

HISTORIE GRAFICKÉHO ZOBRAZOVÁNÍ STATISTICKÝCH DAT

Ivan Saxl, Lucia Ilucová

Klíčová slova: tématická kartografie, statistická grafika.

Abstrakt: *Tématická kartografie* (mapy doplněné daty) je stará pouze několik málo staletí. *Statistická grafika* začíná v XVII. století, k jejímu systematickému rozvoji dochází však až koncem století XVIII. Zpočátku mají grafy vesměs politicko-ekonomickou tematiku. Velký rozmach grafického zobrazování dat probíhá v XIX. století a je dílem francouzských stavebních inženýrů, většinou žáků Gasparda Monge. Souběžně se grafika uplatňuje i ve společenských studiích, v epidemiologii, v biologii a grafy se objevují již i ve školních učebnicích.

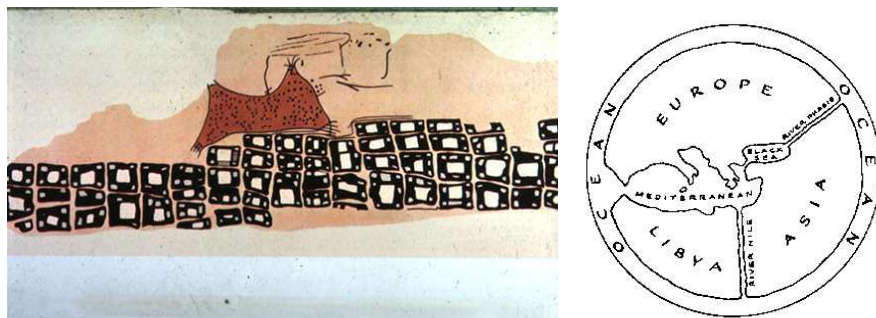
1 Úvod

Grafická reprezentace dat se v současné době těší mimořádné pozornosti. Vedle jejího praktického rozvíjení sofistikovanými počítačovými programy probíhá také podrobné studium její minulosti. Na Internetu lze nalézt skoro každý významnější graf z minulosti a existuje řada adres obsahujících detailní chronologické přehledy umožňující prohlédnutí a obvykle i stažení stovek komentovaných grafů včetně popisu okolností jejich vzniku a životopisných medailonů jejich autorů (viz [1]-[7]). Z nejvýznamějších časopisecky či knižně publikovaných prací lze uvést především [6], [8], [11]-[13]. Na požadavek „graphical statistics“ poskytne vyhledávač Google 988 000 odkazů, další tisíce produkují hesla „statistical graphics“, „statistical graphs“ atd. Moderní přístupy jsou zachyceny např. v [5], [7], [9], [14], [15].

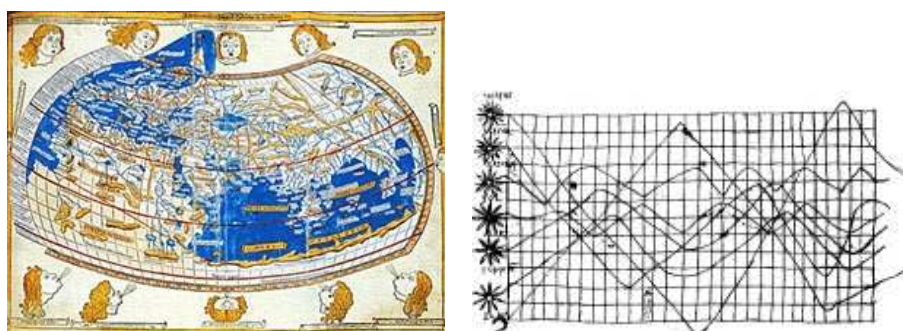
Proč graficky zobrazovat statistická data? W.S. Jevons komentuje své časové diagramy, v nichž sleduje změny cen základních i méně běžných produktů v závislosti na „komerčních bouřích“ typu objevení australského zlata v roce 1849 takto: „Jejich smyslem není ani odkaz ke konkrétním číslům, která lze lépe zjistit z odpovídajících tabulek, jako předvést očím obecné výsledky vyplývající z velkého množství čísel, jež nemohou být zachyceny jinak než graficky. Mé diagramy ukazují i ty nejmenší detaily tabulek, ale předčí i výpočty středních hodnot, protože oko či mysl samy zaznamenají obecný trend číselných souborů. Pouze tato reprezentace může být základem politicko-ekonomických debat a přesto většina statistických zdůvodnění závisí na pár číslech více či méně náhodně vybraných.“¹

Samotné slovo *graf* je poměrně nové (objevilo se až koncem XIX. století), předtím se pro grafickou prezentaci dat převážně používalo slov *mapa* a *diagram*.

¹R. D. Block (edit.) *Papers and correspondence of William Stanley Jevons*, vols. 1-7, Macmillan, London 1972-1981, vol. 2, 450. Dopis R. Huttonovi z 1. 9. 1862.



Obrázek 1: Rekonstrukce fresky nalezené v Catal Hüyük a Anaximandrov mapy světa.



Obrázek 2: Ptolemaiova mapa světa a diagram poloh planet (pořadí: Venuše, Merkur, Saturn, Slunce!, Mars, Jupiter, Měsíc).

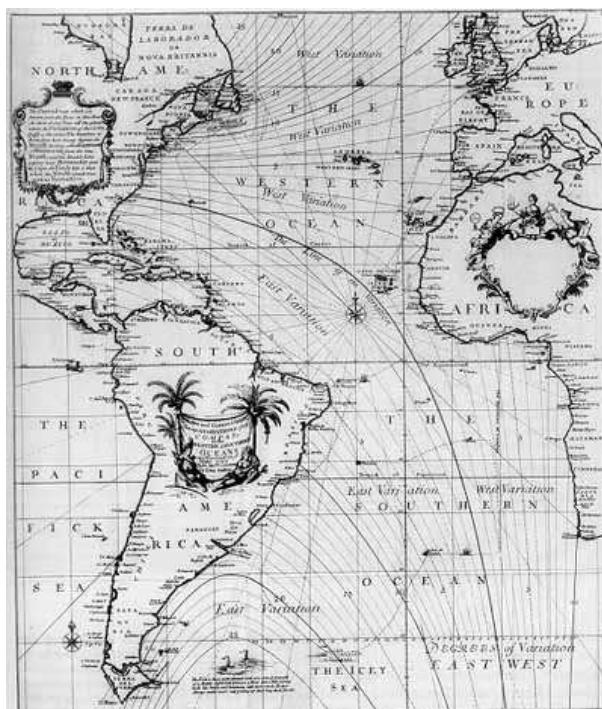
Práce jako celek je vychází především z citací [1]-[4], [6], [8], [10], [11], [13], které nejsou v textu explicitně uváděny. Citace úzce související s konkrétním textem jsou uváděny v poznámkách.

2 Kartografie a tématická kartografie

Nejstarší formou grafického znázornění dat jsou mapy po tisíciletí zobrazující jednak pozemské oblasti, jednak výřezy hvězdné oblohy. Nejstarší známou mapou je část plánu města (patrně Catal Hüyük) objeveného jako freska při vykopávkách v letech 1961 až 1965 na pláni Konya v Anatólii a datovaného uhlíkovou metodou do let 6250 až 6400 př. Kr., podle letokruhů dokonce 7100 až 7200 př. Kr. – Obr. 1. Autorem údajně první (podle Hérodota popisů rekonstruované) mapy světa je Anaximandros z Milétu² – Obr.1.

Klaudios Ptolemaios je tvůrcem prvních map se zakreslenými poledníky i rovnoběžkami – Obr. 2. Nejstarší zobrazení planetárních pohybů pochází

²Stručné životopisné údaje o autorech jsou uvedeny v Dodatku.

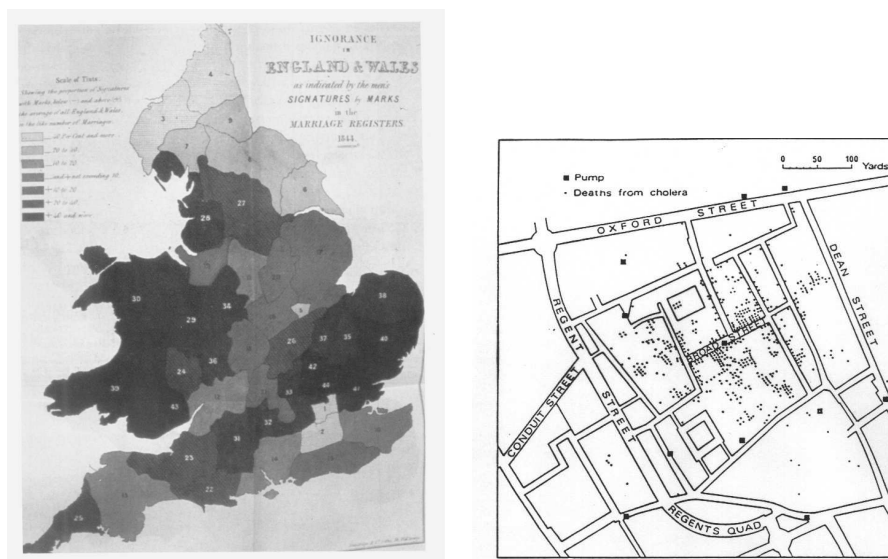


Obrázek 3: Halleyova mapa isogonál v Atlantickém oceánu (1701).

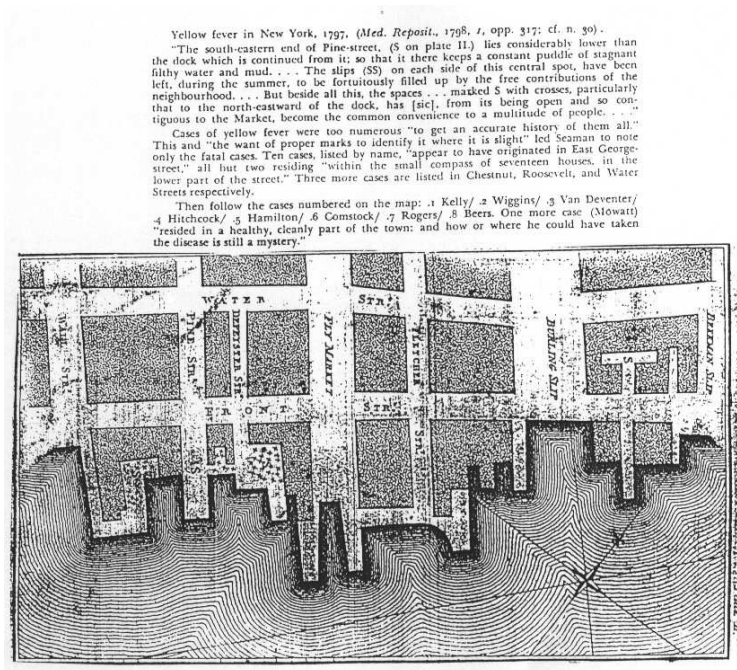
od neznámého autora z doby kolem roku 950 a zachycuje změny poloh Slunce a hvězd v průběhu roku – Obr. 2.

Dalším vývojovým momentem je zakreslování doplňujících charakteristik; E. Halley roku 1701 publikuje mapu se zakreslenými isogonálami spojujícími místa se stejnou magnetickou deklinací – Obr. 3. Tím začíná obor *tematické kartografie*, v níž jsou do map vedle územního členění zanašena data vztahující se k obyvatelstvu, obchodu, dopravě i k historickým událostem. Na jejím počátku jsou mapy analfabetismu ve Francii (P. Ch. F. Dupin: *Carte de la France éclairée et de la France obscure*, 1819) a v Anglii (J. Fletcher: *Distribution of ignorance in England*, 1834) založené na průzkumu matrik (záznamy sňatků analfabetů mají značky místo podpisů) – Obr. 4.

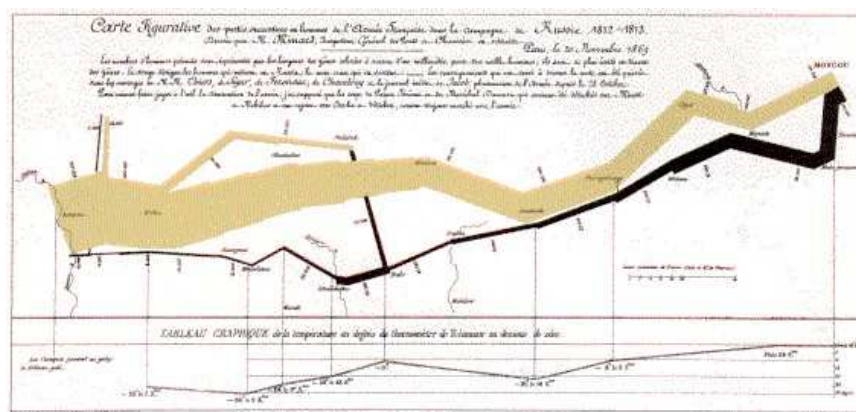
Zřejmě sem patří také slavný plán Londýna vytvořený Johnem Snowem v roce 1854 za účelem objasnění příčiny cholerové epidemie – Obr. 4. Zakreslením poloh studní a bydlíšť nemocných se podařilo lokalizovat nakaženou studnu a zjistit způsob šíření nákazy, který do té doby nebyl bezpečně znám. Prvenství v mapování šíření epidemie však patří Valentinu Seamanovi, který publikoval podobnou mapu jako J. Snow v souvislosti s epidemií žluté horečky v New Yorku v roce 1795 (Obr. 5) a několik map výskytu cholery bylo publikováno v Anglii již v první polovině XIX. století.



Obrázek 4: Fletcherova mapa analfabetismu v Anglii (1834) a Snowův plán Londýna v době cholerové epidemie (1854).



Obrázek 5: Seamanova mapa výskytu žluté horečky v New Yorku (1795).



Obrázek 6: Napoleonovo tažení na Moskvu od Ch. J. Minarda (1869). Šířka stopy znázorňuje početní sílu armády, graf ve spodní části mapy udává průběh teploty při jejím ústupu.

Nepřekonaným vrcholem co do emocionální působnosti je „nejslavnější mapa všech dob“, *Napoleonovo tažení na Moskvu* Charlese Josepha Minarda z roku 1869 – Obr. 6. V současné době jsou nejběžnějším produktem tématické kartografie mapy zachycující okamžitý stav počasí, publikované v deníku tisku a v televizi.

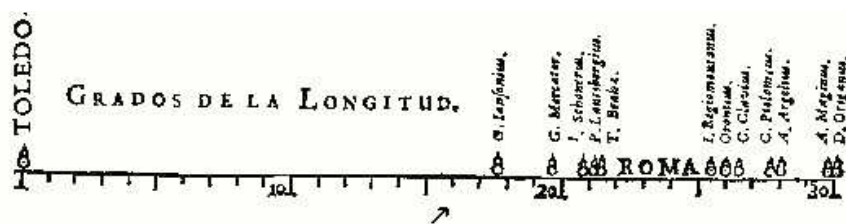
3 Statistická grafika

Statistická grafika prezentuje nejrůznější data v závislosti na zvoleném parametru, jímž bývá velmi často čas. Samotné slovo *graf* do angličtiny zavedl J. J. Sylvester v roce 1878 v souvislosti s konstatováním podobnosti mezi schématy molekulárních vazeb a grafickou reprezentací algebraických invariantů. Zhruba v téže době definuje graf Charles S. Peirce jako „plošný diagram sestávající z bodů či jejich ekvivalentů a jejich spojnice na omezené ploše“. Potřeba takové definice ukazuje, do jaké míry byly grafy ještě koncem XIX. století málo běžným informačním prostředkem.

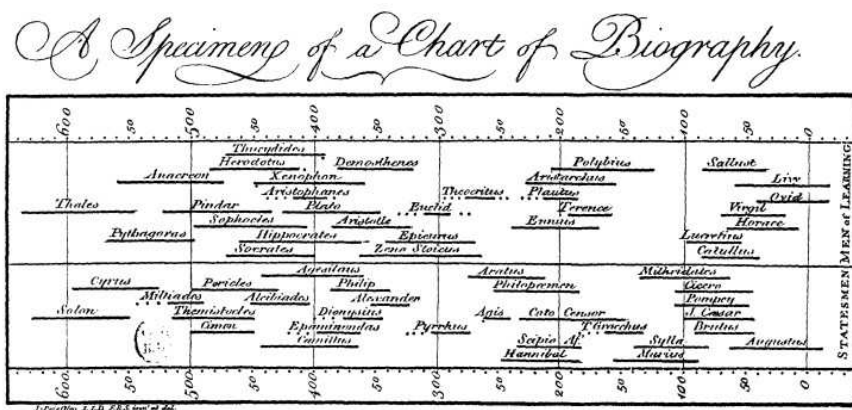
Jejich počáteční rozvoj byl do značné míry ovlivněn, ne-li podmíněn, několika vynálezy umožňujícími grafické zaznamenávání kontinuálně probíhající fyzikálních procesů. Prvním z nich je Christopherem Wrenem vynalezený zapisovač počasí (*weather-clock*) zaznamenávající teplotu a směr větru v polárních souřadnicích, dalším Wattův indikátor tlaku v parním stroji.

3.1 Vývoj grafického zobrazování v XVIII. století

Za zakladatele statistické grafiky je obecně považován William Playfaire. Ve svých grafikách, které nazýval „čárovou aritmetikou“ (*lineal arithmetics*),



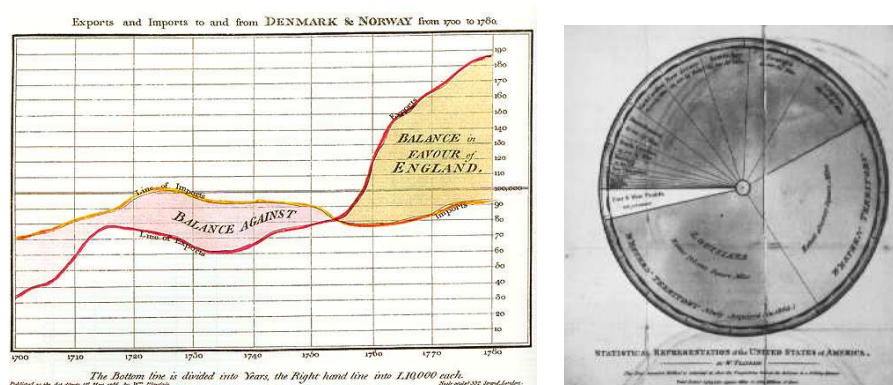
Obrázek 7: Van Langrenův diagram rozdílů zeměpisných délek Toleda a Říma podle různých autorů (1644); šipka ukazuje ke správné hodnotě 16°30', nápis ROMA je v místě vychýlené střední hodnoty historických kartografických údajů.



Obrázek 8: Druhá čtvrtina diagramu J. Priestleye (1765).

využíval převážně kartézské souřadné soustavy, v níž znázorňoval závislosti jedné i více zvolených veličin na vybraném parametru, jímž byl nezřídka čas. Měl však řadu předchůdců. Prvním z nich je Michael F. van Langren publikující v roce 1644 srovnání rozdílů zeměpisných délek Říma a Toleda – Obr. 7. Údaj známý v jeho současnosti je srovnán s vesměs pozitivně vychýlenými odhady získanými z různých historických map.

Druhým ranným grafem je *Životopisná mapa* (*Chart of Biography*, 1765) – Obr. 8, jejíž autorem je neobyčejně plodný vynálezce, vědec, teolog a politik Joseph Priestley. Opět se jedná v podstatě o jednorozměrný diagram prezentující životní rozpětí 2000 významných osobností žijících v letech 1200 př. Kr. až 1750. Priestley na čtyřech stránkách komentáře přesvědčuje čtenáře, že toto znázornění času je možné a účelné. Zatímco dnes je tento přístup považován za zcela přirozený, v polovině XVIII. století tomu bylo jinak. Kartézské souřadnice byly obecně přijaty jako systém vhodný pro znázornění prostoru, v němž existuje pozorovatelný materiální svět (nezavedl je však Descartes, ale

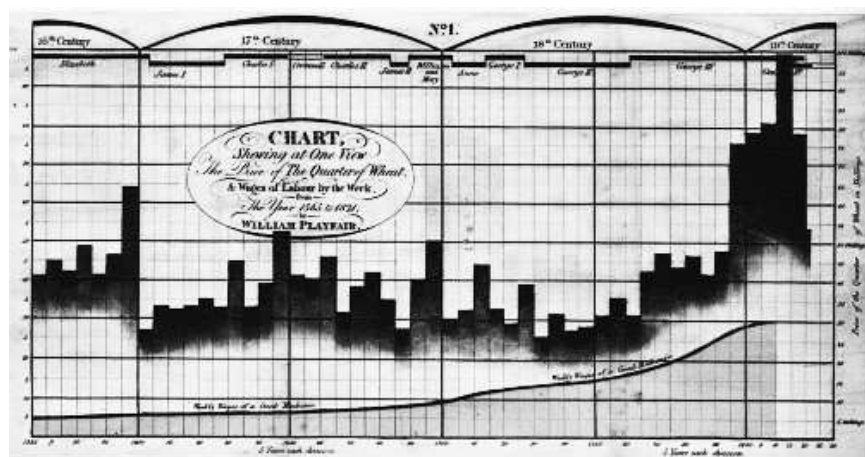


Obrázek 9: Obchodní bilance mezi Anglií a Norskem s Dánskem (1786) a kruhový diagram amerických států (1805) od W. Playfaira.

Leonardo da Vinci kolem roku 1500 pro analýzu rychlosti padání objektů). Historický čas však byl považován za jev subjektivní, vázaný na schopnost myšlení a sám Descartes zdůrazňoval „nezbytnost úplného abstrahování od analogií s hmotou při studiu zákonitostí Mysli“.

Skotský filosof Dugald Stewart ve stati *A general View of the Progress of Metaphysical, Ethical, and Political Philosophy since the Revival of Letters* (1811) napsané pro Dodatky k Britské encyklopedii konstatuje, že historie, jako znalost určitých faktů a dějů, je především záležitostí naší paměti, která je subjektivní. Historické děje (a s nimi také ekonomické, populační aj.) sice mohou být a nejspíš jsou podřízeny nějakým zákonům, ty však nelze zjistit pozorováním jako zákony přírodní, ale pouze reflexí, uvažováním. Speciálně ekonomický stav státu je důsledkem subjektivního jednání lidí v jejich soukromých životech; to může probíhat např. na základě „zdravého rozumu“. Protože první kroky grafické statistiky se odbývaly právě na půdě historie a politické ekonomie, byl pro ni význam chápání historického času zcela podstatný a jeho subjektivní chápání bylo velkou překážkou jejího obecného rozšíření.

William Playfair byl schopný vynálezce, ale jeho hlavní zájmy byly finance a obchod, v nichž však byl spíše neúspěšný, a dále publicistika, která jej dovedla ke statistické grafice, jíž se proslavil. V této oblasti mohla být jeho inspirací jednak spolupráce s J. Wattem, u něž pracoval jako kreslič a návrhář, jednak rady jeho bratra, matematika a geologa. Od něj se podle vlastního sdělení naučil, že všechno, co lze vyjádřit čísly, může být vyjádřeno také rovnými čarami. Mezi jeho významné práce patří graf růstu britského národního dluhu v letech 1699 až 1800, grafy vzájemného obchodu mezi Anglií a různými státy (např. s Německem, s Dánskem a Norskem – Obr. 9), histogram zahraničního obchodu Skotska aj. Populární jsou také jeho grafy, v nichž upozorňoval na vysoké daňové zatížení Angličanů (Obr. 11) a první



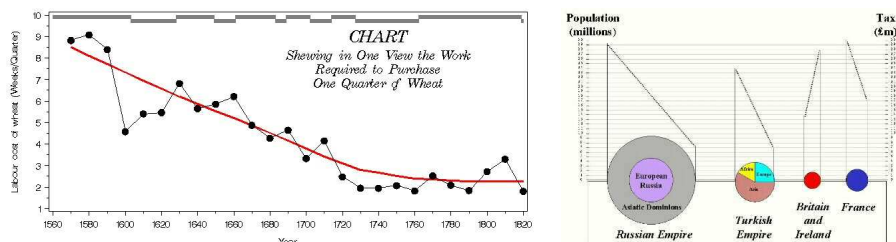
Obrázek 10: Srovnání cen pšenice (histogram uprostřed) a mzdy mechanika (graf v dolní části) za vlády různých panovníků (graf v horní části) od W. Playfaira (1821).

kruhový diagram rozlohy amerických států – Obr. 9. K nejznámějším patří mimořádně sugestivní graf porovnávající ceny pšenice a mzdy řemeslníků na pozadí vlád jednotlivých britských panovníků v letech 1665 až 1821 – Obr. 10. Pozoruhodné je, že právě tento graf na první pohled nesděluje autorův záměr a hrozivě rostoucí černý histogram (termín *histogram* však zavedl až K. Pearson³) mu spíše protičeří – Obr. 11. Playfairůvou snahou bylo totiž podle jeho vlastního vyjádření⁴ ukázat, že nikdy nebyla pšenice tak levná jako na počátku XIX. století. To je však patrné teprve tehdy, když je vynesena graf poměru cen a mezd, který skutečně klesá od devíti ke dvěma. Playfairův graf tak ukazuje jednu z charakteristických vlastností grafického zobrazení, totiž na možnost vytvoření dojmu na první pohled opačného, než odpovídá skutečnému obsahu dat.

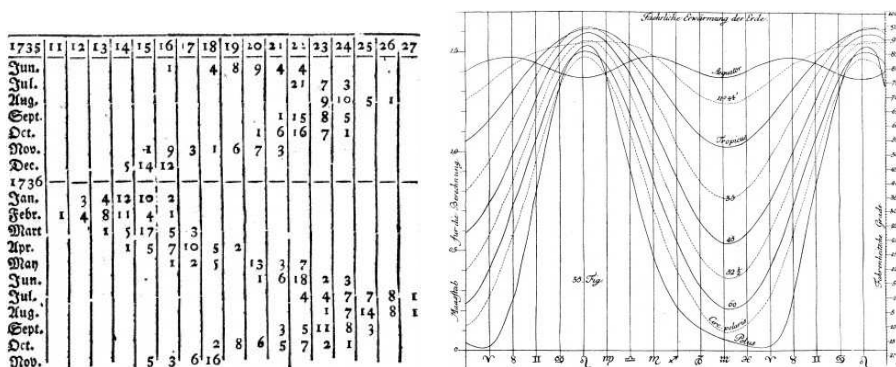
Playfairůvy práce jsou shrnuty v knize *The Commercial and Political Atlas* vydané v Londýně roku 1786 a obsahující 44 diagramů; s výjimkou jediného se jedná o časové závislosti. Tím je sloupcový diagram zachycující obchod mezi Skotskem a 13 jinými státy a Playfairůvi se podařilo získat data pouze pro jediný rok (1780), takže nemohl vynést časovou závislost. V úvodu to komentuje jako nedostatek („... it does not comprehend any portion of time, and is much inferior in utility to those that do.“). Ve třetím vydání *Atlasu* v roce 1801 však sloupcový graf již vyzdvihuje jako typický produkt

³Viz poznámku na str. 399 v jeho článku ve *Phil. Trans. Roy. Soc. A* 186 (1895).

⁴Z Playfairůva komentáře ke grafu (citováno podle H. Wainer: *Visual revelations*, *Chance* 17 (2004), 51–54, který je také autorem ukázaného poměrového grafu – Obr. 11): „...the main fact deserving consideration is, that never at any former period was wheat so cheap, in proportion to mechanical labour, as it is in the present time...“.



Obrázek 11: Poměr ceny pšenice a mzdy řemeslníka podle předcházejícího Playfairova grafu (viz pozn.⁴) a jeho srovnání daňového zatížení občanů čtyřech evropských států (překreslená část původního grafu z roku 1801).

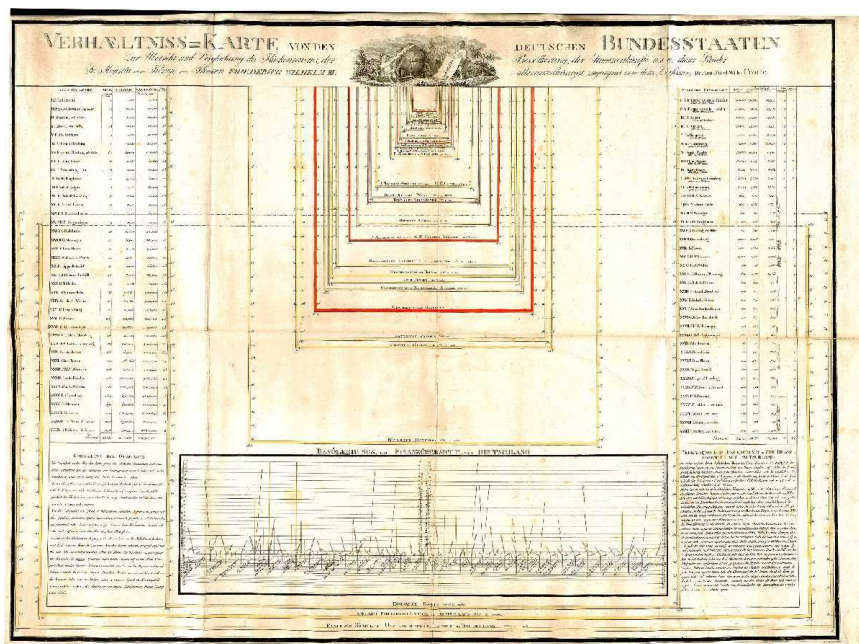


Obrázek 12: Lambertův „číselný graf“ (1779) udávající počet dnů v měsíci, kdy bylo dosaženo určité teploty (horizontální osa ve °C) a graf závislosti ohřevu půdy v průběhu roku na zeměpisné šířce (1779).

své „čárové aritmetiky“. Jako příklad uvádí muže, který denně vydělá jistý sloupec guinejí a jehož výsledná výška je potom rovna součtu výdělků za určitý čas, který je tak v zobrazení implicitně zahrnut.

Jedním z prvních uživatelů grafického zobrazení dat byl také alsaský přírodovědec Johann Heinrich Lambert, jehož hlavním zájmem byla fotometrie a fyzikální či astronomická měření. Byl patrně první, kdo vytvořil „číselný graf“ vhodným rozmístěním číselných hodnot v rovině – Obr. 12.

S dalším propagátorem grafických metod se vrací problematika sociálních a politických věd. August Friedrich Wilhelm Crome byl profesorem politických věd v Gießenu a je známý jednak svými knihami (např. *Über die Große und Bevölkerung der europäischen Staaten* z roku 1785), jednak řadou pamfletů, v nichž vedl vášnivé politické diskuse a své názory často dokazoval graficky zpracovanými statistickými údaji. Pomocí diagramů různých typů porovnával situaci v jednotlivých státech, např. velikost států znázorňuje pomocí pravidelných obrazců (čtverců, obdélníků či kruhů) o plochách



Obrázek 13: Srovnání společenských a hospodářských charakteristik německých států od A. F. W. Crome (1821); plochy obdélníků jsou úměrné jejich rozlohám.

úměrných rozlohám států, takže optický dojem není zkrácen komplikovaným průběhem hranic – Obr. 13 (autorem prvního takového grafu byl však Charles de Fourcroy; v práci *l'Essay d'une table poléographique* z roku 1782 srovnává rozlohy evropských měst čtvercovým diagramem podobným obr. 13 - viz [12]). Slavná je také jeho mapa *Produkten-Karte von Europa* z roku 1782, znázorňující vedle měst a přístavů také přírodní a průmyslovou produkci v jednotlivých zemích.

3.2 Nové směry statistické grafiky v XIX. století

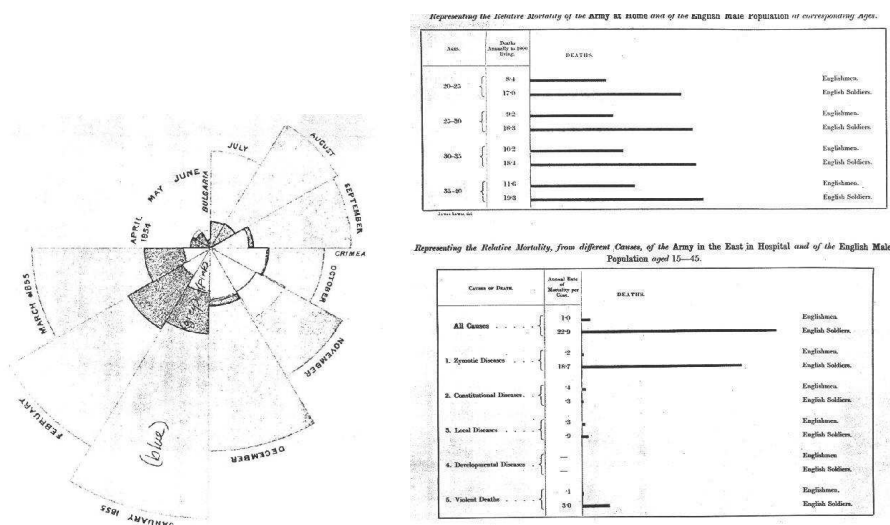
Poté, co se grafické zobrazování začalo v širší míře používat, vyskytla se potřeba technických prostředků, které by usnadňovaly jeho realizaci a šíření. V Anglii v roce 1794 začíná Dr. Buxton vyrábět rastrovaný papír, v Německu v roce 1798 pražský rodák Aloys Senefelder vynalézá litografickou techniku pro tisk map a diagramů (své výsledky shrnuje v knize *Vollständiges Lehrbuch der Steindruckerei*, 1818). Ve Francii v roce 1843 Léon Lalanne (viz níže) začíná používat sférické souřadnice a v roce 1846 zavádí logaritmickou stupnici na obě pravoúhlé osy. Semilogaritmickou stupnici používá jako první pro své diagramy W. S. Jevons v roce 1863.

Playfairovy grafy byly patrně inspirací pro anglickou statističku Florence Nightingaleovou. Přihlásila se jako dobrovolná zdravotní sestra v době krymské války, sestavovala časové tabulky úmrtí pacientů podle příčin a jimi dokazovala nedostatečnost nemocniční hygieny v polních podmínkách. V prvním provedení byly počty úmrtí úměrné úsekům poloměřů výšečí a tedy zkreslené, poté si uvědomila svou chybu a jako první zavedla *radiální graf* – Obr. 14. Vedle podrobné zprávy pro vojenské kruhy vydala stručný souhrn svých výsledků také jako malou brožurku (*Mortality of the British Army*, 1858) s cílem ovlivnit veřejné mínění. Ať již její grafické zpracování přesvědčilo velení armády či veřejnost, která uplatnila svůj vliv, hygieně v nemocnicích začala být věnována podstatně větší pozornost, a to nejen v armádě. Po návratu do Anglie měla F. Nightingaleová značný (údajně dodnes přetrvávající) podíl na celkovém zlepšení nemocniční péče, již věnovala veškerou svou pozornost po zbytek života. Její radiální grafy bývají v literatuře nazývány *kohoutími hřebínky* (*coxcombs*), jedná se však o jeden z historických omylů; kohoutím hřebínkem nazvala F. Nightingalová v průvodním dopise z 25. 12. 1857 k výše zmíněné brožurce prezidentovi Královské armádní komise Sidney Herbertovi⁵ právě tuto brožurku, nikoliv svůj radiální graf.

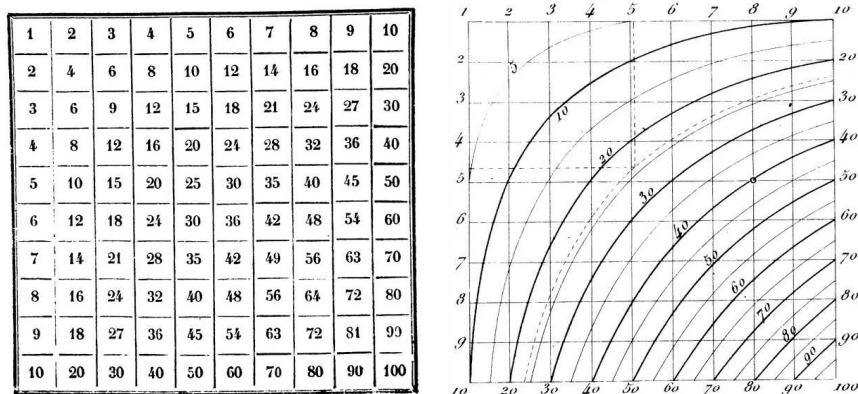
Od začátku XIX. století se střediskem vývoje grafického znázorňování dat stává Francie. Jejich technické využití a rozvoj jsou svázány s odvozem městských odpadků, který byl aktuální již v XVIII. století a vynucoval si stále rozsáhlejší stavbu silnic. Maximální efektivností této problematiky se zabývaly dva přední francouzské vzdělávací ústavy: vojenská École de Génie v Mezières (s těžištěm v likvidaci pevnostního odpadu) a École des Ponts et Chaussées v Paříži zaměřená civilně. Profesorem na první škole byl Gaspard Monge, zakladatel deskriptivní geometrie, a právě z jeho žáků a následovníků se rekrutovali významní propagátoři grafického zobrazování. Na druhé z uvedených škol zase vyučoval již zmíněný Ch. J. Minard. Záměr pokrýt celou Francii vyhovující sítí silnic hvězdicovitě vycházejících z Paříže se stává aktuální kolem roku 1842. Při jeho realizaci opět přichází ke slovu grafická kartografie, zvláště díky Ch. J. Minardovi, který se snažil prosadit decentralizovanější dopravní síť, jejíž výhodnost demonstroval čarami s tloušťkou úměrnou přepravním nárokům; tato forma grafického znázornění vyvrcholila posléze jeho Napoleonovým tažením. Výstavba dopravní sítě však byla svěřena centrální státní organizaci Corps des Ponts et Chaussées řízené Victorem Legrandem; její charakter vyjadřoval hovorový název „Legrandova hvězda“ a byla spojena s obrovskými přesuny půdy díky přísným požadavkům na povolené maximální stoupání a minimální poloměry křivosti. Již v letech 1835 a 1837 byly vypracovány tabulky pro výpočet nezbytných přesunů zeminy, platily však pouze pro jeden pevný profil silničního uložení.

Grafické konverze výpočetních tabulek se ujal Léon Lalanne. Vyšel při-

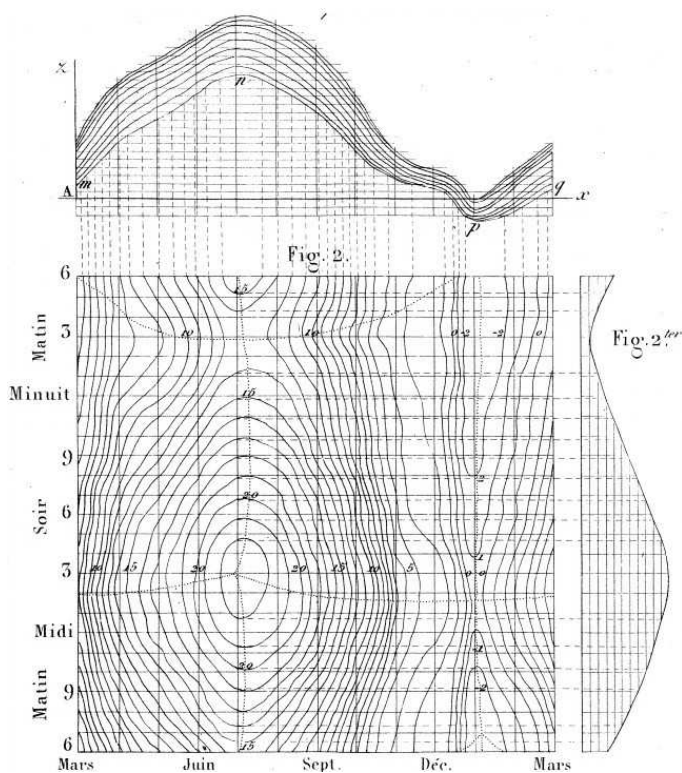
⁵ „Dear Mr. Herbert, I send you one of the „coxcombs“ ...“, citováno podle příspěvku H. Small: Florence Nightingale's statistical diagrams, předneseného 18. 3. 1998 na konferenci, kterou pořádalo Museum Florence Nightingaleové v Londýně.



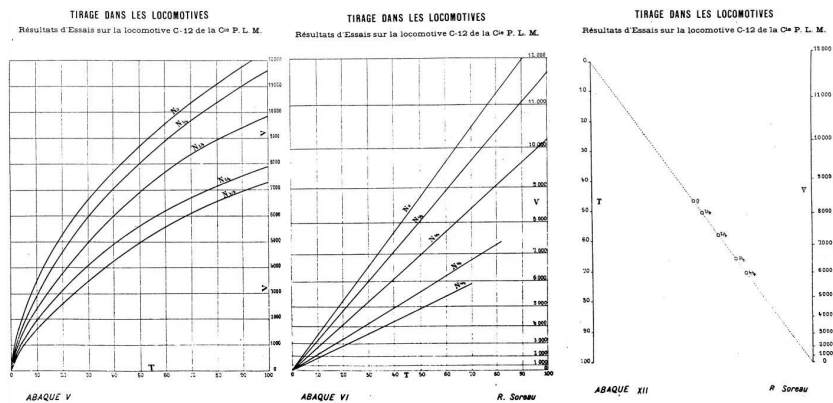
Obrázek 14: Radiální graf F. Nightingaleové (1858) znázorňuje příčiny úmrtí vojáků (počet úmrtí je úměrný ploše) v krymské válce (1854–55). Vnitřní malé světlé výseče zachycují po jednotlivých měsících úmrtí na zranění, velké světlé výseče úmrtí na nakažlivé choroby vyvolané nedostatečnou hygienou a vnitřní malé tmavé výseče libovolné jiné příčiny. Sloupcové diagramy porovnávají procentuální úmrtnost v různých věkových kategoriích (horní diagram) a podle příčin (spodní diagram) u běžných anglických mužů a u vojáků (vždy spodní sloupec v páru).



Obrázek 15: Pouchetova Pytagorejská tabulka a isočáry $xy = 5k, k = 0, 1, \dots, 19$ (1795).



Obrázek 16: Lalanneův prostorový graf {měsíc × hodina × teplota} (1845).



Obrázek 17: Srovnání grafu v kartézských a logaritmicko-logaritmických souřadnicích s nomogramem od M. d'Ocagne (1891). T je tažná síla francouzské lokomotivy, V je váha páry spotřebované za hodinu a N je relativní doba, po níž je parní ventil otevřený.

tom z tzv. pytagorejské tabulky typu 10×10^6 , kterou Louis-Ézechiél Pouchet (v souvislosti se snahami francouzské vlády přejít na decimální soustavu jednotek) v roce 1795 doplnil isočarami (hyperbolami) $xy = 5k, k = 1, 2, \dots, 19$ – Obr. 15. Tabulka se sice obecně neprosadila, byla však používána pro inženýrské výpočty k převodu různých měr, např. při kalibraci děl. Lalanne nejdříve upozornil, že čáry $xy = konst.$ můžeme chápat jako ortogonální projekce čar konstantní výšky na 3D ploše $z = xy$ a pro demonstraci této myšlenky vytvořil projekci isoterm v 3D grafu typu {měsíc \times hodina \times teplota} s projekcí do roviny {měsíc \times teplota} a řezem rovinou {hodina \times teplota} (Mongeova škola se nedala nezapřít) – Obr. 16.

Druhou inovací bylo zavedení logaritmických souřadnic (Pouchetovy hyperboly se pak staly přímkami) a v roce 1846 již Lalanne publikuje grafickou tabulku s lineárními závislostmi půdních přenosů pro dvoukolejnou železnici. Vývoj dovršuje v roce 1884 Maurice d'Ocagne vytvořením *nomogramu*. Pravoúhlé osy nahrazuje osami rovnoběžnými a využívá principu duality z projektivní geometrie, podle něž lze body zobrazit jako přímky a přímky jako body. Soubor přímek z Lalanneova grafu pak přechází v přímku jedinou – Obr. 17.

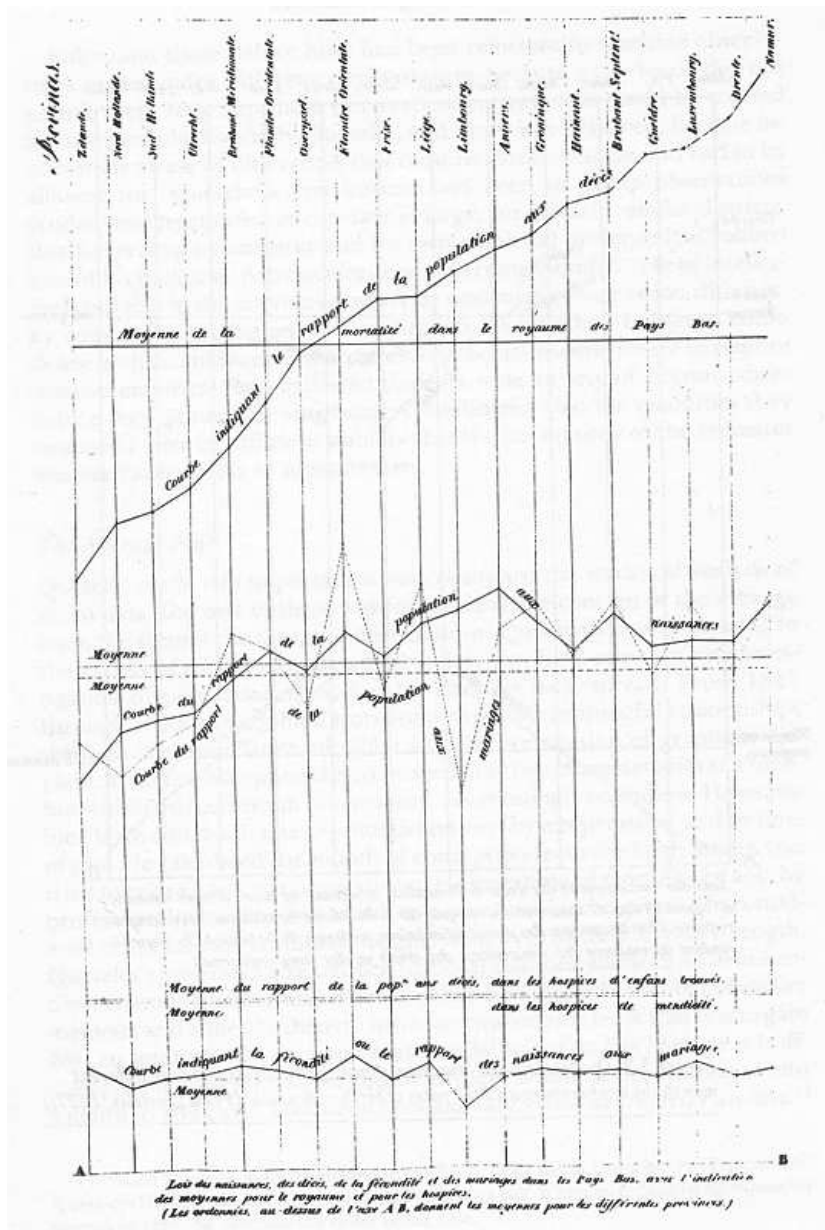
Zásluhy L. A. J. Queteleta o rozvoj statistiky v sociální oblasti jsou dostatečně známé: jeho názory jsou různé vykládány, interpretovány i kritizovány, jeho podíl na vzniku statistických společností v evropských státech i v Americe je však nesporný, stejně jako inspirativní vliv na celou řadu statistických aktivit. Z Queteletových grafických prací si všimneme aspoň jednoho okruhu studií včetně okolností, za nichž vznikly. Sčítání lidu je velmi nákladná akce, a když se v porevoluční Francii o ní začalo uvažovat, přišel P. S. Laplace s návrhem určité formy výběrového šetření. Doporučil využít přesné vedených matrik narozených dětí v celé zemi a celkový počet obyvatel N_O určit ze vztahu $N_O = r_D N_D$, kde N_D je počet všech narozených dětí za nějaké období a $r_D = n_O/n_D$ je pečlivě stanovený poměr počtu obyvatel a narozených dětí ve vybraných „reprezentativních“ oblastech, rovnoměrně rozložených po celé ploše státu a s pozorností k jednotlivým skupinám obyvatel⁷. Quetelet byl nejprve (v roce 1824) nakloněn použití této metody i v Belgii a Nizozemí, avšak v roce 1829 podává návrh na kompletní sčítání. Byl totiž zřejmě ovlivněn pamětním spisem, který mu poslal baron de Keerbergh v roce 1827⁸ a v němž zpochybňuje možnost dostatečně vhodného výběru podoblastí pro odhad poměru r_D , protože relace mezi n_O a n_D závisí nesnadno definovatelným způsobem na množství lokálních proměnných.

Patrně inspirován de Keerberghovým spisem, provedl Quetelet v 19 oblastech Belgie, Holandska a Lucemburku vlastní výběrové odhady následující-

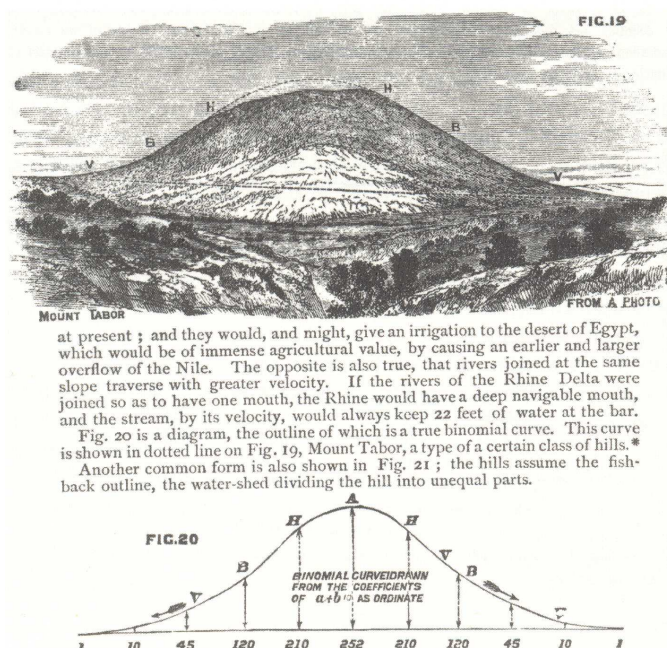
⁶Celočíselná tabulka s hodnotami $\{x_{ij} = ij\}, i, j = 1, 2, \dots, 10$.

⁷Viz P. S. Laplace: *Essai philosophique sur les probabilités*, Paris, Courcier 1840 (6. vydání knihy z roku 1814), 100–101. Laplace svou metodu navrhl již v roce 1780, byla použita v r. 1802 a diskutuje ji K. Pearson v *Biometrika* 20A (1928), 165–174.

⁸Citace z de Keerberghova spisu jsou v S. M. Stiegler: *The History of Statistics*, Harvard University Press, Cambridge 1986.



Obrázek 18: Queteletův souborný diagram (1827) poměrů r_M (horní lomená čára), r_D (střední plná čára), r_S (střední tečkovaná čára) a r_F (spodní plná čára). Odpovídající střední hodnoty jsou vyznačeny horizontálními čarami.



Obrázek 19: Vrcholová eroze hory Tábor podle A. Tylora (1875).

cích veličin: počtu obyvatel n_O , počtu narozených dětí n_D , počtu uzavřených manželství n_S a počtu úmrtí n_M , z nichž pro každou oblast odhadl poměry $r_M = n_O/n_M$, $r_S = n_O/n_S$, $r_F = n_D/n_S$ a $r_D = n_O/n_D$ a oblasti srovnal za sebou tak, aby r_M bylo monotónní rostoucí. Výsledky jsou shrnuty ve známém Queteletově diagramu, který ukazuje poměrně velké rozdíly mezi hodnotami poměrů v jednotlivých oblastech a dále naznačuje, že mezi nimi je jen stěží nějaká korelace – Obr. 18. Odtud tedy vyplynula Queteletova ztráta důvěry v Laplaceův návrh výběrového sčítání.

Další Queteletova grafická práce se vztahuje k jeho koncepci „průměrného člověka“, jehož psychické i fyzické vlastnosti mají normální rozdělení (Quetelet však používal termíny *křivka možnosti*, *rozdělení možnosti*, *binomická křivka*). Přesvědčení, že každý homogenní soubor údajů musí mít normální rozdělení, považoval Quetelet za řešení de Kevenbergovy námitky o nemožnosti posoudit, zda data vytvářejí homogenní soubor či nikoliv. V řadě prací srovnával zjištěná data s normálním rozdělením, jež však nepoužíval v Gaussově integrálním tvaru, ale vycházel z binomického rozdělení $Bi(999, 1/2)$, které podrobně propočítal s využitím vztahu $P(X = k) = (n - k + 1)P(X = k - 1)/k$, platného pro $Bi(n, 1/2)$.

Obecnou popularitu normálního rozdělení dokumentuje článek A. Tylora⁹ z roku 1875, v němž autor povýšil křivku normálního rozdělení na universální geologický standard (*binomická křivka* nebo-li *denudační křivka*) tvaru hor. Odchyly od ní jsou něj důkazem lokální eroze demonstrované na příkladu biblické hory Tábor – Obr. 19.

Luigi Perozzo vstoupil do historie grafického zobrazování prvním 3D grafem – Obr. 20, který nazval *stereogramem* a jenž využívá axonometrického promítání navrženého Gustavem Zeunerem v knize *Abhandlungen aus der mathematischen Statistik*, Leipzig (1969)¹⁰. 3D grafy byly často využívány pro znázornění vícerozměrných distribučních funkcí a hustot pravděpodobnosti.

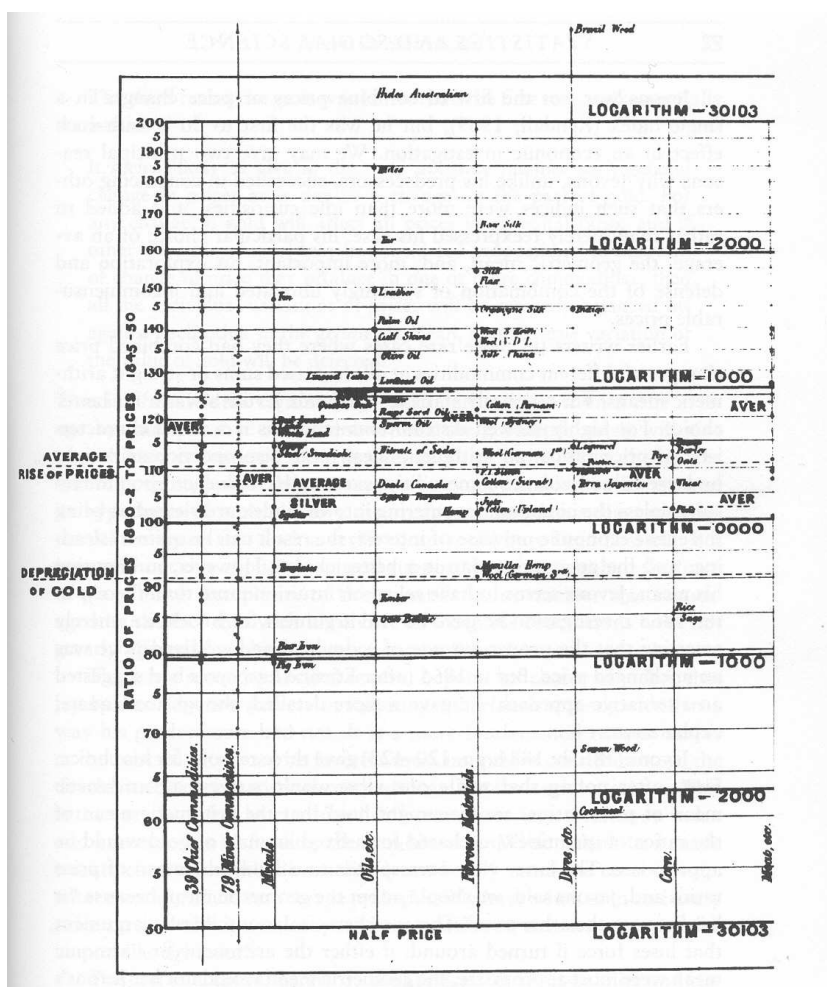
W. S. Jevons se v roce 1863 začal zabývat problémem kvantitativního popisu cenových změn vyvolaných událostmi obecného dosahu, konkrétně např. objevením australského a kalifornského zlata v roce 1849, jež mělo za následek dlouhodobý pokles ceny zlata. Ze sledovaných 118 produktů jich 84 zdražilo, ostatní zlevnily. Všechny změny Jevons zanesl do souborného semilogaritmického grafu a stanovil jejich *geometrické průměry* – Obr. 21. Tento typ výpočtu cenových změn je od té doby široce používán. Nebyl zdaleka první, avšak prosadil se ze dvou důvodů. Předně pro výrazně asymetrické rozdělení relativních cenových změn je geometrický průměr vhodnější, než do té doby používaný průměr aritmetický, jednak se ukázalo, že je vhodné sledovat velmi široký výběr produktů, což Jevonsovi předchůdci nedělali. Jevons pro svůj postup měl ovšem jen intuitivní důvody; zmiňoval např. alternativní možnost sledovat množství zboží, které lze po skokové změně zakoupit za stejnou cenu, cožby vedlo k průměru harmonickému, a svůj geometrický průměr vydával za střední cestu mezi oběma alternativami.

4 Závěr

Koncem XIX. století se začíná rozvíjet intenzivní zkoumání v oblasti lékařství a biologie v Anglii, do značné míry spojené s osobou Francise Galtona. Jeho zájem o aplikaci statistických přístupů včetně jejich grafické prezentace byl zcela mimořádný a vedl ke vzniku tzv. biometrické školy, jejímiž představiteli vedle Galtona byli Karl Pearson, Francis Weldon, Udna Yule a samozřejmě Ronald Aylmer Fisher. Grafická prezentace se v jejich pracích stala běžným prostředkem do té míry, že si dnes bez ní statistiku dovedeme jen stěží představit. Zhruba do konce XIX. století je možné vývoj grafického zobrazování alespoň v hrubých rysech sledovat v příspěvcích rozsahu srovnatelného s tímto textem. XX. století, zejména jeho druhá polovina ovlivněná rozvojem počítačové techniky a vstupem grafiky do všech medií, představuje pravý grafický

⁹A. Tylor: Action of denuding agencies. *Geological Magazine* (decade II) 2 (1875), 433–476 - viz S. M. Stigler: *The History of Statistics. The Measurement of Uncertainty before 1900*. Harvard University Press, Cambridge (Mass.) – London 1986.

¹⁰L. Perozzo: Della rappresentazione grafica di una collettività di individui nella successione del tempo. *Annali di Statistica*, 12 : 1–16.



Obrázek 21: Jevonsův semilogaritmický diagram (1863) cenových změn po objevu australského a kalifornského zlata. Vyneseny jsou poměry průměrných cen v objevem zlata ovlivněných letech 1860 až 1862 k průměrným cenám ve srovnávacím období 1845 až 1850. Na levých dvou svislých přímkách jsou vyneseny všechny hlavní (39 položek) a vedlejší (89 položek) produkty a vyznačeny jim odpovídající průměrné změny, dále průměrné relativní zvýšení (cca 11 %) a jemu odpovídající relativní pokles ceny zlata (cca 9%). V jednotlivých sloupcích jsou většinou příbuzné produkty, jako železo, oceli a stříbro, různé druhy olejů, textilní látky, obilí atd.

Reference

Internetové stránky s početnými příklady grafik (většinou interaktivní):

- [1] M. Friendly, D. J. Denis: *Milestones in the History of Thematic Cartography, Statistical Graphics, and Data Visualization*. <http://www.math.yorku.ca/SCS/Gallery/milestone/>¹¹
- [2] Cartographic images: <http://www.henry-davis.com/MAPS/Ren/Ren1/carto.html>¹¹
- [3] The History of Cartography: <http://feature.geography.wisc.edu/histcart/>¹¹
- [4] The History of Cartography: <http://www-groups.dcs.st-and.ac.uk/~history/HistTopics/Cartography.html>¹¹
- [5] EIA Guidelines for Statistical Graphs: <http://www.eia.doe.gov/neic/graphs/preface.htm>¹¹

Ostatní odkazy:

- [6] J. R. Beniger, D. L. Robyn: *Quantitative Graphics in Statistics*. The American Statistician 32 (1978), 1–11.
- [7] M. Friendly: *Graphical Methods for Categorical Data*. SAS SUGI Conference, April 1992. <http://www.math.yorku.ca/SCS/sugi/sugi17-paper.html>¹¹
- [8] H. G. Funkhauser: *Historical development of the graphical representation of statistical data*. Osiris 1 (1937), 269-405.
- [9] R. W. Glenn: *Data Graphics*. Speech 250 (Adv. Public Speaking) Schedule, Spring 2004. <http://web.utk.edu/~glenn/DataGraphics.html>¹¹
- [10] B. J. Glick: *Mortality Mapping*. <http://zappa.nku.edu/~longa/geomed/modules/av/lab/>¹¹
- [11] T. L. Hankins: *Blood, Dirt, and Nomograms*. Isis 90 (1999), 50–80.
- [12] G. Palsky: *Des Chiffres et des Cartes (La Carographie Quantitative au XIX^e) Siècle*. CTHS (Comité de travaux historiques et scientifiques), Paris 1996.
- [13] E. Royston: *A Note on the History of the Graphical Presentation of Data*. Biometrika 43 (1956), 241–247.
- [14] W. S. Cleveland: *A Model for Studying Display Methods of Statistical Graphics*. J. Comput. Graph. Stat. 2 (1993), 323–343.
- [15] E. R. Tufte: *The Visual Display of Quantitative Information*. Graphic Press, Cheshire 1983.

¹¹K datu 23. 10. 2004.

5 Dodatek

Anaximandros z Milétu (610 př. Kr. - po 546 př. Kr.), řecký filosof, podle Eratosthena tvůrce řecké geografie, autor údajně první mapy světa vytvořené pod vlivem babylónské astronomie. Ta se sice nezachovala, bývá však rekonstruována podle Hérodotova popisu.

Abraham Cresques (1326? - 1387), významný představitel mallorské kartografické školy, která se proslavila kreslením námořních map. Nejznámější je Katalánský atlas vytvořený pro Karla V.

August Friedrich Wilhelm Crome (1753 - 1833), teolog, lektor zeměpisu a historie v Dessau, poté profesor politických věd v Gießenu od roku 1786 do smrti a diplomat. Autor řady knih, např. *Europens Produkte* (1782), *Über die Größe und Bevölkerung der europäischen Staaten* (1785), čtyřdílné *Geographisch-statistische Darstellung der Staatskräfte von den sämtlichen, zum deutschen Staatenbunde gehörigen Ländern* (1820 – 1828) a vynikající *Selbstbiographie* (1833). Jeho knihy i politické pamflety obsahují řadu tabelárně i graficky zpracovaných statistických údajů.

Pierre Charles François Dupin (1784 - 1873), francouzský matematik a ekonom, žák Mongeův, autor různých pamfletů s vědeckou tematikou. V práci *Carte de la France éclairée et de la France obscure* (1819) první použil různé barvy k zakreslení vývoje vzdělání v různých regionech.

Eratosthenés z Kýrény (275 př. Kr. - 195 př. Kr.), všestranný řecký vědec, etik a básník, především geograf. Jeho odhad obvodu Země (44 730 km) využívá měření délek stínů tyče ve dvou městech ležících na stejném poledníku (Samara a Aswan). Výpočet je pak založen na předpokladu kulatosti Země a výsledek je velmi blízký skutečnosti.

Joseph Fletcher (? - ?), autor článků s řadou kolorovaných map s údaji o zemědělství, průmyslu aj. („Moral and Educational Statistics of England and Wales“, Journ. London Stat. Soc. X (1847), 193-233 a XII (1849), 151-335).

Francis Galton (1822 - 1911), anglický genetik a eugenik, původně meteorolog (jako první popsal anticyklonu a zavedl mapy počasí založené na barometrických datech). Do genetiky zavedl biometrický přístup, do statistiky pojmy regrese a korelační koeficient. Do kriminologie přispěl zavedením otisků prstů jako identifikačního znaku.

Edmond Halley (1656 - 1742), přední anglický fyzik a astronom (objevitel komety po něm nazvané) ve vědeckých kruzích vzácného charakteru, autor významné práce z demografie a pojištnictví „An Estimate of the Degrees of the Mortality of Mankind“ (1693). Výrazně se zasloužil o publikování Newtonových *Principia Mathematica*. Posledních 22 let svého života byl královským astronomem se sídlem na hvězdárně v Greenwichi, kde také zemřel.

William Stanley Jevons (1835 - 1882), anglický ekonom a logik, autor knihy *Principles of Science* (1874), v níž hájí názor, že deduktivní poznatky a zákony jsou jen pravděpodobné, protože není možné rozebrat všechny možné příčiny a alternativy. V ekonomických pracích (*Theory of Political Economy*, 1871) vycházel ze statistické analýzy reálných dat, pro hodnocení cenových hladin zavedl dosud používaný index založený na *geometrických* průměrech cen širokého spektra komodit.

Léon Lalanne (1811 - 1892), francouzský stavební inženýr, vynálezce řady grafických postupů vypracovaných v souvislosti s výstavbou francouzské dopravní sítě, generální inspektor mostů a silnic, ředitel l'Ecole des Ponts et des Chaussées atd.

Johann Heinrich Lambert (1728 - 1777), samouk, alsaský přírodovědec a filosof, známý pracemi z optiky (zvláště fotometrie), matematiky (teorie kuželoseček, hyperbolických a trigonometrických funkcí komplexní proměnné, důkaz iracionality π a e^x pro racionální $x \neq 0$, neukleidovská geometrie) a astronomie (teorie Vesmíru tvořeného galaxiemi a hvězdami, výpočet dráhy komet). Zabýval se též teorií pravděpodobnosti a navrhl grafickou formu metody maximální věrohodnosti. Člen Pruské akademie věd.

Michael Florent van Langren (1600-1675), holandský matematik, astronom a kartograf, pracoval ve službách španělského krále Filipa IV. Vyvinul metodu pro přesné určování zeměpisné délky pro potřeby lodní navigace, která se opírala o pozorování Měsíce a přivedla jej k autorství první mapy Měsíce.

Gerardus Mercator (1512 - 1594), nizozemský geograf, matematik a kartograf, vlastním jménem Gerhard Kremer. Autor Mercatorovy projekce zemského povrchu vhodné pro námořní plavbu. Mercatorovy mapy vydává i po jeho smrti početná rodina.

Charles Joseph Minard (1781-1870), význačný francouzský inženýr, specialista v oboru stavby mostů, silnic a kanálů, ředitel a profesor na l'Ecole des Ponts et des Chaussées, po odchodu do důchodu (1839) se věnoval tématické kartografii.

Florence Nightingale (1820 - 1910), anglická statistička, dobrovolná zdravotní sestra v krymské válce, sestavovala časové tabulky úmrtí pacientů podle příčin a jimi prokázala nedostatečnost nemocniční hygieny. Grafickým znázorněním (radiální diagram) přesvědčila vojenské kruhy o nezbytnosti nápravy. Po návratu do Anglie měla značný podíl na celkovém zlepšení nemocniční péče.

Philbert Maurice d'Ocagne (1862 - ?), francouzský matematik, vynálezce nomogramu, profesor na l'Ecole des ponts et chaussées, systematicky se podílel na bibliografii matematických prací, též autor literárních esejí. Hlavní dílo je *Nomographie; les calcul usuel effectués aux moyen des abaques* (1891).

Charles Saunders Peirce (1839 - 1914), americký logik, matematik a filosof, původním povoláním a vzděláním chemik a geodet, mimořádně plodný v mnoha oborech. Obecně považován za nejpozoruhodnější intelektuální osobnost Spojených států v 19. století.

William Playfair (1759 - 1823), jako osoba téměř zapomenutý skotský vynálezce, pamfletista, novinář a vydavatel (z jeho pera pochází také popis pádu Bastilly, jehož se osobně zúčastnil), který kromě řady různých vynálezů první používal histograpy, kruhové a lineární grafy pro znázornění statistických dat (kniha Atlas se 44 různými grafy byla publikována poprvé v r. 1786).

Louis-Ezechiel Pouchet (? - ?), výrobce bavlněných tkanin v Rouenu, autor několika publikací s problematikou jednoduchého grafického převodu jednotek, např. *Echelles graphiques des nouveaux poids, mesures et monnaies de France, comparées avec celles des pays les plus commerçantes de l'Europe* (1795).

Joseph Priestley (1733 - 1804), anglický fyzik (první objevil Coulombův zákon), chemik (vynálezce sodovky, objevitel fotosyntézy a dýchání rostlin), sociální filosof, teolog, podporovatel francouzské a americké revoluce, přítel Thomase Paina, pro svou podporu francouzské a americké revoluce donucen emigrovat do Ameriky (1794), zakládá tam unitářskou církev, přítel a spolupracovník T. Jeffersona.

Klaudios Ptolemaios (100 - 178?), autor souborného díla o matematice známého z arabského překladu z IX. stol. pod jménem *Almagest*. Základní kartografické dílo (do roku 1730 vyšlo na padesát různých vydání) je osmisvazkový *Γεωγραφικὴ Συναρταξις* [Zeměpisný úvod] se souřadnicemi 8 000 obydlých míst a množstvím map, které se však nedochovaly a v následujících stoletích byly mnohokrát rekonstruovány. Další jeho díla jsou věnována hudbě a optice.

Lambert Adolphe Jacques Quetelet (1796-1874), belgický geometr, astronom (Queteletův kráter na Měsíci), meteorolog a geofyzik - především významný popularizátor ovlivněný pracemi Laplace, Poissona, Bernoulli, předseda belgické *Commission centrale de statistique*, organizátor statistických kongresů. Autor práce *Sur l'homme et le developpement de ses facultés, essai d'une physique sociale* (1835).

Valentine Seaman (1770 - 1817), americký lékař, roku 1795 při epidemii žluté horečky ve východním Manhattanu vypracoval mapu lokálního výskytu onemocnění a nákazu připisoval hniječimu odpadu v ulicích města (sice nesprávně, neboť ji šířili komáři druhu *Aedes Aegypti*, kteří se ve vlhkých nečistotách vyskytovali, nicméně úklidem nečistých zaplavovaných míst choroba pomínula). Měl podíl na zavedení hromadném očkování proti černým neštovicím.

Aloys Senefelder (1771 - 1834), pražský rodák, herec a dramatik, kvůli tištění svých her experimentoval s tiskem a objevil litografii. Díky jejímu velkému úspěchu dosáhl všeobecného uznání.

John Snow (1813 - 1858), významný anglický lékař a vědec, autor souboru map Londýna (ještě stále překreslovaných a publikovaných) do nichž zakresloval lokální výskyt chorob. *President Medical Society of London* od roku 1855, spolupracovník osobních lékařů královny Viktorie (aplikace chloroformu při královských porodech), podle časopisu *Hospital Doctor* z roku 2003 nejvýznamnější lékař všech dob (Hypokratos až druhý).

Dugald Stewart (1753 - 1828), skotský filosof, profesor matematiky a filosofie na *Universitě v Edinburgu*, dlouhá léta vedoucí katedry etiky. Autor rozsáhlého literárního díla zahrnujícího i politickou filosofii a tehdy ještě málo rozšířenou politickou ekonomii. Ve své době velmi vážená osobnost, přitahující do Edinburgu studenty i z Evropy a Ameriky.

James Joseph Sylvester (1814 - 1897), anglický matematik a právník, autor řady prací z algebry, teorie čísel, řešení diofantických rovnic, teorie matic a geometrie. Autor knihy *Treatise on Elliptic Function* (1876), jako profesor na baltimorské *universitě* (1876 - 1883) měl velký podíl na rozvoji americké matematiky, psal též básně a byl autorem knihy *Laws of Verse* (1870).

Walter Frank Rafael Weldon (1860 - 1906), anglický zoolog, profesor na *londýnské University College*, jako první prováděl u živočichů, zvláště vodních, analogická statistická měření jako Quetelet a Galton u lidí. Spolu s Galtonem a Pearsonem založil v roce 1901 časopis *Biometrika*.

Christopher Wren (1632 - 1723), vynikající anglický architekt, stavitel londýnské katedrály sv. Pavla a řady dalších veřejných budov, autor nerealizovaných plánů na obnovu Londýna po Velkém požáru v roce 1666.

Gustav Zeuner (1828–1907), německý fyzik a pedagog, profesor technické mechaniky a strojírenství v Žürichu a Freibergu, poté dlouholetý ředitel drážďanské polytechniky, věnoval se zejména technické termodynamice a dopravnímu inženýrství.

Poděkování: Poděkování grantu GACR 201/03/0946 a výzkumnému záměru MSM 113200008.

Adresa: I. Saxl, L. Ilucová, Matematický ústav AV ČR, Žitná 25, 115 67 Praha 1

E-mail: saxl@math.cas.cz