, lime and magnesium oxide. Official Journal of the European Union, L100/1; 9.4.2013
- [ECR, 2013] Technical Report TR-ECRA 0049a/2013/M: Guidance Document on BAT-BEP for Mercury in the Cement Industry – Initial Outline. European Cement Research Academy, Düsseldorf, 2013
- [HER, 2016] A. Hermandinger: DeCONOX: Two Solutions in a Single System. World Cement, **February 2016**, S. 53-55
- [HOE, 2024] V. Hoenig, H. Hoppe: Erfahrungen mit der SCR-Technologie in der Zementindustrie. VDI-Berichte Nr. 2432, S. 113-127 (2024)

- [HOP, 2019] H. Hoppe: Opportunity NO_x. World Cement, 2019(3), S. 43 - 48
- [IED, 2010] Directive 2010/75/EU of the European Parliament and of the Council of 24 November 2010 on industrial emissions (integrated pollution prevention and control). Official Journal of the European Union, L 334/17; 17.12.2010
- [KER, 2015] S. Kern, F. Salzer, H. Reinhold: Breaking the mercury cycle for emission abatement with the "ExMercury – Splitted Preheater System". Zement Kalk Gips, **9**, S. 38-44 (2015)
- [KÖC, 2014] Köck, B.: Semi-Dust SCR at Lafarge Mannersdorf. Global Cement Magazine, February 2014, S. 10-14
- [MAU, 2018] G. Mauschitz, A. Secklehner, S. Hagn: The DeCONO_x Process – an example of advanced gas cleaning technology in the Austrian cement industry. Cement International, Vol. **16** (2/2018), S. 34-53
- [PHI, 2013] G. Philipp: Regenerative Thermal Oxidation (RTO) with integrated NO_x reduction. ZKG, 2013(11), S. 30-37
- [REG, 2025] The Regulation on Waste Incineration Plants and Waste Co-Incineration Plants. Official Gazette of the Republic of Slovenia, No. 8/16, 116/21, 44/22 – ZVO-2, 121/22 - ZVOKPOE, 45/25
- [VDI, 2021] VDI 2094: Emission control cement plants. VDI-Handbuch Reinhaltung der Luft, Band 3: Emissionsminderung II. January 2021
- [VDZ, 2024] Technical Report P-2024/0095; A-2024/3609: Expulsion tests with raw material samples from the Anhovo Plant and estimation of raw-material-generated emissions. VDZ Technology gGmbH, Düsseldorf, 2025

8 VDZ reference list

As an international technical and scientific service provider for the cement and building materials industry, VDZ offers comprehensive services in the fields of cement, concrete and environmental protection.

For many years, VDZ has been supporting cement companies in research and consulting projects for the introduction of advanced emission reduction technologies. VDZ is active in various national and international committees and also involved in the upcoming revision of the BREF document for the cement industry.

Below are some examples of the VDZ's activities in this field:

- SNCR demonstration projects (1990s and 2000s) und optimization of SNCR plants in many cement plants
- SCR demonstration projects in Germany (conduction of operational trials, reporting):
 - HD-SCR Project Mergelstetten
 - LD-SCR Project Rohrdorf
 - DeCONOX (RTO-SCR) Project Allmendingen
 - HGF-SCR Project Otterbein
- Long-term work and exchange of operational experiences in VDZ Committee "NO_x abatement" (SNCR, SCR, DeCONOX/RTO-SCR)
- Advising cement plants on the planning of emission abatement facilities
- Consulting of the Swiss BAFU about the state of emission abatement in the cement industry
- Consulting of BAFU and the Swiss cement industry about the NO_x reduction potential of Swiss cement plants
- Involvement as industry representative in the preparation of the cement BREF document
- Involvement as industry representative in the revision of legal regulations on emission control at European and national level



Okolje in tehnologija v obratu

Tehnično poročilo

A-2025/0807

Ocena potencialnih tehnik za zmanjšanje emisij za cementarno Alpacem Anhovo

VDZ Technology gGmbH

P.O. Box 30 10 63 40410
Duesseldorf

Toulouser Allee 71,
40476 Duesseldorf

T +49 (0)211 45 78 0
F +49 (0)211 45 78 296

info@vdz-online.de www.vdz-
online.de

Urad za registracijo: Registrsko
sodišče v kraju Duesseldorf:
Duesseldorf, št. HRB 66898

Izvršni direktor VDZ e.V.:
Dr Martin Schneider

Generalni direktorji:
Dr Christoph Muller
Dr Jorg Rickert
Dr Ute Zunzer

Ocena potencialnih tehnik za zmanjšanje emisij za cementarno Alpacem Anhovo

Stranka:	Alpacem Cement, d.d. Anhovo 1 5210 Deskle Slovenija
Datum naročila:	01.08.2025
Številka naročila stranke:	POR25-09883
Naša številka naročila:	A-2025/0807
Vodja projektov:	Dr Helmut Hoppe
Odgovorna oseba:	Dr Ute Zunzer
Oddelek:	Okolje in tehnologija v obratu
Datum pošiljanja:	29.10.2025
Vsebina:	21 strani

Kazalo

1	Uvod	5
2	Opis proizvodnje cementa v cementarni Alpacem Anhovo	6
2.1	Sistem peči	6
2.2	Pot dimnih plinov in načini delovanja	6
2.3	Ukrepi za zmanjševanje emisij	6
2.4	Uporaba alternativnih goriv	7
3	Mejne vrednosti emisij in trenutno stanje emisij	8
3.1	Mejne vrednosti emisij na evropski in nacionalni ravni	8
3.2	Mejne vrednosti emisij v Sloveniji	8
3.3	Možnosti uporabe odstopanj	10
3.4	Povprečna koncentracija emisij v letih 2023 in 2024 ter zahtevane stopnje zmanjšanja	10
4	Stanje na področju zmanjševanja emisij v cementni industriji za NO_x, NH₃, TOC, CO in Hg	12
4.1	NO _x in NH ₃	12
4.2	CO in TOC	13
4.3	Hg	13
5	Koncept podjetja Alpacem za izpolnjevanje prihodnjih mejnih vrednosti emisij za NO_x, NH₃, TOC, CO in Hg	15
6	Povzetek in napovedi	17
7	Reference	19
8	Referenčni seznam VDZ	21

Seznam okrajšav:

AEL:	povezana raven emisij (Associated Emission Level)
BAT:	najboljše razpoložljive tehnike (Best Available Techniques)
BREF:	referenca BAT (dokument)
ELV:	mejna vrednost emisij (Emission Limit Value)
HD:	visoka vsebnost prahu (High-Dust)
IED:	Direktiva o industrijskih emisijah (Industrial Emissions Directive)
LD:	nizka vsebnost prahu (Low-Dust)
PCDD/F:	poliklorirani dioksini in furani
RDF:	gorivo iz odpadkov (Refuse-Derived Fuel)
RTO:	regenerativna termična oksidacija ali regenerativni termični oksidator
SCR:	selektivna katalitska redukcija
SNCR:	selektivna nekatalitska redukcija
s.t.p.:	standardna temperatura in tlak
TOC:	skupni organski ogljik
VDZ:	Verein Deutscher Zementwerke (Nemško združenje cementarjev)

1 Uvod

Podjetje Alpacem Cement, d.d., ki deluje v regiji Alpe-Adria, se specializira za proizvodnjo cementa in drugih veziv, betona in agregatov, kot sta pesek in gramoz. V Sloveniji letna proizvodna zmogljivost njihove cementarne Anhovo znaša približno 1,3 milijonov ton cementa.

Cementarna v Anhovem mora upoštevati nacionalne mejne vrednosti emisij za ključne komponente dimnih plinov, ki temeljijo predvsem na evropski direktivi o industrijskih emisijah (IED), zlasti na predpisih za cementarne, ki sosežigajo odpadke [IED, 2010].

Pred tem so bile obstoječe metode za zmanjšanje emisij zadostne za izpolnitev teh omejitev. Vendar si je slovenski parlament prizadeval za usklajitev mejnih vrednosti emisij tako za naprave za sosežig kot za sežigalnice. Ta prizadevanja so privedla do sprejema nove Uredbe o sežigalnicah odpadkov in napravah za sosežig [REG, 2025] v juniju 2025, ki nalaga bistveno strožje mejne vrednosti emisij za več komponent dimnih plinov. Nekatere od teh novih omejitev presegajo predpise, ki jih določa IED, in dosegajo ravni, za katere v evropski cementni industriji doslej še ni primerljivih primerov. Čeprav cementarna Alpacem Anhovo že uporablja »najboljše razpoložljive tehnike« (BAT) za proizvodnjo cementa [BAT, 2013], je verjetno, da izpolnjevanje strožjih mejnih vrednosti ne bo mogoče v vseh primerih. Zlasti za onesnaževala zraka NO_x, NH₃, TOC (ΣC), CO in Hg bodo za skladnost z novimi mejnimi vrednostmi v prihodnosti potrebni procesi z višjim redukcijskim potencialom. Nekateri od teh možnih ukrepov za ublažitev presegajo navedbe iz referenčnega dokumenta BAT [BAT, 2013] za cementarne in ravni emisij, ki jih je mogoče doseči, ki so določene v tem dokumentu. Kljub temu bo morda treba zaprositi za odstopanja za nekatere mejne vrednosti, da se omogoči varno delovanje peči.

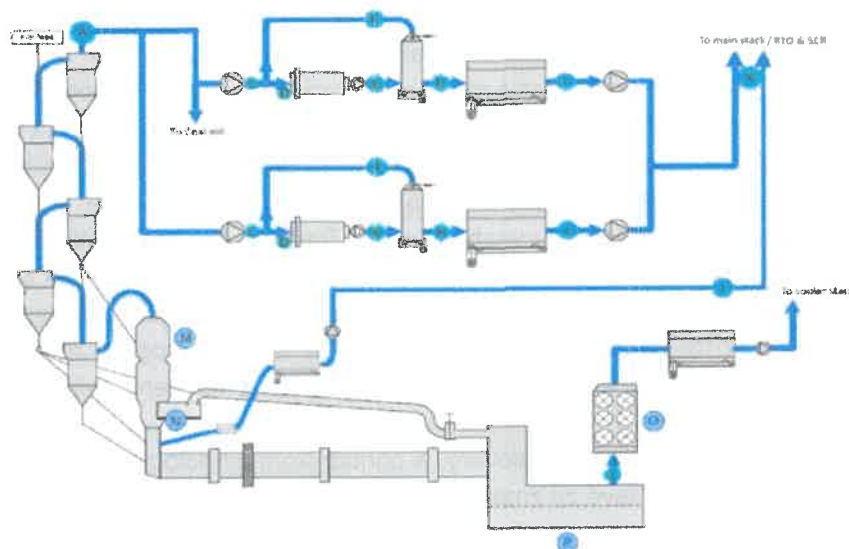
Na podlagi tega je podjetje Alpacem Cement, d.d. v sodelovanju s ponudnikom tehnologije razvilo koncept, ki bi lahko v veliki meri izpolnjeval prihodnje zahteve za zmanjševanje emisij.

Podjetje Alpacem Cement, d.d. je pri podjetju VDZ Technology gGmbH naročilo oceno trenutnega stanja emisij in potencialnih tehnik za zmanjšanje emisij v statusu BAT ali zunaj njega za cementarne. Pri tem se upošteva stanje tehnike v cementni industriji in sorazmernost ukrepov za omogočanje proizvodnje cementnega klinkerja, ki so upravičeni s tehničnega in ekonomskega vidika.

2 Opis proizvodnje cementa v cementarni Alpacem Anhovo

2.1 Sistem peči

Sistem peči v cementarni Alpacem Anhovo je sestavljen iz rotacijske peči s petstopenjskim suspenzijskim izmenjevalnikom toplote, linijskim kalcinatorjem (vključno s tako imenovanim »hot disc«), sistemov za izločanje kloridov (bypass sistemom) in rešetkastim hladilnikom klinkerja (glej **sliko 2.1**). Po izmenjevalniku toplote se tok izpušnih plinov razdeli v dve veji ki prehajata skozi dva mlina za surovine in dva sistema vrečastih filtrov. Največja zmogljivost peči glede na okoljevarstveno dovoljenje znaša 3.180 t klinkerja/dan.



- A: izhod izmenjevalnika toplote
- C: izhod ventilatorja za odsesavanje
- D: vhod v drobilnik surovin
- E: izhod ventilatorja drobilnika surovin
- F: vhod v stolp za kondicioniranje plinov
- F: izhod iz stolpa za kondicioniranje plinov
- I: izhod glavnega filtra
- J: obvodni tok za Cl
- K: spremljanje emisij plina (tok glavnega odvodnika)
- L: hladnejši izhodni zrak
- M: kalcinator
- N: »hot disc«
- O: hladilnik zrak/zrak
- P: hladilnik klinkerja

Slika 2-1 Procesna shema proizvodnje klinkerja

Goriva, kot so zemeljski plin, naftni koks in RDF (gorivo iz odpadkov), se uporabljajo na glavnem kurišču, medtem ko se rabljene pnevmatike, naftni koks in RDF uporabljajo kot goriva v kalcinatorju s »hot-discom« (glej **sliko 2-1**).

2.2 Poti dimnih plinov in načini delovanja

Izpušni plini iz peči prehajajo skozi predkalcinator in izmenjevalnik toplote in se nato razdelijo na dva delna pretoka, potem ko zapustijo izmenjevalnik toplote. Nato se izhodni plin iz izmenjevalnika toplote (surovi plin) uporabi za sušenje surovine v mlinih za surovine. Peč večino časa obratuje v tako imenovanem kombiniranem načinu (obratujeta dva mlina za surovine) ali v napol neposrednem načinu (obratuje le en mlin za surovine). Pri tako imenovanem »neposrednem delovanju« (noben mlin za surovine ne deluje) se surovi plin ohladi v stolpih za kondicioniranje in odpraši v tkaninskih filterih. Ta način delovanja predstavlja le 1 % letnega časa delovanja. V tem načinu delovanja surovi plini obidejo mlina za surovine in se ohladijo. Kombinirani tok plina se v ozračje oddaja prek glavnega odvodnika.

Plin, iz izločevalca kloridov (bypass sistem), se odpraši v ločenem filtru in se združi z glavnim tokom dimnih plinov. Prah iz izločevalca kloridov (ločen bypass prah) se shranjuje v silosu in se lahko uporablja v postopku mletja cementa.

Hladnejši izhodni zrak se ohladi v hladilniku zrak/zrak, odpraši in sprosti v ozračje prek ločenega odvodnika.

2.3 Ukrepi za zmanjševanje emisij

Rotacijska cementna peč cementarne Alpacem Anhovo je opremljena z različnimi ukrepi za zmanjševanje emisij. Sodobni vrečasti filtri so nameščeni na obeh linijah dimnih plinov, na izstopnem zraku iz hladilnika in izstopu iz bypass sistema, da se zmanjšajo emisije prahu (glej **sliko 2-1**). Za zmanjšanje NO_x se kot »primarna ukrepa« uporabljata gorilnik z nizkimi emisijami NO_x in linijski kalcinator (postopno zgorevanje). Poleg tega se kot »sekundarni ukrep« za zmanjševanje NO_x uporablja postopek SNCR (selektivne nekatalitske redukcije). Po potrebi se lahko koncentracija žveplovih oksidov v dimnih plinih zmanjša z vbrizgavanjem suhega natrijevega bikarbonata (NaHCO₃). Vsi ti nadzorni ukrepi so razvrščeni kot tako imenovane »najboljše razpoložljive tehnike« (BAT) za zmanjšanje emisij v cementni industriji [BREF, 2013] (glej **poglavje 4**).

2.4 Uporaba alternativnih goriv

V rotacijski peči Anhovo se pri glavnem žganju in v vročem disku uporabljajo fosilna goriva, kot sta zemeljski plin in naftni koks. Poleg tega se uporabljajo tudi odpadna goriva ali tako imenovana »alternativna goriva«. V skladu s tem se uporabljajo predpisi evropske Direktive o industrijskih emisijah (IED) in slovenske okoljske zakonodaje za cementarne, ki sosežigajo odpadke (glej **poglavje 3.1**).

3 Mejne vrednosti emisij in trenutno stanje emisij

3.1 Mejne vrednosti emisij na evropski in nacionalni ravni

Direktiva o industrijskih emisijah (IED) je najpomembnejša evropska uredba za nadzor nad emisijami industrijskih naprav. Pristojni organi morajo izdati dovoljenja in določiti mejne vrednosti emisij na podlagi uporabe najboljših razpoložljivih tehnik (BAT) za posamezne industrijske sektorje. Trenutno so na voljo referenčni dokumenti BAT (dokumenti BREF) za 37 industrijskih in kmetijskih procesov. Referenčni dokument BAT vsebuje opis posameznega procesa, nastanek različnih onesnaževal in različne ukrepe za nadzor izpusta onesnaževal v okolje. Nazadnje so izbrane tehnike za zmanjšanje emisij razvrščene kot najboljše razpoložljive tehnologije, opredeljena pa je tudi raven emisij, povezana z najboljšimi razpoložljivimi tehnologijami (BAT-AEL), ki jo je mogoče doseči, če se pri zadevnem postopku uporabi najboljša razpoložljiva tehnologija. Tako imenovani zaključki BAT [CON, 2013] so krajši in bolj zgoščeni dokumenti, ki vsebujejo najpomembnejše informacije o BAT in dosegljivih ravneh emisij za zadevni industrijski sektor.

V evropskem referenčnem dokumentu BREF za cementno industrijo [BAT, 2013] je bilo več tehnik za zmanjšanje emisij razvrščenih kot BAT. Poleg tega so bile opredeljene tudi ravni emisij, povezane z najboljšimi razpoložljivimi tehnologijami, za zmanjšanje več onesnaževal zraka. Naslednje poglavje 4 vsebuje kratek opis najboljših razpoložljivih tehnologij za zmanjšanje ustreznih onesnaževal zraka (NO_x, NH₃, TOC, CO, Hg) in ravni emisij, povezanih z najboljšimi razpoložljivimi tehnologijami (BAT-AEL).

Predpise evropskih direktiv, kot je IED, je treba prenesti v nacionalno zakonodajo držav članic. V Sloveniji se IED izvaja v Zakonu o varstvu okolja in Uredbi o sežigalnicah odpadkov in napravah za sosežig [REG, 2025].

3.2 Mejne vrednosti emisij v Sloveniji

Trenutno predpisane nacionalne mejne vrednosti emisij za cementarno Alpacem Anhovo so navedene v spodnji preglednici 3-1. V desnem stolpcu so poleg tega prikazane mejne vrednosti emisij (za cementarne, ki sosežigajo odpadke) v skladu z evropsko IED [IED, 2010].

Preglednica 3-1 Trenutne mejne vrednosti emisij za cementno peč Alpacem Anhovo v primerjavi z vrednostmi iz IED

Onesnaževalo	Enota	Trenutna ELV	Mejne vrednosti emisij v skladu z IED
Prah	mg/m ³ (standardna temperatura in tlak, ref. vrednost do 10 % O ₂)	20	30
NO _x		500	500
TOC (ΣC)		50	10*
CO		/	***
NH ₃		50	/
SO _x		50	50*
HCl		10**	10
HF		1**	1
Hg		0,05**	0,05
Cd in Tl		0,05**	0,05
Druge težke kovine/elementi v sledovih (Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V)		0,5**	0,5 (skupna vrednost)
PCDD/F	ng I-TEQ/m ³	0,1**	0,1

*Pristojni organ lahko odobri odstopanja za mejne vrednosti emisij, določene v tej točki, če TOC in SO₂ nista posledica sosežiga odpadkov.

**Občasne meritve.

***Pristojni organ lahko določi mejno vrednost emisij za CO.

Trenutno veljavne mejne vrednosti v veliki meri temeljijo na specifikacijah iz evropske IED, vendar obstajajo razlike za posamezne komponente:

- za komponento prahu je bila mejna vrednost nižja od tiste, navedene v IED;
- za TOC (ΣC) je bila v skladu s predpisi IED določena višja mejna vrednost;
- v nasprotju s predpisi IED (glej št. 2.4 Priloge VI) za CO še ni bila določena nobena mejna vrednost;
- mejna vrednost 50 mg/m^3 je že veljala za NH_3 , čeprav v IED še ni navedena mejna vrednost za to komponento.

Leta 2024 je Slovenija sprejela revidirano različico Zakona o varstvu okolja, ki od cementarn, ki sosežigajo odpadke, zahteva, da izpolnjujejo enake mejne vrednosti emisij kot sežigalnice odpadkov. Ta uskladitev je bila podrobneje opredeljena in formalizirana leta 2025 s sprejetjem nove Uredbe o sežigalnicah odpadkov in napravah za sosežig odpadkov [REG, 2025], ki izrecno opredeljuje veljavne mejne vrednosti emisij in določa pogoje, pod katerimi se lahko odobrijo odstopanja.

Nove mejne vrednosti emisij so veliko strožje od trenutno veljavnih mejnih vrednosti in temeljijo na dosegljivih ravneh emisij referenčnega dokumenta BREF za sežig odpadkov [BAT, 2019], ne pa na dosegljivih ravneh emisij referenčnega dokumenta BREF [BAT, 2013] za cement. Nova uredba določa tudi mejne vrednosti emisij v polurnem povprečju ter letne povprečne mejne vrednosti za TOC (ΣC) in Hg (glej preglednico 3-3). Nove mejne vrednosti so navedene v Prilogi 4, št. 1.2 nove uredbe za cementarne, ki sosežigajo odpadke [AN4, 2025].

Preglednica 3-2 Nove slovenske mejne vrednosti emisij za cementarne, ki sosežigajo odpadke [AN4, 2025]

Priloga 3-2 Nove slovenske mejne vrednosti emisij za cementarne, ki susežigajo odpadke (ANV, 2020)					
Onesnaževalo	Enota	Mejne vrednosti emisij (ELV)			
		Dnevno povprečje	Mejna vrednost emisij za vsa polurna povprečja	Mejna vrednost emisij za 97 % izmerjenih količin	Letno povprečje
Prah	mg/m³ (standardna temperatura in tlak, suho, ref. do 10 % O2)	5	30	15	/
NO _x		150	500	400	/
TOC (ΣC)		10	80	50	10
CO		50	/	100	/
NH ₃		10	/	/	/
SO _x		40	200	75	/
HCl		8	40	30	/
HF		1	4	2	/
Hg		0,02	/	/	0,02
		Mejne vrednosti emisij v obdobju vzorčenja			
Cd in Tl	mg/m³ (standardna temperatura in tlak, suho, ref. do 10 % O2)	0,02			
Druge težke kovine/elementi v sledovih (Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V)		0,3			
PCDD/F	ng I-TEQ /m³ (standardna temperatura in tlak, suho, ref. do 10 %	0,06			

Nove mejne vrednosti niso usklajene z BAT-AEL referenčnega dokumenta BREF o cementu, temveč z zgornjim delom območij (BAT-AEL) referenčnega dokumenta BREF o sežiganju odpadkov [BAT, 2019]. Nove mejne vrednosti predstavljajo znatno zaostritev standardov za skoraj vse komponente izpušnih plinov in so med najnižjimi mejnimi vrednostmi za cementarne v Evropi. Z veljavnimi ukrepi za nadzor nad emisijami bi bilo te strožje zahteve težko dosledno izpolnjevati. Zato je treba predvideti ukrepe za odpravo emisij z večjim potencialom za zmanjševanje. V naslednjem poglavju 4 je naveden opis tehnik za zmanjševanje emisij, ki so bile razvrščene kot najboljše razpoložljive tehnologije za cementni sektor, in dodatnih (nastajajočih) tehnik, ki presegajo status najboljše razpoložljive tehnologije.

3.3 Možnosti uporabe odstopanj

Evropska IED upravljavcem cementnih peči, v katerih se sosežigajo odpadki, ponuja možnost, da zaprosijo za izjeme od mejnih vrednosti za SO₂ in TOC, če emisije teh sestavin ne izvirajo iz sežiganja odpadkov (glej Prilogo VI, del 4, št. 2.3 k IED).

Ta možnost je bila vključena tudi v slovensko uredbo o sežigalnicah odpadkov in napravah za sosežig (glej člen 8) [REF, 2025]. V drugih državah, npr. v Nemčiji, je mogoče zaprositi tudi za odstopanja za CO, NH₃ in Hg, če so emisije pretežno posledica sestave surovine (emisije, ki jih ustvarjajo surovine).

Podjetje VDZ je pred kratkim izvedlo laboratorijske meritve [VDZ, 2025] z vzorci surovin iz cementarne Alpacem Anhovo in določilo emisije več komponent dimnih plinov, ki jih ustvarjajo surovine. Preiskave so pokazale, da novih mejnih vrednosti emisij za več komponent ni bilo mogoče izpolniti z najbolje dokazanimi ukrepi za zmanjšanje emisij, in sicer samo zaradi emisij iz surovine.

Poleg tega določbe v točki 3.3 Priloge 5 zgoraj navedene slovenske uredbe [AN5, 2025] omogočajo odobritev odstopanj v primerih, ko tehnologija, ki bi omogočila skladnost z mejnimi vrednostmi, ni na voljo na trgu. Skladnost z novimi mejnimi vrednostmi bi bila ob upoštevanju trenutnega stanja v procesih zmanjševanja emisij za vsako cementarno izjemno zahtevna.

3.4 Povprečna koncentracija emisij v letih 2023 in 2024 ter zahtevane stopnje zmanjšanja

Letna povprečja za leti 2023 in 2024 za komponente dimnih plinov, ki se merijo neprekinjeno, so navedena v naslednji preglednici 3-3. Poleg tega je navedena zahtevana stopnja zmanjšanja za izpolnitev prihodnjih mejnih vrednosti emisij za NO_x, NH₃, TOC in CO, in sicer v primerjavi s stanjem emisij v letu 2024.

Preglednica 3-3 Koncentracija emisij (glavni odvodnik) različnih komponent dimnih plinov v letih 2023 in 2024 (letna povprečja; merilna negotovost ni upoštevana)

Parameter	Letna povprečja		Nova mejna vrednost emisij	Zahtevana stopnja zmanjševanja
	2023	2024		
	[mg/m ³] (standardna temperatura in tlak, 10 % O ₂)			[%]
Prah	0,99	1,1	5	
SO _x	8,4	8,6	40	
NO _x	502	479	150	> 69
NH ₃	29,9	28,4	10	> 65
TOC	30,9	28,1	10	> 64
CO	339	267	50	> 81

Letne povprečne vrednosti za prah in SO₂ v letih 2023 in 2024 so precej nižje od novih mejnih vrednosti emisij. Za komponento NH₃ je letno povprečje bistveno višje od nove mejne vrednosti 30 mg/m³. Varna skladnost z dnevno povprečno vrednostjo tega obsega ni mogoča. Trenutne povprečne letne koncentracije emisij NO_x, TOC in CO so precej višje od novih mejnih vrednosti. Če bi bile uvedene te strožje mejne vrednosti emisij, bi bile potrebne visoke stopnje zmanjševanja, da bi se dosegle mejne vrednosti. V naslednjem **poglavju 4** je naveden kratek pregled razpoložljivih tehnik za zmanjšanje emisij za zadevna onesnaževala zraka in dosegljive ravni emisij.

4 Stanje na področju zmanjševanja emisij v cementni industriji za NO_x, NH₃, TOC, CO in Hg

4.1 NO_x in NH₃

Zmanjševanje emisij NO_x (NO in NO₂, izraženo kot NO₂) iz postopka žganja klinkerja je mogoče doseči s tako imenovanimi primarnimi (procesno integriranimi) ukrepi in sekundarnimi ukrepi. V skladu z referenčnim dokumentom BREF za cementno industrijo so bili naslednji ukrepi razvrščeni kot najboljše razpoložljive tehnologije (BAT):

Primarni ukrepi:

- hlajenje plamena
- gorilniki z nizko vsebnostjo NO_x
- gorenje v sredini peči
- dodajanje mineralizatorjev
- optimizacija procesov

Sekundarni ukrepi:

- selektivna nekatalitska redukcija (SNCR)
- selektivna katalitska redukcija (SCR)

Visoke stopnje zmanjšanja NO_x je mogoče doseči le z uporabo sekundarnih ukrepov, kot so SNCR, SCR in RTO-SCR (kombinacija SCR za nizko vsebnost prahu z regenerativnim toplotnim oksidatorjem). V vseh treh postopkih se lahko raztopina amonijaka uporabi kot reducent za dušikove okside. Postopek SCR je mogoče namestiti v različnih konfiguracijah, in sicer kot SCR za visoko vsebnost prahu (HD-SCR) in SCR za nizko vsebnost prahu (LD-SCR). Še ena konfiguracija procesa SCR (Semi-Dust-SCR) je bila nameščena enkrat, in sicer v avstrijski cementarni [KOC, 2014]. Status BAT za postopek SCR je bil potrjen eni omejitvi, in sicer je bilo navedeno, da je uporabnost selektivne katalitske redukcije »odvisna od ustreznega razvoja katalizatorjev in procesov v cementni industriji« [BAT, 2013]. Vendar ta razvrstitev odraža stanje znanja v letu 2010. Od takrat se v nemški cementni industriji izvajajo demonstracijski projekti SCR. V okviru demonstracijskih projektov so bile pridobljene dolgoročne izkušnje z delovanjem procesa HD-SCR, procesa LD-SCR in postopka RTO-SCR. Rezultati so povzeti v obsežnih tehničnih poročilih [BMU, 2014], [BMU, 2015], [BMU, 2022]. Medtem v nemški cementni industriji deluje več kot 20 obratov SCR, več pa jih je tudi v Avstriji in Italiji. Zato lahko proces SCR razumemo kot najsodobnejšo tehnologijo v cementni industriji. Trenutno stanje znanja o uporabi procesa SCR v cementni industriji je bilo v zadnjih letih povzeto v strokovnih publikacijah [HOP, 2019], [HOE, 2024]. Pridobljeni dolgoročni rezultati so pokazali, da je mogoče doseči raven emisij NO_x pod 200 mg/m³ in raven emisij NH₃ pod 30 mg/m³ (kot dnevna povprečja). Vendar ni bilo dokazano, da bi bilo raven emisij NO_x pod 150 mg/m³ ali raven emisij NH₃ pod 10 mg/m³ (kot dnevna povprečja) mogoče tudi varno ohranjati. Poleg tega so razpoložljive operativne izkušnje iz številnih projektov SCR pokazale, da imajo katalizatorji SCR določen potencial za zmanjšanje TOC (ΣC), ne pa tudi za CH₄ in druge komponente C₁/C₂ ali za CO.

Medtem se pripravlja postopek revizije referenčnega dokumenta BREF za cement. Vendar pa se dejansko delo ne bo začelo pred letom 2027. Verjetno je, da bo spremenjeni dokument BREF za cement brez omejitev navedel proces SCR kot najboljše razpoložljivo tehnologijo.

V skladu z referenčnim dokumentom za cement je ravni emisij NO_x in NH₃, ki so navedene v **preglednici 4-1**, doseči z uporabo BAT v cementnih pečeh.

Preglednica 4-1 Ravni emisij, povezane z najboljšimi razpoložljivimi tehnologijami, za NO_x in NH₃

Parameter	Enota (standardna temperatura in tlak, 10 % O ₂)	Ravni emisij, povezane z najboljšimi razpoložljivimi tehnologijami (dnevno povprečje)	Opomba
NO _x	mg/m ³	< 200 – 450	za peči z izmenjevalnikom toplote
NH ₃		< 30 – 50	če se uporablja postopek SNCR

4.2 CO in TOC

Referenčni dokument BREF, ki odraža stanje zmanjšanja emisij v letu 2010, vsebuje zelo malo informacij o zmanjšanju emisij CO in TOC. Edina najboljša razpoložljiva tehnologija za zmanjšanje emisij TOC je »izogibanje dovajanju surovin z visoko vsebnostjo hlapnih organskih spojin (VOC) v sistem peči po poti dovajanja surovin« [BAT, 2013]. V zvezi z ogljikovim monoksidom je v referenčnem dokumentu BREF obravnavano samo zmanjšanje emisij CO. Takrat v cementni industriji niso bile na voljo operativne izkušnje z nadaljnjimi ukrepi za zmanjšanje emisij, ki bi temeljile na zgorevanju/oksidaciji TOC in CO. Zato ravni emisij, povezane z najboljšimi razpoložljivimi tehnologijami, niso navedene v dokumentu BREF za cement.

Nemška smernica VDI 2094 [VDI, 2021] je novejši dokument, ki vsebuje opise tehnologij proizvodnje cementa, izkoriščanja odpadkov v cementni industriji ter emisij iz procesa proizvodnje cementa in ukrepov za nadzor emisij. Poleg tega so v dokumentu zajete tako imenovane »nastajajoče tehnike«.

Za nadzor emisij CO so navedeni samo primarni (procesno integrirani) ukrepi, ki kažejo le omejen potencial za zmanjševanje in niso primerni za doseganje zelo nizkih ravni emisij CO. Za nadzor emisij organskih spojin (TOC) je treba opozoriti, da se v sistem peči ne sme dovajati surovin z visoko vsebnostjo VOC po poti dovajanja surovin (glej zgoraj). Poleg tega so navedene operativne izkušnje iz predstavitvenih projektov SCR in drugih projektov SCR, v skladu s katerimi je s katalizatorjem SCR mogoče doseči 40-70 % zmanjšanje TOC. Vendar pa je stopnja zmanjšanja za komponente C₁/C₂ bistveno nižja, CH₄ pa se ne razgradi na katalizatorju SCR.

Nadaljnji ukrepi (na koncu procesa) za zmanjšanje emisij CO in TOC so omenjeni v poglavju o »nastajajočih tehnikah«. Tako imenovana regenerativna termična oksidacija (RTO) je ustrezen ukrep za zmanjšanje emisij CO in TOC. Odprašeni dimni plin se segreje do temperature najmanj 850 °C, da se doseže skoraj popolna oksidacija obeh komponent. Dolgoročne operativne izkušnje so bile pridobljene v avstrijski cementarni [PHI, 2013], pri čemer je bilo za obe komponenti mogoče doseči visoke stopnje redukcije v višini približno 99 %. S tem je bila dosežena nizka raven emisij CO 100 mg/m³ in raven emisij TOC pod 20 mg/m³.

Poleg tega je bil postopek RTO-SCR v smernici VDI razvrščen kot »nastajajoča tehnika«. Postopek RTO-SCR je večkomponentni ukrep za zmanjšanje emisij, in sicer gre za kombinacijo sistema SCR za nizko vsebnost prahu in regenerativnega termičnega oksidatorja. Na ta način je mogoče doseči zmanjšanje NO_x, NH₃, CO in TOC. Operativne izkušnje so bile pridobljene v cementarnah v Avstriji [MAU, 2018] in Nemčiji. Poleg tega so na voljo obsežne operativne izkušnje iz demonstracijskega projekta v nemški cementarni [BMU, 2022]. Demonstracijski projekt je pokazal, da je mogoče doseči raven emisij CO pod 100 mg/m³ in raven emisij TOC pod 10 mg/m³.

4.3 Hg

Referenčni dokument BREF za cement vsebuje le malo informacij o ukrepih za nadzor nad emisijami elementov v sledovih. Edini ukrep, ki je bil razvrščen kot BAT, je izbira materialov z nizko vsebnostjo ustreznih kovin in omejitev vsebnosti ustreznih kovin v tokovih vhodnih materialov, zlasti vnosa živega srebra zaradi njegove visoke hlapnosti. Kljub očitnemu pomanjkanju možnosti za nadzor emisij Hg je bila določena raven emisij, povezana z najboljšimi razpoložljivimi tehnologijami, v višini < 0,05 mg/m³.

Preglednica 4-2 Ravni emisij, povezane z najboljšimi razpoložljivimi tehnologijami, za Hg

Parameter	Enota (standardna temperatura in tlak, 10 % O ₂)	Ravni emisij, povezane z najboljšimi razpoložljivimi tehnologijami (dnevno povprečje)	Opomba
Hg	mg/m ³	< 0,05*	

* vrednosti blizu 0,05 mg/m³ zahtevajo upoštevanje dodatnih tehnik (npr. znižanje temperature dimnih plinov, aktivno oglje)

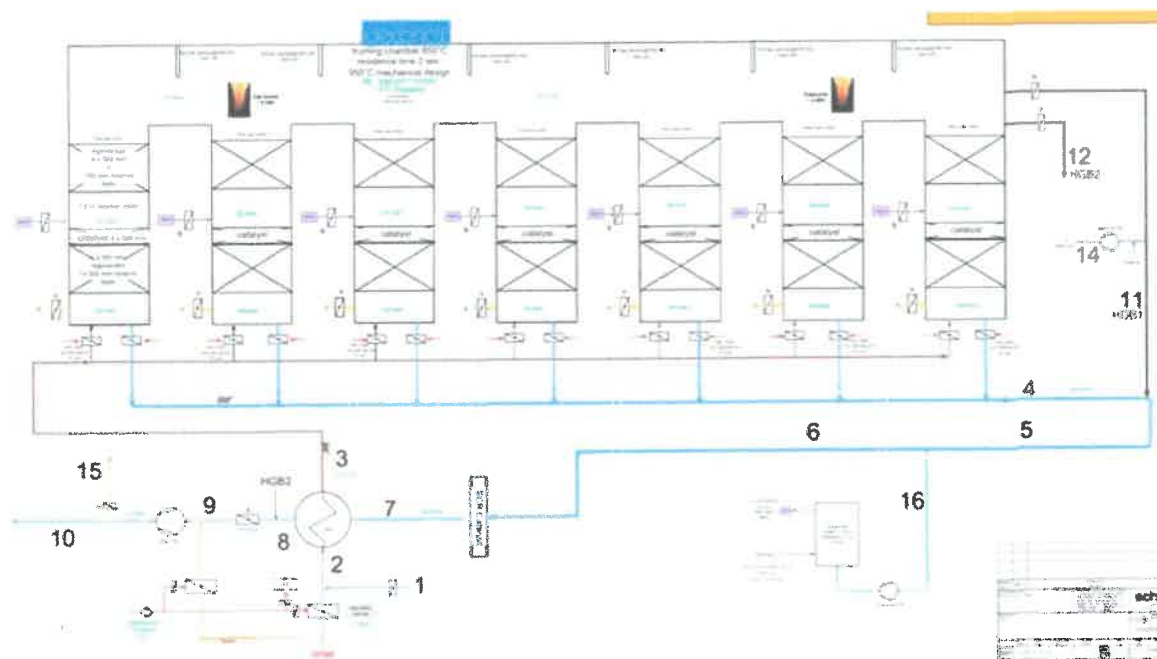
Nemški standard VDI 2094 [VDI, 2021] določa nadaljnje ukrepe za omejevanje emisij Hg iz cementnih peči. Kot je navedeno v referenčnem dokumentu BREF za cement, se je v postopku žganja klinkerja priporočljivo izogibati uporabi surovin in goriv z visoko vsebnostjo živega srebra. Poleg tega sta omenjena odstranjevanje filterkega prahu in uporaba prahu med mletjem cementa. Projekti SCR v cementni industriji so pokazali, da se nekaj elementarnega živega srebra v toku izpušnih plinov v katalizatorju pretvori v ionsko živo srebro. To omogoča povečano ločevanje živega srebra, vezanega na delce, med odstranjevanjem prahu iz izpušnih plinov peči. V smernici VDI je opisano tudi vbrizgavanje adsorbentov, kot je aktivno oglje ali koks iz ognjišča.

Poglavje o nastajajočih tehnikah omenja tudi dve novejši metodi za redukcijo Hg, in sicer postopek XMercury in postopek SPC (Sorbent Polymer Catalyst Composite). Postopek XMercury je bil preizkušen v cementarnah v Avstriji in Nemčiji [KER, 2015]. [BMU, 2022]. V tem postopku se Hg izloči iz dela filterkega prahu in nato adsorbira na aktivno oglje ali koks. Ta ukrep vodi k razbremenitvi ciklov Hg in s tem tudi k zmanjšanju emisij Hg.

Postopek SPC temelji na moduli s polimernimi matricami, v katere so vključene katalitsko aktivne spojine. Na površini kompozitnega materiala se odlagata prah in voda, v kompozitni material pa prodirajo plinasta onesnaževala. SO₂ oksidira v žveplovo kislino, ki odteče v kapljicah in jo je pozneje mogoče reciklirati. Elementarni in ionski Hg se adsorbira na površini in se tako naloži na modul. Regeneracija modulov ni predvidena, kar pomeni, da morajo biti tako naloženi moduli odstranjeni. Postopek SPC naj bi omogočil več kot 85-odstotno stopnjo ločevanja Hg. Izkušenj iz cementne industrije ni veliko, obstaja le nekaj rezultatov pilotnega preskusa iz ameriške cementarne.

5 Koncept podjetja Alpacem za izpolnjevanje prihodnjih mejnih vrednosti emisij za NO_x, NH₃, TOC, CO in Hg

Podjetje Alpacem Cement, d.d. je v sodelovanju s ponudnikom tehnologije razvil koncept za izpolnjevanje prihodnjih zahtev po zmanjšanju emisij. Predvidena je namestitev sistema RTO-SCR (kombinacija SCR z nizko vsebnostjo NO_x in regenerativnega toplotnega oksidatorja, glej **poglavji 4.1 in 4.2**), ki bo dosegel visoke stopnje zmanjšanja za komponente NO_x, NH₃, CO in TOC (ΣC). Zaradi visoke stopnje pretoka izpušnih plinov je predvidena vgradnja različice s 7 stolpi (glej **sliko 5-1**).



Slika 5-1 Shema poteka naprave RTO-SCR (različica s 7 stolpi); (vir: Scheuch GmbH, Aurolzmunster, Avstrija)

Redukcija NO_x poteka na katalizatorju SCR z uporabo NH_3 , ki je prisoten v toku izpušnih plinov kot redukcijsko sredstvo. Po potrebi se kot reducent vbrizga dodatna vodna raztopina amonijaka. Med delovnimi fazami, v katerih je koncentracija NO_x zelo nizka in je NH_3 prisoten v presežku, se lahko pojavijo povečane emisije NH_3 . Zato ni vedno mogoče zagotoviti, da je mogoče zanesljivo upoštevati zelo nizko mejno vrednost NH_3 (npr. 10 mg/m^3). Vendar pa so obstoječe operativne izkušnje iz obratov v Avstriji in Nemčiji pokazale, da je mogoče doseči raven emisij NH_3 , ki so nižje od 30 mg/m^3 .

Kar zadeva zmanjšanje NO_x , je mogoče navesti, da je raven emisij pod 200 mg/m^3 (kot dnevno povprečje) mogoče zanesljivo upoštevati z uporabo sistema RTO-SCR. Cilj nemškega demonstracijskega projekta ni bila opredelitev največjega potenciala za zmanjšanje NO_x . Operativne izkušnje iz avstrijskega projekta so pokazale, da je mogoče hkrati ohraniti raven NO_x okoli 150 mg/m^3 z nizkim uhajanjem NH_3 [MAU, 2018]. V dosedanjih projektih ni bilo raziskano, ali bi bilo mogoče zanesljivo upoštevati tudi raven emisij pod 150 mg/m^3 (kot dnevno povprečje).

Zmanjšanje CO in TOC (ΣC) se izvede v zgorevalni komori pri minimalni temperaturi 850°C . Cilj je izvedba oksidacije v avtotermalnem procesu. Če tega ni mogoče doseči, se lahko zgorevalna komora napaja tudi z zemeljskim plinom. Vendar pa še ni dovolj delovnih izkušenj, da bi lahko ocenili, ali je mogoče zanesljivo upoštevati mejno vrednost emisij 50 mg/m^3 za CO in 10 mg/m^3 za TOC (ΣC).

Dosedanje operativne izkušnje s projekti SCR in RTO-SCR so pokazale, da je treba za optimizacijo sistema omogočiti obdobje vsaj 2 do 3 let. V tem času je pričakovati pogoste izpade sistema, za katere je treba določiti višje mejne vrednosti emisij za komponente NO_x , NH_3 , CO in TOC (ΣC).

Koncept podjetja Alpacem Cement, d.d. za zmanjšanje Hg združuje več dopolnilnih primarnih in sekundarnih ukrepov, ki jih je mogoče obravnavati kot najsodobnejše v cementni industriji:

- izbira vhodnega materiala z nizko vsebnostjo Hg ter izvedba sistema zagotavljanja kakovosti uporabljenih surovin in goriv;
- optimizacija stolpa za kondicioniranje in znižanje delovne temperature filtra za prah s 150 na 130°C ;
- uporaba pretoka prahu med neposrednim delovanjem (izklop mlina za surovine) sistema peči;
- vbrizgavanje aktivnega oglja pred glavnim filtrom za prah, če je to potrebno za zmanjšanje kratkoročnih vrhov Hg.

Na podlagi tehnične konfiguracije cementarne v Anhovem namestitev postopka XMercury ne bi bila primerna in izvedljiva iz tehničnih in gospodarskih razlogov. Izjemno velika prostornina filtrskega prahu (približno 30 – 35 t/h) bi zahtevala sistem, ki bi bil bistveno večji od sistema v obstoječih referenčnih obratih. To bi povzročilo prekomerno povpraševanje po energiji in operativno zapletenost. Pod takšnimi pogoji uporaba tega postopka ni priporočljiva.

Zato je treba ob nadaljnjih ukrepih za zmanjševanje Hg poudariti, da bi določitev zelo nizke mejne vrednosti emisij (npr. 0,02 mg/m³) na tej stopnji (pred popolnim izvajanjem in optimizacijo načrtovanih ukrepov za zmanjšanje Hg) predstavljala znatno tveganje za zagotavljanje skladnosti. V tem primeru bi bil primernejši postopni pristop, ki bi temeljil na prikazanih podatkih o učinkovitosti.

6 Povzetek in napovedi

Podjetje Alpacem Cement, d.d. upravlja rotacijsko peč za proizvodnjo cementnega klinkerja na lokaciji v Anhovem v Sloveniji. Do sedaj je morala naprava izpolnjevati mejne vrednosti emisij, ki so v veliki meri temeljile na evropski Direktivi o industrijskih emisijah (IED). Za zmanjšanje emisij različnih onesnaževal zraka so bili uporabljeni postopki, ki so bili razvrščeni kot najboljše razpoložljive tehnike (BAT) za obrate v cementni industriji.

Sprememba nacionalne okoljske zakonodaje je zdaj znatno zaostрила mejne vrednosti emisij za nekatere komponente. Nove mejne vrednosti zdaj temeljijo na zgornjem delu ravni emisij, povezanih z BAT, iz referenčnega dokumenta BAT (dokument BREF) za sežigalnice odpadkov. Namen tega je uskladičev slovenskih predpisov za sežigalnice in sosežigalnice.

Nekatere nove mejne vrednosti emisij so znatno nižje od povezanih ravni emisij BAT (BAT-AEL) za cementarne in so v evropski cementni industriji brez primere. Skladnost s temi zahtevami je z uporabo obstoječih postopkov za zmanjševanje emisij skoraj nemogoče doseči. Za skladnost z novimi mejnimi vrednostmi so potrebni nadaljnji ukrepi, zlasti za onesnaževala zraka NO_x , NH_3 , TOC (ΣC), CO in Hg.

Za izpolnitev novih zahtev je podjetje Alpacem Cement, d.d., sodelovalo s ponudnikom tehnologije pri razvoju koncepta za prihodnje zmanjševanje emisij. To vključuje namestitev naprave RTO-SCR, ki lahko doseže visoke stopnje zmanjšanja onesnaževal zraka NO_x , NH_3 , TOC in CO. Za zmanjšanje emisij Hg bo v prihodnosti uporabljena kombinacija različnih primarnih ukrepov in vbrizgavanje adsorbentov, ki vsebujejo aktivni premog.

Obrati RTO-SCR še niso prepoznani kot BAT tehnologije ali najsodobnejše tehnologije za cementno industrijo. Izkušnje z delovanjem so bile pridobljene v posameznih obratih v Avstriji in Nemčiji. Poleg tega je bil izveden obsežen demonstracijski projekt o uporabi obratov RTO-SCR v nemški cementarni. Vendar še ni dokazano, da bi bilo z uporabo te tehnike večkomponentnega zmanjševanja emisij mogoče zanesljivo doseči skladnost z zahtevami po nizkih mejnih vrednostih, ki bodo veljale za cementarno v Anhovem.

Prav tako je vprašljivo, ali je mogoče z uporabo načrtovanih ukrepov zmanjšanja emisij zanesljivo doseči skladnost z zahtevo za mejno vrednost Hg $0,02 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Operativne izkušnje s tako imenovanimi »nastajajočimi tehnikami« za zmanjševanje Hg so omejene, v mnogih primerih pa njihova uporaba ni mogoča ali praktična iz tehničnih in ekonomskih razlogov. Poleg tega je mogoče trditi, da na podlagi tehnične konfiguracije cementarne v Anhovem namestitev postopka XMercury ne bi bila izvedljiva iz tehničnih in ekonomskih razlogov. Izjemno velik pretok filtrskega prahu (30 – 35 t/h) bi zahteval velikost sistema, ki bi bila bistveno večja od sistema v obstoječih referenčnih obratih. To bi povzročilo prekomerno porabo energije in operativno zapletenost. Pod takšnimi pogoji uporaba tega postopka ni priporočljiva.

Zato je treba za nekatera onesnaževala zraka zahtevati izjeme in določiti mejne vrednosti, kjer je skladnost mogoče doseči z uporabo preverjenih metod zmanjševanja emisij. Slovensko okoljsko pravo predvideva možnost uporabe tovrstnih odstopanj, vendar izrecno le za komponenti SO_2 in TOC (ΣC). Vendar je dodatna možnost za odobritev izjem predvidena v Prilogi 5 k Uredbi o sežigalnicah odpadkov in napravah za sosežig [AN5, 2025]. Ta možnost obstaja, če tehnologija, ki bi omogočala doseganje skladnosti z mejnimi vrednostmi emisij, ni na voljo na trgu. Do danes ni bilo pridobljenih dovolj operativnih izkušenj z uporabo naprednih tehnik za zmanjšanje emisij, ki bi pokazale, da je mogoče zanesljivo doseči skladnost z novimi mejnimi vrednostmi za NO_x , NH_3 , CO, TOC in Hg. Zato je kot vodilo priporočljivo uporabiti rezultate večletnega demonstracijskega projekta v cementarni Allmendingen (glej preglednico 6-1) in določiti ustrezne mejne vrednosti emisij za obrat cementne peči v tovarni Alpacem. Za komponento dimnih plinov Hg se zasledujejo ukrepi za zmanjševanje, kot so odvajanje prahu, vbrizgavanje adsorbentov in optimizacija procesa.

Poudariti je treba, da bi določitev zelo nizke mejne vrednosti emisij (npr. 0,02 mg/m³) na tej stopnji (pred popolnim izvajanjem in optimizacijo načrtovanih ukrepov) predstavljala znatno tveganje za zagotavljanje skladnosti. V tem primeru bi bil primernejši postopni pristop, ki bi temeljil na prikazanih podatkih o doseženi učinkovitosti.

Preglednica 6-1 Dosegljive mejne vrednosti emisij v skladu z dolgoročnim demonstracijskim projektom v cementarnah Allmendingen [BMU, 2022]

Sestavni del	Dosegljiva mejna vrednost emisij (kot dnevno povprečje)
	[mg/m ³] (10 % O ₂)
NO _x	200
NH ₃	30
CO	100
TOC (ΣC)	10
Hg	0,03*

*Glede na operativne izkušnje iz številnih cementarn z uporabo BAT za zmanjševanje Hg

V več evropskih državah pa se taka odstopanja odobrijo tudi za druge komponente, če emisije pretežno izvirajo iz surovine. V ta namen je podjetje VDZ pred kratkim izvedlo preiskave surovin s preskusi izganjanja, da bi določilo obseg »emisij, ki jih proizvajajo surovine« nekaterih komponent dimnih plinov [VDZ, 2025]. Rezultate teh laboratorijskih preiskav povzemamo v ločenem tehničnem poročilu [VDZ, 2024].

Načeloma je mogoče pričakovati, da bo izvajanje načrtovanih ukrepov za zmanjševanje emisij privedlo do nadaljnjega izboljšanja okoljskih razmer v bližini cementarne.

Vendar pa operativne izkušnje iz drugih projektov SCR in RTO-SCR kažejo, da je treba omogočiti dovolj dolgo časovno obdobje za optimizacijo novih obratov. Pričakovati je, da bo to povzročilo tudi pogoste zaustavitve obratov za zmanjšanje emisij, med katerimi se lahko izvedejo spremembe in vzdrževalna dela. Za ta obdobja je treba določiti mejne vrednosti emisij, kjer je skladnost mogoče doseči z uporabo običajnih ukrepov.

VDZ Technology gGmbH, Okolje in tehnologija v obratu

[podpis nečitljiv]

[podpis nečitljiv]

[podpis nečitljiv]

Dr. Ute Zunzer

Dr. Helmut Hoppe

D. Joschko

Dodatne informacije, npr. o instrumentih, metodah, negotovostih ali drugih značilnostih meritev, bodo na voljo na zahtevo. Vsi vzorci bodo zavrženi tri mesece po datumu tega tehničnega poročila, razen če se stranka s tem ne strinja.

7 Reference

- [AN4, 2025] Priloga 4 k »Uredbi o sežigalnicah odpadkov in napravah za sosežig«, Uradni list Republike Slovenije, št. 45/25 z dne 20. junija 2025
- [AN5, 2025] Priloga 5 k »Uredbi o sežigalnicah odpadkov in napravah za sosežig«, Uradni list Republike Slovenije, št. 45/25 z dne 20. junija 2025
- [BAT, 2013] Referenčni dokument o najboljših razpoložljivih tehnikah (BAT) za proizvodnjo cementa, apna in magnezijevega oksida. Evropska komisija, Joint Research Centre, 2013
- [BAT, 2019] Referenčni dokument o najboljših razpoložljivih tehnikah (BAT) za sežiganje odpadkov. Evropska komisija, Poročilo JRC o znanosti za politiko, 2019
- [BIN, 2016] Th. Binniger, K. Schulze: Regenerative Thermal Oxidation in the Cement Industry - Technology and Operation. Waste Management, Vol. 6., S. 417 – 428, TK Verlag, Neuruppin, 2016
- [BMU, 2014] BMU-Umweltinnovationsprogramm: Abschlussbericht zum Vorhaben „Minderung von NO_x-Emissionen in einer Drehofenanlage der Zementindustrie mittels SCR-Technologie (High-Dust) – KfW Aktenzeichen MB e1 – 001599“. Autoren: D. Edelkott, J. Thormann, V. Hoenig, H. Hoppe, M. Oerter, C. Seiler; 2014
- [BMU, 2015] BMU-Umweltinnovationsprogramm: Abschlussbericht zum Vorhaben „Katalytische Low-Dust-Entstickung des Abgases an einer Drehofenanlage der Zementindustrie (Reingas-SCR) - KfW-Aktenzeichen NKA3 - 001706“. Autoren: K. Rechberger, N. Bodendiek; 2015
- [BMU, 2022] BMUV-Umweltinnovationsprogramm: Abschlussbericht zum Vorhaben „Verfahrenskombination von katalytischer Entstickung, thermischer Abgasnachverbrennung und der energetisch-stofflichen Verwertung von biologischen Abfallschlämmen zur Minderung der Emissionen bei gleichzeitiger energetischer Optimierung der Klinkerproduktion in einem Zementwerk - Projekt-Nr. 3174. Autoren: J. Althammer, H. Hoffmann, S. Viola, M. Pirker, H. Hoppe; 2022
- [BMU, 2021] BMUV-Umweltinnovationsprogramm: Kurzbeschreibung des Vorhabens „Verfahrens- und anlagentechnische Demonstration eines neuartig integrierten Heißgasfilter-Katalysator-Systems (HGF-SCR) zur ressourcenschonenden und hochverfügbaren Reduktion von NO_x- und NH₃-Emissionen in Zementdrehofenabgasen“.
- Siehe: <https://www.umweltinnovationsprogramm.de/projekte/verfahrens-und-anlagentechnische-demonstration-eines-neuartig-integrierten-heissgasfilter>
- [CON, 2013] Izvedbeni sklep Komisije z dne 26. marca 2013 o določitvi zaključkov o najboljših razpoložljivih tehnologijah (BAT) v skladu z Direktivo 2010/75/EU Evropskega parlamenta in Sveta o industrijskih emisijah za proizvodnjo cementa, apna in magnezijevega oksida. Uradni list Evropske unije, L100/1, 9. april 2013
- [ECR, 2013] Tehnično poročilo TR-ECRA 0049a/2013/M: Dokument s smernicami o BAT-BEP za živo srebro v cementni industriji – Prvotni osnutek. European Cement Research Academy, Dusseldorf, 2013
- [HER, 2016] A. Hermendinger: DeCONOX: Two Solutions in a Single System. World Cement, februar 2016, S. 53-55
- [HOE, 2024] V. Hoenig, H. Hoppe: Erfahrungen mit der SCR-Technologie in der Zementindustrie. VDI-Berichte Nr. 2432, S. 113-127 (2024)

- [HOP, 2019] H. Hoppe: Opportunity NO_x. World Cement, 2019(3), S. 43 – 48
- [IED, 2010] Direktiva 2010/75/EU Evropskega parlamenta in Sveta z dne 24. novembra 2010 o industrijskih emisijah (celovito preprečevanje in nadzorovanje onesnaževanja). Uradni list Evropske unije, L 334/17, 17. december 2010
- [KER, 2015] S. Kern, F. Salzer, H. Reinhold: Breaking the mercury cycle for emission abatement with the "ExMercury - Splitted Preheater System". Zement Kalk Gips, 9, S. 38-44 (2015)
- [KOC, 2014] Kock, B.: Semi-Dust SCR at Lafarge Mannersdorf. Global Cement Magazine, februar 2014, S. 10-14
- [MAU, 2018] G. Mauschitz, A. Secklehner, S. Hagn: The DeCONOX Process – an example of advanced gas cleaning technology in the Austrian cement industry. Cement International, Vol. 16 (2/2018), S. 34-53
- [PHI, 2013] G. Philipp: Regenerative Thermal Oxidation (RTO) with integrated NO_x reduction. ZKG, 2013(11), S. 30-37
- [REG, 2025] Uredba o sežigalnicah odpadkov in napravah za sosežig. Uradni list Republike Slovenije, št. 8/16, 116/21, 44/22 – ZVO-2, 121/22 – ZVOKPOE, 45/25
- [VDI, 2021] VDI 2094: Emission control cement plants. VDI-Handbuch Reinhaltung der Luft, Band 3: Emissionsminderung II. Januar 2021
- [VDZ, 2024] Tehnično poročilo P-2024/0095; A-2024/3609: Preskusi izločanja z vzorci surovin iz obrata Anhovo in ocena emisij, ki jih ustvarjajo surovine. VDZ Technology gGmbH, Dusseldorf, 2025

8 Referenčni seznam VDZ

Podjetje VDZ kot mednarodni ponudnik tehničnih in znanstvenih storitev za industrijo cementa in gradbenih materialov ponuja celovite storitve na področju cementa, betona in varstva okolja.

Podjetje VDZ že vrsto let podpira cementna podjetja pri raziskovalnih in svetovalnih projektih za uvedbo naprednih tehnologij za zmanjševanje emisij. Podjetje VDZ je dejavni udeleženec različnih nacionalnih in mednarodnih odborov, prav tako pa sodeluje tudi pri prihodnji reviziji referenčnega dokumenta BREF za cementno industrijo.

Spodaj so primeri dejavnosti podjetja VDZ na tem področju:

- Demonstracijski projekti SNCR (leta 1990 in 2000) ter optimizacija obratov SNCR v številnih cementarnah
- Demonstracijski projekti SCR v Nemčiji (izvajanje operativnih poskusov, poročanje):
 - HD-SCR Project Mergelstetten
 - LD-SCR Project Rohrdorf
 - DeCONOx (RTO-SCR) Project Allmendingen
 - HGF-SCR Project Otterbein
- Dolgoročno delo in izmenjava operativnih izkušenj v odboru VDZ »NO_x Abatement« (SNCR, SCR, DeCONOx/RTO-SCR)
- Svetovanje cementarnam pri načrtovanju obratov za zmanjševanje emisij
- Svetovanje švicarski BAFU o stanju zmanjševanja emisij v cementni industriji
- Svetovanje BAFU in švicarski cementni industriji o potencialu za zmanjšanje NO_x švicarskih cementarn
- Sodelovanje kot predstavnik panoge pri pripravi referenčnega dokumenta BREF za cement
- Sodelovanje kot zastopnik industrije pri reviziji zakonskih predpisov o nadzoru nad emisijami na evropski in nacionalni ravni

Nina Antosiewicz Zupan, z odločbo Ministrstva za pravosodje Republike Slovenije z dne 21.12.2006, št. 705-191/2006, imenovana sodna tolmačka za angleški jezik, potrjujem, da se ta prevod popolnoma ujema z izvirnikom, ki je sestavljen v angleškem jeziku.

I, the undersigned Nina Antosiewicz Zupan, court interpreter for the English language, appointed by the Decree No. 705-191/2006 of the Ministry of Justice of the Republic of Slovenia, issued on 21 December, 2006 hereby declare that this translation entirely corresponds to the original English text.

Podpisano in žigosano v Ljubljani, 14. 11. 2025
Signed and sealed in Ljubljana on 14 November 2025

Sodna tolmačka:
Court Interpreter:
Nina Antosiewicz Zupan

