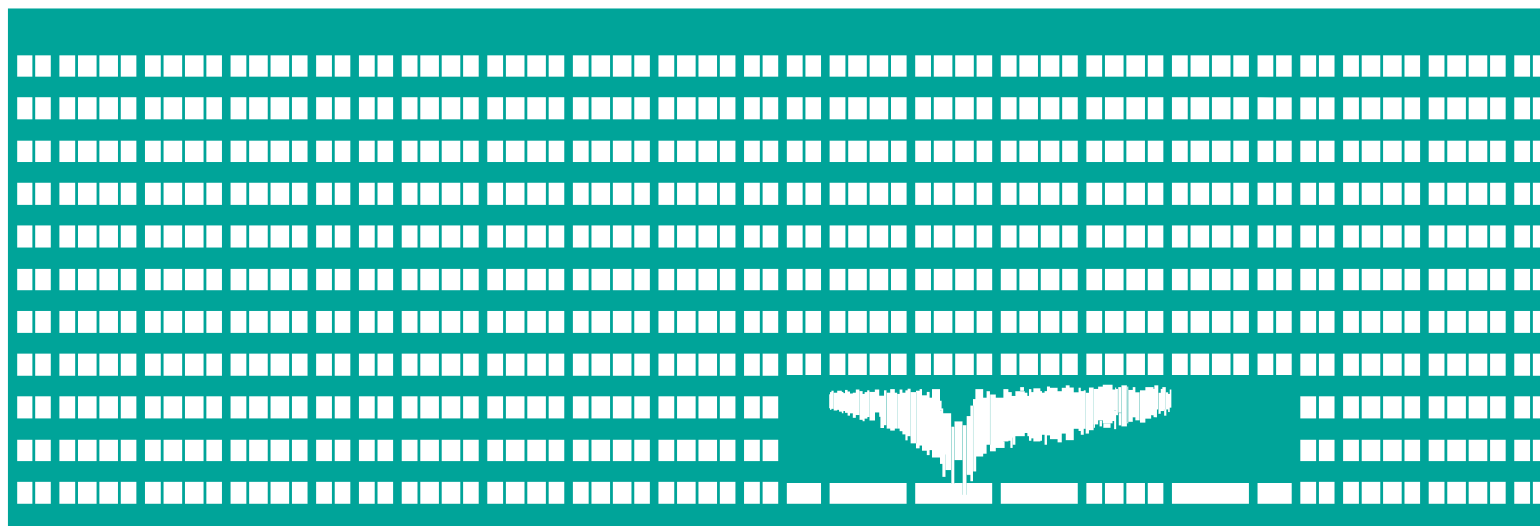


VŠB TECHNICKÁ
UNIVERZITA
OSTRAVA

VSB TECHNICAL
UNIVERSITY
OF OSTRAVA



www.vsb.cz

Základy geoinformatiky 5

Prostor, určování polohy v prostoru

Michal Kačmařík

A924, tel.: 5512

<http://gis.vsb.cz>

<https://gis.vsb.cz/pracoviste/lide/kacmarik/>

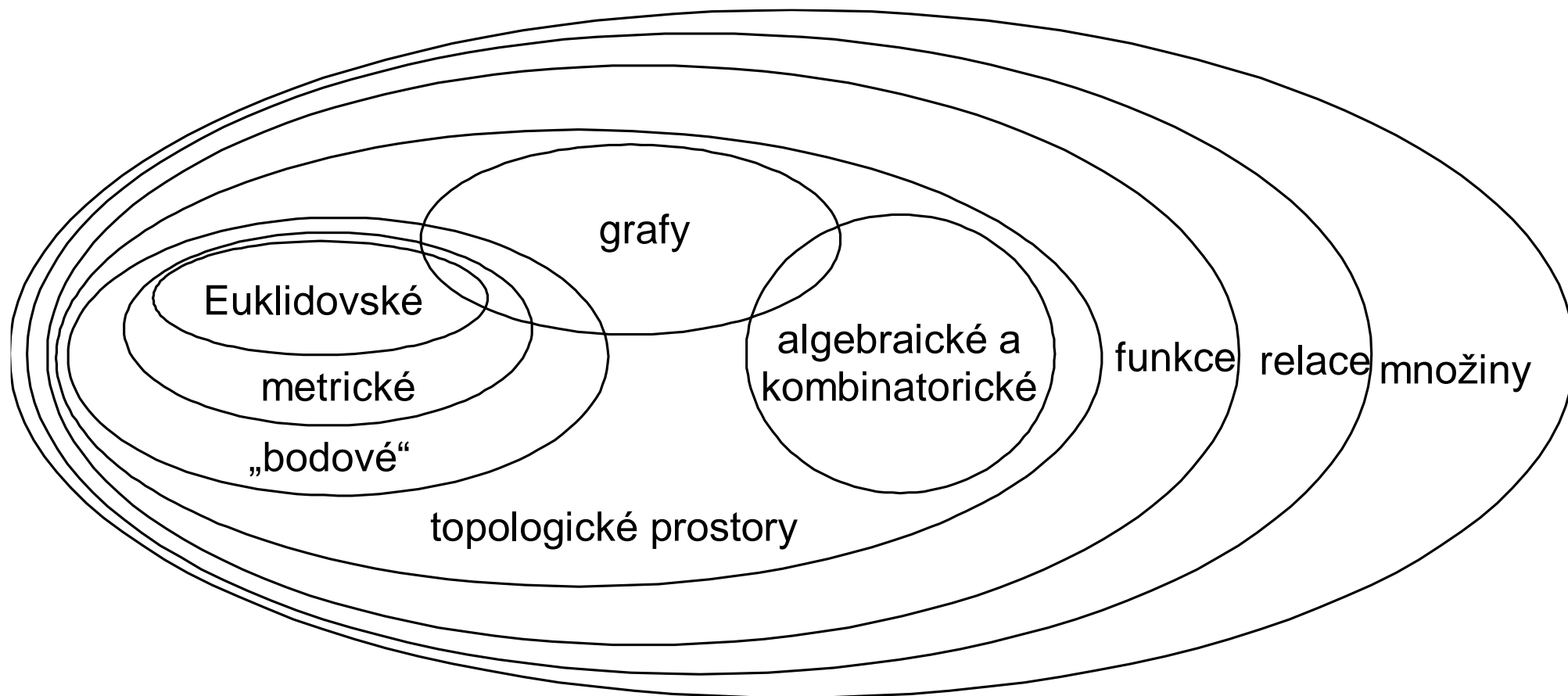
E-mail: michal.kacmarik@vsb.cz

Osnova přednášky

- Prostor
- Koncepce prostoru
- Topologický prostor
- Metrické prostory
- Referenční rámec, referenční systém, souřadnicový systém
- Přímé a nepřímé určování polohy
- Kartografická zobrazení
- Prostorové referenční systémy používané v ČR

- Definovat pojem prostor je velice obtížné
- Pojetí prostoru je velice široké
 - od reálného fyzikálního prostoru
 - po abstraktní prostor na straně druhé
- Člověk pracuje s různými pojetími prostoru a běžně a bez obtíží mezi nimi přechází

Matematické prostory



Topologický prostor

Topologie je matematická disciplína, která studuje vzájemné prostorové vztahy geometrických objektů.

Někdy se jí říká geometrie bez souřadnic.

Pracuje s tzv. **topologickým prostorem**.

Prostorové vztahy geoprvků

bod leží	<ul style="list-style-type: none">▪ na koncovém bodu linie (uzlu) – koincidence▪ na hranici polygonu▪ uvnitř polygonu▪ vně polygonu
linie	<ul style="list-style-type: none">▪ nekříží sebe sama▪ dotýká se polygonu▪ protíná polygon
polygon je	<ul style="list-style-type: none">▪ jednoduchý / komplexní
dva polygony	<ul style="list-style-type: none">▪ se dotýkají▪ se protínají (překrývají)▪ jsou disjunktní

Tyto vztahy se vyhodnocují pomocí **topologických operací**, které pracují v topologickém prostoru a nevyžadují znalost souřadnic geoprvků. Jedná se například o zjišťování konektivity, sousednosti, souvislosti apod.

Pro ilustraci lze uvést i příklady netopologických operací:

- měření/počítání vzdáleností,
- azimut z jednoho bodu k druhému,
- plocha polygonu,
- apod.

Pro tyto operace je typické, že se opírají o znalost souřadnic geoprvků a nepracují proto v topologickém prostoru, nýbrž zpravidla v prostoru Euklidovském.

- Mají definovanou tzv. **metriku**.
- Ta splňuje následující kritéria:
 - $d(A,B) \geq 0$ a $d(A,B) = 0$ tehdy a jen tehdy, je-li $A = B$,
 - $d(A,B) = d(B,A)$ (podmínka symetrie),
 - $d(A,B) \leq d(A,C) + d(C,B)$ (podmínka trojúhelníkové nerovnosti).

Nejčastěji se používají dvě metriky:

- **Euklidovská**, určená pro měření vzdáleností v prostorech s kontinuálními souřadnicovými systémy,
- **Manhattanovská**, určená pro měření vzdáleností v prostorech s diskrétními souřadnicovými systémy a v prostorech, kde je možné se pohybovat pouze podél dvou navzájem kolmých sítí rovnoběžek.

Euklidovská metrika (též Euklidovská vzdálenost) je definovaná vztahem

$$d_{i,j} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}$$

Manhattanovská metrika (též Manhattanovská vzdálenost) je definovaná vztahem:

$$d_{i,j} = |x_i - x_j| + |y_i - y_j|$$

Metrické prostory

Manhattan



Metrické prostory

Manhattan



Metrické prostory

Manhattan



Metrické prostory

Manhattan



- Matematická abstrakce běžného prostoru, v němž se odehrává náš každodenní život
- Jako první se jím zabýval Euclides cca 300 let před naším letopočtem. Sestavil systém postulátů a definic, z nichž byly odvozeny teoremy geometrie, které byly používány od nepaměti měřiči, konstruktéry, stavaři, fotogrammetry, ...
- V 17. století zavedl Descartes (1596-1650) do Euklidovského prostoru pravoúhlý souřadnicový systém (říkáme mu kartézský souřadnicový systém – angl. cartesian coordinate system) a umožnil tak propojení geometrie s aritmetikou a algebrou.

Euklidovský prostor

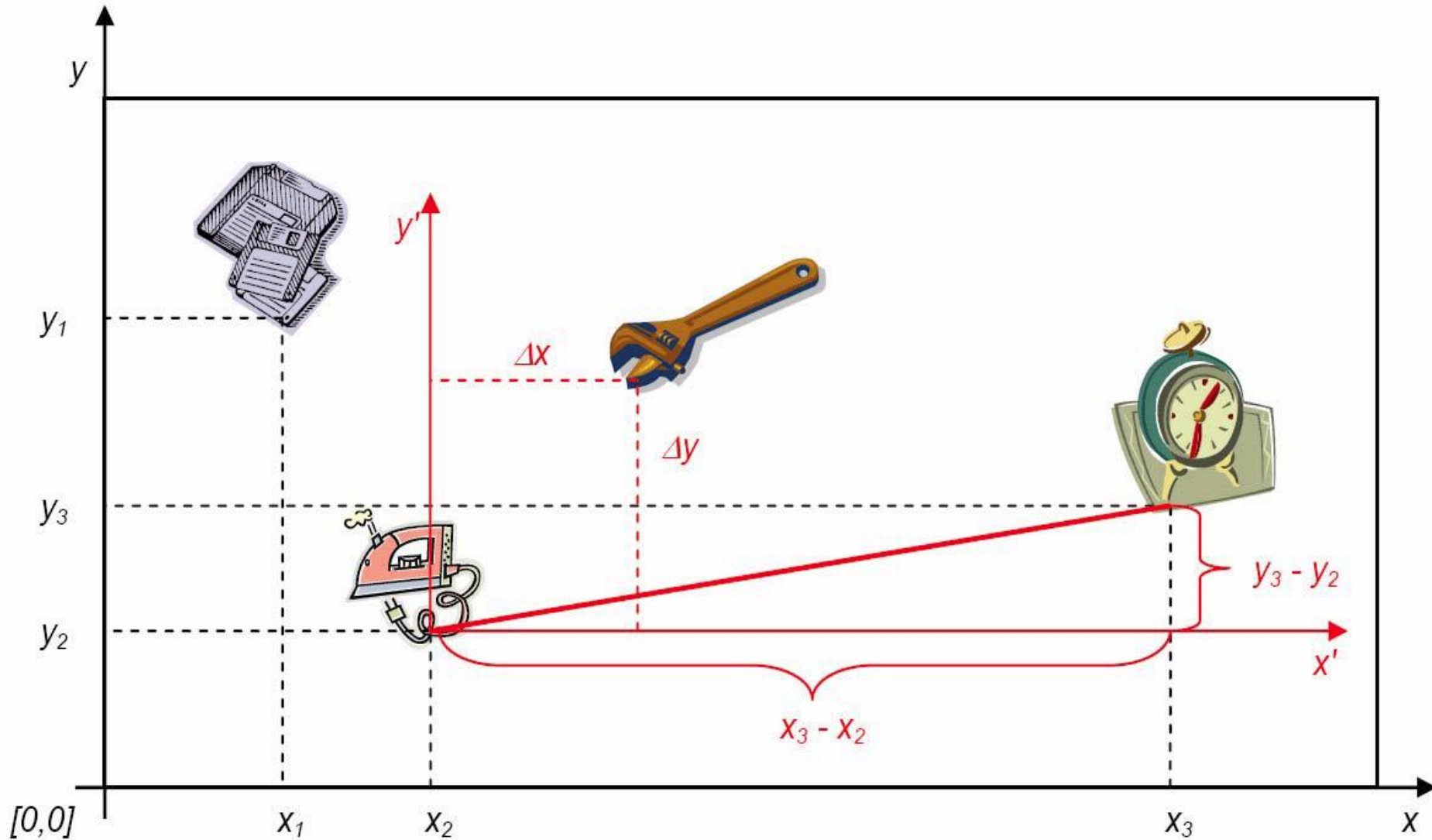
- N -rozměrný kartézský souřadnicový systém v n -rozměrném Euklidovském prostoru E^n se skládá z n navzájem kolmých souřadnicových os, které se protínají ve společném počátku a používají stejné měrné jednotky.
- Každá uspořádaná n -tice reálných čísel (x_1, x_2, \dots, x_n) , kde $x_i \in R$, definuje právě jeden bod v tomto souřadnicovém systému (a tím i v Euklidovském prostoru).
- V Euklidovském prostoru je definována metrika pro měření vzdáleností. Je to tedy prostor metrický.

Určování polohy v prostoru - základní pojmy

Prostorový referenční systém (angl. Spatial Reference System) – koncept, zahrnující základní teorii a standardy určování polohy v prostoru.

Prostorový referenční rámec (angl. Spatial Reference Frame) – praktická realizace prostorového referenčního systému prostřednictvím pozorování a sady souřadnic pozorovacích stanic.

Prostorový referenční rámec



Klasifikace prostorových referenčních systémů

- způsob určování polohy (*přímý/nepřímý*),
- prostorový rozsah (*globální/lokální*),
- spojitost (*kontinuální/diskrétní*),
- závislost určování polohy na jiných geoprvcích (*absolutní/relativní*),
- k čemu se vztahují (*k Zemi/ k rovině/ k linii*),
- v jakém směru určují polohu (*horizontální/vertikální*).

Způsob určování polohy

- přímo – pomocí souřadnic,
- nepřímo – pomocí geokódů

Prostorový rozsah

- **Globální prostorový referenční systém** – pro určování polohy v rozsáhlém areálu, nejčastěji na úrovni celého státu, resp. celého povrchu Země; zpravidla vázán na konkrétní kartografické zobrazení.
- **Lokální prostorový referenční systém** – pro velice malá území, jako je jedna stavba, území jedné továrny apod.; zpravidla bez jakékoliv vazby na globální prostorový referenční systém.

- **kontinuální prostorový referenční systém** – poloha se může v daném prostorovém referenčním systému měnit plynule a spojitě, bez náhlých skoků,
- **diskrétní prostorový referenční systém** – poloha se může měnit pouze skokově, nespojitě.

Závislost určování polohy na jiných geoprvcích

Absolutní prostorové referenční systémy:

- jednoznačně definovaný počátek, směr a orientace souřadnicových os a vztah k zemskému tělesu,
- zpravidla jsou definované v rámci konkrétního kartografického zobrazení,
- poloha geoprvků se určí jako vzdálenost podél souřadnicových os od společného počátku,
- v rámci absolutního prostorového referenčního systému je pak možné provádět mimo jiné i výpočty vzdáleností mezi dvojicemi geoprvků apod.

Závislost určování polohy na jiných geoprvcích

Relativní prostorové referenční systémy:

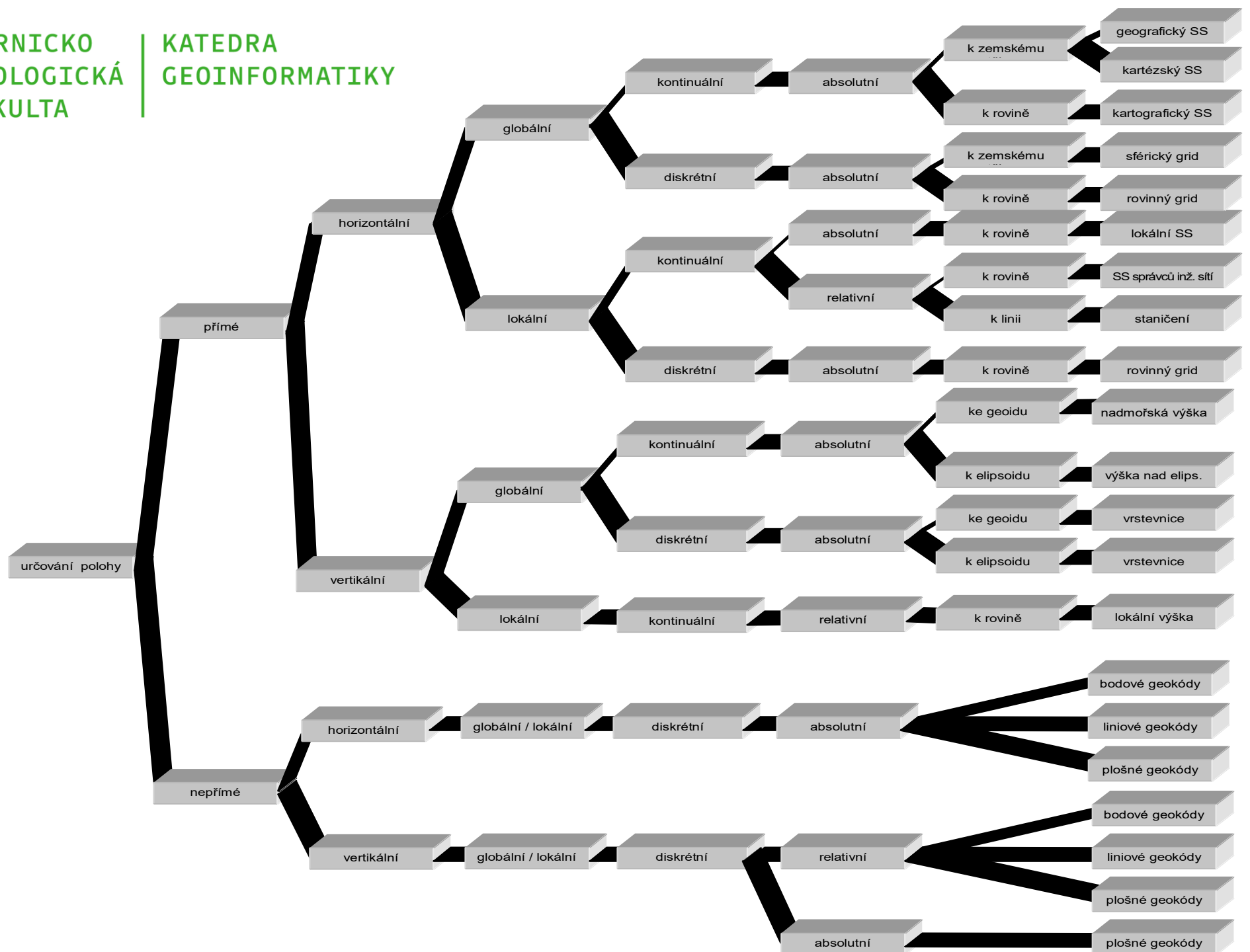
- nemají jednoznačně definovaný počátek ani směr a orientaci os a nemají ani definovaný vztah k zemskému tělesu,
- není s nimi spojeno jakékoliv kartografické zobrazení,
- při určování polohy geoprvcu vycházejí z polohy jiného, v území dobře a jednoznačně identifikovatelného geoprvcu, který je zvolen jako lokální počátek,
- ve vztahu k tomuto geoprvcu jsou definovány směry a orientace lokálních souřadnicových os a odměřením vzdáleností podél těchto os se určí relativní poloha určovaného geoprvcu ve vztahu ke známému geoprvcu,
- v takovém prostorovém referenčním systému zpravidla nelze počítat vzdálenosti geoprvců (snad jen s výjimkou situace, kdy je pro určení polohy dvou geoprvců použit stejný počátek a stejné směry a orientace souřadnicových os).

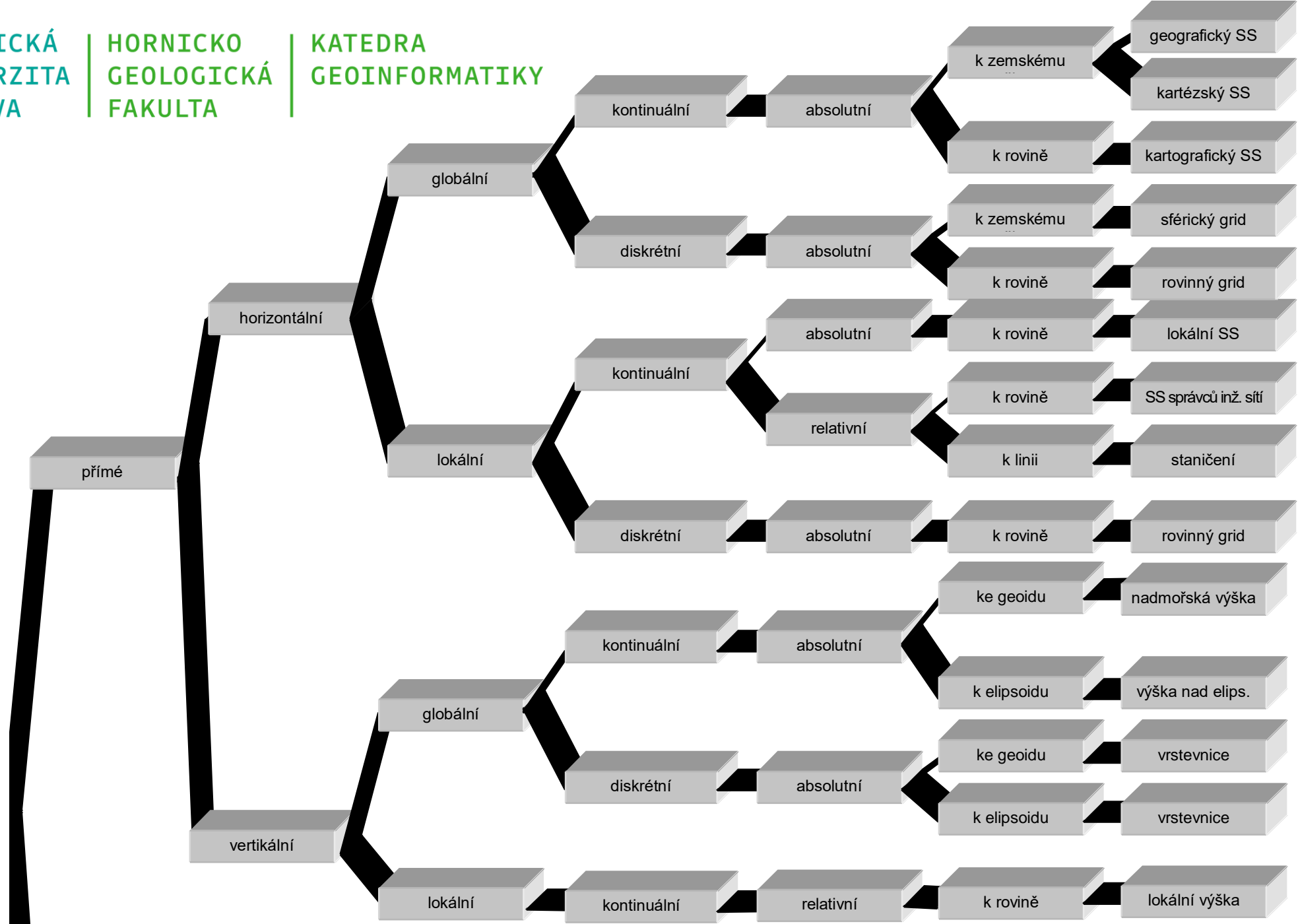
K čemu se vztahují

- **Prostorové referenční systémy vztahující se k Zemi** – umožňují určovat polohu kdekoliv na zemském povrchu, případně i kdekoliv v zemském tělese a jeho přilehlém okolí; často jsou definované v rámci konkrétního kartografického zobrazení.
- **Prostorové referenční systémy vztahující se k rovině** – zpravidla definované v rámci konkrétního kartografického zobrazení a většinou jsou výsledkem zobrazení povrchu zemského do roviny.
- **Prostorové referenční systémy vztahující se k linii** – nejsou obvykle vázány na žádné kartografické zobrazení a jsou založeny na odměřování vzdáleností podél zadané linie.

V jakém směru určují polohu

- **Prostorové referenční systémy pro určování polohy v horizontálním směru** – jsou běžněji využívány. Platí to i pro geoinformační systémy, které dodnes pracují převážně s dvourozměrným prostorem. Tyto prostorové referenční systémy umožňují určovat polohu geoprvků kdekoliv na zemském povrchu.
- **Prostorové referenční systémy pro určování polohy ve vertikálním směru** – používají se méně často. V prostředí geoinformačních systémů se používají zpravidla jen v případě, že pracujeme s digitálními modely reliéfu. Umožňují určit, v jaké nadmořské výšce (případně jak hluboko pod povrchem) se geoprvek nachází.





- polohu geoprvku vyjadřujeme pomocí tzv. **souřadnicového referenčního systému**
- základní pojmy:
 - datum
 - souřadnicový systém
 - souřadnicový referenční systém

Přímé určování polohy – základní pojmy

- **Datum** definuje polohu počátku, měřítko a orientaci os souřadnicového systému
- Geodetické datum – vyjadřuje vztah souřadnicového systému k Zemi. Používá se jako základ pro dvoj- a trojrozměrné systémy. Obvykle vyžaduje i definici elipsoidu.
- Výškové datum – popisuje vztah tíhově založených výšek k Zemi.
- Technické datum nebo též lokální datum – je takové, které nespadá ani do jedné z výše uvedených kategorií. Popisuje vztah souřadnicového systému k místní referenci.

Souřadnicový systém

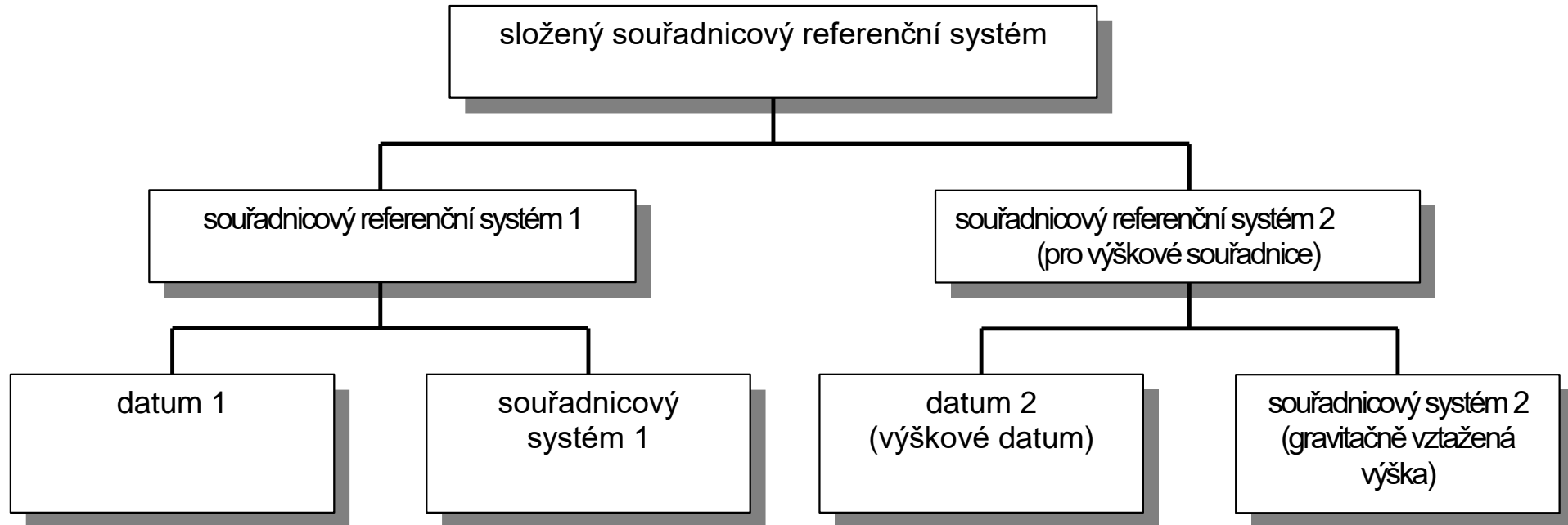
- sada matematických pravidel pro specifikování způsobu, jakým jsou souřadnice přiřazovány k bodům v prostoru
- systém určený údaji o referenční ploše, orientaci sítě na ní, jejím měřítku, referenčním bodu (počátek) a užitém kartografickém zobrazení.
- Pro potřeby popisu polohy geoprvků musí souřadnicový systém splňovat určitou podmínku – musí být vztažený k Zemi prostřednictvím **datumu**. Pak ho označujeme jako **souřadnicový referenční systém**

Souřadnicový systém musí splňovat tři základní podmínky:

- Prostorová reference musí být jednoznačná, to znamená, že dva geoprvky se stejnou prostorovou referencí (polohou) musí být identické. Různé prostorové reference proto musí definovat různé geoprvky.
- Prostorová reference musí být kvantifikovatelná, musí být vyjádřitelná prostřednictvím metrické stupnice.
- Musí být definovaná tzv. **metrika** umožňující měření vzdálenosti $d(A,B)$ mezi dvojicí bodů A a B .

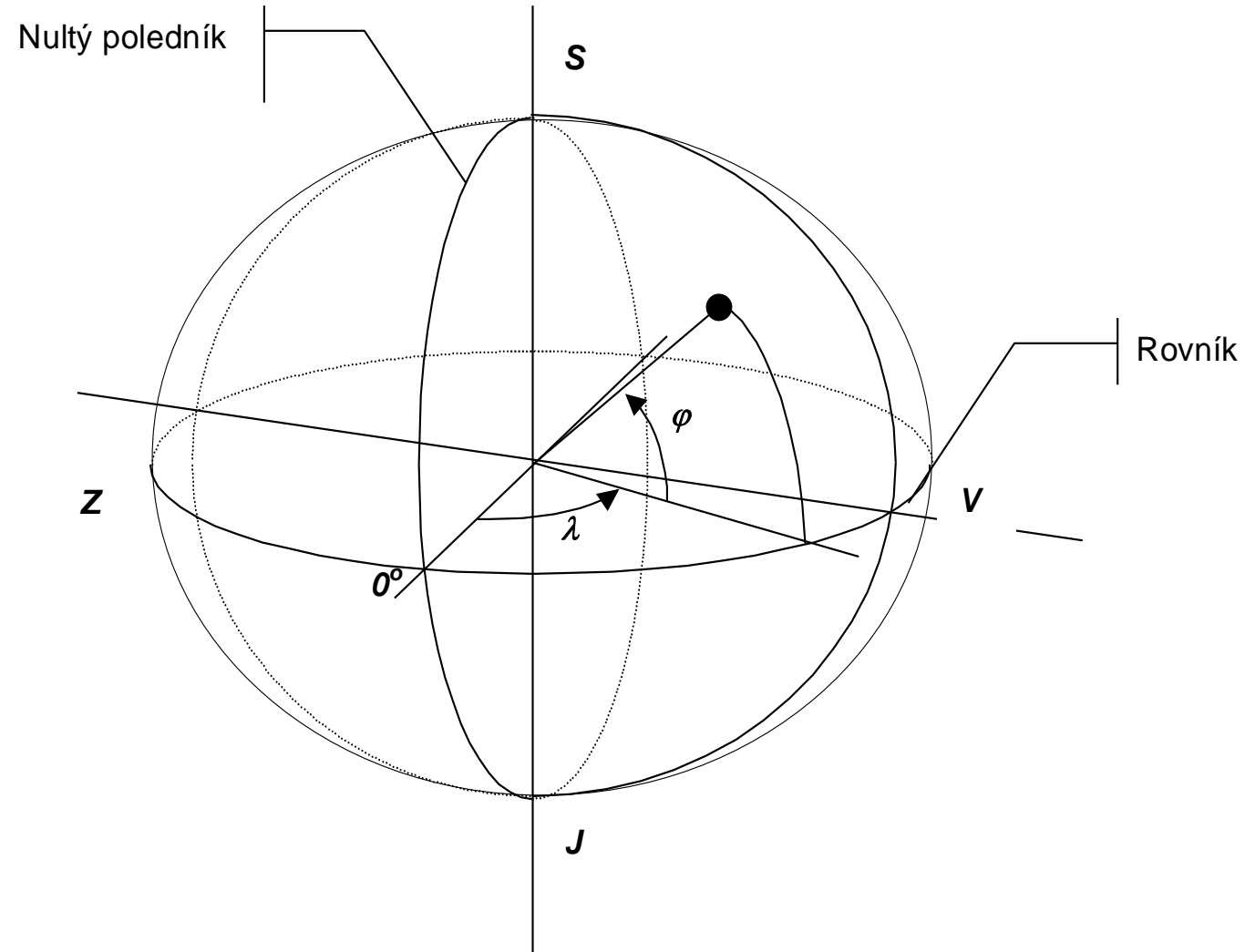
Přímé určování polohy

Zvláštním případem souřadnicového referenčního systému je tzv. **složený souřadnicový referenční systém** (angl. compound coordinate reference system), popisující polohu prostřednictvím dvou nezávislých souřadnicových referenčních systémů, z nichž jeden je představován dvoj- resp. trojrozměrným souřadnicovým systémem a druhý tíhově založeným výškovým systémem.

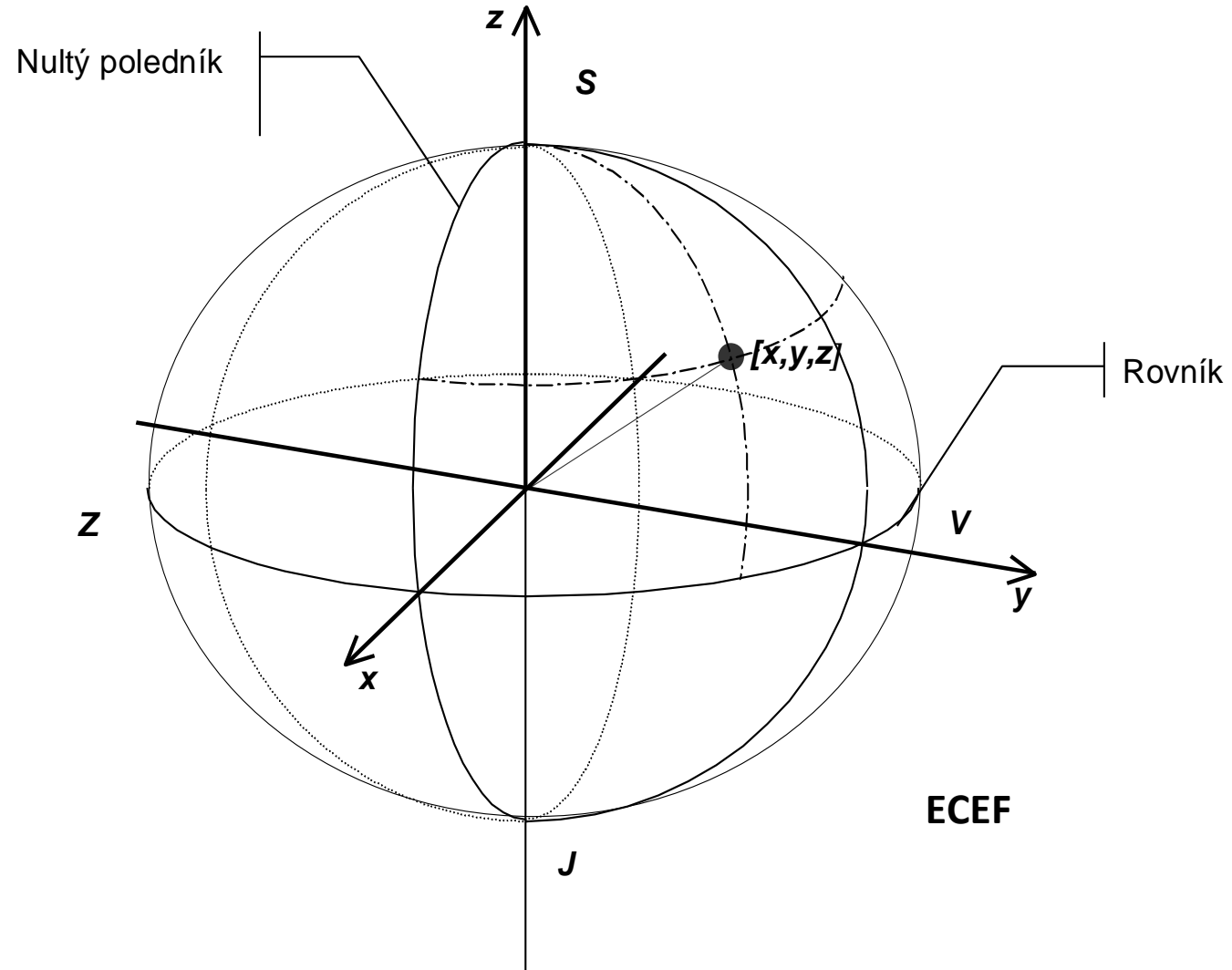


Souřadnicové systémy pro určování horizontální polohy

Geografický souřadnicový systém



Kartézský souřadnicový systém / Geocentrický souřadnicový systém



Souřadnicové systémy kartografických zobrazení

Jsou těsně svázány s konkrétními tzv. **kartografickými zobrazeními**.

Chceme-li určitou velkou část zemského povrchu (kde již nelze zanedbat jeho zakřivení) zobrazit na ploché mapě, musíme provést v zásadě následující transformace:

1. Redukci měřítka tak, aby se zobrazovaná oblast vešla na list papíru požadované velikosti.
2. Systematickým způsobem převést zakřivený povrch Země do roviny při zachování prostorových vztahů.

Tomuto postupu se říká **kartografické zobrazení**.

Souřadnicové systémy kartografických zobrazení

Matematicky lze tuto transformaci zapsat (zjednodušeně) ve tvaru:

$$x = f_1(\varphi, \lambda)$$

$$y = f_2(\varphi, \lambda)$$

a schematicky naznačit

$$(\varphi, \lambda) \longrightarrow (x, y)$$

3 parametry: délky, plochy, úhly

nelze sestrojít mapu, kde by byly všechny parametry zachovány

Souřadnicové systémy kartografických zobrazení

Ve skutečnosti – složitější postup, využívající celé řady mezikroků, pracujících s různými tzv. **referenčními plochami** (jsou matematicky definované):

- rotační dvojosý elipsoid
- koule
- plocha rozvinutelná do roviny
- rovina

Kromě těchto referenčních ploch se pro počáteční zjednodušování zemského povrchu na počátku ještě využívají:

- topografická plocha - spojitá, vyhlazuje mikrostrukturu reliéfu i jeho bezvýznamné, drobné tvary.
- geoid - souvislá plocha, která je kolmá k tížnicím Země a prochází zvoleným nulovým výškovým bodem klidné hladiny moře (označovaný též jako ekvipotenciální plocha tíhového pole Země). Tedy hladinová plocha, která buď místně nebo globálně nejlépe odpovídá střední hladině moře.

Souřadnicové systémy kartografických zobrazení

Referenční elipsoid – rotační dvojosý elipsoid.

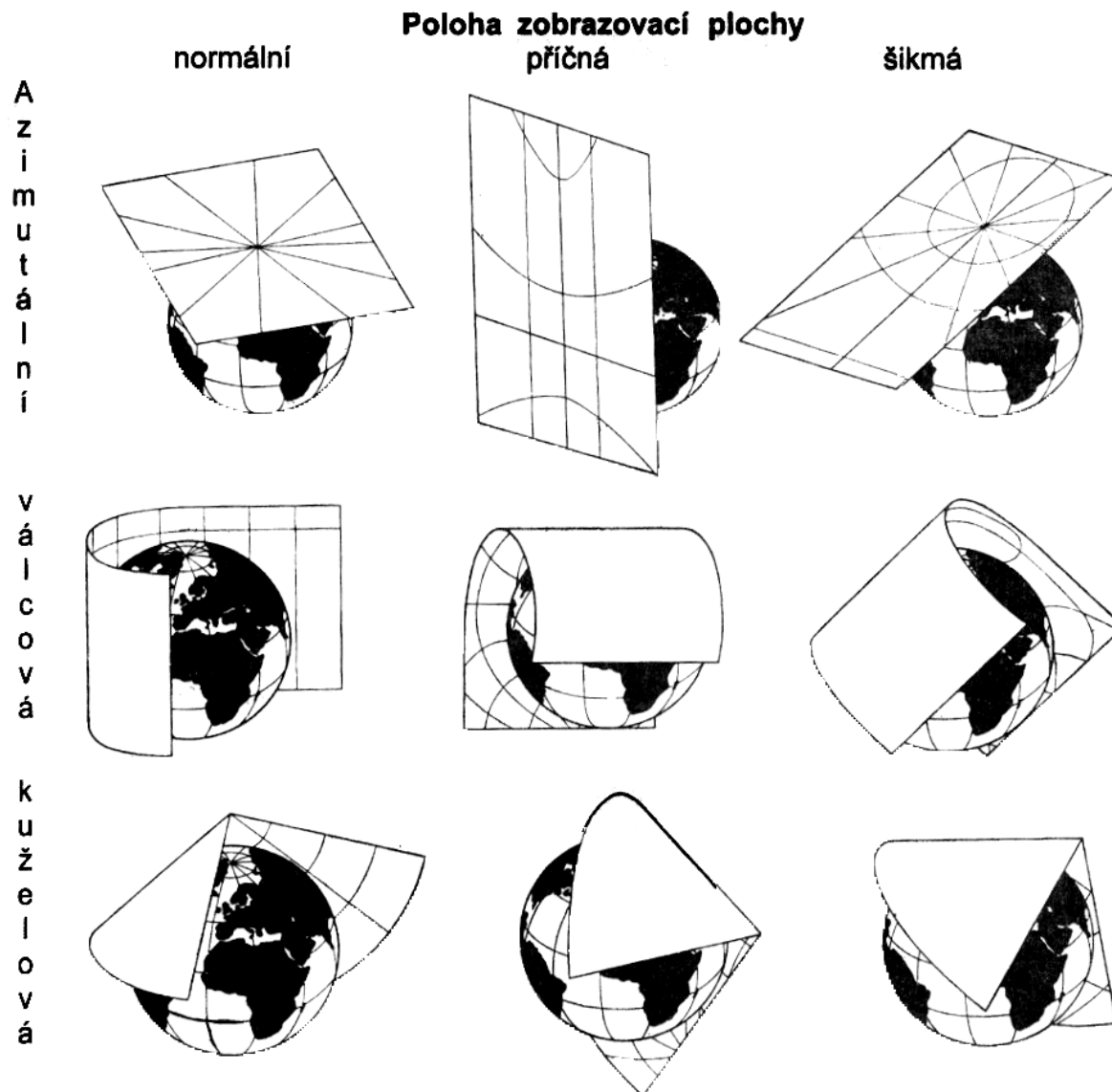
Nahrazuje-li geoid globálně pro celou Zemi – **obecný zemský elipsoid**.

Elipsoid WGS-84: odchylky ± 60 m od geoidu

Referenční koule

Plocha rozvinutelná do roviny – rovina, kužel, válec.

Souřadnicové systémy kartografických zobrazení



Souřadnicové systémy kartografických zobrazení

Rovina:

- přímo použitelná jen pro malé oblasti (v okruhu cca 10-15 km kolem tečného bodu)
- vodorovné úhly a vzdálenosti v rovině a na kouli téměř shodné
- vertikální odchylka roviny od koule na okraji oblasti již 15.3 m.

Souřadnicové systémy kartografických zobrazení

Při zobrazení geodat do roviny lze vždy zachovat pouze některé vlastnosti zobrazení – úhly, délky nebo obsahy ploch

Proto vznikají kartografická zkreslení:

- délkové
- plošné
- úhlové

Souřadnicové systémy kartografických zobrazení

Kartografická zobrazení

- **ekvidistantní** – eliminují zkreslení délek určité soustavy čar, **zachovávají všechny délky**
- **ekvivalentní** – zachování obsahu ploch, velká úhlová zkreslení
- **konformní** – zachování úhlů, velká zkreslení obsahu ploch
- **kompensační** – snižují úhlové i plošné zkreslení na střední míru

Souřadnicové systémy pro určování horizontální polohy

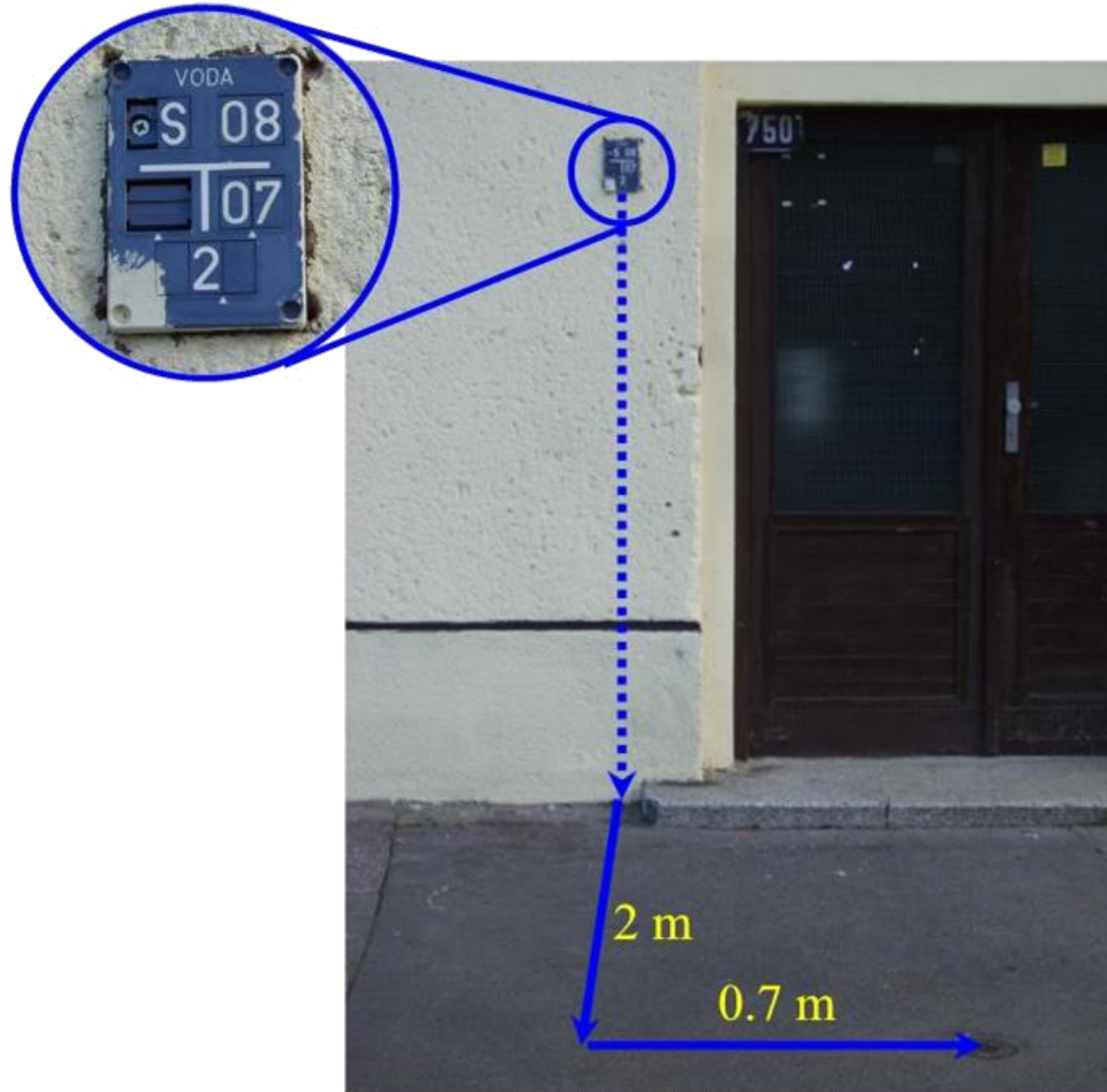
- diskrétní souřadnicový systém v rovině
- lokální kontinuální souřadnicový systém
- staničení
- lokální diskrétní souřadnicový systém v rovině
- souřadnicové systémy správců inženýrských sítí

Lokální kontinuální souřadnicový systém

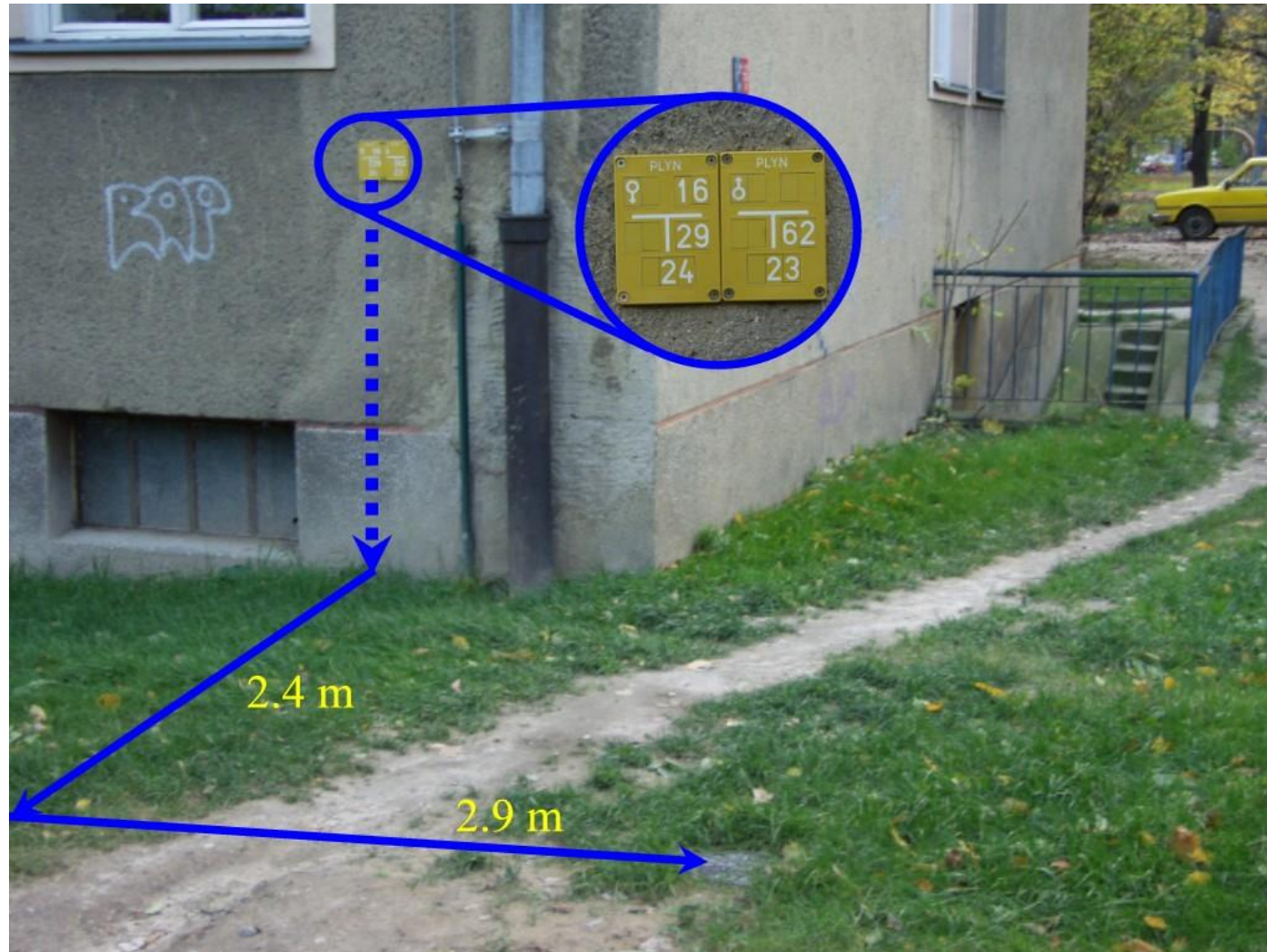
- vztahuje se k rovině
- náhodně zvolený počátek, směr a orientace os
- platí jen v omezeném areálu (podnik, stavba, zastávka MHD apod.)
- zpravidla bez vazby na globální systém
- výhodou je snadné použití
- nevýhodou problematická vazba na globální systém

- určování relativní polohy
- podél linie (řeka, dálnice, silnice, železnice)
- od zvoleného počátku (začátek dálnice, křižovatka silnic apod.)
- problematická pravidelná aktualizace údajů o poloze geoprvků
- problém s generalizací digitální reprezentace linií

Souřadnicové systémy správců inženýrských sítí



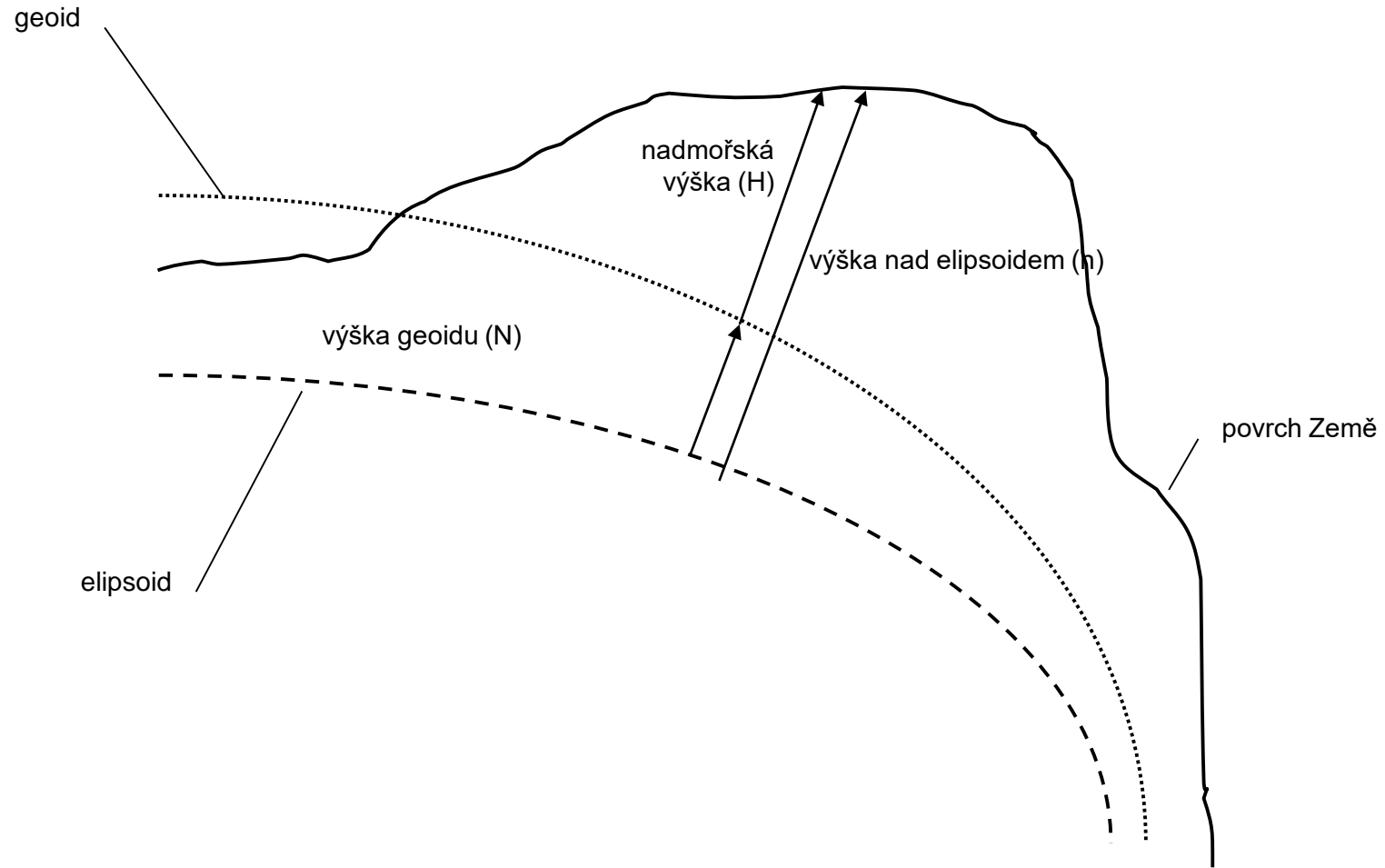
Souřadnicové systémy správců inženýrských sítí



Souřadnicové systémy pro určování vertikální polohy

- **Výška nad elipsoidem**, resp. **elipsoidická výška h** – je měřena od elipsoidu podél kolmice procházející měřeným bodem.
- **Nadmořská výška (výška nad geoidem) H** – je měřena od geoidu podél tížnice procházející měřeným bodem.

Souřadnicové systémy pro určování vertikální polohy



Výškový systém

- používá se pro určování výšek v zadaném areálu
- nejsou výsledkem kartografického zobrazení
- zpravidla určují nadmořskou výšku ve vztahu ke zvolené srovnávací hladině nebo
- k danému referenčnímu bodu – **mořskému vodočtu**

http://cs.wikipedia.org/wiki/Baltsk%C3%BD_po_vyrovn%C3%A1n%C3%AD



Prostorové referenční systémy používané v České republice

Vláda České republiky vydala nařízení č. 430/2006 Sb., kterým stanovila závazné geodetické referenční systémy, použitelné na území našeho státu:

- souřadnicový systém Jednotné trigonometrické sítě katastrální (závazná zkratka **S-JTSK**),
- souřadnicový systém 1942 (závazná zkratka **S-42/83**),

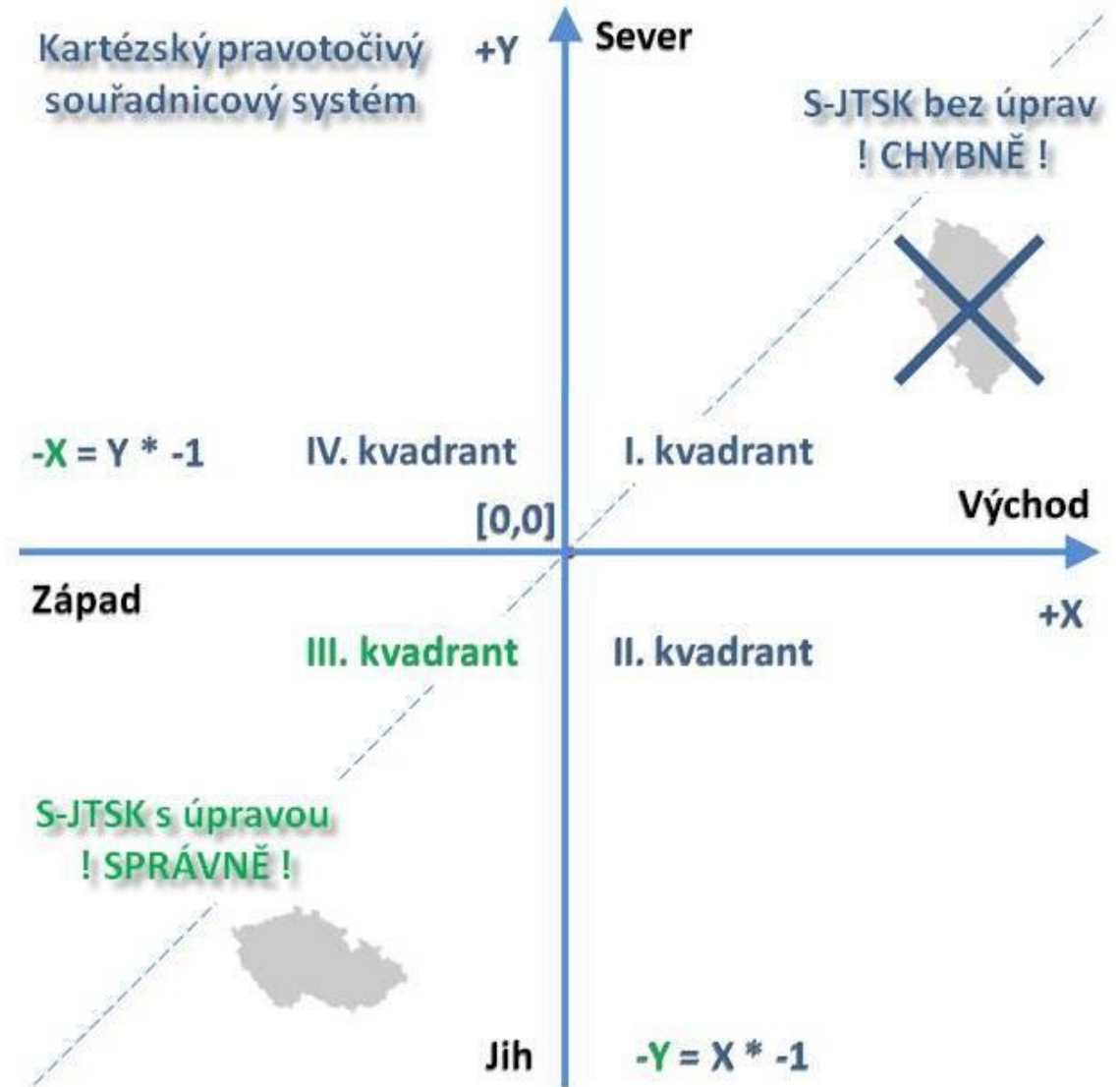
Prostorové referenční systémy používané v České republice

- katastrální souřadnicový systém gusterbergský,
- katastrální souřadnicový systém svatoštěpánský,
- výškový systém baltský – po vyrovnání (závazná zkratka **Bpv**),
- tíhový systém 1995 (závazná zkratka **S-Gr95**).
- světový geodetický referenční systém 1984 (závazná zkratka **WGS 84**; angl. World Geodetic System 1984),
- evropský terestrický referenční systém (závazná zkratka **ETRS**; angl. European Terrestrial Referenc System),

- pravoúhlý souřadnicový systém pro území ČR a Slovenska
- v 1. kvadrantu, kladná část osy X směřována k jihu, kladná část osy Y k západu
- hodnota souřadnice X je vždy větší než souřadnice Y
- využívá Křovákovo zobrazení (dvojitě kuželové konformní zobrazení v šikmé poloze, převádějící Besselův elipsoid do roviny prostřednictvím referenční koule)
- mapy českého území v Křovákově zobrazení nejsou orientovány přesně na sever, mapa potočena v kladném směru o cca 5 až 9 stupňů dle zeměpisné šířky (stoupá směrem k západu)

S-JTSK Krovak EastNorth

- varianta S-JTSK pro použití v GIS (CAD) systémech
- Původní souřadnice S-JTSK jsou transformovány do třetího kvadrantu prohozením osy X a Y a jejich vynásobením hodnotou -1
- orientace os tedy odpovídá klasickému kartézskému systému, kdy osa X směřuje na východ a osa Y směřuje na sever, na území ČR jsou obě souřadnice záporné
- EPSG kód 5514



Geokód je kód používaný pro nepřímé určování polohy.

Příklady: adresa, zastávka, stát, řeka ...

- bodové
- liniové
- plošné

I pro určování vertikální polohy.

Bodové geokódy

- v prostoru reprezentovány bodovými geoprvky
- mohou být:
 - nepravidelné – v prostoru reprezentovány náhodně rozmístěnými bodovými geoprvky (adresy, zastávky apod.)
 - pravidelné – většinou umělé systémy tvořené pravidelnou sítí bodů

Liniové geokódy

- v prostoru reprezentovány liniovými geoprvky
- mohou být:
 - nepravidelné (uliční síť, říční síť, silniční síť apod.)

Plošné geokódy

- v prostoru reprezentovány plošnými geoprvky
- mohou být:
 - nepravidelné (zóny dopravního systému, jednotky územně správního členění apod.)
 - pravidelné – zpravidla opět umělé, tvořené nejčastěji pravidelnou sítí čtverců

Děkuji za pozornost

Michal Kačmařík

michal.kacmarik@vsb.cz

www.vsb.cz