

Predpokladom stať sa meteorológom alebo klimatológom je najčastejšie štúdium matematicko-fyzikálnej fakulty. Ako už názov fakulty naznačuje aj tie dve vedné disciplíny majú veľa spoločného s matematikou a fyzikou okrem iného.

Klimatológia je vedná disciplína o podnebí a jeho zmenách, skúmajúca zákonitosti časového a priestorového priebehu klimatických prvkov. Je to jedno z odvetví vied o atmosfére. Klimatológia je dosť podobná meteorológii, ale na rozdiel od nej klimatológovia zaznamenávajú zmeny počasia a klímy v minulosti.

Témou dnešných dní, ktorou sa klimatológovia nielen zaoberajú, ale snažia sa ju vysvetľovať a edukovať širšiu verejnosť je aj zmena klímy. **Klimatické zmeny** (v množnom čísle) sú chápané len ako prirodzené zmeny klímy, ktoré vznikajú v dlhom časovom horizonte na Zemi. **Zmena klímy** vyjadruje zmeny spôsobené činnosťou človeka, ktoré sa prejavujú v krátkom časovom horizonte – najvýraznejšie od začiatku priemyselnej revolúcie.

Klimatológov nájdete na Slovensku v slovenskom hydrometeorologickom ústave (SHMÚ), ktorí pracujú na množstve úloh súvisiacich s počasím. Sú to napr. posudky pre fyzické alebo právnické osoby ktoré sa týkajú vetra, dažďa snehu, teploty vzduchu atď. ale aj homogenizácia a kontrola kvality klimatologických údajov, data management a analýza údajov, tvorba špecializovaných a historických databáz pre analýzu dôsledkov klimatickej zmeny, data rescue - záchrana historických klimatických údajov, príprava národných správ a štúdií ako podklad pre medzinárodné hodnotenie stavu a vývoja klímy, komunikácia s médiami, osvetová a edukačná činnosť v oblasti klimatológie, spolupráca na rezortných, medzirezortných a medzinárodných úlohách súvisiacich s výskytom a hodnotením meteorologického a/alebo pôdneho sucha a ich dopadov vrátane medzinárodnej spolupráce, výskum klimatickej zmeny, príprava a verifikácia scenárov zmeny klímy s využitím globálnych a regionálnych klimatických modelov, výskum mestského ostrova tepla, tvorba metodík a spracovanie normálov klimatických prvkov a veľa iných vecí.

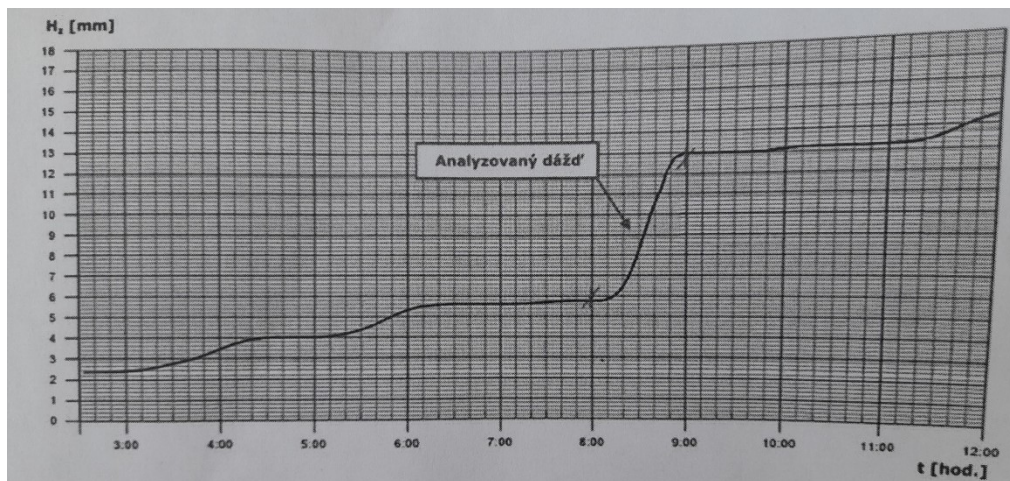
Pri väčšine týchto činností sa používa matematika i keď pri výsledku si to ani neuvedomujeme.

Veď už len pri výpočte priemernej dennej teploty vzduchu potrebujeme matematiku, kedy používame matematický priemer, kde z troch nameraných hodnôt teploty vzduchu vypočítame priemernú dennú teplotu vzduchu:

$$T_7 + T_{14} + T_{21} = T$$

kde T_7 je teplota vzduchu nameraná o 7:00 hod. ráno, T_{14} je teplota vzduchu nameraná o 14:00 hod., T_{21} je teplota vzduchu nameraná o 21:00 hod. večer a T je priemerná denná teplota vzduchu.

Ďalším príkladom je intenzita zrážok (dažďa):



Ombrografický priebeh dažďa

Príklad: $i = h/t = 7,2/65 = 0,11 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$

kde h je celkové množstvo dažďa v mm a t je celkový čas trvania dažďa v minútach.

Niekedy však potrebujeme vyjadriť množstvo dažďa v litroch za sekundu na hektár. A opäť musíme použiť matematiku.

$q = 166,67i = 166,67 \times 0,11 = 18,4 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$

To boli tie jednoduchšie matematické spracovania, ale čo taká metóda tvorby máp.

Komplexnejšia 3D analýza pomocou regularizovaného splajnu s tenziou s možnosťou nastavenia (odvodenia) vstupných parametrov tenzie (tension), zhladzovania (smoothing) a pod. (metóda GIS3D). Matematická formulácia regularizovaného splajnu s tenziou umožňuje pri interpolácii zahrnúť aj informácie o priestorovom rozložení doplňujúcej premennej, napr. pri interpolácii teploty vzduchu využiť informácie o topografii územia (georeliéf). Najlepšie výsledky dosahuje pri interpolácii veľmi hladkých povrchov znázorňujúcich napr. klimatické javy. Keďže metóda splajnov využíva matematicky definované krivky, ktoré po častiach interpolujú jednotlivé časti povrchu, výsledný povrch má minimálnu krivosť. Interpoláčna metóda regularizovaný splajn s tenziou patrí k veľmi presným a flexibilným interpolačným metódam.

V klimatológii sa často stretávame s problémom modelovania javov pomocou spojitých funkcií, ktorých hodnoty poznáme len v niekoľkých diskretných bodoch. Interpoláčne metódy, ktoré využívajú tzv. variačný prístup pri modelovaní týchto javov sa nazývajú tzv. splajny.

Metódy splajnu sú založené na predpoklade, že interpolačná funkcia má prechádzať čo najbližšie cez známe diskretné body a má byť hladká. Variačné riešenie tohto problému môžeme formulovať ako (Mitášová a kol.. 1995):

$$\sum_{j=1}^N \left| z^{[j]} - S(\mathbf{x}^{[j]}) \right|^2 w_j + w_0 I(S) = \min ,$$

kde $z^{[j]}$ sú hodnoty merané v diskrétnych bodoch,

$$\mathbf{x}^{[j]} = (x_1^{[j]}, x_2^{[j]}, \dots, x_d^{[j]}), \quad j = 1, \dots, N$$

w_j a w_0 sú pozitívne váhy a $I(S)$ je seminorma hladkosti. Talmi a Gilat (1977) dokázali, že rovnica má jediné riešenie

$$S(\mathbf{x}) = T(\mathbf{x}) + \sum_{j=1}^N \lambda_j R(\mathbf{x}, \mathbf{x}^{[j]}),$$

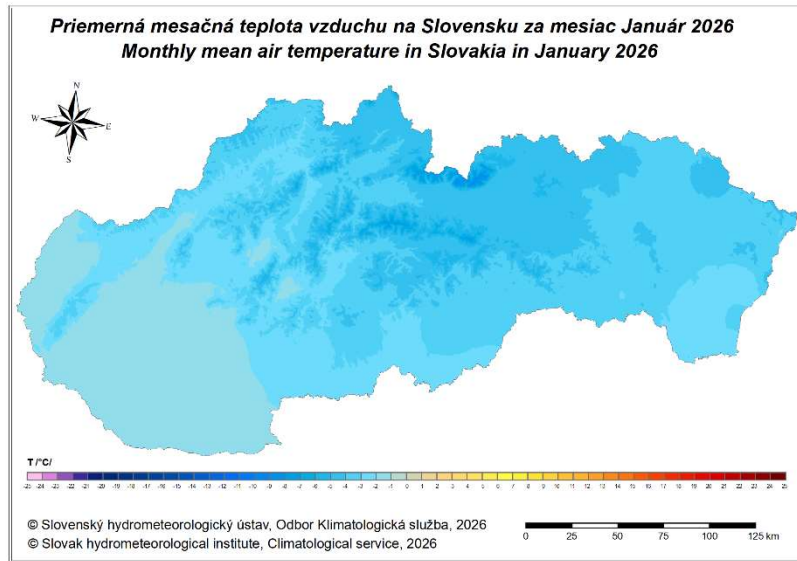
Kde $T(x)$ je „trendová“ funkcia $T(x) = \sum_{i=1}^m a_i f_i(x)$, s množinou lineárne nezávislých funkcií $f_i(x)$,

$R(\mathbf{x}, \mathbf{x}^{[j]})$ je generujúca (tzv. „radial basis“) funkcia, ktorej explicitný tvar závisí od voľby seminormu hladkosti $I(S)$ a a_i, λ_j sú koeficienty (Mitášová a kol., 1990)

Matematická formulácia regularizovaného splajnu s tenziou umožňuje pri interpolácií zahrnúť aj informácie o priestorovom rozložení doplňujúcej premennej, napr. pri interpolácii atmosférických zrážok a teploty vzduchu využiť informácie o topografii územia (Mitášová a kol., 1995). Tento typ modelovania bol prezentovaný v práci Mitášová a kol., (1995). Vychádza sa v ňom z prístupu publikovanom v práci Hutchinson, Bischof (1983), v ktorom sa pri modelovaní priestorového rozloženia d -rozmerného fenoménu $u = F(x_1, \dots, x_d)$ daného meranými diskrétnymi bodmi $(x_1^{[i]}, \dots, x_d^{[i]}, u^i) = (x^{[i]}, u^{[i]})$, $i = 1, \dots, N$ využíva informácia o priestorovej distribúcii doplnkového d -rozmerného fenoménu $z = G(x_1, \dots, x_d)$. Vplyv doplnkovej premennej je vyjadrený ako $d+1$ súradnica $x_{d+1}^{[i]} = cG(x^{[i]})$, kde c je tzv. škálovací faktor. Z bodov $x_{d+1}^{[i]}$ tvoriacich $d+1$ -variačnú funkciu $S^*(x^*)$ môžeme potom vyjadriť výslednú interpolačnú funkciu $S(x)$ ako $S(x) = S^*(x, cG(x))$ (Mitášová a kol., 1995).

Najlepšie výsledky dosahuje pri interpolácii veľmi hladkých povrchov znázorňujúcich napr. klimatické javy, keďže metóda splajnov využíva matematicky definované krivky, ktoré po častiach interpolujú jednotlivé časti povrchu, výsledný povrch má minimálnu krivosť.

Interpolačná metóda regularizovaný splajn s tenziou patrí k veľmi presným a flexibilným interpolačným metódam. Využíva sa pri modelovaní rôznych typov povrchov nielen z diskrétnych bodových meraní, ale aj zo zdigitalizovaných izočiari (Mitášová a kol., 1996). Významnou vlastnosťou tejto interpolačnej metódy je možnosť efektívneho modelovania javov funkciami troch premenných (Mitášová a kol., 1990). Výsledkom je:



Ďalším príkladom používania matematiky a štatistiky je homogenizácia údajov. Ide o proces odstraňovania nehomogenít (chýb, trendov alebo skokov) z údajových časových radov s cieľom zabezpečiť ich konzistentnosť a odstrániť vplyv iných ako faktorov.

1. STATISTICAL MODELLING

1.1 Additive Model (for example temperature)

Examined series

$$X_j(t) = C_j(t) + IH_j(t) + \varepsilon_j(t) \quad (j = 1, 2, \dots, N; t = 1, 2, \dots, n)$$

C : climate change; IH : inhomogeneity, ε : noise

1.2 Multiplicative Model (for example monthly or seasonal precipitation)

Examined series

$$X_j^*(t) = C_j^*(t) \cdot IH_j^*(t) \cdot \varepsilon_j^*(t) \quad (j = 1, 2, \dots, N; t = 1, 2, \dots, n)$$

C^* : climate change; IH^* : inhomogeneity, ε^* : noise

Logarithmization for Additive Model

$$X_j(t) = C_j(t) + IH_j(t) + \varepsilon_j(t) \quad (j = 1, 2, \dots, N; t = 1, 2, \dots, n)$$

where

$$X_j(t) = \ln X_j^*(t) \quad , \quad C_j(t) = \ln C_j^*(t) \quad ,$$

$$IH_j(t) = \ln IH_j^*(t) \quad , \quad \varepsilon_j(t) = \ln \varepsilon_j^*(t)$$

Original Series

$$X_{o,j}(t) = C_j(t) + IH_j(t) + \varepsilon_j(t) \quad (j = 1, 2, \dots, N; t = 1, 2, \dots, n)$$

C : climate change; IH : inhomogeneity, ε : noise

Estimated Inhomogeneity Series $\hat{IH}_j(t)$

$$X_{H,j}(t) = X_{o,j}(t) - \hat{IH}_j(t)$$

$$\text{Residual Inhomogeneity Series } \hat{IH}_{res,j}(t) = IH_j(t) - \hat{IH}_j(t)$$

Optimal Interpolation of Series

$$\text{Interpolation of Original Series: } \hat{X}_{o,j}(t) = w_0 + \sum_{i \in R_j} w_i \cdot X_{o,i}(t),$$

where R_j is the reference index set, $\sum_{i \in R_j} w_i = 1$ and

$$ERR = E \left((X_{o,j}(t) - \hat{X}_{o,j}(t))^2 \right) = \text{minimum.}$$

$$\text{Interpolation of Homogenized Series: } \hat{X}_{H,j}(t) = w_0 + \sum_{i \in R_j} w_i \cdot X_{H,i}(t),$$

where $\sum_{i \in R_j} w_i = 1$ and $ERR = E \left((X_{H,j}(t) - \hat{X}_{H,j}(t))^2 \right) = \text{minimum.}$

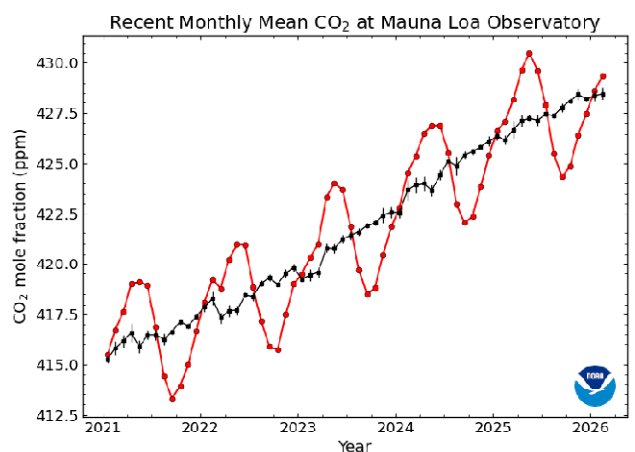
Regression of $\hat{IH}_j(t)$ by Meta Data (probable dates of break points)

$$\text{Meta Data: } \Delta_j = \{ 1 \leq D_1^{(j)} < D_2^{(j)} < \dots < D_{K_j}^{(j)} < n \}$$

$$\hat{IH}_{reg,j}(t) = \begin{cases} \left(\hat{IH}_j \right)_A [1, D_1^{(j)}] & , \text{if } 1 \leq t \leq D_1^{(j)} \\ \left(\hat{IH}_j \right)_B (D_1^{(j)}, D_2^{(j)}] & , \text{if } D_1^{(j)} < t \leq D_2^{(j)} \quad (k = 2, \dots, K_j) \\ \left(\hat{IH}_j \right)_A (D_{K_j}^{(j)}, n] & , \text{if } D_{K_j}^{(j)} < t \leq n \end{cases}$$

$\left(\hat{IH}_j \right)_A(a, b)$: arithmetic mean of $\hat{IH}_j(t)$ above the interval (a, b) .

Pri meraní koncentrácií oxidu uhličitého tiež potrebujeme matematické znalosti, aby sme vedeli graficky vyčísliť hodnoty CO₂ v atmosfére. Nasledujúci graf ukazuje mesačný priemer oxidu uhličitého meraný v Mauna Loa Observatory na Havaji. Údaje o oxide uhličitom na Maune Loa predstavujú najdlhší záznam priamych meraní CO₂ v atmosfére. Založil ich C. David Keeling zo Scrippssovhovho oceánografického inštitútu v marci 1958 v zariadení Národného úradu pre oceán a atmosféru (NOAA) [Keeling, 1976]. NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) založila vlastné merania v máji 1974 a prebiehali paralelne s tými, ktoré vykonal Scripps odvtedy [Thoning, 1989].



Klimatické scenáre:

Modelovanie klímy s využitím numerických predpovedných modelov

Klimatické modely predstavujú jednu z možností ako študovať stav globálneho alebo regionálneho klimatického systému, jeho priestorovú a časovú premenlivosť, ako aj faktory, ktoré ovplyvňujú jeho dlhodobé zmeny. Predstavujú číselnú reprezentáciu komplexného klimatického systému. Momentálne najvýznamnejšou výskumnou iniciatívou v oblasti globálneho alebo regionálneho modelovania je projekt CORDEX, časť projektu zaoberajúca sa **oblasťou Európy sa nazýva EURO-CORDEX** (www.euro-cordex.net). Celkovo bolo pri modelovaní klímy pre územie Slovenska využitých 15 modelových simulácií EURO-CORDEXu s priestorovým rozlíšením 12 km. Simulácie boli analyzované v dvoch častiach. Prvá časť zahŕňala historickú simuláciu, ktorá slúži pre overenie modelovania budúcej klímy, resp. pre identifikáciu akýchkoľvek potenciálnych chýb v sledovanom období. Druhá časť simulovala scenár, v ktorom sa zohľadňuje trend budúceho vývoja koncentrácií skleníkových plynov podľa použitého emisného scenára. Pre účely prípravy novej adaptačnej stratégie boli použité scenáre RCP 4.5 stabilizačný – počíta s nárastom teploty vzduchu v globálnom priemere o +2 °C do roku 2050, následne by sa mala teplota vzduchu a koncentrácia emisií stabilizovať implementovaním klimatických politík a stratégií jednotlivých krajín a RCP 8.5

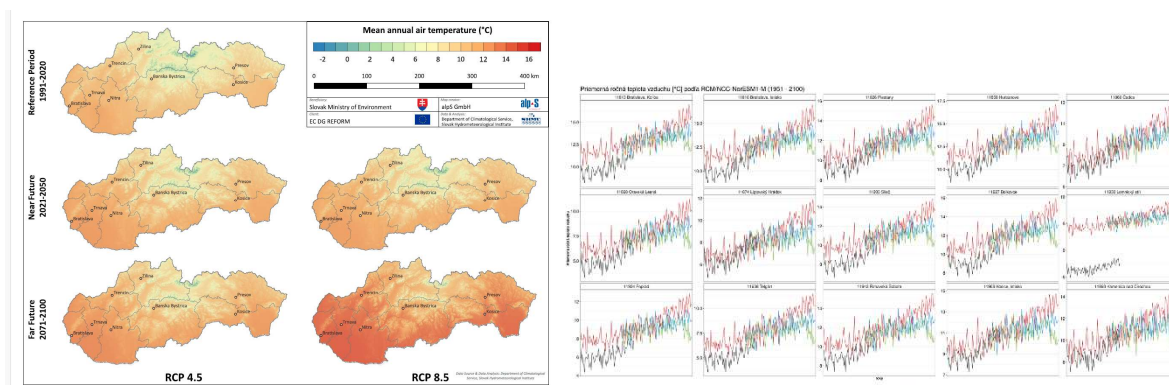
pesimistický alebo business as usual – nakoľko nepočíta so žiadnou redukciou emisií skleníkových plynov. Ide o hypotetický scenár, kde by sa ľudstvo držalo línie neustáleho pokroku a rastu ekonomík bez ohľadu na životné prostredie. Tieto scenáre považujeme a priori za najrelevantnejšie.

Interpolácia údajov a grafické výstupy

Na zhodnotenie úspešnosti simulácií modelov pre územie Slovenska v nedávnej minulosti (1951–2005, resp. 1991–2005) boli použité denné údaje zo staničnej siete Slovenského hydrometeorologického ústavu (SHMÚ), národnej meteorologickej služby Slovenskej republiky. Celkovo bolo v rámci obdobia 1991 – 2005 k dispozícii 75 časových radov pre teplotu vzduchu, globálne žiarenie, rýchlosť vetra a relatívnu vlhkosť. Pre atmosférické zrážky bolo k dispozícii v rovnakom časovom období 500 zrážkomerných staníc s dennými úhrnmi zrážok.

Pre každý jeden bod predstavujúci meteorologickú stanicu bol vytvorený časový rad denných údajov v rámci obdobia rokov 1981 – 2100 (pre obdobie po roku 2006 boli následne počítané aj priemery vybraných meteorologických prvkov pre 30-ročné obdobia, napr. 2021 – 2050 zacentrované na rok 2035 a obdobie 2071 – 2100 zacentrované na rok 2085).

Na vizualizáciu hodnôt jednotlivých prvkov pre celé územie Slovenska bolo potrebné zvoliť optimálny spôsob digitálnej reprezentácie. Pre tento účel bola vybraná interpolačná metóda, ktorá výrazne spresňuje výsledné hodnoty, keďže analyzované meteorologické prvky a klimatické indikátory výrazne súvisia s rastom nadmorskej výšky. Výsledné vypočítané gridové vrstvy boli exportované v rastrovom formáte.



Zdroje:

www.shmu.sk

Mitas L and Mitasova H 1988 General variational approach to the interpolation problem. Computers and Mathematics with Applications 16: 983-92

Mitas L and Mitasova h 1999 Spatial Interpolation. In Longley P A, Goodchild M F, Maguire D J and Rhind D W (eds) Geographical Information Principles, Techniques, Management and Applications. New York, Wiley: 481-92

[Trendy v CO2 - Globálne monitorovacie laboratórium NOAA](#)

<https://www.klima-adapt.sk/scenare-buducej-klimy>