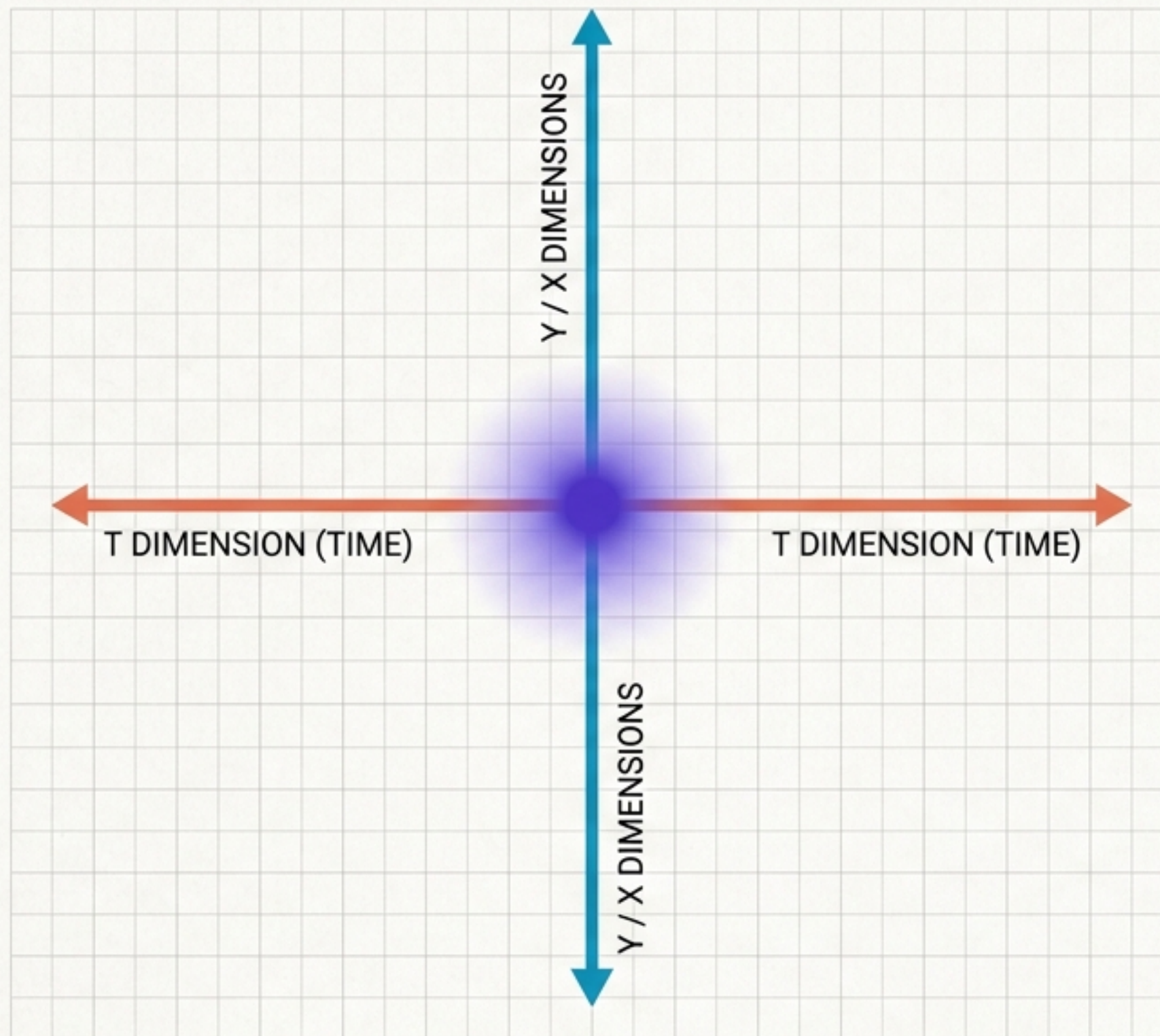
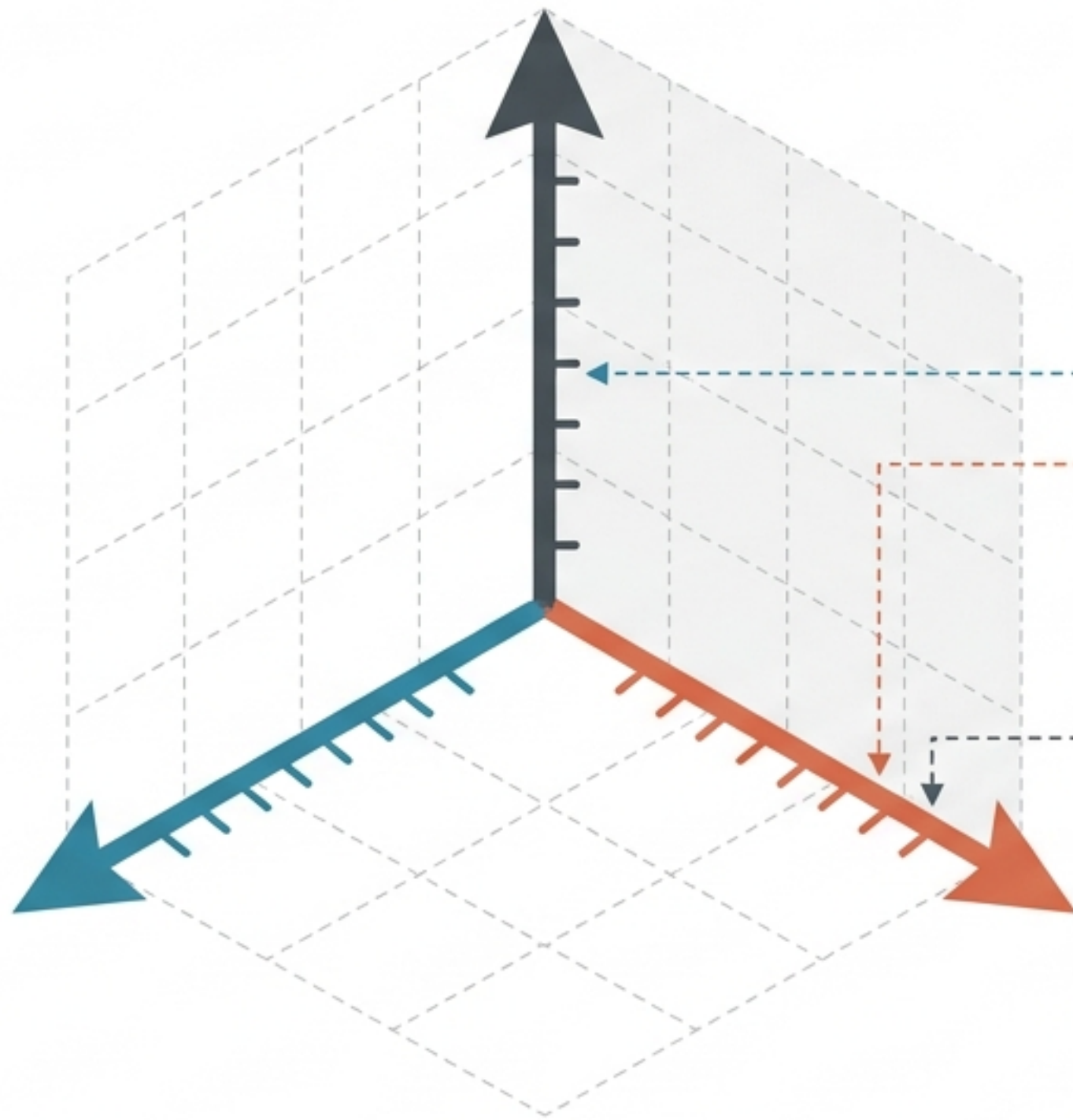




Reprezentacja Danych Czasoprzestrzennych w R

Kompletny przewodnik po architekturze, analizie i wizualizacji z wykorzystaniem pakietu spacetime

Anatomia Obserwacji Czasoprzestrzennej



Gdzie? (Lokalizacja)

Czy to pojedynczy punkt, linia, poligon, czy siatka rastrowa? W języku R reprezentowane przez rygorystyczne klasy z pakietu **sp** (np. **SpatialPoints**).

Kiedy? (Czas)

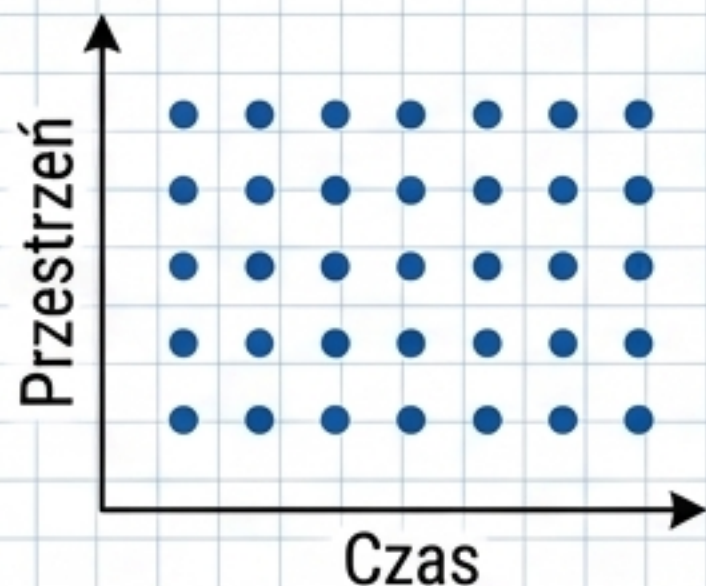
Czy to konkretny moment (instancja), czy przedział czasowy (interwał)? Oznaczone znacznikami czasu.

Co? (Atrybut)

Co właściwie mierzymy? Może to być zmienna ciągła (np. temperatura, zanieczyszczenie) lub zdarzenie (np. wypadek, zachorowanie).

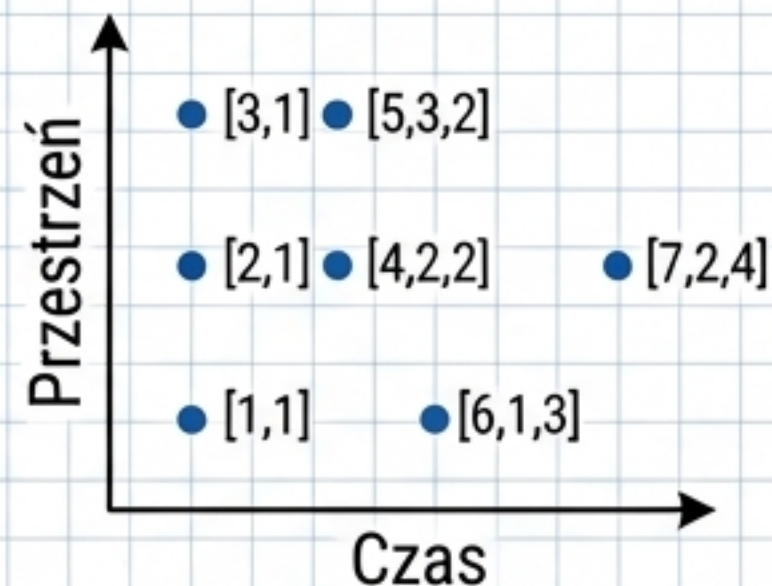
Architektura Danych: 4 Główne Układy (Layouts)

STF (Pełna siatka / Full Grid)



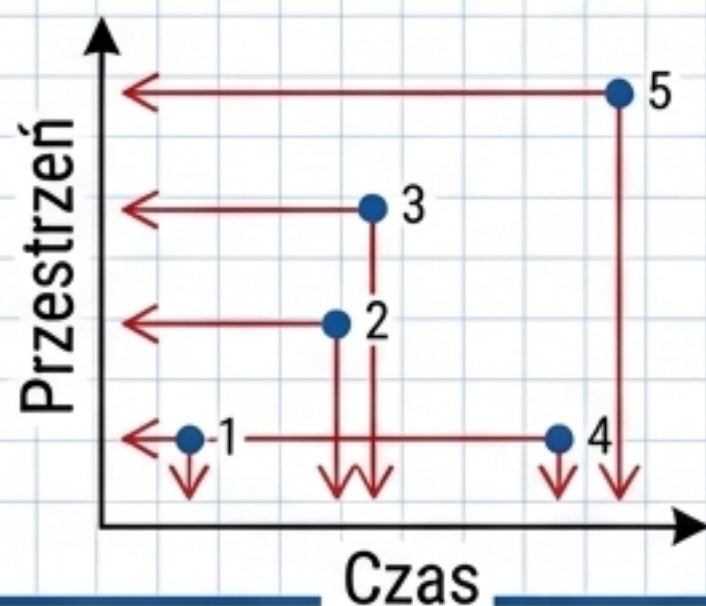
Idealnie regularna siatka punktów. Każdy obiekt przestrzenny ma obserwację w każdym punkcie w czasie.

STS (Rzadka siatka / Sparse Grid)



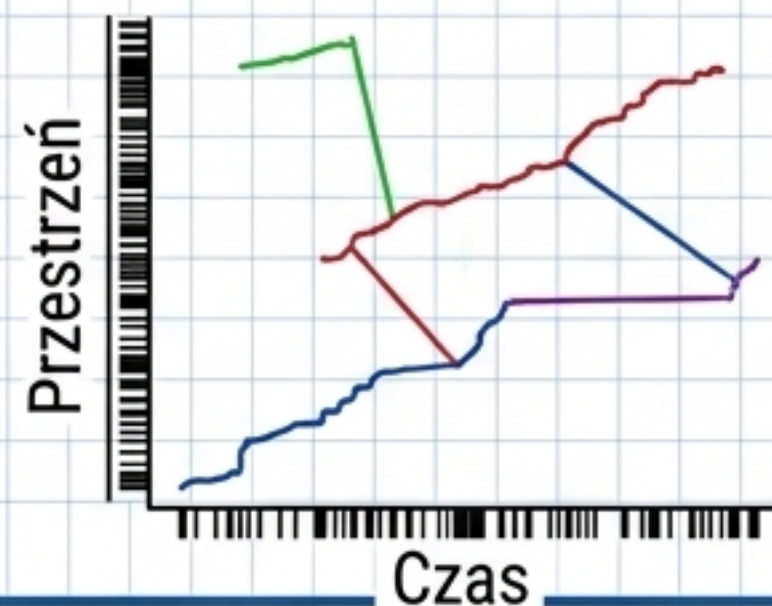
Struktura regularna, ale zapisujemy tylko wartości niepuste (non-NA). Kluczowe dla oszczędności pamięci.

STI (Nieregularny / Irregular)



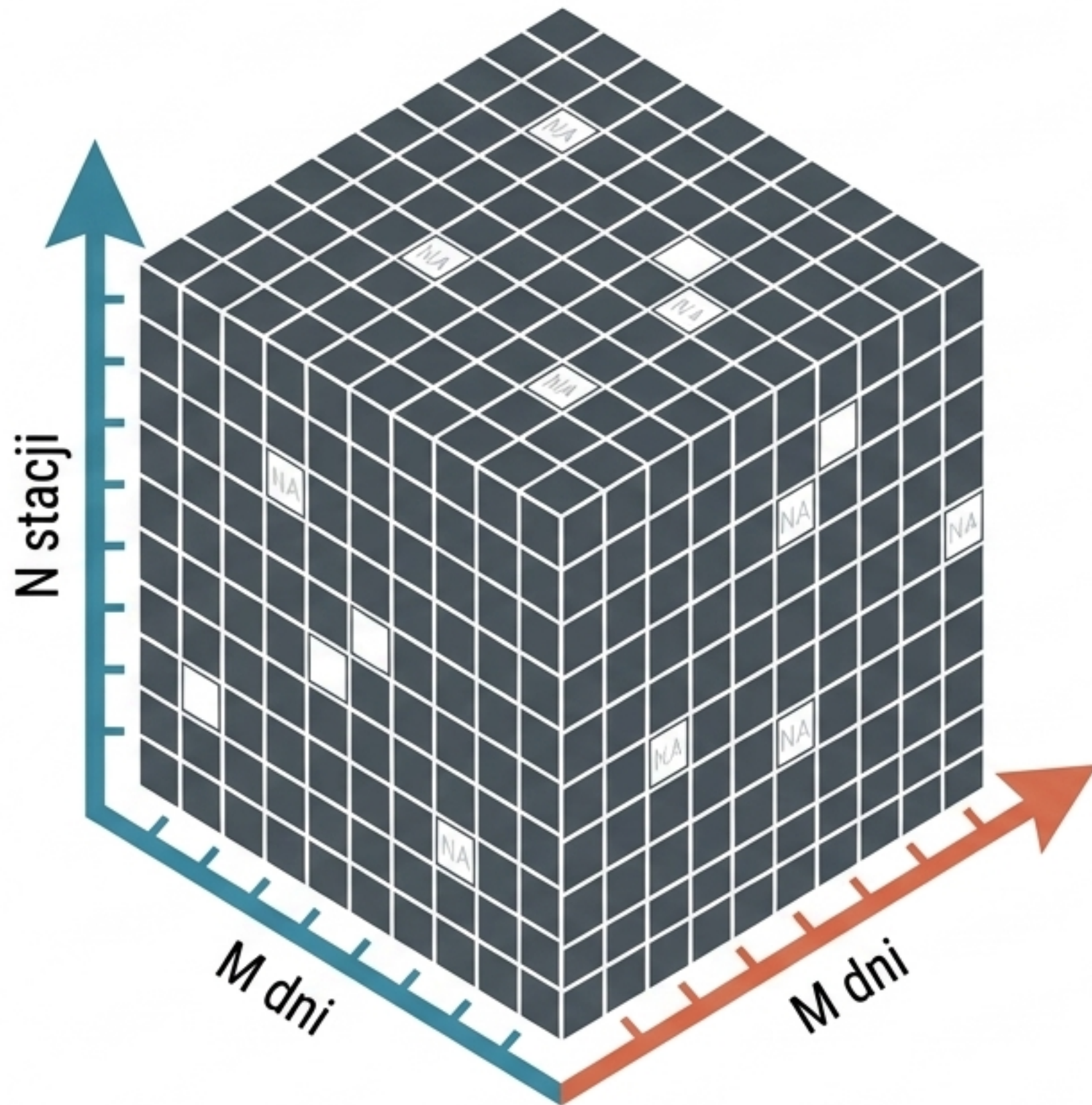
Brak stałego uporządkowania. Zdarzenia losowe i punktowe (np. ogniska pożarów, pojedyncze wypadki).

STT (Trajektorie / Trajectory)



Punkty połączone liniami obrazującymi ruch obiektu w czasie (np. trasy zwierząt, pojazdów).

Zrozumieć Układ Regularny (STF)



Mnożnik Wymiarów

Dla n stałych lokalizacji i m punktów w czasie otrzymujemy dokładnie $n \times m$ unikalnych obserwacji.

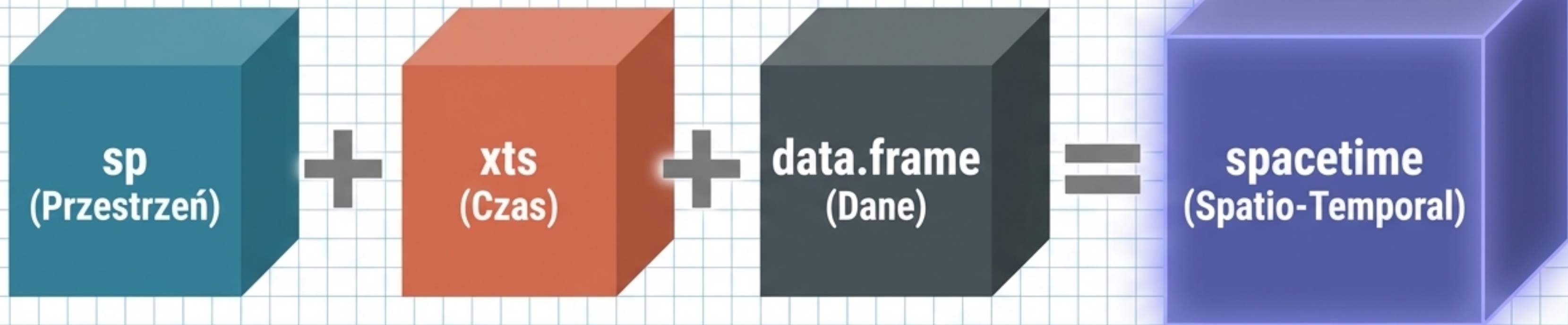
Cykliczność w pamięci

Dane są ułożone tak, że najpierw zmienia się przestrzeń (iteracja po wszystkich stacjach dla pierwszego momentu w czasie, potem dla drugiego itd.).

Luki w danych

Jeśli czujnik milczy w danym momencie, w układzie STF system automatycznie wpisuje NA (wartość brakującą), aby zachować idealną strukturę siatki. Standard dla monitoringu jakości powietrza.

spacetime: Most między przestrzenią a czasem



Pakiet sp:

Zarządza przestrzenią.
Dostarcza obiekty
z referencją przestrzenną
(układ współrzędnych,
Bounding Box).

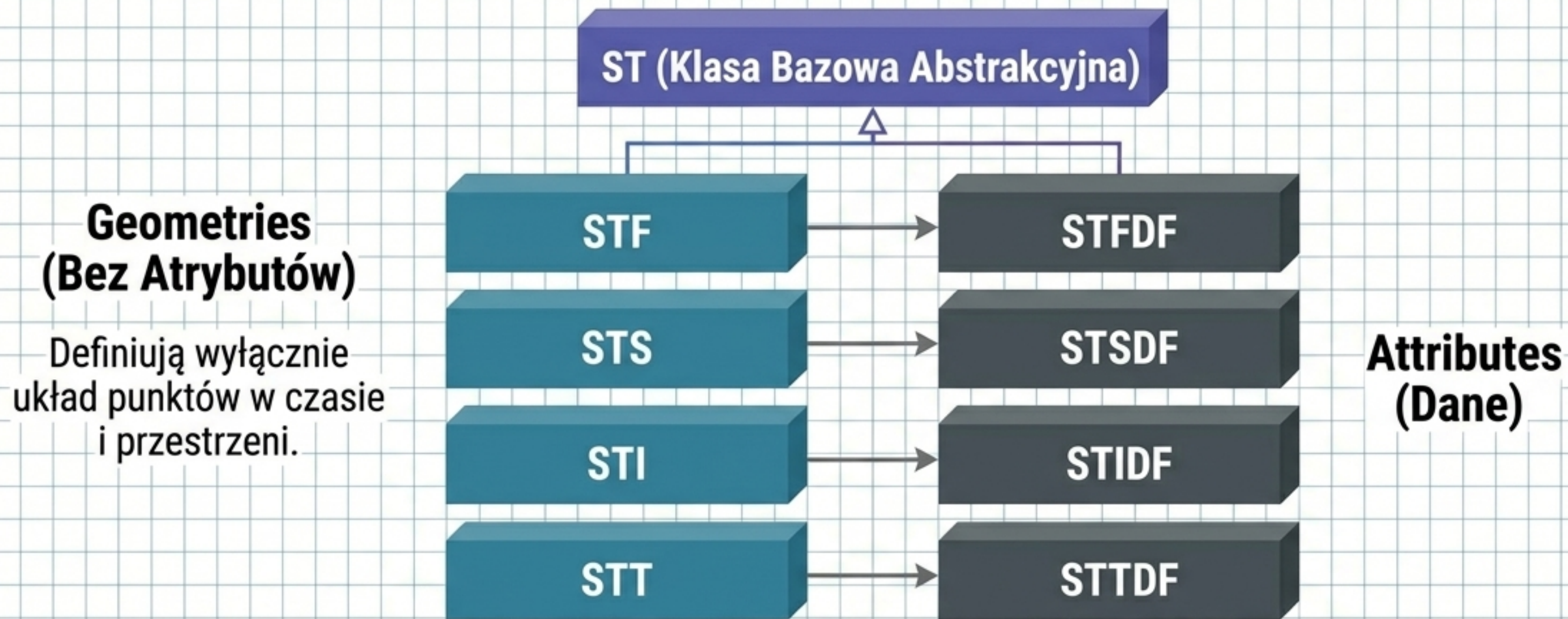
Pakiet xts / zoo:

Zarządza czasem.
Umożliwia zaawansowane
operacje na seriach
czasowych (zgodnie ze
standardem ISO 8601).

Pakiet spacetime:

Zamiast wymyślać koło na nowo,
synchronizuje te dwa światy.
Dba o to, by zapytania
analityczne uwzględniały oba
wymiary jednocześnie, nie tracąc
przy tym danych atrybutowych.

System Klas Obiektów Czasoprzestrzennych (Klasy S4)



Pro-Tip: Złota zasada R

"DF" na końcu nazwy klasy zawsze oznacza obiekt zawierający rzeczywiste, mierzalne dane (slot @data).

Przybornik Analityka: Kluczowe Metody



Konstrukcja: stConstruct

Tworzy obiekty
czasoprzestrzenne
z tabel (data.frame)
lub plików.



Ekstrakcja: [, [[, \$

Chirurgiczna
selekcja
przestrzeni, czasu i
i zmiennych.



Agregacja: aggregate, over

Zwijanie danych
w czasie lub
przestrzeni oraz
nakładanie warstw.



Wizualizacja: stplot

Generowanie
złożonych rzutów
i map
czasoprzestrzenn-
ych.



Brakujące Dane: na.locf, na.spline

Inteligentna
interpolacja luk
(NA) w seriach
czasowych.

Praktyka: Tworzenie obiektu STFDF

```
terminal - R

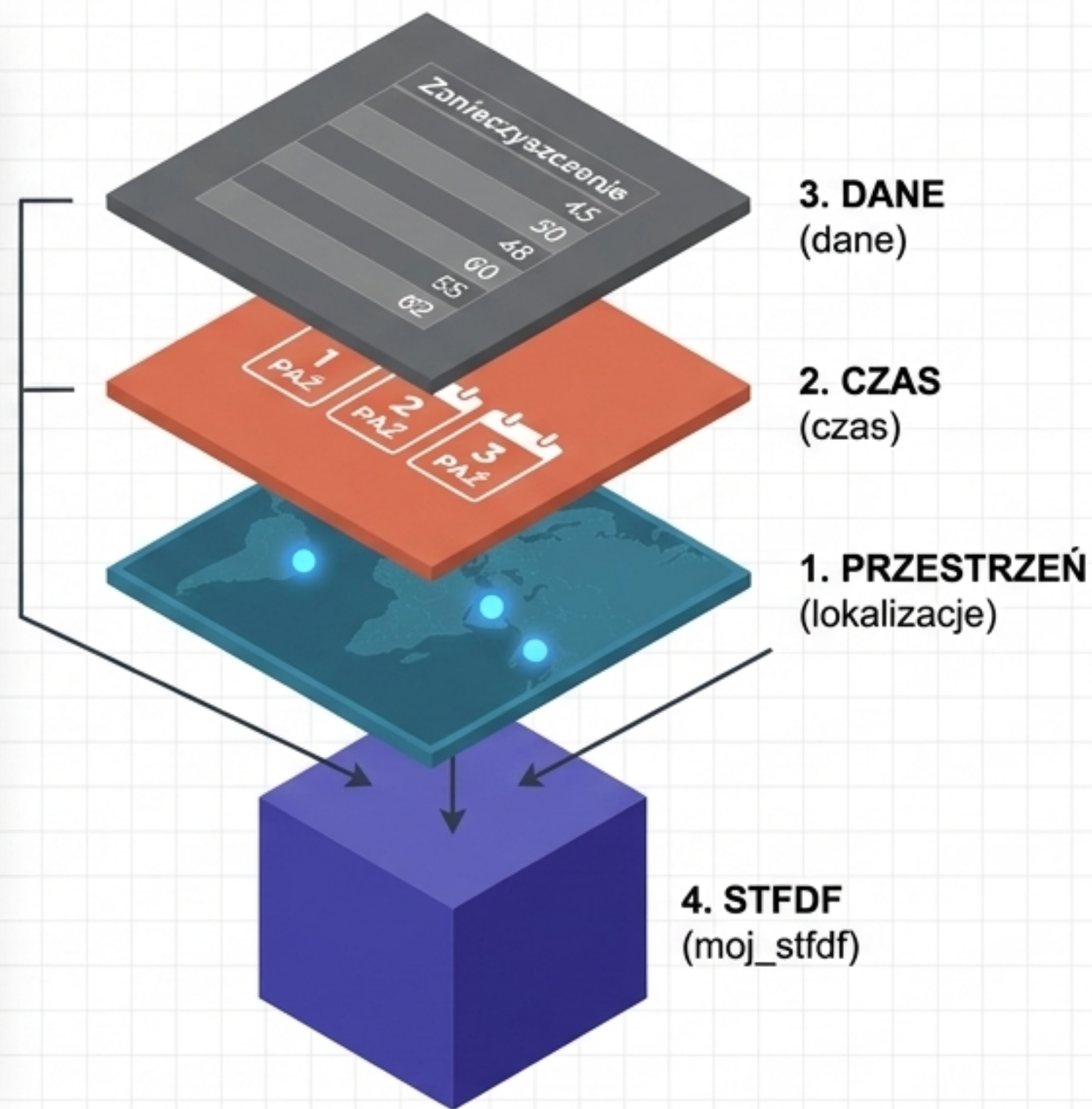
library(sp); library(xts); library(spacetime)

# 1. PRZESTRZEŃ (Niebieski): 2 stacje pomiarowe
lokalizacje <- SpatialPoints(matrix(c(19.0, 50.2,
                                     21.0, 52.2), ncol=2, byrow=TRUE))

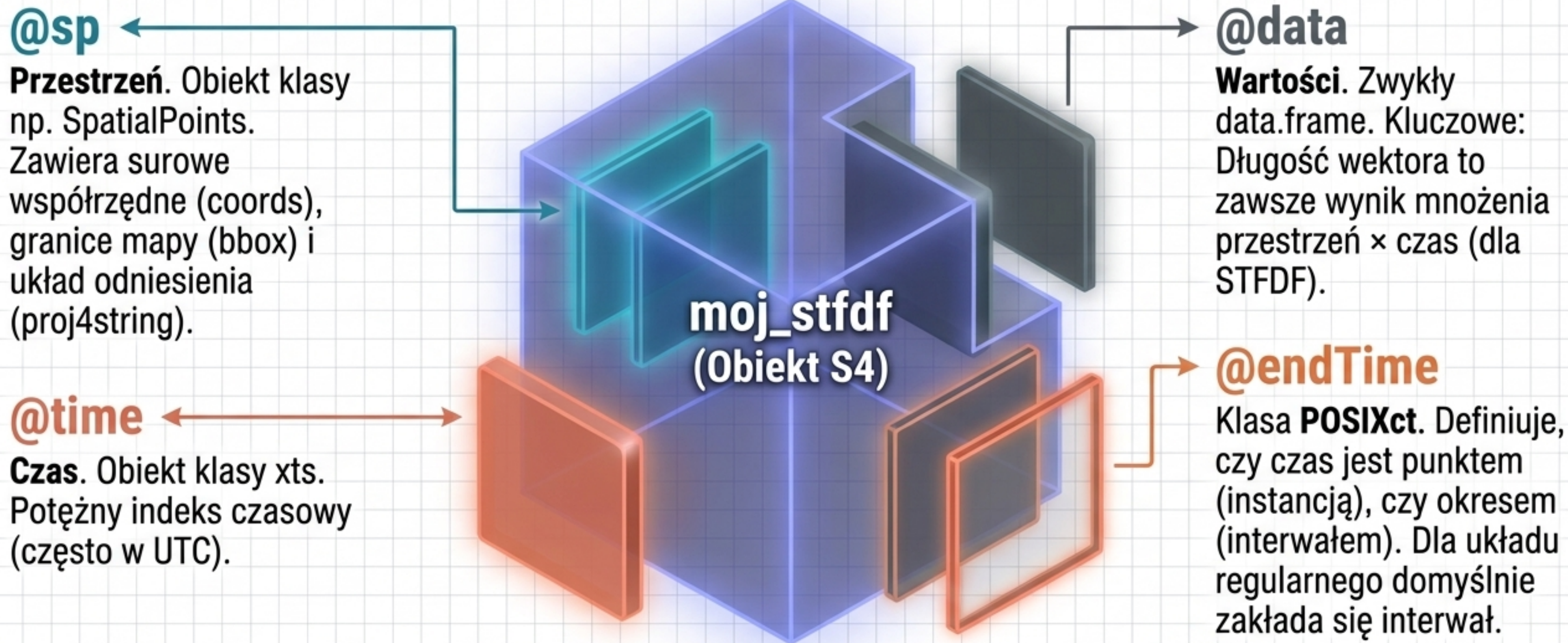
# 2. CZAS (Pomarańczowy): 3 dni pomiarów
daty <- as.Date(c("2023-10-01", "2023-10-02", "2023-10-03"))
czas <- xts(1:3, daty)

# 3. DANE (Szary): 6 pomiarów (2 stacje x 3 dni)
dane <- data.frame(Zanieczyszczenie = c(45, 50, 48, 60, 55, 62))

# 4. KONSTRUKCJA (Fioletowy)
moj_stfdf <- STFDF(sp = lokalizacje, time = czas, data = dane)
```



Anatomia wewnętrzna obiektu (Slots)



Eksploracja danych w konsoli

Wymiary

```
terminal - R  
> dim(moj_stfdf)  
space time  
2 3
```

`dim()` dla obiektu przestrzenno-czasowego ignoruje kolumny atrybutów. Zawsze zwraca liczbę unikalnych lokalizacji (space) oraz liczbę punktów w czasie (time).

Podsumowanie

```
terminal - R  
> summary(moj_stfdf)  
Object of class STFDF  
[[Spatial:]]  
...  
[[Temporal:]]  
...  
[[Data attributes:]]  
...
```

Wywołanie `summary()` jest inteligentne. Rozbija obiekt na 3 dedykowane sekcje:

1. `[[Spatial:]]` (Bounding Box, układ współrzędnych).
2. `[[Temporal:]]` (Statystyki dla indeksu czasowego - min, max).
3. `[[Data attributes:]]` (Standardowe statystyki opisowe dla każdej mierzonej zmiennej).

Chirurgiczna precyzja: Operator [

[obiekt [przestrzeń, czas, zmienna]

Tradycyjny **data.frame** pozwala na wywołanie [wiersze, kolumny].
Obiekty STFDF wprowadzają wektor trójwymiarowy!

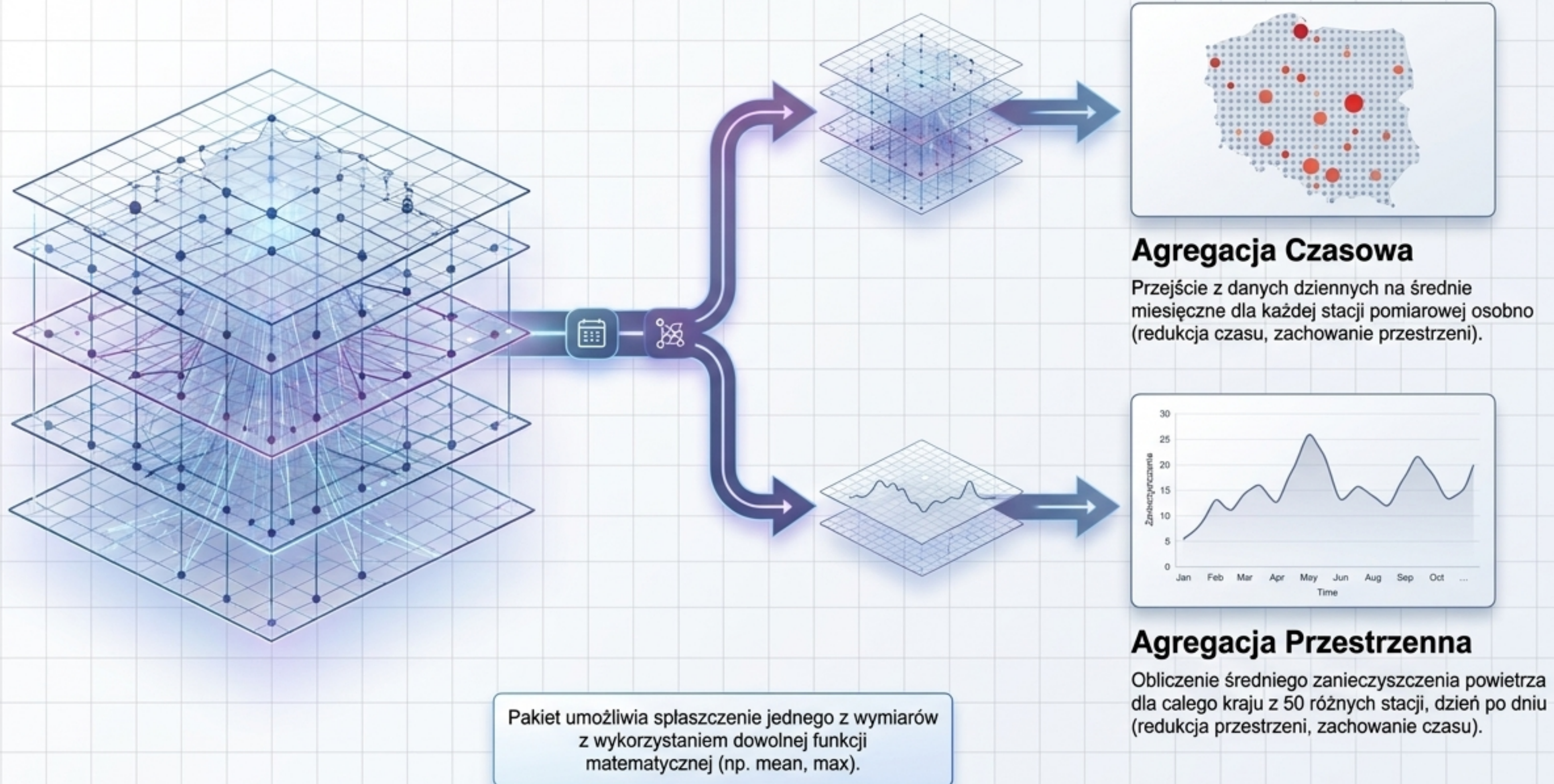
```
terminal - R  
> moj_stfdf[, "2023-10-01::2023-10-02"]
```

Filtrowanie samego czasu (Standard ISO 8601). Wybiera dane dla wszystkich stacji i wszystkich zmiennych, ale tylko dla określonego zakresu dni (wspierane przez pakiet xts).

```
terminal - R  
> moj_stfdf[1, "2023-10-01", "Zanieczyszczenie"]
```

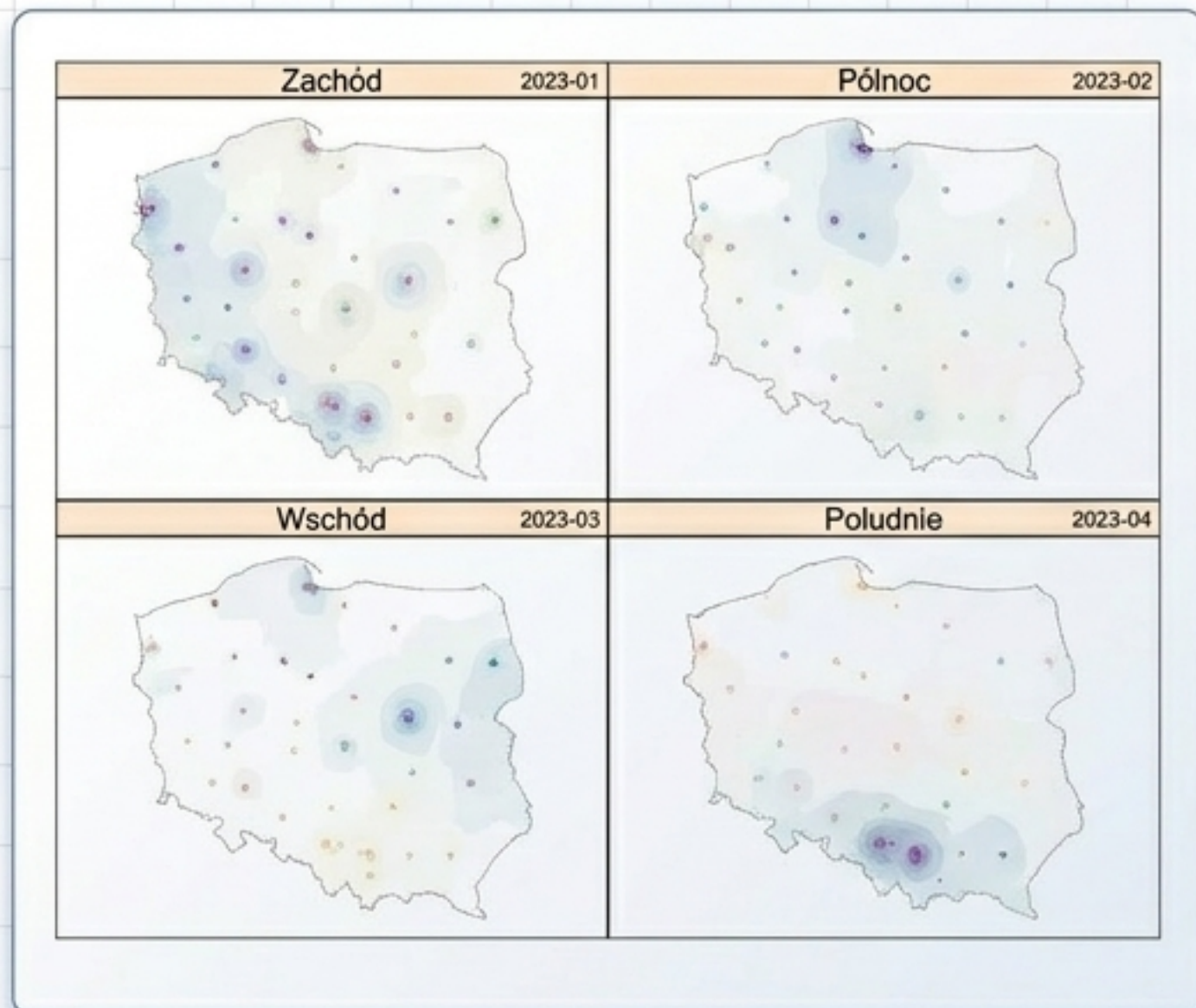
Pełne filtrowanie (Przestrzeń + Czas + Zmienna). Wybiera stację nr 1, dla jednego konkretnego dnia, zwracając wyłącznie jedną kolumnę.

Zwijanie wymiarów: Funkcja aggregate()

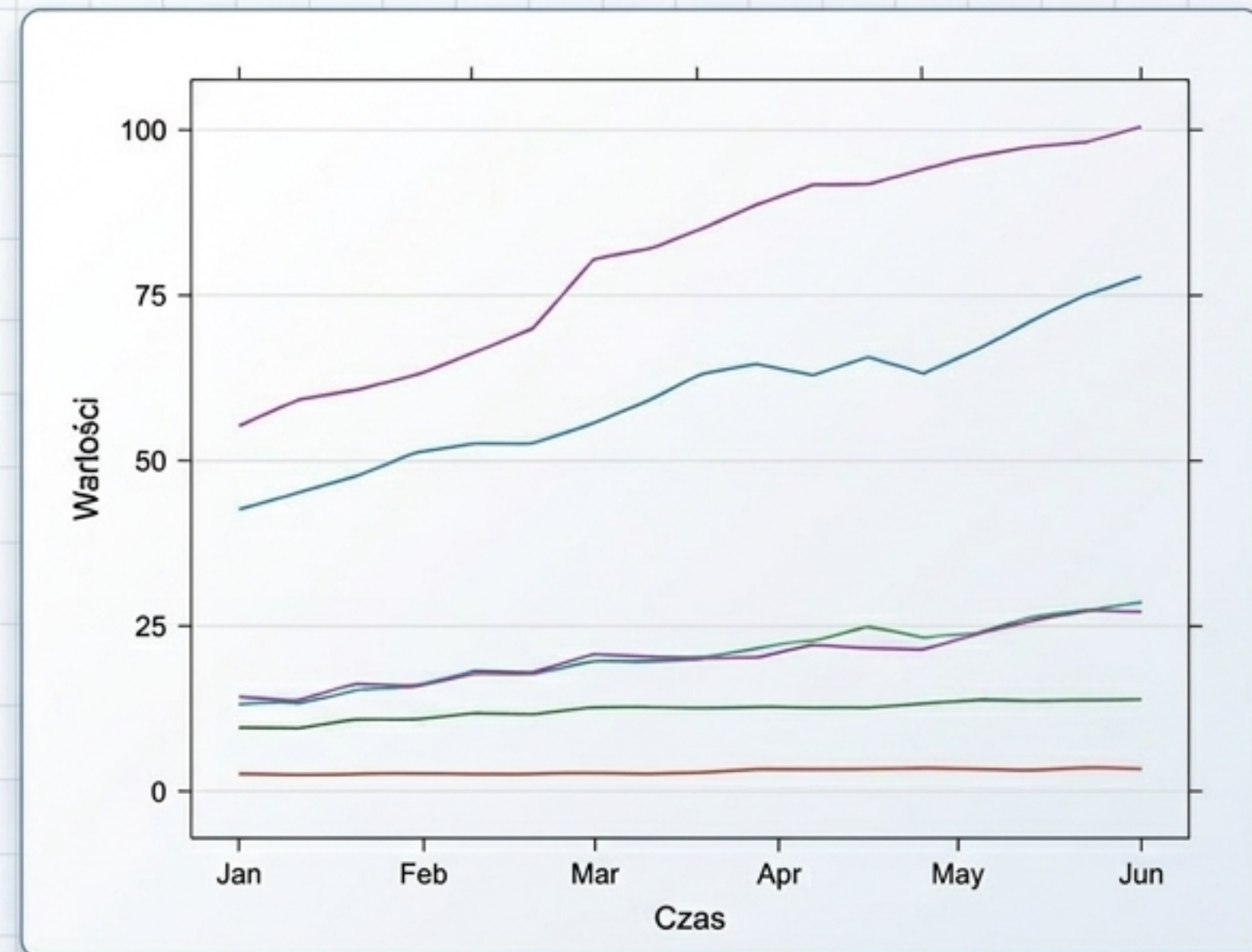


Wielowymiarowa Wizualizacja: stplot()

Funkcja stplot to wyspecjalizowana nakładka bazująca na bibliotece lattice. Automatycznie radzi sobie z wyzwaniem pokazania 3 wymiarów na płaskim ekranie poprzez argument mode.

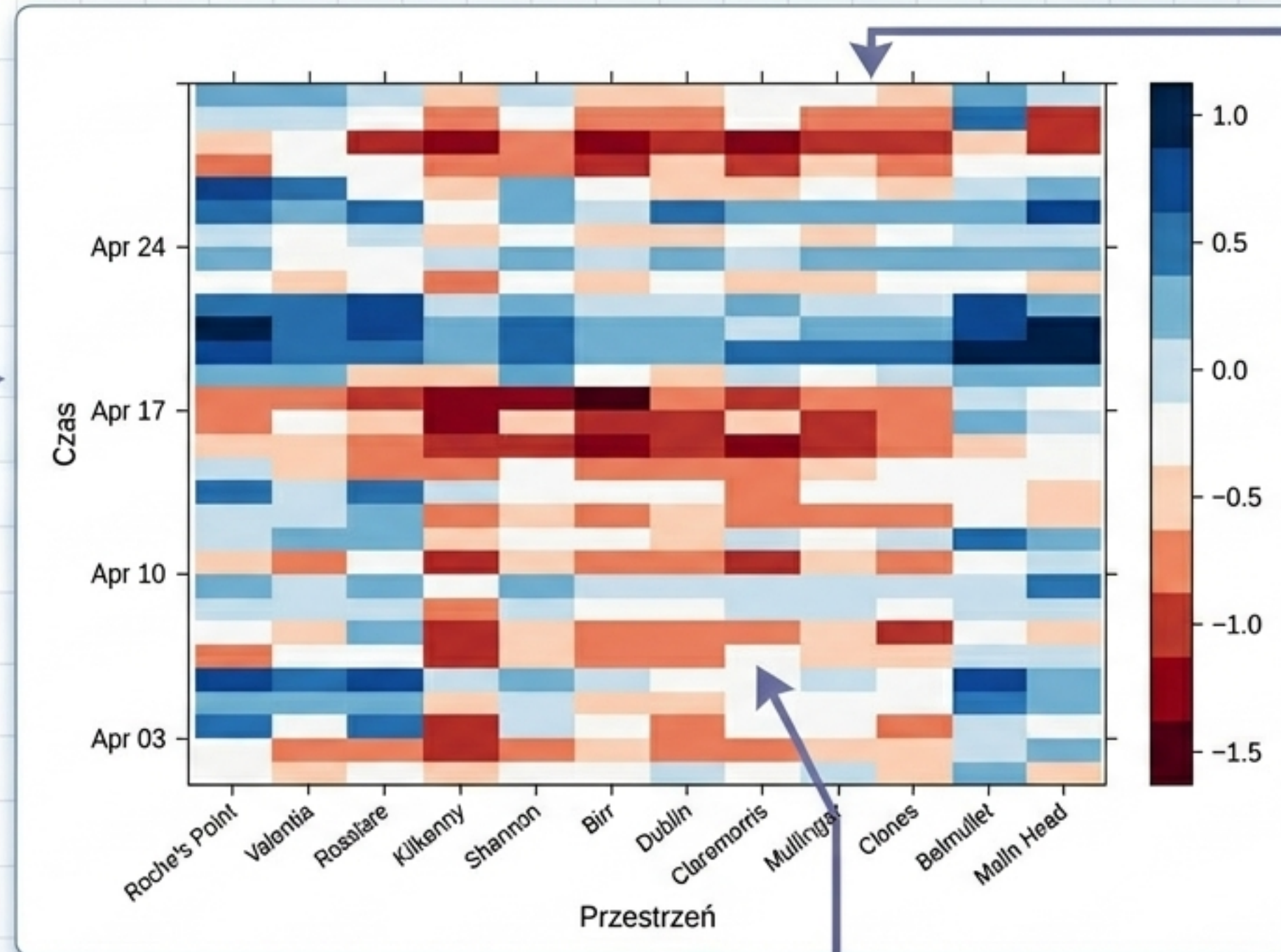


mode="xy" (Domyślny - Mapy kafelkowe). Renderuje serię małych map (Small Multiples). Każdy kafel to jedna klatka w czasie z narysowaną mapą przestrzeni.



mode="ts" (Serie czasowe). Oś X to czas, Oś Y to wartości zmiennej. Różne stacje pomiarowe stają się różnymi liniami na wykresie.

Patrząc przez czasoprzestrzeń: Diagram Hovmöllera



Ponieważ ekran komputera ma tylko dwa wymiary, jedna oś (Y) zostaje zarezerwowana na **Czas**, a druga (X) to spłaszczona **Przestrzeń** (np. identyfikatory stacji lub ułożenie stacji z zachodu na wschód).

Jak to działa?
Wywoływane komendą
`stplot(..., mode="xt")`.

Kolor na mapie ciepła
(Heatmap) reprezentuje
wartość Atrybutu.

Dlaczego to jest genialne? Pozwala natychmiast wychwycić anomalie i fale – np. falę zanieczyszczeń przesuwaną się wzdłuż osi przestrzennej z biegiem czasu.

Ekosystem spacetime w pigułce



Golden Rule: **1. Trójdzielna Architektura**

System S4 genialnie oddziela rygor geometrii (sp), rygor czasu (xts) i właściwe dane (data.frame).

Golden Rule: **2. Układ ma znaczenie**

Wybór między pełną siatką (STF) a rzadką (STS) decyduje o zużyciu pamięci RAM komputera.

Golden Rule: **3. Brak Re-inwencji**

spacetime pozwala pisać krótki, zwięzły kod. Cała złożoność integracji czasu i przestrzeni jest bezpiecznie ukryta pod maską.