

Petras Klizas, Vilniaus universitetas

HENRY DARCY – POŽEMINIO VANDENS DINAMIKOS MOKSLO PRADININKAS

Viso pasaulio hidrogeologinė visuomenė, ir tikriausiai ne tik ji, žino šio prancūzų inžinieriaus, gyvenusio XIX a. pirmoje pusėje, pavardę. Jo vardu pavadintas pagrindinis filtracijos dėsnis, kuris buvo eksperimentiškai nustatytas ir paskelbtas 1856 m. H. Darcy svarbiausiame, didžiausiame apimtimi ir mokslo visuomenėje žinomiausiam darbe „Viešieji Dižono (Dijon) miesto fontanai (kolonėlės)“. Darcy dėsnio atradimas davė pradžia labai intensyviai hidrogeologijos mokslo hidrogeodinamikos šakos atsiradimui ir tolesniam vystymuisi.

2006 m. visų hidrogeologų galėtų būti laikomi H. Darcy metais, nes sukanka 150 metų nuo svarbiausio hidrogeologinio dėsnio paskelbimo. Prieš dvejus metus minėjome H. Darcy 200 metų gimimo jubiliejų.

Norėtume, kad šis trumpas straipsnis apie apie Henry Darcy – žmogų, inžinierių, mokslininką, visuomenės veikėją – būtų kuklus Lietuvos hidrogeologų indėlis pagerbiant vieną iš žinomiausių pasaulio hidrogeologų.

Ta proga norėtusi dar kartą grįžti prie šio mokslininko pavardės rašymo lietuviškose mokslinėse publikacijose. Peržiūrėjus daug hidrogeologinių publikacijų, parašytų lotyniškais rašmenimis, bet skirtingomis kalbomis (anglų,

vokiečių, italų, ispanų, lenkų ir kt.), visur rašoma prancūziškai, be jokios transkripcijos. Tai taip pat pagarbos ženklas šiam mokslininkui.

2006 m. gegužės 29-31 d. Prancūzijoje Dižono mieste vyko Tarptautinės hidrogeologų asociacijos (IAH), kuri šiais metais švenčia savo 50 metų įkūrimo jubiliejų, ir Prancūzijos nacionalinio hidrogeologų komiteto suorganizuota mokslinė konferencija, skirta H. Darcy dėsnio paskelbimo 150-osioms metinėms. Be skaitytų pranešimų, kuriuose buvo nagrinėjamas H. Darcy mokslinis palikimas, buvo atidengta memorialinė lenta. Memorialinėje lentoje įrašytas tekstas: „2006 m. gegužės 30 d. Tarptautinė hidrogeologų asociacija, švenčdama savo 50-ies metų įkūrimo metines, dalyvaujant Dižono miesto merui Francois Rebsamen, atiduoda pagarbą Henry Darcy, kuris 1856 m. Dižone suformulavo viso pasaulio hidrogeologų naudojamą požeminio vandens srauto tekėjimo dėsnį“ (1 pav.).

H. Darcy biografija ir darbinė veikla

Henry Philibert Gaspard Darcy gimė 1803 m. liepos 10 d. Dižono mieste. Mokėsi Karališkoje Dižono kolegijoje (*College Royal de Dijon*), šiandien vadinamoje Marselio Parde vardu. Ją

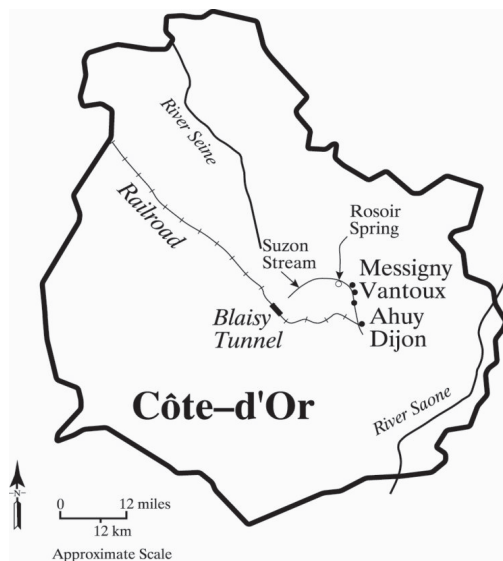


1 pav. H. Darcy memorialinės lentos atidengimas Dižono mieste, dalyvaujant miesto merui F. Rebsamen.

Fig. 1. Unveiling Darcy's memorial plaque in Dijon, with its Mayor Francois Rebsamen taking part.

baigęs 1821 m. įstojo į Politechnikos mokyklą, o 1823 m. – į Nacionalinę tiltų ir kelių mokyklą. 1827 m. H. Darcy tapo aspirantu inžinieriumi, atstovavusiu Auksinio šlaito (*Cote d'Or*) departamentą. 1828 m. vedė anglę Henriette Carey.

1834 m. kovo 5 d. H. Darcy raštiškai kreipėsi į Dižono miesto merą su pasiūlymu aprūpinti miestą vandeniu. Pagal H. Darcy merijai pateiktą projektą, reikėjo sukonstruoti 12 km vandentiekį (akveduką) iš Val Suzon slėnio Rosoir šaltinio iki Dižono, kartu įtraukiant ir priemiestines gyvenvietes (2 pav.).



2 pav. Dižono miesto ir jo priemiestinių gyvenviečių aprūpinimo vandeniu projektuojamo akveduko planas (Bobeck, 2006).

Fig. 2. The plan of aqueduct (in 1834) to supply water to the City of Dijon and its suburbs (from Bobeck, 2006).

Projektas vykdyti buvo pradėtas 1839 m. ir tais pačiais metais H. Darcy tapo Auksinio šlaito departamento projekto vadovu ir inžinieriumi. 1840 m. rugsėjo 6 d. darbai buvo baigti. Paleidus vandentiekį, po trijų valandų tėkmės į rezervuarą, įrengtą Dižono miesto Porte Guillaume aikštėje (dabar H. Darcy aikštė), vanduo pradėjo tekėti 7000 litrų per minutę debitu. Kitų metų liepos 18 d. 9 m aukščio vandens fontanas ištryško Šv. Petro aikštėje (*Place St-Pierre*, šiandien – Vilsono aikštė). Toks vandens tiekimas davė pradžią sparčiam Dižono miesto augimui ir miestelėnų sveikatos pagerėjimui. 1847 m. jau visuose Dižono miesto gyvenamuose namuose buvo išvedžioti vandentiekio vamzdiniai.

Dižono miestas tapo antruoju Europoje (po Romos) pagal aprūpinimo vandeniu kokybę.

1834 m. H. Darcy tapo Dižono miesto municipaliteto Tarybos nariu ir juo išliko iki 1848 m. 1842 m. rugpjūčio 31 d. H. Darcy, pripažįstant jo neeilinius inžinerinius sprendimus, kurie buvo labai svarbūs miesto ir viso regiono gyventojams, buvo išrinktas Garbės legiono ordino kavalieriumi, 1845 m. – Dižono miesto Mokslų ir menų akademijos nariu. Dižono miestas, pripažindamas jo nuopelnus, iki gyvenimo pabaigos jam suteikė teisę naudotis vandeniu nemokamai.

Nemaži H. Darcy nuopelnai ir tiesiant geležinkelį iš Paryžiaus į Dižoną. 1844 m. jis paruošė geležinkelio iš Paryžiaus į Lijoną per Dižoną su tuneliu Blaisy-Bas netoli nuo Dižono projektą (2 pav.). Šie darbai buvo pradėti 1843 m., o 1851 m. pirmasis lokomotyvas iš Paryžiaus atvyko į Dižoną. Vėliau pats H. Darcy dažnai naudojosi traukinių paslaugomis, nes tekdavo dažnai vykti į Paryžių kaip municipalinės tarnybos viršininkui.

Kaip rašo H. Darcy, kuris yra H. Darcy brolio Hugues penktos eilės provaikaitis, H. Darcy nuo jaunystės turėjo nemažai sveikatos problemų. Jį kamavo nervų sistemos sutrikimai, pasireiškė meningito simptomų, jis dažnai kęsdavo didelius skausmus, kartais iki sąmonės netekimo, vėliau prisidėjo ir kvėpavimo takų negalavimai. Nežiūrint į tai, H. Darcy visą laiką labai intensyviai dirbo mokslinį darbą, aktyviai dalyvavo politiniame departamento ir visos Prancūzijos gyvenime.

H. Darcy Prancūzijos monarchijos administracijoje dirbo valdant karaliams Louis XVIII, Charles X ir Burgundijos monarchui Louis-Philippe iki pat antrosios Prancūzijos revoliucijos, įvykusios 1848 m. H. Darcy buvo labai populiarus Dižone ir galėjo būti išrinktas į Prancūzijos nacionalinę asamblėją, bet revoliucionieriai jo nemėgo.

H. Darcy ir toliau dirbo Dižono municipalitete, vykdė eksperimentus ir ruošė darbą apie vandens srautų tėkmę vamzdinių sistemose, vandens paskirstymo problemas, pasitelkdamas į pagalbą žinomą inžinierių hidrauliką Prony. 1857 m. H. Darcy baigė eksperimentinius tyrimus ir išleido paskutinį savo darbą „Vandens tekėjimo vamzdžiuose eksperimentiniai tyrimai“ (*Recherches Experimentales Relatives au Mouvement de L'eau dans les Tuyaux*) (Bobeck, 2006).

Vykdamas traukiniu į Paryžių, H. Darcy stipriai peršalo ir 1858 m. sausio 3 d. nuo plaučių uždegimo mirė Paryžiaus Petit Igoninėje.

1986 m. Prancūzijos hidrogeologų komitetas, norėdamas paskatinti domėjimąsi požeminio



3 pav. (Fig. 3) Henry Philibert Gaspard Darcy (1803.07.10-1858.01.02) (<http://biosystems.okstate.edu/darcy>).

vandens studijomis ir eksploatacijos technologinėmis naujovėmis, pradėjo organizuoti H. Darcy mokslinius skaitymus. Šiuo metu tai jungia apie 50 tūkst. studentų, besidominčių hidrogeologijos problemomis, aukštųjų mokyklų darbuotojų, profesionalių hidrogeologų ir H. Darcy garbės vardo narių visoje Prancūzijoje.

Publikacijų apie H. Darcy mokslinį palikimą apžvalga

Mokslo istoriografijoje dažna, kai, artėjant kokio nors atradimo ar jo autoriaus jubiliejiniams metams, pasirodo daug mokslinių publikacijų, skirtų mokslinio palikimo analizei ir novatoriškoms idėjoms arba naujiems atradimams. Ne išimtis ir pasaulinio lygio mokslininkas H. Darcy.

Peržiūrėjus nemažą skaičių skirtingu metu išspausdintų publikacijų, galima pastebėti tokias tendencijas. Pirmoji, kuomet bandoma naujai pažvelgti į H. Darcy darbų mokslinę bei istorinę vertę, atsižvelgiant į to laikmečio realijas ir geofiltracinių tyrimų aktualumą.

Pirmas pliūpsnis tokių publikacijų buvo XX a. viduryje minint Darcy dėsnio šimtmetį. Tuomet pagrindinis H. Darcy mokslinis darbas buvo analizuojamas įvairiausiais aspektais (Cambefort, 1948; Hughes, 1949; Profit, 1954; Szilagyi, 1956; Tanaka et Yahagi, 1956). Antroji turinio prasme publikacijų pakraipa – Darcy dėsnio adaptavimas (pritaikymas) skirtingoms filtracinėms aplinkoms: anizotropinė, neįsotintos uolienos, infiltraciniai srautai, filtracija mažai laidžiose,

plyšiuotose ir kaveringose uolienose, Darcy dėsnio sąsajos su Omo dėsniumi ir kt. (Brillant, 1956; Brunhes, 1907; Ferrandon, 1954; Ineson, 1956; Irmay, 1951, 1956; Popov, 1956).

Trečioji tendencija – XX a. pabaigos–XXI a. pradžios publikacijos, kuomet H. Darcy pagrindinis darbas „Viešieji Dižono miesto fontanai (kolonėlės)“ arba atskiri jo skyriai verčiami į anglų kalbą ir spausdinami moksliniuose žurnaluose arba kaip atskiras darbas (Francher, 1956; Hubert, 1969; Freeze, 1994; Philip, 1995; Brown, 2002; Darcy, 2003; Bobeck, 2003, 2006).

Darbas „Viešieji Dižono miesto fontanai (kolonėlės)“

Didžiausią apimtį (647 p.) ir svarbiausią turinio prasme kūrinį sudaro 4 skyriai ir knygos priedai. I skyriuje istoriškai analizuojamos Dižono apylinkių požeminio vandens šaltinių panaudojimo galimybės miestą ir priemiestines gyvenvietes aprūpinti vandeniu. Daugiausia dėmesio skiriama Rosoir šaltiniui (žr. 2 pav.). II skyriuje aprašoma projektuojamo 12,7 km ilgio vandens tiekimo iš Rosoir šaltinio vamzdyno (akveduko) konstrukcija iki Dižono ir miesto vandentiekos tinklo schema iki konkretaus vartotojo. Pagal projektą mieste turi būti išvedžiota 18,8 km ketaus vamzdynų ir 0,7 km švininių vamzdžių namų viduje, įrengta 120 fontanų (kolonėlių). Reikia pažymėti, kad XIX a. Juros kalnyno regione ir jo prieškalnėse Prancūzijos ir Šveicarijos miestuose bei gyvenvietėse buvo įrengiami savitakiai (gravitaciniai) fontanai (kolonėlės), kurie buvo ir miesto puošybos elementas, ir vandens paėmimo vieta (kolonėlė). Šiame regione iki šių dienų yra išlikusių veikiančių tokio tipo fontanų, bet praradusių vandentiekinę funkciją (4 pav.). Nuotraukos dešinėje matyti dalis Hoterivio amžiaus klinčių ir mergelių stratotifinės atodangos, kuri yra saugoma Šveicarijos konfederacijos.

III skyriuje pateikiami eksperimentinių tyrimų su vandens srautais rezultatai ir detalizuojama konkreti Dižono miesto vandens paskirstymo sistema. IV skyrius skirtas administraciniais, juridiniams, finansiniams klausimams, sprendžiant tokias problemas kaip žemės trasoms tiesti įsigijimas iš savininkų, teritorijos sutvarkymas ir pan.

Knygos priedai: A – Dižono miesto apylinkių šaltinių inventORIZACIJOS duomenys; B – 1445 m. sutartis, leidžianti mediniais vamzdžiais tiekti šaltinių vandenį; C – vandens tiekimo sistemų, naudojamų Londone, Paryžiuje, Briuselyje



4 pav. Niošatelio miesto Hoterivio priemiestyje išlikęs XIX a. veikiantis vandens fontanas (kolonėlė), dešinėje – Hoterivio aukšto stratotifinė klinčių atodanga (autorius nuotr.).

Fig. 4. A 19th c. water fountain still running in the Hauterive Village near Neuchâtel with several limestone blocks of the Hauterive Stage stratotype (author's photo).

ir kituose mažuose miestuose, aprašai; D – garsiausias knygos priedas – vandens filtracijos per smėlį tyrimai; E ir F – hidrometriniai matavimai; G – ketaus ir švininių vamzdžių gamyba; H – Rasoir šaltinio vandens režiminių stebėjimų duomenys.

Pati vertingiausia šios monografijos dalis, kuri H. Darcy išgarsino visame pasaulyje, – knygos priedas D, skirtas filtraciams tyrimams, ir jo suformuluotas dėsnis, vėliau pavadintas autoriaus vardu.

H. Darcy filtraciniams tyrimams naudojo tokios granulometrinės sudėties smėlį: 58 % pagal masę sudarė 0,77 mm skersmens dalelės; 13 % – 1,1 mm, 12 % – 2 mm ir 17 % gargždas (skersmuo nenurodomas), poringumas – 38 % (Castany, 1972). Įrenginys, kuriame vyko filtraciniai tyrimai, buvo 2,5 m aukščio ir 0,35 m skersmens vamzdis (5 pav.).

Pagal gautus rezultatus H. Darcy nustatė tokią priklausomybę:

$$Q = kS \frac{H}{e},$$

(H. Darcy naudota simbolika) čia Q – prasifiltravusio per smėlio koloną vandens debitas, m³/s; e – smėlio storis, m; H – vandens stulpo aukštis, m; S – kolonos skerspjūvio plotas, m²; k – proporcingumo koeficientas, m/s. Kaip nustatė H. Darcy, jis priklauso nuo smėlio granulometrinės sudėties. Jo naudotam smėliui buvo lygus 0,003 m/s. Įdomu pastebėti, kad H. Darcy savo formulėje simboliais pasirinko prancūziškų žodžių pirmąsias raides (e – *epaisseur* – storis; H – *hauteur* – aukštis; S – *surface* – plotas).

H. Darcy įrodė, kad vandens tūris, kuris persifiltruoja per smėlio koloną, yra tiesiogiai

5 pav. H. Darcy filtracinių tyrimų principinė schema (Castany, 1972).

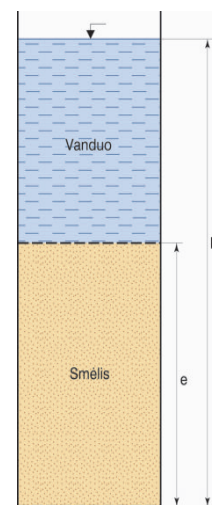


Fig. 5. A principled scheme of Darcy's filtration experiments (Castany, 1972).

proporcingas vandens aukščiui H ir atvirkščiai proporcingas smėlio storiui kolonoje. Vėliau proporcingumo koeficientas buvo pavadintas uolienų vandens laidumo koeficientu pagal Darcy, arba filtracijos koeficientu, dydis Q/S – fiktyviuoju (menamu) greičiu, arba filtracijos greičiu. Mokslinėje praktikoje įvedus uolienų skvarbumo koeficiento sąvoką, skvarbumo koeficiento dimensija buvo pavadinta Darcy vardu; $1 D$ (darsy) – tai toks vienalytės uolienos skvarbumas, kai vanduo, kurio klampis, esant 20 °C temperatūrai, santipuažais lygus 0,0114, filtruojasi 1 cm/s greičiu, esant 1 atm/cm slėgio gradientui, t.y. $1 D = 0,85 \text{ m/d}$.

Informacija apie šio dėsnio atradimą pirmiausia pasklido Prancūzijoje, vėliau apie jį sužinojo ir kitų Vakarų Europos bei Amerikos šalių mokslininkai. 1857 m. H. Darcy tėvynainis J. Diupiujis šį dėsnį pritaikė spindulinių srautų debitams skaičiuoti, o tai leido apskaičiuoti pritekėjimus į šulinius, gręžinius, kitus požeminius kasinius ir stacinius. Visa tai davė pradžią labai sparčiam ir daugiašakiam hidrodinamikos mokslo vystymuisi visoje Europoje ir už jos ribų.

Literatūra

- Bobeck P. Henry Darcy in his own words. *Hydrogeology Journal*. 14. – 2006. – P. 998-1004.
- Bobeck. Henry Darcy and the Public Fountains of the City of Dijon // Henry P.G. Darcy and Other Pioneers in Hydraulics: Contributions in Celebration of the 200th Birthday of Henry Philibert Gaspard Darcy. – 2003.- P. 37-50.
- Brown G. Henry Darcy and the making of a law. *Water Resources Res* 38 (7). – 2002.
- Castany G. (1972) *Hydrogeologie operationelle*. – Paris, – 1972. – 578 p.
- Darcy H. Henry Darcy: Inspecteur general des ponts et chaussees (Inspector General of Bridges and Roads) // Henry P.G. Darcy and Other Pioneers in Hydraulics: Contributions in Celebration of the 200th Birthday of Henry Philibert Gaspard Darcy. – 2003. – P. 4-13.
- Darcy H. Les fontaines publiques des eaux de la ville de Dijon. – Paris, – 1856. – 647 p.
- Darcy H. Recherches Experimentales Relatives au Mouvement de L'eau dans les Tuyaux. – Paris, – 1857. – 268 p.
- Fancher G. Henry Darcy – engineer and benefactor of mankind // *J Petrol Technol* 8. – 1956.
- Ferrandon J. Les lois de l'ecoulement de filtration // *Genie Civil*, 15-1, 24 p. et *Travaux*, 164. – 1948. – 396 p.
- Freeze R. Henry Darcy and the Fountains of Dijon // *Ground Water* 32. – 1994. – P. 23-30.
- Hubbert M. The Theory of Ground-Water Motion and Related Papers Hafner Pub. Co., New York. H. Darcy, "Determination des lois d'ecoulement de l'eau a travers le sable" (Determination of the laws of water flow through sand). – 1969. – P. 287-310.
- Hughes L. Etudes theoriques et experimentales sur les proprietes hydrodynamiques d'un sol pulverulent et les lois de filtration // *Minist. Agric. Genie rural. Mem. et Note techn.*, 70. – 1949.
- Ineson J. Darcy's law and the evaluation of "permeability" // *Assoc. Intern. Hydrol. Sc. Sympo. Darcy, II*. – 1956. – P. 165-172.
- Irmay S. Darcy law non-isotropic soils // *Assoc. Intern. Hydrol. Sc. Ass. Gener. Bruxelles, II*. – 1951. – 178 p.
- Irmay S. Extension of Darcy law to unsteady unsaturated flow trough porous media // *Assoc. Intern. Hydrol. Sc. Sympo. Darcy, II*, – 2006. – P. 57-66.
- Philip J. Desperately seeking Darcy in Dijon. // *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59. – 1995. – P. 319-324.
- Popov O. Les voies d'application de la loi de Darcy a l'etude de l'infiltration // *Assoc. Intern. Hydrol. Sc. Sympo. Darcy, II*. – 1956. – P. 281-287.
- Profit A. Ecoulement de l'eau dans les materiaux granuleux // *L'eau. Dec.* 1953, 185 p. *Fevr.* – 1954. – P. 27-32.

Summary

Henry Darcy – Groundwater Dynamics Pioneer

Hydrogeologists all in the world know the name of this French engineer who lived in early 19th c. The main filtration law, named after him, was experimentally determined and published in 1856 in the fundamental Darcy's work dealing with the public fountains in the City of Dijon. The Darcy's Law lead off with the very intensive formation of the hydrodynamic branch in the hydrogeology science and its further development.

H. Darcy proved that water volume filtered through a sand column is directly proportional to water height and inversely proportional to the sand layer thickness in the column. Later the proportionality coefficient was called the rock permeability coefficient after Darcy, or filtration coefficient; the ratio Q/S is apparent rate or filtration rate. In research practice, after the rock permeability coefficient was introduced, the coefficient's dimension was called after Darcy.

1 D (darcy) is such permeability when water with viscosity of 0.0114 centipoise at 20°C flows at a rate of 1 cm/s under a pressure gradient of 1 atm/cm; i.e. 1D = 0.85 m/d.

This news spread in France, first of all, and then scholars of other West European and American countries learned about this law. In 1857, Jules Dupuit applied the Darcy Law to estimate radial flows, hence, to determine the water influx into the dug and drilled wells and other subsurface workings. All this made the basis for rapid and many-branch development of hydrodynamical science in all Europe and beyond its limits.

The year of 2006 can be considered by hydrogeologists the Darcy's Year, since it was 150 years ago when the basic hydrogeological law on groundwater filtration had been published. Moreover, recently, two years we commemorated the bicentenary of his birth.

The present article describes briefly Henry Darcy—a man who was an engineer, scholar and public figure—in order to honour the pioneer of the hydrodynamic science, one of the best-known hydrogeologists in the world.