

Výzkumná zpráva: Základní objem dat

MPO FV 10202: Databáze materiálových mikrostruktur pro aditivní výrobu

Vypracovali: M. Doškář, K. Kolářová, V. Šána, M. Kočová, M. Žatečka, L. Šimák, J. Freylich, J. Růžička

Verze: 1.2

Poslední editace: 9/2020

Obsah

Popis úlohy.....	1
Automatický návrh z referenční mikrostruktury.....	2
Mikrostruktura 1: Cementová pasta.....	2
Mikrostruktura 2: Malta	3
Mikrostruktura 3: Beton	4
Mikrostruktura 4: Beton	5
Mikrostruktura 5: Beton	6
Mikrostruktura 6: Struska.....	7
Mikrostruktura 7: Struska.....	8
Mikrostruktura 8: Struska.....	9
Mikrostruktura 9: Portlandský cement	10
Mikrostruktura 10: Portlandský cement.....	11
Mikrostruktura 11: Portlandský cement.....	12
Mikrostruktura 12: Sádra ztuhlá.....	13
Mikrostruktura 13: Sádra ztuhlá.....	14
Mikrostruktura 14: Sádra ztuhlá.....	15
Mikrostruktura 15: Sádrový prach.....	16
Mikrostruktura 16: Sádrový prach.....	17
Mikrostruktura 17: Hliněná malta (claytec).....	18
Mikrostruktura 18: Hliněná malta (claytec).....	19
Mikrostruktura 19: Hliněná malta (claytec).....	20
Mikrostruktura 20: Hliněná malta (claytec).....	21
Mikrostruktura 21: Struska	22
Mikrostruktura 22: Popílek	23
Mikrostruktura 23: Popílek	24
Mikrostruktura 24: Popílek	25
Mikrostruktura 25: Popílek	26
Mikrostruktura 26: Dlažba	27
Mikrostruktura 27: Dlažba	28
Mikrostruktura 28: Opuka	29
Mikrostruktura 29: Opuka	30
Mikrostruktura 30: Opuka	32
Mikrostruktura 31: Cementová pasta.....	33
Mikrostruktura 32: Arbocel.....	34
Mikrostruktura 33: CaCO ₃ prach.....	35
Mikrostruktura 34: CaCO ₃ prach.....	36

Mikrostruktura 35: CaCO ₃ prach.....	37
Mikrostruktura 36: CaCO ₃ prach.....	38
Mikrostruktura 37: Arbocel.....	39
Mikrostruktura 38: Vysokohodnotný beton	40
Mikrostruktura 39: Cementová pasta.....	41
Mikrostruktura 40: Popílek	42
Mikrostruktura 41: Hliníková slitina.....	43
Mikrostruktura 42: Povrchové nerovnosti	44
Parametrický návrh mikrostruktur	45
Mikrostruktura č. 43	45
Mikrostruktura č. 44.....	46
Mikrostruktura č. 45.....	47
Mikrostruktura č. 46.....	48
Mikrostruktura č. 47	49
Mikrostruktura č. 48.....	50
Mikrostruktura č. 49	51
Mikrostruktura č. 50.....	52
Mikrostruktura č. 51	53
Mikrostruktura č. 52.....	54
Mikrostruktura č. 53.....	55

Popis úlohy

V rámci druhého milníku M2 řešení projektu MPO FV10202 bylo třeba doložit prvních deset mikrostruktur vzniklých návrhovými postupy vyvinutými v rámci předchozího milníku. Níže je uveden soupis a stručný popis mikrostruktur dle postupu jejich tvorby.

První část zahrnuje mikrostruktury vytvořené pomocí automatického návrhu komprimované reprezentace, který využívá referenční obrazové informace o mikrostruktuře. Tato část obsahuje mikrostruktury vysokohodnotného betonu, cementové pasty, popílku a hliníkové slitiny. Jako příklad použití obsahuje tato část i kompresi informace o nerovnosti povrchu (jedna z potenciálních aplikací v kontaktních úlohách, na kterou byl řešitelský tým upozorněn při prezentování vyvíjené platformy). Všechny mikrostruktury jsou dostupné ve veřejně přístupné beta verzi vyvíjené platformy na adrese <https://mulibweb.azurewebsites.net/>.

Druhá část zprávy pak zahrnuje základní výstupy parametrického návrhu založeného na implicitním popisu geometrie částic. Příklady ilustrují vliv jednotlivých parametrů tohoto nástroje. Současně s výstupními data jsou uvedeny i vstupní parametry pro nástroj. Dvourozměrné úlohy z těchto příkladů byly také publikovány ve veřejně přístupné beta verzi vyvíjené platformy na adrese <https://mulibweb.azurewebsites.net/>.

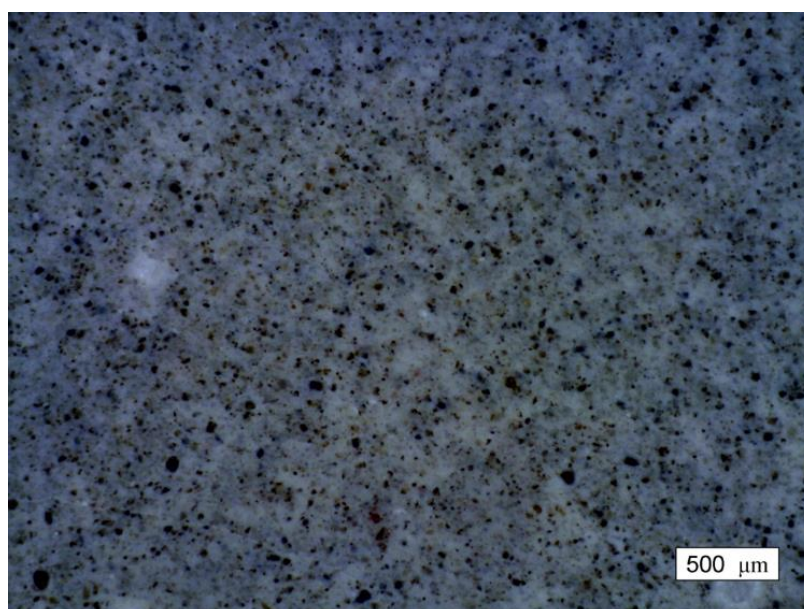
Automatický návrh z referenční mikrostruktury

Mikrostruktura I: Cementová pasta

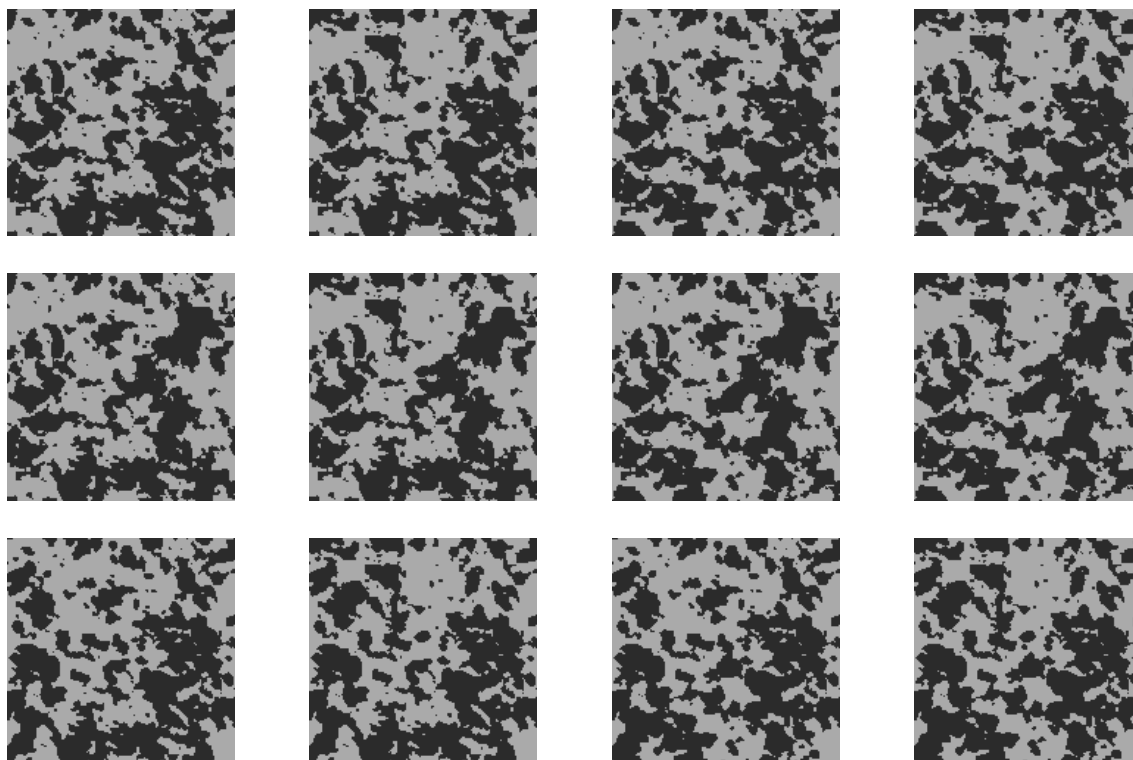
Dvoufázová mikrostruktura, zvětšení 100x. W16/2-2,

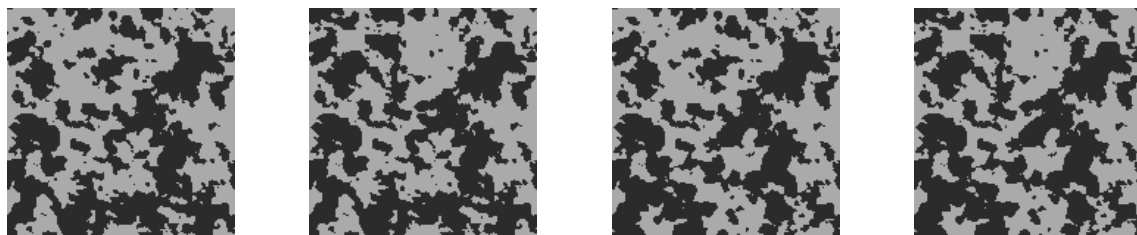
Zdroj: <https://cemhub.fsv.cvut.cz/datamaterial/output/id/1/>

Referenční mikrosktruktura:



Komprimovaná reprezentace:



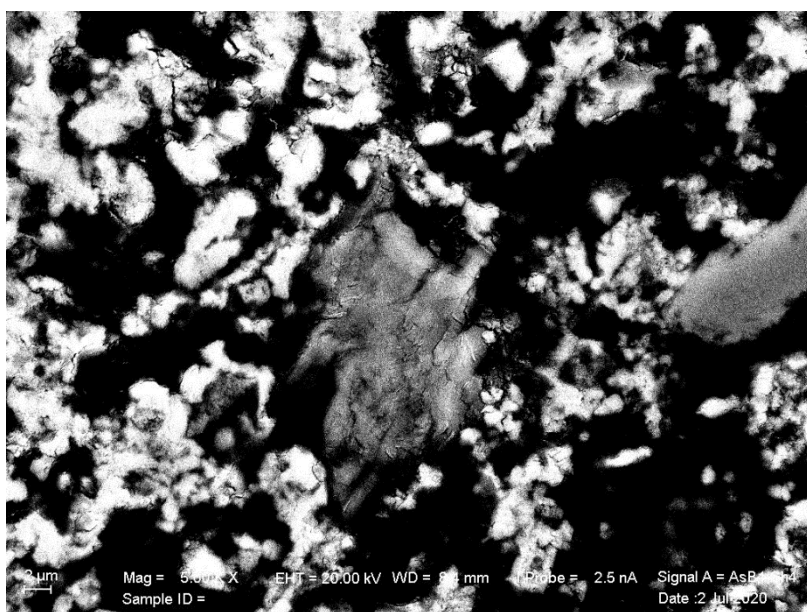


Mikrostruktura 2: Malta

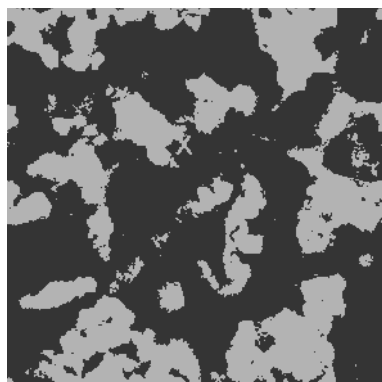
Dvoufázová mikrostruktura, zvětšení 2000x, PUC. Malta z historické mozaiky, krypta mausolea rodiny Dittrichh v Krásné Lípě, 1889,

Zdroj: <https://cemhub.fsv.cvut.cz/datamaterial/output/id/2/>

Referenční mikrosktruktura:



Komprimovaná reprezentace:



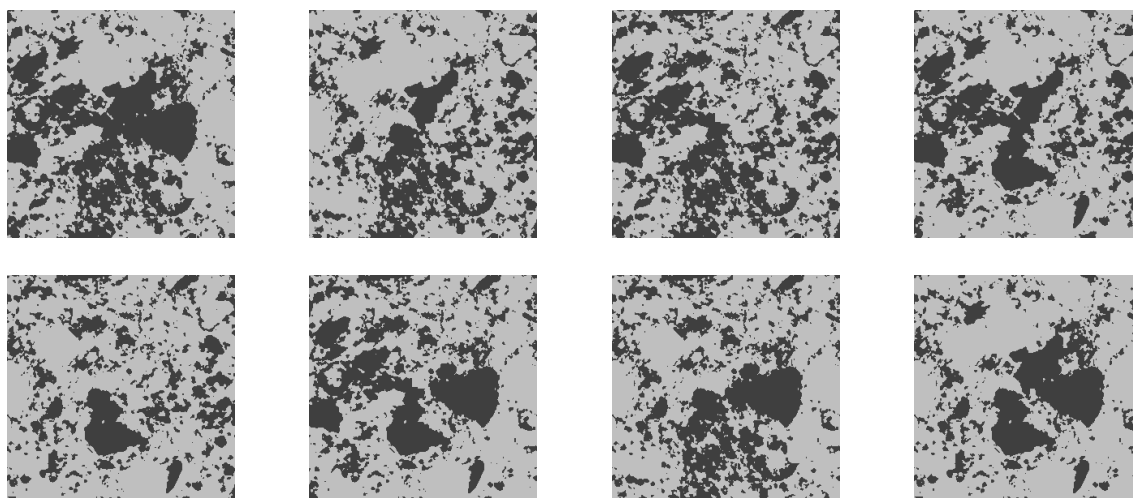
Mikrostruktura 3: Beton

Dvoufázová mikrostruktura, zvětšení 50x, W8/2-2. Beton s porézním kamenivem.

Referenční mikrosktruktura:



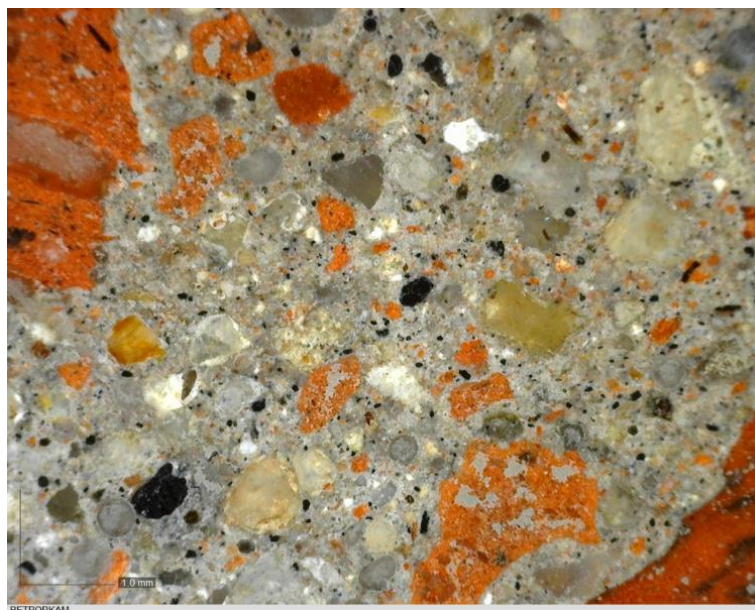
Komprimovaná reprezentace:



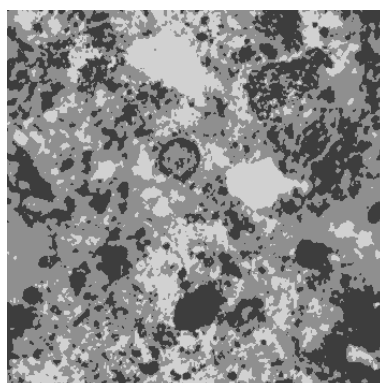
Mikrostruktura 4: Beton

Třífázová mikrostruktura, zvětšení 50x, PUC. Beton s porézním kamenivem.

Referenční mikrosktruktura:



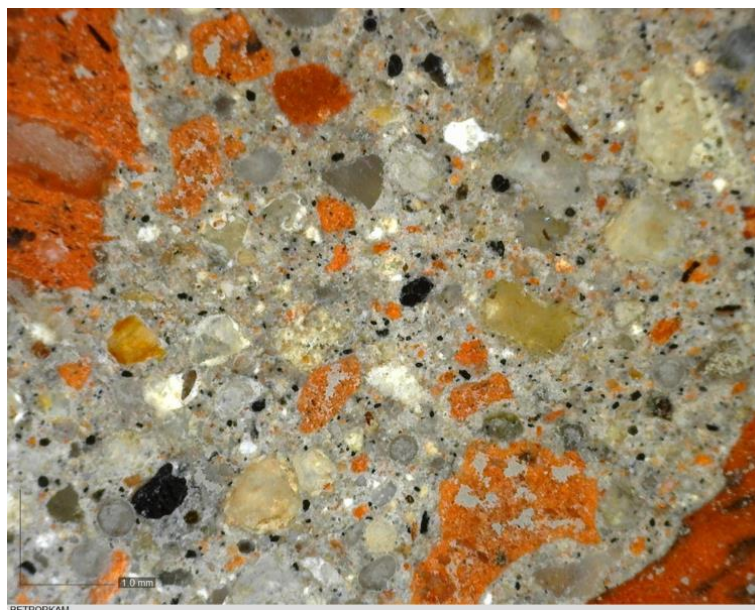
Komprimovaná reprezentace:



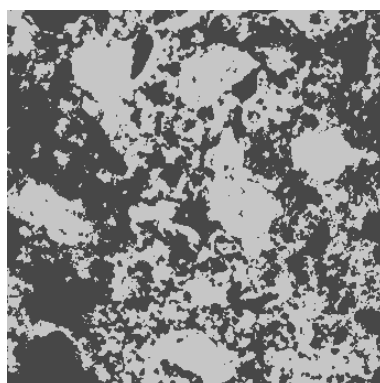
Mikrostruktura 5: Beton

Dvoufázová mikrostruktura, zvětšení 50x, PUC. Beton s porézním kamenivem.

Referenční mikrosktruktura:



Komprimovaná reprezentace:

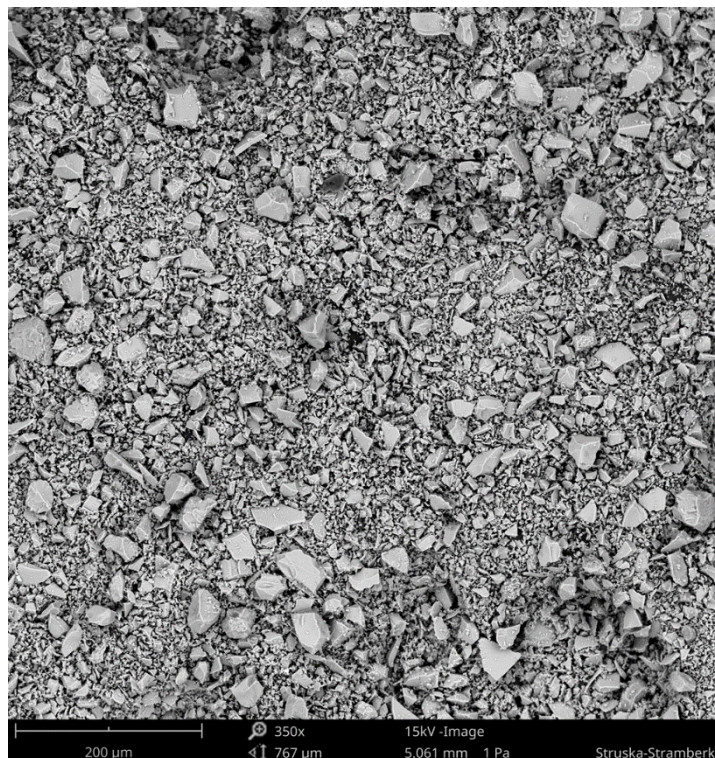


Mikrostruktura 6: Struska

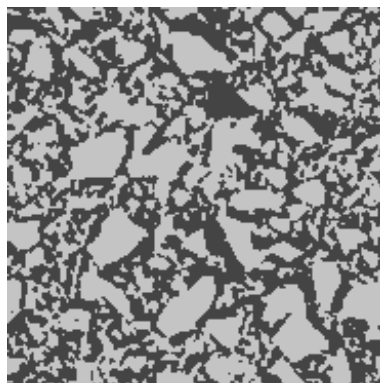
Dvoufázová mikrostruktura, zvětšení 350x, PUC.

Zdroj: <https://cemhub.fsv.cvut.cz/datamaterial/output/id/30/>

Referenční mikrostruktura:



Komprimovaná reprezentace:



Mikrostruktura 7: Struska

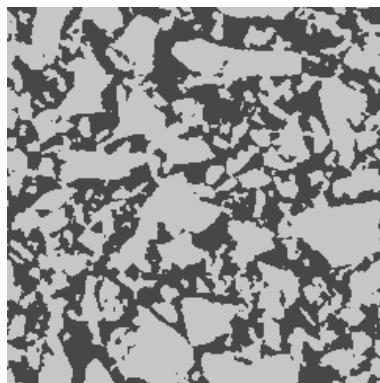
Dvoufázová mikrostruktura, zvětšení 1000x, PUC.

Zdroj: <https://cemhub.fsv.cvut.cz/datamaterial/output/id/30/>

Referenční mikrostruktura:



Komprimovaná reprezentace:

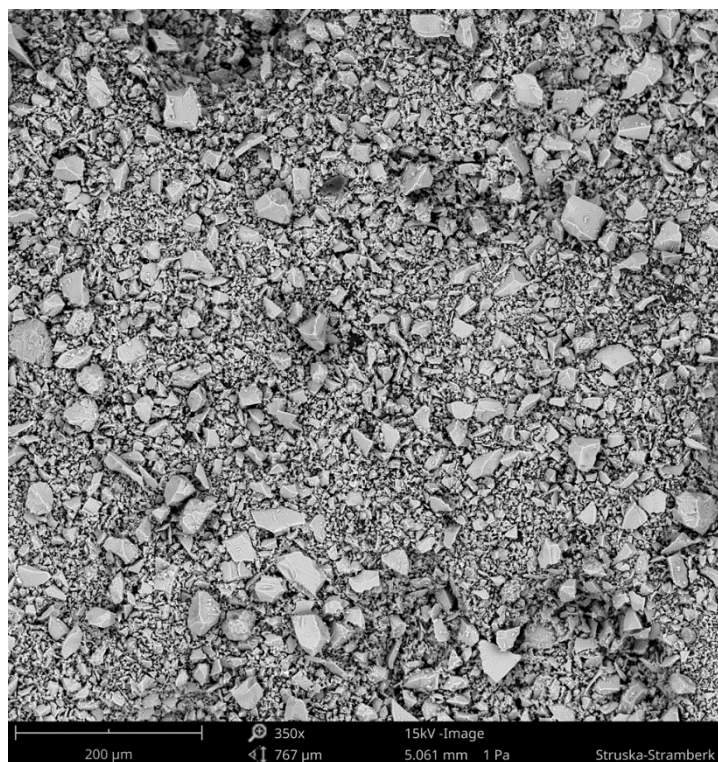


Mikrostruktura 8: Struska

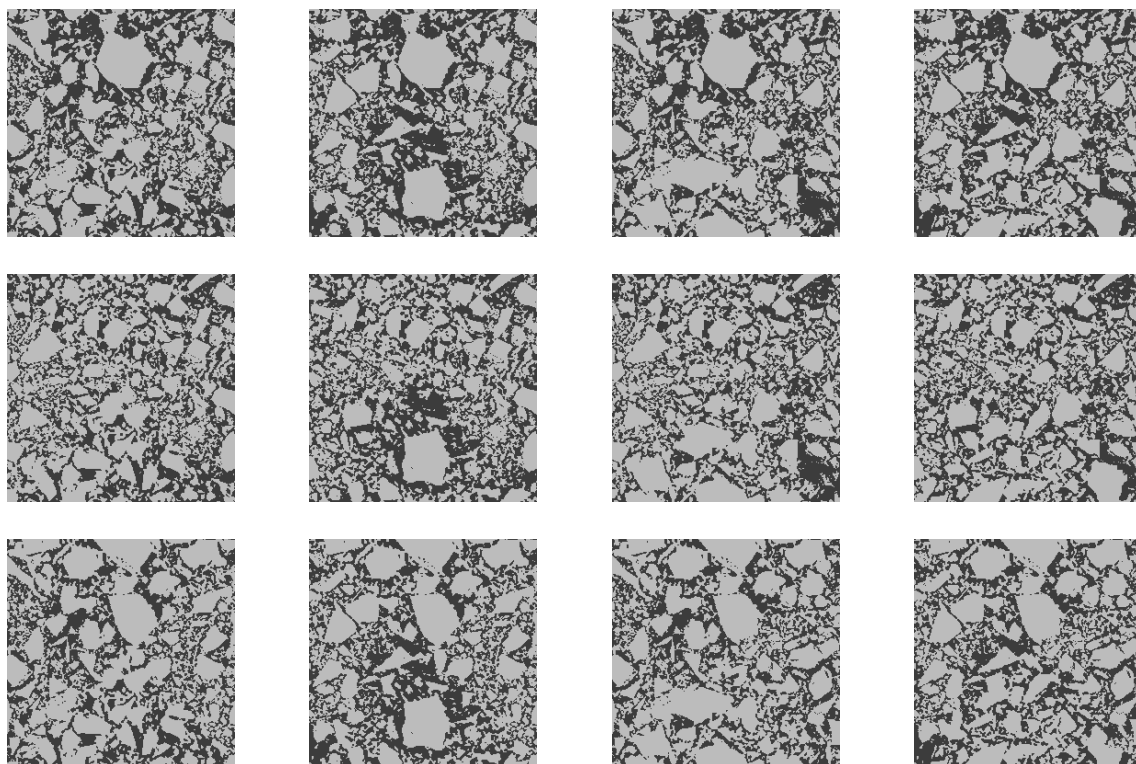
Dvoufázová mikrostruktura, zvětšení 350x, W16/4-4.

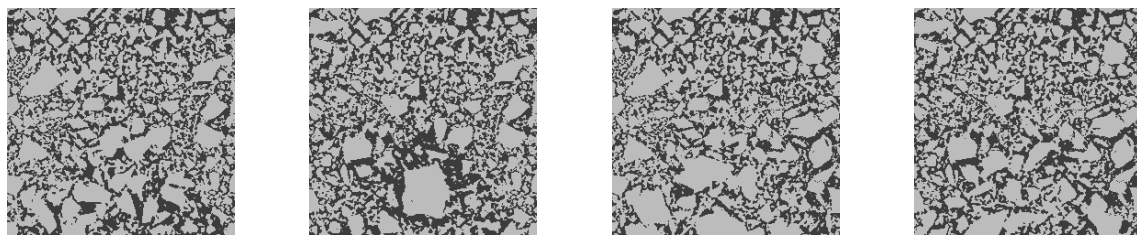
Zdroj: <https://cemhub.fsv.cvut.cz/datamaterial/output/id/30/>

Referenční mikrostruktura:



Komprimovaná reprezentace:



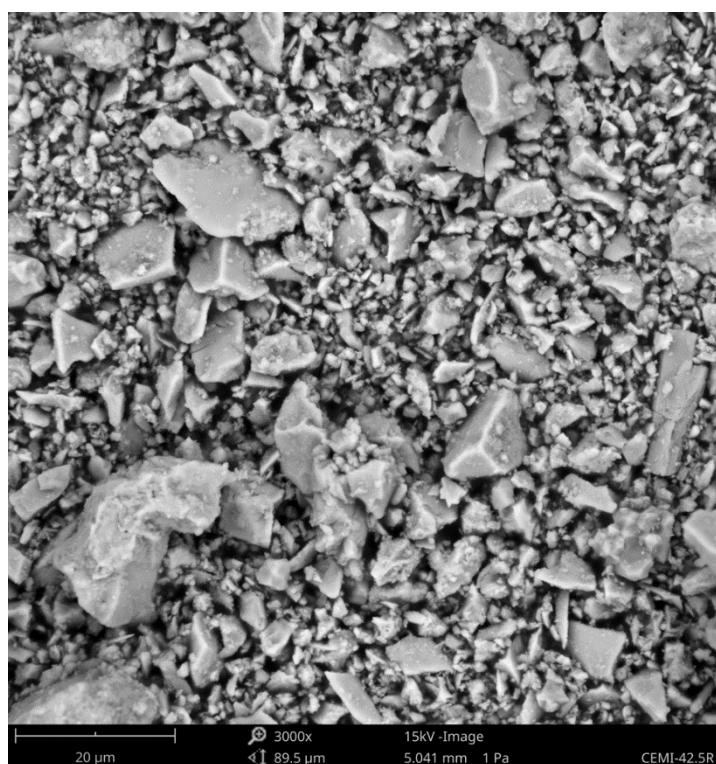


Mikrostruktura 9: Portlandský cement

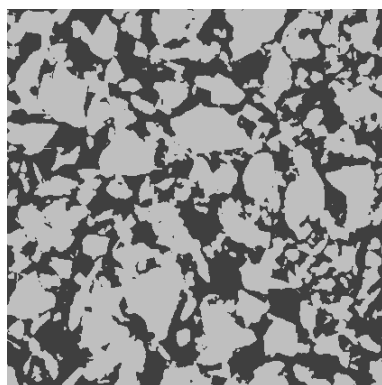
Dvoufázová mikrostruktura, zvětšení 3000x, PUC.

Zdroj: <https://cemhub.fsv.cvut.cz/datamaterial/output/id/31/>

Referenční mikrostruktura:



Komprimovaná reprezentace:

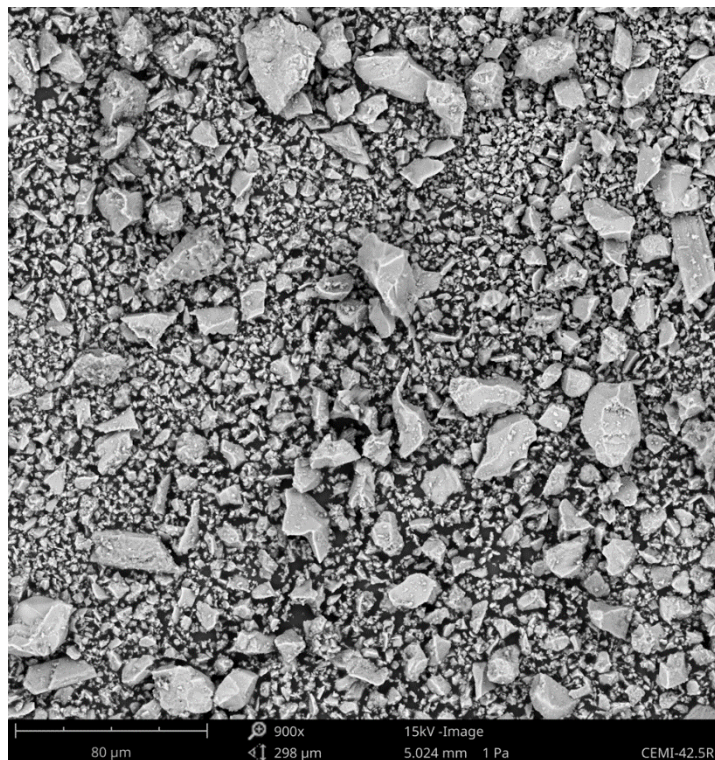


Mikrostruktura I0: Portlandský cement

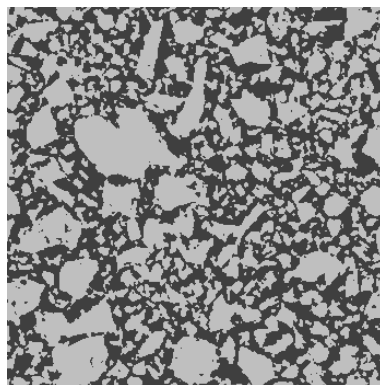
Dvoufázová mikrostruktura, zvětšení 900x, PUC.

Zdroj: <https://cemhub.fsv.cvut.cz/datamaterial/output/id/31/>

Referenční mikrostruktura:



Komprimovaná reprezentace:

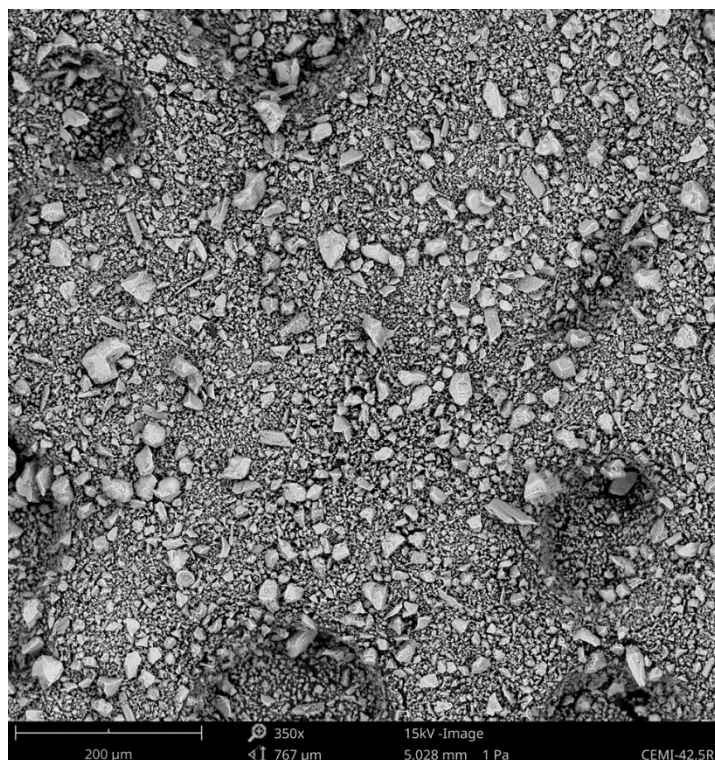


Mikrostruktura I I: Portlandský cement

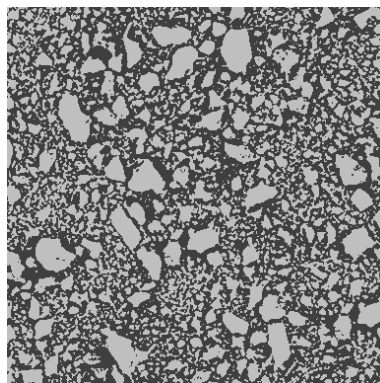
Dvoufázová mikrostruktura, zvětšení 350x, PUC.

Zdroj: <https://cemhub.fsv.cvut.cz/datamaterial/output/id/31/>

Referenční mikrostruktura:



Komprimovaná reprezentace:

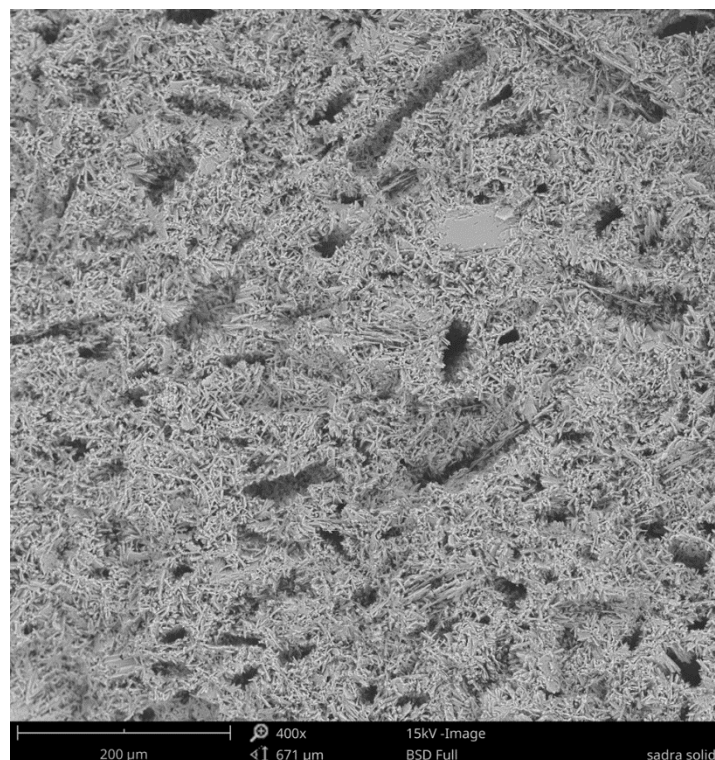


Mikrostruktura I2: Sádra ztuhlá

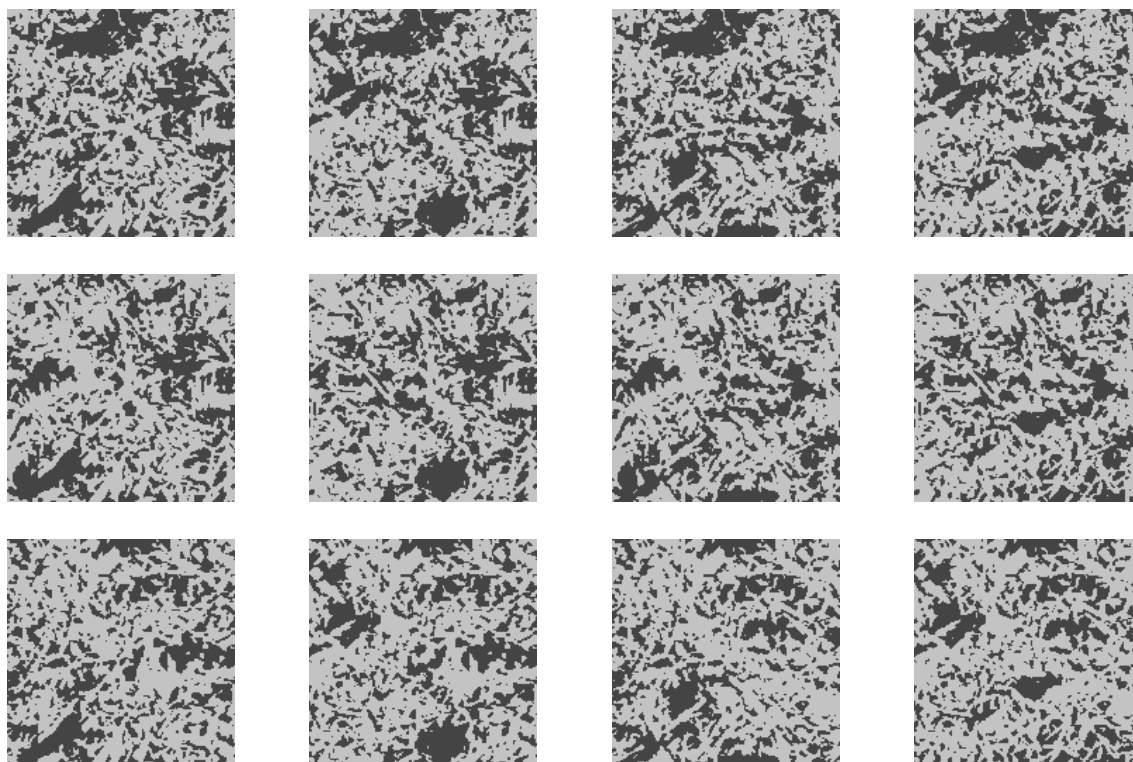
Dvoufázová mikrostruktura, zvětšení 400x, W16/4-4.

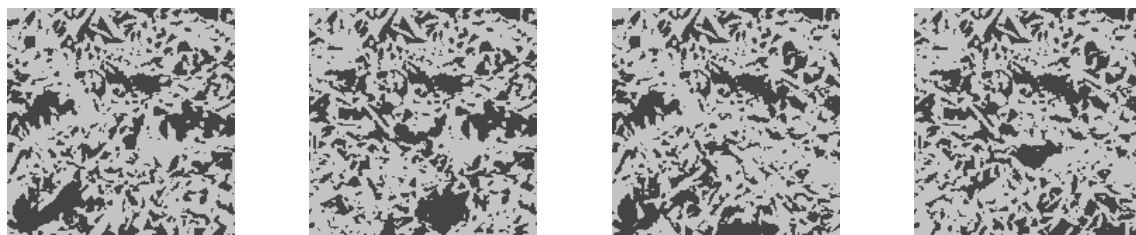
Zdroj: <https://cemhub.fsv.cvut.cz/datamaterial/output/id/26/>

Referenční mikrostruktura:



Komprimovaná reprezentace:



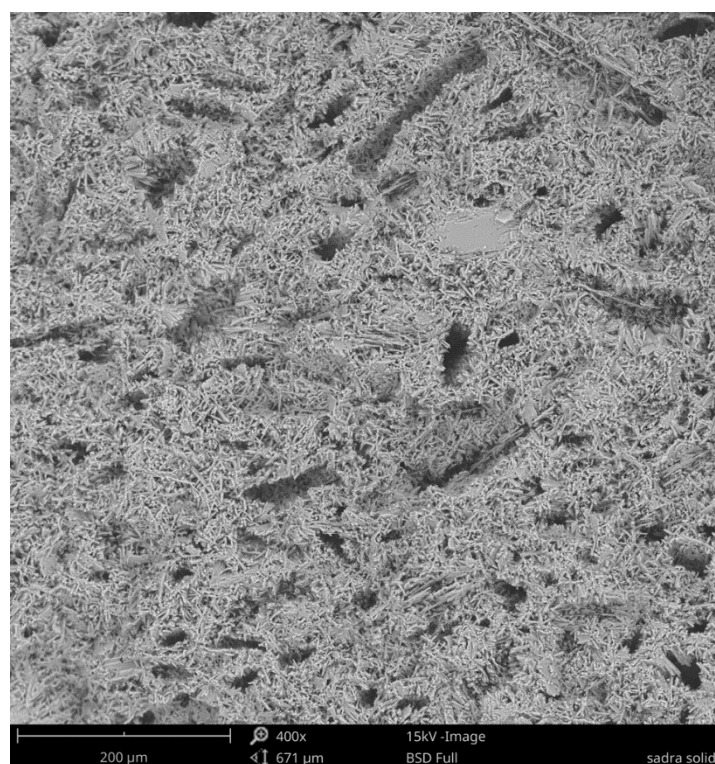


Mikrostruktura I3: Sádra ztuhlá

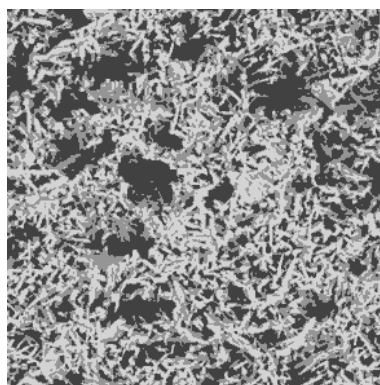
Třífázová mikrostruktura, zvětšení 400x, PUC.

Zdroj: <https://cemhub.fsv.cvut.cz/datamaterial/output/id/26/>

Referenční mikrostruktura:



Komprimovaná reprezentace:



Mikrostruktura I4: Sádra ztuhlá

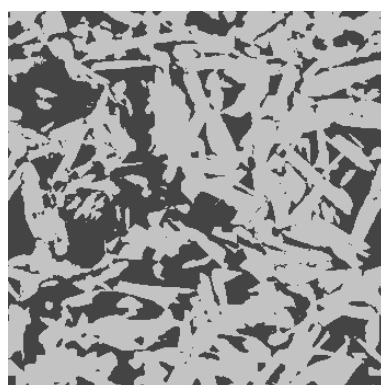
Dvoufázová mikrostruktura, zvětšení 2000x magnification, PUC.

Zdroj: <https://cemhub.fsv.cvut.cz/datamaterial/output/id/26/>

Referenční mikrostruktura:



Komprimovaná reprezentace:

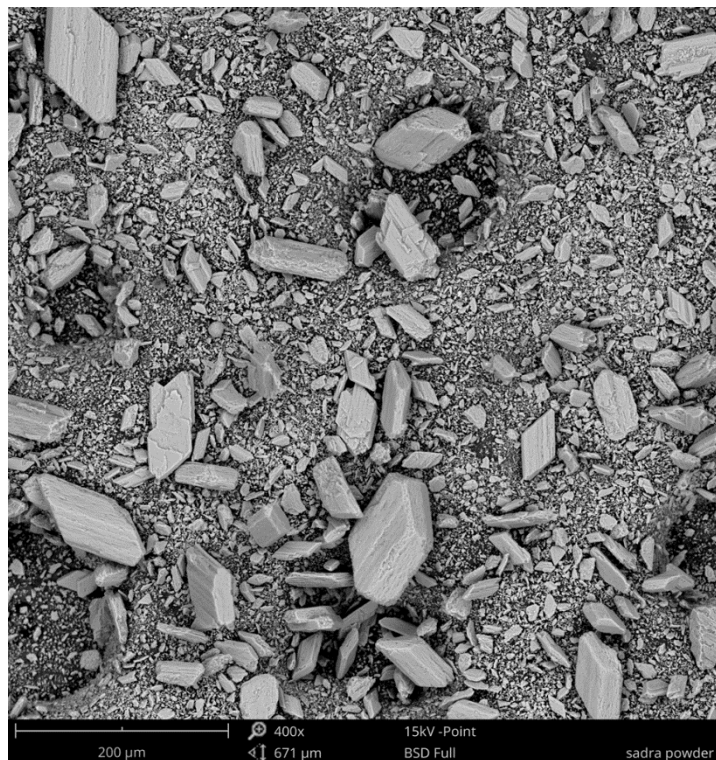


Mikrostruktura I5: Sádrový prach

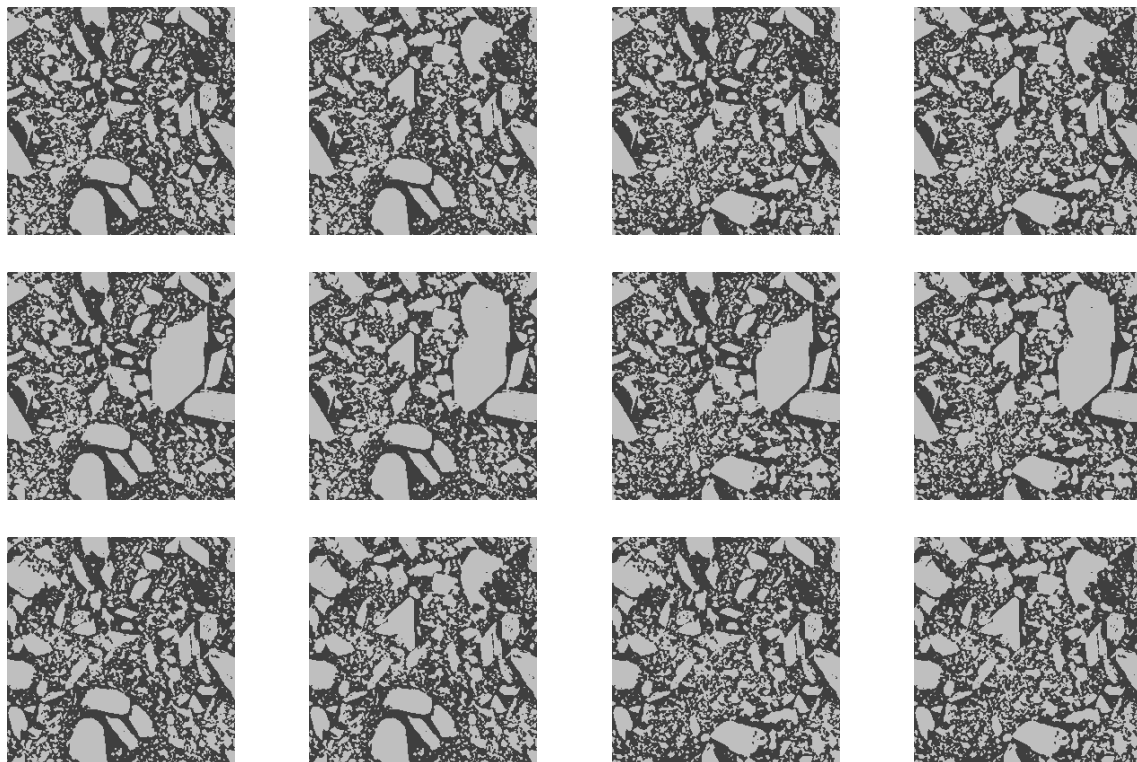
Dvoufázová mikrostruktura, zvětšení 400x, W16/2-2.

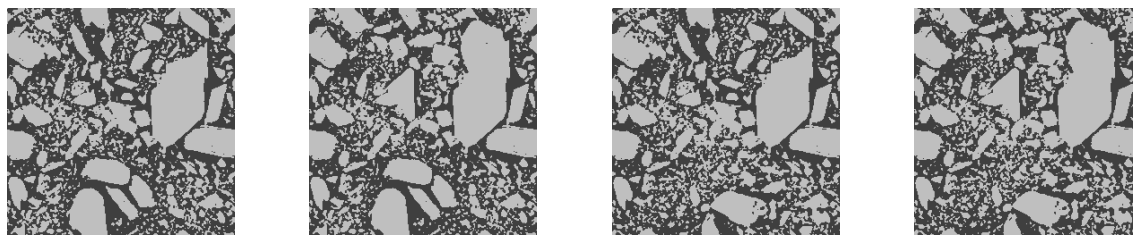
Zdroj: <https://cemhub.fsv.cvut.cz/datamaterial/output/id/27/>

Referenční mikrostruktura:



Komprimovaná reprezentace:



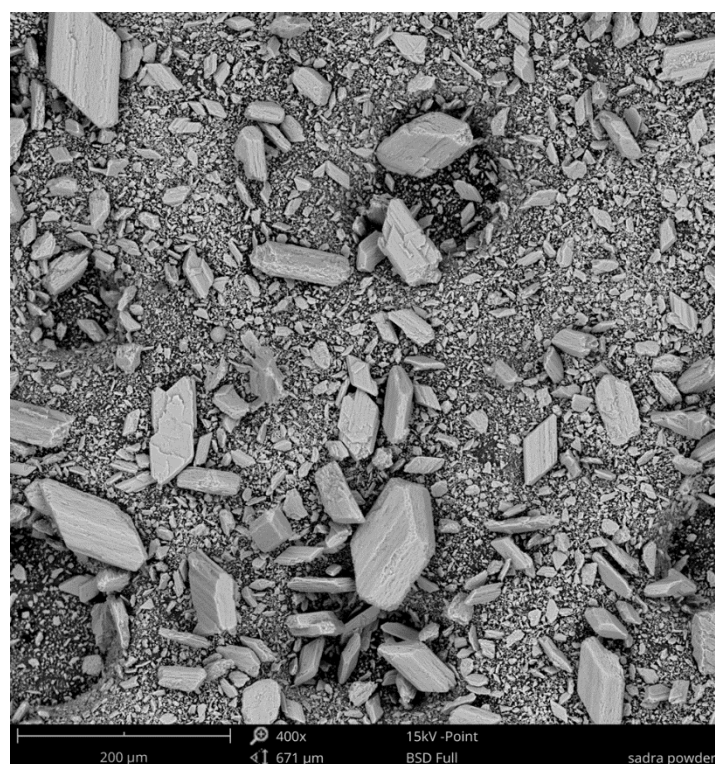


Mikrostruktura I6: Sádrový prach

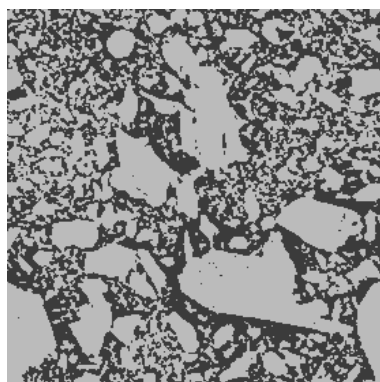
Dvoufázová mikrostruktura, zvětšení 400x, PUC.

Zdroj: <https://cemhub.fsv.cvut.cz/datamaterial/output/id/27/>

Referenční mikrostruktura:



Komprimovaná reprezentace:

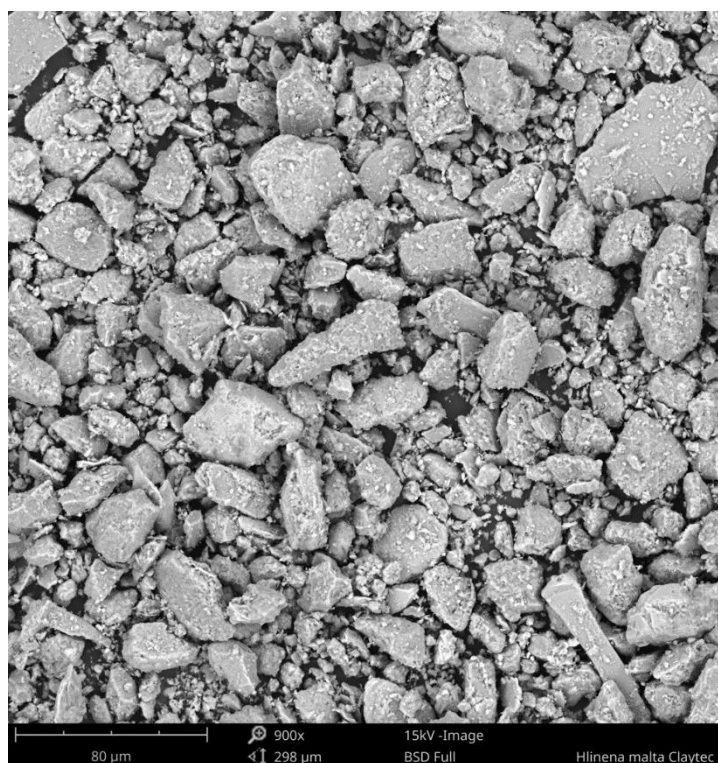


Mikrostruktura I7: Hliněná malta (claytec)

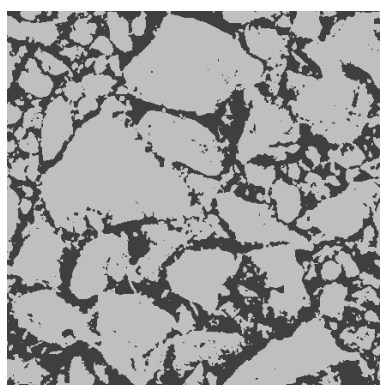
Dvoufázová mikrostruktura, zvětšení 900x, PUC.

Zdroj: <https://cemhub.fsv.cvut.cz/datamaterial/output/id/22/>

Referenční mikrostruktura:



Komprimovaná reprezentace:

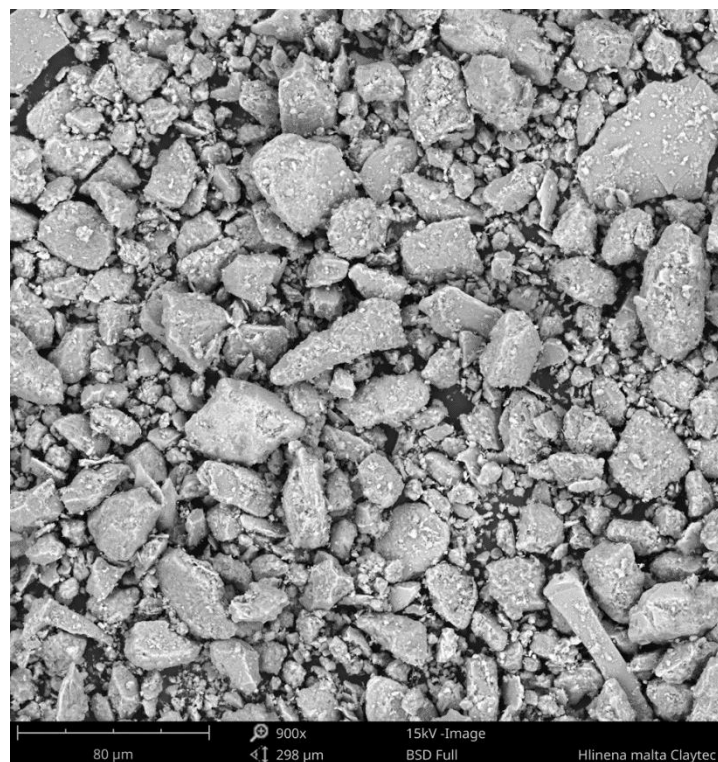


Mikrostruktura I8: Hliněná malta (claytec)

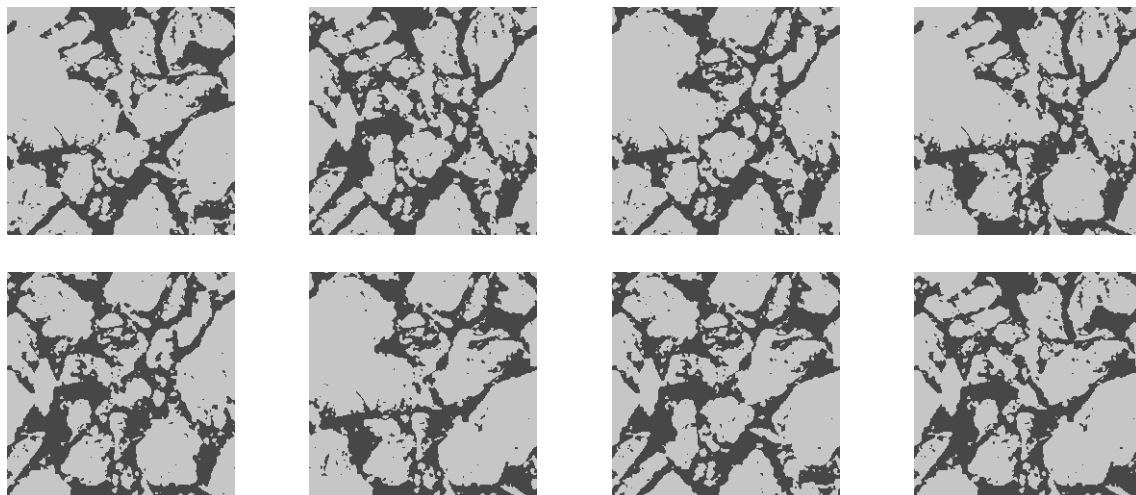
Dvoufázová mikrostruktura, zvětšení 900x, W8/2-2.

Zdroj: <https://cemhub.fsv.cvut.cz/datamaterial/output/id/22/>

Referenční mikrostruktura:



Komprimovaná reprezentace:

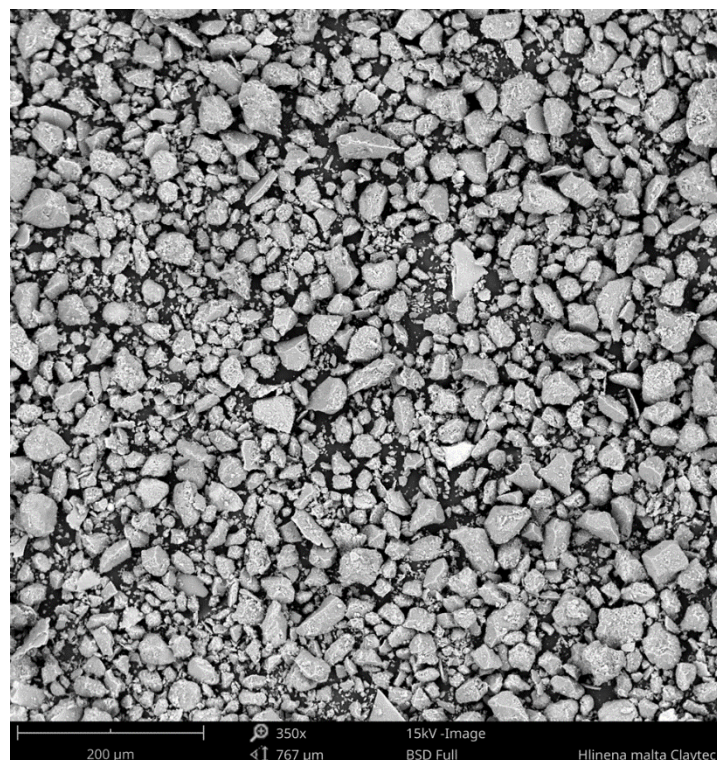


Mikrostruktura I9: Hliněná malta (claytec)

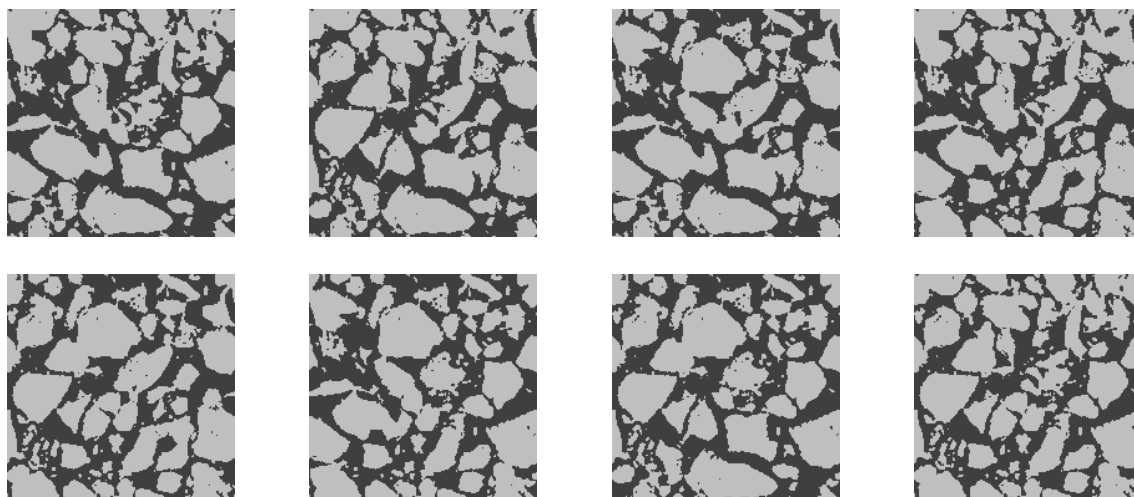
Dvoufázová mikrostruktura, zvětšení 350x, W8/2-2.

Zdroj: <https://cemhub.fsv.cvut.cz/datamaterial/output/id/22/>

Referenční mikrostruktura:



Komprimovaná reprezentace:

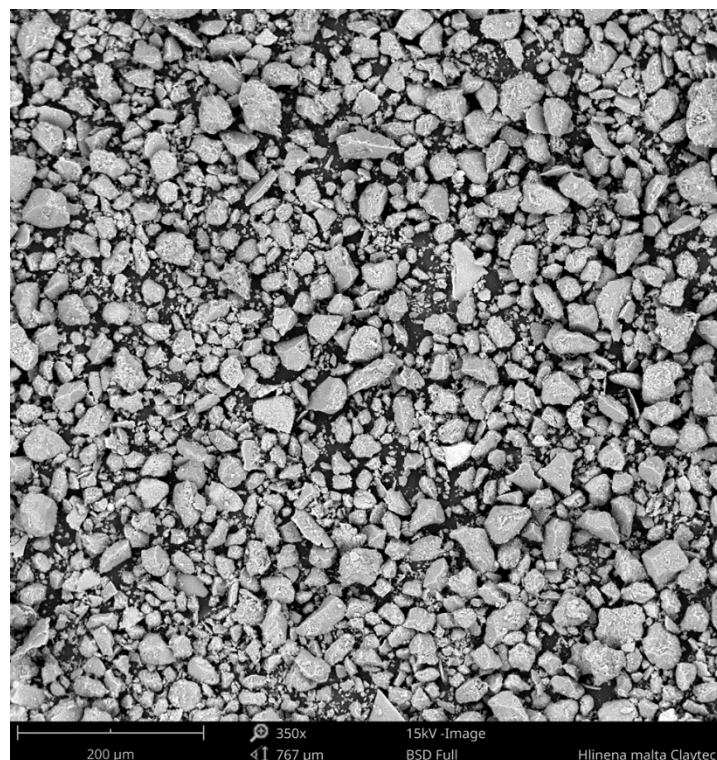


Mikrostruktura 20: Hliněná malta (claytec)

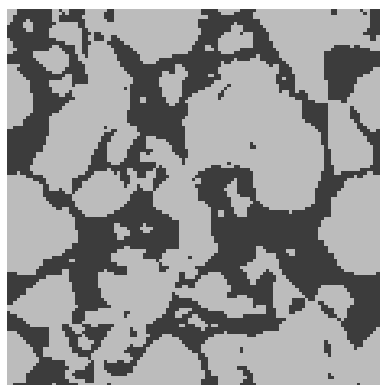
Dvoufázová mikrostruktura, zvětšení 350x, PUC.

Zdroj: <https://cemhub.fsv.cvut.cz/datamaterial/output/id/28/>

Referenční mikrostruktura:



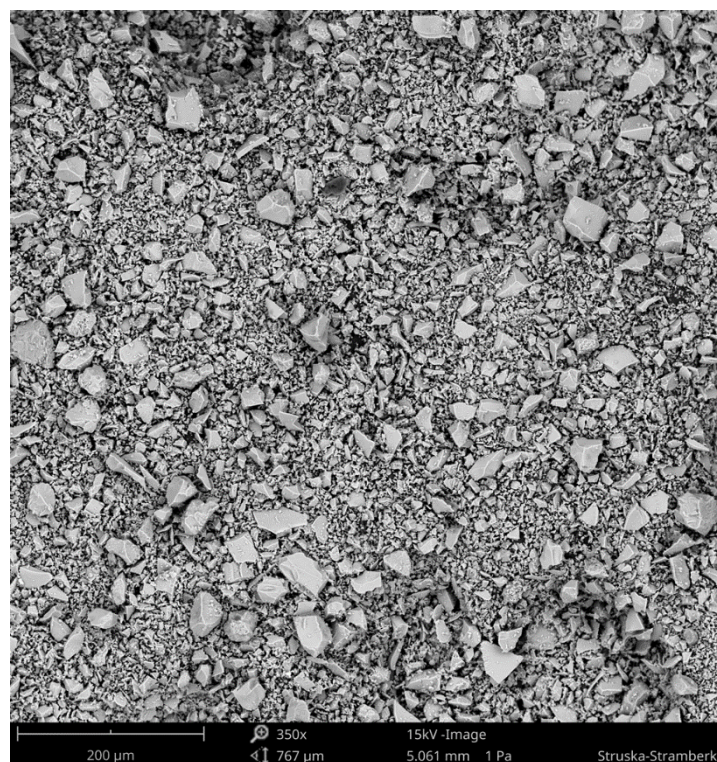
Komprimovaná reprezentace:



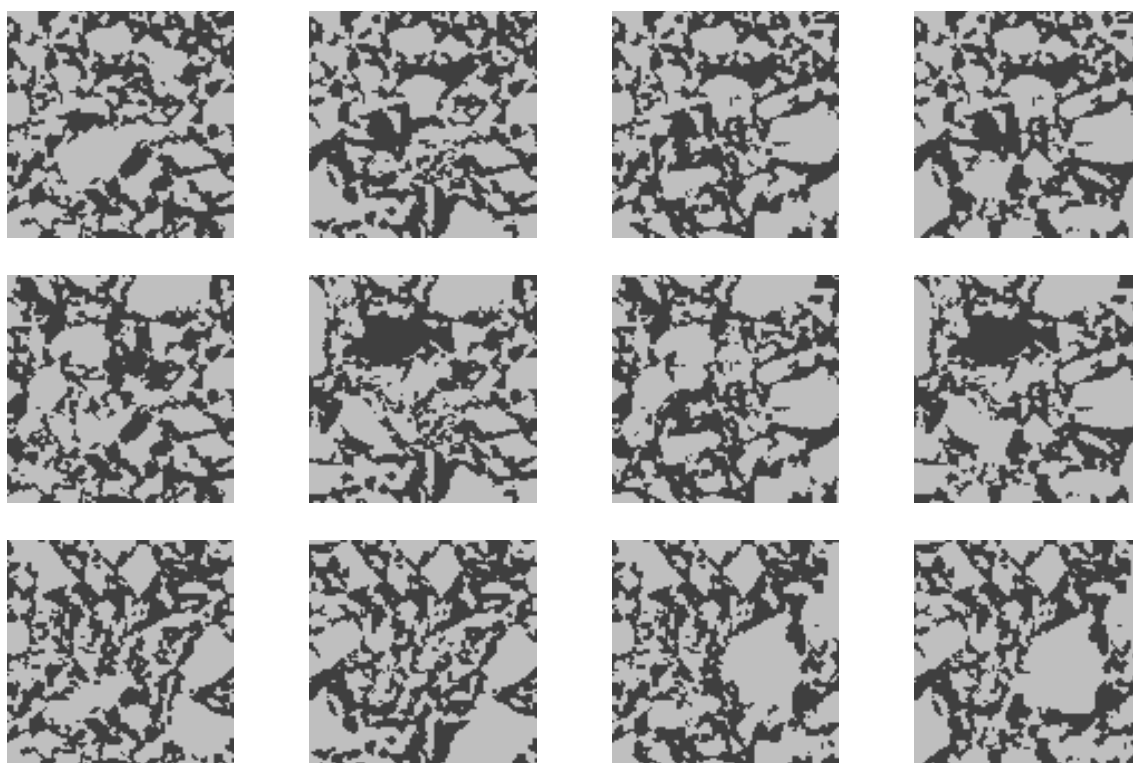
Mikrostruktura 2I: Struska

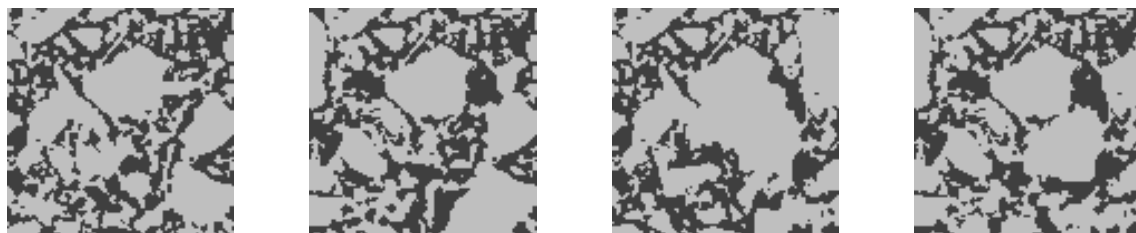
Dvoufázová mikrostruktura, zvětšení 350x, W16/4-4.

Referenční mikrostruktura:



Komprimovaná reprezentace:

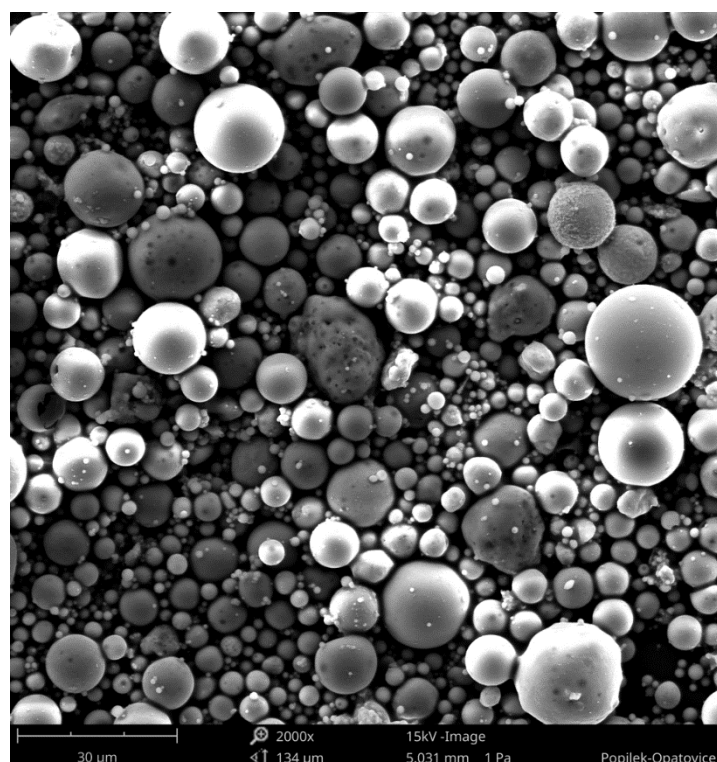




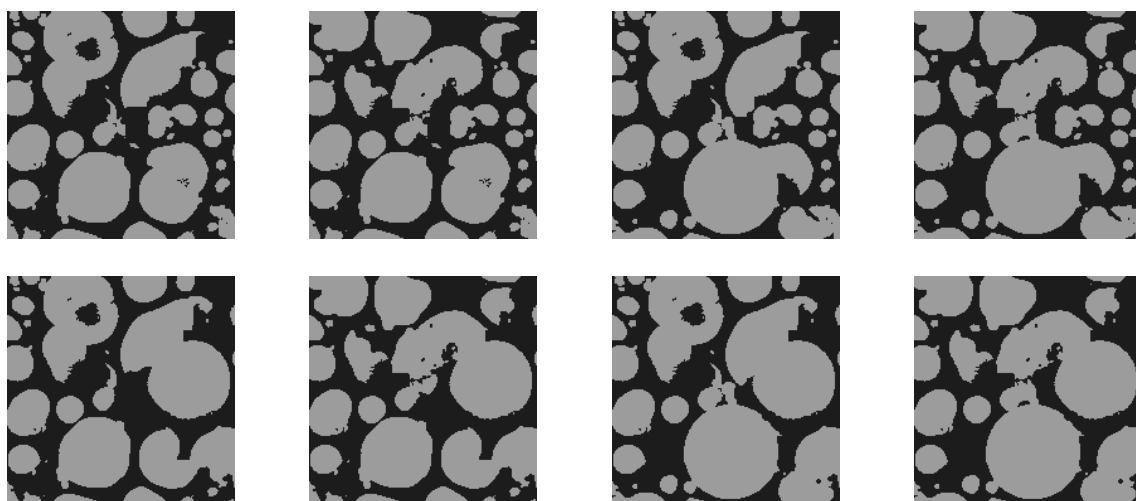
Mikrostruktura 22: Popílek

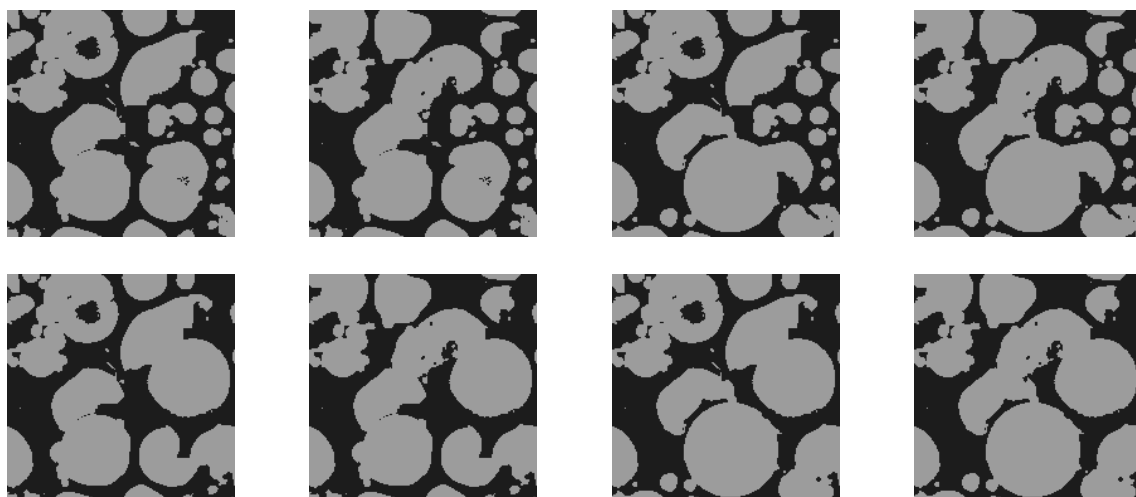
Dvoufázová mikrostruktura, zvětšení 2000x, W16/2-2.

Referenční mikrostruktura:



Komprimovaná reprezentace:

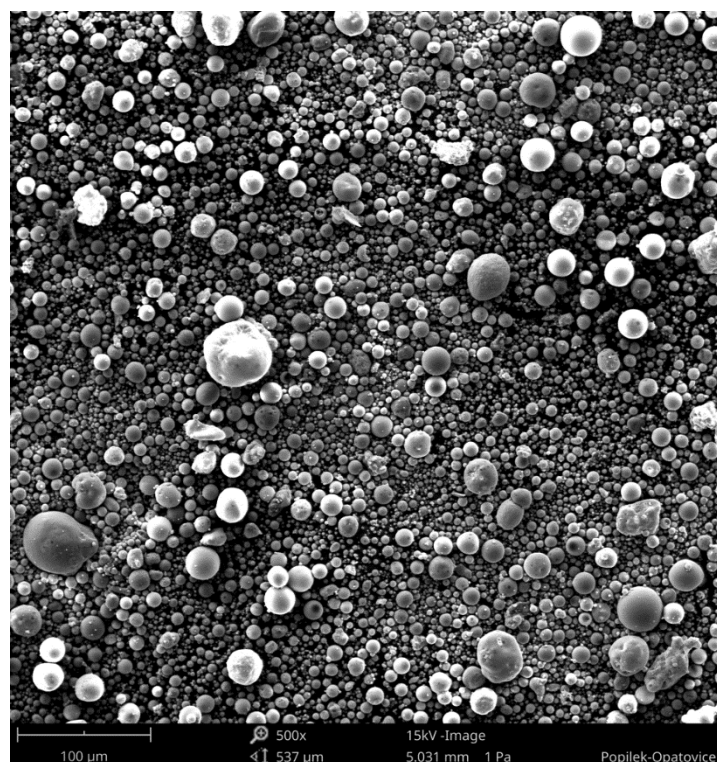




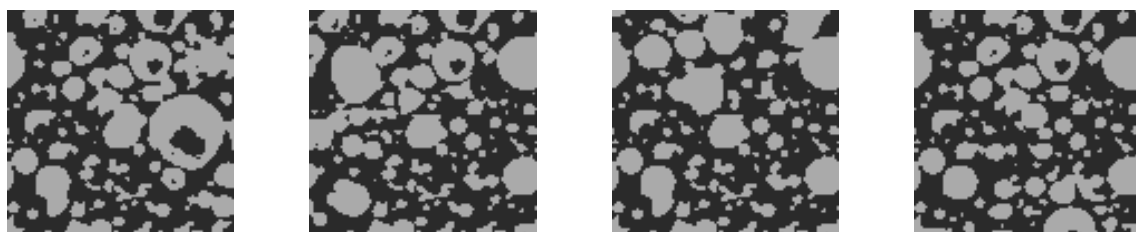
Mikrostruktura 23: Popílek

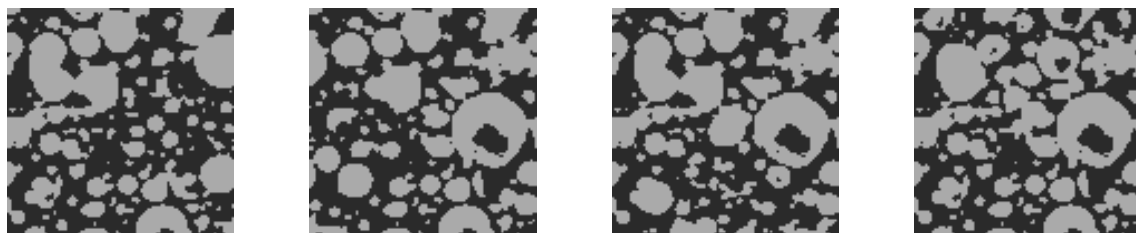
Dvoufázová mikrostruktura, zvětšení 500x magnification, W8/2-2.

Referenční mikrostruktura:



Komprimovaná reprezentace:

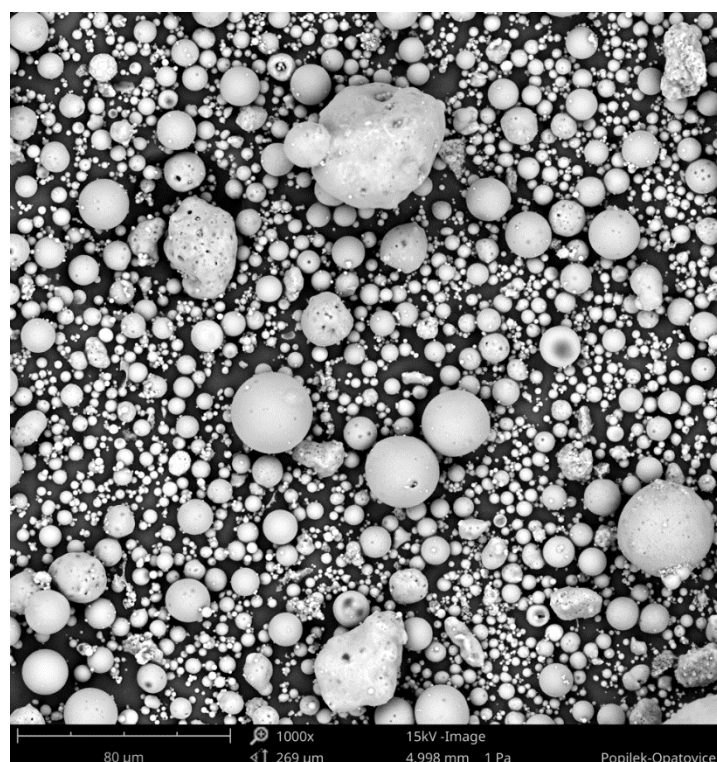




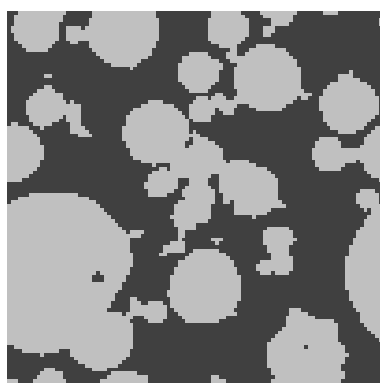
Mikrostruktura 24: Popílek

Dvoufázová mikrostruktura, zvětšení 1000x magnification, PUC.

Referenční mikrostruktura:



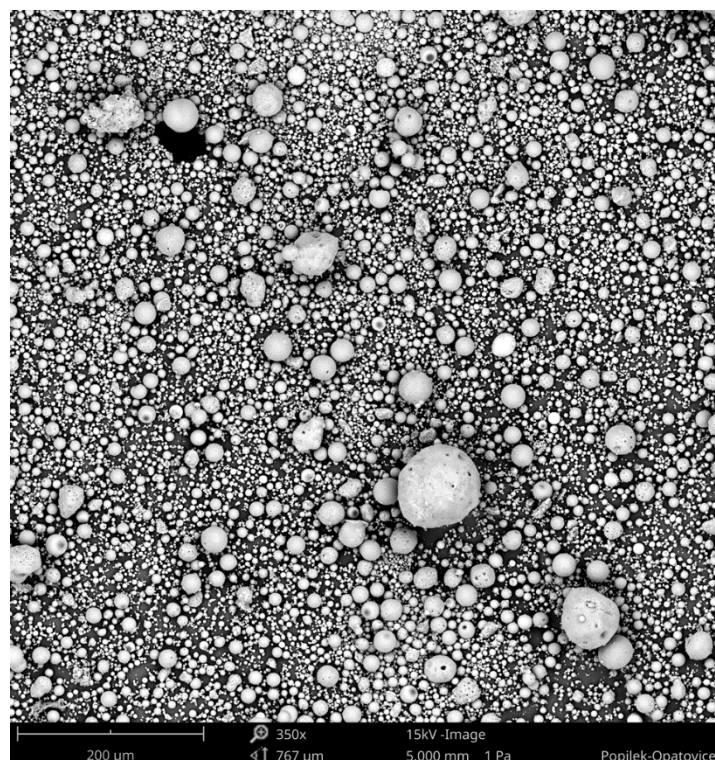
Komprimovaná reprezentace:



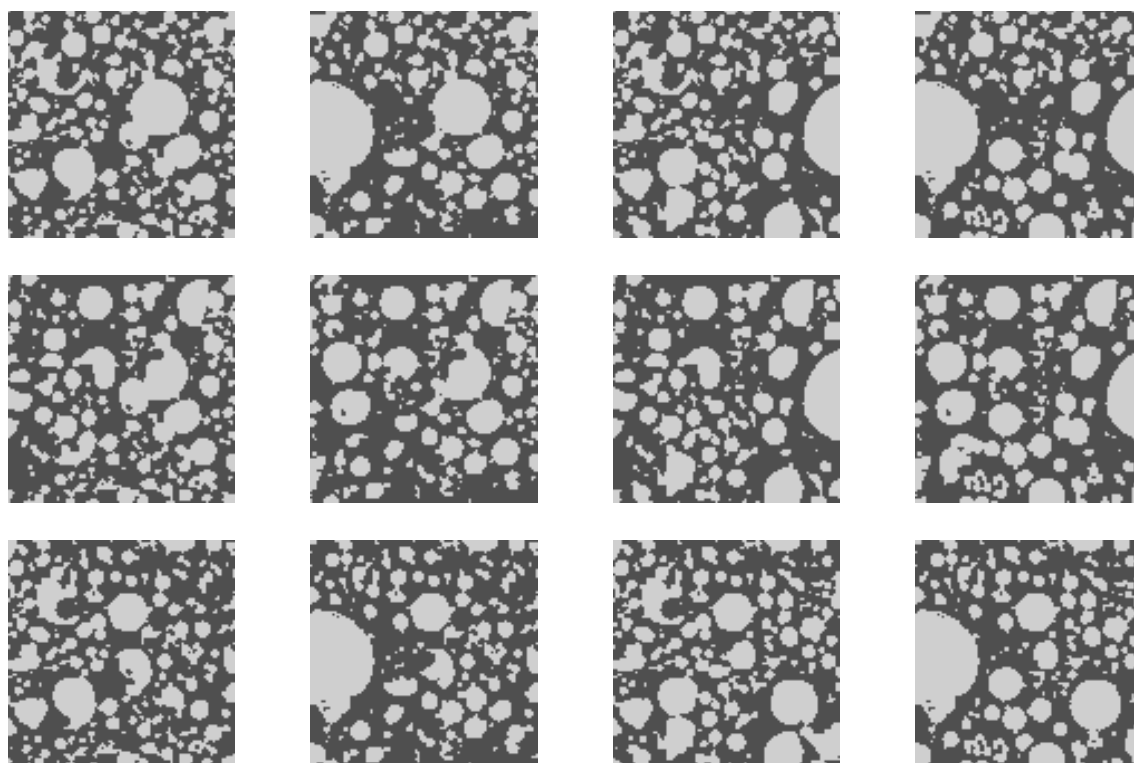
Mikrostruktura 25: Popílek

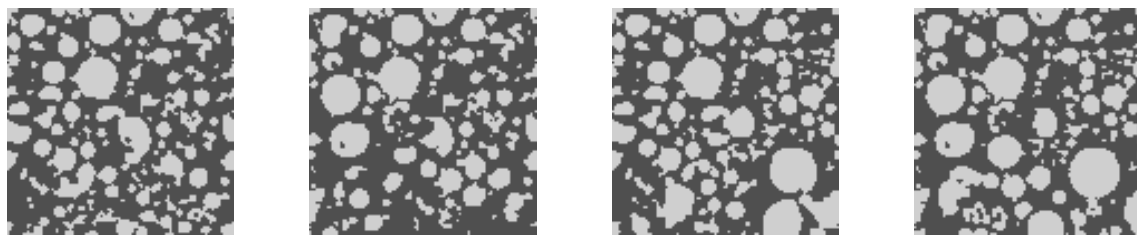
Dvoufázová mikrostruktura, zvětšení 350x magnification, W16/4-4.

Referenční mikrostruktura:



Komprimovaná reprezentace:



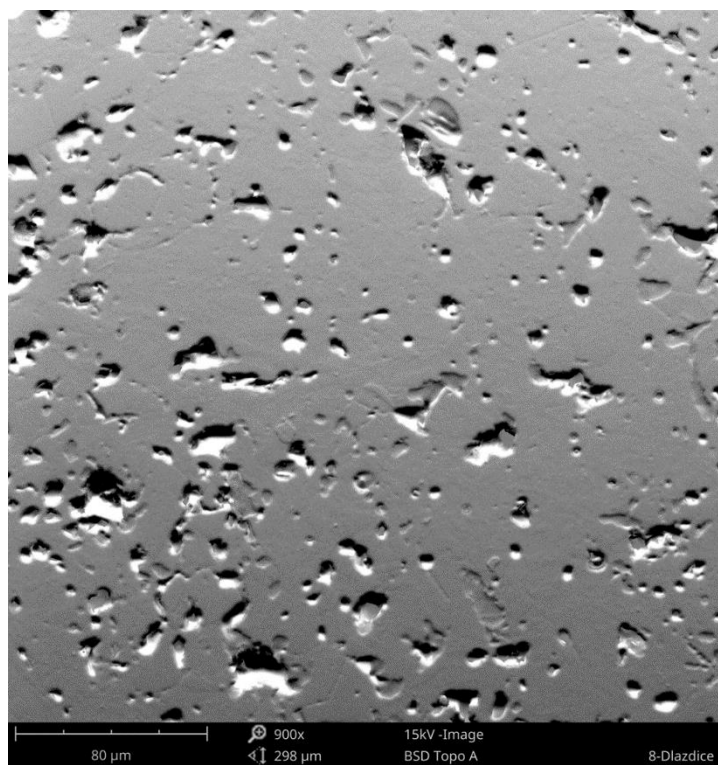


Mikrostruktura 26: Dlažba

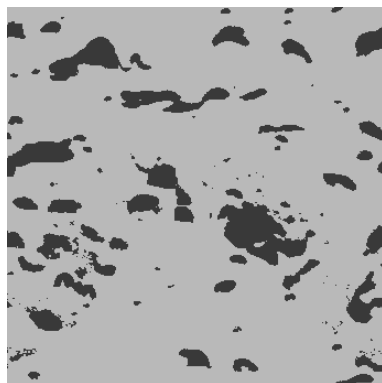
Dvoufázová mikrostruktura, zvětšení 900x magnification), PUC.

Zdroj: <https://cemhub.fsv.cvut.cz/datamaterial/output/id/30/>

Referenční mikrostruktura:



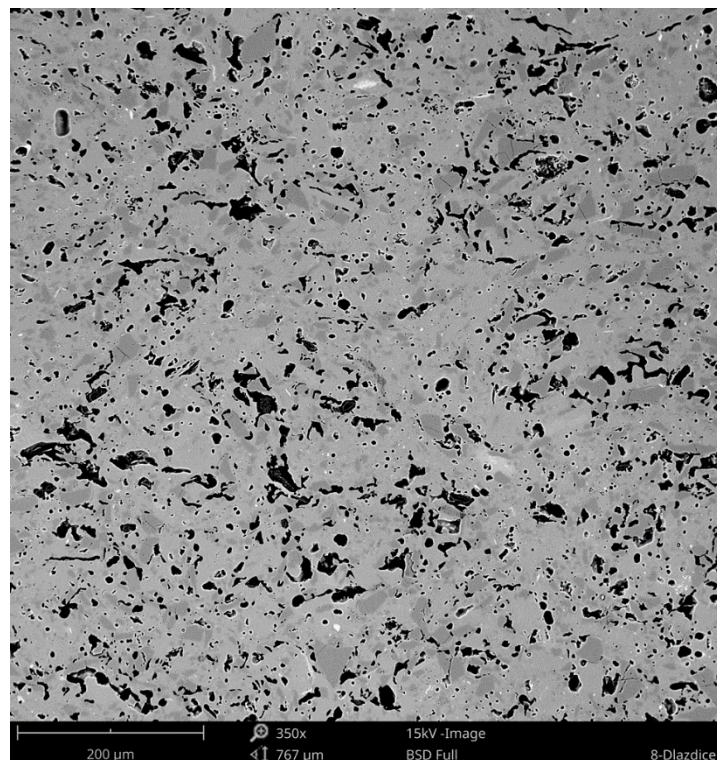
Komprimovaná reprezentace:



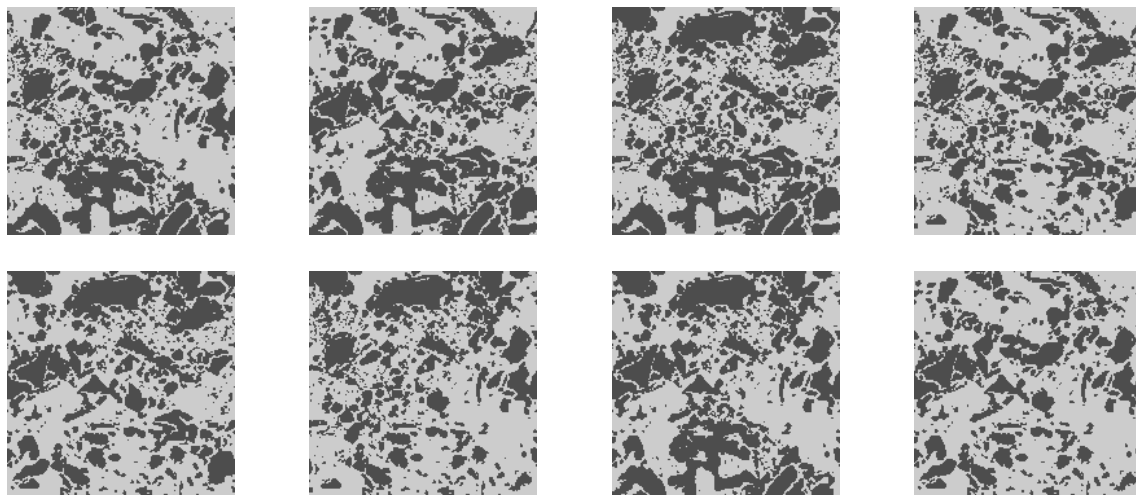
Mikrostruktura 27: Dlažba

Dvoufázová mikrostruktura, zvětšení 350x magnification, W8/2-2.

Referenční mikrostruktura:



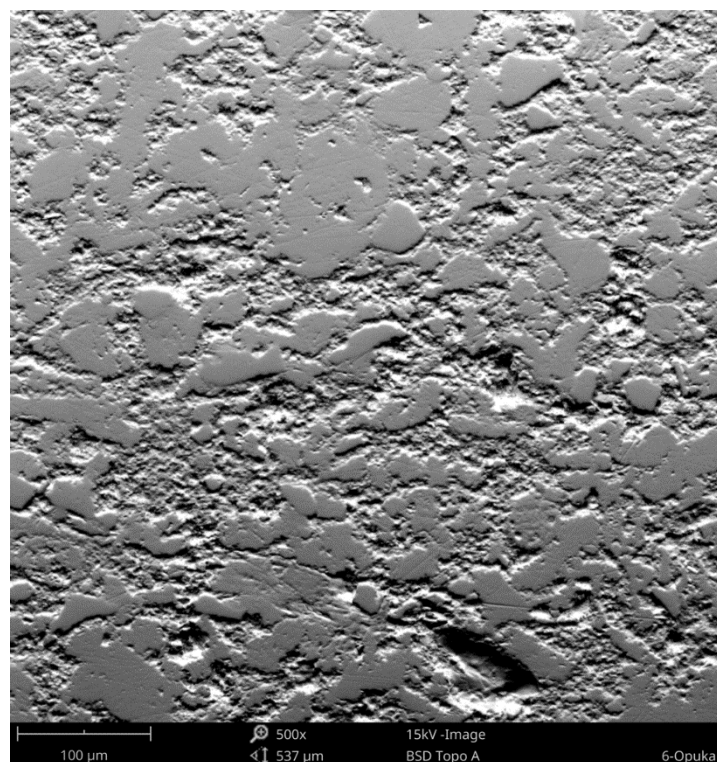
Komprimovaná reprezentace:



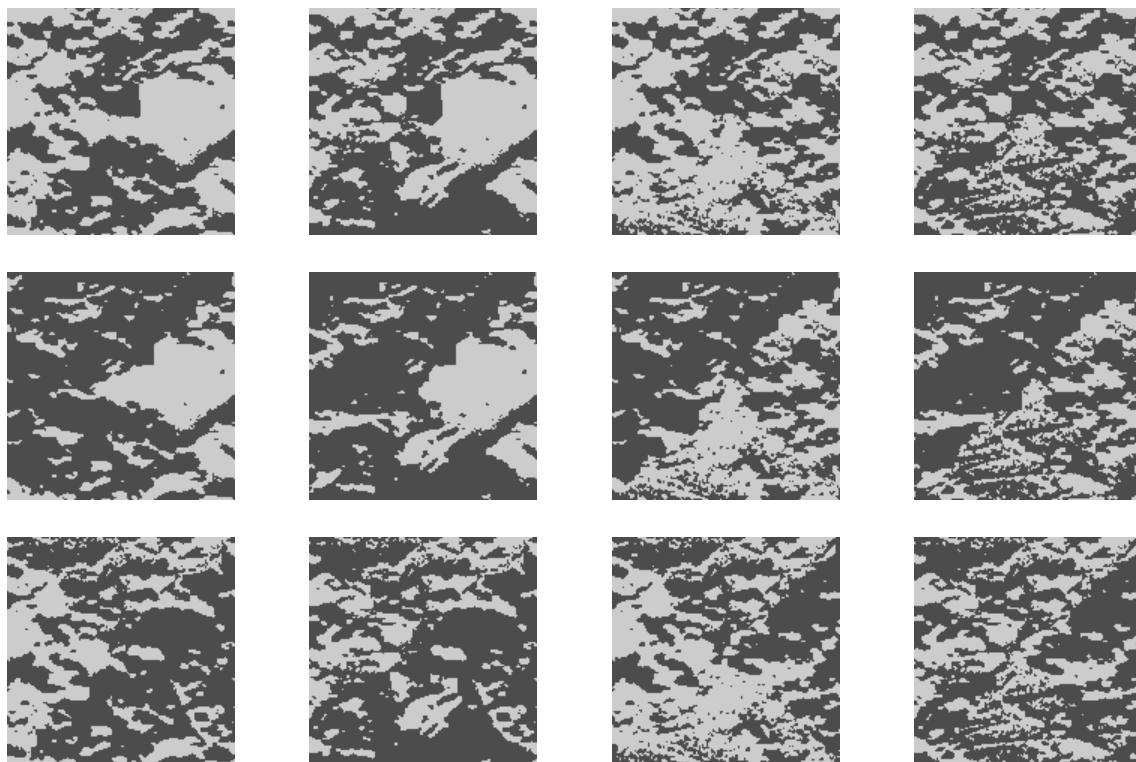
Mikrostruktura 28: Opuka

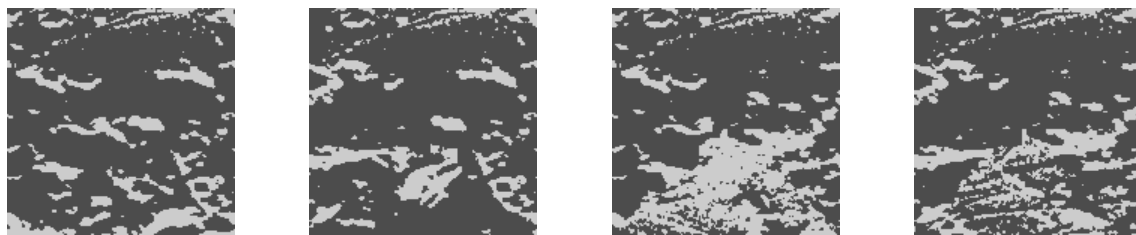
Dvoufázová mikrostruktura, zvětšení 500x magnification, W16/4-4.

Referenční mikrostruktura:



Komprimovaná reprezentace:

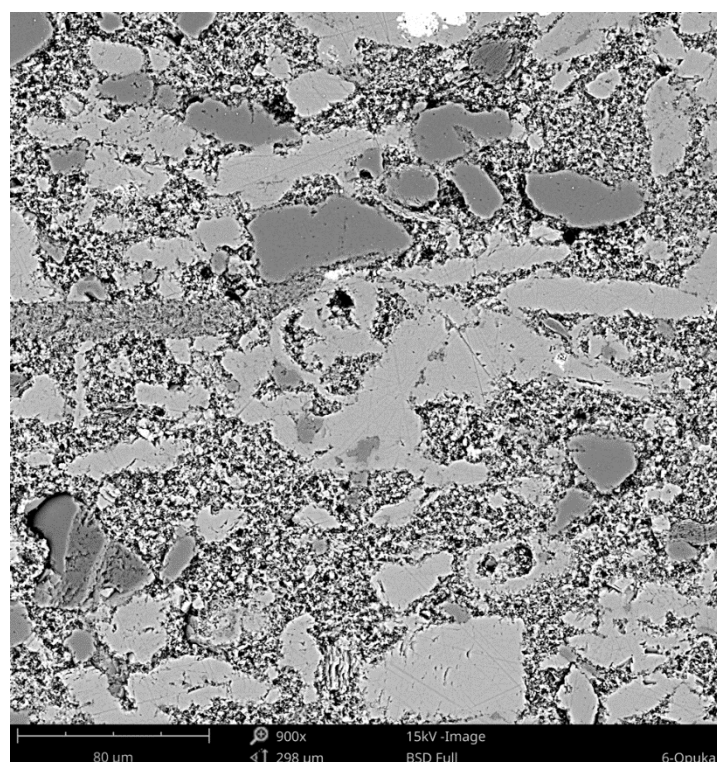




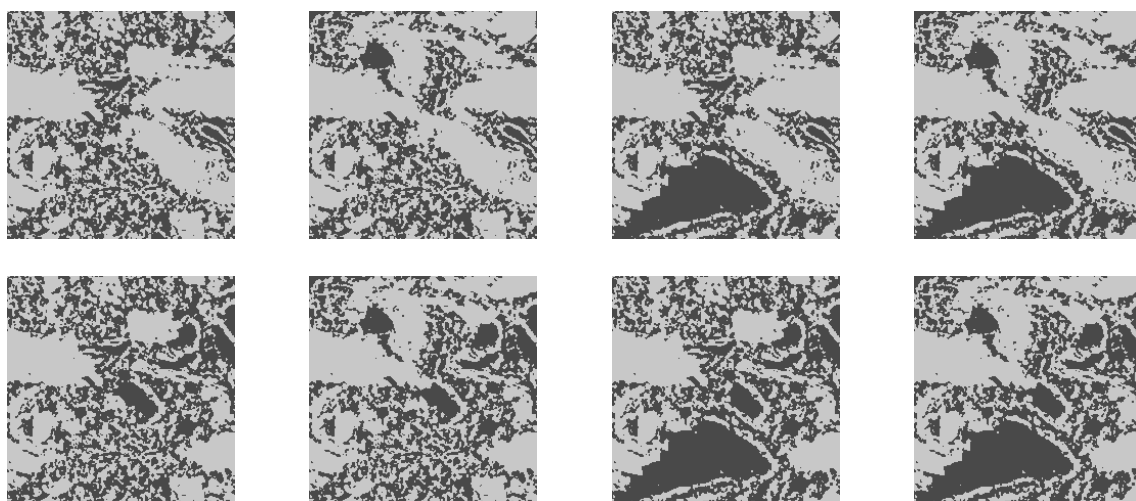
Mikrostruktura 29: Opuka

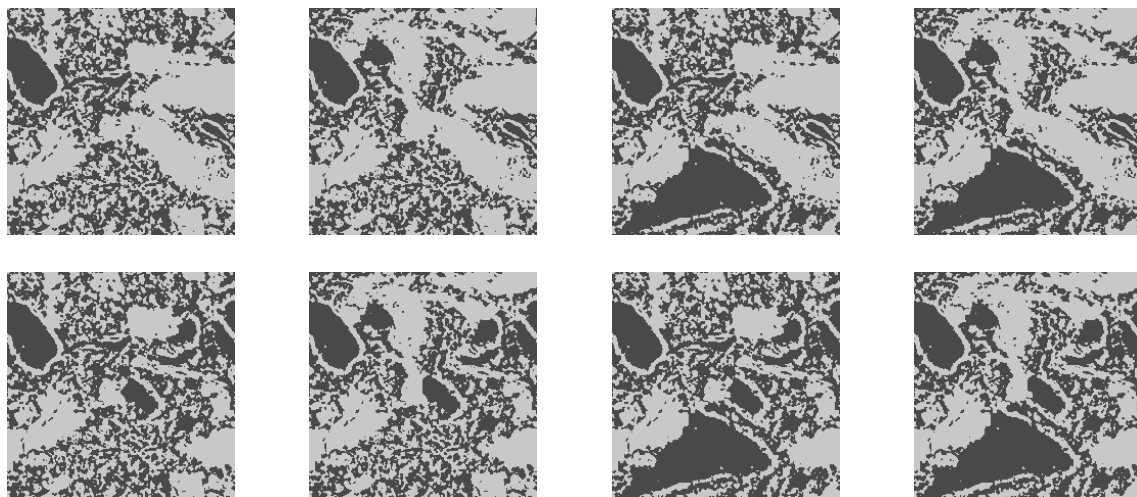
Dvoufázová mikrostruktura, zvětšení 900x magnification, W16/2-2.

Referenční mikrostruktura:



Komprimovaná reprezentace:

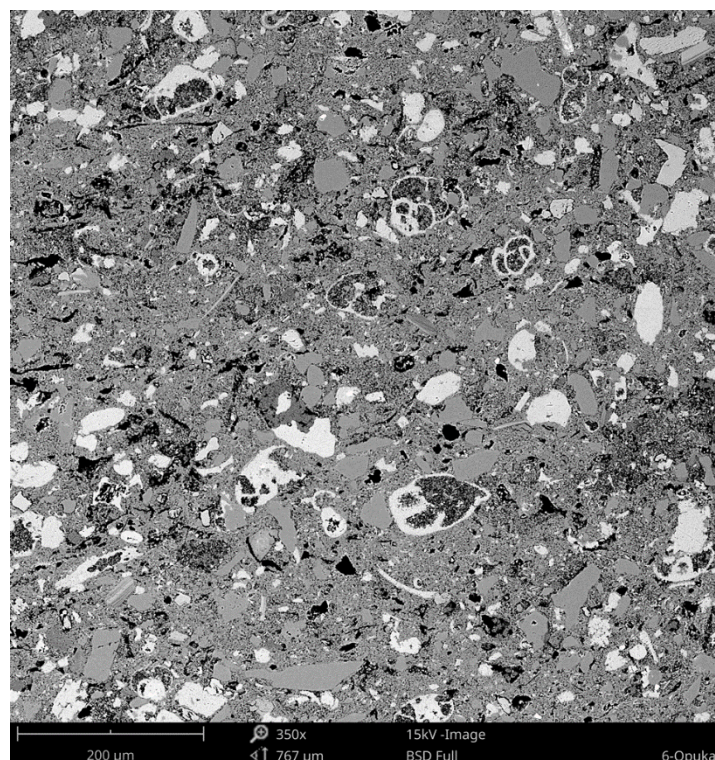




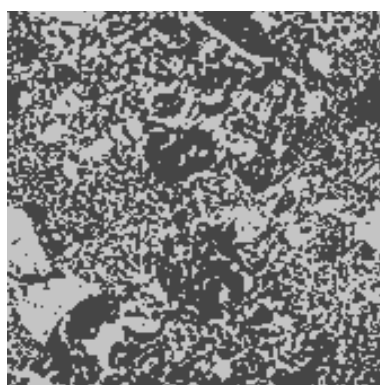
Mikrostruktura 30: Opuka

Dvoufázová mikrostruktura, zvětšení 350x magnification, PUC.

Referenční mikrostruktura:



Komprimovaná reprezentace:

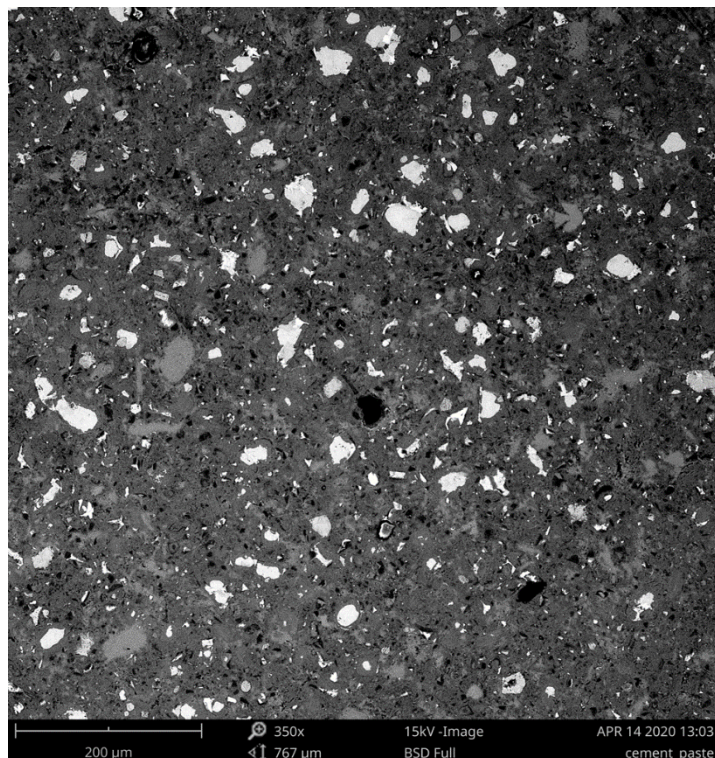


Mikrostruktura 3 I: Cementová pasta

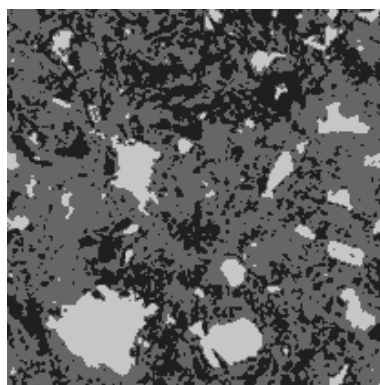
Třífázová mikrostruktura, zvětšení 350x, PUC.

Zdroj: <https://cemhub.fsv.cvut.cz/datamaterial/output/id/1/>

Referenční mikrostruktura:



Komprimovaná reprezentace:

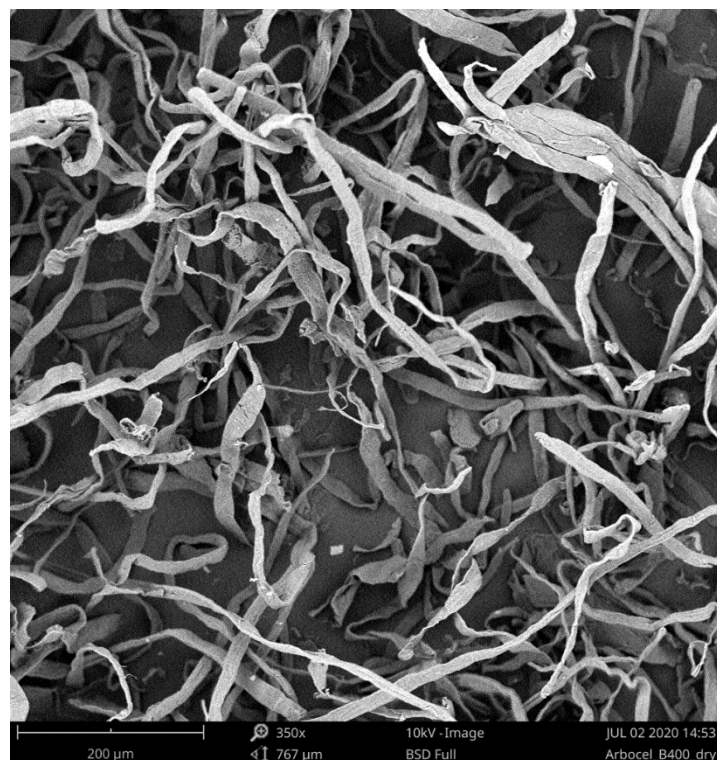


Mikrostruktura 32: Arbocel

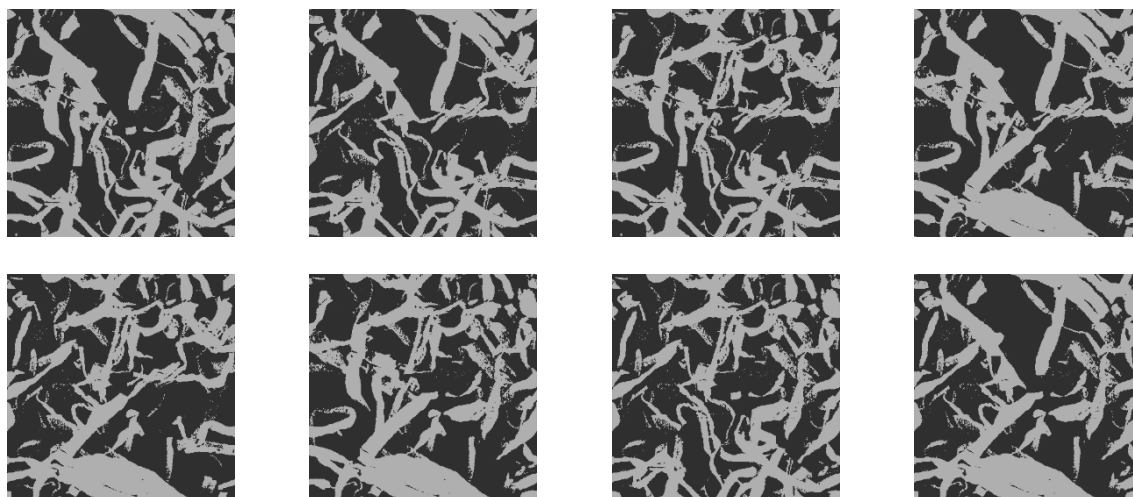
Dvoufázová mikrostruktura, zvětšení 350x, W8/2-2.

Zdroj: <https://cemhub.fsv.cvut.cz/datamaterial/output/id/9/>

Referenční mikrostruktura:



Komprimovaná reprezentace:

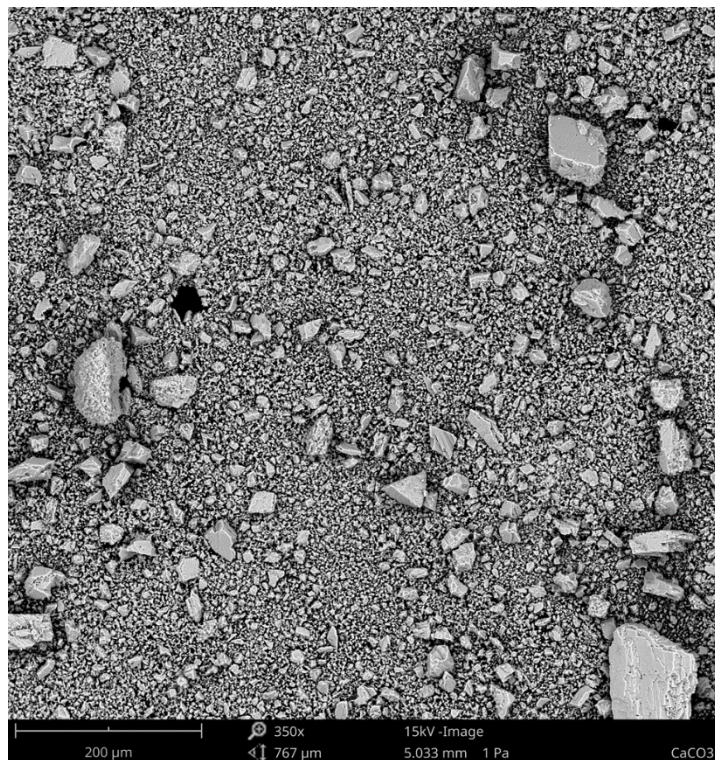


Mikrostruktura 33: CaCO_3 prach

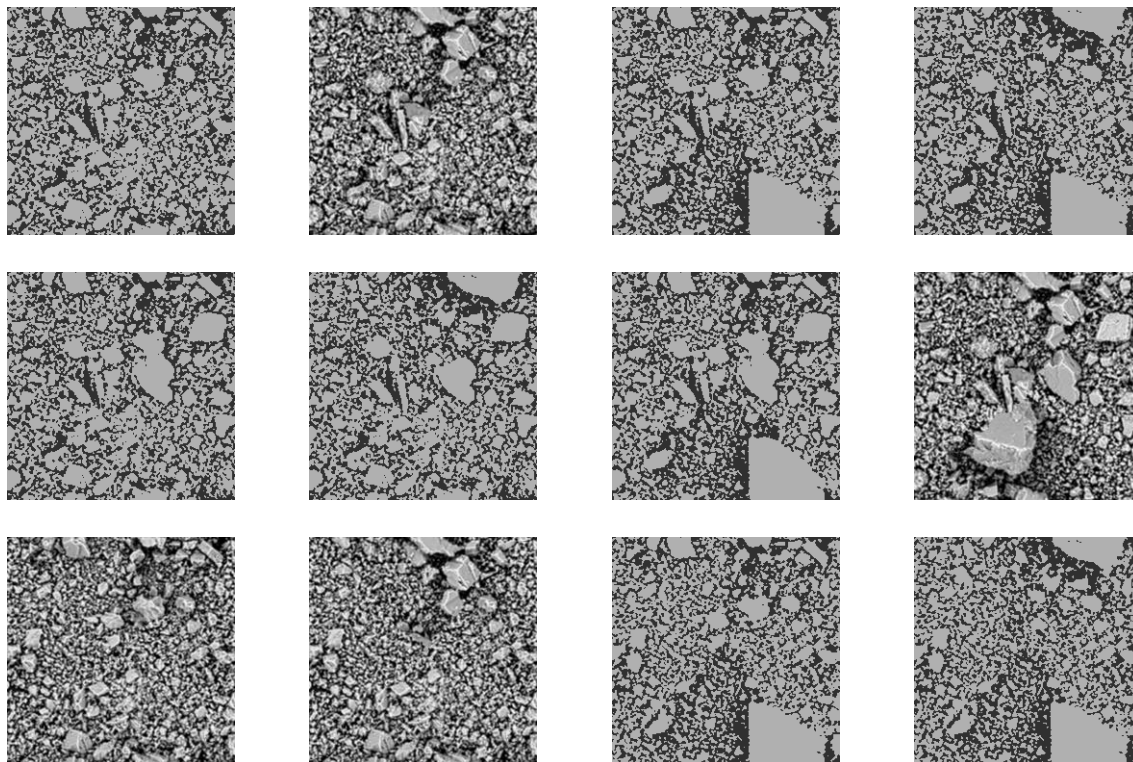
Dvoufázová mikrostruktura, zvětšení 350x, W16/2-2.

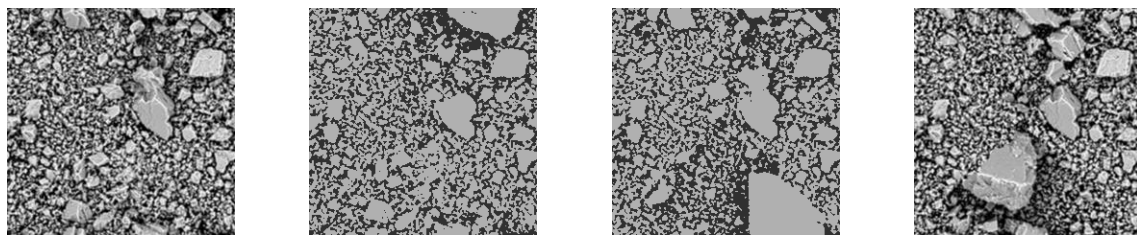
Zdroj: <https://cemhub.fsv.cvut.cz/datamaterial/output/id/28/>

Referenční mikrostruktura:



Komprimovaná reprezentace:



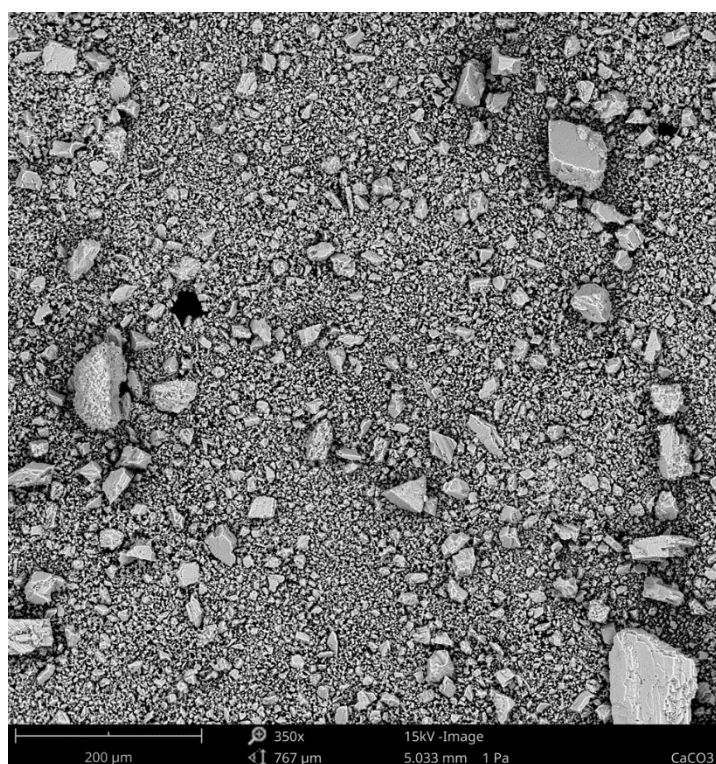


Mikrostruktura 34: CaCO₃ prach

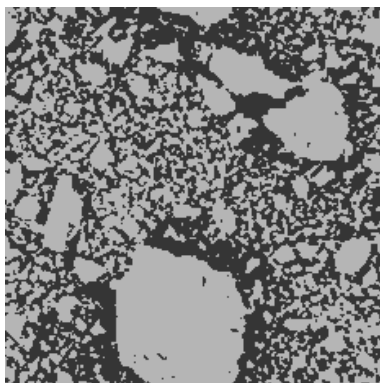
Dvoufázová mikrostruktura, zvětšení 350x, PUC.

Zdroj: <https://cemhub.fsv.cvut.cz/datamaterial/output/id/28/>

Referenční mikrostruktura:



Komprimovaná reprezentace:

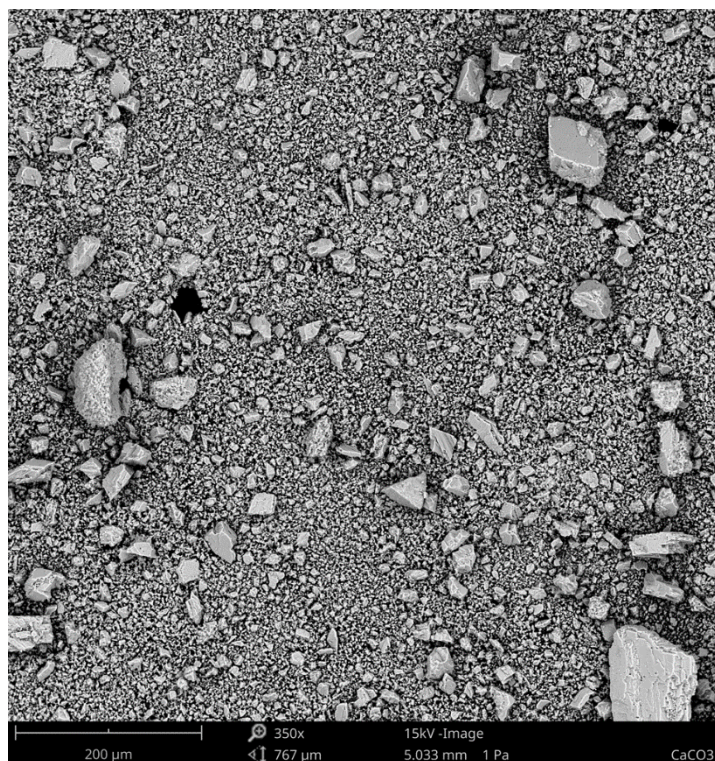


Mikrostruktura 35: CaCO_3 prach

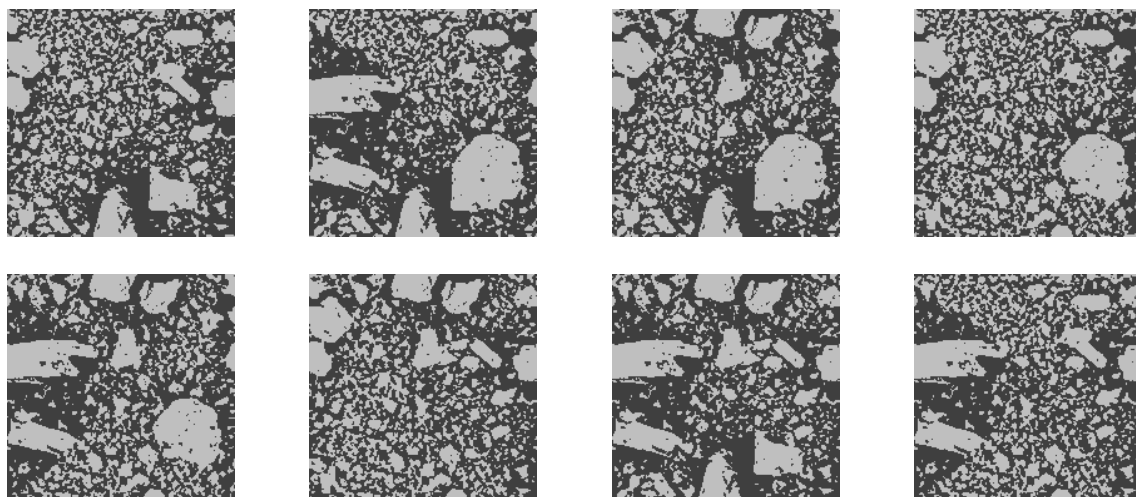
Dvoufázová mikrostruktura, zvětšení 350x, W8/2-2.

Zdroj <https://cemhub.fsv.cvut.cz/datamaterial/output/id/28/>

Referenční mikrostruktura:



Komprimovaná reprezentace:

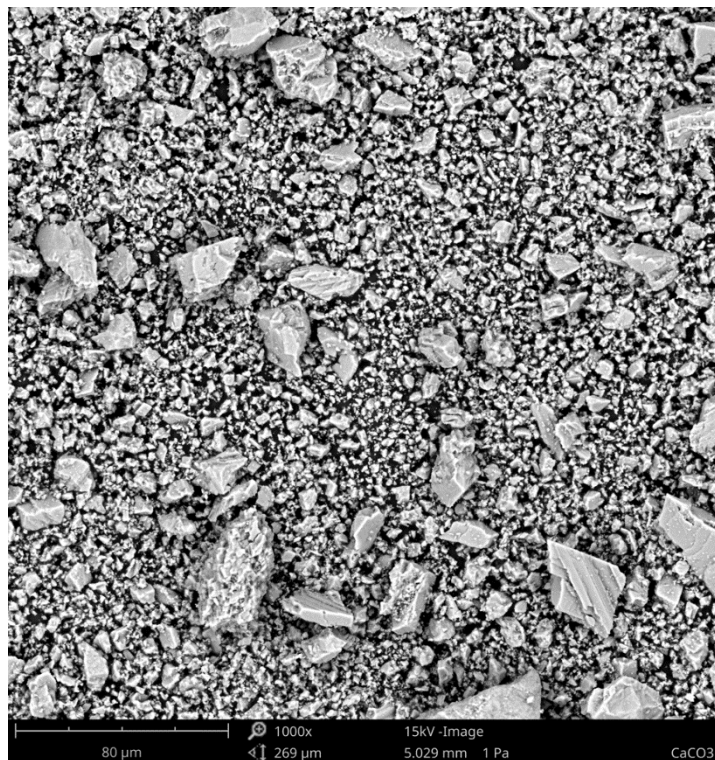


Mikrostruktura 36: CaCO_3 prach

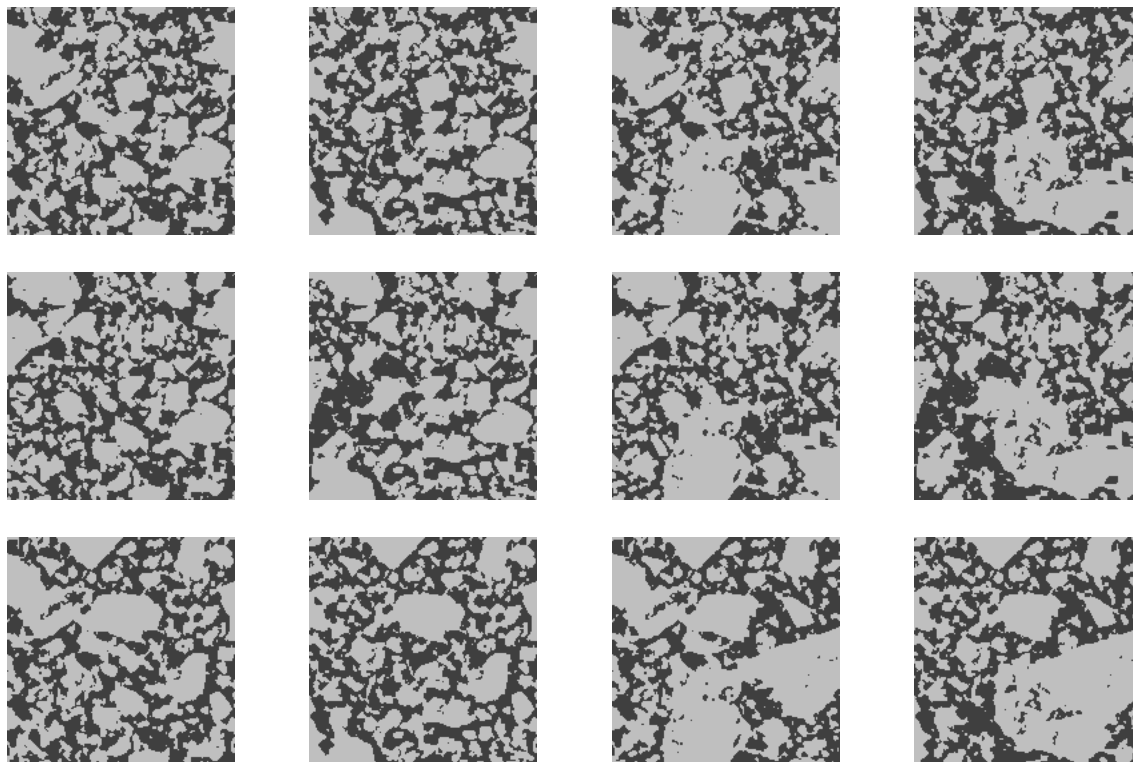
Dvoufázová mikrostruktura, zvětšení 1000x, W16/4-4.

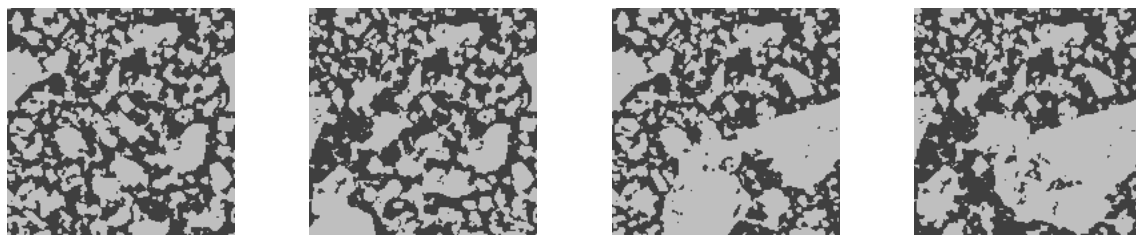
Zdroj: <https://cemhub.fsv.cvut.cz/datamaterial/output/id/28/>

Referenční mikrostruktura:



Komprimovaná reprezentace:



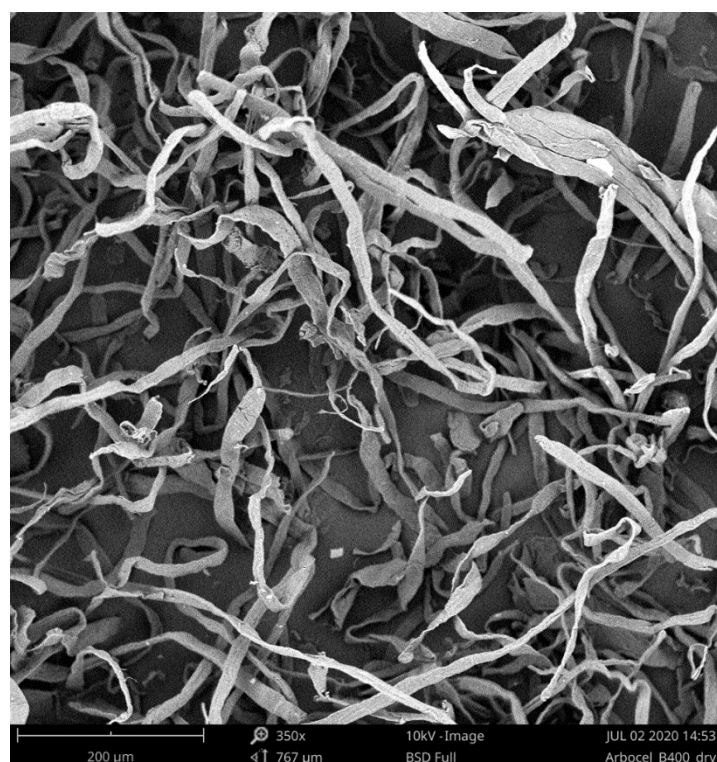


Mikrostruktura 37: Arbocel

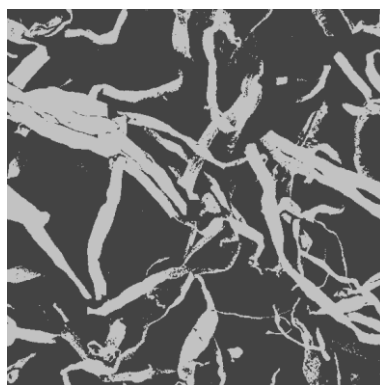
Dvoufázová mikrostruktura, zvětšení 350x, PUC.

Zdroj: <https://cemhub.fsv.cvut.cz/datamaterial/output/id/9/>

Referenční mikrostruktura:



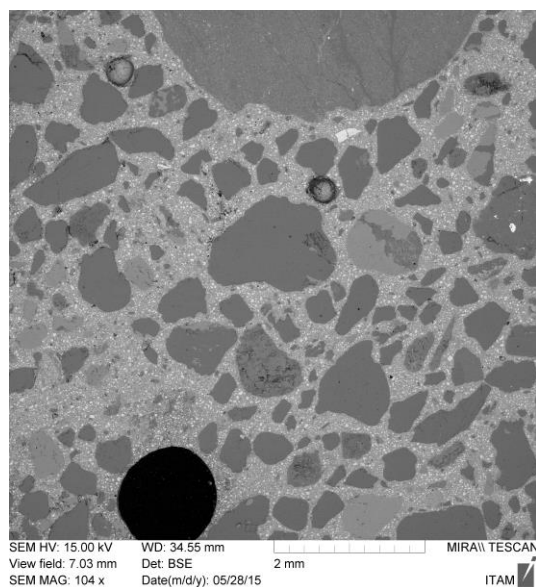
Komprimovaná reprezentace:



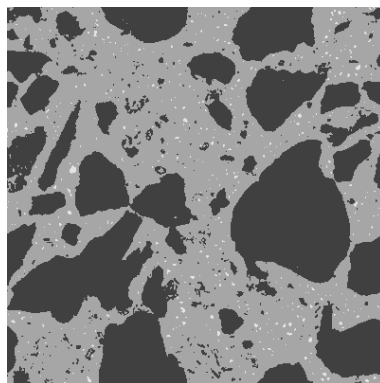
Mikrostruktura 38: Vysokohodnotný beton

Vstupem byla mikrostruktura vysokohodnotného betonu získaného pomocí elektronové mikroskopie (rozlišení vstupního obrázku i výstupní reprezentace je 2283 nm/1 px). Cílem bylo zachytit rozložení drobného kameniva v cementové pastě. Z důvodu omezené vstupní informace byla zvolena komprese založená na jedné periodické buňce (PUC). Jednotlivé mikrostruktury níže nejsou uvedeny v měřítku; stupně šedi také nejsou zachovány, jelikož komprimované reprezentace již obsahuje prahování referenční mikrostruktury ve stupních šedi.

Referenční mikrostruktura:



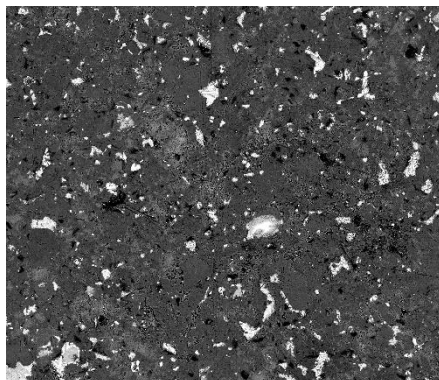
Komprimovaná reprezentace:



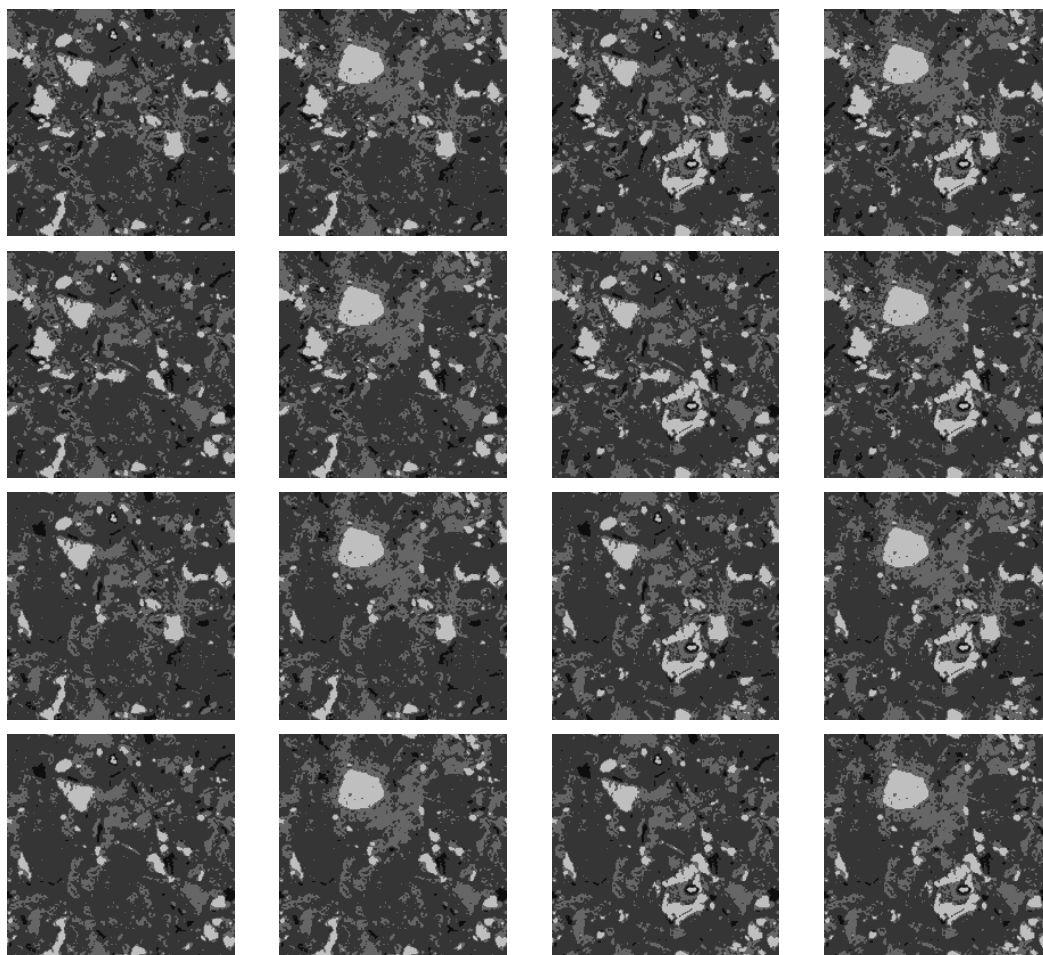
Mikrostruktura 39: Cementová pasta

Cílem bylo zachytit mikrostrukturu cementové pasty zachycenou pomocí elektronového mikroskopu (rozlišení 105 nm/1 px). Komprimované reprezentace byla zvolena ve formě šestnácti modulů/dlaždic s dvěma různými kódy v každém směru.

Referenční mikrostruktura:



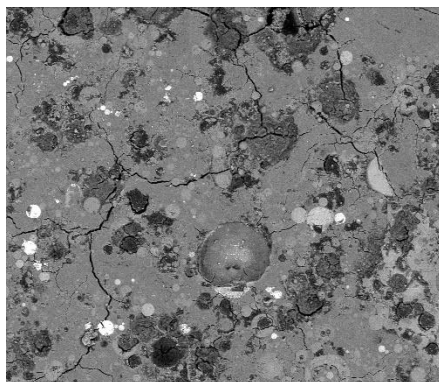
Komprimovaná reprezentace:



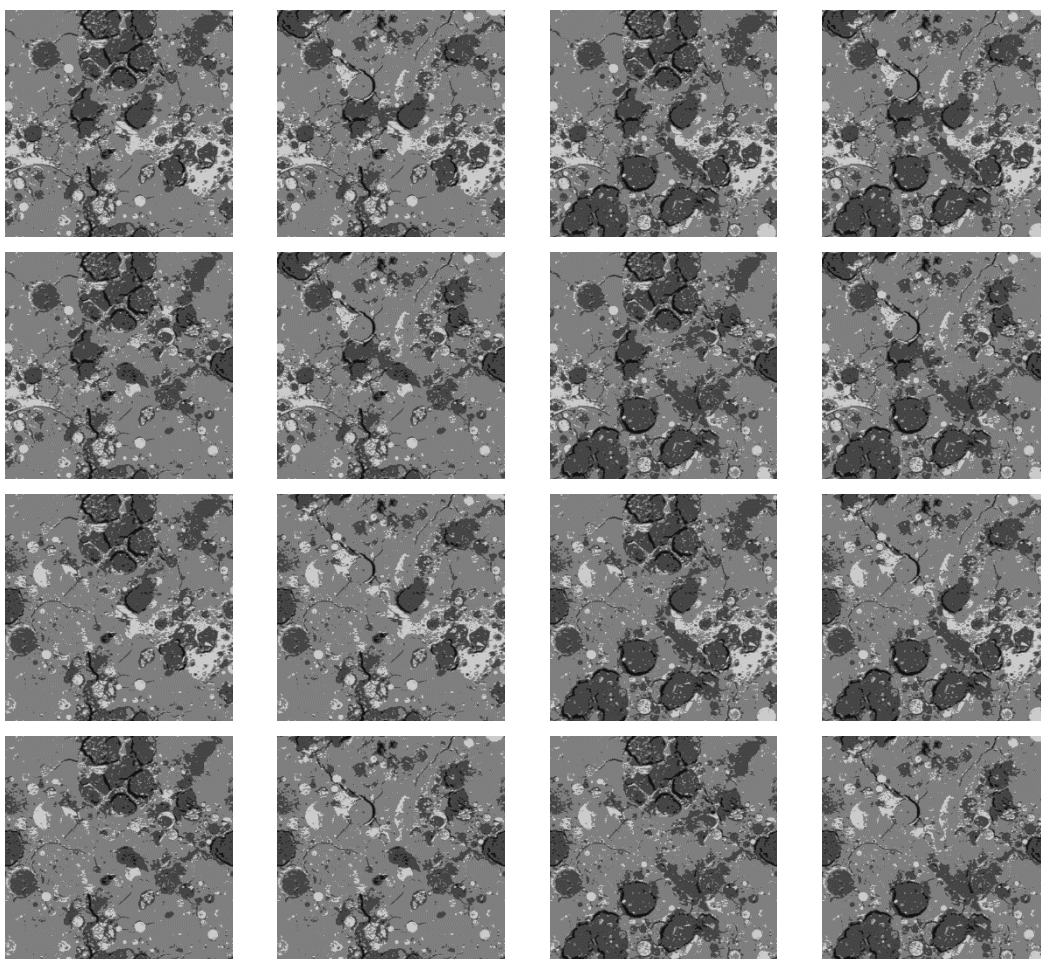
Mikrostruktura 40: Popílek

Třetí reprezentace zachycuje mikrostrukturu popílků se vstupními referenčními daty získanými elektronovou mikroskopií (rozlišení 105 nm/1 px). Data byla komprimována do sady šestnácti dlaždic o dvou kódech na každé hraně. Vstupní i výstupní mikrostruktura obsahuje trhliny (nejtmavší část), které vznikly při přípravě vzorku. Pro další zpracování by bylo možné tyto trhliny odstranit z komprimované reprezentace, pro zachování plné informace z referenční mikrostruktury jsou však ponechány i v komprimované reprezentaci.

Referenční mikrostruktura:



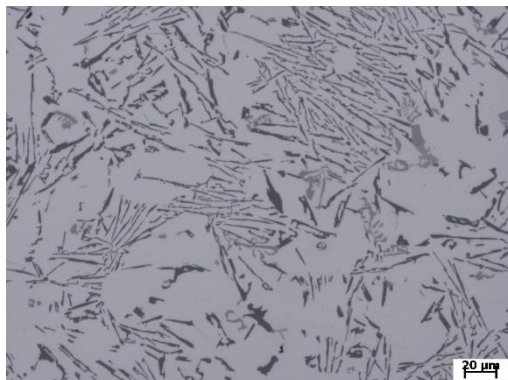
Komprimovaná reprezentace:



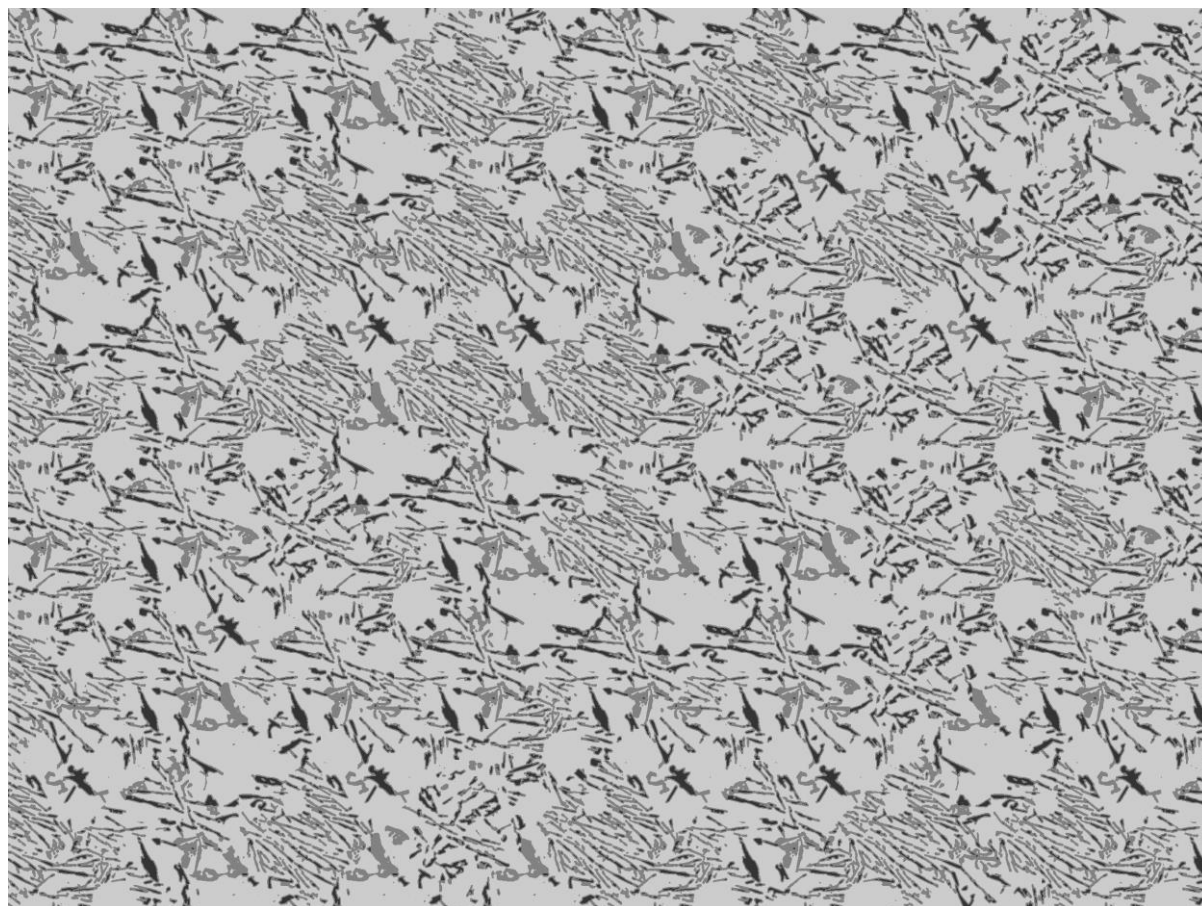
Mikrostruktura 4I: Hliníková slitina

Čtvrtou aplikací je mikrostruktura hliníkové slitiny, kdy byl jako vstup poskytnut referenční obrázek získaný světelným mikroskopem (rozlišení 230 nm/1 px). Pro zachycení větší variability (i přes relativně omezená vstupní data) byl zvolen set o 81 dlaždicích se třemi kódy na každé hraně. Jelikož by zobrazení všech 81 dlaždic bylo nepřehledné, níže je uvedena extrapolovaná rekonstrukce mikrostruktury (složené z 8x6 dlaždění).

Referenční mikrostruktura:



Rekonstruovaná mikrostruktura:



Mikrostruktura 42: Povrchové nerovnosti

Jako poslední byla dodána komprese, která cílí na zachycení povrchové nerovnosti. Tato kompresí je demonstrována na textuře povrchu dřevovláknitých desek. Na rozdíl od předchozích kompresí, které v sobě již automaticky zachycovaly prahování informace na jednotlivé materiálové fáze, je v tomto případě zachována informace o textuře v plném RGB prostoru. Stejně jako v předchozím případě byla textura komprimována do setu o 81 dlaždicích (s třemi horizontálními a vertikálními kódy); níže je tak uvedena jen referenční a rekonstruovaná mikrostruktura.

Referenční mikrostruktura:



Rekonstruovaná mikrostruktura:



Parametrický návrh mikrostruktur

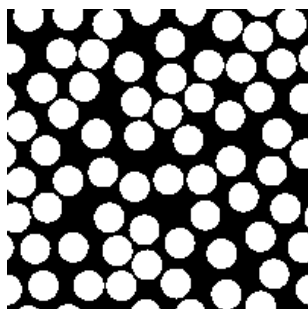
Mikrostruktura č. 43

Jedná se o základní model materiálové mikrostruktury obsahující kruhové částice o stejném poloměru rozloženém v jednom modulu o periodických okrajových podmínkách. Při umisťování částic byla kontrolována i vzdálenost k druhé nejbližší částici.

Vstupní parametry:

```
{
  "mode":          0,
  "tilesetFile":    "sets/tilesetPI.json",
  "tileResolution": [201, 201, 1],
  "tileMinBounds":  [-0.5, -0.5, 0.0],
  "tileMaxBounds":  [0.5, 0.5, 0.0],
  "rValues":        [0.05],
  "maxFvalues":      [0.05],
  "minFvalues":      [0.006],
  "maxSvalues":      [0.05],
  "particleType":    1,
  "restrictVertices": true,
  "storeBWimages":   true,
}
```

Výstup:



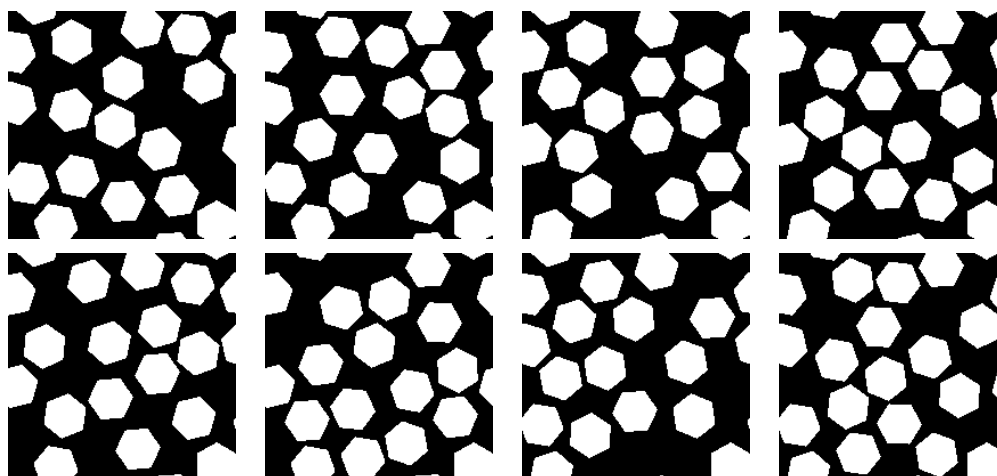
Mikrostruktura č. 44

Sada osmi modulů obsahujících částice ve tvaru rovnostranných šestiúhelníků.

Vstupní parametry:

```
{  
  "mode": 0,  
  "tilesetFile": "sets/tilesetC8.json",  
  "tileResolution": [201, 201, 1],  
  "tileMinBounds": [-0.5, -0.5, 0.0],  
  "tileMaxBounds": [0.5, 0.5, 0.0],  
  "rValues": [0.1],  
  "maxFvalues": [0.05],  
  "minFvalues": [0.01],  
  "particleType": 3,  
  "restrictVertices": true,  
  "storeBWimages": true,  
}
```

Výstup:



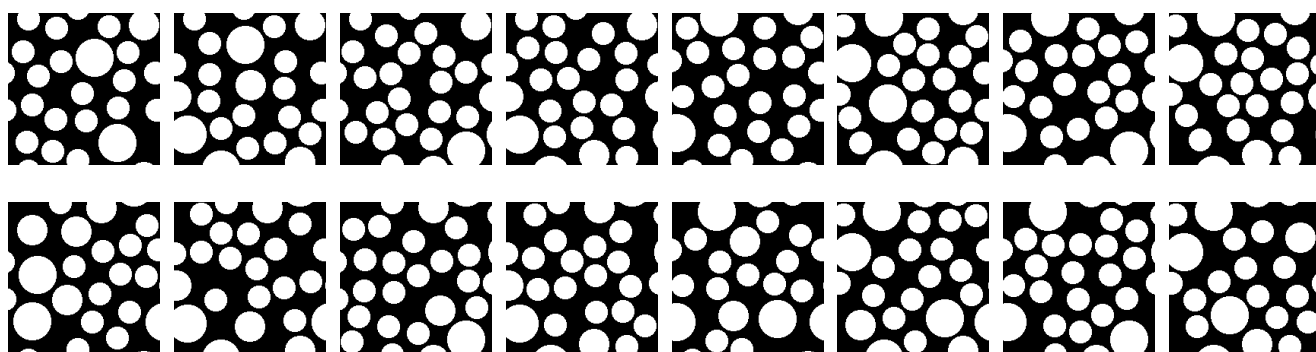
Mikrostruktura č. 45

Soubor šestnácti modulů o čtyřech odlišných kódech na horizontálních a vertikálních hranách (na rozdíl od předchozího souboru, ve kterém byly uvažovány pouze dva kódy na každé orientaci hran). Částice jsou kružnice o poloměru, který se v průběhu algoritmu mění dle zadaných parametrů.

Vstupní parametry:

```
{
  "mode":          0,
  "tilesetFile":    "sets/tilesetV16.json",
  "tileResolution": [201, 201, 1],
  "tileMinBounds":  [-0.5, -0.5, 0.0],
  "tileMaxBounds":  [0.5, 0.5, 0.0],
  "rValues":        [0.125, 0.100, 0.075],
  "rThresholds":    [15, 30],
  "maxFvalues":      [0.25, 0.10, 0.05],
  "maxFthresholds": [10, 20],
  "minFvalues":      [0.02],
  "particleType":    1,
  "restrictVertices": true,
  "storeBWimages":   true,
}
```

Výstup:



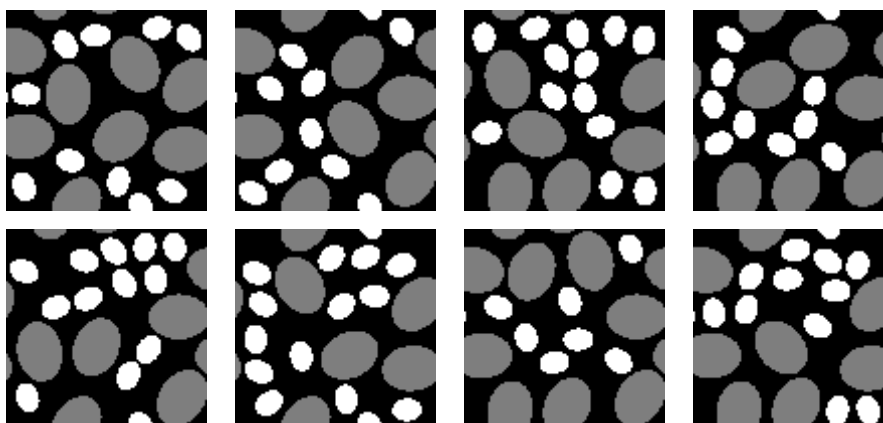
Mikrostruktura č. 46

Soubor osmi modulů se stejnou konektivitou jako v případě mikrostruktury č. 2. Částice jsou eliptické inkluze o pevném poměru poloos, ale proměnné velikosti poloměru opsané kružnice.

Vstupní parametry:

```
{
  "mode": 0,
  "tilesetFile": "sets/tilesetC8.json",
  "tileResolution": [101, 101, 1],
  "tileMinBounds": [-0.5, -0.5, 0.0],
  "tileMaxBounds": [0.5, 0.5, 0.0],
  "rValues": [0.15, 0.075],
  "rThresholds": [25],
  "maxFvalues": [0.2, 0.1, 0.025],
  "maxFthresholds": [5, 10],
  "minFvalues": [0.015],
  "particleType": 2,
  "restrictVertices": true,
  "storeBWimages": true,
}
```

Výstup:



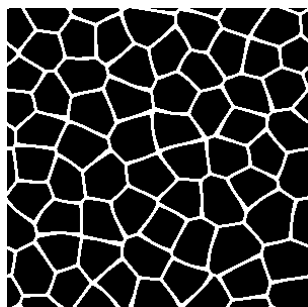
Mikrostruktura č. 47

Geometrie uzavřené pěny vygenerovaná pro periodický modul. Pro tvorbu mikrostruktury je použita pouze lineární kombinace nejkratší vzdálenosti k první a druhé nejbližší částici. Základem pro generování jsou stejně velké eliptické inkluze.

Vstupní parametry:

```
{
  "mode": 1,
  "tilesetFile": "sets/tilesetP1.json",
  "tileResolution": [301, 301, 1],
  "tileMinBounds": [-0.5, -0.5, 0.0],
  "tileMaxBounds": [0.5, 0.5, 0.0],
  "rValues": [0.05],
  "coefficientsOfLinearCombination": [[-0.01, -1.0, 1.0, 0.0]],
  "maxFvalues": [0.5, 0.1, 0.025],
  "maxFthresholds": [5, 10],
  "minFvalues": [0.015],
  "particleType": 2,
  "restrictVertices": true,
  "storeBWimages": true,
}
```

Výstup:



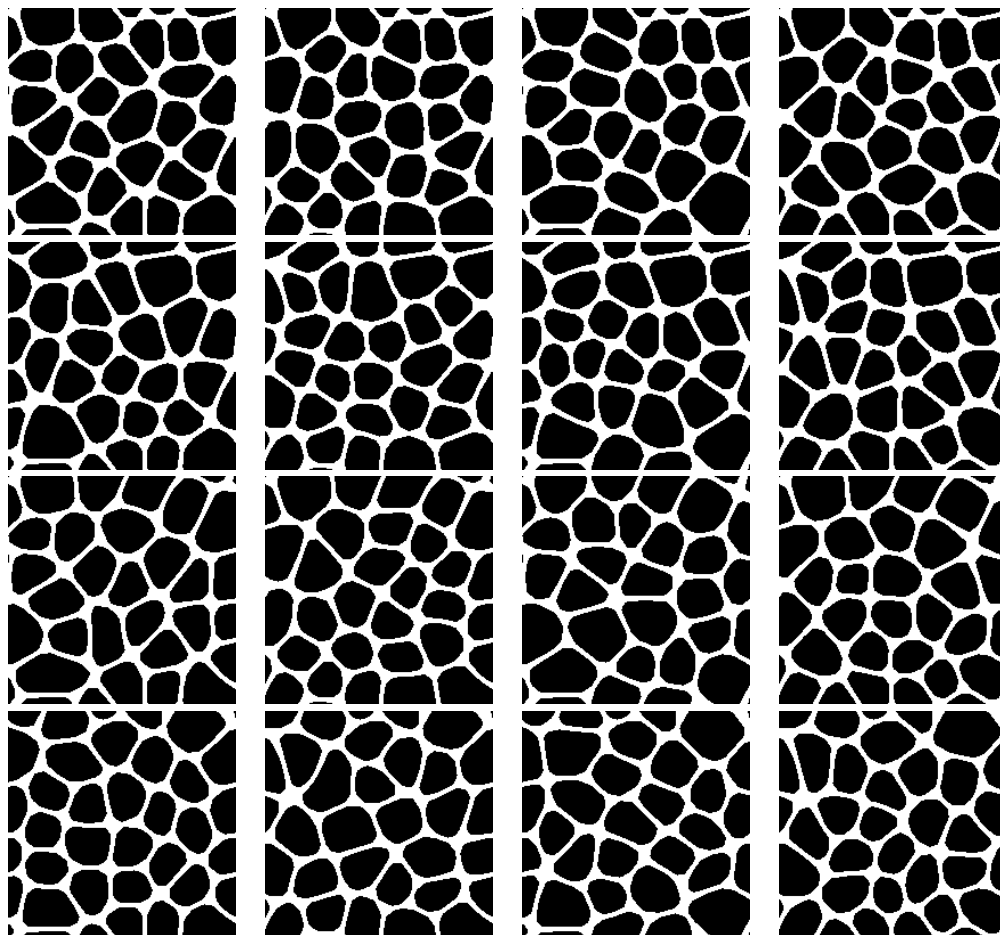
Mikrostruktura č. 48

Soubor šestnácti modulů o konektivě shodné s mikrostrukturou č. 3. Základem pro tvorbu mikrostruktury jsou eliptické částice o proměnném poloměru opsané kružnice. Finální geometrie je výsledkem dvou kombinací: první definuje stěny mezi jednotlivými póry, druhá pak vytváří koncentraci materiálu v místech styku jednotlivých stěn.

Vstupní parametry:

```
{
  "mode": 1,
  "tilesetFile": "sets/tilesetV16.json",
  "tileResolution": [201, 201, 1],
  "tileMinBounds": [-0.5, -0.5, 0.0],
  "tileMaxBounds": [0.5, 0.5, 0.0],
  "coefficientsOfLinearCombination": [[-0.02, -1.0, 1.0, 0.0], [-0.04, -1.0, 0.5, 0.5]],
  "rValues": [0.10, 0.075],
  "rThresholds": [25],
  "maxFvalues": [0.5, 0.1, 0.025],
  "maxFthresholds": [5, 10],
  "minFvalues": [0.015],
  "particleType": 2,
  "restrictVertices": true,
  "storeBVimages": true,
}
```

Výstup:



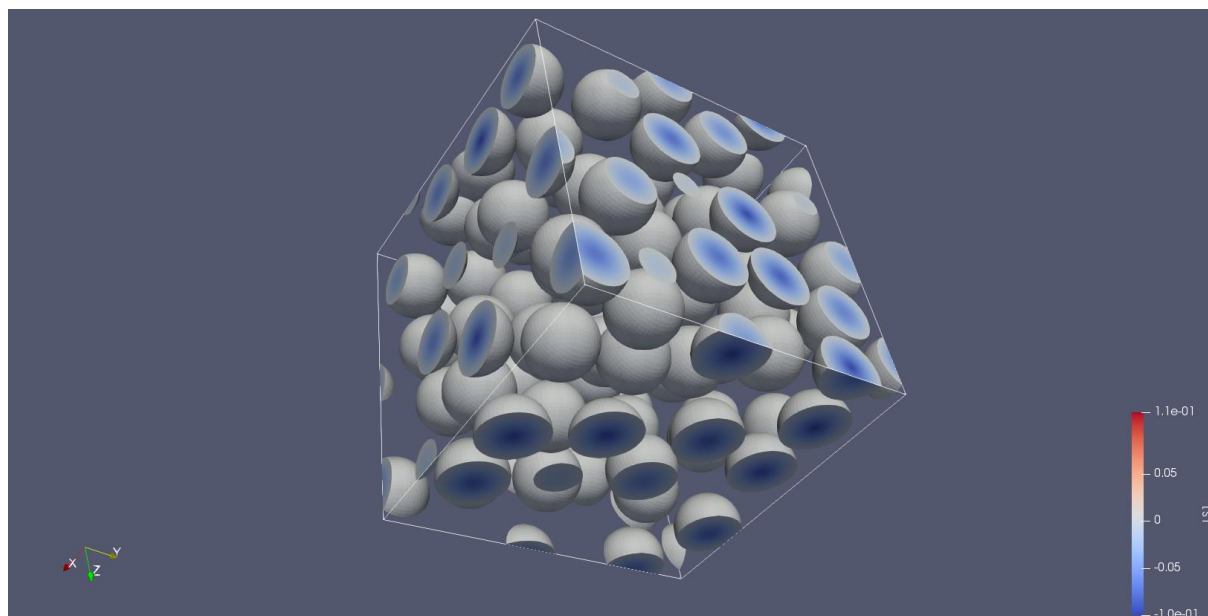
Mikrostruktura č. 49

Třírozměrný periodický modul obsahující kulové inkluze o konstantním poloměru.

Vstupní parametry:

```
{  
  "mode": 0,  
  "tilesetFile": "sets/cubesePl.json",  
  "tileResolution": [101, 101, 101],  
  "tileMinBounds": [-0.5, -0.5, -0.5],  
  "tileMaxBounds": [0.5, 0.5, 0.5],  
  "rValues": [0.1],  
  "maxFvalues": [0.5, 0.1, 0.025],  
  "maxFthresholds": [5, 10],  
  "minFvalues": [0.015],  
  "particleType": 4,  
  "restrictVertices": true  
}
```

Výstup:



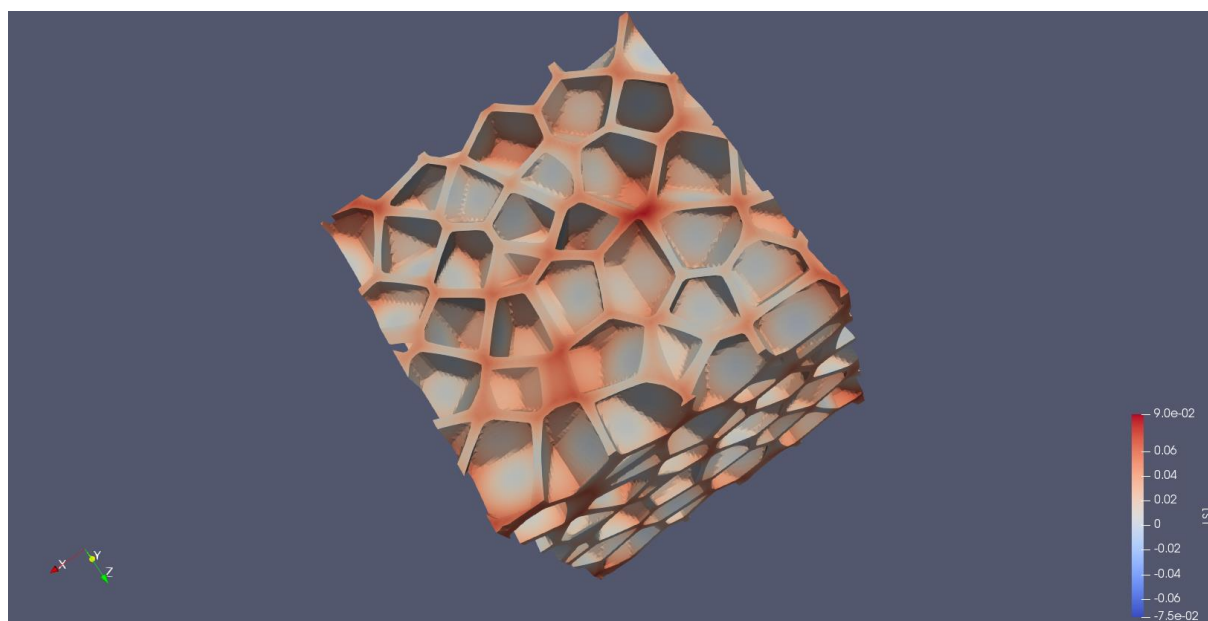
Mikrostruktura č. 50

Třírozměrný periodický modul reprezentující mikrostrukturu uzavřené pěny. Geometrie byla vygenerována na základě rozmístění kulových inkluzí o konstantním poloměru.

Vstupní parametry:

```
{
  "mode": 1,
  "tilesetFile": "sets/cubasetPI.json",
  "tileResolution": [101, 101, 101],
  "tileMinBounds": [-0.5, -0.5, -0.5],
  "tileMaxBounds": [0.5, 0.5, 0.5],
  "coefficientsOfLinearCombination": [[-0.02, -1.0, 1.0, 0.0]],
  "rValues": [0.075],
  "maxFvalues": [0.5, 0.1, 0.025],
  "maxFthresholds": [5, 10],
  "minFvalues": [0.015],
  "particleType": 4,
  "restrictVertices": true
}
```

Výstup:



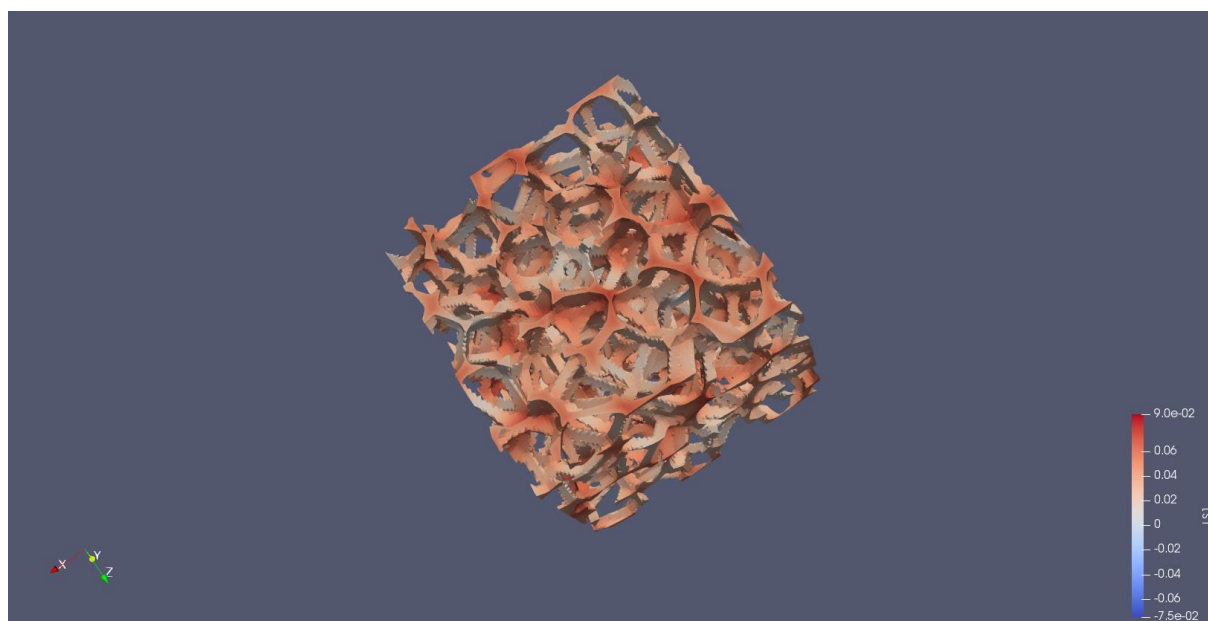
Mikrostruktura č. 5 I

Třírozměrný periodický modul reprezentující mikrostrukturu otevřené pěny. Geometrie byla vygenerována na základě rozmístění kulových inkluzí o konstantním poloměru.

Vstupní parametry:

```
{
  "mode": 1,
  "tilesetFile": "sets/cubasetPI.json",
  "tileResolution": [101, 101, 101],
  "tileMinBounds": [-0.5, -0.5, -0.5],
  "tileMaxBounds": [0.5, 0.5, 0.5],
  "coefficientsOfLinearCombination": [[-0.04, -1.0, 0.5, 0.5]],
  "rValues": [0.075],
  "maxFvalues": [0.5, 0.1, 0.025],
  "maxFthresholds": [5, 10],
  "minFvalues": [0.015],
  "particleType": 4,
  "restrictVertices": true
}
```

Výstup:



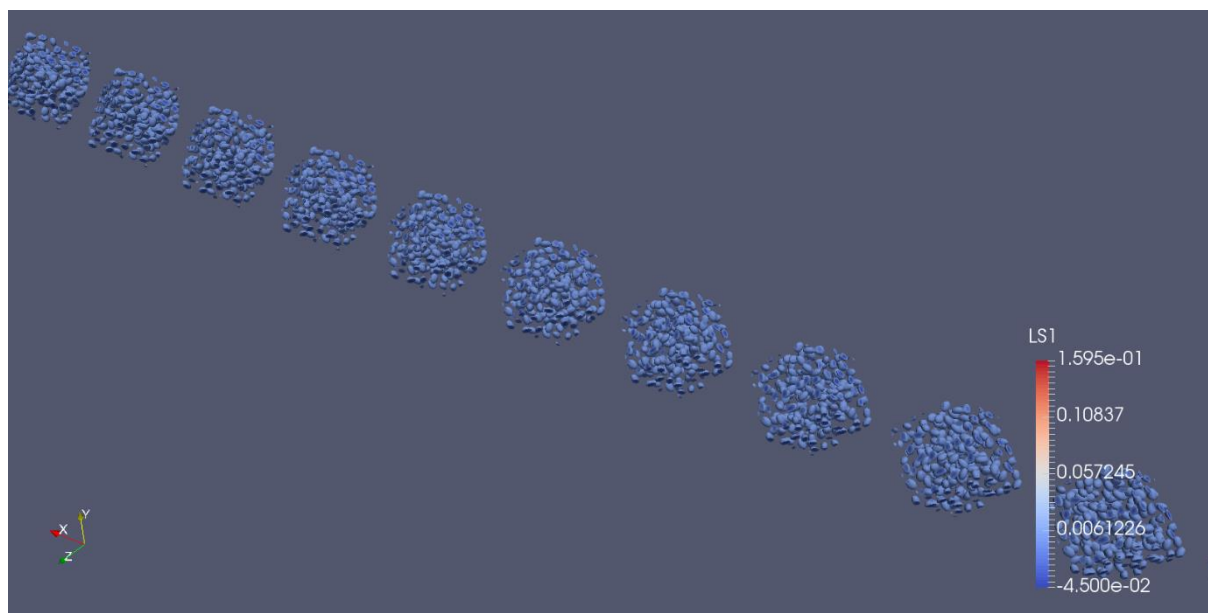
Mikrostruktura č. 52

Soubor šestnácti třírozměrných modulů s mikrostrukturou vzniklou na základě rozmístění částic ve tvaru elipsoidů.

Vstupní parametry:

```
{
  "mode": 1,
  "tilesetFile": "sets/cubeseF16.json",
  "tileResolution": [101, 101, 101],
  "tileMinBounds": [-0.5, -0.5, -0.5],
  "tileMaxBounds": [0.5, 0.5, 0.5],
  "rValues": [0.075],
  "maxFvalues": [0.5, 0.1, 0.025],
  "maxFthresholds": [5, 10],
  "minFvalues": [0.015],
  "particleType": 5,
  "restrictVertices": true
}
```

Výstup (pouze část souboru):



Mikrostruktura č. 53

Poslední ukázkou je tvorba mikrostruktury uzavřené pěny (kombinující dvě lineární kombinace stejně jako v případě dvoudimenzionální mikrostruktury č. 6). Základem pro tvorbu geometrie bylo rozmístění elipsoidů z předchozího příkladu.

Vstupní parametry:

```
{
  "mode": 2,
  "tilesetFile": "sets/cubeseF16.json",
  "particlesFile": "tiles.particles",
  "tileResolution": [101, 101, 101],
  "tileMinBounds": [-0.5, -0.5, -0.5],
  "tileMaxBounds": [0.5, 0.5, 0.5],
  "coefficientsOfLinearCombination": [[-0.02, -1.0, 1.0, 0.0], [-0.04, -1.0, 0.5, 0.5]]
}

{
  "mode": 2,
  "tilesetFile": "sets/cubeseF16.json",
  "particlesFile": "tiles.particles",
  "tileResolution": [101, 101, 101],
  "tileMinBounds": [-0.5, -0.5, -0.5],
  "tileMaxBounds": [0.5, 0.5, 0.5],
  "coefficientsOfLinearCombination": [[-0.02, -1.0, 1.0, 0.0], [-0.04, -1.0, 0.5, 0.5]]
}

{
  "mode": 2,
  "tilesetFile": "sets/cubeseF16.json",
  "particlesFile": "tiles.particles",
  "tileResolution": [101, 101, 101],
  "tileMinBounds": [-0.5, -0.5, -0.5],
  "tileMaxBounds": [0.5, 0.5, 0.5],
  "coefficientsOfLinearCombination": [[-0.02, -1.0, 1.0, 0.0], [-0.04, -1.0, 0.5, 0.5]]
}

{
  "mode": 2,
  "tilesetFile": "sets/cubeseF16.json",
  "particlesFile": "tiles.particles",
  "tileResolution": [101, 101, 101],
  "tileMinBounds": [-0.5, -0.5, -0.5],
  "tileMaxBounds": [0.5, 0.5, 0.5],
  "coefficientsOfLinearCombination": [[-0.02, -1.0, 1.0, 0.0], [-0.04, -1.0, 0.5, 0.5]]
}
```

Výstup (pouze část souboru):

