

ROZBOROVÁ ÚLOHA

STANOVENIE VLHKOSTI, NASIAKAVOSTI
A VZLÍNAVOSTI BETÓNU PODĽA STN 73 1316: 1989

OBSAH

OBSAH	2
1 ÚVOD	3
1.1 Spracovateľ	3
1.2 Cieľ	3
1.3 Úlohy spracovateľa	3
1.4 Osobitné požiadavky	3
1.5 Použité a súvisiace právne predpisy, normy, TPR a použitá literatúra	4
2 AKTUÁLNY STAV POZNANIA	6
2.1 Všeobecne k betónu a významu skúšky nasiakavosti	6
2.2 Skúšobné metódy a rozdiely medzi nimi	11
2.3 Zistená nekonzistentnosť	18
2.4 Výsledky skúšok v rámci medzilaboratórnych porovnávaní	21
3 EXPERIMENTÁLNA ČASŤ	24
3.1 Metodika	24
3.2 Výroba a kondicionovanie vzoriek	26
3.3 Výsledky skúšok a diskusia parciálnych zistení a citlivostná analýza	27
3.4 Súhrn zistení a nadväznosť na predchádzajúce a iné zistenia	32
3.5 Kľúčové parametre vplývajúce na výsledky	34
4 ZÁVER	35
4.1 Návrh revízie STN 73 1316 – terminológia, príprava vzoriek, skúšobný postup a vyhodnocovanie	35
4.2 Analýza použiteľnosti v podmienkach SR vrátane odhadu dopadu na skúšobné laboratóriá	38
4.3 Súhrnný prehľad platných TPR, na ktoré bude mať navrhovaná revízia vplyv spolu s návrhmi na revíziu	39
5 PRÍLOHY	40

1 ÚVOD

1.1 Spracovateľ

Spracovateľ: Bria Invenia, s.r.o.
Adresa: Poštová 11, 972 26 Nitrianske Rudno
Riešiteľ: Ing. Jana Briatková Olšová
Konzultant: Ing. Peter Briatka, PhD. (stavebné materiály, technológia stavieb)
doc. Ing. Peter Makýš, PhD. (technológia stavieb)
Ing. Peter Mišutka (skúšobníctvo)
Ing. Peter Darnady (skúšobníctvo, štatistické spracovanie dát)

1.2 Cieľ

Cieľom rozborovej úlohy (RÚ) je spracovanie podrobného podkladu pre revíziu STN 73 1316 Stanovenie vlhkosti, nasiakavosti a vzliňavosti betónu a zadefinovanie konkrétnych zmien pre aktualizáciu Technických predpisov rezortu (TPR).

1.3 Úlohy spracovateľa

Úlohy spracovateľa sú zadefinované nižšie:

- 1) Návrh na aktualizáciu a spresnenie terminológie STN 73 1316;
- 2) Identifikácia kľúčových parametrov ovplyvňujúcich výsledok;
- 3) Zadefinovanie spôsobu prípravy vzoriek pred skúškou;
- 4) Zostavenie metodiky pre experimentálne overenie;
- 5) Skúšky nasiakavosti betónov pre stanovenie jednoznačných postupov;
- 6) Citlivostná analýza (zo získaných výsledkov);
- 7) Analýza dostupných výsledkov skúšok v rámci medzilaboratórneho porovnávania za ostatné roky;
- 8) Analýza obdobných skúšobných postupov pre obdobné stavebné materiály a možnosť ich využitia;
- 9) Návrh skúšobného postupu a definícií, precizovanie detailov skúšky;
- 10) Úprava spôsobu vyhodnocovania a limitných hodnôt;
- 11) Vyšpecifikovanie zmien potrebných vykonať v STN 73 1316 a odborné zdôvodnenie článkov, ktoré je nutné zmeniť/doplniť;
- 12) Konkrétny zoznam všetkých platných TPR, na ktoré bude mať navrhovaná revízia STN 73 1316 vplyv spolu s návrhmi na revíziu;
- 13) Priame zosúladenie s požiadavkami praxe.

1.4 Osobitné požiadavky

RÚ sa musí spracovať v súlade so všetkými platnými národnými STN a prevzatými európskymi normami (EN), ktoré sa týkajú danej problematiky, ktoré boli prijaté do sústav STN a v zmysle platných TPR schválených MDV SR.

1.5 Použité a súvisiace právne predpisy, normy, TPR a použitá literatúra

- [1] STN 73 1316: 1989 Stanovenie vlhkosti, nasiakavosti a vztlínivosti betónu
- [2] PN-88/B-06250: 1988 Prostý betón
- [3] MSZ 4713/3: 1972 Skúšanie zatvrdnutého betónu. Vlhkostné vlastnosti
- [4] NF EN 13369: 2013 Spoločné pravidlá pre betónové prefabrikáty
- [5] NBN B 15-215: 2018 Skúšanie zatvrdnutého betónu – Nasiakavosť ponorením
- [6] STN EN ISO 12570: 2002 Tepelno-vlhkostné správanie stavebných materiálov a výrobkov – Stanovenie vlhkosti sušením pri zvýšenej teplote
- [7] ČSN EN ISO 12570: 2002 Tepelno-vlhkostné správanie stavebných materiálov a výrobkov – Stanovenie vlhkosti sušením pri zvýšenej teplote
- [8] STN EN 13369: 2019 Všeobecné pravidlá pre betónové prefabrikáty
- [9] STN EN 206+A2: 2021 Betón. Špecifikácia, vlastnosti, výroba a zhoda
- [10] STN 73 1311: 1986 Skúšanie betónovej zmesi a betónu. Spoločné ustanovenia
- [11] STN 72 3163/Z2: 2003 Betónové prefabrikáty. Betónové rúry na dažďové odpadové vody. Technické požiadavky
- [12] STN EN 13670/NA: 2012 Zhotovovanie betónových konštrukcií
- [13] TKP 8 – Cementobetónové kryty vozoviek, MDV SR: 2019;
- [14] TKP 15 – Betónové konštrukcie všeobecne, MDV SR: 2018;
- [15] TKP 18 – Betón na konštrukcie, MDV SR: 2018 + Dodatok č. 1/2020, MDV SR: 2020
- [16] Bajza, A., Rouseková, I.: Technológia betónu, Jaga group, Bratislava, 2006.
- [17] Collepari, M.: Moderný beton, Edícia betónové staviteľstvo, Informačné centrum ČKAIT, Praha, ISBN978-80-87093-75-7
- [18] Svoboda, L. a kol.: Stavebné materiály, Jaga group, Bratislava, 2005.
- [19] Juríček, I.: Kontrola kvality na stavbách, 2. diel – Hrubá stavba, Eurostav, Bratislava, 2012.
- [20] Svoboda, L., a kol.: Stavebné materiály, Jaga, Bratislava 2005.
- [21] Bárta, R.: Chémia a technológia cementu, Nakladateľstvo Československej akadémie vied, Praha 1961.
- [22] Briatka, P., Makýš, P.: Ošetrovanie čerstvého betónu – 1. Strata vody z betónu, Beton TKS, 10.r./1, Beton TKS, Praha, 2010, pp: 40-43.
- [23] Janotka, I., a kol.: ENVIZEO, Technický a skúšobný ústav stavebný, Bratislava, 2012, ISBN: 978-80-971296-9-9
- [24] Smernica pre vodonepriepustné betónové konštrukcie – biele vane (SmeBV), Slovenská komora stavebných inžinierov, Bratislava, 2012
- [25] Trvanlivosť betónu - #3: Účinky mrazu a všeobecná stratégia; Indický inštitút technológie, Dillí
- [26] Kos, J.: Výskum perspektívnych problémov ochrany hĺbkových základov. Časť 1 – Prehľad rozdelenia agresívnych účinkov spodných vôd na území ČSR – podľa pôvodu, intenzity a geotechnických podmienok – zostavenie a rajonizácia. Správa úlohy H-O-26-46/4. Výskumný ústav pozemných stavieb Praha.
- [27] Vrablíková, D., Fendeková, M.: Síraný a síranová agresivita v podzemných vodách Slovenska, Buildustry, Ročník 1, č. 2., Bria Invenia, Nitrianske Rudno, 2017.
- [28] Bažant, Z.P., Bazant, M.Z.: Teória sorpčnej hysterézie v nanopórovitých tuhých látkach: časť I Nestálosti prechodov, Časopis o mechanike a fyzike pevných látok, 60 (2012) 1644–1659
- [29] Bažant, Z.P., Bazant, M.Z.: Teória sorpčnej hysterézie v nanopórovitých tuhých látkach: časť II Molekulárna kondenzácia, Časopis o mechanike a fyzike pevných látok, 60 (2012) 1660–1675
- [30] Hall, Ch., Yau M.H.R.: Pohyb vody v poréznych stavebných materiáloch - IX. Absorpce vody a sorptivita betónu, Stavebníctvo a prostredie, Zväzok 22, č. 1, strany. 77-82, 1987. 1987 Pergamonské časopisy sro. Vytlačené vo Veľkej Británii.
- [31] Zhang, S.P., Zong, L.: Hodnotenie závislosti medzi absorpciou vody a trvanlivosťou betónových materiálov, Pokroky v materiálovej vede a inžinierstve, Vydanie 2014, Článok 650373, 8 strán.
- [32] Erhan Güneyisi, Mehmet Gesoglu, Zeynep Algin, Kasim Mermerdas: Optimalizácia zloženia betónu so zmesnými plnivami metakaolínu a popolčeka s použitím reakčnej povrchovej metódy, Kompozity: Časť B 60 (2014) 707–715

- [33] Babak Mohammadi: Vývoj skúšania nasiakavosti betónu pre kontrolu kvality, Diplomová práca, Univerzita Concordia, Montreal, Quebec, Canada, 2013
- [34] Castro, J., Weiss, W.J., Bentz, D.P.: Vplyv kondicionovania vzoriek na nasiakavosť betónu, Cementové a betónové kompozity, September 2011
- [35] Powers, T.C., a kol.: Permeabilita pasty z portlandského cementu, Časopis amerického betonárskeho inštitútu, Ročník. 51, č.3, 1954, p: 285-294.
- [36] Českomoravský betón: Betón – suroviny, výroba, vlastnosti, 2. vydanie, 2005

2 AKTUÁLNY STAV POZNANIA

RÚ v tejto časti poskytuje prehľad aktuálneho stavu poznania betónu v súvislosti s trvanlivostnými aspektami, s ktorými nasiakavosť betónu úzko súvisí. Vysvetľuje túto súvislosť nasiakavosti a trvanlivosti betónu. Nadväzuje na iné obdobné vlastnosti a praktickú stránku stanovenia parametra nasiakavosti betónu. Zároveň popisuje známe metódy určovania nasiakavosti betónu a rozdiely v týchto metódach. Venuje sa aj nekonzistentnosti výsledkov, čo sa demonštruje na výsledkoch skúšok medzilaboratórneho porovnania. V závere tejto časti sú definované kľúčové parametre vplývajúce na výsledok skúšky.

2.1 Všeobecne k betónu a významu skúšky nasiakavosti

Betón je kompozitný materiál zo zmesi cementu, hrubého a drobného kameniva a vody, s prísadami a/alebo prísadami s vláknami alebo bez nich, ktorý vzniká a získava svoje vlastnosti hydratáciou cementu. Vek betónu, v závislosti od stavu cementového spojiva (cem. tmel → cem. kameň), sa v literatúre rozdeľuje do troch štádií:

- Čerstvý betón (nachádzajúci sa v tekutom stave),
- Mladý betón (zatuhnutý) a
- Zatvrdnutý betón (schopný bezpečne prenášať zaťaženia, na ktoré bol hospodárne navrhnutý).

Z pohľadu zamerania tejto RÚ je rozhodujúce konečné štádium – zatvrdnutý betón, konkrétne jeho trvanlivosť a životnosť konštrukcie pri expozícii chemicky agresívnemu prostrediu. Pre betóny v styku s chemicky agresívnym prostredím, podľa Tab. F.1 STN EN 206/NA, sa obmedzuje nasiakavosť betónu (stanovená podľa STN 73 1316) na maximálne 6,0 % hmotnostných, pričom táto hodnota platí vždy. Nasiakavosť betónu v Českej republike, ani

v napr. v Rakúsku nie je limitovaná. [25]

Špecifikáciu, výrobu a zhodu betónu na Slovensku upravuje STN EN 206+A2 vrátane národnej prílohy NA, z ktorých vyberáme relevantné ustanovenia vo vzťahu ku životnosti betónu, betónových konštrukcií v priamej súvislosti s nasiakavosťou betónu.

Navrhovaná životnosť je predpokladaná doba počas, ktorej sa konštrukcia alebo jej časť používa na zamýšľané použitie s príslušnou údržbou, ale bez veľkých nevyhnutných opráv.

Pôsobenie prostredia je také chemické a fyzikálne pôsobenie, ktorému je betón vystavený a ktorého účinky na betón alebo na výstuž alebo na zabudované kovové vložky sa nepovažujú za zaťaženie konštrukcie.

Zatvrdnutý betón je betón, ktorý je v pevnom stave a má už určitú pevnosť.

STN EN 206+A2 klasifikuje viacero stupňov vplyvu prostredia. Z hľadiska súvislosti životnosti konštrukcie a nasiakavosti betónu sa ako opodstatnené uvádza len chemické pôsobenie (XA 1-3).

- XA1 je slabo agresívne chemické prostredie (napr. betón vystavený pôsobeniu zeminy a podzemnej vody podľa tab. 2 STN EN 206+A2).
Informatívne príklady výskytu: nádrže čistiarní odpadových vôd; žumpy a septiky; základy stavieb vystavených pôsobeniu zeminy a/alebo podzemnej vody.
- XA2 je stredne agresívne chemické prostredie (napr. betón vystavený pôsobeniu zeminy a podzemnej vody podľa tab. 2 STN EN 206+A2).

Informatívne príklady výskytu: časti stavieb v pôdach agresívnych proti betónu; základy stavieb vystavených pôsobeniu zeminy a/alebo podzemnej vody.

- XA3 je silno agresívne chemické prostredie (napr. betón vystavená pôsobeniu zeminy a podzemnej vody podľa tab. 2 STN EN 206+A2).
Informatívne príklady výskytu: priemyselné čistiarne odpadových vôd s chemicky agresívnymi vodami; silážne jamy a krmné žľaby v poľnohospodárstve; chladiace veže s odvodom dymových spalín.

Klasifikácia agresívneho prostredia uvedená v Tabuľke 2 STN EN 206+A2 platí pre zeminu a podzemnú vodu pri teplote vody/zeminy v intervale +5 °C až +25 °C a pre veľmi miernu rýchlosť vody blížiacu sa nehybnému stavu. Pri odstupňovaní je určujúcou najvyššia hodnota jednotlivých chemických charakteristík. Ak dve alebo viac chemických vlastností majú rovnaký stupeň, potom je potrebné použiť najbližší vyšší stupeň, ak špeciálna štúdia pre tento špecifický prípad nepreukáže, že to nie je potrebné.

Zároveň sa uvádza, že v prípade chemického pôsobenia je potrebná špeciálna štúdia na stanovenie príslušných podmienok vplyvu prostredia, kde sú:

- Medzné hodnoty neuvedené v tab. 2 STN EN 206+A2;
- Iné agresívne chemikálie;
- Chemicky znečistená zemina alebo voda;
- Vysoká rýchlosť vody v kombinácii s chemikáliami v tabuľke 2 STN EN 206+A2.

STN EN 206/NA dopĺňa nový článok 5.5.6 Nasiakavosť. Používa sa pre tabuľku F.1 alebo sa stanovuje ako dopĺňujúca požiadavka na betón podľa 6.2.3, vtedy hodnoty definuje špecifikátor. Nasiakavosť betónu sa stanovuje na základe skúšky podľa STN 73 1316. Požiadavky na nasiakavosť betónu v prostredí XA sa uvádzajú v tabuľke F.1. Práve v tejto tabuľke sa pre stupne vplyvu prostredia XA1 – XA3 stanovuje jednotné kritérium na maximálnu nasiakavosť (podľa STN 73 1316) zatvrdnutého betónu 6,0 % hmotnostných.

Poznámka: V predchádzajúcej verzii normy STN EN 206-1/NA sa v Tabuľke F.1 uvádzala požiadavka na maximálnu nasiakavosť betónu v prostredí XA hodnotou 4,0 %.

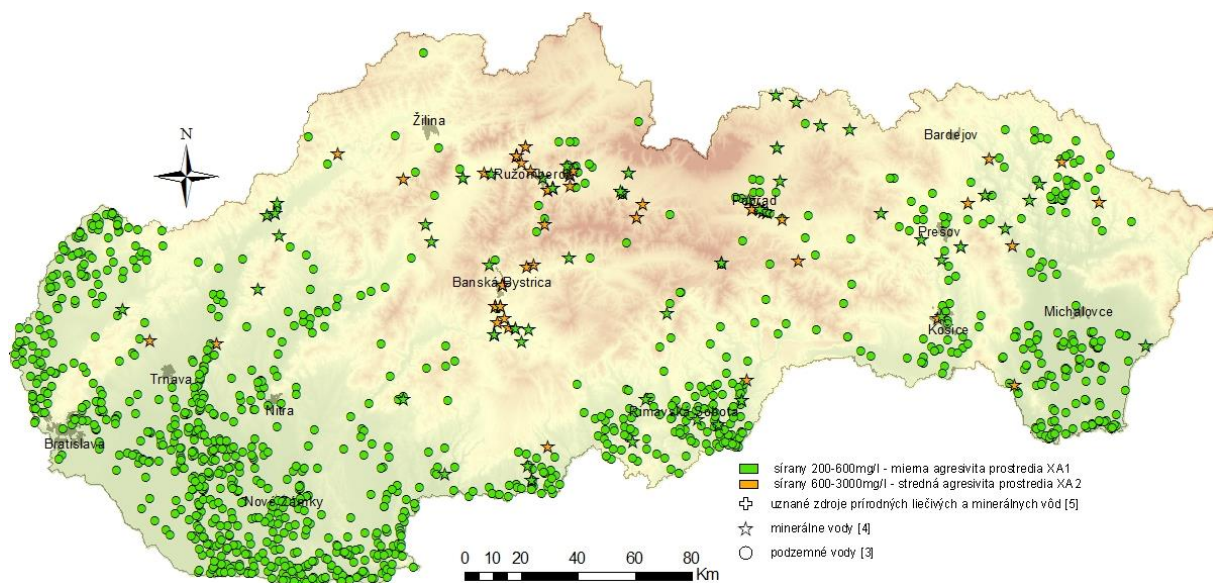
Podľa STN EN 206/NA (tab. 22) sa pre nasiakavosť špecifikovala skúšobná metóda podľa STN 73 1316 a frekvencia odberu vzoriek na 800 m³ z daného betónu alebo 1 sada v priebehu dvoch mesiacov ak sa betón vyrábal. Zároveň sa tu uvádza aj horná hranica najväčšej prípustnej odchýlky jednotlivého výsledku skúšky +0,5 % od medzí alebo od tolerancie určenej hodnoty.

Ochrana betónových konštrukcií proti chemicky agresívnym vodám je aktuálna. Poukazuje na to aj autor J. Kos [25], ktorý štatisticky spracoval výskyt jednotlivých druhov agresivity prírodných vôd pochádzajúcich z 1258 vrtov v Českej republike, na základe vtedy platnej ČSN 73 1001: 1966. Jednotlivé druhy vôd z hľadiska početnosti sa vyskytovali v tomto poradí:

- 46,0 % vôd so zvýšeným obsahom agresívneho oxidu uhličitého (uhličité vody);
- 40,5 % vôd s nízkou hodnotou pH (kyslé vody);
- 23,9 % vôd so zvýšeným obsahom síranov (síranové vody);
- 13,3 % vôd s nízkou tvrdosťou (vylúhujúce vody);
- 0,0 % vôd s obsahom horečnatých iónov (horečnaté vody).

Podobné zastúpenie výskytu jednotlivých druhov agresívnych vôd sa môže predpokladať aj na Slovensku. Síranovej agresívnosti podzemných vôd sa venovali autorky Vrablíková a Fendeková, ktoré spracovali mapu podzemných vôd so síranovou agresívnosťou [27]. Zvýšené koncentrácie síranov v podzemných

vodách Slovenska sú pomerne častým javom najmä v oblastiach nížin a kotlín, v ktorých sa sústreďuje aj intenzívna výstavba.



Obr. 1: Obyčajné a minerálne podzemné vody so síranovou agresivitou [26]

Smernica pre vodonepriepustné betónové konštrukcie - Biele Vane (SmeBV) tiež uvádza pojem nasiakavosť ako jednu zo základných funkčných vlastností betónu určeného do BV.

Vodonepriepustnosť betónu je definovaná hutnosťou jeho štruktúry, najmä cementového kameňa. S klesajúcou hodnotou vodného súčiniteľa (w/c) sa zvyšuje jeho hutnosť. Čím je nižšia hodnota w/c , tým nižšia je hĺbka priesaku vody a samozrejme aj nasiakavosť. [24]

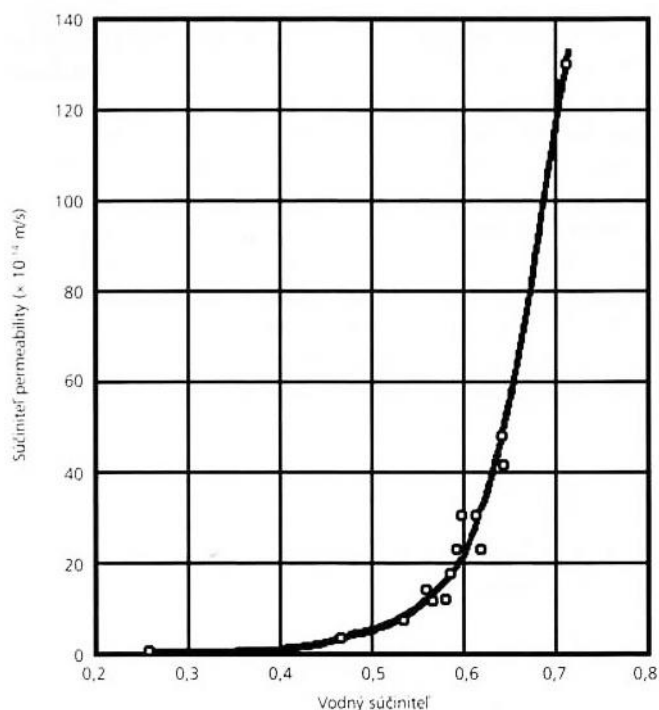
Viaceré zdroje [napr. 17, 25] sa zhodujú, že trvanlivosť betónu ovplyvňuje jeho permeabilita. Je to schopnosť kvapalín a plynov prenikať štruktúrou pevnej látky, v tomto prípade betónu. Čím je teda permeabilita vyššia, tým ľahšie kvapaliny a plyny prenikajú do betónu. Permeabilita teda úzko súvisí s charakterom pórovej štruktúry betónu – celková pórovitosť a vzájomné prepojenie pórov. V prípade, ak sú jednotlivé póry izolované a nie sú spojené kapilármi, permeabilita bude podstatne nižšia ako keď sú póry navzájom spojené kapilármi. Teda aj prípadné agresívne médiá budú ťažšie prenikať do betónu. Je preto možné tvrdiť, že nespojitá pórovitosť je pre trvanlivosť betónu priaznivá, zatiaľ čo spojitá pórovitosť trvanlivosť betónu znižuje. To je plne v súlade s prístupom podľa STN EN 206/NA. Zvýšenie trvanlivosti sa dosahuje primárne znížením vodného súčiniteľa a zvýšením dávky cementu. Princíp podľa tabuľky F.1 ostáva zachovaný. Rozdielom je vlastnosť charakterizujúca nepriamo odolnosť betónu proti agresívnym vplyvom. Na Slovensku je to nasiakavosť. V iných krajinách to môže byť uvedená permeabilita.

Publikácia Technológia betónu [16] sa k nasiakavosti vyjadrenej permeabilitou vyjadruje v kapitole 7 – trvanlivosť betónu. Betón je prirodzene trvanlivý materiál. Ak je správne navrhnutý, vyrobený a ošetrovaný vhodným spôsobom pre prostredie, v ktorom sa má použiť, je schopný bez údržby plniť svoju funkciu aj po desaťročia, samozrejme, s výnimkou prostredia s vysokou agresívnosťou.

Z chemických vplyvov sa tým rozumie vylúhovanie, tvorba výkvetov, pôsobenie síranov, kyselín alebo zásad, alkalicko-kremičitá reakcia alebo korózia výstuže.

Vo všeobecnosti, pri každom degradačnom procese je prítomná voda. Permeabilita (priepustnosť) vody cez betón určuje rýchlosť degradácie. Permeabilita nie je jednoduchou funkciou pórovitosti, ale závisí od jej veľkosti, distribúcie a spojitosti pórov.

Na trvanlivosť betónu má veľký vplyv vodný súčiniteľ. Keď klesá vodný súčiniteľ, klesá pórovitosť cementového kameňa a stáva sa nepriepustnejším. Pôsobenie vodného súčiniteľa na permeabilitu sa prejavuje najmä pri vysokej kapilárnej pórovitosti.



Obr. 2: Vplyv vodného súčiniteľa na permeabilitu zatvrdnutej cementovej kaše [35]

Permeabilita betónu je z hľadiska trvanlivosti veľmi dôležitá, pretože od nej závisí pohyb vody pri striedavom vysúšaní a nasakovaní, striedavom zmrazovaní a rozmrazovaní, ako aj rýchlosť prenikania vody, ktorá môže obsahovať agresívne médiá a pod.

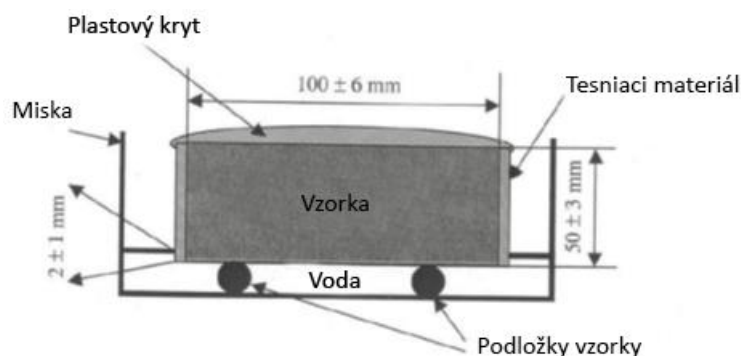
V rámci skúšok nasiakavosti (založených na princípoch adsorpcie, absorpcie a desorpcie vody) na povrchu pevných látok vrátane ich pórovej štruktúry sa pozoruje istá hysteréza. Podrobne ju na teoretickej úrovni popísal Z.P. Bažant a M.Z. Bazant [28 a 29]. Silným zjednodušením je predstava, že existuje množstvo variantov ako sú molekuly kvapaliny usporiadané v množstve variantov tvaru a rozmeru pórov (kapilár) v pevnej látke. Existuje preto množstvo energetických úrovní zodpovedajúcich pôsobiacim kapilárnym napätiam, ktorých prekonaním sa fyzicky viazaná voda uvoľní a naopak, ako sa usporiada pri opätovnom umožnení adsorpcie. Skúšky nasiakavosti sa s týmto problémom vysporiadali úpravou skúšobného postupu.

Publikácia Kontrola kvality na stavbách [19] sa venuje skúškam vodotesnosti a nasiakavosti betónu v kapitole 3.3.7 na stranách 152 až 154. Avšak, skúšobnému postupu stanovenia nasiakavosti podľa STN 73 1316 nie je venovaný ani jeden riadok. Z pohľadu praktickej aplikácie a úžitkových vlastností betónu je zrejme, že vodotesnosť má neporovnateľne vyšší význam.

Skúškami nasiakavosti (absorptivity) betónu za účelom kontroly kvality betónu sa venoval aj Babak Mohammadi [33]. Pozoroval vplyv teploty kondicionovania a vlhkosti betónu na nasiakavosť betónu. V experimentálnej časti práce kondicioval betóny pri rôznych teplotách a relatívnych vlhkostiach prostredia. Následne vykonal skúšky nasiakavosti betónu. Okrem toho vykonal aj terénne skúšky nasiakavosti betónu. Prišiel k záveru, že nasiakavosť betónu sa priamoúmerne zvyšuje s narastajúcou

teplotou kondicionovania a s klesajúcou vlhkosťou. Navyše zistil, že povrchová relatívna vlhkosť je praktický indikátor vlhkosti betónu.

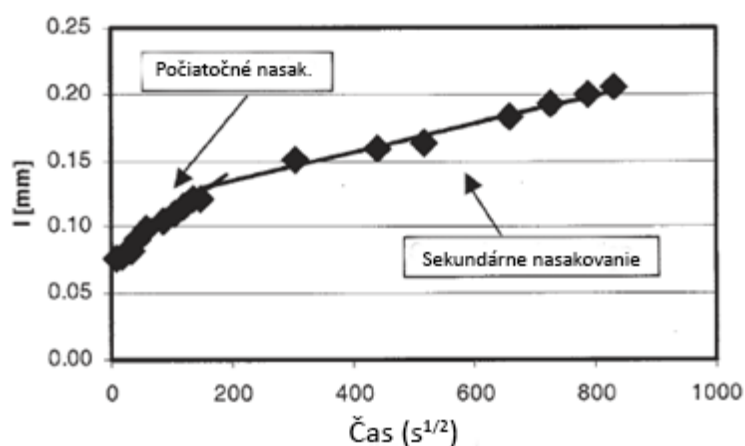
Podľa normy ASTM C1585 sa skúška vykonáva na betónových valcových vzorkách s priemerom (100 ± 6) mm s dĺžkou (50 ± 3) mm. Tieto vzorky je možné získať buď zo zámerne vyrobených valcov alebo z jadrových vývrtov z betónových konštrukcií. Vzorky sa majú kondicionovať v prostredí s teplotou (50 ± 2) °C a relatívnou vlhkosťou (80 ± 3) % počas 3 dní. Výsledkom tohto predbežného kondicionovania je získanie vzoriek s vnútornou relatívnou vlhkosťou (RH) (50-70) %, ktorá sa považuje za typickú RH v zóne krycej vrstvy výstuže. Následne sa každá vzorka umiestni do zapečatenej nádoby pri (23 ± 2) °C najmenej na 15 dní. Tento krok poskytuje dostatok času na dobré rozloženie vlhkosti po celej vzorke. Tým sa zabráni gradientu vlhkosti v hĺbke betónu, ktorý môže skresliť hodnoty nasiakavosti. Po krokoch kondicionovania sa vzorky vyberú z nádob a stanovia sa ich hmotnosti. Bočné povrchy vzoriek sa utesnia a vrchný povrch sa zakryje plastovou fóliou, aby sa zabránilo odparovaniu vody z betónu. Nakoniec sa zapečatené vzorky betónu vložia do nádoby, ktorá sa naplní vodou, ako je znázornené na nasledovnom obrázku.



Obr. 3: Skúšobný postup podľa ASTM C158 5

Vzorky sa vyberajú z misky a ich hmotnosť sa zaznamenáva v intervaloch 7 až 9 dní. Nasiakavosť (mm) sa stanovuje ako pomer hmotnosti vzorky v danom čase (m) a súčinu plochy vystavenej vode (mm^2) a hustoty vody (g/mm^3).

Vypočítaná hodnota nasiakavosti v každom čase sa vynesie v grafe oproti druhej odmocnine času ($\sqrt{t}$), aby sa zistil sklon lineárneho trendu nasiakavosti. Tento index sa určuje v dvoch fázach; počiatočná a sekundárna nasiakavosť. V literatúre sa zvyčajne uvádza počiatočná nasiakavosť.



Obr. 4: Index nasiakavosti podľa ASTM C1585

Druhým prístupom používaným v USA je metóda podľa ASTM C642. Na rozdiel od ASTM C1585, ktorá určuje rýchlosť nasakovania betónu vodou, ASTM C642 určuje celkové množstvo absorpcie vody pomocou dvoch metód nasýtenia. Podľa tejto metódy neexistujú žiadne obmedzenia tvaru skúšobných vzoriek, než

požiadavka na najmenší objem betónu 350 cm³ (približne rovný 800 g). V prvom kroku sa stanoví hmotnosť vzoriek vysušených v sušiarňi pri teplote (100-110) °C po dobu najmenej 24 h. Neskôr sa vzorky ponoria do vody s teplotou približne 21 °C najmenej na 48 h. Potom sa (povrchovo osušené) vzorky sušia do ustálenej hmotnosti (medzi 2 po sebe nasledujúcimi meraniami s intervalom 24 h). Variantom k tejto metóde je vloženie vzorky do vriacej vody. Vzorky sa v pitnej vode varia 5 h. Následne sa nechajú vychladnúť na teplotu (20-25) °C počas doby nie menej ako 14 h.

2.2 Skúšobné metódy a rozdiely medzi nimi

Na stanovenie nasiakavosti betónu sa v okolitých krajinách používajú rôzne skúšobné metódy, ktoré sa viac či menej navzájom líšia. V nasledovnej časti uvádzame prehľad týchto skúšobných postupov a zásadných rozdielov medzi nimi.

• Slovensko: STN 73 1316

Na Slovensku sú v platnosti dva skúšobné postupy určovania nasiakavosti betónu. Metóda podľa STN 73 1316 sa uplatňuje pre betón vystavený chemicky agresívnemu prostrediu, resp. betón špecifikovaný pre stupne vplyvu prostredia XA.

- K výsledku skúšky v percentách hmotnosti sa uvádza aj objemová hmotnosť skúšaného betónu vo vysušenom stave.
- Vlhkostné charakteristiky betónu sa stanovujú pre každú jednotlivú skúšobnú vzorku. Výsledkom skúšky (v prípade výrobné-kontrolných skúšok) je veličina stanovená na jednej skúšobnej vzorke, prípadne aritmetický priemer hodnôt zistených na všetkých skúšobných vzorkách. V prípade preukazných alebo iných skúšok je výsledkom aritmetický priemer hodnôt zistených na sade najmenej dvoch skúšobných vzoriek.
- Hmotnosť skúšobnej vzorky sa stanovuje s presnosťou najmenej 0,25 % hmotnosti skúšobnej vzorky.
- Výsledok skúšky sa uvádza v % hmotnosti vysušenej vzorky (prípadne v % objemu) so zaokrúhlením na 0,1 % hodnotenej veličiny.
- Okamžitá vlhkosť betónu sa skúša na vzorkách, ktoré majú mať objem aspoň 0,001 m³, pri použití kameniva D_{max} 22 mm, resp. 0,003 m³ pri použití kameniva s D_{max} nad 22 mm.
- Sušenie sa predpisuje pri teplote (110±5) °C.
- Nasiakavosť sa skúša na skúšobných vzorkách pravidelného tvaru alebo na úlomkoch betónu nepravidelného tvaru. Vek betónu v čase začiatku skúšok má byť najmenej 28 dní.
- Postup skúšky uvádza, že skúšobné vzorky sa odvážia. Potom sa uložia do nádoby s vodou tak, aby mali čo najmenšiu výšku (pozdĺžne vzorky naležato). Nádoba musí byť najmenej o 50 mm vyššia ako vložené skúšobné vzorky. Do nádoby sa naleje voda tak, aby skúšobné vzorky boli omočené na výšku 30 mm. Potom sa v časových odstupoch po 1 h dolieva voda tak, aby po 6 h dosiahla úroveň asi 10 mm nad horným povrchom skúšobných vzoriek. Tento stav sa udržiava dolievaním vody po celú dobu nasakovania telies. Nasakovanie vodou sa kontroluje vážením každých 24 h. Pred vážením sa vzorky opatrne otrú tak, aby povrch betónu bol rovnomerne vlhký. Nasakovanie vzoriek sa skončí, ak zmena hmotnosti počas posledného časového odstupu (1, 2, 3, 7, 14, 21, 28, 42, 56, 90, 180 a 365 dní) je menšia ako predpísaná presnosť váženia. Po skončení nasakovania a vážení sa skúšobné vzorky vysušia do ustálenej hmotnosti pri teplote (110±5) °C. Nasiakavosť v betóne v % hmotnosti sa určuje podľa vzťahu 1.

$$v = \frac{m_s - m_d}{m_d} \cdot 100\% \quad (1)$$

kde: m_s je hmotnosť skúšobnej vzorky nasiaknutej vodou (g);
 m_d hmotnosť skúšobnej vzorky vysušenej (g).

Druhou metódou určovania nasiakavosti platnej na Slovensku je postup **podľa prílohy G normy STN EN 13369**. Táto sa primárne vzťahuje na betónové prefabrikáty. Skúšobný postup sa popisuje nasledovne.

- Vzorkou je teleso vzniknuté vyrezaním alebo vyvrtaním z prefabrikátu alebo zhotovené z rovnakého betónu ako prefabrikát, a to vo formách uložených v rovnakých podmienkach ako prefabrikát.
- Vek telesa na začiatku skúšky musí byť najmenej 28 dní.
- Ak je pre hmotnosť skúšobného telesa m platí $1,5 \text{ kg} < m \leq 5,0 \text{ kg}$, skúša sa celý prefabrikát bez toho, aby mal niektorú plochu chránenú živcou.
- Skúšobným telesom môže byť valec odobratý z prefabrikátu vrtaním alebo hranol odobratý z prefabrikátu rezaním.
- Veľkosť skúšobného telesa v tvare valca s priemerom D a výškou H a skúšobného telesa v tvare hranola so štvorcovým prierezom s dĺžkou strany A a výškou H , musia spĺňať požiadavky na rozmery uvedené v tabuľke G.1, pričom sa majú vziať do úvahy dva druhy skúšobných telies:
 - 1) Tenké prefabrikáty (s hrúbkou E najmenej 30 mm a menej ako 100 mm)
 - rezané plochy sa majú chrániť živcou;
 - obidve nerezané plochy ostávajú nechránené;
 - 2) Hrubé prefabrikáty (s hrúbkou E najmenej 100)
 - Skúšobné teleso sa odoberie z celej hrúbky prefabrikátu a ak je to potrebné, môže sa rezaním skrátiť.
- Ak z prefabrikátu nemožno odobrať skúšobné teleso v tvare valca alebo hranola, ktoré spĺňa uvedené podmienky, môžu sa z prefabrikátu odobrať skúšobné telesá iných tvarov ak ich objem V a rozvinutý povrch S spĺňajú požiadavky uvedené v tabuľke G.1.

Skúšobné teleso vyrobené vo forme musí spĺňať rovnaké podmienky uvedené v tabuľke G.1.

Tab. G.1: Geometrické požiadavky na skúšobné telesá

		Hrúbka prefabrikátu	Valec		Hranol		Iný tvar	
		E (mm)	H (mm)	D (mm)	H (mm)	A (mm)	V (cm³)	S (cm²)
Teleso vyrezané z prefabrikátu	Tenký prefabrikát	30 ≤ E < 50	E	200 ≤ D < 250	E	200 ≤ A < 250	800 ≤ V ≤ 2000	1,2 ≤ V/S ≤ 2,0
		50 ≤ E < 70	E	160 ≤ D < 200	E	160 ≤ D < 200		
	Hrubý prefabrikát	70 ≤ E < 100	E	140 ≤ D < 160	E	140 ≤ D < 160		
		E ≥ 100	½ D ≤ H < D	100 ≤ D ≤ 160	½ D ≤ A < D	100 ≤ A < 150		
Teleso zhotovené vo forme			½ D ≤ H < D	100 ≤ D ≤ 160	½ D ≤ A < D	100 ≤ A < 150		

- Pri valcoch môže byť horná a dolná podstava chránená živcou. Obvodová plocha musí ostať bez ochrany. Nechránené plochy by mali byť tie, ktoré tvarovala forma. Pri hranoloch môže byť obvodová plocha chránená živcou. Ostávajúce dve protiľahlé plochy musia ostať bez ochrany. Tiež platí, že nechránené plochy by mali byť tie, ktoré tvarovala forma.

- Vzorky, s teplotou (20±3) °C, sa pred skúškou očistia od prachu a nečistôt kefou. Stanovené plochy sa ochráni živicom.
- Skúšobné telesá sa ponoria do nádoby s pitnou vodou (teploty (20±5) °C). Nádoba na ponorenie telies musí mať objem väčší ako 2,5 násobok objemu skúšobných vzoriek a musí umožňovať ponorenie vzoriek aspoň 5 cm nad ich horný okraj. Telesá musia byť navzájom vzdialené najmenej 15 mm a zaliate vodou najmenej 20 mm nad horný okraj. Minimálny čas ponorenia musí byť 3 dni, až do dosiahnutia ustálenej hmotnosti M1. Ustálenou hmotnosťou sa rozumie stav ak je rozdiel dvoch po sebe meraných hmotností menší ako 0,1 %, a to v intervale 24 h. Pred vážením sa každé skúšobné teleso utrie od prebytočnej vody, tak aby povrch telesa ostal vlhký. Zaznamená sa hodnota M1.
- Následne sa skúšobné telesá umiestnia do sušiarne tak, aby medzi nimi boli medzery najmenej 15 mm a sušia sa pri teplote (105±5) °C minimálne 3 dni a pokračuje sa až do dosiahnutia ustálenej hmotnosti M2. Ustálenou hmotnosťou sa rozumie stav ak je rozdiel dvoch po sebe meraných hmotností menší ako 0,1 %, a to v intervale 24 h. Pred vážením sa telesá nechávajú vychladnúť počas (30-60) minút.
- Sušiareň má byť vybavená nútenou ventiláciou alebo má mať pomer objemu (v litroch) k ploche vetracích kanálov menší ako 0,2 mm². Zároveň musí mať objem väčší ako 2,5 násobok objemu telies, ktoré sa v nej majú sušiť.
- Sušiareň sa nemá zaplniť novými (vlhkými) vzorkami, ak cyklus sušenia už dosiahol 48 h.
- Nasiakavosť každého skúšobného telesa (v % hmotnosti) sa stanoví podľa vzťahu 2:

$$v = \frac{M1-M2}{M2} \cdot 100\% \quad (2)$$

kde: M1 je hmotnosť skúšobnej vzorky nasiaknutej vodou (g);
M2 hmotnosť skúšobnej vzorky vysušenej (g).

• **Česko ČSN EN ISO 12570 a Slovensko STN EN ISO 12570**

V Českej republike sa nehodnotí nasiakavosť betónu. Hodnotí a zisťuje sa len vlhkosť, a to podľa ČSN EN ISO 12570, a to zrejme pre účely posudzovania parametrov vstupujúcich do tepelno-vlhkostných výpočtov v rámci posudzovania stavebnej fyziky, teplotníky alebo objemových zmien betónu. Na Slovensku platí STN EN ISO 12570. Obidva národné varianty sa vzťahujú na pórovité materiály priepustné pre vodu. Z tejto definície sa preto nevzťahujú na konštrukčné betóny.

- Normou sa stanovuje hmotnostný podiel vlhkosti, a to konkrétne vyjadrený ako podiel hmotnosti odparenej vody a hmotnosti suchej vzorky (vynásobený 100%).
- Pri skúškach sa používajú váhy s citlivosťou 0,1 % hmotnosti vzorky.
- Teplota prostredia v laboratóriu sa predpisuje (23±6) °C.
- Vzorka (betónu) sa suší pri teplote (105±2) °C až do dosiahnutia konštantnej hmotnosti.
- Konštantnou hmotnosťou sa rozumie zmena hmotnosti medzi tromi váženiami (najmenej po 24 h sušenia) menší ako 0,1 % celkovej hmotnosti.
- Pred vážením vzorky chladnú v exsikátore.

• **Maďarsko: MSZ 4713/3**

V Maďarsku sa, podobne ako na Slovensku, hodnotí okrem vlhkosti aj nasiakavosť betónu. Navyše, rozlišuje sa nasiakavosť pri rôznych okrajových podmienkach súvisiacich s tlakom. Uplatňuje sa norma MSZ 4713/3. Vyberáme z nej nasledovné dôležité ustanovenia.

- Skúšobné telesá môžu mať pravidelný alebo nepravidelný tvar. Povrch však musí byť taký, aby počas skúšky nedochádzalo k odlupovaniu, rozprášeniu alebo iným stratám materiálu. Tvar telies

musí byť kompaktný, t.j. dĺžka telesa nesie presahovať trojnásobok hrúbky telesa. Teleso s $D_{\max}$ do 32 mm musí mať objem najmenej 4 dm³. Teleso s $D_{\max}$ väčším ako 32 mm musí mať objem najmenej 8 dm³.

- Z povrchu skúšobných telies sa musia odstrániť všetky cudzorodé látky. Povrch telies vyrobených vo formách sa má zdrsníť drôtenou kefou.
- Na meranie hmotnosti sa musia použiť váhy, ktorých rozsah merania neprekračuje dvojnásobok hmotnosti vzorky a citlivosť merania nepresahuje menšiu z hodnôt 10 g, resp. 0,1 % hmotnosti vzorky.
- Pripravené skúšobné telesá sa vysušia na ustálenú hmotnosť m_0 (pri teplote (105-110) °C). Hmotnosť sa meria každých 24 h. Ustálenou hmotnosťou sa rozumie zmena hmotnosti skúšobného telesa medzi dvomi po sebe nasledujúcimi meraniami menšia, nanajvýš rovná 10 g alebo 0,1 % z predchádzajúcej hmotnosti. Po odpočítaní známej hmotnosti podložky od výsledku posledného merania hmotnosti sa vypočíta hmotnosť m_0 skúšobného telesa vysušeného na ustálenú hmotnosť.
- Vysušené skúšobné teleso sa ponorí do vody do hĺbky cca. 30 mm, aby časť nad vodnou hladinou nepresahovala 200 mm. Zospodu ploché skúšobné teleso (napr. kocky) treba umiestniť najviac na tri oporné podložky, z ktorých má každá plochu nepresahujúcu 200 mm² tak, aby sa voda dotýkala aj spodného povrchu skúšobného telesa. Na skúšku sa musí použiť pitná voda s teplotou (20±3) °C. Voda by mala byť počas skúšky pokojná. Hladina vody sa musí zvyšovať proporcionálne každú hodinu tak, aby sa po 3 h od začiatku skúšky nad najvyšším bodom skúšobného telesa nachádzalo približne 10 mm vody. V tejto výške treba udržiavať hladinu vody až do ukončenia skúšky.
- Skúšobné telesá sa pravidelne (každých 24 h) vyberú z vody, povrchovo osušia vlhkou plátennou handričkou a odvážia sa. Nasakovanie sa vykonáva až do ustálenej hmotnosti, t.j. kým sa výsledky dvoch po sebe nasledujúcich meraní nezhodnú aspoň na 0,1 %.
- Ak sa niektoré skúšobné teleso počas plnenia vodou poškodí (dôjde k strate hmotnosti), nemožno ho použiť na ďalšie skúšky.
- Hmotnosť určená pri poslednom meraní m_f je hmotnosť skúšobného telesa nasiaknutého vodou.
- Nasiakavosť skúšobného telesa (%) je vyjadrená ako percento hmotnosti vysušeného skúšobného telesa podľa vzťahu 3:

$$v = \frac{m_f - m_0}{m_0} \% \quad (3)$$

kde: m_f je hmotnosť skúšobnej vzorky nasiaknutej vodou (g);
 m_0 hmotnosť skúšobnej vzorky vysušenej (g).

Okrem štandardnej nasiakavosti, ako ju poznáme na Slovensku, táto norma rozlišuje aj nasiakavosť v tzv. odvzdušnenom priestore (t.j. vo vákuu). Vtedy sa pripravené, na vzduchu vysušené skúšobné teleso (po zmeraní hmotnosti) umiestni do nádoby naplnenej prevarenou vodou a spolu s nádobou sa na 3 h umiestni do odvzdušneného priestoru, ktorý je pod tlakom (0,20-0,26) N/cm² (15-20 torr). Skúšobné teleso sa potom uchováva ďalších 21 h v nádobe s prevarenou vodou pod atmosférickým tlakom. Následne sa postupuje podľa už popísaného postupu.

Ďalšou špecifickou nasiakavosťou je nasiakavosť skúšobného telesa pod tlakom. V tomto prípade sa zistí hmotnosť pripraveného, na vzduchu uschnutého skúšobného telesa. To sa potom umiestni do nádoby naplnenej vodou a spolu s ňou sa umiestni do takého priestoru, kde je možné zabezpečiť pretlak vodou bez toho, aby sa skúšobné teleso vybralo z vody. Skúšobné teleso treba 3 h udržiavať v odvzdušnenom priestore pod tlakom (0,2-0,26) N/cm² (zodpovedajúcemu tlaku (15-20) mm na ortuťovom stĺpci), potom 3 h pod atmosférickým tlakom. Následne sa pretlak 30 daN/cm²/h (kp/cm²/h) rovnomerne zvyšuje v priebehu hodiny na 150 daN/cm² (kp/cm²). Pri tomto tlaku treba ďalších 21 h plniť vodou. Nakoniec sa

musí tlak rovnomerne uvoľňovať rýchlosťou 75 daN/cm²/h (kp/cm²/h). Skúšobné teleso sa vyberie z vody a do 20 minút sa musí povrch opatrne utrieť vlhkou plátennou handričkou a zistiť jeho hmotnosť podľa popísaného postupu.

- **Poľsko: PN-88/B-06250**

V Poľsku sa, podobne ako na Slovensku, hodnotí okrem vlhkosti aj nasiakavosť betónu. Uplatňuje sa skúšobný postup uvedený v norme PN-88/B-06250 upravujúcej požiadavky na zložky betónu a vlastnosti hotového betónu. Nasiakavosť betónu definuje ako hmotnosť vody, ktorú je betón schopný absorbovať ku svojej hmotnosti v suchom stave. Vyberáme z nej nasledovné dôležité ustanovenia.

- Nasiakavosť betónu by nemala prekročiť:
 - 1) 5% - v prípade betónov priamo vystavených poveternostným podmienkam;
 - 2) 9% - v prípade betónov chránených pred priamymi poveternostnými podmienkami.
- Pri skúškach nasiakavosti sa ako vzorky používajú telesá vyrobené v laboratórnych podmienkach podľa predpísaného postupu a na vzorkách odobratých v betonárni najmenej 3x počas realizácie konštrukcie a nie menej často ako 1 krát na 5 000 m³ betónu. Odporúča sa skúšať nasiakavosť aj na vzorkách vyrezaných zo konštrukcie. Stanovenie nasiakavosti vzoriek vyrezaných z konštrukcie sa vykonáva najmenej na 5 vzorkách odobratých z náhodne vybraných rôznych miest konštrukcie, reprezentujúcich kvalitu daného betónu, a to najskôr po 28 dňoch veku betónu.
- Nasiakavosť betónu sa určuje na vzorkách pravidelného tvaru, napríklad na takých, ako sa používajú na skúšky pevnosti v tlaku alebo aj na nepravidelných vzorkách. Objem vzoriek by nemal byť menší ako 1 dm³ pre D_{max} 16 mm, resp. 2 dm³ pre D_{max} nad 16 mm.
- Počet vzoriek na jedno stanovenie nasiakavosti betónu by nemal byť menší ako:
 - 1) 3 pre vzorky pravidelného tvaru;
 - 2) 5 pre vzorky nepravidelného tvaru odobraté z rôznych náhodne vybraných miest konštrukcie.
- Vzorky sa umiestnia do nádoby s vodou tak, aby výška vzorky nepresiahla 200 mm a základňa sa nedotýka dna nádoby (použijú sa podložky s hrúbkou 10 mm). Vzorky sa ponoria do vody s teplotou (18±2) °C tak, aby vodná hladina siahala do polovice ich výšky. Po 24 h sa príleje zvyšná voda tak, aby boli vzorky ponorené najmenej 10 mm. Úroveň vodnej hladiny sa udržiava počas celej doby nasakovania.
- Vzorky sa každých 24 h vyberú z vody a ich povrch sa otrie. Odváža sa ich hmotnosť (s presnosťou 0,2 %). Nasakovanie pokračuje kým sa v dvoch po sebe nasledujúcich váženíach nezaznamená nulový prírastok hmotnosti.
- Úplne nasýtené vzorky sa vložia do sušiarne s teplotou (105-110) °C a sušia sa do ustálenej hmotnosti.
- Výpočet nasiakavosti n_w betónu sa uskutočňuje podľa vzťahu 4:
$$n_w = \frac{G_2 - G_1}{G_1} \cdot 100 \quad (4)$$
kde:
 - G1 - priemerná hmotnosť suchých vzoriek (g),
 - G2 - priemerná hmotnosť vzoriek nasýtených vodou (g).
- V prípade vzoriek, ktoré nie sú rovnomerne narezané, by sa mala namiesto priemernej hmotnosti použiť celková hmotnosť vo vzťahu 4.

- **Francúzsko: NF EN 13369**

V tabuľke F.2 národnej prílohy k NF EN 206 sa vo Francúzsku stanovuje požiadavka na maximálnu nasiakavosť betónu stanovenú podľa NF EN 13369. Hodnoty maximálnej nasiakavosti sa uvádzajú v tab. F.2. Požiadavky na maximálnu nasiakavosť sú v porovnaní s požiadavkami na Slovensku prísnejšie (XA1-XA3) a hlavne komplexnejšie – pre všetky stupne vplyvu prostredia. Na druhej strane je však potrebné zdôrazniť aj to, že sa tu neuvádzajú požiadavky na minimálnu dávku cementu.

Tab. F.2: Požiadavky na maximálnu nasiakavosť betónu podľa NF EN 206/NA

Stupeň vplyvu prostredia	X0	XC1	XC2	XC3	XC4	XS1	XS2	XS3	XD1
Maximálna nasiakavosť (%)	-	7,0	7,0	6,5	6,5	6,0	6,0	5,5	6,5
Stupeň vplyvu prostredia	XD2	XD3	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2	XA3
Maximálna nasiakavosť (%)	6,0	5,5	6,5	5,0	5,0	4,0	6,0	5,5	5,0

Čo sa týka samotného skúšobného postupu podľa prílohy G k NF EN 13369, ten sa zhoduje s postupom uvedeným v prílohe G k STN EN 13369.

- **Belgicko: NBN B 15-215**

Táto belgická norma definuje skúšobný postup pre stanovenie nasiakavosti tvarovaných vzoriek betónu alebo vývrtov (valcov) s cieľom vyhodnotiť vlastnosť – odolnosť proti absorpcii vody ponorením. Výsledky skúšok poskytujú odhad potenciálnej trvanlivosti betónu. Norma platí na všetky druhy zatvrdnutého betónu vyrobené zo všetkých druhov kameniva.

- Môžu sa použiť nasledujúce typy skúšobných telies:
 - 1) vzorky odobraté vŕtaním alebo pílením z konštrukcie alebo betónového výrobku;
 - 2) vzorky odobraté vŕtaním alebo pílením z formovanej vzorky betónu (kocka, valec);
 - 3) lisované skúšobné vzorky (musia sa odstrániť všetky stopy oleja z debnenia);
 - 4) celé výrobky.
- Rozmery skúšobných telies sa obmedzujú nasledovne, s výnimkou špeciálnych prípadov ustanovených inými normami:
 - 1) objem V každého skúšobného telesa musí byť v intervale (800-1200) cm³;
 - 2) pomer V/S medzi jeho objemom V (cm³) a povrchom jeho plášťa S (cm²) je v intervale (1,2-2,0) cm.
- Skúška nasiakavosti vylučuje vykonanie skúšok na telesách, ktoré:
 - 1) ešte nemajú vek aspoň 28 dní;
 - 2) nie sú dostatočne zhydratované a voda, z ktorých nemala možnosť uniknúť
 - 3) už boli podrobené tejto skúške (boli sušené pri teplote nad 45 °C)

- Výroba kociek, valcov alebo hranolov sa musí vykonávať v súlade s NBN EN 12390-2 a po odformovaní sa musia uložiť a kondiciovať podľa NBN EN 12390-2 aspoň do veku 14 dní. Akékoľvek vŕtanie, rezanie a tvarovanie sa vykonáva až po dosiahnutí tohto veku.
- Takto pripravené vzorky sa následne skladujú 28 dní v klimatizovanej miestnosti pri teplote $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$ a relatívnej vlhkosti $(60 \pm 5) \%$.
- Pre betón z výroby prefabrikátov alebo pre betón s použitím CEM I platí, že vzorky sa uchovávajú v klimatizovanej komore pri teplote $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$ a relatívnej vlhkosti $(60 \pm 5) \%$ najmenej po dobu kým dve po sebe nasledujúce vážená, s odstupom $(24 \pm 2) \text{ h}$, vykazujú hmotnostný rozdiel menší ako $0,1 \%$ hmotnosti skúšobnej vzorky. V každom prípade nesmie byť minimálny vek betónu počas ponorenia kratší ako 28 dní.
- Operácie sa musia vykonávať v nasledujúcom poradí:
 - 1) ponorenie do konštantnej hmotnosti;
 - 2) sušenie na konštantnú hmotnosť.
- Všetky vážená sa musia vykonávať na váhach s presnosťou vážená $0,05 \%$ z hmotnosti vzorky.
- Skúšobné vzorky sa ponoria do nádrže na vodu s teplotou $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$. Uložené sú tak, aby boli zo všetkých strán (aj zospodu) obklopené aspoň 5 mm vrstvou vody. Ponorenie trvá minimálne 48 h, kým sa nedosiahne konštantná hmotnosť. Konštantná hmotnosť sa dosiahne vtedy, keď dve po sebe idúce vážená (vykonané s odstupom $(24 \pm 1) \text{ h}$) vykazujú hmotnostný rozdiel menší ako $0,1 \%$ hmotnosti skúšobného telesa získaného počas posledného vážená.
- Vzorky sa pred vážením vyberú z vody a ich povrch sa utrie vlhkou handričkou. V prípade vzoriek s otvorenou štruktúrou povrchu sa vzorka uloží na nenasiakavý podklad, nechá sa odtiecť a povrch sa utrie vlhkou handričkou.
- Konštantná hmotnosť sa zaznamená ako hmotnosť $M_1 \text{ (g)}$.
- V prípade skúšobných telies, ktoré sa ošetrovali podľa 6.1.3 (14 + 28 dní), hmotnosť M_1 je hmotnosť vzorky na konci skladovania vo vode, t.j. po 28 dňoch.
- Vzorky vložte do vetranej sušiarne, ktorej teplota sa udržiava na $(105 \pm 5) ^\circ\text{C}$. Počas sušenia musia byť medzi vzorkami ponechané medzery vo všetkých smeroch. Objem vzoriek v sušiarne nesmie presiahnuť polovicu objemu sušiarne.
- Pridanie mokrých vzoriek do sušiarne obsahujúcej vzorky, ktorých cyklus sušenia je spustený už nie je povolený.
- Sušenie pokračuje minimálne 72 h, kým sa nedosiahne konštantná hmotnosť. Konštantná hmotnosť sa dosiahne, keď dve po sebe nasledujúce vážená (s odstupom $(24 \pm 1) \text{ h}$) predstavujú hmotnostný rozdiel menej ako $0,1 \%$ hmotnosti skúšobnej vzorky získanej počas posledného vážená.
- Konštantná hmotnosť sa zaznamená ako hmotnosť $M_2 \text{ (g)}$.
- Nasiakavosť ponorením označená A je vyjadrená ako percento hmotnosti suchej vzorky a určuje sa podľa vzťahu 5.

$$A = \frac{M_1 - M_2}{M_2} \cdot 100 \quad (5)$$

kde: M_1 je hmotnosť skúšobnej vzorky nasiaknutej vodou (g);
 M_2 hmotnosť skúšobnej vzorky vysušenej (g).

2.3 Zistená nekonzistentnosť

V skúšobných postupoch sa zistila nekonzistentnosť na viacerých úrovniach. Nehodnotíme či a ktorý z postupov je správny. Usudzujeme, že tak, ako existujú rôzne technické dôvody pre hodnotenie nasiakavosti betónu v jednotlivých krajinách, tak existujú aj rôzne postupy, ktoré sú vhodné pre dosiahnutie výsledkov s dostatočnou výpovednou hodnotou. V tejto časti však poukazujeme práve na rozmanitosť týchto postupov a sumarizujeme zásadné zistenia, ktoré sme neskôr zvážili a prípadne aj využili pri zostavovaní metodiky experimentálnej časti RÚ. Zjednodušený prehľad týchto variácií skúšobných postupov uvádzame v tab. 3.

Ako rozhodujúce, s uvážením vhodnosti zosúladovania sme identifikovali nasledovné parametre, ktoré sme zohľadnili aj v metodike experimentálneho overovania:

- Interval teploty sušenia 100 °C – 115 °C;
- Veľkosť vzorky;
- Poradie skúšobných vetiev nasakovania a sušenia;
- Podrobnosti nasakovania v zmysle postupného vs. jednorazového ponorenia, teploty vody a minimálnej doby ponorenia;
- Citlivosť váženia (v nasakovacej aj sušiacej vetve), resp. definícia ustálenej hmotnosti od $\Delta = 0$ g až do 0,25 % (z cca 2300 g $\approx$ 5,75 g, resp. z 8000 g $\approx$ 20 g). Napr. v EN 13369 sa definuje ustálená hmotnosť ako 0,10 % z poslednej meranej hmotnosti (napr. v prípade vzorky 1000 g $\approx$ 1 g).
- V niektorých skúšobných postupoch nie je zadefinovaný interval, v ktorom sa má meranie vykonávať. Ten zásadne môže ovplyvniť výsledok skúšky v zmysle vyhodnotenia ustálenej hodnoty.

Tab. 3: Prehľad požiadaviek na vzorky, prípravu a skúšanie

Parameter	Slovensko		Česko a Slovensko	Maďarsko	Poľsko	Francúzsko	Belgicko
	STN 73 1316	STN EN 13369	ČSN (STN) EN ISO 12570	MSZ 4713/3	PN-88/B - 06250	NF EN 13369	NBN B 15-215
Veľkosť vzorky	>1000 cm ³ D _{max} 22	(1,5 – 5,0) kg		>4000 cm ³ D _{max} 32; >8000 cm ³ D _{max} 32+	>1000 cm ³ D _{max} 16; >2000 cm ³ D _{max} 16+	(1,5 – 5,0) kg;	(800-1200) cm ³
Počet telies	VKS: 1; Preukazné skúšky: 2				3 – pravid. tvar; 5 - nepravid. tvar		
Nasakovanie	Namočenie 30 mm; Dolievanie vody 6 h; Váženie á 24 h.	Voda (20±5) °C	-	Ponor 30 mm; Dolievanie 3 h; Voda (20±3) °C; Váženie á 24 h; Δ max 0,10 %	24 h ponor na ½ výšky; Zaliatie 10 mm nad hranu; Voda (18±2) °C; Δ= 0 g	Voda (20±5) °C	Voda 20±2 °C; Min 48 h.; Váženie á (24±1) h; Δ max 0,10 %
Sušenie	(110±5) °C	(105±5) °C; Min 72 h.	(105±2) °C	(105-110) °C á 24 h; Δ max 0,10 %	(105-110) °C	(105±5) °C Min 72 h.	(105±5) °C; Min 72 h.
Sušiareň	-	Plnenie na max 40 % objemu	RH < 10 %			Plnenie na max 40 % objemu	Plnenie na max 50 % objemu
Sekvencia vetiev	Nasakov. / Sušenie	Nasakov. / Sušenie	Len sušenie	Sušenie / Nasakov.	Nasakov. / Sušenie	Nasakov. / Sušenie	Nasakov. / Sušenie
Ustálená hmotnosť	0,25 %	0,10 % za 24 h.	0,10 % za 24 h.	10 g; resp. 0,10 %		0,10 % za 24 h.	0,10 % za (24±1) h.
Presnosť váženia	0,25 %	0,10 %	0,10 %	10 g; resp. 0,10 %	0,20 %	0,10 %	0,05 %
Limitná nasiakavosť	STN EN 206/NA		-		5 % / 9 %	NF EN 206/NA	
Iné							Vek nad 28 dní; Vylúčenie už sušených vzoriek nad 45 °C; Vylúčenie pridávania vzoriek do sušiarne

Nekonzistentnosť sa potvrdila aj v rámci porovnávacích meraní vykonaných v iných pracoviskách. TSÚS, pracovisko Žilina, sa v roku 2018 venovalo experimentálnemu overeniu hypotézy, že zámena skúšobných vetiev, resp. ich modifikácia vedie k nesprávnym výsledkom. Spracovali tri alternatívy skúšok nasiakavosti vzoriek betónu.

- Alt 1) Nasakovanie a sušenie, Nasakovanie a sušenie (normový postup)
- Alt 2) Sušenie a nasakovanie, Sušenie a nasakovanie (obrátený normový postup)
- Alt 3) Nasakovanie, sušenie a nasakovanie

Priebeh vetiev nasakovania a sušenia sa dodržal v zmysle STN 73 1316. Interval váženía bol stanovený 24 h v obidvoch vetvách skúšky. Skúška sa ukončila, keď rozdiel dvoch za sebou nasledujúcich vážení bol menší ako 0,25 % poslednej zistenej hmotnosti vzorky.

Tab. 4: Výsledky Alt. 1 (normový postup)

Číslo	Hmotnosť nasiaknutých vzoriek			Hmotnosť vysušených vzoriek			Nasiakavosť					
							Jednotlivo			Priemerná		
	5.1	5.2	Δ	5.1	5.2	Δ	5.1	5.2	Δ	5.1	5.2	Δ
	(g)			(g)			(%)			(%)		
1	7870	7807	63	7359	7346	13	6,94	6,28	0,66	6,9	6,2	0,7
2	7876	7814	62	7379	7366	13	6,73	6,08	0,65			
3	7813	7751	62	7305	7292	13	6,95	6,29	0,66			

Tab. 5: Výsledky Alt. 2 (obrátený normový postup)

Číslo	Hmotnosť nasiaknutých vzoriek			Hmotnosť vysušených vzoriek			Nasiakavosť					
							Jednotlivo			Priemerná		
	6.1	6.2	Δ	6.1	6.2	Δ	6.1	6.2	Δ	6.1	6.2	Δ
	(g)			(g)			(%)			(%)		
1	7840	7845	-5	7390	7389	1	6,09	6,17	-0,08	6,2	6,2	-0,1
2	7887	7891	-4	7416	7418	-2	6,35	6,38	-0,03			
3	7931	7936	-5	7474	7474	0	6,11	6,18	-0,07			

Tab. 6: Výsledky Alt. 3 (nasakovanie, sušenie a nasakovanie)

Číslo	Hmotnosť nasiaknutých vzoriek			Hmotnosť vysušených vzoriek			Nasiakavosť					
							Jednotlivo			Priemerná		
	7.1	7.2	Δ	7.1	7.2	Δ	7.1	7.2	Δ	7.1	7.2	Δ
	(g)			(g)			(%)			(%)		
1	7862	7795	67	7352	7352	0	6,94	6,03	0,91	6,9	6,0	0,9
2	7896	7834	62	7384	7384	0	6,93	6,09	0,84			
3	7983	7920	63	7479	7479	0	6,74	5,90	0,84			

Zistenia:

1. Normový postup skúšky opakovane stanovil referenčnú hodnotu nasiakavosti 6,9 %.
2. Už opakovaný normový postup dosiahol nižšiu hodnotu nasiakavosti (o 0,7 %). Pri opakovanej skúške na tých istých skúšobných telesách, tieto neboli schopné prijať porovnateľné množstvo vody ako pri prvej skúške.

Poznámka: To je v súlade s pozorovaniami [28, 29] zavedenými v NBN B 15-215. Jeden mechanizmus, ktorý spôsobuje sorpčnú hystereziu pri nízkom tlaku vodných pár, je súbor prelomovacích nestabilných stavov spôsobujúcich nejednoznačnosť množstva vody (závislú na spôsobe expozície) a dynamické skoky obsahu vody v nanopóroch pri konštantnom tlaku vodnej pary. Ďalším mechanizmom je nestabilita stavov v dôsledku diskretnosti adsorbovanej vody na povrchu kapilár. To vedie k nejednoznačnosti hmotnostného množstva vody a nesprávnemu zápornému tlaku oddeľujúcemu susedné steny kapiláry v dôsledku rozdielu medzi šírkou kapiláry a celočíselného násobku hrúbky monomolekulárnej vrstvy vody (pórového roztoku). Čím je kapilára širšia, tým je mechanizmus prelomovacích nestabilit slabší. Tento mechanizmus nefunguje v kapilárach širších ako cca 3 nm.

3. Nie je správne pred skúškou vzorku vysušiť a v laboratóriu si modifikovať postup skúšky nasakovaním do ustálenej hmotnosti, t.j. zameniť poradie vetiev.

2.4 Výsledky skúšok v rámci medzilaboratórnych porovnávaní

V tejto časti prezentujeme súhrnné výsledky skúšok nasiakavosti v rámci medzilaboratórneho porovnávania, ktoré sme organizovali v roku 2021, s dátumom vzorkovania 25.5.2021 a dátumom skúšania 22.6.2021. Zároveň uvádzame, že počas vzorkovania pre medzilaboratórne porovnávanie (MLP) sme odobrali aj vzorky betónu pre zámerné variácie skúšobných postupov s cieľom identifikovať vplyv rôznych parametrov skúšobných postupov na výsledok. Dôležitým faktom je, že výsledky sú prinajmenšom porovnateľné aj s výsledkami iných akreditovaných laboratórií, ktoré sa zúčastnili skúšok v rámci MLP.

Medzilaboratórne porovnávanie sa konalo v rámci programu označeného 2021-BIMLP.05. Programu sa zúčastnilo 9 účastníkov, resp. 15 subjektov – stavebných laboratórií. Skúšky sa vykonali bez odchýlok od skúšobného postupu.

○ COLAS Slovakia, a.s.	Laboratórium Nitra
○ COLAS Slovakia, a.s.	Laboratórium Košice
○ TPA, s.r.o.	Laboratórium Zvolen
○ TPA, s.r.o.	Laboratórium Podunajské Biskupice
○ TPA, s.r.o.	Laboratórium Geča
○ TESScontrol, s.r.o.	Laboratórium Bratislava
○ TESScontrol, s.r.o.	Laboratórium Prešov
○ TESScontrol, s.r.o.	Laboratórium Žilina
○ TESScontrol, s.r.o.	Laboratórium Zvolen
○ CRH (Slovensko), a.s.	Laboratórium Bratislava
○ SQZ, s.r.o.	Laboratórium Bratislava
○ TSÚS, n.o.	Laboratórium Žilina
○ CONTROL-VHS-SK, s.r.o.	Laboratórium Žilina
○ VIALAB SK, s.r.o.	Laboratórium Košice

Materiálom, resp. skúšobnými vzorkami v programe MLP bol zatvrdnutý betón STN EN 206 - C30/37 - XC4, XD2, XF4, XA2 (Sk) - C10,4 - $d_{\max}16$ - S4, mp. 50 mm. Vzorky čerstvého betónu sa podrobili homogenizácii a následnému spracovaniu do presných foriem. Spracovanie čerstvého betónu a príprava vzoriek trvala približne hodinu. Organizátor MLP sa rozhodol vzorky rozdeliť podľa časového odstupu prípravy vzoriek rozdelením na tretiny. Každé laboratórium dostalo vzorku zo začiatku, stredu a konca odberu vzoriek. Následne sa vzorky po vybratí z foriem uložili do vodného kúpeľa, kde sa ošetrovali v zmysle normy. Ďalej

sa vzorky pripravili na prevzatie a distribúciu účastníkom, a to vo veku vzoriek cca 3 týždne. Maximalizoval sa tak čas jednotného kondicionovania vzoriek.

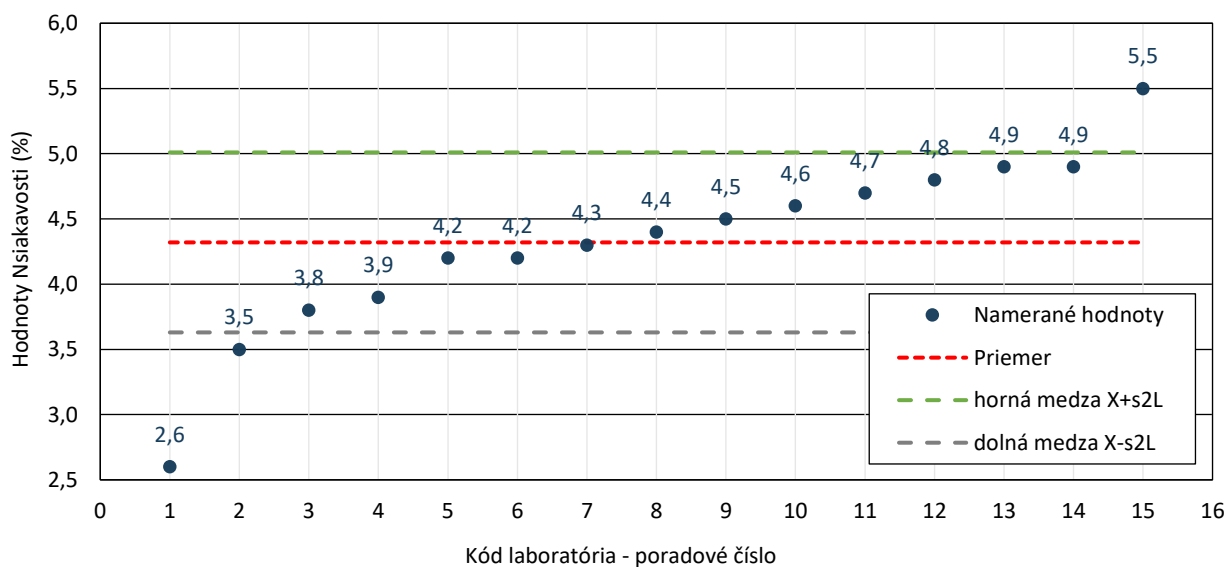
Spôsob vyhodnotenia celého programu bol založený na metóde konsenznej hodnoty vybraných charakteristík, určených ako nominálna hodnota aritmetického priemeru z výsledkov všetkých subjektov MLP, a to z týchto dôvodov:

- o počet účastníkov programu a tým aj súbor výsledkov skúšok,
- o prirodzená heterogenosť materiálu, vylučujúca použitie referenčnej hodnoty danej výrobcom materiálu, ktorá vyplýva z povahy skúšaného materiálu,
- o absencia referenčného laboratória.

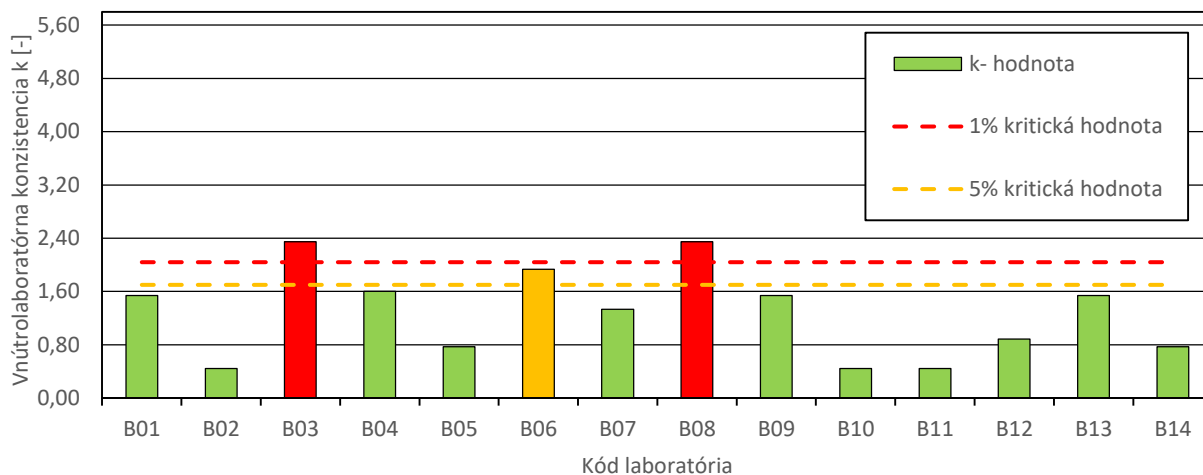
Výsledky skúšok boli podrobené štatistickej analýze, pričom bola zisťovaná prítomnosť odľahlých údajov, testované rozloženie dát, vypočítané parametre polohy a rozptylu súboru dát. Bola vypočítaná neistota merania vzťažnej hodnoty (konsenzná).

Na základe výsledkov skúšok dodaných účastníkmi programu a ich vyhodnotenia sa spracoval záverečný sumár výsledkov a hodnotení:

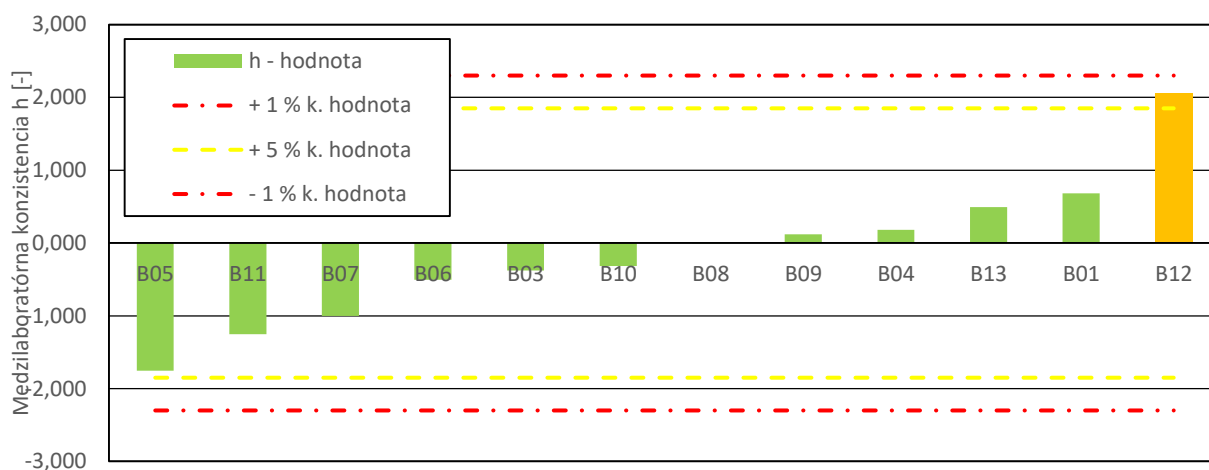
- o súbor výsledkov nasiakavosti vzoriek charakterizuje stredná hodnota 4,3 %, pomerne vysoká smerodajná odchýlka 0,69 % a variabilita súboru 16 % (obr. 5),
- o z nameraných výsledkov je rozdiel medzi najnižšou a najväčšou hodnotou 2,9 %, pričom v intervale (3,63–5,01) % danom priemernou hodnotou 4,3 % a smerodajnou odchýlkou 0,69 % sa umiestnilo 86,6 % všetkých výsledkov (obr. 5),
- o dve namerané hodnoty sú mimo intervalu daného smerodajnou odchýlkou,
- o laboratória B03, B08, v rámci zisťovania vnútrolaboratórnej konzistencie výsledkov prekročili kritéria pre 1 a 5 % kritickú hodnotu (obr. 6),
- o laboratórium B12 v rámci zisťovania medzilaboratórnej konzistencie výsledkov prekročilo kritéria pre 5 % kritickú hodnotu (obr. 7).



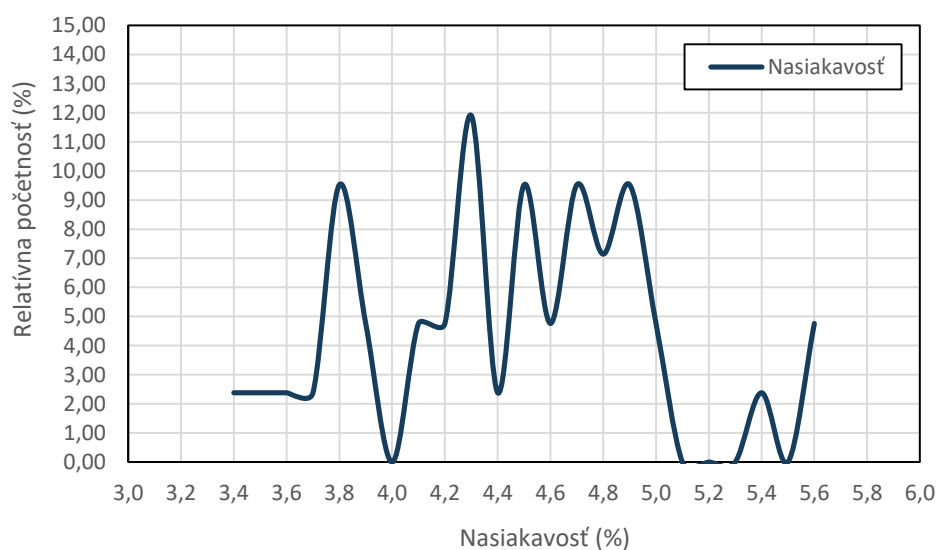
Obr. 5: Základná analýza výsledkov skúšok v programe 2021-BIMLP.05



Obr. 6: Mendelova štatistika vnúťlaboratórnej konzistencie výsledkov v programe 2021-BIMLP.05



Obr. 7: Mendelova štatistika medzilaboratórnej konzistencie výsledkov v programe 2021-BIMLP.05



Obr. 8: Histogram početnosti výskytu meranej nasiakavosti v programe 2021-BIMLP.05

3 EXPERIMENTÁLNA ČASŤ

RÚ zahŕňa jednak teoretické poznatky a skúsenosti, výsledky laboratórnych skúšok vykonaných v minulosti, výsledky medzilaboratórneho porovnávania, ale aj špecializovanú experimentálnu časť, ktorej cieľom bolo identifikovať (prípadne až kvantifikovať) vplyv kľúčových parametrov skúšok na výsledok. V ideálnom prípade sa očakávalo, že výsledky by mohli poskytnúť podklady a argumenty na úpravu skúšobného postupu v rámci revízie STN 73 1316.

Pre maximalizáciu využiteľnosti dát sa pristúpilo k rozšíreniu vzorkovania v rámci odberu vzoriek pre medzilaboratórne porovnanie (program 2021-BIMLP.05) s tým zámerom, že vzorky vyrobené „navyš“ sa budú skúšať podľa metodiky popísanej nižšie. Zároveň sa výsledky budú môcť vzťahovať na výsledky MLP akreditovaných subjektov.

3.1 Metodika

Metodika sa spracovala tak, aby sa vytvorili predpoklady na identifikovanie vplyvu parametrov skúšok alebo skúšobných telies (vzoriek), resp. zistených rozdielov v skúšobných postupoch známych metód tak, aby sa získali argumenty pre definovanie odporúčaní revízie STN 73 1316. Experimentálna časť sa (aj s ohľadom na kapacitné možnosti laboratória) rozdelila do troch etáp. Každá z etáp mala za cieľ identifikovať vplyv iných parametrov. Podrobnejšie sa uvádzajú nižšie v súvislosti s tab. 8-10.

Okrem toho sa v každej etape zhustila frekvencia merania hmotnosti. Namiesto každých 24 h sa zvolili dve merania denne, a to (z logistických dôvodov) o 07:00 a 15:00 h. To znamená, že sa zaznamenávali zmeny hmotnosti v nerovnomerných krokoch 8 a 16 h.

Tiež nad rámec bežného postupu sa vykonávalo meranie úbytku hmotnosti nie do dosiahnutia definovanej ustálenej hmotnosti (0,25 % z predchádzajúceho váženia), ale do dosiahnutia úbytku 0 g.

Jednotlivé sady skúšobných vzoriek sa označili kódom zahŕňajúcim rozmer telies a označenie sady, napr. 15A (veľkosť kocky 15 cm; sada A). Jednotlivým telesám v sadách sa priradilo poradové číslo v danej sade (1-3), napr. 15A-1.

Tab. 7: Sady skúšobných telies

	Počet	Kociek	Označenie							
Sady kociek 15 cm	8	24	15A	15B	15C	15D	15E	15F	15G	15H
Sady kociek 10 cm	2	6	10I	10J						
Sady kociek 7 cm	2	6	7K	7L						

V 1. etape sa pozornosť venovala určeniu vplyvu teploty sušenia a veľkosti vzoriek na rýchlosť skúšky a konečnú hodnotu nasiakavosti. Teploty sušenia 100 °C a 115 °C sa určili ako hraničné povolené teploty podľa rôznych už popísaných metód. Veľkosť vzoriek 15 cm (cca 8 kg); 10 cm (cca 2,4 kg) a 7 cm (cca 0,8 kg) reprezentuje vo väčšine prípadov vyhovujúce telesá z hľadiska objemu. Cieľom bolo určiť, či je možné zmenšiť veľkosť vzoriek, a tým skrátiť vetvu sušenia a zároveň aj zväčšiť kapacitu laboratórií z hľadiska nasakovania aj sušenia.

Tab. 8: Sady telies pre skúšky sušenia pre určenie vplyvu teploty sušenia a veľkosti telesa

Nasakovanie	Sušenie	
	100 °C	115 °C
15E	15E	
15F		15F
10I	10I	
10J		10J
7K	7K	
7L		7L

V 2. etape sa pozornosť venovala určeniu spôsobu nasakovania vzoriek (postupným ponáraním alebo jednorazovým ponorom celého objemu) na výsledok skúšky, a to pri rôznych teplotách sušenia. Teploty sušenia 100 °C a 115 °C sa určili ako hraničné povolené teploty podľa rôznych už popísaných metód. Cieľom bolo určiť, či je možné zjednodušiť režim vetvy nasakovania, aby si vyžadoval menšie nároky na obsluhu a/alebo technické vybavenie.

Tab. 9: Sady telies pre určenie vplyvu spôsobu nasakovania a teploty sušenia

Nasakovanie		Sušenie	
Naraz	Postupné	100 °C	115 °C
15A		15A	
15B			15B
	15C	15C	
	15D		15D

V 3. etape sa konfrontovali zistenia indikujúce rozdiely vo výsledkoch nasiakavosti vykonaných v druhom cykle voči normovému postupu podľa kapitoly 2.3 (tab. 4). Pre kontrolu vplyvu hysterézie na merané hodnoty sa do skúšok začlenili aj vzorky (kocky s hranami 10 cm a 7 cm) keďže tie tiež už absolvovali jeden cyklus. Cieľom bolo aj zistiť, či sa skúšky nasiakavosti môžu opätovne vykonať na už raz skúšaných vzorkách, napríklad pre stanovenie vplyvu impregnačného náteru na nasiakavosť betónu. Dôvodom je minimalizovanie zásahov do konštrukcie (odberu vzoriek z konštrukcie) ak sa dodatočne zistí, že odolnosť voči prostrediu XA môže byť znížená práve vyššou nasiakavosťou. Ak by rozdiel nasiakavosti medzi prvým a druhým cyklom bol nulový alebo by sa ukázal konštantný a nezávislý od iných parametrov, mohli by sa už raz skúšané vzorky používať aj na skúšky nasiakavosti po ošetrení impregnačným výrobkom.

Tab. 10: Sady telies pre určenie vplyvu opätovného skúšania a vplyvu veľkosti telesa

Nasakovanie	Sušenie (115 °C)	Nasakovanie	Sušenie (115 °C)
1. kolo		2. kolo	
15B	15B	15B	15B
15F	15F	15F	15F
15G	15G	15G	15G
15H	15H	15H	15H
10J	10J	10J	10J
7L	7L	7L	7L

3.2 Výroba a kondicionovanie vzoriek

Vzorky odobrali a vyrobili pracovníci akreditovaného laboratória dňa 25.5.2021 z čerstvého betónu STN EN 206 - C30/37 - XC4, XD2, XF4, XA2 (Sk) - C10,4 - $d_{\max}16$ - S4, mp. 50 mm vyrobeného vo výrobní čerstvého betónu v Nitre. Vzorky sa odobrali a vyrobili počas výroby vzoriek na medzilaboratórne porovnávanie (program 2021-BIMLP.05). Podľa časového odstupu výroby vzoriek sa tieto rozdelili na tretiny – zo začiatku, stredu a konca výroby. Vytvorili sa sady troch telies tak, aby každá sada obsahovala po jednom telese zo všetkých tretín vzorkovania. Všetky vzorky boli 1 deň uložené v mieste výroby. Následne sa previezli do akreditovaného laboratória, kde sa odformovali a uložili do vodného kúpeľa (s teplotou vody (20 ± 3) °C) na dobu 3 týždňov, t.j. do 15.6.2021. Tieto vzorky sa následne vybrali z vodného kúpeľa (a povrchovo sa utreli) na dobu 1 deň. Toto prerušenie malo reprezentovať prerušenie cyklu kondicionovania rovnaké, aké podstúpili vzorky určené na MLP počas distribúcie. Následne sa vzorky opäť ponorili do vodného kúpeľa až na ďalších 6 dní. Tým sa skončilo predpísané ošetrovanie a vzorky boli následne uchovávané „na vzduchu“ v laboratórnom prostredí, až do doby začiatku skúšok nasiakavosti, t.j. do doby nasakovacej vetvy skúšky.

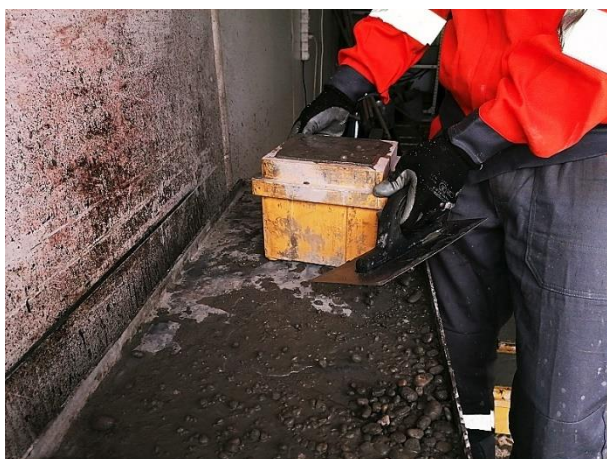


Obr. 9: Čerstvý betón pre výrobu vzoriek



Obr. 10: Formy pre výrobu vzoriek na nasiakavosť

Základnými vzorkami boli kocky s hranou 15 cm. Okrem toho sa však vyrobili aj vzorky menších rozmerov. Sú nimi kocky s hranou 7 cm vyrobené do foriem určených pre liaty asfalt a kocky s hranou 10 cm, ktoré vznikli rezaním trámcov (10 x 10 x 40 cm).



Obr. 11: Výroba vzoriek



Obr. 12: Vzorky po ukončení výroby

3.3 Výsledky skúšok a diskusia parciálnych zistení a citlivostná analýza

V tejto časti prezentujeme čiastkové zistenia z jednotlivých etáp experimentálnej časti, ako boli popísané v kapitole 3.1. Výsledky sa hodnotia izolovane v rámci konkrétnych súborov vzoriek pre jednotlivé etapy. V niektorých prípadoch sa výsledky hodnotia v širšom kontexte, t.j. aj vo vzťahu ku výsledkom MLP alebo výsledkom podľa 2.3.

Výsledky prezentované nižšie nezaokrúhľujeme na 0,1 %, v zmysle STN. V záujme zlepšenia prehľadnosti a zrozumiteľnosti správy sme sa rozhodli prezentovať výsledky zaokrúhlené na dve desatinné miesta.

V 1. etape sa pozornosť venovala určeniu vplyvu teploty sušenia (100 a 115 °C) a veľkosti vzoriek (kocky 15; 10 a 7 cm) na rýchlosť skúšky a konečnú hodnotu nasiakavosti. Cieľom bolo určiť, či sa je možné zmenšiť veľkosť vzoriek, a tým skrátiť vetvu sušenia a zároveň aj zväčšiť kapacitu laboratórií z hľadiska nasakovania aj sušenia. Výsledky skúšok sumarizujú v tabuľke 11.

Tab. 11: Výsledky skúšok nasiakavosti v 1. etape

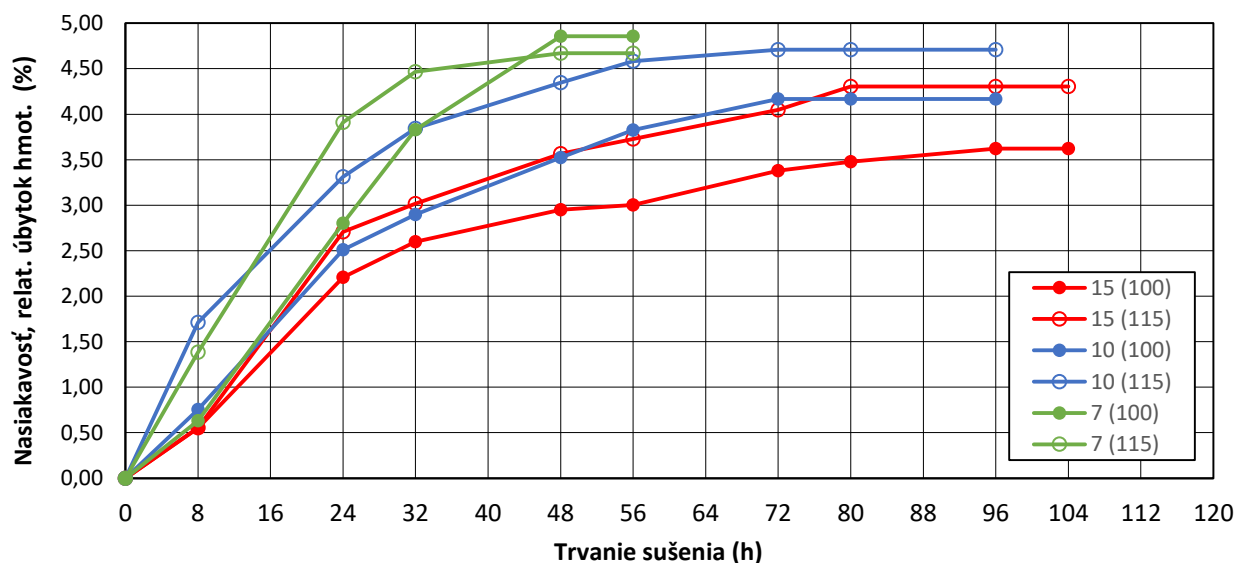
Sušenie		Trvanie/Intenzita sušenia			Nasiakavosť			Δ Nasiak. na 15 °C (%)
100 °C	115 °C	(h)	(cm ³ /h)	(cm ³ /h/°C)	Limit Δ 0 (g)	Limit Δ 0,10 (%)	Limit Δ 0,25 (%)	
15E		96	35,37	0,3537	3,62	3,62	3,48	0,68
	15F	80	42,54	0,3700	4,30	4,30	4,30	
10I		72	13,83	0,1383	4,17	4,17	3,90	0,54
	10J	72	13,98	0,1216	4,71	4,71	4,58	
7K		48	7,48	0,0748	4,86	4,86	4,86	-0,18
	7L	48	7,47	0,0650	4,67	4,67	4,67	

Je zrejmé, že so zmenšovaním skúšobných telies sa skracuje aj doba trvania skúšky. V prípade použitia kociek s rozmerom 10 cm je možné očakávať skrátenie doby trvania sušiacej vetvy z 96 h na 72 h. Zároveň možno očakávať zvýšenie kapacity sušiarne, len z hľadiska zmenšenia vzoriek, o cca trojnásobok, pri zachovaní celkového objemu zaplnenia sušiarne. V prípade prístúpenia ku zmenšeniu vzoriek na 10 cm je možné očakávať aj skrátenie doby využitia sušiarne o cca 25 %. So zmenšovaním vzoriek na veľkosť 7 cm sa ďalej neuvažuje. Tieto vzorky bežne dosahujú hmotnosť cca 800 g. Limitná hodnota ustálenej hmotnosti 0,1 % je v takom prípade už pod bežnou presnosťou váh v mechanickom stavebnom laboratóriu.

Vo vzťahu k teplote sušenia (100 °C vs. 115 °C) možno konštatovať, že rozdiel v nasiakavosti (podľa STN 73 1316) sa zistil hodnotami cca 0,70 % pre kocky s hranou 15 cm a cca 0,50 % pre kocky s hranou 10 cm. Výsledok v prípade kociek s hranou 7 cm sa zanedbáva jednak kvôli citlivosti metódy, ale aj kvôli zvýšenej relatívnej heterogénosti vzorky (objem vzoriek predstavuje cca 1/10 veľkosti štandardných kociek s hranou 15 cm).

Hmotnosti vzoriek sa merali do ustálenej hmotnosti, avšak s absolútnym úbytkom hmotnosti 0 g. Z meraných hodnôt sa neskôr určili aj nasiakavosti pre limitné hodnoty 0,10 % a 0,25 % hmotnosti vzoriek počas z predchádzajúceho váženia. Upriamujeme pozornosť na skutočnosť, že limitná hodnota 0,10 % (v prípade dodržiavania intervalu váženia 24 h) poskytuje prakticky identické nasiakavosti ako sa merali do nulového úbytku sušením. V prípade limitnej hodnoty 0,25 %, táto poskytuje spravidla nižšie hodnoty nasiakavostí, a to približne o (0,20-0,30) %.

Zdôrazňujeme, že v norme sa neuvádza interval, počas ktorého má byť úbytok hmotnosti menší ako 0,25 %. Ad absurdum, v prípade váženia v čase 0 h (pri teplote 115 °C) by sa legitímne dalo dospieť k platnému výsledku nasiakavosti cca. 0,2 % na sade 15F (v obr. 9 označená ako 15 (115)), namiesto skutočne zistenej nasiakavosti 4,30 %.



Obr. 13: Priebeh relatívneho úbytku hmotnosti vzoriek v čase (Legenda: Číselná veľkosť vzoriek v cm a teplota sušenia v °C)

V 2. etape sa pozornosť venovala určeniu spôsobu nasakovania vzoriek (postupným ponáraním alebo jednorazovým ponorom celého objemu telesa) na výsledok skúšky, a to pri rôznych teplotách sušenia, a to aj v kombinácii s teplotami sušenia (100 a 115) °C. Cieľom bolo určiť, či je možné zjednodušiť režim vetvy nasakovania tak, aby si vyžadoval menšie nároky na obsluhu a/alebo technické vybavenie.



Obr. 14: Postupné nasakovanie vzoriek



Obr. 15: Plnenie sušiarne vzorkami

Z meraných hmotností vzoriek pred nasakovaním a po nasakovaní sa zistil vplyv postupného zalievania vzoriek vodou nasledovne. Ako sa dalo predpokladať, zložitejší postup s postupným prilieváním vody, a teda postupným ponáraním vzoriek znižuje celkové množstvo vody v betóne asi o 0,40 % z hmotnosti vzoriek prirodzene vlhkých. Je preto dôvodné usudzovať, že vzorky, ktoré sú postupne zalievané vodou vykazujú mierne nižšiu nasiakavosť. Kvantifikovať vplyv sa nepodarilo, pretože vzorky boli prirodzene vlhké až suché. Doposiaľ sme však neprišli na žiaden dôvod, prečo uplatňovať v nasakovacej vetve technicky náročnejší (a prácnejší) postup, ktorý navyše má tendenciu skresľovať výsledok nasiakavosti smerom nadol, t.j. k tzv. vyhovujúcej hodnote.

Tab. 12: Vplyv spôsobu ponárania telies v nasakovacej vetve na relatívne množstvo vody obsiahnuté vo vzorke

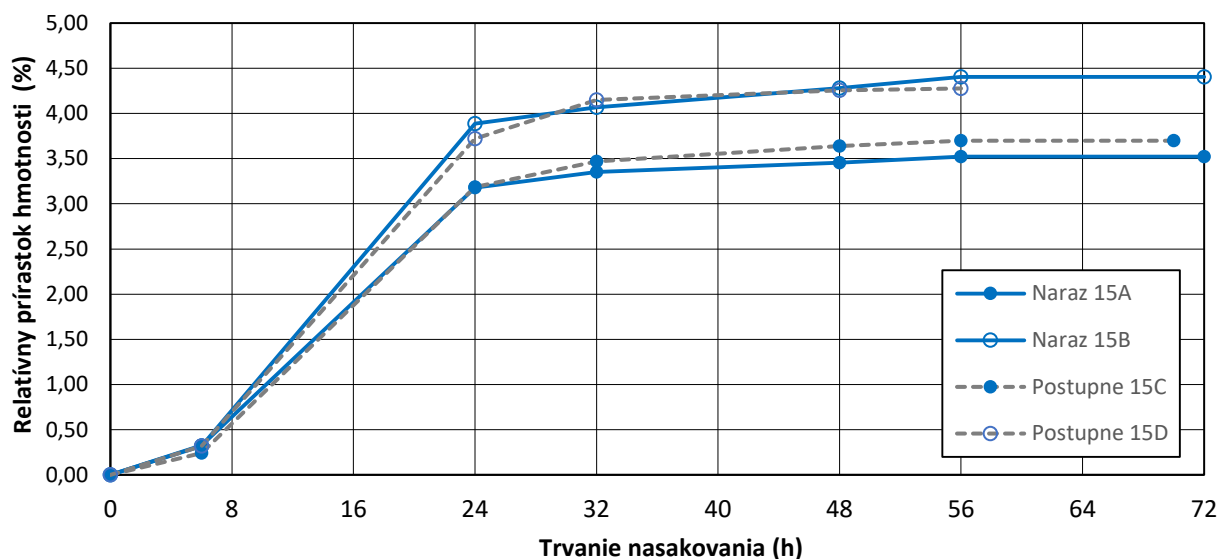
Spôsob nasakovania	Rozdiel voči 0. váženiu...		Relatívny rozdiel hmotnosti m (%) voči 0. váženiu
	Obj. hmotnosti ρ (kg/m ³)	Hmotnosti telies m (kg)	
Naraz	0,091	0,308	-0,40
Postupne	0,082	0,277	
Naraz (v 6. h)	0,007	0,025	
Postupne (v 6. h)	0,007	0,022	

Tab. 13: Výsledky skúšok nasiakavosti v 2. etape

Nasakovanie		Sušenie		Trvanie sušenia (h)	Nasiakavosť			Δ Nasiakavosti (%)	
Naraz	Postup.	100 °C	115 °C		Limit Δ 0 (g)	Limit Δ 0,10 (%)	Limit Δ 0,25 (%)	na 15 °C (%)	Postup. / Naraz
15A		15A		96	3,39	3,39	3,36	0,87	0,19
15B			15B	96	4,26	4,26	4,26		-0,14
	15C	15C		96	3,58	3,58	3,20	0,54	0,19
	15D		15D	72	4,12	4,12	3,87		-0,14
15E		15E		96	4,86	4,86	4,86	0,68	
15F			15F	80	4,67	4,67	4,67		

Tabuľka 13 zachytáva výsledky skúšok druhej etapy a v spodnej časti (šedou) opakuje výsledky skúšok z prvej etapy. Z výsledkov je možné identifikovať, že samotný spôsob nasakovania nemá vplyv na dĺžku trvania sušiacej vetvy. Výraznejší vplyv na trvanie sušiacej vetvy sa prisudzuje teplote 100 °C, resp. 115 °C. V dôsledku rozdielnej teploty sušenia sa opäť zistili a potvrdili rozdiely v nasiakavosti hodnotami od cca 0,50 % do cca 0,90 %. Skúškami v prvej etape (na kockách s hranou 15 cm sa zistil rozdiel v nasiakavosti v dôsledku teploty cca 0,70 %. Vplyv na samotnú hodnotu nasiakavosti sa nepotvrdil úplne zjavne. Ak vychádzame z hodnôt meraných do nulového úbytku hmotnosti, potom postupné nasakovanie (pri nižších teplotách sušenia) zrejme bude indikovať vyššiu nasiakavosť. V prípade vyšších teplôt je možné očakávať, naopak, nižšie hodnoty nasiakavosti. Na vysvetlenie tohto javu by bolo potrebné analyzovať väčší súbor dát.

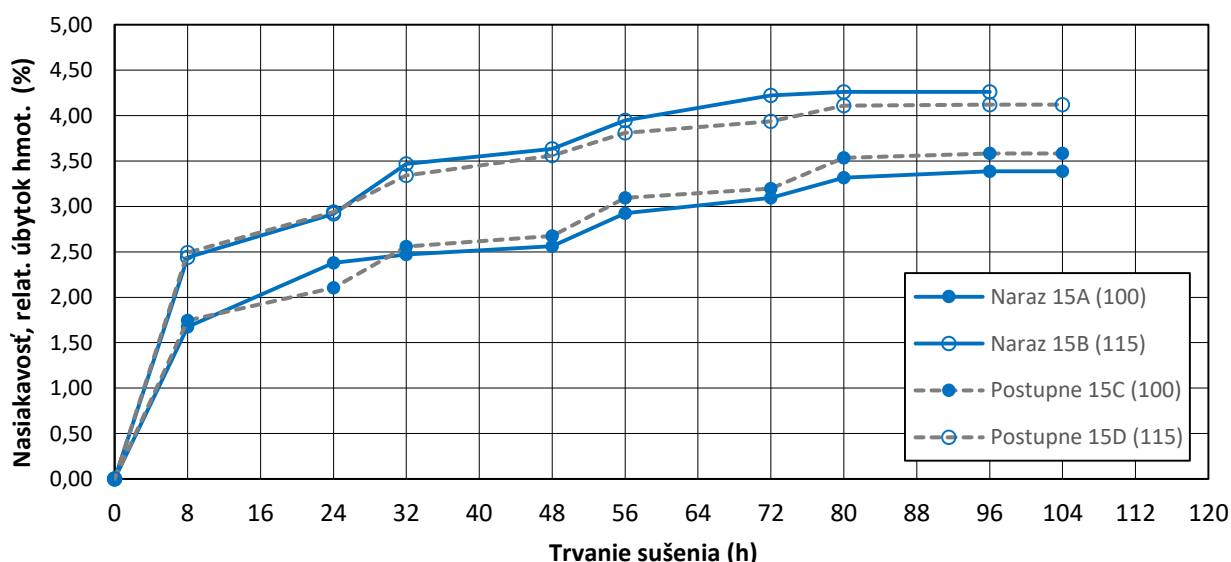
Zaujímavé však je, že v prípade uplatnenia limitu podľa STN 73 1316 (0,25 %) sa výsledok nasiakavosti javí závislý od spôsobu nasakovania. Konkrétne pri teplote sušenia 100 °C, vzorky ponárané postupne vykazujú nasiakavosť o 0,16 % nižšiu ako vzorky ponorené naraz. Pri teplote sušenia 115 °C, vzorky ponárané postupne vykazujú nasiakavosť o 0,39 % nižšiu.



Obr. 16: Priebeh relatívneho prírastku hmotnosti pri nasakovaní vzoriek v čase

Z pohľadu kinetiky nasakovania, ako ju zachytáva obr. 10, nevyplývajú žiadne zistenia, ktoré by sa mohli interpretovať ako argumenty pre zjednodušenie alebo proti zjednodušeniu nasakovacej vetvy. Upozorňujeme na skutočnosť, že akýkoľvek vplyv postupu nasakovania musel byť v tejto etape zvýraznený skutočnosťou, že vzorky mali len prirodzenú vlhkosť.

V prípade výrobnokontrolných skúšok výrobcu betónu, v ktorých sa nasakovacia vetva skúšky začína po 28 dňoch „mokrého“ kondicionovania vzoriek, je takmer isté, že vplyv na kinetiku nasakovania bude zanedbateľný.



Obr. 17: Priebeh relatívneho úbytku hmotnosti vzoriek v čase (Legenda: Číselná veľkosť vzoriek v cm a teplota sušenia v °C)

V 3. etape sa konfrontovali zistenia indikujúce rozdiely vo výsledkoch nasiakavosti vykonaných v druhom cykle voči normovému postupu (zistenia z 2.3). Pre kontrolu vplyvu hysterézie na merané hodnoty sa do skúšok začlenili aj vzorky (kocky s hranami 10 a 7 cm) keďže tie tiež už absolvovali jeden cyklus. Cieľom bolo aj zistiť, či sa skúšky nasiakavosti môžu opätovne vykonať na už raz skúšaných vzorkách, napríklad

pre stanovenie vplyvu impregnačného náteru na nasiakavosť betónu. Dôvodom je minimalizovanie zásahov do konštrukcie (odberu vzoriek z konštrukcie) ak sa dodatočne zistí, že odolnosť voči prostrediu XA môže byť znížená práve vyššou nasiakavosťou. Ak by rozdiel nasiakavosti medzi prvým a druhým cyklom bol nulový alebo by sa ukázal konštantný a nezávislý od iných parametrov, mohli by sa už raz skúšané vzorky používať aj na skúšky nasiakavosti po ošetroení impregnačným výrobkom.

Tab. 14: Trvanie vetiev nasakovania a sušenia v 3. etape (pri sušení $t = 115\text{ }^{\circ}\text{C}$)

Sada	1. kolo		2. kolo		Rozdiel medzi 1. a 2. kolom (h)	
	Trvanie (h)		Trvanie (h)			
	Nasakovanie	Sušenie	Nasakovanie	Sušenie	Nasakovanie	Sušenie
15B	73	96	78	90	5	-6
15F	73	96	78	90		
15G	73	96	78	90		
15H	73	96	78	90		
10J	41	72	48	48	7	-24
7L	25	64	48	48	23	-16

ab. 15: Porovnanie meraných množstiev absorbovanej a uvoľnenej vody v 3. etape (pri sušení $t = 115\text{ }^{\circ}\text{C}$)

Sada	1. kolo		2. kolo		Δ 1. a 2. kolo (%)	
	Relat. mn. vody nasiak. (%)	Nasiakavosť (%)	Relat. mn. vody nasiak. (%)	Nasiakavosť (%)	Relat. mn. vody nasiak. (%)	Nasiakavosť
15B	4,11	4,13	4,21	4,08	0,03	-0,07
15F	3,99	4,14	4,16	4,01		
15G	4,58	4,39	4,48	4,29		
15H	4,61	4,44	4,55	4,45		
10J	4,45	4,67	4,72	4,41	0,27	-0,26
7L	4,26	4,57	4,66	4,41	0,40	-0,16

V prípade vzoriek s hranou 15 a 10 cm sa pozorovala prakticky nezmenená doba nasakovania medzi prvým a druhým kolom (cyklom). Drobné rozdiely z tab. 14 sa prisudzujú kvázi fázovému posunu merania (keďže boli použité asymetrické intervaly 8 a 16 h). V prípade vzoriek s hranou 10 cm sa však nasakovacia a aj sušiacia vetva v druhom kole skrátili.

V tabuľke 15 sa prezentujú výsledky relatívneho množstva nasiaknutej vody (ku hmotnosti vzorky) a nasiakavosti (t.j. úbytku hmotnosti sušením). S ohľadom na použitú teplotu sušenia $115\text{ }^{\circ}\text{C}$ by sa očakávalo, že v rámci konkrétneho kola (cyklu) by sa množstvo vody nasiaknuté malo odpariť, a teda nasiakavosť by sa mala rovnať relatívnemu množstvu vody nasiaknutému. Zistili sa však rozdiely. V rámci prvého kola sa nepozoroval žiaden systematický rozdiel. No v druhom kole (cykle) sa to zmenilo a trend

nižšej nasiakivosti (v porovnaní s relatívnym množstvom nasiaknutej vody) sa pozoroval. Pre vzorky veľkosti 15 cm určujeme tento rozdiel na 0,1 %. Pre menšie vzorky 10 cm a 7 cm je tento rozdiel cca (0,1-0,2) %.

Porovnaním nasakovacej vetvy prvého a druhého kola možno pozorovať, že so zmenšujúcimi sa vzorkami sa rozdiel v relatívnom množstve vody nasiaknutej v prvom a druhom kole zväčšuje. Vyplýva z toho, že v prípade nutnosti opakovaných skúšok na rovnakej vzorke sa má preferovať väčšia vzorka.

Porovnaním sušiacej vetvy prvého a druhého kola možno pozorovať, že v druhom kole sa na vzorkách zistila vždy nižšia nasiakivosť. Kvantifikovať rozdiel (s ohľadom na jednotlivé výsledky) nemožno, no odhadnúť sa dá nasledovne. Na vzorkách veľkosti 15 cm sa v druhom kole zaznamenala o 0,1 % nižšia nasiakivosť a na menších vzorkách (10 cm a 7 cm) sa nasiakivosť v druhom kole znížila o cca 0,2 %. Vyplýva z toho, že v prípade nutnosti opakovaných skúšok na rovnakej vzorke sa má preferovať väčšia vzorka a zároveň sa má uvažovať s „prirodzeným“ znížením nasiakivosti o 0,1 %, ktorý nemožno prisudzovať akejkolvek látke nanesej vzorku s cieľom znížiť absorpciu vody.

3.4 Súhrn zistení a nadväznosť na predchádzajúce a iné zistenia

V tejto časti sumarizujeme prehľad všetkých výsledkov nasiakivosti vo všetkých etapách tejto experimentálnej fázy (bez opakovaných, resp. druhých kôl meraní v tretej etape). Tabuľka 16 prezentuje výsledky rozdelené najmä podľa jednotlivých veľkostí vzoriek. S klesajúcou veľkosťou vzoriek zdanlivo stúpa ich nasiakivosť. To sa prisudzuje dvom okrajovým podmienkam. Prvou je dramatické zníženie objemu (hmotnosti vzoriek – z cca 8 kg na cca 2,2 kg, resp. 0,8 kg) a transport vlhkosti (vody) vo vnútri pórovej štruktúry (kapilárneho systému). V prípade menších vzoriek sa vyžaduje menšie celkové množstvo energie na transport vlhkosti (absorpcia a desorpcia). Druhou je vplyv teploty sušenia 100 vs. 115 °C, ktorý výrazne ovplyvňuje výsledky (sada 10I vs. 10J a 7K vs. 7L). Napriek rôznej teplote sušenia sa zaznamenal pokles variability výsledkov. Usudzujeme preto, že vzorky s hranou 10 cm (prípadne obdobné rozmery) by mohli byť dobrým kompromisom pre zvýšenie kapacity laboratórií, skrátenie celkového trvania skúšky a zvýšenie homogenity výsledkov, resp. zlepšenie reprodukovateľnosti.

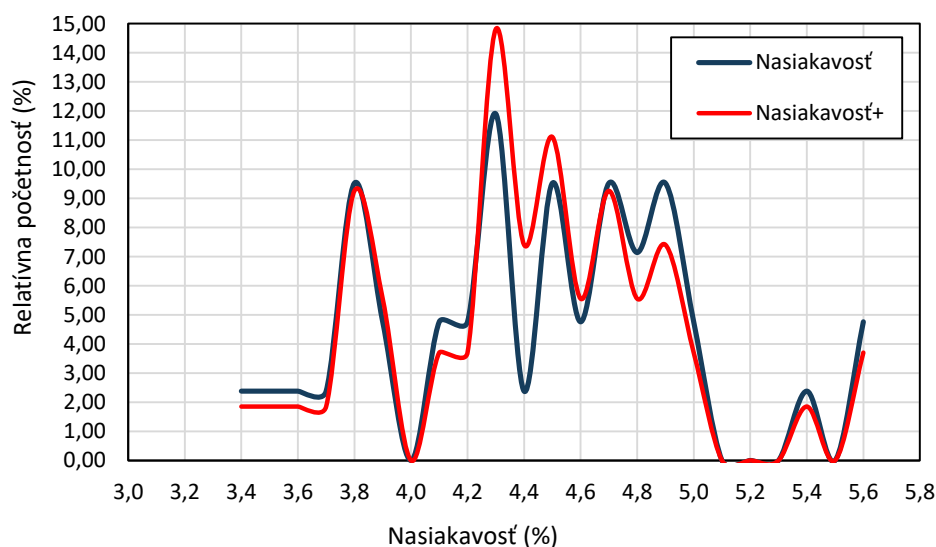
Tab. 16: Súhrn všetkých výsledkov experimentálnej časti

Nasiakivosť (%)	15A	15B	15C	15D	15E	15F	15G	15H	10I	10J	7K	7L
Teleso 1	3,65	4,64	3,70	4,25	3,52	4,74	4,35	4,38	4,09	4,67	4,77	4,88
Teleso 2	3,42	4,32	3,61	4,13	3,72	3,88	4,29	4,43	4,34	5,15	4,77	4,32
Teleso 3	3,10	3,83	3,44	3,99	3,63	4,29	4,51	4,52	4,07	4,31	5,04	4,81
Priemer	3,39	4,26	3,58	4,12	3,62	4,30	4,38	4,44	4,17	4,71	4,86	4,67
Priemer-Priemer	4,01								4,44		4,77	
Sm. odchýlka	0,45								0,41		0,24	
Variabilita	11,14								9,25		5,05	

V rámci MLP sa zistil súbor výsledkov charakterizovaný priemernou-priemernou hodnotou 4,44 % a smerodajnou odchýlkou 0,53, pričom variabilita predstavovala 12,04 %. V zmysle drobných odchýlok v rámci voľnosti skúšobného postupu to možno porovnať s výsledkami experimentálnej časti na vzorkách veľkosti 15 cm. Tie sú charakterizované priemernou-priemernou hodnotou 4,01 a smerodajnou odchýlkou 0,45. Priemerná zistená nasiakivosť síce klesla (o cca 0,4 %), no smerodajná odchýlka a variabilita súboru ostali prakticky nezmenené a to aj pri zohľadnení cieľového využívania prípustných tolerancií skúšobného

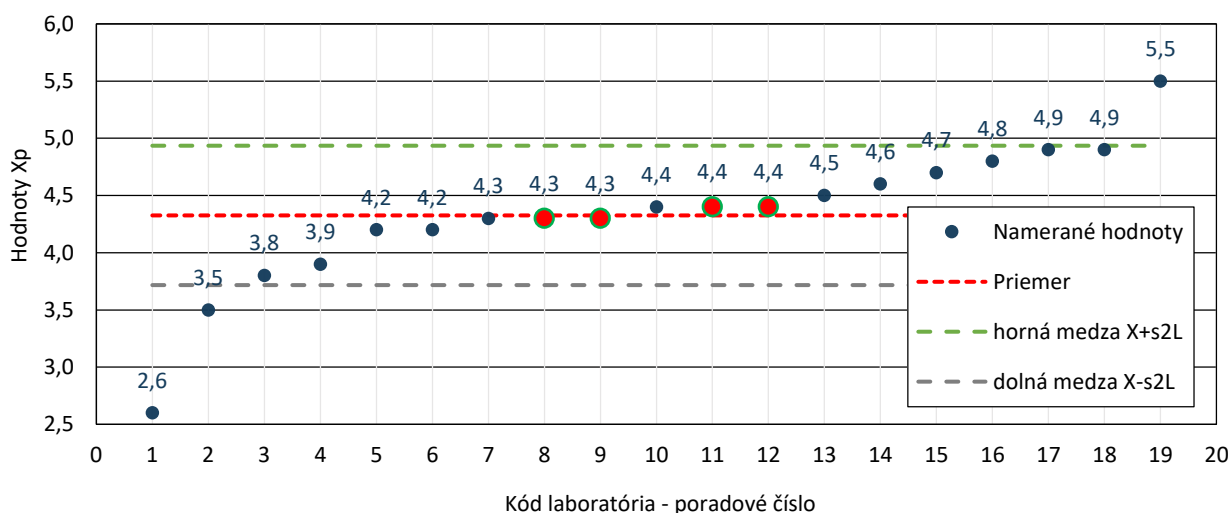
postupu, rôznych teplôt sušenia a rôzneho nasakovania vzoriek. Je z toho zrejmé, že výsledku skúšky nasiakavosti hodnotou do cca 0,4 % od limitnej hodnoty nemôže znamenať nevyhovujúci výsledok. Je možné, že výsledok skúšky nereprezentuje zníženú odolnosť betónu proti agresívnym vplyvom, ale odchýlku skúšobného postupu, ktorá však stále môže byť v súlade s benevolentnými ustanoveniami normy STN 73 1316.

V prípade konfrontácie výsledkov MLP a výsledkov experimentálnej časti len sád vzoriek s veľkosťou 15 cm skúšaných normovým postupom (podľa STN 73 1316) dospievame k záveru, že týchto 12 telies prakticky nezmenilo priemernú zistenú nasiakavosť (pokles z 4,44 % na 4,41 %) ani smerodajnú odchýlku (pokles z 0,53 % na 0,49 %). Tým sa mierne skorigovala variabilita súboru 12,04 % na 11,01 %.

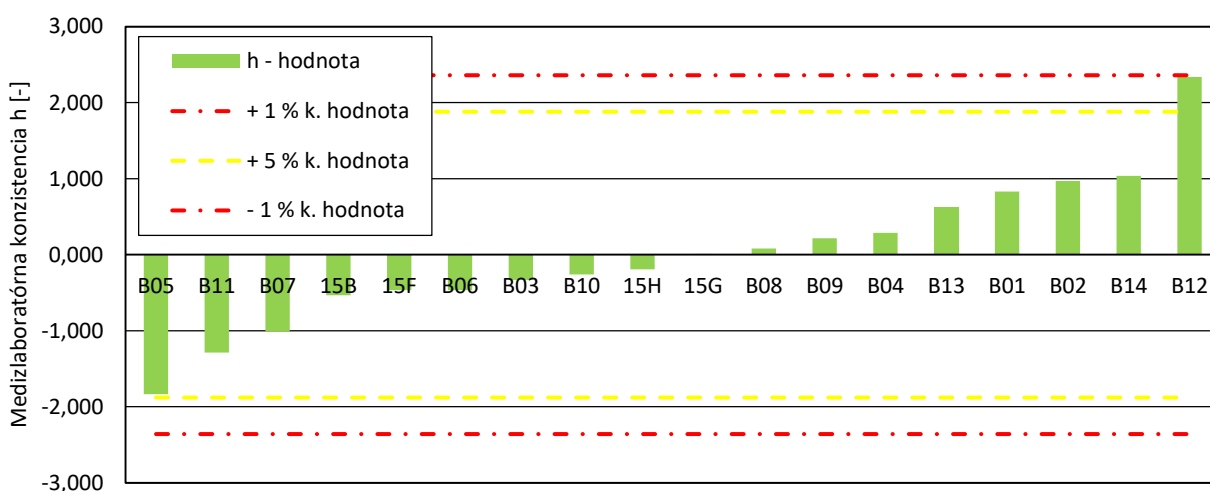


Obr. 18: Histogram početnosti (Legenda: „Nasiakavosť+“ súbor doplnený o výsledky sád 15B; 15F; 15G a 15H)

Ako to zachytáva aj obrázok 19, výsledky na sádach 15B; 15F; 15G a 15H (bez variácií k normovému postupu), sa umiestnili v blízkosti priemernej hodnoty stanovenej z výsledkov týchto a ďalších 15 akreditovaných pracovísk. Z hľadiska medzilaboratórnej konzistencie, obr. 20 demonštruje, že výsledky sú konzistentné s výsledkami iných akreditovaných pracovísk zúčastnených v rámci BIMLP.05.



Obr. 19: Základná analýza výsledkov skúšok v programe 2021-BIMLP.05 doplnená o sady 15B; 15F; 15G a 15H (vyznačené ako červené body)



Obr. 20: Mendelova štatistika medzilaboratórnej konzistencie výsledkov v programe 2021-BIMLP.05 doplnená o sady 15B; 15F; 15G a 15H

V súvislosti s vyššie uvedenými skutočnosťami usudzujeme, že voľnosť skúšobného postupu podľa STN 73 1316 je značná a je potrebné ju zúžiť. S ohľadom na vyťaženosť stavebných laboratórií a ich kapacitné možnosti predpokladáme, že existujú také, ktoré využívajú všetky možnosti skúšobného postupu tak, aby mali najpriaznivejší vplyv na zníženie prácnosti a/alebo zvýšenie kapacity laboratória.

3.5 Kľúčové parametre vplývajúce na výsledky

Z pôvodne identifikovaných a predpokladaných kľúčových parametrov, resp. okrajových podmienok skúšky alebo skúšobných postupov sme v troch etapách experimentálnej časti jednotlivé parametre potvrdili alebo vyvrátili. V niektorých prípadoch sa podarilo približne kvantifikovať vplyv.

V nasledovných bodoch sumarizujeme kvalitatívne a kvantitatívne zistenia, ako kľúčové parametre skúšobného postupu a syntézou podporenou technickou argumentáciou formulujeme výroky vedúce ku záverom a prakticky uplatniteľným odporúčaniam pre prax.

- Interval teploty sušenia 100 °C – 115 °C, resp. teplota sušenia sa potvrdila ako kľúčový parameter skúšky. Pri rozdielnej teplote sušenia 15 °C sa zistila rozdielna nasiakavosť o 0,7 % na vzorkách veľkosti 15 cm a 0,5 % na vzorkách veľkosti 10 cm.
- Veľkosť vzorky sa potvrdila ako kľúčový parameter skúšky. Veľkosť vzorky vplýva na dĺžku trvania skúšky (nasakovacia aj sušiacia vetva). Sušiacia vetva sa skracuje z cca 96 h pre vzorky 15 cm, na cca 72 h pre vzorky 10 cm. S menšími vzorkami (napr. 7 cm) sa neodporúča uvažovať kvôli citlivosti váh hraničiacej s limitom ustálenej hmotnosti 0,1 % z posledného váženia. Menšia veľkosť vzoriek zrejme vedie aj ku zmenšeniu variability výsledkov.
- Poradie skúšobných vetiev nasakovania a sušenia sa potvrdilo ako kľúčový parameter skúšky. V prípade skúšok normovým a „obrátaným“ normovým postupom na vzorkách s veľkosťou 15 cm sa zistila dvoma spôsobmi nasiakavosť 6,9 %, resp. 6,2 % (obrátaným postupom).
- Podrobnosti nasakovania v zmysle postupného vs. jednorazového ponorenia, teploty vody a minimálnej doby ponorenia;
- Citlivosť váženia sa potvrdila ako kľúčový parameter skúšky. Za predpokladu, že referenčný interval váženia je 24 h, rozdiel aplikovaní citlivosti váženia 0,1 %, resp. 0,25 % (a zároveň limitnej hodnoty ustálenej hmotnosti) sa prejavuje na rozdieloch v stanovení nasiakavosti o cca (0,2-0,3) %.
- Interval merania hmotnosti vzoriek je kľúčový parameter pre správne identifikovanie ustálenej hmotnosti. V prípade, ak sa zadefinuje napr. hodnotou 24 h, dá sa stotožniť nulový úbytok hmotnosti s limitom pre určenie ustálenej hmotnosti 0,1 % za 24 h.

4 ZÁVER

K úlohám spracovateľa RÚ „Stanovenie vlhkosti, nasiakavosti a vztlínavosti betónu podľa STN 73 1316: 1989“ podávame stanovisko v nasledujúcich kapitolách, zohľadňujúce všetky už popísané zistenia a parciálne úlohy spracovateľa.

Odporúčame revíziu STN 73 1316. V prípade jej zrušenia by sme na Slovensku nemali normu na skúšanie vlhkosti, nasiakavosti a vztlínavosti konštrukčného betónu. Platná STN EN 13369 sa vzťahuje len na betónové prefabrikáty.

4.1 Návrh revízie STN 73 1316 – terminológia, príprava vzoriek, skúšobný postup a vyhodnocovanie

S ohľadom na už prezentované parciálne zistenia a aktuálny stav poznania, v budúcej revízii STN 73 1316 navrhujeme uplatniť najmä metódy a princípy (napr. určenie konštantnej hmotnosti, teploty sušenia, maximálneho naplnenia sušiarne, doby kedy možno do sušiarne pridávať vzorky a možnosť odberu vzoriek z konštrukcie) podľa STN EN 13369 pretože sú v zhode s prezentovanými zisteniami a odstránia sa tým aj rozdiely v skúšobnom postupe pre monolitické a prefabrikované železobetónové prvky alebo konštrukcie.

Konkrétne navrhujeme nasledovnú terminológiu a úpravy jednotlivých článkov a ustanovení normy, ako sa uvádzajú ďalej v texte.

Názov normy navrhujeme zmeniť takto: „STN 73 1316 Stanovenie vlhkosti a nasiakavosti betónu a vztlínivosti vody v betóne“. Dôvodom je, že vztlínivosť je fyzikálny jav súvisiaci s povrchovým napätím kvapalín.

Betón – materiál zo zmesi cementu, hrubého a jemného kameniva a vody, s prísadami alebo prísadami alebo bez nich, ktorý získava svoje vlastnosti hydratáciou cementu.

Ustálená hmotnosť – výsledok postupných vážení skúšobnej vzorky v predpísaných časových intervaloch po oddelenom nasakovaní alebo sušení, ktoré sa nelíšia o viac ako 0,1 %.

Skúšobná vzorka – sada skúšobných telies s minimálnym počtom dve. Sada môže obsahovať zhora prakticky neohraničené množstvo skúšobných telies. Jedna vzorka musí obsahovať len telesá vyrobené z jednej zámesi betónu, ktoré majú rovnaký vek a boli kondicionované rovnakým spôsobom. Skúšobné telesá mohli byť odobrané aj z betónovej konštrukcie. V takom prípade sa za skúšobnú vzorku považuje sada telies, ktoré evidentne boli vyrobené z jedného betónu.

Skúšobné teleso – najmenšia časť skúšobnej vzorky, na ktorej sa vykonáva skúška alebo meranie. Konkrétne požiadavky na skúšobné teleso sa upravujú pre jednotlivé skúšobné postupy.

Suchá vzorka – je vzorka vysušená do ustálenej hmotnosti.

Vlhká vzorka – (pre účely tejto normy) je vzorka, ktorá je podrobená nasakovacej vetve skúšky, a ktorej hmotnosť sa meria po povrchovom osušení vzorky podľa špecifického postupu.

Nasakovacia vetva – súčasť skúšky v ktorej sú vzorky predpísaným spôsobom čiastočne alebo úplne ponorené vo vode predpísanej teploty s cieľom zvýšiť vlhkosť vzoriek.

Sušiacia vetva – súčasť skúšky v ktorej sú vzorky predpísaným spôsobom uložené v prostredí s predpísanou teplotou a/alebo relatívnou vlhkosťou (zvyčajne vetrané sušiarne) s cieľom znížiť ich vlhkosť do ustálenej hmotnosti.

Vlhkosť vzorky – kvantitatívne určené množstvo vody vo vzorke určené špecifickým postupom a vyjadrené vo vzťahu ku hmotnosti vzorky (hmotnostná vlhkosť) alebo objemu vzorky (objemová vlhkosť).

Poznámka: Vo všeobecnosti sa vlhkosť stanovuje pri rôznych teplotách sušenia zohľadňujúc citlivosť vzorky na teplotu, ktorá by mohla ovplyvniť výsledok skúšky napríklad rozkladom štruktúry vzorky (kryštalickej sústavy), napríklad uvoľnením chemicky viazanej vody. Príkladom extrémnej citlivosti je sadra, ktorá má predpísanú teplotu sušenia (40±2) °C.

Okamžitá vlhkosť – reprezentuje množstvo vody vo vzorke v čase jej dodanie na skúšku.

Nasiakavosť – reprezentuje množstvo vody, ktoré je vzorka schopná absorbovať pri expozícii predpísanej nasakovacej a sušiackej vetve skúšky, v konkrétnom poradí.

1.2 Navrhujeme odstrániť, že výsledok skúšky sa vzťahuje na vysušený betón. Je to v rozpore so spôsobom kondicionovania vzoriek pred skúškou.

1.3 Navrhujeme zmeniť tak, aby sa uplatnila definícia vzorky (sada skúšobných telies, podľa objemu telies). V prípade objemu skúšobného telesa (1-3) dm³ sa sadou rozumejú aspoň dve skúšobné telesá. V prípade objemu skúšobného telesa nad 3 dm³ sa sadou rozumejú aspoň 3 skúšobné telesá. Dôvodom je vyššia variabilita výsledkov na väčších telesách.

1.4 Navrhujeme zmenu presnosti stanovenia hmotnosti skúšobných vzoriek na 0,1 %, prípadne aj na 0,05 %. Citlivosť váh by mala byť vyššia ako je limitná hodnota. Technicky to nemôže byť problém, pretože aj pre menšie skúšobné telesá (kocky s hranou 10 cm to bude znamenať citlivosť váh cca 1 g).

2.1 Navrhujeme zmeniť tak, aby sa aktualizovali odvolávky na normy radu STN EN 13290, prípadne STN EN 12504-1. Rovnako navrhujeme jednoznačne definovať, že vzorkami môžu byť telesá vyrobené

z čerstvého betónu vo formách, alebo odobraté zo zatvrdnutého betónu, resp. betónovej konštrukcie, napríklad vŕtaním alebo rezaním (v súlade s konceptom čl. G2 STN EN 13369). Vzorkami môžu byť aj telesá z betónu nepravidelného tvaru. V takom prípade sa však musí určiť postup stanovenia objemu týchto telies.

2.2 Navrhujeme zmeniť teplotu sušenia na $(105 \pm 5) ^\circ\text{C}$. Dôvodom je zjednotenie s postupom určovania nasiakavosti podľa prílohy G k STN EN 13369 a zároveň aj priblíženie k ostatným obdobným skúšobným postupom vrátane priblíženia sa k ČSN EN ISO 12570 a STN EN ISO 12570.

3.2 Navrhujeme zmeniť veľkosť skúšobných vzoriek tak, aby pre betóny s $D_{\max}$ menším alebo rovným 22 mm sa smeli použiť kocky s hranou 15 cm a pre betóny s $D_{\max}$ väčším ako 22 mm sa museli použiť trámce s rozmermi (10x10x40) cm. Väčšie trámce neodporúčame s ohľadom na nízku využiteľnosť týchto foriem a tým pádom aj nedostatok laboratórií vybavených na takéto skúšky, resp. výrobu vzoriek.

3.3 Navrhujeme zmeniť štylizáciu tak, aby sa uvádzalo, že pred skúškou sa jednotlivé skúšobné telesá odmerajú a odvážia.

3.4 Navrhujeme zmeniť teplotu sušenia na $(105 \pm 5) ^\circ\text{C}$. Dôvod je rovnaký ako v prípade bodu 2.2. Navyše, ustálená vlhkosť (absorptivita) sa tiež skúša napr. podľa ASTM C642, ktorá predpisuje sušenie pri teplote (100-110) $^\circ\text{C}$.

3.0 Navrhujeme doplniť článok, upravujúci, či majú byť skúšobné telesá pred skúškou ustálenej vlhkosti vysušené alebo sa majú sušiť až po získaní ustálenej vlhkosti. S ohľadom na pozorovanú hysterézu odporúčame sušenie vzoriek až po nadobudnutí ustálenej hmotnosti. To si však vyžiada ďalšiu úpravu v tomto článku, a síce definovanie kondicionovania vzoriek pred expozíciou predpísanému prostrediu a zároveň špecifikovať predpísané prostredie.

Vychádzajúc z praktického využitia skúšky (ojedinele a spravidla len na špeciálne konštrukcie) a so zohľadnením, že pre ustálenú vlhkosť neexistuje objektivizované kritérium, navrhujeme úpravu „predpísaného prostredia“ ponechať voľnú tak, aby špecifikátor pre konkrétnu betónovú konštrukciu mohol definovať podmienky, ktoré sa v skúške majú simulovať. Tým bude mať možnosť zohľadniť podmienky na stavbe v rozhodnom čase.

4.1 Navrhujeme zmeniť tak, aby sa jednoznačne definovalo, že vzorkami môžu byť telesá vyrobené z čerstvého betónu vo formách, alebo odobraté zo zatvrdnutého betónu, resp. betónovej konštrukcie, napríklad vŕtaním alebo rezaním. S tým súvisia odvolávky na príslušné normy (tak ako v bode 2.1) a zároveň aj to, že skúšobné telesá môžu mať aj nepravidelný tvar. Navrhujeme ponechať odkaz na bod 2.1 aj špecifikáciu veku betónu v začiatku skúšky. Navrhujeme uviesť, že v prípade odberu vzoriek z konštrukcie sa primerane uplatňujú požiadavky na rozmer skúšobných telies podľa tab. G.1 Prílohy G k STN EN 13369.

4.2 Navrhujeme zmeniť tak, aby sa zbytočne nepredpisovalo aká vysoká musí byť nádoba. Tá musí svojou geometriou umožniť ponorenie vzoriek aspoň 10 mm nad horný povrch vzoriek. Tiež navrhujeme zmeniť tak, aby sa zjednodušil postup nasakovacej vetvy. To znamená, že vzorky sa v predpísanom veku odvážia a uložia sa do nádoby s pitnou vodou (s teplotou vody $(20 \pm 3) ^\circ\text{C}$). Teplotu vody navrhujeme ponechať hodnotou z STN 73 1311. Je to hodnota, ktorú laboratória musia dodržiavať kvôli iným skúškam. Dôležité je jednoducho upozorniť, že výška hladiny vody nad vrchným okrajom vzoriek sa udržiava. Nemusí sa predpisovať či dolievaním alebo iným spôsobom. Navrhujeme doplniť, že nasakovanie vodou sa kontroluje každých (24 ± 1) h, tým istým pracovníkom. Dôvodom je spôsob povrchového osušenia vzorky, kedy rozdiel v subjektívnom dojme z povrchového osušenia vzorky predstavuje aj 5 g/na jednu kocku s hranou 15 cm. Z kapacitných dôvodov alebo v prípade náhlej PN daného pracovníka by malo mať laboratórium zastupujúceho pracovníka, ktorý je preukázateľne verifikovaný pre reprodukovateľnosť prípravy vzorky na stanovenie hmotnosti počas nasakovacej vetvy. Tiež navrhujeme doplniť, postup pred vážením vzoriek tak, aby sa uvádzalo, že vzorky sa pred vážením opatrne utrá bavlennou handričkou tak, aby povrch vzorky bol rovnomerne vlhký (matný), nie lesklý. Pre určenie hmotnosti sa použijú váhy

s citlivosťou aspoň 0,05 %. Hmotnosť vzorky sa zaznamená a prírastok hmotnosti sa porovná s hmotnosťou vzorky z predchádzajúceho váženia (pred (24 ± 1) h).

Navrhujeme zmeniť časové podmienky pre skončenie nasakovacej vetvy. Nasakovanie vzoriek sa skončí, ak prírastok hmotnosti v dvoch za sebou nasledujúcich váženiach je menší ako 0,10 % z hmotnosti vzorky počas predchádzajúceho váženia.

Navrhujeme tiež zmeniť, teplotu sušenia na (105 ± 5) °C, rovnako ako v bode 2.2 a 3.4.

4.4 Navrhujeme vylúčiť možnosť hodnotenia nasiakavosti betónu objemovo, pretože na stanovenie nasiakavosti betónu neexistuje požiadavka/limit uvedený v % objemu.

4.5 Navrhujeme doplniť jednoznačne interval váženia vzoriek v rámci sušiacej vetvy na (24 ± 1) h. Tiež navrhujeme upraviť jednoznačne limitnú hodnotu pre dosiahnutie ustálenej hmotnosti v sušiacej vetve, a síce ako rozdiel hmotností menší ako 0,1 % z hmotnosti vzorky počas predchádzajúceho váženia.

5.3 Navrhujeme zmeniť teplotu sušenia na (105 ± 5) °C, rovnako ako v bode 2.2; 3.4. a 4.2. Rovnako navrhujeme aplikovať zmeny rozmerov telies, ktoré sme navrhli aj pre skúšku ustálenej vlhkosti v článku 3.3. V časti venovanej váženiu vlhkých vzoriek navrhujeme uplatniť postup prípravy na váženie vlhkých vzoriek navrhovaný v čl. 4.2.

5.5 Navrhujeme zmeniť tak, aby definoval výsledok skúšky ako numerickú hodnotu vztlínivosti podľa príslušného vzťahu (č. 5), povinne doplnenú o tabuľkové alebo grafické vyjadrenie priebehu vztlínivosti v čase (zmenou hmotnosti a pozorovateľnej výšky vztlínania).

Do skúšobného postupu a podmienok skúšky ďalej navrhujeme zakomponovať nasledovné:

- Laboratórne váhy musia mať presnosť váženia aspoň 0,05 % hmotnosti skúšobného telesa.
- Nádobu na nasakovanie má mať objem väčší ako 2,5 násobok objemu vzoriek, ktoré sa v nej uložia.
- Sušiareň má mať objem väčší ako 2,5 násobok objemu skúšobných telies, ktoré sa v nej majú sušiť súčasne. Zároveň musí byť vybavená nútenou ventiláciou.
- Skúšobné telesá v nasakovacej vetve sa majú uložiť do pitnej vody (t.j. čerstvá voda) tak, aby vzdialenosti medzi stenami skúšobných telies navzájom a stenami skúšobných telies a stien nádoby boli najmenej 15 mm.
- Skúšobné telesá v sušiacej vetve sa majú uložiť do sušiarne tak, aby vzdialenosti medzi stenami skúšobných telies navzájom a stenami skúšobných telies a stien sušiarne boli najmenej 15 mm.
- Sušiareň sa nemá znovu naplniť novými vlhkými skúšobnými telesami, ak cyklus sušenia aktuálne sušených skúšobných telies už dosiahol 48 h.
- V protokole sa musí uviesť druh (napr.: zhotovené vo forme, vyvrtané, vyrezané) a rozmery každého skúšobného telesa, podmienky prípravy, vek skúšobného telesa na začiatku skúšky, ustálené hmotnosti telesa vo vlhkom a v suchom stave a hodnoty nasiakavosti každého telesa.

Poznámka: Ak skúšobná vzorka pozostáva z viac ako jedného skúšobného telesa, výsledkom skúšky nasiakavosti je priemerná hodnota zo všetkých stanovených nasiakavostí týchto telies.

4.2 Analýza použiteľnosti v podmienkach SR vrátane odhadu dopadu na skúšobné laboratóriá

STN 73 1316 určuje skúšobný postup výkonu skúšky. Jej revízia bude mať najväčší dopad na akreditované skúšobné laboratóriá, ktoré budú musieť aktualizovať svoju dokumentáciu, postupy skúšky, vykonať preškolenie pracovníkov na nový, resp. revidovaný postup, aktualizovať súvisiacu dokumentáciu

prvotných záznamov skúšky, protokolov a pod. Z praktického a technického hľadiska sa však pre laboratóriá zmeny nasledovné:

- Zjednotí sa výklad terminológie;
- Určí sa množstvo skúšobných telies v rámci vzorky v závislosti od veľkosti telies;
- Zdôrazní sa možnosť skúšať aj menšie telesá a teoreticky tak skrátiť trvanie skúšky;
- Zvýši sa tým kapacita sušiarňí, vodných kúpeľov a to by malo viesť ku zníženiu nákladov na skúšky;
- Zjednotí sa chápanie požiadaviek na vodu v nasakovacej vetve (pitná, t.j. čerstvá);
- Zjednoduší sa nasakovacia vetva tak, aby nebolo potrebné priebežne zvyšovať hladinu vody, čo opäť zníži prácnosť skúšky;
- Zjednotí sa postup váženia vzoriek počas nasakovacej vetvy tak, aby sa zvýšila reprodukovateľnosť týchto meraní, ktorá je značne závislá od subjektívneho dojmu „povrchové osušenie“;
- Formálne sa sprísnia požiadavky na citlivosť váh na hodnotu 0,05 % z hmotnosti skúšobného telesa, laboratóriá takýmito váhami však bežne disponujú;
- Zavedie sa jednotná perióda váženia vzoriek v nasakovacej aj sušiackej vetve (24 ± 1) h;
- Zavedie sa definícia ustálenej hmotnosti, ktorá najmä pre sušiacu vetvu absentovala v dôsledku absencie periódy váženia počas sušenia;
- Upraví sa teplota sušenia vzoriek na (105 ± 5) °C, čo nijako neovplyvní laboratória z hľadiska technického zabezpečenia keďže aktuálna teplota sušenia je (110 ± 5) °C;
- Upraví sa požiadavka na umiestnenie skúšobných telies pri ponorení vo vode a počas sušenia v sušiarňi a maximálne plnenie sušiarňí na 40 % objemu a obmedzenie pridávania vlhkých vzoriek do sušiarne, ak aktuálne vzorky sa sušia už viac ako 48 h. To môže mať negatívny dopad na kapacitu menších alebo širokospektrálne zameraných laboratórií. Tu však vidíme priestor na reprofilizáciu jednotlivých pracovísk;
- Zmena skúšobného postupu a veľkosti telies a pod. si vyžiada komunikáciu so zákazníkmi skúšobných laboratórií a vysvetlenie zmeny skúšobného postupu vrátane všetkých dôsledkov na plnenie zmluvných záväzkov.

Všetky navrhované zmeny rešpektujú cieľ zvýšenia reprodukovateľnosti skúšky, zjednotenia interpretácie normy (a aj výsledkov) a zároveň zjednotenia, resp. priblíženia k postupom uplatňovaným pre betónové prefabrikáty alebo pre betónové konštrukcie v ostatných členských krajinách EÚ.

4.3 Súhrnný prehľad platných TPR, na ktoré bude mať navrhovaná revízia vplyv spolu s návrhmi na revíziu

V súčasnosti neexistujú v SR žiadne prekážky brániace spracovaniu revízie normy STN 73 1316 v zmysle vyššie uvedených odporúčaní a návrhov. Keďže norma je vyslovene skúšobná, t.j. upravuje postup skúšky a neobsahuje hodnotiace kritériá, revízia tejto normy nebude mať dopad na iné technické normy.

Identifikovali sme nasledovné TPR, na ktoré bude mať revízia STN 73 1316 vplyv. Ďalej popisujeme podrobne zmeny, ktorých potrebu to v jednotlivých dokumentoch vyvolá:

- 1) TKP 18 – Betón na konštrukcie, MDV SR: 2018 + Dodatok č.1/2020, MDV SR: 2020

Revízia normy bude mať dopad na tabuľku 3 tohto TKP. Konkrétne bude potrebné pre parameter „Nasiakavosť“ upraviť poznámku pod čiarou č. 3), resp. odstrániť odtiaľto túto poznámku pod čiarou a nahradiť ju novou. Jej znenie navrhujeme: „Skúška sa vykonáva na vzorke, ktorá pozostáva z takého počtu a veľkosti skúšobných telies, ktoré sa určí podľa STN 73 1316.“

Zároveň odporúčame spracovanie konsolidovaného znenia TKP 18.

5 PRÍLOHY

1)	Prehľad výsledkov meraní 1. etapy experimentálnej časti	1x A4
2)	Prehľad výsledkov meraní 2. etapy experimentálnej časti	2x A4
3)	Prehľad výsledkov meraní 3. etapy experimentálnej časti	3x A4