

Spremljanje procesov transporta vlage v gradbenih materialih z nevtronsko radiografijo

Monitoring of Moisture Transport Processes in Building Materials by Neutron Radiography

T. Nemec¹, J. J. Rant, IJS Ljubljana
V. Apih, Zavod za gradbeništvo-ZRMK, Ljubljana
B. Glumac, IJS Ljubljana

Prejem rokopisa - received: 1995-10-04; sprejem za objavo - accepted for publication: 1996-01-22

Nevtronska radiografija je zelo uporabna metoda za določanje vlage in vodik vsebujočih snovi v laboratorijskih vzorcih poroznih gradbenih materialov. Večina navadnih gradbenih materialov je namreč bolj ali manj prozornih za nevtrone. Vodik pa ima velik atenuacijski koeficient za nevtrone, zato je vlaga v nevtronografskih slikah gradbenih materialov dobro vidna. Z nevtronsko radiografijo lahko zaznamo od nekaj 0,1% do 5% vlage, odvisno od debeline in prozornosti preiskovanega vzorca. Naše raziskave na reaktorju Triga Mark II v Ljubljani imajo cilj določiti vrsto procesa transporta vlage v različnih materialih, tudi takih, zaščitenih s hidrofobnimi snovmi, in opisati ta proces s transportnimi enačbami. Za kvantitativno določevanje vsebnosti vlage z umeritveno krivuljo pripravljamo standarde, npr. keramiko z znano vsebnostjo vlage. Sliko 3-D notranje zgradbe vzorca in porazdelitve vlage lahko dobimo tudi z računalniško podprto nevtronsko tomografijo z novo kamero s hlajenim CCD detektorjem.

Ključne besede: nevtronska radiografija, gradbeni materiali, hidrofobni materiali, transport vlage

Neutron radiography is a very useful method for determination of moisture and hydrogenous material in laboratory samples of porous building materials. Most of common building materials are more or less transparent to neutrons while hydrogen has a large attenuation coefficient for neutrons what makes moisture easily observed in neutronographic images of building materials. By neutron radiography 0.1% up to 5% moisture content can be observed in materials, depending on the thickness and transparency of investigated sample. The aim of present research at the Ljubljana Triga Mark II reactor is to determine the type of process of moisture transport in various materials including also samples treated with hydrophobic agents and to describe this process with transport equations. For quantitative determination of moisture content by a calibration curve standard ceramic samples with known moisture content are prepared. A 3-D internal structure of sample and distribution of moisture can be examined by computed neutron tomography using a new camera with cooled CCD detector.

Key words: neutron radiography, building materials, hydrophobic materials, moisture transport

1 Uvod

Preiskava gradbenih materialov z nevtronsko radiografijo (NR) je v svetu že dobro vpeljana metoda. Raziskovali so predvsem transport vode in vpliv dodanih hidrofobnih zaščitnih sredstev na ta proces^{1,2}. Zaradi specifičnih interakcij termičnih nevtronov z vodikom lahko z NR dobro ločimo vodo ter vodik vsebujoče materiale od drugih materialov. Večina gradbenih materialov, kot so beton, opeka, silikatna opeka, keramika ter pesek, zemlja in tudi večina kovin, je bolj ali manj prozorna za nevtronsko sevanje. Vlaga, kemijsko vezana voda, hidroksidi ter hidrofobne organske snovi so v gradbenih materialih dobro vidni. Zaznamo lahko od 0,1% do 5% vlage, odvisno od debeline in prozornosti preiskovanega materiala. V tabeli 1 so za primerjavo zbrani linearni atenuacijski koeficienti termičnih nevtronov za nekatere gradbene materiale in vodik vsebujoče snovi. Za zdaj je uporaba nevtronske radiografije za raziskave v gradbeništvu omejena na preiskave tankih laboratorijskih vzorcev. Delež sipanih nevtronov narašča z debelino plasti vodik vsebujočega materiala in tako poslabša kontrast ter ločljivost posnetka.

Naše raziskave na reaktorju Triga Mark II imajo cilj pojasniti proces transporta vlage v različnih materialih, tudi takih, zaščitenih s hidrofobnimi snovmi, ter popisati te procese s transportnimi enačbami^{3,4}. Za kvantitativno določevanje vsebnosti vlage z umeritveno krivuljo pripravljamo standarde, tj. opeke z znano vsebnostjo vlage.

Tabela 1: Linearni atenuacijski koeficienti termičnih nevtronov za nekatere gradbene in tehnične materiale ter nafto in vodo³

Table 1: Thermal neutron linear attenuation coefficients of a few common building and technical materials, oil and water³

material	gostota (g cm ⁻³)	linearni atenuacijski koeficient (cm ⁻¹)
beton	2,50	0,12
opeka	1,75	0,34
keramika	1,81	0,27
železo	7,86	1,14
nafta	0,88	3,08
voda	1,0	3,67

2 Eksperimentalne metode

Kot izvor nevtronov uporabljamo termalno kolono reaktorja TRIGA Mark II. Premer curka nevtronov na obsevalnem mestu je 12 cm, kar nas omejuje na preisk-

¹ Tomaž NEMEC, dipl.inž.kem.
Inštitut Jožef Stefan
1111 Ljubljana, Jamova 39

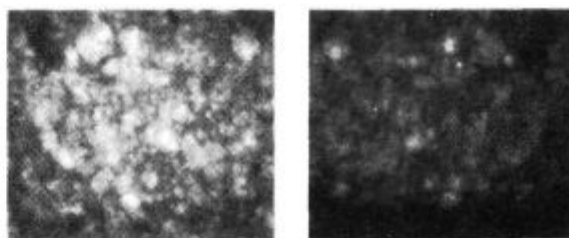
ovanje majhnih vzorcev. Večje vzorce preiskujemo tako, da jih večkrat zaporedoma preslikamo. S preiskavo vzorcev z nevtroni dobimo na detektorju sliko prepuščenih nevtronov, opazujemo mesta, kjer se nevtroni atenuirajo na vzorcu. Pri nevtronski radiografiji je detektor slike radiografski film, konverter nevtronov pa gadolinijeva folija ali medicinski scintilatorski zaslon iz Gd dioksisulfida⁵. Časi obsevanja so za razne kombinacije film-konverter različni, od nekaj minut do 90 minut, ločljivost posnetka je nekaj 10 μm . Počrtnitev filma je sorazmerna nevtronski dozi, največja je v nevtronskem curku, kjer ni atenuacije nevtronov, manjša pa za preiskovanim objektom. Počrtnitev kvantitativno ovrednotimo z mikrodensitometrom. Pri obdelavi meritev upoštevamo popravke zaradi nehomogenosti nevtronskega curka ter prispevkov ozadja gama sevanja ter sipanih nevtronov v vzorcu. Delež sipanih nevtronov na vzorcu narašča z njegovo debelino in poslabša kontrast ter ločljivost slike. Močna atenuacija nevtronov in vpliv sipanja omejujeta debelino vlažnega vzorca, ki ga lahko še preiskujemo, na 5 cm.

Pri nevtronski radiografiji s hlajeno CCD kamero posnamemo sliko nevtronskega curka, objekta v nevtronskem curku ter ozadja. Čas ekspozicije s CCD kamero je zelo kratek, manj kot 1 minuta, ločljivost posnetka pa je 30 μm . Preiskujemo lahko le majhne objekte premera ≈ 3 cm. Konverter je tanek zaslon iz Gd dioksisulfida, detektor svetlobe pa je hlajena CCD matrica. Podatki se odčitajo v računalnik PC-386 in pretvorijo v digitalno obliko. S programsko opremo krmilimo delo kamere in odčitamo podatke, ter jih obdelamo-normaliziramo sliko.

Pri računalniško podprti nevtronski tomografiji preiskovani objekt rotiramo pred kamero ter posnamemo več zaporednih slik pri različnih kotih. Detekcija slike in obdelava podatkov je enaka kot v radiografskem načinu dela s CCD kamero. S programsko opremo iz posameznih slik sestavimo tomografsko sliko vzorca, rezultat je 3D slika objekta v prerezu. Snemanje, skupaj s časom, potrebnim za obdelavo podatkov, traja več ur, ločljivost posnetka pa je reda velikosti 100 μm . Preiskujemo lahko le objekte premera < 3 cm.

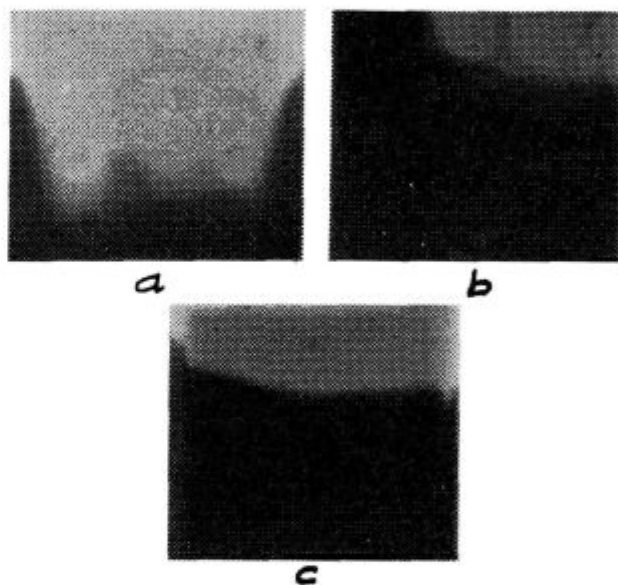
3 Rezultati in diskusija

Preučujemo prenos vlage v standardnih vzorcih betona, opeke in silikatne opeke. Z nevtronsko radiografijo lahko določimo profil vlage v vzorcu in tako spremljamo pomikanje fronte vode po vzorcu. Z uporabo hlajene CCD kamere lahko slikamo s kratko ekspozicijo (nekaj sekund) in tako opazujemo tudi hitre transportne procese. Transport vlage je močno upočasnjeno ali celo povsem zaustavljen v vzorcih, ki so preparirani s hidrofobnimi organskimi snovmi. Uporabnost metode za študij procesov transporta valge v vzorcih je prikazana na slikah 1 in 2. Procese transporta vlage v različnih vzorcih bomo popisali s transportnimi enačbami, npr. difuzijsko enačbo.



Slika 1: Nevtronografski posnetek suhega in v vodo namočenega vzorca betona. Fronta vode potuje navzgor po vzorcu. Detekcija vode v betonu je težka zaradi kemijsko vezane vode ter nehomogenosti vzorca, zato lahko preiskujemo le do ≈ 3 cm debele vzorce

Figure 1: Neutron radiographic image of dry and wetted concrete sample, water front is ascending the wetted sample. Detection of moisture in concrete is difficult due to chemically bonded water and the non-homogeneity of the material. This limits the investigation to only up to ≈ 3 cm thick samples



Slika 2: Nevtronografski posnetek silikatnih opek. Opeka *a* je preparirana s hidrofobnimi snovmi, ki se uporabljajo za hidroizolacijo gradbenih materialov, zato je transport vlage v vzorcu upočasnjeno. V opekah *b* in *c* je prenos vlage neenakomeren zaradi nehomogenosti vzorcev. Za kvantitativno določanje vsebnosti vlage z umeritveno krivuljo pripravljamo standarde z znano vsebnostjo vlage. Kot popravke upoštevamo nehomogenost nevtronskega curka ter prispevek sipanih nevtronov na počrtnitev slike

Figure 2: Neutron radiographic image of silicate bricks. Brick *a* is treated with hydrophobic agents used for hydroisolation of building materials, what limits the moisture transport in the sample. Non-homogeneous transport of water in bricks *b* and *c* is due to non-homogeneity of the samples. Samples with known moisture content are prepared for a calibration curve for quantitative determination of moisture content. Non-homogeneity of neutron beam and the contribution of scattered neutrons to film optical density are taken into account as correction factors

4 Sklepi

Nevtronska radiografija je primerna za laboratorijske preiskave, kjer lahko raziskujemo transportne procese prenosa vlage v standardnih vzorcih gradbenih materialov. Kvalitativne meritve so v svetu že uveljavljene, za

kvantitativno delo pa moramo upoštevati popravke in pripraviti umeritveno krivuljo z meritvami standardnih vzorcev. Z uvajanjem raznih kombinacij scintilatorskih konverterjev za termične nevtrone ter hitrih medicinskih filmov lahko znatno zmanjšamo čas ekspozicije ter tako spremljamo tudi dinamične procese. Še bolj skrajšamo čas ekspozicije z uporabo hlajene CCD kamere, s katero lahko posnamemo tudi 3D tomografske posnetke. Z našo kamero smo omejeni le na preiskave dovolj tankih in majhnih vzorcev.

5 Literatura

¹ F. Peterka, Z. Hrdlička, Application of Neutron Radiography to Building Industry, *Neutron Radiography*(3), Proc. World Conf., Osaka,

T. Nemec, et al.: Spremljanje procesov transporta vlage v

1989, (Eds. S. Fujine et al.), Kluwer Publ. Co., Dordrecht, 1990, 653-659

² J. Tywoniak, J. Pražak, T. Šlonec, F. Peterka, Feuchtemessungen mittels Neutronenradiographie, *Bautenschutz + Bausanierung*, 14, 1991, 20-23

³ J. Rant et al., Applications of Neutron Radiology Methods in Civil Engineering and the Building Materials Industry, *Proc. 3rd Meeting of the Nuclear Society of Slovenia*, Rogaška Slatina, 1994, 401-408

⁴ J. Rant et al., Applications of Neutron Radiology Methods in Civil Engineering and in the Study of Moisture Transport in Porous Building Materials, *Proc. Int. Conf. "In-Service Inspection"*, Pula, 1995, 117-124

⁵ Special Issue of IAEA Atomic Energy Review on Neutron Radiography, *Atomic Energy Review*, 15, 1977, 2, 123-364