

Najväčšie podujatie výrobcov cementu a betónu na Slovensku

BETÓN | CEMENT

2026

1. – 2. OKTÓBER 2026

Hotel Patria, Štrbské pleso



Podujatie sa koná pod záštitou
Ministerstva dopravy SR



I. tematický okruh: Aktuálne témy

VÝSLEDKY PROJEKTU DEKAST 6

Pavol Kováčik

II. tematický okruh: Betón I

ZKUŠENOSTI S NÁVRHEM A OVĚŘOVÁNÍM SLOŽENÍ BETONU

PRO VODNÍ DÍLA KUTŘÍN A ORLÍK 10

Petr Huňka, Pavel Reiterman, Vít Šmilauer

POROVNATELNOST EPD CEMENTŮ, PŘÍMĚSÍ A BETONŮ

V PODMÍNKÁCH STŘEDNÍ EVROPY 21

Tereza Pavlů

III. tematický okruh: Cement

SEPARÁTNE MLETIE A HOMOGENIZÁCIA KOMPOZITNÝCH

CEMENTOV 32

Róbert Figmig

OD NÁVRHU PO REALITU: 2 ROKY PREVÁDZKY FOTOVOLTICKEJ

ELEKTRÁRNE V CEMENTÁRNI CEMMAC 38

Radovan Škripec

NOVÉ CPR 2024 V CEMENTÁRSKOM PRIEMYSE:

PLÁN ZAVÁDZANIA VÝKONNOSTNÝCH ENVIRONMENTÁLNYCH

KRITÉRIÍ A SYSTÉM 3+ 45

Tomáš Kamas

NOVÉ VÝZVY PRI VÝROBE CEMENTOV S NIŽŠOU

UHLÍKOVOU STOPOU 53

Tadeáš Gavenda, Branislav Cvopa

IV. tematický okruh: Inovácie

TRENDY VO VÝSKUME ALTERNATÍVNYCH PLNÍV DO BETÓNU 61

Alena Sičáková

EXPERIMENTÁLNE OVERENIE ENVIRONMENTÁLNEJ ODOLNOSTI

BETÓNU S RECYKLOVANÝM KAMENIVOM A JEHO PRAKTICKÉ

VYUŽITIE PRI REKONŠTRUKCII MOSTA 71

Samuel Paulík, Jakub Gašpárek, Peter Paulík

**VYUŽITIE SIMULÁTOROV V CEMENTÁRŇACH A BETONÁRŇACH
PRI ŠKOLENÍ OBSLUHY STROJOV A ĎALŠÍCH MECHANIZMOV..... 79**

Vladimír Lukačín

**ROBOTICKÝ 3D TISK BETONU Z LOKÁLNÍCH SUROVIN:
PROTOTYP TRVALÉHO BYDLNÍ..... 84**

Matěj Prudil

**VYUŽITÍ KALOVÉ VODY V BETONU Z POHLEDU
CHEMICKÝCH PŘÍŠAD 89**

Filip Petřík

V. tematický okruh: Normy a skúšobníctvo

TECHNICKÁ NORMALIZÁCIA V OBLASTI BETÓNU A CEMENTU..... 94

Jana Otrubová

PEVNOSTĚ BETÓNU V HOTOVEJ KONŠTRUKCII..... 102

Vladimír Priechodský

**PREUKAZOVANIA ODOLNOSTI BETÓNU PROTI ÚČINKU MRAZU
A ROZMRAZOVACÍCH LÁTOK V RÔZNYCH KRAJINÁCH..... 112**

Michal Bačuvčík

VI. tematický okruh: Betón II

**ADAPTÁCIA TECHNOLOGICKÝCH POSTUPOV BETÓNOVANIA
NA MENIAČE SA KLIMATICKÉ PODMIENKY NA SLOVENSKU 120**

Matej Špak

**MOŽNOSTI STANOVENÍ K-HODNOTY PRO AKTIVNÍ PŘÍMĚSI
S OHLEDEM NA TRVANLIVOST 128**

Petr Šperling, Rudolf Hela, Klára Křížová

**TRI DESAŤROČIA V BETÓNE: DLHODOBÝ TEST ÚČINNOSTI
ORGANICKÝCH INHIBÍTOROV KORÓZIE 136**

Ľudovít Sidó, Branislav Augustín

**VYUŽITIE PRÍMESÍ A FILEROV PRI VÝROBE KVALITNÉHO BETÓNU
S OHĽADOM NA EKOLÓGIU A EKONOMIKU VÝROBY BETÓNU.....141**

Martin Šuster

PREDSLOV

Konferencia BETÓN | CEMENT 2026 1. – 2. október 2026, Hotel Patria, Štrbské Pleso

Vážené dámy, vážení páni, milí kolegovia betonári a cementári,

do rúk sa Vám dostáva zborník príspevkov z konferencie BETÓN | CEMENT 2026, ktorá sa koná pri výnimočnej príležitosti – spoločných osláv 30. výročia založenia Slovenskej asociácie výrobcov transportbetónu a 30. výročia založenia Združenia výrobcov cementu Slovenskej republiky. Pri tejto príležitosti sa obe asociácie spojili a usporiadali prvú spoločnú odbornú konferenciu, ktorá nadväzuje na dlhoročnú tradíciu ich samostatných podujatí a posúva ju na novú úroveň. Zároveň je tohtoročná konferencia poďakovaním všetkým kolegom, ktorí sa na organizácii konferencií podieľali v minulosti, predovšetkým však pánovi Ing. Pavlovi Kňazemu, PhD., ktorý stál pri jej zrode a viedol ju odborne aj organizačne celých 30 rokov od jej vzniku.

Tohtoročná konferencia BETÓN | CEMENT 2026 je prvýkrát spoločným stretnutím odborníkov z celého reťazca výroby cementu a betónu – od ťažby surovín cez výrobu cementu a betónu až po ich uplatnenie v stavebnej praxi. Jej cieľom je priniesť aktuálne poznatky z oblasti materiálovej, technologickej i normotvornej, ktoré formujú budúcnosť slovenského stavebníctva, a vytvoriť priestor na výmenu skúseností.

Odborné podujatie sa koná pod záštitou Ministerstva dopravy Slovenskej republiky, čo potvrdzuje jeho spoločenský význam presahujúci rámec samotného odvetvia výroby stavebných materiálov.

Spríevodným podujatím konferencie je aj Kolokvium kvality – špeciálne podujatie, ktorého úlohou je vytvoriť priestor pre cielenú, moderovanú odbornú diskusiu v užšom kruhu medzi expertmi z oblasti výroby betónu, cementu a skúšobníctva.

Program konferencie ponúka dva dni bohatého odborného obsahu rozdeleného do šiestich tematických blokov – od aktuálnych tém odvetvia cez technológiu betónu a cementu až po inovácie, normy a skúšobníctvo. Veríme, že si v ňom každý účastník nájde príspevky blízke svojmu odbornému zameraniu.

Naša vďaka patrí odborným garantom konferencie, prof. Ing. Alene Sičákovej, PhD. z Technickej univerzity v Košiciach a prof. Ing. Rudolfovi Helovi, CSc. z VUT v Brne, za ich odborné vedenie pri príprave programu a za garanciu vysokej odbornej úrovne celej konferencie.

Radi by sme touto cestou poďakovali aj všetkým autorom odborných príspevkov, ktoré tvoria obsah tohto zborníka. Ich ochota podeliť sa o svoje poznatky, skúsenosti a výsledky výskumu je tým, čo dáva konferencii jej odbornú hodnotu a robí z nej skutočné miesto stretnutia teórie s praxou.

Rovnako by sme chceli poďakovať všetkým partnerom, sponzorom a podporovateľom konferencie. Bez ich trvalej podpory by usporiadanie našich odborných podujatí na takejto úrovni bolo veľmi náročné, ak nie priam nemožné.

Samozrejme, najväčšia vďaka patrí vám – účastníkom konferencie. Pre Vás konferenciu organizujeme, vďaka Vám je miestom mnohých odborných rozhovorov, občas aj vášnivých diskusií, vďaka Vám vzniká dialóg naprieč segmentami.

Vy otvárate témy, ktorým sa venujeme naďalej a Vy spolu tvoríte základy pre činnosť oboch našich profesijných organizácií.

Milí priatelia, želáme Vám všetkým, aby bola konferencia BETÓN | CEMENT 2026 pre Vás zdrojom nových poznatkov a inšpirácie a aby prispela k upevneniu doterajších, ako aj k nadviazaniu nových odborných, obchodných a osobných kontaktov.

Za organizačný výbor konferencie BETÓN | CEMENT 2026



**Ing. Jana Pančíková
Zimanová**
Slovenská asociácia
výrobcov transportbetónu
(SAVT)



Ing. Tomáš Kamas
Slovenská asociácia
výrobcov transportbetónu
(SAVT)



Ing. Rudolf Mackovič
Združenie výrobcov cementu
Slovenskej republiky
(ZVC SR)

VÝSLEDKY PROJEKTU DEKAST

Pavol Kováčik

Slovenské stavebníctvo vstupuje do obdobia, v ktorom sa požiadavky na energetickú hospodárnosť budov rozširujú o uhlíkovú stopu počas celého životného cyklu, nízkouhlíkové materiály, cirkularitu, klimatickú odolnosť a nové podmienky financovania. Projekt DEKAST preto nehľadal jedno technické riešenie. Skúmal celý reťazec – od stavebných materiálov a procesov cez prevádzku a obnovu budov až po rozhodovanie investorov, projektantov, zhotoviteľov, výrobcov, finančných inštitúcií a štátu. Výsledkom je Stratégia dekarbonizácie stavebníctva SR, ktorá premieňa výskumné poznatky na konkrétne priority pre jednotlivých aktérov sektora.

1 Od materiálu po celý životný cyklus budovy

Projekt „Výskum a inovácie pre dekarbonizáciu stavebnej činnosti prostredníctvom nízkoemisných stavebných procesov a materiálov v cirkulárnej ekonomike“ sa realizoval od januára 2025 do augusta 2026. Hlavnými partnermi projektu boli Technická univerzita v Košiciach a Zväz stavebného priemyslu Slovenska (ZSPS). Projekt skúmal celý reťazec: materiály, proces výstavby, prevádzku, obnovu, nízkouhlíkovú budovu a pripravenosť trhu. Projekt nadväzoval na projekt GreenDeal4Buildings – Zelená dohoda pre budovy. Ten v rokoch 2021 – 2024 vytvoril slovenské cestovné mapy pre rezidenčné, nebytové a priemyselné budovy a mestskú infraštruktúru a identifikoval opatrenia pre obnovu, financovanie, energetické služby, kapacity a koordináciu aktérov. DEKAST tento rámec neopakuje: dopĺňa ho o detailnejší technický výskum, aktuálne údaje o slovenskom sektore, prieskum trhu, nový regulačný kontext a výraznejší dôraz na uhlík počas celého životného cyklu. Časť Stratégia dekarbonizácie stavebníctva SR tieto vstupy spája a určuje priority, zodpovednosti a podmienky implementácie

Odborná práca bola rozdelená do siedmich vzájomne prepojených častí: Stavebné materiály, Proces výstavby, Prevádzka budov, Obnova budov, Nízkouhlíková budova, Stratégia dekarbonizácie stavebníctva SR a Prieskum trhu a rozhodovanie aktérov. Prvých päť častí skúma technické riešenia v jednotlivých fázach životného cyklu; prieskum konfrontuje tieto riešenia s pripravenosťou trhu a stratégia ich prepája s reguláciou, financovaním, kapacitami, dátami a zodpovednosťou jednotlivých aktérov.

2 Prečo už nestačí sledovať iba spotrebu energie

Doterajšia transformácia budov sa sústreďovala najmä na energiu počas prevádzky. To už nestačí. Emisie vznikajú aj pri výrobe materiálov, doprave a výstavbe, neskôr pri údržbe a obnove a napokon pri demolácii či opätovnom využití prvkov. DEKAST preto pracuje s Whole Life Carbon: prevádzkový aj zabudovaný uhlík sa majú posudzovať spolu, ideálne už pri prvých investičných a projektových rozhodnutiach.

Výskum sa neobmedzil na prehľad existujúcich riešení. Pri alternatívnych cementových zmesiach typu betón a malta sa testovalo využitie recyklovaných plnív z demolačných odpadov – tehlového, betónového, keramického či pórobetónového recyklátu – spolu s environmentálne priaznivejšími spojivami a lokálnymi surovinami. Optimalizovalo sa zloženie zmesí, skúšala sa objemová hmotnosť, pevnosť a nasiakavosť a varianty sa porovnávali aj pomocou LCA. Praktický cieľ je jasný: recyklovaný obsah nemá byť samoúčelný, ale musí sa spojiť s požadovanými technickými vlastnosťami a preukázateľne nižším environmentálnym dopadom.

V časti Stavebné materiály sa ukazuje, kde má materiálová dekarbonizácia najväčšiu páku. Analýza uhlíkovej stopy slovenských stavebných prác v stratégii ukázala výrazný nepomer: cement a vápno predstavujú približne 7,6 % výdavkov, ale až 33,2 % uhlíkovej stopy vstupov. Pri cemente a betóne preto výskum odporúča znižovať podiel portlandského slinku, širšie využívať doplnkové cementárske materiály, alternatívne palivá, elektrifikáciu a perspektívne CCUS. Pri oceli sú kľúčové recyklovaný šrot, elektrické oblúkové pece a nízkouhlíková elektrina; pri hliníku recyklácia

a dekarbonizácia elektriny. Pri kamenive analyzované slovenské EPD vykazovali pre fázy A1 – A3 hodnoty približne 2,07 – 3,30 kg CO₂e/t – uhlíková intenzita je nižšia, no pri veľkých objemoch má význam lokálnosť, efektívna výroba a doprava.

3 Technológia sama nestačí: rozhoduje aj spôsob výstavby a prevádzky

Časť Proces výstavby posúva pozornosť priamo na stavenisko. Pre stavebný proces navrhuje zbierať údaje o spotrebe nafty, benzínu, LPG, elektriny a plynu, prevádzkových hodinách mechanizmov a preprave materiálov a odpadu v tonokilometroch. Z nich možno vypočítať CO₂e jednotlivých procesov a identifikovať, či má väčší efekt zmena mechanizácie, organizácie staveniska, logistiky alebo materiálových tokov. Pre zhotoviteľa to znamená, že uhlíková stopa prestáva byť iba údajom od výrobcu materiálu a stáva sa aj parametrom riadenia stavby.

Praktické priority pre stavebné podniky sú preto konkrétne: merať spotrebu palív a energie na stavbách, optimalizovať logistiku a presuny mechanizmov, znižovať materiálové straty a odpad, zvyšovať opätovné použitie a recykláciu a vyžadovať relevantné environmentálne údaje od dodávateľov. Tieto kroky sa prekrývajú

s produktivitou – menej jazd, prestojov, odpadu a materiálových strát znamená spravidla aj nižšie náklady.

Časť Prevádzka budov ukazuje druhú stranu problému: projektovaný výkon sa musí potvrdiť v reálnej prevádzke. Energetický manažment má sledovať, kde, kedy a na čo sa energia spotrebúva, a pracovať s kvalitným meraním, reguláciou a zodpovednosťou za prevádzku. Bez merania nemožno spoľahlivo overiť úspory ani odhaliť odchýlku medzi projektovanou a skutočnou spotrebou.

4 Obnova existujúceho fondu zostáva ťažiskom

Časť Obnova budov potvrdzuje, že obnova musí spájať energetiku, uhlík a ekonomiku životného cyklu. Analyzované boli konkrétne scenáre obnovy škôl, kultúrnych domov a ďalších budov pomocou LCA a LCC, ale aj reálna prevádzka administratívnych, školských a bytových objektov. Výskum vegetačných striech napríklad pri dvoch sledovaných skladbách namerlal v zimných obdobiach sezónne zníženie tepelných strát približne o 6 – 14 % oproti referenčnej štrkovej streche. Ide o príklad opatrenia, ktoré môže súčasne prispievať k energetike, adaptácii na teplo a zrážky aj kvalite mestského prostredia.

Z pohľadu prípravy obnovy je dôležitá postupnosť: zmapovať stav budovy, vytvoriť varianty, posúdiť ich energeticky, uhlíkovo aj ekonomicky, kvalitne naprojektovať a zrealizovať a následne výsledok merať. Práve posledný krok je slabým miestom trhu – bez prevádzkových dát sa nedá odlíšiť deklarovaná úspora od skutočne dosiahnutej.

5 Päť smerov, na ktorých stojí stratégia

Technické výstupy projektu sa v stratégii stretávajú s analýzou slovenského trhu, regulačného rámca, financovania a prieskumom aktérov. Výsledkom je päť navzájom previazaných strategických smerov:

- Urýchliť a skvalitniť obnovu existujúceho fondu budov – zvýšiť nielen počet obnovovaných budov, ale aj hĺbku a kvalitu obnovy a zabrániť technologickému uzamknutiu pri čiastkových zásahoch.
- Zaviesť uhlíkovú stopu počas celého životného cyklu do rozhodovania – vybudovať metodiky, referenčné hodnoty, environmentálne údaje o výrobkoch a odborné kapacity pre GWP/WLC.
- Vytvoriť trh pre nízkouhlíkové materiály, technológie a stavebné procesy – cez predvídateľný dopyt, verejné a súkromné obstarávanie, údaje, inovácie a cirkulárne riešenia.

- Prepojiť verejné zdroje, súkromný kapitál a kvalitnú prípravu projektov – tak, aby financovanie umožnilo transformáciu vo veľkom rozsahu a bolo dostupné aj sociálne zraniteľným skupinám.
- Vybudovať spoločné implementačné prostredie – koordináciu politík, odborné kapacity, spoločné metodiky a údaje, digitálnu podporu, monitorovanie a pravidelnú aktualizáciu stratégie.

Text vychádza z projektovej dokumentácie DEKAST a z odborných častí Stavebné materiály, Proces výstavby, Prevádzka budov, Obnova budov, Nízkouhlíková budova, Prieskum trhu a rozhodovanie aktérov a Stratégia dekarbonizácie stavebníctva SR, ako aj z cestovných máp GreenDeal4Buildings.

ZKUŠENOSTI S NÁVRHEM A OVĚŘOVÁNÍM SLOŽENÍ BETONU PRO VODNÍ DÍLA KUTŘÍN A ORLÍK

Petr Huňka¹, Pavel Reiterman², Vít Šmilauer³

Príspevek se zabývá praktickými zkušenostmi získanými při návrhu, optimalizaci a ověřování složení betonů pro vodní díla Kutřín a Orlický. Pozornost je věnována specifickým požadavkům na betonové konstrukce vystavené dlouhodobému působení vody, klimatických vlivů a cyklů zmrazování a rozmrazování, a to na příkladu návodního líce poldru Kutřín (Povodí Labe, s.p.) a bezpečnostního přelivu VD Orlický (Povodí Vltavy, s.p.). Popsány jsou postup návrhu betonových směsí, volba cementu, kameniva, příměsí a přísad s důrazem na pevnost, vodotěsnost, trvanlivost a odolnost vůči agresivním vlivům prostředí. Prezentovány jsou výsledky laboratorního ověřování receptur i zkušenosti z poloprovazných a provozních zkoušek realizovaných v souvislosti s výstavbou, resp. rekonstrukcí obou vodních děl, včetně vlivu jednotlivých složek směsi na hydratační procesy, objemové změny a dlouhodobou životnost konstrukcí.

1 Úvod

Suchá nádrž (poldr) Kutřín na toku Krounka u Hlinska v Pardubickém kraji je významnou protipovodňovou stavbou, jejímž investorem je Povodí Labe, státní podnik. Projektová příprava probíhá od roku 2016 (Sdružení Kutřín 2016 – Šindlar s.r.o., HG partner s.r.o.) a v roce 2018 byl zpracován první projekční návrh receptury betonu pro konstrukční beton tělesa hráze [1]. Těleso hráze zahrnuje mimo jiné návodní líc (obr. 1), který musí současně splňovat požadavky na vodostavební beton dle ČSN 73 1208 [3] a na masivní betonovou konstrukci, u níž je z důvodu omezení vzniku trhlin limitována dávka a druh cementu s ohledem na vývin hydratačního tepla. Investor navíc požaduje na návodním líci povrchovou úpravu připomínající přírodní kámen, realizovanou otiskem elastických polyuretanových matric.

Pro ověření navržených receptur byl v roce 2019 realizován rozsáhlý experimentální program ve spolupráci Fakulty stavební ČVUT v Praze a společnosti STACHEMA CZ s.r.o. [2], jehož hlavní výsledky jsou shrnuty v kapitole 3 tohoto příspěvku. Na experimentální ověření navázala v letech 2021–2025 postupná optimalizace receptur pro výrobu ve spolupráci s betonárnou ČMB Hlinsko a jejich nasazení v reálných betonážích v rámci realizace stavby, kterou postupně zajišťovaly společnosti OHL ČR (2022) a Budimex (od 2024).

¹Ing. Petr Huňka, Ph.D., STACHEMA Kolín s.r.o., divize Stavební chemie, Hasičská 1, 280 02 Kolín, e-mail: petr.hunka@stachema.cz

²prof. Ing. Pavel Reiterman, Ph.D., ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Thákurova 7, 166 29 Praha 6, e-mail: pavel.reiterman@fsv.cvut.cz

³prof. Ing. V. Šmilauer, Ph.D. DSc., ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Thákurova 7, 166 29 Praha 6, e-mail: vit.smilauer@fsv.cvut.cz

11

3 Experimentální program ČVUT a STACHEMA

3.1 Ověřované receptury a jejich složení

Dle požadavku prvotních návrhů projektanta a investora (Povodí Labe) byly odsouhlaseny zkoušky série betonových směsí lišících se maximální velikostí zrna kameniva – 22 mm (receptura C22-FA, určená pro čerpaný beton) a 63 mm (receptura C63-FA, ukládaná bádíemi). Záměrem bylo použít co nejmenší množství cementu, a tím omezit vývin hydratačního tepla, vznik trhlin a potřebné množství výztuže. Jako příměs byl zvolen vysokoteplotní úletový popílek, ekonomicky výhodnější než vysokopecní struska a s dlouhou tradicí použití na českých vodohospodářských stavbách. Místo původně uvažovaného popílku Chvaletice byl pro odstávku elektrárny použit popílek Tušimice, certifikovaný dle ČSN EN 450-1 [5]. Kamenivo bylo vybráno z lomů v okolí stavby s ohledem na jeho mrazuvzdornost, cement CEM II/B-S 32,5 R byl dodán z nejbližší cementárny Prachovice (43 km od stavby). Doplnkově byla ověřena varianta C22-SL s jemně mletou vysokopecní struskou jako alternativní příměsí pro případ omezené dostupnosti popílku v době realizace. Složení receptur je uvedeno v tab. 1.

Tab. 1: Složení ověřovaných receptur betonu (na 1 m³)

Složka	C22-FA	C63-FA	C22-SL
CEM II/B-S 32,5 R Prachovice (kg)	270	230	270
Úletový popílek Tušimice (kg)	90	80	–
Struska SMŠ 400 Štramberk (kg)	–	–	110
Kamenivo 0/4–32/63 (kg celkem)	1 730	1 780	1 720
Stacheplast (kg)	2,15	1,85	2,05
Stachment Easy MR 250 (kg)	1,35	1,20	1,30
Microporan 2 (kg)	0,40	0,40	0,40
Voda (l)	170	170	170
Vodní součinitel w/c	0,63	0,74	0,63

Kombinace plastifikačních přísad Stacheplast a Stachment Easy MR 250 byla navržena s ohledem na požadovanou zpracovatelnost při čerpání i ukládce bádíemi a na snížení vodního součinitele; provzdušňující přísada Microporan 2 byla zařazena kvůli požadované trvanlivosti betonu v prostředí XF3, s doporučeným obsahem vzduchu 3,5–4,5 % dle ČSN P 73 2404 [19].

3.2 Vlastnosti čerstvého a ztvrdlého betonu

Konzistence čerstvého betonu byla stanovena dle ČSN EN 12350-2 [7] a udržována na stupni S4, odpovídajícím požadavku na ukládání čerpáním, resp. bádíemi, s následným vibrováním. Obsah vzduchu (ČSN EN 12350-7 [9]) se u jednotlivých záměsí pohyboval v rozmezí 3,6–6,4 %; požadavky ČSN EN 206+A1 (min. 4 % pro XF3) i ČSN P 73 2404 (min. 3,5 % pro Dmax 22–32 mm) byly považovány za informativní, neboť rozhodujícím kritériem zůstávaly výsledky zkoušek mrazuvzdornosti [2]. Objemová hmotnost ztvrdlého betonu (ČSN EN 12390-7 [10]) odpovídala u všech receptur návrhovým předpokladům.

Pevnosti v tlaku (ČSN EN 12390-3 [11]) byly stanoveny na krychlích 150 mm, u receptury C63-FA navíc na krychlích 200 mm z důvodu maximálního zrna kameniva 63 mm. Charakteristické pevnosti přepočtené dle ČSN EN 1990 [12] zařadily betony ve stáří 28, resp. 90 dní do tříd C20/25 až C25/30 (C22-FA), C16/20 až C20/25 (C63-FA) a C25/30 až C30/37 (C22-SL) – viz tab. 2. Nižší pevnost receptury C63-FA je důsledkem nižší dávky cementu (230 kg/m³ oproti 270 kg/m³ u ostatních receptur);

modul pružnosti (ČSN ISO 1920-10 [13]) je přitom u obou popílkových receptur ve stáří 90 dní téměř shodný (cca 27,5 GPa), zatímco struskový beton C22-SL dosahuje vyššího modulu (cca 31,4 GPa).

Tab. 2: Souhrn vlastností čerstvého a ztvrdlého betonu

Vlastnost	C22-FA	C63-FA	C22-SL
Obsah vzduchu (%)	4,1–6,4	3,6–5,7	5,9
Obj. hmotnost čerstvého betonu (kg/m ³)	2 270	2 250	2 260
Pevnost v tlaku, 28 dní (MPa)	31,5	26,8	37,2
Pevnost v tlaku, 90 dní (MPa)	43,5	36,8	47,5
Třída betonu (90 dní)	C25/30	C20/25	C30/37
Modul pružnosti, 90 dní (GPa)	27,5	27,6	31,4
Souč. mrazuvzdornosti (28 dní)	0,72	0,92	0,89
Hloubka průsaku, 90 dní (mm)	44,8	46,0	27,0

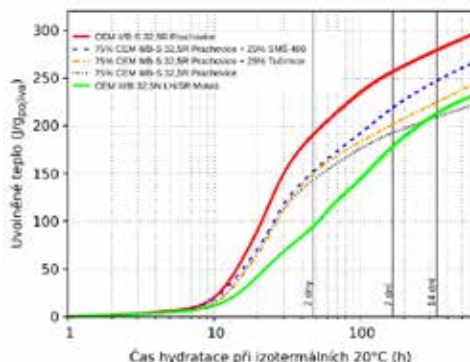
3.3 Základní dotvarování a smršťování

Základní dotvarování bylo měřeno na vzorcích zatížených konstantní tlakovou silou 100 kN (napětí –3,53 MPa) od stáří 14 dní; naměřená data byla porovnána s predikcí modelu B3 [1], jehož parametry byly nakalibrovány pro zpřesnění simulací celého návodního líce. Beton C63-FA vykázal o cca 20 % vyšší dotvarování než C22-FA, což je výhodné z hlediska relaxace napětí od omezeného smršťování, byť je částečně kompenzováno nižší pevností v tahu.

Autogenní smrštění, měřené na maltách ekvivalentního složení, bylo malé (řádově –45 μe ve stáří 9 dní u pojiva s popínkem) a po přeškálování na úroveň betonu nepřevyšuje cca –37 μe ; jeho vliv na vznik trhlin v masivní konstrukci je proto zanedbatelný ve srovnání s teplotními a vysychacími účinky. Zkoušky na smršťujících prstencích prokázaly vynikající odolnost cementu CEM II/B-S 32,5 R Prachovice k trhlínkování při hydrataci a vysychání (porušení prstence až po 82 dnech), zatímco záměna na CEM III/B 32,5 N Mokrá by odolnost výrazně snížila (porušení již po 7 dnech) – tento poznatek je významný pro posouzení rizika záměny cementu v průběhu realizace stavby.

3.4 Hydratační teplo

Izotermální kalorimetrií (obr. 2) bylo ověřeno, že navržené pojivo s 25 % náhradou cementu úletovým popínkem uvolňuje výrazně méně tepla než čistý cement, přičemž popílek se stává reaktivním až po 7 dnech hydratace. V porovnání s betonem Permacrete (CEM III/B 32,5 L-LH/SR Mokrá, dávka 300–380 kg/m³), který se běžně používá pro masivní konstrukce, je varianta C63-FA (310 kg/m³ pojiva) srovnatelná v uvolněném teple po 7 dnech. Výsledky kalorimetrie byly použity ke kalibraci čtyřparametrického afinního modelu hydratace, který následně sloužil jako vstup pro semi-adiabatické ověření na krychlích 0,5×0,5×0,5 m a pro termo-mechanické simulace betonáže lamel (kap. 3.5).



Obr. 2: Uvolněné teplo hydratace sledovaných pojiv (izotermální kalorimetrie, 20 °C).

Adiabatický nárůst teploty betonu, přepočtený z izotermální kalorimetrie na množství pojiva v receptuře, dosahuje v čase 200 h, resp. v limitě 42,0, resp. 42,8 °C u C22-FA a 35,2, resp. 36,7 °C u C63-FA (tab. 3) – nižší dávka cementu u receptury C63-FA se tak přímo projevuje nižším rizikem vzniku trhlin od hydratačního tepla.

Tab. 3: Adiabatický nárůst teploty ΔT_{adiab} betonu od 20 °C

Čas hydratace	C22-FA (°C)	C63-FA (°C)
50 h	33,5	27,2
100 h	39,3	32,4
200 h	42,0	35,2
∞ (extrapolace)	42,8	36,7

3.5 Simulace vzniku trhlin a vliv vyztužení

Vznik trhlin v masivní konstrukci byl ověřován dvěma navazujícími způsoby – zkouškou na slabě vyztužených H-trámech (průřez 0,3×0,3×1,5 m, podélná výztuž 4Ø14, stupeň vyztužení 0,68 %) simulující omezenou deformaci lamely při chladnutí, a termo-mechanickou simulací v softwaru OOFEM [18], kalibrovanou na výsledky kalorimetrie a dotvarování. Při zkoušce H-trámů byla pozorována součtově zhruba dvojnásobná šířka trhlin u betonu C63-FA oproti C22-FA, zatímco maximální šířka jednotlivých trhlin byla u obou betonů srovnatelná.

Termo-mechanická simulace letní betonáže lamely 2,5×2,5×15 m predikuje maximální teplotu v jádru 63 °C pro C22-FA a 57 °C pro C63-FA (nárůst 38, resp. 32 °C nad výchozí teplotu 25 °C); vliv okrajových podmínek (typ ošetření povrchu) na maximální teplotu je při této tloušťce konstrukce malý. Maximální šířka trhlin klesá s rostoucím stupněm podélného vyztužení z 0,30 % na 0,60 % z hodnot 0,26–0,34 mm na 0,16–0,18 mm; navrženému stupni vyztužení 0,60 % tak vyhovují obě varianty betonu vůči kritériu maximální šířky trhliny 0,20 mm, odvozenému z ACI 224 [16].

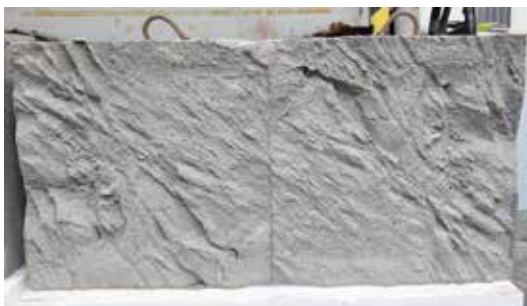
Alternativou ke zvýšenému vyztužení je vnitřní vodní chlazení lamely, které u betonu C63-FA snížilo maximální teplotu z 57 °C na 53 °C a umožnilo by snížit stupeň podélného vyztužení z 0,60 % na cca 0,10 % při zachování limitní šířky trhliny. Odhadovaná úspora na výztuži návodního líce (cca 3 300 m³ betonu) činí cca 4,5 mil. Kč, oproti odhadovaným nákladům na chlazení cca 1 mil. Kč, tedy čistá úspora

cca 3,5 mil. Kč [2]; tato varianta je podmíněna dostupností chladicí vody v období vyšších teplot nebo dostatečně silné klimatizační jednotky.

3.6 Mrazuvzdornost, vodotěsnost a ověření výroby

Mrazuvzdornost po 100 cyklech dle ČSN 73 1322 [14], stanovená na základě úbytku pevnosti v tahu ohybem, dosáhla po 28 dnech součinitele 0,72 (C22-FA), 0,92 (C63-FA) a 0,89 (C22-SL); s ohledem na deklarovanou návrhovou hodnotu vlastností ve stáří 90 dní a na rozptýl výsledků byly hodnoty považovány za vyhovující. Hloubka průsaku tlakovou vodou (ČSN EN 12390-8 [15]) klesla u všech receptur po 90 dnech pod mezní hodnotu 50 mm, což dokládá dostatečnou vodotěsnost navržených betonů.

Reálnost výroby byla ověřena zkušební betonáží v betonárně Prefa Pro, a.s. (Zápy) v červnu 2019. Všechny receptury byly bez problémů dávkovatelné, míchatelné, zpracovatelné a transportovatelné; u receptury C63-FA byl zaznamenán vyšší odpor při míchání a hlučnost (vyšší opotřebení míchacího zařízení) a při ukládání bádami komplikovanější otevírání štěrbin pro hrubší zrna kameniva. Zkušební otisky elastických polyuretanových matric (Reckli, obr. 3) na recepturách C22-FA a C63-FA prokázaly výbornou kvalitu povrchu odpovídající požadavku investora na kamenný reliéf, bez kaveren a s dostatečným množstvím cementové pasty na povrchu.



Obr. 3: Otisk polyuretanové matrice (Reckli) na betonu návodního líce.

4 Od laboratorního ověření k realizaci stavby

4.1 Optimalizace receptur pro výrobu

Navazující zkoušky provedené ve spolupráci s betonárnou ČMB Hlinsko prověřily širší spektrum receptur s alternativními pojivy (CEM I 42,5 R Mokrý, CEM II/B-S 32,5 R Mokrý i Prachovice), příměsemi (popílek Chvaletice/Opatovice, struska Štramberská) a frakcemi kameniva (8/16, 11/22, 32 a 63 mm). U řady receptur byl identifikován nesoulad s max. vodním součinitelem 0,50 požadovaným pro stupeň XF3 (příp. 0,50–0,55 pro XC3, XD2, XA1) a u receptur bez provzdušnění byla vyjádřena obava z nedostatečné mrazuvzdornosti; u receptur s dávkou cementu nad 300 kg/m³, zejména při použití CEM I 42,5 R, narůstalo riziko nadměrného vývinu hydratačního tepla, zvláště při letní betonáži.

Tyto poznatky vedly k identifikaci hlavních technologických protikladů při návrhu betonu pro tuto konstrukci: dávka a druh cementu působí protichůdně na mrazuvzdornost a na hydratační teplo; provzdušnění (doporučeno 5–6 % s ohledem na rezervu pevnosti) je nutnou podmínkou mrazuvzdornosti; přítomnost popílku

ovlivňuje konzistenci, dlouhodobé vlastnosti i hydratační teplo; frakce kameniva nad 32 mm nepřináší technologickou výhodu, spíše komplikace při výrobě a čerpání.

4.2 Legislativní, právní a ekonomické aspekty

Souběžně bylo nutné sladit prokazování specifikací a vlastností betonu dle ČSN EN 206+A1 [4] a ČSN P 73 2404 [19] se smluvně závaznými parametry mezi Povodím Labe a zhotovitelem (a následně mezi zhotovitelem a betonárnou), včetně jasného vymezení, které okrajové podmínky (např. dávka a třída cementu) je možné nahradit jiným technickým opatřením (např. chlazením konstrukce). Riziko delší doby výstavby spojené se změnou zhotovitele stavby či dodavatele betonu (v průběhu realizace OHL ČR, následně Budimex) i s dostupností a cenou vstupních materiálů zdůraznilo potřebu včasné komunikace a spolupráce investora, projektanta, technologa, betonárny, zhotovitele, technického dozoru a zkušebny.

4.3 Betonárna Hlinsko a výroba betonu

Beton pro stavbu je vyráběn v betonárně Hlinsko (se zálohou Ždírec nad Doubravou), osazené automatickým systémem řízení ME 30, technologií typu SB VLK 25 s horizontální jednohřídelovou míchačkou ELBA EMS65 o objemu záměsi 1 m³, čtyřkomorovým zásobníkem kameniva a čtyřmi silami na cement a příměsi. Provoz je celoroční díky ohřevu kameniva a záměsové vody a zahrnuje recyklaci zbytkového betonu; hodinový výkon dosahuje 30–60 m³ dle typu betonu. Vzdálenost betonárny od stavby (cca 20 km, dojezdový čas 30 minut) byla zohledněna při posouzení proti alternativě mobilní betonárny přímo na staveništi.

4.4 Výsledky reálných betonáží 2025

Výsledky z betonáží realizovaných v betonárně Hlinsko dne 5. 6. 2025 (tab. 4) potvrzují, že optimalizované receptury dosahují ve výrobní praxi srovnatelných, resp. lepších parametrů, než predikoval laboratorní program z roku 2019. Šestde let od laboratorního ověření tak byly metodika návrhu i výběr klíčových vstupních materiálů (cement Prachovice, popílek, systém přísad Stachema) potvrzeny přímo v provozní praxi.

Tab. 4: Výsledky zkoušek betonu z reálné betonáže

Parametr	Rozsah / hodnota
Konzistence – sednutí (mm)	160–180
Obsah vzduchu (%)	4,9–6,1
Teplota čerstvého betonu (°C)	20,4–24,5
Objemová hmotnost čerstvého betonu (kg/m ³)	2 280–2 310
Pevnost v tlaku, 28 dní, průměr (MPa)	35
Pevnost v tlaku, 90 dní, průměr (MPa)	55
Hloubka průsaku tlakovou vodou (mm)	2–16
Souč. mrazuvzdornosti T100 (100 cyklů)	0,96–1,03

5 Vodní dílo Orlík – rozšíření zkušeností

5.1 Popis stavby a požadavky na beton

Vodní dílo Orlík na Vltavě, uvedené do provozu v roce 1962, je v letech 2021–2026 doplňováno o nový bezpečnostní přeliv navržený na zvládnutí desetitisícileté povodně (investor Povodí Vltavy, s.p., projekt Aquatis, a.s., zhotovitel Metrostav a.s., divize 6) [20]. Stavba zahrnuje zakrytou část ze tří železobetonových ráků o rozpětí 53, 66 a 72 m a navazující otevřený skluz délky 235 m, šířky 16 m a hloubky 6 m se

spádem až 40 %, s celkovou spotřebou konstrukčního betonu přesahující 50 000 m³ [20]. Vysoké rychlosti proudící vody ve skluzu, dlouhodobé působení vody a mrazu a značný objem jednotlivých betonáží (přes 200 m³ na záběr) stavějí před návrh betonu obdobné otázky jako u VD Kutřín – řízení hydratačního tepla a objemových změn masivních konstrukčních prvků, zajištění mrazuvzdornosti a vodotěsnosti a zároveň odolnosti povrchu proti otěru a kavitaci.

5.2 Zkušební z návrhu a ověřování betonu

Na základě požadavku jednoho z uchazečů ve veřejné soutěži (SMP CZ, a.s., resp. HOCHTIEF CZ a.s.) byla ve zkušební laboratoři STACHEMA CZ s.r.o. navržena a ověřena receptura betonu C30/37-90d pro prostředí XC4, XF3, XA1 v konzistenci S2, určeného pro betonáž skluzu VD Orlík [21]. Receptura navazuje na dříve zpracované průkazní zkoušky (duben 2020) pro konzistenci S4; s ohledem na požadavek objednatele na tužší konzistenci S2 a na záměnu hrubých frakcí kameniva 4/8 a 11/16 z lokality Slapy u Tábora (namísto původně uvažované lokality Lašovice) byly provedeny pouze mírné úpravy dávky záměsové vody a poměru plastifikačních přísad; záměna kameniva neměla zásadní vliv na vlastnosti čerstvého ani ztvrdlého betonu.

Ověřovací zkouška proběhla 17. 5. 2020 na výrobně HOCHTIEF CZ a.s. (středisko Prefa, Planá nad Lužnicí) s CEM II/B-S 32,5 R Mokrá v dávce 320 kg/m³, pískem Suchdol (810 kg/m³), kamenivem Lašovice 4/8 v dávce 150 kg/m³ resp. 8/16 v dávce 310 kg/m³ a dále kamenivem Planá 16/32 v dávce 540 kg/m³. Byly použity plastifikační přísady Stacheplast (1,9 kg/m³) a Stachment Easy MR 250 (1,3 kg/m³) a provzdušňující přísada Microporan 2 (0,6 kg/m³). Bylo vyrobeno 5 m³ betonu, který byl autodomíchávačem dopraven a mobilním čerpadlem uložen do zkušebního bloku 5400×1200×500 mm se sklonem 30 %, simulujícího betonáž skluzu. U čerstvého betonu byla sledována změna konzistence (sednutí 80 mm) a obsahu vzduchu v čase (do 90 minut od výroby – 4,8 %), u ztvrdlého betonu pevnost v tlaku ve stáří 2, 7, 28 a 90 dní a hloubka průsaku tlakovou vodou po 28 dnech [21]. Zkouška prokázala, že beton v konzistenci S2 je i přes tužší konzistenci bez problémů čerpatelný a hutnitelný, povrch lze dobře zahladit a beton lze ukládat i na sklonu 30 % bez sesouvání směsi ve směru spádu - jde o zásadní poznatek pro betonáž nakloněných částí skluzu.

Součástí ověření bylo i měření vývinu hydratačního tepla přímo na zkušebním bloku pomocí odporových teplotních čidel Ni1000 umístěných v jádře a na povrchu, se záznamem od 17. do 22. 5. 2020 (obr. 4). Vzhledem k subtilní tloušťce bloku (500 mm) a neošetřenému, nezaizolovanému povrchu vystavenému přímému slunečnímu záření byl průběh teplot výrazně ovlivněn i kolísáním okolní teploty; naměřené maximální teploty a teplotní gradienty shrnuje tab. 5.



Obr. 4: Záznam teplot v jádru (T1), na povrchu (T2) zkušebního bloku a okolního vzduchu (T3) při betonáži skluzu VD Orlík.

Tab. 5: Maximální teploty a gradienty na zkušebním bloku skluzu VD Orlík

Snímač / veličina	Hodnota	Doba od uložení	Doba od namíchání
T1 - jádro bloku	33,1 °C	29:30	31:00
T2 - horní povrch	37,5 °C	25:50	27:20
Gradient 1 (jádro-povrch, 200 mm)	7,2 °C	17:00	18:30
Gradient 2 (povrch-jádro, 200 mm)	7,7 °C	48:50	50:20

Dosažená maximální teplota v jádru bloku (33,1 °C) potvrzuje, že navržená receptura nevede k nadměrnému vývinu hydratačního tepla ani u subtilnějších prvků skluzu; vyšší teplota zaznamenaná na povrchovém čidle (37,5 °C) je dána především vlivem slunečního záření na neošetřený povrch tenké nezaizolované desky, nikoli samotnou hydratací. Výsledky zkoušek pevnosti v tlaku a hloubky průsaku tlakovou vodou korespondovaly s výsledky původních průkazných zkoušek [21] a potvrdily, že navržený beton splňuje požadavky pro prostředí XC4, XF3, XA1 i v tužší konzistenci S2.

6 Diskuse

Souhrnné porovnání obou hlavních variant receptury (tab. 6) potvrzuje, že beton C63-FA je z hlediska trvanlivosti návodního líce příznivější (vyšší mrazuvzdornost, nižší hydratační teplo, možnost nižšího vyztužení), avšak za cenu náročnější výroby a čerpatelnosti; beton C22-FA je naopak vhodný pro čerpání s mírně horšími parametry trvanlivosti. Rozdíl v ceně materiálu (cca 63 Kč/m³ ve prospěch C63-FA) je při daném objemu konstrukce z hlediska celkových nákladů stavby málo významný ve srovnání s možnými úsporami na vyztužení.

Tab. 6: Porovnání hlavních charakteristik receptur C22-FA a C63-FA

Charakteristika	C22-FA (čerpaný)	C63-FA (bádiováný)
Míchatelnost a čerpatelnost	běžná	náročnější (čerpaní výrazně náročnější)
Souč. mrazuvzdornosti (28 dní)	0,72	0,92
Adiabatická teplota $\Delta T_{\text{adiab}}(200 \text{ h})$	42,0 °C	35,2 °C
Nutný stupeň vyztužení pro šířku trhliny 0,20 mm	0,60 %	0,50 %
Rozdíl v ceně materiálů	0	-63 Kč/m ³

Varianta se struskou (C22-SL) se ukázala jako plnohodnotná alternativa k popílkové receptuře, a to s vyššími pevnostmi i mrazuvzdorností, což je významné zejména s ohledem na omezenou a časově proměnnou dostupnost kvalitního úletového popílku na trhu.

Z pohledu celého řetězce návrh–výroba–realizace je klíčovým poznatkem, že u zakázek s dlouhou dobou přípravy a realizace (v tomto případě téměř devět let) je nutné počítat se změnou zhotovitele stavby i dodavatele betonu a s tím spojenou nutností opakovaného ověřování receptur u nových dodavatelů materiálů. Včasná a otevřená komunikace mezi všemi zúčastněnými stranami (investor, projektant, technolog, betonárna, zhotovitel, technický dozor, zkušebna) se ukázala jako rozhodující předpoklad pro úspěšné zvládnutí technologických, legislativních i ekonomických aspektů návrhu speciálního betonu pro masivní vodohospodářskou konstrukci.

7 Závěr

Příspěvek na příkladu vodního díla Kutřín na Krounci dokumentuje více než devítiletý vývoj betonových směsí pro masivní vodostavební konstrukci – od prvních projekčních návrhů (2016–2018) přes rozsáhlý experimentální program ČVUT v Praze a STACHEMA (2019) až po optimalizaci receptur pro výrobu a jejich úspěšné nasazení v reálných betonážích (2025). Naměřené vlastnosti čerstvého a ztvrdlého betonu, hydratačního tepla, dotvarování, smršťování, mrazuvzdornosti a vodotěsnosti umožnily zodpovědně zvolit mezi čerpaným betonem s D_{max} 22 mm a bádiováním betonem s D_{max} 63 mm i mezi popílkovou a struskovou příměsí, a to při zohlednění technologických, legislativních i ekonomických souvislostí. Shoda mezi laboratorními predikcemi z roku 2019 a výsledky reálné výroby v roce 2025 potvrzuje přínos včasného a komplexního experimentálního ověření betonových směsí pro náročné vodohospodářské stavby. Obdobný přístup je uplatňován i při návrhu a ověřování betonu pro bezpečnostní přeliv VD Orlík.

Poděkování

Autoři děkují Povodí Labe, státní podnik, za možnost podílet se na přípravě a realizaci vodního díla Kutřín, Fakultě stavební ČVUT v Praze za spolupráci na experimentálním programu a společností Prefa Pro, a.s. a ČMB Hlinsko za poskytnutí betonárny pro zkušební, resp. produkční záměsí. Vývoj mechanického modelu pro dotvarování a vznik trhlin byl spolufinancován Technologickou agenturou ČR v rámci projektu TH03020404 [2].

Literatura

- [1] ŠMILAUER, V., HAVLÁSEK, P., KOLÁŘ, K.: Stanovení receptur betonů pro polder Krounka – Kutřín. Předběžná simulace etap výstavby, nárůstu teplot a vzniku trhlin. ČVUT v Praze, Fakulta stavební, 2018.
- [2] ŠMILAUER, V., REITERMAN, P., HAVLÁSEK, P., HUŇKA, P., MORAVEC, T.: Krounka, Kutřín, výstavba poldru – ověření základních vlastností betonů. Závěrečná zpráva. ČVUT v Praze, Fakulta stavební, 2019.
- [3] ČSN 73 1208: Navrhování betonových konstrukcí vodohospodářských objektů. 2010.
- [4] ČSN EN 206+A1: Beton – Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda. 2017.
- [5] ČSN EN 450-1: Popílek do betonu – Část 1: Definice, specifikace a kritéria shody.
- [6] ČSN EN 12620+A1: Kamenivo do betonu.
- [7] ČSN EN 12350-2: Zkoušení čerstvého betonu – Část 2: Zkouška sednutím. 2009.
- [8] ČSN EN 12350-6: Zkoušení čerstvého betonu – Část 6: Objemová hmotnost. 2009.
- [9] ČSN EN 12350-7: Zkoušení čerstvého betonu – Část 7: Obsah vzduchu – Tlakové metody. 2009.
- [10] ČSN EN 12390-7: Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 7: Objemová hmotnost ztvrdlého betonu. 2009.
- [11] ČSN EN 12390-3: Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 3: Pevnost v tlaku zkušebních těles. 2019.
- [12] ČSN EN 1990: Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí. 2002.
- [13] ČSN ISO 1920-10: Zkoušení betonu – Část 10: Stanovení statického modulu pružnosti v tlaku. 2016.
- [14] ČSN 73 1322: Stanovení mrazuvzdornosti betonu. 1969.
- [15] ČSN EN 12390-8: Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 8: Hloubka průsaku tlakovou vodou. 2009.
- [16] ACI Committee 224: Control of Cracking in Concrete Structures. ACI, 2001.
- [17] RILEM Technical Committee TC-242-MDC (Bažant, Z. P. – chair): Model B4 for creep, drying shrinkage and autogenous shrinkage of normal and high-strength concretes with multi-decade applicability. Materials and Structures, 48, 2015, s. 753–770.
- [18] PATZÁK, B.: OOFEM – an object-oriented simulation tool for advanced modeling of materials and structures. Acta Polytechnica, 52(6), 2012, s. 59–66.
- [19] ČSN P 73 2404: Beton s deklarovanou životností 100 let – Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda – Doplňující informace.
- [20] Vodní dílo Orlík – doplňkový bezpečnostní přeliv: základní informace o projektu. Povodí Vltavy, s.p., [cit. 2026]. Dostupné z: <https://www.orlikppo.cz/o-projektu/>
- [21] HUŇKA, P., MORAVEC, T.: Provedení úpravy receptury a ověřovací zkoušky betonu C 30/37-90d XC4: XF3; XA1 v konzistenci S2 pro akci „betonáž skluzu Orlík“ (zpráva navazuje na průkazní zkoušky PZ SMP CZ 01/20 z dubna 2020). Zpráva pro SMP CZ, a.s. STACHEMA CZ s.r.o., Zkušební laboratoř, Zibohlavý, 1.7.2020.

POROVNATELNOST EPD CEMENTŮ, PŘÍMĚSÍ A BETONŮ V PODMÍNKÁCH STŘEDNÍ EVROPY

Tereza Pavlů¹

Environmentální prohlášení o produktu (EPD) představují významný zdroj dat pro hodnocení environmentálních dopadů stavebních materiálů. Příspěvek porovnává EPD cementů, příměsí a betonů z České republiky, Slovenska a Rakouska se zaměřením na GWP v modulech A1–A3. Hodnocen je vliv složení výrobků, využití druhotných surovin a rozdílných alokačních přístupů. Výsledky ukazují, že přímé porovnání EPD může být významně ovlivněno nejen složením výrobku, ale také metodickými předpoklady jeho environmentálního hodnocení.

1 Úvod

Snižování environmentálních dopadů stavebnictví představuje jednu z hlavních výzev současného stavebního sektoru. V případě betonových konstrukcí je pozornost zaměřena zejména na emise skleníkových plynů spojené s výrobou cementu, především slínku. Jedním ze základních způsobů snižování uhlíkové stopy cementu a betonu je proto snižování podílu slínku a využívání dalších hlavních složek cementu nebo příměsí do betonu, mezi které patří například vysokopecní struska, popílek, vápenec nebo přírodní a kalcinované pucolány.

Část těchto materiálů vzniká jako vedlejší produkt jiných průmyslových procesů. Jejich využití tak může současně přispívat ke snižování spotřeby primárních surovin a naplňování principů cirkulární ekonomiky. Samotný obsah druhotných surovin však nemusí být přímo úměrný environmentálním přínosům výsledného výrobku. Výsledek závisí nejen na množství a druhu použitého materiálu a na složce, kterou nahrazuje, ale také na environmentální zátěži, která je tomuto materiálu v rámci hodnocení životního cyklu (Life Cycle Assessment, LCA) přiřazena.

Environmentální prohlášení o produktu (Environmental Product Declaration, EPD) představují v současnosti jeden z hlavních zdrojů dat pro hodnocení environmentálních dopadů stavebních výrobků. EPD vycházejí z metodiky LCA [1] a v evropském prostředí jsou pro stavební výrobky zpracovávána podle EN 15804.[2] Rostoucí význam hodnocení uhlíkové stopy budov zároveň zvyšuje význam EPD jako zdroje dat pro projektanty, výrobce, investory a další účastníky stavebního procesu.

Přestože standardizace vytváří společný rámec pro zpracování EPD, samotná existence ověřeného EPD nezaručuje, že hodnoty uvedené v různých prohlášeních lze bez dalšího přímo porovnávat. Předchozí studie identifikovaly rozdíly v deklarovaných jednotkách, systémových hranicích, použitých databázích, pravidlech pro vynechání vstupů a zejména v alokačních postupech. Moré et al. při

¹ Doc. Ing. Tereza Pavlů, Ph.D., tereza.pavlu@cvut.cz

hodnocení 436 EPD zjistili, že všechny požadované informace obsahovalo pouze 5,04 % dokumentů a plně porovnatelný byl pouze zlomek možných dvojic EPD [3]. Obdobně Gelowitz a McArthur [4] upozorňují, že významné rozdíly mohou přetrvávat i mezi EPD vytvořenými podle stejných pravidel produktové kategorie (Product Category Rule, PCR).

Specifickou otázkou představuje způsob hodnocení vedlejších produktů využívaných jako složek cementu nebo příměsí do betonu. Popílek a vysokopecní struska vznikají primárně při výrobě elektřiny, respektive železa, a způsob rozdělení environmentálních dopadů těchto procesů mezi hlavní produkt a vedlejší produkt může významně ovlivnit jejich deklarovaný environmentální dopad. Rozdílné alokační postupy proto mohou následně ovlivňovat nejen výsledky LCA samotných příměsí, ale také cementů a betonů, v nichž jsou použity.

Význam alokace roste zejména při vyšším podílu vedlejších produktů. Dostupné studie ukazují, že změna alokačního přístupu může významně změnit výsledné environmentální hodnocení betonů s vysokým obsahem materiálů částečně nahrazující cement (Supplementary Cementitious Materials, SCM). Současně není možné environmentální zatížení těchto materiálů posuzovat nezávisle na regionálním kontextu jejich vzniku. Například při modelování popílku jako vedlejšího produktu výroby elektřiny vstupuje do výsledku nejen zvolený alokační faktor, ale také environmentální profil samotné výroby elektřiny. Sambataro et al. [5] proto při tvorbě evropských benchmarků cementu používají pro popílek ekonomickou alokaci odvozenou z podmínek jednotlivých zemí a výrobu elektřiny z černého uhlí jako proces, z něhož popílek vzniká.

Cílem příspěvku je analyzovat environmentální data dostupná v EPD cementů, příměsí a transportbetonů používaných v podmínkách České republiky, Slovenska a Rakouska a posoudit, do jaké míry umožňují objektivní porovnání jednotlivých výrobků. Zvláštní pozornost je věnována využití druhotných surovin, způsobu jejich započtení do LCA a vlivu alokačních pravidel na potenciál globálního oteplování (GWP). Na vybraných scénářích je dále hodnocena citlivost výsledků na rozdílné přístupy k alokaci popílku a jeho regionálnímu původu. Součástí analýzy je rovněž posouzení vztahu mezi podílem druhotných surovin ve výrobku a jeho deklarovaným GWP.

1.1 Současný stav poznání

Problematika porovnatelnosti EPD stavebních výrobků je v odborné literatuře diskutována dlouhodobě. Gelowitz a McArthur [4] při porovnání environmentálních prohlášení stavebních výrobků identifikovali významné rozdíly v metodických postupech a upozornili, že ani použití harmonizovaných pravidel samo o sobě nezaručuje plnou porovnatelnost výsledků. Mezi významné zdroje rozdílů patřily zejména použité inventarizační databáze, metodika LCA a způsob interpretace požadavků PCR.

Na tento problém navázali Moré et al. [3], kteří hodnotili úplnost a porovnatelnost 436 EPD. Za klíčové parametry pro porovnání označili mimo jiné deklarovanou nebo funkční jednotku, systémové hranice, cut-off pravidla a alokační postupy. Jejich výsledky ukázaly, že chybějící informace spolu s flexibilitou některých pravidel výrazně omezují možnost přímého porovnání environmentálních prohlášení.

Obdobné problémy byly identifikovány také při využívání EPD cementu a betonu jako podkladových dat pro LCA dopravních staveb; Rangelov et al. [6] upozorňují mimo jiné na význam metodické kompatibility, zdrojů dat a rozdílů mezi souběžně platnými PCR.

V případě cementu je jedním z hlavních faktorů ovlivňujících GWP obsah slínku. Snižování slínkového faktoru prostřednictvím dalších hlavních složek cementu proto obecně vede ke snižování emisí skleníkových plynů. Environmentální přínos však není pro všechny kategorie dopadu ani pro všechny použité materiály stejný. Sambataro et al. [5] při tvorbě environmentálních benchmarků evropského cementářského průmyslu prokázali významné rozdíly mezi jednotlivými zeměmi související se složením cementu, energetickou náročností výroby a použitým energetickým mixem. Pro modelování popílku použili ekonomickou alokaci, přičemž alokační faktory stanovili individuálně podle podmínek jednotlivých zemí.

Způsob alokace je významný zejména u vedlejších produktů jiných průmyslových procesů. Anderson a Moncaster [7] při analýze EPD materiálů na bázi cementu upozornili na nekonzistentní zacházení s popínkem a vysokopecní struskou. V některých analyzovaných EPD nebyly těmto materiálům přiřazeny žádné dopady původního procesu, přestože jiné metodické přístupy používají ekonomickou nebo jinou formu alokace. Rozdílný způsob započtení vedlejšího produktu může následně ovlivnit hodnocení materiálů na bázi cementu s vyšším obsahem těchto složek.

Citlivost environmentálního hodnocení betonu na zvolený alokační postup potvrzují také studie zaměřené přímo na betony s SCM. Xing et al. [8] porovnávali scénáře bez alokace, s ekonomickou a hmotnostní alokací a s plným přiřazením dopadů vedlejším produktům. Výsledky ukázaly, že s rostoucím množstvím zátěže přiřazené SCM roste environmentální dopad výsledného betonu a že tento efekt je významnější u směsí s vysokým podílem SCM. Autoři současně upozorňují, že environmentální dopady popílku, strusky a dalších SCM nelze automaticky považovat za nulové.

Vedle samotné alokace je důležitý také geografický kontext. Environmentální profil stejného typu materiálu se může lišit podle technologie a energetického systému, ve kterém vzniká. Tento efekt je dobře patrný u popílku z uhelných elektráren. Sambataro et al. [5] ukazují, že vysoký podíl uhlí v polském elektrickém mixu významně ovlivňuje řadu environmentálních indikátorů, přestože Polsko současně vykazuje vysoké využití popílku jako složky cementu.

Dosavadní literatura tedy poměrně podrobně popisuje jak omezení porovnatelnosti EPD, tak vliv složení cementu, SCM a alokačních pravidel na výsledky LCA. Méně pozornosti je však věnováno tomu, jak se tyto metodické rozdíly projevují v konkrétních veřejně dostupných EPD cementů, příměsí a betonů na jednom regionálním trhu a jak ovlivňují praktickou interpretaci nízkouhlíkových a cirkulárních řešení. Tato práce se proto zaměřuje na propojení analýzy dostupných EPD s hodnocením obsahu druhotných surovin a citlivostní analýzou vybraných alokačních přístupů.

2 Materiály a metody

Analýza vycházela z EPD pro cementy, příměsi, přísady a transportbetony z České republiky, Slovenska a Rakouska. Pro cementy a příměsi byly výsledky sjednoceny na 1 t výrobku, pro transportbetony na 1 m³.

Zpracování dat bylo rozděleno do tří úrovní podle jistoty dostupných informací. První úroveň zahrnovala údaje přímo deklarované v EPD: identifikaci výrobku, výrobní lokalitu, deklarovanou jednotku, hranice systému – moduly životního cyklu (A1-A3), kategorii dopadu (GWP), typ datasetu, referenční rok a dostupné složení. Druhá úroveň zahrnovala informace, které bylo možné pouze odvodit, například

interval obsahu slínku a hlavních složek podle označení cementu nebo technickou reprezentativnost agregovaných skupin betonů. Normové intervaly nebyly považovány za skutečné receptury a nebyly převáděny na bodové hodnoty. Třetí úroveň představovaly modelované výsledky LCA a scénářové přepočty.

Před vyhodnocením byly odstraněny prokazatelné duplicity, zejména identické datasey betonů publikované před a po přejmenování společnosti a starší rakouská EPD nahrazená novějším prohlášením stejného cementu. Produktově specifická EPD, průměry celého závodu a EPD sdružující více výrobků byly hodnoceny odděleně.

Porovnatelnost byla posuzována podle deklarované jednotky, systémových hranic, generace EN 15804 [2], produktové funkce, úrovně agregace, referenčního období a alokačních pravidel. Hlavním hodnoceným indikátorem byl GWP-total v modulech A1–A3.

U cementů byl sledován vztah mezi typem cementu, obsahem slínku a GWP. U příměsí byly porovnány deklarované hodnoty GWP a informace o způsobu přiřazení environmentálních zátěží vedlejším produktům. Promítnutí těchto rozdílů do betonu bylo ilustrováno pro obsah popílku 2–4 % při předpokládané objemové hmotnosti betonu 2 300 kg/m³. Porovnány byly tři varianty: nulová zátěž popílku, hodnoty dostupných českých EPD a scénář 1% ekonomické alokace podle [9]. Výpočet vyjadřoval pouze příspěvek popílku, nikoli celkové GWP betonu.

Transportbetony byly hodnoceny podle pevnostních tříd C12/15 až C40/50. Pro každou třídu bylo stanoveno rozpětí a medián GWP-total a indikátoru využití druhotných materiálů SM. Prokazatelné duplicity a výrobky bez jednoznačně přiřaditelné pevnostní třídy byly vyřazeny. Pokud EPD zahrnovalo více pevnostních tříd, byl jeho výsledek přiřazen ke všem třídám obsaženým v deklarovaném rozsahu. SM byl interpretován jako inventarizační indikátor EPD, nikoli jako přímý údaj o obsahu příměsí.

3 Výsledky

3.1 Rozsah a porovnatelnost souboru

Analýzovaný soubor zahrnoval EPD cementů, příměsí a transportbetonů dostupných pro sledované země. Základním předpokladem dalšího hodnocení bylo nejprve posoudit, zda jednotlivá EPD reprezentují skutečně srovnatelné výrobky a zda byla zpracována v obdobném metodickém rámci.

Tabulka 1 - Rozsah analyzovaného souboru EPD

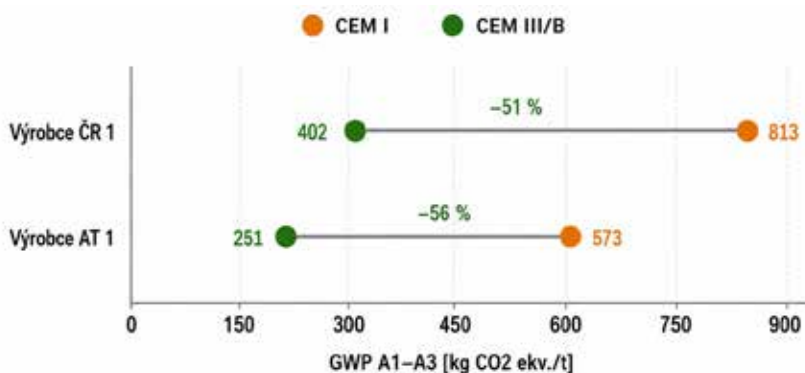
Skupina	Počet	Úprava souboru
Cementy ČR + SR	30	5 závodových průměrů odděleně
Cementy Rakousko	37	bez AHWZ a starší EPD stejného cementu
Betony ČR	82	odstraněno 10 duplicit
Příměsí ČR + AT + Cyment	12	Cyment veden samostatně jako HU výrobek

Přímé porovnání bylo možné pouze mezi výrobky se shodnou funkcí, deklarovanou jednotkou a obdobným metodickým rámcem. Rakouská EPD zpravidla uváděla ekonomickou alokaci druhotných surovin; česká EPD používala více rozdílných nebo neúplně popsanych přístupů.

3.2 Cementy: obsah slínku a GWP

U cementů byl sledován zejména vztah mezi typem cementu, podílem portlandského slínku a deklarovaným GWP. Pro omezení vlivu rozdílných výrobních podmínek byla přednostně využita párová srovnání různých typů cementu stejného výrobce.

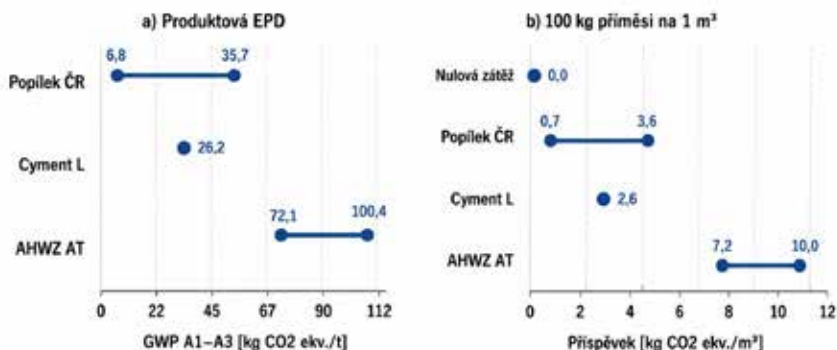
U obou vybraných výrobců bylo GWP cementu CEM III/B přibližně o polovinu nižší než u CEM I. Stejně označení výrobku však nezaručovalo stejný výsledek: u jednoho rakouského CEM II/C-M kleslo GWP mezi dvěma generacemi EPD z 390 na 324 kg CO₂ ekv./t (-17 %) (Obrázek 1). Výsledky potvrzují očekávanou dominantní roli obsahu slínku, současně však ukazují omezení jednoduchého porovnávání pouze podle označení cementu. Výsledné GWP je ovlivněno nejen podílem jednotlivých hlavních složek, ale také jejich environmentálním profilem, použitým alokačním postupem a energetickou náročností konkrétní výroby. Rozdíl mezi dvěma EPD stejného rakouského cementu navíc ukazuje, že deklarovaná hodnota není neměnnou charakteristikou výrobku, ale může se měnit s aktualizací výrobních dat a metodiky.



Obrázek 1 – Vliv náhrady slínku na GWP cementu u výrobců ČR a AT

3.3 Příměsi a alokační scénáře

U příměsí byla vedle deklarovaného GWP sledována také pravidla pro přiřazení environmentálních zátěží vedlejším produktům. Rozdíly mezi jednotlivými přístupy byly následně převedeny na příspěvek příměsí ke GWP 1 m³ betonu při jednotné dávce 100 kg/m³ (Tabulka 2, Obrázek 2)



Pozn.: U výrobků jsou uvedeny rozsahy hodnot GWP (A1–A3) z jednotlivých EPD; u přepočtu na 100 kg příměsí na 1 m³ je zobrazen příspěvek k GWP v A1–A3.

Obrázek 2 – GWP příměsí a příspěvek 100 kg příměsí k 1 m³ betonu

Tabulka 2 - GWP A1–A3 vybraných příměsí

Materiál	GWP A1–A3 (kg CO ₂ ekv./t)	Charakter dat
Popílky ČR	6,8–35,7	5 výrobních lokalit
Cymment L	26,2	výrobek z HU pro středoevropský trh
AHWZ Rakousko	72,1–100,4	ekonomická alokace spoluproduktů

Vyšší obsah druhotných surovin byl zpravidla spojen s nižším GWP, pokud nahrazovaly portlandský cement. Samotné procento druhotných surovin však není dostatečným ukazatelem: výsledek závisí také na jejich druhu, původu, zpracování, dopravě a alokačním pravidle.

Rozdíly mezi příměsemi jsou významné již na úrovni jejich produktových EPD. Zatímco české popílky vykazují GWP A1–A3 v rozmezí 6,8–35,7 kg CO₂ ekv./t, u rakouské AHWZ, kde je deklarována ekonomická alokace vedlejších produktů, dosahují hodnoty 72,1–100,4 kg CO₂ ekv./t. Při dávce 100 kg/m³ představuje rozdíl mezi nulovým zatížením příměsí a hodnotami z dostupných EPD až přibližně 10 kg CO₂ ekv./m³ betonu. U směsí s vyšším obsahem SCM tak způsob alokace již může ovlivnit nejen absolutní hodnotu GWP, ale také vzájemné pořadí porovnávaných variant.

Význam regionálního původu dokládají také Sambataro et al. [5], podle nichž se při ekonomické alokaci do environmentálního profilu popílku promítá environmentální zatížení výroby elektřiny, a tedy i rozdíly mezi energetickými mixy jednotlivých zemí.

Rozdíl mezi environmentálními faktory popílku se může následně promítnout také do výsledku betonu. Pro ilustraci byly zvoleny podíly popílku 2–4 %, které odpovídají údajům dostupným ve vybraných EPD transportbetonů. Při objemové hmotnosti betonu 2 300 kg/m³ představují tyto podíly 46–92 kg popílku v 1 m³ betonu (Tabulka 3).

Tabulka 3 - Příspěvek popílku ke GWP 1 m³ betonu při rozdílném způsobu jeho environmentálního hodnocení

Podíl popílku betonu	v	Popílek [kg/m ³]	Nulová zátěž CO ₂ [kg ekv./m ³]	EPD ČR 6,8–35,7 kg CO ₂ ekv./t	1% ekonomická alokace 196,5 kg CO ₂ ekv./t [9]
2 %		46	0	0,3–1,6	9,0
3 %		69	0	0,5–2,5	13,6
4 %		92	0	0,6–3,3	18,1

Poznámka: hodnoty představují příspěvek popílku v kg CO₂ ekv./m³, nikoli celkové GWP betonu. Pro česká EPD byl použit rozsah 6,8–35,7 kg CO₂ ekv./t; scénář podle [9] odpovídá hodnotě 196,5 kg CO₂/t.

Při použití hodnot dostupných v českých EPD představoval příspěvek popílku maximálně 3,3 kg CO₂ ekv./m³. Ve scénáři 1% ekonomické alokace dosáhl při stejném množství materiálu 9,0–18,1 kg CO₂/m³. Tabulka tak neporovnává různé receptury, ale ukazuje citlivost výsledku na environmentální zátěž přiřazenou stejné vstupní surovině.

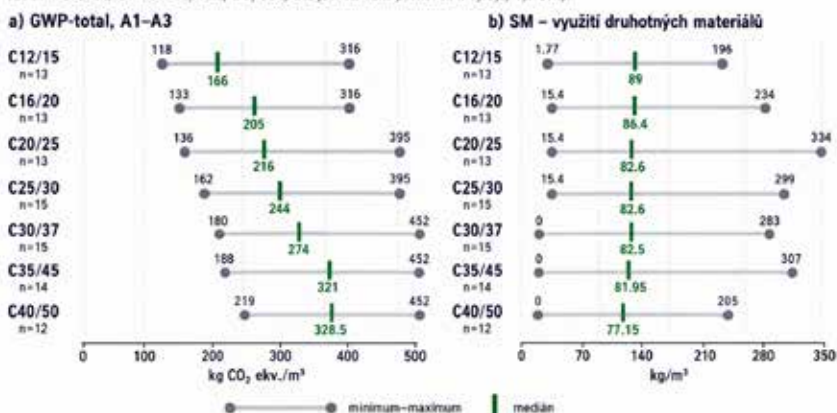
3.4 Transportbetony

Porovnání transportbetonů ukázalo, že se hodnoty GWP i SM výrazně liší nejen mezi pevnostními třídami, ale také uvnitř jednotlivých tříd (Obrázek 3).

Medián GWP rostl se zvyšující se pevností třídou ze 166 kg CO₂ ekv./m³ u C12/15 na 329 kg CO₂ ekv./m³ u C40/50. V rámci jednotlivých tříd byl nicméně zjištěn značný rozptyl. Například pro C20/25 se hodnoty pohybovaly mezi 136 a 395 kg CO₂ ekv./m³ a pro C30/37 mezi 180 a 452 kg CO₂ ekv./m³. Rozsahy sousedních pevnostních tříd se výrazně překrývaly, takže samotná pevnostní třída environmentální profil betonu jednoznačně neurčuje.

Rozptyl GWP a využití druhotných materiálů podle pevnostní třídy

Aktuální EPD ČR; identické duplikáty a výrobky bez jednoznačné pevnostní třídy byly vyřazeny.



Obrázek 3 – Rozpětí a medián GWP-total ve fázi A1–A3 a indikátoru využití druhotných materiálů SM u českých EPD transportbetonů podle pevnostní třídy.

Hodnota n představuje počet deklarovaných datových bodů přiřazených dané třídě; souhrnný dataset zahrnující více tříd byl přiřazen ke každé uvedené třídě.

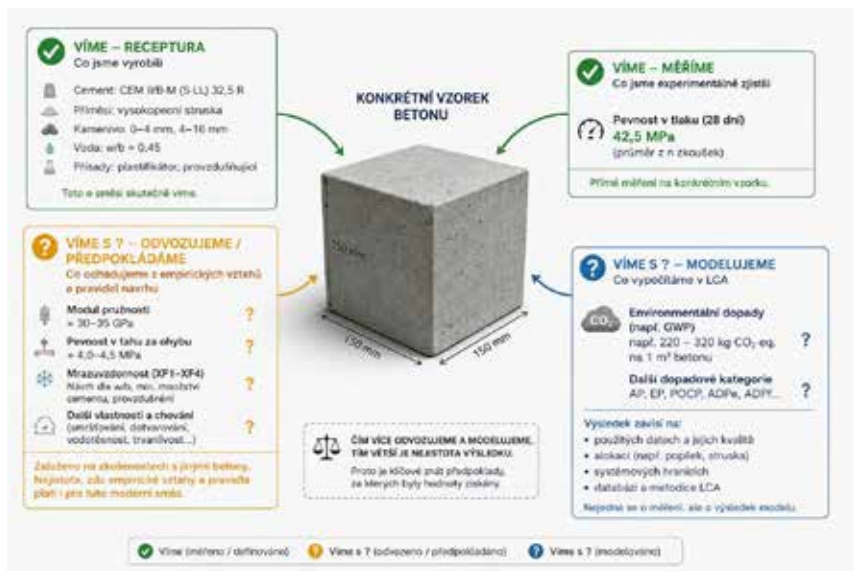
U indikátoru SM nebyl pozorován obdobný nárůst s pevnostní třídou. Mediány se ve sledovaných třídách pohybovaly přibližně mezi 77 a 89 kg/m³, zatímco rozpětí jednotlivých hodnot dosahovalo od 0 do 334 kg/m³. SM proto nelze interpretovat jako přímý údaj o množství popílku ani jako jednoduchý ukazatel environmentální výhodnosti směsi. Zahrnuje druhotné materiály vstupující do celého produktového systému a u betonů s recyklovaným kamenivem může být ovlivněn jinými složkami než příměsemi.

Zjištěný rozptyl GWP uvnitř jednotlivých pevnostních tříd ukazuje, že pevnostní třída sama o sobě environmentální profil transportbetonu dostatečně nevystihuje. Výsledky mohou být ovlivněny množstvím a druhem cementu, podílem slínku, použitím minerálních příměsí, dalšími složkami receptury, výrobní lokalitou i úrovní agregace EPD. Dostupná prohlášení přitom většinou neobsahovala dostatečně podrobné receptury, aby bylo možné přispěvek jednotlivých faktorů od sebe oddělit.

Podíl popílku byl například v některých EPD uveden pro konkrétní skupinu betonů, v jiných pouze jako společné rozmezí pro celý sortiment nebo několik betonáren. Obdobně nelze indikátor SM interpretovat jako přímý údaj o obsahu minerálních příměsí. Rozptyl GWP proto nelze vysvětlit jediným parametrem; odráží kombinaci složení výrobku, výrobních podmínek a metodických charakteristik příslušného EPD.

4 Diskuse

Provedená analýza tak ukazuje, že hodnota uvedená v EPD nevypovídá pouze o samotném materiálu, ale také o způsobu, jakým byl jeho životní cyklus popsán a modelován. Při hodnocení vlastností konkrétní betonové směsi lze rozlišit mezi charakteristikami odvozenými na základě empirických vztahů nebo pravidel založených na předepsaných požadavcích. Tyto vztahy a pravidla vycházejí z dlouhodobých zkušeností s určitými typy betonů. S rostoucím využíváním směsných cementů, příměsí a chemických přísad se však složení současných betonů od těchto referenčních materiálů postupně vzdaluje. Odvozené hodnoty proto nemusí vždy přesně vystihovat chování konkrétní směsi, přestože jsou stanoveny v souladu s platnými návrhovými postupy (Obrázek 4).



Obrázek 4 - Betonová kostka: známe → měříme → odvozujeme → modelujeme

Obdobnou situaci lze pozorovat při environmentálním hodnocení. Hodnota GWP ani další environmentální indikátory nejsou přímo měřeny vlastnostmi konkrétního materiálu, ale výsledkem modelu založeného na vstupních datech a souboru metodických předpokladů. Jak ukazuje provedená analýza EPD, rozdílné systémové hranice, zdroje dat a zejména způsob započtení vedlejších produktů, jako jsou popílek a vysokopecní struska, mohou vést k rozdílným výsledkům i u materiálově obdobných řešení. Neznamena to, že environmentální hodnocení není relevantní, ale že výslednou hodnotu nelze interpretovat bez znalosti podmínek a předpokladů, za kterých byla stanovena.

Rozpětí zjištěná u transportbetonů současně nelze chápat jako jednoduchý žebříček environmentálně lepších a horších výrobků. Deklarovaná jednotka 1 m³ umožňuje porovnat dopady výroby stejného objemu betonu, sama však nezohledňuje rozdíly v pevnosti, expoziční třídě, trvanlivosti ani množství materiálu potřebném pro splnění konkrétní konstrukční funkce. Beton s vyšším GWP na 1 m³ proto nemusí automaticky představovat méně vhodné řešení, pokud umožní menší průřez konstrukce, delší životnost nebo splnění náročnějších požadavků prostředí. Takové posouzení již vyžaduje funkční jednotku vztahenou ke konkrétní konstrukci a době jejího užívání.

Pro praktické použití lze porovnání EPD rozdělit do několika navazujících kroků. Nejprve je nutné ověřit technickou ekvivalenci výrobků, zejména pevnostní třídu, stupně vlivu prostředí a další požadované vlastnosti. Následně je třeba posoudit metodickou kompatibilitu EPD, tedy deklarovanou jednotku, zahrnuté moduly, použitou generaci EN 15804, časovou a geografickou reprezentativnost a úroveň agregace datasetu. Teprve mezi takto vymezenými výrobky má smysl

porovnávat hodnoty GWP. Informace o obsahu druhotných surovin a indikátoru SM mohou interpretaci doplnit, nemohou však nahradit porovnání výsledných environmentálních dopadů ani znalost použitých alokačních pravidel.

5 Závěr

Provedená analýza ukázala, že porovnatelnost EPD cementů, příměsí a transportbetonů je ovlivněna nejen složením výrobku, ale také úrovní agregace dat, geografickým a časovým rozsahem a použitými metodickými pravidly. Zvláště významný je způsob přiřazení environmentální zátěže vedlejším produktům.

U cementů bylo snížení obsahu slínku zpravidla spojeno s poklesem GWP. U transportbetonů medián GWP rostl s pevnostní třídou, avšak rozsahy jednotlivých tříd se výrazně překrývaly. Samotná pevnostní třída proto environmentální profil betonu jednoznačně neurčuje.

Indikátor SM nevykazoval jednoduchou závislost na pevnostní třídě ani na GWP a nelze jej zaměňovat za obsah příměsí. Dostupná EPD navíc často uváděla podíl popílku pouze jako rozmezí společné pro více výrobků. Přímý vztah mezi jeho přesným obsahem a GWP jednotlivých betonů proto nebylo možné spolehlivě stanovit.

Citlivostní scénář nicméně ukázal, že při stejném množství popílku se jeho příspěvek ke GWP může v závislosti na použitém environmentálním faktoru pohybovat od téměř nulové hodnoty až po 18,1 kg CO₂ ekv./m³. Obsah druhotné suroviny proto sám o sobě nevypovídá o environmentálním přínosu výsledného výrobku.

Pro praktické porovnávání EPD je nutné ověřit shodu deklarované jednotky, modulů životního cyklu, funkčních vlastností a metodických předpokladů. Výsledky LCA nepředstavují přímo měřenou vlastnost konkrétního výrobku, ale výsledek modelu, jehož vypovídací schopnost závisí na kvalitě vstupních dat a transparentnosti použitých pravidel.

Hodnoty vztahené k 1 m³ výrobku proto nelze bez dalšího interpretovat jako hodnocení environmentální vhodnosti celé konstrukce; konečné rozhodnutí musí vycházet z porovnání technicky a funkčně ekvivalentních řešení.

Poděkování

Tento příspěvek vznikl za podpory projektu Climate Action (BMWK) a Boosting the uptake of circular integrated solutions in construction value chains 101082068-2, HORIZONT EUROPE.

Literatura

- [1] EPD INTERNATIONAL AB. *What is an Environmental Product Declaration (EPD)?* [online]. [vid. 2026-08-25]. Dostupné z: <https://www.environdec.com/all-about-epds/the-epd>
- [2] EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION (CEN). Sustainability of construction works - Environmental product declarations - Core rules for the product category of construction products. *EN 15804:2012+A2:2019* [online]. 2019. Dostupné z: <https://www.evs.ee/en/evs-en-15804-2012-a2-2019-consolidated>

- [3] MORE, Flávia Bittencourt, Bruno Menezes GALINDRO a Sebastião Roberto SOARES. Assessing the completeness and comparability of environmental product declarations. *Journal of Cleaner Production* [online]. 2022, **375**, 133999. ISSN 0959-6526. Dostupné z: doi:10.1016/j.jclepro.2022.133999
- [4] GELOWITZ, M. D. C. a J. J. MCARTHUR. Comparison of type III environmental product declarations for construction products: Material sourcing and harmonization evaluation. *Journal of Cleaner Production* [online]. 2017, **157**, 125–133. ISSN 0959-6526. Dostupné z: doi:10.1016/j.jclepro.2017.04.133
- [5] SAMBATARO, Luciano, Facundo BRE, Neven UKRAINCZYK a Eduardus A. B. KOENDERS. Environmental benchmarks for the European cement industry. *Sustainable Production and Consumption* [online]. 2024, **45**, 429–449. ISSN 2352-5509. Dostupné z: doi:10.1016/j.spc.2024.01.020
- [6] RANGELOV, Milena, Heather DYLLA, Amlan MUKHERJEE a Nadarajah SIVANESWARAN. Use of environmental product declarations (EPDs) of pavement materials in the United States of America (U.S.A.) to ensure environmental impact reductions. *Journal of Cleaner Production* [online]. 2021, **283**, 124619. ISSN 0959-6526. Dostupné z: doi:10.1016/j.jclepro.2020.124619
- [7] ANDERSON, Jane a Alice MONCASTER. Embodied carbon of concrete in buildings, Part 1: analysis of published EPD. *Buildings & Cities* [online]. 2020, **1**(1) [vid. 2026-08-19]. ISSN 2632-6655. Dostupné z: doi:10.5334/bc.59
- [8] XING, Weiqi, Vivian Wy TAM, Khoa N. LE, Jian Li HAO a Jun WANG. Life cycle assessment of sustainable concrete with recycled aggregate and supplementary cementitious materials. *Resources, Conservation and Recycling* [online]. 2023, **193**, 106947. ISSN 09213449. Dostupné z: doi:10.1016/j.resconrec.2023.106947
- [9] VAN DEN HEEDÉ, P. a N. DE BELIE. Environmental impact and life cycle assessment (LCA) of traditional and 'green' concretes: Literature review and theoretical calculations. *Cement and Concrete Composites* [online]. 2012, **34**(4), 431–442. ISSN 0958-9465. Dostupné z: doi:10.1016/j.cemconcomp.2012.01.004

SEPARÁTNE MLETIE A HOMOGENIZÁCIA KOMPOZITNÝCH CEMENTOV

Róbert Figmig

Separátne mletie poskytuje výrobcovi cementu viaceré výrobné, technické a ekonomické benefity. Umožňuje navýšenie výrobných kapacít závodu alebo naopak, skrátiť mletie pri rovnakom výrobnom objeme, a to predovšetkým pri portfóliu založenom na cementoch s vysokým obsahom vápenca a tiež kompozitných cementoch. Ďalej umožňuje optimalizáciu jednotlivých vstupných komponentov z hľadiska ich granulometrie a jemnosti mletia, čím je možné zlepšovať reologické vlastnosti cementovej matrice či zmrašťovanie. Optimalizácia jemnosti mletia, najmä aktívnych zložiek cementu, zároveň umožňuje dosahovanie lepších mechanických vlastností čo poskytuje priestor na znižovanie slinkového faktoru v porovnaní s technológiou spolumletia.

1 Úvod

Optimalizácia variabilných a v konečnom dôsledku i fixných nákladov vzťahnutých na vyrobené množstvo cementu zohráva primárnu úlohu v hospodárnosti jeho výroby. V súčasnosti možno obmedzenia vymedziť na interné, ako napríklad výrobné kapacity, technický stav technológie, náklady na vstupné materiály, služby a iné interné náklady a externé, ako sú trhový dopyt, požadované, resp. očakávané vlastnosti hotového produktu, či právne predpisy a environmentálne politiky ako napr. Greenddeal [1] alebo CBAM [2].

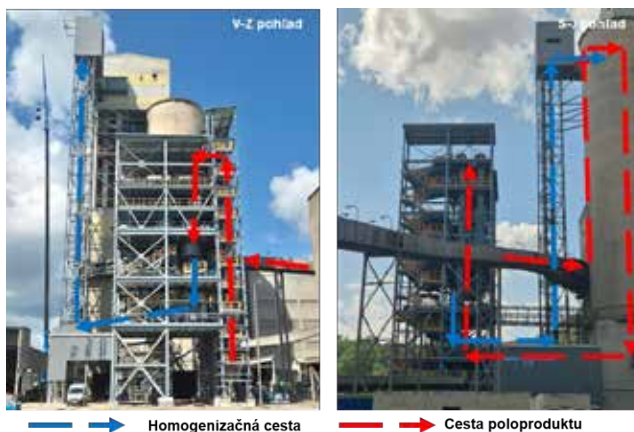
Medzi jedno z riešení, ktoré reálne dokáže redukovať vyššie uvedené obmedzenia je technológia separátneho mletia jednotlivých vstupných komponentov a ich následná homogenizácia na hotový produkt. Táto technológia umožňuje optimalizovať mletie a potenciál jednotlivých vstupných materiálov vo vzťahu k ich príspevku pre vlastnosti hotového produktu (napr. reaktivita či reológia) [3] za účelom navýšenia výrobných kapacít závodu, zníženia variabilných nákladov na výrobu prostredníctvom úspory elektrickej energie a zníženia slinkového faktoru jednotlivých cementov, resp. celého portfólia. Samotná homogenizácia, resp. princíp fungovania homogenizačnej linky tiež poskytuje lepšiu variabilitu pre operatívne korekcie a reprezentatívnejšiu kontrolu kvality. Navyše sú v cementoch s nižším slinkovým faktorom (napr. podľa [4]) vyrobené touto technológiou potlačené negatívne vplyvy [5] obdobných cementov vyrábaných štandardným spolumletím ako je vysoká jemnosť mletia na dosahovanie mechanických parametrov, vysoká spotreba vody a plastifikačnej prísady či konzekventné plastické zmrašťovanie.

2 Technológia výroby a vlastnosti hotového produktu

2.1 Technológia výroby

Príprava jednotlivých vstupných materiálov (slinku vrátane regulátora tuhnutia ako tzv. základného cementu, vysokopecnej trosky, vápenca, popriprade iných minerálnych komponentov) predmetnou technológiou spočíva v ich samostatnom mletí vo vertikálnom mlyne, guľovom mlyne či valcovom lise, prípadne kombinovanom mletí. Na rozdiel od spolumletia je možné pre každý komponent z dôvodu rozdielnej meliteľnosti a požadovaného príspevku v hotovom produkte zvoliť špecifickú jemnosť so svojou vlastnou granulometriou (PSD krivkou). Následne je poloprodukt transportovaný priamo do vlastného zásobného sila.

Podľa spôsobu technológie homogenizácie hotového produktu je zmiešavanie realizované prostredníctvom pridávania komponentov do pseudopravy mletého základného cementu alebo prostredníctvom vyhradenej linky a následne je produkt transportovaný do cementového sila príslušného výrobku. V prípade vyhradenej zmiešavacej linky sa transportujú jednotlivé komponenty zo zásobných do vyrovnávajúcich síl (tzv. „buffery“) a podľa požadovaného zloženia hotového produktu sa cez presné tenzometrické váhy dávkujú do mixéra s núteným kontinuálnym miešaním (Obrázky 1 a 2), ktoré zabezpečuje homogenitu materiálu.



Obrázok 1: Dopravné cesty poloproduktov a hotových produktu



Obrázok 2: Zmiešavacia (homogenizačná) linka

2.2 Prípadová štúdia – cement

Pre realizáciu prípadovej štúdie v roku 2023 bol vybraný kompozitný portlandský cement CEM II/C-M (Tabuľka 1) s maximalizovanou saturáciou. pripravený skúšobným priemyselným mletím jednotlivých zložiek.

Tabuľka 1: Pomerové porovnanie separátne pripraveného (SM) cementu CEM II/C-M s cementmi vyrábanými spolumletím

	Blaine	Pevn. 2d	Pevn. 28d
CEM II/C-M 42,5N - SM	1,00	1,00	1,00
CEM II/A-S 42,5N	0,91	1,47	1,02
CEM II/B-S 42,5N	1,00	1,29	1,01
CEM II/C-M 32,5R	1,18	0,93	0,79

Následne bolo s pripraveným cementom realizované laboratórne miešanie betónu na porovnanie s cementom vyrábaného spolumletím, pričom betón z cementu zo separátneho mletia vykazoval nižšiu spotrebu vody pri dosiahnutí kužeľa 200mm oproti 150mm z referenčného cementu po 45 minútach. Navyše pevnosti dosahovali v priemere v každom z veku vzoriek počas skúšania približne 20% vyššie pevnosti v tlaku tak, ako to pri 28 dňových pevnostiach bolo preukázané aj na skúškach cementu.

V súčasnosti (2026) boli v rámci prípravy laboratórnych vzoriek preverené taktiež rôzne zloženia a jemnosti základného cementu CEM I a následne cementov CEM II/A-LL, CEM II/B-M (S-LL), CEM II/C-M (S-LL), CEM III/A, CEM III/B a CEM VI/A (S-LL), pričom bola pozorovaná priama a do budúca jednoducho kontrolovateľná korelácia medzi vlastnosťami základného cementu a pripravených cementov najmä vo vzťahu k pomerom jednotlivých zložiek, ktoré aj pri maximalizovanej saturácii dosahovali a presahovali koncové pevnosti obdobných, v súčasnosti spolumletých cementov. Navyše, pri ad-hoc skúške rozsahu plastického zmrašťovaniu nebolo badať takmer žiadne trhliny, max. jemné vlásoknice (Obrázok 3).



Obrázok 3: Skúška rozsahu plastického zmrašťovania separátne mletého cementu CEM II/C-M (S-LL) 42,5 N

V rámci pokračovania optimalizácie zloženia a vlastností separátne mletých cementov pre výrobu betónu boli pripravené a odskúšané 2 druhy cementu. Prvým bol kompozitný portlandský cement CEM II/C-M 42,5 N, pričom na preskúmanie spodnej operačnej hranice bol zvolený variant s nižšou koncovou pevnosťou základného cementu a teda aj cementu samotného (46,4 MPa). Druhým bol vysokopecný cement CEM III/A 42,5 N, ktorého očakávaná koncová pevnosť je na úrovni okolo 56 MPa.

2.3 Prípadová štúdia - betón

Na laboratórnu prípravu betónu z vyššie uvedených cementov bol zvolený betón C30/37 – XC4, XD2, Dmax16 - S4, pričom bolo použité kamenivo Geča (všetky frakcie) a 4 rôzne prísady na báze PCE (3 dodávatelia: A, B, C) podľa zloženia v Tabuľke 2. Po odskúšaní prísady A1 (zvýšený obsah vodoredukujúcej zložky) sa u ostatných pristúpilo k prísadám s vyšším obsahom konzistenciu udržiavajúcej zložky (tzv. „slump keeper“). Vzhľadom na požadovanú počiatočnú konzistenciu pri rozumných dávkach plastifikátora nebola použitá celá, pôvodne navrhovaná zámesová voda ($v/c = 0,473$) pre obdobný betón so spolumletým cementom CEM II/B-S 42,5 N. Účelom miešania bolo najmä preveriť spracovateľnosť v dlhšom čase, mechanické vlastnosti a trvanlivosť, pričom bola snaha vyhnúť sa absolútnym laboratórnym podmienkam (teplota ČB = 20°C). V Tabuľke 3 sú uvedené priebežné výsledky, pričom ďalšie dostupné výsledky budú prezentované v rámci konferencie.

Tabuľka 2: Zloženie testovaných zámesí čerstvého betónu

Zámes	Plast.	Cement kg	v/c (reduk.) -	0/4 kg	4/8 kg	8/16 kg	Plast kg (%)
1	A1	C-M – 370	0,435	930	195	690	2,1 (0,57)
2	A2	C-M – 370	0,435	930	195	690	2,6 (0,70)
3	B	C-M – 370	0,441	965	190	680	2,2 (0,59)
4	C	C-M – 370	0,430	965	190	680	2,2 (0,59)
5	B	III/A - 370	0,419	965	190	680	2,6 (0,70)

Tabuľka 3: Priebežné výsledky parametrov čerstvého a zatvrdnutého betónu

Zámes	T - ČB °C	D - ČB kg.m ⁻³	Sadnutie kužeľa po (min):					Pevn. 7D MPa
			5 mm	30 mm	60 mm	90 mm	120 mm	
1	24,5	2375	200	200	200	150	n/a	n/a
2	24,0	2370	215	n/a	n/a	195	n/a	n/a
3	23,0	2390	200	220	205	200	170	29,2
4	22,0	2370	210	205	170	130	n/a	31,0
5	22,0	2400	230	220	220	205	80	28,3



Obrázok 4: Skúška sadnutím kužeľa zmesi 2 po 5 min.

Na základe dosiahnutých výsledkov možno konštatovať, že dosiahnutie spracovateľnosti, respektíve dostatočnej tekutosti v čase pri vhodne zvolenej plastifikačnej prísade nepredstavuje pri cemente vyrábaného zo separátneho mletia kritický problém. V prípade zmesi č. 4 došlo k použitiu celkovo rovnakej dávky ako u iných plastifikátorov, ktorá však nebola prepočítaná na obsah sušiny, čo v kombinácii s počiatočným efektom stekutenia a ubratia väčšej časti zámesovej vody spôsobilo predčasný pád konzistencie. V prípade korigovaného dávkovania by tak bolo možné očakávať obdobné výsledky držania konzistencie a tiež priblíženie sa pevností. Pri prijateľnej dávke prísady tak vyžaduje cement zo separátneho mletia nižšiu dávku reologickej vody oproti cementom vyrábaných spolumletím, ktoré pri porovnateľnom slinkovom faktore vyžadujú neporovnateľne vyššiu jemnosť mletia, ktorá navyše zvyšuje riziko plastického zmrašťovania. Z hľadiska priebežných výsledkov pevnosti v tlaku, ktoré korelujú s pevnosťami skúšaného cementu sa možno domnievať, že pevnostná trieda by mala byť bezpečne dosiahnutá a pri cemente CEM III/A by mohla byť aj výrazne prekonaná a to aj pri použití základného cementu so spodným interným limitom pevností. Z hľadiska preverenia trvanlivosti boli zo zmesí 3 až 5 odobraté skúšobné telesá na otestovanie odolnosti betónového povrchu voči rozmrazovacím prostriedkom za súčasného pôsobenia zmrazovania a rozmrazovania.

3 Záver

Separátne mletie a homogenizácia najmä kompozitných cementov sa javí ako jedna z relatívne dostupných a technologicky nenáročných možností s cieľom optimalizácie výrobného procesu, kapacity výroby, či znižovania uhlíkovej stopy

výrobkov a to pri súčasnom zachovaní či dokonca zlepšení úžitkových vlastností cementu a následne i betónu. V ďalšom vývoji produktov sa pozornosť bude upriamovať na optimalizáciu materiálového zloženia kompozitných cementov a mletia jednotlivých substrátov prioritne pre dosahovanie tried vplyvu prostredia XF.

3.1 Pod'akovanie

Pod'akovanie za spoluprácu pri testovaní betónov patrí Františkovi Dvorščákovi zo spol. Stachema, Ing. Jakubovi Lončíkovi zo spol. McBauchemia a Ing. Marekovi Kováčovi, PhD. z Technicko-kompetenčného centra spol. Danucem.

3.2 Literatúra

- [1] *Nariadenie Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) 2021/1119 z 30. júna 2021, ktorým sa stanovuje rámec na dosiahnutie klimatickej neutrality a menia nariadenia (ES) č. 401/2009 a (EÚ) 2018/1999*
- [2] *Nariadenie Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) 2023/956 z 10. mája 2023, ktorým sa zriaďuje mechanizmus uhlíkovej kompenzácie na hraniciach*
- [3] DVOŘÁK, K., DOLÁK, D., DOČKAL, J. Comparison of separate and co-grinding of the blended cements with the pozzolanic component. In *Procedia Engineering*. 2016, vol. 151, p. 66-72.
- [4] STN EN 197-5: *Cement. Časť 5: Portlandský kompozitný cement CEM II/C-M a kompozitný cement CEM VI* (2022)
- [5] COUFAL, R., HLAVSA, Z. Udržiteľná budúcnosť betónu aneb stavba není laboratoř. In *Beton*. 2025, roč. 25, s. 6-12.

OD NÁVRHU PO REALITU: 2 ROKY PREVÁDZKY FOTOVOLTICKEJ ELEKTRÁRNE V CEMENTÁRNI CEMMAC

Radovan Škripec

Príspevok opisuje prípravu, technické riešenie a skúsenosti z približne dvoch rokov prevádzky lokálneho fotonvltického zdroja s výkonom 5 MWp v cementárni CEMMAC v Hornom Srní. Vyhodnotené sú mesačné údaje od januára 2025 do júla 2026, miera využitia vyrobenej elektriny, prepojenie predikcie výroby s plánovaním energeticky náročných procesov, automatizovaný reporting a praktické skúsenosti s údržbou. Za 19 mesiacov elektrárne vyrobila 7 753 MWh, pričom viac ako 98% výroby zostalo využitých v areáli závodu.

1 Úvod

Cementársky priemysel patrí medzi odvetvia s vysokou a časovo premenlivou spotrebou elektriny. Kolísanie cien na veľkoobchodnom trhu preto priamo vplyva na výrobné náklady a zvyšuje význam vlastných zdrojov. Európsky rámec Fit for 55 zároveň smeruje k zníženiu čistých emisií skleníkových plynov najmenej o 55 % do roku 2030 a k vyššiemu podielu obnoviteľných zdrojov [1].

Spoločnosť CEMMAC sa rozhodla vybudovať pozemnú fotonvltickú elektrárne v revitalizovanej časti lomu Ostrá hora. Umiestnenie na brownfielde umožnilo využiť vlastný priestor bez záberu novej zelenej plochy. Projekt s investíciou takmer 4 mil. EUR bol financovaný bez akejkoľvek dotácie [2].



Obr. 1 Cementáreň CEMMAC v Hornom Srní a lokalita fotonvltickej elektrárne

Radovan Škripec, CEMMAC a.s., Cementárska 14, 914 42 Horné Slnie,
e-mail: R.Skripec@cemmac.sk

2 Od zámeru po trvalú prevádzku

Príprava projektu sa začala v období, keď realizáciu väčších lokálnych zdrojov významne ovplyvňovali legislatívne a kapacitné obmedzenia. Zámer výstavby bol ohlásený v júni 2022. Po spracovaní projektovej dokumentácie, uzatvorení zmluvy s distribučnou spoločnosťou a získaní stavebného povolenia nasledoval výber dodávateľa a samotná realizácia.

Tab. 1 Hlavné míľniky prípravy a uvedenia FVE do prevádzky

Termín	Míľnik
06/2022	Ohlásenie zámeru výstavby FVE
10/2022	Vypracovanie projektovej dokumentácie
01/2023	Podpis zmluvy s distribučnou spoločnosťou
04/2023	Právoplatné stavebné povolenie
05/2023	Uzavretie zmluvy s dodávateľom
06/2023	Prevzatie staveniska
01/2024	Žiadosť o vykonanie funkčných skúšok
09/2024	Vykonanie funkčných skúšok
10/2024	Spustenie do trvalej prevádzky

Samotná výstavba prebiehala tzv. suchým spôsobom. Nosná konštrukcia a technologické celky sú riešené tak, aby bola po skončení životnosti možná demontáž bez rozsiahlych stavebných zásahov. Začiatkom roku 2024 bola elektráreň pripravená na funkčné skúšky; proces pripojenia a definitívneho uvedenia do trvalej prevádzky bol ukončený v októbri 2024 vydaním protokolu o vykonaní funkčnej skúšky [2].

Z pohľadu investora bola rozhodujúca súbežná koordinácia projektanta, dodávateľa, stavebného úradu a prevádzkovateľa distribučnej sústavy. Časová os ukazuje, že technická realizácia predstavuje iba jednu časť projektu; významnú časť celkového trvania tvorilo povoľovanie, zmluvné zabezpečenie pripojenia a funkčné skúšky.



Obr. 2 Výstavba panelových polí na pozemnej konštrukcii

3 Technické riešenie lokálneho zdroja

Elektrárňa je koncipovaná ako lokálny zdroj bez batériového úložiska. Vyrobená elektrina je prioritne spotrebovaná v areáli cementárne a iba okamžité prebytky sú dodané do distribučnej sústavy. Vysoká základná spotreba závodu umožňujú dosahovať veľmi vysokú mieru priameho využitia výroby.

Tab. 2 Základné technické parametre FVE

Parameter	Hodnota
Inštalovaný DC výkon panelov	5 MWp
Fotovoltaické panely	9 030 ks, menovitý výkon 550 Wp
Účinnosť panelov	viac ako 21 %
Orientácia a sklon	východ – západ, 12°
Striedače	33 ks, menovitý výkon 125 kW/ks
Menovitý AC výkon striedačov	4,125 MW
Trafo stanice	3 kioskové trafostanice
Celkový výkon transformátorov	6 400 kVA
Batériové úložisko	nie je inštalované

3.1 Orientácia východ – západ

Zvolená orientácia umožnila na dostupnej ploche osadiť väčší počet panelov než pri klasickom južnom usporiadaní. Výkon sa rozkladá do širšieho časového okna: výroba začína skôr ráno, dosahuje menej ostrý poludňajší vrchol a pokračuje dlhšie popoludní. Takýto profil lepšie zodpovedá priebežnej spotrebe priemyselného závodu a obmedzuje vznik krátkodobých prebytkov.

3.2 Pomer DC a AC výkonu

Súčet menovitých výkonov panelov je 4,966 MWp, kým súčet menovitých výkonov striedačov je 4,125 MW. Pomer DC/AC približne 1,20 podporuje lepšie využitie striedačov pri nižšej intenzite žiarenia. Ojedinelé obmedzenie špičky je vyvážené vyššou výrobou počas väčšej časti dňa a roka.

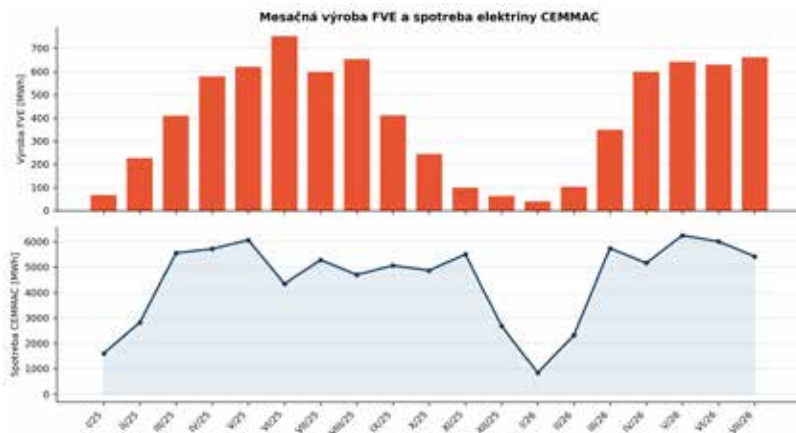


Obr. 3 Panelové polia FVE v bezprostrednej blízkosti výrobného závodu

4 Výsledky výroby od januára 2025 do júla 2026

Vyhodnotenie vychádza z interných mesačných údajov CEMMAC [3]. Sledované veličiny sú výroba elektriny z FVE, nákup elektriny zo siete, dodávka prebytkov do distribučnej sústavy, celková spotreba CEMMAC a technologická vlastná spotreba FVE. Celková spotreba závodu je stanovená bilančne podľa vzťahu:

$$\text{Spotreba CEMMAC} = \text{nákup zo siete} + \text{výroba FVE} - \text{dodávka do DS}$$



Obr. 4 Mesačná výroba FVE a spotreba elektriny CEMMAC, 01/2025 – 07/2026

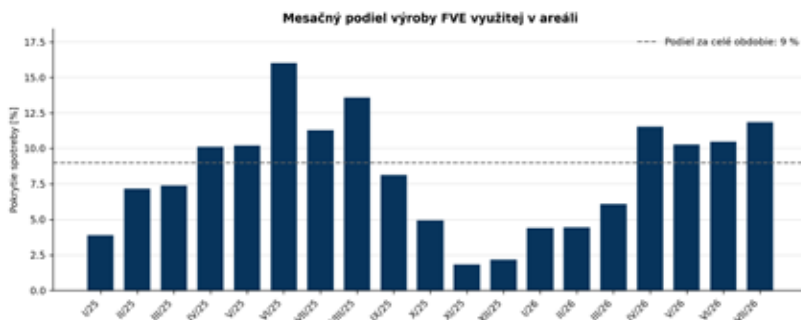
Za rok 2025 elektrárňou vyrobila 4 728 MWh. Najvyššia mesačná výroba 752 MWh bola dosiahnutá v júni a najvyššia hodinová výroba elektrárne dosiahla viac ako 3,7 MWh (dostatočná rezerva na AC strane meničov, pomer DC/AC by mohol byť väčší). Od januára do júla 2026 výroba dosiahla 3 025 MWh, čo je o 7 % menej než za rovnaké mesiace roku 2025. Rozdiel je potrebné interpretovať spolu s meteorologickými podmienkami a sčasti zaprášenými FVE panelmi (nutné čiastočné čistenie).

Z uvedených dát vyplýva, že fotovoltaika tvorí významný, no stále len doplnkový zdroj elektriny.

5 Energetická bilancia a využitie výroby

Tab. 3 Energetická bilancia sledovaných období [MWh]

Ukazovateľ	2025	01–07/2026	Spolu
Výroba FVE	4 728	3 025	7 753
Dodávka do DS	116	26	142
Vlastná spotreba FVE	43	25	68
Výroba FVE využitá v areáli	4 612	2 999	7 611



Obr. 5 Podiel výroby FVE využiteľ v areáli na mesačnej spotrebe CEMMAC

Za 19 sledovaných mesiacov bolo do distribučnej sústavy dodaných iba 142MWh, teda 1,83 % výroby. V areáli zostalo využitých 7 611 MWh, čo predstavuje 98,17 % vyrobenej elektriny. Po odpočítaní technologickej spotreby trafostaníc, striedačov, riadiacej elektroniky a pomocných zariadení bolo pre výrobnú technológiu závodu k dispozícii 7 543 MWh.

Za celé sledované 19-mesačné obdobie pokryla vyrobená elektrina z FVE priemerne 9% celkovej spotreby CEMMAC. Mesačné hodnoty prirodzene kolíšu podľa slnečného žiarenia aj prevádzkového režimu cementárne.

6 Prepojenie predikcie FVE s riadením výroby

Samotná výroba elektriny z FVE nie je jediným zdrojom ekonomického prínosu. CEMMAC kombinuje vlastný zdroj s nákupnou stratégiou, v ktorej je približne 50 % spotreby elektriny zabezpečených za fixnú cenu a zvyšná časť sa nakupuje na spotovom trhu. Takéto rozdelenie vytvára priestor na operatívne riadenie časovo flexibilných výrobných procesov.

6.1 Predikcia na jeden až dva dni

Systém využíva predikciu výroby FVE na jeden až dva dni dopredu. Očakávaná výroba sa posudzuje spoločne s plánom výroby cementu a cenovým vývojom na krátkodobom trhu. Ak to technologické a logistické podmienky umožňujú, spustenie vybraných energeticky náročných procesov sa presúva do hodín s očakávanou vyššou výrobou FVE alebo priaznivejšou cenou elektriny.

Tab. 4 Prevádzkový princíp optimalizácie

Vstup	Rozhodnutie	Prínos
Predikcia počasia a výroby FVE na 1–2 dni	Voľba vhodného času spustenia flexibilných procesov	Vyššie priame využitie vlastnej výroby
Spotové ceny elektriny	Obmedzenie prevádzky v drahých hodinách, ak to výroba umožní	Nižšie variabilné náklady na elektrinu
Výrobný plán a technologické obmedzenia	Koordinácia energetiky s výrobou a údržbou	Zachovanie plynulosti a kvality výroby

6.2 Dosiahnutý ekonomický efekt

Prevádzková úspešnosť predikcie sa podľa interného hodnotenia pohybuje približne na úrovni 60 %. Napriek neistote počasia a kolísaniu cien EE na spotovom trhu, riadenie chodu náročných energetických liniek prináša ročnú úsporu presahujúcu 100 000 EUR [3]. Tento údaj predstavuje efekt optimalizácie prevádzky nad rámec samotnej hodnoty vyrobenej elektriny.

Praktická skúsenosť ukazuje, že prínos lokálneho zdroja rastie, ak je energetický manažment prepojený s výrobným plánovaním. Predikciu pritom nemožno chápať ako záväzný výrobný plán; je to rozhodovací vstup, ktorý musí byť priebežne korigovaný podľa aktuálneho počasia, stavu zariadení a potrieb výroby.

7 Prevádzka, reporting a údržba

7.1 Automatizované odovzdávanie údajov

Súčasťou prevádzkovej architektúry je automatizované odovzdávanie údajov o výrobe. Dáta sa odosielajú denne organizátorovi krátkodobého trhu s elektrinou OKTE, mesačne Štatistickému úradu SR a raz ročne Úradu pre reguláciu sieťových odvetví. ÚRSO vyžaduje od výrobcov elektriny každoročne údaje o výrobe, vlastnej spotrebe a dodávke vyrobenej elektriny [4]. Automatizácia obmedzuje manuálnu administratívu a znižuje riziko chýb alebo zmeškania termínu.

7.2 Spolupráca s distribučnou spoločnosťou

Západoslovenská distribučná má technickú možnosť diaľkovo odstaviť FVE a odpojiť ju od distribučnej sústavy. Počas doterajšej prevádzky túto možnosť ani raz nevyužila. Každé opätovné spustenie a paralelné pripojenie elektrárne k distribučnej sústave je však podmienené predchádzajúcim súhlasom dispečingu ZSDIS. Táto požiadavka musí byť súčasťou prevádzkových postupov aj komunikácie pri plánovaných a poruchových odstávkach.

7.3 Najčastejšie zásahy

Tab. 5 Praktické skúsenosti s údržbou FVE

Oblasť	Skúsenosť a potrebný zásah
Striedače – overvoltage	Vyhodnotenie príčiny a úprava príslušných registrov nastavenia v súlade s ochranami a podmienkami pripojenia.
Filtre striedačov	Čistenie vstupných a výstupných filtrov minimálne dvakrát ročne.
Fotovoltaické panely	Čistenie pri znečistení a preukázanom poklese výroby.
Vegetácia a areál	Pravidelné kosenie a udržiavanie prístupnosti technologických zariadení.

Skúsenosti nepotvrdzujú úplne bezúdržbový charakter zdroja, ale skôr nízke a predvídateľné nároky na preventívnu údržbu. Dôležité je sledovanie alarmov, porovnávanie skutočnej a očakávanej výroby a včasná reakcia na postupný pokles výkonu.

8 Získané skúsenosti a ďalší rozvoj

Skúsenosti z približne dvoch rokov prevádzky potvrdili technickú vhodnosť 5 MWp lokálneho zdroja pre energeticky náročný závod. Za 19 mesiacov s úplnými vyhodnotenými údajmi bolo 98,17 % vyrobenej elektriny využitých priamo v areáli a iba

1,83 % dodaných do distribučnej sústavy. Takýto výsledok znižuje citlivosť ekonomiky projektu na výkupnú cenu prebytkov. Návrhnosť investície sa tak potvrdila (5,2 roka).

8.1 Hlavné poznatky

- umiestnenie na revitalizovanom území lomu umožnilo realizovať veľký pozemný zdroj bez záberu novej zelenej plochy;
- orientácia východ – západ rozširuje denný výrobný profil a podporuje vysokú mieru vlastného využitia;
- povoľovanie, zmluvné zabezpečenie pripojenia a funkčné skúšky treba plánovať ako rovnocennú časť projektu;
- prevádzkové dáta majú najvyššiu hodnotu v spojení s výrobným plánom a spotovými cenami elektriny;
- zdroj má nízke, nie však nulové nároky na údržbu a vyžaduje jasné postupy komunikácie so ZSDIS.

8.2 Možnosti rozšírenia

Na základe doterajších výsledkov spoločnosť pripravuje rozšírenie existujúcej FVE približne o 2 MWp. Rozsah rozšírenia vychádza z disponibilnej plochy v areáli. Proces EIA pre rozšírenie je ukončený a projektový zámer je schválený a právoplatný. Realizácia projektu v súčasnosti čaká na interné schválenie v spoločnosti CEMMAC.

9 Záver

Projekt ukazuje, že pozemná FVE môže v cementárni priniesť nielen vlastnú elektrinu, ale aj nový spôsob riadenia energeticky náročnej výroby. Rozhodujúcimi faktormi úspechu sú správne dimenzovanie voči spotrebe, vysoká miera priameho využitia, automatizácia dátových tokov, spolupráca s distribučnou spoločnosťou a zapojenie predikcie do každodenného výrobného plánovania. Reálne výsledky potvrdzujú pokrytie približne 9 % spotreby závodu a dodatočnú ročnú úsporu nad 100 000 EUR z optimalizácie prevádzky.

Literatúra

- [1] Európska komisia: European Green Deal – stronger legislation to accelerate the rollout of renewable energy (2023). https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_23_2061
- [2] CEMMAC a.s.: Fotovoltická elektrárň v revitalizovanom lome (2025). <https://www.cemmac.sk/fotovolticka-elektraten-v-revitalizovanom-lome/>
- [3] CEMMAC a.s.: Interné prevádzkové údaje FVE a spotreby elektriny, január 2025 – júl 2026.
- [4] ÚRSO: Dôležitý oznam pre výrobcov elektriny – povinné hlásenia podľa § 27 ods. 2 písm. r) zákona č. 251/2012 Z. z. (2026). <https://www.urso.gov.sk/dolezity-oznam-pre-vyrobcov-elektriny/>

NOVÉ CPR 2024 V CEMENTÁRSKOM PRIEMYSELE: PLÁN ZAVÁDZANIA VÝKONNOSTNÝCH ENVIRONMENTÁLNYCH KRITÉRIÍ A SYSTÉM 3+

Tomáš Kamas

Príspevok sa zaoberá zásadnými zmenami v legislatívnom rámci uvádzania stavebných výrobkov na vnútorný trh Európskej únie, ktoré prináša nové Nariadenie Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) 2024/3110. Staré nariadenie č. 305/2011 sa sústredilo takmer výlučne na mechanické a fyzikálne charakteristiky konštrukčných materiálov. Nová právna úprava však povinne integruje environmentálnu udržateľnosť priamo do procesu posudzovania a overovania stálosti parametrov (AVCP). Hlavná pozornosť príspevku je venovaná predstaveniu strategického plánu zavádzania hodnotenia environmentálnych vlastností stavebných výrobkov. Príspevok analyzuje novo zavedený systém posudzovania 3+, ktorý sa stáva kľúčovým nástrojom na verifikáciu a vyhlasovanie parametrov vplyvu výrobkov na klímu a životné prostredie (najmä ukazovateľa potenciálu globálneho otepľovania, GWP). V príspevku sú rozobrané nové povinnosti výrobcov a harmonogram plánovaných zmien v kontexte prechodu od dobrovoľných EPD k záväzným vyhláseniam o parametroch a zhode (VoPZ) predovšetkým z hľadiska cementárskeho a betonárskeho priemyslu. Diskutované sú taktiež praktické dopady na vnútropodnikovú kontrolu, požiadavky na digitalizáciu údajov v podobe digitálnych pasov výrobkov (DPP) a úloha notifikovaných osôb (tretích strán) pri zabezpečovaní dôveryhodnosti a porovnateľnosti vyhlasovaných dát.

1 Dôvody pre zmenu nariadenia

Nové nariadenie Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) 2024/3110 z 27. novembra 2024 (ďalej CPR 2024), ktorým sa stanovujú harmonizované pravidlá uvádzania stavebných výrobkov na trh a zrušuje nariadenie (EÚ) č. 305/2011, vstúpilo do platnosti 7. januára 2025, t.j. dvadsiatym dňom po jeho uverejnení v úradnom vestníku Európskej únie dňa 18. decembra 2024.

Nariadenie Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) č. 305/2011, ktorým sa stanovujú harmonizované podmienky uvádzania stavebných výrobkov na trh, bolo prijaté s cieľom harmonizovať podmienky uvádzania stavebných výrobkov na trh a odstrániť prekážky obchodu so stavebnými výrobkami medzi členskými štátmi [1].

Zo skúseností s vykonávaním nariadenia (EÚ) č. 305/2011, hodnotenia vykonaného Komisiou v roku 2019, ako aj správy o Európskej organizácii pre technické posudzovanie vyplynula nedostatočná výkonnosť rámca pre stavebné výrobky v rôznych ohľadoch. Preto bolo potrebné doplniť nové ustanovenia, a to aj pokiaľ ide o dohľad nad trhom [1].

1.1 Ciele a nové povinnosti nariadenia CPR 2024

Jedným z cieľov nového nariadenia je vytvoriť dobre fungujúce informačné toky, a to aj elektronickými prostriedkami a v strojovo čitateľnom formáte [1], tak aby boli k dispozícii v celom dodávateľskom reťazci. Predpokladá sa, že sa tým zvýši transpa-

zneškodnenie. Harmonizované technické špecifikácie by sa mali vzťahovať na použité výrobky, pokiaľ použitý výrobok nie je odpadom alebo prestal byť odpadom. Zvýšené opätovné používanie stavebných výrobkov je súčasťou prechodu na obehové hospodárstvo a znižovanie environmentálnej a uhlíkovej stopy výstavby. Repasované výrobky by mali profitovať z toho, že do výpočtu environmentálneho vplyvu počas ich životného cyklu sa nemusia zahrnúť udalosti pred ich poslednou demontážou. Repasované výrobky by mali profitovať aj z požiadaviek alebo stimulov na podporu vysokého recyklovaného obsahu.

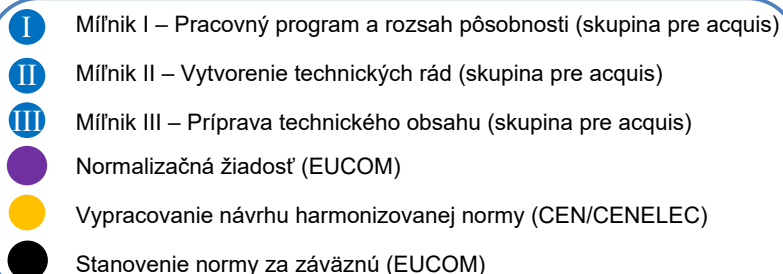
2 Pracovný plán a prípravná fáza vývoja harmonizovaných technických špecifikácií

Nariadenie sa týka výrobkov podľa harmonizovaných technických špecifikácií (t.j. harmonizovaných noriem a európskych hodnotiacich dokumentov) stanovujúcich parametre environmentálnych, funkčných a bezpečnostných požiadaviek podľa tohto nariadenia.

Pri príprave normalizačných žiadostí a iných harmonizovaných technických špecifikácií pomáha Komisii expertná skupina (ďalej „expertná skupina pre acquis“). Expertná skupina pre acquis pomáha Komisii najmä pri vypracúvaní a aktualizácii pracovného plánu vývoja harmonizovaných technických špecifikácií, návrhu ich obsahu a pri určovaní zahrnutia použitých výrobkov do harmonizovaných technických špecifikácií. Pri určovaní priorít plánu práce by mala Komisia venovať osobitnú pozornosť nahradeniu harmonizovaných technických špecifikácií prijatých podľa nariadenia (EÚ) č. 305/2011 a ich zosúladeniu s nariadením (EÚ) 2024/3110 (CPR 2024). Komisia by mala každoročne informovať členské štáty a Európsky parlament o plnení plánu práce, ako aj o podaných normalizačných žiadostiach. Harmonizované normy vydáva Európsky výbor pre normalizáciu (CEN) v súlade s normalizačnou žiadosťou vystavenou Komisiou.

Harmonizované normy v súlade s nariadením (EÚ) č. 305/2011, ktoré boli účinné k 8. januáru 2026, ostávajú naďalej v platnosti podľa nariadenia (EÚ) č. 305/2011, až kým ich Komisia nestiahne, alebo kým nebudú inak zrušené (napríklad revíziou v súlade s CPR 2024). Európske hodnotiace dokumenty (EAD), na ktoré sa odkazuje v súlade s nariadením (EÚ) č. 305/2011 do 8. januára 2026, ostávajú v platnosti do 9. januára 2031. Nariadenie (EÚ) č. 305/2011 sa úplne zrušuje s účinnosťou od 8. januára 2040.

Komisia v spolupráci s expertnou skupinou pre acquis uverejnila prvý pracovný plán 8. januára 2026. Míľniky procesu sa uvádzajú v obrázku 2.

- 
- I Míľnik I – Pracovný program a rozsah pôsobnosti (skupina pre acquis)
 - II Míľnik II – Vytvorenie technických rád (skupina pre acquis)
 - III Míľnik III – Príprava technického obsahu (skupina pre acquis)
 - Normalizačná žiadosť (EUCOM)
 - Vypracovanie návrhu harmonizovanej normy (CEN/CENELEC)
 - Stanovenie normy za záväznú (EUCOM)

Obrázok 2 – Proces acquis nariadenia o stavebných výrobkoch

Komisia doteraz prijala **tri normalizačné žiadosti** týkajúce sa 21 harmonizovaných noriem, štyroch podporných noriem a jednej technickej správy:

- prefabrikované výrobky z normálneho betónu/lahkého betónu/pórobetónu (skupina výrobkov 1),
- kovové konštrukčné výrobky a doplnky (skupina výrobkov 20),
- cementy, stavebné vápna a ostatné hydraulické spojivá (skupina výrobkov 15).

Tabuľka 1 – Opatrenia týkajúce sa skupín výrobkov

Č. skupiny výrobkov (príloha VII.)	Skupina výrobkov	Kód	Míľnik I	Míľnik III	Normalizačná žiadosť	Vypracovanie noriem	Prijatie Delegovaného aktu
1	prefabrikované výrobky z normálneho betónu/lahkého betónu/pórobetónu	PCR	dokončené	dokončené	2.štvrtrok 2025	4. štvrtrok 2025	4. štvrtrok 2025
20	kovové konštrukčné výrobky a doplnky	SMP	dokončené	dokončené	3.štvrtrok 2025	4. štvrtrok 2025	2. štvrtrok 2026
15	cementy, stavebné vápna a ostatné hydraulické spojivá	CEM	dokončené	dokončené	3.štvrtrok 2025	3. štvrtrok 2027	4. štvrtrok 2027
26	výrobky súvisiace s betónom, maltou a injektážnou maltou	CMG	prebieha	1. štvrtrok 2026	4. štvrtrok 2026	2029	-
24	kamenivo	AGG	prebieha	2. štvrtrok 2026	1. štvrtrok 2027	2029	-

V tabuľke 1 sú vybrané (betón, cement, kamenivo) plánované a prebiehajúce opatrenia počas obdobia pracovného plánu na roky 2026 – 2029. Skupiny výrobkov sú zoradené podľa predpokladaného začiatku práce na acquis. Všetky dátumy sú orientačné.

Za revíziu a vypracovanie noriem skupiny výrobkov „Prefabrikované výrobky z normálneho betónu/lahkého betónu/pórobetónu“ na základe normalizačnej žiadosti Komisie M/609 zodpovedá TC 229 z CEN. Práce na schválení konečného návrhu harmonizovanej normy EN 18190 zaostávajú za pôvodným plánom prác. V deň prípravy odborného príspevku neboli ešte k dispozícii výsledky opakovaného hlasovania o konečnom návrhu hEN 18190 ani EN 18262. Pre viac informácií pozri CEN/TC 229.

Za revíziu a vypracovanie noriem skupiny výrobkov „Cementy, stavebné vápna a ostatné hydraulické spojivá“ zodpovedá TC 51 z CEN. Práca na revízii noriem prebieha podľa plánu. Prijatie konečného znenia normy EN 197-1 je naplánované na 30. júna 2027. Predpokladá sa 12-mesačné prechodné obdobie medzi revidovanou normou EN 197-1 a pôvodnými normami EN 197-1, EN 197-2, EN 197-5 a EN 197-6. Revíziou normy dôjde k zlúčeniu noriem EN 197-1, EN 197-2, EN 197-5 a EN 197-6. Taktiež pribudnú nové prímеси pre náhradu slinku, nové typy cementov a nové

charakteristické vlastnosti vrátane environmentálnych. Pre presný plán programu revízie harmonizovaných noriem pozri CEN/TC 51.

CEN/TC 104 ako člen expertnej skupiny pre acquis v rámci stanoviska k míľniku I pre skupinu výrobkov súvisiacich s betónom, maltou a injektážnou maltou neodporučil harmonizáciu noriem radu EN 206 a Komisii (DG GROW) doručil negatívne stanovisko. Ako ďalší postup bola navrhnutá čiastočná harmonizácia iba pre environmentálne vlastnosti v podobe samostatnej časti v rámci radu EN 206. Ostatné časti radu EN 206 bolo odporúčané ponechať aj naďalej ako neharmonizované.

3 Systém posudzovania vopred určených environmentálne podstatných vlastností 3+

CPR 2024 zavádza systém posudzovania a overovania 3+. Ide o systém posudzovania environmentálnej udržateľnosti notifikovanou osobou. Súčasťou overovania je overenie výpočtov a vstupných údajov, v kontexte čoho notifikovaná osoba overí, či modelovanie a vstupné údaje uplatniteľné v súlade s harmonizovanou technickou špecifikáciou alebo európskym hodnotiacim dokumentom zodpovedajú parametrom výrobu, pričom overí i to, či bol softvér použitý správne, ako aj všetky použité údaje, a najmä overí spoľahlivosť všetkých použitých údajov špecifických pre danú spoločnosť. Následne notifikovaná osoba rozhodne o vydaní alebo zrušení protokolu o overení. Rozdelenie úloh v systéme 3+ je znázornené v tabuľke 2.

Tabuľka 2 – Úlohy pri posudzovaní parametrov

Označenie systému	Riadenie výroby	Posúdenie parametrov výrobku na základe získania údajov o vstupných hodnotách, predpokladoch a modelovaní	Overenie vstupných hodnôt, predpokladov a súladu s pravidlami	Overenie posúdenia výrobcu	Overenie postupu použitého pri posúdení	Overenie správneho použitia softvéru	Počiatková inšpekcia výrobného závodu s cieľom overenia údajov	Protokol o overení	Vyhlasenie o parametroch a zhode
3+	V	V	NO	NO	NO	NO	NO	NO	V

Legenda: NO úloha notifikovanej osoby
V úloha výrobcu

Nariadenie (EÚ) 2024/3110 (CPR 2024) definuje vopred určené environmentálne podstatné vlastnosti v prílohe II, pričom ich zavádzanie do praxe bude postupné podľa nasledovného harmonogramu (článok 15, bod 3):

- a) podstatné vlastnosti uvedené v písmenách a) až d) prílohy II od 8. januára 2026;
- b) podstatné vlastnosti uvedené v písmenách e) až m) prílohy II od 9. januára 2030;
- c) podstatné vlastnosti uvedené v písmenách n) až s) prílohy II od 9. januára 2032.

Harmonizované technické špecifikácie a európske hodnotiace dokumenty musia pokrývať tento zoznam vopred určených podstatných environmentálnych vlastností súvisiacich s posudzovaním životného cyklu výrobku (Príloha II CPR 2024):

Tabuľka 3 – Zoznam vopred určených environmentálne podstatných vlastností podľa prílohy II CPR 2024 a harmonogram ich zavádzania

Vopred určené environmentálne podstatné vlastnosti (CPR 2024)		
od 8. januára 2026	od 9. januára 2030	od 9. januára 2032
a) účinky zmeny klímy – celkovo	e) poškodzovanie ozónovej vrstvy	n) tuhé častice
b) účinky zmeny klímy – fosílna palivá	f) potenciál acidifikácie	o) ionizujúce žiarenie, zdravie ľudí
c) účinky zmeny klímy – biogénne	g) vodná eutrofizácia sladkej vody	p) ekotoxicita, sladká voda
d) účinky zmeny klímy – využívanie pôdy a zmena využívania pôdy	h) vodná eutrofizácia morskej vody	q) toxicita pre človeka, rakovinotvorné účinky
	i) suchozemská eutrofizácia	r) toxicita pre človeka, nerakovinotvorné účinky
	j) fotochemický ozón	s) vplyvy súvisiace s využívaním pôdy
	k) vyčerpávanie abiotických zložiek prírody – nerasty, rudy	
	l) vyčerpávanie abiotických zložiek prírody – fosílna palivá	
	m) využívanie vody	

Pri stavebných výrobkoch podľa harmonizovaných technických špecifikácií v súlade s novým CPR 2024 dochádza k prechodu zo systému dobrovoľného deklarovania environmentálnych vlastností (EPD) k povinnému deklarovaniu podstatných environmentálnych vlastností v rámci systému 3+. Rozdiely medzi povinným a dobrovoľným systémom preukazovania environmentálnych vlastností výrobkov opisuje tabuľka 4.

Tabuľka 4 – Porovnanie povinného systému a dobrovoľného systému deklarovania environmentálnych údajov

Kritériá	Nariadenie o stavebných výrobkoch (CPR 2024)	Environmentálne vyhlásenia o výrobkoch (EPD)
Zahrnuté výrobky	Stavebné výrobky s harmonizovanou technickou špecifikáciou revidovanou pre nové CPR	Akýkoľvek výrobok, ktorý chcete pokryť
Použité normy a scenáre	EN 15804+A2 a harmonizovaná technická špecifikácia	EN 15804+A2 a pravidlá kategórie výrobkov prevádzkovateľa programu
Údaje o životnom prostredí	Potenciál globálneho otepľovania (od roku 2026) Základné environmentálne ukazovatele (od roku 2030) Ostatné podľa prílohy II (od roku 2032) Pozn.: údaje podľa prílohy II sa zhodujú s požiadavkami EN 15804	Ukazovatele vplyvu na životné prostredie podľa EN 15804 Ďalšie ukazovatele vyžadované určitými PCR prevádzkovateľa programu
Dátum uplatniteľnosti	Jeden rok po zverejnení revidovanej harmonizovanej technickej špecifikácie	Platné dnes, riadené požiadavkami trhu a podporované národnými predpismi
Overovanie	Validácia notifikovanou osobou	Overenie overovateľom tretej strany schváleným prevádzkovateľom programu
Zber údajov	Musí byť súčasťou systému riadenia výroby	Nemusí byť súčasťou systému riadenia výroby
Priemerovanie	Uplatňuje sa najhorší scenár (výsledky lepšie alebo rovné deklarovanej hodnote)	Priemerovanie s povolenou odchýlkou
Platnosť	Pokiaľ je výrobok v súlade s vyhlásením	Päť rokov pre EPD overené treťou stranou
Formát	Vyhlásenie o parametroch a zhode (VoPZ)	EPD podľa EN 15804+A2
Publikovanie	Bežný elektronický formát, čitateľný človekom a strojovo, vrátane digitálneho pasu výrobku	EPD zverejnené na stránkach operátora programu
Následky nezhody	Výrobok nemožno uviesť na európsky trh	Riziko straty obchodu z dôvodu zníženej konkurencieschopnosti

4 Záver

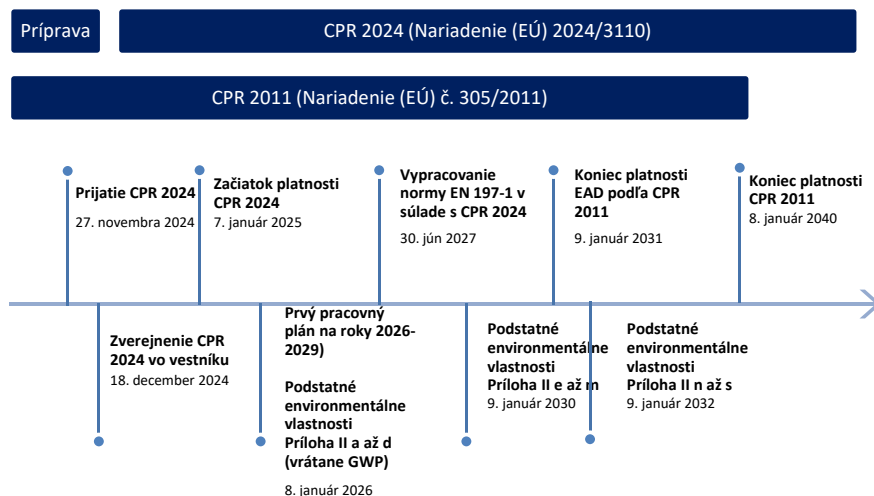
Za nesprávne vyhlásenia o parametroch a zhode nesie zodpovednosť výrobca stavebných výrobkov. Preto je zo strany výrobcov stavebných výrobkov potrebné venovať zvýšenú pozornosť implementácii nového nariadenia (EÚ) 2024/3110 o stanovení harmonizovaných pravidiel uvádzania stavebných výrobkov na trh.

Z uvedených citácií vyplýva, že hlavný dôraz sa pri revízii kládol na podporu zeleného a digitálneho jednotného stavebného trhu EÚ. Pri prechode z nariadenia

V prvej fáze bude potrebné revidovať existujúce harmonizované normy vypracované v súlade s nariadením (EÚ) č. 305/2011, tak aby boli v súlade s nariadením (EÚ) 2024/3110. Prvý pracovný plán na roky 2026 – 2029 bol zverejnený 8. januára 2026 a je voľne dostupný na stránkach Komisie.

Dodržovanie a kontrola environmentálnych charakteristík budú musieť byť zahrnuté do systému kontroly výroby a systémy posudzovania a overovania sa rozširujú o systém 3+ (kontrola posudzovania udržateľnosti notifikovanou osobou).

Zároveň sa očakáva zvýšená snaha harmonizovať aj ďalšie zatiaľ neharmonizované skupiny výrobkov, medzi nimi aj betón. Harmonizácia (úplná, alebo čiastočná) zatiaľ neharmonizovaných skupín výrobkov bude predstavovať výzvu a ešte bude predmetom viacerých rokovaní expertných skupín.



Obrázok 3 – Prehľad časového plánu zavádzania nového CPR

[1] Nariadenie Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) 2024/3110 z 27. novembra 2024, ktorým sa stanovujú harmonizované pravidlá uvádzania stavebných výrobkov na trh a zrušuje nariadenie (EÚ) č. 305/2011

[2] N2692 Liaison report CEN/TC 442 pre CEN/TC 104, Štokholm 25. – 26. 6. 2026

NOVÉ VÝZVY PRI VÝROBE CEMENTOV S NIŽŠOU UHLÍKOVOU STOPOU

Tadeáš Gavenda¹, Branislav Cvopa²

V súlade s cieľmi European Green Deal a balíka Fit for 55 prechádza európsky cementársky priemysel zásadnou transformáciou, ktorej cieľom je dosiahnuť uhlíkovú neutralitu do roku 2050. Podľa aktualizovanej Net Zero Roadmap organizácie Cement Europe je zrejmé, že bude nutný súčasný rozvoj všetkých dostupných opatrení ako znižovanie slinkového faktora pomocou SCM materiálov, využívanie alternatívnych palív a surovín, zvyšovanie energetickej efektívnosti, implementáciu systémov CCUS a podporu cirkulačnej ekonomiky. Významným faktorom transformácie sú aj emisné kvóty v rámci systému EU ETS a postupné zavádzanie mechanizmu CBAM.

Podstatným nástrojom znižovania emisií CO₂ je znižovanie slinkového faktora prostredníctvom využívania doplnkových cementárskych materiálov (SCM). Význam SCM sa potvrdil aj v revízii európskej normy EN 197, ktorá zaviedla nové typy zmesových cementov (napr. CEM II/C-M a CEM VI), umožňujúce kombinovať viacero druhov materiálov pri zachovaní požadovaných vlastností. Rozširovanie výroby zmesových cementov však súčasne zvyšuje závislosť cementárskeho priemyslu od stabilných dodávok kvalitných SCM materiálov, ktoré sú často vedľajšími produktmi iných priemyselných odvetví. Dostupnosť a kvalita týchto materiálov preto nie je určená potrebami cementárskeho priemyslu, ale predovšetkým vývojom technológií v priemyselných odvetviach, v ktorých vznikajú a ktoré samy prechádzajú rozsiahlou transformáciou a dekarbonizáciou. Tieto zmeny vo výrobných procesoch sa môžu premietiť do rozdielov v chemickom a mineralogickom zložení, fyzikálnych vlastnostiach materiálov a následne aj ovplyvniť priebeh hydratácie cementu, vývoj mechanických pevností aj dlhodobú trvanlivosť. Stabilná kvalita vstupných surovín, ktorá bola v minulosti často prirodzene zabezpečená dlhodobými dodávateľskými vzťahmi a ustálenými výrobnými procesmi, sa tak stáva významnou technologickou aj ekonomickou výzvou. Paradoxne tak práve procesy smerujúce k dekarbonizácii európskeho priemyslu môžu ovplyvniť dostupnosť materiálov, na ktorých je významná časť dekarbonizácie výroby cementov postavená.

Granulovaná vysokopečná troska, ktorá vzniká ako vedľajší produkt pri výrobe surového železa vo vysokých peciach, patrí medzi strategické hydraulicky aktívne SCM a podstatný prostriedok pre znižovanie slinkového faktora.

¹ Ing. Tadeáš Gavenda, Ph.D., Považská cementáreň a.s. Ladce, gavenda.t@pcla.sk

² Branislav Cvopa, Považská cementáreň a.s. Ladce, cvopa.b@pcla.sk

Použitie vysokopecnej trosky prináša aj technologické výhody - nižšie hydratačné teplo, vývoj neskorších pevností, zlepšenie odolnosti voči vybraným agresívnym prostrediam a zníženie permeability cementového kameňa. Význam vysokopecnej trosky sa v súvislosti s dekarbonizáciou ďalej zvyšuje vzhľadom na predpokladaný rast podielu zmesových cementov. Relatívne málo diskutovaným javom v poslednej dobe je variabilita vlastností vysokopecnej trosky. Hoci bola vysokopecná troska v minulosti vnímaná ako relatívne stabilný vedľajší produkt, jej kvalita závisí od komplexných podmienok metalurgického procesu, predovšetkým od typu a chemického zloženia železnej rudy, množstva a typu tavív, podielu recyklovaných materiálov, prevádzkových podmienok vysokej pece, spôsobu granulácie a ďalších faktorov. Zmeny týchto parametrov môžu ovplyvniť obsah hlavných oxidov, mineralogické vlastnosti a hydraulickú aktivitu výslednej trosky. Tradičným ukazovateľom kvality granulovanej vysokopecnej trosky bol najmä podiel sklovitej fázy, pričom vyššia sklovitosť bola považovaná za indikátor vyššej reaktivity. Aktuálne sa však ukazuje, že samotný obsah sklovitej fázy nie je dostatočným parametrom na úplné posúdenie správania trosky v cementových systémoch, pretože podstatnou pre hydraulickú aktivitu je aj chemická a štruktúrna charakteristika. Významnú úlohu zohráva najmä pomer CaO/SiO_2 , obsah Al_2O_3 a MgO , stupeň polymerizácie kremičitanovej siete, zastúpenie jednotlivých minerálnych fáz, spôsob granulácie a jemnosť mletia. Hodnotenie kvality trosky preto v súčasnosti vyžaduje komplexnejší prístup založený nielen na fyzikálnych vlastnostiach a chemickom zložení, ale aj na hodnotení jej reaktivity v cemente. Praktické skúsenosti z výroby cementov ukazujú, že rozdiely medzi jednotlivými dodávkami granulovanej vysokopecnej trosky sa môžu prejavíť významnými rozdielmi v technologických vlastnostiach výsledného cementu, napríklad vo vývoji počiatočných a koncových pevností. Výsledky mechanických skúšok (PVT) v rámci porovnania viacerých vysokopecných trosiek sú znázornené v tabuľke č.1.

	Sklovitosť [%]	(C+M)/S	C+M+S [%]	Počiatok tuhnutia [min]	Troska v troske [%]	Index aktivity 7D [%]	Index aktivity 28D [%]
	> 67 %	> 1	> 67 %	≤ 420 min.		> 45 %	> 70 %
Troska JUHOVÝCHOD	85.90	1.33	82.16	270	63.6	46.6	77.5
Troska ZÁPAD	98.40	1.28	82.53	255	73.8	50.7	90.4
Troska VÝCHOD	97.51	1.23	92.80	275	60.5	61.0	98.8
Troska JUH	99.20	1.19	81.03	290	100	55.6	88.2

Tab. 1 – porovnanie trosiek

Táto skutočnosť poukazuje na potrebu zvýšenej pozornosti venovanej kontrole kvality vstupných materiálov, čo spôsobuje navýšenie činnosti pracovníkov kontroly kvality a nutnosť modernizácie prístrojového vybavenia laboratória, čo má priamy dopad na ekonomiku výroby cementu.

Ďalšou surovinou, ktorá vykazuje značnú variabilitu vlastností, je sadrovec, ktorý reguluje priebeh tuhnutia cementu. V cementárskej praxi sa využíva viacero zdrojov síranu vápenatého – prírodný sadrovec a rôzne syntetické sadrovce (tzv. chemosadrovce a energosadrovce). Energosadrovec je vedľajším produktom energetiky a vzniká reakciou SO_2 zo spalín s vápenatým absorbentom. Chemosadrovce predstavujú vedľajšie produkty výroby chemikálií. Vďaka relatívne vysokej čistote a jemnej štruktúre sa stali významnou náhradou prírodného sadrovca. Hoci priemyselné sadrovce obsahujú prevažne síran vápenatý, ich vlastnosti môžu byť rozdielne v závislosti od spôsobu vzniku, čistoty, obsahu prímiesí a pomeru jednotlivých foriem CaSO_4 . Zatiaľ čo vlastnosti prírodného sadrovca sú dané geológiou ložiska, vlastnosti priemyselných sadrovcov priamo súvisia s technologickým procesom ich vzniku. Vlastnosti energosadrovcov môže ovplyvniť kvalita používaného vápenca v procese odsírenia, typ spaľovaného paliva, zmeny prevádzkových režimov elektrární, účinnosť odsírovacieho zariadenia, obsah vedľajších minerálnych fáz, rozpustných solí a stopových prvkov. Pri chemických sadrovcoch je variabilita často ešte výraznejšia, pretože závisí od konkrétneho chemického výrobného procesu, od zloženia vstupnej suroviny, obsahu sprievodných prímiesí a spôsobu separácie. Praktická skúsenosť potvrdzuje variabilitu vo vlastnostiach priemyselných sadrovcov. Obrázok č.1 znázorňuje farebnú zmenu priemyselných sadrovcov z rôznych zdrojov po zahriatí.



Obr. 1 - farebná zmena priemyselných sadrovcov z rôznych zdrojov

Aj keď priemyselné sadrovce obsahujú často vysoký obsah $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, rozdiely v obsahu nečistôt môžu ovplyvniť ich spracovanie a technologické správanie. Výskumy ukazujú, že práve obsah nečistôt patrí medzi významné faktory ovplyvňujúce vlastnosti priemyselných sadrovcov v porovnaní s prírodnými materiálmi. Variabilita sa môže prejavovať zmenami rozpustnosti síranovej zložky, regulácie hydratácie cementu a tým aj vlastnosťami výsledného cementu. Prítomnosť prímiesí a nečistôt v priemyselných

sadrovcoch a tepelná história materiálu (sušenie po oddelení zo suspenzie, prípadne skladovanie) môže ovplyvniť stabilitu hydrátových fáz a posunúť podmienky tvorby hemihydrátu na nižšie teploty v porovnaní s čistým sadrovcom. Variabilita vlastností sadrovca môže vyžadovať úpravu dávkovania síranovej zložky, optimalizáciu mletia cementu a zvýšenú frekvenciu kontroly kvality.

Kvalita vstupných materiálov preto nemôže byť hodnotená iba na základe základných chemických parametrov, ale vyžaduje komplexnejšie posúdenie zahŕňajúce mineralogické zloženie, termickú analýzu, reaktivitu a správanie v konkrétnom cementovom systéme. Rastúca variabilita vstupných materiálov preto predstavuje nielen technologickú, ale aj ekonomickú výzvu, pretože zvyšuje požiadavky na vstupnú kontrolu, laboratórne vybavenie, frekvenciu analýz, systém kontroly kvality a flexibilitu riadenia výroby. Vyššia frekvencia kontroly kvality si vyžaduje väčšie personálne a analytické kapacity, potrebu kvalifikovaného odborného personálu a môže predlžovať čas potrebný na uvoľnenie surovín do výroby a vyžadovať častejšiu optimalizáciu výrobných receptúr. V prostredí rastúcich cien energií, emisných povoleniek a vstupných materiálov sa preto kvalita a stabilita sekundárnych surovín stávajú jedným z významných faktorov konkurencieschopnosti výroby cementu.

Okrem variability vlastností predstavuje výzvu do budúcnosti aj dostupnosť diskutovaných materiálov. Transformácia energetického sektora v Európe znamená postupné obmedzenie výroby elektrickej energie z fosílnych palív, čo zníži produkciu sadrovcov, ale aj popolčeka. Materiál, ktorý bol v minulosti dostupným vedľajším produktom energetiky, sa môže i vďaka geopolitickým udalostiam stať cennou strategickou surovinou. Dostupnosť vysokopecnej trosky v Európe bude rovnako výzvou kvôli transformácii hutníckeho priemyslu. Výroba železa sa postupne presúva od klasických vysokých pecí využívajúci koks ako redukčné činidlo k technológiám s nižšou uhlíkovou stopou, ako sú priama redukcia železnej rudy (DRI) a spracovanie v elektrických oblúkových peciach (EAF). Hoci tieto technológie produkujú vlastné druhy hutníckych trosiek, ich charakter, chemické zloženie a mineralogické vlastnosti sa zásadne odlišujú od granulovanej vysokopecnej trosky. Použitie trosiek z elektrických oblúkových pecí je v súčasnosti v cementárskom priemysle limitované kvôli vyššiemu obsahu voľného CaO a MgO a nižšiemu podielu sklovitej fázy. Vzhľadom na tieto skutočnosti a postupne klesajúce zásoby vysokopecnej trosky na skládkach je zrejmé, že transformácia metalurgie bude mať významný vplyv aj na dostupnosť granulovanej vysokopecnej trosky a môže nastať situácia, keď jeden z najvýznamnejších nástrojov znižovania uhlíkovej stopy bude zároveň materiálom s obmedzujúcou dostupnosťou. Tento vývoj môže viesť k rastúcemu významu dovozu trosky z mimoeurópskych oblastí, čo však prináša ďalšie otázky súvisiace s logistickou náročnosťou, uhlíkovou stopou dopravy, stabilitou dodávateľských reťazcov a cenovou dostupnosťou. Aktuálnou otázkou bude tiež čiastočná náhrada vysokopecnej trosky inými – alternatívnymi SCM. Do úvahy budú prichádzať hlavne prírodné puzolány a kalcinované íly (LC3), ktoré nie sú viazané na produkciu iného priemyselného odvetvia, prípadne recyklované materiály, pri ktorých však bude nutné venovať

zvýšenú pozornosť kvalitatívnym parametrom. Význam týchto materiálov bude v nasledujúcich rokoch ďalej narastať aj v súvislosti s rozvojom nových typov zmesových cementov podľa európskych noriem. Budúcnosť nízkouhlíkových cementov teda nebude pravdepodobne založená iba na rozšírení využívania existujúcich SCM, ale na schopnosti efektívne kombinovať viaceré materiály podľa dostupnosti, vlastností (ktoré môžu byť často premenlivejšie ako v minulosti), environmentálneho prínosu a požadovaných vlastností cementu. Výzvou pritom nebude iba nájsť dostatočné množstvo materiálov, ale zabezpečiť ich kvalitu a dlhodobú dostupnosť

Príspevok sa venuje aktuálnym výzvam spojeným s výrobou zmesových cementov v podmienkach neistej dostupnosti a kvalitatívnej variability vstupných surovín. Pozornosť je venovaná najmä priemyselným sadrovcom a granulovanej vysokopecnej troske, ktorých vlastnosti a dostupnosť budú v značnej miere ovplyvnené transformáciou energetiky a metalurgického priemyslu v Európe.

V širšej perspektíve predstavuje výroba cementov s nižšou uhlíkovou stopou iba jednu časť transformácie stavebného priemyslu smerom k vyššej udržateľnosti. Vzhľadom na obsah kameniva v betóne je podobne podstatnou výzvou dostupnosť a kvalita prírodných kamenív a environmentálne dopady ich ťažby. Súčasne rastúca potreba stavebných materiálov a rozvoj infraštruktúry zvyšujú tlak na dostupnosť kvalitného riečného kameniva. Podobne ako pri sekundárnych materiáloch využívaných pri výrobe cementu preto rastie potreba hľadania alternatívnych zdrojov kameniva. Medzi možné náhrady patrí recyklované kamenivo z demolácií či priemyselné minerálne vedľajšie produkty. Netradičným prístupom je použitie oceliarskej trosky a vysokopecnej trosky ako úplná náhrada kameniva v betóne. Použitie oceliarskej trosky v betóne pre objemové zmeny bolo veľkou výzvou. Nakoniec vznikol netradičný betón, kde bolo prírodné kamenivo nahradené priemyselnými vedľajšími produktami, navyš so zníženou uhlíkovou stopou pod názvom QUANTICON.



C25/30 B2 XC4 / XW1 / XD2 / XF1 / XA1L / F52 / GK32 / PB (A)

Po laboratórnych skúškach sa prešlo v roku 2021 do betonáže prístupových a odstavných plôch v areáli Považskej cementárne a.s. Ladce, takmer 200 m³ a následne v roku 2022 sa vybetónovala protihluková stena vo Freistadt v Rakúsku.



Obr. 2 – betonáž v areáli PCLA a.s. Ladce



Obr. 3 – protihluková stena Freistadt Rakúsko

Betón je doteraz monitorovaný a neboli zaznamenané žiadne anomálie. Požadované vlastnosti spĺňa s veľkou rezervou. Všetky vlastnosti čerstvého a zatvrdnutého betónu boli splnené a overené, potvrdzujú to správy TSUS n.o. Bratislava a VŠB Ostrava.

20-22-0372 QUANTICON – KOMPLEXNÁ ANALÝZA VÝPOČTU VODNÉHO SÚČINITEL'A

20-23-0245 QUANTICON – SKÚŠKY VYBRANÝCH ÚŽITKOVÝCH VLASTNOSTÍ BETÓNU

20-22-0372/1 QUANTICON – NÁVRH ÚPRAVY ZLOŽENIA PRE ZLEPŠENIE ČERPATEĽNOSTI ČERSTVÉHO BETÓNU

20-24-0058 Skúška odolnosti betónu QUANTICON vystavenému striedavému účinku klimatických podmienok

20-20-0286/1 NETRADIČNÝ DIZAJN BETÓNU NA BÁZE UMELEHO KAMENIVA
Skúšky oceliarskej a vysokopecnej trosky ako kameniva

LITERATÚRA

1. CEMBUREAU. Cementing the Future – Europe's Cement Roadmap to Carbon Neutrality by 2050. Brussels: The European Cement Association, 2020.
2. SCRIVENER, K. L., JOHN, V. M., GARTNER, E. M. Eco-efficient cements: Potential economically viable solutions for a low-CO₂ cement-based materials industry. *Cement and Concrete Research*, 2018, vol. 114, pp. 2–26. DOI: 10.1016/j.cemconres.2018.03.015.
3. JUENGER, M. C. G., SNELLINGS, R., BERNAL, S. A. Supplementary cementitious materials: New sources, characterization, and performance insights. *Cement and Concrete Research*, 2019, vol. 122, pp. 257–273. DOI: 10.1016/j.cemconres.2019.05.008.
4. SNELLINGS, R. Assessing, understanding and unlocking supplementary cementitious material reactivity. *RILEM Technical Letters*, 2016, vol. 1, pp. 50–55. DOI: 10.21809/rilemtechlett.2016.12.
5. BOUGARA, A., LYNSDALE, C., MILESTONE, N. Reactivity of alkali-activated slag cement. *Cement and Concrete Research*, 2010, vol. 40, no. 2, pp. 236–243.

6. EHRENBERG, A., GEISELER, J. Influence of activation of granulated blast furnace slag on the hydration, strength and durability of slag cement. *Cement and Concrete Composites*, 1999, vol. 21, no. 2, pp. 99–105.
7. TAYLOR, H. F. W. *Cement Chemistry*. 2nd ed. London: Thomas Telford, 1997.
8. VOIGT, W., FREYER, D. Solubility of anhydrite and gypsum at temperatures below 100°C and the gypsum–anhydrite transition temperature in aqueous solutions: A re-assessment. *Frontiers in Nuclear Engineering*, 2023, vol. 2, article 1208582. DOI: 10.3389/fnuen.2023.1208582.
9. LIU, Y., et al. Dehydration Pathways of Gypsum and the Rehydration Mechanism of Soluble Anhydrite γ -CaSO₄. *Crystal Growth & Design*, 2019.

TRENDY VO VÝSKUME ALTERNATÍVNYCH PLNÍV DO BETÓNU

Alena Sičáková

Betón patrí medzi najvýznamnejšie stavebné materiály súčasnosti a jeho výroba je spojená s vysokou spotrebou prírodných surovín. Súčasne vznikajú veľké množstvá odpadov zo stavebníctva, priemyslu, energetiky, dopravy a poľnohospodárstva. Jednou z ciest k zníženiu spotreby primárnych surovín je preto čiastočná alebo úplná náhrada prírodného kameniva alternatívnymi plnivami. Príspevok sumarizuje súčasné trendy vo výskume odpadových a druhotných materiálov používaných ako jemné alebo hrubé kamenivo a sleduje nielen ich pôvod, ale aj technologickú formu a spôsob úpravy. Osobitná pozornosť je venovaná posunu od priameho využitia odpadu k cielene vyrábaným umelým a multifunkčným kamenivám.

1. Úvod

Betón je heterogénny kompozit, ktorého výsledné vlastnosti vznikajú spolupôsobením cementovej matrice, kameniva, vody, prímеси a prísad. Keďže kamenivo tvorí približne 60–75 % objemu betónu, jeho náhrada predstavuje významný potenciál na zníženie spotreby prírodných zdrojov. Alternatívne plnivá však prinášajú aj nové premenné – odlišnú hustotu, pórovitosť, nasiakavosť, tvar zŕn, povrchovú energiu, chemické zloženie a variabilitu. Preto ich vhodnosť nemožno posudzovať iba podľa dosiahnutej tlakovej pevnosti, ale podľa širšieho súboru funkčných, trvanlivostných a environmentálnych požiadaviek.

Súčasný výskum je úzko spätý s princípmi obehového hospodárstva: odpad sa posudzuje ako potenciálny sekundárny zdroj a cieľom je čo najvyššia materiálová hodnota jeho ďalšieho využitia. V prípade betónu je tento prístup významný aj preto, že umožňuje spotrebovať veľké objemy druhotných materiálov. Rozhodujúce však zostáva, aby transformácia odpadu na kamenivo nevedla iba k presunu environmentálnej záťaže, ale priniesla technicky spoľahlivý a environmentálne bezpečný výrobok.

Vo výskume alternatívnych plnív možno pozorovať silnú väzbu na dostupnosť a charakter odpadových tokov. V podmienkach EÚ sa tento smer opiera o hierarchiu odpadového hospodárstva, v ktorej majú predchádzanie vzniku odpadu, opätovné použitie a recyklácia prednosť pred zneškodňovaním. Slovenská Stratégia odpadového hospodárstva SR do roku 2035 zároveň podporuje prechod na obehové hospodárstvo, znížovanie environmentálnej stopy, recykláciu a princíp „odpad ako zdroj“. V rámci priorit SOH SR 2035 uvádza niekoľko prioritných oblastí a osobitných prúdov, z ktorých niektoré majú silný výskumný potenciál pre použitie do betónu. Sú to stavebné a demolačné odpady, odpadové sklo, plastové odpady, odpadové pneumatiky, priemyselné odpady, hutnícke odpady, drevný odpad, a textilný odpad.

Ich využitie ako plnivo do betónu možno chápať ako materiálovú transformáciu odpadu na sekundárnu surovinu s vyššou pridanou hodnotou. Prechod výskumných výsledkov do praxe však vyžaduje technické špecifikácie, skúšobné postupy a normové požiadavky viazané na konkrétny typ betónu a jeho použitie.

Cieľom článku preto nie je vytvoriť úplný katalóg všetkých alternatívnych materiálov, ale poukázať na niektoré smery ich vývoja. Pozornosť sa sústreďuje na druhy plnív, ich formu a najmä na technologické postupy, ktorými možno z problematického odpadu vytvoriť kamenivo s riadenými vlastnosťami.

2. Všeobecné trendy vo výskume alternatívnych plnív do betónu

Súčasný výskum možno zhrnúť do niekoľkých navzájom prepojených trendov.

➤ **Rozširovanie spektra skúmaných materiálov.** Spektrum skúmaných materiálov sa rozširuje nielen z pohľadu nových druhov odpadov, ktoré neustále vznikajú v súvislosti s rozvojom priemyselných technológií, ale pozornosť sa venuje aj tradičným odpadom, ale s detailnejším triedením. To je typické pre demolačné odpady. Trendom je precízne triedenie a systematický prieskum samostatných materiálových tokov – betón, keramika, sklo, plasty, guma atď. Ako príklad tiež možno uviesť oceliarskú trosku, kde sa skúma potenciál jednotlivých foriem samostatne, t.j. troska z kyslíkovej pece, troska z elektrickej oblúkovej pece, a troska z panvy. Výhodou je lepšia kontrola vstupnej suroviny a možnosť prispôbiť technológiu jej špecifickým vlastnostiam.

Predovšetkým pre demolačné odpady sa skúmajú samostatne nielen materiálové, ale aj granulometrické skupiny. Rovnaký odpad môže mať rozdielny účinok podľa toho, či sa použije ako hrubé kamenivo, jemná frakcia, mikroplnivo alebo peletizovaný granulát. Pri keramike a skle sa napríklad rozlišuje inertná funkcia kameniva od novej puzolánovej aktivity jemne mletého materiálu. Tento trend zvyšuje potenciál „value-added recycling“, pretože jeden materiálový tok môže byť využitý viacerými spôsobmi.

Ďalším zdrojom alternatívnych plnív sú technologicky transformované odpady. Výskum sa presúva k produktom vznikajúcim pri spaľovaní, pyrolýze, termickom spracovaní a ďalších procesoch. Výsledkom môže byť materiál s novou štruktúrou, pórovitosťou alebo povrchovou reaktivitou, ktorý je vhodnejší na výrobu umelého kameniva než pôvodný odpad.

➤ **Mikroštruktúra a kontaktná zóna (ITZ).** Významným trendom je vysvetľovanie vplyvu alternatívneho kameniva prostredníctvom mikroštruktúry a ITZ. Pri RCA je kritická stará cementová malta, pri plastoch a gume slabšia zrnitosť a adhézia, pri skle chemická reaktivita a pri troskách kombinácia mechanickej väzby, mineralógie a objemovej stability. Na objasnenie mechanizmov sa využívajú SEM/EDS, XRD, FTIR, termogravimetria a mikro-CT.

Od makroskopického hodnotenia k mechanizmu pôsobenia. Cieľom už nie je iba konštatovať zvýšenie alebo pokles pevnosti, ale vysvetliť väzbu medzi vlastnosťami zrna, mikroštruktúrou ITZ a výslednými transportnými a mechanickými vlastnosťami. Tento prístup umožňuje cielene upravovať materiál namiesto jednoduchého znižovania jeho podielu v zmesi.

- **Predúprava ako súčasť výrobného procesu.** Rastie význam mechanického čistenia, odstránenia nežiaducich zložiek, optimalizácie zrnitosti, riadenia vlhkosti, povrchovej úpravy, obaľovania, mineralizácie a karbonatácie. Pri RCA sa napríklad skúša odstránenie starej malty, predsýtenie a CO₂ karbonatácia; pri plastoch zdrsnenie alebo funkcionalizácia povrchu; pri troskách stabilizácia voľného CaO a MgO. Predúprava sa tak stáva nástrojom na výrobu „quality-controlled“ kameniva.
- **Forma plnív.** Výskum sa posúva od priameho použitia drveného odpadu k mletým materiálom, mikroplnivám a najmä k peletizovaným alebo aglomerovaným granulátom. Zmena formy umožňuje riadiť veľkosť, tvar, hustotu a pórovitosť výsledného kameniva.
- **Kombinácia druhotných materiálov.** Viaczložkové systémy môžu kompenzovať nevýhody jednotlivých odpadov, napríklad kombináciou RCA s minerálnou prísadou, trosky s jemným plnivom alebo uhlíkatého materiálu s minerálnym spojivom. Neplatí však jednoduchý princíp „čím viac odpadov, tým ekologickejší betón“; nové interakcie a vyššia variabilita musia byť zahrnuté do návrhu zmesi.
- **Od pevnosti k viacparametrickému hodnoteniu.** Súčasná práca sa posúva od sledovania jednotlivých, predovšetkým fyzikálno-mechanických vlastností, na širšie spektrum parametrov v súvislosti s dlhodobou trvanlivosťou. Navyše, aplikácia alternatívneho kameniva sa hodnotí globálne na základe **celkovej funkčnej, environmentálnej a ekonomickej efektívnosti**. Technické výsledky sa prepájajú s LCA, LCC a ďalšími metódami environmentálneho a ekonomického hodnotenia.
- **Aplikačne špecifické kompozity.** Alternatívne plnivo nemusí byť vhodné ako univerzálna náhrada prírodného kameniva v konštrukčných betónoch. Plasty a guma môžu byť výhodné v ľahkých, nárazovo odolných alebo akusticky optimalizovaných kompozitoch, zatiaľ čo hutnícke trosky môžu byť vhodné tam, kde sa vyžaduje vysoká hustota, pevnosť a odolnosť proti opotrebeniu. Uplatňuje sa preto „performance-based“ prístup, v ktorom je materiál navrhovaný pre konkrétnu funkciu.
- **Využívanie umelej inteligencie (AI), strojového učenia (ML), dátových a prediktívnych metód.** Variabilita alternatívnych materiálov zvyšuje počet premenných pri návrhu zmesi. Veľké množstvo experimentálnych údajov získaných z výskumu recyklovaných a alternatívnych kamenív vytvára priestor pre využitie metód strojového učenia. Databázy experimentálnych výsledkov, strojové učenie a optimalizačné algoritmy umožňujú hľadať vzťahy medzi pôvodom a vlastnosťami odpadu, jeho spracovaním, zložením zmesi a výsledným výkonom betónu.

3. Klasifikácia a vybrané druhy alternatívnych plnív do betónu

Z pohľadu materiálového pôvodu možno alternatívne plnivá rozdeliť na odpady z výstavby a demolácie, priemyselné a hutnícke odpady, materiály po skončení životnosti výrobkov, odpady biologického pôvodu a umelo vyrobené kamenivá z druhotných surovín. Toto rozdelenie sa v rovnaký odpad môže byť použitý priamo alebo po transformácii na granulát s cieľene riadenými vlastnosťami. Toto rozdelenie dobre vystihuje súčasný smer výskumu, ktorý sa postupne odkláňa od individuálneho posudzovania jednotlivých odpadov k širšiemu hodnoteniu materiálových tokov, doplnenému o technologické hľadisko.

3.1. Recyklované kamenivo z odpadov z výstavby a demolície

Najrozšírenejšou skupinou je recyklované kamenivo z betónu, tehál, keramiky a asfaltu. Najmä pri RCA je súčasný výskum zameraný na kontrolu variability a na úpravu kameniva tak, aby bolo možné cielene dosiahnuť požadované vlastnosti betónu. Kritickým faktorom je stará cementová malta, ktorá zvyšuje pórovitosť, nasiakavosť a potrebu vody.

Medzi aktuálne prístupy k zabezpečeniu kvality betónu s recyklovaným kamenivom patria: pokročilá charakterizácia (pomocou XRF, XRD, obrazovej analýzy, CT alebo sorpčných skúšok); selektívne triedenie podľa kvality (optické a senzorické triedenie), odstraňovanie pôvodnej malty (mechanické čistenie, otlkanie, elektrické pulzy ...), minerálne/chemické povrchové úpravy, optimalizácia zrnitosti, pedsýtenie (prípadne s využitím potenciálu pre vnútorné ošetrovanie), karbonatácia, digitálne sledovanie pôvodu recyklátu (BIM, RFID, databázy demolovaných objektov), AI/ML predikcia. Pri návrhu zmesi sa presadzuje performance-based prístup, pri ktorom sa namiesto pevného limitu náhrady za prírodné kamenivo posudzuje kombinácia cieľových vlastností pre konkrétnu aplikáciu. Cieľom je prechod od všeobecnej kategórie „RCA“ ku kamenivu s preukázateľnou a riadenou kvalitou.

3.2. Hutnícke a iné priemyselné odpady

V tejto kategórii je široké spektrum odpadov naprieč priemyselnými technológiami, ktoré nie je možné v jednom článku obsiahnuť. Uvádzame podrobnejšie odpady hutníckeho a banského priemyslu, kde je vidieť zvyšujúci sa rozsah skúmaných materiálov.

V našich podmienkach máme silné možnosti vo **vysokopecnej troske**, ale disponujeme aj odpadmi z výroby farebných kovov. **Oceliarska troska** predstavuje alternatívu, ktorá sa v súčasnosti podrobnejšie skúma, najmä vďaka svojej vysokej hustote, tvrdosti, pevnosti a odolnosti proti opotrebeniu a z hľadiska výskumných trendov má v súčasnosti väčšiu odozvu. Výsledky experimentálnych štúdií často poukazujú na zvýšenie pevnosti betónu vďaka vlastnej pevnosti, drsnému povrchu a dobrej mechanickej väzbe medzi troskovým kamenivom a cementovou matricou. Zároveň však môže dôjsť k zníženiu spracovateľnosti v dôsledku nepravidielnosti tvaru, ostrým hranám a drsnosti povrchu. V tejto oblasti je výskum naozaj detailný a skúma sa potenciál aj jednotlivých foriem oceliarskej trosky samostatne, t.j. trosky z kyslíkovej pece (BOF), trosky z elektrickej oblúkovej pece (EAF), a trosky z panvy (LF). V porovnaní s vysokopecným troskovým kamenivom, ktoré má u nás väčšiu tradíciu a overené spôsoby použitia, najvýznamnejším problémom oceliarskej trosky je objemová nestabilita, ktorá súvisí najmä s obsahom voľného CaO a MgO. Ich neskoršia hydratácia môže viesť k expanzii a vzniku trhlín. Taktiež pri hodnotení oceliarskej trosky nepostačuje sledovať iba pevnosť. Potrebné je posudzovať aj lúhovanie potenciálne rizikových látok, trvanlivosť a environmentálnu bilanciu. Ak pri vysokopecnej troske je otázka, ako ešte lepšie využiť potenciál dobre známeho materiálu, tak pri oceliarskej troske je to ako premeniť nestabilný metalurgický odpad na spoľahlivé vysokohodnotné kamenivo. Preto sa súčasný výskum orientuje napr. na umelé starnutie, stabilizáciu a ďalšie predúpravy trosky pred jej použitím v betóne.

Skúmajú sa aj trosky z výroby farebných kovov (medená, ferrochrómová, feronikelová, niklová, olovená a zinková troska), ich využitie však vyžaduje hodnotenie lúhovania potenciálne rizikových prvkov. Samostatnou kategóriou sú banské hlušiny z ťažby a úpravy železných aj neželezných rúd, ktorých vlastnosti sú extrémne závislé od pôvodu a minerálneho zloženia.

3.3. Materiály po skončení životnosti výrobkov

3.3.1. Odpadové sklo

Drvené odpadové sklo má vysokú tvrdosť a nízku nasiakavosť a môže nahrádzať jemné aj hrubé prírodné kamenivo. Pri vhodnej granulometrii môže mať na spracovateľnosť malý vplyv, pričom nízka nasiakavosť obmedzuje odber zámesovej vody. Ostré a ploché zrná však môžu zhoršovať spracovateľnosť a kvalitu kontaktnej zóny. Pri vyšších podieloch sa môže prejavovať aj pokles pevnosti.

Najdôležitejším problémom je alkalicko-kremičitá reakcia (ASR). Sklo obsahuje vysoký podiel amorfného SiO_2 , ktorý môže za vhodných podmienok reagovať s alkalickými zložkami cementovej matrice. Vznikajúci gél môže viazať vodu a expandovať, čo vedie k vnútorným napätiam a tvorbe trhlin. Veľkosť častíc pritom významne ovplyvňuje priebeh reakcie. Zatiaľ čo hrubšie sklenené kamenivo môže predstavovať zvýšené riziko ASR, jemne mleté sklo môže vďaka puzolánovej reakcii pôsobiť odlišne. Preto sa výskum zameriava na optimalizáciu granulometrie a kombináciu skla s puzolánovo aktívnymi materiálmi.

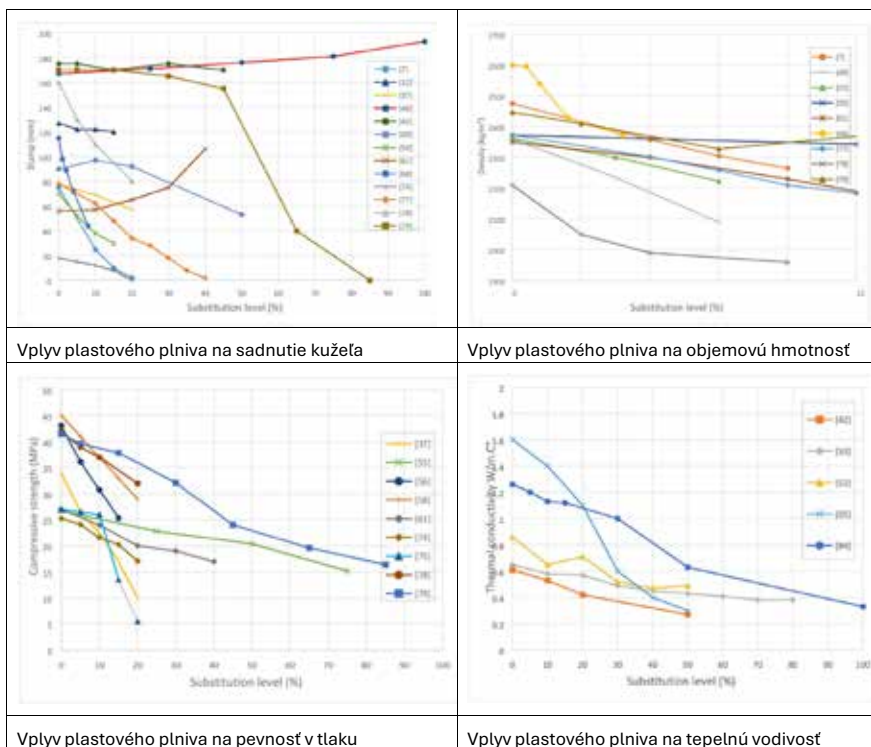
3.3.2. Plasty

Odpadové plasty PET, PP, PE, PVC a polystyrén sa používajú ako drvené častice, regranulát, prášok alebo vlákna. Ich nízka hustota a nasiakavosť môžu znižovať objemovú hmotnosť betónu a zlepšovať tepelnoizolačné alebo akustické vlastnosti. Naopak, nízky modul pružnosti a slabšia adhézia k cementovej paste zvyčajne vedú k poklesu tlakovej a ťahovej pevnosti a modulu pružnosti pri vyššom podiele náhrady.

Účinok výrazne ovplyvňuje tvar zrna. Hladké, takmer guľovité granuly môžu zlepšiť pohyblivosť zmesi, zatiaľ čo nepravidelné a ostrohranné častice zvyšujú mechanické blokovanie a potrebu vody. Pretiahnuté plastové častice môžu po porušení pôsobiť ako mostíky a zvyšovať zvyškovú únosnosť alebo deformovateľnosť. Preto sa súčasný výskum nevenuje iba druhu polyméru, ale aj spôsobu spracovania odpadu a výslednej morfológii zŕn.

Kvalitu ITZ možno zlepšovať mechanickým zdrsnením, chemickou funkcionalizáciou alebo minerálnym obaľovaním. Plasty sú preto perspektívnejšie v ľahkých a funkčných kompozitoch než ako univerzálna náhrada kameniva v konštrukčnom betóne.

Vplyv plastového plniva na sadnutie, objemovú hmotnosť, pevnosť v tlaku a tepelnú vodivosť závisí od druhu polyméru, tvaru častíc a stupňa náhrady. Obrázky ilustrujú trendy na vybraných výsledkoch publikovaných v literatúre.



3.3.3. Gumový granulát z odpadových pneumatík

Gumový granulát má v porovnaní s minerálnymi kamenivami nízku hustotu a vysokú deformovateľnosť. Pri jeho použití sa preto znižuje tuhosť a spravidla aj tlaková pevnosť betónu, ale môže sa zvýšiť húževnatosť, odolnosť proti nárazu, schopnosť absorbovať energiu a tlmiť vibrácie. Výsledok závisí od veľkosti častíc, ich podielu a úpravy povrchu. Chemická alebo fyzikálna úprava môže zlepšiť adhéziu k cementovej matici.

Betón s gumovým granulátom je preto vhodnejší pre špecifické aplikácie, napríklad vrstvy s požiadavkou na tlmenie vibrácií, nárazovú odolnosť alebo zníženú hmotnosť. Tento príklad podporuje trend hodnotiť alternatívne plnivo podľa požadovanej funkcie, nie iba podľa zachovania vlastností referenčného betónu.

3.4. Materiály biologického pôvodu

Biologické odpady predstavujú skôr cestu k ľahkým a funkčne špecifickým cementovým kompozitom než k priamej náhrade kameniva v bežnom nosnom betóne. V posledných rokoch sa zvyšuje záujem o odpady pochádzajúce z poľnohospodárstva a lesného hospodárstva. Skúmajú sa piliny, drevná štiepka, hobliny, drevný prach, kôra, poľnohospodárske vlákňité odpady a konopné pazderie.

Výhodou je nízka hustota, nízka tepelná vodivosť a potenciál uloženia biogénneho uhlíka. Nevýhodou je vysoká pórovitosť, nasiakavosť a chemická interakcia organických látok so spojivom. Výskum preto rieši mineralizáciu, povrchovú úpravu, kompatibilitu so spojivom a riadenie vlhkosti. Novšou vetvou sú uhlíkaté materiály po pyrolýze biomasy – uvedené ďalej.

3.5. Umelo vyrobené alternatívne kamenivá z odpadov

Najaktuálnejší trend predstavuje **technologická transformácia jemného alebo problematického odpadu na nový granulát s riadenými vlastnosťami**. Táto posúva etapu priameho použitia odpadu po jeho jednoduchej úprave triedením a drvením, kde výhodou je síce nízka technologická náročnosť, ale nevýhodou zostáva, že pôvodná variabilita, nasiakavosť, nevhodný tvar alebo chemická nestabilita sa prenášajú priamo do betónu. Nové prístupy zahŕňajú:

i. Granulované a aglomerované odpady

jemnozrnný odpad → peletizácia → kamenivo

Granulácia umožňuje premeniť jemný alebo prašný odpad na zrná vhodnej veľkosti. Skúmajú sa najmä jemný betónový odpad, popol zo spaľovania komunálneho odpadu, alebo kamenárske odprašky. Výsledné granuláty môžu mať lepšiu manipulovateľnosť a granulometriu než pôvodný materiál; súčasne však ich pórovitosť a nasiakavosť často zostávajú vyššie než pri prírodnom kamenive. Pri popole zo spaľovania komunálneho odpadu je navyše nevyhnutné sledovať chloridy, sírany a lúhovanie potenciálne rizikových prvkov. Granuláciou je možné z tejto frakcie vytvoriť ľahké kamenivo použiteľné v betóne. Pri týchto materiáloch granulácia umožňuje nielen zmeniť granulometrické vlastnosti, ale aj čiastočne stabilizovať problematické zložky a pripraviť materiál s vhodnejšou pevnosťou a pórovitosťou. Výhodou je možnosť zužitkovať aj frakcie, ktoré by pri klasickom recyklačnom procese zostali nedostatočne využité.

ii. Umelé kamenivá vyrobené studeným tuhnutím

jemnozrnný odpad + spojivo → peletizácia → ošetrovanie

„Cold-bonding“ technológia pracuje so zmiešaním jemného odpadu so spojivom, následnou granuláciou a vytvrdzovaním s využitím chemizmu použitého spojiva. Na rozdiel od jednoduchej granulovania sa tak vlastnosti výsledného kameniva vytvárajú kombináciou vlastností pôvodného odpadu a použitého spojiva. Skúmajú sa popolčeky, lôžkové popoly, jemné trosky, a ich kombinácie s cementom, mletou granulovanou vysokopecnou troskou, alkalicky aktivovanými spojivami a inými typmi štandardných stavebných spojív. Technológia zvyšuje pevnosť granúl a umožňuje stabilizovať niektoré problematické zložky.

Hlavnou výhodou je nižšia energetická náročnosť oproti spekaniu. Nevýhodou môže byť vyššia nasiakavosť a nižšia pevnosť granúl; výsledok závisí od odpadu, spojiva, pomeru zložiek a režimu ošetrovania. Výskum smeruje k optimalizácii viaczložkových odpadových systémov a k zníženiu podielu spojiva.

iii. Spekané umelé kamenivá

jemnozrnný odpad → peletizácia → tepelná úprava

Pri spekaní sa peletizovaný odpad tepelne upravuje tak, aby sa vytvorila pevná štruktúra kameniva. Najčastejšie sa využívajú popolčeky, ale aj minerálne a hutnícke

odpady, kaly či keramické materiály. Výsledkom môže byť ľahké kamenivo s priaznivou kombináciou nízkej hustoty a pevnosti; tepelná úprava môže zároveň stabilizovať niektoré problematické zložky. Limitom je vysoká energetická náročnosť, ktorá môže znižovať environmentálny prínos.

iv. Karbonované umelé kamenivá

odpad + CO₂ → karbonatácia → kamenivo

Pri tomto prístupe sa odpadový materiál, často vo forme granulátu alebo peletizovaného produktu, vystavuje pôsobeniu CO₂. Ak materiál obsahuje reaktívne vápenaté zložky, dochádza k tvorbe stabilných uhličitanových fáz, predovšetkým CaCO₃. Karbonatácia môže súčasne viesť k zhutneniu štruktúry, zníženiu pórovitosti a zvýšeniu pevnosti výsledného kameniva. Tento prístup je mimoriadne zaujímavý z hľadiska cirkulárnej ekonomiky, pretože spája materiálové využitie odpadu so sekvestráciou CO₂. Skúmajú sa karbonované umelé kamenivá pripravené z rôznych priemyselných vedľajších produktov, popolov a hutníckych materiálov. V porovnaní s klasickou výrobou kameniva môže byť výsledným produktom materiál s vyššou hustotou, nižšou pórovitosťou a lepšími mechanickými vlastnosťami, pričom časť CO₂ je trvalo mineralizovaná v štruktúre kameniva.

Karbonatácia preto predstavuje viac než iba spôsob stabilizácie odpadu. V súčasnom výskume sa postupne formuje ako technológia výroby nízkouhlíkového alebo potenciálne uhlíkovo priaznivého umelého kameniva. Kľúčovými otázkami ďalšieho výskumu zostávajú účinnosť zachytávania CO₂, energetická náročnosť procesu, dlhodobá stabilita karbonátových fáz a ekonomická dostupnosť technológie.

v. Uhlíkaté a biogénne kamenivá

biomasa/uhlie → pyrolýza → uhlíkatý produkt → kamenivo

Patria sem predovšetkým biochar, coal char a materiály na báze karbonizovanej biomasy. **Biochar** vzniká termochemickou konverziou biomasy a jeho použitie v betóne sa skúma ako spôsob zníženia hustoty materiálu a súčasného uloženia biogénneho uhlíka. **Coal char** má z hľadiska nízkej hustoty a vysokej pórovitosti podobný potenciál, ale pochádza z uhlia. Predstavuje skôr možnosť materiálového využitia uhlíkatého priemyselného vedľajšieho produktu. Experimenty s týmito plnivami poukazujú na možnosť dosiahnuť relatívne nízku objemovú hmotnosť pri zachovaní dostatočnej pevnosti pre použitie v konštrukčnom ľahkom betóne. V oboch prípadoch je však potrebné venovať pozornosť vysokej nasiakavosti, pórovitosti, variabilite vlastností a vplyvu uhlíkatého materiálu na hydratáciu a mikroštruktúru cementovej matrice.

Uvedené materiály zároveň reprezentujú prechod k širšej **konceptii multifunkčných kamenív**. Alternatívne kamenivo už nemusí plniť iba tradičnú funkciu inertnej kostry betónu, ale môže byť navrhnuté tak, aby súčasne prispievalo k zníženiu objemovej hmotnosti, sekvestracii CO₂, tepelnoizolačným vlastnostiam, regulácii vlhkosti alebo imobilizácii potenciálne nebezpečných látok. Príkladom je využitie popola z komunálneho odpadu, pri ktorom môže byť súčasne riešené materiálové využitie odpadu a stabilizácia kontaminantov v cementovej matici, alebo biochar-based aggregate, kde sa kombinuje funkcia ľahkého kameniva s uložením uhlíka.

Vývoj teda smeruje **od konceptu „odpad ako kamenivo“ ku konceptu „kamenivo z odpadu“**. Kým pri priamom použití odpadu sa jeho vlastnosti v značnej miere

penášajú do betónu, pri granulovaných, peletizovaných, spekaných alebo karbonovaných kamenivách možno vlastnosti výsledného produktu cielene upravovať. Tento posun predstavuje významný trend súčasného výskumu a otvára priestor pre návrh kamenív, pri ktorých sa súčasne optimalizujú mechanické, fyzikálne, environmentálne a funkčné parametre.

4. Záver

Je potrebné podotknúť, že tento článok zďaleka nepokrýva celý rozsah alternatívnych kamenív, ktoré sú v súčasnosti predmetom výskumu a experimentálneho overovania. Výskumné pole je značne široké a neustále sa rozširuje, pričom jeho hybnou silou nie je iba potreba recyklácie a materiálového zhodnocovania rôznych druhov odpadov, ale aj neutíchajúca snaha o vývoj nových druhov betónov s vyššou úrovňou úžitkových, environmentálnych alebo špecifických funkčných vlastností. Alternatívne kamenivo tak prestáva byť vnímané iba ako náhrada prírodného kameniva a čoraz viac sa stáva **aktívnym prvkom návrhu cementového kompozitu**. Posúvanie hraníc betónu prostredníctvom kamenív umožňuje vytvárať materiály s cielene upravenou pórovitosťou, tepelnými, akustickými či mechanickými vlastnosťami a zároveň otvára priestor pre ukladanie uhlíka alebo imobilizáciu nežiaducich látok. Významnú úlohu pritom bude mať **technologická transformácia odpadov**.

Ďalší rozvoj bude pravdepodobne založený na **kombinácii materiálového inžinierstva, pokročilej digitálnej charakterizácie, metód umelej inteligencie a strojového učenia, hodnotenia životného cyklu (LCA) a performance-based prístupu** k návrhu betónu. Takéto prepojenie umožní nielen lepšie predikovať správanie alternatívnych kamenív, ale aj optimalizovať ich využitie z hľadiska technických, environmentálnych a ekonomických kritérií. Súčasnne však zostáva nevyhnutné venovať pozornosť variabilite vstupných odpadových materiálov, dlhodobej trvanlivosti, environmentálnej bezpečnosti a možnosti štandardizácie výsledných produktov. Perspektíva alternatívnych kamenív preto nespočíva iba v ich schopnosti nahradiť časť prírodných zdrojov, ale predovšetkým v možnosti vytvárať novú generáciu betónových kompozitov, v ktorých bude materiálová efektívnosť, funkčnosť a udržiateľnosť navzájom prirodzene prepojená.

5. Literatúra

- [1] DIAS, S., ALMEIDA, J., TADEU, A., DE BRITO, J. Alternative concrete aggregates – Review of physical and mechanical properties and successful applications. *Cement and Concrete Composites*, 2024, 152.
- [2] WU, L., SUN, Z., CAO, Y. et al. Modification of recycled aggregate and conservation and application of recycled aggregate concrete: A review. *Construction and Building Materials*, 2024, 431.
- [3] AKBULUT, Z. F., GULER, S., YAVUZ, D., AVCI, M. S. Toward sustainable construction: A critical review of recycled aggregate concrete properties and future opportunities. *Case Studies in Construction Materials*, 2025, 23.
- [4] MUSA, A. E. S., a kol. Properties of concrete incorporating plastic wastes and its applications: A comprehensive review. *Journal of Building Engineering*, 2025, 101.
- [5] ALMESHAL I. a kol., Use of recycled plastic as fine aggregate in cementitious composites: A review. *Construction and Building Materials*, Vol. 25, 2020

- [6] HUSSEIN M. HAMADA, A kol.: Enhancing sustainability in concrete construction: A comprehensive review of plastic waste as an aggregate material. *Sustainable Materials and Technologies*, 2024, 40.
- [7] YANG, Y. et al. Characteristics of steel slags and their use in cement and concrete – A review. *Resources, Conservation and Recycling*, 2018, 136, 187–197.
- [8] ZHANG, B., PAN, L., CHANG, X. et al. Sustainable mix design and carbon emission analysis of recycled aggregate concrete based on machine learning and big data methods. *Journal of Cleaner Production*, 2025, 489.
- [9] MEENA, R. V., JAIN, J. K., CHOUHAN, H. S., BENIWAL, A. S. Use of waste ceramics to produce sustainable concrete: A review. *Cleaner Materials*, 2022, 4.
- [10] AYESHA S. a kol.: Properties and utilizations of waste tire rubber in concrete: A review. *Construction and Building Materials*, 2020.
- [11] SHIV SAI TRIVEDI MTECH a kol.: Performance of construction and demolition waste as recycled aggregates in concrete – review. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Construction Materials*, 2025, 178(1), 20–47.
- [12] MD. NABI N. K., ASHISH K. S., PRABIR K. S.: Reuse of waste glass as a supplementary binder and aggregate for sustainable cement-based construction materials: A review. *Journal of Building Engineering*, 2020, Volume 28.
- [13] K. KURSULA, A. MISTRI, M. ILLIKAINEN, P. PERUMAL: Utilization of fine concrete waste as a lightweight aggregate via granulation: Technical and environmental assessment. *Journal of Cleaner Production*, 2024, Volume 434.
- [14] CHAO D. a kol.: Physical properties, strength, and impurities stability of phosphogypsum-based cold-bonded aggregates. *Construction and Building Materials*, Vol. 331, 2022.
- [15] SUSHANT Timalisina a kol.: Lightweight coal char-based aggregates for concrete applications, *Journal of Building Engineering*, 2026, Volume 120
- [16] SHUAI Z. a kol.: Biochar-enabled carbon negative aggregate designed by core-shell structure: A novel biochar utilizing method in concrete, *Construction and Building Materials*, 449, 2024.

PodĎakovanie

Článok bol pripravený v rámci riešenia projektu VEGA 1/0457/25 “Zužitkovanie demolačných a iných priemyselných odpadov v transformačnom procese hodnotového reťazca surovín so zameraním na vývoj ľahkých stavebných hmôt „performance-based“ prístupom”.

EXPERIMENTÁLNE OVERENIE ENVIRONMENTÁLNEJ ODOLNOSTI BETÓNU S RECYKLOVANÝM KAMENIVOM A JEHO PRAKTICKÉ VYUŽITIE PRI REKONŠTRUKCII MOSTA

Samuel Paulík¹, Jakub Gašpárek², Peter Paulík³

Článok prezentuje experimentálne hodnotenie environmentálnej odolnosti betónov s čiastočnou náhradou prírodného kameniva recyklovaným betónovým kamenivom so zameraním sa na ich využitie v inžinierskych stavbách. Zmesi boli optimalizované s ohľadom na praktické využitie, kde sa odolnosť voči cyklom zmrazovania ukázala ako kľúčový limitujúci faktor. Výsledky ukázali, že betóny s recyklovaným betónovým kamenivom môžu mať porovnateľnú alebo vyššiu odolnosť voči karbonatizácii a chloridom oproti referenčným betónom. Výskum potvrdzuje potenciál recyklovaného betónového kameniva pre konštrukčné betóny, pričom hlavnou výzvou zostáva zabezpečenie dostatočnej mrazuvzdornosti bez zhoršenia ostatných parametrov trvanlivosti.

1 Úvod

Recyklované betónové kamenivo predstavuje jednu z kľúčových ciest znižovania environmentálnej záťaže stavebníctva, keďže umožňuje opätovné využitie stavebného a demolačného odpadu namiesto ťažby prírodného kameniva. Napriek rozsiahlemu výskumu, ktorý potvrdzuje technickú realizovateľnosť použitia recyklovaného kameniva v konštrukčnom betóne, jeho praktické uplatnenie v kritickej dopravnej infraštruktúre, najmä v mostnom staviteľstve, zostáva výrazne obmedzené. Hlavnou príčinou nie sú nedostatočné mechanické vlastnosti, ale skôr otázna environmentálna odolnosť pri súčasne vyšších nárokoch na životnosť mostných konštrukcií, ktorá dosahuje 100 rokov.

Norma STN EN 206+A2:2021 [1] limituje použitie recyklovaného kameniva v konštrukčnom betóne prevažne na menej agresívne stupne prostredia (X0, XC1–XC4, XF1, XA1, XD1). Spodná stavba mosta, najmä opory a piliere, je pritom bežne zaradená do tried prostredia XF2 až XF4 (mrazové cykly za prítomnosti chemických rozmrazovacích látok), XD2 až XD3 (chloridy vo vzduchu alebo vodnom spreji) a XC4 (karbonatizácia pri striedavom zmáčaní a vysychaní), teda do kombinácie, ktorú súčasné predpisy prakticky vylučujú.

¹Ing. Samuel Paulík, Slovenská technická univerzita v Bratislave, Stavebná fakulta, Katedra betónových konštrukcií a mostov, Radlinského 2766/11, 810 05 Bratislava, e-mail: samuel.paulik@stuba.sk

²Ing. Jakub Gašpárek, PhD. Slovenská technická univerzita v Bratislave, Stavebná fakulta, Katedra betónových konštrukcií a mostov, Radlinského 2766/11, 810 05 Bratislava, e-mail: jakub.gasperek@stuba.sk

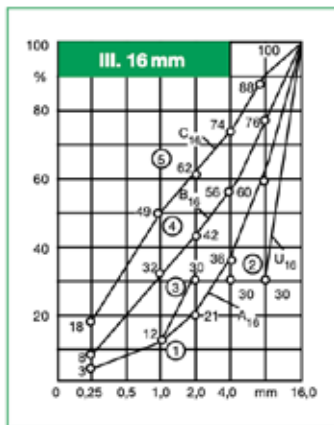
³doc. Ing. Peter Paulík, PhD. Slovenská technická univerzita v Bratislave, Stavebná fakulta, Katedra betónových konštrukcií a mostov, Radlinského 2766/11, 810 05 Bratislava, e-mail: peter.paulik@stuba.sk

Trvanlivosť betónu s recyklovaným kamenivom je predmetom rozsiahleho výskumu, ktorý potvrdzuje, že jej kľúčové aspekty – karbonatizácia, prienik chloridových iónov a mrazuvzdornosť – sú výrazne ovplyvnené najmä vlastnosťami reziduálnej malty na povrchu recyklovaných zŕn [2]. Motiváciou výskumu je aj rozsah potenciálu recyklácie stavebného odpadu. V Európskej únii vzniká ročne približne 850 miliónov ton stavebného a demolačného odpadu, z čoho podstatnú časť predstavuje betónový odpad vhodný na recykláciu [3]. Napriek vyspelej infraštruktúre recyklácie v niektorých členských štátoch sa využitie betónu s recyklovaným betónovým kamenivom sústreďuje najmä na základy budov, podkladové vrstvy komunikácií a nekonštrukčné prefabrikáty, zatiaľ čo uplatnenie v nosných prvkoch mostných konštrukcií zostáva ojedinelé.

Tento príspevok prezentuje výsledky experimentálneho programu zameraného na overenie troch aspektov trvanlivosti (odolnosť voči karbonatizácii, jednosmernej difúzii chloridov a cyklom zmrazovania za prítomnosti rozmrazovacích látok), s cieľom overiť, či vhodne optimalizovaná zmes dokáže splniť požiadavky stupňov prostredia, ktoré v súčasnosti nie sú zahrnuté v norme STN EN 206+A2:2021 [1]. Výskum vo finálnej fáze viedol až k praktickej aplikácii zmesí z optimalizovaných zmesí s pracovným názvom „*Variant B2*“. Jej použitie bolo navrhnuté pre realizáciu mostnej opory v rámci rekonštrukcie mostného objektu M3415, čím sa teoretický výskum priamo prepojil so stavebnou praxou.

2 Materiály a experimentálny program

Experimentálny program vychádzal z betónových zmesí s cementom CEM II/B-S, v ktorých bolo prírodné kamenivo (ťažné riečne kamenivo) čiastočne až úplne nahradené recyklovaným betónovým kamenivom vo frakciách 0/4, 4/8 a 8/16 mm, pochádzajúcim z certifikovaného zariadenia na spracovanie stavebného a demolačného odpadu. Referenčná zmes bez náhrady slúžila ako porovnávací základ. Laboratórna fáza zahŕňala zmesi s rovnomernou náhradou všetkých frakcií (70H a 100H) aj so selektívnou náhradou zameranou na hrubé frakcie (Coarse R2), alebo na optimalizovanú zrnitosťnú krivku kopírujúcu ideálnu krivku zrnitosti zobrazenú na Obr. 1 (FusionBlend – čiastočná náhrada aj jemnej frakcie kameniva).



Obr. 1: Ideálna krivka zrnitosti kameniva pre max. zrno 16 mm [7].

Na zlepšenie mrazuvzdornosti bola do vybraných zmesí pridaná prevzdušňovacia prísada s cieľovým obsahom vzduchu približne 4,5–6,5%. Kľúčovou vlastnosťou recyklovaného betónového kameniva, ktorá zásadne ovplyvňuje návrh zmesi, je jeho výrazne vyššia nasiakavosť v porovnaní s prírodným kamenivom. Namerané hodnoty dosiahli 5,7%, 4,4% a 4,3% pre frakcie 0/4, 4/8 a 8/16 mm, oproti 0,5–0,7% pri zodpovedajúcich frakciách prírodného kameniva. Táto zvýšená nasiakavosť súvisí s obsahom poréznej reziduálnej cementovej malty na povrchu zŕn recyklátu a musí byť pri návrhu zmesi zohľadnená úpravou množstva zámesovej vody, prípadne predvhlčením recyklátu, inak vedie k výraznému zníženiu spracovateľnosti čerstvého betónu. Posledná fáza výskumu zdokumentovala výkonnosť jednotlivých zmesí a bola zameraná na finálnu optimalizáciu a overenie najvhodnejšieho variantu v podmienkach reálnej výroby v betonárni na priame použitie pri rekonštrukcii mosta.

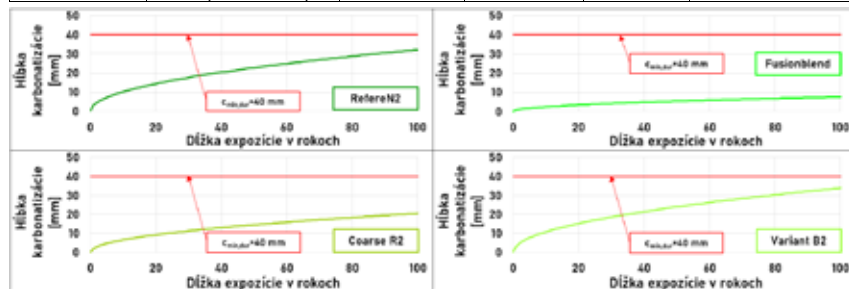
3 Výsledky skúšok a analýza trvanlivosti

3.1 Odolnosť voči karbonatizácii

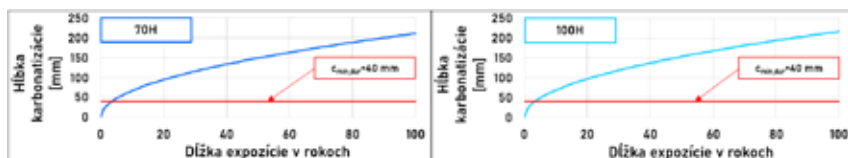
Odolnosť voči karbonatizácii bola stanovená na betónových trámoch zrýchlenou metódou podľa STN EN 12390-12 [4] uložených v klimatickej komore s prostredím 3% obj. CO₂, 57% vlhkosti pri 20°C s expozíciou 70 dní. Výsledky odolnosti jednotlivých zmesí, vyjadrené karbonatizačným koeficientom K_{AC} ($x_c = K_{AC} \times \sqrt{t}$ kde x_c je hĺbka karbonatizácie), udáva Tab. 1. Obr. 2 a 3 dokumentujú predikovaný priebeh karbonatizácie pre 100-ročnú životnosť konštrukcie a normové krytie $c_{min,dur} = 40$ mm. Obr. 4 porovnáva výkonnosť zmesí pre 100-ročnú životnosť konštrukcie pri normovom krytí.

Tab. 1: Výsledky urýchlenej skúšky karbonatizácie.

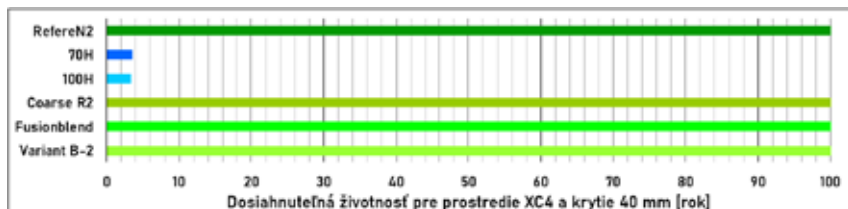
Označenie	Percento celkovej náhrady prírodného kameniva za recyklované [%]	K_{AC} [mm×√dni]	Relatívna zmena hĺbky prieniku oproti referenčnému betónu		Porovnanie oproti referenčnému betónu
RefereN2	0	0,168	-	-	Referenčná
70H	70 (rovnomerná)	1,102	+556%	6,56×	Zhoršenie
100H	100 (rovnomerná)	1,132	+574%	6,74×	Zhoršenie
Coarse R2	56 (selektívna)	0,107	-36%	0,64×	Zlepšenie
FusionBlend	71 (selektívna)	0,040	-76%	0,24×	Zlepšenie
Variant B2	58 (selektívna)	0,177	+5%	1,05×	Zhoršenie



Obr. 2: Krivka karbonatizácie pre zmesi referenčného betónu RefereN2 a zmesi s recyklovaným kamenivom Fusionblend, Coarse R2 a Variant B2.



Obr. 3: Krivka karbonatizácie pre zmesi 70H a 100H.



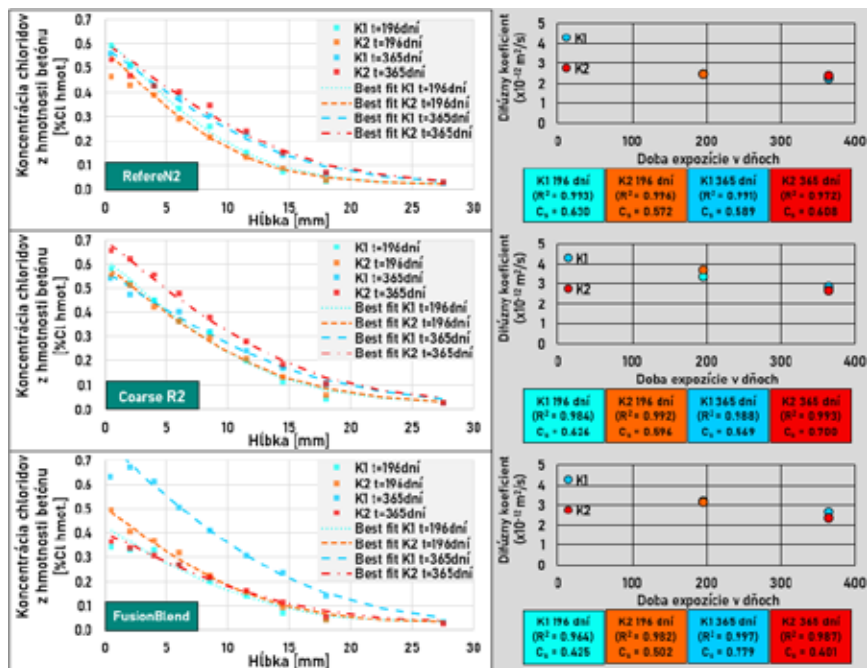
Obr. 4: Porovnanie dosiahnuteľnej životnosti rôznych zmesí betónov pre 100-ročnú životnosť konštrukcie, triedy konštrukčného prvku S6 a normové krytie $c_{min,dur} = 40$ mm podľa STN EN 1992-1-1+A1 [9].

Podľa Tab. 1 zmesi so selektívnou náhradou recyklovaného kameniva dosiahli lepšie, respektíve porovnateľné výsledky ako referenčný betón. Naopak, zmesi s rovnomernou náhradou vrátane jemnej frakcie 0/4 mm vykázali výrazne horšiu odolnosť a približne 6,5-násobné zrýchlenie prieniku CO_2 v porovnaní s referenčnou zmesou. Zmesi so selektívnou náhradou recyklovaného kameniva vyhoveli aj normovým požiadavkám na krytie výstuže – Zmesi so selektívnou náhradou recyklovaného kameniva (Coarse R2, FusionBlend, Variant B2) vyhoveli aj normovým požiadavkám na krytie výstuže – bolo by ich možné použiť pre prostredie XC4 bez dodatočných úprav krytia výstuže. Výsledky potvrdzujú, že odolnosť betónu proti karbonatizácii nezávisí primárne od celkového obsahu recyklovaného kameniva, ale predovšetkým od zvolenej stratégie náhrady a od návrhu zloženia zmesi (zrnitostná krivka, vodný súčiniteľ,...). Výsledky naznačujú že pri vhodnej optimalizácii môže byť odolnosť voči karbonatizácii betónu s vysokým podielom recyklovaného kameniva porovnateľná s betónom s prírodným kamenivom.

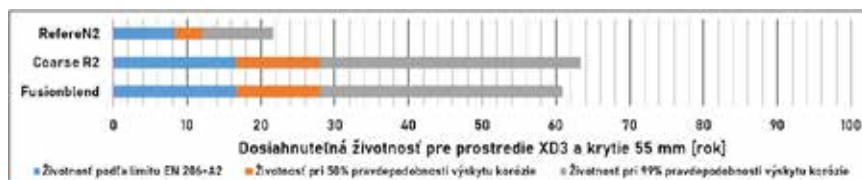
3.2 Odolnosť voči prieniku chloridových iónov

Odolnosť betónov voči prieniku chloridových iónov bola overená prostredníctvom dlhodobého laboratórneho experimentu roztokom 3% NaCl s dĺžkou expozície 365 dní podľa metodiky EN 12390-11 [8]. Pre účely stanovenia starnutia difúzneho koeficientu zmesí bola celková dĺžka expozície experimentu rozdelená na dva časové úseky – prvý po 196 dňoch a druhý po 365 dňoch. Koncentrácie chloridov v betóne boli analyzované regresnými analýzami „best fit“, z ktorých sa získal difúzny koeficient a „ageing“ faktor – analýzy sú zobrazené na Obr. 5. Na základe „ageing“ faktora boli realizované predikcie životnosti pri definovanom normovom krytí výstuže, ktoré zobrazuje Obr. 6. Experiment nebol realizovaný pre betónové zmesi 70H a 100H z dôvodu nízkej odolnosti voči prieniku CO_2 , ani pre zmes Variant B2, ktorej vývoj v danom čase ešte nezačal.

Výsledky regresných analýz na Obr. 5 vpravo ukazujú výraznejší efekt starnutia difúzneho koeficientu (jeho poklesu) betónov s recyklovaným kamenivom so selektívnou náhradou oproti referenčnému betónu. Referenčný betón vykazuje po 196 dňoch expozície nižší (lepší) difúzny koeficient, avšak jeho pokles v čase je málo výrazný v dôsledku čoho majú betóny s recyklovaným kamenivom tendenciu dobiehať difúzny koeficient referenčného betónu po 365 dňovej expozícii. Toto výraznejšie zlepšenie oproti referenčnému betónu pravdepodobne súvisí s vyššou chemickou kapacitou betónov s recyklovaným kamenivom, spôsobenou reziduálnym cementovým tmelom na povrchu zŕn kameniva v kombinácii s dlhším časom potrebným na úplnú hydratáciu cementu.



Obr. 5: Výsledky regresnej analýzy prieniku chloridov z ročného experimentu zjednodušeným difúznym modelom podľa EN 12390-11 [8].



Obr. 6: Porovnanie dosiahnuteľnej životnosti rôznych zmesí betónov pre 100-ročnú životnosť konštrukcie, triedy konštrukčného prvkú S6 a normové krytie $c_{\min, \text{dur}} = 55 \text{ mm}$ podľa STN EN 1992-1-1+A1 [9].

Všetky zmesi vykazujú nedostatočnú environmentálnu výkonnosť pri prieniku chloridov pre základný normový limit (0,4% chloridov z hmotnosti cementu) podľa STN EN 206+A2:2021 [1]. Výkonnosť betónov s recyklovaným kamenivom voči prieniku chloridov je na základe výsledkov experimentu a analýzy lepšia ako pre referenčný betón. Krycia vrstva, ktorú uvažuje STN EN 1992-1-1+A1 [9], je pre 3% koncentráciu NaCl v roztoku nedostatočná a pre takéto prostredie by bolo potrebné navýšiť hrúbku krycej vrstvy.

3.3 Mrazuvzdornosť

Odolnosť betónov bola overená cyklickým zmrazovaním a rozmrazovaním za prítomnosti rozmrazovacích látok, metódikou zodpovedajúcou triedam prostredia XF2 (50 cyklov) a XF4 (150 cyklov), pričom bola vyjadrená ako pomer pevnosti v ťahu za ohybu zmrazovaných vzoriek k vzorkám udržiavaným v ustálených podmienkach. Výsledky mrazuvzdornosti dokumentuje Tab. 2. Optimalizované laboratórne zmesi s recyklovaným kamenivom (Coarse R2 a FusionBlend), napriek dobrým odolnostiam voči karbonatizácii a prieniku chloridov, dosiahli pri rovnakej skúške výrazne nižšie hodnoty oproti referenčnému betónu. Pri betónoch s rovnomernou náhradou všetkých frakcií a bez prevzdušnenia (70H a 100H) došlo k úplnej dezintegrácii skúšaných hranolov.

Nižšia mrazuvzdornosť betónu s recyklovaným kamenivom je v literatúre pripisovaná najmä vyššej pórovitosti a mikrotrhlinám v reziduálnej cementovej malte na povrchu zrn [5]. Mrazuvzdornosť sa tak ukázala ako rozhodujúci limitujúci faktor pre použitie recyklovaného kameniva v konštrukčnom betóne vystavenom triedam prostredia XF2–XF4, typickým pre spodnú stavbu mostov. Na rozdiel od odolnosti voči karbonatizácii, prieniku chloridov a pevnosti v tlaku, ktoré je možné priaznivo ovplyvniť najmä voľbou krivky zrnitosti a znížením pomeru w/c, si dosiahnutie požadovanej mrazuvzdornosti vyžadovalo cieľenú úpravu prevzdušnenia zmesi.

Tab. 2: Výsledky mrazuvzdornosti.

Označenie	Percento celkovej náhrady prírodného kameniva za recyklované [%]	Zatriedenie do pevnostnej triedy betónu	Dosiahnutá mrazuvzdornosť pre prostredie XF4
RefereN2	0	C30/37	80%
70H	70	C25/30	0%
100H	100	C30/37	0%
Coarse R2	56	C40/50	23%
FusionBlend	71	C30/37	18%

4 Optimalizácia a praktická aplikácia – Variant B2

Na základe výsledkov laboratórnej fázy bola pre praktickú aplikáciu zvolená stratégia selektívnej náhrady hrubých frakcií prírodného kameniva recyklovaným betónovým kamenivom, doplnená o optimalizáciu obsahu vzduchu s cieľom zvýšiť mrazuvzdornosť. Ako východisková bola zvolená zmes Coarse R2, ktorá dosiahla najlepší výsledok mrazuvzdornosti v rámci experimentálneho programu.

Prvé modifikácie nedosiahli požadovanú konzistenciu S4 (Tab. 3), preto bol s ohľadom na náročnejšiu kontrolu vlhkosti skládkovaného recyklátu v podmienkach betonárne upravený obsah superplastifikačnej prísady a vzduchu. Zmes Variant B2 s obsahom vzduchu 6,2 % dosiahla požadovanú konzistenciu a následne úspešne splnila požiadavky mrazuvzdornosti pre triedu prostredia XF2, zodpovedajúcu podmienkam opôr rekonštruovaného mosta M3415.

Ďalšie modifikácie Variantu B2 boli optimalizované s cieľom overiť možnosť použitia zmesi aj v náročnejšom prostredí XF4. Najlepší súčiniteľ mrazuvzdornosti 0,96 dosiahla modifikácia Variant B2.3, avšak následná úprava receptúry s návratom k cementu CEM II/B-S a zachovaním 58 % celkovej náhrady prírodného kameniva za recyklované (Variant B2.4.2) už požiadavky XF4 nespĺnila. Výsledky zároveň ukázali, že ďalšie zvyšovanie obsahu vzduchu nad cca 6 % viedlo naopak k poklesu súčiniteľa mrazuvzdornosti (Tab. 3) a bolo zároveň limitované negatívnym vplyvom na pevnosť betónu.

Tab. 3: Vývoj zmesi Variant B2 pre praktickú aplikáciu.

Označenie	Cement	Náhrada [%]	w/c	Vzduch [%]	Konzistencia	Pevnosť [MPa]/trieda	Mrazu-vzdornosť
Coarse 2+	CEM II/B-S	51	0,36	4,6	fail	61,2/C45/55	–
Variant B	CEM I	56	0,37	5,0	fail	56,1/C40/50	–
Variant B2	CEM I	56	0,35	6,2	S4	52,3/C35/45	1,10 (XF2)
Variant B2.3	CEM I	58	0,38	5,7	S3	43,9/C30/37	0,96 (XF4)
Variant B2.4	CEM I	58	0,36	7,2	S4	–	0,93 (XF4)
Variant B2.4.2	CEM II/B-S	58	0,34	9,0	S4	42,3/C25/30	0,72 (XF4)

Pre realizáciu spodnej stavby mosta bol na základe výsledkov dvojročného experimentálneho výskumu navrhnutý betón s cementom CEM II/B-S a so 100% náhradou hrubého kameniva vychádzajúci zo skúseností so zmesami Variant B2. Požadovanú pevnostnú triedu C35/45 stanovenú projektom potvrdili skúšobné telesá odobraté priamo z betónu dodaného na stavbu, ktoré dosiahli priemernú pevnosť v tlaku 56 MPa. Betón tak splnil požiadavky projektu a bol použitý pri realizácii opory mosta. Rekonštruovaný most je v súčasnosti v prevádzke a realizovaná opora (Obr. 7) bude predmetom dlhodobého monitoringu, ktorý umožní porovnať laboratórne výsledky s reálnym správaním betónu v prevádzkových podmienkach.



Obr. 7: Pohľad na oporu mosta M3415 z betónu z recyklovaného kameniva so 100% náhradou hrubej frakcie kameniva – prvá slovenská aplikácia v inžinierskej stavbe.

5 Diskusia a záver

Priame uplatnenie recyklovaného kameniva v nosných prvkoch mostných konštrukcií zostáva aj napriek vysokej miere recyklácie betónu v krajinách ako Nemecko či Holandsko stále ojedinelé [6]. Realizácia opory mosta M3415 v Stupave preto predstavuje významný príklad úspešného prenosu výsledkov laboratórneho

výskumu do stavebnej praxe. Experimentálne výsledky potvrdili, že pri vhodnej optimalizácii zloženia môže betón s recyklovaným betónovým kamenivom dosiahnuť porovnateľnú až vyššiu odolnosť voči karbonatizácii a prieniku chloridov ako referenčný betón. Za hlavný limitujúci faktor širšieho využitia recyklovaného kameniva v konštrukčných betónoch vystavených agresívnym podmienkam sa ukázala mrazuvzdornosť. Jej zlepšenie si vyžiadalo zvýšenie obsahu vzduchu z pôvodne 4,6 % na 5,7–9,0 % pri praktickej optimalizácii zmesi Variantu B2. Takto upravená zmes splnila požiadavky triedy prostredia XF2, pričom ďalšie modifikácie dosiahli parametre približujúce sa aj triede XF4. Zároveň sa však ukázalo, že ďalšie zvyšovanie obsahu vzduchu je limitované negatívnym vplyvom na pevnosť betónu.

Výsledky potvrdzujú perspektívu využitia recyklovaného kameniva v nosných konštrukciách mostov pri súčasnom zachovaní požadovanej trvanlivosti. Praktická realizácia opory s betónom obsahujúcim 100 % recyklovaného hrubého betónového kameniva zároveň poskytuje cennú možnosť dlhodobého overenia laboratórnych predpokladov v reálnych podmienkach. Ďalší výskum bude zameraný na doplnenie údajov o odolnosti voči prenikaniu chloridov a na vyhodnotenie dlhodobého monitoringu opory mosta M3415 v Stupave.

Podakovanie

Táto práca bola financovaná EÚ NextGenerationEU prostredníctvom Plánu obnovy a odolnosti SR v rámci projektu č. 09I03-03-V04-00275 a výskumného projektu VEGA č. 1/0459/24 "Hodnotenie korózie predpínacích lán v rámci existujúcich betónových predpätých mostov s aplikáciou elektronického monitoringu".

Podakovanie patrí aj spoločnosti Danucem Slovensko, ktorá sa podieľala na dlhodobom výskume, Bratislavskému samosprávnemu kraju a projektantovi rekonštrukcie mosta, ktorý umožnili použitie zmesi.

Literatúra

- [1] STN EN 206+A2: *Betón. Špecifikácia, vlastnosti, výroba a zhoda* (2021)
- [2] Pedro, D., de Brito, J., Evangelista, L.: *Durability of recycled aggregate concrete – A review*. Construction and Building Materials, 179 (2018)
- [3] Sáez, P.V., Osmani, M.: *A diagnosis of construction and demolition waste generation and recovery practice in the European Union*. Journal of Cleaner Production, 241 (2019)
- [4] STN EN 12390-12: *Skúšanie zatvrdnutého betónu. Časť 12: Stanovenie odolnosti betónu proti karbonatizácii – zrýchlená metóda karbonatizácie* (2020)
- [5] Rangel, C.S., Toledo Filho, R.D., Amario, M., Pepe, M., Polisseni, G.C., Puente de Andrade, G.: *Durability of structural recycled aggregate concrete subjected to freeze-thaw cycles*. Sustainability, 12(16) (2020)
- [6] Mostert, C., Weber, C., Bringezu, S.: *Modelling and Simulation of Building Material Flows: Assessing the Potential for Concrete Recycling in the German Construction Sector*. Recycling, 7, 13 (2022)
- [7] ČESKOMORAVSKÝ BETON. *Príručka technologa: Beton*
- [8] EN 12390-11: *Testing hardened concrete – Determination of the chloride resistance of concrete, unidirectional diffusion* (2015)
- [9] STN EN 1992-1-1+A1: *Eurokód 2. Navrhovanie betónových konštrukcií. Časť 1-1: Všeobecné pravidlá a pravidlá pre budovy* (2015)

VYUŽITIE SIMULÁTOROV V CEMENTÁRŇACH A BETONÁRŇACH PRI ŠKOLENÍ OBSLUHY STROJOV A ĎALŠÍCH MECHANIZMOV

Ing. Vladimír Lukačín

Príspevok sa zaoberá využitím simulačných technológií využiteľných aj v cementárenskom a betonárenskom priemysle ako nástrojom na zvýšenie bezpečnosti, efektivity a zníženie prevádzkových nákladov. Tradičný výcvik nesie riziká výpadkov produkcie, poškodenia drahých zariadení a úrazov, čo využívanie simulátorov eliminuje návikom v bezpečnom prostredí. Taktiež je uvedený popis rôznych typov simulátorov – od riadiacich centier až po VR/AR pre ťažkú techniku. Tréning na simulátoroch buduje „svalovú pamäť“ bez stresu, skracuje čas zaškolenia, znižuje spotrebu paliva a opotrebovanie techniky.

1 Úvod

Výroba cementu a transportbetónu spájajú prvky manipulácie s materiálom, kontinuálnej procesnej výroby a logistického tlaku na presnosť doručenia. Tradičný výcvik "za pochodu" (on the job training) nesie v tomto prostredí značné riziká.

1.1 Identifikácia rizík pri výcviku „za pochodu“ (on the job training)

- Vysoké náklady a výpadky: Odstávka kľúčových zariadení (napr. otočnej pece, vertikálneho mlyna) alebo spomalenie miešacieho centra kvôli chybe obsluhy znamená okamžitú stratu produkcie.
- Riziko poškodenia technológie: Neznalosť správnych postupov pri ovládaní ťažkých nakladačov, domiešavačov či procesných liniek môže viesť k nákladným opravám v rádoch desiatok až stoviek tisíc eur.
- Bezpečnosť a zdravie pri práci (BOZP): Práca s chemickými prísadami, vo výškach, v uzavretých priestoroch (zásobníky, silá), s vysokými teplotami a v náročnom teréne lomov/betonární nesie vysoké riziko úrazov.

1.2 Typy simulačných technológií

Súčasnú simuláciu rozdeľujeme podľa miery imerzie a účelu využitia. Pojem „imerzia“ v technologickom a priemyselnom kontexte (napr. pri VR simulátoroch) vyjadruje mieru, do akej technológia dokáže verne replikovať realitu a sprostredkovať užívateľovi pocit, že sa fyzicky a zmyslovo nachádza v danom prostredí.

1.2.1 Simulátory riadiaceho centra (Process / Control Room simulator)

Softvérové simulácie riadiacich centier cementární na nácvik riadenia výpalu, mletia cementu a reakcie na procesné odchýlky bez rizika poškodenia pece (Obr. č.1).



Obr. č. 1 .

1.2.2 Full-mission simulátor ťažkej techniky v prevádzke

Plne replikovaná kabína s hydraulickým pohybovým systémom a 360° výhľadom – určené pre ťažké čelné nakladače v lomoch, autočerpádlá betónu (pumpy) a domiešavače (Obr. č.2).



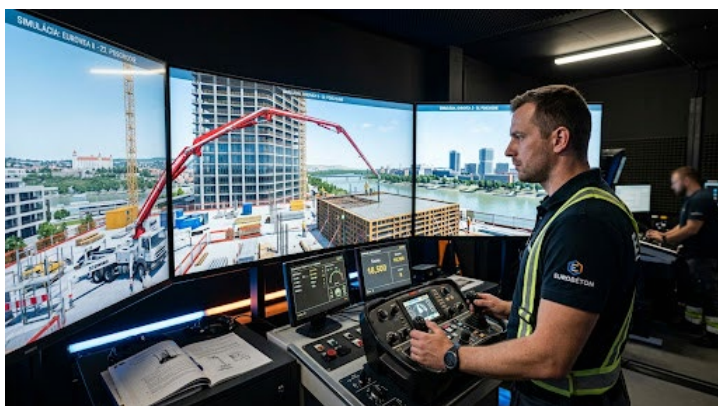
Obr. č. 2

1.2.3 VR/AR (Virtuálna realita a rozšírená realita)

Ideálne využitie pre nácvik bezpečnej jazdy s domiešavačom v náročnom teréne stavby (Obr. č. 3), nácvik manipulácie s rozkladacím ramenom čerpadla betónu a bezpečné doručenie zmesi na stavenisku (Obr. č. 4), kontrola BOZP, revízie a údržby, vstupy do zásobníkov, či nácvik evakuácie a zásahu pri požiari.



Obr. č. 3



Obr. č.4

1.4 Kľúčové prínosy pre pracovníkov a podnik

Tabuľka č.1

Oblasť	Konkrétny dopad v cementárni / betonárni
Bezpečnosť	Nácvik rizikových situácií (prevrátenie čerpadla betónu pri rozložení ramena, prevrátenie domiešavača v ťažkom teréne stavby, zlyhanie horáka pece, pád z výšky).
Produktivita	Operátori nakladačov sa učia optimalizovať cykly nakladania drviča; vodiči domiešavačov trénujú plynulú jazdu pre úsporu paliva a minimalizáciu rizika zatvrdnutia zmesi.
Údržba a životnosť	Zníženie opotrebovania pneumatík, brzd, hydraulických ramien čerpadiel a miešacích bubnov vďaka správnym technickým návykom od prvého dňa.

1.5 Psychológia učenia „Svalová pamäť“ bez stresu

Simulátory umožňujú adaptívne učenie. Inštruktor môže v reálnom čase meniť podmienky.

V logistike a na stavbe: Náhla zmena počasia, poškodený príjazdový terén na stavbe, zlyhanie hydrauliky ramena čerpadla betónu.

Vo výrobe: Kolísanie kvality paliva/suroviny v peci, náhly nárast tlaku v silách alebo výpadok dopravníkových pásov.

Pracovník si buduje svalovú pamäť a správne reflexy v bezpečnom prostredí, čo radikálne znižuje stres a chybovosť pri ostrej prevádzke.

Zaujímavosť: Štúdie ukazujú, že operátori nakladačov a vodiči domiešavačov trénovaní na simulátoroch dosahujú o **20 – 30 % vyššiu efektivitu** v prvých mesiacoch práce a vykazujú až o **15 % nižšiu spotrebu paliva** v porovnaní s tými, ktorí prešli len teoretickým výcvikom.

1.6 Merateľné výsledky (KPIs)

Zavedenie simulátorov v cementárskom a betonárskom odvetví predstavuje investíciu s jasnou návratnosťou (ROI):

- Zníženie nehodovosti: Výrazný pokles poškodení technológie, poškodení vozidiel na stavbách a pracovných úrazov.

- Skrátene času výcviku: Noví operátori betonárni a vodiči autočerpadel sa zapoja do plnej produkcie výrazne rýchlejšie.

- Úspora paliva a energií: Algoritmy „eco-drivingu“ učia optimálnu prácu s otáčkami motora pri jazde aj pri miešaní/čerpaní betónu.
- Dáta a analytika: Simulátor generuje podrobné reporty – odhalí nesprávne návyky (napr. príliš prudké brzdenie s plným bubnom betónu, neefektívne dráhy nakladača v cementárni, betonárni resp. v lome).

ROI znamená **Return on Investment (návratnosť investícií)**.

Ide o kľúčový finančný ukazovateľ (KPI), ktorý meria efektivitu a ziskovosť investície. Vyjadruje pomer medzi čistým ziskom a nákladmi na danú investíciu.

Vzorec na výpočet:

$$ROI (\%) = \frac{\text{Čistý zisk z investície}}{\text{Náklady na investíciu}} \times 100$$

Príklad v praxi:

Ak podnik investuje 50 000 € do zakúpenia nového simulátora pre výcvik operátorov a vďaka úspore paliva, nižšej nehodovosti a vyššej produktivite ušetrí (alebo zarobí) 65 000 €, čistý zisk je 15 000 €.

$$ROI = \frac{15000}{50000} \times 100 = 30\%$$

- **Kladné ROI (nad 0 %):** Investícia bola zisková.
- **Záporné ROI (pod 0 %):** Investícia bola stratová.

1.7 Záver

S postupujúcou automatizáciou výroby cementu, digitalizáciou dispečingu betonární a zavádzaním nových ekologických zmesí sa nároky na obsluhu neustále zvyšujú. Simulátory už nie sú len doplnkom, ale štandardom modernej cementárne a betonárne, ktorá si váži bezpečnosť svojich ľudí, chráni svoje investície a dbá o udržateľnosť a efektivitu procesov.

ROBOTICKÝ 3D TISK BETONU Z LOKÁLNÍCH SUROVIN: PROTOTYP TRVALÉHO BYDLENÍ

Matěj Prudil

V lucemburské obci Niederanven byl pomocí 3D tisku z betonu realizován Tiny House na parcele o velmi omezené rozloze. Pro tisk byl použit dvoukomponentní (2K) materiálový systém založený na místních surovinách. Návrh geometrie stěn byl podřízen požadavkům tisku a konstrukční řešení kombinovalo tištěné stěny s dřevěnou střechou a základovou deskou na zemních vrstech. Tato metoda výstavby byla významná s ohledem na rychlost výstavby, malou rozlohu městského pozemku a přínosná z důvodu nedostatku pracovní síly.

1. Úvod

Zkušenosti z evropských realizací ukazují, že 3D tisk betonu již překročil hranice laboratorního vývoje a dokazuje efektivní a rychlý způsob výstavby. V nizozemském Eindhovenu vznikl v rámci projektu Milestone soubor pěti obytných domů s nosnými tištěnými stěnami zakřivenými ve dvou směrech. První dům byl předán uživatelům v roce 2021 a tisk jeho nosné konstrukce trval přibližně 120 hodin [2].



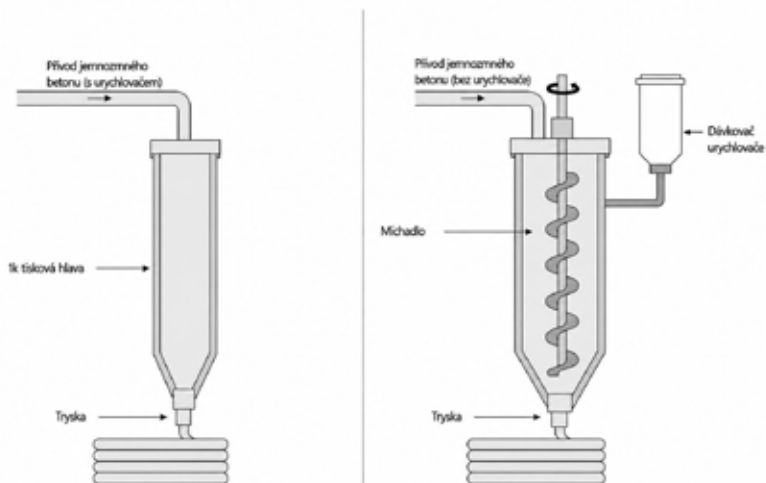
*Obrázek 1 - Exteriér prototypového 3D tištěného domu
Tiny House Lux*

V německém Beckumu byl v letech 2020–2021 realizován první německý 3D tištěný bytový dům. Dvoupodlažní objekt s plochou přibližně 80 m² na každém podlaží prošel standardním schvalovacím procesem a jeho čistý čas tisku dosáhl přibližně 100 hodin [3]. Ve francouzském projektu ViliaSprint² umožnila zaoblená geometrie snížit spotřebu betonu přibližně o 10 %. Hrubá stavba byla vytištěna třemi pracovníky během 34 pracovních dnů namísto plánovaných 50 a dokončena přibližně o tři měsíce dříve než srovnatelný konvenčně stavěný objekt [4]. Tyto projekty spojuje nosná funkce tištěných stěn, geometrie přizpůsobená výrobní technologii a rychlá výstavba pomocí 3D tisku s konvenčními konstrukcemi stropů a střeš.

Na tyto zkušenosti navazuje Tiny House Lux, který představuje experimentální odpověď na nedostatek bydlení a omezenou využitelnost stísněných městských parcel. Projekt vyvinutý ateliérem ODA Architects ve spolupráci se společností Coral Construction Technologies a obcí Niederaanven ověřil lokální způsob výstavby kompaktního trvalého bydlení pomocí robotického 3D tisku. Obrázek 1 ukazuje exteriér výsledného prototypového domu Tiny House Lux.

2. Materiál

Pro 3D tisk betonu se používají dva materiálové systémy viz Obrázek 2. Jednokomponentní systém (1K) tvoří pytlovaná suchá směs s práškovým urychlovačem, která se na stavbě mísí pouze s vodou. Nabízí jednoduchou logistiku a stálou kvalitu, je však dražší, má krátkou dobu zpracovatelnosti a omezené možnosti přizpůsobení podmínkám tisku.



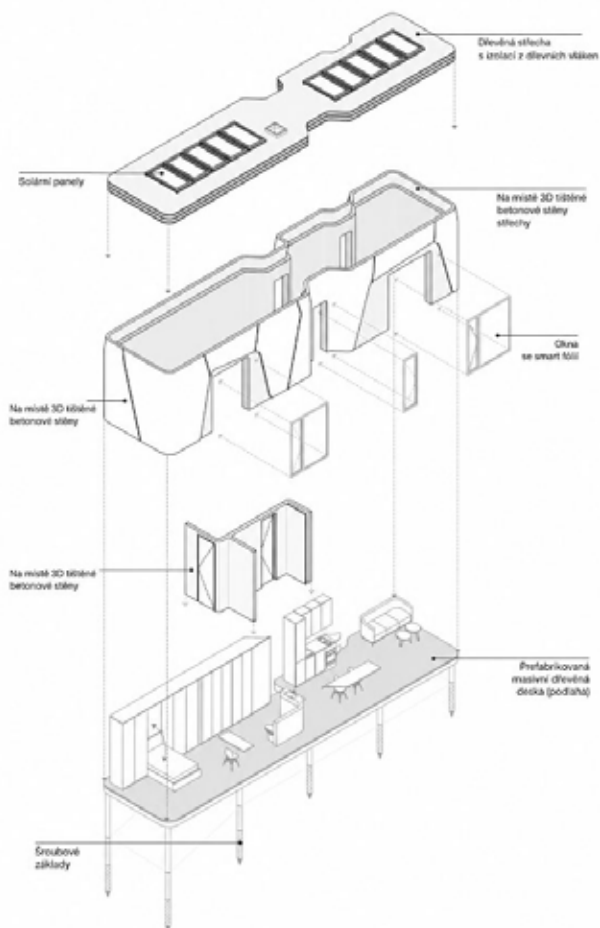
Obrázek 2 – Vlevo jednokomponentní (1K); vpravo dvoukomponentním (2K) materiálový systém

Dvoukomponentní systém (2K) odděluje čerstvý beton od kapalného urychlovače, který se dávkuje až v tiskové hlavě. Umožňuje využívat materiál z místních betonáren a průběžně řídit jeho tuhnutí podle geometrie konstrukce a klimatických podmínek. Vyžaduje však složitější zařízení a ověření kompatibility urychlovače s místním cementem.

Společnost Coral Construction Technologies využila v projektu Tiny House Lux systém 2K s dodávkami čerstvého materiálu z místní betonárny. Složení směsi bylo upraveno pro dosažení požadované konzistence a stabilního tisku. Dávkování urychlovače na trysce zajistilo spolehlivou extruzi a vrstvení při různých rychlostech tisku i výškách stěn. Funkční přísady omezily odlučování vody a smršťovací trhliny a současně snížily potřebné množství záměsové vody. Jejich účinek byl předem ověřen v laboratoři.

3. Návrh a konstrukční řešení Tiny House Lux

Prototyp domu vyplňuje úzkou proluku v obytné zóně Niederaanven. Zastavitelná šířka přibližně 3,5 m určila protáhlý půdorys o délce 17,7 m a užité ploše 47 m². Dispozice viz Obrázek 3 je uspořádána podél otevřené centrální osy, zatímco úložné prostory, technologie a vestavěný nábytek jsou soustředěny při obvodu. Toto řešení podporuje průnik denního světla a opticky zvětšuje interiér.



Obrázek 3 – Vnitřní dispozice Tiny House Lux

Geometrie stěn byla od počátku navrhována s ohledem na technologii tisku. Zaoblené rohy zajišťují plynulejší pohyb trysky, omezují změny směru a snižují koncentraci napětí. Kvůli omezenému dosahu robota a stísněnému pozemku byla konstrukce rozdělena do postupně realizovaných tiskových zón. Diagonální spáry umožňovaly jednoduše napojovat jednotlivé segmenty tiskových modelů na sebe, aniž by docházelo ke kolizi trysky robota s již vytištěným modelem. Konstrukční systém kombinuje tištěné betonové stěny s lehkou dřevěnou střechou a základovou platformou uloženou na zemních vrutech. Toto řešení omezilo zemní práce a odstranilo prodlevu spojenou se zráním betonové základové desky. Jednopodlažní uspořádání, malé rozpory a lehká střecha umožnily navrhnout stěny převážně jako tlačené a minimalizovat množství výztuže. Kritické styky byly doplněny ocelovými L profily a táhly v úrovni atiky. Vnější povrchy chrání hydrofobní nátěr snižující nasákavost betonu.

4. Průběh výstavby Tiny House Lux

Tisk stěn probíhal podle etapového plánu připraveného ateliérem ODA Architects a společností Coral Construction Technologies. V květnu 2025 byla během přibližně dvou týdnů vytištěna konstrukce o objemu 35 m³ betonu, následně doplněná o překlady a spojovací prvky. Průběh tisku a řešení diagonálních spár pro návaznost jednotlivých stěn prezentuje Obrázek 4. Realizaci zajišťoval tým čtyř až pěti osob, který tvořili technolog betonu, tři specialisté na tisk a obsluhu robota a pracovník připravující výrobní data. Kvůli svažitému terénu byl robot v jednotlivých pozicích stabilizován pomocí dočasných podkladních desek.

Čerstvé stěny byly během tisku ošetřovány kropením vodou a po dokončení zakryty savou geotextilií a parotěsnou membránou, které omezily vysychání betonu. Instalační zóny, sprchové niky a kotevní dutiny byly zahrnuty již do digitálního modelu, čímž se omezilo následné řezání a drážkování. Vnější stěny zůstaly pohledové a zachovaly si charakteristickou vrstevnatou strukturu, zatímco interiéř doplnily dřevěné povrchy a vestavěný nábytek.



Obrázek 4 – Průběh tisku

5. Závěr

Nedostatek bydlení popsany v úvodu není specifický pouze pro Lucembursko; srovnatelný tlak na malé, tvarově komplikované městské parcely je patrný ve většině západní Evropy. Tiny House Lux ukazuje, že robotický tisk z betonu dokáže řešit rychle a udržitelně problematiku nedostatku bydlení.

Ve spojení s postupem, který využívá místní beton, geometrii přizpůsobené tisku a lehké dřevěné střeše na zemních vrutech, je metoda přenositelná i na další stísněné pozemky, které konvenční výstavba běžně opomíjí. Reaguje také na druhý tlak v oboru: trvalý nedostatek kvalifikovaných stavebních pracovníků. Celý tištěný obvodový plášť Tiny House Lux vytvořil tým pouhých čtyř až pěti lidí, což naznačuje, že automatizovaná extruze dokáže dodat trvalé bydlení se zlomkem pracovní síly, kterou by vyžadovala srovnatelná zděná či monolitická stavba, a nabízí tak rychle dostupnou a opakovatelnou odpověď na tlak na zbytkové městské parcely v Evropě.

6. Zvláštní poznámky

Příspěvek vznikl na základě pilotního projektu realizovaného ateliérem ODA Architects a společností Coral Construction Technologies ve spolupráci s obcí Niederanven. Autoři děkují výzkumnému centru AdMaS, Fakultě stavební VUT v Brně, za spolupráci při ověřování tisknutelného betonu. Fotografie: BoysPlayNice.

7. Literatura

- [1] Luxembourg Times: Only 64,000 housing units built in the last 18 years.
Dostupné z: <https://www.luxtimes.lu/luxembourg/only-64000-housing-units-built-in-the-last-18-years/22653442.html>
- [2] SALET, T. a kol.: Lessons learned of project Milestone: The first 3D printed concrete house in the Netherlands. Materials Today: Proceedings (2023)
- [3] PERI 3D Construction: Einfamilienhaus in Beckum – erstes 3D-gedrucktes Wohnhaus Deutschlands (2021)
- [4] COBOD International: Europe's Largest 3D Printed Apartment Building Completed Three Months Faster Than Conventional Construction, Bezannes (2026)

Ing. Matěj Prudil, Fakulta stavební VUT v Brně, 200278@vutbr.cz

VYUŽITÍ KALOVÉ VODY V BETONU Z POHLEDU CHEMICKÝCH PŘÍSAD

Ing. Filip Petřík, MBS CZ-SK s.r.o.

Využití recyklované vody představuje jednu z možností, jak snížit spotřebu čisté vody a množství odpadu vznikajícího při výrobě betonu. Obsah jemných částic v kalové vodě však může negativně ovlivnit konzistenci čerstvého betonu a zvyšovat potřebu superplastifikační přísady. Příspěvek představuje speciální chemickou přísadu vyvinutou společností Master Builders Solutions, která omezuje negativní interakci jemných částic obsažených v kalové vodě se superplastifikační přísadou. Díky tomu je možné využít vyšší podíl kalové vody při zachování požadovaných vlastností čerstvého betonu bez nutnosti odpovídajícího zvýšení dávky superplastifikační přísady. Účinnost technologie je ověřena laboratorními i provozními zkouškami.

1 Úvod

Výroba betonu je spojena se spotřebou velkého množství přírodních surovin a také s významnou spotřebou vody. Voda se na betonárně spotřebovává nejen při samotné výrobě betonu, ale také při mytí autodomývačů, mýchaček a dalšího technologického zařízení. Další odpadní voda vzniká při zpracování vráceného čerstvého betonu, který se po návratu z betonárny nebo stavby zpracovává v recyklačním zařízení.

Současné recyklační systémy umožňují oddělit hrubé kamenivo a současně zachytit vodu obsahující cementové a další jemné částice. Tato voda může být po homogenizaci znovu využita při výrobě betonu jako součást záměsové vody.

Vyšší podíl kalové vody však může negativně ovlivnit vlastnosti čerstvého betonu. Zejména jemné částice obsažené v kalové vodě mohou zvyšovat požadavek na dávku superplastifikační přísady. Pokud je pro dosažení stejné konzistence nutné zvyšovat dávku PCE, část ekonomického přínosu recyklace vody se ztrácí.

Cílem tohoto příspěvku je představit způsob, jak tento efekt omezit pomocí speciální chemické přísady a umožnit tak efektivnější využití kalové vody.

2 Zpracování vráceného betonu a vznik kalové vody

Vrácený beton lze na betonárně zpracovávat několika způsoby. Nejčastěji se využívají recyklační zařízení, která mechanicky oddělují hrubé kamenivo od vody s jemnými částicemi. Další možností jsou usazovací nádrže, ve kterých dochází k sedimentaci pevných částic.

Tento článek je zaměřen právě na homogenizovanou kalovou vodu, která je shromažďována v homogenizační nádrži. Pomocí míchání jsou v ní udržovány jemné pevné částice v suspenzi a výsledná směs může být následně dávkována do mýchačky jako součást záměsové vody.

Homogenizovanou kalovou vodu lze zpracovat pomocí kalolisu, který umožňuje oddělit kapalnou a pevnou fázi. Jedná se však o technologicky i investičně náročnější

řešení, které není běžnou součástí každé betonárny. Pro provozy bez kalolisu proto zůstává otázkou, jak efektivně využít kalovou vodu přímo z homogenizační nádrže.

Kalová voda obsahuje především jemné částice pocházející z cementu a kameniva, případně zbytky chemických přísad. Její složení a vlastnosti se mohou v průběhu provozu měnit v závislosti na množství a složení vráceného betonu, používaných surovinách a způsobu provozování recyklačního systému.



Obr. 1 – možnosti recyklace odpadní vody

3 Požadavky na použití kalové vody

Voda získaná při recyklaci betonu může být za podmínek stanovených příslušnými normami použita jako záměsová voda. Základním dokumentem je ČSN EN 1008, která stanovuje požadavky na odběr, zkoušení a posouzení vhodnosti vody včetně vody získané při recyklaci betonu.

Vlastnosti kalové vody jsou určovány především její objemovou hmotností, na základě které se dá odhadnout, jaký bude mít vliv na vlastnosti čerstvé betonové směsi.

Na základě objemové hmotnosti kalové vody je nutné určit, jaké množství jemných částic je v ní obsaženo, a dle tohoto výsledku upravit vodní součinitel. Tento postup je stanoven v normě ČSN EN 1008 a pro výpočet se používá následující vzorec:

$$W_{fl} = \left(\frac{1 - \rho_{ww}}{1 - \rho_f} \right) \times \rho_f$$

kde:

W_{fl} je hmotnost pevných látek přítomných ve vodě, v kg/litr;

ρ_{ww} je objemová hmotnost vody, v kg/litr;

ρ_f je objemová hmotnost zrn, v kg/litr.

V následující tabulce jsou příklady množství pevných látek pro objemovou hmotnost zrn 2,1 kg/litr:

Tab. 1 – Příklady výpočtu množství pevných látek v kalové vodě dle ČSN EN 1008

Objemová hmotnost vody [kg/l]	Hmotnost pevných látek [kg/l]	Objem záměsové vody [l/l]
1,04	0,076	0,964
1,06	0,115	0,945
1,08	0,153	0,927
1,10	0,191	0,909
1,12	0,229	0,891

4 Vliv kalové vody na účinnost superplastifikační přísady

Hlavním technologickým problémem při použití vyššího podílu kalové vody je její obsah jemných částic.

Moderní superplastifikační přísady na bázi polykarboxylátových etherů (PCE) působí především prostřednictvím dispergace částic cementu. Jemné částice přítomné v kalové vodě však mohou s molekulami PCE rovněž interagovat. Část přísady tak nemusí být dostupná pro účinnou dispergaci cementových částic.

Praktickým důsledkem může být zvýšená potřeba superplastifikační přísady pro dosažení stejné konzistence:

vyšší podíl kalové vody → více jemných částic → nižší efektivita PCE → vyšší potřebná dávka PCE.

Tento efekt omezuje možnost dalšího zvyšování podílu kalové vody, protože zvýšení dávky superplastifikační přísady znamená vyšší náklady a může ovlivnit i další vlastnosti betonu.

5 Optimalizace pomocí speciální chemické přísady

Řešením popsaného problému je použití speciální chemické přísady, která omezuje negativní interakci jemných částic kalové vody se superplastifikační přísadou.

Principem technologie je modifikace povrchových vlastností jemných částic, díky které se snižuje jejich negativní vliv na účinnost PCE. Větší část superplastifikátoru tak může zůstat k dispozici pro dispergaci cementu.

Cílem tedy není pouze dosažení požadované konzistence, ale především umožnění použití vyššího množství kalové vody bez odpovídajícího zvýšení dávky základní superplastifikační přísady.

Optimální dávkování speciální přísady je nutné stanovit s ohledem na vlastnosti konkrétní kalové vody.

6 Laboratorní ověření

Účinnost technologie byla ověřována v laboratorních podmínkách. Experimenty byly zaměřeny především na sledování vlivu podílu kalové vody na konzistenci betonu a na možnost kompenzace tohoto vlivu pomocí speciální přísady.

Nejdříve byla namíchána referenční záměs pouze s čistou vodou (záměs Z1). Pro porovnání pak byly namíchány záměsi s 30 % a 70 % kalové vody, kde byl pokles počáteční konzistence kompenzován přidáním superplastifikační přísady (záměsi Z2

a Z3). Záměs Z4 je pak záměs se 70 % kalové vody, kde ale byla použita speciální přísada pro betony s kalovou vodou.

Pro zkoušky byla použita receptura betonové směsi C25/30 XC1-D_{max}16-S4. Parametry betonové směsi a výsledky zkoušek jsou uvedeny v tabulkách Tab. 2 a Tab. 3.

Tab. 2 – Parametry betonové směsi

Objemová hmotnost kalové vody [kg/l]	1,07
Množství cementu [kg/m ³]	325
Vodní součinitel [-]	0,58

Tab. 3 – Výsledky laboratorních zkoušek a složení betonu přepočtené na 1000 litrů

Označení záměsi	Z1	Z2	Z3	Z4
Podíl kalové vody [%]	0 %	30 %	70 %	70 %
Superplastifikační přísada MasterCO ₂ re [kg/m ³]	2,6	3,1	4,3	1,6
Přísada pro betony s kalovou vodou MasterSuna [kg/m ³]	---	---	---	0,8
Množství kalové vody [kg/m ³]	---	57	139	139
Podíl čisté vody v kalové vodě [kg/m ³]	---	53	129	129
Množství čisté vody [kg/m ³]	187	134	59	60
Celk. množství záměsové vody [kg/m ³]	187	187	188	189
Konzistence – sednutí (5 min) [mm]	210	230	210	220
Konzistence – sednutí (90 min) [mm]	170	210	180	180
Množství vzduchu v ČB (90 min) [%]	2,4 %	3,1 %	2,2 %	2,5 %
Pevnost v tlaku 7D [MPa]	28	29	31	29
Pevnost v tlaku 28D [MPa]	38	40	42	40

Na výsledcích je vidět, že při zvýšení podílu kalové vody z 0 % na 70 % je nutné k zachování požadované konzistence zvýšit množství superplastifikační přísady z 2,6 kg/m³ na 4,3 kg/m³. Toto zvýšení dávky přísady ale může z ekonomického hlediska významně snížit, případně zcela eliminovat přínos spojený s využitím kalové vody.

Z tohoto důvodu je výhodné využít speciální přísadu pro betony s kalovou vodou, která omezuje negativní vliv jemných částic kalové vody na účinnost superplastifikační přísady a umožňuje její efektivnější využití, což je vidět na záměsi Z4. V tomto případě stačila na požadovanou konzistenci dávka 1,6 kg/m³ superplastifikační přísady doplněná o 0,8 kg/m³ přísady pro kalovou vodu.

V tabulce výsledků je také vidět, že přidání kalové vody nemá vliv na udržení konzistence směsi po 90 minutách, ani na pevnosti betonu po 7 a 28 dnech.

7 Ekonomické a environmentální přínosy

Hlavním přínosem technologie je možnost zvýšit podíl vody získané recyklací vráceného betonu při výrobě nových betonových směsí. Tím lze snížit spotřebu čerstvé vody a zároveň omezit množství odpadní vody vznikající v provozu betonárny.

Ekonomický přínos recyklace vody je však nutné posuzovat v souvislosti se spotřebou chemických přísad. Pokud zvýšení podílu kalové vody vede k vyšší potřebě superplastifikační přísady, může být část úspor spojených s využitím recyklované vody kompenzována zvýšenými náklady na chemické přísady.

Použití speciální přísady umožňuje tento negativní ekonomický efekt omezit. Pro posouzení přínosu technologie je proto vhodné porovnat nejen množství využité kalové vody, ale také celkovou spotřebu a náklady na chemické přísady při standardním a optimalizovaném způsobu jejího využití.

8 Závěr

Odpadní voda vznikající v provozu betonáren představuje potenciálně využitelný zdroj vody pro další výrobu betonu. Nejedná se přitom pouze o vodu získanou při recyklaci vráceného betonu, ale také o vodu vznikající při mytí autodomývačů, míchaček, čerpadel a dalšího technologického zařízení.

Její použití však může být limitováno vysokým obsahem jemných částic, které negativně ovlivňují účinnost superplastifikačních přísad a mohou vést ke zvýšení jejich dávky.

Využití speciální chemické přísady od společnosti Master Builders Solutions umožňuje omezit negativní interakci jemných částic kalové vody se superplastifikační přísadou. Díky tomu lze zvýšit podíl využívané kalové vody při zachování požadované konzistence a bez odpovídajícího zvýšení dávky PCE.

Efektivní využití kalové vody tak nepředstavuje pouze otázku jejího samotného použití, ale také optimalizace celého systému recyklace vody, návrhu betonové směsi a působení chemických přísad.

9 Literatura

- [1] ČSN EN 1008: Záměsová voda do betonu - Specifikace pro odběr vzorků, zkoušení a posouzení vhodnosti vody, včetně vody získané při recyklaci v betonárně, jako záměsové vody do betonu
- [2] ČSN EN 206+A2: Beton - Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda
- [3] ČSN P 73 2404: Beton - Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda - Doplnující informace
- [4] Technická dokumentace použité technologie a chemických přísad.

TECHNICKÁ NORMALIZÁCIA V OBLASTI BETÓNU A CEMENTU

Jana Otrubová

Príspevok prináša prehľad nových vydaných a pripravovaných technických noriem v oblasti výroby a skúšania betónu a cementu. Informuje tiež o možnostiach zapojenia sa odborníkov z praxe do technickej normalizácie a o činnosti technických komisií ako odborných a poradných orgánov Úradu pre normalizáciu, metrológiu a skúšobníctvo Slovenskej republiky (ÚNMS SR).

1 Technické normy všeobecne

Technické normy sú dokumenty tvorené zástupcami zainteresovaných strán – priemyslu, vedy, výskumu, školstva, orgánov štátnej správy, skúšobných, certifikačných a inšpekčných orgánov, spotrebiteľov, spoločenských organizácií.

Tieto zainteresované strany môžu iniciovať proces tvorby noriem, ktoré sa vypracúvajú na základe konsenzu. Návrhy sa postupne pripomienkujú a vyhodnocujú a po schválení sú aplikované v praxi. Norma je výsledkom spolupráce medzi odborníkmi zo všetkých sektorov, ktorí pochopili výhody noriem pre svoje podnikanie a činnosti a chápu dôležitosť účasti na ich spracovávaní.

Podľa zákona č. 60/2018 Z. z. o technickej normalizácii v znení neskorších predpisov (ďalej len zákon), ktorý popisuje všetky činnosti v oblasti technickej normalizácie, je dodržiavanie slovenskej technickej normy (STN) alebo technickej normalizačnej informácie (TNI) dobrovoľné.

Použitie STN je povinné v prípade odkazu na technické normy v zmluve medzi účastníkmi obchodného vzťahu alebo v zmluve v rámci pracovnoprávných vzťahov a tiež v prípade rozhodnutia orgánu štátnej správy uviesť konkrétnu STN v zákone alebo v inom všeobecne záväznom právnom predpise.

Každý môže používať dobrovoľné STN, ktorých postavenie a používanie ovplyvňuje ich citácia v legislatíve alebo v zmluve. Príkladom môže byť napr. už zrušený zákon č. 50/1976 Zb. (stavebný zákon), kde sa v § 43g, odsek (2) uvádzalo: „Ak sa na stavebné práce vzťahujú bezpečnostné alebo hygienické predpisy, technické normy, všeobecne zaužívané pracovné postupy a návody výrobcu stavebných výrobkov na spôsob použitia, stavebné práce sa musia vykonať v súlade s nimi“. V platnom zákone č. 25/ 2025 Z. z. (Stavebný zákon) sa spojenie „technické normy“ vyskytuje iba v § 2, odsek (6)d) a e). Uvádza sa spojenie „stavebno-technické požiadavky“ resp. „základné požiadavky na stavbu“ v zmysle Prílohy I k Nariadeniu EP a Rady (EÚ) č. 2024/3110 z 27. novembra 2024, ktorým sa stanovujú harmonizované pravidlá uvádzania stavebných výrobkov na trh a zrušuje nariadenie (EÚ) č. 305/2011. Zákon č. 135/1961 Zb. (cestný zákon) v § 2, odsek (4) hovorí: „Navrhovanie pozemných komunikácií sa vykonáva podľa platných slovenských technických noriem, technických predpisov a objektívne zistených výsledkov výskumu a vývoja pre cestnú infraštruktúru.“ V nadväznosti na tieto a ďalšie právne predpisy sa použitie tej-ktorej technickej normy zozáväzní v zmluve medzi objednávatelom a dodávateľom.

2 Účasť technickej verejnosti na tvorbe technických noriem

2.1 Pôvodné STN

V oblastiach, ktoré nie sú dosiaľ pokryté európskymi normami, je možné spracúvať národné dokumenty. Návrh na vypracovanie novej pôvodnej STN alebo na revíziu existujúcej pôvodnej STN môže dať odborná verejnosť priamo ÚNMS SR alebo prostredníctvom člena príslušnej národnej technickej komisie (TK). Zoznam TK je uvedený na webovom sídle <https://standard.normoff.gov.sk/narodne-technicke-komisie/>. Po schválení návrhu na vypracovanie normy v TK je norma zaradená do programu rozvoja technickej normalizácie (PRTN). Po zverejnení zoznamu PRTN na tvorbu pôvodných STN (<https://www.unms.sk/stranka/110/program-rozvoja-technickej-normalizacie-tvorba-povodnych-stn/>) sa môže prihlásiť spracovateľ z odbornej verejnosti.

Odborníci sa taktiež majú možnosť vyjadriť k obsahu návrhu normy v etape verejného prerokovania. ÚNMS SR zverejňuje oznámenia o verejnom prerokovaní pôvodných STN s uvedením termínov na vyjadrenie a pravidlami na spracovanie pripomienok. Zapojiť sa do verejného prerokovania je možné cez <https://standard.normoff.gov.sk/verejne-prerokovanie/navrhy-povodnych-stn-a-tni/>. ÚNMS SR v súlade so zákonom o technickej normalizácii pokračuje v procese systematickej aktualizácie sústavy STN, čo je proces rušenia neaktuálnych pôvodných STN, a to z dôvodu ich technickej zastaranosti a neaktuálnosti. V rámci tohto procesu na webovom sídle úradu v časti [Návrhy na zrušenie STN](#) sa postupne uverejňujú zoznamy pôvodných STN navrhnutých na zrušenie a formulár na vyjadrenie odôvodnenej námietky odbornej verejnosti proti zrušeniu pôvodnej STN.

2.2 Európske a medzinárodné normy a normalizačné dokumenty

ÚNMS SR v súlade so zákonom č. 60/2018 Z. z. o technickej normalizácii predkladá na verejné prerokovanie návrhy európskych noriem a iných normalizačných dokumentov pripravovaných Európskym výborom pre normalizáciu (CEN), Európskym výborom pre normalizáciu v elektrotechnike (CENELEC), Európskym inštitútom pre telekomunikačné normy (ETSI) a návrhy medzinárodných noriem pripravovaných Medzinárodnou organizáciou pre normalizáciu (ISO) a Medzinárodnou elektrotechnickou komisiou (IEC). Zoznamy návrhov noriem sa uádzajú na webovom sídle ÚNMS SR v časti Technická normalizácia – Verejné prerokovanie návrhov technických noriem, (<https://standard.normoff.gov.sk/verejne-prerokovanie/>). ÚNMS SR tu zverejňuje oznámenia o verejnom prerokovaní medzinárodných a európskych noriem s uvedením termínov na vyjadrenie a pravidlami na spracovanie pripomienok a potrebnými formulármi. Do verejného prerokovania sa môže zapojiť ktokoľvek z odbornej verejnosti. Ak existuje pre danú oblasť technická komisia, vyjadruje sa k zaslaným pripomienkam k návrhu dokumentu. Normalizačné dokumenty sa do sústavy STN preberajú nasledujúcimi spôsobmi:

- prekladom do štátneho jazyka;
- bez prekladu do štátneho jazyka (oznámenie o schválení);
- bez prekladu do štátneho jazyka s anotáciou v štátnom jazyku (prevzatie normy v origináli).

Normy EN, HD, ISO, IEC sa preberajú s označením ako STN. Technické špecifikácie TS sa preberajú ako predbežné normy označením ako STN P. Technické správy TR, CR a dohody pracovných stretnutí CWA sa preberajú ako TNI – technické normalizačné informácie.

Preberanie prekladom do štátneho jazyka sa vykonáva prevažne na odporúčanie príslušnej TK, prípadne na základe podnetu odbornej verejnosti. Úlohy sú zverejňované na webovom sídle úradu v zoznamoch PRTN – preklady (<https://www.unms.sk/stranka/24/program-rozvoja-technickej-normalizacie/>). Záujemca o vypracovanie návrhu STN prekladom medzinárodnej alebo európskej normy, ktorý vie preukázať vzdelanie a prax v príslušnej oblasti spolu s preukázaním znalosti anglického jazyka, sa môže prihlásiť na konkrétnu úlohu vyplnením prihlasovacieho formulára podľa pokynov uvedených tamtiež. Preklad musí byť vypracovaný v súlade so zverejnenými metodickými postupmi (<https://www.unms.sk/stranka/28/metodicke-postupy-a-sablony/>), jeho úplnosť a správnosť overená oponentským posúdením, prípadne jazykovou korektúrou.

Zapojenie sa do procesov tvorby technickej normy znamená získať výhody v podobe kontaktov s najnovšími technickými informáciami, možnosť vopred sa pripraviť na technologické a iné zmeny, zároveň ich ovplyvňovať a prispôbovať sa im, a tým v rámci odborných či podnikateľských činností zvýšiť svoju konkurencieschopnosť, či znížiť náklady.

Vzhľadom na fakt, že všetky schválené európske normy je ÚNMS SR ako národný normalizačný orgán (NNO) povinný prevziať do presne stanoveného času, pričom sa rušia národné normy v rozpore s európskymi, je potrebné k návrhom EN pristupovať ako k budúcim STN a oboznamovať sa s ich obsahom v predstihu. Výhodou je aj aktívna práca expertov na návrhoch dokumentov v pracovných skupinách európskych technických komisií, vtedy je najväčšia možnosť ovplyvniť technický obsah budúcich dokumentov.

2.3 Odborné a poradné orgány ÚNMS SR

Úlohy odborných a poradných orgánov ÚNMS SR vyplývajú zo zákona o technickej normalizácii č. 60/2018 Z. z.

Rada pre technickú normalizáciu zabezpečuje nezávislosť, posudzuje koncepcie a formuluje strategické odporúčania na činnosti spojené s technickou normalizáciou.

Technické komisie (TK) sú odbornými poradnými orgánmi úradu ako NNO, podieľajú sa na tvorbe STN, TNI, na pripomienkovaní a ďalších činnostiach, ktoré súvisia s technickou normalizáciou.

TK sa pri práci riadia Štatútom technickej komisie a rokovacím poriadkom technickej komisie. Člen TK zastupuje jednu zo zainteresovaných strán, ktoré sa členia do týchto skupín:

- a) podnikateľské subjekty (priemysel, výroba, obchod, služby, vrátane odborných združení, zväzov a asociácií);
- b) spotrebiteľské organizácie (mimovládne neziskové organizácie nezávislé od priemyslu, obchodu a služieb reprezentujúce záujmy spotrebiteľov);
- c) environmentálne organizácie;
- d) sociálne organizácie (mimovládne neziskové organizácie nezávislé od priemyslu obchodu a služieb reprezentujúce verejný záujem v uvedených oblastiach);
- e) skúšobne, akreditačné, certifikačné a inšpekčné orgány;
- f) veda, výskum a školstvo;
- g) orgány verejnej moci.

Členstvom v TK získavajú zástupcovia organizácií prístup k informáciám o pripravovaných európskych a medzinárodných dokumentoch s možnosťou zasielať stanoviská a pripomienky, vyjadrovať sa k technickému obsahu, ovplyvňovať

ustanovenia európskych normalizačných dokumentov a vyjadrovať sa k ich pravidelným previerkam.

V rámci svojej činnosti TK odporúča priority prekladov európskych resp. medzinárodných normalizačných dokumentov do štátneho jazyka, spracovateľa prekladu, v prípade potreby tvorcu národnej prílohy.

TK spolupracuje na tvorbe pôvodných STN a TNI v súlade s metodickým postupom MP 03/2021. Členovia TK sa vyjadrujú aj k previerkam pôvodných STN a TNI, výsledkom čoho môže byť návrh na zmenu normy, jej revíziu alebo zrušenie.

Pri ÚNMS pracuje v oblasti stavebníctva 26 technických komisií.

3 Technické komisie s pôsobnosťou v oblasti výroby a spracovania betónu a cementu

3.1 TK 5 Navrhovanie betónových konštrukcií

Technická komisia TK 5 sa zaoberá spracovaním a pripomienkovaním normatívnych dokumentov obsahujúcich pravidlá navrhovania betónových konštrukcií a ich aplikáciou pri normách na betónové výrobky s vplyvom na nosnosť konštrukcií (základné požiadavky na stavby podľa CPR: konštrukčná integrita stavieb, požiarne bezpečnosť stavieb, bezpečnosť a prístupnosť stavieb – zachovanie nosnosti konštrukcie počas určitého času). K normám na zhotovovanie betónových konštrukcií sa TK 5 vyjadruje z pohľadu dosiahnutia zamýšľanej úrovne bezpečnosti a použiteľnosti počas životnosti konštrukcií.

Partnerské technické komisie CEN a ISO sú:

- CEN/TC 250 Konštrukčné eurokódy (Structural eurocodes), subkomisia CEN/TC 250/SC2 Eurokód 2: Navrhovanie betónových konštrukcií (Eurocode 2. Design of concrete structures)
- CEN/TC 229 Betónové prefabrikáty (Precast concrete products)
- ISO/TC 98 Pravidlá pre navrhovanie konštrukcií (Bases for design of structures) a jej subkomisie

3.2 TK 123 Výroba, skúšanie betónu a zhotovovanie betónových konštrukcií

Technická komisia TK 123 sa zaoberá spracovaním a pripomienkovaním normatívnych dokumentov obsahujúcich pravidlá pre betón a vstupné suroviny do betónu, vlastnosti a požiadavky na výrobu a dodávanie betónu, špecifikácie pre zložky betónu (prímеси, prísady, zámesovú vodu, výrobky na predpínanie, vlákna do betónu), výrobky na opravu a ochranu betónových konštrukcií a súvisiace skúšobné metódy a ustanovenia na posudzovanie parametrov.

Zrkadlové technické komisie CEN a ISO sú:

- CEN/TC 104 Betón a výrobky používané do betónu (*Concrete and related products*) a jej subkomisie (SC) a pracovné skupiny (WG – working groups)
- CEN/TC 229 Betónové prefabrikáty (*Precast concrete products*)
- ISO/TC 71 Betón, vystužený betón a predpätý betón a jej subkomisie (*Concrete, reinforced concrete and pre-stressed concrete*)

3.3 TK 40 Anorganické spojivá a malty

Technická komisia TK 40 sa zaoberá normalizáciou v oblasti požiadaviek, skúšobných metód a terminológie cementov, stavebného vápna, sadry a výrobkov zo sadry, podlahových materiálov a podlahových poteroz.

Zrkadlové technické komisie CEN a ISO sú:

- CEN/TC 51 Cement a stavebné vápna (*Cement and building limes*) a jej subkomisie (SC) a pracovné skupiny (WG – working groups)

- CEN/TC 67 Keramické obkladové prvky (*Ceramic tiles*)
- CEN/TC 125 Murivo (*Masonry*)
- CEN/TC 241 Sadra a výrobky zo sadry (*Gypsum and gypsum based products*)
- CEN/TC 303 Podlahové potery a podlahy vyhotovené na stavbách (*Floor screeds and in-situ floorings in buildings*)
- ISO/TC 74 Cement a vápno (*Cement and lime*)
- ISO/TC 152 Sadra a výrobky zo sadry (*Gypsum and gypsum based products*)

4 Publikované normatívne dokumenty

4.1 Normy týkajúce sa betónu a betónových konštrukcií

Od januára 2025 boli do sústavy slovenských technických noriem prijaté tieto STN a TNI:

- STN EN 1992-1-1 Eurokód 2. Navrhovanie betónových konštrukcií. Časť 1-1: Všeobecné pravidlá a pravidlá pre budovy, mosty a inžinierske konštrukcie (73 1201) prekladom do štátneho jazyka;
- STN EN 1992-1-2 Eurokód 2. Navrhovanie betónových konštrukcií. Časť 1-2: Navrhovanie konštrukcií na účinky požiaru (73 1201) prekladom do štátneho jazyka;
- STN EN 18136 Mletý vápenec na použitie do betónu, malty a injektážnej malty. Definícia, špecifikácie a kritériá zhody (72 2073) bez prekladu do štátneho jazyka, preklad sa pripravuje, predpoklad vydania marec 2027;
- STN EN 15167-2 Mletá granulovaná vysokopečná troska na použitie do betónu, málť a injektážnych málť. Časť 2: Posudzovanie a overovanie nemennosti parametrov (72 2302) prekladom do štátneho jazyka;
- STN EN 480-6 Prisady do betónu, málť a zálievok. Skúšobné metódy. Časť 6: Analýza infračervenou spektroskopiou (72 2323) prekladom do štátneho jazyka;
- STN EN 934-7 Prisady do betónu, málť a zálievok. Časť 7: Prisady redukujúce zmrašťovanie. Definície, požiadavky, zhoda, označovanie a etiketovanie (72 2324) prekladom do štátneho jazyka;
- STN EN 12390-4 Skúšanie zatvrdnutého betónu. Časť 4: Pevnosť v tlaku. Požiadavky na skúšobné stroje (73 1302) prekladom do štátneho jazyka;
- STN EN 12390-18+A1 Skúšanie zatvrdnutého betónu. Časť 18: Stanovenie koeficientu migrácie chloridov (73 1302) bez prekladu do štátneho jazyka;
- TNI CEN/TR 18290-1 Udržateľné stavby z betónu. Časť 1: Praktický návod (73 2440) bez prekladu do štátneho jazyka;
- TNI CEN/TR 18290-2 Udržateľné stavby z betónu. Časť 2: Ďalšie možnosti optimalizácie (73 2440) bez prekladu do štátneho jazyka.

4.2 Normy týkajúce sa cementu

Od januára 2025 boli do sústavy slovenských technických noriem prijaté tieto STN a TNI:

- STN EN 196-2 Metódy skúšania cementu. Časť 2: Chemický rozbor cementu (72 2100) bez prekladu do štátneho jazyka, preklad sa pripravuje, predpoklad vydania je január 2027;
- STN EN 196-12 Metódy skúšania cementu. Časť 12: Reaktivita zložiek cementu. Metódy stanovenia hydratačného tepla a obsahu viazanej vody (72 2100) prekladom do štátneho jazyka;
- TNI CEN/TR 196-4 Metódy skúšania cementu. Časť 4: Kvantitatívne stanovenie hlavných zložiek (72 2100) prekladom do štátneho jazyka.

5 Pripravované normatívne dokumenty

5.1 Dokumenty týkajúce sa betónu a betónových konštrukcií

Európsky výbor pre normalizáciu CEN/TC 250, subkomisia SC2 v rámci prípravy 2. generácie eurokódov pripravuje EN 1992-4 *Eurokód 2. Navrhovanie betónových konštrukcií. Časť 4: Navrhovanie kotvenia do betónu*. Predpoklad publikovania je február 2027, norma bude následne preložená do štátneho jazyka.

Zároveň začali práce na vypracovaní zmien k publikovaným eurokódom 2. generácie - EN 1992-1-1/A1 a EN 1992-1-2/A1.

Európsky výbor pre normalizáciu CEN/TC 104 revidoval predmetovú normu EN 206+A2 *Betón. Špecifikácia, vlastnosti, výroba a zhoda* tak, že bola rozdelená na tri časti súboru EN 206:

- EN 206-1 *Betón. Špecifikácia, vlastnosti, výroba a zhoda. Časť 1: Vlastnosti, požiadavky, systém riadenia výroby a kritériá na posudzovanie jednotlivých hodnôt* (preklad sa pripravuje, predpoklad vydania v štátnom jazyku je január 2027);
- EN 206-2 *Betón. Špecifikácia, vlastnosti, výroba a zhoda. Časť 2: Posudzovanie zhody a certifikácia* (preklad sa pripravuje, predpoklad vydania v štátnom jazyku je január 2027);
- EN 206-3 *Betón. Špecifikácia, vlastnosti, výroba a zhoda. Časť 3: Doplňujúce požiadavky na špecifikáciu a zhodu betónu pre špeciálne geotechnické práce* (predpoklad vydania konečného textu v anglickom jazyku je december 2026, následne sa bude pripravovať preklad do štátneho jazyka).

V nadväznosti na uvedené normy prebieha momentálne vypracovanie národných príloh k EN 206-1 a EN 206-2.

V CEN/TC 104 prebieha hlasovanie o konečnom znení revízie EN 13670 *Zhotovovanie betónových konštrukcií*, predpoklad vydania konečného textu v anglickom jazyku je december 2026.

Novou predmetovou normou je pripravovaná EN 18314 *Prírodný puzolán a prírodné aktivované puzolánové materiály. Definície, špecifikácie a kritériá zhody*.

Pripravované sú revízie častí súborov noriem na skúšanie čerstvého a zatvrdnutého betónu:

- EN 12350-1 *Skúšanie čerstvého betónu. Časť 1: Odber vzoriek a skúšobné zariadenia*;
- EN 12350-6 *Skúšanie čerstvého betónu. Časť 6: Objemová hmotnosť*;
- EN 12350-13 *Skúšanie čerstvého betónu. Časť 13: Skúška prirodzeného (statického) odlučovania vody a odlučovania pod tlakom*;
- EN 12390-11 *Skúšanie zatvrdnutého betónu. Časť 11: Stanovenie odolnosti betónu proti účinku chloridov, jednosmerná difúzia*;
- EN 12390-10 *Skúšanie zatvrdnutého betónu. Časť 10: Stanovenie odolnosti betónu proti karbonatizácii pri atmosférických úrovniach oxidu uhličitého*;
- EN 12390-12 *Skúšanie zatvrdnutého betónu. Časť 12: Stanovenie odolnosti betónu proti karbonatizácii. Zrýchlená metóda karbonatizácie*;
- EN 12390-16 *Skúšanie zatvrdnutého betónu. Časť 16: Stanovenie zmrašťovania betónu*;
- EN 12390-17 *Skúšanie zatvrdnutého betónu. Časť 17: Stanovenie dotvarovania betónu v tlaku*;
- EN 12390-20 *Skúšanie zatvrdnutého betónu. Časť 20: Stanovenie pórovitosti*.

V počiatočných etapách je príprava nových dokumentov – technickej správy CEN/TR *Triedy odolnosti betónu voči pôsobeniu prostredia – pozadie, informácie a príklady* a technickej špecifikácie CEN/TS 18446 *Princípy posudzovania rizika alkalicke-kremičitej reakcie (ASR) v betóne*, ktorá sa pripravuje spoluprácou viacerých európskych technických komisií (CEN/TC 51 Cement, CEN/TC 104 Betón, CEN/TC 154 Kamenivo a CEN/TC 229 Betónové prefabrikáty).

V rámci pôsobnosti TK 94 Cestné stavitelstvo je v procese revízie STN 73 6123 *Stavba vozoviek. Cementobetónové kryty*.

5.2 Dokumenty týkajúce sa cementu

Európsky výbor pre normalizáciu CEN/TC 51 pripravuje revízie predmetových noriem:

- EN 197-1 *Cement. Časť 1: Zloženie, špecifikácie a kritériá na preukazovanie zhody cementov na všeobecné použitie*;
- EN 413-1 *Cement do mált na murovanie a omietky. Časť 1: Zloženie, požiadavky a kritériá zhody*;
- EN 15368 *Hydraulické spojivo pre nenosné konštrukcie. Definície, požiadavky a kritériá zhody*;
- EN 13282 *Normálne a rýchlotvrdnúce hydraulické spojivá pre vozovky. Posudzovanie prameťov a vyhlásenia* (reviduje EN 13282-1 a EN 13282-2);

a novú

- EN 197-10 *Cement. Časť 10: Posudzovanie zhody týkajúce sa obsahu vo vode rozpustného chrómu (Cr^{VI}) v cemente*.

Pripravujú sa revízie európskych noriem týkajúcich sa skúšobných metód cementu, a to:

- EN 413-2 *Cement do mált na murovanie a omietky. Časť 2: Skúšobné metódy*;
- EN 196-1 *Metódy skúšania cementu. Časť 1: Stanovenie pevnosti*;
- EN 196-7 *Metódy skúšania cementu. Časť 7: Postupy na odber vzoriek a prípravy vzoriek cementu na všeobecné použitie a jeho zložiek*;
- EN 196-10 *Metódy skúšania cementu. Časť 10: Stanovenie obsahu vo vode rozpustného šesťmocného chrómu (Cr^{VI}) v cemente*.

Pripravované sú nové časti súboru EN 196:

- EN 196-13 *Metódy skúšania cementu. Časť 13: Obsah aktívnych alkálií*;
- EN 196-14 *Metódy skúšania cementu. Časť 14: Stanovenie trikalciú silikátu (C₃S), dikalciú silikátu (C₂S), trikalciú aluminátu (C₃A) a tetrakalciú aluminofेरitu (C₄AF) v cemente na všeobecné použitie a v slinku*;
- EN 196-15 *Metódy skúšania cementu. Časť 15: Odolnosť voči síranom. Metóda štvorcového hranola*;
- EN 196-16 *Metódy skúšania cementu. Časť 16: Odolnosť voči síranom. Metóda plochého hranola*;
- EN 196-17 *Metódy skúšania cementu. Časť 17: Stanovenie obsahu skla v granulovanej vysokopecnej troske ako zložky cementu na všeobecné použitie*;
- EN 196-18 *Metódy skúšania cementu. Časť 18: Stanovenie belosti alebo farby cementu a slinku*;
- EN 196-19 *Metódy skúšania cementu. Časť 19: Stanovenie vplyvu alkálií v cemente*.

V nadväznosti na nové Nariadenie EP a Rady (EÚ) č. 2024/3110 (CPR) sa pripravuje revízia EN 16908 *Cement a stavebné vápno. Environmentálne vyhlásenia o produktoch. Pravidlá pre skupinu výrobkov dopĺňajúce EN 15804*.

6 Prístup k informáciám o technických normách

V rámci projektu „Jednotná digitálna brána ÚNMS SR“ bol vytvorený Centrálny repozitár noriem (CRN) <https://standard.normoff.gov.sk/>, ktorý poskytuje informácie o sektoroch, národných technických komisiách, verejnom prerokovaní návrhov, ako aj o prijatých technických normách do sústavy STN vrátane informácie o zverejnení odkazu na preberaný európsky dokument v Úradnom vestníku EÚ. V roku 2025 bola externá časť CRN rozšírená o informácie, ktoré sa týkajú harmonizácie s európskou legislatívou a pribudla funkcionálna exportu alebo archívu návrhov pôvodných STN a TNI. Do prevádzky bolo spustených viacero online asistentov postavených na základe umelej inteligencie, pričom títo pomáhajú najmä spracovateľom technických noriem (<https://www.normoff.gov.sk/stranka/701/norman-metodicky-ai-asistent-pre-tvorbu-stn-a-tni-prekladom/>).

Národné informačné stredisko pre technickú normalizáciu (NIS) poskytuje zákazníkom normatívne dokumenty v listinnej aj elektronickej podobe. Služba STN-online umožňuje online prístup k normám STN na Portáli noriem <https://normy.normoff.gov.sk/> prostredníctvom ročného predplatného. V prípade riešenia technických problémov je možné obrátiť sa na [technickú podporu na portáli noriem](#). Do užívania bola uvedená technická podpora prostredníctvom umelej inteligencie, ktorá je zriadená v prostredí [ChatGPT](#). Podpora cez AI urýchľuje riešenie bežných otázok a problémov.

Literatúra

- [1] Zákon o technickej normalizácii č. 60/2018 Z. z. v znení neskorších predpisov
- [2] Databáza CEN/CENELEC PROJEX-online, august 2026

PEVNOST' BETÓNU V HOTOVEJ KONŠTRUKCII

Vladimír Priechodský

Stanovenie pevnosti betónu v tlaku v konštrukciách a betónových prefabrikátoch je riešené v STN EN 13791:2020 [3] (revízia EN 13791 z 2007). Pevnosť betónu v tlaku je dôležitou mechanickou vlastnosťou, ktorá sa uplatňuje pri medzných stavoch únosnosti. Primárne sa pod pevnosťou betónu v tlaku rozumie valcová pevnosť na valcoch s priemerom 150 mm a výškou 300 mm. Podľa pevnosti v tlaku sú v norme pre navrhovanie betónových konštrukcií STN EN 1992-1-1 [1] definované pevnostné triedy. Betón je vyrábaný a dodávaný na stavbu v zmysle normy STN EN 206 [2]. Skúšky pevnosti pri zhotovovaní konštrukcie sa vykonávajú na odobratých vzorkách v tvare kocky alebo valca. Po uložení betónu do debnenia je vývoj pevnosti ovplyvnený mnohými faktormi. V určitých prípadoch je potrebné stanoviť pevnosť betónu na hotovej konštrukcii v definovanom veku betónu. V článku sú uvedené poznatky zo skúšok pevnosti betónu na hotovej konštrukcii so zameraním na určenie pevnosti betónu od spôsobu vyhodnocovania skúšok.

1. Pevnosť betónu a trieda pevnosti

Vzťah pevnosti betónu v tlaku a pevnostnej triedy sa objavuje v troch normách: STN EN 1992-1-1 (1), STN EN 206 (2), STN EN 13791 (3).

V STN EN 1992-1-1 je pre jednotlivé triedy definovaná priemerná pevnosť f_{cm} a charakteristická pevnosť f_{ck} , vzťah medzi nimi je daný výrazom

$$f_{cm} = f_{ck} + 8 \text{ MPa} \quad (1)$$

f_{cm} - priemerná pevnosť betónu v tlaku danej triedy,

f_{ck} - charakteristická pevnosť betónu v tlaku (na valcoch, pre 5% fraktíl) definujúca pevnostnú triedu betónu v tlaku.

V STN EN 1992-1-1 sa uvažuje s normálnym rozdelením pevnosti pre danú triedu.

Pre normálne rozdelenie je daný vzťah

$$f_{cm} = f_{ck} + k \cdot s \quad (2)$$

k – normovaná hodnota rozdelenia pre zvolený fraktíl, pre 5% je to 1,645

s – smerodajná odchýlka výberového súboru skúšok pevnosti betónu danej triedy

Smerodajná odchýlka tried je potom $s = 8 \text{ MPa} / 1,645 = 4,86 \text{ MPa}$, cca 5 MPa.

Podľa STN EN 206, čl. 8 sa pri výrobe vykonávajú kontrolné skúšky triedy na betonárni. Výroba betónu je zvyčajne certifikovaná a smerodajné odchýlky skúšok na odobratých vzorkách majú hodnotu v intervale 2,0 MPa-3,5 MPa. Pri kontrole betónu pre priebežnú výrobu sa zisťuje $\sigma_{(35)}$, je to smerodajná odchýlka na 35 vzorkách (1 vzorka na 400 m³ betónu).

$$\sigma_{(35)} = (2,0-3,5) \text{ MPa, priemer } 2,75 \text{ MPa}$$

-uvažuje sa logaritmicko-normálne rozdelenie pevností a pre 5% fraktíl platí

$$f_{cm(35)} = f_{ck} + k \cdot \sigma_{(35)} \quad (3)$$

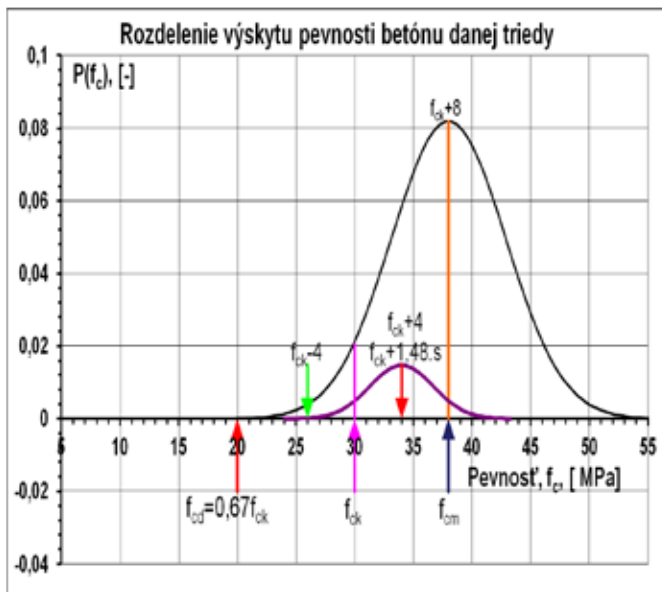
kde $k = 1,48$ je normovaná hodnota rozdelenia pre logaritmicko-normálne rozdelenie pevností

$$f_{cm(35)} = f_{ck} + 1,48 \cdot 2,75 = f_{ck} + 4,07 \quad (4)$$

Teda pri výrobe je postačujúce, aby priemerná pevnosť bola $f_{ck} + 4,0$ MPa. (5)

Doplňujúca podmienka je, aby žiaden výsledok nebol menší ako $f_{ck} - 4,0$ MPa (6)

Porovnanie rozdelení pevností podľa oboch noriem je na obr. 1 (pre C30/37).



Obr. 1 Porovnanie rozdelenie pevnosti betónu pre triedu C 30/37

Podľa STN EN 206 sa vykonávajú skúšky pevnosti betónu na vzorkách odobratých pri ukladaní betónu do debnenia (skúška identity). Výsledky musia spĺňať nasledujúce podmienky. (v závislosti od počtu odobratých vzoriek):

$$f_{cm} = f_{ck} + 1 \text{ MPa.... pre 2-4 vzorky} \quad (7)$$

$$f_{cm} = f_{ck} + 2 \text{ MPa.... pre 5-6 vzoriek} \quad (8)$$

Doplňujúca podmienka je, aby žiaden výsledok nebol menší ako $f_{ck} - 4,0$ MPa. (9)

Po uložení betónu do debnenia je betón ošetrovaný v závislosti od prostredia a typu konštrukcie. Pri správnom ošetrovaní by pevnosť betónu mala po 28 dňoch spĺňať požiadavku bezpečnosti (medzný stav únosnosti). Vzorky odobraté pri ukladaní betónu sa skúšajú po 28 dňoch a výsledky by mali spĺňať požiadavky (7), (8) a (9).

Ak požiadavky (5) až (9) nie sú splnené, je potrebné zistiť pevnosť betónu v konštrukcii v zmysle STN EN 13791.

2. Zásady stanovenia pevnosti a triedy v STN EN 13791

V norme sú popísané dva prístupy k stanoveniu pevnosti betónu, resp. pevnostnej triedy na hotovej konštrukcii a tieto postupy sú popísané v kapitolách 8 a 9.

2.1 Kapitola 8. Odhad pevnosti na statické posúdenie existujúcej konštrukcie

V kapitole 8 „Odhad pevnosti na statické posúdenie existujúcej konštrukcie“ ($f_{ck, is}$) sú popísané tri spôsoby stanovenia $f_{ck, is}$:

8.1 - priamou metódou – (odhad založený výlučne na skúškach jadrových vývrtov)

8.2 - nepriamymi metódami NDT – (odhad založený na kombinácii nepriamych skúšok, popísaný je ultrazvuk a tvrdomer + skúšanie na jadrových vývrtoch)

8.3 - oblasť do 30 m³, (použitie nepriameho skúšania s najmenej tromi výsledkami)

2.2 Kapitola 9. Posúdenie triedy pevnosti betónu v prípade pochybnosti

V kapitole 9 „Posúdenie triedy pevnosti betónu v prípade pochybnosti“ sú popísané postupy v prípade pochybnosti o dosiahnutí stanovenej triedy betónu na základe štandardných skúšok alebo sú pochybnosti o kvalite zhotovenia konštrukcie (EN 206).

Pochybnosti môžu pochádzať z rôznych zdrojov. Hlavné zdroje sú:

- nevyhovujúce kontrolné skúšky na vzorkách odobratých pri výrobe
- nevyhovujúce skúšky vzoriek odobratých pri betónovaní (identita)
- problémy pri betónovaní, ošetrovaní, poruchy betónu zistené po oddebnení

Podľa kapitoly 9 je možné postupovať 3 metódami:

- použiť údaje zo skúšok jadrových vývrtov, (kap. 9.2),
- použiť nepriame skúšanie kombinované s obmedzeným počtom údajov zo skúšok jadrových vývrtov, (kap. 9.3),
- použiť skríningový test pomocou všeobecného alebo špecifického vzťahu nepriamej skúšky, (kap. 9.4),

Ak výrobca betónu vyhlásil nezhodu pevnosti v tlaku, poskytne zúčastneným stranám tieto informácie:

- identifikácia betónu, ktorý nesplnil požiadavky

- odhadovaná charakteristická pevnosť betónu bezprostredne pred uložením do konštrukcie
- údaje na ktorých bola založená odhadovaná charakteristická pevnosť
- zdôvodnenie vedúce k tejto odhadovanej pevnosti
- príčiny nezhody
- navrhované opatrenia na zníženie rizika ďalších nezhôd.

3 Zásady stanovenia pevnosti priamou metódou – (odhad založený výlučne na skúškach jadrových vývrtov)

Normou sa:

- stanovuje pevnosť skúšobného miesta, $f_{c,is}$
- stanovuje charakteristickú pevnosť skúšobnej oblasti, $f_{ck,is}$
- stanovuje charakteristickú pevnosť malej skúšobnej oblasti, $f_{ck,is}$

-skúšobná oblasť (test region)

je jedna alebo viac podobných konštrukčných častí,

zhotovená z rovnakého betónu (znalosť alebo predpoklad).

-obmedzená (malá) skúšobná oblasť(small test region)

je skúšobná oblasť, kde sa nepredpokladá kolísanie pevnosti

betónu pri dodávke, ale kolísanie pevnosti je spôsobené iba vybranými skúšobnými miestami a variabilitou skúšania.

-skúšobné miesto (test location),

miesto v skúšobnej oblasti na určenie pevnosti in situ $f_{c,is}$

Pred začatím posudzovania sa na mieste stanovia a zdokumentujú:

- účel posudzovania
- normy, metódy a techniky posudzovania
- skúšobné oblasti a miesta
- počet meraní NDT na jednom skúšobnom mieste
- pre vývrty sa určí: priemer a dĺžka,
- miesto, kde sa majú vývrty rezať a úprava tlačných plôch
- aký spôsob sa použije na úpravu tlačných plôch
- požiadavka akreditovaných postupov odberu a skúšok (ISO/IEC 17025)
- oprava odberných miest po skúškach
- odchýlky od postupov tejto normy

Skúšobné oblasti (predpoklad, že betón je úplne rovnaký!!!): sa musia definovať:

- ako množstvo prvkov (stĺpy, ...)
- jeden veľký prvok alebo objem(doska podlažia, ...)
- rôzne betóny musia mať samostatné oblasti
- betón z rôznych výrobní môže byť v jednej oblasti, ak je úplne rovnaký.

- ak nie sú známe oblasti, použije sa technické posúdenie, či ide o jeden alebo viac betónov
- betón prvkov betónovaných na stavbe a betón prefabrikátov sa musia skúšať osobitne
- pre malú skúšobnú oblasť predpokladáme, že dodaný betón je identický, dodaný za jeden deň a nie je náznak odlišnosti v kvalite

Skúšobné miesta

-počet závisí od účelu posudzovania, musí sa špecifikovať pre každú oblasť, minimálny počet je v kap. 8 a kap. 9.

Kritériá:

- dostupnosť miesta
- napätie v betóne (silne namáhané miesta vylúčiť)
- trhliny
- výstuž

Pevnosť v tlaku skúšobných telies z jadrových vývrtov $f_{c, is}$ sa stanovuje podľa EN 12504-1:

Skúšobné miesto:

Výsledkom je pevnosť jedného telesa (výška L , priemer $D \geq 75$ mm), $L:D=1$ alebo 2, alebo priemerná pevnosť z viac telies (viac vývrtov alebo rozrezanie jedného dlhého vývrtu)

Skúšobná oblasť:

min. počet je 8 platných výsledkov na stanovenie $f_{c, is}$ ($D \geq 75$ mm)

odporúča sa odobrať 10 vývrtov (vylúčiť odľahlé hodnoty)

Obmedzená (malá) skúšobná oblasť:

objem do 10m^3 , min. počet vývrtov: 3

3.1 Skúšanie jadrových vývrtov a stanovenie $f_{c, is}$

Pravidlá:

- stanoviť vek betónu na skúšku
- skúša pevnosti podľa EN 12504-1
- skúša objemovej hmotnosti podľa EN 12390-7

štíhlosť vzoriek iba **2 alebo 1** pre: $D \geq 75$ mm, min. $D=50$ mm

limity štíhlosti: 1,95-2,05, 0,9-1,1

min. počet vývrtov pre: $75\text{ mm} > D \geq 50\text{ mm}$ 3 ks,
výsledkom miesta pre: $75\text{ mm} > D \geq 50$ je priemer troch výstuží, iba v kolmom smere na smer skúšania,

Výsledok je $f_{c, 2:1, core} = 0,82 \cdot f_{c, 1:1, core}$, $CLF=0,82$

pre ostatné pomery L:D sa CLF uvádza v mieste použitia
(CLF=core length faktor)

veľkosť zrna $D_{\max}$, ak $D/D_{\max} < 3$ je pevnosť ovplyvnená, analyzovať

3.2 Posúdenie údajov $f_{c, is}$

Posúdenie skúšobnej oblasti

Ak z výsledkov vyplýva možnosť dvoch oblastí:

a -rozdeliť výsledky na dve časti

b -rozdeliť výsledky do dvoch súborov a zistiť pomocou t-testu, či sa líšia (urobí sa spoločný rozptyl)

Posúdenie odľahlosti výsledkov podľa Grubbsa.

Vypočítajú sa hodnoty G_{pt} a porovnajú sa limitnou hodnotou G_p pre hladinu významnosti 1%, tab. 5 EN 13791, musí byť splnené:

- odľahlosť maximálneho výsledku : $(f_{c, is, highest} - f_{c, m, is})/s > G_{pt, min}$

- odľahlosť minimálneho výsledku: $(f_{c, m, is} - f_{c, is, lowest})/s > G_{pt, max}$

3.3 Odhad pevnosti na statické posúdenie existujúcej konštrukcie ($f_{ck, is}$)

3.3.1 Pre skúšobnú oblasť - priamou metódou na jadrových vývrtoch, kap. 8.1

minimálny počet platných výsledkov:

$n \geq 8$, $D \geq 75$ mm

$n \geq 12$, 75 mm $> D \geq 50$ mm ($12 \times 3 = 36$ vývrtov)

$f_{c, m(n), is}$ - aritmetický priemer platných výsledkov $f_{c, is}$

s_n – smerodajná odchýlka základného súboru

s_{min} - smerodajná odchýlka pre 8% variačný koeficient

$s_{min} = 0,08 \cdot f_{c, m(n), is}$

$s = \max(s_n, s_{min})$

$f_{ck, is, 1} = f_{c, m(n), is} - k_n \cdot s$

Hodnoty k_n sú v tab. 1, (tab. 6 normy EN 13791):

Tab. 1

n	8	10	12	16	20	30	oo
k_n	2,00	1,92	1,87	1,81	1,76	1,73	1,64

$f_{ck, is, 2} = f_{c, is, lowest} + M$

Hodnoty M (tab. 7 normy) :

M=4 MPa pre $f_{c, is, lowest} \geq 20$ MPa, M=3 MPa pre 20 MPa $> f_{c, is, lowest} \geq 16$ MPa

M=2 MPa pre 16 MPa $> f_{c, is, lowest} \geq 12$ MPa , M=1 MPa pre 12 MPa $> f_{c, is, lowest}$

$$f_{ck, is} = \min(f_{ck, is, 1}, f_{ck, is, 2})$$

3.3.2 Pre obmedzenú skúšobnú oblasť - na jadrových vývrtoch, kap. 8.3

Platí pre objem do 10 m³, jeden až 3 konštrukčné prvky

(stĺpy, prievlaky,...), počet vývrtov: n=3

Ak platí : $f_{c, is, lowest} \geq 0.85 \cdot f_{c, m, is}$

$$f_{c, is, highest} \leq 1.15 \cdot f_{c, m, is}$$

potom

$$f_{ck, is} = \min(f_{c, is, i})$$

4 Posúdenie pevnostnej triedy v tlaku v prípade pochybnosti o zhode na základe štandardných skúšok alebo pochybnosti o kvalite zhotovenia (EN 206), kap. 9 .

Skúšobná oblasť sa rozdelí na časti s cca 30 m³ objemami betónu (obj.)

Výsledky sa vyhodnotia podľa tab. 2, (tab. 8 normy EN 13791):

Tab. 2

Počet 30m ³ objemov	Počet miest v objemoch	Min a max. počet vývrtov	Priemer výsledkov $f_{c, is, m}$	Minimálny výsledok $f_{c, is, lowest}$
1	3	3	-	$\geq 0,85(f_{ck, spec} - M)$
2-4	2	4 - 8	$\geq 0,85(f_{ck, spec} + 1)$	$\geq 0,85(f_{ck, spec} - M)$
5-6	2	10 - 12	$\geq 0,85(f_{ck, spec} + 2)$	$\geq 0,85(f_{ck, spec} - M)$

$f_{ck, spec}$ predpísaná ako valcová alebo kocková charakteristická pevnosť (špecifikácia betónu)

-ak $f_{ck, spec}$ je valcová pevnosť, porovnáva sa $f_{c, 2; 1, core}$

-ak $f_{ck, spec}$ je kocková pevnosť, porovnáva sa $f_{c, 1; 1, core}$

Hodnoty M:

M=4 MPa pre C20/25 a viac, M=3 MPa pre C16/20

M=2 MPa pre C12/15, M=1 MPa pre C8/12

Hodnota 0,85 v tabuľke 2 je odporúčaná hodnota pre prevodný faktor ν ,

ktorý je definovaný v A.2.3 EN 1992-1-1: 2015 (príloha A) a súvisí s parciálnym súčiniteľom pre betón.

Parciálny súčiniteľ pre betón je uvedený v tab. 2.1N EN 1992-1-1:2015 hodnotou $\gamma_c=1,50$ pre medzné stavy únosnosti na stanovenie dimenzačnej pevnosti betónu:

$$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_c$$

Príloha A sa zaoberá úpravou parciálnych súčiniteľov materiálov (zníženie).

podľa A2.3 zníženie založené na odhade pevnosti betónu v hotovej konštrukcii

γ_c sa môže znížiť konverzným súčiniteľom ν , pre ν sa odporúča 0,85.

Výsledná hodnota parciálneho súčiniteľa nemá byť menšia ako

$\gamma_{c,red4}=1,30$, potom by súčiniteľ $\nu = 1.3/1.5=0,8666$, norma STN EN 13791 udáva 0,85.

$$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck, is} / \gamma_{c, red4}$$

$$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_c$$

$$f_{ck} = f_{ck, is} * \gamma_{c, red4} / \gamma_c = f_{ck, is} / 0,8666, \text{ v zmysle EN 13791 je } f_{ck} = f_{ck, is} / 0,85$$

5. Porovnanie výsledkov skúšok podľa kapitol 8 a 9 EN 13791

Porovnanie vykonáme pre zvolený objem 120 m^3 .

5.1 Vyhodnotenie výsledkov podľa kapitoly 8.1 priamym skúšaním vývrtov pre skúšobnú oblasť je v tab. 3

Tab. 3

Počet 30 m^3 objemov	Min. počet vývrtov	$f_{ck, is}$ z priemeru výsledkov $f_{c, m(n), is}$	$f_{ck, is}$ z minimálneho výsledku $f_{c, is, lowest}$
2-4 (120 m^3)	8	$f_{ck, is, 1} = f_{c, m(n), is} - k_n \cdot s$	$f_{ck, is, 2} \geq f_{c, is, lowest} + M$

5.2 Vyhodnotenie výsledkov podľa kapitoly 9.1 priamym skúšaním vývrtov pre skúšobné oblasti je v tab. 4.

Tab. 4

Počet 30 m^3 objemov	Min. a max. počet vývrtov	f_{ck} z priemeru výsledkov $f_{c, m, is}$	Minimálny výsledok $f_{c, is, lowest}$
2-4 (120 m^3)	4 - 8	$f_{ck, is, 1} \geq f_{c, m, is} / 0,85 - 1$	$f_{ck, 2} \geq f_{c, is, low} / 0,85 + M$

Teda analyzujeme pevnosť betónu oblasti s cca 120 m^3 betónu odobratím 8 vývrtov.

d5.3 Porovnanie výsledkov skúšok podľa kapitola 8 a 9 EN 13791

Podľa kap. 8.1 je charakteristická pevnosť zistená na odskúšaných vzorkách daná vzt'ahom

$$f_{ck, is, 1} = f_{c, m(n), is} - k_n \cdot s,$$

za predpokladu, že smerodajná odchýlka danej oblasti je rovnaká (priemerná hodnota $s=2,75$ MPa), tak pre 8 skúšobných vzoriek je normovaná hodnota $k_n = 2$ (podľa STN EN 13791)

$$\text{Súčín } k_n \cdot s = 2 \cdot 2,75 = 5,5 \text{ MPa},$$

Potom charakteristická pevnosť pre jednotlivé etapy výstavby je závislá na zistenej priemernej pevnosti, ktorá s plnía kritéria zhody s EN 206 a EN 13791.

5.3.1 Stanovenie f_{ck}

Ak skúškami v betonárni je splnená podmienka priemernej pevnosti $f_{ck} + 4,0$ MPa, potom stanovená charakteristická pevnosť in situ podľa 8.1 je:

$$f_{ck, is, 1} = f_{c, m(n), is} - k_n \cdot s = f_{ck} + 4,0 \text{ MPa} - 5,5 \text{ MPa} = f_{ck} - 1,5 \text{ MPa} \quad (11)$$

Ak na mieste ukladania betónu je splnená podmienka priemernej pevnosti $f_{ck} + 1,0$ MPa (pre 2-4 vzorky) , potom stanovená charakteristická pevnosť in situ podľa 8.1 je:

$$f_{ck, is, 1} = f_{c, m(n), is} - k_n \cdot s = f_{ck} + 1,0 \text{ MPa} - 5,5 \text{ MPa} = f_{ck} - 4,5 \text{ MPa} \quad (12)$$

Ak sa na odobratých vzorkách dosiahne podmienka priemernej pevnosti $0,85(f_{ck} + 1,0 \text{ MPa})$, (pre 2-4 vzorky) , potom stanovená charakteristická pevnosť in situ podľa 8.1 je:

$$f_{ck, is, 1} = f_{c, m(n), is} - k_n \cdot s = 0,85(f_{ck} + 1,0 \text{ MPa}) - 5,5 \text{ MPa} = 0,85f_{ck} - 4,65 \text{ MPa} \quad (13)$$

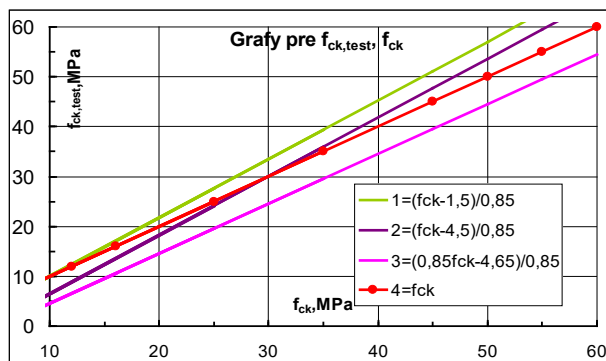
Súčiniteľom 0,85 stanovíme charakteristickú pevnosť zo skúšky na úrovni projektovanej triedy:

$$f_{ck, test} = f_{ck, is, 1} / 0,85$$

ak je $f_{ck, test} > f_{ck}$, pevnosť betónu spĺňa kritéria projektovanej triedy.

Z porovnania na obr. 2 vyplýva, že skúšky betónu zo skúšobnej oblasti na vývrtoch vyhodnotené podľa kap. 8.1 oproti kapitole 9.1 stanovujú:

1. pre minimálnu priemernú pevnosť vyhovujúcu na vzorkách vyhotovených pri betónovaní, vyššie hodnoty $f_{ck, test}$ ako je f_{ck} ., čiara 1 na obr. 2.
2. pre priemernú pevnosť vyhovujúcu na vzorkách vyhotovených pri betónovaní, vyššie hodnoty $f_{ck, test}$ ako je f_{ck} , ak je pevnosť betónu vyššia ako 30 MPa. Ak je pevnosť betónu nižšia ako 30 MPa, $f_{ck, test}$ je nižšia ako je f_{ck} , čiara 2 na obr. 2
3. pre skúšky vývrtov vyhovujúcich podľa kap. 9.1 je vyhodnotenie podľa kap. 8.1 nevyhovujúce. Betón bude zatriedený do nižšej triedy, čiara 3 na obr. 2.



Obr. 2 Charakteristická pevnosť stanovená podľa kap. 8.1

6. Závěry

Z porovnania vyhodnotenia skúšok vývrtov podľa STN EN 13791 vyplýva, že skúšky betónu zo skúšobnej oblasti vyhodnotené podľa kap. 8.1 oproti kapitoly 9.1 stanovujú:

- pre minimálnu priemernú pevnosť vyhovujúcu na vzorkách vyhotovených pri betónovaní, vyššie hodnoty $f_{ck,test}$ ako je f_{ck} .
- pre priemernú pevnosť vyhovujúcu na vzorkách vyhotovených pri betónovaní, vyššie hodnoty $f_{ck,test}$ ako je f_{ck} , ak je pevnosť betónu vyššia ako 30 MPa. Ak je pevnosť betónu nižšia ako 30 MPa, $f_{ck,test}$ je nižšia ako je f_{ck} .
- pre skúšky vývrtov vyhovujúcich podľa kap. 9.1 je vyhodnotenie podľa kap. 8.1 nevyhovujúce. Betón bude zatriedený do nižšej triedy.

Preto je dôležité pri stanovení pevnosti v zmysle STN EN 13791 dôsledne definovať skúšobné oblasti (musí byť splnený predpoklad, že betón je úplne rovnaký, inak sa výrazne zvýši smerodajná odchýlka).

Pre začatím posudzovania by sa mali zúčastnení jednoznačne dohodnúť na základných predpokladoch posudzovania:

Stanovením pravidiel posudzovania pevnosti betónu na mieste sa predíde budúcim sporom.

Literatúra

- [1] STN EN 1992-1-1: Navrhovanie betónových konštrukcií. Časť 1.1 Všeobecné pravidlá pre budovy (2015)
- [2] STN EN 206: Betón. Časť 1: Špecifikácia, vlastnosti, výroba a zhoda (2013)
- [3] STN EN 13791 Stanovenie pevnosti betónu v tlaku v konštrukciách a betónových prefabrikátoch (2020)

PREUKAZOVANIA ODOLNOSTI BETÓNU PROTI ÚČINKU MRAZU A ROZMRAZOVACÍCH LÁTK V RÔZNYCH KRAJINÁCH

Michal Bačuvčík

Príspevok dokumentuje prehľad rôznych prístupov hodnotenia odolnosti betónu proti účinku mrazu a rozmrazovacích látok so zameraním hlavne na postupy skúšania a kritériá vyhodnotenia. V príspevku je porovnaný Slovenský národný postup podľa STN 73 1326 s najrozšírenejšími európskymi postupmi podľa CEN/TS 12390-9 a ďalšími národnými postupmi.

1 Úvod

Betón sa navrhuje, aby dlhodobo odolával rôznym mechanickým, fyzikálnym a chemickým vplyvom prostredia z dôvodu zabezpečenia životnosti železobetónových konštrukcií. Preukazovanie odolnosti a teda trvanlivosti betónu sa realizuje zrýchlenými skúškami v laboratórnych podmienkach, ktoré predstavujú nepriamu predikciu odolávania betónu v horizonte niekoľkých desiatok rokov. Zvolené postupy a podmienky zrýchlených skúšok a kritérií vyhodnotenia sú síce založené na výsledkoch dlhodobých a rozsiahlych výskumov, ale vždy môže existovať určitá miera neistoty správnosti výsledku. Dôkazom toho sú aj rozdiely v prístupe jednotlivých krajín ku skúšaniu a vyhodnocovaniu odolnosti betónu.

V súčasnej dobe výrazne narastá tlak na využívanie nových alternatívnych materiálov a technológií na výrobu či už samotného betónu, ale aj jeho zložiek cementu a kameniva. Dôvodom je snaha šetriť prírodné zdroje a znižovať uhlíkovú stopu cementárskeho a tým aj betonárskeho priemyslu. Používaním týchto inovatívnych materiálov narastá potreba jednotného prístupu k preukazovaniu ich vplyvu na odolnosť betónu, na čo reagujú technické komisie CEN vývojom a postupnou harmonizáciou európskych postupov skúšok a vyhodnocovania.

Na Slovensku sa priamo testuje len odolnosť betónu proti zmrazovaniu a vplyvu rozmrazovacích látok z posypových solí, vplyv prostredia XF podľa STN EN 206+A2 [1]. Narušenie betónu pôsobením mrazu a rozmrazovania rozdeľujeme nasledovne:

- degradácia vnútornej štruktúry vznikom a šírením trhlín z dôvodu zmrazovania a rozmrazovania vody v kapilárnych póroch;
- odlupovanie povrchu betónu súčasným pôsobením mrazu a rozmrazovacích solí, kedy dochádza k zamŕznaniu vody v póroch a k prieniku chloridových iónov.

2 Požiadavky na odolnosť betónu proti vplyvu prostredia XF2 a XF4

Európska norma STN EN 206+A2 špecifikuje požiadavky na odolnosť betónu proti vplyvom prostredia mrazu a rozmrazovania s rozmrazovacími látkami (ale aj ostatných vplyvov prostredia XC, XD a XA) buď dodržaním medzných hodnôt zloženia a stanovenými vlastnosťami betónu alebo odvodením požiadaviek z návrhu zloženia s požiadavkou vlastností betónu. Požiadavky vo vzťahu k stupňom vplyvu prostredia sa môžu stanoviť použitím metód súvisiacich s parametrami pre životnosť a ich aplikácia závisí od ustanovení platných v mieste použitia. Norma nepredpisuje

konkrétne skúšobné postupy preukazovania odolnosti betónov proti vplyvom prostredia XC, XD, XF a XA ale v poznámke prezentuje sériu európskych skúšobných metód pre parametre, napr. CEN/TS 12390-9 až 11 (prebraté do sústavy STN) [2 – 4] a CEN/TR 15177 [5].

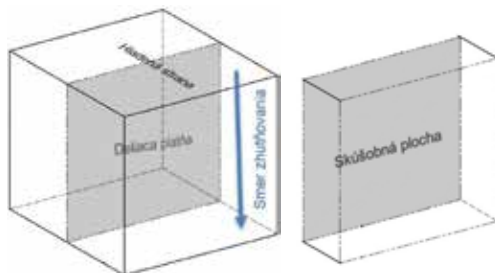
2.1 Skúšobný postup podľa CEN/TS 12390-9

Norma CEN/TS 12390-9 je určená na skúšky odolnosti proti zmrazovaniu a rozmrazovaniu s rozmrazovacími soľami (roztokom chloridu sodného) vyhodnotením rozsahu odlupovania vzorky betónu. V norme je zdokumentovaná 1 referenčná metóda (Slab test) a 2 alternatívne metódy (Cube test a CF/CDF-test). Skúšky je vhodné vykonať v nasledovných situáciách:

- pri skúšaní nových materiálov na použitie do betónu alebo nového zloženia betónu porovnávaním so známymi parametrami betónu a jeho zložiek;
- stanovovaní odolnosti betónu proti vplyvu prostredia XF v porovnaní s kritériami založenými na skúsenostiach a ustanoveniach v mieste použitia.

2.1.1 Referenčná metóda – Slab test

Princípom metódy je skúšanie odolnosti jadra betónových kociek proti účinku mrazu a rozmrazovania s rozmrazovacími látkami. Vyrobia sa 4 betónové kocky s hranou 150 mm, ktoré sa po 24 hodinách odformujú, uložia na 7 dní do vody s teplotou 20 °C a následne do klimatizovanej komory pri 20 °C, 65 % relatívnej vlhkosti a rýchlosti prúdenia vzduchu $\leq 0,1$ m/s až do doby začiatku skúšky. Vo veku 21 dní od výroby sa betónové kocky rozrežú tak, aby sa získali 50 mm hrubé skúšobné telesá zo stredy kocky podľa obrázka 1. Zmerajú sa rozmery a hmotnosť telies a ihneď sa vložia späť do klimatizovanej komory.



Obrázok 1 Spôsob rezania betónovej kocky na skúšobné teleso

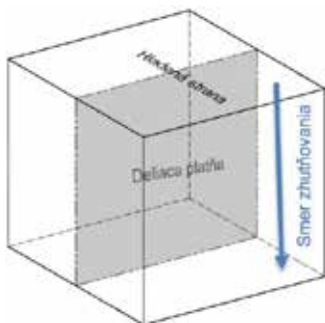
Po 3 až 5 dňoch uloženia v klimatizovanej komore sa všetky strany telies okrem skúšobnej oblepia gumovou fóliou tak, aby nad skúšobnou plochou fólia prečnievala 20 mm. Následne sa oblepené strany zaizolujú polystyrénom. Na skúšobnú plochu sa naleje destilovaná voda vo vrstve 3 mm a hladina sa udržiava 72 hodín. Skúška sa začína vo veku betónu 31 dní od výroby. Destilovaná voda sa vymení za rozmrazovaciu látku (3 % roztok NaCl) vo vrstve 3 mm a teleso sa prekryje polyetylénovou fóliou. Teleso sa vloží do zmrazovacej komory na cyklické zmrazovanie a rozmrazovanie. Jeden cyklus predstavuje zmrazenie na teplotu -20 °C počas 16 hodín a ohriatie na teplotu +20 °C počas 8 hod. Počas zmrazovania a po 56 cykloch sa kontroluje hladina roztoku, zozbierajú sa odpady a dopĺňa sa roztok. Výsledok skúšky je celkové množstvo odlúpnutého betónu zo skúšobnej plochy v kg/m^2 .

2.1.2 Alternatívna metóda – Cube test

Skúška je založená na testovaní mrazuvzdornosti betónových kociek uložených v špeciálnych kontajneroch s alebo bez rozmrazovacích solí, ktoré sa cyklicky zmrazujú a rozmrazujú. Betón sa vyrobí vo forme 4 kociek s hranou 100 mm a ošetruje rovnako ako pri metóde Slab test. Betónové kocky sa zväžia pred vložením a 24 hodín po vložení do zmrazovacieho kontajnera s rozmrazovacím médiom. Každý kontajner obsahuje 2 skúšobné kocky. Kontajnery so vzorkami sa cyklicky zmrazujú na -15°C počas 16 hodín a ohrievajú na $+20^{\circ}\text{C}$ počas 8 hodín. Kontroluje sa teplota v jadre kocky. Počas cyklovania a po 56 cykloch sa kontroluje vzhľad kociek, zozbierajú sa odpady zo všetkých strán kocky a dopĺňa sa rozmrazovacie médium. Výsledok skúšky je celkové množstvo odlúpnutého betónu v % a množstvo absorbovaného rozmrazovacieho média v % pri zahájení skúšky.

2.1.3 Alternatívna metóda – CF/CDF test

Skúška odolnosti betónu proti zmrazovaniu a rozmrazovaniu metódou CF/CDF sa realizuje buď bez rozmrazovacích solí (CF-test) alebo s prítomnosťou 3 % roztoku NaCl (CDF-test). Stanovuje sa množstvo odlúpnutého betónu po 56 cykloch zmrazovania a rozmrazovania. Na skúšku sa používa 5 skúšobných telies vo forme betónovej dosky s rozmermi (150 x 140 x 72) mm. Do stredu kockovej formy s hranou 150 mm sa vloží PTFE deliaca platňa, ktorá sa upevní do bočných vodiacich platní čím sa betón rozdelí na skúšobné telesá. Skúšobná plocha (150 x 140) mm je tá, ktorá bola v kontakte s deliacou platňou (obr. 2).



Obrázok 2 Uloženie deliacej platne v kockovej forme s hranou 150 mm

Betón sa ošetruje rovnako ako pri metóde Slab test. Vo veku 21 až 26 dní od výroby sa bočné strany skúšobných telies obalia hliníkovou fóliou prilepenou butylovou tesniacou páskou alebo epoxidovou živcou a ihneď sa vrátia do komory. Skúška zmrazovania a rozmrazovania betónu sa začína vo veku 28 dní od výroby. Skúšobné telesá sa uložia do kontajnera s 3 % roztokom NaCl tak, aby skúšobná plocha bola položená na 5 mm vysokých dištančných pásiakoch a roztok bol do výšky 10 mm odo dna. Počas 7 dní sa pri teplote 20°C nechá nasiaknuť teleso roztokom a stanoví sa nárast hmotnosti. Kontajner so vzorkou sa vloží do mraziaceho zariadenia. Skúška sa pustí na 28 cyklov (CDF-test) alebo 56 cyklov (CF-test) zmrazovania a rozmrazovania. Jeden cyklus pozostáva zo 7 hodín zmrazovania na -20°C a 5 hodín ohrievania na $+20^{\circ}\text{C}$. Výsledkom skúšky je množstvo odpadov z povrchu betónu v kg/m^2 .

2.2 Ustanovenia platné na Slovensku

Slovenská národná príloha STN EN 206+A2/NA [6] dopĺňa požiadavky na splnenie odolnosti proti vplyvu prostredia XF vykonaním skúšok podľa národných noriem STN 73 1322 [7] a STN 73 1326 [8] a umožňuje použitie aj postupu podľa STN P CEN/TS 12390-9 [2]. Ďalej uvádza kritériá vyhodnotenia skúšok odolnosti podľa národných noriem a použiteľnosť jednotlivých druhov cementov pre výrobu betónov podľa vplyvu prostredia. Skúšobné postupy podľa STN 73 1322 [7] a STN 73 1326 [8] boli vytvorené a zavedené v roku 1968, resp. 1984 a v roku 2016 boli revidované s úpravami vyplývajúcimi z noriem rady STN EN 12390. Norma STN P CEN/TS 12390-9 [2], určená na skúšky odolnosti proti zmrazovaniu a rozmrazovaniu s rozmrazovacími sofami vyhodnotením rozsahu odlupovania, bola prijatá do sústavy STN v roku 2017 a bola určená na overenie a pripomienkovanie. Pôvodná CEN technická špecifikácia [2] vyšla už v roku 2006 a bola revidovaná v roku 2016. Na Slovensku sa používa na posudzovanie odolnosti betónu proti vplyvom prostredia XF2 a XF4 výhradne norma STN 73 1326.

2.2.1 Skúšobný postup a vyhodnotenie podľa STN 73 1326

Slovenská národná technická norma STN 73 1326 špecifikuje metódu stanovenia odolnosti povrchu cementového betónu proti pôsobeniu vody a chemických rozmrazovacích látok počas cyklického zmrazovania a rozmrazovania. Tri betónové kocky s hranou 150 mm, ktorých bočné strany sú izolované vhodným náterom (napr. vodným sklom) sú ponorené 5 mm v 3 % roztoku NaCl hladenou plochou nadol a zmrazované na teplotu -15°C a ohrievané na teplotu $+20^{\circ}\text{C}$ na predpísaný počet cyklov. Jeden cyklus trvá 2 hodiny. Výsledkom skúšky je hmotnosť uvoľnených častí skúšobného povrchu (odpad) z telies prepočítaná na jednotku plochy v g/m^2 . Na základe výsledku skúšky sa povrch betónu zatrieduje do 5 stupňov porušenia podľa tabuľky 1. Norma nepojednáva o presnosti, t.j. opakovateľnosti a reprodukovateľnosti skúšky. Popisuje však postup vyjadrenia výsledkov ak sa identifikuje odľahlá hodnota (rozdiel 25 % od priemeru).

Tabuľka 1 Zatriedenie povrchu betónu do stupňa porušenia podľa STN 73 1326

	Stupeň porušenia	Výsledok skúšky (g/m^2)
1	nenarušený	< 50
2	slabo narušený	< 500
3	narušený	500 - 1000
4	silne narušený	1001 - 3000
5	rozpadnutý	> 3000

2.3 Ustanovenia v rôznych krajinách

Odolnosť betónu proti vplyvu prostredia XF2 a XF4 sa v **Českej republike** testuje a posudzuje postupom podľa národnej normy ČSN 73 1326 [9]. Norma obsahuje 3 metódy A až C, pričom sa najčastejšie používajú metódy automatického cyklovania A, príp. C. Metóda A je rovnaká ako na Slovensku podľa STN 73 1326, s výnimkou posúdenia odľahlých hodnôt odpadov (rozdiel 50 % od priemeru). V roku 2003 sa v Českej norme ČSN 73 1326 doplnila metóda C, podľa ktorej sa skúša povrch betónového valca s priemerom 150 mm a výškou 50 mm. Na vzorku sa aplikuje vodotesná objímka a na skúšobný povrch je naliata vrstva 3 % roztoku NaCl s výškou 5 mm. Vzorky sa cyklicky zmrazujú a rozmrazujú na predpísaný počet cyklov

a priebežne sa stanovuje množstvo odpadu betónu. Jeden cyklus zmrazovania na -18 °C a rozmrazovania na +5 °C trvá 6 hodín. Výsledkom skúšky je súčiniteľ odolnosti D1 až D5, ktorý predstavuje množstvo odpadu vyjadrené na skúšobnú plochu betónu v g/m². Súčinitele odolnosti sú definované podľa počtu cyklov, po ktorých je odpad betónu D1 < 1 000 g/m²; D2 < 2 000 g/m²; D3 < 3 000 g/m²; D4 < 4 000 g/m²; D5 < 5 000 g/m². Kritérium odolnosti sa volí zvyčajne na úrovni súčiniteľa D1.

V **Rakúsku** sa posudzuje odolnosť betónu proti vplyvu prostredia XF2 a XF4 referenčnou metódou „Slab test“ podľa CEN/TS 12390-9, ktorú upravuje podľa národných ustanovení v ÖNORM B 4710-3 [10], príloha Q. Vyhodnotenie odolnosti, ktorá sa interpretuje ako ekvivalentná, spočíva v porovnaní výsledkov testovaného betónu s referenčným „nulovým“ (Nullbetone) betónom. Typický referenčný betón sa navrhuje tak, aby po 56-tich 24 hodinových cykloch zmrazovania a rozmrazovania bol výsledok množstva odpadov z plochy jadra betónovej vzorky na úrovni do 170 g/m² pre XF2 a do 100 g/m² pre XF4. Testovaný betón preukazuje ekvivalentnú odolnosť proti vplyvu prostredia XF2 a XF4, ak po 56 cykloch zmrazovania a rozmrazovania je celkové množstvo odpadov menšie, rovnaké alebo:

- o maximálne 100 g/m² väčšie ako referenčný betón;
- o maximálne 200 g/m² väčšie ako referenčný betón, ak tento betón dosahoval odpady na úrovni do 300 g/m².

Poľsko postupuje rovnako ako Rakúsko podľa referenčného postupu CEN/TS 12390-9, pričom kritériá odolnosti betónových vzoriek voči cyklom zmrazovania a rozmrazovania v prítomnosti posypových solí sú obsiahnuté v ich národnej prílohe k EN 206+A2, PN-B-062504, príloha O [11]. Norma rozlišuje 3 kategórie odolnosti FT0 (bez požiadaviek na množstvo odpadu), FT1 a FT2. Kategória FT1 sa preukazuje po 28 cykloch zmrazovania a rozmrazovania, pričom priemerná hodnota množstva odpadu nesmie byť vyššia ako 1,0 kg/m² a žiadny z jednotlivých výsledkov nesmie presiahnuť hodnotu 1,5 kg/m². Betón sa môže zaradiť do kategórie FT2, ak výsledok skúšky nebol vyšší ako 0,5 kg/m² po 28 cykloch alebo vyšší ako 1,0 kg/m² po 56 cykloch, pričom žiadny z jednotlivých výsledkov nesmie presiahnuť hodnotu 1,5 kg/m² a zároveň pomer množstva odpadu po 56 a 28 cykloch je maximálne 2,0.

Maďarsko rovnako ako Poľsko a Rakúsko postupuje podľa MSZ CEN/TS 12390-9 [2]. Výsledky sa vyhodnocujú podľa MSZ 4798 [12] rovnako ako v Poľsku na základe kategórií FT0, FT1 a FT2.

Ukrajina donedávna používala postupy skúšania a vyhodnocovania podľa národnej normy DSTU B V.2.7 47 96 [13], ktorej platnosť má skončiť v roku 2027. V norme sú uvedené národné triedy odolnosti označené podľa počtu cyklov F50, F100, F150, F200, F300 a ďalšie. Ako rozmrazovaciu látku používajú 5 % roztok NaCl. Postupne sa v Ukrajine začali používať postupy podľa CEN/TS 12390-9.

Vo **Švajčiarsku** sa posudzuje odolnosť proti zmrazovaniu a rozmrazovacím látkam národnými postupmi podľa normy SIA 262/1 [14], príloha B a C. Podľa prílohy B sa testuje koeficient migrácie chloridov v betóne pomocou pôsobenia elektrického poľa, čo slúži na hodnotenie trvanlivosti a odolnosti betónu voči prenikaniu chloridov (napr. z rozmrazovacích látok). Princíp metódy je rovnaký ako v norme STN EN 12390-18 [15]. Skúška trvá 2 dni, počas ktorých sa vzorka vloží do migračnej cely s 3 % roztokom NaCl v 0,2 molárnom roztoku KOH a aplikuje sa elektrický prúd. Po skúške sa vyhodnotí priemerná hĺbka prenikania chloridov pomocou aplikácie indikátora. Príloha C špecifikuje postup skúšky odolnosti betónu proti pôsobeniu mrazu

a rozmrazovacích solí, ktorej postup sa podobá postupu podľa CEN/TS 12390-9. Skúšobné teleso je vo forme betónovej dosky odobratej z kockovej vzorky. Na bočné steny dosky sa naniesie tesniaci rám alebo tesnenie, ktoré vytvára okraj s výškou 20 mm. Na skúšobnú plochu sa naleje soľný roztok v hrúbke 3 až 4 mm a zakryje sa fóliou. Teleso sa vystaví 28 zmrazovacím a rozmrazovacím cyklom v rozsahu teplôt +15 °C a -15 °C. Jeden cyklus trvá 12 hodín. Po 6, 14 a 28 cykloch sa stanoví množstvo odpadu a vymení sa roztok za čerstvý. Výsledkom skúšky je celkové množstvo odpadu betónu v g/m² po 28 cykloch. Betón sa považuje za odolný, ak je výsledok do 2 500 g/m² pre XF2 a do 200 alebo 800 g/m² pre XF4 podľa účelu použitia.

V **USA** sa na posúdenie odolnosti betónu proti mrazu a rozmrazovacím soľam používa norma ASTM C1645-22a [16]. Skúša sa betónová vzorka s plochou min. 190 cm². Vzorky sú pred skúškou uložené 14 dní vo vlhkom uložení (23 °C a min. 90 % vlhkosť) a 14 dní na vzduchu (24 °C a 40 – 80 % vlhkosť). Vzorka je podrobená 7, 28 a, ak je potrebné, 49 cyklom (ak po 28 dňoch je odpad viac ako 225 g/m²) zmrazovania a rozmrazovania s pôsobením 3 % roztoku rozmrazovacej soli. Jeden cyklus pozostáva zo 16 hodín zmrazovania pri -5 °C a 8 hodín rozmrazovania pri +5 °C. Vzorky sú uložené v kontajneroch na dištančných podperách vo výške 5 mm odo dna a ponorené v 3 % NaCl do výšky 5 mm. Vzorky sa nechajú pred skúškou 24 hodín nasiaknuť roztokom bez zmrazovania. Výsledok skúšky je odpad vyjadrený v g/m².

2.4 Porovnanie rôznych metód

Tabuľka 2 sumarizuje vybrané špecifiká vyššie spomenutých metód skúšania a tabuľka 3 dokumentuje rôzne prístupy vyhodnocovania odolnosti betónu proti vplyvu prostredia XF2 a XF4 v jednotlivých krajinách.

Tabuľka 2 Špecifiká skúšok podľa rôznych metód

Metóda	Skúšobné teleso	Úprava telesa	Skúš. plocha	T (°C)	Čas cyklu (hod)	Počet cyklov	Jedn
STN 73 1326 SK národná	3 kocky 150 mm	náter	povrch	+20 -15	2	predpis 50-150	g/m ²
ČSN 73 1326-A CZ národná	3 kocky 150 mm	žiadna	povrch	+20 -15	2	predpis 50-150	g/m ²
ČSN 73 1326-C CZ národná	3 valce Ø=150 mm	objímka	povrch	+5 -18	6	predpis 50-150	g/m ²
CEN/TS 12390-9-A EU Slab test	4 dosky š,d=150 mm	izolácia	rez	+20 -20	24	56	kg/m ²
CEN/TS 12390-9-B EU Cube test	4 kociek 100 mm	žiadna	všetky	+20 -15	24	56	%
CEN/TS 12390-9-C EU CF/CDF test	5 dosky š,d=150 mm	izolácia	oddelená	+20 -20	12	28	kg/m ²
ÖNORM B 4710-3 AT národná	4 dosky š,d=150 mm	izolácia	rez	+20 -20	24	56	g/m ²
PN-B-06250 PL národná	4 dosky š,d=150 mm	izolácia	rez	+20 -20	24	28 alebo 56	kg/m ²
CEN/TS 12390-9 HU národná	4 dosky š,d=150 mm	izolácia	rez	+20 -20	24	28 alebo 56	kg/m ²
SIA 262/1 SH národná	4 dosky š,d=150 mm	izolácia	rez	+15 -15	12	28	g/m ²
ASTM C1645-22a USA	3 vzorky povrch>190 cm ²	žiadna	povrch	+5 -5	24	28 alebo 49	g/m ²

Tabuľka 3 Kritériá vyhodnotenia odolnosti proti zmrazovaniu a rozmrazovacím látkam

Metóda	Kritérium odpadu	Počet cyklov
STN 73 1326 SK národná	do 500 g/m ² po 50 (XF2) alebo 100 (XF4) cykloch do 1 000 g/m ² po 150 cykloch (XF4)	50, 100 150
ČSN 73 1326-A CZ národná	XF2: do 1 250 g/m ² po 75 cykloch XF4: do 1 000 g/m ² po 100 cykloch	50, 75, 100
ČSN 73 1326-C CZ národná	XF2: do 1 500 g/m ² po 50 cykloch XF4: do 1 000 g/m ² po 75 cykloch	50, 75, 100
CEN/TS 12390-9-A CEN európska	podľa národných ustanovení (g/m ²)	56
CEN/TS 12390-9-B CEN európska	podľa národných ustanovení (%)	56
CEN/TS 12390-9-C CEN európska	podľa národných ustanovení (g/m ²)	28
ÖNORM B 4710-3 AT národná	¹⁾ lepší, rovnaký alebo horší od referenčného betónu o: a) max 100 g/m ² ; alebo b) max 200 g/m ²	56
PN-B-06250 PL národná	FT1 do 1,0 kg/m ² po 28 cykloch FT2 do 0,5 kg/m ² (28 cyklov) alebo do 1,0 kg/m ² (56 cyklov)	28 56
MSZ 4798 HU národná	FT1 do 1,0 kg/m ² po 28 cykloch FT2 do 0,5 kg/m ² (28 cyklov) alebo do 1,0 kg/m ² (56 cyklov)	28 56
SIA 262/1 SH národná	do 2 500 g/m ² (XF2) alebo 200/800 (XF4) cykloch a podľa účelu použitia	28

¹⁾ a) ak referenčný betón má odpady pre XF2 do 170 g/m² pre XF4 do 100 g/m²

b) ak referenčný betón má odpad 300 g/m²

3 Záver

Všetky krajiny EU, okrem Slovenska a Česka, používajú na preukazovanie odolnosti betónu proti účinku mrazu a rozmrazovacích solí (vplyv prostredia XF2 a XF4), princípy a postupy podľa CEN/TS 12390-9.

Postup podľa národnej normy STN 73 1326 [8], resp. ČSN 73 1326 [9], je výrazne odlišný ako postupy podľa CEN/TS 12390-9 [2]. Hlavné rozdiely sú nasledovné:

- skúšaná plocha podľa [2] nepredstavuje hladenú časť betónovej kocky;
- jeden cyklus zmrazovania a rozmrazovania trvá výrazne dlhšie podľa [2] ako 2 hodiny (12 až 24 hodín);
- celková dĺžka skúšky podľa [2] je viac ako 1 až 2 týždne (1 až 2 mesiace) podľa počtu predpísaných cyklov;
- v postupe podľa [2] sa používa viac ako 3 telesá (min. 4);
- všetky strany telesa, okrem skúšobnej plochy, sú podľa [2] (okrem Cube test) zaizolované a zateplené gumou, lepidlom a príp. polystyrénom;
- vzorky sa pred zahájením skúšky podľa [2] temperujú v klimatizovanej komore s vlhkosťou 65 %.

Kritériá vyhodnotenia odolnosti proti vplyvu prostredia XF2 a XF4 má každá krajina podľa vlastných špecifických ustanovení pričom opakovateľnosť ani reprodukovateľnosť metód nie je väčšinou v normách uvedená ani známa. Z vyhodnotenia medzilaboratórnych testov podľa Kamasa [17] vyplýva, že variačný koeficient reprodukovateľnosti metódy je na úrovni 44 až 72 %.

Slovenský postup podľa STN 73 1326 môžeme vyhodnotiť, spomedzi uvedených metód, ako najviac agresívny z pohľadu rýchlosti cyklovania, s najprísnejšími kritériami vyhodnotenia a nízkou mierou reprodukovateľnosti na základe vyhodnotenia [17] a vplyvu ľudského faktora pri úprave skúšobnej plochy betónu ručným hladením.

4 Literatúra

- [1] STN EN 206+A2: *Betón. Špecifikácia, vlastnosti, výroba a zhoda* (2021)
- [2] CEN/TS 12390-9: *Skúšanie zatvrdnutého betónu. Časť 9: Odolnosť proti zmrazovaniu a rozmrazovaniu s rozmrazovacími soľami. Rozsah odlupovania* (2017)
- [3] EN 12390-10: *Skúšanie zatvrdnutého betónu. Časť 10: Stanovenie odolnosti betónu proti karbonatizácii pri atmosférických úrovniach oxidu uhličitého* (2020)
- [4] EN 12390-11: *Skúšanie zatvrdnutého betónu. Časť 11: Stanovenie odolnosti betónu proti účinku chloridu, jednosmerná difúzia* (2015)
- [5] CEN/TR 15177: *Skúšanie proti pôsobeniu mrazu a rozmrazovania betónu. Poškodenie vnútornej štruktúry betónu* (2006)
- [6] STN EN 206+A2/NA: *Betón. Špecifikácia, vlastnosti, výroba a zhoda. Národná príloha* (2023)
- [7] STN 73 1322: *Stanovenie mrazuvzdornosti betónu* (2016)
- [8] STN 73 1326: *Stanovenie odolnosti povrchu cementového betónu proti pôsobeniu vody a chemických rozmrazovacích látok* (2016)
- [9] ČSN 73 1326: *Stanovení odolnosti povrchu cementového betonu proti působení vody a chemických rozmrazovacích látek* (2003)
- [10] ÖNORM B 4710-3: *Concrete — Specification, performance, production, use and conformity — Part 3: National application of testing standards for concrete and its source materials* (2023)
- [11] PN-88/B-06250:2022-08: *Concrete – Requirements, performance, production and conformity – National supplement to PN-EN 206+A2:2021-08* (2022)
- [12] MSZ 4798: *Betón. Technické požiadavky, vlastnosti, výroba a zhoda, ako aj podmienky aplikácie EN 206 v Maďarsku* (2016)
- [13] DSTU B V.2.7 47 96: *Concrete. Methods for determining frost resistance. General requirements* (1996)
- [14] SIA 262/1: *Concrete construction – Supplementary specifications* (2019)
- [15] STN EN 12390-18: *Skúšanie zatvrdnutého betónu. Časť 18: Stanovenie koeficientu migrácie chloridov* (2021)
- [16] ASTM C1645: *Standard Test Method for Freeze-thaw and De-icing Salt. Durability of Solid Concrete Interlocking Paving Units* (2024)
- [17] Kamas T.: *Opakovateľnosť a reprodukovateľnosť skúšok odolnosti povrchu betónu proti pôsobeniu vody a chemických rozmrazovacích látok. Zborník príspevkov z konferencie. Betón 2025. september 2025. s. 143-148. ISBN 978-80-8076-164-6*

ADAPTÁCIA TECHNOLOGICKÝCH POSTUPOV BETÓNOVANIA NA MENIACE SA KLIMATICKÉ PODMIENKY NA SLOVENSKU

doc. Ing. Matej Špak, PhD. et PhD.

Klimatické zmeny sa vo svete, ale aj na Slovensku prejavujú zvyšovaním priemerných teplôt, častejším výskytom vln horúčav a rastúcou intenzitou extrémnych prejavov počasia. Tieto zmeny významne ovplyvňujú aj procesy realizácie betónových konštrukcií. Článok analyzuje možnosti prispôsobenia technologických postupov na meniace sa klimatické pomery v podmienkach slovenského betonárskeho priemyslu. Predstavuje tradičné organizačné a technologické opatrenia, ako aj netradičné a inovatívne prístupy. Cieľom článku je formulovať odporúčania, ktoré prispejú k zachovaniu požadovanej spracovateľnosti, kvality, trvanlivosti a bezpečnosti betónových konštrukcií realizovaných pri vysokých teplotách.

1 Úvod

Prebiehajúca zmena klímy vo veľkej miere mení požiadavky na výrobu, dopravu, spracovanie, ukladanie, zhutňovanie a ošetrovanie čerstvého betónu [1, 2]. Nepriaznivé klimatické podmienky predstavujú riziká spojené so zrýchlenou hydratáciou cementu, stratou spracovateľnosti, zvýšeným odparovaním vody, vznikom trhlin z plastického zmrašťovania a možným zhoršením výsledných vlastností betónu. Rozhodujúca je pritom súčasná kombinácia teploty vzduchu a čerstvého betónu, relatívnej vlhkosti, vetra, slnečného žiarenia a zrážok. Vyššia teplota urýchľuje hydratáciu a stratu konzistencie, vektor s nízkou vlhkosťou zvyšuje odparovanie a náhla búrka môže spôsobiť poškodenie povrchu. Súčasné moderné betónové zmesi s nízkym vodným súčiniteľom môžu byť na povrchové vysychanie zvlášť citlivé. Aj keď technické normy (napr. STN EN 206+A2 a STN EN 13670) poskytujú základný rámec pre špecifikáciu betónu a realizáciu betónových konštrukcií [3, 4], konkrétne technologické podmienky musia vychádzať z komplexného návrhu receptúry, požiadaviek na konštrukčný betónový prvok, logistiky betónovania a mikroklimy pracovného prostredia [2].

2 Klimatické zmeny v podmienkach Slovenska

Slovensko sa nachádza v prechodnej oblasti medzi oceánskym a kontinentálnym typom klímy, pričom jeho klimatické pomery výrazne modifikujú členitý reliéf a nadmorská výška. Prebiehajúca klimatická zmena sa preto v jednotlivých regiónoch neprejavuje rovnomerne, jej spoločným znakom je však rast teploty vzduchu, zmena časového rozdelenia zrážok a zvyšovanie frekvencie extrémnych poveternostných javov [1].

Za posledných približne 50 rokov sa na Slovensku prejavilo výrazné zrýchlenie otepľovania. Analýza údajov z vybraných meteorologických staníc za obdobie 1971 – 2020 preukázala nárast priemernej ročnej teploty približne o 1,4 až 2,4 °C v závislosti od polohy a nadmorskej výšky stanice. V Hurbanove dosiahol vypočítaný nárast 2,23 °C, v Bratislave 2,32 °C, v Košiciach 2,37 °C a v horských a podhorských oblastiach približne 1,4 až 2,1 °C [5]. Dlhodobé merania SHMÚ zároveň ukazujú, že priemerná ročná teplota na Slovensku sa od roku 1881 zvýšila približne o 1,8 až 2,0 °C, pričom

oteplovanie sa významne zrýchlilo od začiatku 90. rokov 20. storočia. Najvýraznejší rast sa zaznamenáva v letných mesiacoch (obr. 1). V južných oblastiach dosahuje zvýšenie letnej teploty v porovnaní s koncom 19. storočia takmer 3 °C [1].

Otepľovanie sa prejavuje rastom počtu letných a tropických dní, častejším výskytom vln horúčav a úbytkom mrazových a ľadových dní. Zrážkové pomery nevykazujú jednoznačný trend v celkovom ročnom úhrne, ktorý sa od konca 19. storočia zmenil iba mierne. Podstatne významnejšia je však zmena časového a priestorového rozdelenia zrážok. V teplom polroku pribúdajú dlhšie obdobia bez zrážok, prerušované krátkodobými intenzívnymi lejakmi. Súčasne sa zvyšuje potenciálna evapotranspirácia, klesá pôdna vlhkosť a najmä južná časť Slovenska vykazuje postupné vysušovanie. Vo výškach približne do 800 až 1 000 m n. m. sa zároveň znižuje počet dní so snehovou pokrývkou aj dĺžka jej trvania [1].



Obr. 1 Vývoj a budúci predpokladaný trend priemernej teploty v letnom období na Slovensku

V horizonte nasledujúcich 20 rokov možno očakávať pokračovanie a ďalšie zosilnenie uvedených trendov. Regionálne klimatické modely EURO-CORDEX predpokladajú v oblasti južného Slovenska zvýšenie priemernej ročnej teploty do roku 2030 približne o 0,7 až 0,9 °C a do roku 2050 približne o 2,0 až 3,0 °C oproti obdobiu 1991 – 2020; konkrétna hodnota bude závisieť od vývoja emisií skleníkových plynov [6]. Do polovice storočia sa očakáva významný nárast počtu tropických dní a vlny horúčav porovnateľné s rokmi 2003, 2007 alebo 2015 sa môžu vyskytovať troj- až päťnásobne častejšie. Zároveň sa pravdepodobne predĺžia suché periódy, najmä na jar a v lete, kým krátkodobé intenzívne zrážky môžu byť v období 2021 – 2050 približne o 5 až 25 % intenzívnejšie podľa uvažovaného emisného scenára. Budúca klíma Slovenska bude charakterizovaná vyššou priemernou teplotou, ale predovšetkým väčšou nestabilitou počasia, častejším striedaním horúcich a suchých období s intenzívnymi zrážkami, búrkami a prudkými zmenami meteorologických podmienok. Tieto trendy predstavujú významný faktor aj pri plánovaní a realizácii stavebných a betonárskych procesov.

Vývoj priemernej letnej teploty na Slovensku v období rokov 1976 až 2025 (obr. 2) poukazuje na zreteľné otepľovanie vo všetkých sledovaných častiach dňa. Pri porovnaní desaťročí 1976 – 1985 a 2016 – 2025 sa priemerná teplota o 6:00 zvýšila približne o 1,9 °C, o 14:00 o 3,6 °C a o 18:00 až o 3,7 °C. Najvýraznejší

nárast sa teda prejavuje v popoludňajších a večerných hodinách. Výsledky zároveň naznačujú pomalšie ochladzovanie prostredia po dosiahnutí denného teplotného maxima. Napriek značnej medzročnej variabilite sú najvyššie hodnoty sústredené najmä v posledných dvoch desaťročiach. Udržanie vysokých teplôt až do večerných hodín obmedzuje možnosti prirodzeného ochladzovania materiálov, výrobných zariadení a debnenia. Pri realizácii betónových konštrukcií je preto často problematické a málo účinné aj presúvanie betonáže na večerné hodiny. Vhodnejšie podmienky spravidla poskytujú skoré ranné hodiny, pričom konkrétny harmonogram betonáže musí vychádzať z aktuálnej predpovede počasia a teploty jednotlivých zložiek betónu [5].



Obr. 2 Vývoj priemernej teploty v letnom období v rôznych časových úsekoch na Slovensku

3 Vplyv klimatických zmien na technologické procesy betónovania

Klimatické zmeny ovplyvňujú betonárske procesy nielen rastom priemernej teploty, ale aj častejším výskytom horúčav, teplých nocí, intenzívneho slnečného žiarenia, suchých a veterných períód, prívateľových zrážok a náhlych teplotných zmien. Výraznejšie otepľovanie v popoludňajších a večerných hodinách predlžuje čas, počas ktorého sú betón, debnenie, výstuž, dopravné zariadenia a podkladové vrstvy vystavené zvýšenej tepelnej záťaži. V zmysle ACI PRC-305R-20 nemožno horúce počasie charakterizovať iba teplotou vzduchu, ale kombináciou vysokej teploty prostredia a betónu, nízkej relatívnej vlhkosti, vetra a slnečného žiarenia [2].

Vplyv klimatických podmienok sa prejavuje už pri skladovaní vstupných materiálov a výrobe čerstvého betónu. Prehriate kamenivo, cement, zámesová voda a zásobníky zvyšujú výslednú teplotu zmesi. Vyššia teplota urýchľuje hydratáciu cementu a skracuje obdobie, počas ktorého si betón zachováva požadovanú konzistenciu. Súčasne sa zvyšuje rýchlosť straty spracovateľnosti, potreba vody a citlivosť zmesi na zmenu dávkovania prísad. Dodatočné pridávanie vody bez technologickej kontroly zvyšuje vodný súčiniteľ, čím môže nepriaznivo ovplyvniť pevnosť, pórovitosť, vodotesnosť a dlhodobú trvanlivosť betónu. Striedanie suchých a daždivých období zároveň spôsobuje výraznejšie zmeny vlhkosti kameniva. Ak nie je jeho aktuálna vlhkosť dostatočne často kontrolovaná, dochádza k odchýlkam v množstve účinnej zámesovej vody a následne aj v konzistencii jednotlivých výrobných dávok [2, 3].

Zvýšená teplota významne ovplyvňuje aj dopravu betónu. Počas prepravy pokračuje hydratácia cementu, pričom v teplom počasí sa jej priebeh zrýchľuje. Predlžovanie dopravnej trasy, čakanie na stavenisku alebo prerušenie betonáže preto vedie k rýchlejšiemu poklesu konzistencie a skracovaniu času použiteľnosti zmesi. Betón môže pri čerpaní vykazovať vyšší odpor, nestabilný prietok alebo zvýšené riziko upchatia potrubia. Zmeny reologických vlastností komplikujú najmä realizáciu rozsiahlych konštrukcií, pri ktorých je potrebné zabezpečiť plynulú nadväznosť jednotlivých dodávok. Pri prekročení plánovaných prestávok sa zvyšuje nebezpečenstvo vzniku pracovných škár a nedostatočného spojenia vrstiev [2].

Pri ukladaní, zhutňovaní a konečnej úprave povrchu pôsobí nepriaznivo najmä kombinácia vysokej teploty, vetra a nízkej relatívnej vlhkosti vzduchu. Ak je rýchlosť odparovania vody z povrchu vyššia ako rýchlosť jej vystupovania pri odlučovaní, povrch betónu vysychá ešte pred ukončením tuhnutia. Výsledkom môže byť vznik trhlin z plastického zmršťovania, povrchových nerovností a porúch povrchu. Horúce debnenie, výstuž alebo nasiakavý podklad môžu proces vysychania ďalej urýchľovať. Skrátenej čas tuhnutia zároveň znižuje časovú rezervu na uloženie a zhutnenie betónu. Nedostatočné zhutnenie sa následne prejavuje zvýšenou pórovitosťou, kavernami, nedokonalým obalením výstuže a zníženou kvalitou krycej vrstvy [2].

Mimoriadne citlivou etapou je počiatočné ošetrovanie betónu. Jeho cieľom je obmedziť stratu vlhkosti a udržať vhodné teplotné podmienky na priebeh hydratácie. Vysoká počiatočná teplota môže urýchliť nárast počiatočnej pevnosti, zároveň však podporuje vznik menej homogénnej mikroštruktúry a môže znižovať neskoršie mechanické vlastnosti a trvanlivosť. Pri masívnych konštrukciách sa teplo z hydratácie kombinuje s vysokou teplotou prostredia, čím sa zvyšuje teplota jadra konštrukcie. Následné ochladzovanie povrchu vytvára teplotné gradienty a obmedzené teplotné deformácie, ktoré môžu vyvolať vznik trhlin. Teplé večery a noci pritom znižujú schopnosť konštrukcie odvádzať nahromadené teplo [2, 4].

Betonáž negatívne ovplyvňujú aj intenzívne a náhle zrážky. Dážď môže meniť vlhkosť kameniva a konzistenciu zmesi, narušiť povrch čerstvo uloženého betónu, vyplavovať cementovú pastu a poškodiť konečnú úpravu. Prudké ochladenie počas búrky môže zároveň vytvoriť výrazný teplotný rozdiel medzi povrchom a vnútorom konštrukcie. Silný vietor zvyšuje rýchlosť odparovania aj pri teplotách, ktoré by samostatne neboli považované za kritické. Riziko preto nemožno posudzovať iba podľa maximálnej dennej teploty, ale podľa spoločného pôsobenia teploty betónu a vzduchu, vlhkosti, rýchlosti vetra, slnečného žiarenia a očakávaných zrážok [2].

Klimatická nestabilita sa môže prejavovať aj náhlymi chladnými obdobiami, predovšetkým na začiatku a konci stavebnej sezóny. Pokles teploty spomaľuje hydratáciu, predlžuje čas tuhnutia a oddebňovania a znižuje počiatočný nárast pevnosti. Pri nedostatočne vyzretom betóne predstavuje osobitné riziko zamrznutie zámesovej vody. Opakované striedanie teplých dní a chladných nocí navyše zvyšuje teplotné namáhanie mladého betónu a komplikuje určovanie bezpečného termínu oddebňovania alebo predpínania [4].

Meniace sa klimatické podmienky zvyšujú požiadavky na kontrolu celého technologického reťazca. Hodnotenie zhody čerstvého betónu musí byť doplnené sledovaním teploty zmesi, času výroby a dopravy, vývoja konzistencie a podmienok ošetrovania. Dôležité je tiež zabezpečiť, aby boli skúšobné telesá uchovávané v podmienkach zodpovedajúcich požiadavkám skúšobných postupov, pretože ich nekontrolované vystavenie horúčave môže skresliť výsledky. Klimatická adaptácia betonárskych procesov by mala vychádzať z priebežného monitorovania podmienok a z flexibilného riadenia výroby, dopravy, ukladania, zhutňovania a ošetrovania [3, 4].

4 Metódy technologickej adaptácie na klimatické zmeny

Technologická adaptácia betónovania musí reagovať nielen na rast priemerných teplôt, ale aj na častejšie vlny horúčav, intenzívne zrážky, silný vietor a prudké zmeny teploty. Opatrenia preto nemožno viazať iba na ročné obdobie, ale predovšetkým na aktuálne a predpovedané podmienky počas výroby, dopravy, ukladania a ošetrovania betónu. Adaptačné metódy možno rozdeliť na tradičné postupy vychádzajúce z overenej stavebnej praxe a inovatívne metódy využívajúce nové materiály, automatizáciu, digitalizáciu a umelú inteligenciu [2–4].

4.1 Tradičné metódy technologickej adaptácie

4.1.1 Organizačné a časové riadenie betonáže

Najjednoduchšou adaptačnou metódou je prispôsobenie harmonogramu betonáže predpovedaným klimatickým podmienkam. V letnom období sa práce presúvajú do skorých ranných, večerných alebo nočných hodín, keď sú teplota vzduchu a intenzita slnečného žiarenia nižšie. Pri predpovedi búrok, prívalových zrážok alebo silného vetra je vhodné betonáž odložiť alebo rozdeliť na menšie pracovné úseky. Pred začatím prác musí byť pripravené debnenie, výstuž, čerpacia technika, pracovné kapacity aj prostriedky na ochranu a ošetrovanie betónu. Súčasťou technologického predpisu má byť aj záložný postup pre prípad prerušenia dodávky, poruchy zariadenia alebo náhle zmeny počasia [2].

4.1.2 Regulácia teploty vstupných materiálov

Pri výrobe betónu v horúcom počasi sa využíva tienenie skládok kameniva, chladenie zámesovej vody, obmedzenie prehrievania zásobníkov a podľa potreby čiastočná náhrada zámesovej vody ľadom. Keďže kamenivo predstavuje najväčší hmotnostný podiel betónu, jeho teplota významne ovplyvňuje výslednú teplotu čerstvej zmesi. Teplotná úprava musí byť rovnomerná a kontrolovaná, aby nevznikali lokálne rozdiely, ktoré by ovplyvnili hydratáciu cementu, konzistenciu alebo kvalitu premiešania [2].

4.1.3 Úprava zloženia betónovej zmesi

Zloženie betónu sa prispôsobuje predpokladanej teplote, času dopravy a rýchlosti spracovania. Pri vysokých teplotách možno použiť superplastifikačné prísady s predĺženým udrzaním konzistencie, prípadne prísady spomaľujúce tuhnutie. Vhodné môže byť aj použitie spojív s nižším vývinom hydratačného tepla. Každá úprava musí byť overená skúškami pre konkrétnu kombináciu cementu, prímiesi a prísad. Dodatočné pridávanie vody na stavbe nie je vhodnou metódou, pretože zvyšuje vodný súčiniteľ, pórovitosť a riziko zmrazňovacích trhlín [2, 3].

4.1.4 Adaptácia dopravy, ukladania a zhutňovania

Čas medzi výrobou a uložením betónu sa musí minimalizovať koordináciou výroby, dopravy a kapacity pracovnej čaty. Trasy domiešavačov sa plánujú tak, aby sa obmedzili prestoje a nepravidelnosť dodávok. Debnenie a výstuž sa chránia pred nadmerným prehriatím, savé podklady sa primerane navlhčia bez vytvorenia stojatej vody. Pri silnom vetre a slnečnom žiarení sa používajú clony, prístrešky alebo prostriedky obmedzujúce odparovanie. Ukladanie a zhutňovanie musí prebiehať plynulo, pretože skrátenie času spracovateľnosti zvyšuje riziko nedostatočného zhutnenia, vzniku pracovných škár a zhoršenia povrchovej kvality [2, 4].

4.1.5 Intenzívna ochrana a ošetrovanie betónu

Ošetrovanie sa musí začať bezprostredne po dokončení povrchovej úpravy, prípadne už počas čakania na konečné hladenie. Tradičnými metódami sú zakrytie

fóliou alebo vlhkou geotextíliou, kontinuálne zvlhčovanie a aplikácia ošetrovacích nástrekov. Ochranné opatrenia sa majú ukončovať podľa skutočného vývoja pevnosti a teplotného režimu konštrukcie. Pri odstraňovaní izolácie a debnenia je potrebné zabrániť prudkému ochladeniu alebo ohriatiu povrchu [2, 4].

4.1.6 Kontrola kvality a dokumentovanie podmienok

Tradičná kontrola zahŕňa meranie teploty čerstvého betónu, konzistencie, obsahu vzduchu a objemovej hmotnosti, ako aj odber skúšobných telies. Súčasne sa zaznamenáva teplota a rýchlosť prúdenia vzduchu, zrážky a čas jednotlivých technologických operácií. Tieto údaje umožňujú späťne posúdiť príčiny prípadných porúch a overiť účinnosť prijatých opatrení. Pri klimaticky náročných betonážach je vhodné uskutočniť predrealizačnú skúšku zmesi a spracovať osobitný kontrolný a skúšobný plán [3, 4].

4.2 Inovatívne metódy technologickéj adaptácie

4.2.1 Senzorické monitorovanie betónu v reálnom čase

Zabudované alebo bezdrôtové snímače umožňujú kontinuálne monitorovať teplotu betónu, teplotné rozdiely medzi jadrom a povrchom, relatívnu vlhkosť a časový priebeh tvrdnutia. Namerané údaje sa automaticky prenášajú do centrálnej platformy, ktorá upozorňuje na prekročenie stanovených limitov. V spojení s metódou zrelosti možno odhadovať aktuálnu pevnosť betónu a presnejšie určovať čas oddebnenia, predpínania, zaťaženia konštrukcie alebo ukončenia tepelnej ochrany. Použitie metódy zrelosti si vyžaduje laboratórne stanovenie vzťahu medzi teplotno-časovým faktorom a pevnosťou konkrétnej zmesi [7, 8].

4.2.2 Digitalizácia technologického reťazca

Digitalizácia umožňuje vzájomne prepojiť betonáreň, laboratórium, dopravu a stavenisko. Do jedného systému možno integrovať údaje o zložení a teplote betónu, čase výroby, polohe domiešavača, otáčkach bubna, dopravnej situácii a rýchlosti ukladania. Elektronický dodací list a digitálny betonársky denník vytvárajú súvislý záznam o každej dodávke. Digitálny model konštrukcie môže obsahovať polohu jednotlivých záberov, výsledky skúšok a namerané teplotné priebehy. Takto vytvorený digitálny technologický reťazec zvyšuje sledovateľnosť výroby a umožňuje rýchlejšie identifikovať odchýlky [8, 9].

4.2.3 Digitálne dvojča betonáže

Vyšším stupňom digitalizácie je vytvorenie digitálneho dvojčata betonáže. Ide o virtuálny model konštrukcie a technologického procesu, ktorý sa priebežne aktualizuje údajmi zo senzorov a výrobných systémov. Model môže simulovať vývoj hydratačného tepla, teplotné gradienty, nábeh pevnosti a riziko vzniku trhlin. Pred začatím betonáže možno porovnať viaceré varianty postupu, napríklad rozdielny čas ukladania, hrúbku izolácie, teplotu čerstvého betónu alebo polohu chladiacich okruhov. Počas realizácie digitálne dvojča umožňuje operatívne meniť ochranné a ošetrovacie opatrenia podľa skutočného správania konštrukcie [9].

4.2.4 Prediktívne riadenie pomocou umelej inteligencie

Umelá inteligencia môže analyzovať historické údaje z betonárne, meteorologické predpovede, vlastností použitých materiálov, čas dopravy a výsledky skúšok. Na ich základe môže predpovedať teplotu čerstvého betónu, stratu konzistencie, čas začiatku tuhnutia, vývoj pevnosti alebo riziko vzniku trhlin. Systém môže technologovi odporučiť vhodný čas betonáže, úpravu dávkovania prísad, zmenu poradia dodávok alebo aktiváciu chladiacich a ochranných opatrení. Umelá inteligencia môže zároveň optimalizovať logistiku domiešavačov podľa aktuálnej

dopravnej situácie a rýchlosti spracovania. Jej výstupy však musia byť overované kvalifikovaným technologom, pretože spoľahlivosť modelu závisí od kvality vstupných údajov a od podmienok, pre ktoré bol vytvorený [8].

4.2.5 Inteligentné prísady a vnútorné ošetrovanie

K materiálovým inováciám patria prísady s predĺženým udržaním konzistencie, regulátory hydratácie, prísady obmedzujúce zmrašťovanie a systémy vnútorného ošetrovania. Predvlhčené ľahké kamenivo alebo superabsorpčné polyméry dokážu počas hydratácie postupne uvoľňovať vodu do cementového tmelu. Tým obmedzujú pokles vnútornej vlhkosti a autogénne zmrašťovanie, najmä pri betónoch s nízkym vodným súčiniteľom. Ich dávkovanie musí byť experimentálne overené, pretože môže ovplyvniť konzistenciu, pórovú štruktúru aj výslednú pevnosť betónu [10].

4.2.6 Aktívny tepelný manažment a automatizované ošetrovanie

Aktívne systémy zahŕňajú presné dávkovanie ľadu, chladenie zmesi kvapalným dusíkom, cirkuláciu chladiaceho média v masívnych konštrukciách a debnenie s regulovanou tepelnou izoláciou.

Tab. 1 Adaptačné opatrenia pre jednotlivé technologické oblasti

Technologická oblasť	Hlavné klimatické riziko	Tradičné adaptačné opatrenia	Inovatívne adaptačné opatrenia	Kontrolovaný parameter
Plánovanie betonáže	Horúčavy, búrky, vietor a náhle zmeny počasia	Ranná alebo nočná betonáž; záložný harmonogram; rozdelenie prác na menšie úseky	Krátkodobé meteorologické modely; digitálne plánovanie; optimalizácia harmonogramu pomocou AI	Teplota, relatívna vlhkosť, vietor a zrážky
Skladovanie materiálov	Prehrievanie a kolísanie vlhkosti kameniva	Tienenie a pokrytie zásob; častejšia kontrola vlhkosti	Automatické snímače teploty a vlhkosti; riadené chladenie kameniva	Teplota a vlhkosť kameniva
Výroba betónu	Vysoká teplota zmesi a zrýchlená hydratácia	Chladená zámesová voda; ľad; vhodný cement; pomaľujúce a plastifikačné prísady	Chladenie kvapalným dusíkom; automatická korekcia receptúry; prediktívne riadenie výroby	Teplota zmesi, konzistencia a dávkovanie vody
Doprava	Strata spracovateľnosti a predĺženie času dodania	Skrátenie trasy; plynulá expedícia; koordinácia domiešavačov	GPS monitoring; elektronický dodací list; AI optimalizácia dopravy	Čas dopravy, poloha vozidla a teplota betónu
Ukladanie a zhutňovanie	Rýchle tuhnutie, vysychanie a vznik pracovných škár	Tienenie pracoviska; navlhčenie podkladu; vetrolamy; plynulé ukladanie	On-line sledovanie mikroklimy; digitálne riadenie výkonu čerpadla	Čas spracovania, teplota a rýchlosť vetra
Ošetrovanie betónu	Odparovanie vody a plastické zmrašťovanie	Fólie; vlhké geotextílie; rosenie; ošetrovacie nástreky	Automatizované rosenie; inteligentné kryty; vnútorné ošetrovanie pomocou SAP	Povrchová teplota, vlhkosť a rýchlosť odparovania
Tepelný režim konštrukcie	Teplotné gradienty a vznik trhín	Tepelná izolácia; postupné oddebňovanie; obmedzenie prudkého ochladenia	Zabudované snímače; digitálne dvojča; aktívne chladiace okruhy	Teplota jadra a povrchu; teplotný rozdiel
Kontrola kvality	Nepredvídateľný vývoj pevnosti a skreslenie výsledkov skúšok	Skúšky konzistencie, teploty a pevnosti; evidencia klimatických podmienok	Bezdrôtové snímače; metóda zrelosti; digitálny pas betonáže; analýza údajov pomocou AI	Zrelosť, pevnosť a teplotno-časový priebeh

Automatizované rosiace zariadenia alebo mobilné systémy nanášania ošetrovacích prostriedkov môžu zabezpečiť rovnomernú ochranu veľkých plôch. Perspektívne je využitie adaptívneho debnenia a materiálov s fázovou zmenou, ktoré dokážu teplo dočasne akumulovať a následne uvoľňovať. Riadenie týchto zariadení možno prepojiť so senzormi, digitálnym modelom a algoritmami umelej inteligencie [2, 9]. V tabuľke 1 sú uvedené tradičné a inovatívne adaptačné opatrenia pre jednotlivé technologické oblasti betónovania.

5 Záver

Prebiehajúce klimatické zmeny ovplyvňujú celý technologický reťazec betónovania. Zvýšené riziko straty spracovateľnosti, plastického zmršťovania, teplotných trhlin a zníženia trvanlivosti si vyžaduje komplexnú adaptáciu technologických postupov. Medzi tradičné opatrenia patria vhodné načasovanie betonáže, regulácia teploty vstupných materiálov, úprava receptúry, koordinácia dopravy a ošetrovanie. Ich účinnosť možno zvýšiť senzorickým monitorovaním, digitalizáciou technologického reťazca, využitím digitálnych dvojčiat a prediktívnych modelov umelej inteligencie. Perspektívne sú tiež inteligentné prísady, vnútorné ošetrovanie a aktívne systémy tepelného manažmentu. Rozhodujúcim predpokladom úspešnej adaptácie je vypracovanie technologického plánu pre konkrétnu stavbu, založeného na aktuálnej predpovedi počasia a priebežne meraných údajoch. Kombináciou overených a inovatívnych metód možno zabezpečiť požadovanú kvalitu, bezpečnosť a trvanlivosť konštrukcií aj v podmienkach klimatických zmien.

LITERATÚRA

- [1] Slovenský hydrometeorologický ústav. Človekom spôsobená zmena klímy: jej prejavy v strednej Európe a na Slovensku. Bratislava: SHMÚ. Dostupné na: <https://www.shmu.sk/sk/?page=1071>
- [2] ACI COMMITTEE 305. ACI PRC-305R-20: Guide to Hot Weather Concreting. Farmington Hills: American Concrete Institute, 2020.
- [3] STN EN 206+A2:2021; STN EN 206+A2/NA:2023. Betón. Špecifikácia, vlastnosti, výroba a zhoda; Národná príloha. Bratislava: ÚNMS SR, 2021, 2023.
- [4] STN EN 13670:2010; STN EN 13670/NA:2012. Zhotovovanie betónových konštrukcií; Národná príloha. Bratislava: SÚTN, 2010, 2012.
- [5] COPERNICUS CLIMATE CHANGE SERVICE. ERA5 hourly data on single levels from 1940 to present. Climate Data Store, 2018.
- [6] Slovenský hydrometeorologický ústav. Scenáre budúcej klímy: scenáre na regionálnej úrovni – Slovensko. Bratislava: SHMÚ. Dostupné na: <https://www.shmu.sk/sk/?page=1069>
- [7] ASTM C1074-19e1. Standard Practice for Estimating Concrete Strength by the Maturity Method. West Conshohocken: ASTM International, 2019.
- [8] Marchewka, A.; Ziolkowski, P.; García Galán, S. Real-Time Prediction of Early Concrete Compressive Strength Using AI and Hydration Monitoring. Scientific Reports. 2025, 15, 15463.
- [9] Chacón, R.; Posada, H.; Ramonell, C.; Jungmann, M.; Hartmann, T.; Khan, R.; Tomar, R. Digital Twinning of Building Construction Processes: Case Study of a Reinforced Concrete Cast-In Structure. Journal of Building Engineering. 2024, 84, 108522.
- [10] Just, J.; Wyrzykowski, M.; Bajare, D.; Lura, P. Internal Curing by Superabsorbent Polymers in Ultra-High Performance Concrete. Cement and Concrete Research. 2015, 76, 82–90.

MOŽNOSTI STANOVENÍ K-HODNOTY PRO AKTIVNÍ PŘÍMĚSI S OHLEDEM NA TRVANLIVOST

Petr Šperling, Rudolf Hela, Klára Křížová

Tento příspěvek se zabývá možnostmi zohlednění aspektů trvanlivosti při stanovení tzv. k-hodnoty pro aktivní příměsi do betonu. V tomto příspěvku bude využito závislosti aspektů trvanlivosti, v tomto případě hloubky průsaku tlakovou vodou a hloubky karbonatace, na vodním součiniteli referenčních cementových malt bez aktivní příměsí a cementových malt s elektrárenským popílkem. Na základě těchto závislostí je dále možné stanovit k-hodnotu pro tyto dané aspekty trvanlivosti. V příspěvku jsou uvedeny výsledky jednotlivých vlastností cementových malt s elektrárenským popílkem až do náhrady 30 % a stárí 90 dní a dále stanoveny k-hodnoty pro tyto dílčí vlastnosti.

1. Úvod

V dnešní době je hlavním cílem ve stavebnictví snížit ekologickou a ekonomickou náročnost výstavby. Jedním z nejvyužívanějších materiálů ve stavebnictví je beton, proto je důležité snížit jeho ekologickou a ekonomickou zátěž staveb a životního prostředí.

Jednou z možností je využití tzv. aktivních příměsí, které umožňují částečnou náhradu cementu v betonu bez výrazného snížení jeho užitečných vlastností. Aktivní příměsi se používají pucolánové nebo latentně hydraulické látky, které za pomoci portlanditu vzniklého při hydrataci cementu tuhnou a tvrdnou podobně jako cement [1].

Pro posouzení vlivu aktivních příměsí na vlastnosti betonu se používá tzv. koncepce k-hodnoty, koncepce ekvivalentních vlastností betonu (ECPC) a koncepce ekvivalentních kombinací (EPCC), které se ovšem v ČR nepoužívají [2],[3].

Tzv. koncepce k-hodnoty je předepsaný postup, který je založený na porovnání pevnosti v tlaku betonu bez aktivní příměsí s betonem, ve kterém byla část cementu nahrazena aktivní příměsí. Tato koncepce je však v evropských a českých předpisech [2], [5] popsána velmi obecně a není zde uvedena možnost stanovení k-hodnoty jinak než pomocí pevnosti v tlaku. Z tohoto důvodu se tato práce zabývá možnostmi jejího stanovení pro elektrárenský popílek v kombinaci s portlandským smíšeným cementem i pro jiné vlastnosti.

2. Metodika

Pro stanovení k-hodnoty elektrárenského popílku Opatovice v kombinaci s cementem CEM II/A-M 42,5 R Prachovice byly zhotoveny cementové malty s náhradou portlandského smíšeného cementu 0, 10, 20 a 30 % elektrárenským popílkem. Cementové malty byly namíchány s kombinací tří frakcí křemičitého písku tak, aby jeho křivka zrnitosti co nejvíce odpovídala ČSN EN 196-1. Jako sledované aspekty trvanlivosti bylo zvoleno posouzení hloubky průsaku tlakovou vodou a hloubky karbonatace cementových malt s elektrárenským popílkem. Aby bylo možné posoudit vliv vodního součinitele na dané vlastnosti byly referenční malty míchány se třemi různými vodními součiniteli (0,43, 0,50 a 0,53). Na těchto maltách byla následně stanovena pevnost v tlaku dle ČSN EN 196-1, hloubka průsaku tlakovou vodou dle ČSN EN 12390-8 a hloubka karbonatace dle ČSN EN 13295 ve stárí 7, 28, 60

Ing. Petr Šperling, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců, Veveří 95, 602 00 Brno, E-mail: Petr.Sperling@vut.cz

a 90 dní. Stejně vlastnosti byly stanoveny na maltách s elektrárenským popílkem v náhradě 10, 20 a 30 %. V tomto případě byl vodní součinitel (množství vody/součet množství cementu a popílku) roven 0,5.

Tabulka 1: Receptury cementových malt

Receptura [kg/m³]	CEM II/A-M (S-V) 42,5 R	Voda	Popílek Opatovice	Písek 0,1-0,6	Písek 0,6-1,2	Písek 1-4
R-II-1	511	220	-	443	517	572
R-II-2	511	254	-	443	517	572
R-II-3	511	271	-	443	517	572
A-II-10	460	254	51	443	517	572
A-II-20	409	254	102	443	517	572
A-II-30	358	254	153	443	517	572

Stanovení k-hodnoty pro elektrárenský popílek bylo provedeno na základě vztahu vodního součinitele a pevnosti v tlaku pomocí následujícího vzorce [6]:

$$k = \frac{w_a \left(\frac{f_{c,a,t}}{K} + a_t \right) - c}{a_f} \quad (1)$$

Kde k je k-hodnota [-], w_a je množství vody [kg/m³], $f_{c,a,t}$ je pevnost v tlaku ve stáří t [dny] a množství příměsi a [%], a_f je koeficient závislý na stáří vzorků [-], c je množství cementu [kg/m³] a a_f je množství elektrárenského popílku [kg/m³].

Stanovení k-hodnoty elektrárenského popílku pomocí aspektů trvanlivosti bylo provedeno pomocí závislostí jednotlivých vlastností na stáří a vodním součiniteli. Pro sestavení těchto závislostí byla použita regresní analýza, kde byl daný aspekt trvanlivosti zvolen jako závislá proměnná a stáří a vodní součinitel jako nezávislé proměnné. Pro přípravu těchto závislostí byly zvoleny polynomiální závislosti, např. dle (2) tak, aby výsledné závislosti měly vysoký koeficient determinace R^2 nebo aby co nej přesněji popisovaly průběh dané závislosti [7].

$$DA = \beta_0 + \beta_1 \cdot t + \beta_2 \cdot w + \beta_3 \cdot t^2 + \beta_4 \cdot w^2 + \beta_5 \cdot w \cdot t \quad (2)$$

Kde:

DA je aspekt trvanlivosti, $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5$ jsou empiricky stanovené koeficienty [-], t je stáří [dny] a w je vodní součinitel [-]

Po stanovení závislostí aspektů trvanlivosti byla k-hodnota stanovena pomocí optimalizační úlohy. Aby bylo možné vypočítat k-hodnotu pro jednotlivé aspekty trvanlivosti tak byl ve výše zmíněné závislosti (2) vodní součinitel w nahrazen závislostmi dle (3) [7].

$$w = \frac{w_a}{c + k \cdot a} \quad (3)$$

Tím získáme upravenou rovnici (2):

$$DA = \beta_0 + \beta_1 \cdot t + \beta_2 \cdot \left(\frac{w_a}{c + k \cdot a} \right) + \beta_3 \cdot t^2 + \beta_4 \cdot \left(\frac{w_a}{c + k \cdot a} \right)^2 + \beta_5 \cdot \left(\frac{w_a}{c + k \cdot a} \right) \cdot t \quad (4)$$

Jako cílová funkce optimalizační úlohy byla zvolena absolutní hodnota rozdílu reálně naměřené vlastnosti cementové malty a vypočtené vlastnosti ze závislosti dané vlastnosti na stáří a vodním součiniteli (5). Následně byla jako parametr této funkce zvolena k-hodnota [7].

$$f_{(k)} = |DA_C - DA_R| \quad (5)$$

Kde:

$f_{(x)}$ je cílová funkce optimalizační úlohy, DA_C je vypočítaná hodnota dané vlastnosti podle rovnice (4), DA_R je reálná naměřená hodnota daného aspektu trvanlivosti.

Po zvolení parametrů a cílové funkce byly stanoveny k-hodnoty pomocí funkce solver v MS Excel tak, aby absolutní rozdíl mezi vypočtenou hodnotou dané vlastnosti a reálnou hodnotou této vlastnosti byl co nejmenší [7].

3. Experimentální část

V této části jsou uvedené výsledky zkoušek provedených na cementových maltách. Dále jsou zde uvedeny jednotlivé závislosti pro zkoušené aspekty trvanlivosti a stanovené k-hodnoty.

3.1 Pevnost v tlaku

V tabulce 2 jsou uvedeny pevnosti v tlaku a následně v tabulce 3 jsou uvedeny indexy účinnosti elektrérenského popílku Opatovice.

Tabulka 2: Pevnost v tlaku cementových malt

Pevnost v tlaku [MPa]	7	28	60	90
R-II-1	47,7	59,2	60,9	64,7
R-II-2	39,7	51,7	60,7	64,0
R-II-3	37,0	46,4	56,4	61,1
A-II-10	40,1	52,1	59,0	62,6
A-II-20	38,2	48,1	57,3	62,0
A-II-30	34,8	43,8	56,7	61,6

Tabulka 3: Index účinnosti pro elektrérenská popílek

Index účinnosti [%]	7	28	60	90
A-II-10	101,0	100,8	97,2	97,8
A-II-20	96,2	93,0	94,4	96,9
A-II-30	87,7	84,7	93,4	96,3

Průběh pevnosti v tlaku pro cementové malty bez elektrérenského popílku s různými vodními součiniteli odpovídá očekávanému průběhu. Tedy se zvyšujícím se množstvím záměsové vody ve směsi se snižuje pevnost v tlaku. Pomocí těchto hodnot byla sestavena funkce pevnosti v tlaku uvedená níže.

Podobný průběh pevností je i s elektrérenským popínkem Opatovice. S jeho zvyšujícím se množstvím ve směsi se snižuje její pevnost v tlaku. Ovšem pro náhradu cementu 10 % je ve stáří 7 a 28 dní dosaženo vyššího indexu účinnosti než 100 %, ale je potřeba podotknout, že 10% náhrada je tak nízká, že se zde neprojeví výrazný vliv elektrérenského popílku na vlastnosti směsi.

Funkce pevnosti v tlaku:

$$f(w, t) = 86,76 - 78,69 \cdot w - 2,76 \cdot t - 52,04 \cdot w^2 + 14,08 \cdot w \cdot t - 0,01 \cdot t - 13,59 \cdot w^2 \cdot t + 0,0006 \cdot w \cdot t^2 + 0,0001 \cdot t^3$$

$$R^2 = 0,99$$

Funkce pevnosti v tlaku závislá na vodním součiniteli a stáří má vysoký koeficient determinace a to 0,99.

Následující tabulky 4 a 5 uvádějí rozdíl skutečných, naměřených hodnot pevnosti v tlaku a jejich rozdílu oproti hodnotám vypočítaným pomocí rovnice pevnosti v tlaku.

Tabulka 4: Rozdíl skutečné a vypočtené pevnosti v tlaku pro různé vodní součinitele

Receptura	R-II-1				R-II-2				R-II-3			
Stáří [Dny]	7	28	60	90	7	28	60	90	7	28	60	90
Skutečná	47,7	59,2	60,9	64,7	39,7	51,7	60,7	64,0	37,0	46,4	56,4	61,1
Vypočtená	48,3	58,8	72,6	98,5	40,1	52,8	69,9	99,0	36,1	48,9	66,1	95,4
Rozdíl	-0,6	0,4	-11,7	-33,8	-0,4	-1,1	-9,2	-35,0	0,9	-2,5	-9,7	-34,3

Tabulka 5: Rozdíl skutečné a vypočtené pevnosti v tlaku pro různé náhrady cementu

Receptura	A-II-10				A-II-20				A-II-30			
Stáří [Dny]	7	28	60	90	7	28	60	90	7	28	60	90
Skutečná	40,1	52,1	59,0	62,6	38,2	48,1	57,3	62,0	34,8	43,8	56,7	61,6
Vypočtená	40,1	52,1	61,7	90,5	38,2	48,1	57,3	68,8	34,8	43,8	56,7	61,6
Rozdíl	0,0	0,0	-2,7	-27,9	0,0	0,0	0,0	-6,8	0,0	0,0	0,0	0,0

Můžeme si všimnout, že k nejvyšším rozdílům skutečné a vypočtené pevnosti v tlaku pro různé vodní součinitele dochází zejména pro stáří 60 a 90 dní. Kvůli této odchylce dochází z vysokým rozdílům těchto hodnot i pro receptury s elektrárenským popílkem ve stáří 90 dní. Tyto rozdíly následně ovlivňují stanovené k-hodnoty uvedené v tabulce 6.

Tabulka 6: Stanovené k-hodnoty dle pevnosti v tlaku

k-hodnota dle pevnosti v tlaku [-]		7	28	60	90
Dle vzorce (1)	A-II-10	0,81	0,89	0,89	0,80
	A-II-20	0,89	0,74	0,78	0,85
	A-II-30	0,76	0,62	0,66	0,88
Dle optimalizační funkce	A-II-10	1,00	0,89	0,00	0,00
	A-II-20	0,86	0,67	0,34	0,00
	A-II-30	0,76	0,63	0,55	0,26
Rozdíl k-hodnot [-]	A-II-10	-0,19	0,00	0,89	0,80
	A-II-20	0,03	0,07	0,44	0,85
	A-II-30	0,01	-0,01	0,11	0,62

V tabulce 6 jsou uvedené k-hodnoty stanovené dle vzorce 1, dle optimalizační funkce a jejich rozdíly. Jak vychází z vysokých rozdílů naměřených pevností v tlaku a stanovených pomocí funkce pevnosti, tak k největším odchylkám stanovených k-hodnot dochází opět pro stáří 60 a 90 dní. K-hodnoty stanovené dle optimalizační

funkce pro receptury A-II-10 ve stáří 60 a 90 dní a recepturu A-II-20 ve stáří 90 dní vyšla k-hodnota 0. To je způsobené právě vysokými rozdíly stanovených a vypočtených pevností v tlaku uvedených v tabulkách 4 a 5. Díky těmto odchýlkám je i nízká korelace mezi indexy účinnosti a k-hodnotou stanovenou optimalizační funkcí. V případě k-hodnoty stanovené pomocí vzorce 1 se jedná o silnou kladnou korelaci.

3.2 Hloubka průsaku tlakovou vodou

Následující kapitola je věnována stanovení k-hodnoty pomocí hloubky průsaku tlakovou vodou. Stanovené hloubky průsaku pro jednotlivé receptury jsou uvedené v tabulce 7.

Tabulka 7: Hloubka průsaku tlakovou vodou cementových malt

Hloubka průsaku tlakovou vodou [mm]	7	28	60	90
R-II-1	10	8	8	7
R-II-2	16	11	9	8
R-II-3	18	15	11	10
A-II-10	18	16	11	6
A-II-20	20	16	10	6
A-II-30	21	18	9	10

V tomto případě také odpovídá průběh hloubky průsaku tlakovou vodou množství vody a množství elektrárenského popílku ve směsi.

Funkce pevnosti hloubky průsaku tlakovou vodou:

$$f(w, t) = 28,16 - 155,52 \cdot w + 1,44 \cdot t - 266,92 \cdot w^2 - 5,39 \cdot w \cdot t - 0,002 \cdot t^2 + 3,88 \cdot w^2 \cdot t + 0,01 \cdot w \cdot t^2$$

$$R^2 = 0,93$$

V tomto případě je koeficient determinace nižší, než u pevnosti v tlaku a to 0,93.

Následující tabulky 8 a 9 zobrazují rozdíly mezi skutečnou hloubkou průsaku a vypočtenou pomocí rovnice hloubky průsaku tlakovou vodou závislé na vodním součiniteli a stáří vzorků.

Tabulka 8: Rozdíl skutečné a vypočtené hloubky průsaku pro různé vodní součinitele

Receptura Stáří [Dny]	R-II-1				R-II-2				R-II-3			
	7	28	60	90	7	28	60	90	7	28	60	90
Skutečná	9,5	8,0	7,5	6,5	16,0	10,5	9,0	8,0	18,0	15,0	11,0	10,0
Vypočtená	9,6	8,2	10,7	18,1	15,3	11,8	12,3	19,2	18,6	14,5	14,5	21,6
Rozdíl	-0,1	-0,2	-3,2	-11,6	0,7	-1,3	-3,3	-11,2	-0,6	0,5	-3,5	-11,6

Tabulka 9: Rozdíl skutečné a vypočtené hloubky průsaku tlakovou vodou pro různé náhrady cementu

Receptura Stáří [Dny]	A-II-10				A-II-20				A-II-30			
	7	28	60	90	7	28	60	90	7	28	60	90
Skutečná	17,5	15,5	11,0	6,0	20,0	16,0	10,0	6,0	21,0	18,0	9,0	9,5
Vypočtená	17,5	15,5	11,0	17,8	20,0	16,0	10,6	17,8	21,0	18,0	10,6	17,8
Rozdíl	0,0	0,0	0,0	-11,8	0,0	0,0	-0,6	-11,8	0,0	0,0	-1,6	-8,3

V tomto případě stejně jako u pevnosti v tlaku dochází k největším odchylkám změřených a vypočtených hloubek průsaku tlakovou vodou ve stářích 60 a 90 dní. Stanovené k-hodnoty jsou uvedeny v tabulce 10.

Tabulka 10: k-hodnota pro hloubku průsaku tlakovou vodou

k-hodnota dle hloubky průsaku tlakovou vodou [-]	7	28	60	90
A-II-10	0,60	0,26	1,66	2,06
A-II-20	0,62	0,59	1,66	1,53
A-II-30	0,70	0,63	1,44	1,35

K-hodnoty stanovené pomocí hloubky průsaku tlakovou vodou dosahují ve stáří 60 a 90 dní hodnot vyšších než 1. Ovšem téměř ve všech případech nedosahovala hloubka průsaku tlakovou vodou nižších hodnot, než u referenční receptury R-II-2. Jedná se však o tak malé rozdíly (1-2 mm), že dané k-hodnoty by se daly uvažovat rovné 1, nikoli však 1,5-2 jak je uvedeno v tabulce 10. Stanovené k-hodnoty mají silnou zápornou korelaci s průběhem hloubky průsaku tlakovou vodou.

3.3 Hloubka karbonátace

V tabulce 11 jsou uvedeny stanovené hloubky karbonátace pro jednotlivé vodní součinitele a jednotlivé náhrady cementu elektrárenským popílkem Opatovice.

Tabulka 11: Hloubka karbonátace cementových malt

Hloubka karbonátace [mm]	7	28	60	90
R-II-1	3,69	1,67	1,02	0,55
R-II-2	5,42	2,02	1,08	0,75
R-II-3	5,75	2,15	1,17	0,85
A-II-10	6,17	3,12	1,35	0,55
A-II-20	9,00	3,01	1,18	0,92
A-II-30	8,25	2,75	0,91	0,80

Hloubka karbonátace se stejně jako hloubka průsaku tlakovou vodou zvyšuje se zvyšujícím se vodním součinitelem. Pro směsi s elektrárenským popílkem však dochází k nižším hloubkám karbonátace pro náhradu 30 % cementu, než pro náhradu 20 % popílku. To může být způsobeno tím, že elektrárenský popílek využívá portlandit vzniklý hydratací portlandského slínku pro svoji vlastní pucolánovou reakci.

Funkce pevnosti hloubky karbonátace:

$$f(w,t) = -3,09 - 16,76 \cdot w - 0,01 \cdot t - 13,33 \cdot w^2 - 0,13 \cdot w \cdot t - 0,01 \cdot t^2 + 0,099 \cdot w^2 \cdot t + 0,0002 \cdot w \cdot t^2$$

$$R^2 = 0,99$$

V případě hloubky karbonátace opět vyšel vysoký koeficient determinace (0,99). Pomocí této funkce byly vypočteny teoretické hloubky karbonátace pro jednotlivé vodní součinitele a náhrady cementu elektrárenským popílkem a jejich odchylky od skutečných hodnot jsou uvedeny v tabulkách 12 a 13.

Tabulka 12: Rozdíl skutečné a vypočtené hloubky karbonátace pro různé vodní součinitele

Receptura	R-II-1				R-II-2				R-II-3			
Stáří [Dny]	7	28	60	90	7	28	60	90	7	28	60	90
Skutečná	3,69	1,67	1,02	0,55	5,42	2,02	1,08	0,75	5,75	2,15	1,17	0,85
Vypočtená	3,78	1,82	1,14	1,52	5,05	2,32	1,40	1,83	5,49	2,49	1,49	1,95
Rozdíl	-0,09	-0,15	-0,12	-0,97	0,37	-0,30	-0,32	-1,08	0,26	-0,34	-0,32	-1,10

Tabulka 13: Rozdíl skutečné a vypočtené hloubky karbonátace pro jednotlivé náhrady cementu

Receptura	A-II-10				A-II-20				A-II-30			
Stáří [Dny]	7	28	60	90	7	28	60	90	7	28	60	90
Skutečná	6,17	3,12	1,35	0,55	9,00	3,01	1,18	0,92	8,25	2,75	0,91	0,80
Vypočtená	5,43	2,49	1,41	1,81	6,08	2,62	1,47	1,81	6,20	2,70	1,28	1,85
Rozdíl	0,74	0,63	-0,06	-1,26	2,92	0,39	-0,29	-0,90	2,05	0,05	-0,37	-1,05

V tomto případě, stejně jako u pevnosti v tlaku a hloubky průsaku tlakovou vodou dochází k nejvyšším odchylkám naměřených a vypočtených hodnot ve stáří 90 dní. Odchylka těchto hodnot je 0,90-2,05 mm. K-hodnoty jsou uvedeny v tabulce 14.

Tabulka 14: k-hodnota pro hloubku karbonátace

k-hodnota dle hloubky karbonátace [-]	7	28	60	90
A-II-10	0,52	0,45	0,90	1,08
A-II-20	0,25	0,49	0,78	1,03
A-II-30	0,32	0,53	1,24	0,96

Stanovené k-hodnoty odpovídají průběhu hloubky karbonátace na vzorcích s elektrárenským popílkem. Nejvyšších k-hodnot dosahují vzorky s 10 a 30% náhradou cementu elektrárenským popílkem Opatovice. Pro recepturu A-II-20 dosahují k-hodnoty ve stáří 90 dní hodnoty vyšší, než pro recepturu A-II-30, i když je hloubka karbonátace nižší pro recepturu A-II-30. To je způsobeno zohledněním množství elektrárenského popílku ve výpočtu k-hodnoty a také vysokými odchylkami vypočtených hodnot hloubky karbonátace pro stáří 90 dní uvedených v tabulkách 12 a 13.

4. Diskuse

Ze stanovených vlastností cementových malt byly sestaveny funkce pro jednotlivé vlastnosti závislé na vodním součiniteli a stáří vzorků. Všechny tyto funkce měly vysoký koeficient determinace (vyšší než 0,9), ale ve všech případech došlo k výrazným odchylkám vypočítaných hodnot jednotlivých vlastností zejména ve stáří 60 a 90 dní. Z toho důvodu jsou stanovené k-hodnoty hlavně pro stáří 90 dní velmi nespolehlivé, i když silně korelují s průběhy pevností v tlaku, hloubkami průsaku tlakovou vodou, nebo hloubkou karbonátace. Pro snížení těchto odchylek a následné zpřesnění hodnoty k pro jednotlivé vlastnosti by bylo možné stanovit dané vlastnosti i ve vyšším stáří (např. 120 dní) a tím by se zpřesnil průběh daných funkcí a snížil se

rozdíl naměřených a vypočtených hodnot pro stáří 90 dní. Díky tomu by byly stanovené k-hodnoty pro toto stáří přesnější a jejich použití v praxi bezpečnější.

Pro použití těchto k-hodnot pro expoziční třídy XC a XD je stále potřeba jejich ověření na betonových směsích určených do těchto expozičních tříd. Vhodnost stanovené k-hodnoty lze poté jednoduše ověřit pomocí namíchání několika různých betonů se stejným ekvivalentním pojivem (referenční bez elektrárenského popílku, a směsi s elektrárenským popínkem, která má stejné množství ekvivalentního pojiva spočítaného pomocí k-hodnoty) a posoudit ekvivalentní vlastnosti např. pomocí koncepce ekvivalentních vlastností. Při kladném posouzení ekvivalentních vlastností lze říci, že dané k-hodnoty jsou bezpečné pro použití v praxi.

5. Závěr

Závěrem lze potvrdit že:

- Stanovené k-hodnoty silně korelují s průběhy daných vlastností
- Vysoké odchylky naměřených a vypočtených hodnot po 90 dnech
- Zpřesnění funkcí jednotlivých vlastností lze rozšířením o stáří po 120 dnech.

6. Poděkování

Příspěvek vznikl v rámci projektu TAČR ČR č. SS07010045 „Využití stavebních a demoličních odpadů pro výrobu cementových kompozitů se solidifikačním účinkem a sníženým dopadem na životní prostředí“

7. Použitá literatura

- [1] NEWMAN, John a CHOO, Ban Seng, ed. *Advanced Concrete Technology: Constituent Materials*. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2003. ISBN 0-7506-5103-2.
- [2] ČSN P 73 2404, *Beton - Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda - Doplňující informace*. Praha: Centrum technické normalizace, 2021.
- [3] CEN/TR 16639: 2014 Technická normalizačná informácia "Použitie koncepcie k – hodnoty, koncepcie ekvivalentných vlastností betónu a kombinovanej koncepcie ekvivalentných vlastností betónu"
- [4] TEPLÝ, Břetislav; CHROMÁ, Markéta; ROVNANÍKOVÁ, Pavla a STRAUSS, Alfred. Probabilistic Modelling and the k-Value Concept. Online. Key Engineering Materials. 2014, yr. 635, p. 198-203. ISSN 1662-9795. Available from: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.635.198>. [cit. 2026-08-10].
- [5] ČSN EN 206+A2. Beton - Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda. Praha: Centrum technické normalizace, 2021.
- [6] BADOGIANNIS, E.; PAPADAKIS, V.G.; CHANIOTAKIS, E. a TSIVILIS, S. Exploitation of poor Greek kaolins: strength development of metakaolin concrete and evaluation by means of k-value. Online. Cement and Concrete Research. 2004, roč. 34, č. 6, s. 1035-1041. ISSN 00088846. Available form: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2003.11.014>. [cit. 2026-08-10].
- [7] ŠPERLING, Petr; HELA, Rudolf; HUBÁČEK, Adam; STARÁ, Tereza a DVOŘÁK, Richard. Possibilities of K-Value Determination for Active Admixtures with Respect to Durability. Online. Materials. 2025, roč. 18, č. 10, s. 2227. ISSN 1996-1944. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/ma18102227>. [cit. 2026-08-10].

TRI DESAŤROČIA V BETÓNE: DLHODOBÝ TEST ÚČINNOSTI ORGANICKÝCH INHIBÍTOROV KORÓZIE

L'udovít Sidó¹ – Ing. Branislav Augustín²

Článok sumarizuje výsledky 30-ročného terénneho experimentu zameraného na trvanlivosť betónu v agresívnom prostredí horského priechodu San Bernardino. V podmienkach dlhodobého pôsobenia mrazu a posypových solí porovnáva správanie troch variantov: referenčného betónu, zmesi s mikrosilikou a betónu obohateného o organický korózný inhibítor na báze amino-alkoholov. Štúdia pravidelnými elektrochemickými meraniami a analýzou prieniku chloridov približuje mechanizmus účinnosti prísady a jej prínos pre navrhovanie udržateľných inžinierskych stavieb.

1 Úvod

Horský priechod „San Bernardino“ predstavuje extrémne záťažové prostredie charakteristické poveternostnými vplyvmi, nízkymi teplotami a intenzívnym pôsobením posypových solí. V tejto lokalite bola v roku 1995 zrealizovaná dlhodobá terénna štúdia zameraná na sledovanie účinnosti rôznych opatrení na zvýšenie trvanlivosti betónových konštrukcií vystavených pôsobeniu chloridov. Predmetom experimentu je trojica betónových stien, z ktorých každá reprezentuje iný prístup k ochrane výstuže. Prvá stena slúži ako referenčná, druhá obsahuje cementovú matricu modifikovanú mikrosilikou a tretia je obohatená o organický korózný inhibítor na báze amino-alkoholov. Hlavným cieľom experimentu je reálne overenie odolnosti betónu voči korózii výstuže v podmienkach dlhodobého zaťaženia agresívnym prostredím.

2 Metodika a návrh experimentu

Testovacie prvky (označené R, CI a SF) boli navrhnuté vo forme dvoch horizontálne odliatych platní spojených do tvaru písmena L. Konštrukcia obsahuje dve vrstvy oceľovej výstuže z prútov s priemerom 12 mm pri vzájomnom osovom odstupe 200 mm.

Experiment porovnáva tri varianty materiálového zloženia:

- **R (referenčný betón):** Obsahuje štandardný portlandský cement, superplastifikátor a prevzdušňovaciu prísadu bez pridaných ochranných látok proti korózii.
- **CI (betón s organickým inhibítorom):** Zmes obohatená o multifunkčný inhibítor korózie na báze amino-alkoholov (dávkovanie cca 12 kg/m³), ktorý sa primiešava do čerstvého betónu (FerroGard® 901 S).
- **SF (betón s mikrosilikou):** Zmes s obsahom kremičitého úletu zameraná na fyzikálne zhutnenie cementovej matrice a zníženie jej priepustnosti.

1 L'udovít Sidó – obchodný manažér pre betón, Sika Slovensko s.r.o., Pri Majeri 21, 83106 Bratislava, tel.: 0903666367, e-mail: sido.ludovit@sk.sika.com

2 Ing. Branislav Augustín – manažér pre kľúčové projekty, Sika Slovensko s.r.o., Pri Majeri 21, 83106 Bratislava, tel.: 0903788009, e-mail: augustin.branislav@sk.sika.com



Obrázok 1 – Testovacie prvky (San Bernardino, Švajčiarsko)

Všetky prvky sú osadené elektrochemickými senzormi (galvanickými článkami) a výstužou umiestnenou v rôznych hĺbkach krytia (15, 25 a 35 mm). Metodika sledovania zahŕňa pravidelné merania profilov prieniku chloridov, galvanických prúdov, potenciálov výstuže a merného elektrického odporu betónu (obrázok 2a a 2b). V priebehu životnosti experimentu sa uskutočnili aj vizuálne kontroly spojené s čiastočným obnažením štruktúry.



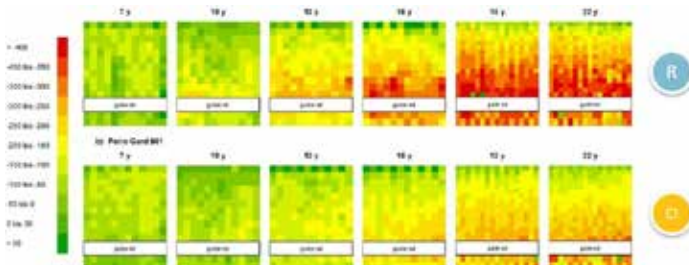
Obrázok 2a a 2b – Testovacie prvky s výstupom meracích senzorov a so zberom dát

3 Výsledky dlhodobých skúšok (po 18 a 22 rokoch)

Vyhodnotenie výsledkov po osemnástich a dvadsiatich dvoch rokoch expozície preukázalo výrazné rozdiely v správaní jednotlivých variantov:

- **Referenčný betón (R):** Korózne procesy na výstuži (pri minimálnom krytí 15 mm) sa prejavili už po 8 až 9 rokoch. Transport chloridov viedol k vzniku výkvetov, napučaniu a postupnému odlupovaniu krycej vrstvy betónu.
- **Betón s mikrosilikou (SF):** Zabezpečenie hustejšej cementovej matrice preukázateľne spomalilo transport chloridov do hĺbky prvku. Prvé zmeny potenciálov výstuže sa objavili v časovom horizonte 12 až 15 rokov, pričom korózne prejavy boli miernejšie ako v referenčnom variante. Fyzikálna úprava matrice predĺžila počiatočnú životnosť konštrukcie, avšak bez ďalšej chemickej ochrany nedokázala pri minimálnom krytí 15 mm dlhodobo zastaviť pôsobenie agresívnych látok.
- **Betón s vybraným inhibítorom korózie (CI):** Výstuž v tomto variante vykazovala aj po 22 rokoch v identických hĺbkach krytia minimálne alebo žiadne známky korózie. Hoci namerané koncentrácie chloridov dosahovali v hĺbke približne 10 – 15 mm pri prepočte podľa použitej receptúry približne 0,73 – 1,10% vzhľadom na hmotnosť cementu, výstuž v betóne s inhibítorom zostávala aj po 22 rokoch expozície v podstate bez korózie. Prognóza modelov ukazuje, že čas potrebný na štart korózie sa pri použití tejto prísady predĺžil približne trojnásobne v porovnaní s referenčným betónom.

Merania potvrdzujú, že samotné fyzikálne zhutnenie matrice (SF) poskytuje čiastočný benefit, avšak kombinácia hustej štruktúry a chemického inhibítora (CI) vykazuje najvyššiu efektivitu pri spomaľovaní degradačných procesov.



Obrázok 3 – Vizualizácia dát experimentu

4 Mechanizmus účinnosti testovaného inhibítora

Použitý organický inhibítor (FerroGard® 901 S) na báze amino-alkoholov funguje ako kvapalná prísada do čerstvého betónu, ktorá je schopná migrovať pórovým systémom až k povrchu ocelevej výstuže. Ochranný mechanizmus pôsobí na dvoch úrovniach:

1. Molekuly inhibítora sa adsorbujú na povrchu ocele, kde vytvárajú stabilný film. Tento film vytláča chloridové ióny z väzbových miest a bráni ich priamemu kontaktu so železom.
2. Látka funguje anódovo-katódovo, čím tlmí polarizačné reakcie – potláča oxidáciu železa na anóde a redukciu kyslíka na katóde.

Prísada nemá negatívny vplyv na hydratáciu cementu ani na výslednú pevnosť betónu v tlaku. Laboratórne merania preukázali, že celková rýchlosť korózie v prítomnosti inhibítora klesá o viac ako 60 % v porovnaní s neošetrenými zmesami.



Obrázok 4 – Vizuálne porovnanie výsledkov experimentu

5 Záver

Dlhodobé sledovanie reálnych konštrukcií v náročných horských podmienkach prináša pre stavebnú prax nasledujúce zistenia:

1. **Zvýšenie trvanlivosti:** Aplikácia aktívnych prísad do zmesi preukázateľne predlžuje bezporuchové obdobie konštrukcií vystavených pôsobeniu mrazu a solí, čím znižuje potrebu nákladných sanácií.
2. **Technologická flexibilita:** Chemická ochrana výstuže formou prísad do betónu umožňuje efektívne čeliť korózii bez nutnosti neúmerneho zväčšovania hrúbky krycej vrstvy betónu tam, kde to geometrické podmienky neumožňujú.
3. **Udržateľnosť:** Predĺženie životnosti betónových prvkov bez nutnosti drastického zvyšovania spotreby cementu prispieva k efektívnemu využívaniu zdrojov a znižovaniu environmentálnej záťaže.

Výsledky 30-ročného sledovania potvrdzujú, že prevencia korózie prostredníctvom kombinácie vhodne navrhutej cementovej matrice a účinných prísad predstavuje spoľahlivý nástroj pre navrhovanie trvanlivých inžinierskych stavieb.

FerroGard® 901 S je jedným z pilierov širšieho konceptu Total Corrosion Management (TCM) od spoločnosti Sika. TCM kombinuje rôzne produkty a technológie na prevenciu a sanáciu korózie od prísad do čerstvého betónu cez povrchové inhibítory až po galvanické anódy a ochranné nátery. Cieľom je identifikovať príčinu korózie (chloridy, karbonátacia, elektrochemická rozdielnosť) a zvoliť optimálnu kombináciu riešení. V našom článku sme sa zamerali predovšetkým na korózný inhibítor vo vnútri betónu.

Literatúra

- [1] STN EN 1992-1-1: *Navrhovanie betónových konštrukcií. Časť 1-1 : Všeobecné pravidlá a pravidlá pre pozemné stavby*. Bratislava, 2006.
- [2] SIKA: Total Corrosion Management Technologies and Sika FerroGard® 901 S (product data sheet and application manual)

VYUŽITIE PRÍMESÍ A FILEROV PRI VÝROBE KVALITNÉHO BETÓNU S OHĽADOM NA EKOLÓGIU A EKONOMIKU VÝROBY BETÓNU

Ing. Martin Šuster¹

Výroba betónu v dnešnej dobe podlieha tlakom na ekológiu a ekonomiku výroby, ceny vstupných surovín neustále rastú, počíta sa uhlíková stopa vstupných materiálov a vyvíja sa tlak na jej znižovanie. A to vytvára podmienky pre rozvoj technológií na používanie alternatívnych vstupných materiálov pre výrobu betónu, ktoré sú lacnejšie a ekologickejšie. Toto sa týka cementu a jeho jednotlivých zložiek, ale aj kameniva, kde sa do povedomia čím ďalej tým viac dostávajú filery a recykláty. Výrobcom prísad musia reagovať na tento trend vývojom nových produktov, pretože zmeny vo vlastnostiach jemných podielov v betóne zásadne ovplyvňujú aj vlastnosti betónu v čerstvom aj zatvrdnutom stave. A prísady do betónu dokážu tieto zmeny vlastností betónu korigovať.

1 Rozdelenie prímiesí podľa normy STN EN 206+A2: 2021

Prímes je práškovitá anorganická zložka, ktorá sa používa v betóne na zlepšenie určitých vlastností alebo na dosiahnutie špeciálnych vlastností [1]. Rozdeľujeme ich na prímiesi typu I, ktoré v zmesi neinteragujú, alebo len málo interagujú s vápenatými zložkami cementu, sú zvané aj inertné a prímiesi typu II, nazývané aj puzolány alebo latentne hydraulické prímiesi. Prímiesi typu II v čerstvom betóne interagujú s cementom, alebo iným aktivátorom ("budičom") a vytvárajú pevnostné štruktúry, dokonca za presných podmienok stanovených normou je možné nimi nahradiť určité množstvo cementu.

Použitie prímiesí typu II je zväčša spojené so spomalením vývoja začiatočných pevností, znížením hydratačného tepla a rýchlosti jeho vývoja. Ich aplikácia ale vykazuje zlepšenie nepriepustnosti a trvanlivosti betónu [2] a v neposlednom rade zvyšuje neskoré pevnosti betónu, čo sa prejavuje jej nárastom po 56 resp. 90 dňoch. Táto vlastnosť sa dá výhodne použiť pri realizácii masívnych konštrukcií a pod.

1.1 Práca s konkrétnymi prímiesami v skúšobnom laboratóriu Betón Racio

Keďže sa v Európe pri spaľovaní uhlia zaviedol proces tzv. denitrifikácie spalín a teda elektrárenských popolčiekov, tie sa stali pre výrobu betónu takmer nepoužiteľné. Výrobcom betónu si však už na prímiesi do betónu zvykli a vedľa využiť ich potenciál. Používanie alebo práve nepoužívanie prímiesí typu II v rôznych klimatických podmienkach v priebehu roka poskytovalo výrobcovi betónu možnosť optimalizovať vlastnosti betónu počas roku tak, aby bol zákazník vždy spokojný s vlastnosťami dodaného betónu. Pri tejto snahe participuje pomocou prísad a prímiesí do betónu aj spoločnosť Betón Racio. Skúšaním prímiesí a navrhovaním receptúr s prímiesami v kombinácii s vývojom špeciálne navrhnutých prísad „na mieru“ pomáhame výrobcovi betónu dodržať požiadavky stavby, ekonómiu výroby a v neposlednom rade aj nezanedbávať ekologické hľadiská.

¹ Martin Šuster, Ing. Betón Racio, s.r.o., Skladová 2/c, 917 01 Trnava, Slovensko, tel.č.: +421 918 679 009, e – mail: suster@betonraccio.sk,

Spoločnosť Betón Racio, s.r.o., sa zaoberá výrobou a vývojom prísad do betónu, disponuje akreditovaným skúšobným betonárskym laboratóriom a zaoberá sa aj vývojom receptúr pre výrobu betónu v centrálnych betonárňach po celom Slovensku. Požiadavka zákazníkov na zapracovávanie nových neštandardných prímiesí do týchto receptúr nie je vôbec ojedinelá. Tiež producenti prímiesí oslovujú naše pracovisko vývoja s požiadavkou možného využitia ich produktov v kombinácii s našimi superplastifikátormi pri výrobe transportbetónu. Autorizáciou na skúšky prímiesí, ktorou disponujeme, sme schopní pomôcť producentom prímiesí pri ich distribúcii, skúšaní a certifikácii ich produktov. Vieme tak pomôcť legislatívne aj prakticky. Ako bývalý distribútor popolčeka do betónu máme za 30 rokov svojej existencie veľké skúsenosti s aplikáciou a skúšaním rôznych druhov prímiesí a tiež filerov, ktoré sa prepravujú cisternami a skladujú v silách na betonárňach.

Návrh receptúr na výrobu betónu s obsahom prímiesi v prvom kroku ovplyvňuje producent prímiesi, ktorý určuje zásady dávkovania prímiesi ak nie sú zhodné so štandardným postupom, najčastejšie porovnávaným s dávkovaním popolčeka do betónu. V druhom kroku prichádza na rad skúšanie prímiesi. Index aktivity a jemnosť prímiesi, ktorých vykonanie poskytujeme, dostatočne identifikujú potenciál prímiesi a tak technológ betónu môže na základe týchto indícií vypracovať receptúru na výrobu betónu. Tá sa následne vyskúša v laboratóriu, výsledky sa vyhodnotia a vypracuje sa konečný dokument „skúška typu výrobku“. Následne výrobca betónu požiada o vydanie certifikátu a vyhlásením o parametroch výrobku sa celý proces ukončí.

1.1.1 Projekt FOUNDRYCEM

Pri výrobe ferozliatin v Štúrove spoločnosťou SKC Foundry vzniká vedľajší produkt, ktorý sa zachytáva filtrami a uskladňuje sa v zásobníkoch. Časť tejto produkcie sa vracia naspäť do výroby, ale zásobníky sa pomaly plnia a fabrika v minulosti nemala inú možnosť, len na vysoké náklady skládkať prebytočný produkt na riadených skládkach. Potom prišiel nápad so zapracovávaním produktu do betónu a boli sme poverení hľadaním spôsobu využitia tohto produktu.

Po preskúmaní materiálu sa tento javil ako výhodný pri výrobe betónu a to z hľadiska aktivity, reologických vlastností betónu, lepšej čerpaceľnosti a aj ekonomicky, keď pri úspore cementu aj prejavili aj dostatočné hodnoty pevnosti betónu po 28 dňoch a aj ďalší nárast pevnosti v čase. Nastal čas legislatívnych úkonov, aby táto prímies typu II mohla byť používaná v bežnej legálnej výrobe. Pre tento účel bola oslovená spoločnosť TSUS n.o., ktorá vypracovala pre túto prímies technické posúdenie v zmysle legislatívy SR.

Tab. 1 Niektoré vlastnosti prímiesi FOUNDRYCEM

Podstatná vlastnosť	Index Aktivity po 28 d	Jemnosť
STN EN 450-1	75 %	max. 40 %
SK TP 22/0035	55 %	max. 95 %
Nameraná hodnota	57,2 %	87,6 %

Na základe tohto dokumentu prebiehajú na pravidelnej báze skúšky tohto materiálu, na ktorých sa popri TSUS podieľa autorizačne aj spoločnosť Betón Racio. V tomto čase je však z dôvodu zmeny podstatnej vlastnosti používanie tejto prímiesi pozastavené. Skúšanie a overovanie v laboratóriu však neustalo. Sú pripravené

podklady na skúšku typu výrobku pre betóny C16/20 – XC1, C20/25 – XC2 a C25/30 – XC3 s maximálnym priesakom 50 mm.

Pri používaní tejto prímеси sa najviac osvedčili superplastifikátory na báze PCE s predĺženou spracovateľnosťou, ale aj kombinované superplastifikátory so zložkami PCE a lignosulfonanu. Je vhodnejšie a ekonomickejšie používať superplastifikátory s vyšším podielom účinnej látky, aby pri väčšej redukcii vody bol dosiahnutý nižší vodný súčiniteľ. S tým je spojený nárast pevnosti, ale zabezpečujú sa aj ďalšie vlastnosti ako je mrazuvzdornosť, chemická odolnosť a trvanlivosť všeobecne. Podľa SK TP 22/0035 je možné používať túto prímесь do všetkých stupňov vplyvu prostredia s výnimkou XF4. K – hodnota sa v závislosti od percentuálneho pomeru k cementu pohybuje v hodnotách od 0,2 do 0,4. Použitím prímеси FOUNDRYCEM je možné nahradiť časť dávky cementu CEM II/B-S v betóne do 30% hmotnosti. Vykazuje pozolánovú reaktivitu [3].

1.1.2 Projekt CYMENT

Z dôvodu nedostatku populčeka do betónu v prostredí strednej Európy aj iné spoločnosti hľadajú alternatívy používania prímеси typu II pri bežnej výrobe betónu. Samotné betonárne prejavujú dopyt po týchto materiáloch a často narážajú na problém s ich nedostatkom.

Ako aj v predchádzajúcom prípade, tak aj tu bola spoločnosť Betón Racio oslovená výrobcom prímеси „CYMENT“. Tu sa však nejedná o vedľajší produkt inej výroby, ale prímесь CYMENT je prírodný ťažený materiál priemyselne upravovaný s vopred projektovanými vlastnosťami, ktoré sa pri procese mletia a sušenia upravujú do požadovaných hodnôt. Spoločnosť CYMENT si za pomoci TSUS tiež vypracovala tzv. SK Technické posúdenie a tak sa prímесь môže legálne používať do betónu podľa požiadaviek EN 206. Ďalšia práca pri návrhu receptúr, zvolenie vhodného superplastifikátora a tiež nastavenia systému cement a prímесь v praxi sú už na technológiach a laboratóriách, prípadne na samotných betonárňach. Tak začala aj práca s návrhom receptúr v skúšobnom laboratóriu (ďalej len SL) Betón Racio.

Po privezení vzorky do SL Betón Racio bolo potrebné najskôr overiť deklarované vlastnosti samotnej prímеси. Index aktivity a jemnosť podľa EN 450-1 je ideálny spôsob. Výsledky sú uvedené v tabuľke 2.

Tab. 2 Niektoré vlastnosti prímеси CYMENT

Podstatná vlastnosť	Index aktivity po 28 d	Jemnosť
STN EN 450-1	75 %	max. 40 %
SK TP 25/0022	75 %	max. 15 %
Nameraná hodnota	82,2 %	1,5 %

Vhodnosť superplastifikačnej prísady sa posudzovala na maltičkách s normalizovaným pieskom a skúšaní jej konzistencie na Haegermannovom striasacom stolíku v čase. Po vytipovaní najlepších superplastifikátorov sa tieto ešte overili pri klasickom miešaní betónu v laboratórnej miešačke s následným skúšaním čerstvého aj zatvrdnutého betónu.

Po vyhodnotení kompatibility prísady a prímеси sa pristúpilo k vypracovaniu skúšok typu výrobku. V prvom kole sa vypracovali skúšky na bežné betóny triedy C16/20 - XC1, C20/25 - XC2, C25/30 - XC3 a C30/37 - XC4, XD2. Netradičnou

požiadavkou, ktorá sa stala výzvou pre technológov výrobcu prímеси aj prísady bol návrh receptúry na prevzdušnený betón masívnej konštrukcie špecifikovaným ako C30/37 - XF2, XA1, XC4, XD2 s charakteristickou pevnosťou v tlaku po 90 dňoch, resp. v alternatíve neprevzdušnený betón C30/37 - XA1, XC4, XD2 s charakteristickou pevnosťou v tlaku po 90 dňoch.

Overenie na betonári pri prítomnosti technológov bolo naplánované bezodkladne. Ostrou skúškou bolo následné dodávanie betónu na stavbu bytového domu v Nitre. Výrobca prímеси deklaruje, že táto je vhodná aj do masívnych základových dosiek typu „biela vaňa“ s následným zapracovávaním minerálneho vsypu do povrchu bez vytvorenia ďalšej betónovej vrstvy. Tu vzniká problém, s ktorým sa často v praxi betonárne stretávajú a to sú protichodné požiadavky na betónovú konštrukciu. Na jednej strane je požiadavka nízkeho nárastu pevnosti spojeného aj s nízkym nárastom hydratačného tepla a na druhej strane je požiadavka podlahárskych firiem čo najskôr realizovať vsyp aby nedošlo k degradácii povrchu a následnej delaminácii vsypu. Tiež protichodné požiadavky boli vznesené aj na zvislé steny, ktoré budú vystavené prostrediu XF2. To si vyžaduje prevzdušnenie a zvýšenú dávku spojiva. Toto sa nakoniec zvládlo bez problémov a realizácia prebehla bez reklamácií. Výsledky skúšok jednotlivých pevností v čase vyhovujú požiadavke projektanta a sú uvedené v tabuľke 3.

Tab. 3 Nárast pevností v masívnej konštrukcii bielej vane bytového domu v Nitre.

...dní po betonáži	Požiadavka projektanta	Nameraná hodnota neprevzdušnený betón	Nameraná hodnota prevzdušnený betón
2 d	5,55 MPa	6,2 MPa	3,7 MPa
7 d	14,8 MPa	26,2 MPa	15,6 MPa
14 d	24,05 MPa	37,7 MPa	28,1 MPa
28 d	37 MPa	45,0 MPa	35,2 MPa
56 d	46,26 MPa	50,8 MPa	39,5 MPa
90 d	53,65 MPa	54,3 MPa	43,8 MPa

Biela vaňa je masívna konštrukcia, pri ktorej projektant vzhľadom na obavu z neprimeraného rozvoja trhlin od teplotného namáhania žiada zníženie hydratačného tepla cementu. Pokiaľ je taký cement k dispozícii, je to v poriadku. Požiadavky stavby a projektanta sa však na betonárne dostávajú bohužiaľ často tesne pred betonážou, resp. pár dní pred betonážou. V tomto prípade nie je logisticky možné doviesť špeciálny cement na betonárne včas.

Komunikáciou technológa betonárne s projektantom a stavbyvedúcim je v takom prípade nevyhnutná. Vypracovanie technologického postupu zo strany betonárne, kde sa navrhuje aj alternatíva k cementu s nízkym hydratačným teplom nie je ničím výnimočné. Po schválení návrhu, že sa použije štandardný zmesný portlandský cement s prímесou typu II bolo okrem iných podmienok na stavbe bytového domu v Nitre dohodnuté aj inštalovanie termočlánkov monitorujúcich nárast teploty v masívnej konštrukcii pri povrchu a uprostred konštrukcie ako je vidieť na obrázku 1. Týmto bolo potvrdené, že teplotný gradient medzi povrchom a vnútorom konštrukcie nie je vyšší ako 20°C, kde podľa [4] nedôjde k rozvoju trhlin od teplotného namáhania.



Obr.1 Teploty betónu v konštrukcii od uloženia do 4 dní. Vyššie situovaná modrá – vnútro konštrukcie, nižšie situovaná modrá – okraj konštrukcie, červená – teplota vonkajšieho prostredia.

1.1.3 Projekt fluidný úletový popolček – filer ako pórovité kamenivo

Pri oslovení výrobcou fluidného úletového popolčka o započatí skúšania betónu a overovania kompatibility filera s vybranými superplastifikátormi bola na stole otázka voľného CaO vo fileri. Výrobca ďalej deklaruje stratu žiháním v hodnote max. 11%, čo je viac ako má štandardné spojivo alebo prímies do betónu. Otázka nebezpečného rozpínania je na mieste, ale na pracoviskách SL Betón Racio nedisponujeme vybavením a skúškami, ktoré by mohli deklarovať vlastnosti prímies týmto spôsobom a takto hodnotiť prímies. Preto necháme priestor kompetentným sa na túto tému vyjadriť. Výrobca v rámci know – how vylučuje pôsobenie objemových zmien na betón a je tak na výrobcovi betónu aby vykonal potrebný legislatívny proces a zároveň predpoklady potvrdil aj v praxi. Ďalšie skúšanie v podmienkach SL Betón Racio však týmto nebolo ovplyvnené. Po vyžiadaní vzoriek boli prevedené štandardné skúšky prímiesi a boli aj overené reologické vlastnosti betónu s touto prímiesou. Napriek tomu, že výrobca nedeclaruje puzolánové vlastnosti prímiesi ani nepočíta s náhradou cementu prostredníctvom k-hodnoty, počas skúšania a vyhodnocovania výsledkov skúšok sa materiál javil ako aktívny, keďže index aktivity aj jemnosť prímiesi bez problémov spĺňajú požiadavku normy STN EN 450-1. Podobne boli vyhodnotené aj 56 – dňové pevnosti betónu, kde sme zaznamenali významný nárast. Tak isto pozitívne vieme vyhodnotiť skúšky na maximálny priesak, nasiakavosť a mrazuvzdornosť na stupni XF1. Keďže nebola vznesená požiadavka na skúšanie prevzdušneného betónu, tak vyššie stupne mrazuvzdornosti nebudeme hodnotiť. Môže to byť predmetom ďalšieho skúšania.

Prímies „fluidný úletový popolček – filer ako pórovité kamenivo“ sa javí ako bezproblémová, veľmi dobre kombinovateľná s rôznymi druhmi cementu za pomoci

superplastifikátorov na báze PCA. Viac sa osvedčili prísady s vyšším podielom účinnnej látky, alebo prísady obsahujúce zložky na predĺženie spracovateľnosti. Ako všetky prímеси zlepšuje vzhľad čerstvého betónu prostredníctvom zvýšeného obsahu jemných podielov, ktoré v tomto prípade môžeme neoficiálne nazývať spojivom. Tým sa zlepšuje aj spracovateľnosť a čerpatelnosť betónu. V neposlednom rade prináša popri ekologickom hľadisku pri náhrade cementu aj ekonomický efekt.

1.2 Hľadanie a overovanie nových vhodných prímесí

Keďže produkcia vhodného popolčeka do betónu podľa STN EN 450-1 za posledné roky výrazne klesla, na trhu sa objavuje stále viac producentov alternatívnych prímесí. Tiež sa objavujú snahy o spracovávanie druhotných produktov rôznych výrobní, ale aj cielená výroba rôznych prímесí vyrábaných umelo, priemyselne. Každý produkt ako prímес do betónu, ktorý chce výrobca používať pri jeho výrobe, musí prejsť legislatívnym procesom jeho uvedenia na trh. Pri niektorých produktoch výrobca nemá kapacity na dokončenie tohto procesu a tak veľa projektov tohto typu zostane nedokončených. Výsledky skúšok však zostávajú v archívoch a je možné sa k nim po čase vrátiť.

Medzi ďalšie prímеси, ktoré prešli laboratórnymi miešačkami v SL Betón Racio a prípadne bola navrhnutá aj receptúra na výrobu betónu patrili aj prímеси ako Mikrosilica FeSiCa z produkcie OFZ Oravský Podzámok, ktorý by sa mohol posudzovať podľa STN EN 16622 ako hydraulický kremičito – vápenatý úlet do betónu, alebo tiež priemyselne spracovávaný prírodný produkt vulkanického pôvodu od spoločnosti LKB Perlit, ktorý disponuje aj SK technickým posúdením. Boli sme oslovení aj producentmi rôznych odpraškov z drvenia kameniva alebo produkcie asfaltu, napríklad andezitový lom Horný Tisovník, prípadne produkt z výroby kameniva do betónu v Želiezovciach. Osobitným prípadom je používanie ešte stále dostupných popolčeka spĺňajúcich kritéria maximálneho obsahu čpavku ako je popolček zo žilinskej teplárne, ale aj iných zdrojov popolčeka, ktoré ešte sú k dispozícii a vyrábajú sa bez procesu denitrifikácie. Tiež sa bežne skúšajú vysokopecné jemne mleté trosky dovážané na betonárne cisternami, alebo rôzne vápencové múčky bežne dostupné u známych producentov. Zo zahraničia z nemecky hovoriacich krajín sa k nám dostávajú aj rôzne druhy prímесí všeobecne označované ako AHWZ, teda aufbereitete, hydraulisch wirksame Zusatzstoffe.

2 Záver

Používanie prímесí je dnešnej dobe o niečo náročnejšie ako v minulosti. Legislatívna záťaž je vysoká, časovo náročná aj značne prácna a tiež nie lacná. Ale záujem výrobcov betónu o používanie prímесí hovorí sám za seba. Ich používanie sa oplatí. Návratnosť investícií je síce možno dlhšia, ale záujem predávať betón s pridanou hodnotou ako je napr. lepšia čerpatelnosť, technologické výhody, možná prezentácia ekologickej výroby a v neposlednom rade aj ekonomické výhody hovorí o tom, že prímеси sú dôležitou a neoddeliteľnou súčasťou výroby betónu.

3 Literatúra

- [1] STN EN 206+A2: 2021 Betón. Špecifikácia, vlastnosti, výroba a zhoda, Október 2021
- [2] SAVT Príručka technológa, Jún 2008
- [3] SK technické posúdenie SK TP – 22/0035 – verzia 01 z 21/11/2022, TSUS n.o.
- [4] Neville, A. M., Properties of concrete. Fourth edition. Longman, London 1997



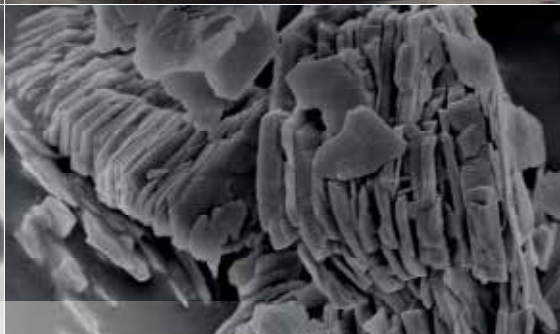
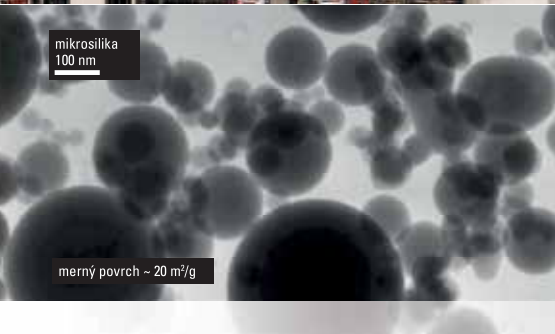
Najväčšie podujatie výrobcov cementu a betónu na Slovensku

BETÓN | CEMENT

2026



PRÍLOHA



Prísady a prímеси do betónov UHPC

MC-PowerFlow / Centrilit Fume SX / Centrilit NC

- Vysokopevnostné betóny
- SCC betóny
- Kyselinovzdorné betóny
- Pohľadové betóny

EXPERTISE
ADMIXTURES

www.mc-bauchemie.sk





VÁŠ SPOĽAHLIVÝ PARTNER
PRE BETÓN, KAMENIVÁ
A PREFABRIKOVANÝCH
VÝROBKOV NA VÁŠE STAVBY.

PREVÁDZKA
ŽILINA 1, ŽILINA 2

0910 120 273

L.GRAUZLOVA@CEMMAC.SK

PREVÁDZKA
POVAŽSKÁ BYSTRICA, PÚCHOV

0911 084 526

S.SOTKOVSKY@CEMMAC.SK

PREVÁDZKA ZVOLEN,
BANSKÁ ŠTIAVNICA, BZENICA
(ŽARNOVICA-ŽIAR NAD HRONOM)

0910 801 790

P.KOREN@CEMMAC.SK



WWW.CEMMACBETON.SK



- **prísady do betónov a mált**
- **prísady do betónov s recyklovaným kamenivom**
- **prísady do betónov so zmesovými a nízko emisnými cementami**
- **prísady do betónov s kryštalickým účinkom**
- **odformovacie prostriedky**
- **prípravky na ošetrovanie betónu**
- **hydrofobizačné prostriedky**
- **zmesi na opravu betónových konštrukcií**
- **akreditované skúšobné laboratórium**



Specialisté na **stavební** techniku

GLOBEX



Prodej



Servis



**Náhradní
díly**



CIFA

ZOOMLION



GLOBEX stroje s.r.o.

☎ +420 317 071 158

✉ info@globexstroje.cz





veacom

aukcie vozidiel a techniky

EFEKTÍVNY PREDAJ AJ NÁKUP NA JEDNOM MIESTE

20

rokov na trhu



**NAJVÄČŠÍ
AUKNÝ PORTÁL
VOZIDIEL A TECHNIKY
V ČESKU A NA
SLOVENSKU**



**UŽ 20 ROKOV
SPÁJAME
KUPUJÚCICH
A PREDÁVAJÚCICH
NA JEDNOM MIESTE**



**PARTNER POPREDNÝCH
FIRIEM Z OBLASTI
STAVEBNÍCTVA,
KOMUNÁLNYCH SLUŽIEB
A POĽNOHOSPODÁRSTVA**

www.veacom.sk



PUMI[®] 25-4/28-4 Nová generácia

Variabilný systém podpier, nové funkcie,
jednoduché ovládanie.

kolex

Zastúpenie pre Slovenskú republiku

KOLEX, s.r.o., Janka Kráľa 27, 949 01 Nitra
tel.: 037 6511 598-7, 0903 753 254
e-mail: obchod@kolex.sk, www.kolex.sk

Líder v segmente stavebných materiálov



CEMENT

Šedý a biely cement
z Rohožníka a Turne nad Bodvou



LOGISTIKA

Prepravná spoločnosť
(TransPlus)



BETÓN

Takmer 30 betonární
po celom Slovensku



DLAŽBA

Viac ako 300 produktov
(Premac)



KAMENIVO

4 kameňolomy, 2 štrkovne,
3 úložiská a 1 baňa anhydritu



TECHNICKÁ PODPORA

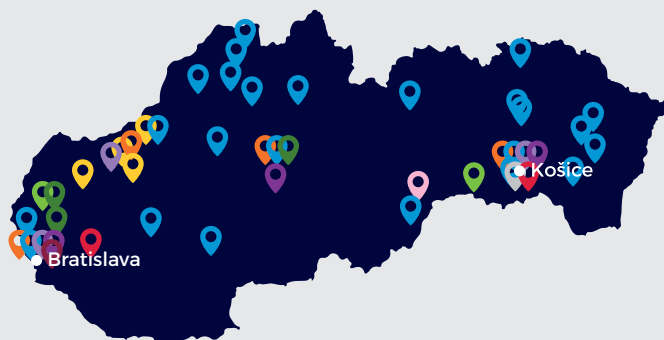
Technická podpora
a skúšobné laboratória

Stabilné zázemie
medzinárodnej
skupiny CRH

**Komplexné
riešenia**
pre váš projekt

Skúsenosti
od diaľnic
až po rodinné domy

Kde nás nájdete



- CEMENTÁREŇ
- BETONÁREŇ
- LOM
- ŠTRKOVŇA
- BAŇA
- MINERÁLNE KOMPONENTY
- DLAŽBA
- ODPADOVÉ HOSPODÁRSTVO
- ÚLOŽISKO ZEMINY A KAMENIVA
- LABORATÓRIUM
- OFFICE

**BETONÁŘSKÉ
TECHNOLOGIE A PROJEKTY
MĚJTE V MERKU!!!**



Betonárny | Speciální mísírny | Rekonstrukce betonáren
Recyklační zařízení | Kalolisy | Systémy ohřevu

U Řeky 600, 720 00 Ostrava – Hrabová | tel.: +420 596 232 840 | e-mail: merko@merko.cz

WWW.MERKO.CZ



[illegible]

A blank sheet of lined paper with horizontal ruling lines. The paper has a light gray background and is framed by a dark gray border. There are 20 horizontal lines spaced evenly across the page, starting from the top and ending near the bottom. The lines are thin and dark gray.

Konferencia BETÓN | CEMENT 2026

1. – 2. október 2026, Hotel Patria, Štrbské pleso

Názov publikácie.	BETÓN CEMENT 2026
Druh publikácie:	Zborník príspevkov z konferencie
Vydala:	JAGA GROUP, s. r. o., Lamačská cesta 45, 841 03 Bratislava pre Slovenskú asociáciu výrobcov transportbetónu Bratislava
Náklad:	230 ks
Počet strán:	160
Dátum vydania:	september 2026

USPORIADATELIA



Slovenská asociácia
výrobcov transportbetónu



GENERÁLNY PARTNER



HLAVNÍ PARTNERI



PARTNERI



PODUJATIE PODPORILI



Podujatie sa koná pod záštitou Ministerstva dopravy SR