# O měření

Když se díváme na teploměr a přemýšlíme, jestli bude třeba si obléknout kabát, nebo když vážíme ingredience, abychom upekli bábovku, obvykle nepřemýšlíme nad tím, co přesně měření je a jak bychom ho definovali. Považujeme ho prostě jen za soubor procedur, díky kterým se snáze orientujeme ve svém prostředí. Ale ať už měření využíváme ke zvládání každodenních činností, či zjišťujeme vzdálenosti mezi galaxiemi nebo pomocí urychlovačů částic pozorujeme, na co se rozpadají srážející se protony, ve své podstatě se jedná o proces s jasným cílem: abychom získali informace o světě a vyjádřili je formálním a spolehlivým způsobem. Na druhou stranu, ne každý proces, který odpovídá tomuto popisu, bychom nazvali měřením. Když zjišťujeme kvalitu průmyslového výrobku, počítáme cyklomatickou složitost zdrojového kódu nebo dotazníkem sledujeme spokojenost zákazníků, také získáváme nějakou informaci a vyjadřujeme ji číslem.

Ve všech výše uvedených příkladech obdržíme nějakou hodnotu, kterou důvodně přiřazujeme určité vlastnosti posuzovaného objektu. Rozdíl mezi zhodnocením a měřením nemůže spočívat v přiřazování jako takovém – to musí být v obou případech *objektivní* a *jednoznačné*: vždy chceme, aby hodnota, kterou vlastnosti přidělíme, byla nezávislá na jakékoliv jiné vlastnosti objektu, osobě provádějící měření, nebo okolním prostředí a interpretovatelná vždy stejným způsobem různými uživateli na jiných místech v jiném čase. Měření se tudíž musí od zhodnocování odlišovat tím, jaké vlastnosti budeme považovat za měřitelné – protože měření není entita, existující nezávisle na našich představách o ní, ale proces vytvořený za jasným účelem, některé jeho charakteristiky budou vždy určeny konvencí.

Měřením reprezentujeme pouze takové vlastnosti, jejichž instance lze porovnávat, co se týče množství, míry, či intenzity, a které se vzájemné vylučují. Například objekt A tak může být v jednom okamžiku X jednotek dlouhý, nebo Y jednotek dlouhý, ale nemůže vykazovat obě vlastnosti zároveň. Objekt A lze zároveň porovnat s Z jednotek dlouhým objektem B a zjistit tak, který je delší. Množina vlastností, které splňují tyto podmínky, tvoří atribut ([3], [21]); konkrétní instance vlastnosti tudíž představuje velikost atributu daného objektu. Tuto velikost obvykle vyjadřujeme číslem[[1]](#footnote-1).

To, že k reprezentaci atributů používáme čísla, má svůj důvod: vědci vytvářejí většinou kvantitativní teorie plné matematických rovnic, které sice mají popsat svět, ale samy o sobě o něm nemohou nic říct. Abychom je mohli považovat alespoň za *možné* vysvětlení toho, jak věci fungují, musíme je doplnit mimomatematickou interpretací: všechny funkce v rovnicích představují patřičné atributy objektů, a rovnice samotné vyjadřují dynamické chování objektů, či prostě změny jejich atributů v průběhu času. Díky této interpretaci můžeme teorie testovat ověřením, zda existuje shoda mezi dvěma druhy kvantitativních hodnot: mezi těmi, které jsme spočítali s pomocí teorie, a mezi těmi, které jsme empiricky změřili ([?]).

Mohli bychom se proto domnívat, že měření slouží k potvrzování, či vyvracení teorií. Jenže jak upozorňuje van Fraassen ([23]), tento „problém koordinace“ – tj. vytvoření spojení mezi teoretickými entitami a měřícími procedurami – je cirkulární. Otázky „Co platí jako měření atributu *X*?“ a „Co je to atribut *X*?“ nelze zodpovědět nezávisle na sobě.

Příkladem může být historie měření teploty, kdy původně kvalitativní koncept byl prokázán jako kvantitativní veličina; zpřesňování měření teploty a provázané teoretické objevy postupnými „epistemickými iteracemi“ ([25], [26]) vedly v průběhu staletí až k dnešnímu definici jednotky termodynamické teploty pomocí Boltzmannovy konstanty. Prvotní termoskopy poskytovaly pouze porovnání teplot, a byly ovlivněny atmosférickým tlakem. Později vzniknuvší teploměry proto měly teploměrnou kapalinu – preferovanou se stala rtuť – oddělenou od atmosféry; stupnice se číslovaly tak, že se zvolily pevné body (obvykle mrznutí a var vody) a teplotní stupeň pak byl pevným podílem tohoto intervalu. Teploměry tak sice byly poměrně standardizované, ale přesto nešlo tvrdit, že měřily něco víc než – byť přesné – seřazení podle teploty. Pokud by se rtuť roztahovala v jiné míře za nižších a vyšších teplot, nešlo by tvrdit, že jednotlivé podintervaly na stupnici teploměru mají stejný význam. Toto by šlo snadno vyloučit, pokud by člověk znal funkci popisující, jak se mění objem rtuti v závislosti na její teplotě. Jenže taková funkce předpokládá teploměr, jehož ne-arbitrárnost již byla ustanovena. Použití rtuťového teploměru předpokládá, že rtuť se s teplotou roztahuje uniformě, ale tento předpoklad můžeme otestovat pouze spolehlivým teploměrem – o kterém ovšem zároveň pochybujeme. Předpoklad, že rtuť se roztahuje rovnoměrně, znamená očekávat, že teplota, stejně jako objem, je spojitá veličina. Podobně je to se zjištěním, že různé látky se ohřívají různě rychle – tepelné kapacity látek můžeme porovnat podle délky času. Můžeme pak používat teplotu v kalkulacích: smíchání různého množství různých látek různé teploty se řídí rovnicí ; přidáme-li i koncept skupenského tepla, můžeme teplotu používat pro výpočet tepla nutného ke změně skupenství; žádný z těchto pricnipů by nebyl možný, pokud bychom nepředpokládali, že teplota je kvantitatitvní veličina. Později se dále ukázalo, že roztažnost látek má lineární průběh pro zředěné plyny; závislost objemu na teplotě při konstantním tlaku byla stejná, což umožnilo závést Kelvinovu stupnici s absolutní nulou. Ustanovení teploty jako kvantitativní veličiny a způsob jejího měření tak bylo vzájemně závislé.

Jenže co nás opravňuje přiřadit určité velikosti atributu právě to či ono číslo? Zatímco naše možnosti pozorování a interakce s objekty jsou omezené – nemůžeme například vzít váhy a porovnat hmotnost Země a Měsíce – v číslování objektů nám nic nebrání. Jakákoliv korelace mezi atributy a čísly by proto mohla být pokládána za výsledek měření, což by nám umožnilo dle libosti vyvrátit či potvrdit jakoukoliv teorii. Tím by ovšem testování teorií zcela ztratilo smysl; je tudíž zřejmé, že k reprezentaci atributů čísly nepostačuje vytvořit zcela libovolné, byť důsledně dodržované, pravidlo, podle kterého čísla přidělujeme.

Velkou roli hraje interní struktura atributu, jaké jsou vztahy mezi jednotlivými instancemi atributu; tedy například jak je strukturovaná třída všech délek. Tyto instance, jak jsem zmínil výše, lze porovnávat podle velikosti, ale měření nás dále zavazuje, aby mezi nimi existovaly i určité numerické vztahy, totiž že jedná velikost atributu je vždy *x* násobkem jiné velikosti, kde *x* je reálné číslo, obvykle kladné. Měření vyžaduje, aby různé instance stejného atributu zachovávaly poměr, a to je možné, pokud je atribut, jako třída, kvanatitativní. Ve fyzice jsou měřitelné atributy obykle neohraničené, spojité a kvantitativní, ale neexistuje žádný důvod, aby tomu tak bylo u všech atributů. Má-li atribut kvantitativní strukturu, lze usoudit, pouze pokud pro to získáme určité důkazy. Jakmile máme vytvořenou numerickou reprezentaci, určité matematické výroky o přiřazených číslech jsou pravdivé, ale zároveň nemusí být smysluplné pro dané objekty, neboť ne každý numerický fakt vyjadřuje situaci závislou pouze na objektech a měřených atributech (a stejně tak ne každá situace mezi objekty může být reprezentována numericky).

Není těžké najít příklady, kdy vztahy mezi čísly a operace s nimi, jako jsou rovnost, rozdíl, podíl, atd., nekorespondují se vztahy anebo operacemi s měřenými objekty. 80 je dvakrát 40, ale neplatí, že objekt s teplotou 80 °C je dvakrát teplejší než objekt 40stupňový (neboť teplota 0 °C neodpovídá absenci teploty). Intervaly mezi čísly nemusí obsahovat empirickou informaci: je-li respondent dotázán, aby na škále 1 až 7 – jak to je v psychologických testech běžné – ohodnotil svůj souhlas s daným výrokem, není na první pohled zřejmé, proč by rozdíly mezi 4 a 5 a mezi 6 a 7 měly odpovídat stejné změně v míře souhlasu. Interval mezi (reálnými) čísly lze donekonečna dělit, na rozdíl od fyzického intervalu mezi dvěma Coulomby (neboť elementární náboj je nedělitelný). Rovnost mezi čísly je tranzitivní relace, ale empirické porovnání velikostí atributu nám umožní odhalit pouze přibližnou rovnost, která tranzitivní není.

Dřívější zájem teoretiků měření se proto zaměřoval na tyto a podobné problémy; snažili se je řešit identifikováním algebraických struktur v kvalitativní zkušenosti se světem, tj. dříve, než je prováděno přiřazení čísel. Helmholtz, Hölder a Campbell posutpovali právě tímto směrem; jejich příspěvky, a navazující bádání postupně vedly k vytvoření reprezentační teorie měření (RTM). Ta chápe měření jako přiřazování čísel objektům a to takovým způsobem, že jisté operace s měřenými objekty a vztahy mezi nimi odpovídají nebo jsou reprezentovány operacemi s čísly a vztahy mezi nimi; aby tato reprezentace byla možná, musí objekty splňovat určité empirické náležitosti. Měření se tedy rovná vytvoření vhodné reprezentace, tedy mapování objektů na čísla.

Proces měření je ovšem třeba chápat v širším měřítku. Procedury měření můžeme koncepčně rozdělit do dvou úrovní: první úroveň představuje konkrétní proces zahrnující interakce mezi měřeným objektem, měřícím nástrojem a prostředím; druhou úroveň tvoří teoretické a abstraktní reprezentace tohoto procesu. Stejně tak výsledky měření jsou rozlišitelné na dva druhy: na konkrétní úrovni se jedná o indikace[[2]](#footnote-2) měřícího nástroje; na abstraktní úrovni jsou výsledky vědomostní tvrzení o stavu měřeného objektu; často mají formu: veličina *Q* asociovaná s objektem *O* má hodnotu *q* s nejistotou *U*.

Výsledky měření jsou tak získány z měřícího nástroje řetězcem úsudků; určité závěry závisí na určitých teoretických a statistických předpokladech, kterými jsou reprezentovány konkrétní měřící procesy. V 21. století se proto zájem přesunuje od pojetí měření jako reprezentace k pojetí měření jako získávání informací. Epistemologie měření pak zkoumá podmínky, za kterých měření a standardizované metody produkují vědění, jaká je povaha, rozsah a omezení tohoto vědění, a jaké jsou zdroje jeho reliability. Tento odklon lze shrnout ve třech klíčových bodech: výsledky měření nejsou čísla, ale oblasti parametrového prostoru; výsledky závisí na teorii nejen kvůli své intepretaci, ale také pro jejich schopnost reprezentovat měřené objekty v první řadě; mapování indikací do výsledků není záležitost sdílené algebraické struktury, ale přenosu informací.

Reprezentační teorie měření sice uspěla v přesném, formálním popisu podmínek, za kterých je přiřazování čísel objektům smysluplné a oprávněné, ale čelila rovněž velké kritice. Nicméně se jedná o obsáhlý soubor vědění s více než stoletou historií, a proto si zaslouží podrobnější rozebrání. Pro lepší pochopení reprezentace objektů s pomocí čísel si ale nejdřív připomeňme, jak se vyvíjelo pojetí reálných čísel.

## Vývoj pojetí reálných čísel

[TODO: stručný vývoj pojetí reálných čísel od Euklida po 20. století]

## Měření jako reprezentace

[TODO]

### Helmholtz

[TODO]

### Hölder

[TODO]

### Campbell

[TODO]

### Stevens

[TODO]

### Suppes

[TODO]

### Reprezentační teorie měření

[TODO]

### Spojené měření

[TODO]

### Problémy reprezentační teorie měření

[TODO]

## Měření v 21. století

[TODO: detaily o současném pojetí měření]

## Měření v psychologii

[TODO: hlavní problémy měření v psychologii]

### Validita a kauzalita

[TODO]

### CTT

[TODO: stručná kritika CTT]

### IRT

[TODO: úvod do IRT]

### Rasch jako případ spojeného měření?

[TODO: je Raschův model pravděpodobnostní variantou spojeného měření? (Ne.)]

### Bayesovské frameworky pro IRT

[TODO: úvod do bayesovské IRT]

### Bayesovské frameworky pro spojené měření

[DECIDE: psát o tom vůbec?]

1. Ve starší anglické literatuře se termín *magnitude* používal jak ve významu „velikost atributu“, tak i atributu jako takového (*magnitude of magnitude length*); v současnosti je pro význam „atribut“ používáno *quantity*, zatímco *magnitude* označuje „velikost“. Pro atributy, u kterých je prokázána smysluplnost měření (tj. běžné fyzikální atributy jako jé délka, hmotnost, čas, atd.), budu používat „veličina“, jako zažitý český překlad *quantity*; „velikost“ pak odpovídá *magnitude*, např ve spojeních velikost atributu, velikost veličiny ([22], [24]). [↑](#footnote-ref-1)
2. „Hodnota veličiny poskytnutá měřidlem nebo měřicím systémem“ [22], např. pozice ručičky ukazatele, číslice na displeji, zaškrtnuté odpovědi v dotazíku, apod. [↑](#footnote-ref-2)