

pozemní stavby

VÝROBNĚ TECHNICKÝ ČASOPIS PRO PRACOVNÍKY
BYTOVÝCH, OBČANSKÝCH,
PRŮMYSLOVÝCH A ZEMĚDĚLSKÝCH STAVEB

*Archi
Převr*

11

1980



SNTL



Z našich staveb



Městu Havířov je 25 let



4. prosince 1955 byl Havířov vyhlášen městem. Okolo hlavních tepen města se soustředily stavby bytové i občanské vybavenosti a vytvořily kompozičně, funkčně i esteticky zdařilý celek.

- 1 Havířov – třída Antonína Zápotockého
- 2 Jižní část Havířova
- 3 Interiér stanice ČSD v Havířově
- 4 Nejvyšší obytný dům v Havířově

(k článku Arnošta Wahly uvnitř čísla)

Foto na obálce Arnošt Wahla, Ivan Wahla, Petr Síkula



Vlhkostní poměry v kompozitních systémech

Ing. Richard A. BAREŠ, CSc.
Ústav teoretické a aplikované mechaniky ČSAV
Praha

Při aplikaci nových hmot a nových konstrukčních sestav nabývají na významu některé okolnosti, jejichž vliv se v tradičních technologiích více či méně vědomě zanedbává. Jedním z nich je vliv vlhkosti v kompozitních vrstevnatých systémech. Jsou to např. podlahové nebo panelové soustavy, v nichž některou (většinou povrchovou) vrstvou tvoří materiál na bázi plastických hmot s výrazně odlišnou odezvou na působení vlhkosti v poměru k ostatním v soustavě přítomným „tradičním“ materiálům, nebo střešní soustavy s vloženými vrstvami z plastických hmot.

Zanedbání fyzikálních jevů, které nezbytně v takových soustavách probíhají, vede často ke zdánlivě nevysvětlitelným poruchám kompozitu, i když každá z částí samostatně byla před aplikací dokonale prověřena. Je proto vhodné některé třeba již zapomenuté nebo opomíjené skutečnosti soustavně uvedené např. v [2] zopakovat a posoudit jejich vliv na chování kompozitních systémů jako celku v běžných provozních podmínkách.

Většina „tradičních“ stavebních materiálů jsou porézní systémy s otevřenou pórovitostí, tedy s póry určitým způsobem komunikovanými s vnějším prostředím. Typickým představitelem (a nejčastěji používaným) je cementový beton nebo malta. Pozornost bude proto soustředěna především na ně; obdobný mechanismus však platí i pro všechny podobné (ve strukturním smyslu) materiály, jako je keramika, sádra, kámen, dřevo, betony, nebo malty s lehčeným plnivem atd.

Druhy vlhkosti

Ve většině uvažovaných materiálů je voda (vlhkost) přítomna v několika formách. Bez zřetele k okolnímu prostředí obsahuje každý materiál vodu trvale přítomnou, chemicky vázanou, kterou z něho nelze vypudit bez jeho zničení (rozpadu). Tato voda nemá žádný vliv na vlhkostní poměry v celém systému a neovlivňuje okolní materiály. Není třeba se jí proto při sledování vlhkostních poměrů v kompozitu zabývat.

Jestliže je materiál zcela vysušen (až na chemicky vázanou vodu), ale vzduch zaplňující jeho póry obsahuje vodní páry, dojde k sorpci vlhkosti na povrchu tuhých částí materiálu. Vzduch zaplňující póry se přemísťuje, vodní páry difundují z místa s větší koncentrací vlhkosti (větší tenzí par) do míst s menším obsahem vlhkosti (menší tenzí par), a to tak dlouho, až nastane rovnovážný stav¹⁾. Proto nejsou stavební materiály nikdy v absolutně suchém stavu, vždy mají jistou stálou vlhkost závislou na velikosti vlásečnic (pórů), na povrchových fyzikálních i chemických charakteristikách hmoty, na jejich struktuře a na relativní vlhkosti okolního prostředí a teplotě, nazývané rovnovážnou vlhkostí.

Sorpce vlhkosti z okolního prostředí způsobují tyto vlivy:

1. Sorpce vlivem skutečné vlhkosti na povrchu sorbentu (vytvoření monomolekulárních vrstev vody na povrchu tuhých částic) – adsorpce,

2. difúze vodní páry do hmoty sorbentu se vznikem roztoku, tedy objemové pohlcení – absorpce,

3. chemické spolupůsobení pohlcené vody s látkou sorbentu – chemická sorpce,

4. sorpce vodních par v důsledku jejich kondenzace v úzkých pórech (vlásečnicích) materiálu – kapilární kondenzace.

U stavebních materiálů se jen zřídka vyskytne některý případ samotný. Různé druhy sorpčních jevů působí současně, ale hlavní význam má adsorpce a kapilární kondenzace.

K rovnovážné vlhkosti, která se pro určitý materiál mění podle tenze par prostředí v jistých mezích, přistupuje dále vlhkost fluktuující (volná). Jde především o vodu pórovou,

tj. vodu částečně nebo zcela zaplňující póry (větších než kapilárních rozměrů) materiálu, jež vnikla do materiálu pod přetlakem, nebo vodu kapilární, zaplňující malé póry (vlásečnice) kapilárními silami (obojí v tekutém stavu).²⁾

Zvlhčení materiálu závisí tak na řadě fyzikálních faktorů, především na schopnosti přenosu vlhkosti póry materiálu (ve stavu páry i kapaliny), na způsobu vazby vlhkosti s materiálem a na stupni nasycenosti pórů vlhkostí.

Při transportu vodních par z okolí se materiál zvlhčuje od rovnovážné vlhkosti do okamžiku kondenzace vlhkosti v jeho pórech. Charakteristikou materiálu se zřetelem na zvlhčování párou je tzv. součinitel difúze vodních par (paropropustnosti) δ v s, jež udává množství vodní páry v g, pronikající během jedné hodiny na ploše 1 m² materiálem o tloušťce 1 m, při odlišné tenzi vodních par z jedné a druhé strany o 1 mm Hg³⁾. Převrácená hodnota součinitele difúze se označuje jako difúzní odpor.⁴⁾

Vlhkost ve stavu vodní páry – vlivem schopnosti vypařovat se a kondenzovat – má významnou úlohu v přerodělování vody v materiálu. Pohyb vodní páry, která se přemísťuje v materiálu současně se vzduchem nebo difúzí z míst s větší tenzí vodních par do míst s menší tenzí, lze určit výpočtem jen přibližně. Rychlost pohybu vlhkosti ve stavu par je

¹⁾ Přesný popis fyzikálních a fyzikálněchemických jevů při transportu vlhkosti porézním prostředím je ovšem značně složitější a závisí na řadě dalších veličin. Takový popis se ale vymyká rozsahu a účelu tohoto pojednání.

²⁾ Mikroskopické kanálky vznikají v cementovém tmelu vždy, poněvadž objem zplodin hydratace je menší než čistě objemy cementu a hydratační vody, nehledě k tomu, že prakticky musí být vody víc, než je k hydrataci třeba. Tmel a tedy beton (malta) je proto vždy pórovitý [2].

³⁾ Ve starých jednotkách byl rozměr tohoto součinitele gm/m²h torr. Jeho numerický převod do nové soustavy je vyjádřen vztahem
 $1 \text{ gm}^{-1}\text{h}^{-1}\text{torr}^{-1} = 2,0835 \cdot 10^{-9} \text{ s}$.

Poznamenejme ještě k usnadnění přepočtu, že
 $1 \text{ mm H}_2\text{O} = 1 \text{ kp/m}^2 = 9,80665 \text{ Pa} = 0,07356 \text{ torr}$
 $1 \text{ torr} = \text{mm Hg} = 13,595 \text{ mm H}_2\text{O} =$
 $= 13,595 \text{ kp/m}^2 = 133,322 \text{ Pa}$
 $1 \text{ gh}^{-1} = 2,78 \cdot 10^{-7} \text{ kg s}^{-1}$

⁴⁾ V literatuře i normách [1, 3, 7, 8, 11, 21, 25, 27, 28] nalezneme se řada různých součinitelů a termínů, které mají charakterizovat paropropustnost materiálů jako např. propustnost vodní páry, difúze vodních par, součinitel prostupu vodních par, paropropustnost, prostup vodních par, odolnost vůči vodní páře gm/m²h torr, g/m² 24 h, g/m²den, difúzní součinitel gcm/m²h torr, součinitel vodivosti vodních par kg/m 24 h (mm Hg)³, difúzní odpor, odpor při prostupu vodní páry, nepropustnost vůči páře m²h torr/g, gcm/m²h

torr, m, mmHg/h, součinitel difúzního odporu kp/kg, bez rozměrů, difúzní hodnota m²/h, difúzní koeficient g/cm h, difúzní konstanta cm²/s cm Hg, rychlost prostupu vodních par g/h m² a další.

Některé autoři udávali parciální přetlak v mm Hg (torr), jiní v mm H₂O, navíc změna jednotek dále zkomplikovala nepřehlednost a zmatek v popisu paropropustnosti. Dokonce ČSN 72 7030 (1974) i návrh nové ČSN 73 0540 [9] zavádějí vedle synonymních vyjádření pro každou veličinu další termíny, což přehlednosti a jednoznačnosti patrně nepřidá (např. „gradient“ a „spád“ částečného tlaku vodní páry Pa m⁻¹, torr m⁻¹, lišící se pouze známenkem, difúzní tok vodní páry kg s⁻¹, g h⁻¹, hustota difúzního toku vodní páry kg m⁻²h⁻¹, g m⁻²h⁻¹, měrná difúzní vodivost či součinitel difúze vodní páry s, plošná difúzní vodivost či propustnost vodní páry konstrukce sm⁻², plošný difúzní odpor vedení difúzní odpor konstrukce cm s⁻¹, součinitel prostupu vodní páry konstrukce či plošná difúzní průchodnost s m⁻¹ atd. I vyjádření rovnovážných hodnot se zde zdá těžkopádné: vedle poměrné hmotnosti rovnovážné sorpční vlhkosti či rovnovážné sorpční hmotnosti vlhkosti je vypočtová poměrná hmotnost ustálené vlhkosti v konstrukci či praktická hmotnostní vlhkost.

Pro praktické a normativní účely by bylo vhodnější i za cenu jisté vyjadřovací nepřesnosti zvolit stručné a výstižné veličiny, a to v minimálním počtu. Jinak nejenže nejsou různé numerické hodnoty přímo porovnatelné, ale komplikovanost vztahů vede často i k hrubým chybám, nehledě k tomu, že mnohdy uniká fyzikální smysl uvedených veličin.

Tab. I. Rovnovážné vlhkosti betonu podle vlhkosti prostředí [12]

RV prostředí, %	30	40	50	60	70	80	90	100
Rovnovážná vlhkost betonu								
% obj.	1,22	1,47	1,76	2,06	2,42	2,92	3,60	4,69
% hmoc.	0,55	0,67	0,80	0,94	1,10	1,33	1,64	2,13

Tab. II. Rovnovážná vlhkost betonu podle vlhkosti prostředí [24]

RV prostředí, %	20	40	60	80	90 %
Rovnovážná vlhkost betonu % hm.	0,7	0,9	1,25	1,7	2,0 %

přítom určena gradientem tenze vodních par (závisícím na relativní vlhkosti a teplotě prostředí), velikostí a charakterem pórovitosti materiálu a součinitelem paropropustnosti.

Další nasycování vlhkosti od okamžiku kondenzace par se děje převážně vodou kapalnou. V tom případě charakteristikou materiálu (kromě součinitele difúze vodních par v pórech materiálu) je pro kapalnou vlhkost součinitel difúze vody (obvykle v m² za 24 hodin), určující pohyb vlhkosti v kapalném stavu v pórech materiálu.

Průřezy kanálků v betonu, vzniklé spojením jeho pórů nebo štěrbin (pod zrny plniva) a trhlinek, jsou velmi proměnlivé – od velikosti částic cementu do tlouštěk milimetrových. V kanálcích většího průřezu voda pod tlakem proudí, do kanálků kapilárních nevniká pod tlakem, ale vtahuje se do nich kapilárními silami. V nejmenších pórech, kde zakřivení vodní hladiny má největší křivost, se zvyšuje tlak a pohyb vody v materiálu se urychluje. Ve velkých pórech se pohyb vody zpomaluje [2].

Základním faktorem řídícím transport vody (v plynné i kapalně fázi) je vedle různého stupně vlhkosti též směr a velikost tepelného spádu.

Nasycení vodou, někdy též „absorpce“ vodou, má význam jako charakteristika vlhkosti materiálu v čase; materiály s menším nasycením poskytují lepší fyzikální vlastnosti, než materiál vodou plně nasycený.

Ve smyslu uskutečňovaného rozboru je jen doplňující charakteristikou vodopropustnost materiálu, jež bývá naproti tomu rozhodující při posuzování vodních, vodu vedoucích a vodu zadržujících staveb.

Při hodnocení vlhkovních poměrů v kompozitních systémech je ne-

postradatelnou charakteristikou vysušitelnost materiálu. Závisí v podstatě na stejných faktorech jako pohltivost vlhkosti, řídí se však jinými zákony. Vysoušení (které v praxi probíhá vždy střídavě s nasáváním) je jev složitý, neboť pohyb vody určují nejen kapilární síly (které odchod vlhkosti zadržují), ale také tlak par a plynů v kapilárách, nebo difúze s adsorpcí vody a vzduchu. Jeho teoretické stanovení je proto nemožné, ne-li zcela nemožné [2].

Rovnovážná vlhkost

Rovnovážná (ustálená, sorpční) vlhkost je charakterizována jako stav, při kterém dojde v materiálu k úplné rovnováze (nasycování vodou i vypařování) s vlhkostí okolního prostředí při určité teplotě. U stavebních materiálů k ní dochází za desítky let i staletí. Proto se pro praxi používá technická rovnovážná vlhkost (TRV), jež je obvykle o 1/2 % (obj.) větší než vlhkost ustálená.

Technická rovnovážná vlhkost materiálů, i když se ustálí po delší době, je různá podle toho, jak materiály poutají vodu ze vzduchu, jak zadržují srážky, nebo jak do nich voda vzlíná z podkladu, nebo jak se kondenzuje na povrchu, nebo uvnitř podle změny teploty prostředí [2].

Zda se voda poutá nebo vypařuje, záleží i na velikosti kapilárního poloměru (tloušťce) vlásečnice; ke každé teplotě a nasycení vzduchu (tenzi par) e_i přísluší určitý kapilární poloměr r_i , při němž nastane nakonec rovnovážný stav.

Podle [15] např. platí sestava:

$$r_i - 10\mu \quad 1\mu \quad 100\mu \quad 10m\mu \quad 1 \mu$$

$$e_i - 1,0 \quad 0,999 \quad 0,990 \quad 0,899 \quad 0,348$$

Při nasycenosti e_i nastane pro všechny poloměry $r < r_i$ pohlcování vody ze vzduchu, a to převážně adsorpcí a kapilární kondenzací, pro větší poloměry nastane naopak vypařování vody.⁵⁾

⁵⁾ Poznamenejme, že vzduch parami nasycený ($e = 100\%$) má při teplotě 10 °C 9 g/m³ vody, při 30 °C již 30 g/m³ a při 0 °C jen 5 g/m³ [2].

Tab. III. Rovnovážná vlhkost různých betonů podle vlhkosti prostředí [13]

Relativní vlhkost prostředí, %	60	70	80	90
Rovnovážná vlhkost v % suché hmotnosti				
pro tučnost 150 kg c/m ³	0,2	0,5	2,5	4,5
pro tučnost 300 kg c/m ³	0,4	1,0	5,0	9,0

Hodnoty rovnovážné vlhkosti sledovala sice řada autorů, vlivem velkého množství ovlivňujících okolností se však dosti (zejména při vyšších relativních vlhkostech prostředí) liší. Podle rozsáhlých zkoušek sestavil Frančuk [12] nomogram, pomocí něhož lze určit rovnovážnou vlhkost (v % objemu) některých materiálů podle jejich objemové hmotnosti a teploty a relativní vlhkosti prostředí (obr. 1). Postup určení rovnovážné vlhkosti je naznačen přímo v nomogramu.

Např. pro hmotnost betonu 2200 kg/m³ a teplotu 20 °C z něj plynou hodnoty rovnovážné vlhkosti v závislosti na relativní vlhkosti prostředí podle tab. I.

Podle [15] a [30] je pro beton rovnovážná vlhkost (v % objemu) 4,2 %, technická rovnovážná vlhkost 6,5 %.

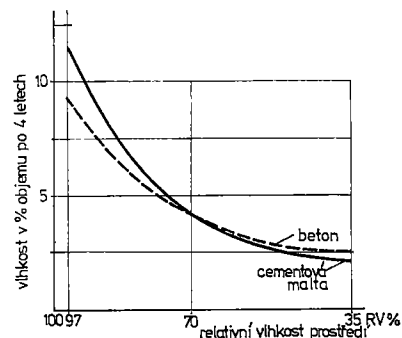
Podle [24] platí pro rovnovážnou vlhkost betonu při 20 °C sestava v tab. II.

Podle téhož zdroje je při 5 °C a relativní vlhkosti prostředí 85 % rovnovážná vlhkost 1,5 % hmotnosti.

Podle [13] je ustálená vlhkost (při hmotnosti betonu 2300 kg/m³) závislá kromě relativní vlhkosti prostředí i na tučnosti mísení, jak je uvedeno v tab. III.

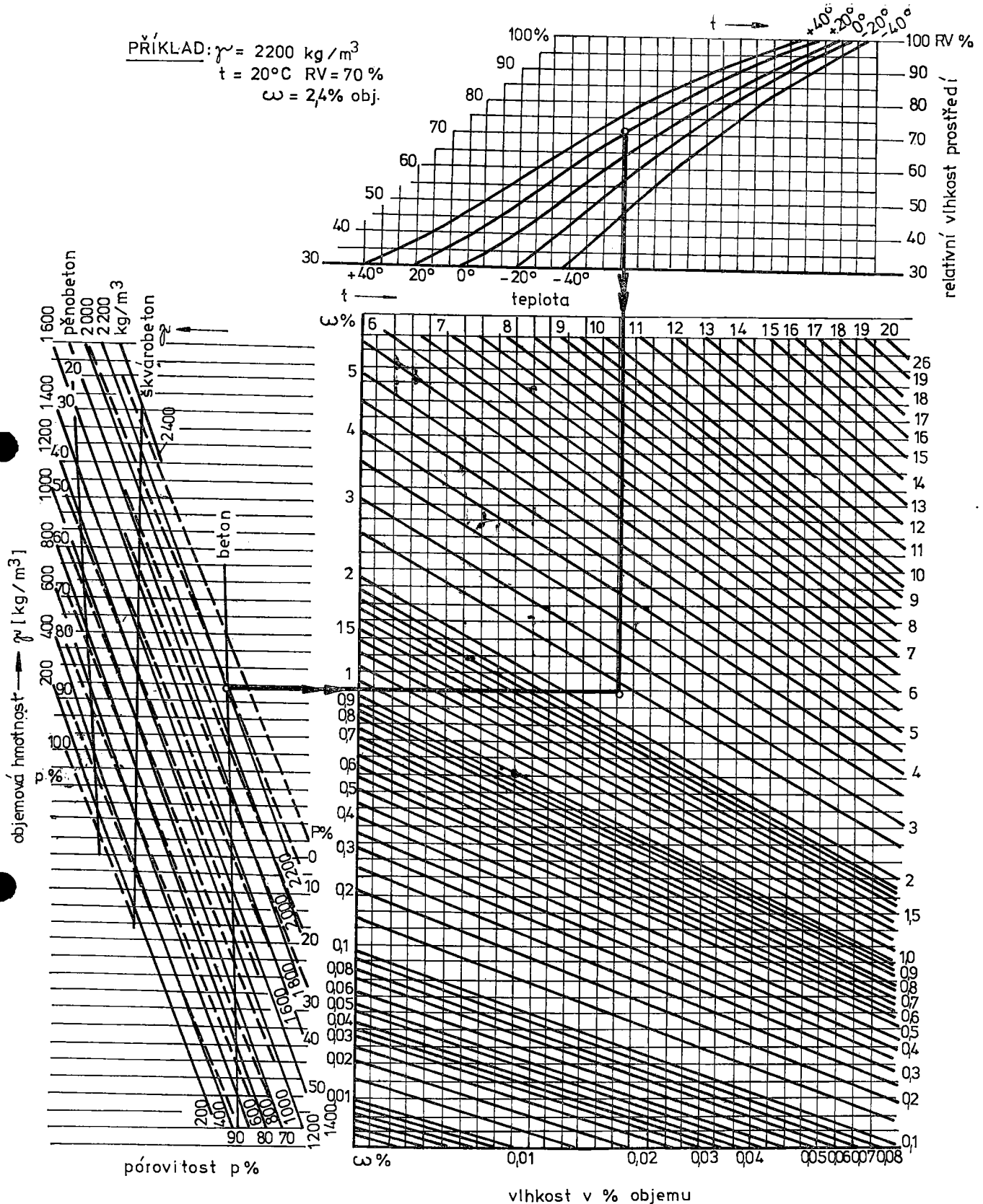
Akademik Bechyně jako jediný správně udal hodnoty vyrovnané vlhkosti s údajem období, ve kterém byly zjištěny. Po čtyřech letech jsou podle [15] hodnoty rovnovážné vlhkosti v % objemu betonu a cementové malty v závislosti na relativní vlhkosti prostředí dány na obr. 2.

Pro škvárobeton jsou podle [12] rovnovážné vlhkosti znázorněny na obr. 3.



Obr. 2

PŘÍKLAD: $\gamma = 2200 \text{ kg/m}^3$
 $t = 20^\circ\text{C}$ $RV = 70\%$
 $\omega = 2,4\%$ obj.

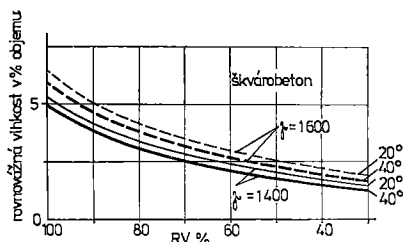


Tyto a podobné experimentálně zjištěné hodnoty rovnovážných vlhkostí jsou podkladem pro různé normativní ustanovení a jiná doporučení o maximální přípustné vlhkosti materiálů, jako určitých částí kompozitních soustav. Např. ČSN

74 4505 [10] uvádí maximální vlhkosti vyrovnávací vrstvy (podložky, tj. vrstvy, sloužící k vyrovnání tloušťky celé podlahy nebo k ochraně izolačních vrstev) podle druhu podlahoviny (a jejího možného ovlivnění vlhkostí) v rozmezí 14 až 5 % obj.

Podobné předpisy platí i u některých střešních soustav apod.

Porovnáním rovnovážných vlhkostí betonu s $\gamma = 2300 \text{ kg/m}^3$ (v % suché hmotnosti) podle různých autorů včetně našeho doporučení při 20°C získáme sestavu podle tab. IV.



Obr. 3

Tab. IV. Porovnání údajů o rovnovážné vlhkosti betonu

Autor	40	60	80 %
[12]	0,78	1,04	1,47
[24]	0,90	1,25	1,70
[13] 150 kg c/m ³	—	0,20	2,50
[13] 300 kg c/m ³	—	0,40	5,00
[15] Beton 250 (po 4 letech)	1,09	1,43	2,43
[15] Beton 250	0,43	1,13	2,09
Vlastní doporučení	1,0	1,3	2,6

Vlhkost kapilární

Voda vniká do betonu nejen pod tlakem, ale i nasáváním, tj. kapilárními silami působícími ve vlasečnicích, vzniklých spojením jemných pórů v tmelu,⁹⁾ prasklinami v maltě i zrnech plniva od vnitřních napětí v tahu (při smršťování nebo změnách teploty či vlhkosti) a dále v pórech přítomných při nedostatečném zhuštění, jež jsou sice větších, ale ještě kapilárních rozměrů. Vlasečnice aktivně přivádějí (vtahují) vodu do míst, kam by jinak, pod tlakem, přijít nemohla⁷⁾. Porézní materiál předává vodu hutnějšímu materiálu, neboť tenké kapiláry vsávají vodu z tlustších kapilár [2].

Nasává-li se voda a vzduch nemůže volně unikát, je vodou tlačován. Velikost tlaku vykonávaného na vzduch roste s ubývajícím průměrem vlasečnice (kruhového průřezu) podle tab. V. V této tabulce jsou uvedeny i ostatní veličiny popisující nasákavost, tj. hloubka pohlcování nebo výška vztlínání h a počáteční rychlost pohybu vody ve vlasečnici v . Zároveň je uvedena doba t , kterou voda potřebuje, aby dosáhla hloubky (výšky) 1 cm; vše je při možnosti volného odchodu vzduchu.⁸⁾

Tab. V. Tlak na vzduch v kapilárách a ostatní veličiny popisující nasákavost betonu při 20 °C [15]

r (mm)	1	0,1	0,01	0,001	0,0001	0,000 01
p (MPa)	<0,1	≈0,1	0,113	0,233	1,56	14,7
h (cm)	1,49	14,9	149	1490	14 900	149 000
v (cm/s)	—	17,2	1,72	0,172	0,0172	0,00172
t (s)	0,003	0,03	0,3	3	30	300

Objem kapaliny Q , která se kapilárami vtačuje, závisí na čtvrté mocnině průměru r (m), ale jen lineárně na čase t (h) a tlaku p (kg/cm²) podle vzorce Poiseillova [19]

$$Q = \frac{\pi r^4 p t}{8 \eta L} \text{ [m}^3\text{]},$$

kde η je součinitel dynamické viskozity v kph/m², pro vodu $\eta \approx 10^{-2}$ poise při teplotě 20 °C⁹⁾, tj. asi 10^{-4} kph/m², L = délka vlasečnice v m.

V betonu vznikají složité stavy, poněvadž jsou spojeny kapiláry různých a proměnných průřezů; větším tlakem vzduchu v malých kapilárách se vypuzuje vzduch i voda z kapilár širokých¹⁰⁾. Vypuzování vzduchu a kapilární vnikání vody trvá při obvyklých poměrech dlouho, na tlaku vody přítom záleží jen málo (a to jen při přetlaku větším, než jsou tlaky podle tab. V). Kapilárními silami se naopak zadržuje voda v betonu a podle teploty a vlhkosti prostředí jen část nasáté vody se ztrácí [2].

Nasávání a vysoušení

Tak jak je pro tvrdnutí betonu rychlé nasávání vody betonem a velmi pomalé vysoušení šťastná shoda, zmírňující účinky rychlého smršťování a vysychání [2], může být v jiných případech (např. v uzavřených kompozitních systémech) značnou nevýhodou.

Rychlost nasávání betonu po smočení je podstatně větší, než vysoušení, zejména z počátku (až 100krát). Např. voda nasátá za 1 až 2 hodiny nemůže být odvedena vysoušením (za běžných podmínek) dřívě, než za 1 až 2 měsíce [2]. Podle Bechyněho [2] se např. voda dodaná při výrobě vypaří z betonu za dobu podstatně delší než rok.

Rychlost nasávání i vysoušení se s časem velmi zpomaluje. Na malých zkušebních tělesech bylo prokázáno [26], že v prvních 20 minutách smočení se může nasát polovina všeho množství, které může být vůbec přijato, za 2,5 až 12 hodin je nasávání z největší části ukončeno. Po přeru-

šení smáčení nastává ihned vysoušení, zpočátku rychlé, po 6 hodinách zpomalené; za 18 dní se ztratí asi 75 % vlhkosti získané smočením a počáteční vlhkost se neobnoví dřívě, než za 2 měsíce. Výsledek těchto zkoušek nelze aplikovat na části staveb obecně; mohou se týkat jen jejich povrchu ve vrstvě nevětší než 2 cm. V hloubkách nad 7 cm jsou již změny v uvedených časových relacích minimální¹¹⁾ [2].

Poučné jsou zkoušky Grafovy [14] o množství vody nasáklé a vysušené za 20 dní u různých cementových malt, jak uvádí tab. VII.

Je vidět velký vliv zrnitosti písku, zastíňující vliv tučnosti míšení. Podobná situace je i u betonů. Podle téhož autora je změna pohltivosti vody u dvou různých betonů podle míšení směsi v tab. VIII v % objemu¹²⁾.

Betony hrubší (s většími zrny) nasávají jen asi polovinu množství vody, než betony jemnější, přičemž u obou se s tučností nasákavost zmenšuje. Protože nasávání závisí především na množství vlasečnic, je vysvětlení příčin rozdílů snadné.

⁹⁾ Cementový tmel je složen z jehlicovitých krystalků, mezi nimiž je labyrint kapilárních prostorů s šířkami 0,2 μ a menšími (např. osminásobek velikosti molekul vody), a je tedy sám nasáklivý, i je-li hutný [2].

⁷⁾ Podle toho, jak se beton s vodou stýká, nastává buď pohlcování, tj. nasávání vody betonem ponořeným pod vodu, nebo vztlínání do betonu vystupujícího nad vodu [2]. Hloubka pohlcování a výška vztlínání je u stejného betonu stejná, neboť až na zanedbatelný účinek gravitace se řídí stejnými zákonitostmi.

⁸⁾ Rychlost nasávání se postupně zmenšuje odpory na stěnách a stlačovaného vzduchu; vliv mají též adsorpční síly, difúze par a zvětšování objemu tmele s vlhkostí. Se zřením na proměnu poloměru a složité spojení kapilár různé velikosti v betonu není možno výšku h vypočítat a skutečně zjištěné hodnoty jsou jen malým zlomkem teoretických hodnot pro kapilár kruhového průřezu. Pomůckou mohou být někdy hodnoty ustálené výšky (hloubky) zjištěné v písku podle tab. VI.

⁹⁾ 1 poise = $\frac{\text{dyn}}{\text{cm}^2 \text{ s}} = \text{g cm}^{-1} \text{ s}^{-1}$; v technické soustavě se užívá jednotka $\text{kpm}^{-2} \text{ s} = 98,1$ poise.

¹⁰⁾ Uzavřený vzduch zdržuje vnikání kapaliny do betonu. Proto se také při záměrném nasávání (penetraci) betonu napřed vzduch odsává.

¹¹⁾ Provlnění horních vláken betonové vrstvy je prováděno prodlováním 65.10⁻³ mm/mm (0,065 %), což odpovídá protažení napětím 1,8 MPa. Protože jádro se neprotahuje, vznikají na povrchu tlaky, v jádře tahy. Dojde ke zkřivení (konkávinnímu vydatí), které může významně ovlivnit stav napětí celého kompozitního systému, je-li taková vrstva jeho součástí [2].

¹²⁾ Vzorky 46 × 10 × 10 cm po normálním uložení vysychaly 3,5 měsíce do stálosti hmotnosti a pak byly uloženy do vody na 7 dní.

Tab. VI. Ustálené výšky a doby vztlínání na množství zrn písku [2]

	Písek						Hlína
Velikost zrn (mm)	2,1	0,5	0,16	0,072	0,025	0,016	—
h (mm)	114	241	280	400	800	2670 až 3100	300 m
t_h (dní)	80	100	138	191	244	300 až 475	11 let

Je jich hned několik: jemný písek má mnoho bublinek vzduchu nevypuditelného obyčejnými prostředky zpracování; vzhledem k velkému povrchu vyžaduje mnoho tmele i vody, a také se nedostatečně zhutňuje (skládá) vlivem malých rozdílů velikosti zrn cementu a písku. K nakypření přispívá i voda obalů adsorbovaných na částicích. Vznikají tedy ve větším rozsahu póry i mimo hmotu tmele [2].

U betonů dobře zrněných nejsou velké rozdíly nasákavosti podle tučnosti míšení ani podle druhu cementu. Pro 400 kg c/m³ směsi je podle [31] nasákavost 4,1 až 5,2 % hmot. (9,5 až 11,8 % obj.), pro 250 kg c/m³ směsi je 5,0 až 5,6 % hmot. (11,4 až 12,7 % obj.).

Podle [2] mají obyčejné betony nasákavost 3 až 10 % hmotn. (7,5 až 23 % obj.), lehké izolační betony mají nasákavost 18 až 30 %, zřídka 40 % obj. Více nasákové jsou betony s větším vodním součinitelem, málo zhutněné, betony tekuté mají nasákavost až 30 % hmotn.

Beton poutá také vodu z vlhkého vzduchu nebo naopak ji ztrácí vypařováním. Rychlost pohlcování vody ze vzduchu malty 1:6 a betonu 250 při různé vlhkosti okolního prostředí a teplotě 20 °C je podle [15] ukázána na obr. 4.

Vysoušení nasyceného betonu v různém okolním prostředí má podobný charakter, jak ukazuje obr. 5, pro stejné směsi jako předešle [15].

Doba, za kterou se dosáhne vysou-

Tab. VII. Množství nasáklé, vysušené a zadržené vody u cementových malt [14]

Míšení	Jemnost písku	v/c	Voda nasáklá za 28 dní(***)		Voda vysušená za 28 dní		Voda zadržaná po 28 dnech vysoušení	
			% hm.	% obj.	% hm.	% obj.	% hm.	% obj.
1 : 3	velká*)	0,71	6,7	13,6	2,0	4,1	4,7	9,5
	malá**)	0,61	3,8	8,4	1,2	2,7	2,6	5,7
	střední	0,63	4,1	9,0	1,4	3,0	2,7	6,0
1 : 4	velká*)	0,73	8,8	17,4	2,3	4,5	6,5	12,9
	malá**)	0,71	4,6	9,9	1,3	2,7	3,3	7,2
	střední	0,82	5,7	12,2	1,5	3,4	4,2	8,8
1 : 5	velká*)	1,18	11,2	21,4	2,7	5,2	8,5	16,2
	malá**)	0,71	4,6	9,9	1,3	2,7	3,3	7,2
	střední	0,82	5,7	12,2	1,5	3,4	4,2	8,8
1 : 6	malá**)	0,89	5,6	12,1	1,6	3,5	4,0	8,6
	střední	1,08	7,1	14,8	1,7	3,7	5,4	11,2
	velká*)	1,45	11,6	21,5	2,2	4,2	9,4	17,3
1 : 7	malá**)	1,05	6,3	13,3	1,7	3,5	4,6	9,8
	střední	1,17	7,8	15,9	1,9	3,8	5,9	12,1

*) převažuje podíl 0,2 až 0,5 mm, **) 0,2 až 7 mm, ***) do vysušeného materiálu

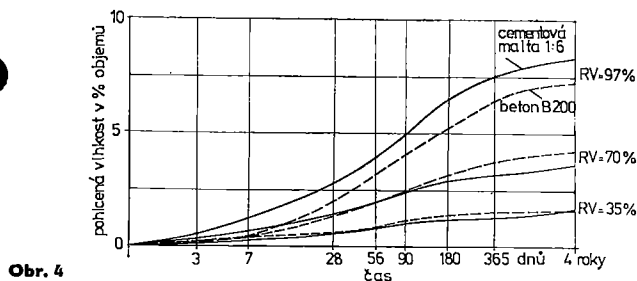
šením vlhkosti ustálené a vlhkosti o 1/2 % obj. větší, než je vlhkost ustálená pro stejné směsi jako předešle v závislosti na relativní vlhkosti okolního prostředí, ukazuje obr. 6 [15]. Ukazuje se podle těchto údajů, že beton a malta vysychají při menší relativní vlhkosti vzduchu $\varepsilon = 0,35$ pomaleji, než při vlhkosti $\varepsilon = 0,70$, ačkoliv lze očekávat opak [2].

Postup vysychání v různých vrstvách je značně odlišný. Největší proměny vlhkosti vykazují části na povrchu; povrchové části ztrácejí vysycháním až 90 % vody, s hloubkou se vysoušení rychle snižuje. Doba potřebná k vysoušení roste (např. u desek) se čtvercem tloušťky

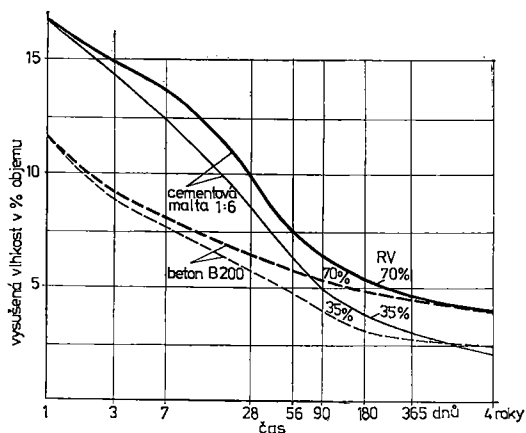
tělesa: je-li deska tloušťky d_1 vysušena za dobu t_1 dní, je k vysoušení desky tloušťky d_2 potřeba doby [2]

$$t_2 = t_1 \frac{d_2^2}{d_1^2}$$

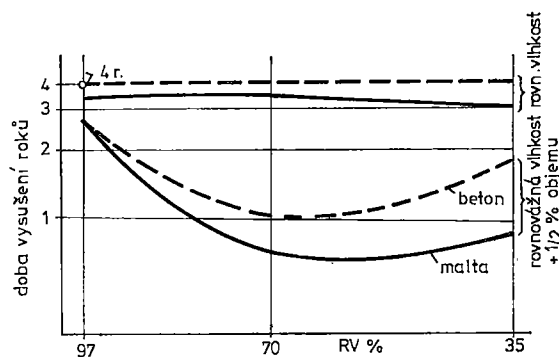
Poměr množství vody pohlcené suchým betonem a vypařené z nasyceného betonu za stejnou dobu je závislý na vnitřním povrchu betonu, tj. na tučnosti míšení (málo), vodním součiniteli a především na zrnitosti písku: je přibližně 3,5 až 5,0. Čím je písek jemnější, čím je vodní součinitel větší a čím méně tučná je směs, tím pomaleji se voda z betonu odpařuje, a tím více vody beton nasává (viz také tab. VII).



Obr. 4



Obr. 5



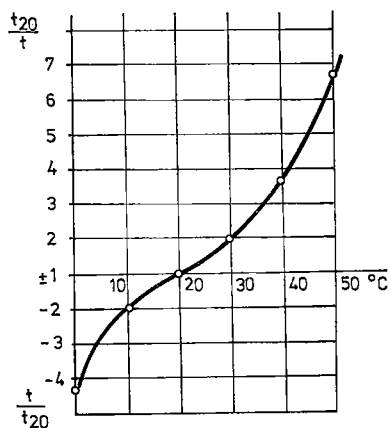
Obr. 6

Tab. VIII. Změna pohltivosti vody různých betonů v % obj. [14]

Beton	Míšení (kg c/m ³ směsi)					
	180	200	250	300	350	400
běžný*)	5,78	5,40	4,78	4,30	3,60	—
jemný**)	12,20	11,71	10,10	8,91	7,78	6,48

*) s obvyklou křivkou zrnitosti šterkopísku 0,2 až 30 mm

***) s převahou písku (80 % zrn 0,2 až 7 mm)



Obr. 7

Zvýšená teplota urychlí vysoušení betonu, snížená teplota je zpomalí, jak dokumentuje např. obr. 7 [15], kde je vyznačeno zrychlení (zpomalení) doby potřebné k ustálení vlhkosti podle velikosti teploty při relativní vlhkosti prostředí 90 % vzhledem k době potřebné k ustálení vlhkosti při teplotě 20 °C.

Rychlost vysušování závisí vedle rozměrů těles též na ploše volného povrchu umožňujícího vysoušení a na ploše dotyku s vlhkým prostředím. Pro každé místo konstrukce probíhá obvykle vysoušení jinak.

Pozorované technické vlhkosti mají jisté odchylky a průměr, který se řídí přibližně čarou pravděpodobných chyb. Podle pozorování Vérona [30] má beton čáru plochou, tedy velkou proměnlivost.

Propustnost betonu se účinně snižuje po vytvoření povrchové vrstvičky utěsněné karbonací hydrátů (po několika měsících vysychání) často je ucpávání podporováno i růstem řas a bakterií, které v příznivém vlhkém prostředí bujejí a vytvářejí nepropustnou vrstvu. Obojí může zpomalit nebo úplně zabránit vysychání betonu; nápravy se dosáhne jen odstraněním vrstvičky obroušením (i ocelovými kartáči) [2].

Rovněž betony s živiným nebo syntetickým povlakem nebo penetrací (Impregnací) vysychají mnohokrát pomaleji, není-li vysoušení vůbec zastaveno. Svědčí o tom např. zkoušky [20, 24], kterými se podporovalo počáteční tvrdnutí desek živiným povlakem: vysoušení se zmenšilo na povrchu na 20 %, uprostřed na 10 %, na spodku na nulu. Podobný těsnící účinek mají některé přísady používané pro zlepšení zpracovatelnosti nebo zrychlení tuhnutí a tvrdnutí. To má velký význam pro časovou návaznost jednotlivých technologií při tvorbě kompozitních systémů.

Pro tvorbu a bezporuchovou funkci těchto systémů je nezbytné dbát uvedených pozorování o kapilární nasákavosti a vysoušení, jejich vzájemném vztahu (rychlosti) a činitelích, jež je řídí (jemnost plniva, tučnost mísení, styk dvou různých betonů atd.).

Pronikání vody pod tlakem

Protlačování vody betonem je možné jen v průlinkách poměrně širokých, kdežto v úzkých (jako vlásečnice) jsou odpory na stěnách tak značné, že protékání je téměř vyloučeno. Proto mohou i pórovité betony (s vlásečnicemi) být vodotěsné pro vodu pod tlakem, i když je to zdánlivě nepravděpodobné. Také tmel jako soustava krystalových jehliček s labyrintem mikroskopických pórů je vodotěsný pro vodu pod tlakem (ale zato nasáklivý) [2].

Vodotěsnost (stejně jako nasákavost) je složitě proměnlivá s velkým počtem činitelů a lze se opírat jen o výsledky zkoušek. Veškeré výpočty se dějí vždy za určitých předpokladů o tvaru kanálků a způsobu proudění atd. Část vody je však připoutána nepohyblivě k povrchu pevných částic a zmenšuje průtočné cesty. Pohyb vody se zdržuje klikatou dráhou, drsným povrchem částic, proměnou průřezů vodních cest, utěsňováním mezer obnovenou hydratací nebo naopak urychluje jejich zvětšování rozpouštěním tmele atd. [2].

Je však třeba přihlížet i ke způsobu zkoušení vodotěsnosti (propustnosti – difúze). Není neobvyklé, že určitý způsob zkoušek dá výsledky zcela odlišné nebo i opačné než jiný způsob. Porovnávat lze tedy výhradně jen výsledky zkoušek provedených stejným způsobem a přitom je třeba ještě analyzovat, co výsledky se zřetelem na vodotěsnost skutečně znamenají. Protože hrubě nahodilá nedokonalosti betonu mohou výsledky značně zkreslit, nejsou neobvyklé značné výkyvy.

Hlavní vliv na propustnost má zrnitost malty, její tučnost a zhutnění; s jemností písku (větším vnitřním povrchem) propustnost roste (obr. 8), s tučností se zmenšuje. Vliv má též drsnost šterkopísku (s rostoucí drsností propustnost roste), jemnost mletí cementu (s rostoucí jemností s dostatečnou účastí částic pod 15 μ propustnost klesá), množství záměsové vody (silně zvýšená propustnost při vodním součiniteli nad 0,7 až 0,8 stejně jako při vodním součiniteli pod 0,35, tedy

měkké betony jsou nepropustnější než tekuté a zavhlé), způsob ošetření a ovšem velikost tlaku a doba, po kterou působí. Pronikání (difúze) vody betonem (v kapalně a plynné formě) zpomalí též ucpání pórů vodou, která je zdržována molekulárními silami i kapilárně tak mocně, že jí tlak vnější vody nemůže vypudit; určitě se uplatní zúžení kanálků adsorbovanou vodou. Proto suchý beton má větší propustnost než vodou nasycený [2].

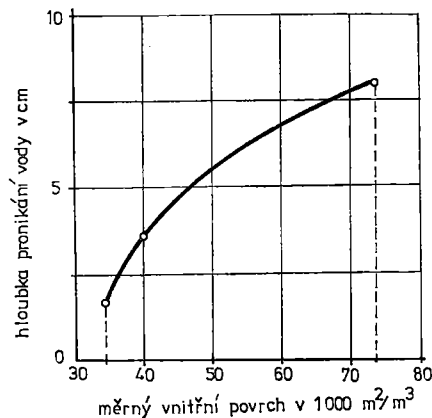
Průnik vody vzduchem nasycený je menší, ztrácí tlak, uvolňuje vzduch v bublinkách, které se v úzkých kanálcích zdržují a ucpávají je jako pevné částice. Naopak pronikání voda vzduchem nenasycená, pohlcuje vzduch v pórech a propustnost se zvětšuje [2].

Na propustnost má vliv i teplota: při vyšší teplotě má voda menší viskozitu, je pohyblivější (např. viskozita vody při 0 °C je 0,0172, při 20 °C pouze 0,0101 poise).

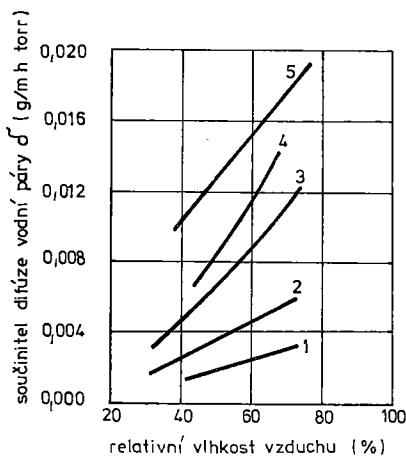
Rychlost pronikání je u betonu, v důsledku proměnného průřezu pórů a jejich spletnosti, jen malým zlomkem (1/20 – 1/100) rychlosti průtoku hladkým rovným kanálkem o průřezu, který odpovídá stejnému objemu pórů [2]. Současně se mění s časem, rychle nebo pomaleji ubývá, ale ustaluje se na 1/5 až 1/4 prvotní hodnoty [18]. Průsak se značně zpomalí (nebo úplně zastaví), je-li voda znečištěna.

Přibližně lze na základě vzorce Nycandera [22], odvozeného podle zkoušek, uvažovat, že rychlost a protékající množství vody rostou se čtvercem tlakového spádu, (tj. rozdílu tlaku na straně vstupní a výstupní) děleného tloušťkou vrstvy při větších spádech (100 až 1000), při menších tlakových spádech je závislost lineární.

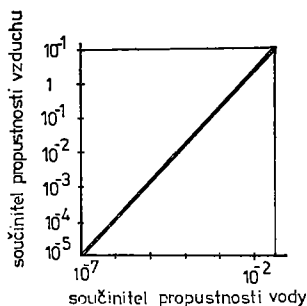
V betonu prostupují vzduch a páry difúzí (rozdílem tlaku par na



Obr. 8



Obr. 9
1 - beton 1 : 4, 2 - cementová malta, 3 - beton 1 : 9, 4 - vápenná malta, 5 - cihla



Obr. 10

povrchů vrstvy) podle Darcyho [2]

$$Q = \delta_p \frac{\tau \Delta p}{d}$$

kde Q je procházející množství par, δ_p je součinitel propustnosti (difúze) par, S plocha, kterou se pára protlačuje, τ doba, d tloušťka vrstvy. Hodnoty součinitelů δ_p zjištěné zkouškou se udávají [2] pro beton $1,5 \text{ g/cm}^2 \text{h mmHg}$ ($3,13 \cdot 10^{-11} \text{ s}$), pro beton lehčený $1,0 \text{ gcm/m}^2 \text{h mmHg}$ ($2,08 \cdot 10^{-11} \text{ s}$). Podle [12] je součinitel difúze vzduchu pro malty a betony:

cementová malta 1:3

— $0,00322$ až $0,0623 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mh}$ (mmH_2O)

cementová malta 1:4

— $0,0957$ až $0,710 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mh}$ (mmH_2O)

cementová malta 1:6

— $0,742$ až $3,21 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mh}$ (mmH_2O)

cementová malta 1:7

— $7,27 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mh}$ (mmH_2O)

beton 1:2,5:3,5 ($\gamma = 2150 \text{ kg/m}^3$)

— $0,043 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mh}$ (mmH_2O)

škvárobeton ($\gamma = 1300 \text{ kg/m}^3$)

— $73,5 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mh}$ (mmH_2O).

Rozdíl tlaku par závisí na teplotě a relativní vlhkosti na površích. Např. pro nasycenou páru při teplotě 20°C je $p = 17,54 \text{ mmHg}$, při vlhkosti 40 % jen $7,02 \text{ mmHg}$. Potřebné údaje jsou obsaženy v různých fyzikálních tabulkách, např. [16].

Některé součinitele difúze vodní páry v závislosti na střední teplotě vzduchu jsou podle [27] uvedeny v tab. IX. Vliv relativní vlhkosti vzduchu (prostředí) na hodnotu součinitele difúze u některých materiálů ukazuje podle [7] obr. 9.

Proti propustnosti vody je pronikání vzduchu značně větší, podle míry vysušení až 1000násobné [4, 6] u betonů s tučností 350 kg c/m^3 směsi, 200násobné při tučnosti 250 kg c/m^3 . Podle [5] ukazuje poměr obou součinitelů propustnosti u vápence obr. 10.

Vzduch proudící vrstvou unáší páry, které se v chladnějších místech srážejí, takže vrstva uvnitř vlhne a umožňuje kapilární vztlánání vlhkos-

ti do dalších (sousedních) vrstev. Poměry jsou složité a závislejší na proudění tepla (teplotním spádu), jeho změně izolačními vrstvami, stupni nasycení vodou atd. a výpočtem je lze postihnout jen přibližně pomocí experimentálně zjištěných různých součinitelů (součinitel difúze vodních par, součinitel difúze vody, součinitel propustnosti, difúzní odpor atd.). Potíž je v tom, že — jak již bylo zmíněno — není jednota ani v definici součinitelů; v literatuře lze nalézt údaje propustnosti v g(kg) stejně jako v cm^3 (l), za sekundu stejně, jako za 24 hodin, difúzní součinitel se vztahuje na tlak Hg stejně jako H_2O nebo prostě jednotku atd. Některé hodnoty určující pohyb páry a vody v materiálu jsou uvedeny v tab. X a XI podle [12], v tabulce XII podle [17] a [29].

S odvoláním na předchozí rozbor o vlivu řady činitelů (jemnost písku, tučnost mísení, množství záměsové vody, účinnost zpracování, druh cementu atd.) jsou stejně veškeré literární údaje pro zobecnění jen přibližné a od skutečnosti se mohou lišit i o sta procent. Směrodatná

Tab. IX. Součinitel difúze vodní páry podle teploty vzduchu (g/mh torr)

Materiál	Teplota vzduchu ($^\circ\text{C}$)				
	—10	0	10	20	30
Kreganit S	0,000 019	0,000 021	0,000 024	0,000 026	0,000 028
Lepenska R 400/H	0,000 027	0,000 030	0,000 033	0,000 036	0,000 039
Pěnový polystyren	0,001 0	0,001 08	0,001 16	0,001 29	0,001 38
Plynosilikát	0,031	0,034	0,038	0,041	0,043

Tab. X. Součinitel určující pohyb páry v materiálu [12]

Materiál	Měrná hmotnost kg/m^3	Součinitel difúze vodní páry g/m h(mmHg)	Součinitel vodivosti vodních par $\text{m}^2 \text{h(mmHg)}^2$	Difúzní odpor $\text{m}^2 \text{h(mmHg)}^2$
Beton	2180	$0,158 \cdot 10^{-2}$	$0,0292 \cdot 10^{-4}$	342 000
Vzduch v pórech při pohybu páry zdola nahoru	—	$13,5 \cdot 10^{-2}$	$0,405 \cdot 10^{-3}$	2 500
Vzduch v pórech při pohybu páry shora dolů	—	$8,10 \cdot 10^{-2}$	$0,243 \cdot 10^{-3}$	4 100
Pěnobeton	510	$3,35 \cdot 10^{-2}$	$0,614 \cdot 10^{-4}$	16 300
Pěnobeton	1000	$0,74 \cdot 10^{-2}$	$0,137 \cdot 10^{-4}$	73 000
Cementová malta 1 : 3	2326	$0,377 \cdot 10^{-2}$	$0,0754 \cdot 10^{-4}$	133 000
Cementová malta 1 : 6	2326	$1,16 \cdot 10^{-2}$	$0,238 \cdot 10^{-4}$	42 000
Cementový kámen	1610	$0,50 \cdot 10^{-2}$	$0,100 \cdot 10^{-4}$	100 000
Škvárobeton	1375	$0,84 \text{ až } 1,45 \cdot 10^{-2}$	$0,172 \text{ až } 0,296 \cdot 10^{-4}$	58 000 až 340 000

Tab. XI. Součinitel určující pohyb vody v materiálu [12]

Materiál	Měrná hmotnost kg/m^3	Výpar $\text{kg/m}^2 \text{24 h}$	Součinitel difúze vody $\text{m}^2/24 \text{ h}$
Pěnobeton	825	0,031	$1,570 \cdot 10^{-3}$
Škvárobeton	1368	0,15	$3,80 \cdot 10^{-3}$
Cementová malta 1 : 4	1810	0,74	$3,78 \cdot 10^{-3}$
Cementová malta 1 : 6	1655	0,955	$8,58 \cdot 10^{-3}$
Cementová malta 1 : 9	1685	0,935	$6,19 \cdot 10^{-3}$

Tab. XII. Průměrné hodnoty difúzního odporu u bitumenových lepenek NDR s vrstvou asfaltového nátěru [17] a Fortitu [29]

Plošná hmotnost kg/m^2	Střední tloušťka mm	Průměrná hodnota difúzního odporu $\text{m}^2 \text{h/torr}$
2,63	2,7	$4,1 \cdot 10^{11}$
7,50	6,3	$7,6 \cdot 10^{11}$
11,30	10,6	$5,8 \cdot 10^{11}$
7,90	6,8	$5,9 \cdot 10^{11}$
Fortit	6,5	$4,5 \cdot 10^{11}$

může být jen hodnota zjištěná na vzorcích pozorovaného materiálu.

Závěry pro praxi

V kompozitních systémech může docházet k transportu vlhkosti mezi jednotlivými jeho částmi v důsledku nasákavosti (kapilární vztlínivosti) vody a difúzního toku vlhkosti v kapalně i plynné formě. Kapilární vztlínivost není ovlivněna vnějším přetlakem, je závislá na vlastnostech materiálu a teplotě. Difúzní tok závisí kromě vlastností materiálu především na rozdílu tlaku (tenzi par) na obou površích. Tenze par závisí kromě vlhkosti na teplotě.

K zabránění provlhčování jednotlivých vrstev mezi sebou v důsledku kapilárního vztlínání (jež je usilovně např. ze špatného do dobrého betonu), je třeba oddělit vrstvy neporézní vložkou (např. lepenkovou izolací „na sucho“) nebo pórovitost zcela přerušit (např. penetrací). Takové opatření je nezbytné, i když jde při výrobě o vrstvy již suché, protože nelze dopředu vyloučit jejich provlhčení náhodným způsobem (havárií) nebo difúzí vlhkosti z prostředí. Úprava penetrací, utěšňující póry, má však silně negativní vliv na rychlost (nebo možnost) vysychání; lze tedy k ní přistoupit jen tehdy, je-li vrstva suchá a není-li (ani v budoucnu) vysychání v daném směru potřebné, tj. zejména, není-li rozdíl tenze par na površích vrstvy negativní (s větší tenzí na straně nepetrované než na straně penetrované).

Difúzi při nerovnoměrné tenzi par může zabránit jen parotěsná vložka. Její difúzní odpor musí být alespoň takový, jako má kterákoli další vrstva systému ve směru difúze¹³⁾.

Vysychání betonu je podstatně pomalejší než pohlcování vlhkosti a závisí na druhu materiálu, jeho struktuře, tloušťce vrstvy, stupni nasycení, tenzi par, teplotě atd. Proto je třeba zabránit nadměrnému prosycení vrstvy, která má být vysušena, vodou (např. ošetřováním betonu kropením). Nejvhodnější je takové ošetření, při kterém se pouze dočasně zabrání odchodu vlhkosti vnesené při míšení (překrytím nepropustnou fólií apod.). Hodnota technické rovnovážné vlhkosti betonu závisí na různých vnitřních i vnějších činitelích a lze ji brát v průměru 2 až 3 % hmotn.

Za dostatečně vysušený systém, bez katastroficky škodlivého ovlivňování dalších jeho částí, lze považovat takový, kde vlhkost žádně vrstvy nepřesahuje 3 % hmotn. v případě, že rozdíl tenze par na površích převyšuje 10 mmHg (1,33 kPa), v opačném případě (rozdíl < 10 mmHg) 4 % hmotn. Nelze ovšem vyloučit, že v některých speciálních případech (např. vzhledem k chemickému ovlivnění) bude nutno vyžadovat hodnoty ještě menší.

Při návrhu kompozitních systémů (podlah, plochých střechech, sendvičových stěnových prvků apod.) je třeba vycházet z toho, jakou může mít ta která část systému funkci, jaké probíhají v systému jevy a které všechny okolnosti mohou chování systému (příznivě i nepříznivě) ovlivnit. Tak např. u podlah (jež jsou v podstatě vždy typem kompozitního systému) s podlahovinou z novodobých hmot (jen velmi málo paropropustnou) je třeba vždy podložky (minimální tloušťky) oddělit od dalších vrstev podlahy vložkou, zneumožňující kapilární nasávání (izolační lepenka na sucho, uzavírající penetrace spodních vrstev atd.). V případě, že lze očekávat gradient tenze par v podlaže (nezáleží na tom, kde je přítom zdroj vlhkosti a tepla), je třeba podložku oddělit od ostatních vrstev parotěsnou izolační vložkou s difúzním odporem alespoň jako má podlahovina. Vysušení podložky musí být před kladením podlahoviny na max. 3, resp. 4 % hmotn. Tato opatření jsou diktována nezměnitelným fyzikálním působením vlhkosti; přísnější kritéria mohou ovšem být tam, kde ještě přistupuje nepříznivé chemické působení vlhkosti.

LITERATURA

- [1] ASTM C 355-64*, ASTM E 96-60*, ASTM D 895-68**, ASTM 1251-68**, D 1008-64**, D 1276-68** – USA
* Water Vapor Transmission,
** Water Vapor Permeability
- [2] Bechyně, St., Betonové stavitelství I, Technologie betonu, sv. 5, SNTL, 1961
- [3] BS 3177 – G B
- [4] Buisson, M., Lois régissant la circulation de l'eau dans les corps poreux, Bull. techn. du „Veritas“, Paříž, 1950, března, str. 84
- [5] Buisson, M., Les pierres. Étude de leurs propriétés liées à la présence et à la circulation de l'eau dans les pores, Cah. du Centre Sci. et Techn. du Batim, seš. 7, 1948, seš. 36, 1949
- [6] Cadiergues, R., La perméabilité des bâtiments à l'air, aux gaz et aux vapeurs, ATB 1953, str. 809
- [7] Cammerer, J. S., Görling, P., Die Durchlässigkeit von Bau und Dämmstoffen für Wasserdampfdiffusion und die dadurch bedingte Möglichkeit einer

Wand-durchfauchung, Mitteilung aus dem Forschungsbau Tutzing

- [8] ČSN 72 2454
ČSN 72 7030
ČSN 72 7031
ČSN 73 2580
ČSN 64 0716
ČSN 77 0272
ČSN 79 3817
ČSN 72 2580
- [9] ČSN 73 0540 Tepelné technické vlastnosti stavebních konstrukcí (návrh)
- [10] ČSN 74 4505 Podlahy, základní ustanovení, 1959, 1964
- [11] DIN 53122 (NSR) Gravimetrische Bestimmung der Wasserdampfdurchlässigkeit
- [12] Frančuk, A. N. Tabлицы теплотехнических показателей строительных материалов, Стройиздат 1949, Moskva
- [13] Gessner, H. Die Widerstandsfähigkeit von Zementmörtel und Beton gegen chemische Einflüsse, EMPA Bericht 35, 1937
- [14] Graf, O. Versuche über die Wasserdurchlässigkeit von Zementmörtel und Beton, Deutscher Ausschuss für Eisenbeton, seš. 65, 1931
- [15] Haller, P. de., Der Austrocknungsvorgang von Baustoffen, Curych 1942, EMPA Bericht 139
- [16] Horák, Z., a kol., Základy technické fyziky, SNTL, 1954
- [17] Jadavan, J., – Tydlitát, V.: Sledování difúzních vlastností vůči vodní páře ve vzduchu čtyř bitumenových materiálů, VVÚSZP, 1976
- [18] Mary, E.: La perméabilité du béton, Ann. des Ponts et Chaussées, 1933-34, sv. 1, str. 167, sv. 2, str. 421
- [19] Matějka, J.: Výkvyty v keramice a na stavbách, Brno, 1948
- [20] Meissner, A. S., Smith, I. E., Concrete Curing Compounds, JACI, vol. 10, 1938, str. 549
- [21] NF T56-103 (France) Détermination de l'indice conventionnel de perméabilité à la vapeur d'eau des prod. alv. rigides
- [22] Nycander, P., Betongens vattentätthet (The Permeability of Concrete), Zpráva zkuš. ústavu, č. 113, Stockholm 1954
- [23] Rhodes, C. C., Curing Concrete Pavements with Membranes, J. ACI, vol. 22, 1950, str. 277
- [24] Řehánek, J., Směrnice pro navrhování a posuzování obytných panelových budov z hlediska tepelné techniky, díl 2, VÚPS, Praha, 1972
- [25] SIS 021 581 E (Švédsko) Determination of water vapour transmission rate of paper, plastics, etc.
- [26] Soender, R. M., Measurement of the moisture content of concrete, J. ACI, sv. 9, str. 45
- [27] Truxa, K., Experimentální výzkum stavebních materiálů VÚPS Praha 1968
- [28] Truxa, K., Sjednocení zkušebního postupu při zjišťování součinitele difúze vodní páry stavebních materiálů, VÚPS Praha, 1971, úkol 26-73/223-71
- [29] Tydlitát, V., – Jedavan, J., – Lukešová, V.: Měření difúzních vlastností podlahoviny Fortit, VVÚSZP, 1975
- [30] Véron, M., Besoins de chaleur des constructions, Cah. du Centre Sci. et Techn. du Bat., 1948, seš. 6
- [31] Weise, P., Ein Beitrag zur Wasseraufnahme des Betons, Zement (Berlín), 1939, str. 653

624.041
697.931
543.712

¹³⁾ Řada užitečných požadavků vzhledem k vlhkosti na konstrukce jak s vrstvou s vysokým difúzním odporem, tak i bez ní je již obsažena v návrhu ČSN 72 7030 [8].