

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích

Pedagogická fakulta

Katedra fyziky

Bakalářská práce

Metody statistického zpracování dat

Vedoucí práce: doc. RNDr. Josef Blažek, CSc.

Autor práce: Pavel Průša

Studijní obor: Měřicí a výpočetní technika

2009

Anotace:

Předmětem práce je shrnutí vhodných statistických metod s příklady a návrhy na jejich využití na oddělení speciální kontroly JE Dukovany.

Abstract:

The subject of work is a summary of the appropriate statistical methods with examples and suggestions of their use at the Department of special inspections, the JE Dukovany.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, pouze s použitím literatury a zdrojů uvedených v části Seznam použité literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č.111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě fakultou elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách.

.....
Datum

.....
Podpis

Touto formou děkuji svému konzultantovi p. doc. RNDr. Josefu Blažkovi, CSc. za cenné rady a připomínky při zpracování mé bakalářské práce.

Obsah

1. Úvod.....	6
1.1. Získávání dat	6
1.2. Analýza dat.....	6
1.3. Statistické usuzování	7
1.4. Hypotéza.....	7
2. Poloha rozdělení	8
3. Chyby instrumentálních měření	10
3.1. Klasifikace chyb měření	11
4. Typy proměnných	12
4.1. Závisle a nezávisle proměnné, rušivé proměnné.....	12
4.2. Proměnné podle typu použitého měřítka.....	13
4.3. Diskrétní a spojité proměnné.....	14
5. Kvalita měření	15
5.1. Objektivita	17
5.2. Spolehlivost.....	17
5.3. Validita	17
6. Grafický a číselný popis rozložení dat.....	19
6.1. Explorace.....	20
6.2. Způsoby zobrazení dat	21
6.3. Metody zobrazení kvalitativních a ordinálních dat	21
6.4. Metody zobrazení kvalitativních dat	23
6.5. Míry špičatosti a šikmosti	26
6.6. Popis dat pomocí pěti hodnot a krabicový graf s antenami.....	28
6.7. Zkoumání přítomnosti odlehlých hodnot a rezistentní odhady	30
6.8. Transformace dat, standardizace	31
7. Počet pravděpodobnosti jako základ statistického usuzování	33
8. Vyhodnocení těsnostních zkoušek	36
8.1. Zkouška těsnosti hermetických průchodek PGKK přetlakem plynu	36
8.2. Heliové těsnostní zkoušky.....	42
8.3. Zkouška těsnosti hlavního těsnění sekundární víka	48
8.4. Hodnoty kalibrační netěsnosti	63
9. Seznam použité literatury.....	64

1. Úvod

Lidé si často představují statistiku jako pouhé sbírání čísel. To byl skutečně její původní význam. Název vznikl z latinského „status“ = stát, protože původně byl používán pro označení vědy zabývající sběrem informací o státu – o počtu obyvatel, ekonomice apod. [1]. Dnešní statistika znamená mnohem víc. Stala se z ní rozvinutá vědecká metoda analýzy, která nachází široké uplatnění v podnikání a všech společenských a přírodních vědách. Statistika je naukou, jak získat informace z numerických dat. Pomáhá nám při přípravě a provedení výzkumu a při vyhodnocení získaných výsledků. Poskytuje prostředky a koncepty, které umožňují pracovat s výsledky tak, abychom porozuměli určitému problému. Podle významného didaktika statistiky Davida S.Moora (1997) můžeme praxi statistiky rozdělit na tři části: získávání dat, analýzu dat a statistické usuzování. Tyto části si probereme podrobněji. V 1. části práce se dále budeme zabývat statistickými metodami vhodnými pro využití v JE Dukovany. Ve 2. části podrobně zanalyzuji a popíši postupy a normy z různorodých interních materiálů. Jedná se o zkoušku těsnosti hermetické průchodky (měření poklesu tlaku). V další těsnostní zkoušce si ukážeme, jakým způsobem se zkouší sekundární bariéra na kontejneru CASTOR. Popíši možnosti výsledků, jejich četnosti, částečně statistické vyhodnocení a také grafické zobrazení hodnot při zkoušce.

1.1. Získávání dat

Získávání dat zahrnuje metody pro sběr dat, jež zodpoví předem danou otázku. Základní přístupy k výběru měřených objektů, k návrhu experimentů a k validizaci instrumentů pro získávání dat jsou významným příspěvkem statistiky. Této problematice se budu věnovat především v bezprostředně následujících odstavcích.

1.2. Analýza dat

Analýza dat představuje organizaci dat a popis dat užitím grafů, numerických souhrnů a dalších matematicky propracovaných prostředků. Někdy se této oblasti říká popisná statistika. Tento název je trochu zkreslující. Moore zdůrazňuje explorační funkci této části statistiky a

její dynamickou povahu. Počítačová revoluce vrátila popisnou a explorační analýzu dat do centra statistické praxe.

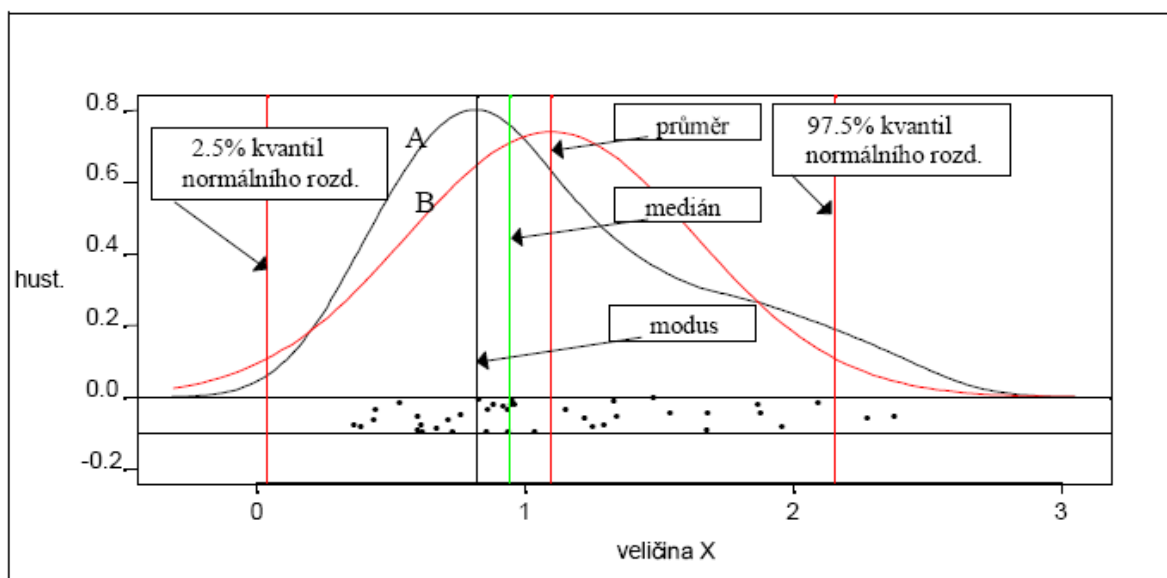
1.3. Statistické usuzování

Statistické usuzování (inference) jde za samá data a usiluje o získání závěrů o širším univerzu jevů. Neprovádí jenom závěry, ale dodává k nim i zhodnocení, jak jsou tyto závěry spolehlivé. K tomu používá pravděpodobnostní pojmy. Tomuto způsobu práce s daty se říká také inferenční statistika. Metody této části patří k matematicky nejnáročnějším z celé statistiky. Proto zabírají v učebnicích tolik místa. Význam statistického testování hypotéz nebo používání intervalů spolehlivosti je však nutné posuzovat v závislosti na oprávněnosti aplikace těchto metod, a ne podle jejich matematické složitosti.

1.4. Hypotéza

Hypotéza je tvrzení o podstatě určité situace ve zkoumané oblasti, jde o návrh, představu o vztahu mezi uvažovanými výzkumnými proměnnými. Tento návrh se výzkumem zamítá nebo potvrzuje na základě empirické evidence (faktů, dokladů). Hypotézy mohou být navrženy na základě předběžného výzkumu, tedy pomocí výsledků pilotní studie, jež se provádí za účelem mapování problému a získání předběžných informací. Můžeme formulovat několik hypotéz pro danou výzkumnou otázku. Příklad: „Počet naplánovaných zkušebních vzorků k procvičení je pozitivně korelován s aktivní učební dobou.“ „Počet rozhodnutí o řízení výuky v plánu výuky má pozitivní vztah k aktivní učební době.“ „Celkový počet rozhodnutí v plánu výuky nemá vztah k aktivní učební době.“

2. Poloha rozdělení

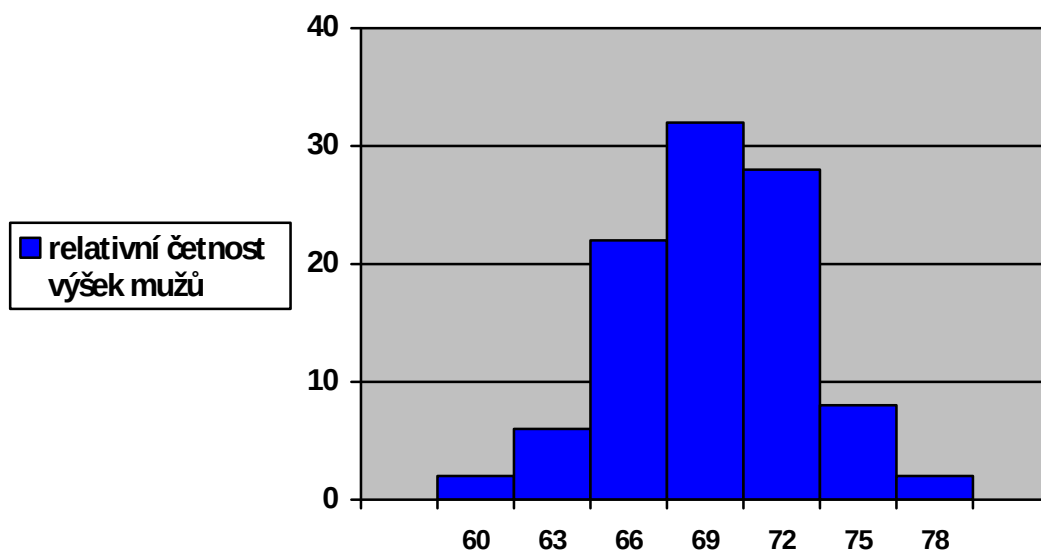


Obr. 1: Poloha rozdělení

Je mnoho různých způsobů, jak definovat polohu rozdělení. Vysvětlíme si tři nejběžněji používané – modus, medián a aritmetický průměr. Začneme tím nejjednodušším.

A – MODUS

Modus je nejčastěji se vyskytující hodnota. Slovo modus pochází z francouzského mode – móda. Modus lze tedy definovat jako nejčastěji se vyskytující hodnotu (hodnotu, která „je v módě“) [1]. Na příkladu výšek mužů obr. 2 byl modus 69 palců, neboť interval, jehož je toto číslo středem, měl největší četnost (nejvyšší sloupek). To znamená, že modus se nachází ve vrcholu rozdělení. Ačkoliv je velice snadné modus zjistit – pohledem – není tato charakteristika příliš vhodná pro měření polohy, neboť často závisí na přístupu k sdružování dat. Je také možno najít výběr, kde jsou dvě nebo více hodnot se stejnou četností. Pokud má rozdělení dva vrcholy, nazývá se bimodální.



Obr. 2: Relativní četnost výšek mužů

B – MEDIÁN

Jde o 50. percentil. Pro označení, že se jedná o hodnotu, která dělí soubor na dvě poloviny, používáme symbol $\bar{X}$: Medián $\bar{X} \equiv$ střední pozorování, neboli 50. percentil, kde symbol $\equiv$ znamená „je totožno“. Například uvažujme, že pět železničních dopravců utrpělo následující škody (seřazeno podle rozsahu škody): 10 tis. Kč, 20 tis. Kč, 30 tis. Kč, 50 tis. Kč, 90 tis. Kč. Mediánem pak bude prostřední hodnota, tedy 30 tis. Kč. (Pokud je rozsah výběru n sudé číslo, medián se určí jako průměrná hodnota ze dvou prostředních pozorování. Například předpokládejme, že škody čtyř dopravců jsou 10 tis. Kč, 20 tis. Kč, 30 tis. Kč a 50 tis. Kč. Prostředními pozorováními jsou tedy hodnoty 20 a 30. Medián bude tedy $(20 + 30)/2 = 25$ tis. Kč.

Jestliže je řada tvořena velkým množstvím čísel sdružených do intervalů, medián lze pak aproximovat pomocí mediánového intervalu. Například v rozdělení výšek mužů v obr. 2 je třeba najít nejprve mediánový interval načítáním relativních četností intervalů: $2\% + 6\% = 8\%$, $8\% + 22\% = 30\%$, $30\% + 32\% = 62\%$. To znamená, že již jsme minuli 50% pozorování, a tudíž jsme minuli i medián. Medián se tedy bude nacházet někde ve čtvrtém intervalu. Jako hrubý odhad mediánu lze použít střed daného intervalu, v tomto případě 69 palců.

C – ARITMETICKÝ PRŮMĚR

Termínem průměr budeme v dalším textu vždy myslet aritmetický průměr. Průměr se anglicky řekne average nebo mean. Slovo average pochází z arabského awar, což znamenalo „poškozené zboží“. Dokonce i dnes se slova average používá v námořním právu pro vyjádření

rovnocenného rozdělení škody mezi zainteresované strany [1]. Uvažujeme například pět dopravců, kteří utrpěli škody 10 tis. Kč, 20 tis. Kč, 30 tis. Kč, 50 tis. Kč a 90 tis. Kč. Jejich průměrnou škodu zjistíme tak, že vydělíme celkovou škodu mezi ně rovným dílem:

$$\text{Průměr} = \frac{10 + 20 + 30 + 50 + 90}{5} = \frac{200}{5} = 40 \text{ tis. Kč}$$

Pro zobecnění předpokládejme výběr n pozorování $X_1, X_2, \dots, X_n$. Průměr pak označíme jako $\bar{X}$ a vypočítáme jej sečtením všech hodnot X_i a vydělením součtu rozsahem výběru n :

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n}$$

Shrneme-li naše poznatky, můžeme říci, že modus je charakteristika, kterou lze nejsnadněji nalézt, ale která nemá velký význam při hledání polohy rozdělení. Medián je mnohem užitečnější, neboť představuje mnohem typičtější hodnotu v tom smyslu, jak většina lidí tomuto pojmu rozumí. Konečně průměr je jediná charakteristika polohy rozdělení, která zahrnuje všechna pozorování. Z toho důvodu je právě průměr nejčastěji používanou charakteristikou v takových odvětvích, jako je strojírenství, ekonomika a podnikání.

3. Chyby instrumentálních měření

Měření patří mezi základní způsoby získávání kvantitativních informací o stavu sledované veličiny. Vlivem omezené přesnosti měřicích přístrojů a proměnnosti podmínek měření se ani na homogenním materiálu, kde je skutečná hodnota měřené veličiny konstantní, nezískají stejné výsledky. Výsledkem každého měření je náhodná veličina, která obsahuje kromě informace také šum, tj. chyby měření. Velikost chyb měření je kritériem kvality procesu měření nebo měřicího přístroje. Analýzou chyb měření a přístrojů se zabývá teorie měření.

3.1. Klasifikace chyb měření

Chyby měření mohou být způsobeny řadou faktorů. Podle místa vzniku při postupu měření lze chyby rozdělit do čtyř základních skupin, které označujeme jako:

1. **Instrumentální chyby** – jsou způsobeny konstrukcí měřicího přístroje a určují jeho kvalitu. U řady přístrojů jsou známy a garantovány výrobcem.
2. **Metodické chyby** – souvisejí s použitou metodikou stanovení výsledků měření, jako je odečítání dat, organizace měření, eliminace vnějších vlivů atd.
3. **Teoretické chyby** – souvisejí s použitým postupem měření. Jde zejména o principy měření, fyzikální modely měření, použité parametry, fyzikální konstanty atd.
4. **Chyby zpracování dat** – jsou to chyby numerické metody a chyby způsobené užitím nevhodných metod statistického vyhodnocení.

Podle příčin vzniku lze chyby rozdělit na:

1. **Náhodné chyby**, které kolísají náhodně co do velikosti i znaménka při opakování měření, nedají se předvídat a jsou popsány určitým pravděpodobnostním rozdělením. Jsou způsobeny řadou příčin, které lze jen obtížně odstranit, jejich vliv můžeme pouze omezit.
2. **Systematické chyby**, jež působí na výsledek měření předvídatelným způsobem. Bývají funkcí času nebo parametrů měřicího procesu. Mívají stejná znaménka. Konstantní systematické chyby snižují nebo zvyšují hodnoty všech měření o konstantu. Často se navenek neprojevují a lze je odhalit až při porovnání s výsledky z jiného přístroje. Existují i systematické chyby s časovým trendem, způsobené stárnutím nebo opotřebením měřicího přístroje.
Systematické chyby měřicího přístroje se dále dělí na chyby aditivní (chyba nastavení nulové hodnoty) a chyby multiplikativní (chyba citlivosti). Typ a velikost chyby přístroje bývají uváděny výrobcem.
3. **Hrubé chyby**, označované jako vybočující, resp. odlehlé hodnoty, jež jsou způsobeny výjimečnou příčinou, náhlým selháním měřicí aparatury, nesprávným záznamem výsledku. Způsobují, že se dané měření výrazně liší od měření ostatních. Je obtížné oddělit systematickou a náhodnou složku chyb. Pokud se provádí měření na standardu se známou hodnotou měřeného parametru x , je

možné při každém opakovaném měření parametru $x_i, i = 1, 2, \dots, n$ téhož standardu stanovit celkovou chybu měření.

4. Typy proměnných

Statistická analýza se zabývá analýzou dat, která se získávají zjištěním hodnot předem definovaných proměnných, resp. znaků na zkoumaných objektech. **Proměnné** nebo **znaky** jsou charakteristiky prvků základního souboru, jež mohou nabývat více hodnot a existuje pro ně předpis, jak tyto hodnoty zjistíme. Například agenturu provádějící předvolební průzkum mohou u voliče zajímat proměnné věk, pohlaví a jakou stranu nebo kandidáta bude volit. Při zkoumání sportovních jednot nás zajímá jejich velikost, počet a typ podporovaných sportů, počet funkcionářů, trenérů a členů, ekonomické ukazatele apod.

Data

Data tvoří aktuální hodnoty proměnných. Některé se zjišťují poměrně snadno – dokážeme např. změřit výšku žáků určité školní třídy. Dokážeme změřit i mnohé jejich psychologické rysy, ale s tím jsou už spojeny určité problémy. Některé proměnné se navíc v čase mění. K určení hodnot mnoha proměnných je zapotřebí značného úsilí. Například zachycení ekonomické situace větší soukromé firmy si může vyžádat audit účetnictví, který třeba trvá týdny. Při zkoumání dat mluvíme o rozdělení proměnné. Tímto výrazem rozumíme to, jaké hodnoty proměnná nabývá a jak často se jednotlivé hodnoty vyskytují. Pojem rozdělení proměnné pomáhá popsat statistické chování proměnné. Proměnné lze různě kategorizovat. Popíšeme jejich třídění podle úlohy, jakou hraje daná proměnná ve studii, podle typu použitého měřítka a podle toho, kolik nabývá hodnot.

4.1. Závisle a nezávisle proměnné, rušivé proměnné

Většina výzkumných studií rozlišuje závisle a nezávisle proměnné. Abychom porozuměli zkoumaným otázkám v dané studii, musíme tyto proměnné správně identifikovat. Někdy označujeme závisle proměnnou odpověďová, kritériální nebo cílová: nezávisle proměnnou nazýváme prediktor nebo explanační proměnná. Výzkum začíná určením závisle a nezávisle proměnných a další jeho kroky mají určit existenci a charakter jejich vztahu. Často se předpokládá mezi proměnnými příčinný vztah, což znamená, že změna nezávisle proměnné způsobuje změnu závisle proměnné bez ohledu na přítomnost jiných proměnných.

Příkladem závisle a nezávisle proměnných mohou být následující dvojice proměnných, kdy jde o:

- Závislost prospěchu (závisle proměnná) na pohlaví žáka v dané věkové kategorii (nezávisle proměnná),
- Závislost průměrného prospěchu (závisle proměnná) na počtu žáků ve třídě (nezávisle proměnná),
- Závislost síly jedince (závisle proměnná) na objemu jeho svalů (nezávisle proměnná),
- Závislost hladiny cholesterolu v krvi (závisle proměnná) na příjmu živočišných tuků (nezávisle proměnná),
- Závislost průměrné životní úrovně (závisle proměnná) na podílu zemědělské výroby v celkové ekonomické produkci v dané zemi (nezávisle proměnná).

Při plánování výzkumu a formulování hypotéz je důležité brát v úvahu tzv. rušivé, resp. matoucí proměnné. Rušivá (matoucí) proměnná je taková proměnná, která má vztah s cílovou proměnnou a její působení zkresluje naše uvažování o vztahu závisle a nezávisle proměnné. Situaci zjišťování a zohlednění rušivých proměnných nazýváme někdy problém třetí proměnné. Třetích rušivých proměnných může být samozřejmě více. V rámci zkoumání mohou být známé nebo neznámé, můžeme je měřit nebo ne, někdy s nimi dokonce můžeme záměrně manipulovat. V některých souvislostech nazýváme rušivou proměnnou „moderující“ proměnná.

4.2. Proměnné podle typu použitého měřítka

Pojem měření se často ztotožňuje – pod vlivem přírodních věd – se získáváním metrických údajů. Naměřená hodnota je v nich násobkem nebo částí jednotky měření. V sociálních vědách se používá definice, která říká, že **měření** znamená přiřazení čísel objektům, jež je vázáno na teorii daného oboru. Operace přiřazování se řídí určitými pravidly. Proměnné lze rozlišovat podle toho, co jejich hodnoty vypovídají. Mluvíme pak o **škále měření** nebo použitém **měřítku**, jež charakterizuje, nakolik je zobrazení vlastnosti do množiny reálných čísel (způsob, jakým přiřazujeme různým hodnotám proměnné čísla) plnohodnotné vzhledem k operacím mezi čísly.

Kvalitativní (nominální) měřítko

Kvalitativní (nominální) měřítko znamená přiřazení, které pouze vyjadřuje, že lze rozlišit jednotlivé hodnoty. Například žáky lze rozlišit podle toho, zda umějí plavat, nebo ne. U těchto měřítek můžeme určit počet použitých kategorií. Jestliže rozlišuje použité měřítko jenom dvě třídy, mluvíme o binárním (alternativním dichotomickém) znaku, jinak o polytomickém znaku.

Ordinální měřítko

Ordinální měřítko kromě rozlišení tříd ještě vyjadřuje nějaké jejich řazení podle intenzity nebo pořadí. Data s ordinálním měřítkem lze uspořádat. Například můžeme seřadit žáky podle jejich prospěchu z matematiky.

Intervalové měřítko

Intervalové měřítko má vlastnosti ordinálního měřítka. Navíc vyhovuje požadavku, že vzdálenosti jednotlivých údajů uvnitř tohoto systému jsou dány nějakou jednotkou měření. Proto je možné je sčítat a odčítat.

Poměrové měřítko

Měřítka z největší informační hodnotou je poměrové měřítko, které má všechny vlastnosti intervalového měřítka a navíc vlastnost existence absolutního nulového bodu.

Intenzivní měřítko

Obě posledně uváděná měřítka společně označujeme jako metrická, a spolu s ordinálním měřítkem je shrnujeme do skupiny intenzivních měřítek.

Ve statistice nehraje rozdíl mezi intervalovým a poměrovým měřítkem velkou roli. Statistické metody však zohledňují rozdíl mezi nominálními, ordinálními a metrickými typy údajů.

4.3. Diskrétní a spojitá proměnné

Při zpracování dat hraje roli rovněž to, zda jsou diskrétní, nebo spojitá. Spojitá proměnná může teoreticky nabývat libovolných hodnot z určitého intervalu reálných čísel.

Diskrétní proměnné

Diskrétní proměnné neboli kategoriální proměnné nabývají naopak pouze konečného počtu hodnot (pro matematiky můžeme dodat: nebo nejvýše spočetně mnoha hodnot). Podle kontextu zpracování lze i s diskrétními údaji pracovat jako se spojitými, např. tepovou frekvenci můžeme považovat za spojitou proměnnou, pokud se setkáváme v analýze s velkými rozdíly tepových frekvencí.

Někdy uvažujeme zvlášť proměnnou **pořadovou ordinální**, která vznikne seřazením jedinců podle hodnot získaných změřením nějaké spojitě intervalové nebo poměrové proměnné, a **kategoriální ordinální proměnnou**, která rozeznává jenom několik ordinálně uspořádaných kategorií, do kterých jedince nebo objekty zařazujeme.

Poznamenejme, že měřítko znaku spolurozhoduje o tom, jakou statistickou techniku použijeme při zpracování. Často se připomíná odstrašující příklad, jestliže se počítá průměr pro kvantitativně kódovaný kvalitativní znak. Pak ovšem vede statistické zpracování k nesmyslným tvrzením. Na druhé straně striktní přiřazení statistických technik k určitému typu měřítka vede k nepružnosti analýzy a zbytečnému formalismu. Argumentuje se také, že „měřítko měření“ analyzovaných dat je „empirickou“ otázkou, která je zodpovězena zkoumáním vztahu dané proměnné k ostatním proměnným. Jestliže má vztah lineární formu, údaje je možné považovat za intervalově škálované [2].

Navíc lze vždy provést transformaci dat s daným měřítkem na data s měřítkem nižší úrovně. Myslí se tím přístup, kdy např. dichotomizujeme metrické spojitě údaje pomocí vhodné meze a uvažujeme nový binární údaj, jenž zachycuje dané měření pouze relativně vzhledem k této mezi hodnotami 0 nebo 1 podle toho, zda měření bylo pod, nebo nad zvolenou mezí. Transformaci dat k nižšímu měřítku provádíme často tehdy, jestliže chceme uplatnit neparametrické metody, které vycházejí z četnostních údajů nebo údajů ordinálních. Převod měřítek směrem od nominálního typu k vyšším typům měřítek je méně častý. Vychází se přitom z předpokladu, že většina konstruktů má charakter metrických proměnných, jež jsou navíc v populaci normálně rozložené.

5. Kvalita měření

Při vyhodnocování dat se statistické metody a pravděpodobnostní modely uplatňují ve dvou vzájemně souvisejících oblastech: jednak při analýze dat, která byla získána pomocí

specifických měřicích procedur, s cílem zodpovědět v dané oblasti teorie otázky o vztazích mezi konstrukty: ale také při **rozvoji měřicích procedur**. K druhé oblasti teď učiníme několik poznámek. Proces měření je předpokladem získání dat. Jeho kvalita však není ničím samozřejmým. Před tím, než při zkoumání určitého problému v předmětné oblasti výzkumu analyzujeme data, musíme zaručit, že dokážeme odhadnout vliv kvality měřicích metod na naše výsledky. Kritéria kvality měřicích procedur a metod pro získávání dat se v metodologické literatuře obsáhle diskutují. Poznamenejme, že jednotlivé oblasti výzkumu si vytvořily svá pojetí i vlastní terminologii pro zachycení problémů spojených s kvalitou měření. Přírodovědci si např. nebudou ve všem rozumět s psychology nebo sociology. Ve všech případech však narážíme na skutečnost, že měřená proměnná odráží jednak vliv vlastního konstruktů nebo měřené veličiny, dále jiných konstruktů (veličin) a náhodné chyby. Jestliže například zjišťujeme hodnoty nějakého psychologického výkonnostního testu, pak mají uvedené komponenty tuto podobu:

- Konstrukt, který nás zajímá (např. výkon),
- Konstrukty, které nás nezajímají (motivace, strach z testu, jazyková schopnost),
- Náhodná chyba (chyby hodnotitele, intraindividuální variabilita, přepisy, chyby přístroje).

Na specifické problémy kvality měření se zaměřím v jiných kapitolách. Zde uvedu pouze přehled vybraných pojmů. Základní situace je následující: nějakou vlastnost osoby (nebo věci) měříme tehdy, jestliže zkoumané osobě přiřadíme číslo, které reprezentuje tuto vlastnost. Výsledek měření je numerická proměnná, která nabývá různých hodnot v závislosti na tom, jak se lidé nebo věci odlišují. Základní model měření vyjádříme pomocí vztahu mezi neznámou správnou hodnotou proměnné T a naměřenou hodnotu Y

$$Y = T + E$$

kde E znamená celkovou chybu měření, již lze dále rozložit na několik složek lišících se charakterem i původem. Obvykle rozlišujeme náhodnou chybu a systematickou chybu. Systematická chyba nabývá vždy přibližně stejné hodnoty. Náhodná chyba mění náhodně svoji velikost i směr. Statistickým charakteristikám náhodné chyby říkáme nepřesnost, opakovatelnost nebo reliabilita. Jde nám o to, aby proces měření vedl v rámci daných omezení k dobrému odhadu hodnoty T . Minimalizujeme chybovou část E . Dále zmíním aspekty, kterými posuzujeme kvalitu měření v behaviorálních vědách. Jestliže máme s danou proměnnou pracovat, snažíme se, aby její měření bylo objektivní, spolehlivé (reliabilní) a validní.

5.1. Objektivita

Objektivní měření znamená stupeň toho, jak jsou výsledky nezávislé na výzkumníkovi nebo měřeném jedinci ve smyslu subjektivního úmyslného nebo neúmyslného zkreslení. Při měření fyzikálních veličin v laboratoři se otázka objektivity objevuje zřídka, ale při hodnocení měření v sociologii nebo psychologii se objektivita musí pečlivě přezkoušovat.

5.2. Spolehlivost

Spolehlivost (reliabilita) měření znamená stupeň shody (konzistence) výsledků měření jedné osoby nebo jednoho objektu za stejných podmínek. U testů složených z mnoha položek odpovídá konzistenci hodnot různých podmnožin položek mezi sebou.

Nespolehlivost (nízká reliabilita) měření má různý původ. Jeden zdroj nespolehlivosti obvykle nazýváme subjektivní chybou. Zapříčiňuje ji individuální variabilita (únava, klesání zájmu atd.) měřeného subjektu. Pozorovací chyba je jiným zdrojem chyb. Závisí na provedení měření hodnotitelem. Také uvažujeme přístrojové chyby (např. selhání hardwaru).

Existuje mnoho postupů k určení spolehlivosti měření:

- **Opakovaná měření** (test-retest reliabilita) – označujeme tak konzistenci neboli shodu opakovaných měření, která jsou oddělena určitým časovým intervalem,
- **Měření paralelních testů** – znamená shodu měření s jiným ekvivalentním měřením stejného konstruktu (pokud existují dvě verze A a B téhož testu apod.),
- **Půlení testu** (split-half reliabilita) – vyjadřuje, do jaké míry jsou konzistentní jednotlivé části instrumentu měření (nejčastěji se týká různých položek jednoho testu).

V posledním případě se jedná o metodu posuzování internální konzistence, která nevyžaduje u jedince opakované použití měřicí procedury. Pokud měření není spolehlivé, nemůže být ani validní.

5.3. Validita

Starší definice **validity** požadovala, aby procedura měření skutečně měřila to, co předpokládáme, že měří. V současnosti se vychází z požadavku, že uživatel má z výsledků měření odvodit správná rozhodnutí. **Validita** odkazuje na přiměřenost, smysluplnost a

užitečnost specifických závěrů, jež se provádějí na základě výsledku měření. Valorizace měřicí metody je procesem k podpoře takového přesvědčení. Posuzují se provedená rozhodnutí, ne měřicí instrument jako takový. Jak jsem uvedl v předchozím odstavci, platí základní poučka, že bez reliability nemůžeme dosáhnout validity. Metoda měření však může mít velkou reliability, ale přesto malou validitu: „Malá reliability zakrývá, nedostatečná validita znetvořuje“ [2].

Koncept validity je triviální, když se jedná o měření znaků jako délka těla. Stává se však komplikovanou záležitostí, jestliže se jedná o osobnostní charakteristiky (např. v psychologii) nebo jiné konstrukty sociálních věd. Při přezkušování validity rozlišujeme obsahovou, kritériální a konstruktovou validitu. Pouze při dostatečném splnění těchto kritérií lze měření rozumně používat a interpretovat.

Při ověřování **obsahové validity** zjišťujeme, do jaké míry měření skutečně reprezentuje dané vlastnosti nebo kvality. Například při konstrukci vědomostních testů si všímáme, zda otázky pokrývají celou problematiku zkoušené látky.

Kritériální validita

Kritériální validita se posuzuje shodou výsledků zaváděné procedury s nějakou kritériální proměnnou nebo s jiným měřením, které je již ověřené. Ověřenou proceduru měření někdy nazýváme „zlatý standard“. S měřením „zlatého standardu“ srovnáváme výsledky nové měřicí procedury. Uvažujeme souběžnou validitu, kdy hodnota kritériální proměnné existuje v současnosti, a prediktivní validitu, kdy se hodnota kritériální proměnné realizuje v budoucnu. Například mnoho přijímacích (vstupních) testů užívaných školami nebo personálními agenturami musí být vyhodnoceno ve vztahu k prediktivní validitě.

Konstruktová validita

Konstruktová validita se zabývá teoretickými aspekty měřeného konstruktů (proměnné). Důkazy o konstruktové validitě mohou mít konvergentní charakter (test prokazuje vztahy k těm proměnným, jež podle teorie očekáváme) nebo diskriminační charakter (naopak nemá vztah k proměnným, když tento vztah neočekáváme). V této etapě přezkušování nové procedury je důležité, zda výsledky predikují stavy, které podle teorie očekáváme. Například test výkonnosti by měl nabývat nízké hodnoty, pokud sportovec nedosahuje dobrých výsledků v soutěžích. Jedna z konstruktových validit se nazývá zjevná validita (face validity), jež se zjišťuje na základě prostého úsudku expertů o validitě měření. Konstruktová validita se má vždy ověřovat v rámci daného teoretického kontextu.

Pro oblast měření v sociálních vědách bylo navrženo množství měřicích instrumentů. Při používání těchto instrumentů je nutné informovat čtenáře o procesu jejich návrhu a evaluace, o jejich reliabilitě a validitě. Jestliže tato informace schází, pak lze těžko posoudit, zda data mají nějakou informativní hodnotu. Některé studie neinformují o těchto parametrech vůbec, jiné obsahují informaci jenom o reliabilitě nebo jenom o validitě. Protože reliabilita se zjišťuje jednodušeji, autoři se snaží přesvědčit čtenáře, že uvedením reliability demonstrovali i validitu. Oba tyto koncepty mají však odlišnou funkci. Jiné práce zase uvádějí pouze validitu kritériální nebo obsahovou bez zmínky o kontaktové validitě. Předpoklad, že obsahová validita a kritériální validita zajišťují kontaktovou validitu, je také mylný.

Při volbě měřicího instrumentu někdy hrají roli rovněž okolnosti jako cena, obtížnost a časová náročnost reliace, jednoduchost interpretace, dostupnost instrumentu nebo etické aspekty.

Vzhledem k důležitosti celé problematiky kvality měření se tato oblast neustále rozvíjí. Pro hodnocení kvality měřicích postupů se využívají komplexní modely a statistické přístupy. Pro souběžné vyhodnocení validity a spolehlivosti měření byly v sociálních vědách navrženy přístupy, jež vyžadují specifické přístupy jak k plánu výzkumu, tak ke statistickému zpracování získaných dat. Například **MTMM** plán (multitrait-multimethod) navrhli již v roce 1959 D.T.Campbell a D.W.Fiske [2].

Na základě měření dvou nebo více konstruktů metoda MTMM hodnotí konvergenční a diskriminační validitu (viz předchozí strana) pomocí analýzy korelací mezi různými měřicími postupy uvažovaných konstruktů. Měření stejného konstruktu by měla silně korelovat, což signalizuje průkaz konvergenční validity. Měření různých konstruktů by měla korelovat slabě, aby byla prokázána diskriminační validita.

Další přístup představuje **teorie zobecnitelnosti** (generalizability theory) podle Cronbacha, která využívá především metody analýzy rozptylu a týká se návrhu experimentů a analýzy dat s cílem podrobnějšího prozkoumání jednotlivých chybových složek měření (Cronbach, 1963) [2]. Obecná strategie ověřování validity měření zahrnuje i použití kvalitativních (interpretativních) metod. Závěry o validitě nemohou být založeny pouze na statistických metodách. Doporučují se kombinované strategie založené na kvantitativních a kvalitativních metodách.

6. Grafický a číselný popis rozložení dat

Data analyzujeme s cílem porozumět nějakému problému. Porozumění vzniká z kombinace znalostí o kontextu, jak data vznikla, a schopnosti využít statistické grafy a numerické výpočty. Například údaje z lékařské studie znamenají velmi málo, pokud nevíme,

s jakým cílem se studie provedla a jak měření různých biomedicínských parametrů přispívají k tomuto cíli. Na druhé straně měření mnoha stovek jedinců má malou hodnotu i pro lékařského experta, pokud údaje pomocí statistických prostředků neupravíme, nezobrazíme a netransformujeme do několika dobře zvolených numerických charakteristik – popisných statistik. Každá množina dat obsahuje informaci o skupině objektů. Účelem analýzy dat je přehledně zpřístupnit data graficky, tabulkově a výpočtem různých statistických charakteristik tak, aby byly dobře patrné jejich statistické vlastnosti a umožnilo se také srovnání různých podskupin dat a kategorií, které jsou předem dány, nebo je výzkumník vytváří v průběhu analýzy dat. Porovnáváme mezi sebou data pro muže a ženy, pro sportovce a nesportovce, data naměřená v různých časových okamžicích apod. Informace jsou organizovány pomocí proměnných. Při analýze zohledňujeme skutečnost, že proměnné mohou být různého typu (diskrétní, spojité) a v různém měřítku.

V této kapitole se zaměřím na jednorozměrný popis a analýzu proměnných (každou proměnnou hodnotíme zvlášť), posouzení vzájemných vztahů mezi proměnnými pomocí popisných metod budeme probírat především v kapitolách o regresní a korelační analýze a o analýze kategoriálních proměnných.

Při rozhodování, co budeme pomocí dat počítat nebo jak je budeme zobrazovat, mohou hrát roli čtyři aspekty účelu analýzy.

6.1. Explorace

Popis dat není statická záležitost – především v procesu explorace, kdy hledáme v datech zajímavé konfigurace a vztahy. Počítače a software nám umožňují prozkoumávat data při hledání předběžných hypotéz. Z této filozofie vychází i moderní oblast statistické analýzy „data mining“, dolování smysluplných závěrů z dat [2]. Podrobněji se o technikách explorace zmíníme ve zvláštním odstavci, zde uvedeme jen dvě základní strategie:

- Začínáme se zkoumáním jednotlivých proměnných, teprve pak analyzujeme jejich vztahy.
- Začínáme nejdříve zobrazovat data pomocí grafů, pak přidáme numerické charakteristiky specifických aspektů dat.

Na exploraci se váže kontrola dat, již jsme zdůraznili už v předchozí kapitole. Grafické metody jsou pro diagnostiku chyb v údajích zvlášť vhodné. Nápadité zobrazení nám o datech může hodně prozradit – např. zda neobsahují špatně zapsané nebo změřené údaje. Zobrazení pomáhá odhalit přítomnost odlehlých hodnot, jež mohou zcela zkreslit výsledky další analýzy.

Odhadování

Z konceptu inferenční statistiky a statistického usuzování se odvozuje druhý účel popisné statistiky. Produkty popisné statistiky, zvláště různé numerické charakteristiky, tvoří základní číselné kameny pro odhadování populačních charakteristik. Další metody – modelování dat, přezkušování modelů a provádění zobecnění apod. – nám umožní odvodit, jak jsou odhady charakteristik přesné, a testovat hypotézy o populačních hodnotách.

Komunikace

Nejzřejmějším důvodem pro popis dat je komunikace. Je zapotřebí zobrazit data tak, aby se jejich důležité vlastnosti efektivně zprostředkovaly příjemci informací. Tomuto účelu slouží jak grafy nebo tabulky, tak numerické charakteristiky. Příklady takové přístupu najdeme v běžných médiích ve zprávách o nezaměstnanosti, rozdělení oblíbenosti politických stran, hospodářské situaci, při analýze sportovních výsledků apod.

Princip, který řídí popisnou analýzu dat, je následující:

1. Nejdříve se pokusíme zobrazit data graficky, případně tabulkou.
2. Hledáme základní konfigurace a tendence v datech, případně odchylky od nich.
3. Přidáváme numerické charakteristiky různých aspektů dat.
4. Často se nám podaří vystihnout stručným způsobem základní konfiguraci dat pomocí pravděpodobnostního modelu.

6.2. Způsoby zobrazení dat

Východiskem každé statistické analýzy jsou zachycená primární data nějakého pozorování nebo experimentu. Důležitými prostředky v předběžné, explorační analýze i při konečné prezentaci dat jsou grafické metody a znázornění dat pomocí tabulek. Rozhodnutí, zda zobrazit údaje pomocí obrázku nebo tabulkou, je do jisté míry věcí citu. Grafické metody jsou celkově vhodné pro ukázání širších kvalitativních vlastností dat. Tabelační metody jsou určitě vhodnější, jestliže vybrané údaje chceme uvést v přesném tvaru nebo když se očekává, že tyto údaje budou zapotřebí k dalším výpočtům. O použití grafů a tabulek se také zmíním při výkladu o prezentaci výsledku.

6.3. Metody zobrazení kvalitativních a ordinálních dat

Nominální a ordinální data se zobrazují mnoha způsoby v závislosti na počtu a typu kategorií uvažovaného znaku. Při malém počtu pozorování je možné některé kategorie znaku

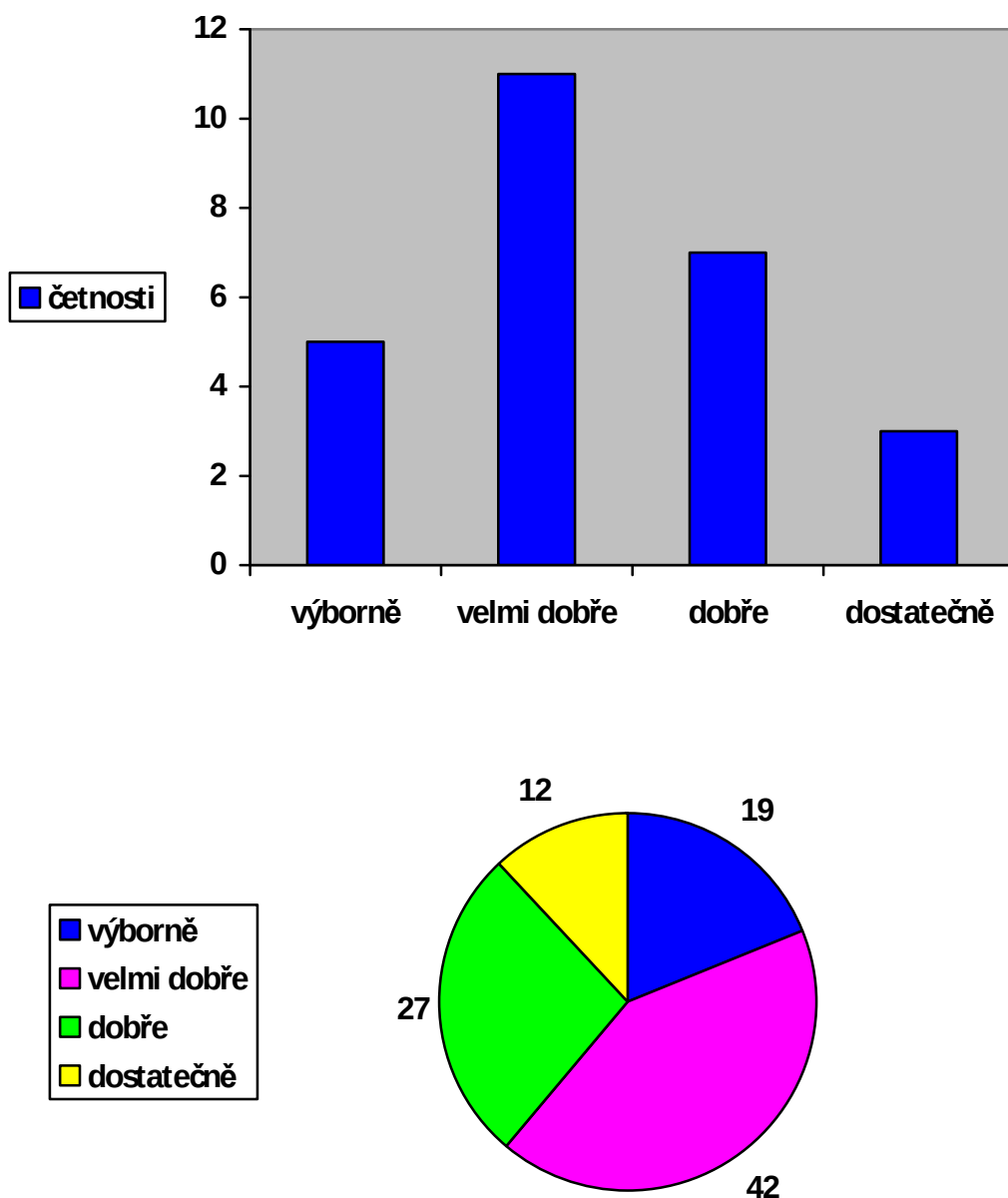
sloučit. Jako zobrazovací prostředky se používají tabulky s procenty, koláčové a sloupcové grafy. Uvádíme zobrazení (tab. 1 a obr. 3) pro ordinální proměnnou prospěch z matematiky pro data z tab 2.

	výborně	velmi dobře	dobře	dostatečně	SUMA
n_i	5	11	7	3	26
$f_i=100 \times n_i/n$	19,23	42,31	26,92	11,54	100

Tab 1: Absolutní a relativní četnost hodnot znaku Prospěch z matematiky

Jedinec	Skok do dálky [m]	Sprint 75 m [s]	Pohlaví žena -1 muž -0	Sportovní organizovanost ano – 1, ne - 0	Prospěch z matematiky	Skok v závodě [m]
1	3,3	14,3	0	0	3	3,15
2	3,4	13,7	1	0	2	3,5
3	3,35	14,1	1	1	3	3,45
4	3,75	12,3	0	1	1	3,7
5	3,15	13	1	0	1	3,25
6	3,3	12	1	0	2	3,4
7	3,45	13,3	0	0	2	3,55
8	3,5	13,2	1	1	3	3,35
9	3,65	11,1	0	0	4	3,5
10	4,05	10,9	0	1	2	4,15
11	3,35	13,1	1	0	2	3,45
12	3,5	13,1	0	0	4	3,15
13	3,75	12,2	0	0	4	3,95
14	3,55	12,5	1	1	3	3,45
15	4,2	10,8	1	1	2	4,15
16	3,5	12,2	0	0	2	3,75
17	3,7	13,6	1	1	1	3,65
18	3,15	13,4	0	0	1	3,25
19	3,9	11,8	1	1	3	3,8
20	3,65	11,7	1	1	2	3,55
21	4,05	10	1	1	1	4,1
22	3,65	12,4	0	0	3	3,55
23	3,1	13,9	0	0	3	3,2
24	3,6	11,9	0	0	2	3,5
25	3,9	12,5	1	1	2	3,95
26	3,65	12,8	0	0	2	3,6

Tab 2: Příklad datové matice (tabulky dat) – údaje o studentech



Obr. 3: Příklady zobrazení znaku Prospěch z matematiky (sloupcový a koláčový graf)

6.4. Metody zobrazení kvantitativních dat

Stručně uvedu jednorozměrné popisné grafické a tabulační metody pro soubor kvantitativních měření jedné proměnné. V tomto případě si statistický soubor dat můžeme představit jako n -tici reálných čísel, v níž se jednotlivé prvky mohou opakovat, přičemž pořadí, jak byly prvky získány, nepřikládáme žádný význam. Například $\{ 2,8,9,10,1,0,5 \}$ je

statistický soubor o 7 prvcích ($n=7$). Obecně takovou n -tici zachycujeme symbolem $x_1, x_2, \dots, x_n$. Pro náš příklad je $x_1 = 2, x_2 = 8, \dots, x_n = 5$.

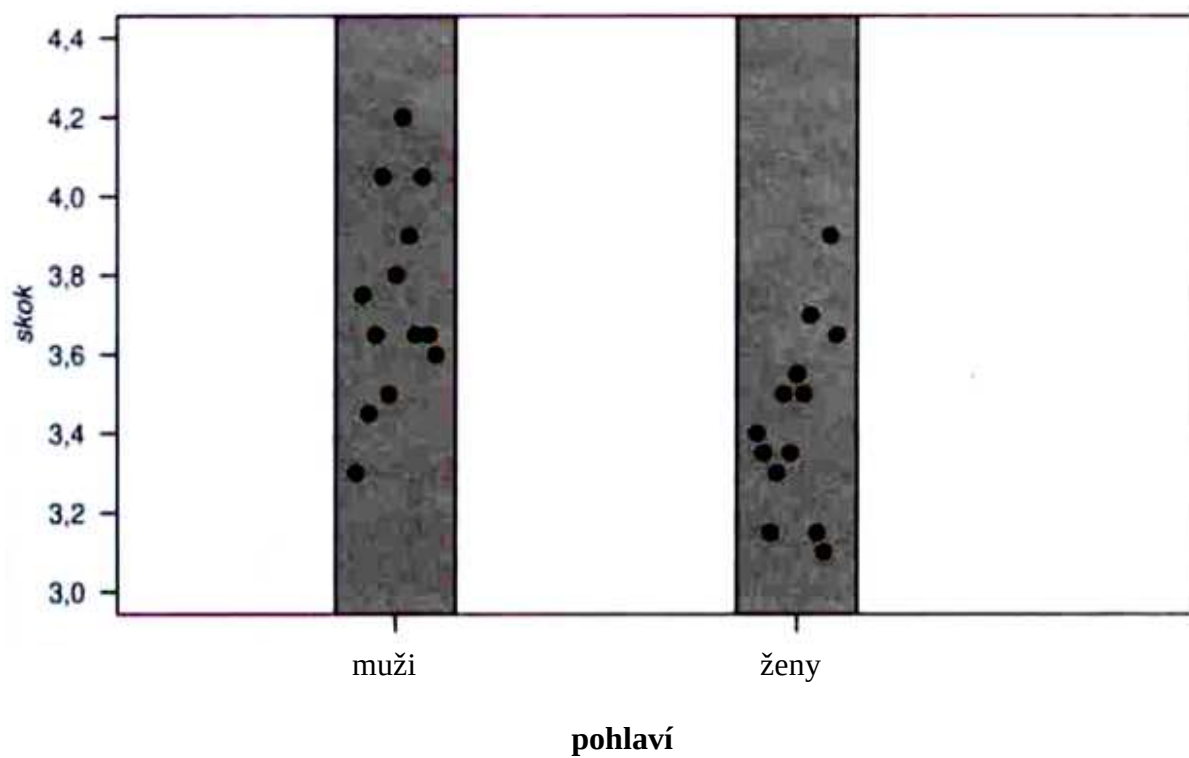
Tabulka četností, relativních četností a kumulativních četností je základní numerické zobrazení, při kterém se v souboru přítomné hodnoty kvantitativní proměnné seřadí a pro každou hodnotu se zjistí její absolutní i relativní četnost, dále absolutní a relativní kumulativní četnost. Četnosti se mohou zobrazit graficky. Údajům o výkonech ve skoku do dálky z tabulky tab. 2 odpovídá tabulka tab.3.

Skok daleký [m]	Počet	Kumulativní počet	Procenta	Kumulativní Procenta	Graf procent
3,1	1	1	3,85	3,85	I
3,15	2	3	7,69	11,54	III
3,3	2	5	7,69	19,23	III
3,35	2	7	7,69	26,92	III
3,4	1	8	3,85	30,77	I
3,45	1	9	3,85	34,62	I
3,5	3	12	11,54	46,15	III
3,55	1	13	3,85	50,00	I
3,6	1	14	3,85	53,85	I
3,65	4	18	15,38	69,23	IIII
3,7	1	19	3,85	73,08	I
3,75	1	20	3,85	76,92	I
3,8	1	21	3,85	80,77	I
3,9	2	23	7,69	88,46	III
4,05	2	25	7,69	96,15	III
4,2	1	26	3,85	100	I

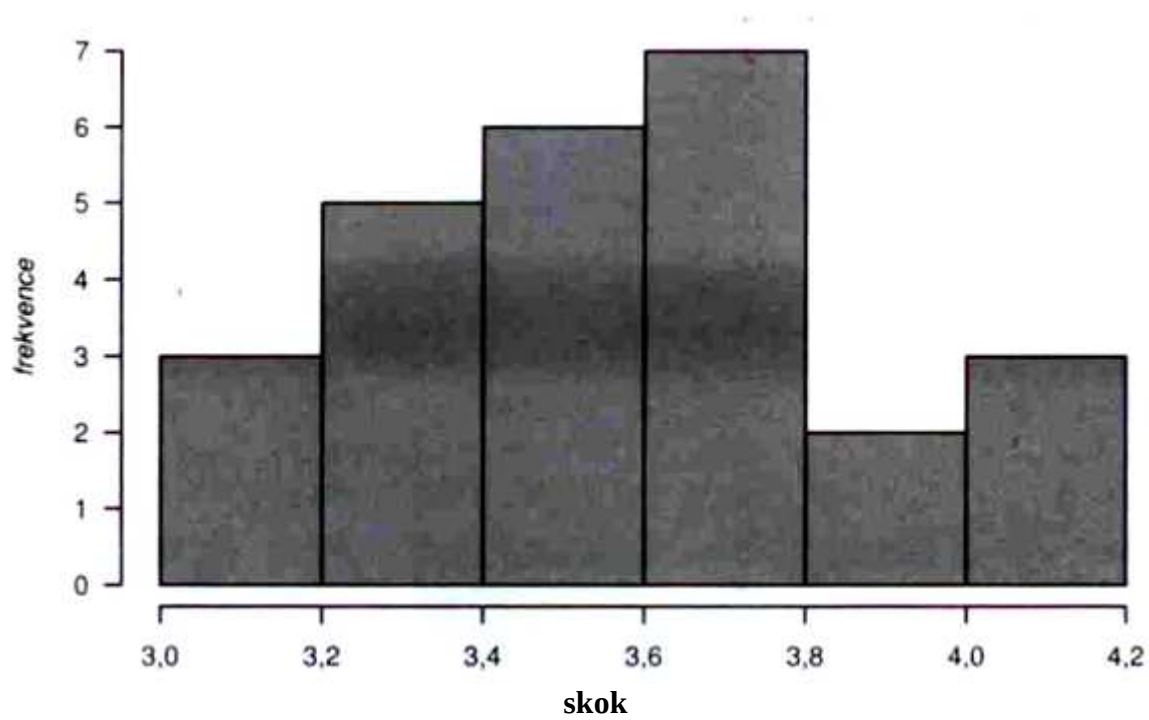
Tab. 3: Příklady úpravy primárních dat – tabulka četností a kumulativních četností pro data z tab. 2.

Aby nebyla tabulka rozsáhlá, volí se vhodně délka intervalů k vytvoření tříd, do nichž se seřadí příslušné hodnoty. Tabulka má tolik řádek, kolik tříd se vytvořilo. Čím je interval delší, tím má tabulka méně řádků. Tabulky slouží pro první přehled získaných měření. Tohoto cíle se snad ještě lépe dosáhne použitím grafických prostředků. Grafické zobrazení vytváří geometrický obraz dat. Přitom se využívají body, plochy, úsečky nebo různé další obrazce. Nejznámější způsob zobrazení hodnot jedné proměnné se nazývá histogram. V tomto případě osa X odpovídá hodnotám proměnné a osa Y absolutním nebo relativním četnostem. Pro dobré zobrazení je důležité zvolit optimálně počet tříd, které pokryjí celé rozmezí hodnot. Čím je dat méně, tím by měl být také menší počet tříd. Pro malé rozsahy výběrů se nevyplatí histogram sestavovat.

Obrázek 4 obsahuje dva bodové grafy výsledků ve skoku dalekém, zvlášť pro dívky a chlapce. Na obrázku 5 je příklad histogramu pro data v tabulce tab. 2.

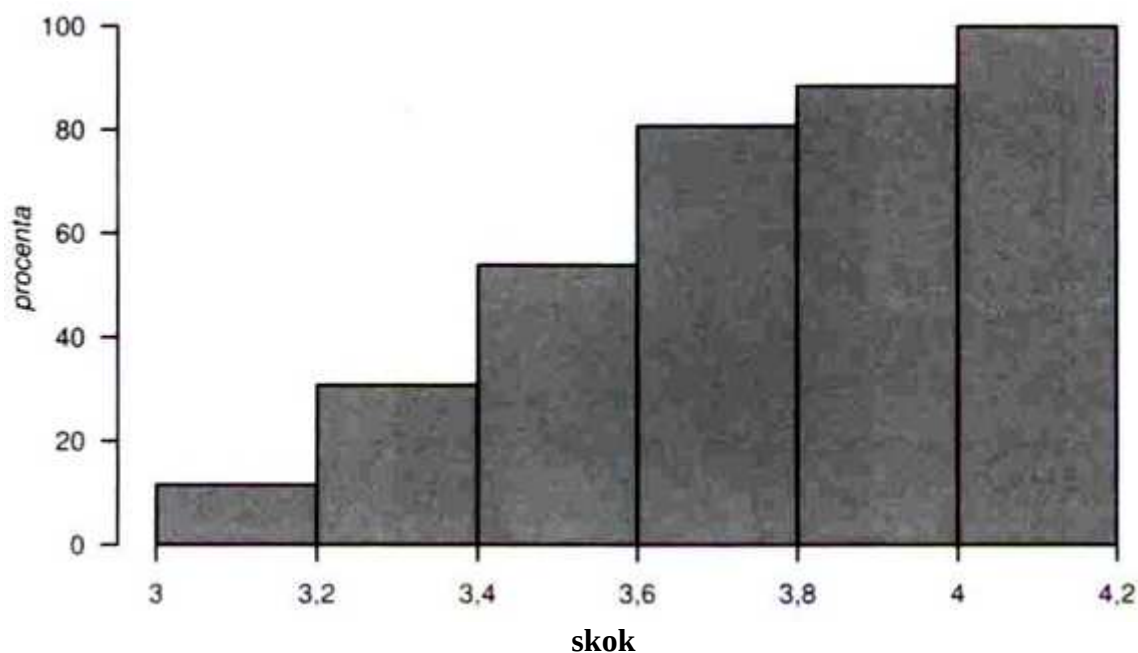


Obr. 4: Bodový graf



Obr. 5: Histogram četností pro data o skoku dalekém z tab. 2.

Na obrázku 6 jsou zobrazeny kumulativní relativní četnosti z tabulky tab. 2.



Obr. 6: Komutativní četnosti pro data o skoku dalekém z tab. 2.

6.5. Míry špičatosti a šikmosti

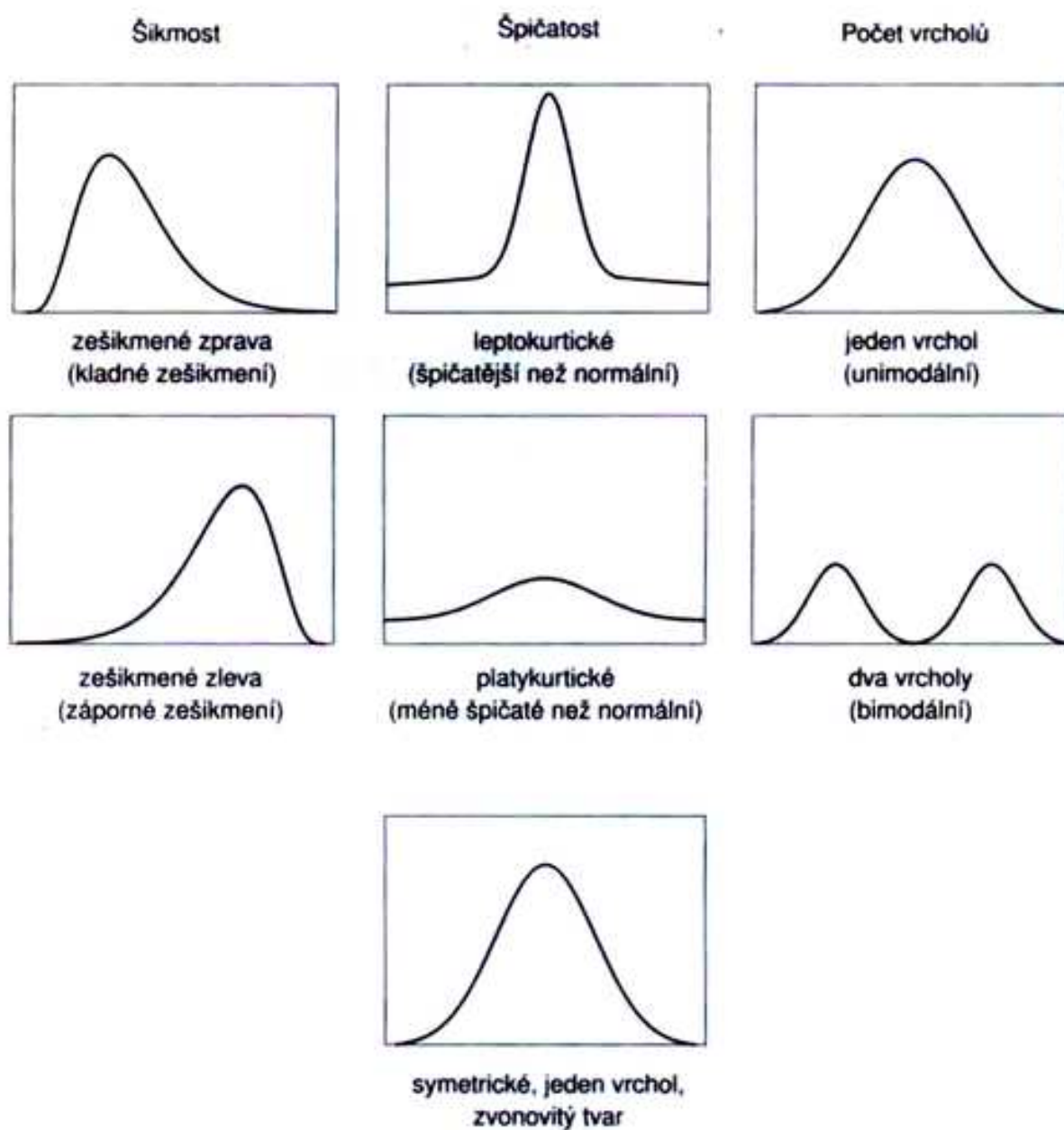
Tyto charakteristiky se používají méně často, ale obvykle společně. Slouží k jemnějšímu popisu specifických stránek dat. Hodnotíme pomocí nich také to, jak se rozdělení dat podobá normální (Gaussově) křivce. K výpočtu těchto charakteristik se přistupuje různě. Nejčastěji se využívají tzv. centrální momenty třetího a čtvrtého stupně. Centrální moment k -tého stupně m_k je obecně definován vztahem

$$m_k = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^k}{n}$$

Šikmost S_1 Měří zešikmenost, resp. nesymetrii dat a vypočítá se pomocí druhé a třetího momentu podle vzorce

$$S_1 = \frac{m_3}{m_2^{3/2}}$$

$S_1 = 0$ platí přibližně pro rozdělení přibližně symetrické, $S_1 > 0$ pro rozdělení s prodlouženým pravým koncem, naopak $S_1 < 0$ pro rozdělení prodlouženým levým koncem (obr. 7).



Obr. 7: Tvary rozdělení

Koeficient špičatosti S_2 Měří odchylku špičatosti zkoumaného rozdělení od normálního rozdělení:

$$S_2 = \frac{m_4}{m_2^2} - 3$$

Takto vypočtená špičatost má pro normální rozdělení hodnotu 0. Symetrická rozdělení mohou mít stejný rozptyl, ale odlišnou špičatost. Plošší křivky ($S_2 > 0$) nazýváme platykurtické, špičatější křivky ($S_2 < 0$) leptokurtické.

Zešikmenost se také měří pomocí dalších koeficientů. U symetrických dat medián dělí na polovinu interkvartilové rozpětí. Tento poznatek je možné využít k definování koeficientu šikmosti KS pomocí kvartilů

$$KS = \frac{Q_{III} + Q_I - 2\tilde{x}}{Q}$$

kde Q je interkvartilové rozpětí. Obecně platí, že KS nabývá hodnot od -1 do $+1$. Kladný, resp. záporný KS indikuje zleva, resp. zprava zešikmené rozdělení.

Statistik K. Pearson zavedl vlastní míru šikmosti SK , která zohledňuje skutečnost, že u zešikmených rozdělení se liší aritmetický průměr a medián:

$$SK = \frac{3(\tilde{x} - M_e)}{s}$$

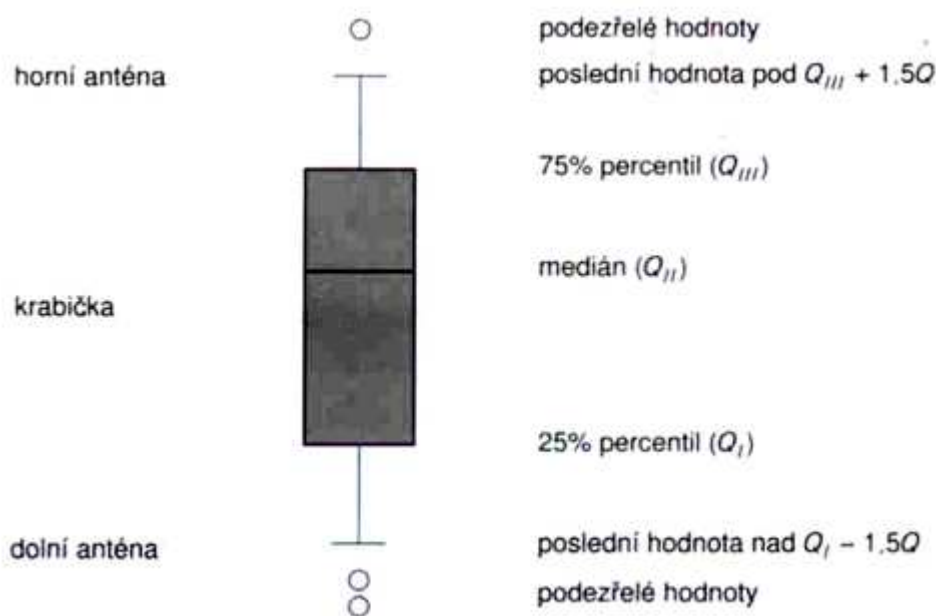
6.6. Popis dat pomocí pěti hodnot a krabicový graf s anténami

Vhodný způsob k popisu jak centrální tendence dat, tak jejich rozptýlenosti je uvedení mediánu jako míry střední hodnoty, kvartilů a nejmenší a největší hodnoty (minima a maxima hodnot) pro popis rozptýlenosti. Pro hodnoty výkonů ve skoku dalekém z tabulky tab. 2 uvádí tento souhrn tabulka tab. 4.

Minimum	Q_I	Medián	Q_{III}	Maximum
3,1	3,35	3,55	3,75	4,2

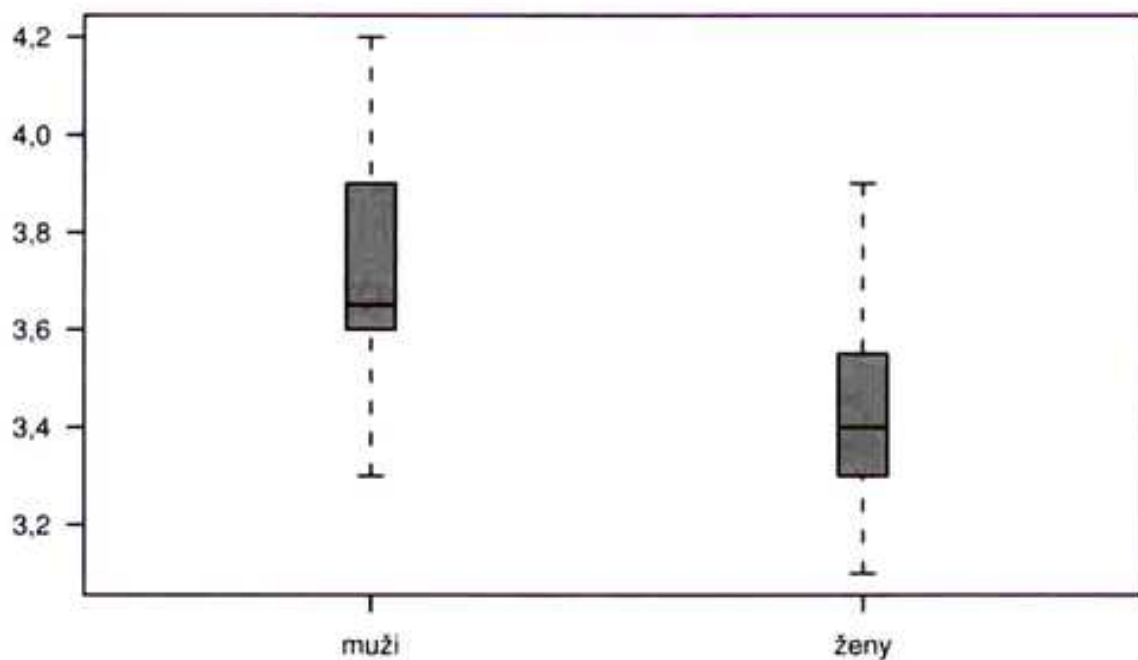
Tab. 4: Příklad popisu dat pomocí pěti hodnot

Těchto pět hodnot se využívá k sestavení tzv. krabicového grafu s anténami (někdy se říká s tykadly nebo vousy). Krabicový graf je velmi oblíbeným prostředkem pro zobrazení dat. Je implementován ve všech solidnějších statistických programových systémech. Používá se pro znázornění jedné množiny dat, ale ještě častěji pro porovnávání několika skupin dat. Do jisté míry se podobá sloupkovému grafu s vyznačenými směrodatnými odchylkami pro porovnání rozptýlenosti měření. Také krabicový graf s anténami dovoluje posoudit a porovnat jak centrální tendence dat, tak jejich rozptýlenost. Navíc pomocí tohoto grafu posuzujeme i zešíkmení a přítomnost odlehlých hodnot (outliers). Konstruuje se podle schématu na obrázku 8.



Obr. 8: Konstrukce krabicového grafu s anténami (Q je interkvartilové rozpětí)

Krabička obsahuje 50% dat. Je rozdělena mediánem na dvě části. Její dolní hrana je určena dolním (prvním) kvantilem a horní hrana třetím kvantilem. Pokud je medián blízko jedné z horizontálních hran krabičky, rozdělení dat je zešíkmené v opačném směru. Zobražíme data vzorové matice dat krabicovým grafem. Použijeme údaje pro skok daleký a porovnáme výkony chlapců a dívek. Graf neindikuje přítomnost odlehlých hodnot (obr. 9).



Obr. 9: Příklad krabicového grafu – výkony ve skoku dalekém

6.7. Zkoumání přítomnosti odlehlých hodnot a rezistentní odhady

Extrémně vysoké nebo nízké hodnoty přítomné v řadě měření mohou někdy vzbudit podezření, že jejich vznik není určen sledovanou náhodnou proměnnou, ale chybou zápisu nebo chybným měřením. Za určitých okolností se tato měření vyřazují ze zpracování. Jiná doporučená strategie spočívá v tom, že všechny propočty a úvahy provedeme pro množinu měření bez odlehlých hodnot a s odlehlými hodnotami a posuzujeme rozdílnost získaných závěrů. Další strategie vychází z používání rezistentních odhadů, které nejsou citlivé k odlehlým hodnotám.

Upozorním na příklady rezistentních odhadů střední hodnoty a rozptýlenosti. Vycházíme z poznatku, že aritmetický průměr je velmi citlivý vůči krajním hodnotám. Při podezření, že výběr obsahuje odlehlé hodnoty, se ho snažíme nahradit jiným výpočtem. Medián M_e je rezistentní odhad střední hodnoty. Také se používá odhad pomocí percentilového průměru:

$$\frac{2M_e + Q_{III} + Q_I}{4}$$

Seříznutý průměr (trimmed mean) znamená, že při výpočtu aritmetického průměru zcela ignorujeme určité procento extrémních hodnot. Useknutý průměr (winsorized mean) popisuje ve své knížce Havránek (1993) [2]. Vychází se z toho, že určité části krajních hodnot z množiny dat se přiřadí jedna zvolená méně extrémní hodnota. Z takto upravených hodnot se v dalším kroku počítá aritmetický průměr. Rezistentní odhady rozptýlenosti vychází z percentilových charakteristik. Například směrodatnou odchylku jako parametr normálního rozdělení lze odhadnout pomocí interkvartilového rozpětí nebo mediánové absolutní odchylky:

$$\hat{\sigma} = \frac{Q_{III} - Q_I}{1,35} = \frac{MAD}{0,67}$$

Existují statistické testy, kterými odlehle hodnoty posuzujeme. Jejich užitečnost je sporná. Proto uvedeme pro hledání odlehlých hodnot v množině dat jedné proměnné jenom základní pravidla, která mají orientační charakter. V kapitole o regresní analýze uvedeme pravidlo o odlehlé hodnotě při prokládání regresní přímky.

Obecné pravidlo říká, že při deseti a více kvantitativních měřeních můžeme vyřadit jednu hodnotu, pokud neleží v intervalu $\bar{x} \pm 3s$, přičemž obě použité výběrové statistiky počítáme bez podezřelé hodnoty. Poznamenejme však, že problém odlehlých hodnot je nutné posuzovat v daném kontextu obezřetně. Při vylučování extrémních hodnot nesmíme postupovat mechanicky. Pro některé množiny dat jsou odlehlé hodnoty typickým jevem, což je nutné zohlednit v celé další statistické analýze.

Krabicový graf s anténami využívá pro identifikaci odlehlých hodnot kritérium, jež se opírá o velikost interkvartilového rozpětí Q . Pokud měření je od dolního nebo horního kvartilu vzdáleno více než $3/2Q$, označí se jako odlehlá hodnota. Jiné kritérium vychází ze znalosti mediánové absolutní odchylky MAD . Jestliže posuzované měření x^* je vzdáleno od mediánu o více než $5MAD$, měření klasifikujeme jako odlehlé.

6.8. Transformace dat, standardizace

Existují různé možnosti, co s daty dělat, když jsou již v počítači. Často se používá globální úprava dat pomocí transformací. K nejpoužívanějším patří standardizace. Stručně charakterizujeme ty nejjednodušší z nich.

Funkční transformace

Přičítání nebo odečítání konstanty. Jedná se o jednoduchou akci, kdy ke všem datům kladnou nebo zápornou konstantu. Nejobvyklejší taktikou je odečtení aritmetického průměru od všech získaných skóre dané proměnné. Dostáváme tzv. centrovaná data nebo odchylky od průměru:

$$\text{Odchylka} = (\text{naměřený údaj}) - (\text{průměr})$$

Získáváme tak přehled, jak jsou jednotlivé údaje vzdálené od průměru. Také lze použít místo průměru medián nebo jinou míru centrální tendence. Průměr, medián a modus takto transformovaných dat se změní stejně jako původní údaje.

Násobení (dělení) konstantou. Tato operace se často nazývá škálování (toto slovo však má i jiné významy). Používá se například při přechodu mezi použitými jednotkami měření (mezi kilogramy a gramy, metry a centimetry apod.). Také pro tuto transformaci platí, že průměr, medián a modus transformovaných dat se změní stejně jako původní údaje.

Standardizace kombinuje odečítání a násobení. Standardizace se provádí podle předpisu

$$\text{standardizovaný údaj} = \frac{\text{naměřený údaj} - \text{průměr dat}}{\text{směrodatná odchylka}}$$

Standardizace znamená, že průměr (nebo medián) standardizovaných dat je 0 a jejich směrodatná odchylka (nebo interkvartilové rozpětí) je 1. Rozdělení, která jsou takto standardizována, se mnohem snadněji srovnávají a někdy i kombinují. Standardizovaná data se často nazývají též standardizované skóre.

Data se symetrickým rozdělením standardizovaná průměrem a směrodatnou odchylkou jsou symetricky rozdělená kolem nuly a jejich hodnoty se pohybují přibližně v rozmezí od -3 do 3 . Hodnoty mimo tyto meze se prověřují, zda nemají charakter odlehlých hodnot.

Jiné funkční transformace. Dosud uvedené úpravy dat jsou příkladem nejjednodušších funkčních transformací. Data se transformují různými dalšími funkcemi jako logaritmus, odmocnina, obrácená hodnota apod. Těmito transformacemi často linearizujeme jinak nelineární vztahy nebo upravujeme tvar rozdělení dat, aby se více podobalo rozdělení popsanému Gaussovou křivkou.

Převod hodnot na pořadové hodnoty a percentily

V těchto dvou transformacích přiřazujeme naměřené hodnotě její pořadí nebo percentilovou hladinu. Nová hodnota udává relativní pozici původní hodnoty v celé množině dat vzhledem k relaci řazení podle velikosti.

Transformace do pořadí – označujeme ji někdy R – převádí daný údaj do intervalu 1 až n . Jsou-li všechny údaje různé, najdeme nejmenší údaj x_i a přiřadíme mu číslo $R_i = 1$, a tak postupujeme, dokud nepřičadíme všem prvkům jejich pořadová čísla. Obecně můžeme říci, že přiřazujeme údaji x_j číslo R_j , což je počet x_j , jež jsou menší nebo rovny údaji x_j . Pokud jsou některé x_j stejné, pak jim přiřazujeme průměrné pořadí, které odpovídá této skupince shodných hodnot.

Percentilová transformace převádí údaje do intervalu 0–100. Každému údaji je přiřazena percentilová hladina, jež odpovídá relativnímu počtu údajů (vynásobenému číslem 100), které jsou menší než tento údaj nebo stejné. Percentilová hodnota 50 odpovídá mediánu a hodnota 100 maximu původních dat u všech proměnných.

7. Počet pravděpodobnosti jako základ statistického usuzování

K analýze dat přistupujeme z několika hledisek. Dosud jsme probrali explorační a popisnou analýzu dat, jimiž dokážeme přehledně shrnout informace, jež se týkají právě těch objektů, které jsme pozorovali nebo změřili. Jestliže jsme však data získali na základě dobře navrženého výzkumného plánu, můžeme provádět zobecňující úsudky o chování sledovaných proměnných a jejich parametrech v celé uvažované populaci. Metody takového statistického usuzování se opírají o počet pravděpodobnosti. Proto jsou základy počtu pravděpodobnosti tématem této kapitoly.

Metody statistického testování a odhadování vyžadují data získaná náhodným výběrem nebo metodou znárodněného experimentu. Statistické usuzování spočívá na kladení otázek typu: „Jak často tato metoda dá správnou odpověď, pokud ji použijí mnohokrát?“ Pokud si nemůžeme představit, že proces sběru dat lze opakovat (např. tím, že z populace vybereme jiný výběr), statistické usuzování nemá smysl. Jestliže však využijeme při získání dat náhodu, můžeme použít teorii pravděpodobnosti pro zodpovězení otázky: „Jak často nastane určitý jev, pokud experiment nebo výběr provedeme mnohokrát?“

Nesmírně důležitý je pojem náhodné proměnné a rozdělení náhodné proměnné. V závěru této kapitoly se dostaneme k další problematice, která je pro statistickou analýzu rozhodující – k pravděpodobnostnímu chování statistik vypočítaných z dat, a uvedeme základní teoretická pravděpodobnostní rozdělení, jež jsou vhodná pro popis variability statistik.

Základní pojmy a výpočty

Vysvětlím stručně pouze základy počtu pravděpodobnosti, které budeme potřebovat. Musíme si přitom uvědomit, že matematická teorie pravděpodobnosti nemůže objasnit podstatu náhodnosti a pravděpodobnosti. Je pouze vhodným formálním popisem situací, v nichž se náhodnost, resp. nejistota projevuje, umožňuje o nich uvažovat.

Náhodné jevy, pravděpodobnost

Náhodnost vede k tomu, že jevy, které nás zajímají, se za daných podmínek mohou nebo nemusí vyskytnout. Například při házení mincí sledujeme jev, že padne „orel“. V daném hodu můžeme predikovat jeho výsledek pouze vyjádřením pravděpodobností možností, jež mohou nastat. Pravděpodobnost, že padne „orel“, vyjadřujeme číslem, které má určitý význam. Slova pravděpodobný nebo nepravděpodobný, jež se vyskytují v běžné řeči, vyjadřují nejistotu kvalitativně. Vztah tohoto vyjádření k matematickému pojmu pravděpodobnost je dán kontextem.

Určitý fenomén považujeme za náhodný, jestliže jeho výskyt je nejistý, ale zároveň pozorujeme v dlouhé řadě situací určitou pravidelnost v rozdělení jeho výskytu.

Existuje mnoho různých definic pravděpodobnosti: definice axiomatická, definice pravděpodobnosti jako kvantitativní míry jistoty: klasická definice, jež pojem pravděpodobnosti převádí na pojem stejné možnosti. Uvedeme **statistickou definici pravděpodobnosti**.

Mluvíme o **náhodném pokusu**, jestliže při pokusu lze dostat různé možné výsledky a přitom:

1. nelze předem určit, který z těchto výsledků získáme,
2. pokus lze libovolně často opakovat, aniž se jednotlivá opakování vzájemně ovlivňují.

Množina všech možných výsledků náhodného pokusu tvoří prostor náhodných výsledků (E). Například při hodu mincí tvoří prostor jevů v jednom hodu „panna“ a „orel“.

Vymezená množina výsledků je **náhodný jev**. Všechny možné náhodné jevy tvoří **pole jevů**. Jev, jenž se skládá pouze z jednoho výsledku, se nazývá elementární jev. Jev, který nastává, jestliže dostaneme více možných výsledků, se nazývá jev složený. Jev jistý obsahuje všechny možné výsledky náhodného pokusu. Pro pole náhodných jevů lze použít vztahy teorie množin.

Symbolem $A \cup B$ označujeme jev, že nastane jev A nebo nastane jev B nebo že nastanou oba dva. Současný výskyt jevu A jevu B označujeme symbolem $A \cap B$. Případ, že $A \cap B$ je prázdná množina, znamená vzájemně se vylučující jevy.

Také říkáme, že tyto jevy jsou disjunktní. Jev doplňkový $\bar{A}$ (nebo také opačný k jevu A je jev, který nastane, když nenastane v pokusu jev A .

Pravděpodobnost náhodného jevu A je číslo $P(A)$, k němuž se blíží relativní četnost jevu A , jestliže pokus dostatečně často opakujeme. Jestliže jsme provedli n pokusů a v m z nich nastal jev A , pak

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{m}{n} = P(A)$$

Tuto hodnotu pravděpodobnosti považujeme v teorii pravděpodobnosti za danou. Výrok „pravděpodobnost jevu A je rovna hodnotě p “ znamená, že $P(A) = p$.

Pravděpodobnost náhodného jevu je tedy číslo mezi 0 a 1, které popisuje relativní četnost, s jakou se jev vyskytne ve velmi dlouhé řadě opakování situace, kdy tento jev může nastat. Pravděpodobnosti popisují pouze to, co se stane v dlouhé řadě pokusů. Krátké série náhodných jevů, jako házení mincí nebo střelba na koš, často nevypadají náhodně, protože neukazují pravidelnost, jež se ve skutečnosti může prosadit jenom při mnoha opakováních.

Pravděpodobnost má tyto základní vlastnosti:

1. Pravděpodobnost jevu, který je jistý, se rovná 1.
2. Pravděpodobnost jevu nemožného je rovna 0 .
3. Lze-li náhodný jev rozložit na několik vzájemně se vylučujících (disjunktních) jevů, pak se jeho pravděpodobnost rovná součtu pravděpodobností těchto jevů.

Pro výpočet pravděpodobnosti jevu A často používáme pravidlo, které je východiskem definice pravděpodobnosti na základě stejné možnosti: Jestliže náhodný pokus může vést k r různým elementárním jevům, jež jsou stejně pravděpodobné, pak pravděpodobnost jevu A je

$$P(A) = \frac{\text{počet elementárních jevů, které vedou k } A}{r}$$

8. Vyhodnocení těsnostních zkoušek

V následující části si ukážeme, jak se statistická data vyhodnocují v provozu JE Dukovany na oddělení Speciální kontrola. Popíšeme, jak se provádí a vyhodnocují některé z těsnostních zkoušek. První, o které se zmíním, je zkouška těsnosti hermetické průchodky (měření poklesu tlaku). U této zkoušky je důležité provádět zápis naměřených hodnot v předepsaných intervalech a průběžně je vyhodnocovat a následně protokolovat. V další těsnostní zkoušce si ukážeme, jakým způsobem se zkouší sekundární bariéra na kontejneru CASTOR. Z hlediska jaderné bezpečnosti se musí prokázat řádné uzavření prostoru s palivovými články pro jejich uskladnění. To se provádí pomocí dílčích zkoušek na jednotlivých pozicích pomocí heliového hledače, který má dostatečnou citlivost pro měřený únik helia. Průběžně vyhodnocujeme hodnoty z grafu do podoby protokolu. Tyto hmotnostní spektrometry jsou poměrně přesné přístroje náročné na nastavení, bohužel v průběhu zkoušek se mění teplota. K přesnému nastavení těchto přístrojů nám slouží kalibrační netěsnost, kterou si popíšeme v třetí části.

8.1. Zkouška těsnosti hermetických průchodek PGKK přetlakem plynu

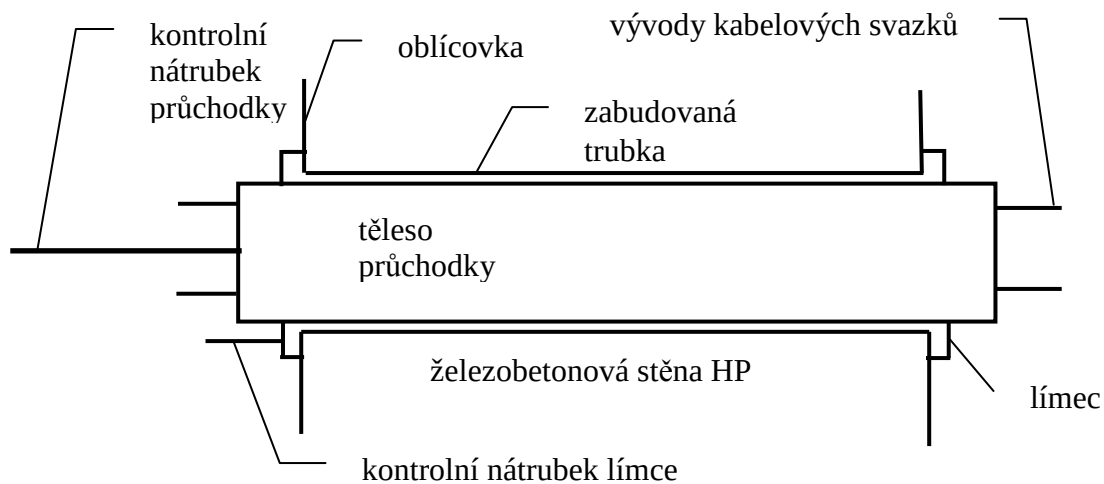
Specifikace zkoušeného zařízení

Předmětem zkoušky jsou hermetické průchodky PGKK, které jsou součástí hranice hermetických prostorů. Vnitřní objem tělesa průchodky a objem mezi tělesem průchodky a zabudovanou trubkou uzavřený límci tvoří zkoušené prostory. Průchodka zajišťuje dvojitou těsnost. Těsnost svého tělesa pro ochranu kabelových svazků k zajištění jejich elektrických parametrů, jmenovitě izolačního stavu a dále těsnost hranice hermetických prostorů. Pokud by nebyla zaručena těsnost, může dojít k nežádoucímu úniku z primárního okruhu.

Hermetická průchodka PGKK

Hermetická průchodka PGKK se skládá z válcového tělesa průchodky, kterým procházejí čtyři kabelové svazky a ze zabudované trubky do hermetické průchodkové stěny, která je svými konci přivařená k obličovkám stěny. Do zabudované (též základní) trubky se

vkládá válcové těleso průchodky. Vzniklý meziprostor je utěsněný dvěma límci přivařenými k tělesu průchodky a k oblíčkám.



Obr. 10: Hermetická průchodka PGKK

Rozdělení zkoušek

Zkoušky jsou rozděleny podle toho, co je předmětem zkoušky a podle jejího zařazení do posloupnosti zkoušek a prací:

1. Kontrola tělesa průchodky před montáží do stěny.
2. Přetlaková kontrola těsnosti zabudované trubky.
3. Komůrková kontrola těsnosti zabudované trubky.
4. Kontrola límce.
5. Kontrola tělesa průchodky po montáži do stěny.
6. Kontrola tělesa průchodky po výměně kabelového svazku.

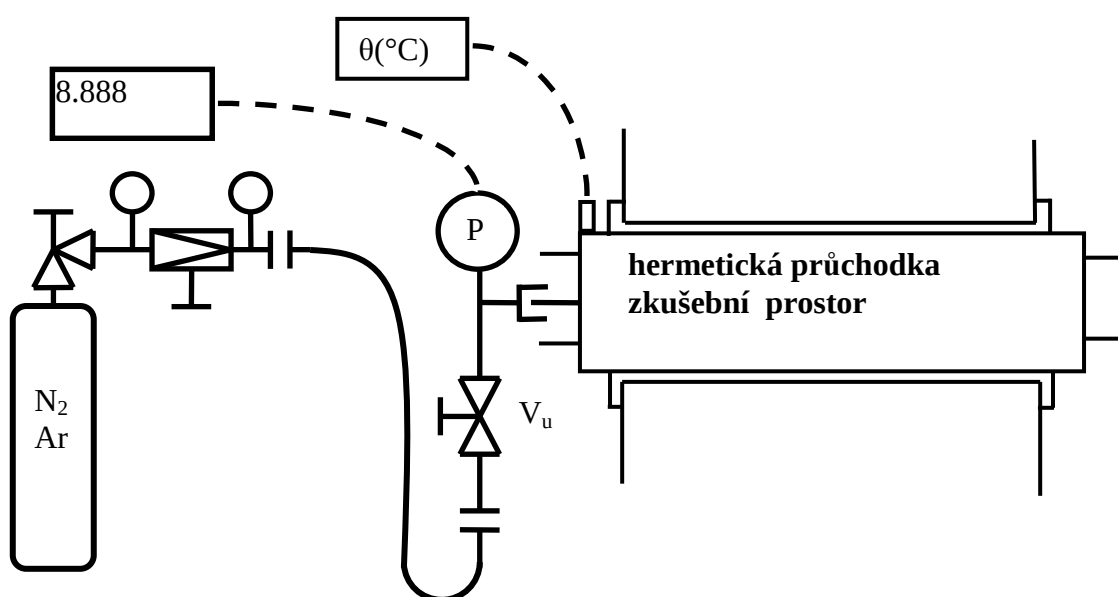
Zkoušky těsnosti zabudované trubky buď přetlakem plynu, nebo komůrkové jsou alternativní a navzájem zastupitelné.

Těsnostní zkouška tělesa průchodky ve stěně

Jedná se o zkoušku přetlakem plynu uvnitř zkoušeného prostoru s měřením rychlosti poklesu tlaku. Při působení přetlaku a případným vyhledáváním netěsností pěniovým roztokem a ultrazvukovým hledačem netěsností.

Zkušební zařízení

Sestava celků zkušebního zařízení pro zkoušky přetlakem plynu Obr. 10 se skládá z tlakové láhve s dusíkem, suchým vzduchem, nebo inertním plynem. K ní je připevněn redukční ventil umožňující nastavení tlaku od 1 do 4 MPa. K průchodce je souprava připojena pomocí tlakovacího přípravku s uzavíracím ventilem V_u a připojeným snímačem P tlaku s rozsahem 0-0,5 MPa. Ten je připojen k elektronickému manometru. Pro zajištění odpovídající přesnosti měření je nutné, aby manometry měly třídu přesnosti manometru 2,5 nebo lepší a rozlišení manometru bylo 5 kPa nebo lepší. K měření teploty použijeme kontaktní teploměr θ (°C). Pokud dochází k měřitelným únikům použijeme pro vyhledávání netěsností ultrazvukový hledač netěsností a pěniový roztok atestovaný pro použití na JE.



Obr. 11: Sestava celků zkušebního zařízení pro zkoušky přetlakem plynu

Parametry a kriteria zkoušky

Minimální počáteční přetlak je **0,27 MPa** (0,37 MPa při měření absolutního tlaku). Doba expozice zkoušeného prostoru na tlaku **10 minut**. Doba stabilizace 15 minut, v případě nutnosti je možno prodloužit dobu stabilizace až na 45 minut. Výsledek zkoušky je vyhovující, jestliže naměřená rychlost poklesu tlaku je menší než **5 kPa/10min** a na povrchu zkoušeného prostoru nejsou indikována žádná místa úniku a zároveň výsledek zkoušky je vyhovující, jestliže naměřená rychlost poklesu tlaku je větší než **5 kPa/10min** a **nebyla** lokalizována netěsnost. Jedná se o únik do betonu – výsledek zkoušky je vyhovující a zkoušená průchodka podléhá evidenci správce.

Výchozí stav tělesa průchodky před zkouškou a přípravné práce

Těleso průchodky je vloženo do zabudované trubky a všechny svary límců jsou dokončené. Při výměně celého tělesa průchodky jsou čerstvé svary límců očištěné a nenatřené. (Tyto svary se opatří ochranným nátěrem až po těsnostní zkoušce!). U vyměněných svazků musí být zalévací hmota jejich koncovek dokonale vytvrzena. Kontrolní nátrubek, nebo kontrolní otvor tělesa průchodky musí být přístupný. Je-li požadováno zkoušení tělesa průchodky na nepřístupné části průchodkové stěny, musí být tato zpřístupněna lešením. Připojíme tlakovací přípravek s oddělovacím ventilem a snímačem tlaku 0-1 MPa ke zkoušenému prostoru. Propojíme zkušební přípravek k redukčnímu ventilu na láhvi. Spustíme registraci tlaku na elektronickém manometru.

Průběh zkoušky

Natlakujeme zkoušení prostor plynem z tlakové láhve na počáteční zkušební přetlak minimálně **0,27 MPa** (0,37 MPa při měření absolutního tlaku). Uzavřeme zkoušený prostor uzavíracím ventilem V_u a zahájíme stabilizaci. Doba stabilizace musí být minimálně 15 minut. Po zahájení měření se provádí měření tlaku na počátku a po uplynutí expozice (10 minut). Zaznamenávají se vždy čas (hh : mm), tlak (MPa) a teplota (°C). Vyhodnocujeme rychlosti poklesu tlaku. Během doby expozice 10 minut musí být naměřený pokles tlaku menší než 5 kPa. Jestliže se během expozice prokáže nedostatečná stabilizace (změny v rychlosti poklesu tlaku) a nebylo splněno kritérium, je nutno expozici prodloužit. Pokud i nadále překračuje rychlost poklesu tlaku stanovenou hodnotu 5 kPa/10min, je rozhodující výsledek vyhledávání netěsností.

Vyhledávání netěsností

Vyhledávání netěsností se provádí vždy během doby, kdy je zkoušený prostor pod tlakem. Největší netěsnosti lze indikovat sluchem, citlivější je ultrazvukový hledač netěsností a lze použít pěnotvorný roztok. Vyhledávání probíhá na celém přístupném povrchu obou konců tělesa průchodky, zejména na přírubách koncovek kabelových svazků, na zalití koncovek svazků, dále na svarech tělesa průchodky s límcem. Pro dosažení **vyhovujícího** výsledku nesmí být indikováno žádné místo úniku. Indikace místa úniku vede k **nevyhovujícímu** výsledku zkoušky.

Zpracování výstupů zkoušení

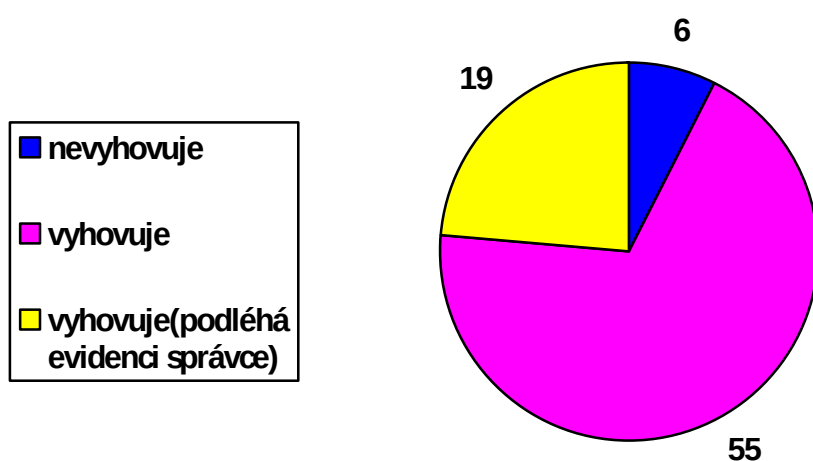
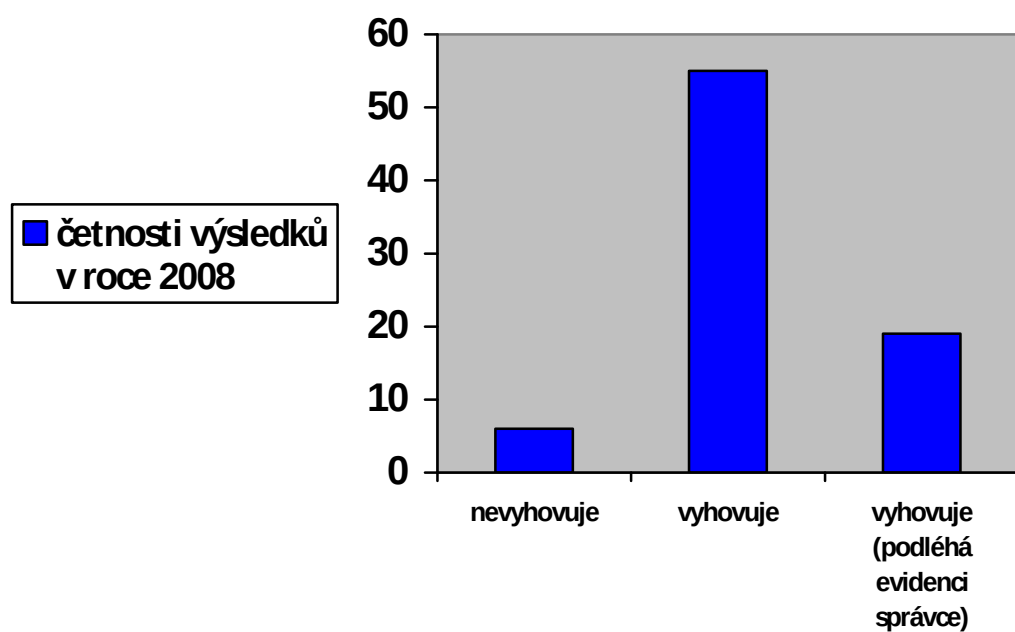
Vypracujeme protokol o zkoušce, který bude obsahovat následující údaje:

- Název kontrolovaného zařízení.
- Rozsah zkoušky.
- Číslo protokolu.
- Identifikace kontrolovaného zařízení: Umístění - číslo bloku a místnost, projekční číslo, průchodková stěna, pozice průchodky.
- Předpis zkoušky - dle čeho bude zařízení hodnoceno, metoda zkoušky, parametry zkoušky, kritéria hodnocení. Případně další související předpisy, čísla vyhlášek.
- Číslo pracovního příkazu, objednavatel, datum kontroly.
- Použité zkušební přístroje a zařízení, jejich typové označení včetně výrobních čísel.
- Závazné vyhlášky - Vyhláška SUJB 309/2005 Sb.
- Naměřené a vypočítané údaje, případné upozornění správci na nutnost sledování průchodky.
- Výsledek zkoušky – hodnocení.
- Jména pracovníků provádějících, vyhodnocujících a schvalujících zkoušku včetně jejich certifikace a podpisů.
- **VÝSLEDEK - VYHOVUJE, NEVYHOVUJE.**

Protokoly archivujeme na oddělení Speciální kontrola, dále u správce a na odboru Technická bezpečnost.

MĚŘENÍ č.	PRŮCHODKA č.	STĚNA č.	ČAS t ₀	TLAK p ₀	ČAS t ₁	TLAK p ₁	TEPLOTA T	ČAS t ₂	TLAK p ₂	VÝSLEDEK (únik ,nalezená netěsnost)
1	44	241	7:30	279,6	7:45	275,4	23,4	7:55	273,6	ÚNIK 1,8 kPa/10 min - VYHOVUJE
2	27	233A	8:00	277,4	8:10	244,8	22,7			ÚNIK 32,6 kPa/10 min - VYHOVUJE PODLÉHÁ EVIDENCI SPRÁVCE
3	15	231	10:00	276,5	10:15	266,3	22,9	10:25	253,8	ÚNIK svazkem 12,5 kPa/10 min - NEVYHOVUJE
4	15	231	11:00	274,3	11:15	270,2	22,8	11:25	268,8	ÚNIK 1,4 kPa/10 min – po opravě VYHOVUJE

Tab. 5: Zaznamenané hodnoty při zkoušce těsnosti hermetických průchodků PGKK přetlakem plynu

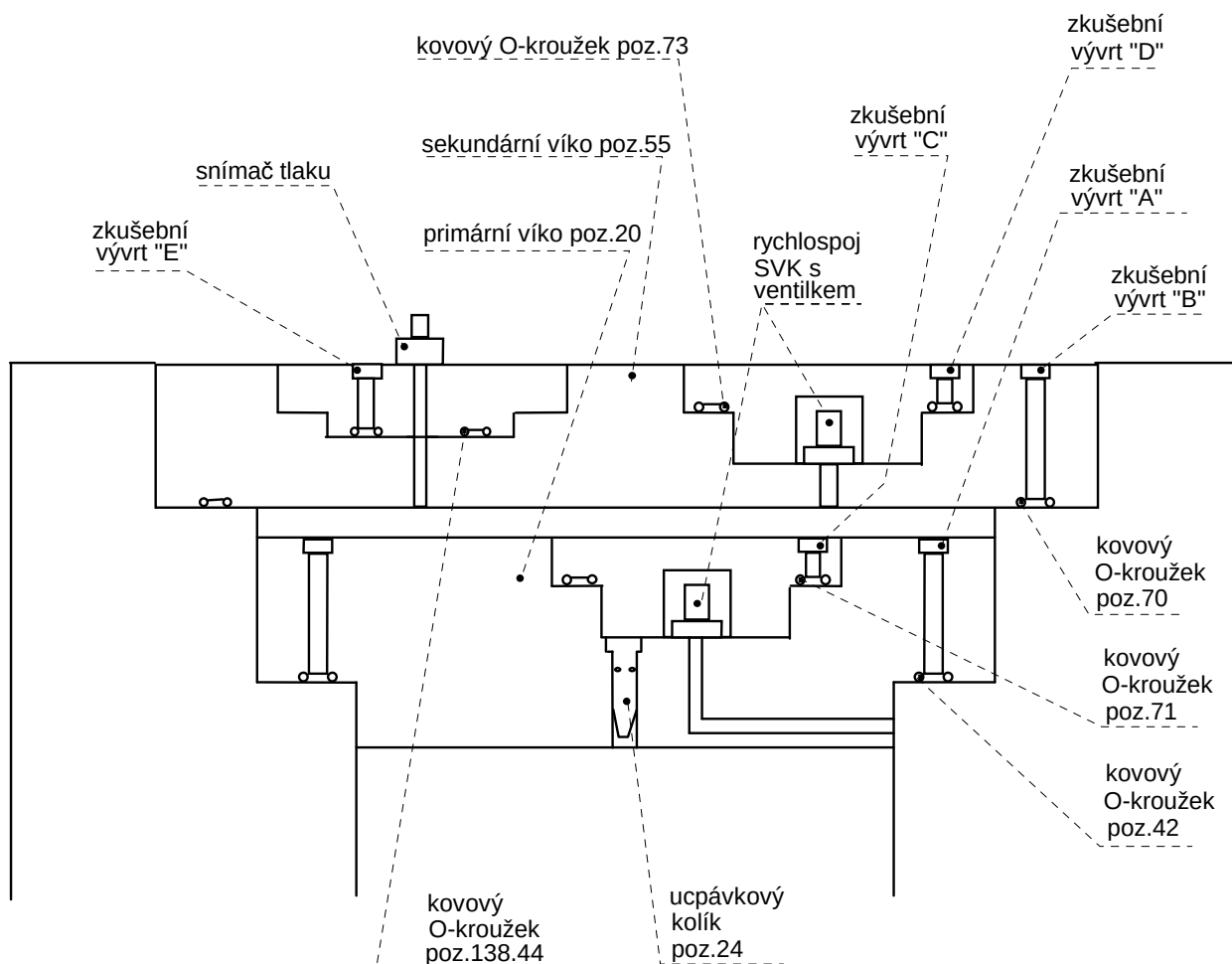


Obr. 12: Příklady zobrazení četností výsledků zkoušek v roce 2008 (sloupkový a koláčový graf)

8.2. Heliové těsnostní zkoušky

Těsnost kontejneru po zavážce palivem v lokalitě EDU a před uložením v meziskladu vyhořelého paliva EDU

V rámci zavážky má být zjištěna integrální standardní velikost úniku helia přes těsnící bariéry primárního a sekundárního víka a tím má být potvrzeno, že je zaručena řádná těsnící funkce jednotlivých komponentů kontejneru. Zkoušky prokazují řádné uzavření prostoru s palivovými články pro jejich uskladnění. Kontroly jsou prováděny jako integrální heliové těsnostní zkoušky vakuové.



Obr. 13: Těsnící systém kontejneru

Používané pojmy

- Heliová zkouška těsnosti - metoda pro vyhledávání netěsnosti, při které se netěsnost prokazuje přítomností helia.
- Heliový hledač netěsností - přístroj pro vyhledávání netěsností heliem (hmotnostní spektrometr k prokázání přítomnosti helia).
- Parciální tlak helia $[P_{He}]$ - tlak, který helium vytváří v daném objemu.
- Heliový prostor - prostor, který je při heliové zkoušce těsnosti zaplňován heliem.
- Heliové pozadí $[Q_U]$ - hodnota naměřená heliovým hledačem netěsností, aniž by byl heliový prostor zaplněn heliem.
- Heliové pozadí korigované $[Q_{UK}]$ - heliové pozadí korigované příslušnou citlivostí
- Integrální standardní velikost úniku helia těsnící bariérou $[Q_{1,ZU1}, Q_{1,ZU2}]$ - součet všech jednotlivých standardních velikostí úniku helia těsnící bariéry.
- Velikost úniku indikovaná $[Q_L]$ - difference mezi indikací helia a heliovým pozadím.
- Měřicí čas - doba, po kterou se zaznamenává a registruje velikost úniku.
- Zkoušený prostor - prostor, na který je připojen heliový hledač netěsností.
- Čerpací čas - doba, která je potřebná pro vyvakuování příslušného objemu.
- Přesnost odečtu - nejmenší difference mezi dvěma naměřenými výsledky, kterou je možné ještě s jistotou odečíst na měřicím přístroji.
- Přesnost záznamu (indikace) $[A_G]$ - odchylka, které se dá přiřadit odečtené naměřené hodnotě, vztažená na koncovou hodnotu stupnice měřicího přístroje.
- Testovací (kalibrační) netěsnost - kalibrovaný únik s přesně definovanou velikostí úniku.
- Bariéry těsnosti - primární nebo sekundární víko spolu s právě zabudovanými konstrukčními díly, důležitými z hlediska bezpečnosti.
- Citlivost heliové zkoušky těsnosti - nejmenší prokazatelná velikost úniku.
- Citlivost heliového hledače netěsností $[E]$ - korekční faktor pro indikovanou velikost úniku.
- Základní nastavení - opatření, která je nutno provádět pro nakalibrování heliového hledače netěsností.
- Indikace helia $[Q_{He}]$ - zaznamenaná (indikovaná) hodnota, získaná při odečtu na heliovém hledači netěsností.
- Indikace helia korigovaná $[Q_{HeK}]$ - indikace helia korigovaná příslušnou citlivostí.
- Heliové prostředí - jsou podmínky, za kterých působí helium na těsnění mezi heliovým a zkušebním prostorem.

Použité značení

Indexy 42, 71, 70, 138.44 a 73 značí aktuálně kontrolovanou pozici.

- δ_t Změna kalibrační netěsnosti s časem δ_t .
- ΔQ_{He} Šířka fluktuace výchyly hledače v hPa/s.
- $\theta_1 (\theta_2, \theta_3)$ Teplota kalibrační netěsnosti ve °C.
- $\Delta \theta$ Rozdíl naměřené teploty kalibrační netěsnosti proti štítkovému údaji kalibrační teploty θ_{CAL} .
- θ_{CAL} Štítkový údaj kalibrační teploty (obvykle 23°C) v °C.
- A_G Přesnost nastavení heliového hledače v %.
- E_2 Citlivost heliového hledače netěsností při stanoveném pozadí.
- E_3 Citlivost heliového hledače netěsností při stanovené velikosti úniku.
- H_E Helium, případně zásobník helia.
- P Celkový tlak v heliovém prostoru v hPa/s., popř. tlak v hPa/s.
- P_{He} Parciální tlak helia v heliovém prostoru.
- Q Velikost úniku v hPa·l/s.
- Q_i Teplotní závislost testovací netěsnosti v % na °C.
- Q_{He} Střední hodnota indikace helia v hPa·l/s.
- Q_{HeK} Korigovaná indikace helia v hPa·l/s.
- Q_{He1} Indikace helia při stanovené velikosti úniku v hPa·l/s.
- Q_{He2} Indikace helia při stanovené velikosti úniku v hPa·l/s.
- Q_L Velikost úniku po odečtení pozadí v hPa·l/s.
- Q_S Jmenovitá velikost úniku testovací netěsnosti v hPa·l/s.
- Q_{SK} Teplotou θ korigovaná vypočtená velikost úniku testovací netěsnosti v hPa·l/s.
- Q_{SK1} Teplotou θ_1 korigovaná vypočtená velikost úniku testovací netěsnosti v hPa·l/s.
- Q_{SK2} Teplotou θ_2 korigovaná vypočtená velikost úniku testovací netěsnosti v hPa·l/s.
- Q_{SK3} Teplotou θ_3 korigovaná vypočtená velikost úniku testovací netěsnosti v hPa·l/s.
- Q_{ST} Standardní velikost úniku helia (rozměr hledané netěsnosti vzhledem k P_{He}).
- Q_{TL1} Indikace helia testovací netěsnosti při základním nastavení v hPa·l/s (výchylna od testovací netěsnosti proti pozadí heliového hledače netěsností).

- Q_{TL2} Indikace helia testovací netěsnosti při stanoveném pozadí v hPa·l/s (signál od testovací netěsnosti proti pozadí zkoušeného předmětu).
- Q_{TL3} Indikace helia testovací netěsnosti při stanovené velikosti úniku v hPa·l/s (signál od testovací netěsnosti za působení helia v heliovém prostoru).
- Q_{U1}, Q_{U2} Heliové pozadí zkoušeného předmětu v hPa·l/s.
- Q_{UG} Heliové pozadí při základním nastavení v hPa·l/s (pozadí heliového hledače netěsností).
- Q_{UK} Korigované heliové pozadí v hPa·l/s (korigované E_2).
- Q_{ZU} Přípustná standardní velikost úniku helia, popř. přípustná standardní velikost v hPa·l/s.
- SA Šroubovací zkušební adaptér.
- SVK Zkušební adaptér s ventilkem (plynotěsný s rychlospojem).
- V_{KP} Ventil kontrolního prostoru.
- V_{TL} Ventil testovací netěsnosti.
- V_S Ventil sušícího zařízení.
- V_P Ventil plnicí.
- $Q_{l,zu1}$ Integrální standardní velikost úniku helia těsnící bariéry primárního víka.
- $Q_{l,zu2}$ Integrální standardní velikost úniku helia těsnící bariéry sekundárního víka.
- V_{HP} Ventil pomocné vývěvy.
- PE Tlak na vstupu heliového hledače netěsností v hPa.

Používáme zavedených jednotek hPa, hPa·l/s. V protokolech musí být uvedeny jak jednotky snímané z měřících zařízení, tak i přepočet na jednotky SI. Pro jednotky tlaku

1mbar = 1hPa = 100Pa a pro jednotky velikosti úniku 1 mbar·l/s = 1 hPa·l/s = 1×10^{-1} Pa·m³/s.

Použité vzorce

Přesnost nastavení hledače (v %):

$$A_G = \left(\frac{Q_{TL1} - Q_{UG}}{Q_{SK}} - 1 \right) \times 100$$

Velikost úniku z kalibrační netěsnosti (v hPa·l/s) vypočítaná pro teplotu θ podle vzorce

$$Q_{SK} = Q_s \times \left(1 + \frac{Q_i}{100} \right)^{\Delta\theta}$$

kde jsou:

Q_s	jmenovitá velikost úniku z kalibrační netěsnosti (v hPa·l/s) při teplotě 23°C (štítkový údaj).
Q_i	změna velikosti úniku z kalibrační netěsnosti pro $\Delta\theta = 1^\circ\text{C}$ (v % - štítkový údaj).
$\Delta\theta$	rozdíl naměřené teploty proti 23 °C (ve °C).

Citlivost hledače vypočítaná podle vztahu:

$$E_2 = \frac{Q_{TL2} - Q_{U2}}{Q_{SK2}}$$

Pozadí kontrolního prostoru korigované:

$$Q_{UK} = \frac{Q_{U2}}{E_2}$$

Průměrná úroveň signálu heliového hledače spolu s kontrolním prostorem po podání helia do heliového prostoru (expozice heliem)(v hPa·l/s) :

$$Q_{He} = \frac{Q_{He1} + Q_{He2}}{2}$$

Citlivost hledače vypočítaná podle vztahu:

$$E_3 = \frac{Q_{TL3} - Q_{He}}{Q_{SK3}}$$

Korigovaná úroveň signálu heliového hledače spolu s kontrolním prostorem po podání helia do heliového prostoru (expozice heliem)(v hPa·l/s):

$$Q_{HeK} = \frac{Q_{He}}{E_3}$$

Změna úrovně signálu heliového hledače vyvolaná případnou hledanou netěsností (v hPa·l/s):

$$Q_L = Q_{HeK} - Q_{UK}$$

V případě, kdy je netěsnost menší než měřitelná, by Q_L vycházela záporná. Pak se Q_L rovná korigované šířce fluktuace (korigované dvojnásobné amplitudě odchylek od střední hodnoty) výchylky hledače:

$$Q_L = \frac{2\Delta Q_{He}}{E_3}$$

Standardní velikost úniku helia - rozměr hledané netěsnosti vzhledem k P_{He} (hPa·l/s):

$$Q_{ST} = \frac{1013(hPa)}{P_{He}(hPa)} \times Q_L$$

Požadavek na těsnost

Celková velikost úniku helia -- integrální standardní velikost úniku činí pro každou kontrolovanou těsnící bariéru (primární i sekundární víko):

$$Q_{1,ZU1} \leq 1,0 \cdot 10^{-7} \text{ hPa} \cdot \text{l/s}$$

Přitom $Q_{1,ZU1}$ je integrální standardní množství úniku helia těsnící bariéry primárního víka.

Platí pro něj

$$Q_{1,ZU1} \leq 1,0 \cdot 10^{-7} \text{ hPa} \cdot \text{l/s}$$

$$Q_{1,ZU1} = Q_{ST42} + Q_{ST71}$$

kde jsou

Q_{ST42}	Standardní velikost úniku helia (naměřený rozměr netěsnosti při daném tlaku He) hlavního těsnění primárního víka.
Q_{ST71}	Standardní velikost úniku helia (naměřený rozměr netěsnosti při daném tlaku He) těsnění uzavěrného víčka.
$Q_{1,ZU2}$	Integrální standardní množství úniku helia těsnící bariéry sekundárního víka a platí pro ni stejná hodnota:

$$Q_{1,ZU2} \leq 1,0 \cdot 10^{-7} \text{ hPa} \cdot \text{l/s}$$

$$Q_{1,ZU2} = Q_{ST70} + Q_{ST138.44} + Q_{ST73}$$

Zde jsou:

Q_{ST70}	Standardní velikost úniku helia (naměřený rozměr netěsnosti při daném tlaku He) hlavního těsnění sekundárního víka.
$Q_{ST138.44}$	Standardní velikost úniku helia (naměřený rozměr netěsnosti při daném tlaku He) těsnění víčka snímače tlaku.
Q_{ST73}	Standardní velikost úniku helia (naměřený rozměr netěsnosti při daném tlaku He) těsnění uzavěrného víčka.

Kontrolní přístroje

Heliový hledač netěsností

Heliové zkoušky těsnosti mohou být prováděny běžným heliovým hledačem netěsností, pokud tento má dostatečnou citlivost pro měření únik helia. Heliový hledač netěsností musí mít výstup pro připojení zapisovače nebo počítače.

Kalibrovaná testovací netěsnost

Ke stanovení citlivosti heliového hledače netěsností se používá kalibrovaná testovací netěsnost. Její velikost má být stejného řádu jako standardní velikost netěsnosti. Korigovaná velikost úniku testovací netěsnosti je stanovena výpočtem v závislosti na teplotě a na době od jejího naplnění. Citlivost heliového hledače netěsností má být nezávisle na velikosti úniku testovací netěsností při všech měřeních $> 50\%$ ($E_2, E_3 > 0,5$). Použitá testovací netěsnost musí mít platné metrologické osvědčení o kalibraci, které nesmí být starší než 2 roky.

Přístroj na měření tlaku

Pro určení tlaku helia v heliovém prostoru musí být k dispozici kalibrovaný tlakový snímač s rozlišením ukazatele nejméně 10 hPa. Měřicí rozsah snímače tlaku by měl být nejméně 0-2000 hPa. Přístroj na měření tlaku by měl mít výstup k připojení zapisovače nebo přenosného počítače. Použitý přístroj na měření tlaku musí mít platné osvědčení o kalibraci, které nesmí být starší než 2 roky.

Teploměr

Použitý teploměr musí mít rozlišení nejméně 0,1°C a přesnost 1 % . Měřicí rozsah má být 0 - 100°C. Použitý teploměr musí mít platné osvědčení o kalibraci, které nesmí být starší než 2 roky.

Zapisovač

K záznamu časového průběhu ukazatele detektoru netěsnosti helia a tlaku v heliovém prostoru musí být k dispozici dvoukanálový y/t zapisovač, který může zpracovávat výstupní signály detektoru netěsnosti helia a ukazatele tlaku. Pro záznam průběhů lze rovněž využít přenosný počítač. Pokud nejsou průběhy zaznamenávány počítačem, nemá být psací šířka ve směru y menší než 200 mm. Velikost posunu papíru ve směru t má činit minimálně 30 mm/min.

Protokolování

Protokolování má probíhat během kontrol. Záznamy zapisovače, které musí být prováděny při všech kontrolách, je třeba s ohledem na opakovatelnost průběhu kontroly nezaměnitelně popsat a přiložit k protokolům.

V protokolu je nutné uvést:

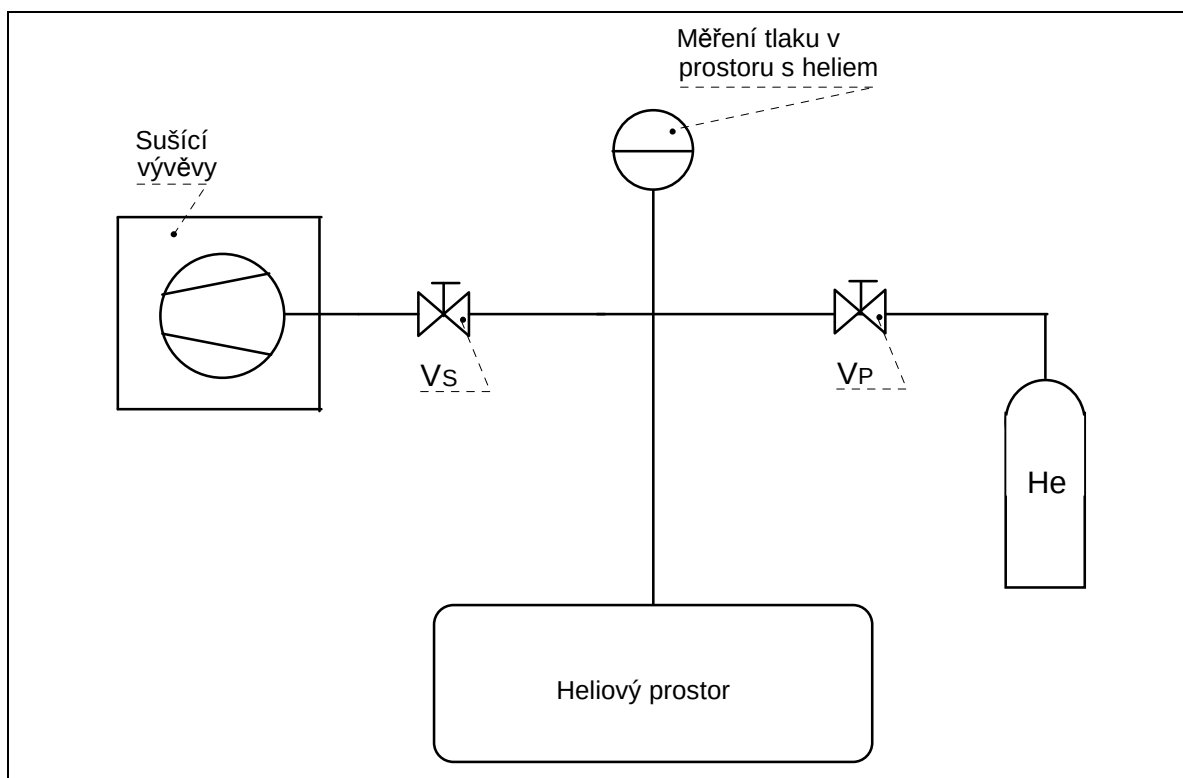
- Číslo kontejneru.
- Identifikaci zkoušeného místa.
- Metodu zkoušky.

- Kritéria hodnocení.
- Číslo výkresu a kontrolního předpisu.
- Číslo přílohy (grafického záznamu).
- Použitá zařízení včetně výrobce, typu a výrobních čísel.
- Jméno, číslo oprávnění a podpis osoby provádějící zkoušku.
- Jméno, číslo oprávnění a podpis osoby provádějící vyhodnocení zkoušky.
- Jednoznačný výsledek zkoušky.
- Datum zkoušky a datum vystavení protokolu.

Údaje, které se mění méně často nebo se nemění vůbec lze uložit do počítače a protokolovat automaticky.

Přípravy kontrol a kontrolní uspořádání

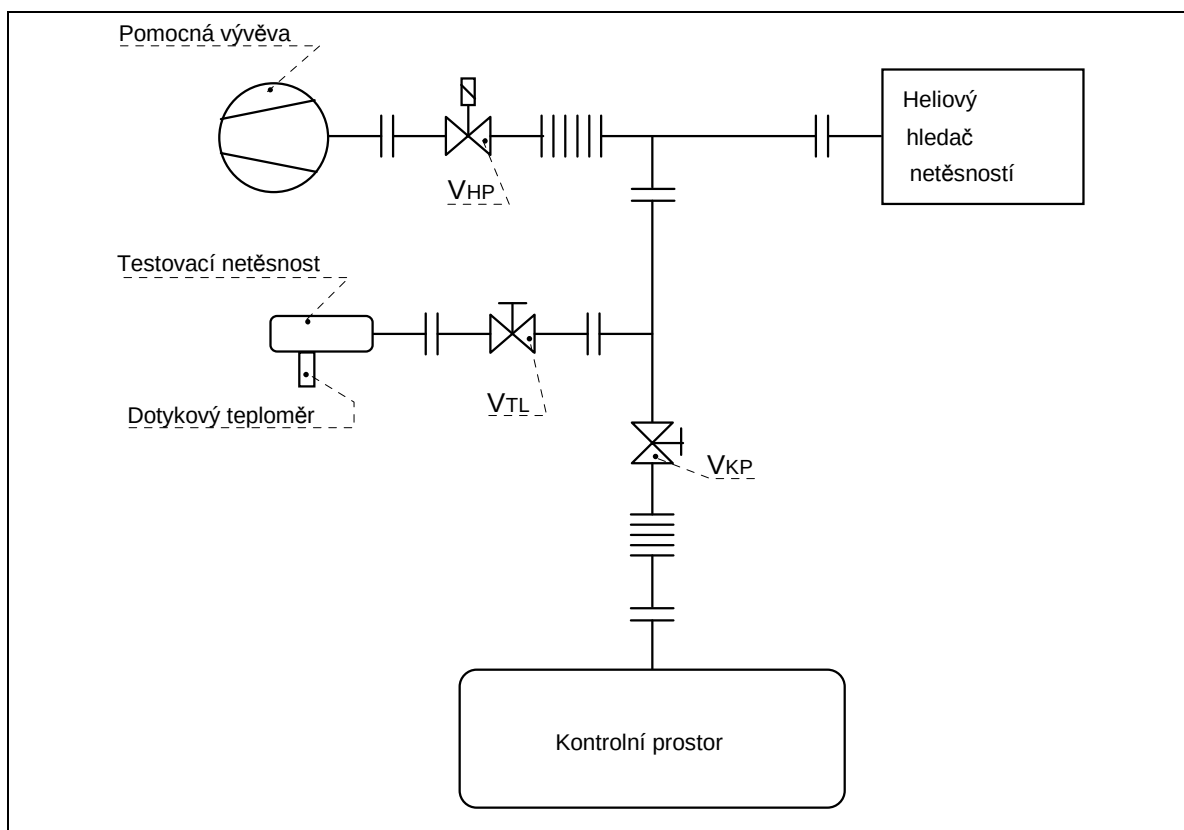
Vakuová pumpa, heliová lahev, snímač tlaku s ukazovací jednotkou a ventily budou namontovány podle obr. 14. Zařízení pro grafický záznam použijeme počítač nebo y-t zapisovač, který bude propojen přes rozhraní s heliovým hledačem netěsností. Čidlo teploměru má tepelný kontakt s testovací netěsností.



Obr. 14: Uspořádání plnicího zařízení

Detektor netěsnosti helia, testovací netěsnost a ventily budou namontovány podle obr. 15.

Pozor: Všechny ventily je třeba nejprve uzavřít



Obr. 15: Uspořádání kontrolního zařízení

Zkouška těsnosti hlavního těsnění sekundárního víka, kovový O-kroužek poz.70

Jde o zkoušku těsnosti heliovým hledačem zapojeným do vakua v kontrolním prostoru před a během podávání helia do heliového prostoru, čímž se prokáže těsnost "O" kroužku, který oba prostory odděluje.

Cílem zkoušky je prokázat těsnost hlavního těsnění sekundárního víka a rozhodnout, zda je možno přikročit ke zkoušce víčka snímače tlaku.

Specifikace zkoušeného zařízení

Definice kontrolního a heliového prostoru

Heliový prostor	=	uzávěrný prostor
Kontrolní prostor	=	meziprostor těsnění (zkušební vývrt "B")

Pro jednotlivé dílčí zkoušky nejsou stanovena pevná kritéria. Aby bylo splněno kritérium pro integrální těsnost bariéry $Q \leq 1,0 \times 10^{-7} \text{ hPa} \cdot \text{l/s}$, doporučujeme, aby zkouška neindikovala netěsnost větší než $5 \times 10^{-9} \text{ hPa} \cdot \text{l/s}$.

Výchozí stav kontejneru před zkouškou

Kontejner je uložen na servisním místě, je zavezen palivem, šrouby sekundárního víka jsou dotaženy momentem 1200 Nm, prostor mezi víky je vysušen. Rozvod pro sušení a podávání helia je připojen k heliovému prostoru přes zkušební adaptér s rychlospojem SVK. Zkouška suchosti prostoru mezi víky má vyhovující výsledek. Ukončení všech předchozích operací je stvrzeno podpisem oprávněných osob v postupové kartě.

Průběh kontroly

Uvedeme měřicího zařízení do provozu vždy podle údajů výrobce. Zavřeme ventil V_{KP} a zapneme heliový hledač netěsností, vyčkáme až je přístroj připraven k práci (u přístroje LEYBOLD UL100 display ukazuje "STBY"). Zapneme teploměr. Připojíme zkušební zařízení ke kontrolnímu prostoru. To bude realizováno prostřednictvím šroubovacího adaptéru SA (na kontrolní vývrt "B"). Připojíme heliový hledač netěsností. Zastavíme hledač netěsností helia ovládacím tlačítkem ("STOP VENT"). Otevřeme V_{KP} , zavřeme V_{TL} a zavzdušníme testovací netěsnost. Tlačítkem ("START") otevřeme vstupní ventil heliového hledače netěsností a vyčkáme připravenosti k měření (u UL100 display ukazuje nápis "MEARS").

Zahájení měření

Zapneme záznam zapisovače y-t (případně PC - pro záznam dat), nastavíme rychlost posunu papíru na 120 mm/hod a protokolujeme:

- Datum a aktuální čas.
- Rychlost posuvu papíru.
- Číslo kontejneru.
- Pozici kontrolovaného těsnění.
- Jmenovitou velikost úniku z testovací netěsnosti Q_s .
- Teplotní závislost velikosti úniku z testovací netěsnosti Q_i .
- Datum plnění kalibrace.
- Změna kalibrační netěsnosti s časem δ_t .

Poznámka: Údaje, které se mění méně často nebo se nemění vůbec, jsou uloženy v počítači a protokolovány automaticky.

Zaznamenání pozadí kontrolního prostoru provádíme po ustálení výchylky heliového hledače netěsností. Její hodnota musí být menší než 1×10^{-8} hPa·l/s. Zvýšíme rychlost posuvu papíru na 120 mm/hod. Provedeme základní nastavení.

Zaznamenání signálu testovací netěsnosti (1)

Zavřeme V_{KP} a oddělíme hledač netěsností tlačítkem "STOP VENT". Připojíme testovací netěsnost otevřením ventilu V_{TL} . Tlačítkem ("START") odstartujeme heliový hledač netěsností a vyčkat připravenosti k měření (na UL100 display ukazuje nápis "MEARS"). Vyčkáme ustálení výchylky hledače. Vypočítáme korigovanou velikost úniku z testovací netěsnosti Q_{SK1} a porovnáme se signálem vyvolaným testovací netěsností Q_{TL1} . Případně nastavíme citlivost hledače podle návodu výrobce. Zaznamenáváme signál po dobu nejméně pěti minut a protokolujeme úroveň signálu vyvolaného testovací netěsností Q_{TL1} a teplotu testovací netěsnosti θ_1 .

Zaznamenání signálu (pozadí) samotného heliového hledače

Uzavřeme V_{TL} a zavzdušníme testovací netěsnost. Vyčkáme ustálení výchylky hledače netěsností a měříme po dobu nejméně pěti minut. Protokolujeme úroveň signálu (*He* pozadí) samotného hledače netěsností Q_{UG} a přesnost nastavení citlivosti hledače A_G .

Zaznamenání pozadí kontrolního prostoru

Oddělíme heliový hledač netěsností tlačítkem ("STOP") a otevřeme ventil V_{KP} . Tlačítkem ("START") odstartujeme heliový hledač netěsností a vyčkáme připravenosti k měření (na UL100 display ukazuje nápis "MEARS"). Vyčkáme ustálení výchylky heliového hledače netěsností a měříme po dobu nejméně pěti minut. Protokolujeme Q_{U1} .

Zaznamenání signálu testovací netěsnosti (2)

Po zavření V_{KP} oddělíme hledač netěsností tlačítkem "STOP VENT". Připojíme testovací netěsnost otevřením ventilu V_{TL} . Tlačítkem "START" odstartujeme čerpání heliovým hledačem netěsností. Vyčkáme, až ukazatel vstupního tlaku vykazuje tlak menší než 1 hPa (na UL100 4 diody), pak okamžitě otevřeme V_{KP} . Vyčkáme ustálení výchylky hledače a měříme po dobu nejméně pěti minut. Vypočítáme korigovanou velikost úniku z testovací netěsnosti Q_{SK2} . Protokolujeme úroveň signálu vyvolaného testovací netěsností Q_{TL2} a teplotu testovací netěsnosti θ_2 . Uzavřeme V_{TL} a zavzdušníme testovací netěsnost.

Zaznamenání pozadí kontrolního prostoru

Vyčkáme ustálení výchylky hledače netěsností a měříme signál po dobu nejméně pěti minut. Vypočítáme citlivost hledače E_2 a protokolujeme Q_{U2} a citlivost hledače E_2 .

Příprava plnicího zařízení

Heliový prostor je spojen s rozvodem pro sušení a podávání helia přes zkušební adaptér s rychlospojem SVK (z předchozí zkoušky suchosti prostoru mezi primárním a sekundárním víkem - mezi poz.20 a 55). Heliový prostor vyčerpáme sušícími vývěvami přes otevřený ventil V_S na $P \leq 5$ hPa (plnicí ventil V_P musí být uzavřen).

Plnění heliového prostoru

Prerušíme uzavřením ventilu V_S čerpání vývěvami a naplníme heliový prostor přes otevřený ventil V_P heliem (čistota nejméně 4.6) na asi 1050 hPa. Uzavřeme ventil V_P .

Určení množství úniku Q_{He1}

Měříme po dobu nejméně pěti minut. Při rozeznatelném nárůstu množství úniku vyčkáme, až je výchylka heliového hledače ustálená, potom pokračujeme s měřením. Při nerozeznatelném nárůstu množství úniku pokračujeme s měřením. Protokolujeme tlak P v heliovém prostoru a naměřené množství úniku Q_{He1} .

Zaznamenání signálu testovací netěsnosti (3)

Po zavření V_{KP} oddělíme hledač netěsností tlačítkem "STOP VENT". Připojíme testovací netěsnost otevřením ventilu V_{TL} . Tlačítkem "START" odstartujeme čerpání heliovým hledačem netěsností. Vyčkáme, až ukazatel vstupního tlaku vykazuje tlak menší než 1 hPa (na UL100 4 diody), pak okamžitě otevřeme V_{KP} . Vyčkáme ustálení výchylky hledače a měříme po dobu nejméně pěti minut. Vypočítáme korigovanou velikost úniku z testovací netěsnosti Q_{SK3} . Protokolujeme úroveň signálu vyvolaného testovací netěsností Q_{TL3} a teplotu testovací netěsnosti θ_3 . Uzavřeme V_{TL} a zavzdušníme testovací netěsnost.

Určení množství úniku Q_{He2}

Vyčkáme ustálení výchylky hledače netěsností a měříme signál po dobu nejméně pěti minut. Vypočítáme citlivost hledače E_3 . Protokolujeme naměřené množství úniku Q_{He2} a citlivost hledače E_3 . Ukončíme měření. Zastavíme čerpání a zavzdušníme kontrolní prostor heliovým hledačem netěsností (tlačítkem "STOP VENT"). Odpojíme vakuový vlnovec

hledače a vyšroubujeme adaptér SA ze zkušebního vývrtu "B". Utěsníme vývrt "B" šroubovací zátkou. Plnicí a sušící zařízení zůstává připojeno.

Protokolované veličiny odečítané přímo z grafického záznamu

Q_{TL1} Úroveň signálu vyvolaná kalibrační netěsností připojenou k samotnému heliovému hledači (hPa·l/s).

θ_1 Teplota kalibrační netěsnosti při zaznamenávání Q_{TL1} (°C).

Q_{UG} Úroveň signálu (He pozadí) samotného heliového hledače (hPa·l/s).

Q_{U1} Úroveň signálu (He pozadí) heliového hledače spolu s kontrolním prostorem před kalibrací (hPa·l/s).

Q_{TL2} Úroveň signálu vyvolaná kalibrační netěsností s připojeným kontrolním prostorem (hPa·l/s).

θ_2 Teplota kalibrační netěsnosti při zaznamenávání Q_{TL2} (°C).

Q_{U2} Úroveň signálu (He pozadí) heliového hledače spolu s kontrolním prostorem po kalibraci (hPa·l/s).

Q_{He1} Úroveň signálu heliového hledače spolu s kontrolním prostorem po podání helia do heliového prostoru (expozice heliem) před kalibrací (hPa·l/s).

Q_{TL3} Úroveň signálu vyvolaná kalibrační netěsností s připojeným kontrolním prostorem při expozici heliem (hPa·l/s).

θ_3 Teplota kalibrační netěsnosti při zaznamenávání Q_{TL3} (°C).

Q_{He2} Úroveň signálu heliového hledače spolu s kontrolním prostorem po podání helia do heliového prostoru (expozice heliem) po kalibraci (hPa·l/s).

Protokol je vypracován zapsáním protokolovaných veličin z grafického záznamu a zapsáním vypočítaných veličin do formuláře.

Protokolované veličiny vypočítané

A_G Přesnost nastavení hledače (v %).

$$A_G = \left(\frac{Q_{TL1} - Q_{UG}}{Q_{SK}} - 1 \right) \times 100$$

Q_{SK1} Velikost úniku z kalibrační netěsnosti (v hPa·l/s) vypočítaná pro teplotu θ_1 podle vzorce.

$$Q_{SK1} = Q_{SX} \times \left(1 + \frac{Q_i}{100}\right)^{\Delta\theta}$$

Q_{SK2} Velikost úniku z kalibrační netěsnosti (v hPa·l/s) vypočítaná pro teplotu θ_2 podle vzorce.

$$Q_{SK2} = Q_{SX} \times \left(1 + \frac{Q_i}{100}\right)^{\Delta\theta}$$

Q_{SK3} Velikost úniku z kalibrační netěsnosti (v hPa·l/s) vypočítaná pro teplotu θ_3 podle vzorce.

$$Q_{SK3} = Q_{SX} \times \left(1 + \frac{Q_i}{100}\right)^{\Delta\theta}$$

kde jsou:

Q_S Jmenovitá velikost úniku z kalibrační netěsnosti (v hPa·l/s) při teplotě 23 °C. (štítkový údaj).

Q_i Změna velikosti úniku z kalibrační netěsnosti pro $\Delta\theta = 1^\circ\text{C}$ (v % - štítkový údaj).

$\Delta\theta$ Rozdíl naměřené teploty proti θ_{CAL} (°C).

$$\Delta\theta = \theta_1 - \theta_{CAL} \quad \text{pro } Q_{SK1}$$

$$\Delta\theta = \theta_2 - \theta_{CAL} \quad \text{pro } Q_{SK2}$$

$$\Delta\theta = \theta_3 - \theta_{CAL} \quad \text{pro } Q_{SK3}$$

θ_{CAL} Štítkový údaj kalibrační teploty (obvykle 23°C) ve °C.

E_2 Citlivost hledače vypočítaná podle vztahu.

$$E_2 = \frac{Q_{TL2} - Q_{U2}}{Q_{SK2}}$$

Q_{UK} Pozadí kontrolního prostoru korigované.

$$Q_{UK} = \frac{Q_{U2}}{E_2}$$

Q_{He} Průměrná úroveň signálu heliového hledače spolu s kontrolním prostorem po podání helia do heliového prostoru (expozice heliem) (v hPa·l/s).

$$Q_{He} = \frac{Q_{He1} + Q_{He2}}{2}$$

E_3 Citlivost hledače vypočítaná podle vztahu.

$$E_3 = \frac{Q_{TL3} - Q_{He}}{Q_{SK3}}$$

Q_{HeK} Korigovaná úroveň signálu heliového hledače spolu s kontrolním prostorem po podání helia do heliového prostoru (expozice heliem) (v hPa·l/s).

$$Q_{HeK} = \frac{Q_{He}}{E_3}$$

Q_L Změna úrovně signálu heliového hledače vyvolaná případnou hledanou netěsností (v hPa·l/s).

$$Q_L = Q_{HeK} - Q_{UK}$$

V případě, kdy je netěsnost menší než měřitelná by Q_L vycházela záporná. Pak se Q_L rovná korigované šířce fluktuace (korigované dvojnásobné amplitudě odchylek od střední hodnoty) výchylky hledače.

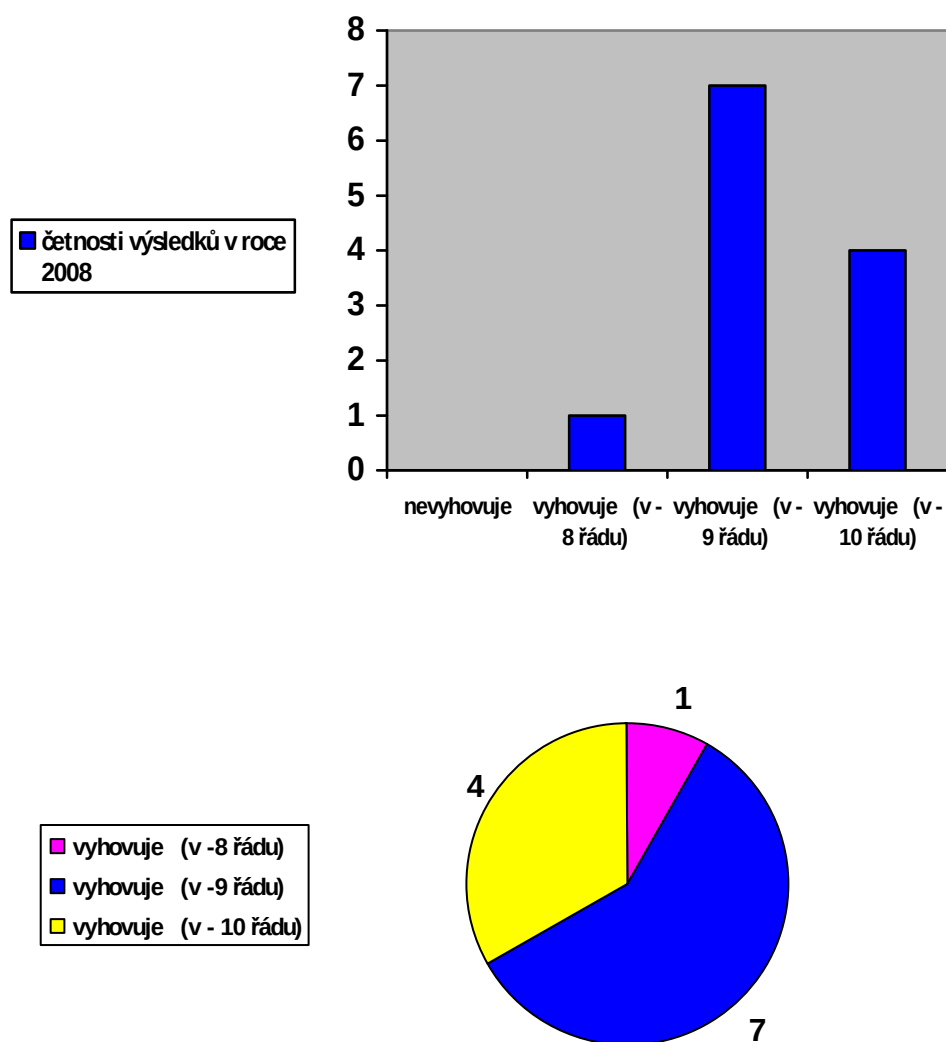
$$Q_L = \frac{2\Delta Q_{He}}{E_3}$$

Q_{ST} Standardní velikost úniku helia - rozměr hledané netěsnosti vzhledem k P_{He} (v hPa·l/s).

$$Q_{ST} = \frac{1013(hPa)}{P_{He}(hPa)} \times Q_L$$

Vypracujeme protokolu o zkoušce s jasným výsledkem - VYHOVUJE, NEVYHOVUJE.

Protokoly archivujeme na oddělení Speciální kontrola, dále u správce a na odboru Technická bezpečnost.

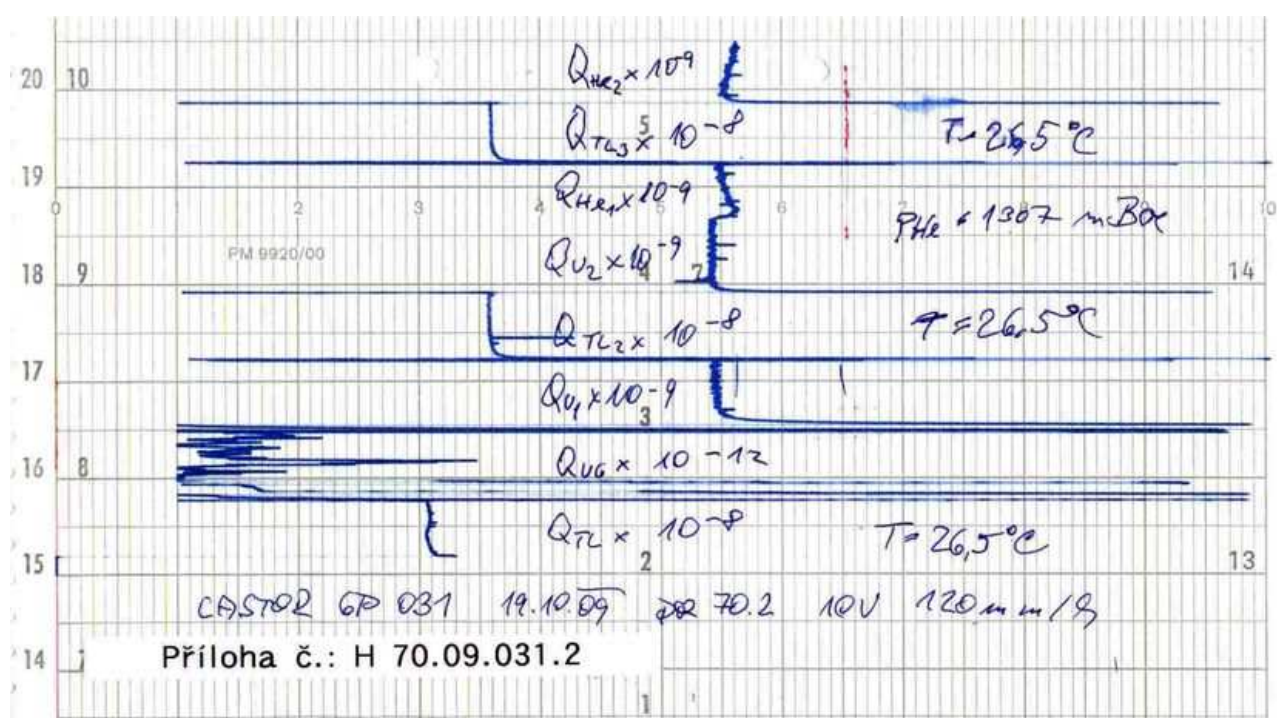


Obr. 16: Příklady zobrazení četností výsledků zkoušek v roce 2008 (sloupcový a koláčový graf)

ČEZ a.s. JE DUKOVANY odd. speciální kontroly		Protokol o zkoušce T Ě S N O S T I		Č. protokolu:	
Pracoviště:		Kontrolované zařízení:		Číslo PP:	
Blok:		CASTOR 440 / 80 Ident. č.:		List č.: 1 z 1	
Předmět kontroly: Hlavní těsnění sekundárního víka - poz. 70					
Metoda zkoušky: Vakuová heliová – před a po nadávkování helia					
Max. povolený únik: 1×10^{-7} mbar.l/s				Číslo přílohy:	
Číslo výkresu: 500.025-01					
Kontrolní předpis: Návodka č.: J 14.D.90/L16				Datum zkoušky:	
Číslo zakázky:					
Použitá zařízení					
Kalibrační netěsnost: Výrobce: Leybold-Heraeus Výrobní číslo: Jmenovitý únik: Kalibrační teplota: θ_{cal} 23°C Změna závislá na teplotě: dQ_i + 3,5 % Změna závislá na čase: dQ_2 < 0,5 % Datum plnění kalibrace:			Vakuometr: Výrobce: Leybold-Heraeus Typ: UL 100 PLUS Výrobní číslo: Zapisovač: Výrobce: KIPP & ZONEN Typ: BD 122 Teploměr: AMR		
Základní nastavení					
Změna kalibrační netěsnosti s časem:		dt	1	rok	
Přesnost nastavení hledače:		A_G		%	
Teplota kal. netěsnosti při záznamu Q_{TL1} :		θ_1		°C	
Vypočtená kalibrační netěsnost pro θ_1 :		Q_{SK1}	$\times 10^{-}$	mbar.l/s tj.	$\times 10^{-}$ Pa.m ³ /s
Výchylka od kalibrační netěsnosti proti Q_{UG} :		Q_{TL1}	$\times 10^{-}$	mbar.l/s tj.	$\times 10^{-}$ Pa.m ³ /s
Pozadí heliového hledače:		Q_{UG}	$\times 10^{-}$	mbar.l/s tj.	$\times 10^{-}$ Pa.m ³ /s
Pozadí:					
Pozadí zkoušeného předmětu před kalibrací:		Q_{U1}	$\times 10^{-}$	mbar.l/s tj.	$\times 10^{-}$ Pa.m ³ /s
Teplota kal. netěsnosti při záznamu Q_{TL2} :		θ_2		°C	
Vypočtená kalibrační netěsnost pro θ_2 :		Q_{SK2}	$\times 10^{-}$	mbar.l/s tj.	$\times 10^{-}$ Pa.m ³ /s
Signál od kalibrační netěsnosti proti Q_{U1}		Q_{TL2}	$\times 10^{-}$	mbar.l/s tj.	$\times 10^{-}$ Pa.m ³ /s
Pozadí zkoušeného předmětu po kalibraci:		Q_{U2}	$\times 10^{-}$	mbar.l/s tj.	$\times 10^{-}$ Pa.m ³ /s
Citlivost měření při Q_{TL2} a Q_U :		E_2			
Pozadí zkoušeného předmětu korigované E_2 :		Q_{UK}	$\times 10^{-}$	mbar.l/s tj.	$\times 10^{-}$ Pa.m ³ /s
Velikost netěsnosti:					
Parciální tlak helia:		P_{He}		mbar tj.	hPa
Totální tlak:		p		mbar tj.	hPa
Signál hledání netěsnosti + Q_U před kalibrací:		Q_{He1}	$\times 10^{-}$	mbar.l/s tj.	$\times 10^{-}$ Pa.m ³ /s
Teplota kalibrační netěsnosti při záznamu Q_{TL3} :		θ_3		°C	
Vypočtená kalibrační netěsnost pro θ_3		Q_{SK3}	$\times 10^{-}$	mbar.l/s tj.	$\times 10^{-}$ Pa.m ³ /s
Signál od kalibrační netěsnosti proti Q_{He1} :		Q_{TL3}	$\times 10^{-}$	mbar.l/s tj.	$\times 10^{-}$ Pa.m ³ /s
Signál hledání netěsnosti + Q_U po kalibraci:		Q_{He2}	$\times 10^{-}$	mbar.l/s tj.	$\times 10^{-}$ Pa.m ³ /s
Signál od hledání netěsnosti průměrný:		Q_{He}	$\times 10^{-}$	mbar.l/s tj.	$\times 10^{-}$ Pa.m ³ /s
Citlivost měření při závěrečné kalibraci:		E_3			
Signál od netěsnosti + pozadí při E_3 :		Q_{HeK}	$\times 10^{-}$	mbar.l/s tj.	$\times 10^{-}$ Pa.m ³ /s

Signál od hledání netěsnosti + E ₃ :	Q _L x 10 ⁻	mbar.l/s tj. x 10 ⁻	Pa.m ³ /s
Rozměr hledané netěsnosti vzhledem k P _{He} :	Q _{ST} x 10 ⁻	mbar.l/s tj. x 10 ⁻	Pa.m ³ /s
Výsledek zkoušky:	zkoušel:	vyhodnotil	
Datum vystavení:	podpis:	podpis:	

Obr. 17: Předběžný protokol sloužící k zápisu údajů z grafu a měřících přístrojů včetně výrobních čísel



Obr. 18: Grafický záznam hodnot při zkoušce těsnosti hlavního těsnění sekundárního víka kontejneru CASTOR 440/84

**KONTROLA TĚSNOSTI****PROTOKOL č. J 09.09.L.0367****Identifikace zkoušeného objektu:**

Název: **Kontejner Castor 440/84**
Zařízení, Systém, DPS, výrobní číslo: **9UQ16B14, UQ, 1.101.03, 031GP**
Zkoušená část: **Hlavní těsnění sekundárního víka-poz.70 - po výměně snímače tlaku**
Blok, Objekt, Místnost, Podlaží: **9. —, MSVP, —**
Požadavky na jakost: **—**
Závazné předpisy a vyhlášky: **vyhl. č. 132/08 Sb., vyhl. č. 309/05 Sb.**
Číslo zakázky: **—**
Význam kontroly: **Plánovaná podle programu kontrol**
Program kontrol: **97 - Kontejner Castor**
Seznam příloh: **H 70.09.031.2**

Specifikace zkoušky:

Datum provedení zkoušky: **19.10.2009**
Číslo pracovního příkazu: **3053747021**
Normy a předpisy pro provedení / hodnocení: **návodky J 14.D.90/L16 / návodky J 14.D.90/L16**
Odchylky od platných norem: **—**
Pracoviště: **MSVP 104**
Číslo přílohy: **H 70.09.031.2**
Kriterium hodnocení: **1,000 E-07 mbar.l/s 1,000 E-08 Pa.m³/s**

Zařízení a prostředky pro zkoušku:

Název / Typ / Výrobní číslo / Poznámka: **Zapisovač / BD122 / — / —**
Snímač teploty / ALMEMO 2290-4 / H01111364M+070013 A2
H01111364 / —
Heliový hledač / SmartTest HLT 560 / D35614AFLAR / —
Membranovac / DM 12 / D951100097 / —
Snímač / DI 2000 / D950100298 / —
Kalibrační netěsnost / TL8 / D971400114 / —

Kalibrační netěsnost:

Jmenovitý únik: **Q_S 2,700 E-08 mbar.l/s 2,700 E-09 Pa.m³/s**
Kalibrační teplota: **Θ_{CAL} 23 °C**
Změna závislá na teplotě: **dQ_I 3,5 %**

Základní nastavení:

Přesnost nastavení hledače: **A₀ 0,80 %**
Teplota kalibrační netěsnosti při záznamu Q_{TL1}: **Θ₁ 26,5 °C**
Vypočtená kalibrační netěsnost pro Θ₁: **Q_{SK1} 3,045 E-08 mbar.l/s 3,045 E-09 Pa.m³/s**
Výchylka od kalibrační netěsnosti proti Q_{UG}: **Q_{TL1} 3,070 E-08 mbar.l/s 3,070 E-09 Pa.m³/s**
Pozadí heliového hledače: **Q_{UG} 1,500 E-12 mbar.l/s 1,500 E-13 Pa.m³/s**

Pozadí:

Pozadí zkoušeného předmětu před kalibrací: **Q_{U1} 5,450 E-09 mbar.l/s 5,450 E-10 Pa.m³/s**
Teplota kalibrační netěsnosti při záznamu Q_{TL2}: **Θ₂ 26,5 °C**
Vypočtená kalibrační netěsnost pro Θ₂: **Q_{SK2} 3,045 E-08 mbar.l/s 3,045 E-09 Pa.m³/s**
Signál od kalibrační netěsnosti proti Q_{U1}: **Q_{TL2} 3,580 E-08 mbar.l/s 3,580 E-09 Pa.m³/s**
Pozadí zkoušeného předmětu po kalibraci: **Q_{U2} 5,420 E-09 mbar.l/s 5,420 E-10 Pa.m³/s**
Citlivost měření při Q_{TL2} a Q_{U2}: **E₂ 9,975 E-01**
Pozadí zkoušeného předmětu korigované E₂: **Q_{UK} 5,433 E-09 mbar.l/s 5,433 E-10 Pa.m³/s**

Velikost netěsnosti:

Parciální tlak helia: **P_{He} 1307 mbar 1307 hPa**
Totální tlak: **p 1307 mbar 1307 hPa**
Signál hledání netěsnosti + Q_U před kalibrací: **Q_{HK1} 5,500 E-09 mbar.l/s 5,500 E-10 Pa.m³/s**
Teplota kalibrační netěsnosti při záznamu Q_{TL3}: **Θ₃ 26,5 °C**
Vypočtená kalibrační netěsnost pro Θ₃: **Q_{SK3} 3,045 E-08 mbar.l/s 3,045 E-09 Pa.m³/s**
Signál od kalibrační netěsnosti proti Q_{HK1}: **Q_{TL3} 3,600 E-08 mbar.l/s 3,600 E-09 Pa.m³/s**
Signál hledání netěsnosti + Q_U po kalibraci: **Q_{HK2} 5,600 E-09 mbar.l/s 5,600 E-10 Pa.m³/s**
Signál od hledání netěsnosti průměrný: **Q_{He} 5,550 E-09 mbar.l/s 5,550 E-10 Pa.m³/s**
Citlivost měření při závěrečné kalibraci: **E₃ 9,998 E-01**
Signál od netěsnosti + pozadí při E₃: **Q_{HKK} 5,551 E-09 mbar.l/s 5,551 E-10 Pa.m³/s**
Signál od hledání netěsnosti + E₃: **Q_L 1,175 E-10 mbar.l/s 1,175 E-11 Pa.m³/s**
Fluktuace výchylky hledače: **2ΔQ_{He} 1,500 E-10 mbar.l/s 1,500 E-11 Pa.m³/s**

Obr. 19: Protokol konkrétních hodnot zaznamenaných při zkoušce těsnosti hlavního těsnění sekundárního víka kontejneru CASTOR 440/84

**KONTROLA TĚSNOSTI****PROTOKOL č. J 09.09.L.0367**Rozměr hledané netěsnosti vzhledem k P_{He} : Q_{ST} 9,109 E-11 mbar.l/s 9,109 E-12 Pa.m³/s**Seznam kontrolních míst:**

Kontrolní místo	Název	Umístění
097.010.00.a	Hlavní těsnění (sekundární víko)	MSVP

Celkové hodnocení:**VYHOVUJE**

Zkoušel: Pavel Průša / 301-08865
Vyhodnotil: Pavel Průša / 301-08865
Rozdělovník: —
Počet příloh: 1 příloha



EDU archivní označení J 09.09.L.0367

Strana 2

Obr. 20: Protokol konkrétních hodnot zaznamenaných při zkoušce těsnosti hlavního těsnění sekundárního víka kontejneru CASTOR 440/84

8.4. Hodnoty kalibrační netěsnosti

Ke stanovení citlivosti heliového hledače netěsností se používá kalibrovaná testovací netěsnost. Její velikost má být stejného řádu jako standardní velikost netěsnosti. Korigovaná velikost úniku testovací netěsnosti je stanovena výpočtem v závislosti na teplotě a na době od jejího naplnění.

Citlivost heliového hledače netěsností má být nezávisle na velikosti úniku testovací netěsností při všech měřeních $> 50\%$ ($E_2, E_3 > 0,5$).

Použitá testovací netěsnost musí mít platné metrologické osvědčení o kalibraci, které nesmí být starší než 2 roky.

Kalibrační netěsnost č.:CT408					Pro teplotu: 23°C					4011021436
Qs:		3,10E-08								
ΔQ_i :		3,5								
ΔT	Qsk	ΔT	Qsk	ΔT	Qsk	ΔT	Qsk	ΔT	Qsk	
-10	2,20E-08	-5	2,61E-08	0	3,10E-08	5	3,68E-08	10	4,37E-08	
-9,9	2,21E-08	-4,9	2,62E-08	0,1	3,11E-08	5,1	3,69E-08	10,1	4,39E-08	
-9,8	2,21E-08	-4,8	2,63E-08	0,2	3,12E-08	5,2	3,71E-08	10,2	4,40E-08	
-9,7	2,22E-08	-4,7	2,64E-08	0,3	3,13E-08	5,3	3,72E-08	10,3	4,42E-08	
-9,6	2,23E-08	-4,6	2,65E-08	0,4	3,14E-08	5,4	3,73E-08	10,4	4,43E-08	
-9,5	2,24E-08	-4,5	2,66E-08	0,5	3,15E-08	5,5	3,75E-08	10,5	4,45E-08	
-9,4	2,24E-08	-4,4	2,66E-08	0,6	3,16E-08	5,6	3,76E-08	10,6	4,46E-08	
-9,3	2,25E-08	-4,3	2,67E-08	0,7	3,18E-08	5,7	3,77E-08	10,7	4,48E-08	
-9,2	2,26E-08	-4,2	2,68E-08	0,8	3,19E-08	5,8	3,78E-08	10,8	4,49E-08	
-9,1	2,27E-08	-4,1	2,69E-08	0,9	3,20E-08	5,9	3,80E-08	10,9	4,51E-08	
-9	2,27E-08	-4	2,70E-08	1	3,21E-08	6	3,81E-08	11	4,53E-08	
-8,9	2,28E-08	-3,9	2,71E-08	1,1	3,22E-08	6,1	3,82E-08	11,1	4,54E-08	
-8,8	2,29E-08	-3,8	2,72E-08	1,2	3,23E-08	6,2	3,84E-08	11,2	4,56E-08	
-8,7	2,30E-08	-3,7	2,73E-08	1,3	3,24E-08	6,3	3,85E-08	11,3	4,57E-08	
-8,6	2,31E-08	-3,6	2,74E-08	1,4	3,25E-08	6,4	3,86E-08	11,4	4,59E-08	
-8,5	2,31E-08	-3,5	2,75E-08	1,5	3,26E-08	6,5	3,88E-08	11,5	4,60E-08	
-8,4	2,32E-08	-3,4	2,76E-08	1,6	3,28E-08	6,6	3,89E-08	11,6	4,62E-08	
-8,3	2,33E-08	-3,3	2,77E-08	1,7	3,29E-08	6,7	3,90E-08	11,7	4,64E-08	
-8,2	2,34E-08	-3,2	2,78E-08	1,8	3,30E-08	6,8	3,92E-08	11,8	4,65E-08	
-8,1	2,35E-08	-3,1	2,79E-08	1,9	3,31E-08	6,9	3,93E-08	11,9	4,67E-08	
-8	2,35E-08	-3	2,80E-08	2	3,32E-08	7	3,94E-08	12	4,68E-08	
-7,9	2,36E-08	-2,9	2,81E-08	2,1	3,33E-08	7,1	3,96E-08	12,1	4,70E-08	
-7,8	2,37E-08	-2,8	2,82E-08	2,2	3,34E-08	7,2	3,97E-08	12,2	4,72E-08	
-7,7	2,38E-08	-2,7	2,83E-08	2,3	3,36E-08	7,3	3,98E-08	12,3	4,73E-08	
-7,6	2,39E-08	-2,6	2,83E-08	2,4	3,37E-08	7,4	4,00E-08	12,4	4,75E-08	
-7,5	2,40E-08	-2,5	2,84E-08	2,5	3,38E-08	7,5	4,01E-08	12,5	4,77E-08	
-7,4	2,40E-08	-2,4	2,85E-08	2,6	3,39E-08	7,6	4,03E-08	12,6	4,78E-08	
-7,3	2,41E-08	-2,3	2,86E-08	2,7	3,40E-08	7,7	4,04E-08	12,7	4,80E-08	
-7,2	2,42E-08	-2,2	2,87E-08	2,8	3,41E-08	7,8	4,05E-08	12,8	4,82E-08	
-7,1	2,43E-08	-2,1	2,88E-08	2,9	3,43E-08	7,9	4,07E-08	12,9	4,83E-08	
-7	2,44E-08	-2	2,89E-08	3	3,44E-08	8	4,08E-08	13	4,85E-08	
-6,9	2,44E-08	-1,9	2,90E-08	3,1	3,45E-08	8,1	4,10E-08	13,1	4,86E-08	
-6,8	2,45E-08	-1,8	2,91E-08	3,2	3,46E-08	8,2	4,11E-08	13,2	4,88E-08	
-6,7	2,46E-08	-1,7	2,92E-08	3,3	3,47E-08	8,3	4,12E-08	13,3	4,90E-08	
-6,6	2,47E-08	-1,6	2,93E-08	3,4	3,48E-08	8,4	4,14E-08	13,4	4,92E-08	

-6,5	2,48E-08	-1,5	2,94E-08	3,5	3,50E-08	8,5	4,15E-08	13,5	4,93E-08
-6,4	2,49E-08	-1,4	2,95E-08	3,6	3,51E-08	8,6	4,17E-08	13,6	4,95E-08
-6,3	2,50E-08	-1,3	2,96E-08	3,7	3,52E-08	8,7	4,18E-08	13,7	4,97E-08
-6,2	2,50E-08	-1,2	2,97E-08	3,8	3,53E-08	8,8	4,20E-08	13,8	4,98E-08
-6,1	2,51E-08	-1,1	2,98E-08	3,9	3,55E-08	8,9	4,21E-08	13,9	5,00E-08
-6	2,52E-08	-1	3,00E-08	4	3,56E-08	9	4,22E-08	14	5,02E-08
-5,9	2,53E-08	-0,9	3,01E-08	4,1	3,57E-08	9,1	4,24E-08	14,1	5,04E-08
-5,8	2,54E-08	-0,8	3,02E-08	4,2	3,58E-08	9,2	4,25E-08	14,2	5,05E-08
-5,7	2,55E-08	-0,7	3,03E-08	4,3	3,59E-08	9,3	4,27E-08	14,3	5,07E-08
-5,6	2,56E-08	-0,6	3,04E-08	4,4	3,61E-08	9,4	4,28E-08	14,4	5,09E-08
-5,5	2,57E-08	-0,5	3,05E-08	4,5	3,62E-08	9,5	4,30E-08	14,5	5,11E-08
-5,4	2,57E-08	-0,4	3,06E-08	4,6	3,63E-08	9,6	4,31E-08	14,6	5,12E-08
-5,3	2,58E-08	-0,3	3,07E-08	4,7	3,64E-08	9,7	4,33E-08	14,7	5,14E-08
-5,2	2,59E-08	-0,2	3,08E-08	4,8	3,66E-08	9,8	4,34E-08	14,8	5,16E-08
-5,1	2,60E-08	-0,1	3,09E-08	4,9	3,67E-08	9,9	4,36E-08	14,9	5,18E-08
-5	2,61E-08	0	3,10E-08	5	3,68E-08	10	4,37E-08	15	5,19E-08

Tab. 6: Vypočtené hodnoty kalibrační netěsnosti pro konkrétní teploty

9. Seznam použité literatury

- [1] T.H.Wonnacot, R.J. Wonnacot: Statistika pro obchod a hospodářství. Victoria Publishing, Praha 1990
- [2] J.Hendl: Přehled statistických metod zpracování dat. Analýza a metaanalýza dat
- [3] M.Meloun, J.Militký: Statistická analýza experimentálních dat. Praha, Academia 1994
- [4] M.Meloun, J.Militký: Kompendium statistického zpracování dat. Metody a řešené úlohy
- [5] J.Hanousek, P.Charamza: Moderní metody zpracování dat – matematická statistika pro každého