

VODA V BETONU | WATER IN CONCRETE

Marek Vinkler

Příspěvek si klade za cíl nastínit komplexní funkci vody v čerstvém, tuhoucím i ztvrdlém betonu včetně pozitivních i negativních důsledků, které voda v betonu může způsobit. Od zpracovatelnosti betonové směsi přes hydratační procesy a vývin mechanických vlastností až k vysychání, smršťování a dotvarování betonu, všude hraje voda klíčovou roli. **The paper focuses on complex character of water in fresh, hardening and solid concrete including positive and negative consequences which water in concrete might cause. Water plays its vital role everywhere – from workability of fresh concrete mixture, through hydration processes and evolution of mechanical properties, to drying, shrinking and creeping of concrete.**

Zjednodušeně a obecně řečeno – voda ovlivňuje téměř veškeré vlastnosti a chování čerstvého a ztvrdlého betonu. Voda je jednou ze složek betonové směsi a její množství, vyjádřené poměrem k množství cementu jako vodní součinitel, je základním volitelným parametrem při návrhu betonové směsi, jejíž výsledné vlastnosti významně ovlivňuje. Chemická reakce vody při hydrataci je příčinou náběhu mechanických vlastností betonu a jeho přeměny z podoby tekuté do pevné. Vysychání betonu je příčinou smršťování a vysychání a dotvarování při vysychání. Zbytková vlhkost betonu hraje roli při případném poškození navazujících konstrukcí. Voda v pórech betonu představuje rozpouštědlo a transportní médium pro agresivní látky z okolního prostředí. Voda může v pórech betonu zmrznout a ovlivnit tak mrazuvzdornost. Voda v pórech betonu se za vysokých teplot může přeměnit na vodní páru a může tak ovlivnit požární odolnost. Již tento krátký a zjednodušený výčet dává tušit širokou škálu inženýrských problémů, které voda přímo či nepřímo ovlivňuje.

Je nutné si uvědomit, že některá tvrzení uvedená v tomto článku nelze brát dogmaticky, resp. tvrzení zde uvedená reprezentují obvyklé chování betonu nebo situace typu „ve většině případů“.

VODA JAKO SLOŽKA BETONU

Dříve bylo dostatečné množství záměsové vody nezbytné pro zajištění zpracovatelnosti betonu. Dnes je však při použití stavební chemie možné zajistit zpracovatelnost betonu i u směsi s velmi malým vodním součinitelem. U běžných betonů se vodní součinitel w/c

pohybuje v rozmezí 0,4 až 0,6, u vysokopevnostních betonů klesá jeho hodnota až k 0,25. Mezní vodní součinitel je předepsán i normou ČSN EN 206 [1] v závislosti na použití betonu pro příslušný stupeň vlivu prostředí (na agresivitu prostředí).

Obecně platí, že čím menší je vodní součinitel, tím je beton (cementový tmel) jemnozrnější a kompaktnější a tím je zároveň i pevnější, odolnější vůči agresivnímu prostředí a trvanlivější. Zároveň však platí, že pokud pro danou směs snížíme množství záměsové vody a zachováme množství cementu (tedy snížíme vodní součinitel), tak se sníží množství hydratovaných zrn pojivových složek a zbylá část pojiva tvoří vlastně jemnozrné plnivo. Orientační závislost mezi vodním součinitelem a pevností betonu v tlaku je na obr. 1, ve kterém byl pro sestavení křivek použit Ferretův vztah z roku 1896.

Při výrobě betonu je nutné kontrolovat vlhkost kameniva, zejména písku (jehož běžná vlhkost se pohybuje v rozmezí 3 až 6 %) a také v případě, kdy je kamenivo více nasáklé. Podle vlhkosti kameniva je následně nutné upravit množství záměsové vody (příliš suché kamenivo může záměsovou vodu odsávat, příliš vlhké kamenivo naopak přidává další vodu k záměsové vodě).

Na stavbách se občas vyskytuje nebezpečný nešvar a tím je ředění betonové směsi v autodomíchači pro zajištění lepší zpracovatelnosti. Např. přidání 150 l vody do směsi v autodomíchači (uvažujeme 7,5 m³ běžné betonové směsi) znamená zvýšení objemu záměsové vody o $\Delta w = 20 \text{ kg/m}^3$ a zvýšení hodnoty vodního součinitele o cca $\Delta w_c = 0,06$ (tj. cca o 12 % pro počáteční množství vody $w_0 = 170 \text{ kg/m}^3$). Toto zvýšení hodnoty vodního součinitele může znamenat pokles dosažené pevnosti o 5 až 10 MPa.

Tento problém má několik příčin, mezi něž patří:

- nekázeň na stavbě,
- chabá informovanost projektantů ohledně specifikování betonů, kteří předepíší v dokumentaci např. příliš hustou směs, kterou má stavba problém řádně uložit,
- příliš zatvrzelý dozor na stavbě, který trvá na objednání husté směsi, i když ho stavba upozorňuje na potenciální problém se zpracovatelností.

PÓROVÁ STRUKTURA BETONU A DRUHY VODY

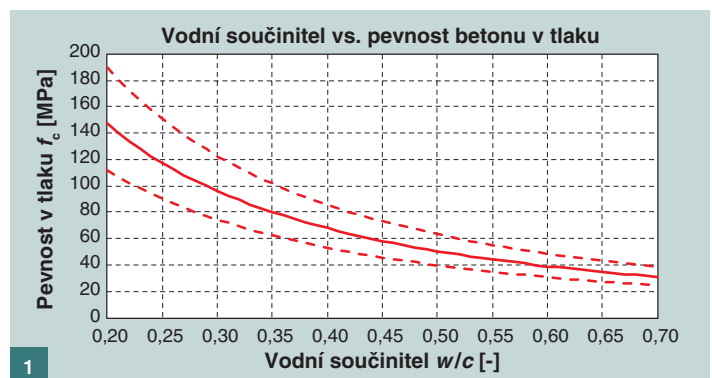
Beton je velmi heterogenní, kompozitní a pórovitý materiál. Podíváme-li se hlouběji do struktury ztvrdlého betonu, můžeme vidět hrubé a jemné částice kameniva spojené dohromady pomocí hydratovaných cementových zrn, tzv. cementový tmel, zbytek prostoru zaujímá složitý systém pórů obsahující tekutou vodu a vzduch s vodní párou. Pórovitost betonu může být popsána objemem pórů v jednotkovém objemu materiálu. Často se rozlišuje uzavřená a otevřená pórovitost. Jinými slovy, póry mohou být vzájemně propojené, nebo naprosto uzavřené, a tudíž bez spojitosti s okolním prostředím. Póry mají různé tvary a velikosti: od pórů v řádu několika nanometrů až po okem viditelné póry v řádu milimetrů.

Voda je v betonu více či méně vázaná a dle intenzity vazeb (jejich energie) rozlišujeme:

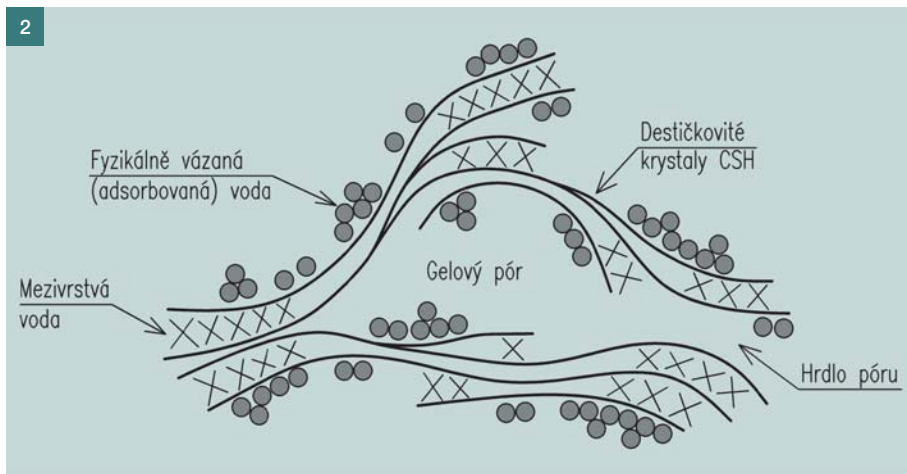
- vodu chemicky vázanou (hydratovanou),
- vodu fyzikálně vázanou (adsorbovanou na stěnách pórů),
- vodu volnou.

Vodu adsorbovanou a volnou společně označujeme jako vodu odpařitelnou, vodu hydratovanou označujeme jako neodpařitelnou. Podle velikosti pórů můžeme odpařitelnou vodu rozlišit na vodu gelovou, která se vyskytuje

Obr. 1 Vodní součinitel vs. pevnost betonu v tlaku
 Fig. 1 Water cement ratio vs compression strength of concrete



2



Obr. 2 Schematický model pórové struktury cementového tmele (upraveno z [2]) ■
Fig. 2 Model for pore structure of concrete (modified from [2])

v těch nejmenších pórech (gelových), a na vodu kapilární, která se vyskytuje ve větších (kapilárních) pórech. Krystaly CSH mají často vrstevnatý charakter a právě mezi jednotlivými vrstvami může být voda uvězněna (jedná se o tzv. interlayer water). Obecně platí, že čím menší je pór, tím obtížnější je z něj vodu dostat. Na obr. 2 je schematicky nakreslen model pórové struktury cementového tmele.

Obecná klasifikace pórů dle IUPAC rozlišuje mikropóry ≤ 2 nm, mezopóry 2 až 50 nm a makropóry ≥ 50 nm, kde mikropóry přibližně odpovídají pórům gelovým, mezopóry a makropóry odpovídají pórům kapilárním.

VÝZNAM VODY PŘI HYDRATACI

Během hydratace voda vstupuje do složitých chemických reakcí za vzniku hydratovaných kalciumsilikátů CSH, aluminosilikátů a hydroxidu vápenatého $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Postupnou hydratací zrn cementu ubývá volné vody a zároveň je ztížen přístup vody k nezhydratovaným zrnům cementu, neboť jsou obaleny zhydratovanými zrny. Proces hydratace se tak postupně zpomaluje, přičemž maximální hydratační teploty je dosaženo cca po jednom až dvou dnech od uložení betonu na stavbě v závislosti na masivnosti prvku. Hydratace je exotermická reakce, která způsobuje teplotní gradient mezi jádrem a povrchem průřezu. Důsledkem je vznik vnitřních tahových (ale i tlakových) napětí, která mohou způsobit vznik raných trhlin.

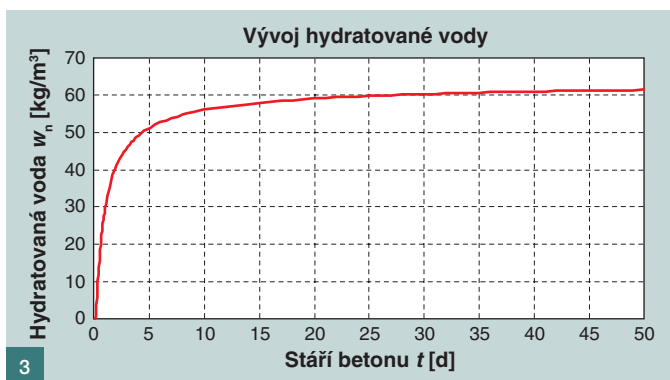
Jedním z důsledků hydratace je samovysychání nebo též vnitřní vysychání betonu. Vlivem úbytku volné vody v pórech betonu dochází k postupnému sni-

žování vnitřní (pórové) relativní vlhkosti betonu. Tento jev se projevuje ve větší míře u betonů s vyšší pevností (tedy s nižším vodním součinitelem). U běžných betonů s průměrnou pevností v tlaku do 50 MPa je pokles pórové relativní vlhkosti do 5 %, u vysokopevnostních betonů (UHPC) může pokles dosáhnout až 30 %. Samovysychání betonu úzce souvisí s autogenním smršťováním, které vykazuje analogické chování, tedy čím větší pevnost beton má, tím větší bývá autogenní smršťování.

Pro ilustraci vyvoje spotřeby vody v betonu na hydrataci je dále uveden jednoduchý modelový příklad. Nejprve je vhodné zavést veličinu stupeň hydratace $\alpha(t)$ [-], která popisuje, jaká část hydratačního tepla $H(t)$ [J/m^3] se v daném okamžiku uvolnila v poměru k celkovému hydratačnímu teplu H_T [J/m^3]. Jinými slovy, jaká část cementu již zhydratovala. Obecněji bychom museli uvažovat všechny pojivové složky betonu, tedy např. i popílek, který je častou přísadou betonu. Vývoj stupně hydratace v čase lze odhadnout např. pomocí exponenciálního modelu Schindler, Folliard [4], který na základě složení betonu predikuje vývin hydratačního tepla:

$$\alpha(t) = \frac{H(t)}{H_T} = \alpha_u \exp \left[- \left(\frac{\tau}{t} \right)^\beta \right]. \quad (1)$$

Obr. 3 Modelový příklad: časový vývoj chemicky vázané vody ■
Fig. 3 Working model: time development of chemically bound water



Model obsahuje tři parametry: finální stupeň hydratace α_u [-], exponent β [-] a časový parametr τ [h], které jsou v modelu stanoveny na základě chemického, popř. slínkového složení cementu, množství příměsí a přísad. Finální stupeň hydratace popisuje maximální podíl pojivových složek, které mohou zhydratovat po velmi dlouhé době, a je možné jej stanovit na základě vodního součinitele w/c [-] (a příp. obsahu dalších pojivových složek):

$$\alpha_u = \frac{1,031w/c}{0,194 + w/c} \leq 1. \quad (2)$$

Exponent β v rovnici (1) popisuje rychlost, s jakou hydratace probíhá, tj. čím rychleji tuhne cement je použit, tím větší bude mít exponent hodnotu. Časový parametr τ popisuje jakýsi poločas hydratace, tj. čas, kdy je stupeň hydratace roven převrácené hodnotě Eulerova čísla $\alpha(\tau) = 1/e \approx 0,37$. Běžné hodnoty $\beta = 0,6$ až $0,9$ a $\tau = 14$ až 24 h. Pro běžný portlandský cement CEM I 42,5 R a vodní součinitel 0,5 je možné přibližně uvažovat $\beta = 0,75$ a $\tau = 16$ h.

Protože pro hydrataci každého kilogramu cementu je potřeba přibližně 0,25 l vody, je možné vypočítat časový vývoj množství chemicky vázané (neodpařitelné) vody pomocí stupně hydratace a množství cementu v betonu c [kg/m^3]:

$$w_n(t) = 0,253\alpha(t)c. \quad (3)$$

Časový vývoj množství volné (odpařitelné) vody je potom dán odečtením chemicky vázané vody od počátečního množství vody:

$$w_e(t) = w_0 - w_n(t). \quad (4)$$

Pro modelový příklad jsou použity následující vstupní údaje:

- množství cementu $c = 340$ kg/m^3 ,
- typ cementu CEM I 42,5 R,
- množství záměsové vody $w = 170$ kg/m^3 ,
- vodní součinitel $w/c = 0,5$,
- exponent v modelu [4] $\beta = 0,75$,

- časový parametr v modelu [4] $\tau = 16 \text{ h}$,
- finální stupeň hydratace dle vztahu (2) $\alpha_u = 0,74$.

Výsledky výpočtu jsou uvedeny v grafu na obr. 3. Je nutné podotknout, že vývoj hydratačního tepla, a tedy i stupně hydratace je akcelerován teplotou, která je v původním modelu zavedena nahrazením času t ekvivalentním časem závislejícím na teplotě $t = t_e = f(T)$. V modelovém příkladu předpokládáme subtilní prvek, kde je tento jev minimalizován účinnějším odvodem hydratačního tepla do okolí.

VLIV VODY NA OBJEMOVÉ ZMĚNY

Smršťování betonu je široký pojem a zahrnuje v sobě několik druhů smršťování: plastické, chemické, autogenní, karbonatační či z vysychání. Někdy se namísto autogenního smršťování používá termín autogenní deformace vzhledem k tomu, že může docházet i k autogennímu nabyvání. Ve všech typech však hraje základní roli voda. Buď je součástí chemické reakce vedoucí ke zmenšení objemu, nebo její pohyb (transport) v pórech betonu způsobuje vznik vnitřních pnutí (kapilární tlak apod.) v okolí póru, jejichž důsledkem je změna objemu, tj. smršťování nebo nabyvání. Pro zatížený beton (napětí) voda navíc významně ovlivňuje průběh dotvarování při vysychání. Někteří autoři se dokonce domnívají, že smršťování z vysychání a dotvarování jsou pouze dva různé projevy stejného mechanismu na nanoúrovni. Více informací k vysychání a smršťování betonu je uvedeno v disertační práci autora [7].

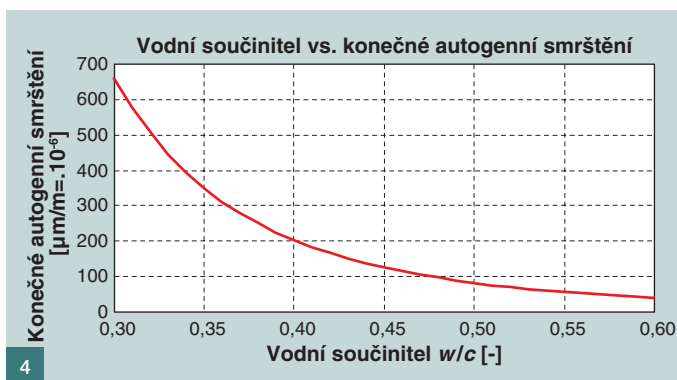
Autogenní smršťování je důsledkem hydratačních reakcí, které na mikroúrovni způsobují chemické smršťování, jež se na makroúrovni projevuje jako měřitelná autogenní deformace. Chemické smršťování odpovídá smršťování velmi malého objemu během hydratace, avšak u prvků standardních veli-

ností dochází vlivem vnitřních omezení (vazeb) k menší výsledné deformaci. Vnitřní vazby zahrnují kamenivo a prostorové vazby mezi jednotlivými zhydratovanými zrny. V první fázi hydratace je chemické a autogenní smršťování cementového tmelu (tj. bez vlivu kameniva) téměř totožné, k výraznému rozdílu mezi nimi začíná docházet přibližně v době mezi počátkem a koncem tuhnutí, která odpovídá přechodu mezi tekutou a pevnou látkou.

Smršťování z vysychání je důsledkem odvodu vnitřní vlhkosti betonu směrem k povrchu, odkud se voda vypařuje. Nejprve se v betonu vyprazdňují největší póry a postupně, jak pokračuje vysychání, dochází i na menší póry. Vyprazdňování pórů je spojeno se zakřivováním povrchu hladiny vody v pórech, které vyvolávají kapilární tlaky (povrch zakřivené hladiny je v tahu, přilehlý povrch póru je v tlaku). Toto vysvětlení je nicméně příliš zjednodušující, skutečnost je komplexnější, ale pro ilustraci problému to považujeme za dostačující (více např. v [8]).

Smršťování z vysychání v sobě téměř vždy obsahuje i dílčí složku, kterou je **karbonatační smršťování**. Karbonatace je proces probíhající v povrchových vrstvách betonu. Principem je reakce mezi hydroxidem vápenatým a oxidem uhličitým z atmosféry za přítomnosti vody, jejímž produktem je uhličitán vápenatý a voda. Protože produkty této reakce mají menší objem než vstupní složky, je vyvolána tendence ke smrštění v povrchové vrstvě. Skutečné karbonatační smršťování celého průřezu je ale menší vlivem vnitřního omezení deformací jádrem průřezu, ve kterém karbonatace nenastává.

Většinou platí, že betony s nižším vodním součinitelem vykazují větší autogenní smršťování a menší smršťování z vysychání než betony s vyšším vodním součinitelem, u kterých je to přesně naopak. Na obr. 4 je vykreslena



Obr. 4 Vliv vodního součinitele na autogenní smrštění
Fig. 4 Effect of the water cement ratio on autogenous shrinkage and drying shrinkage

4



Malé kliknutí pro člověka, obrovský skok pro stavbu

Pronájem nebo nákup bednicí techniky a souvisejících produktů nebo služeb nikdy nebyl jednodušší. Stačí navštívit **e-shop Doka** a všechny potřebné systémy máte po ruce kdykoliv, kdekoliv. Budoucnost v nákupu a nájmu bednicí techniky je už dnes realitou ve vašich počítačích a na mobilních zařízeních.



shop.doka.com

Vítejte v budoucnosti.

 CeskaDoka

 doka.cz

Firemní prezentace

orientační závislost mezi vodním součinitelem a konečnou hodnotou autogenního smrštění dle modelu B4 [3].

TRANSPORT VODY V BETONU

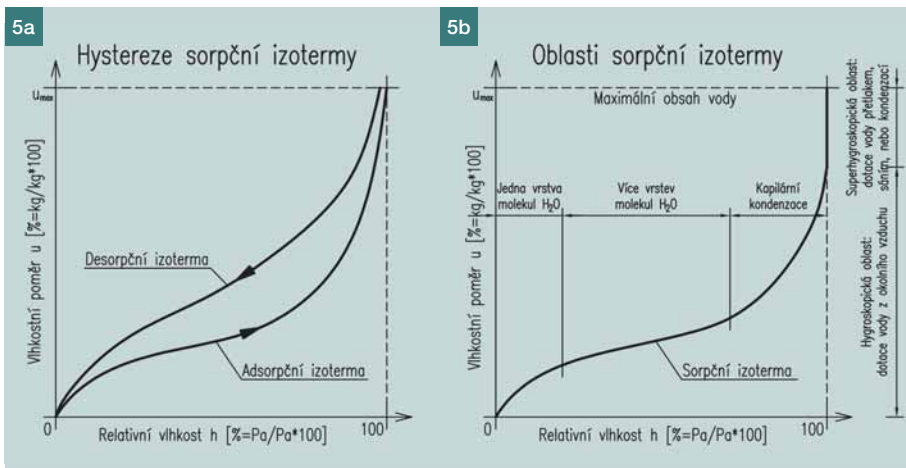
Voda slouží jako transportní prostředí pro různé látky směrem dovnitř (agresivní činitele) nebo ven (rozpuštění některých složek betonu) a hraje tak klíčovou úlohu pro odolnost vůči agresivnímu prostředí, a tudíž i pro životnost konstrukce.

Transport vody (té odpařitelné) může být vyvolán různými hnacími silami. Nejčastější příčinou bývá gradient koncentrace vodní páry v pórech betonu. Jinými slovy gradient relativní vlhkosti, který způsobuje postupně vysychání a tedy vyrovnání relativní vlhkosti v betonu s relativní vlhkostí okolního prostředí. Tento jev označujeme jako difuzi a popisuje jej Fickův zákon. Dalším mechanismem transportu vody může být hydraulický gradient vytvořený např. vysokou hladinou vody za konstrukcí. Tento jev označujeme jako proudění a popisuje jej Darcyho zákon. Dalšími hnacími silami transportu vody mohou být gradient teplot nebo elektrický gradient.

Vlastností popisující rychlost transportu vody v betonu je difuzivita definovaná součinitelem vlhkostní difuzivity D_h [m²/s], který je analogií součinitele teplotní difuzivity $D_T = \lambda/(\rho \cdot c)$ [m²/s], a tudíž popisuje rychlost vedení tepla. Rychlost vysychání betonu je např. ve srovnání s vedením tepla extrémně pomalá. Při zbežném porovnání součinitele difuzivity betonu (10⁻¹⁰ až 10⁻¹¹ m²/s) a součinitele tepelné vodivosti (10⁻⁶ až 10⁻⁷ m²/s) je zřejmá extrémní pomalost procesu vysychání. U běžné stěny tloušťky 200 mm oboustranně vysychající v prostředí s relativní vlhkostí 50 % trvá několik měsíců, než vysychající fronta dorazí doprostřed stěny, a několik let, než stěna vyschne na úroveň okolního prostředí. Obecně platí, že doba vysychání je přímo úměrná druhé mocnině efektivní tloušťky, která odpovídá nejdlejší cestě vlhkosti na povrch betonu, tj. u desky vysychající z obou stran je to polovina tloušťky a u desky vysychající jednosměrně je to přímo její tloušťka, tedy 2x tlustší deska vysychá 4x déle. Více informací k vysychání betonu je uvedeno v článku [5].

DEFINICE A MĚŘENÍ VLNKOSTI

Vlhkost betonu může být popsána různě. Nejčastěji se pro popis vlhkosti betonu používá hmotnostní vlhkost w [kg/m³], definovaná jako hmotnost



vody v jednotkovém objemu materiálu, nebo hmotnostní (vlhkostní) poměr u [kg/kg · 100 = %], definovaný jako poměr hmotnosti vody ve vzorku k hmotnosti suchého vzorku, popř. objemová vlhkost ψ [m³/m³], definovaná jako objem vody v jednotkovém objemu materiálu:

$$w = \frac{m_w}{V}; u = \frac{m_w}{m_d}; \psi = \frac{V_w}{V}. \tag{5}$$

Vztahy mezi těmito veličinami jsou propojeny pomocí objemové hmotnosti suchého vzorku ρ_d [kg/m³] a hustoty vody ρ_w [kg/m³]:

$$w = \rho_d u = \rho_w \psi. \tag{6}$$

Tyto tři veličiny jsou celkem jednoduše představitelné, naproti tomu popis vlhkosti pomocí pórové relativní vlhkosti h [Pa/Pa · 100 = %] je již hůře představitelný, avšak skýtá mnohé výhody při numerickém modelování a při měření, jelikož relativní vlhkost se dá měřit celkem jednoduše a ne-destructivně. Vztah mezi pórovou relativní vlhkostí a hmotnostní vlhkostí (popř. vlhkostním poměrem) je materiálová vlastnost, která je reprezentována sorpční izotermou – viz následující kapitola.

Měření vlhkosti je velmi ošemetná záležitost, neboť dosáhnout dostatečné přesnosti měření lze téměř jen za použití velmi drahých nebo destruktivních metod. Standardní měření gravimetrickou metodou, kdy se vzorek vysuší v peci při 105 °C a měří se úbytek hmotnosti (odpařená voda), je časově náročné a destruktivní. Karbidová metoda (CM) využívá beton rozdrčený na prášek, který je uzavřen v nádobě s karbidem vápníku, s kterým reaguje za vzniku acetylenu v plynné formě. Měřením nárůstu tlaku v nádobě vlivem vznikajícího plynu je stanovena vlhkost vzorku. Mnohem sofistikovanější a také dražší me-

Obr. 5 Sorpční izoterma: a) hystereze, b) oblasti ■ Fig. 5 Sorption isotherm: a) hysteresis, b) regions

tody jsou založeny na elektromagnetických a radiálních technikách (neutronová radiografie, rentgen, nukleární magnetická rezonance, pozitronová emisní tomografie).

SORPČNÍ IZOTERMA

Sorpční izoterma je klíčová vlastnost pro popis vlhkostního chování betonu, jež udává závislost mezi množstvím vody v pórech betonu a relativní vlhkostí v pórech betonu (která je v rovnováze s relativní vlhkostí okolního prostředí) při konstantní teplotě. Existují dva typy sorpční izoterm v závislosti na tom, zda beton vlhkost přijímá, nebo zda ji odevzdává (vysychá) – potom hovoříme buď o adsorpční, nebo desorpční izotermě (obr. 5a). Tyto izotermy se mohou významně lišit a vlhkostní chování betonu tak vykazuje hysterezi. Desorpční izoterma leží vždy nad adsorpční izotermou. Sorpční izotermu je možné rozdělit na čtyři oblasti, které se liší mechanismem adsorpce vodní páry (obr. 5b).

Při nízkých hodnotách pórové relativní vlhkosti probíhá adsorpce na stěnách jednotlivých pórů v jedné vrstvě molekul vody až do určité hodnoty relativní vlhkosti. Tím je definována první, konkávní oblast sorpční izotermu. Při zvyšující se hodnotě relativní vlhkosti probíhá adsorpce již ve více vrstvách molekul a to určuje druhou, přibližně lineární oblast sorpční izotermu. V třetí, konvexní oblasti dominuje kapilární kondenzace (dochází k úplnému zaplnění póru vodou), která se jako první objevuje v nejmenších pórech. Tento jev může být popsán známou Kelvinovou rovnicí z roku 1871, která popisuje vztah mezi relativní vlhkostí h nad za-

křivenou vodní plochou a hydraulickým tlakem p_h [Pa]:

$$\ln h = \frac{M_w p_h}{\rho_w R T}, \quad (7)$$

kde $M_w = 18,016$ kg/mol je molární hmotnost vody, $R = 8,314$ [J/K.mol] univerzální plynová konstanta a T [K] termodynamická teplota. Hydraulický tlak popisuje Young-Laplaceova rovnice z roku 1805, která jej dává do souvislosti s křivostí zakřivené vodní hladiny:

$$p_h = -\frac{2\sigma_w \cos \theta}{r}, \quad (8)$$

kde σ_w [Pa/m] je povrchové napětí vody, θ [rad] úhel smáčení a r [m] poloměr křivosti. Zde je nutné poznamenat, že povrchové napětí vody a hustota vody jsou závislé na teplotě. V malých pórech (tj. v pórech s větší křivostí) je nasycený tlak vodní páry menší, a proto v nich dochází ke kapilární kondenzaci dříve než ve větších pórech. Jinými slovy, pro danou hodnotu relativní vlhkosti budou póry s menším poloměrem než je daný poloměr zaplněny vodou.

Poslední, téměř svislá oblast sorpční izotermy je občas nazývána superhygroskopickou oblastí a začíná cca při 98 % relativní vlhkosti. V této oblasti se voda do betonu dostává v kapalné formě např. pomocí hydraulického gradientu (tlaku vodního sloupce). V běžných atmosférických podmínkách k tomuto jevu při adsorpci nedochází. Nicméně touto fází beton prochází v raném stáří, kdy se tvoří pórová struktura betonu (stává se pevnou látkou) a beton se odpařováním zbavuje přebytečné vody (desorpce).

SOUVISEJÍCÍ PROBLÉMY BĚŽNÉ INŽENÝRSKÉ PRAXE

Tak jak je rozsáhlý vliv vody v betonu, tak je i široká oblast inženýrských problémů, které jsou jím alespoň nepřímo ovlivněny. Nejdůležitější, přímo ovlivněné oblasti praxe se týkají vodonepropustných betonových konstrukcí (bílých van) a roznášecích vrstev podlah.

Bílé vany slouží jako hydroizolační bariéry proti pronikání spodní vody nebo zemní vlhkosti do interiéru a jejich návrh musí přihlídnout k mechanismům transportu vody betonem. Při návrhu bílé vany je třeba se důkladně zabývat stanovením limitní šířky trhliny, návrhem výztuže na uvažovanou šířku trhliny, utěsnění dilatačních, řízených a pracovních prostupů, postupem výstavby a kvalitou betonu. Vznik trhlin v bílé vaně je nejvíce zapříčiněn chladnutím konstrukce po jejím ohřátí při vývinu hydratačního tepla, prudkým smršťováním v raném stáří nebo omezenou deformací. Více informací o navrhování výztuže bílých van v [6].

Roznášecí vrstvy podlah (potěry) na cementové bázi vyžadují patřičnou pozornost s ohledem na svou malou tloušťku cca 45 až 70 mm. Rychlost vysychání je klíčová – po uložení potěru by mělo být zabráněno prudkému odparu, aby se zamezilo vzniku smršťovacích trhlin. Nicméně po určité době (několik dní) už je naopak vhodné, aby potěr vysychal rychleji a jeho vlhkost klesla na přijatelnou míru s ohledem na pokládku navazujících vrstev, které by se mohly nadměrnou vlhkostí potěru poničit.

ZÁVĚR

V článku byla diskutována komplexní úloha vody v betonových konstrukcích. Z výčtu rolí, které voda v betonu hraje nebo může hrát, jasně vyplývá její důležitost v inženýrské praxi.

Zpracovatelnost čerstvého betonu, hydratace betonu, vývin mechanických vlastností, objemové změny betonu, mrazuvzdornost, požární odolnost, vodonepropustné konstrukce (bílé vany, nádrže) atd. – ve všech těchto oblastech je nutné zkoumat funkci vody v betonu a její vliv na chování betonových konstrukcí.

Článek vznikl za podpory Centra kompetence CESTI (Projekt TAČR č. TE01020168) a projektu GAČR č. 16-04454S „Nejistoty na materiálové úrovni ovlivňující nejistoty na úrovni konstrukce“.

Literatura:

- [1] ČSN EN 206. *Beton – Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda*. Praha: ČNI, 2014.
- [2] KONDO, R., DAIMON, M. Phase Composition of Hardened Cement Paste. *Proceedings of 5th International Congress on the Chemistry of Cement. Moscow, 1974*.
- [3] RILEM Technical Committee TC-242-MDC (chair: Bažant, Z. P.). RILEM Draft Recommendation: TC-242-MDC Multi-decade Creep and Shrinkage of Concrete: Material Model and Structural Analysis. Model B4 for Creep, Drying Shrinkage and Autogenous Shrinkage of Normal and High-strength Concretes with Multi-decade Applicability. *Materials and Structures*. 2015, Vol. 48, p. 753–770.
- [4] SCHINDLER, A. K., FOLLIARD, K. J. Heat of Hydration Models for Cementitious Materials. Technical Paper. *ACI Materials Journal*. 2005, Vol. 102, No. 1, p. 24–33.
- [5] VINKLER, M., VÍTEK, J. L. Vysychání a smršťování betonu. *Beton TKS*. 2016, roč. 16, č. 2, s. 40–45.
- [6] VINKLER, M., PROCHÁZKA, J. Návrh výztuže bílé vany s ohledem na šířku trhliny. *Beton TKS*. 2017, roč. 17, č. 5, s. 60–67.
- [7] VINKLER, M. *Experimentální a numerická analýza vysychání a smršťování betonu*. Praha, 2017. Disertační práce (v angličtině). ČVUT v Praze. Fakulta stavební.
- [8] BAŽANT, Z. P., JIRÁSEK, M. *Creep and Hygrothermal Effects in Concrete Structures*. Springer, 2018. Solid Mechanics and Its Applications book series. DOI: 10.1007/978-94-024-1138-6

Ing. Marek Vinkler, Ph.D.

Fakulta stavební ČVUT v Praze
Katedra betonových a zděných konstrukcí

e-mail: marek.vinkler.1@fsv.cvut.cz



Text článku byl posouzen odborným lektorem.
The text was reviewed.

PROFESIONÁLNÍ ŘEŠENÍ
výzkum ■ vývoj ■ výroba ■ obchod ■ poradenství
pro sanace betonových konstrukcí

Redrock Construction s.r.o.
Újezd 40/450, Michnov palác
Praha 1, Malá Strana
Telefon: +420 283 893 533
Fax: +420 284 816 112
E-mail: info@redrock-cz.com
www.redrock-cz.com

REDROCK
CONSTRUCTION