VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

FAKULTA STAVEBNÍ ústav stavebního zkušebnictví

Z 7008

ZÁVĚREČNÁ ZPRÁVA EXPERIMENTU PRECIZNOSTI

PROGRAM ZKOUŠENÍ ZPŮSOBILOSTI
Pevnost a pružnost ztvrdlého betonu

ZZB 2018/2

Poskytovatel zkoušení způsobilosti při SZK FAST
Veveří 95, 602 00 Brno
Czech Republic

www.szk.fce.vutbr.cz, ptprovider.cz

Datum vydání: 20. listopadu 2018

Poskytovatel zkoušení způsobilosti při SZK FAST
Proficiency testing provider at the SZK FAST
Z 7008
Veveří 95
602 00 Brno
Czech Republic
szk.fce.vutbr.cz

doc. Ing. Tomáš Vymazal, Ph.D.
Vedoucí PoZZ, koordinátor PrZZ

Ing. Petr Misák, Ph.D.
Koordinátor hodnocení výsledků PrZZ

Obsah

1 Úvod a důležité kontakty **3**

2 Postupy statistické analýzy experimentu preciznosti **5**
2.1 Numerický postup zjišťování odlehlých hodnot . . . 6
2.1.1 Cochranův test . . . 6
2.1.2 Grubbsův test – jedno odlehlé pozorování . . . 7
2.2 Mandelovy statistiky . . . 7
2.2.1 Mezilaboratorní statistika konzistence h . . . 7
2.2.2 Vnitrolaboratorní statistika konzistence k . . . 7
2.3 Výpočet odhadů rozptylů . . . 7
2.3.1 Rozptyl opakovatelnosti . . . 7
2.3.2 Mezilaboratorní rozptyl . . . 7
2.3.3 Rozptyl reprodukovatelnosti . . . 8
2.4 Opakovatelnost a reprodukovatelnost . . . 8
2.5 Vztažná hodnota . . . 8
2.6 Výpočet statistik výkonnosti . . . 9

3 Závěry statistické analýzy **11**
3.1 ČSN EN 12390-3 – Pevnost v tlaku ztvrdlého betonu . . . 11
3.2 ČSN EN 12390-5 – Pevnost v tahu ohybem . . . 11
3.3 ČSN EN 12390-6 – Pevnost v příčném tahu . . . 11
3.4 ČSN EN 12390-7 – Objemová hmotnost . . . 12
3.5 ČSN ISO 1920-10 – Statický modul pružnosti . . . 12
3.6 ČSN EN 12390-13, metoda A – Statický modul pružnosti . . . 12
3.7 ČSN EN 12390-13, metoda B – Statický modul pružnosti . . . 12
3.8 ČSN EN 12504-4, ČSN 731371 – Rychlost šíření impulsů podélných vln v betonu, Dynamický modul pružnosti v tlaku a tahu . . . 12
3.9 ČSN 731373, ČSN EN 12504-2 – Stanovení tvrdosti Schmidtovým tvrdoměrem . . . 12
3.10 ČSN EN 1542, ČSN 736242, Příloha B – Pevnost v tahu povrchových vrstev . . . 12

Normativní dokumenty a odkazy **13**

Příloha **14**

1 Příloha – ČSN EN 12390-3 – Pevnost v tlaku ztvrdlého betonu **14**
1.1 Výsledky zkoušek . . . 14
1.2 Numerické zhodnocení odlehlých hodnot . . . 15
1.3 Mandelovy statistiky konzistence . . . 16
1.4 Vyhodnocení výkonnosti účastníků . . . 17

2 Příloha – ČSN EN 12390-5 – Pevnost v tahu ohybem **19**
2.1 Výsledky zkoušek . . . 19
2.2 Numerické zhodnocení odlehlých hodnot . . . 20
2.3 Mandelovy statistiky konzistence . . . 21
2.4 Vyhodnocení výkonnosti účastníků . . . 22

3 Příloha – ČSN EN 12390-6 – Pevnost v příčném tahu **25**
3.1 Výsledky zkoušek . . . 25
3.2 Numerické zhodnocení odlehlých hodnot . . . 25
3.3 Mandelovy statistiky konzistence . . . 26
3.4 Vyhodnocení výkonnosti účastníků . . . 27

4 Příloha – ČSN EN 12390-7 – Objemová hmotnost **30**
4.1 Výsledky zkoušek . . . 30
4.2 Numerické zhodnocení odlehlých hodnot . . . 31
4.3 Mandelovy statistiky konzistence . . . 32
4.4 Vyhodnocení výkonnosti účastníků . . . 33

5 Příloha – ČSN ISO 1920-10 – Statický modul pružnosti **35**

6 Příloha – ČSN EN 12390-13, metoda A – Statický modul pružnosti **35**

7 Příloha – ČSN EN 12390-13, metoda B – Statický modul pružnosti **35**

8 Příloha – ČSN EN 12504-4, ČSN 731371 – Rychlost šíření impulsů podélných vln v betonu, Dynamický modul pružnosti v tlaku a tahu **35**

9 Příloha – ČSN 731373, ČSN EN 12504-2 – Stanovení tvrdosti Schmidtovým tvrdoměrem **36**
9.1 Výsledky zkoušek . . . 36
9.2 Numerické zhodnocení odlehlých hodnot . . . 36
9.3 Mandelovy statistiky konzistence . . . 38
9.4 Vyhodnocení výkonnosti účastníků . . . 39

10 Příloha – ČSN EN 1542, ČSN 736242, Příloha B – Pevnost v tahu povrchových vrstev **41**
10.1 Výsledky zkoušek . . . 41
10.2 Numerické zhodnocení odlehlých hodnot . . . 42
10.3 Mandelovy statistiky konzistence . . . 43
10.4 Vyhodnocení výkonnosti účastníků . . . 44

1 Úvod a důležité kontakty

V létě roku 2018 byl Poskytovatelem zkoušení způsobilosti při SZK FAST (PoZZ) zahájen program zkoušení způsobilosti (PrZZ) s označením ZZB 2018/2, jehož cílem bylo ověřit a posoudit shodnost výsledků zkoušek ztvrdlého betonu, a to se zaměřením na pevnost a pružnost betonu.

Posouzení výsledků programu zkoušení způsobilosti měla na starost komise složená z následujících pracovníků PoZZ:

Vedoucí PoZZ, koordinátor PrZZ

doc. Ing. Tomáš Vymazal, Ph.D.
Vysoké učení technické v Brně
Fakulta stavební
Ústav stavebního zkušebnictví
Veveří 95, Brno 602 00
Tel.: +420 603 313 337
Email: Tomas.Vymazal@vutbr.cz

Koordinátor hodnocení výsledků PrZZ

Ing. Petr Misák, Ph.D.
Vysoké učení technické v Brně
Fakulta stavební
Ústav stavebního zkušebnictví
Veveří 95, Brno 602 00
Tel.: +420 774 980 255
Email: Petr.Misak@vutbr.cz

Předmětem zkoušení způsobilosti byly následující zkušební postupy:

1. **ČSN EN 12390-3** – Pevnost v tlaku ztvrdlého betonu [1],
2. **ČSN EN 12390-5** – Pevnost v tahu ohybem [2],
3. **ČSN EN 12390-6** – Pevnost v příčném tahu [3],
4. **ČSN EN 12390-7** – Objemová hmotnost [4],
5. **ČSN ISO 1920-10** – Statický modul pružnosti [5],
6. **ČSN EN 12390-13, metoda A** – Statický modul pružnosti [6],
7. **ČSN EN 12390-13, metoda B** – Statický modul pružnosti [6],
8. **ČSN EN 12504-4, ČSN 731371** – Rychlost šíření impulsů podélných vln v betonu, Dynamický modul pružnosti v tlaku a tahu [7], [8],
9. **ČSN 731373, ČSN EN 12504-2** – Stanovení tvrdosti Schmidtovým tvrdoměrem [9], [10],
10. **ČSN EN 1542, ČSN 736242**, Příloha B – Pevnost v tahu povrchových vrstev [11], [12].

Zkušební postupy číslo 5 až 8 nebyly otevřeny s ohledem na nízký počet účastníků.

Přípravu ztvrdlého betonu pro PoZZ zajistil dodavatel, tedy firma BETOTECH s. r. o. Čerstvý beton pro výrobu zkušebních těles byl odebrán z jedné výrobní dávky, která byla vyrobena při dodržení postupů uvedených v ČSN EN 206 [13]. Čerstvý beton byl uložen do zkušebních forem vždy stejného typu a po odformování byla zkušební tělesa umístěna za stejných podmínek do uložení vyhovujících požadavkům jednotlivých specifikací.

Výsledky zkoušek jednotlivých účastníků PrZZ jsou vzájemně porovnány metodou statistické analýzy experimentu shodnosti podle ČSN ISO 5725-2 [14] a podle ČSN EN ISO/IEC 17043 [15]. Výsledkem řešení je tato závěrečná zpráva, která shrnuje výsledky experimentu shodnosti, včetně statistického vyhodnocení.

Programu se zúčastnilo celkem 30 pracovišť. Pro zachování anonymity účastníků PrZZ bylo každému pracovišti přiděleno identifikační číslo, které bude dále v tomto dokumentu používáno. Nedílnou součástí této závěrečné zprávy je osvědčení o účasti v programu zkoušení způsobilosti, které je pro každého účastníka jedinečné a je zde uvedeno ID účastníka, pod kterým vystupuje v této zprávě. V následující tabulce je znázorněna účast pracovišť v jednotlivých částech PrZZ.

Tabulka 1: Účast jednotlivých pracovišť v PrZZ (označení zkoušek dle části 1)

ID/zkouška	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
065959	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-
223144	X	-	-	X	-	-	-	-	X	-

ID/zkouška	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
360089	-	-	-	X	-	-	-	-	X	-
638307	X	X	-	X	-	-	-	-	-	-
953526	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1d9468	X	-	-	X	-	-	-	-	-	-
2c694b	X	X	-	X	-	-	-	-	-	X
2ec0ad	X	-	-	X	-	-	-	-	-	-
341b60	X	-	-	X	-	-	-	-	-	-
3a3339	X	X	X	-	-	-	-	-	-	-
3c45a1	-	X	-	-	-	-	-	-	-	X
404e0a	X	X	-	X	-	-	-	-	-	-
47a8df	-	X	X	-	-	-	-	-	-	-
4e3829	X	-	X	X	-	-	-	-	X	X
5034d7	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-
570e7a	X	X	X	X	-	-	-	-	X	X
5ae922	X	-	-	X	-	-	-	-	-	-
6d8f04	X	X	X	X	-	-	-	-	-	-
773e5d	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X
9d28a2	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-
a18ca8	X	-	-	X	-	-	-	-	-	-
b362c6	X	-	-	-	-	-	-	-	X	-
b998cc	X	-	-	X	-	-	-	-	-	-
cbf6fb	X	-	-	X	-	-	-	-	-	X
d099d8	X	-	-	X	-	-	-	-	-	-
da8a4c	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-
e48ade	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-
eb91d1	X	-	-	X	-	-	-	-	-	-
f00261	X	X	X	-	-	-	-	-	-	-
f56fc9	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabulka 2: Seznam účastníků – pořadí v tabulce neodpovídá identifikačnímu číslu v tabulce 1

Subjekt	Adresa	Číslo AZL
"TRANSSTRY VARNA "AD	"HAN OMURTAG "№2, VARNA, + 359 9000, BULGARIA	-
BEST, a.s.	Lučice 87, Clumec nad Cidlinou, 50351, Česká republika	-
BETOTECH, s.r.o. - pracoviště Beroun	Beroun 660, Beroun, 26601, Česká republika	1195
BETOTECH, s.r.o. - pracoviště Brno	Jihlavská 51, Brno, 642 00, Česká republika	1195.3
BETOTECH, s.r.o. - pracoviště Cheb	Beroun 660, Beroun, 26601, Česká republika	1195
BETOTECH, s.r.o. - pracoviště Jindřichův Hradec	Beroun 660, Beroun, 26601, Česká republika	1195
BETOTECH, s.r.o. - pracoviště Klatovy	Beroun 660, Beroun, 26601, Česká republika	1195
BETOTECH, s.r.o. - pracoviště Most	Beroun 660, Beroun, 26601, Česká republika	1195

Subjekt	Adresa	Číslo AZL
BETOTECH, s.r.o. - pracoviště Trutnov	Beroun 660, Beroun, 26601, Česká republika	1195
BETOTECH, s.r.o., zkušební laboratoř Ostrava	Beroun 660, BEROUN 2, 266 01, Česká republika	1195.2
Cement Hranice, akciová společnost - betonářská laboratoř	Bělotínská 288, Hranice I - Město, 75301, Czech Republic	1284
CEMEX Czech Republic, s.r.o.	Semtín 102, Pardubice, 53354, Česká republika	1302
CSS d.o.o.	Savska cesta 144a, Zagreb, 10000, CROATIA	1106 HAA
EUROVIA Services, s.r.o.	PO BOX 207, Praha 6, 160 41, Česká republika	1170
Institute for Materials Testing JSC Belgrade	Bulevar vojvode Mišića 43, Belgrade, 11000, Serbia	-
Koncept CB spol. s r.o.	nám. Švabinského 961/10, České Budějovice, 370 08, Česká republika	1534
QUALIFORM SLOVAKIA s.r.o. - org. složka - pracoviště Praha	Lesní 693, Bílovice nad Svitavou, 66401, Česká republika	S-301
QUALIFORM SLOVAKIA s.r.o. - organizační složka - pracoviště Olomouc	Lesní 693, Bílovice nad Svitavou, 66401, Česká republika	S-301
QUALIFORM SLOVAKIA s.r.o. , Pracovisko 02 Svit	Pasienková 9 D, Bratislava, 82106, Slovenská republika	154/S-301
Ředitelství silnic a dálnic ČR	Rebešovická 40, Brno-Chrlice, 643 00, Česká republika	1072
STACHEMA Bratislava a.s., Skúšobné laboratórium STACHEMA	Rovinka 411, Rovinka, 900 41, Slovenská republika	S-275
STACHEMA CZ s.r.o., Zkušební laboratoř, Pracoviště 1	Hasičská 1, Zibohlavy, Kolín, 280 02, Česká republika	L 1433
Stavební fakulta, ČVUT v Praze	Thákurova 7/2077, Praha, 266 29, Czech republic	L1048
STROYCONTROL 2003 LTD	Kostenec Str 12, Sofia Bulgaria, 1612, Bulgaria	182/LI
TPA ČR, s.r.o.	Vrbenská 1821/31, České Budějovice, 370 06, Česká republika	1181
TPA EOOD CTC SOFIA	Rezbarska 7 str., Sofia, 1510, Bulgaria	-
UAB "Konstrukcijų bandymo centras"	J. Basanavičiaus str. 160 D-2, Šiauliai, LT-76128, Lithuania	LA013
Universität für Bodenkultur Wien	Peter-Jordan-Str. 82, Wien - Vienna, 1190, Austria	-
University of Technology - TVFA	Inffeldgasse 24, Graz, 8010, Austria	-
ZAPA beton a.s.	ZAPA beton a.s. , PO BOX č. 31, Klatovská tř. 127, Plzeň 20, 320 81, Česká republika	1439

2 Postupy statistické analýzy experimentu preciznosti

K popisu přesnosti metod měření se využívá termínů pravdivost a preciznost. Pravdivost se týká těsnosti shody mezi aritmetickým průměrem velkého počtu výsledků zkoušek a pravou nebo přijatou referenční hodnotou. Preciznost se týká těsnosti shody mezi výsledky zkoušek. Nutnost uvažování preciznosti vzniká ze skutečnosti, že zkoušky, o nichž se předpokládá, že jsou provedeny na stejném materiálu za stejných podmínek, neposkytují obecně stejné výsledky.

Příčinou jsou náhodné chyby, kterým se nelze vyhnout. Tyto chyby jsou nedílnou součástí každého zkušebního postupu a nelze je nikdy v plném rozsahu ovládat. Analýza tohoto experimentu není zaměřena na zkoumání pravdivosti výsledků zkoušek, ale především na jejich preciznost. Výsledky se tedy posuzují vzájemně mezi sebou a nikoli vzhledem k nějaké referenční nebo pravdivé hodnotě.

Základem statistické analýzy je kritické zhodnocení údajů podle ČSN ISO 5725-2 [14], tedy zjištění a ošetření podezřelých a odlehlých hodnot a dalších nepravidelností. Toto zhodnocení se provádí prostřednictvím Mandelových statistik (grafické zhodnocení) a především pomocí Grubbsových a Cochranových testů (numerické zhodnocení). Dalšími sledovanými statistickými parametry jsou mezilaboratorní rozptyl, rozptyl opakovatelnosti a reprodukovatelnosti a na ně navazující charakteristiky opakovatelnost a reprodukovatelnost. Výsledkem programu MPZ je vyhodnocení výkonnosti zúčastněných laboratoří (účastníků) podle ČSN EN ISO/IEC 17043 [15], které se skládá z určení vztažných hodnot a jejich nejistot a následného porovnání s výsledky zkoušek účastníků MPZ.

Předpokladem pro použití těchto metod je jednovrcholové rozdělení pravděpodobnosti naměřených dat. Dále označme p počet účastnících se laboratoří označených indexem $i = 1, \ldots, p$, z nichž každá provedla n měření.

2.1 Numerický postup zjišťování odlehlých hodnot

Ke zjišťování odlehlých hodnot se používají dva základní statistické testy. Prvním z nich je Cochranův test, který je testem vnitrolaboratorních variabilit (je-li počet měření jedné veličiny v jedné laboratoři > 2) a používá se jako první. Pokud tento test označí výsledky jedné z laboratoří jako odlehlé, musí se laboratoř vyřadit a test zopakovat. Druhý test (Grubbsův) je předně testem mezilaboratorní variability a lze ho rovněž použít, když Cochranův test vzbudí podezření, zda vysoké vnitrolaboratorní rozptýlení lze připsat na vrub pouze jednoho z výsledků zkoušek. Oba tyto testy předpokládají vyváženost experimentu, tedy mělo by platit, že počet zkoušek v jedné laboratoři pro stanovení jedné veličiny je konstantní.

Při zjišťování vybočujících nebo odlehlých hodnot mohou nastat tři případy:

- Je-li testová statistika menší než 5% kritická hodnota nebo je-li této hodnotě rovna, považuje se testovaná entita za správnou;
- Je-li testová statistika větší než 5% kritická hodnota a menší než 1% kritická hodnota nebo je-li této hodnotě rovna, nazve se testovaná entita **vybočující**;
- Je-li testová statistika větší než 1% kritická hodnota, nazve se testovaná entita **odlehlou** hodnotou.

2.1.1 Cochranův test

Cochranova statistika C je dána vztahem

$$C = \frac{s_{max}^2}{\sum_{i=1}^{p} s_i^2} \tag{1}$$

kde s_{max} je největší výběrová směrodatná odchylka, s_i jsou výběrové směrodatné odchylky stanovené na základě výsledků ve všech laboratořích a p je počet účastnících se laboratoří v experimentu.

Výběrová směrodatná odchylka se stanovuje ze vztahu

$$s_i = \sqrt{\frac{1}{n_i - 1} \sum_{k=1}^{n_i} (y_k - \bar{y})^2}, \tag{2}$$

kde n_i je počet výsledků zkoušek stanovení jedné veličiny v i-té laboratoři, y_k je k-tá hodnota a $bary_i$ je aritmetický průměr hodnot změřených v i-té laboratoři. Jsou-li pro sledovanou veličinu naměřeny pouze dva výsledky, je možné použít zjednodušeného vztahu

$$s_i = \frac{|y_1 - y_2|}{\sqrt{2}}. \tag{3}$$

2.1.2 Grubbsův test – jedno odlehlé pozorování

Z dané množiny údajů x_i pro $i = 1, 2, ..., p$, uspořádané vzestupně podle velikosti, se pro určení použitím Grubbsova testu, zda je největší pozorování odlehlou hodnotou, vypočte Grubbsova statistika G_p

$$G_p = \frac{x_p - \bar{x}}{s}, \tag{4}$$

přičemž $\bar{x}$ je aritmetický průměr sledovaného znaku. Sledovaným znakem může být průměrná hodnota určované veličiny v rámci laboratoře. Dále je s výběrová směrodatná odchylka sledovaného znaku, tedy v tomto případě směrodatná odchylka počítána přes všechny laboratoře.

Pro test významnosti nejmenšího pozorování se vypočte testová statistika

$$G_p = \frac{\bar{x} - x_p}{s}. \tag{5}$$

2.2 Mandelovy statistiky

Pro zjišťování konzistence dat se použily dvě míry, nazývané Mandelovy statistiky h a k. Běžně se tyto míry používají pro grafické hodnocení laboratoří podobně jako popis variability.

2.2.1 Mezilaboratorní statistika konzistence h

Pro každou laboratoř se vyhodnotila mezilaboratorní statistika konzistence h podle vzorce

$$h_i = \frac{\bar{y_i} - \bar{\bar{y}}}{\sqrt{\frac{1}{p-1}\sum_{i=1}^{p_j}\left(\bar{y_i} - \bar{\bar{y}}\right)^2}}. \tag{6}$$

2.2.2 Vnitrolaboratorní statistika konzistence k

Vnitrolaboratorní statistika konzistence k se vypočítá podle vztahu

$$k_i = \frac{s_i\sqrt{p}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{p} s_i^2}}. \tag{7}$$

kde s_i je výběrová směrodatná odchylka hodnot naměřených v i-té laboratoři. Stejně jako statistika h se hodnoty k vynášejí do grafů. Prohlídka grafů hodnot h a k může naznačovat, že u určitých laboratoří se ukazuje podstatně odlišné uspořádání výsledků než u ostatních studovaných laboratoří. Je to důsledkem trvale velkého a/nebo malého rozptylu výsledků nebo extrémních průměrů výsledků napříč úrovněmi.

2.3 Výpočet odhadů rozptylů

Po vyřazení odlehlých hodnot (laboratoří) je možné přikročit k výpočtu základních charakteristik variability, a to rozptylu opakovatelnosti, mezilaboratorního rozptylu a rozptylu reprodukovatelnosti. Tyto charakteristiky se uvádějí ve formě směrodatných odchylek, tedy po odmocnění. Výhodou je stejný fyzikální rozměr charakteristiky variability a sledované veličiny.

2.3.1 Rozptyl opakovatelnosti

$$s_r^2 = \frac{\sum_{i=1}^{p}(n_i - 1)s_i^2}{\sum_{i=1}^{p}(n_i - 1)} \tag{8}$$

2.3.2 Mezilaboratorní rozptyl

$$s_L^2 = \frac{s_d^2 - s_r^2}{\bar{\bar{n}}}, \tag{9}$$

kde

$$s_d^2 = \frac{1}{p-1} \sum_{i=1}^{p} n_i \left(\bar{y}_i - \bar{\bar{y}}\right)^2 \tag{10}$$

a

$$\bar{\bar{n}} = \frac{1}{p-1} \left[\sum_{i=1}^{p} n_i - \frac{\sum_{i=1}^{p} n_i^2}{\sum_{i=1}^{p} n_i} \right]. \tag{11}$$

2.3.3 Rozptyl reprodukovatelnosti

$$s_R^2 = s_r^2 + s_L^2, \tag{12}$$

kde s_r^2 je rozptyl opakovatelnosti a s_l^2 je mezilaboratorní rozptyl.

2.4 Opakovatelnost a reprodukovatelnost

Opakovatelnost vyjadřuje, že rozdíl mezi dvěma výsledky zkoušek z téhož vzorku, provedených stejným pracovníkem, na tomtéž zařízení, v nejkratším možném časovém intervalu nebude překračovat hodnotu opakovatelnosti r v průměru ne více než jednou ve 20 případech při běžném a správném provádění metody.

Hodnota opakovatelnosti je vyjádřena vztahem

$$r = 2,8 s_r, \tag{13}$$

kde $s_r = \sqrt{s_r^2}$ je směrodatná odchylka opakovatelnosti.

Reprodukovatelnost vyjadřuje, že výsledky zkoušek na tomtéž vzorku, získané v nejkratším možném časovém intervalu dvěma pracovníky, kteří použili každý své zařízení, se nebudou lišit hodnotou reprodukovatelnosti R v průměru ne více než jednou ve 20 případech při běžném a správném provádění metody.

Hodnota reprodukovatelnosti je vyjádřena vztahem

$$R = 2,8 s_R, \tag{14}$$

kde $s_R = \sqrt{s_R^2}$ je směrodatná odchylka reprodukovatelnosti.

2.5 Vztažná hodnota

Organizátor MPZ zajistí stanovení vztažné hodnoty X a její nejistoty pro každý program MPZ. Vztažné hodnoty jsou vždy účastníkům MPZ sdělovány až po dodání výsledků MPZ a to tak, aby účastníci nemohli získat žádnou výhodu z jejich předčasného zveřejnění.

Vztažné hodnoty organizátor stanovuje jako konsenzuální hodnotu účastníků podle přílohy B normy ČSN EN ISO/IEC 17043 [15] za použití statistických metod popsaných v ISO 13528 [16] a ČSN ISO 5725-5 [17]. Vztažná hodnota X je tedy určena jako robustní odhad hodnoty průměru x^* (**Algoritmus A** uvedený v [16] a [17]).

Vypočtou se počáteční hodnoty x^* a s^* (robustní směrodatná odchylka) jako

$$x^* = \text{medián } x_i, \tag{15}$$

$$s^* = 1,483 \cdot \text{medián } |x_i - x^*|, \tag{16}$$

kde $i = 1, \ldots, p$. Hodnoty x^* a s^* se upraví následovně. Vypočte se $\varphi = 1,5 \cdot s^*$. Pro každou hodnotu x_i se vypočte

$$x_i^* = \begin{cases} x^* - \varphi & \text{jestliže } x_i < x^* - \varphi, \\ x^* + \varphi & \text{jestliže } x_i > x^* + \varphi, \\ x_i & \text{v ostatních případech.} \end{cases} \tag{17}$$

Vypočtou se nové hodnoty x^* a s^* ze vztahu

$$x^* = \sum_{i=1}^{p} \frac{x_i^*}{p}, \tag{18}$$

a

$$s^* = 1,134 \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^{p} \frac{(x_i^* - x^*)^2}{p-1}}. \tag{19}$$

Robustní odhady se odvozují iterací, dokud nejsou změny odhadů od jednoho výpočtu k dalšímu malé.
Standardní nejistota u_X takto stanovené vztažné hodnoty se určuje podle vztahu

$$u_X = 1,25\frac{s^*}{\sqrt{p}}. \tag{20}$$

V případě malého počtu účastníků MPZ stanovuje organizátor vztažné hodnoty jako konsenzuální hodnoty získané od expertních účastníků, kteří prokázali kompetenci ke stanovení měřené veličiny, která je předmětem zkoušky.

Při nízkém počtu účastníků ($4 \leq p \leq 20$) může organizátor dále zvážit využití tzv. **Hornova postupu** pro stanovení vztažných hodnot. Tento postup spočívá ve stanovení tzv. pivotů, na jejichž základě se určí odhad polohy a variability. Nejdříve se provede vzestupné seřazení posuzovaných dat. Dolní pivot se poté určí ze vztahu

$$x_D = x_{(H)}, \tag{21}$$

kde H je pořadový index daný rovnicí $H = \frac{\text{int}\left(\frac{p+1}{2}\right)}{2}$ nebo $H = \frac{\text{int}\left(\frac{p+1}{2}+1\right)}{2}$.
Horní pivot se poté určí ze vztahu

$$x_H = x_{p+1-H}. \tag{22}$$

Vztažná hodnota je prostřednictvím Hornova postupu určena jako odhad polohy, tedy tzv. pivotová polosuma

$$x^* = \frac{x_D + x_H}{2}. \tag{23}$$

Odhad variability se stanovuje jako tzv. pivotové rozpětí

$$R_L = x_H - x_D \tag{24}$$

a nejistota takto určené vztažné hodnoty jako 95% intervalový odhad střední hodnoty

$$u_X = R_L t_{L;0,95}(p), \tag{25}$$

kde $t_{L;0,95}(p)$ je $(1-\alpha)$ kvantil rozdělení T_L s p stupni volnosti.

2.6 Výpočet statistik výkonnosti

Výsledky zkoušek se musí pro interpretaci a porovnání se stanovenými cíli převést na tzv. výkonnostní statistiky. Účelem je vyjádřit odchylku od vztažné hodnoty takovým způsobem, který umožňuje porovnání s kritérii výkonnosti. Podle normy ČSN EN ISO/IEC 17043 [15] se výkonnost účastnících se pracovišť hodnotí podle tzv. z-score a ζ-score (zeta-score).

Pro každou neodlehlou laboratoř se z-score vypočte podle vztahu

$$z_i = \frac{|\bar{x_i} - x^*|}{s^*}. \tag{26}$$

ζ-score (zeta-score) se vypočítá pomocí rovnice

$$\zeta_i = \frac{|\bar{x_i} - x^*|}{\sqrt{u_i^2 + u_X^2}}, \tag{27}$$

kde u_i je standardní kombinovaná nejistota i-té laboratoře. Standardní kombinované nejistoty měření lze získat podělením rozšířené nejistoty U koeficientem rozšíření k, který má pro normální rozdělení pravděpodobnosti hodnotu

$k = 2$. Pokud účastník neuvedl rozšířenou nejistotu měření na záznamovém listu výsledků zkoušek, není možné ζ-score určit. Více o nejistotách měření lze nalézt v dokumentu [18].

Pro z-score a ζ-score (pro jednoduchost je uvedeno pouze z-score) platí následující stupnice:

$$z\text{-score} = \begin{cases} |z| \leq 2 & \text{ukazuje, že výkonnost laboratoře je } \textbf{vyhovující}, \\ 2 \leq |z| \leq 3 & \text{ukazuje, že výkonnost laboratoře je } \textbf{problematická} \text{ a vytváří varovný podnět}, \\ 3 \leq |z| & \text{ukazuje, že výkonnost laboratoře je } \textbf{nevyhovující} \text{ a vytváří podnět k akci}. \end{cases} \tag{28}$$

3 Závěry statistické analýzy

Předložená zpráva shrnuje výsledky programu zkoušení způsobilosti Pevnost a pružnost ztvrdlého betonu (PrZZ) pořádaného Poskytovatelem zkoušení způsobilosti při SZK FAST. PrZZ se zúčastnilo celkem 30 pracovišť. Program byl zaměřen na běžné normalizované zkoušky ztvrdlého betonu se zaměřením na jeho pevnost a pružnost. Výsledky zkoušek jsou hodnoceny samostatně pro každý sledovaný zkušební postup. Vyhodnocené statistické charakteristiky, výsledky testů a grafické znázornění jsou součástí přílohy této zprávy.

Nejdůležitějším výstupem PrZZ jsou tzv. z-score a ζ-score (zeta-score). Tyto charakteristiky hodnotí výkonnost jednotlivých účastníků porovnáním se vztažnou hodnotou a nejistotami měření. Vztažná hodnota a její nejistota byla určena podle postupů uvedených v 2.6. z-score a ζ-score jsou porovnány s limitními hodnotami (viz část 2.6). Výsledné hodnoty ζ-score nejsou brány v potaz při výsledném vyhodnocení výkonnosti účastníků, neboť jsou do značné míry závislé na hodnotách nejistot měření.

3.1 ČSN EN 12390-3 – Pevnost v tlaku ztvrdlého betonu

Výsledky zkoušek společně s grafickým znázorněním a vyhodnocenými statistickými charakteristikami jsou uvedeny v části 1 přílohy. Numerické kritické zhodnocení výsledků zkoušek Cochranovým a Grubbsovým testem neukázalo překročení žádné kritické hodnoty.

Grafické zjištění konzistence laboratoří (Mandelovy statistiky) ukázalo několik překročení kritických hodnot statistik konzistence (viz příloha). Překročení kritických hodnot Mandelových statistik nenaznačuje, že výsledky laboratoří jsou špatné. Pouze poukazuje na drobné nesrovnalosti. Žádný z účastníků tedy nebyl z experimentu vyřazen.

Vztažná hodnota a její nejistota byla stanovena na základě algoritmu A (ISO 13258 [16]). K překročení limitní hodnoty z-score $= 2$ došlo v případě účastníka č. **eb91d1**. Výkonnost tohoto účastníka je tedy označena jako **problematická**. Výsledky zkoušek všech ostatních účastníků nepřekročily limitní hodnotu z-score $= 2$ a proto lze jejich výkonnost označit jako **vyhovující**.

3.2 ČSN EN 12390-5 – Pevnost v tahu ohybem

Výsledky zkoušek společně s grafickým znázorněním a vyhodnocenými statistickými charakteristikami jsou uvedeny v části 2 přílohy.

Numerické kritické zhodnocení výsledků zkoušek Cochranovým testem ukázalo překročení 1% kritické hodnoty účastníka 065959. Bližší analýza ukázala, že toto překročení má za následek pouze jedna pozorovaná hodnota, po jejímž vyřazení již kritické hodnoty překonány nebyly. Účastník 065959 tedy nebyl z experimentu vyřazen. Numerické kritické zhodnocení výsledků zkoušek Grubbsovým testem ukázalo překročení 5% kritické hodnoty v případě účastníka 47a8df. Výsledek zkoušky tohoto účastníka byl označen jako vybočující.

Grafické zjištění konzistence laboratoří (Mandelovy statistiky) ukázalo několik překročení kritických hodnot statistik konzistence (viz příloha). Překročení kritických hodnot Mandelových statistik nenaznačuje, že výsledky laboratoří jsou špatné. Pouze poukazuje na drobné nesrovnalosti. Žádný z účastníků tedy nebyl z experimentu vyřazen.

Vztažná hodnota a její nejistota byla stanovena na základě algoritmu A (ISO 13258 [16]). K překročení limitní hodnoty z-score $= 3$ došlo v případě účastníka **47a8df**. Výkonnost tohoto účastníka je tedy označena jako **nevyhovující**. Výsledky všech ostatních účastníků nepřekročily limitní hodnotu z-score $= 2$ a proto lze jejich výkonnost označit jako **vyhovující**.

3.3 ČSN EN 12390-6 – Pevnost v příčném tahu

Výsledky zkoušek společně s grafickým znázorněním a vyhodnocenými statistickými charakteristikami jsou uvedeny v části 3 přílohy. Grafické ani numerické kritické zhodnocení výsledků zkoušek neukázalo překročení žádné kritické hodnoty.

Vztažná hodnota a její nejistota byla stanovena na základě algoritmu A (ISO 13258 [16]). K překročení limitní hodnoty z-score $= 2$ došlo v případě účastníka **f00261**. Výkonnost tohoto účastníka je tedy označena jako **problematická**. Výsledky všech ostatních účastníků nepřekročily limitní hodnotu z-score $= 2$ a proto lze jejich výkonnost označit jako **vyhovující**.

3.4 ČSN EN 12390-7 – Objemová hmotnost

Výsledky zkoušek společně s grafickým znázorněním a vyhodnocenými statistickými charakteristikami jsou uvedeny v části 4 přílohy. Numerické kritické zhodnocení výsledků zkoušek Cochranovým a Grubbsovým testem neukázalo překročení žádné kritické hodnoty.

Grafické zjištění konzistence laboratoří (Mandelovy statistiky) ukázalo několik překročení kritických hodnot statistik konzistence (viz příloha). Překročení kritických hodnot Mandelových statistik nenaznačuje, že výsledky laboratoří jsou špatné. Pouze poukazuje na drobné nesrovnalosti. Žádný další z účastníků tedy nebyl z experimentu vyřazen.

Vztažná hodnota a její nejistota byla stanovena na základě algoritmu A (ISO 13258 [16]). Na základě této analýzy lze prohlásit, že výsledky všech účastníků nepřekročily limitní hodnotu z-score $= 2$ a proto lze jejich výkonnost označit jako **vyhovující**.

3.5 ČSN ISO 1920-10 – Statický modul pružnosti

Zkouška neotevřena pro nízký počet účastníků.

3.6 ČSN EN 12390-13, metoda A – Statický modul pružnosti

Zkouška neotevřena pro nízký počet účastníků.

3.7 ČSN EN 12390-13, metoda B – Statický modul pružnosti

Zkouška neotevřena pro nízký počet účastníků.

3.8 ČSN EN 12504-4, ČSN 731371 – Rychlost šíření impulsů podélných vln v betonu, Dynamický modul pružnosti v tlaku a tahu

Zkouška neotevřena pro nízký počet účastníků.

3.9 ČSN 731373, ČSN EN 12504-2 – Stanovení tvrdosti Schmidtovým tvrdoměrem

Výsledky zkoušek společně s grafickým znázorněním a vyhodnocenými statistickými charakteristikami jsou uvedeny v části 9 přílohy.

Numerické kritické zhodnocení výsledků zkoušek Cochranovým testem ukázalo překročení 5% kritické hodnoty účastníka 773e5d. Bližší analýza ukázala, že toto překročení má za následek pouze jeden výsledek zkoušky, po jehož vyřazení již kritické hodnoty překonány nebyly. Účastník 773e5d tedy nebyl z experimentu vyřazen. Numerické kritické zhodnocení výsledků zkoušek Grubbsovým testem ukázalo překročení 5% kritické hodnoty v případě účastníka 570e7a. Výsledek zkoušky tohoto účastníka byl označen jako vybočující.

Grafické zjištění konzistence laboratoří (Mandelovy statistiky) ukázalo překročení kritických hodnot statistik konzistence (viz příloha). Překročení kritických hodnot Mandelových statistik nenaznačuje, že výsledky laboratoří jsou špatné. Pouze poukazuje na drobné nesrovnalosti. Žádný další z účastníků tedy nebyl z experimentu vyřazen.

Vztažná hodnota a její nejistota byla stanovena na základě algoritmu A (ISO 13258 [16]). K překročení limitní hodnoty z-score $= 3$ došlo v případě účastníka **570e7a**. Výkonnost tohoto účastníka je tedy označena jako **nevyhovující**. Výsledky všech ostatních účastníků nepřekročily limitní hodnotu z-score $= 2$ a proto lze jejich výkonnost označit jako **vyhovující**.

3.10 ČSN EN 1542, ČSN 736242, Příloha B – Pevnost v tahu povrchových vrstev

Výsledky zkoušek společně s grafickým znázorněním a vyhodnocenými statistickými charakteristikami jsou uvedeny v části 10 přílohy. Grafické ani numerické kritické zhodnocení výsledků zkoušek neukázalo překročení žádné kritické hodnoty.

Vztažná hodnota a její nejistota byla stanovena na základě algoritmu A (ISO 13258 [16]). Na základě této analýzy lze prohlásit, že výsledky všech účastníků nepřekročily limitní hodnotu z-score $= 2$ a proto lze jejich výkonnost označit jako **vyhovující**.

Odkazy

[1] ČSN EN 12390-3. *Zkoušení ztvrdlého betonu - Část 3: Pevnost v tlaku zkušebních těles*. 2009.

[2] ČSN EN 12390-5. *Zkoušení ztvrdlého betonu - Část 5: Pevnost v tahu ohybem zkušebních těles*. 2009.

[3] ČSN EN 12390-6. *Zkoušení ztvrdlého betonu - Část 6: Pevnost v příčném tahu zkušebních těles*. 2010.

[4] ČSN EN 12390-7. *Zkoušení ztvrdlého betonu - Část 7: Objemová hmotnost ztvrdlého betonu*. 2009.

[5] ČSN ISO 1920-10. *Zkoušení betonu - Část 10: Stanovení statického modulu pružnosti v tlaku*. 2016.

[6] ČSN EN 12390-13. *Zkoušení ztvrdlého betonu - Část 13: Stanovení sečnového modulu pružnosti v tlaku*. 2014.

[7] ČSN EN 12504-4. *Zkoušení betonu - Část 4: Stanovení rychlosti šíření ultrazvukového impulsu*. 2005.

[8] ČSN 731371. *Nedestruktivní zkoušení betonu - Ultrazvuková impulzová metoda zkoušení betonu*. 2011.

[9] ČSN 731373. *Nedestruktivní zkoušení betonu - Tvrdoměrné metody zkoušení betonu*. 2011.

[10] ČSN EN 12504-2. *Zkoušení betonu v konstrukcích - Část 2: Nedestruktivní zkoušení - Stanovení tvrdosti odrazovým tvrdoměrem*. 2013.

[11] ČSN EN 1542. *Výrobky a systémy pro ochranu a opravy betonových konstrukcí - Zkušební metody - Stanovení soudržnosti odtrhovou zkouškou*. 2000.

[12] ČSN 736242. *Navrhování a provádění vozovek na mostech pozemních komunikací*. 2010.

[13] ČSN EN 206. *Beton - Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda*. 2014.

[14] ČSN ISO 5725-2. *Přesnost (pravdivost a preciznost) metod a výsledků měření – Část 1: Základní metoda pro stanovení opakovatelnosti a reprodukovatelnosti normalizované metody měření*. 2018.

[15] ČSN EN ISO/IEC 17043. *Posuzování shody - Všeobecné požadavky na zkoušení způsobilosti*. 2010.

[16] ISO 13 528. *Statistical methods for use in proficiency testing by interlaboratory comparisons*. 2005.

[17] ČSN ISO 5725-5. *Přesnost (pravdivost a preciznost) metod a výsledků měření – Část 5: Alternativní metody pro stanovení shodnosti normalizované metody měření*. 2018.

[18] EA 4/02. *Vyjadřování nejistot měření při kalibracích*. 2000.

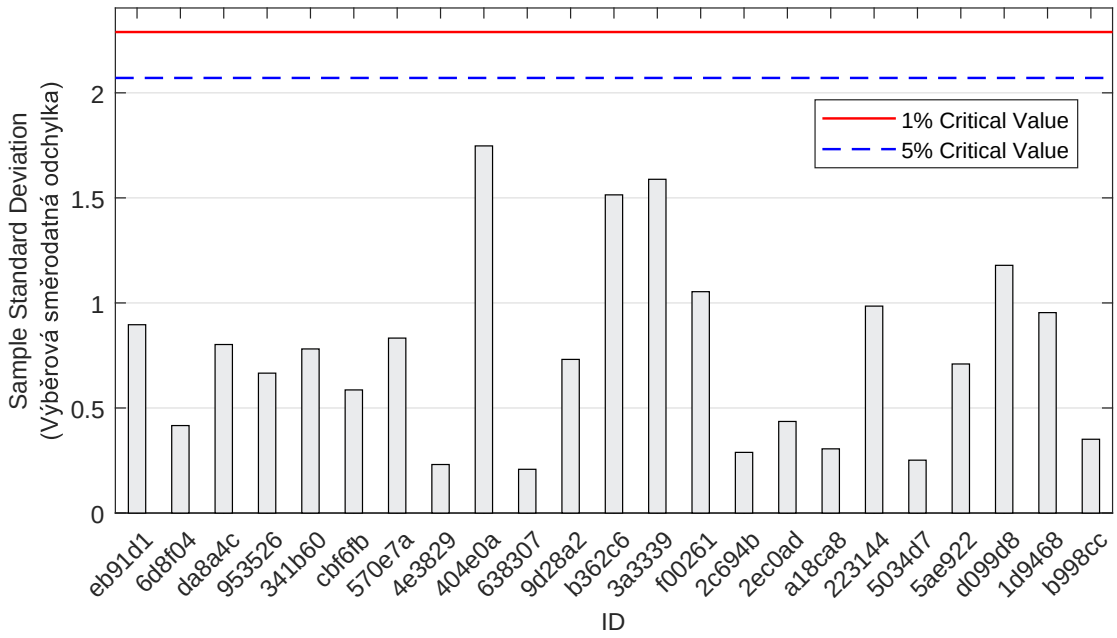
1 Příloha – ČSN EN 12390-3 – Pevnost v tlaku ztvrdlého betonu

1.1 Výsledky zkoušek

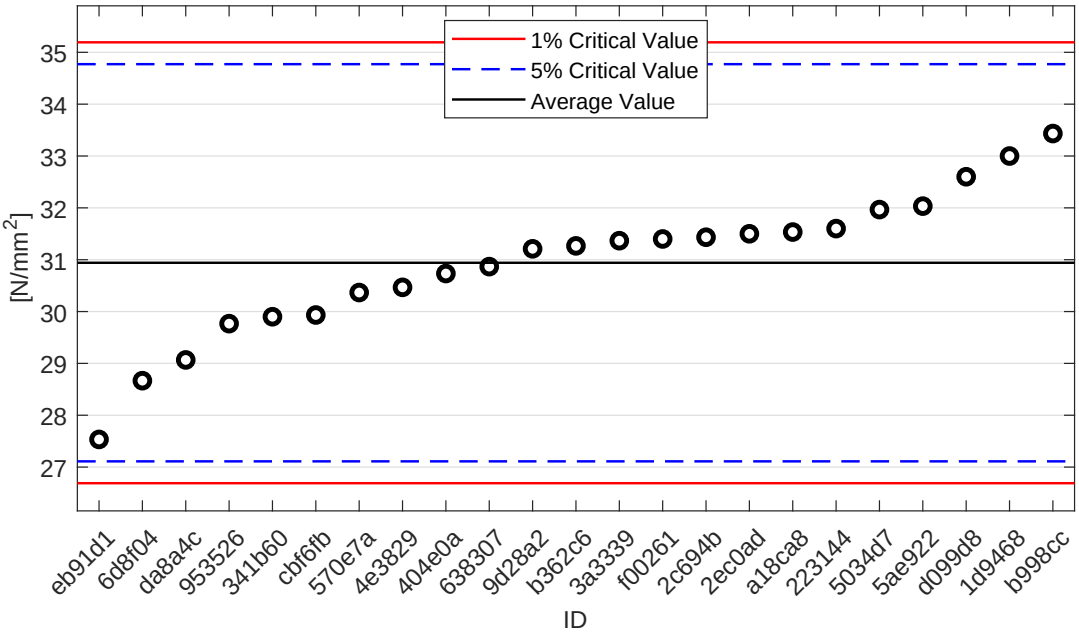
Tabulka 3: Výsledky zkoušek - seřazené podle průměrné hodnoty. Odlehlé hodnoty jsou vyznačeny hvězdičkou. u_X - rozšířená nejistota účastníka; $\bar{x}$ - aritmetický průměr; s_0 - výběrová směrodatná odchylka; V_X - variační koeficient

ID účastníka	Výsledky zkoušek [N/mm^2]			u_X [N/mm^2]	$\bar{x}$ [N/mm^2]	s_0 [N/mm^2]	V_X [%]
eb91d1	28.1	26.5	28.0	0.5	27.5	0.9	3.26
6d8f04	28.2	28.8	29.0	-	28.7	0.4	1.45
da8a4c	28.3	29.0	29.9	2.6	29.1	0.8	2.76
953526	29.2	29.6	30.5	1.0	29.8	0.7	2.24
341b60	29.4	30.8	29.5	0.9	29.9	0.8	2.61
cbf6fb	29.5	30.6	29.7	0.4	29.9	0.6	1.96
570e7a	30.1	31.3	29.7	1.6	30.4	0.8	2.74
4e3829	30.6	30.6	30.2	1.7	30.5	0.2	0.76
404e0a	31.2	28.8	32.2	1.4	30.7	1.7	5.69
638307	31.1	30.8	30.7	1.9	30.9	0.2	0.67
9d28a2	30.4	31.3	31.9	0.9	31.2	0.7	2.34
b362c6	33.0	30.2	30.6	-	31.3	1.5	4.84
3a3339	30.4	33.2	30.5	1.6	31.4	1.6	5.06
f00261	30.4	32.5	31.3	1.4	31.4	1.1	3.36
2c694b	31.6	31.1	31.6	1.7	31.4	0.3	0.92
2ec0ad	31.3	32.0	31.2	1.1	31.5	0.4	1.38
a18ca8	31.6	31.2	31.8	1.0	31.5	0.3	0.97
223144	31.3	30.8	32.7	1.3	31.6	1.0	3.12
5034d7	32.0	32.2	31.7	1.2	32.0	0.3	0.79
5ae922	31.4	31.9	32.8	0.8	32.0	0.7	2.21
d099d8	32.9	31.3	33.6	2.1	32.6	1.2	3.62
1d9468	34.1	32.4	32.5	0.4	33.0	1.0	2.89
b998cc	33.4	33.8	33.1	0.4	33.4	0.4	1.05

1.2 Numerické zhodnocení odlehlých hodnot

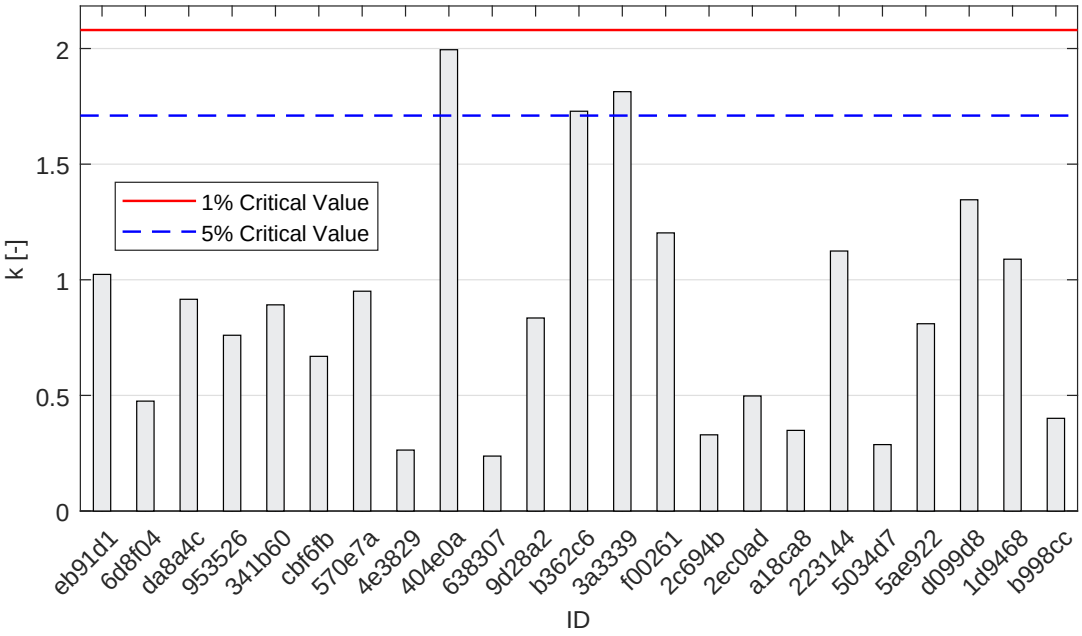


Obrázek 1: **Cochranův test** - graf výběrových směrodatných odchylek: 1% kritická hodnota - červená barva; 5% kritická hodnota - modrá barva

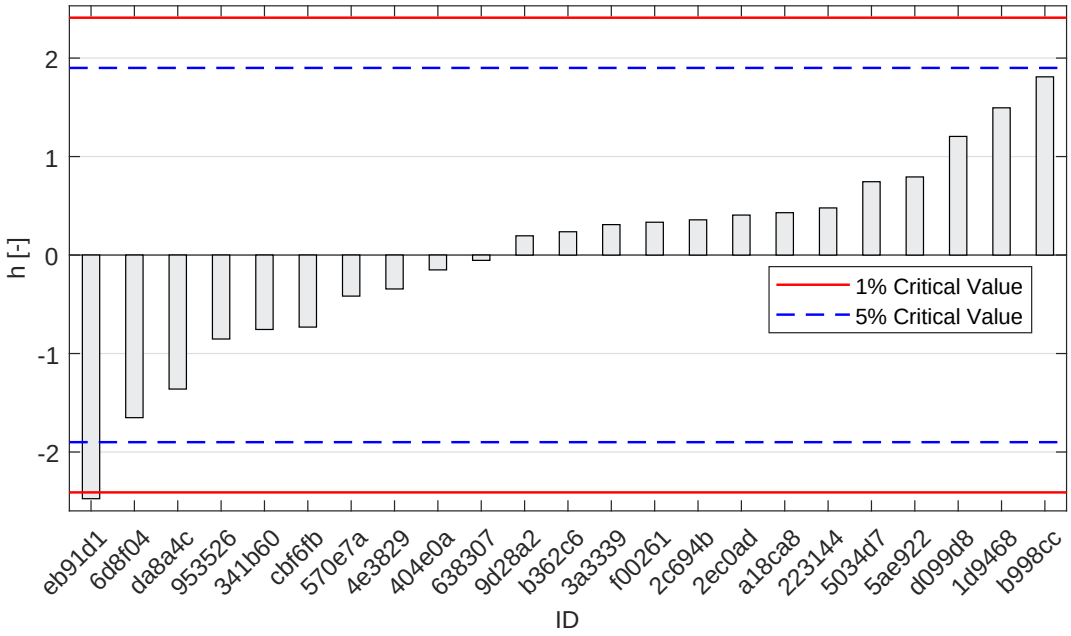


Obrázek 2: **Grubbsův test** - graf průměrných hodnot: 1% kritická hodnota - červená barva; 5% kritická hodnota - modrá barva

1.3 Mandelovy statistiky konzistence

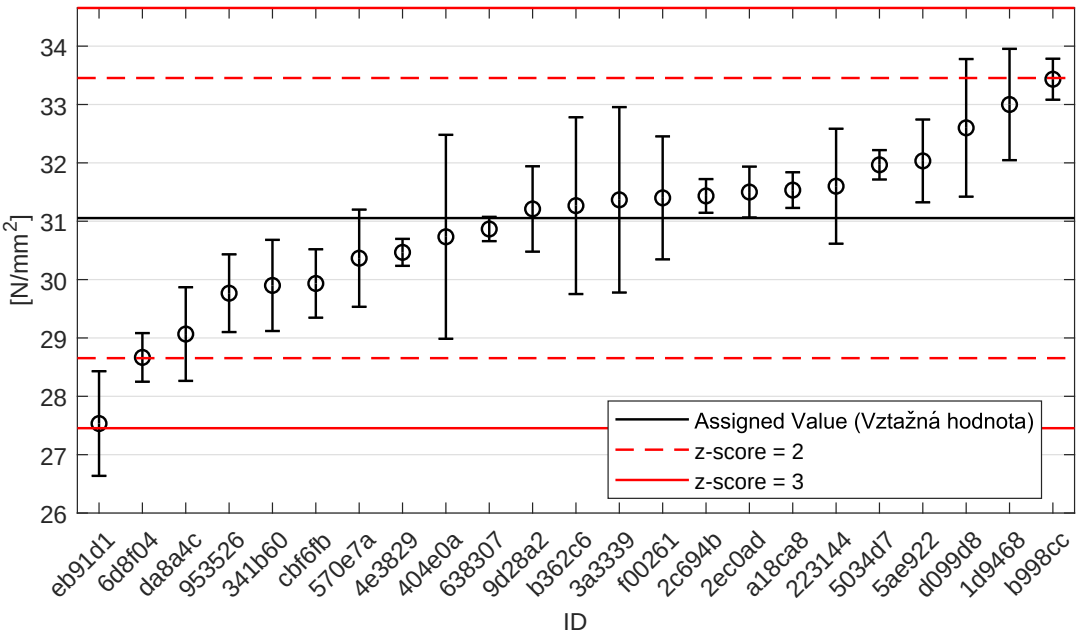


Obrázek 3: Vnitrolaboratorní statistika konzistence: 1% kritická hodnota - červená barva; 5% kritická hodnota - modrá barva

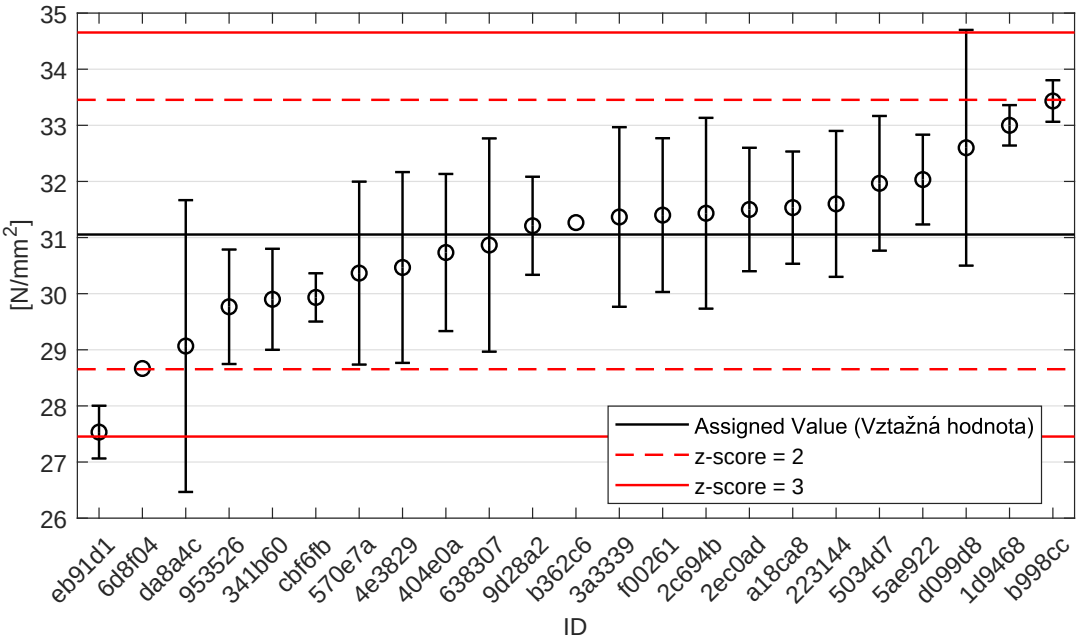


Obrázek 4: Mezilaboratorní statistika konzistence: 1% kritická hodnota - červená barva; 5% kritická hodnota - modrá barva

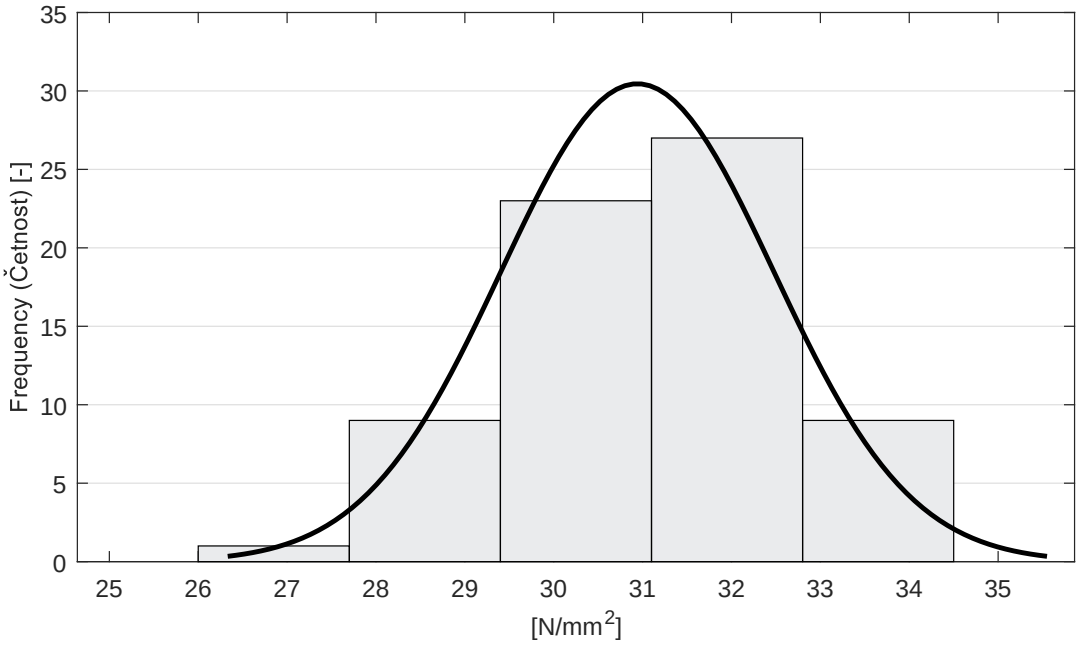
1.4 Vyhodnocení výkonnosti účastníků



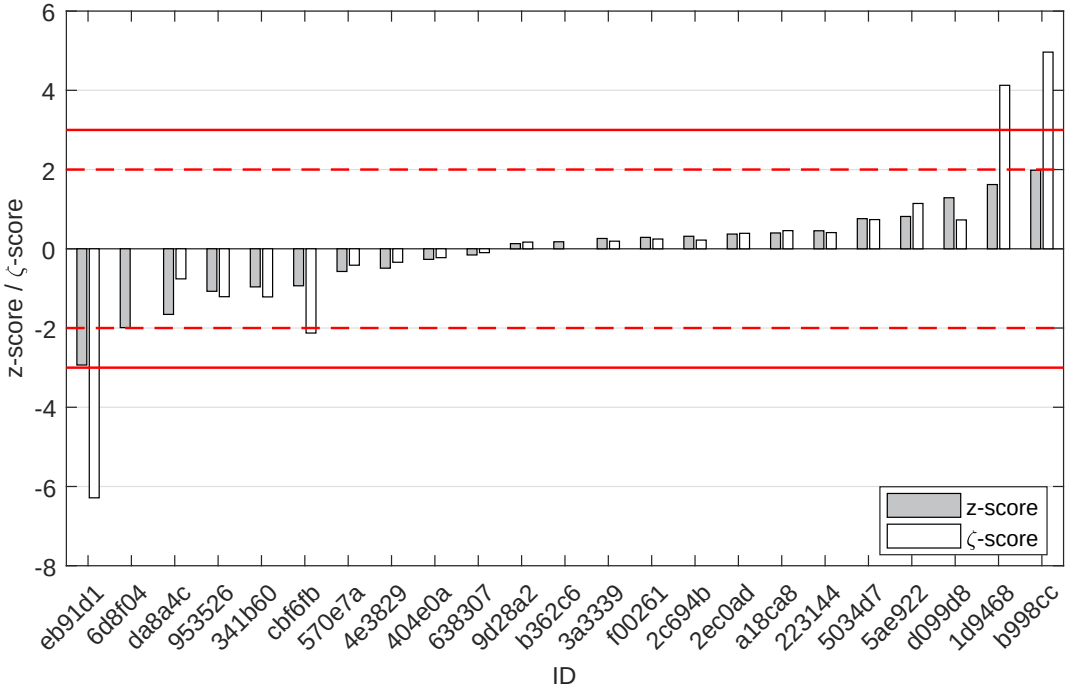
Obrázek 5: Graf průměrných hodnot výsledků zkoušek a výběrových směrodatných odchylek



Obrázek 6: Graf průměrných hodnot výsledků zkoušek a rozšířených nejistot měření



Obrázek 7: Histogram všech výsledků zkoušek



Obrázek 8: z-score a ζ-score

Tabulka 4: Výsledné hodnoty z-score a ζ-score

ID	z-score [-]	ζ-score [-]
eb91d1	-2.93	-6.29
6d8f04	-1.99	-
da8a4c	-1.66	-0.76
953526	-1.07	-1.21
341b60	-0.96	-1.21
cbf6fb	-0.93	-2.13
570e7a	-0.57	-0.41
4e3829	-0.49	-0.34
404e0a	-0.27	-0.22
638307	-0.16	-0.10
9d28a2	0.13	0.17
b362c6	0.18	-
3a3339	0.26	0.19
f00261	0.29	0.25
2c694b	0.32	0.22
2ec0ad	0.37	0.39
a18ca8	0.40	0.46
223144	0.46	0.41
5034d7	0.76	0.74
5ae922	0.82	1.14
d099d8	1.29	0.73
1d9468	1.62	4.13
b998cc	1.98	4.96

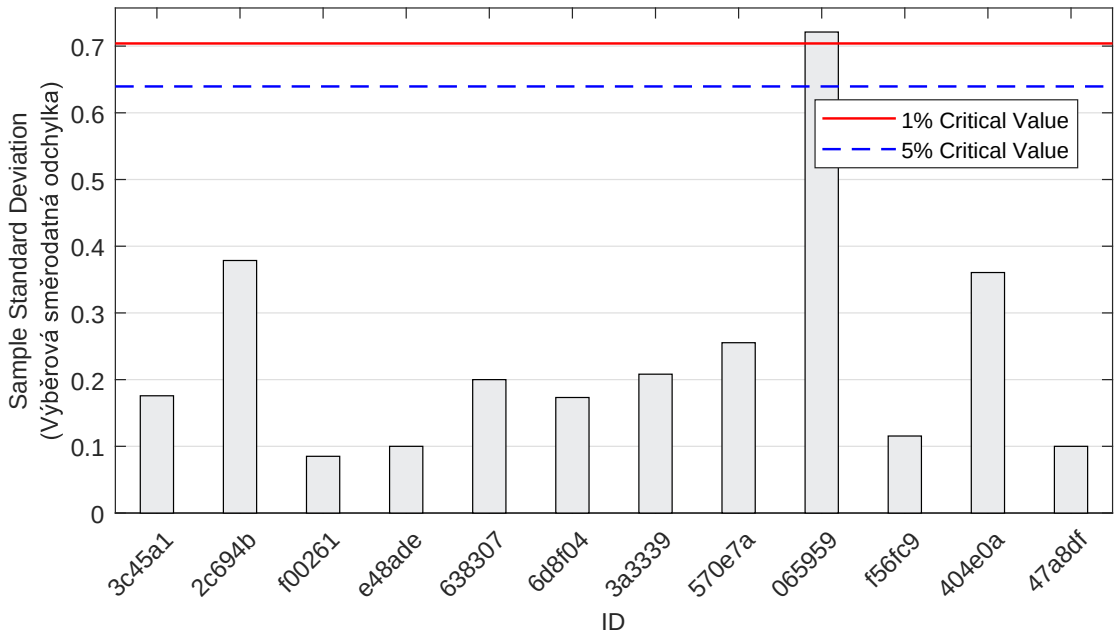
2 Příloha – ČSN EN 12390-5 – Pevnost v tahu ohybem

2.1 Výsledky zkoušek

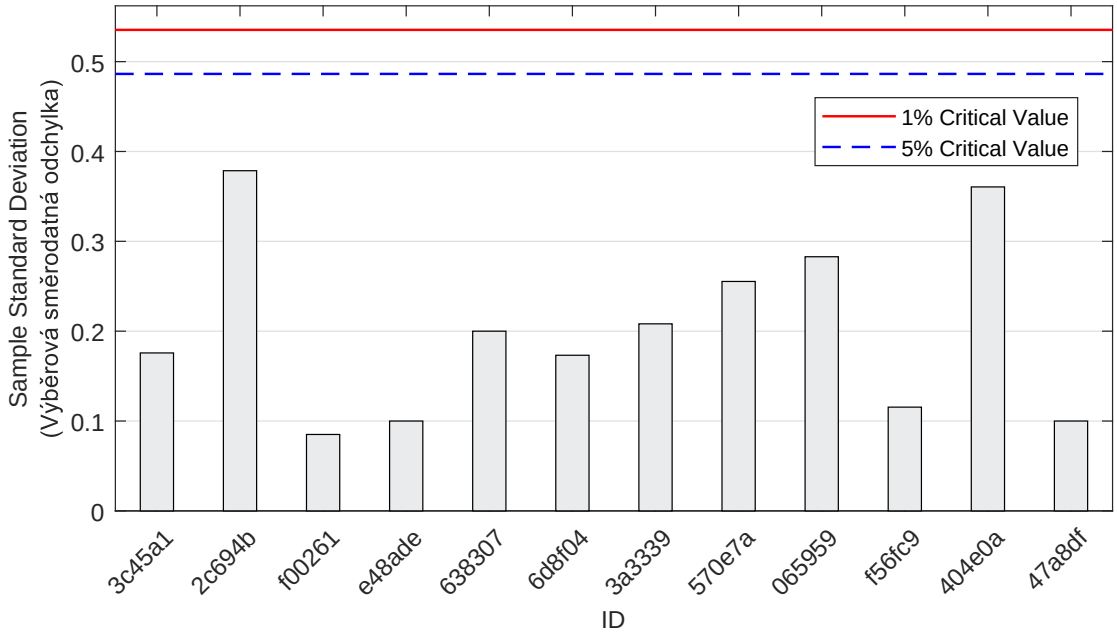
Tabulka 5: Výsledky zkoušek - seřazené podle průměrné hodnoty. Odlehlé hodnoty jsou vyznačeny hvězdičkou. u_X - rozšířená nejistota účastníka; $\bar{x}$ - aritmetický průměr; s_0 - výběrová směrodatná odchylka; V_X - variační koeficient

ID účastníka	Výsledky zkoušek [N/mm^2]			u_X [N/mm^2]	$\bar{x}$ [N/mm^2]	s_0 [N/mm^2]	V_X [%]
3c45a1	4.3	4.6	4.7	0.1	4.5	0.2	3.86
2c694b	4.4	4.3	5.0	1.2	4.6	0.4	8.29
f00261	4.5	4.7	4.6	0.1	4.6	0.1	1.85
e48ade	4.9	5.0	4.8	0.3	4.9	0.1	2.04
638307	4.9	5.1	5.3	0.3	5.1	0.2	3.92
6d8f04	5.0	5.0	5.3	-	5.1	0.2	3.40
3a3339	5.1	5.4	5.5	0.2	5.3	0.2	3.90
570e7a	5.9	6.0	5.5	0.7	5.8	0.3	4.40
065959	6.7*	5.3	5.7	1.9	5.9	0.7	12.22
f56fc9	6.0	6.2	6.2	0.3	6.1	0.1	1.88
404e0a	6.8	6.1	6.3	0.1	6.4	0.4	5.63
47a8df	8.3	8.2	8.4	0.3	8.3	0.1	1.20

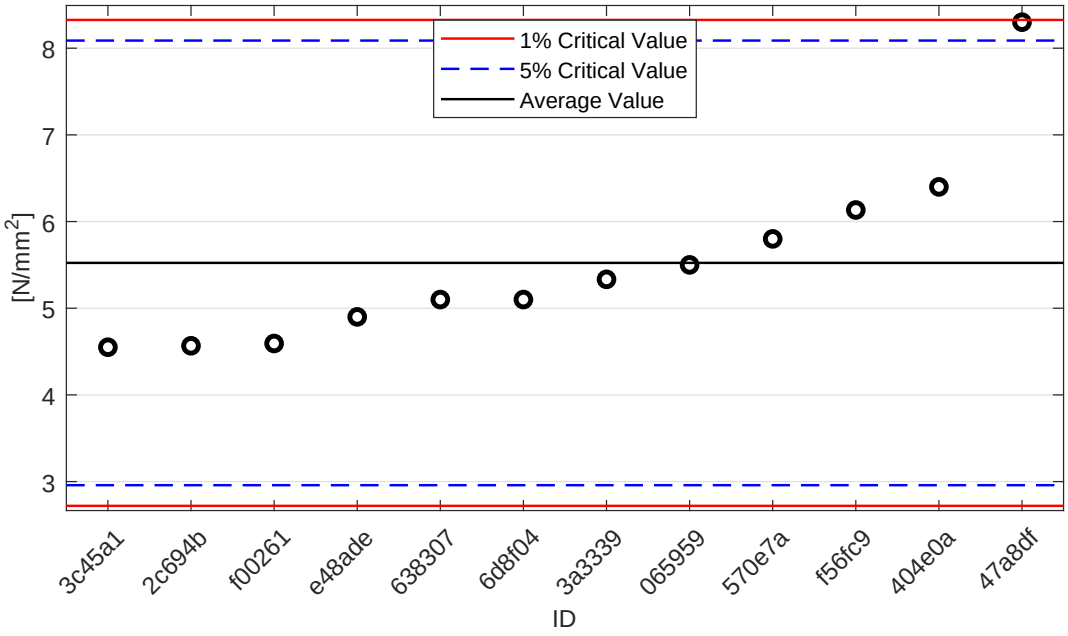
2.2 Numerické zhodnocení odlehlých hodnot



Obrázek 9: **Cochranův test** - graf výběrových směrodatných odchylek: 1% kritická hodnota - červená barva; 5% kritická hodnota - modrá barva

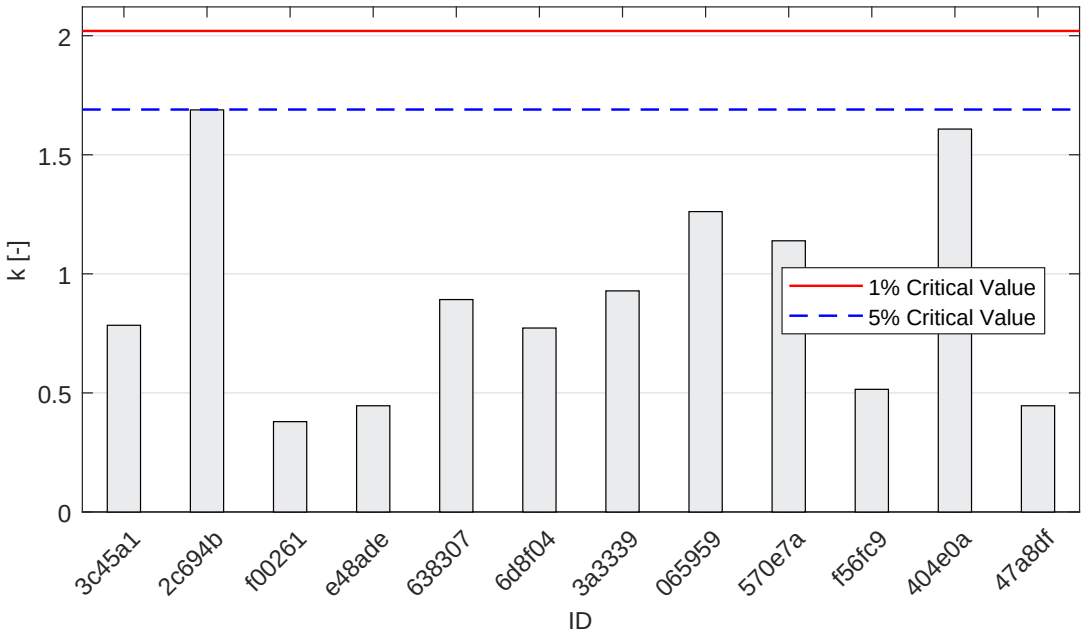


Obrázek 10: **Cochranův test** - graf výběrových směrodatných odchylek po vyřazení odlehlých hodnot: 1% kritická hodnota - červená barva; 5% kritická hodnota - modrá barva

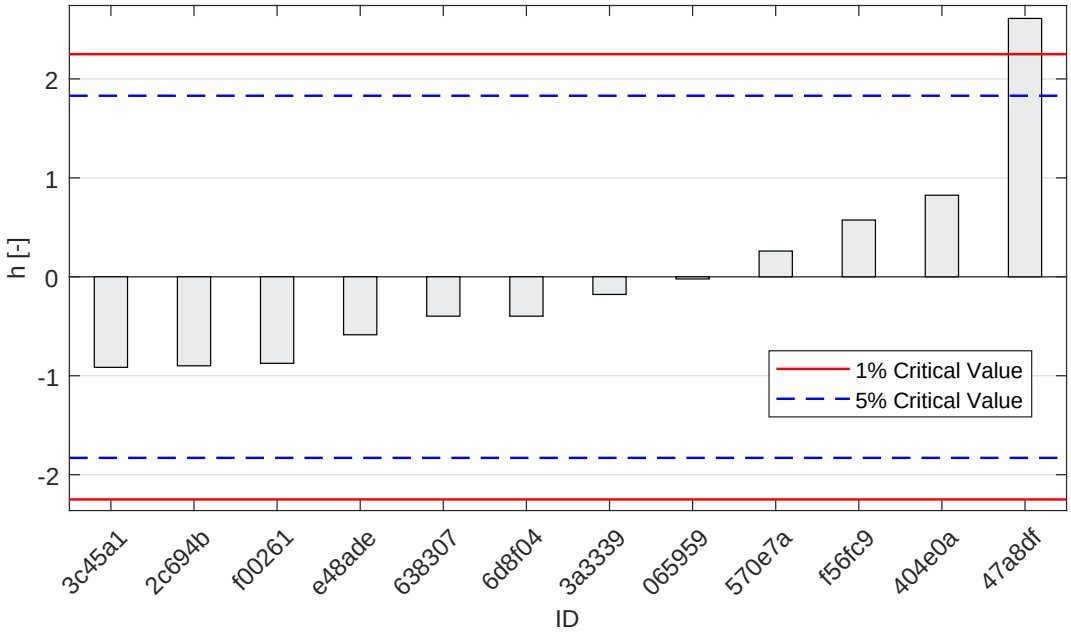


Obrázek 11: **Grubbsův test** - graf průměrných hodnot: 1% kritická hodnota - červená barva; 5% kritická hodnota - modrá barva

2.3 Mandelovy statistiky konzistence

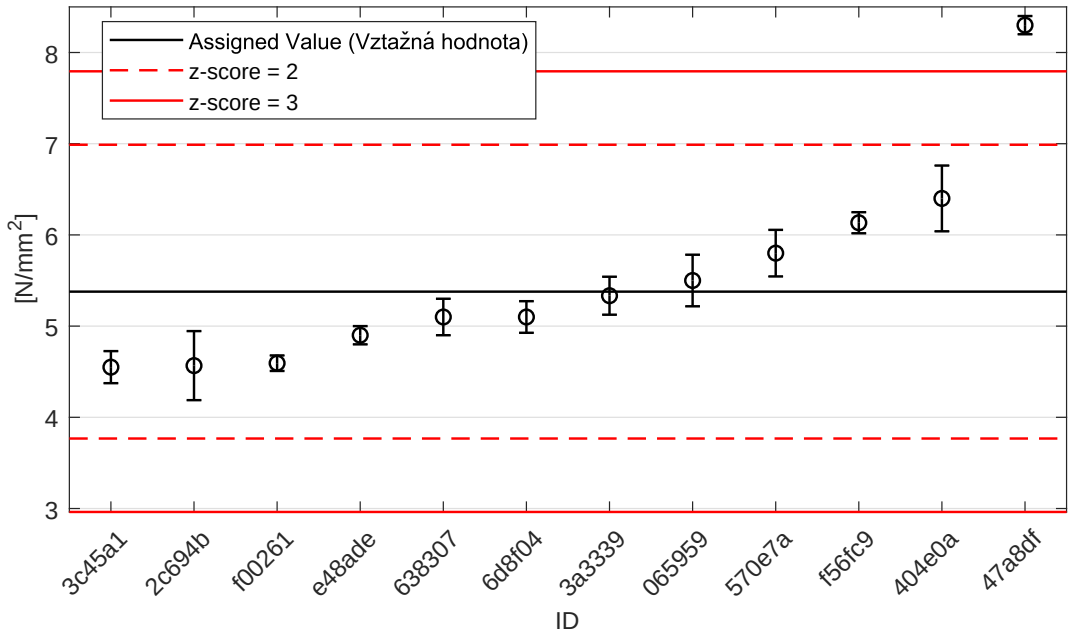


Obrázek 12: Vnitrolaboratorní statistika konzistence: 1% kritická hodnota - červená barva; 5% kritická hodnota - modrá barva

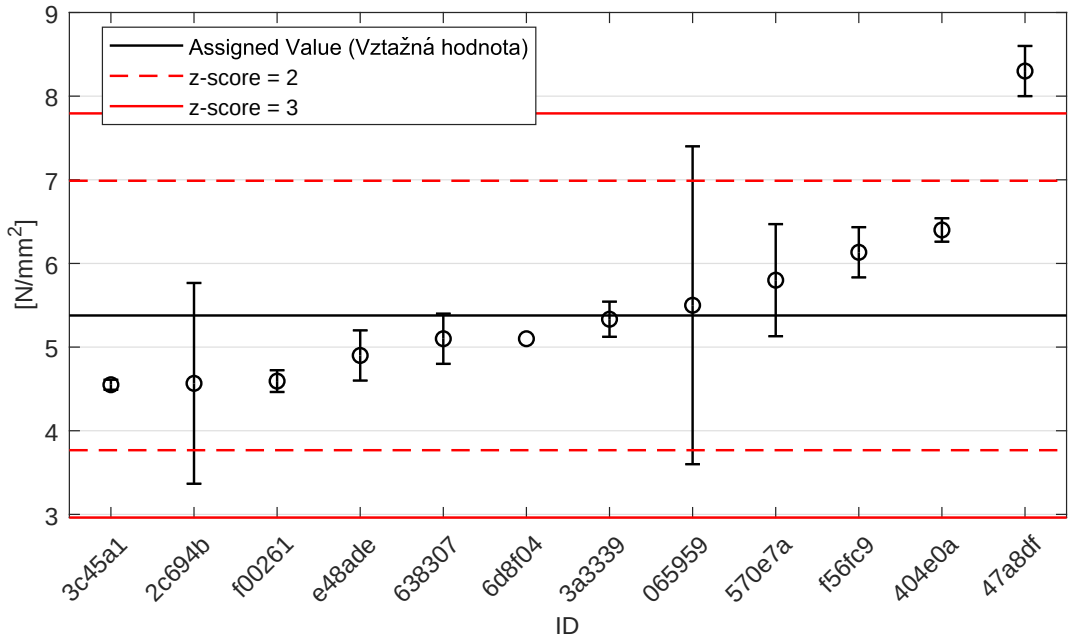


Obrázek 13: Mezilaboratorní statistika konzistence: 1% kritická hodnota - červená barva; 5% kritická hodnota - modrá barva

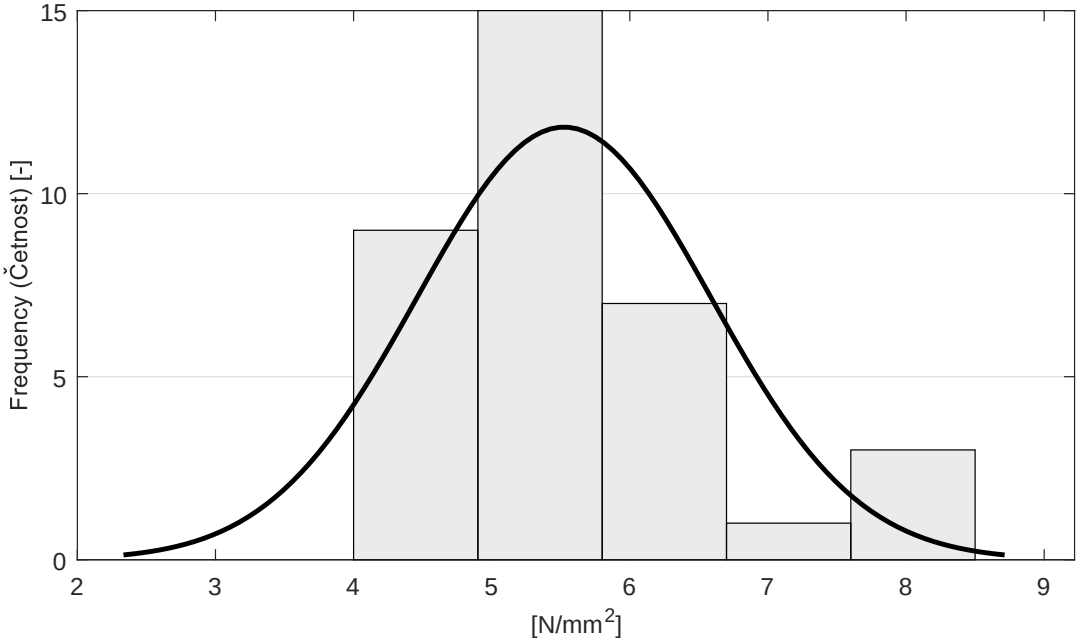
2.4 Vyhodnocení výkonnosti účastníků



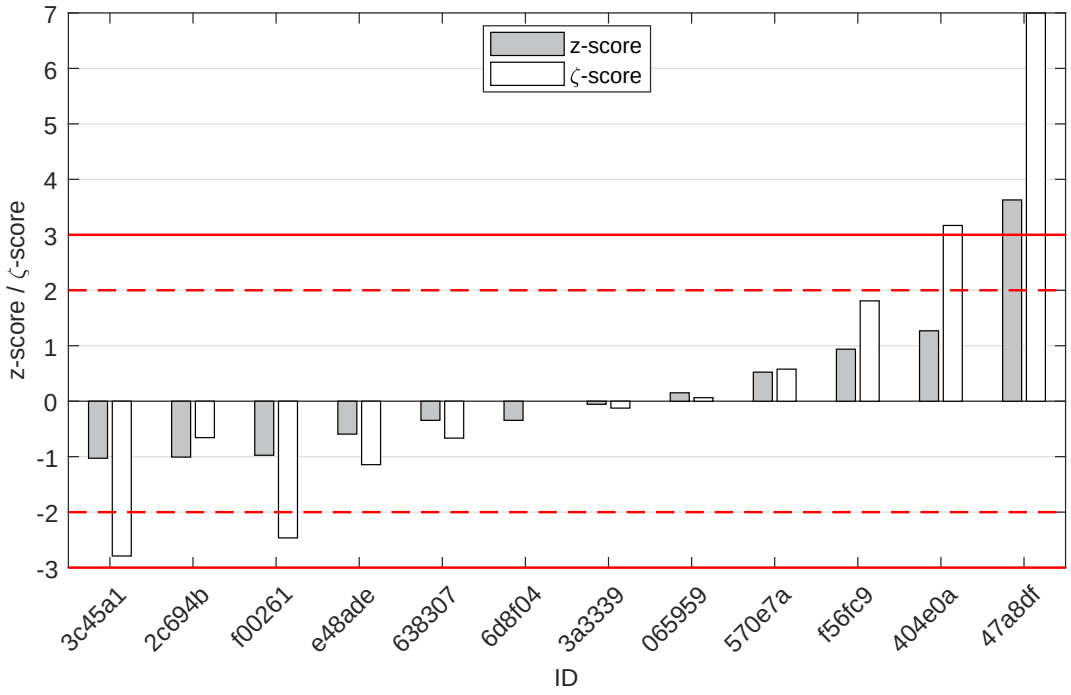
Obrázek 14: Graf průměrných hodnot výsledků zkoušek a výběrových směrodatných odchylek



Obrázek 15: Graf průměrných hodnot výsledků zkoušek a rozšířených nejistot měření



Obrázek 16: Histogram všech výsledků zkoušek



Obrázek 17: z-score a ζ-score

Tabulka 6: Výsledné hodnoty *z*-score a ζ-score

ID	*z*-score [-]	ζ-score [-]
3c45a1	-1.03	-2.79
2c694b	-1.01	-0.66
f00261	-0.97	-2.46
e48ade	-0.59	-1.14
638307	-0.35	-0.67
6d8f04	-0.35	-
3a3339	-0.06	-0.12
065959	0.15	0.06
570e7a	0.52	0.58
f56fc9	0.94	1.81
404e0a	1.27	3.17
47a8df	3.63	7.00

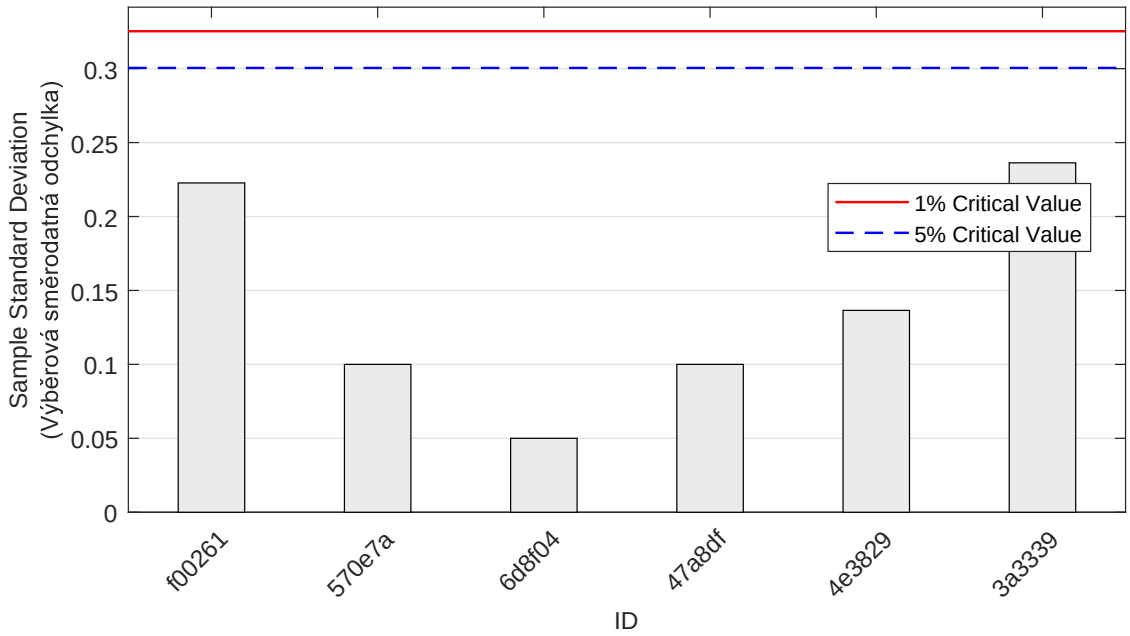
3 Příloha – ČSN EN 12390-6 – Pevnost v příčném tahu

3.1 Výsledky zkoušek

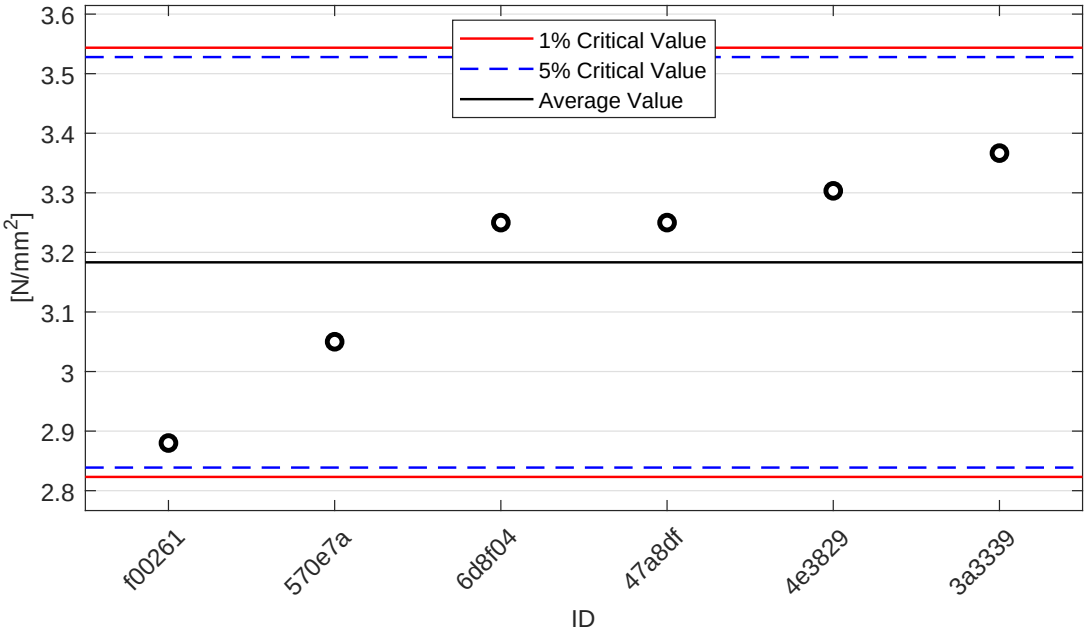
Tabulka 7: Výsledky zkoušek - seřazené podle průměrné hodnoty. Odlehlé hodnoty jsou vyznačeny hvězdičkou. u_X - rozšířená nejistota účastníka; $\bar{x}$ - aritmetický průměr; s_0 - výběrová směrodatná odchylka; V_X - variační koeficient

ID účastníka	Výsledky zkoušek [N/mm^2]			u_X [N/mm^2]	$\bar{x}$ [N/mm^2]	s_0 [N/mm^2]	V_X [%]
f00261	3.12	2.68	2.84	0.15	2.88	0.22	7.73
570e7a	3.15	3.05	2.95	0.19	3.05	0.10	3.28
6d8f04	3.20	3.25	3.30	-	3.25	0.05	1.54
47a8df	3.25	3.35	3.15	0.20	3.25	0.10	3.08
4e3829	3.24	3.46	3.21	0.15	3.30	0.14	4.13
3a3339	3.55	3.10	3.45	0.24	3.37	0.24	7.02

3.2 Numerické zhodnocení odlehlých hodnot

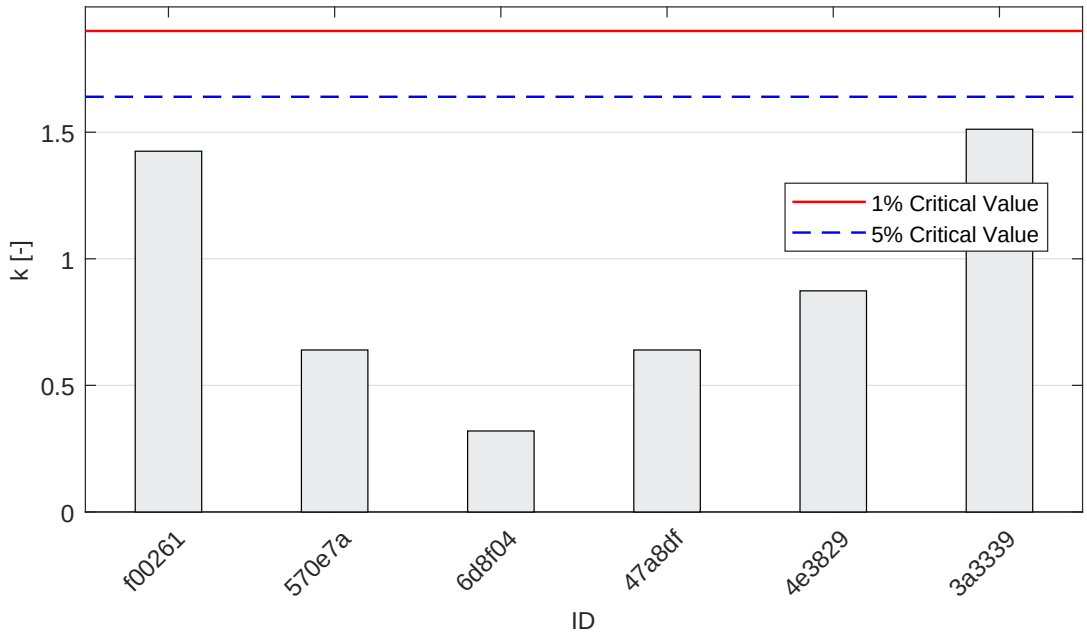


Obrázek 18: **Cochranův test** - graf výběrových směrodatných odchylek: 1% kritická hodnota - červená barva; 5% kritická hodnota - modrá barva

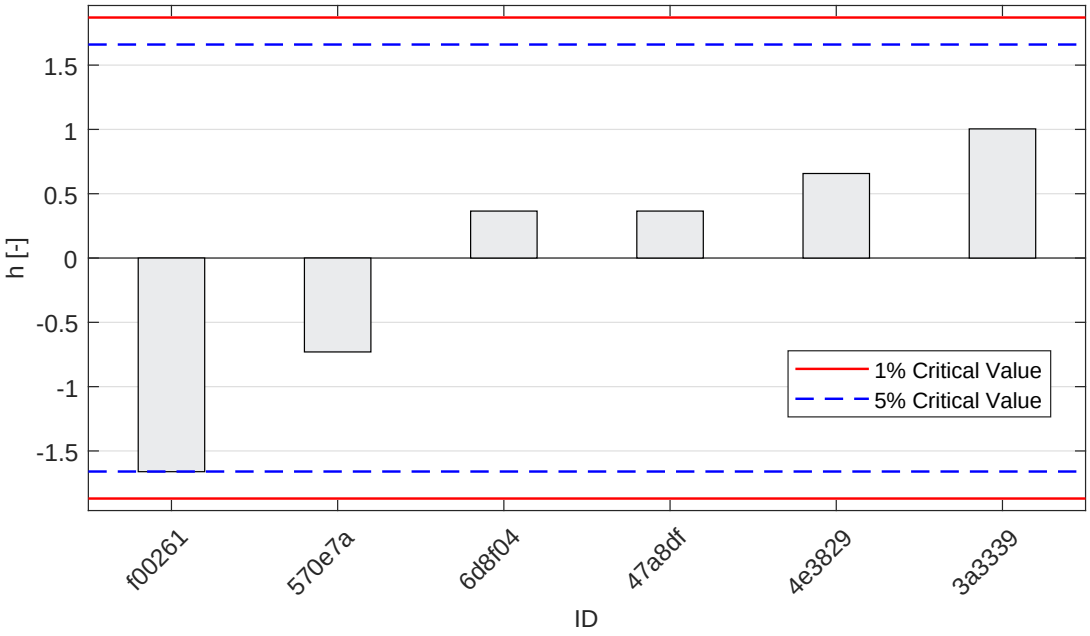


Obrázek 19: **Grubbsův test** - graf průměrných hodnot: 1% kritická hodnota - červená barva; 5% kritická hodnota - modrá barva

3.3 Mandelovy statistiky konzistence

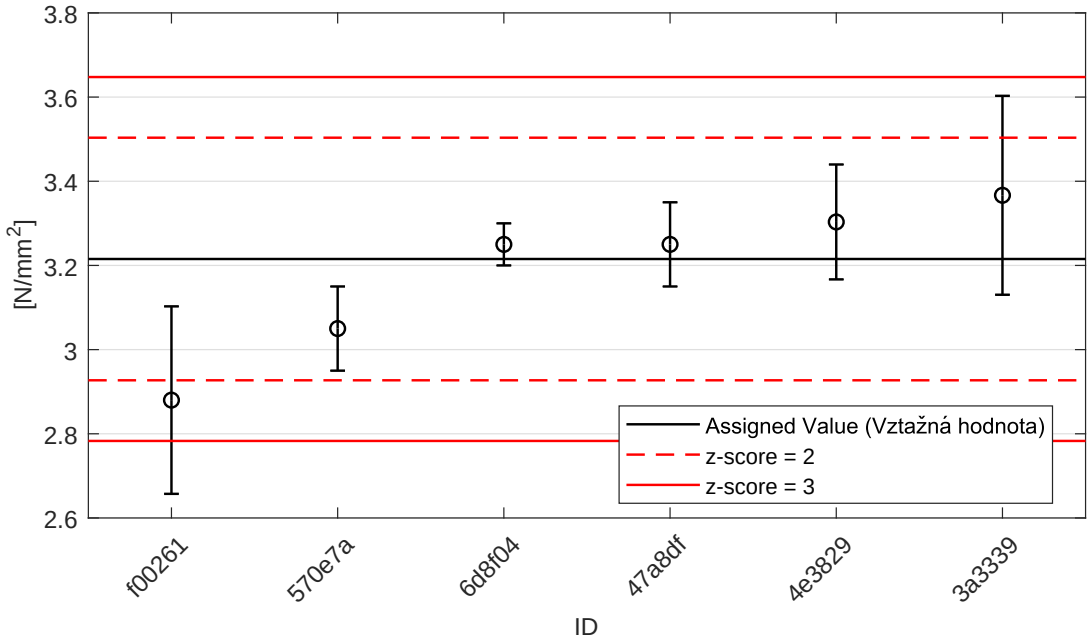


Obrázek 20: Vnitrolaboratorní statistika konzistence: 1% kritická hodnota - červená barva; 5% kritická hodnota - modrá barva

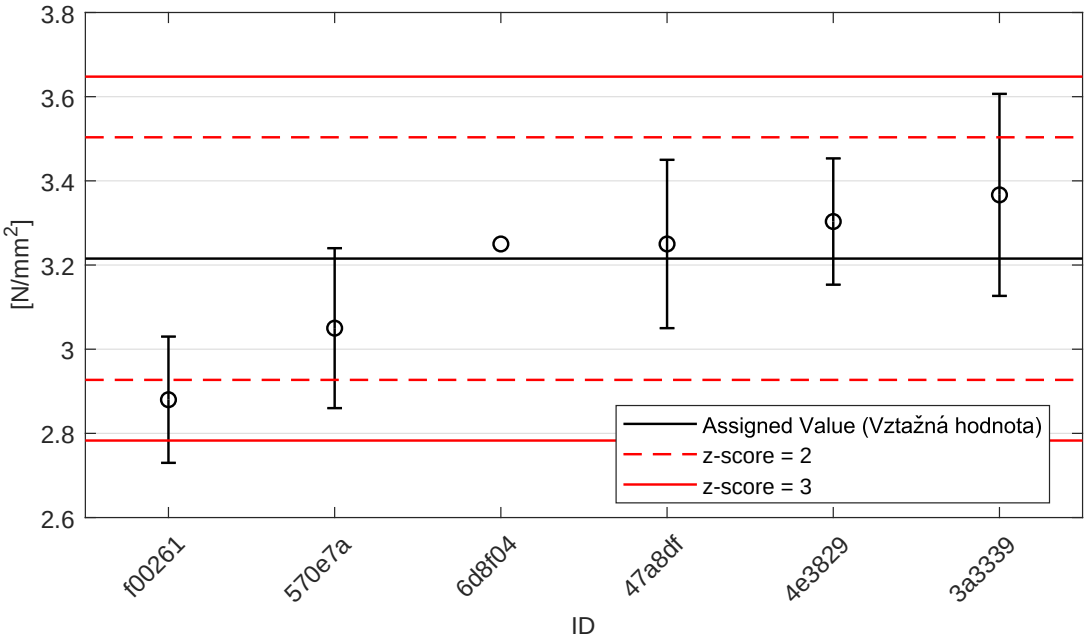


Obrázek 21: Mezilaboratorní statistika konzistence: 1% kritická hodnota - červená barva; 5% kritická hodnota - modrá barva

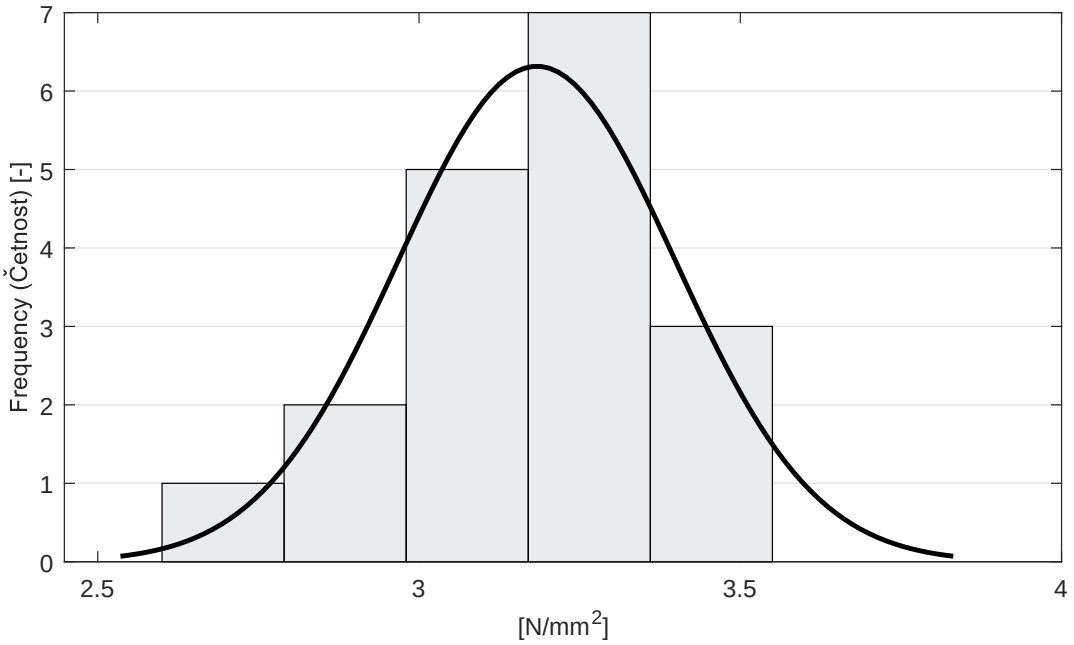
3.4 Vyhodnocení výkonnosti účastníků



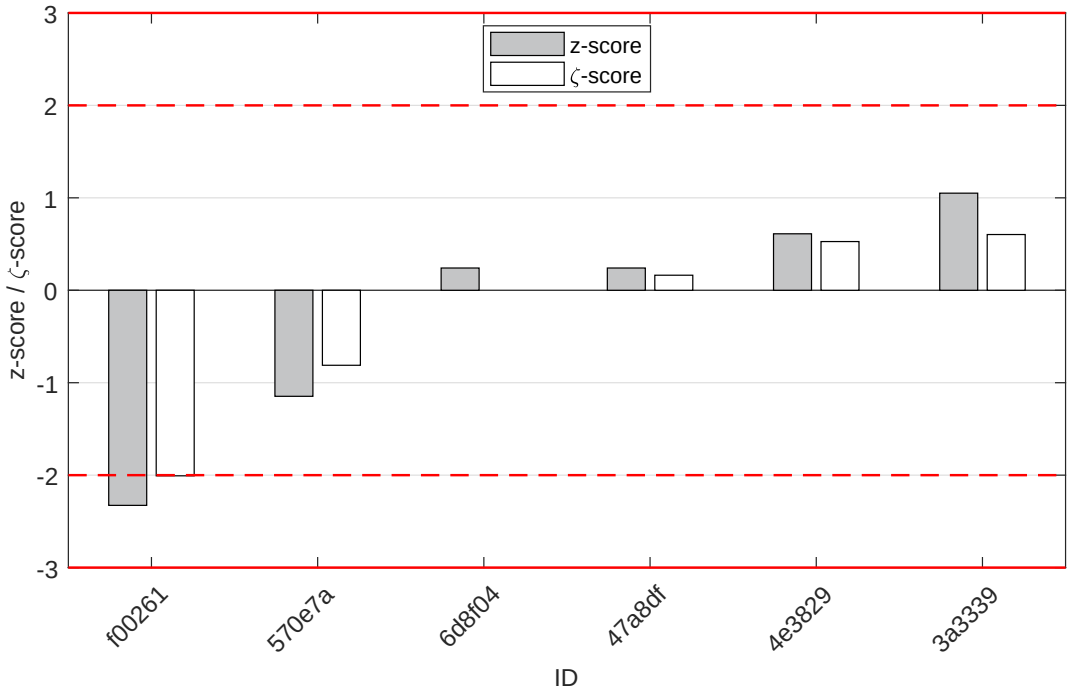
Obrázek 22: Graf průměrných hodnot výsledků zkoušek a výběrových směrodatných odchylek



Obrázek 23: Graf průměrných hodnot výsledků zkoušek a rozšířených nejistot měření



Obrázek 24: Histogram všech výsledků zkoušek



Obrázek 25: z-score a ζ-score

Tabulka 8: Výsledné hodnoty z-score a ζ-score

ID	z-score [-]	ζ-score [-]
f00261	-2.33	-2.01
570e7a	-1.15	-0.81
6d8f04	0.24	-
47a8df	0.24	0.16
4e3829	0.61	0.53
3a3339	1.05	0.60

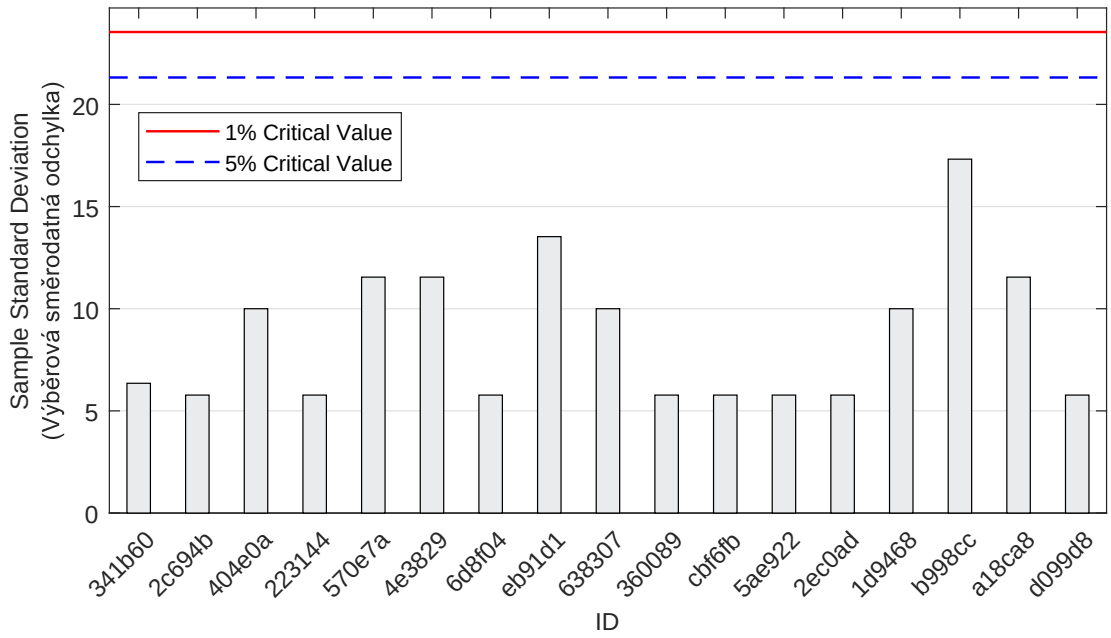
4 Příloha – ČSN EN 12390-7 – Objemová hmotnost

4.1 Výsledky zkoušek

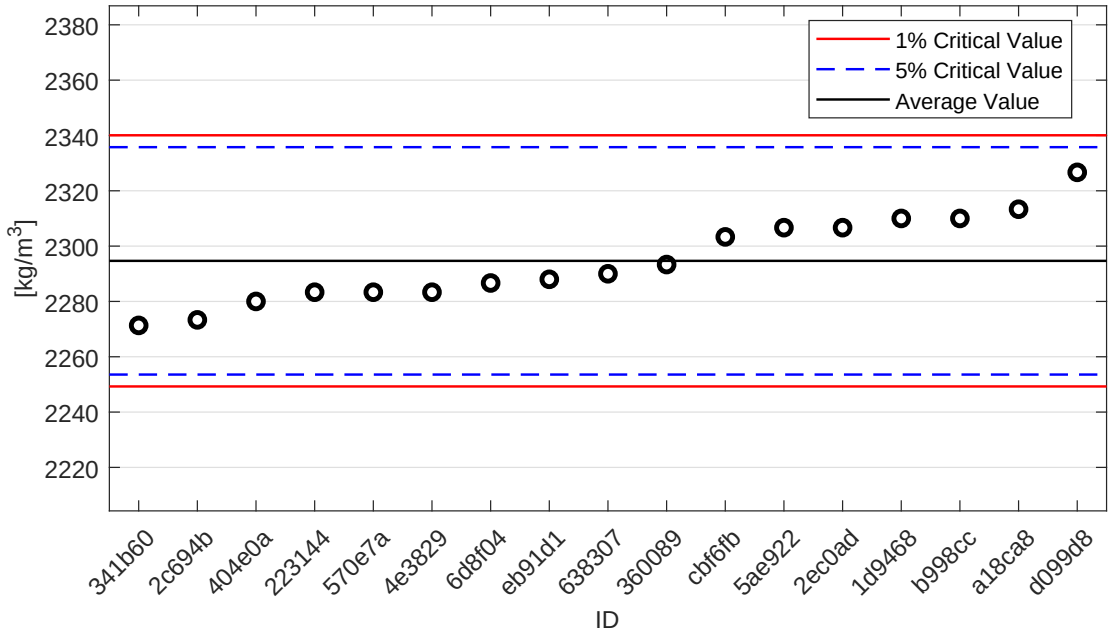
Tabulka 9: Výsledky zkoušek - seřazené podle průměrné hodnoty. Odlehlé hodnoty jsou vyznačeny hvězdičkou. u_X - rozšířená nejistota účastníka; $\bar{x}$ - aritmetický průměr; s_0 - výběrová směrodatná odchylka; V_X - variační koeficient

ID účastníka	Výsledky zkoušek [kg/m^3]			u_X [kg/m^3]	$\bar{x}$ [kg/m^3]	s_0 [kg/m^3]	V_X [%]
341b60	2264	2275	2275	7	2271	6	0.28
2c694b	2270	2270	2280	20	2273	6	0.25
404e0a	2280	2290	2270	8	2280	10	0.44
223144	2280	2280	2290	10	2283	6	0.25
570e7a	2290	2270	2290	10	2283	12	0.51
4e3829	2290	2270	2290	10	2283	12	0.51
6d8f04	2290	2280	2290	-	2287	6	0.25
eb91d1	2274	2289	2301	32	2288	14	0.59
638307	2300	2280	2290	10	2290	10	0.44
360089	2300	2290	2290	100	2293	6	0.25
cbf6fb	2310	2300	2300	4	2303	6	0.25
5ae922	2310	2300	2310	32	2307	6	0.25
2ec0ad	2310	2300	2310	11	2307	6	0.25
1d9468	2320	2300	2310	23	2310	10	0.43
b998cc	2290	2320	2320	23	2310	17	0.75
a18ca8	2320	2300	2320	32	2313	12	0.50
d099d8	2330	2330	2320	40	2327	6	0.25

4.2 Numerické zhodnocení odlehlých hodnot

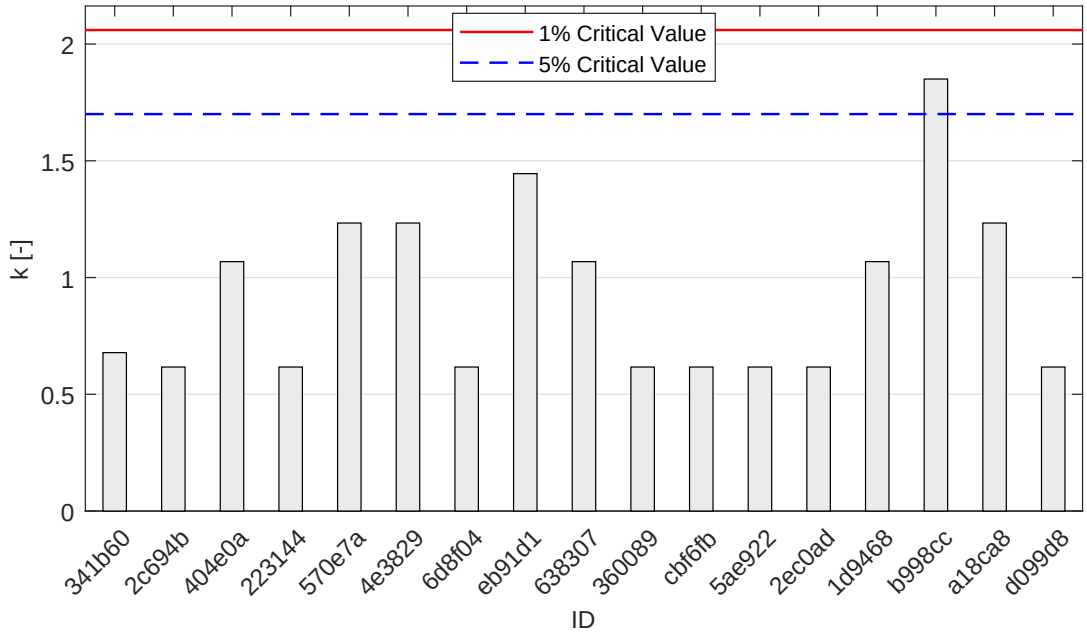


Obrázek 26: **Cochranův test** - graf výběrových směrodatných odchylek: 1% kritická hodnota - červená barva; 5% kritická hodnota - modrá barva

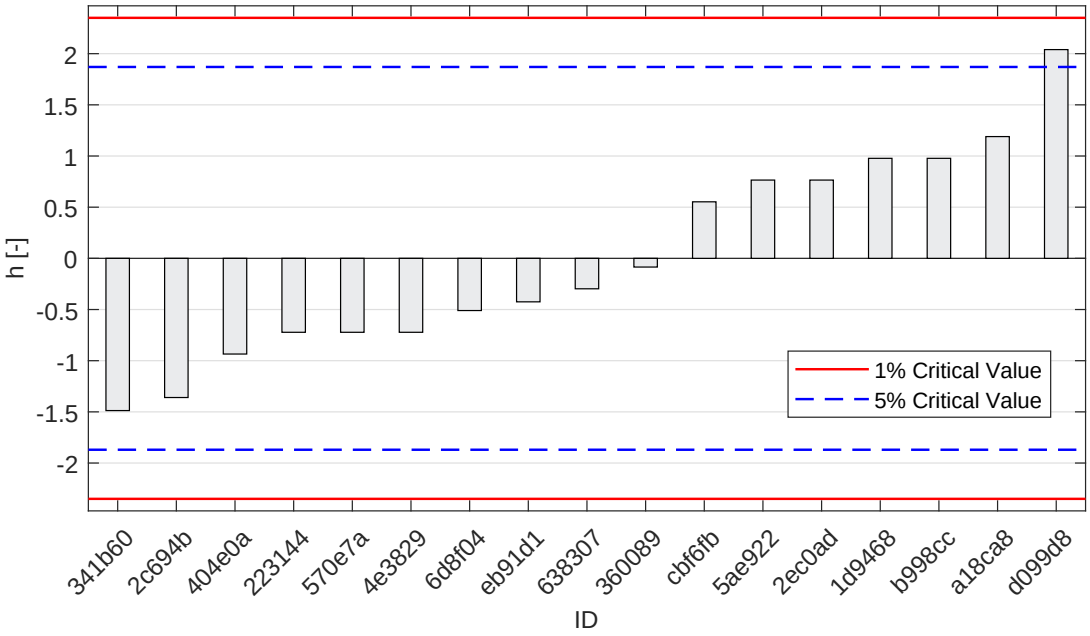


Obrázek 27: **Grubbsův test** - graf průměrných hodnot: 1% kritická hodnota - červená barva; 5% kritická hodnota - modrá barva

4.3 Mandelovy statistiky konzistence

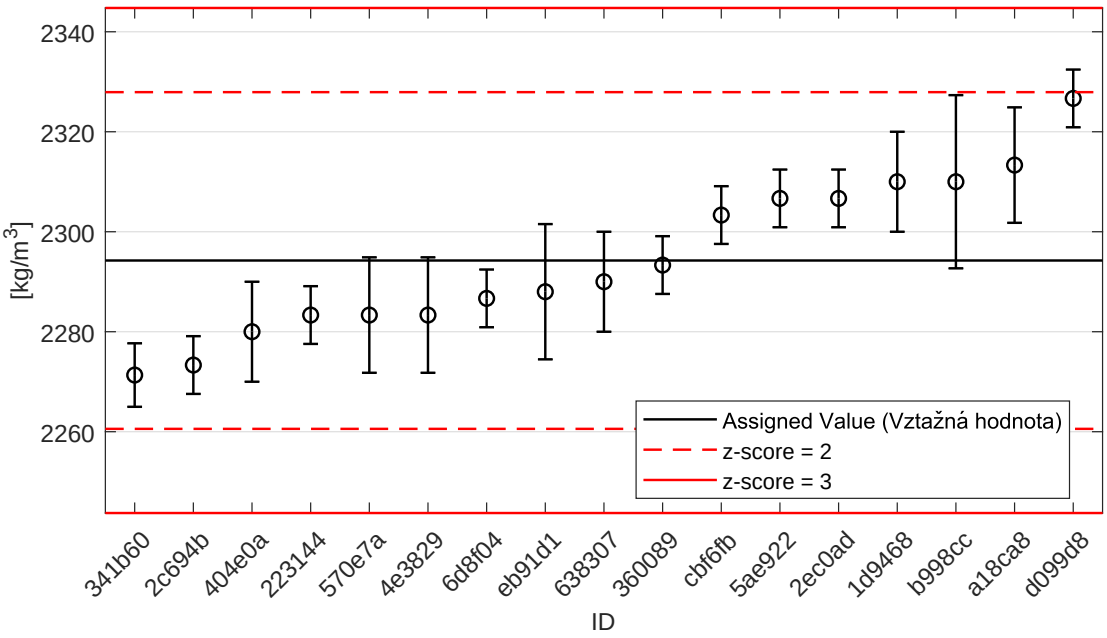


Obrázek 28: Vnitrolaboratorní statistika konzistence: 1% kritická hodnota - červená barva; 5% kritická hodnota - modrá barva

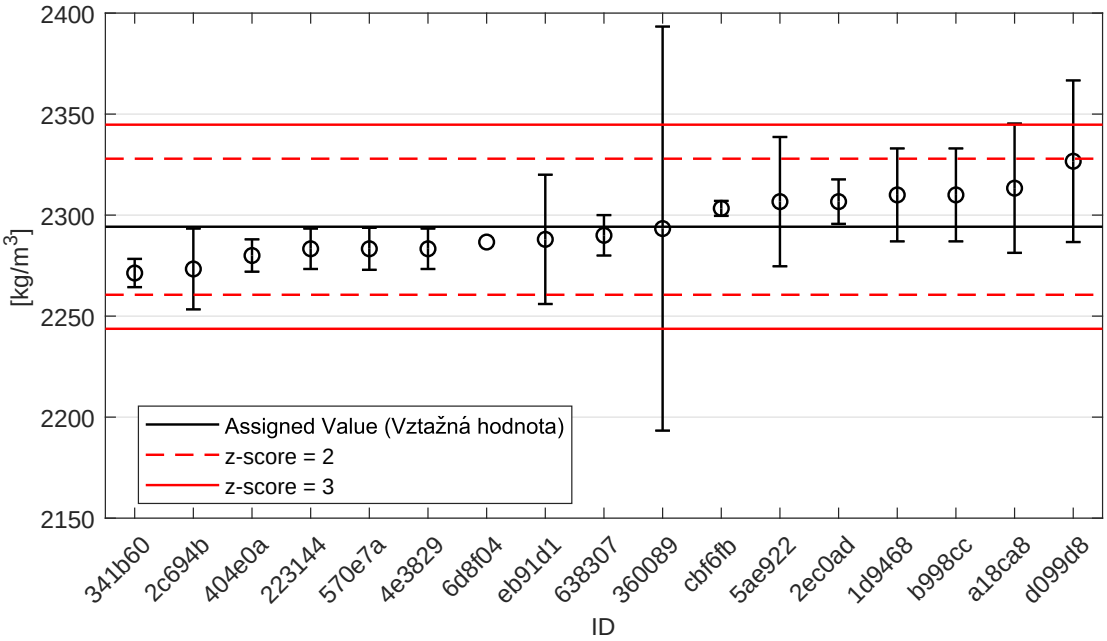


Obrázek 29: Mezilaboratorní statistika konzistence: 1% kritická hodnota - červená barva; 5% kritická hodnota - modrá barva

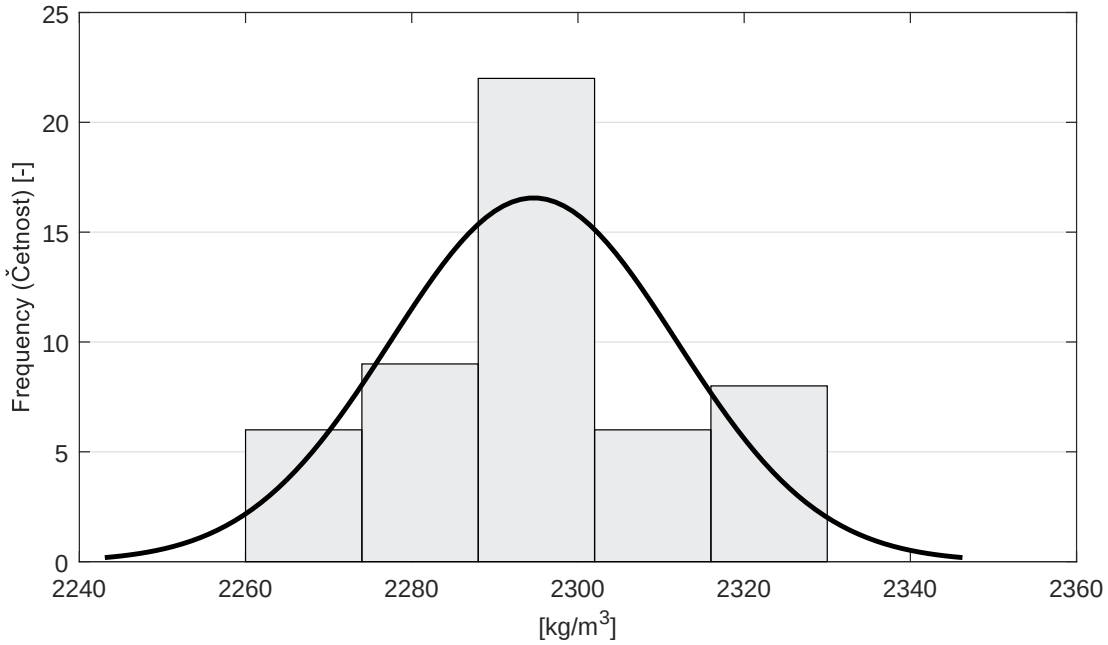
4.4 Vyhodnocení výkonnosti účastníků



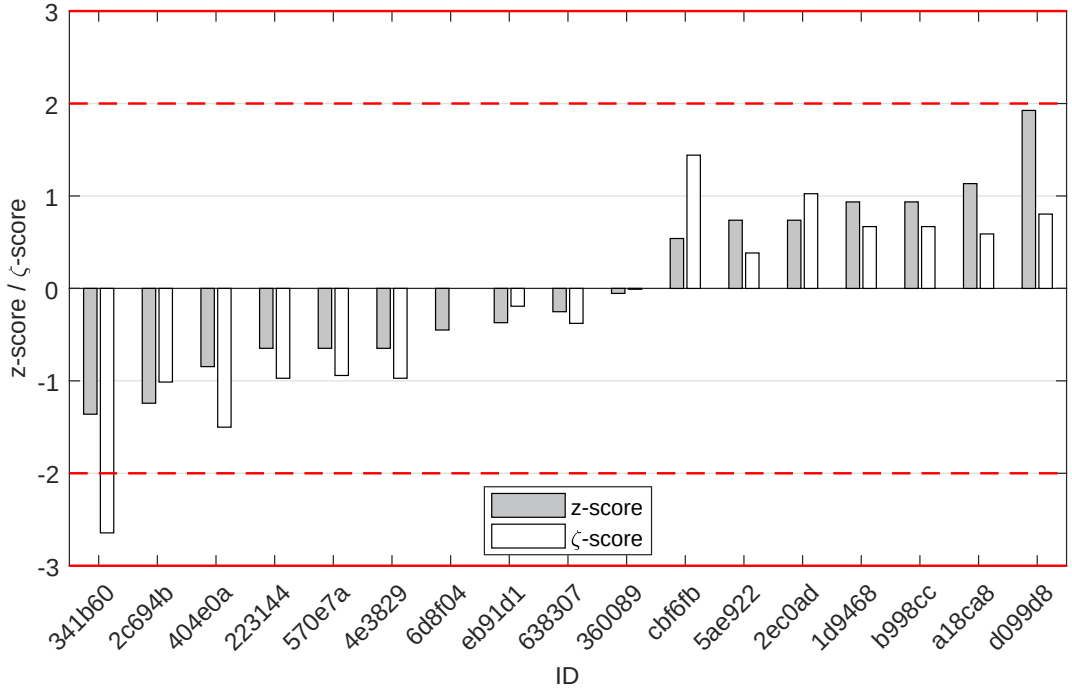
Obrázek 30: Graf průměrných hodnot výsledků zkoušek a výběrových směrodatných odchylek



Obrázek 31: Graf průměrných hodnot výsledků zkoušek a rozšířených nejistot měření



Obrázek 32: Histogram všech výsledků zkoušek



Obrázek 33: z-score a ζ-score

Tabulka 10: Výsledné hodnoty z-score a ζ-score

ID	z-score [-]	ζ-score [-]
341b60	-1.36	-2.64
2c694b	-1.24	-1.01
404e0a	-0.85	-1.50
223144	-0.65	-0.97
570e7a	-0.65	-0.94
4e3829	-0.65	-0.97
6d8f04	-0.45	-
eb91d1	-0.37	-0.19
638307	-0.25	-0.38
360089	-0.05	-0.01
cbf6fb	0.54	1.44
5ae922	0.74	0.38
2ec0ad	0.74	1.02
1d9468	0.94	0.67
b998cc	0.94	0.67
a18ca8	1.13	0.59
d099d8	1.93	0.80

5 Příloha – ČSN ISO 1920-10 – Statický modul pružnosti

Zkouška neotevřena pro nízký počet účastníků.

6 Příloha – ČSN EN 12390-13, metoda A – Statický modul pružnosti

Zkouška neotevřena pro nízký počet účastníků.

7 Příloha – ČSN EN 12390-13, metoda B – Statický modul pružnosti

Zkouška neotevřena pro nízký počet účastníků.

8 Příloha – ČSN EN 12504-4, ČSN 731371 – Rychlost šíření impulsů podélných vln v betonu, Dynamický modul pružnosti v tlaku a tahu

Zkouška neotevřena pro nízký počet účastníků.

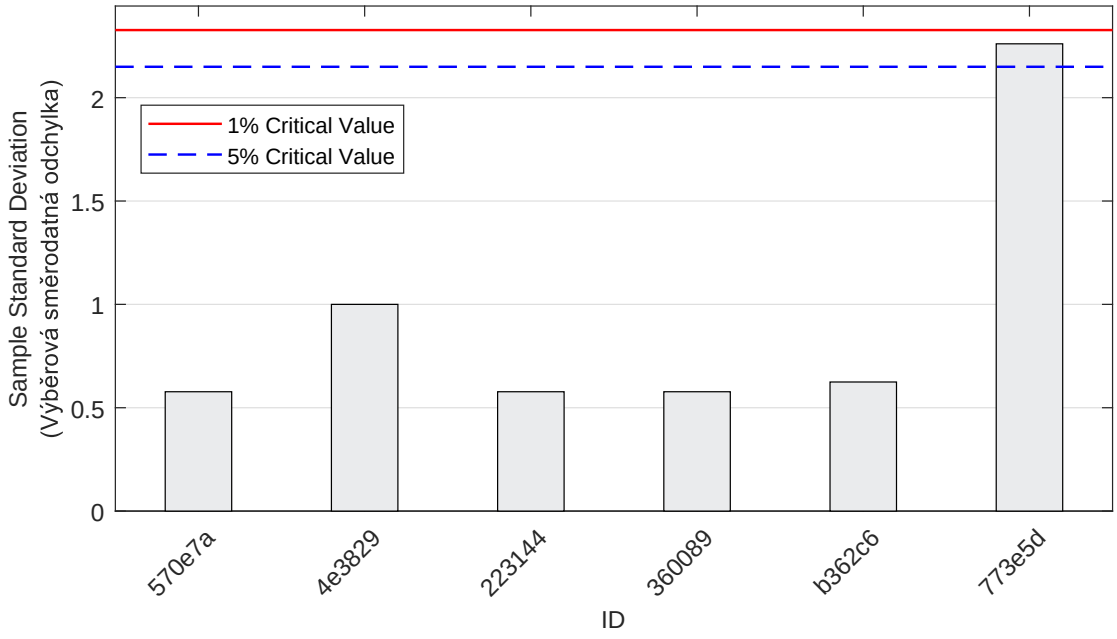
9 Příloha – ČSN 731373, ČSN EN 12504-2 – Stanovení tvrdosti Schmidtovým tvrdoměrem

9.1 Výsledky zkoušek

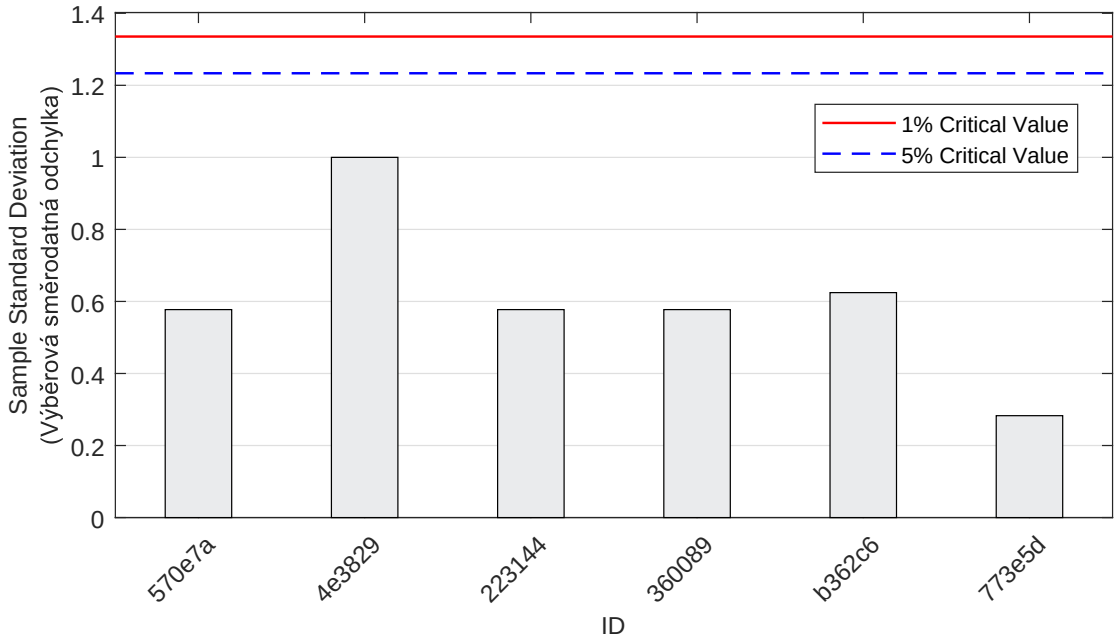
Tabulka 11: Výsledky zkoušek - seřazené podle průměrné hodnoty. Odlehlé hodnoty jsou vyznačeny hvězdičkou. u_X - rozšířená nejistota účastníka; $\bar{x}$ - aritmetický průměr; s_0 - výběrová směrodatná odchylka; V_X - variační koeficient

ID účastníka	Výsledky zkoušek [-]			u_X [-]	$\bar{x}$ [-]	s_0 [-]	V_X [%]
570e7a	20	19	20	3	20	1	2.94
4e3829	31	29	30	2	30	1	3.33
223144	32	31	32	2	32	1	1.82
360089	34	34	35	5	34	1	1.68
b362c6	36	36	35	-	35	1	1.76
773e5d	35	35	39*	4	36	2	6.24

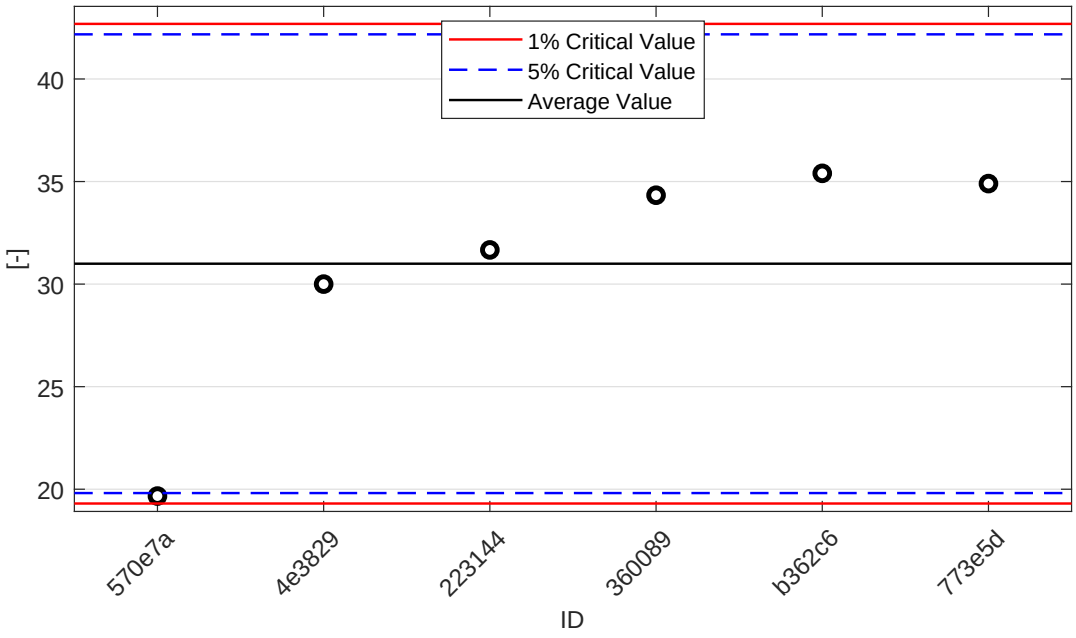
9.2 Numerické zhodnocení odlehlých hodnot



Obrázek 34: **Cochranův test** - graf výběrových směrodatných odchylek: 1% kritická hodnota - červená barva; 5% kritická hodnota - modrá barva

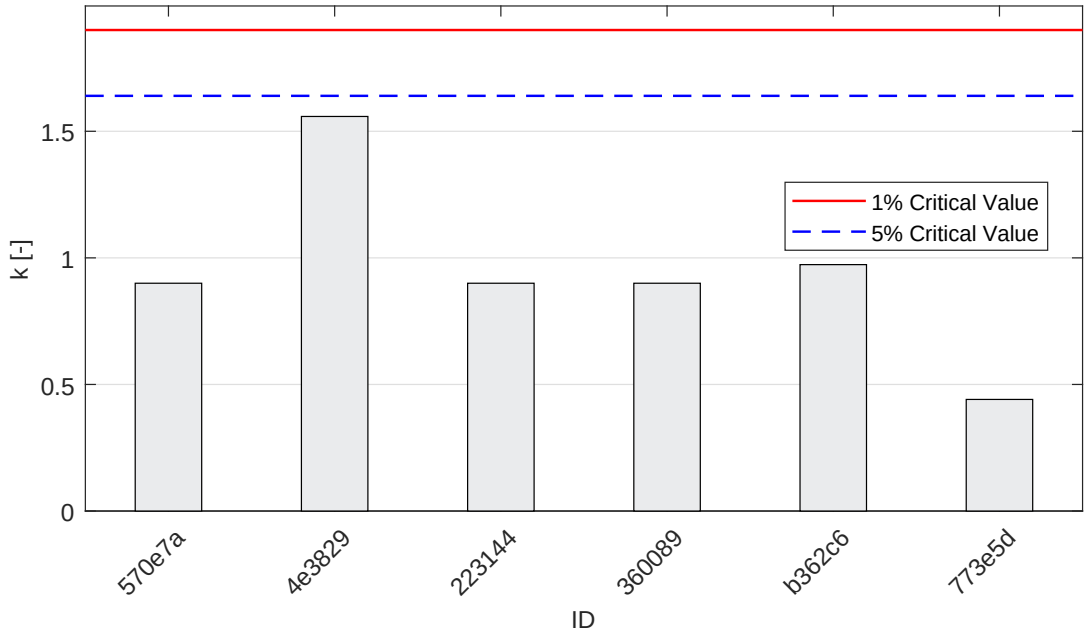


Obrázek 35: **Cochranův test** - graf výběrových směrodatných odchylek po vyřazení odlehlých hodnot: 1% kritická hodnota - červená barva; 5% kritická hodnota - modrá barva

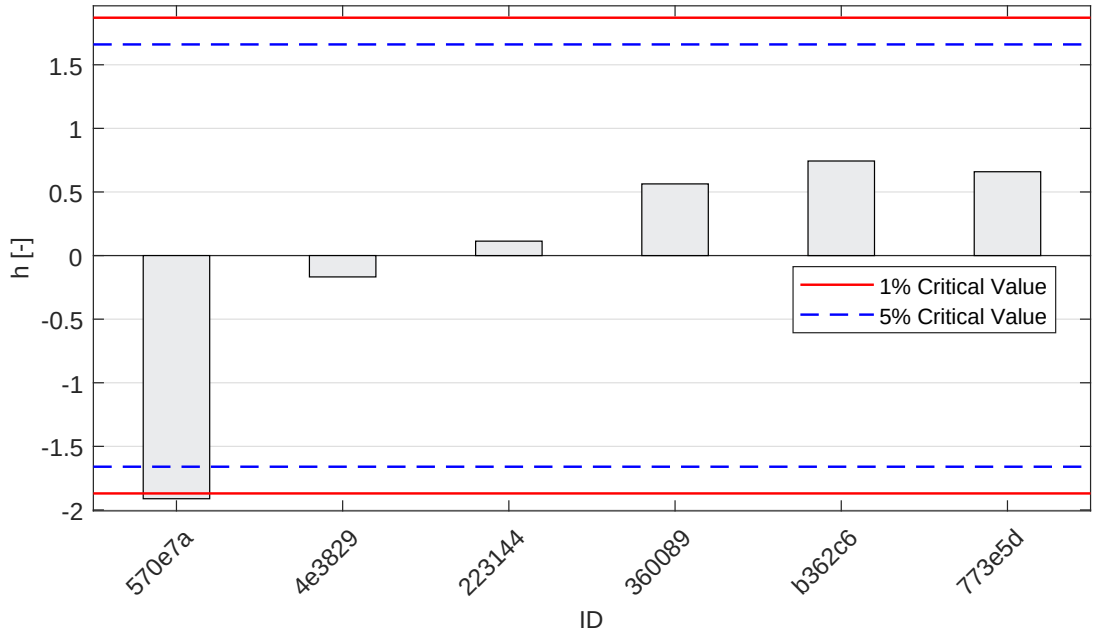


Obrázek 36: **Grubbsův test** - graf průměrných hodnot: 1% kritická hodnota - červená barva; 5% kritická hodnota - modrá barva

9.3 Mandelovy statistiky konzistence

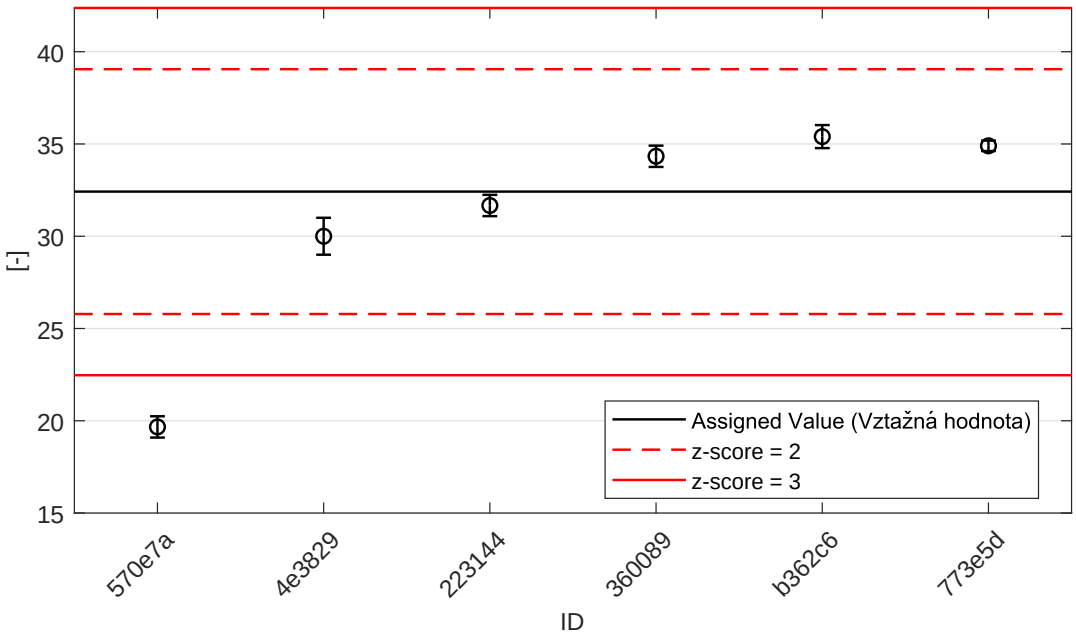


Obrázek 37: Vnitrolaboratorní statistika konzistence: 1% kritická hodnota - červená barva; 5% kritická hodnota - modrá barva

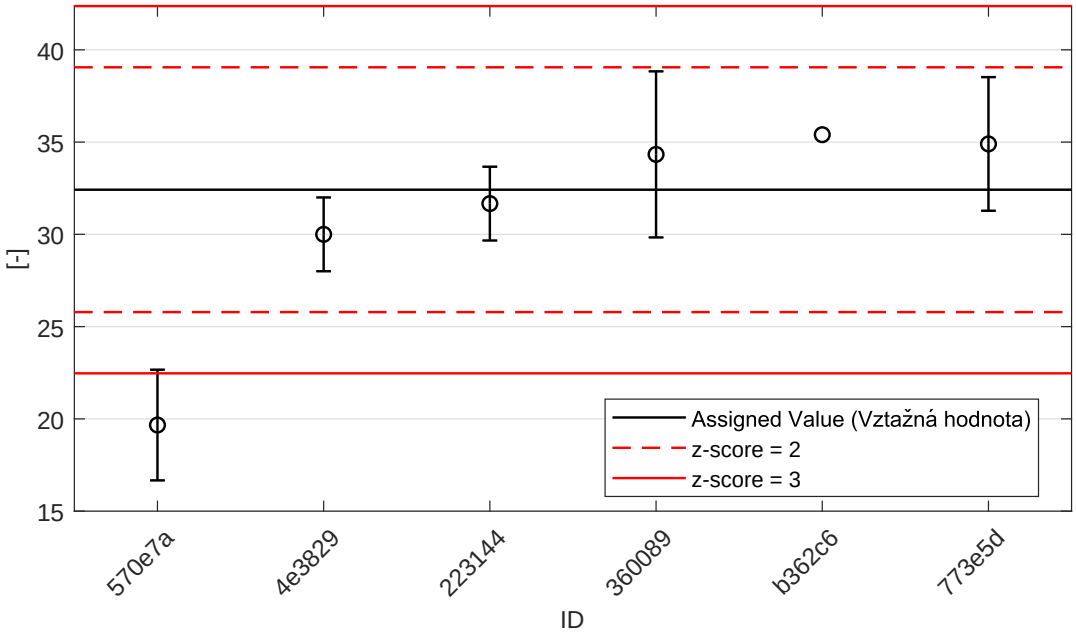


Obrázek 38: Mezilaboratorní statistika konzistence: 1% kritická hodnota - červená barva; 5% kritická hodnota - modrá barva

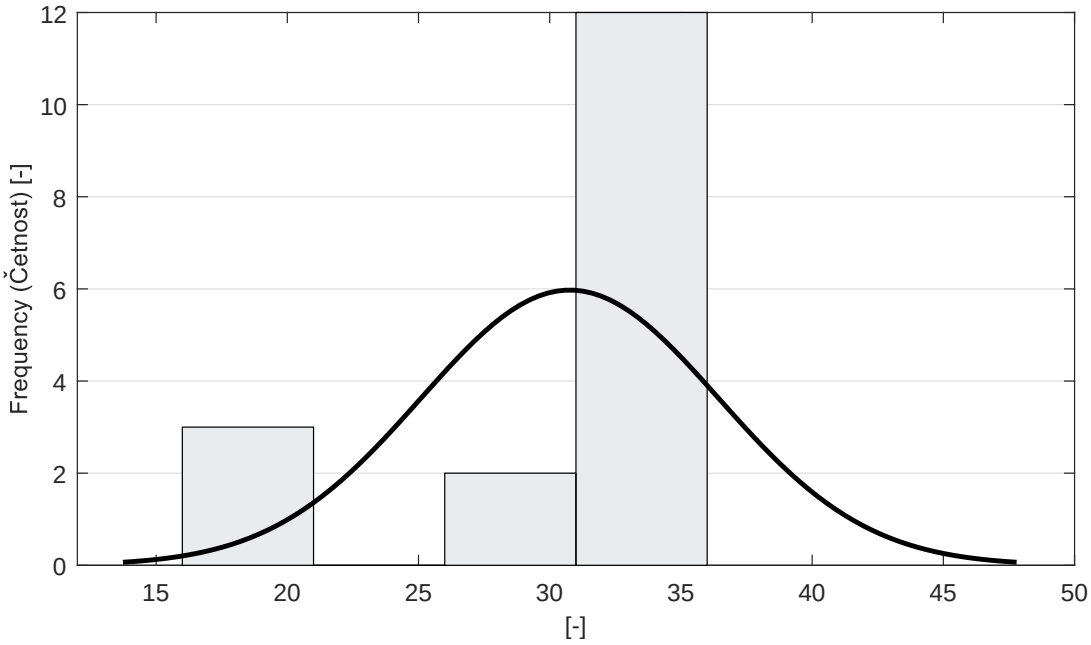
9.4 Vyhodnocení výkonnosti účastníků



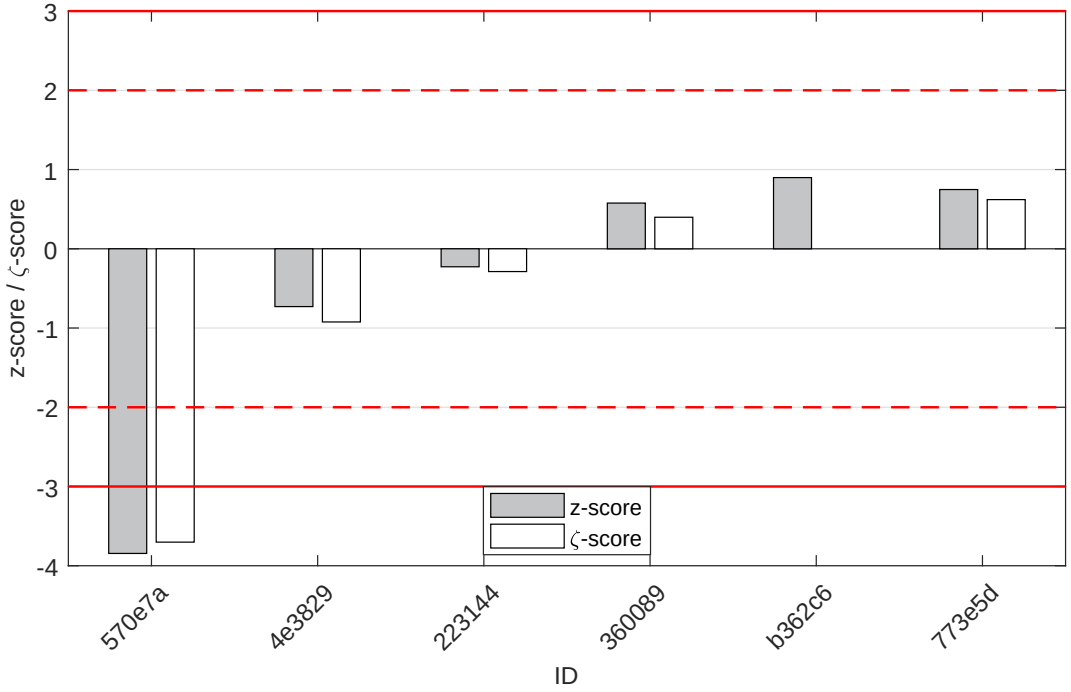
Obrázek 39: Graf průměrných hodnot výsledků zkoušek a výběrových směrodatných odchylek



Obrázek 40: Graf průměrných hodnot výsledků zkoušek a rozšířených nejistot měření



Obrázek 41: Histogram všech výsledků zkoušek



Obrázek 42: z-score a ζ-score

Tabulka 12: Výsledné hodnoty z-score a ζ-score

ID	z-score [-]	ζ-score [-]
570e7a	-3.84	-3.70
4e3829	-0.73	-0.92
223144	-0.23	-0.29
360089	0.58	0.40
b362c6	0.90	-
773e5d	0.75	0.62

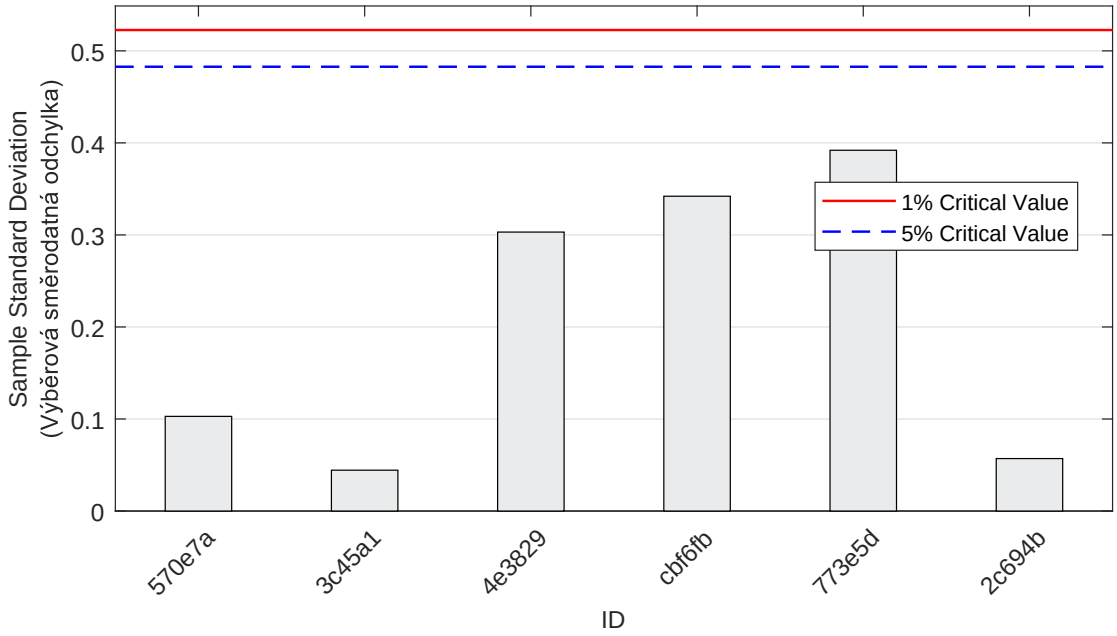
10 Příloha – ČSN EN 1542, ČSN 736242, Příloha B – Pevnost v tahu povrchových vrstev

10.1 Výsledky zkoušek

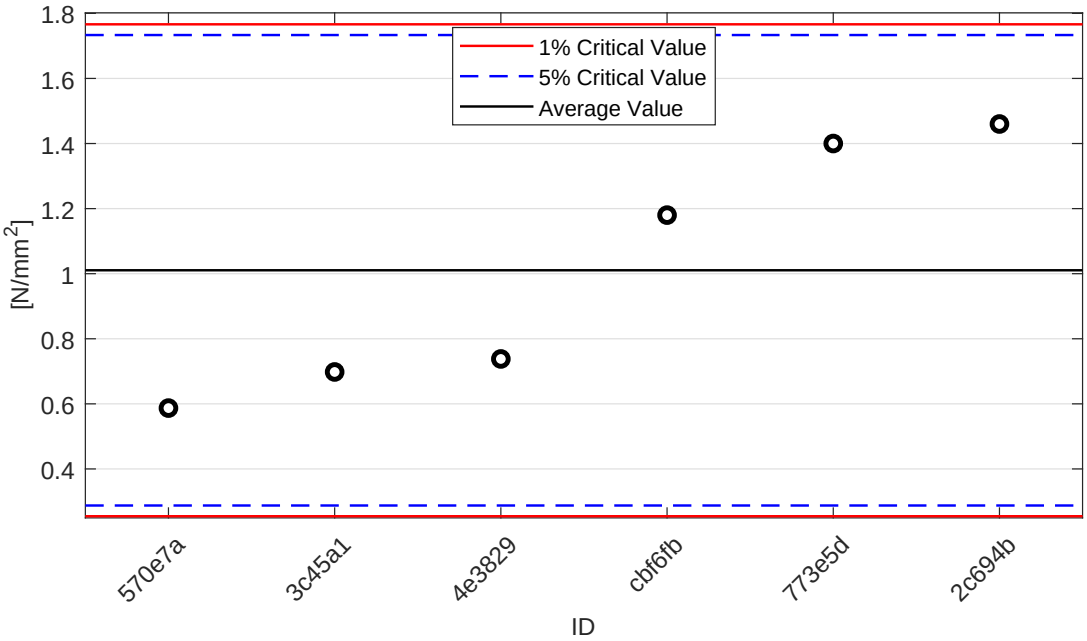
Tabulka 13: Výsledky zkoušek - seřazené podle průměrné hodnoty. Odlehlé hodnoty jsou vyznačeny hvězdičkou. u_X - rozšířená nejistota účastníka; $\bar{x}$ - aritmetický průměr; s_0 - výběrová směrodatná odchylka; V_X - variační koeficient

ID účastníka	Výsledky zkoušek [N/mm^2]					u_X [N/mm^2]	$\bar{x}$ [N/mm^2]	s_0 [N/mm^2]	V_X [%]
570e7a	0.60	0.57	0.45	0.74	0.59	0.10	0.59	0.10	17.52
3c45a1	0.67	0.75	0.68	0.74	0.65	0.10	0.70	0.04	6.36
4e3829	0.92	0.25	0.64	0.99	0.89	0.11	0.74	0.30	41.07
cbf6fb	0.90	1.00	0.90	1.50	1.60	3.00	1.18	0.34	28.99
773e5d	1.39	1.24	1.32	1.00	2.05	0.21	1.40	0.39	28.00
2c694b	1.43	1.48	1.38	1.53	1.48	0.10	1.46	0.06	3.90

10.2 Numerické zhodnocení odlehlých hodnot

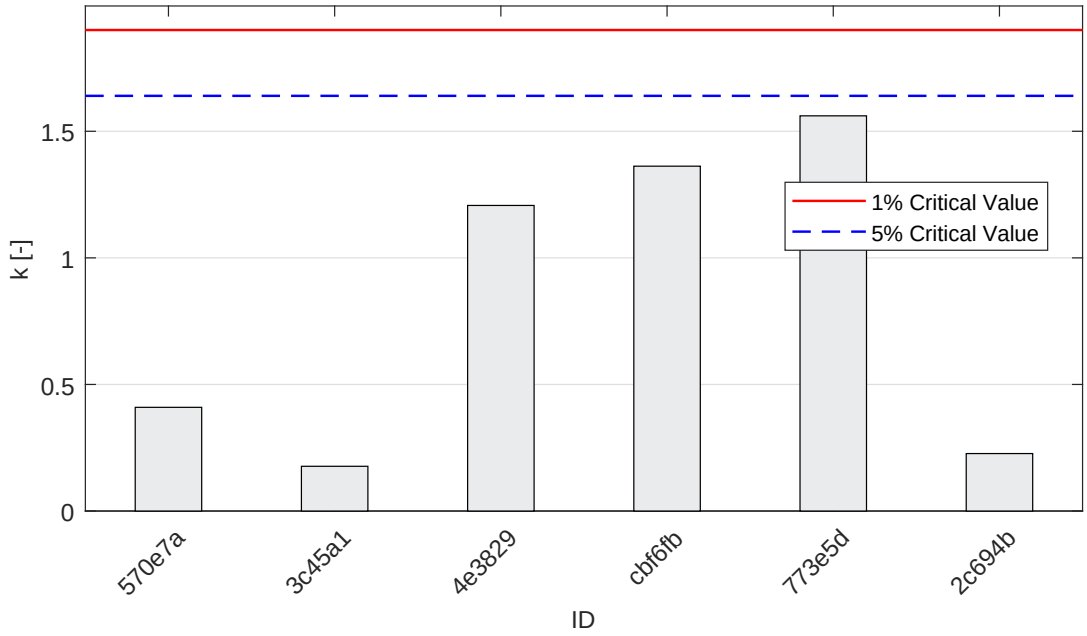


Obrázek 43: **Cochranův test** - graf výběrových směrodatných odchylek: 1% kritická hodnota - červená barva; 5% kritická hodnota - modrá barva

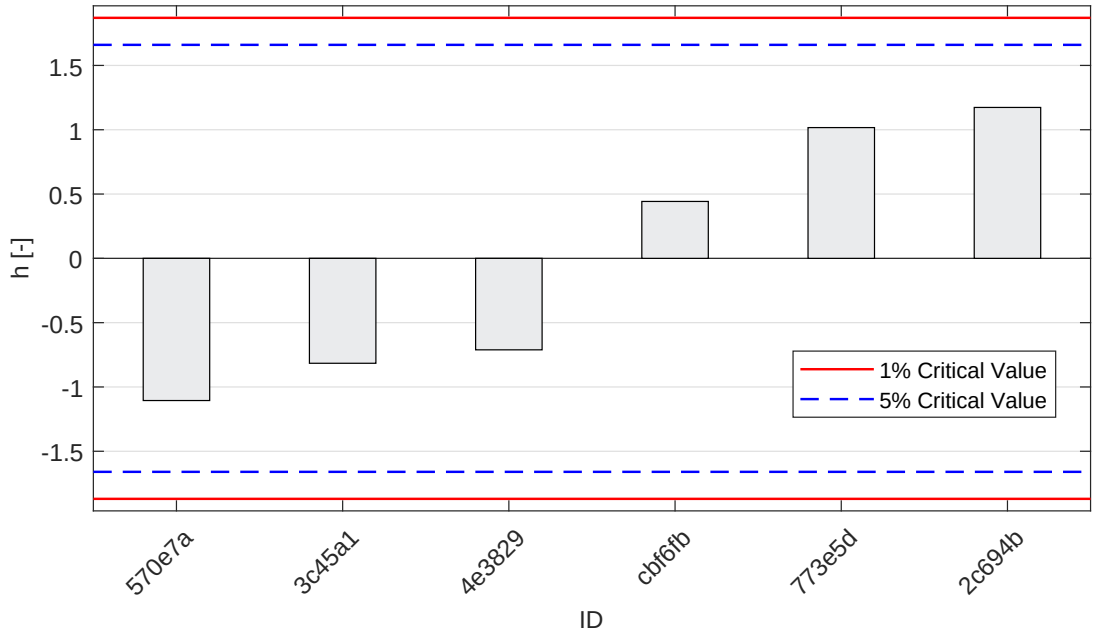


Obrázek 44: **Grubbsův test** - graf průměrných hodnot: 1% kritická hodnota - červená barva; 5% kritická hodnota - modrá barva

10.3 Mandelovy statistiky konzistence

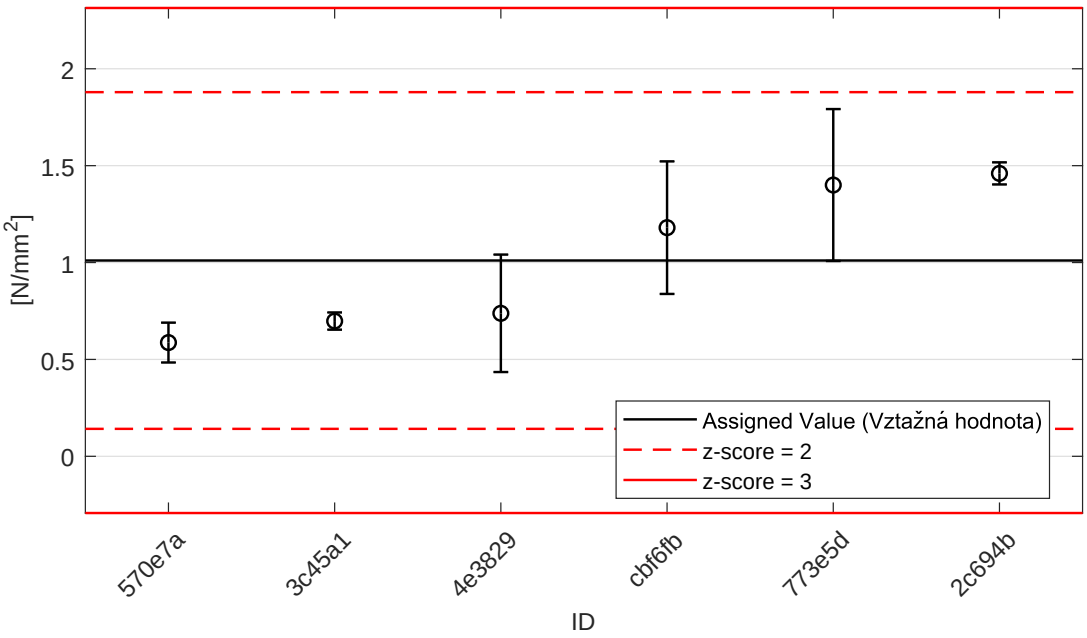


Obrázek 45: Vnitrolaboratorní statistika konzistence: 1% kritická hodnota - červená barva; 5% kritická hodnota - modrá barva

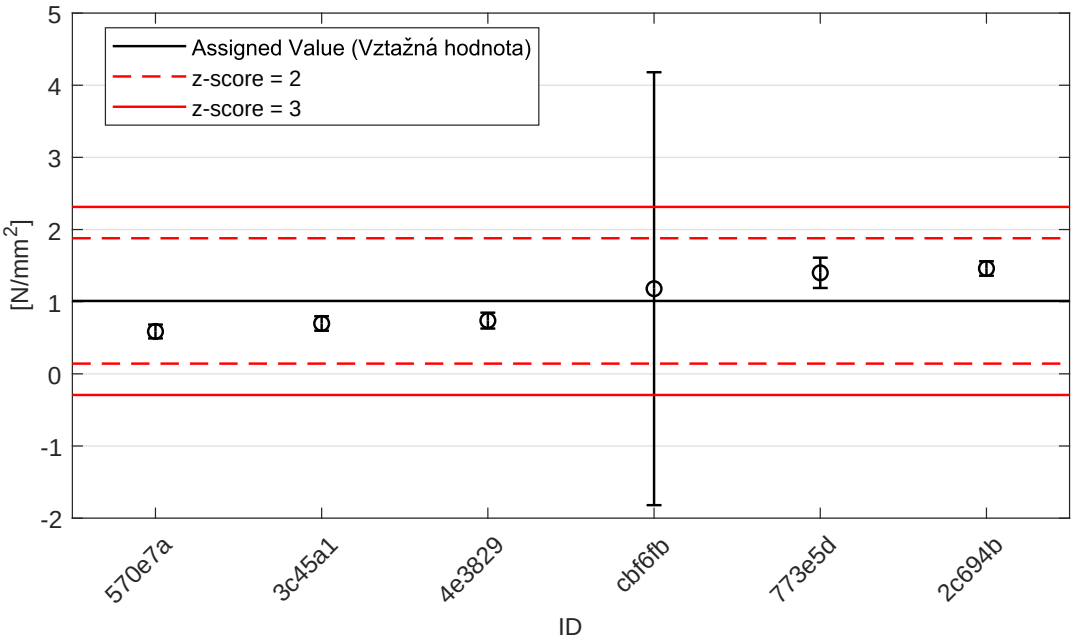


Obrázek 46: Mezilaboratorní statistika konzistence: 1% kritická hodnota - červená barva; 5% kritická hodnota - modrá barva

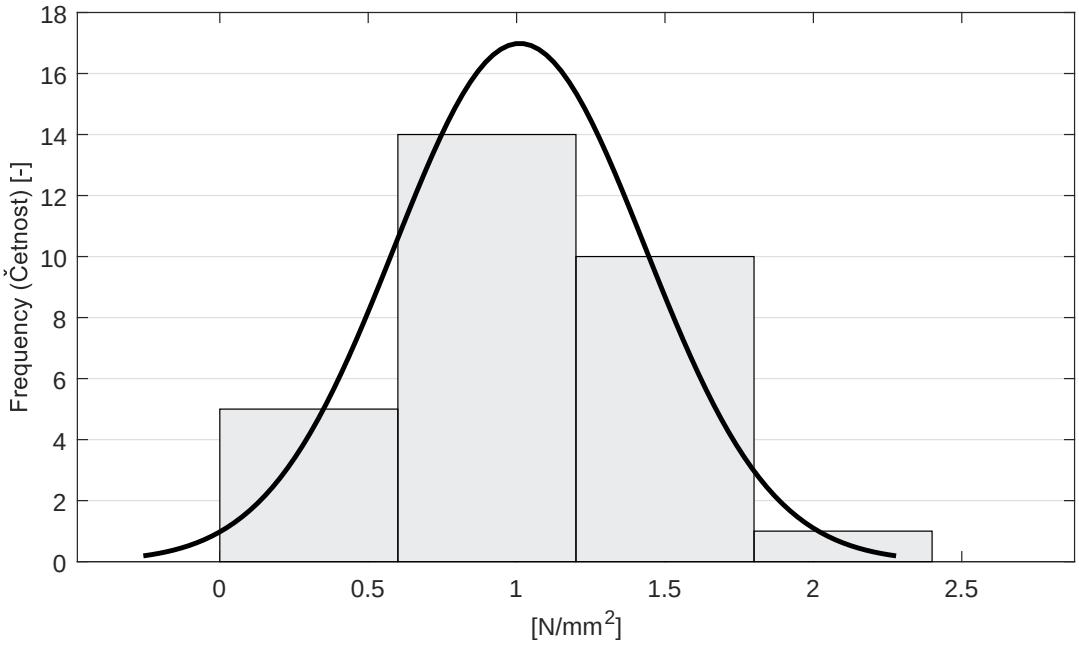
10.4 Vyhodnocení výkonnosti účastníků



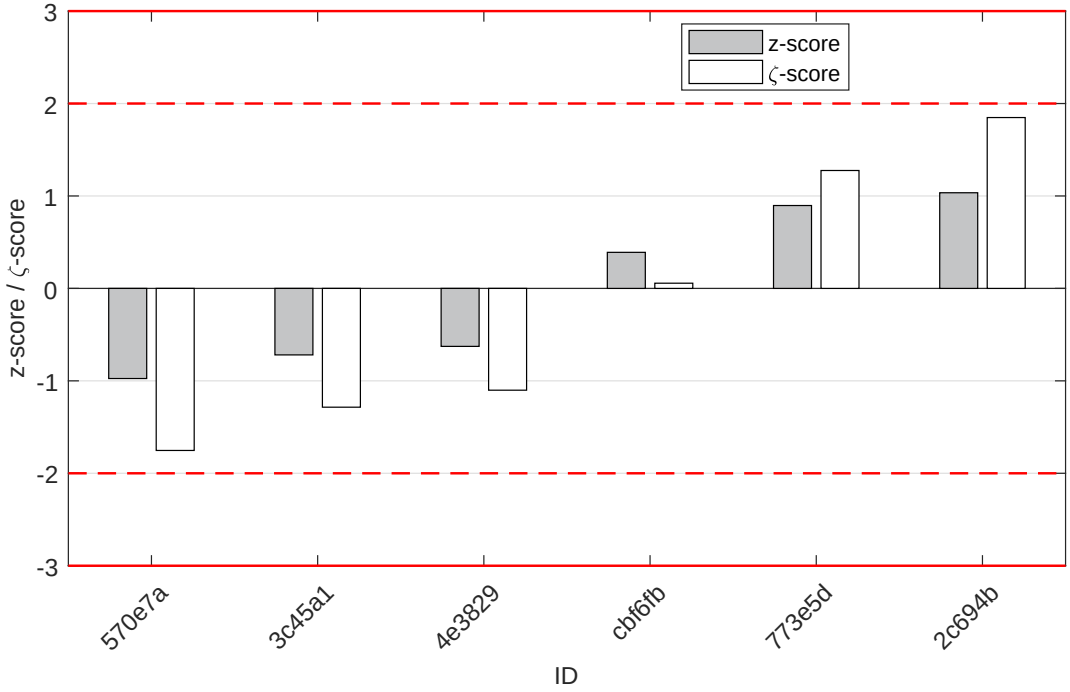
Obrázek 47: Graf průměrných hodnot výsledků zkoušek a výběrových směrodatných odchylek



Obrázek 48: Graf průměrných hodnot výsledků zkoušek a rozšířených nejistot měření



Obrázek 49: Histogram všech výsledků zkoušek



Obrázek 50: z-score a ζ-score

Tabulka 14: Výsledné hodnoty z-score a ζ-score

ID	z-score [-]	ζ-score [-]
570e7a	-0.97	-1.75
3c45a1	-0.72	-1.28
4e3829	-0.63	-1.10
cbf6fb	0.39	0.06
773e5d	0.90	1.28
2c694b	1.03	1.85