

# **Permeability determination method based on pores' morphological characteristics**

## **Abstract**

The thesis develops and validates a permeability estimation method based on the morphological and topological characteristics of rock pore networks. A geometric mean radius (GMR) framework is introduced for the simultaneous prediction of single-phase permeability from pore-scale images and for the validation of representative volume. The work is motivated by the need for permeability estimators that are both physically grounded and computationally efficient, bridging the gap between simple empirical formulas and fully resolved flow simulations.

The first part of the thesis defines the GMR as a characteristic hydraulic length derived directly from local pore-size distributions and connectivity. A consistent mathematical formulation is developed that links the GMR to Darcy permeability, explicitly incorporating tortuosity and constriction effects. To understand the method under controlled conditions, digital experiments are conducted on idealized and semi-idealized tube-like geometries, including rough and noncircular cross-sections, constricted channels, and branching flow paths. In each case, GMR-based permeability is compared against analytical solutions or high-fidelity numerical flow calculations.

The second part of the thesis extends the GMR framework to realistic pore geometries obtained from segmented micro-CT images of sandstones and carbonates. The method is applied to a comprehensive benchmark set that includes Imperial College London digital rock samples, as well as large heterogeneous sandstone samples, for which extensive experimental results are provided. Tail analysis of the convergence of GMR-based cumulative permeability, along with the associated permeability gradient, is presented for representative volume assessment.

Overall, the GMR method offers a fast, geometrically transparent way to estimate permeability, enabling analysis of image volumes that are impractical for full flow simulations. It clarifies the interplay between pore-scale heterogeneity, characteristic length scales, and representative volume in both controlled synthetic systems and natural rocks. The findings provide practical guidelines for designing digital experiments, choosing appropriate GMR formulations, selecting image sizes, and integrating GMR-based permeability into multiscale reservoir characterization workflows.

# Metoda određivanja propusnosti na temelju morfoloških karakteristika pora

## Sažetak

U sklopu ovog istraživanja, razvijena je metoda za procjenu i validaciju propusnosti digitaliziranih modela stijena, temeljena na morfološkim i topološkim karakteristikama mreže pora. Uveden je koncept geometrijskog srednjeg radijusa (eng. geometric mean radius, GMR), kao metode za istovremeno predviđanje propusnosti modela stijena na mikro razini, te validaciju reprezentativnog volumena. Rad je motiviran potrebom za određivanjem propusnosti na fizikalno utemeljen te računalno učinkovit način. Time se premošćuje razlika između jednostavnih empirijskih formula te naprednih numeričkih simulacija.

U prvom djelu rada, definirana je GMR metoda uvođenjem ključnih geometrijskih i hidrauličkih parametara potrebnih za izračun propusnosti. Razvijena je matematička formulacija koja povezuje GMR s Darcyjevom propusnošću te eksplicitno uključujući učinke zavojitosti (tortuoziteta) i suženja protočnih kanala. Kako bi se metoda razumjela u kontroliranim uvjetima, provedeni su digitalni eksperimenti na idealiziranim i polu-idealiziranim geometrijama nalik cijevima, uključujući hrapave i kompleksne poprečne presjeke te sužene i razgranate kanale. U svakom pojedinom slučaju, propusnost temeljena na GMR-u uspoređena je s analitičkim rješenjima ili numeričkim simulacijama.

Drugi dio rada proširuje primjenu GMR metode na realistične uzorke stijena dobivene segmentiranjem micro-CT slika pješčenjaka i karbonata. Metoda je primijenjena na opsežan skup uzoraka koji uključuje digitalne uzorke stijena iz Imperial College London baze te velike heterogene uzorke pješčanika za koje su prethodno napravljena različita laboratorijska ispitivanja. Uz usporedbu rezultata propusnosti s različitim numeričkim metodama, provedena je i analiza krajeva krivulje kumulativne propusnosti, zajedno s pripadajućim gradijentom, kako bi se napravila procjena reprezentativnog volumena.

Zaključno, istraživanjem je uspostavljena GMR metoda kao robustan i prilagodljiv alat za procjenu propusnosti velikih volumena, gdje upotreba direktnih numeričkih simulacija nije praktična. Razjašnjena je uloga interakcije morfologije i topologije pora u okviru heterogenosti te reprezentativnog volumena stijena. Dobivenim saznanjima, moguće je ostvariti praktičnu primjenu metode u okviru digitalne petrofizike s ciljem integracije dobivenih podataka u inženjerskim kalkulacijama te ležišnim modelima.