

ADMATEC TN01000056/04

Pokročilé materiály a technologie

Advanced materials and technologies

Postup řešení v letech 2019 – 2022

- A. Etapa 2019 – 2020
- B. Etapa 2021 - 2022

Za společný tým :

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA, dr.h.c.
Ing. Zdeněk Jeřábek, CSc. MBA
Ing. Jiří Dobiáš

cameb

CENTRE FOR ADVANCED MATERIALS
AND EFFICIENT BUILDINGS

A. Partneři projektu v období 2019 – 2020

Vysoké učení technické v Brně – koordinace řešení projektu, výzkumné a vývojové aktivity daných specializací, zajištění především laboratorních experimentů s využitím unikátního přístrojového vybavení Centra AdMaS.

INFRAM a.s. – zapojení do laboratorních experimentů i poloprovozních ověření na stavbách a stavebních konstrukcích, sdílení know-how v oblasti liniových staveb, zkoušení a diagnostiky materiálů.

KOMA MODULAR s.r.o. – zapojení do laboratorních experimentů, podpora v rámci zajištění surovin a jejich zpracování, zpřístupnění výrobních kapacit pro poloprovozní ověření výsledků dosažených laboratorními experimenty.

Wienerberger s.r.o. – spolupráce při návrhu materiálových charakteristik, výroba prototypů tvarovek, sdílení prostor pro realizaci experimentálních stěn a využití akustické zkušebny.

A. Řešení projektu v období 2019 – 2020

Celkem bylo ke konci roku 2020 dosaženo 21 různých druhů výsledků:

- 2 výsledky typu F_{uzit} - *užitný vzor*
- 8 výsledků typu G_{funk} - *funkční vzorek*
- 2 výsledky typu G_{prot} - *prototyp*
- 5 výsledků typu N_{metA} - *metodiky a postupy akreditované oprávněným orgánem*
- 4 výsledky typu Z_{tech} - *ověřená technologie*

Došlo tak k dosažení všech plánovaných výsledků jak z hlediska počtu, tak i jejich druhu.

Tyto výsledky již byly implementovány v rámci firem, podílejících se na jejich vývoji.

A. Rekapitulace dosažených výsledků v období 2019 – 2020

Označení výsledku	Typ výsledku	Název výsledku
TN01000056/04-V001	G_{funk} - funkční vzorek	Stabilizát pro podkladní vrstvy
TN01000056/04-V002	G_{funk} - funkční vzorek	Suspenze pro zemní konstrukce
TN01000056/04-V003	F_{uzit} - užitiný vzor	Podkladní směs pod stavby
TN01000056/04-V004	Z_{tech} - ověřená technologie	Technologie výroby podkladních směsí pod stavby
TN01000056/04-V005	N_{metA} - metodiky a postupy akreditované oprávněným orgánem	Metodika pro hodnocení stavu materiálů ve stavebních konstrukcích
TN01000056/04-V006	N_{metA} - metodiky a postupy akreditované oprávněným orgánem	Metodika hodnocení vyvíjených materiálů s obsahem druhotných a alternativních surovin
TN01000056/04-V007	G_{funk} - funkční vzorek	Chemicky odolná správková malta s vyšším obsahem druhotných surovin
TN01000056/04-V008	G_{prot} - prototyp	Správková malta s vyšším obsahem druhotných surovin a zvýšenou chemickou a tepelnou odolností
TN01000056/04-V009	G_{funk} - funkční vzorek	HighTech polymerní reprofilační hmota s vysokou chemickou odolností
TN01000056/04-V010	F_{uzit} - užitiný vzor	Chemicky odolný parotěsný ochranný nátěr na beton

A. Rekapitulace dosažených výsledků v období 2019 – 2020

Označení výsledku	Typ výsledku	Název výsledku
TN01000056/04-V011	N_{metA} - metodiky a postupy akreditované oprávněným orgánem	Metodika pro hodnocení kvality a vhodnosti recyklátu
TN01000056/04-V012	Z_{tech} - ověřená technologie	Technologie výroby betonů pevnostních tříd C16/20 a C20/25
TN01000056/04-V013	Z_{tech} - ověřená technologie	Technologie výroby cemento-betonových krytů
TN01000056/04-V014	N_{metA} - metodiky a postupy akreditované oprávněným orgánem	Certifikovaná metodika pro zařazení deskových materiálů na bázi dřeva na odolnost vůči kombinovanému napadení
TN01000056/04-V015	N_{metA} - metodiky a postupy akreditované oprávněným orgánem	Certifikovaná metodika komparace jednotlivých modulárních prvků v různých prostředích
TN01000056/04-V016	G_{funk} - funkční vzorek	Obkladový prvek na bázi alternativních surovin s optimalizovanou maticí
TN01000056/04-V017	G_{funk} - funkční vzorek	Obkladový prvek na bázi alternativních surovin s optimalizovaným plnivem
TN01000056/04-V018	G_{funk} - funkční vzorek	Obkladový prvek na bázi alternativních surovin s optimalizovaným plnivem i maticí
TN01000056/04-V019	G_{prot} - prototyp	Akustická tvarovka pro jednovrstvé zdivo se zvýšenou vzduchovou neprůzvučností
TN01000056/04-V020	Z_{tech} - ověřená technologie	Provádění akustických jednovrstvých stěn se zvýšenou vzduchovou neprůzvučností
TN01000056/04-V021	G_{funk} - funkční vzorek	Paropropustný ochranný nátěr na beton

B. Partneři projektu v období 2021 – 2022

V období let 2021 a 2022 se na řešení nových cílů a výsledků podílí:

- Vysoké učení technické v Brně
- INFRAM a.s.
- Wienerberger s.r.o.

Společnost **KOMA MODULAR s.r.o.** již pro toto období v řešení projektu nepokračuje.

Naplánováno 6 výsledků typu G_{funk} - funkční vzorek

B. Výsledky projektu v období 2021 – 2022

1. *TN01000056/04-v022 – Energeticky úsporný pórobeton s využitím alternativních surovin*
2. *TN01000056/04-v023 – Tepelně izolační omítka na bázi druhotných surovin*
3. *TN01000056/04-v024 – Asfaltový pás s vysokým podílem druhotných surovin*
4. *TN01000056/04-v025 – Zelený bioticky odolný kompozit využívající energii na bázi latentního tepla materiálu s fázovou přeměnou*
5. *TN01000056/04-v026 – Akustická tvarovka s výplní na bázi druhotných surovin*
6. *TN01000056/04-v027 – Akustická zdící malta pro pokročilé zdění*

1. TN01000056/04-V022 – Energeticky úsporný pórobeton s využitím alternativních surovin

Předpokládaný výsledek:

- energeticky úsporný pórobeton o minimální pevnosti v tlaku 2 MPa při maximální objemové hmotnosti 450 kg/m³,

Motivace k řešení:

- surovinová směs založena na vysokém procentu **substituce tradičních surovin druhotnými** při zachování potřebných fyzikálně-mechanických a tepelně-technických parametrů.

1. TN01000056/04-V022 – Energeticky úsporný pórobeton s využitím alternativních surovin

1. Fáze - Stanovení základní receptury

Surovina	kg/m ³
Vápnó	40
Cement	55
Písek	370
Síran	12
Al prášek	0,40
Voda/suchá směs	0,50

Optimalizace vodního součinitele (hm. vody / hm. suché směsi)

0,50	0,55	0,60
------	------	-------------

Optimalizace dávky hliníkového prášku

0,40 kg/m ³	0,45 kg/m³	0,50 kg/m ³
------------------------	------------------------------	------------------------

Optimalizace dávky cementu

55 kg/m ³	60 kg/m³	65 kg/m ³
----------------------	----------------------------	----------------------

Optimalizace dávky síranů

13 kg/m³	14 kg/m ³	15 kg/m ³
----------------------------	----------------------	----------------------

Písek+sádrovec+voda
(5 minut, 45±3 °C)



Zkouška rozlítí



+ pojiva
(3 minuty, 40±3 °C)



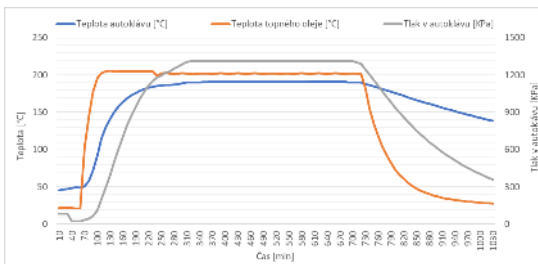
Plnění forem



+hliníkový prášek
(1 minuta)



Autoklávováno



↓ Optimalizace ↓



✓ Pevnost **2,05 MPa**
↑ Objemová hmotnost **470 kg/m³**

1. TN01000056/04-V022 – Energeticky úsporný pórobeton s využitím alternativních surovin

2. Fáze – Ověření využitelnosti druhotných surovin

Surovina	Receptury [kg/m ³]
Vápno	40
Cement	60
Písek	185 - 370
Síran	13
Al prášek	0,45
Voda/suchá směs	0,60 – 0,75

Náhrada písku druhotnou surovinou

Fluidní popílek Poříčí	10 – 50 %
Ložový popel Poříčí	
Vysokoteplotní popílek Tušimice	
Slévárenský písek Ostrava	

Rozlité při shodném vodním součiniteli



Hodnocení výsledků	Záměsová voda	Pevnost	Objemová hmotnost
Fluidní popílek Poříčí	↑	↓	↓
Ložový popel Poříčí	↑	↑	↑
Vysokoteplotní popílek Tušimice	✓	✓	↑
Slévárenský písek Ostrava	✓	↓	↑



1. TN01000056/04-V022 – Energeticky úsporný pórobeton s využitím alternativních surovin

3. Fáze – Výběr receptury a ověření funkčního vzorku

Surovina	Receptury [kg/m ³]
Vápno	40
Cement	60
Fluidní popílek Poříčí	18
Písek	296
Ložový popel Poříčí	74
Síran	13
Al prášek	0,45
Voda/suchá směs	0,65

Optimální varianta = ověřený funkční vzorek

- 5% příměs fluidního popílku Poříčí
- 20% náhrada písku ložovým popelem Poříčí
- dosažena třída P2-450
- vlastnosti pórobetonu srovnatelné s konkurencí
- výhodou je vysoká náhrada písku odpadem
- unikátní využití kombinace fluidních popelovin
- Významná ekonomická efektivita



2. TN01000056/04-V023 – Tepelně izolační omítka na bázi druhotných surovin

- **Předpokládaný výsledek:**
 - funkční vzorek materiálu, určeného pro využití formou povrchové úpravy stěn s nízkým součinitelem teplotní vodivosti
- **Motivace k řešení:**
 - energetické úspory (zvýšení tepelného odporu konstrukce, zlepšení komfortu pro uživatele)
 - materiálové využití odpadů.

2. TN01000056/04-V023 – Tepelně izolační omítka na bázi druhotných surovin



Plnivem pro omítku je **odpad** vznikající při výrobě Perlitu



Zkoušení mechanických parametrů:
pevnost v ohybu a tlaku, přídržnost k podkladu



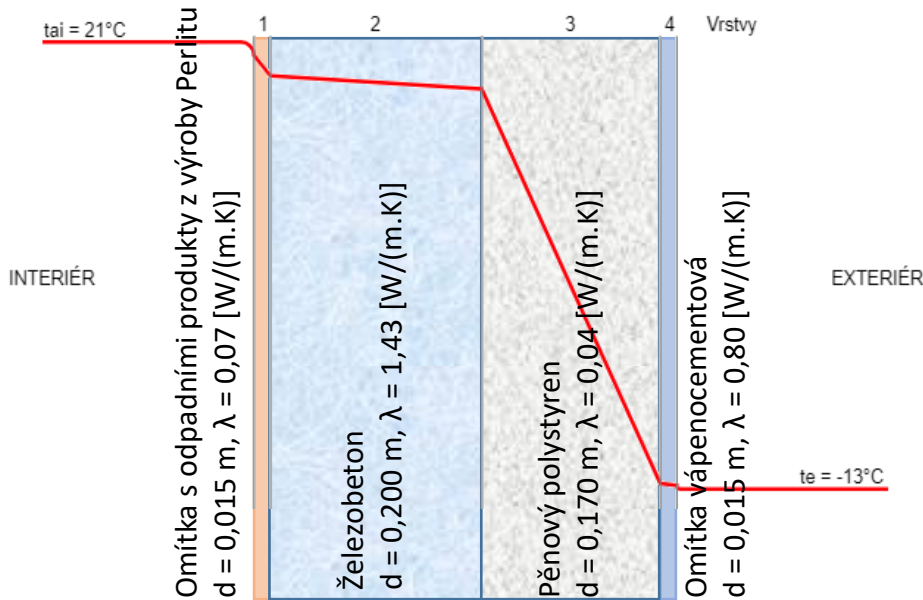
Mezi nejdůležitější zkoušené vlastnosti patří součinitel tepelné vodivosti

2. TN01000056/04-V023 – Tepelně izolační omítka na bázi druhotných surovin

Vlastnost	Zkušební metoda	Deklarovaná hodnota
Součinitel tepelné vodivosti	ČSN EN 12667, ČSN EN 1745	≤ 0,075 [W/(m.K)]
Pevnost v tlaku	ČSN EN 1015-11	≥ 1,5 [N/mm ²]
Pevnost v ohybu	ČSN EN 1015-11	≥ 0,6 [N/mm ²]
Přídržnost k podkladu	ČSN EN 1015-12	≥ 0,3 [N/mm ²]
Obsah vzduchu v čerstvé omítce	ČSN EN 1015-7	22 – 25 [%]
Kapilární absorpce vody	ČSN EN 1015-18	0,30 – 0,35 [kg/m ² min ^{0,5}]
Reakce na oheň	ČSN EN 13501-1	Třída A1 – nehořlavý materiál

Využití odpadních produktů vznikajících při výrobě Perlitu umožňuje **snížení výrobních nákladů o cca 12 %** při zachování podstatné vlastnosti – součinitele tepelné vodivosti

2. TN01000056/04-V023 – Tepelně izolační omítka na bázi druhotných surovin



Tepelný odpor konstrukce R [$\text{m}^2\text{K/W}$]

bez použití tepelně izolační omítky	4,43
při použití tepelně izolační omítky v interiéru (viz graf průběhu teplot v konstrukci)	4,62
při použití tepelně izolační omítky v interiéru i exteriéru	4,82

3. TN01000056/04-V024 – Asfaltový pás s vysokým podílem druhotných surovin

Předpokládaný výsledek:

- nový typ asfaltového oxidovaného izolačního pásu za použití progresivní asfaltové směsi (mastixu) s vysokým obsahem druhotných surovin pro udržitelnou výstavbu,
- **Motivace k řešení:**
- energetické úspory a optimalizace životního cyklu budov,

3. TN01000056/04-V024 – Asfaltový pás s vysokým podílem druhotných surovin



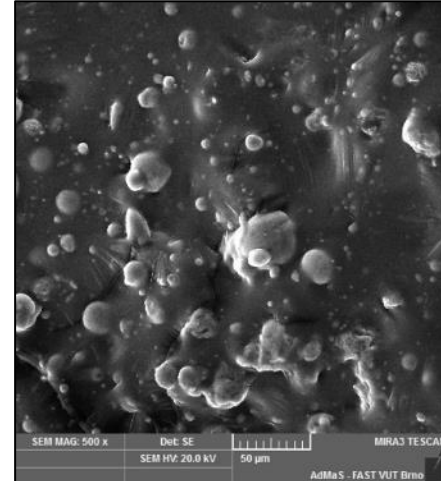
Asfaltové mastixy s popílkem



Stanovení torzního momentu



Penetrace jehlou



Mikrostruktura mastixu 55% V-OP1 (zv. 500x)

3. TN01000056/04-V024 – Asfaltový pás s vysokým podílem druhotných surovin

Vlastnost	Zkušební metoda	Deklarovaná hodnota
<i>Dynamická viskozita</i>	ČSN EN 13302	5400 (± 200) mPa·s
<i>Penetrace jehlou</i>	ČSN EN 1426	24 (± 2) p.j.
<i>Bod měknutí</i>	ČSN EN 1427	85 (± 2) °C
<i>Tloušťka</i>	ČSN EN 1849-1	4,0 (± 0,2) mm
<i>Tahové vlastnosti – největší tahová síla</i>	ČSN EN 12311-1	Podélně 800 (± 100) N / 50 mm Příčně 1200 (± 100) N / 50 mm
<i>Tahové vlastnosti – tažnost</i>	ČSN EN 12311-1	podélně 5 (± 2) % příčně 5 (± 2) %
<i>Odolnost proti nárazu (metoda A)</i>	ČSN EN 12691	1 000 mm
<i>Propustnost vodní páry – s_D</i>	ČSN EN 1109	160 (± 10) m
<i>Odolnost proti stékání při zvýšené teplotě</i>	ČSN EN 1110	70 °C



3. TN01000056/04-V024 – Asfaltový pás s vysokým podílem druhotných surovin

Optimální varianta = ověřený funkční vzorek

- jako optimální plnivo se jeví **filtrový popílek kontaminovaný denitrifikací spalin v množství 55 % z celé směsi (55 % V-OP1)**,
- běžný vysokoteplotní popílek do 60% z celé směsi,
- **značná úspora asfaltu při zachování nebo zlepšení některých parametrů asfaltových pásů v porovnání s konkurencí.**

4. TN01000056/04-V025 – Zelený bioticky odolný kompozit využívající energii na bázi latentního tepla materiálu s fázovou přeměnou

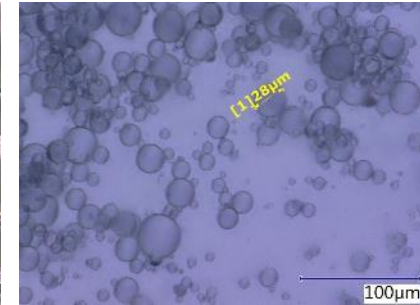
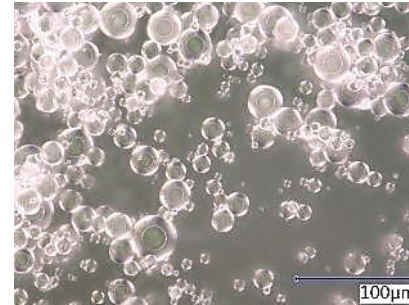
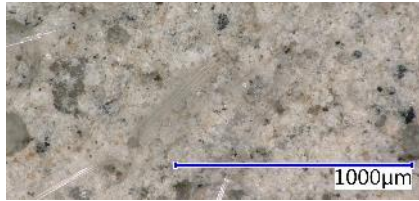
- využití vedlejších energetických produktů a PCM (Phase Change Material) = schopny uvolnit teplo během fázové přeměny,
- určen pro základní vrstvu ETICS (External Thermal Insulation Composite Systems),
- oddálí pokles teploty povrchu na teplotu rosného bodu a tím omezí na povrchu ETICS tvorbu kondenzátu = omezení biotického napadení (růst řas a plísní) + prodloužení životnosti ETICS



4. TN01000056/04-V025 – Zelený bioticky odolný kompozit využívající energii na bázi latentního tepla materiálu s fázovou přeměnou

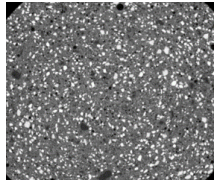
Použité materiály pro finální produkt (DET_16_B2) :

- Plnivo
- Pojivo
- PCM B
- Polypropylenová vlákna
- Vysokoteplotní popílek po denitrifikaci (SCR)
- Přísady (polymerní prášková disperze EVA, hydrofobní přísada, ether celulózy)



Obr. č. 1: PCM použitý pro finální recepturu, zvětšeno 1000×:
a) spodní podsvícení vzorku B, b) ukázka velikosti částic vzorku B.

4. TN01000056/04-V025 – Zelený bioticky odolný kompozit využívající energii na bázi latentního tepla materiálu s fázovou přeměnou

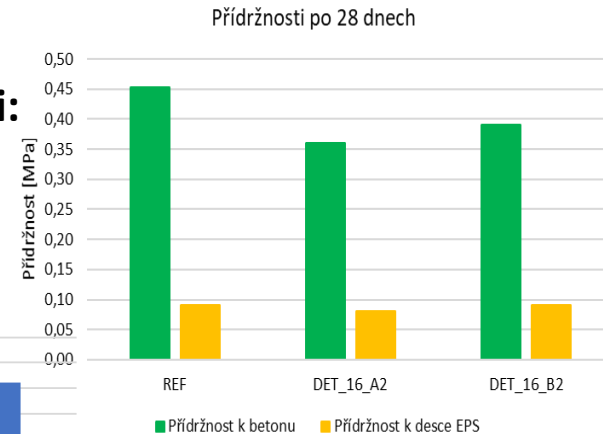
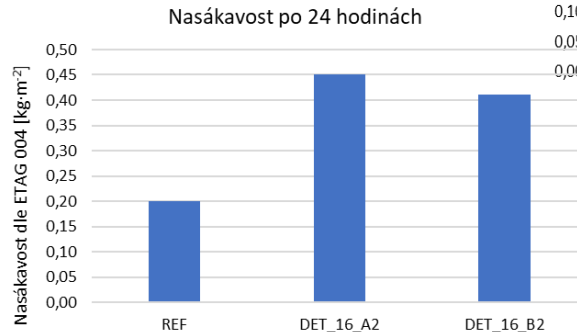


Snímek hmoty DET_16_B2 z tomografu:
PCM – sytě šedá barva, patrná
rovnoměrná distribuce v matici

Složení suchých směsí	Složení receptury v hmotnostních procentech [%]		
	REF	DET_16_A2	DET_16_B2
Pojivo	23,80	21,80	21,80
Plnivo	73,90	31,50	31,50
Aditiva	2,30	2,60	2,60
Popílek Dětmárovice	0,00	16,00	16,00
PCM A	0,00	28,00	0,00
PCM B	0,00	0,00	28,00
Polypropylenová vlákna	0,00	0,10	0,10

Vybrané vlastnosti:

Dle ETAG 004:
min. 0,25 MPa k betonu
min. 0,080 MPa k EPS



Dle ETAG 004:
max. 0,500 kg·m⁻²

5. TN01000056/04-V026 – Akustická tvarovka s výplní na bázi druhotných surovin

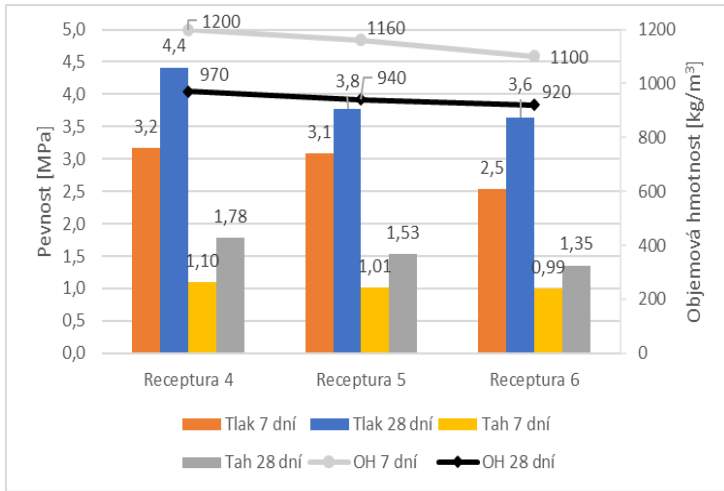
- nově koncipována a ověřena akustická zdicí tvarovka pro dělicí zdivo, včetně všech stanovených vlastností,
- použití pro mezibytové příčky a stěny, přiléhajících k nevytápěným nebo částečně vytápěným prostorům,
- **nově výplň na bázi druhotných surovin** (recyklovaný cihelný zlom a recyklované pěnové sklo (zbytky po drcení)).

Cihelný recyklát
frakce 2-4 mm



Směs pro výrobu lehkého mezerovitého betonu s cihelným recyklátem a kamenivem z pěnového skla

5. TN01000056/04-V026 – Akustická tvarovka s výplní na bázi druhotných surovin



Přehled mechanických vlastností a objemových hmotností materiálu tvarovky

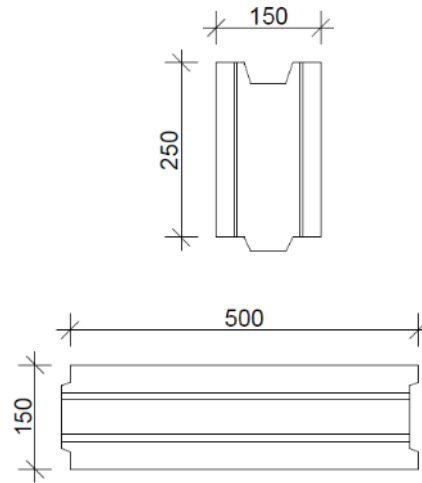


Schéma uspořádání tvarovek

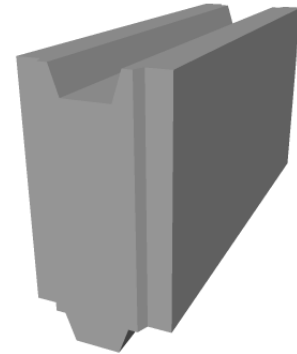


Fotografie povrchu lehkého betonu

5. TN01000056/04-V026 – Akustická tvarovka s výplní na bázi druhotných surovin

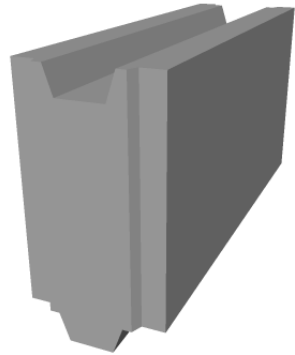
Parametry zdicího prvku dle ČSN EN 771-3:

Vlastnost	Zkušební metoda	Deklarovaná hodnota
Rozměry	EN 772-16	500x250x150 mm
Objemová hmotnost zdicího prvku v suchém stavu	EN 772-13	960 kg/m³
Třída reakce na oheň	EN 13501-1	A1
Tepelný odpor	EN 1745	0,62 m ² .K/W
Tepelná vodivost materiálu prvku	EN 1745	0,24 W/(m.K)
Pevnost v tlaku	EN772-1	3,1 N/mm ²
Vzduchová neprůzvučnost	EN 717-1, EN 12354-1	43 (-1, -5) dB



5. TN01000056/04-V026 – Akustická tvarovka s výplní na bázi druhotných surovin

- lze využít pro vnitřní dělicí konstrukce (od 150 mm tloušťky) **i s ohledem na zpřísnění požadavků dle ČSN 73 0532!**
- **rovnatelné vlastnosti jako keramické zdivo obdobné tloušťky,**
- **lepší akustické a mechanické vlastnosti než pórobetonové zdivo,**
- **tvarovky lze dělit lépe než tvarovky keramické,**
- pro výrobu jsou **ve velké míře uplatněny druhotné suroviny.**



6. TN01000056/04-V027 – Akustická zdicí malta pro pokročilé zdění

- určeno pro výstavbu mezibytových příček s vysokou vzduchovou neprůzvučností,
- pro vyzdívání ložných spar akustického zdiva,
- pro zdění styčných spar včetně maltových kapes mezi jednotlivými zdicími prvky,
- nová akustická malta je určena pro **celoplošné zdění a překlenné dutiny u keramických zdicích tvarovek.**
- v rámci zdicí malty je uplatněn odpad, vznikajících při výrobě, případně recyklaci zdicích tvarovek, a dále vlákna vznikající recyklací PET lahví.

6. TN01000056/04-V027 – Akustická zdící malta pro pokročilé zdění



Suchá směs



Čerstvá malta

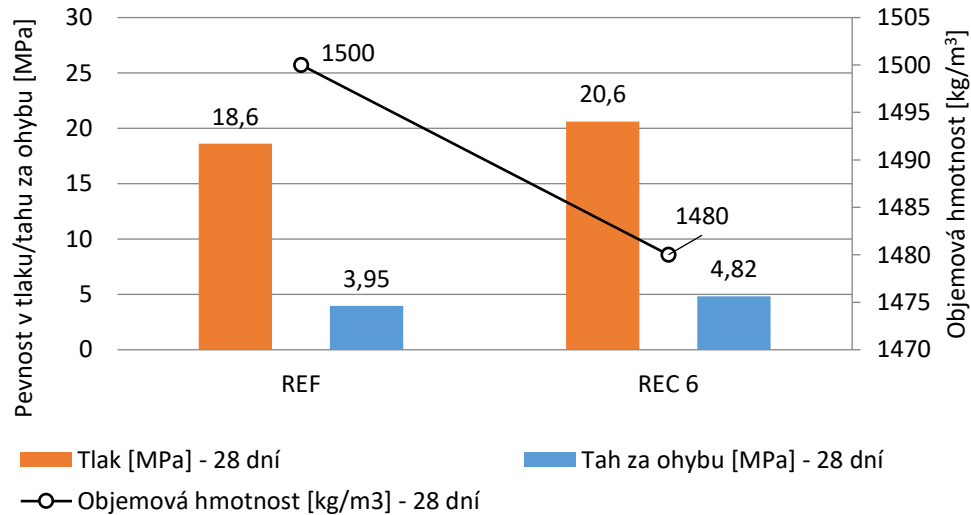


Zkouška konzistence – rozliti



Aplikace na keramickou tvarovku

6. TN01000056/04-V027 – Akustická zdicí malta pro pokročilé zdění



Výsledky zkušebních směsí zdicích malt



Aplikace finální akustické zdicí malty ve zkušebně D-AKUSTIKA

6. TN01000056/04-V027 – Akustická zdící malta pro pokročilé zdění

Vlastnost	Zkušební metoda	Deklarovaná hodnota
Konzistence	ČSN EN 1015-3	150 [mm]
Objemová hmotnost v čerstvém stavu	ČSN EN 1015-6	1630 [kg/m ³]
Objemová hmotnost ve ztvrdlém stavu	ČSN EN 1015-10	1480 [kg/m³]
Pevnost v tlaku	ČSN EN 1015-11	≥ 19,0 [MPa]
Pevnost v tahu ohybem	ČSN EN 1015-11	≥ 4,0 [MPa]
Obsah vzduchu v čerstvé maltě	ČSN EN 1015-7	15 – 18 [%]
Třída reakce na oheň	ČSN EN 13501-1	A1

- Keramický odbrus v dávce **5 %** příznivě ovlivňuje konzistenci čerstvé malty
- Recyklovaná vlákna PET/12 mm v množství **2 %** umožní překlenutí ložných spar při aplikaci akustické zdící malty

6. TN01000056/04-V027 – Akustická zdicí malta pro pokročilé zdění

- při výrobě akustické malty jsou ve velké míře využity druhotné suroviny (cihelňý odbrus, recyklovaná PET vlákna),
- malta na rozdíl o malty klasické tenkovrstvé **překlene dutiny u dutinových zdicích prvků** a vytvoří celoplošně vyplněnou ložnou spáru ve zdivu,
- malta zlepšuje akustické vlastnosti zdiva,
- malta celoplošně **uzavírá dutiny tvarovek** a zlepšuje tím i **mechanické vlastnosti a požární odolnost** finální zděné konstrukce,
- z pohledu tepelně izolačních vlastností malta **omezuje vznik komínového efektu ve zdivu** a odděluje tepelně jednotlivé vrstvy tvarovek (oproti maltě pro tenkovrstvé zdění).

B. Řešení projektu v období 2021 – 2022

- **Všechny výsledky jsou dosaženy, nyní je dokončována jejich technická dokumentace formou protokolů o ověření jednotlivých funkčních vzorků.**

DĚKUJI ZA VAŠI POZORNOST.