Snižování emisí skleníkových plynů při výrobě cementu a betonu

Mezinárodní klimatické cíle programů Green Deal, Fit for 55 a Carbon Boarder Adjustment vyžadují, aby výroba a používání cementu byly do roku 2050 klimaticky neutrální.

Český cementářský průmysl má ochranu klimatu a životního prostředí nastavenu jako jednu z vrcholných priorit a uvědomuje si, že je součástí stavebního a environmentálního řetězce související s principy Circular Economy.

SVAZ VÝROBCŮ CEMENTU ČR

2023
2022
2021

Úvod

Změnu klimatu a související průmyslová opatření vnímá český cementářský průmysl jako zásadní výzvu. Cement jako energeticky a environmentálně náročný materiál je součástí stavebně klimatického řetězce a jako takový je připraven pomoci dekarbonizaci celého stavebního cyklu od těžby surovin až po recyklaci starého betonu.

Cementový beton se stále používá ve velkém měřítku a související výroba cementu emituje značné množství jednoho ze skleníkových plynů – oxidu uhličitého CO_2. Svět však bude potřebovat beton k vybudování infrastruktury, která se dokáže vyrovnat se změnou klimatu a populačním růstem. **Otázka tedy zní – jak snížíme dopady cementu a betonu na životní prostředí, když na něj nadále spoléháme?**

Podle aktuálních statistik se při výrobě cementu uvolňuje asi 7–9 % celosvětových emisí CO_2. Zbývá doplnit, že více než 55 % cementu se vyrobí a spotřebuje v Číně, tedy asi 2,5 mld. tun ze světové produkce 4,4 mld. tun v roce 2021. V Evropě se vyrobí a zpracuje přibližně 0,250 mld. tun cementu ročně, tedy asi 1/10 produkce v Číně. V České republice se vyrábí 4,5 mil. tun cementu ročně, odhadem asi 2 % evropské produkce.

Český cementářský průmysl i při tomto celosvětově relativně malém objemu výroby intenzivně hledá cesty, jak snížit emise skleníkových plynů a o nich vypráví tato publikace.

Dosavadní dekarbonizace probíhá v následujících krocích:

1. Úprava surovinové skladby již dekarbonizovaných vápennými složkami, zejména odpadními
   → **průběžně plněno a stále hledány další zdroje**

2. Zásadní proměna palivové základny využíváním alternativních odpadových paliv a trvalý odklon od fosilních palivových zdrojů
   → **dosaženo využitelného maxima 85 % a výše**

3. Doplňování palivového mixu podílem obnovitelné spalitelné biomasy
   → **udržení současné hladiny 30 %**

4. Snižování slínkového faktoru v cementech a používání směsných cementů při výrobě betonu
   → **aktuální úkol řešen v součinnosti s betonářskou komunitou**

5. Příprava na zavádění nových technologií záchytu a ukládání oxidu uhličitého do hlubinných úložišť
   → **energeticky a investičně nejnáročnější úkol**

6. Ve spolupráci se stavebním průmyslem úspory při používání nových materiálů na stavbách klimaticky neutrálních budov
   → **nezbytný krok pro dekarbonizaci stavebnictví**

7. Bezpečná karbonatace betonu a pohlcování CO_2 v životním cyklu betonu
   → **aplikace závěrů mezivládního panelu pro změnu klimatu do bilanční praxe**

8. Využívání kameniva z recyklovaného betonu
   → **v rámci oběhového hospodářství ekologický zdroj nového kameniva**

RoadMap dekarbonizace českého cementářského průmyslu

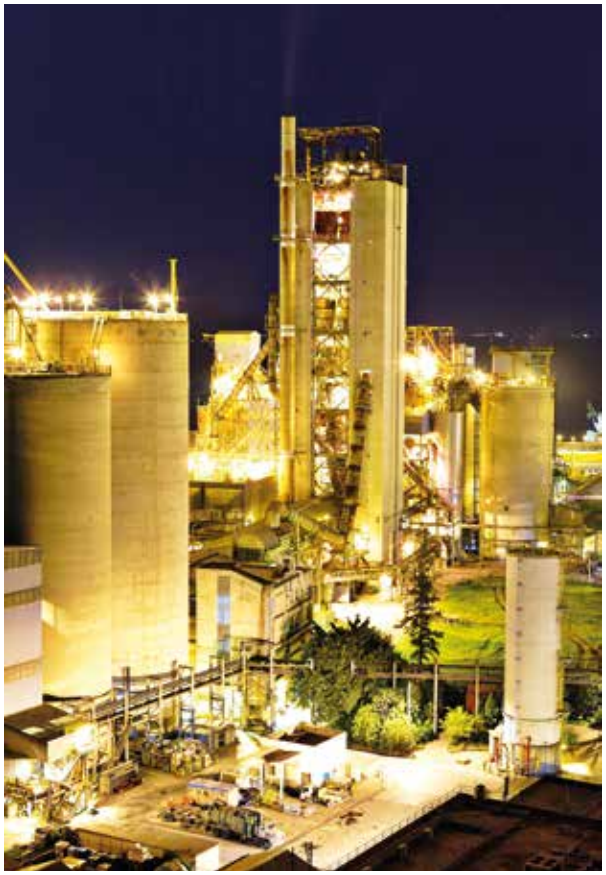
Snižování emisí skleníkových plynů, zejména fosilního a karbonátového oxidu uhličitého původem z výroby elektrické energie a materiálových průmyslových výrob, je významnou současnou výzvou. Připravovaná legislativa Evropské Zelené dohody Green Deal a balíčku Fit for 55 vytváří strategii pro evropskou společnost, která plánuje klimaticky neutrální, inovativní, progresivní budoucnost. Nezbytná změna klimatu je tím identifikována jako jedna z hlavních společenských výzev.

V oblasti energetiky půjde o nezbytný odklon od spalování fosilních paliv, přes časově omezenou etapu s využíváním zemního plynu a jaderné energie k plnému využívání zelené energie původem z vody, větru, slunce a biomasy.

V oblasti průmyslových technologií hraje ekologická výroba cementu společně s návazným využitím ve stavebních betonářských technologiích významnou roli, která pomůže Evropě dosáhnout minimalizaci emisí skleníkových plynů a zachovat podmínky pro budování klimaticky neutrálního prostředí pro základy větrných turbín, vodních elektráren, pasivního bydlení a potřebných ekologických investic.

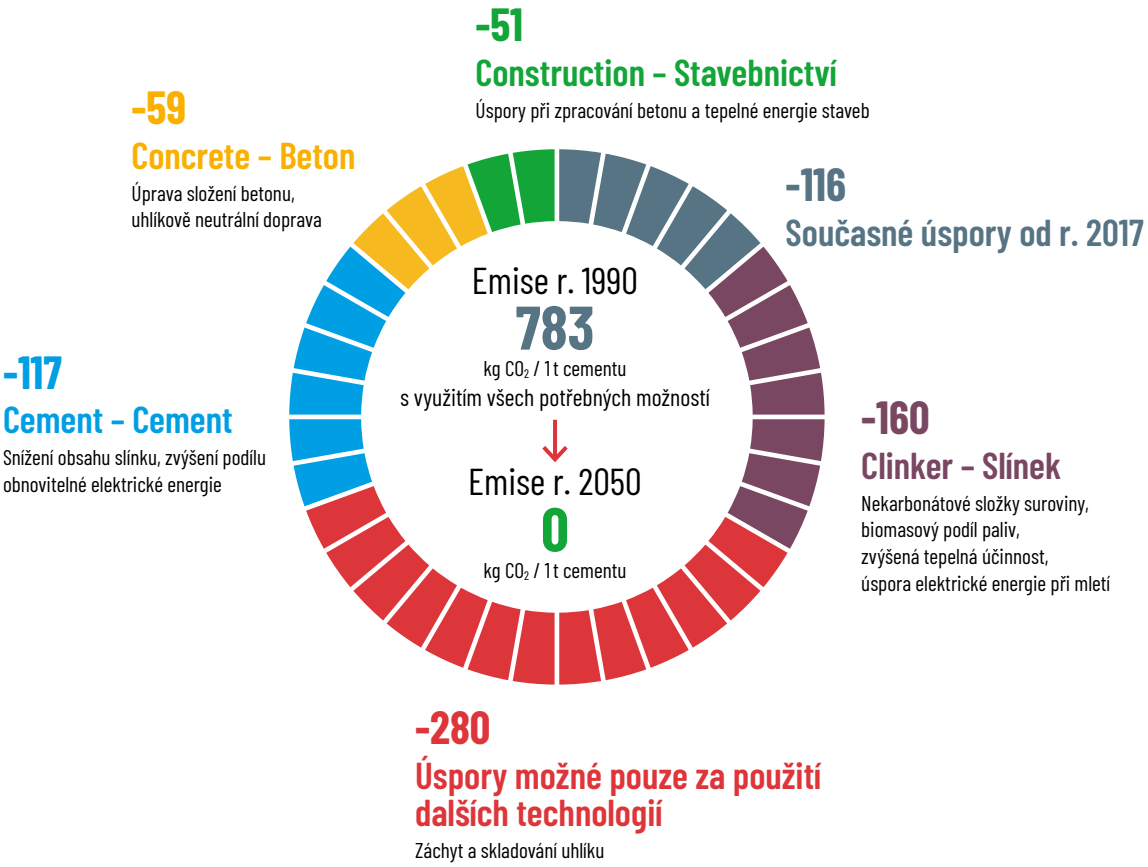
Samozřejmě z rozkladu vápence vznikají základní procesní emise CO_2, které lze mírně snížit přidáním vhodných recyklovaných surovin. Nicméně tyto procesní emise, které nelze dále ovlivnit, tvoří asi 2/3 celkových emisí CO_2 z výroby cementu.

Dlouhodobé scénáře očekávají, že poptávka po cementu v České republice bude stagnovat na současné úrovni 4,5 mil. t ročně do roku 2030, na druhou stranu, pro naplnění Pařížské dohody a omezení oteplování musí emise z výroby cementu být do roku 2050 v kontextu celého životního cyklu klimaticky neutrální.



Výroba cementu se řadí k průmyslovým procesům, jejichž emise sice lze snížit, ale mnohem obtížněji než například v energetice. Proto také environmentální scénáře očekávají, že výroba cementu bude dekarbonizována jako jeden z posledních sektorů ekonomiky.

Cesta k nulovým emisím v roce 2050



Palivové emise, jejichž původ je ze zdrojů potřebných k tepelné přeměně vápencové suroviny na budoucí základ návazné výroby cementu – na výpal slínku, naopak ovlivnit možné je, a to možným přístupem. Prvním, již dlouhodobě realizovaným je náhrada původních fosilních paliv – uhlí, mazutu a plynu – alternativními palivy původem z již nevyužitelných spalitelných průmyslových materiálů s určitou energetickou hodnotou. Druhým možným přístupem je trvalé zvyšování obsahu podílu biomasy v takových odpadních energetických zdrojích.

Při samotné výrobě konečného cementu evropská výrobková norma umožňuje vyrobit řadu druhů cementů s odstupňovaným obsahem klimaticky a energeticky nejnáročnější složky, tedy slínku dalšími vhodnými materiály – struskou, popílkem či vápencem zcela podle potřeb betonářského a stavebního průmyslu.

Pro zbývající část oxidu uhličitého lze použít technologie jeho záchytu a využívání nebo ukládání, které jsou v současné době rozvíjeny a plánovány. Je ale nezbytné připomenout jejich vysokou energetickou náročnost.

Při zpracování cementu do jednotlivých druhů betonů je vždy třeba vzít v úvahu, pro jaký typ stavby je beton určen, tedy životnost stavby, odolnost vůči jednotlivým vlivům prostředí, vlastně zda stavíme výškovou budovu uprostřed města, zda potřebujeme beton pro odolnou průmyslovou stavbu, např. vodní či jadernou elektrárnu či cementobetonový kryt nové dálnice.

Nezapomeňme, že na konci životního cyklu betonu je jej možné rozdrtit a po roztřídění opět použít jako recyklované kamenivo anebo surovinovou složku na výrobu nového cementu. Tím se cement a beton řadí mezi trvale recyklovatelné materiály v oblasti Circular Economy.

Slínek

Slínek je sice pouze meziproduktem při výrobě cementu, ale je jeho chemicky nejdokonalejší součástí a z hlediska požadovaných pevností cementu a následně i betonu nejdůležitější složkou. Z environmentálního pohledu je naopak emisně nejnáročnější a nejproblémovější záležitostí. Výroba, respektive výpal a chlazení slínku představuje složitý proces od dokonalé přípravy a homogenizace složek surovinové směsi, její výpal zejména alternativními palivy a nakonec rychlé ochlazení do podoby šedých granálií. Ale uvnitř při pohledu do nitra slínek hraje barvami jednotlivých přírodních minerálů, které jsou potřebné k tolik požadovaným vlastnostem cementu a betonu a v konečném pohledu k trvanlivosti stavebního díla.

Při přípravě surovinové směsi je možné nahradit přírodní karbonátové součásti již dekarbonizovanými odpadními složkami a současně doplnit i křemičité, železité a hlinité složky např. původem z recyklovaných součástí stavebního odpadu z betonových staveb. Proces rozkladu vápence se nazývá kalcinace. V možnostech českého cementářského průmyslu je nahradit primární karbonátové složky do 5 % původních surovin.

Emise českého cementářského průmyslu
průměr r. 2016 – 2020
vztaženo na 1 t slínku v t CO_2

Procesní emise CO_2	0,5371
Fosilní palivové emise CO_2	0,2382
Biomasové palivové emise CO_2	0,0890
Celkové emise CO_2	0,7753

Náhrada karbonátových složek **5 %**

Náhrada fosilních paliv **85 %**

Podíl biomasy **30 %**

Optimalizace procesu výpalu slínku spočívá jednak v předehřátí suroviny odpadním teplem a jednak v následném výpalu, při němž jsou klasická fosilní paliva nahrazována alternativními odpadními palivy, která již nebylo možno v rámci Circular Economy dále jinak využít. Se současným podílem alternativních paliv a výrazným podílem biomasově neutrální složky se Česká republika řadí v Evropské Unii v oblasti klimaticky neutrálních iniciativ ke špičce. Nevyužitelné odpadní palivové materiály jsou používány z více než 85 % s výrazným podílem biomasy přes 30 %. Žádný jiný průmysl vyrábějící stavební hmoty neprošel tak významnou palivovou změnou.

Cement

Cement jako následný finální produkt po výpalu slínku má řadu dalších možností, jak při své výrobě snižovat emise CO_2 například redukcí obsahu slínku v různých druzích cementů pro různá stavební použití.

Meziprodukt a výrobek slínek/cement patří do systému EU ETS, tj. obchodování s povolenkami na emise skleníkových plynů v rámci Evropské Unie.V rámci projektů Green Deal a Fit for 55 bude patřit pod systém Carbon Boarder Adjustment Mechanism (CBAM), tedy v podstatě princip uhlíkové daně, jejíž podstatou je promítnutí ceny emisních povolenek do ceny dovozu neekologických výrobků. Zabrání se tak přesunu výroby energeticky a emisně náročných průmyslových podniků z členských států EU, kde je vyšší standard klimatické politiky, do zemí mimo EU, které uplatňují buď mnohem volnější podmínky na emise skleníkových plynů vznikajících při výrobě nebo vůbec žádné. Tento princip je označován jako únik uhlíku (carbon leakage).

Základní evropské normy pro cement EN 197-1 a EN 197-5 uvádějí více než 30 druhů cementů, které je možné nabídnout výrobcům betonu a stavebnímu průmyslu pro další zpracování. Kromě slínku existuje řada dalších hlavních složek cementu, např. vysokopecní struska, křemičitý popílek, mletý vápenec, kalcinovaná břidlice a nové možné hlavní složky se ověřují. V České republice se vyrábí 9 druhů cementů a je výraznou snahou tento sortiment rozšířit.

Průměrný obsah slínku v cementech v ČR v r. 2020 **78,91 %**

Průměrný emisní faktor cementu
v kg CO_2/ 1t cementu v ČR v r. 2020

CEM I 52,5 R	740
CEM I 42,5 R	700
CEM II/A-S 42,5 R	590
CEM II/B-S 32,5 R	480
CEM II/A-LL 42,5 R	650
CEM II/B-M (S-LL) 32,5 R	490

Požadavky českého stavebního průmyslu
průměr r. 2016 – 2020

CEM I	95 % slínku	výrobní podíl 54 %
CEM II se struskou, křemičitým popílkem, s pucolánem, s kalcinovanou břidlicí, s vápencem a vhodnými kombinacemi výše uvedených hlavních složek	65 – 94 % slínku	výrobní podíl 43 %
CEM III se struskou	5 – 64 % slínku	výrobní podíl 3 %

Beton

Beton je moderním stavebním, plně recyklovatelným materiálem s neuvěřitelnou trvanlivostí. Význam bezpečné kvality cementu a betonu jen podtrhuje skutečnost, že pro tyto dva stavební materiály byly v České republice jako vůbec první přijaty moderní evropské normy, tj. ČSN EN 197-1 Cement pro obecná použití a ČSN EN 206-1 Beton, specifikující požadavky na vlastnosti, výrobu a shodu. Současně platí i národní specifikace ČSN 73 2404.

Cementový beton je základem všech staveb pozemních, vodohospodářských, ekologických a dopravních. Beton sám za svou konečnou estetickou podobu, a tedy i to, jak se budou stavby z betonu lidem líbit, vděčí architektům a projektantům. Sebevíce zostouzené panelové domy s betonovým skeletem jsou zejména po renovacích kvalitním bydlením pro významnou část našeho obyvatelstva, rodinné domy s betonovými základy odolávají povodňovým živlům, bezpečné betonové přehradní nádrže již několik desetiletí zadržují srážky jako zásobu budoucí pitné vody, voda je na velkou vzdálenost vedena opět potrubím z betonových skruží. Betonové mosty jsou v nadsázce opět společenským pojítkem mezi lidmi. Celou dobu hovoříme o přírodním materiálu, který po doběhu svého životního poslání a cyklu, jenž je odhadován na více než sto let, se opět vrací bezpečně do přírody.

Proces optimalizace obsahu nových cementů a recyklovaného kameniva v betonu je zapotřebí věrohodně ověřit a neuspěchat. Tomu napomáhají probíhající zkoušky nových cementů CEM II/C a možnost jejich použití do betonu pro různé stupně vlivu prostředí, tedy odolnosti proti různým korozním vlivům či mrazu a rozmrazovacím prostředkům. Cementy s omezeným obsahem slínku významně přispívají k ochraně životního prostředí, a to jak pro hospodárnost jejich výroby, tak i pro efektivnost jejich použití. Při vhodné kombinaci hlavních složek mohou portlandské směsné cementy přispět k trvanlivosti betonů pro zcela konkrétní aplikace. Vždy je třeba provést

Evropa předpokládá snižování emisní zátěže z produkce betonu

722 kg CO_2 / 1 t slínku

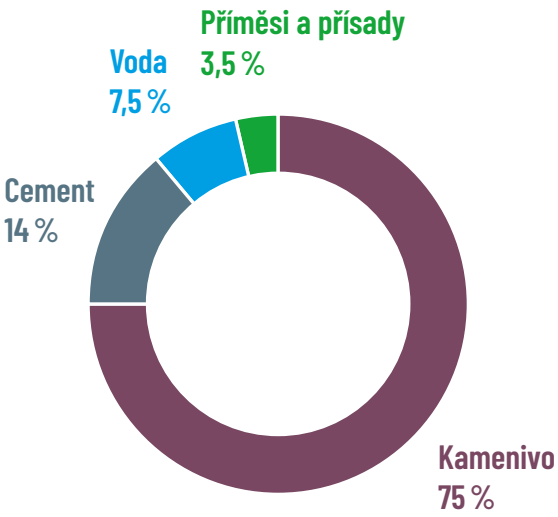
540 kg CO_2 / 1 t cementu

76 kg CO_2 / 1 t betonu

kromě základních pevnostních zkoušek i stanovení mrazuvzdornosti, porozity, hloubky karbonatace a odolnosti proti vlivu chloridů.

Obsah cementu v betonu se volí podle určení v závislosti na stupni vlivu prostředí i přes 400 kg cementu v 1 m^3 betonu, nicméně průměrné složení betonu je podle druhu 75 % kameniva, 14 % cementu, 7,5 % vody a 3,5 % příměsí a přísad.

Složení betonu v hm. %



Stavebnictví

Moderní ekologické technologie ve stavebnictví jsou příležitostí jak využívat dostupné, nákladově efektivní postupy ke snížení emisí. Toho lze dosáhnout zejména následujícími přístupy, kterými se řídí například budovy s nulovými emisemi uhlíku:

dekarbonizace, elektrifikace, efektivita a digitalizace.

Co přesně uhlíkově neutrální stavba obnáší? Jaká jsou specifika uhlíkově neutrální budovy?

Pasivní design je metoda, která bere v úvahu klima oblasti. S touto metodou návrhu budova využívá přírodní energii, jako je sluneční světlo nebo proudění vzduchu, aby si pomohla při vytápění a chlazení.

Plášť budovy je pro uhlíkově neutrální budovu klíčový. Jedním z hlavních způsobů, jak tyto budovy snižují spotřebu energie, je zabránění získávání a ztrátám tepla během horkých a chladných období. Typy obvodových plášťů budov umožňují aplikovat dokonalou izolaci, která brání všem únikům vzduchu. Uhlíkově neutrální budovy také vyžadují účinný ventilační systém, který zajistí rekuperaci vzduchu, aniž by získávaly nebo ztrácely teplo.

Energeticky účinné systémy jsou dalším základním principem uhlíkově neutrálních budov. Domy stále potřebují systémy topení, větrání, klimatizace a osvětlení. Tepelná čerpadla se stávají mnohem vhodnější alternativou klimatizačních jednotek a s pokrokem technologie se stávají velmi vhodnou možností v oblastech, které zažívají extrémní horko a chlad.

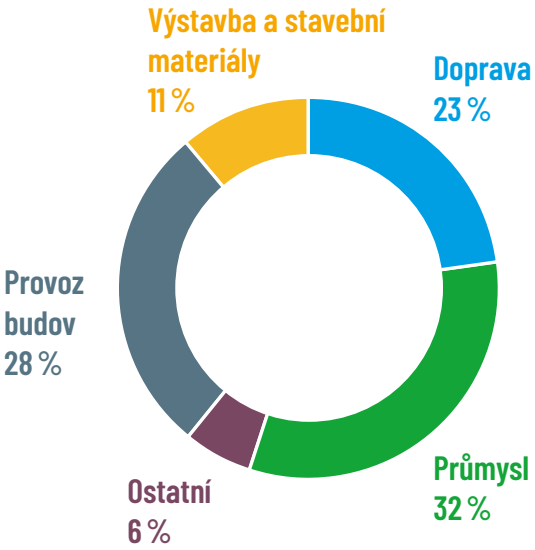
Podíl stavebnictví a staveb na celkových emisích CO_2

Výstavba a stavební materiály **11 %**

Provoz budov **28 %**

Obnovitelná energie je velkou součástí uhlíkově neutrálního vzorce. Aby bylo možné vytvořit budovu, která produkuje málo nebo žádný uhlík, musí být navržena budova, která spotřebovává co nejméně energie s přidáním obnovitelných systémů, aby poskytly co nejvíce energie pro splnění požadavků budovy. V praxi to často znamená solární energii pro velká města a využití vodní a větrné energie v oblastech, kde je to možné.

Vznik antropogenních emisí CO_2



Karbonatace

Daleko od výroby cementu probíhá v životním cyklu betonu velmi důležitý proces. Při karbonataci vzniká vápenec z hydratačních produktů obsahujících vápník ve ztvrdlé cementové pastě betonu. Tento zpětně váže ze vzduchu oxid uhličitý. Ve své zprávě zveřejněné v srpnu 2021 Mezivládní panel pro změnu klimatu (IPCC) poprvé uznal a kvantifikoval karbonataci cementových stavebních materiálů jako proces zpětného pohlcování uhlíku.

Modelová rovnice průběhu karbonatace betonu a pohlcování CO_2

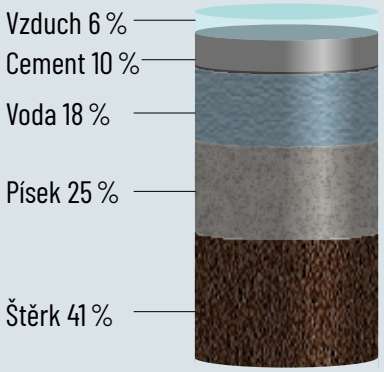
$$X_c = \sqrt{\frac{2D_{CO_2}(t, RH) * C_{CO_2} * t}{a}} \left(\frac{t_r}{t}\right)^{n_m}$$

$$cf\ .\ D_{CO_2}(t) = D\ t^{-nd}$$

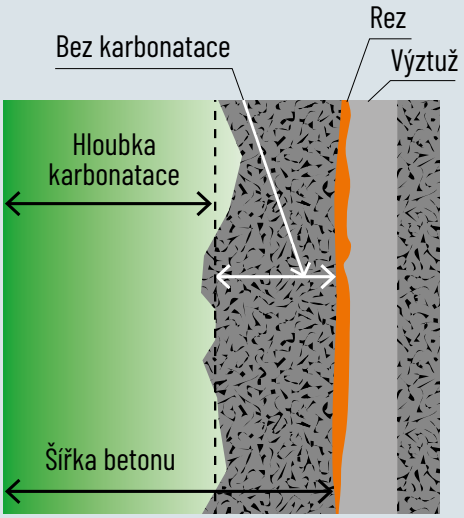
$$a = 0{,}75\ C_e * CaO * a_H \frac{M_{CO_2}}{M_{CaO}}$$

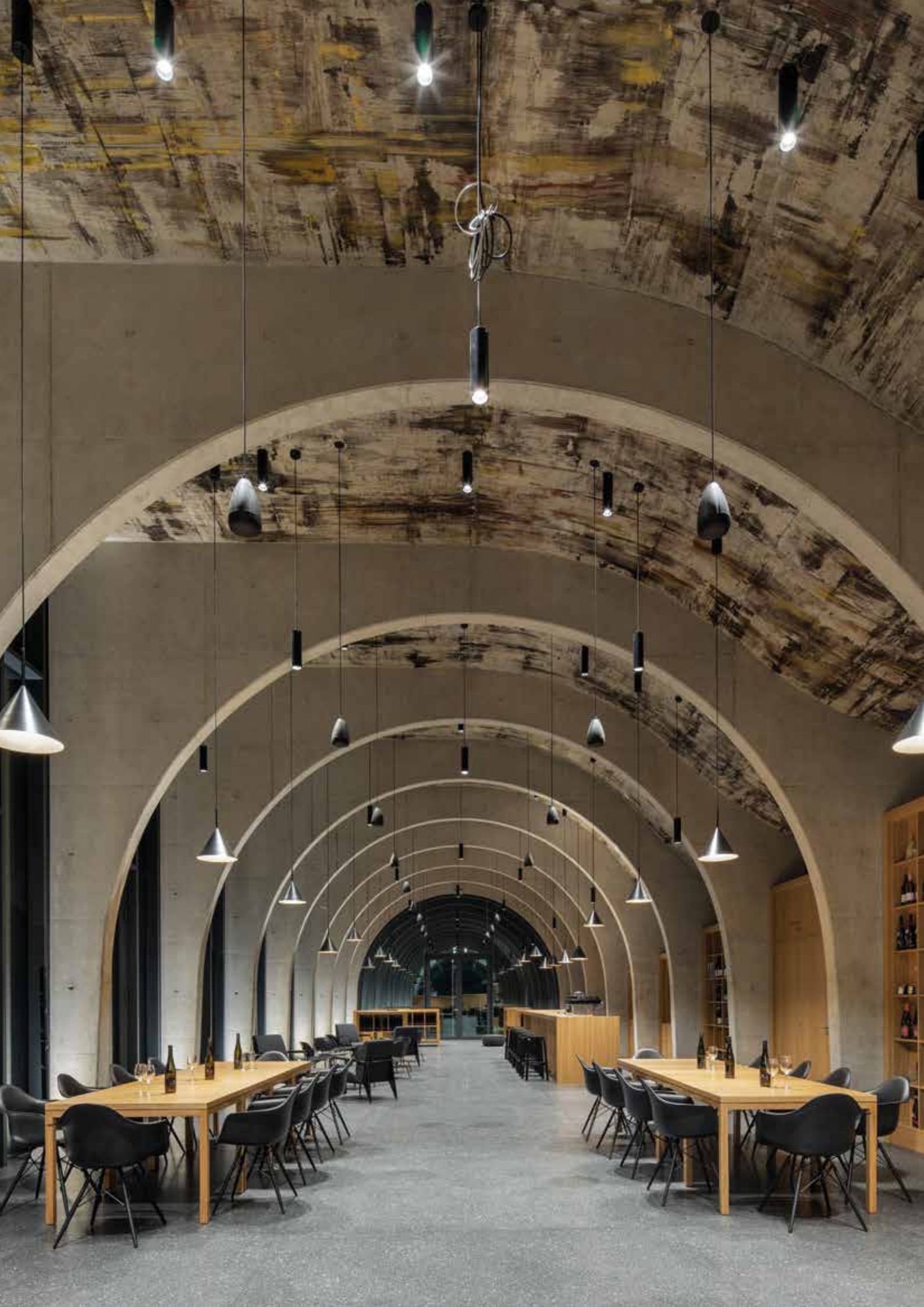
Důležitým aspektem je míra karbonatace. Jak rychle může karbonatace probíhat a jaké jsou procesy určující rychlost? Rychlost karbonatace závisí na faktorech, jako je vlhkost, teplota, pórovitost, koncentrace CO_2 v okolním vzduchu atd. Z praktických důvodů se rychlost karbonatace často určuje měřením hloubky karbonatace jako funkce času. Hloubka je úměrná druhé odmocnině času. Rychlost karbonatace pak může být vyjádřena jako konstanta. Tyto reakce jsou relativně rychlé a nelze je považovat za reakce určující rychlost. Existuje však několik dalších faktorů, které mohou rychlost pohlcování oxidu uhličitého zpomalit. Společným aspektem těchto faktorů je přístup k hydratačním produktům a jejich transport betonem. Jak karbonatace postupuje, v betonu se vysráží stále více vápence, což může snížit propustnost betonu. Tím se omezí přístup CO_2 do vnitřku betonu, zpomalí se rozpouštění $Ca(OH)_2$ a tím se sníží rychlost karbonatace. Pro odhad absorpce CO_2 v betonu je tedy důležité zahrnout jak životnost betonových výrobků, tak i další fázi použití betonu po ukončení jeho životnosti.

Složení čerstvého betonu v obj. %



Postup karbonatace





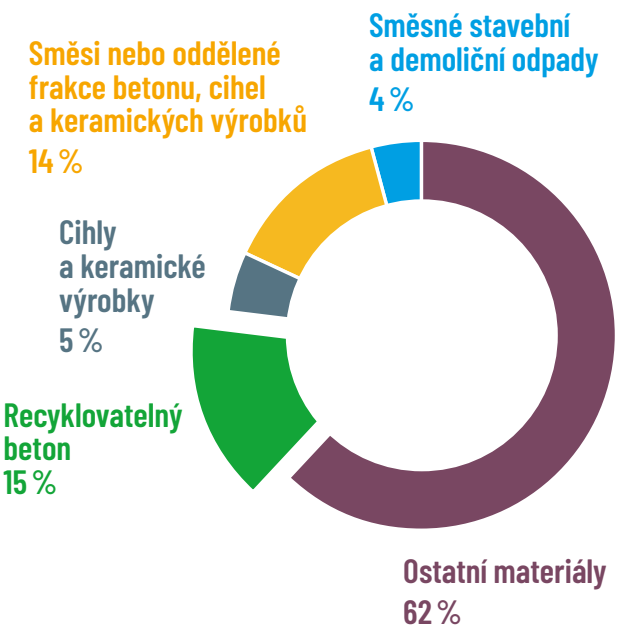
Recyklace

V případě betonu vždy máme na mysli přírodní materiál, který se po ukončení svého životního cyklu, jež je odhadován na více než sto let, opět vrací k opětovnému využití. Je to prostý fakt, že beton a v něm cement a další složky jako formy přepracovaného přírodního kamene jsou nejen přírodě blízké, ale zejména po ukončení své životní funkce, která je mimochodem jedna z nejdelších, se bezpečně navrací jako použitý kámen do přírodního prostředí k dalšímu uplatnění.

Od roku 1991 nebyly v ČR otevřeny žádné nové kamenolomy ani pískovny a výhled do blízké budoucnosti také není příznivý. Více než polovina současně aktivních kamenolomů a pískoven pravděpodobně ukončí těžbu v následujících 10 letech. Ke zlepšení situace nepřispívá ani fakt, že otevření těžby nového ložiska, resp. prodloužení nebo rozšíření těžby ložiska stávajícího je velmi komplikovaný proces, který může v některých případech trvat i více než 10 let.

Pro širší uplatnění recyklovaného kameniva ve výstavbě je však potřeba upravit platné normy pro použití recyklátu v betonu. Umožnění výroby betonu s recyklovaným kamenivem dle norem pro výrobu betonu by mohlo vést k větší důvěře developerů a projektantů v nabízený materiál a následně i k větší poptávce. Při použití betonu s recyklovaným kamenivem na konkrétní konstrukce je nutné postupovat obezřetně a mít na vědomí jeho slabé stránky – zejména nižší modul pružnosti a objemovou hmotnost.

Využitelné součásti stavebního odpadu



Uhlíková stopa a značení ekologických cementů

Výroba cementů v České republice a cement jako výrobek procházejí již více než 10 let environmentálním hodnocením životního cyklu v systému Life Cycle Assessment (LCA) a více než 10 let nesou hodnocení podle Environmental Product Declaration (EPD).

Na základě tohoto hodnocení bylo před pěti lety českým cementům přičleněno značení

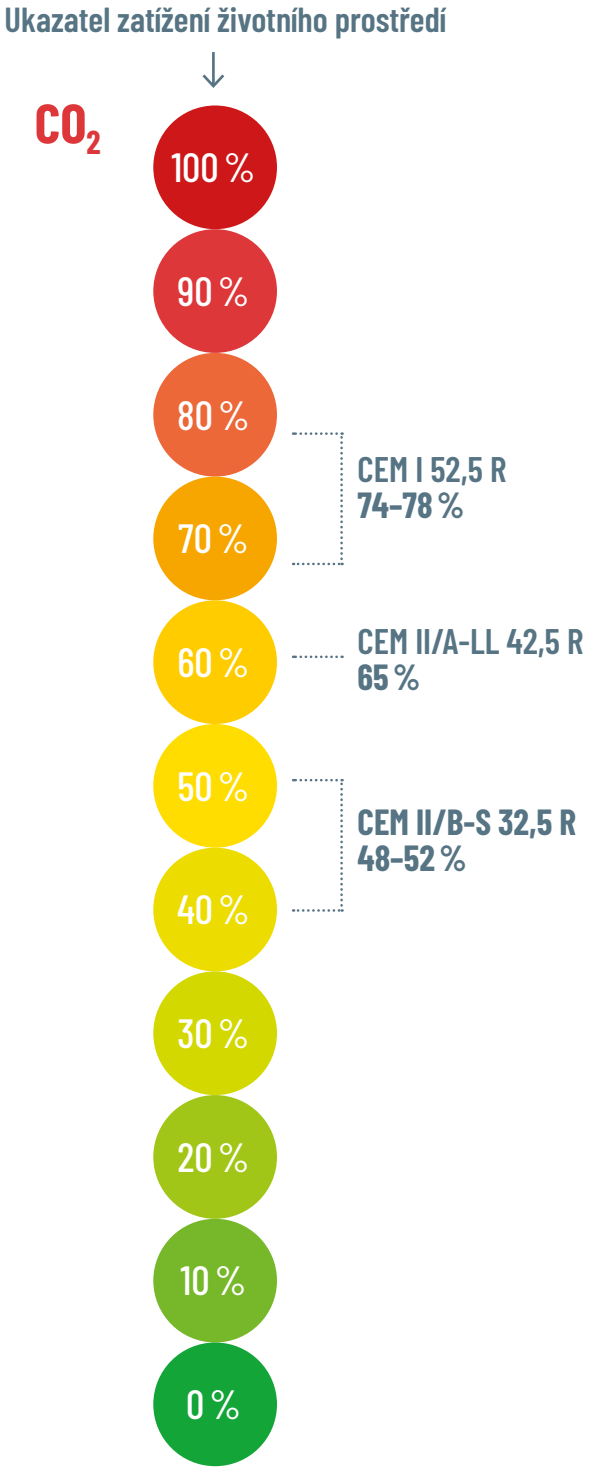
ČESKÝ CEMENT

Toto logo je nyní doplňováno na základě enviromentálního vyhodnocení uhlíkové stopy produktu – cementu zelenou eko značkou

ČESKÝ EKO CEMENT

Budoucí environmentální logo

Co je vlastně uhlíková stopa produktu (Product Carbon Footprint)? Tento údaj je měřítkem celkového množství emisí skleníkových plynů, které se uvolní během životního cyklu výrobku. Uhlíková stopa je suma vypuštěných skleníkových plynů vyjádřená v CO_2 ekvivalentech. Tato charakteristika výrobků slouží k výběru toho, jehož výroba má nejmenší dopad na životní prostředí. Vzhledem k tomu, že v Evropě není zatím sjednoceno toto hodnocení u stavebních výrobků, informují výrobci cementu své uživatele v samostatných materiálech. V případě cementů není ale v tomto údaji započítána hodnota karbonatace, která výsledek bude ještě dále snižovat.



Zdroje: Klimaticky neutrální Česko, Cesty k dekarbonizaci ekonomiky, McKinsey&Company, listopad 2020;
Cementing the European Green Deal, Reaching Climate neutrality Along the Cement and Concrete Value Chain by 2050, Cembureau, 2020;
Substantial global carbon uptake by cement carbonation, Fengming Xi at alii, Nature Geoscience, 2016;
https://faktaoklimatu.cz/explainery/emise-vyroba-cementu;
https://www.ivl.se/co2-uptake-concrete;
https://gccassociation.org/;
https://www.cembureau.eu/;
datové a obrazové podklady členů Svazu výrobců cementu České republiky.

Fotografie: Českomoravský cement a.s., archiv VUM Praha s.r.o., Shutterstock, Michal Linhart a Scoolpt archive David Veis

Vydal Svaz výrobců cementu České republiky, K Cementárně 1261, 153 00 Praha 5 – Radotín,
e-mail: svcement@svcement.cz, www.svcement.cz

Žádná část tohoto materiálu nesmí být kopírována a rozmnožována za účelem dalšího rozšiřování v jakékoliv formě či jakýmkoliv způsobem, ať již mechanickým nebo elektronickým, včetně pořizování fotokopií, bez písemného souhlasu vydavatele.

Červen 2022

SVAZ VÝROBCŮ CEMENTU ČR