Základní kurz pro nováčky plachtařského výcviku

Letecká navigace

neboli nauka o vedení letadel po plánovaných tratích a určování zeměpisných poloh za letu

Jacek Kerum

ČVUT 2013

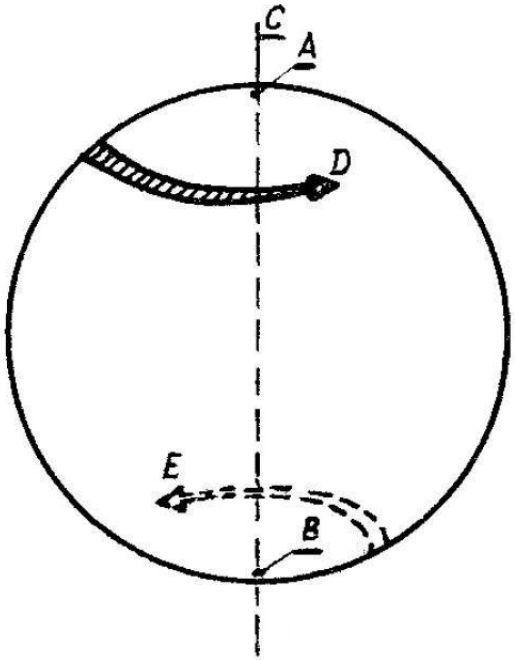
Navigační metody

- *Srovnávací navigace (orientace)*
- *Navigace výpočtem*
- *Radionavigace*
- *Spojování navigačních metod*

Země a síť myšlených čar

- *Na pólech je Země zploštělá*
- *V rovníkové oblasti má průměr 6378 km, na pólech má průměr 6356 km*
- *Vzhledem k nepatrnému zploštění (Země je rotační elipsoid), považujeme planetu za kouli*

Zemská osa a její póly



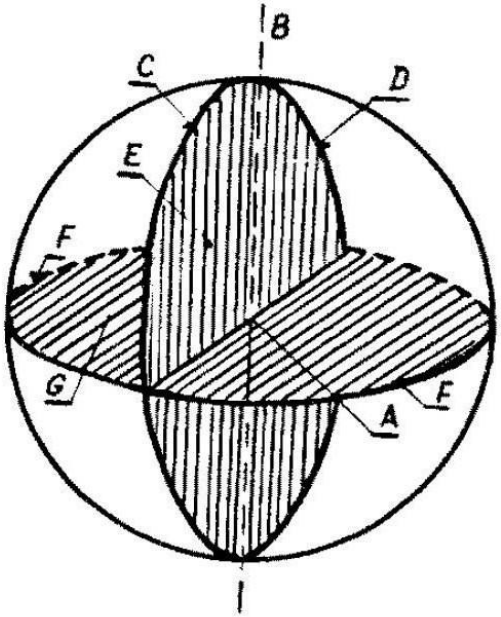
Zemská osa a zeměpisné póly

A — severní zeměpisný pól; *B* — jižní zeměpisný pól; *C* — zemská osa; *D*, *E* — smysl otáčení Země na severním a jižním pólu

Síť myšlených čar

- Zemská osa – myšlená přímka kolmá k rovníku, kolem které se Země otáčí
- Zeměpisné póly – (točny) myšlené body, ve kterých zemská osa protíná povrch Země
- Poledníky – poloviny poledníkové kružnice, která vznikne proložením roviny zemskou osou. Od nultého poledníku je jich na W a E 180, tedy celkem 360. Poledník procházející určitým bodem je místní poledník.
- Rovnoběžky – kružnice z rovin proložených kolmo na zemskou osu. Je jich 90 na N a S polokouli, tedy celkem 180.
- Rovník –kružnice tvořená rovinou proloženou kolmo k zemské ose. Je to nejdelší rovnoběžka, měří cca 40000 km. Je nultou rovnoběžkou.

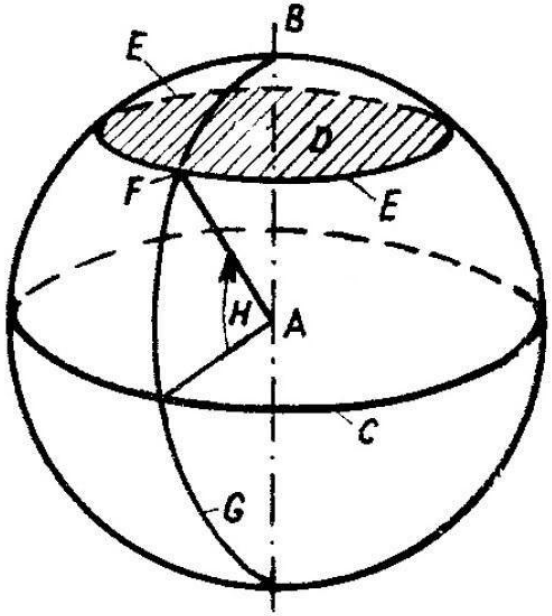
Poledník a rovník



Poledník a rovník

A — střed Země; *B* — zemská osa; *C* — poledník; *D* — protipoledník poledníku *C*; *C—D* — poledníková kružnice; *E* — rovina proložená zemskou osou; *F* — rovník; *G* — rovina kolmá k zemské ose proložená středem Země

Rovnoběžka



Rovnoběžka

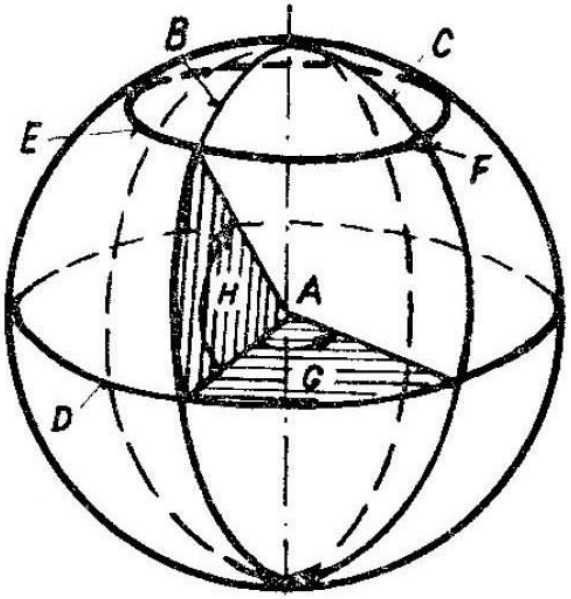
A — střed Země; *B* — zemská osa; *C* — rovník; *D* — rovina kolmá k zemské ose procházející bodem *F* na poledníku *G; E* — rovnoběžka daná průsečnicí roviny *D* a povrchu zemského; *H* — úhel na poledníku *G* vycházející ze středu Země, který udává stupeň rovnoběžky *E*

Udávání poloh

Polohou rozumíme bod, nad kterým se v daném okamžiku nacházíme

- *Udávání polohy názvem místa, nad nímž se nacházíme*
  - *nejběžnější způsob, pokud je k dispozici dostatečně podrobná mapa*
- *Směrem a vzdáleností od pojmenovaného místa*
  - *způsob, pokud jsme mimo v mapě pojmenovaný bod*
- *Pomocí zeměpisných souřadnic*
  - *pomocí čísla poledníku a rovnoběžky ve stupních, minutách a vteřinách v pořadí*
    zeměpisná šířka (rovnoběžka N nebo S) a zeměpisná délka (poledník W nebo E)
- *Jiným souřadným systémem nebo kódem*
  - *pomocí čtverců nebo jiných kódů (písmenný, číselný nebo kombinace obou)*

Udávání poloh

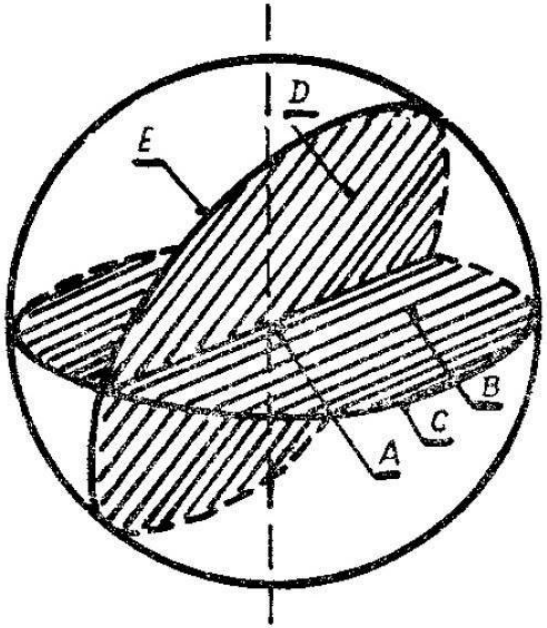


Určení polohy pomocí zeměpisných souřadnic

A — střed Země; *B* — nultý poledník; *C* — poledník udávaného bodu *F*; *G* — úhel východní zeměpisné délky (82° 33′ 14″); *D* — rovník; *E* — rovnoběžka udávaného bodu *F*; *H* — úhel severní zeměpisné šířky (60° 00′ 08″)

Velká a malá kružnice

a) Velká kružnice – průsečnice roviny s povrchem, procházející středem Země – nemusí splňovat podmínku kolmosti k ose Země nebo jí procházet

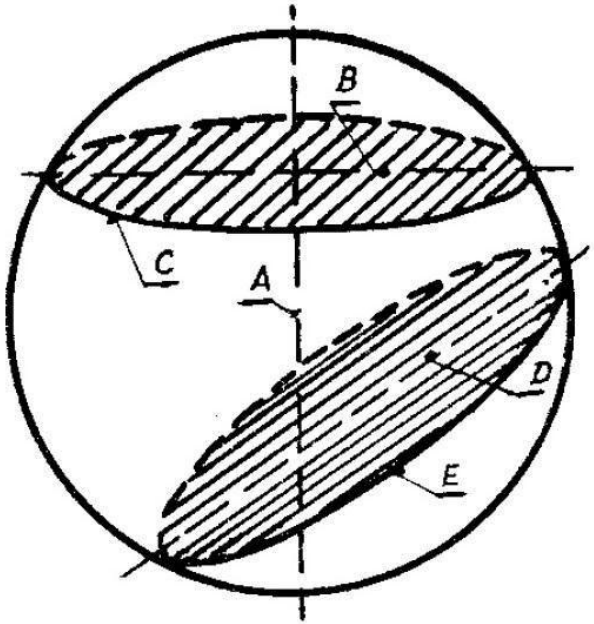


Velké kružnice

A — střed Země; *B* — rovina rovníku; *C* — rovník jako velká kružnice; *D* — rovina procházející středem Země, která není kolmá k zemské ose, ani s ní není souběžná; *E* — velká kružnice vytvořená rovinou *D*

Velká a malá kružnice

b) Malá kružnice – průsečnice roviny s povrchem, neprocházející středem Země – nemusí splňovat podmínku kolmosti k ose Země nebo jí procházet. Jsou to např. všechny rovnoběžky kromě rovníku.

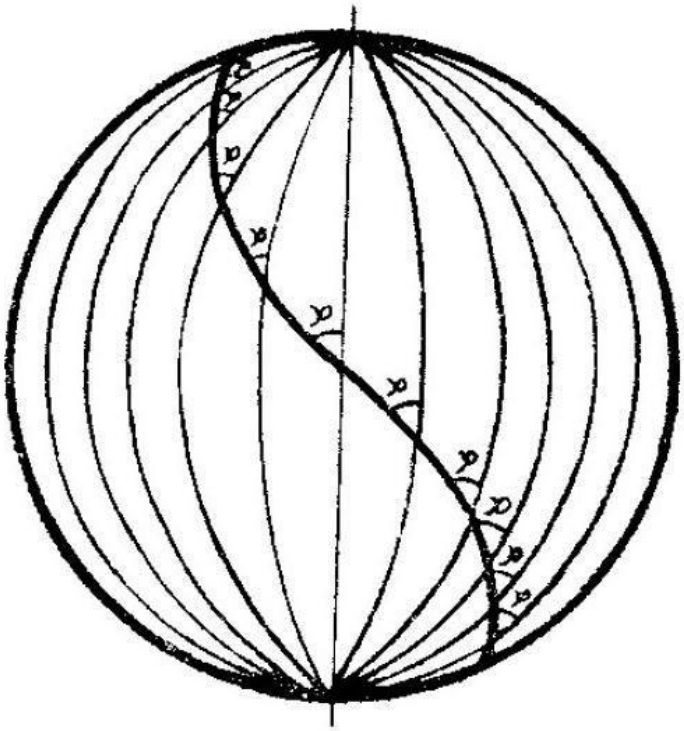


Malé kružnice

A — střed Země; *B* — rovina rovnoběžky kolmá k zemské ose; *C* — rovnoběžka jako malá kružnice; *D* — libovolná rovina, která neprochází středem Země; *E* — malá kružnice vytvořená rovinou *D*

Loxodroma a ortodroma

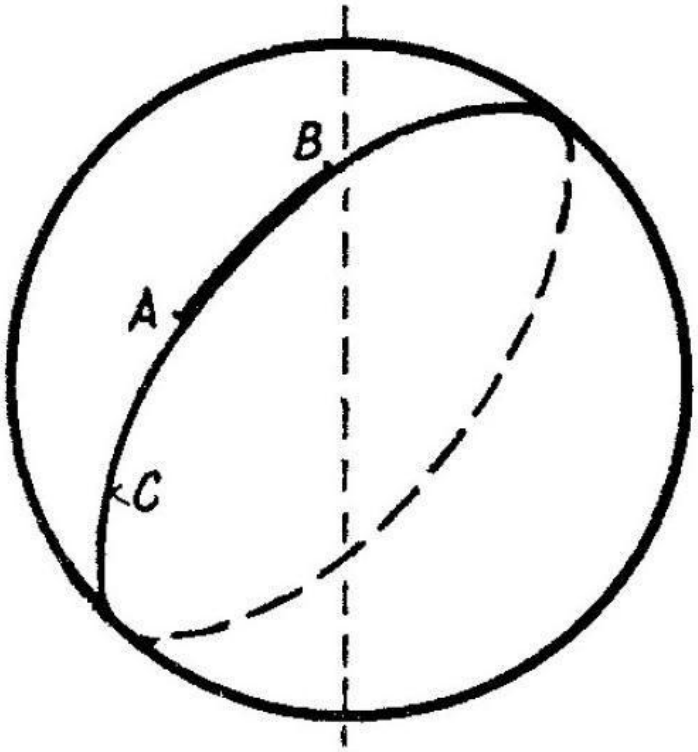
c) Loxodroma - křivka na povrchu Zeměkoule, která protíná všechny poledníky pod stejným úhlem. Je-li tento úhel 0°nebo 90°, je to kružnice (tedy i rovník a poledníky), je-li úhel > 0° a < 90°, je to spirála.



Loxodroma svírá se všemi poledníky stejný úhel

Loxodroma a ortodroma

d) Ortodroma – nejkratší spojnice dvou míst vedená po zemském povrchu. Je to kratší část velké kružnice, procházející dvěma body, které chceme spojit. Na rozdíl od loxodromy protíná poledníky pod různými úhly (s výjimkou případu, je-li sama součástí rovníku nebo poledníku)



Ortodroma je kratší oblouk velké kružnice C, spojující body A—B

Zobrazení zeměkoule – mapa

Povrch Země

a) *Topografická plocha: Skutečný, holý povrch Země bez objektů (se všemi nerovnostmi včetně hladin moří*

b) *Topografická situace: souhrn všech terénních útvarů na topografické ploše (jezera, řeky, sněhové a ledové pláně, lesy, pole, včetně všech lidmi vytvořených objektů = silnice, železnice, města osamocené hrady atd., atd)*

Zobrazení zeměkoule – mapa

Mapa a její zkreslení

Mapa je zmenšený rovinný obraz zemského povrchu. Povrch se zobrazuje pomocí projekcí: pravých a nepravých.

1. Pravé projekce: kulovitě zakřivený povrch Země se pomocí geometrických metod promítá ze středu Země nebo jiného ohniska (protilehlý pól apod.) na geometrický útvar (rovina, kužel nebo válec).
2. Nepravé projekce: k přenesení zemského povrchu na rovinu se využívají matematické metody.

Volbou projekcí ovlivňujeme deformace tak, aby mapa alespoň v některých detailech skutečně odpovídala skutečnosti. Rozeznáváme 4 druhy projekcí:

a) tvarojevné: věrné zobrazení objektů v terénu
b) úhlojevné: správně zobrazené úhly, ty odpovídají úhlům ve skutečnosti
c) délkojevné: požadavek, aby měřítko platilo po celé jejich ploše
d) plochojevné: zachovávají u všech ploch stejný poměr k plochám ve skutečnosti.

Žádná mapa nemůže být současně tvarojevná, úhlojevná, délkojevná a plochojevná. Nám nejvíce vyhovují mapy, které věrně zobrazují topografickou plochu a situaci jejichž zkreslení úhlů a vzdáleností je co nejmenší.

Zobrazení zeměkoule – mapa

Měřítko mapy

Měřítko je poměr mezi vzdáleností na mapě a toutéž vzdáleností ve skutečnosti.

Měřítko mapy lze vyjádřit třemi způsoby:

a) *Poměrem: nejčastější způsob – vzdálenost na mapě : vzdálenost ve skutečnosti*
b) *Graficky: úsečky na mapě číselně představují skutečnou vzdálenost*
c) *Přirovnáním: přesné přirovnání, např.: 1 cm = 5 km.*

Většinou se setkáme s kombinací a) a b).

1 : 500 000

Měřítko

Zobrazení zeměkoule – mapa

Měření vzdáleností na mapě

- Přepočtem: podle měřítka; např. na mapě 1:500 000 naměříme 17 cm; pak 1 cm = 5 km; 17 x 5 = 85 km
- Graficky: při měření menších vzdáleností či v letadle pomocí vhodného pravítka „kalibrovaného“ pro určité měřítko. Vzdálenost čteme rovnou
- Pro velmi malé vzdálenosti: pomocí proužku papíru nebo kružítka přímo na grafickém měřítku mapy

Znázornění topografické plochy na mapě

- Kótování: nejdůležitější, zpravidla nejvyšší body na mapě se označují kótami. Jednotky: m nebo ft. Je to vzdálenost od střední hladiny moře (MSL)
- Vrstevnice: čáry spojující body se stejnou nadmořskou výškou. Jsou označeny nadmořskou výškou, jejich hustota dává představu o sklonu terénu
- Barvy: Výškové členění je zobrazeno barevně pomocí odstínů použité základní barvy. Světlejší tóny jsou určeny pro malé výšky, tmavé pro velké

Znázornění topografické situace na mapě

Je to znázornění tvarů jako rybníky, řeky, osídlení, komunikace, lesy, pole, význačné stavby, důležité orientační body atd. pomocí smluvených značek. Ty jsou součástí mapové legendy.

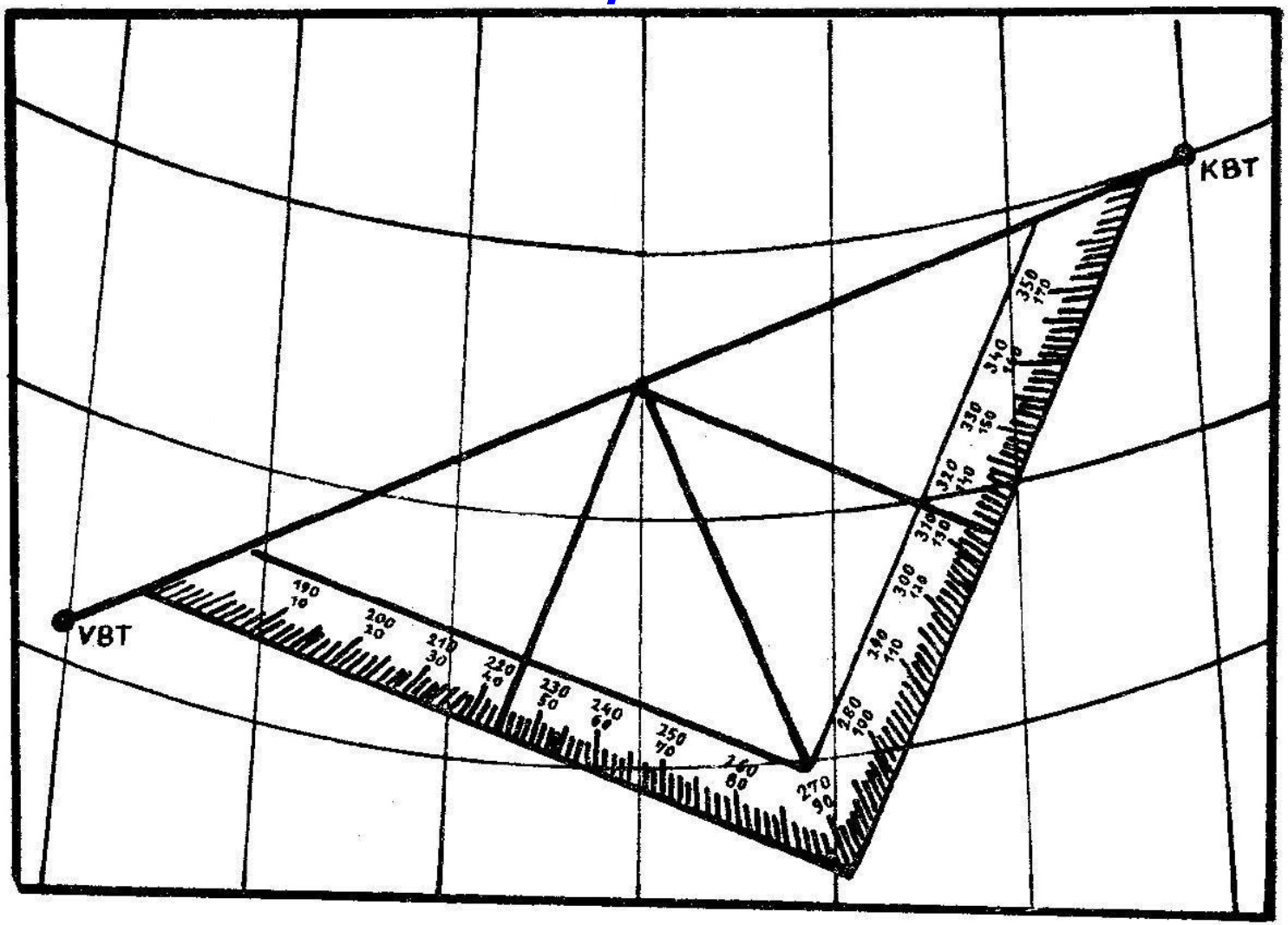
Zobrazení zeměkoule – mapa

Měření úhlů na mapách

*Toto je jedním ze **základních navigačních úkonů**. Nejčastěji měříme **Traťový úhel** (zeměpisný – TU_z) = úhel, který svírá plánovaný nebo letěný směr tratě se směrem zeměpisného severu, který udává daný poledník. Měříme ho ve směru pohybu hodinových ručiček ve stupních od 0°po 360° (hodnota musí být trojmístná, aby se eliminovala chyba interpretace – např. 056, 006, 247 atd.).*

1. *Měření Tu_z pomocí kruhového úhloměru – málo používané. Střed úhloměru položíme na průsečík tratě s poledníkem tak, aby se hodnota 360°na úhloměru shodovala s poledníkem. Měřený úhel čteme na obvodě úhloměru.*
2. *Měření Tu_z pomocí navigačního trojúhelníku – častější využití. Střed přepony úhloměru položíme na průsečík čáry tratě s některým poledníkem tak, aby se hrana přepony shodovala s traťovou čárou. Vrchol trojúhelníku směřuje k jihu. Měřený úhel pak čteme na průsečíku poledníku se středem přepony a na stupnici na odvěsně. Odhadem stanovíme který směr je správný (např. 067° a 247°)*

Zobrazení zeměkoule – mapa

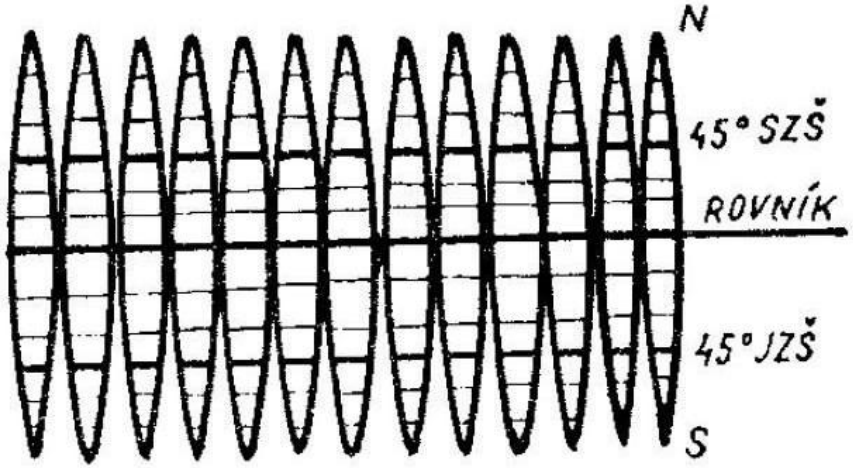


TU_z změřený navigačním trojúhelníkem je 067°

Zobrazení zeměkoule – mapa

Letecká mapa ICAO – 1:500 000 (Gauss-Krügerova projekce)

Je to příčná válcová matematická projekce, originální členění zobrazuje 2 stupně φ (zem. šířka) a 1 stupeň λ (zem. délka). Výšky jsou ve stopách (ft), baltický systém, vrstevnicový interval je 238 ft (100 m). Lesy zeleně, vodstvo modře, sídliště žlutě. Komunikace červeně a černě, zvláštní údaje smluvenými značkami. Mapa je doplněna



Pásy válcové příčné Gauss-Krügerovy projekce
(na obrázku je jejich šířka pro názornost zvětšena)

Navigace výpočtem

- *Základní navigační přístroje: kompas, rychloměr a hodinky. Tuto metodu používají hlavně motoroví piloti.*
- *Kompas: dodržení směru*
- *Hodinky a rychloměr = čas příletu k význačným orientačním bodům*

Tohle však funguje za ideálního počasí. Největším problémem je vítr. Jeho a směr a rychlost značně komplikuje dodržení původně plánovaného úmyslu.

Oprava se provádí graficky, početně a pomocí speciálních pomůcek.

Navigační výpočty:

- výpočty před letem

- výpočty za letu

Navigace výpočtem

Navigační pojmy, prvky, zkratky

- Výchozí bod tratě – VBT – bod odletu: bod, ze kterého letadlo odlétá na trať.
- Koncový bod tratě – KBT – bod v terénu, nad kterým je let ukončen (zpravidla přípravou k přistání, v plachtařině je to bod příletu)
- Otočný bod tratě – OBT – bod v terénu, kde trať mění svůj směr (otočný bod)
- Trať letu: T – spojnice VBT a KBT nebo VBT, OBT a KBT
- Traťový úhel zeměpisný – Tu_z – úhel mezi zeměpisným severem a směrem tratě
- PTU_z a STU_z – plánovaný a skutečný Tu_z
- Kurs zeměpisný – K_z – kurs mezi zeměpisným severem a podélnou osou letadla (kreslí se jako přímka se dvěma šipkami – kursová přímka)
- Kurs magnetický – K_m – úhel mezi kursovou přímkou a magnetickým severem
- Kurs kompasový – K_k – úhel mezi kursovou přímkou a kompasovým severem
- Směr a rychlost větru – U – směr odkud vane a rychlost v km/h.

Rychlý přepočet z údajů od meteorkářů: (m/s x 4) – 10%. Příklad: 10m/s x 4 = 40; 40 – 4 = 36 km/h

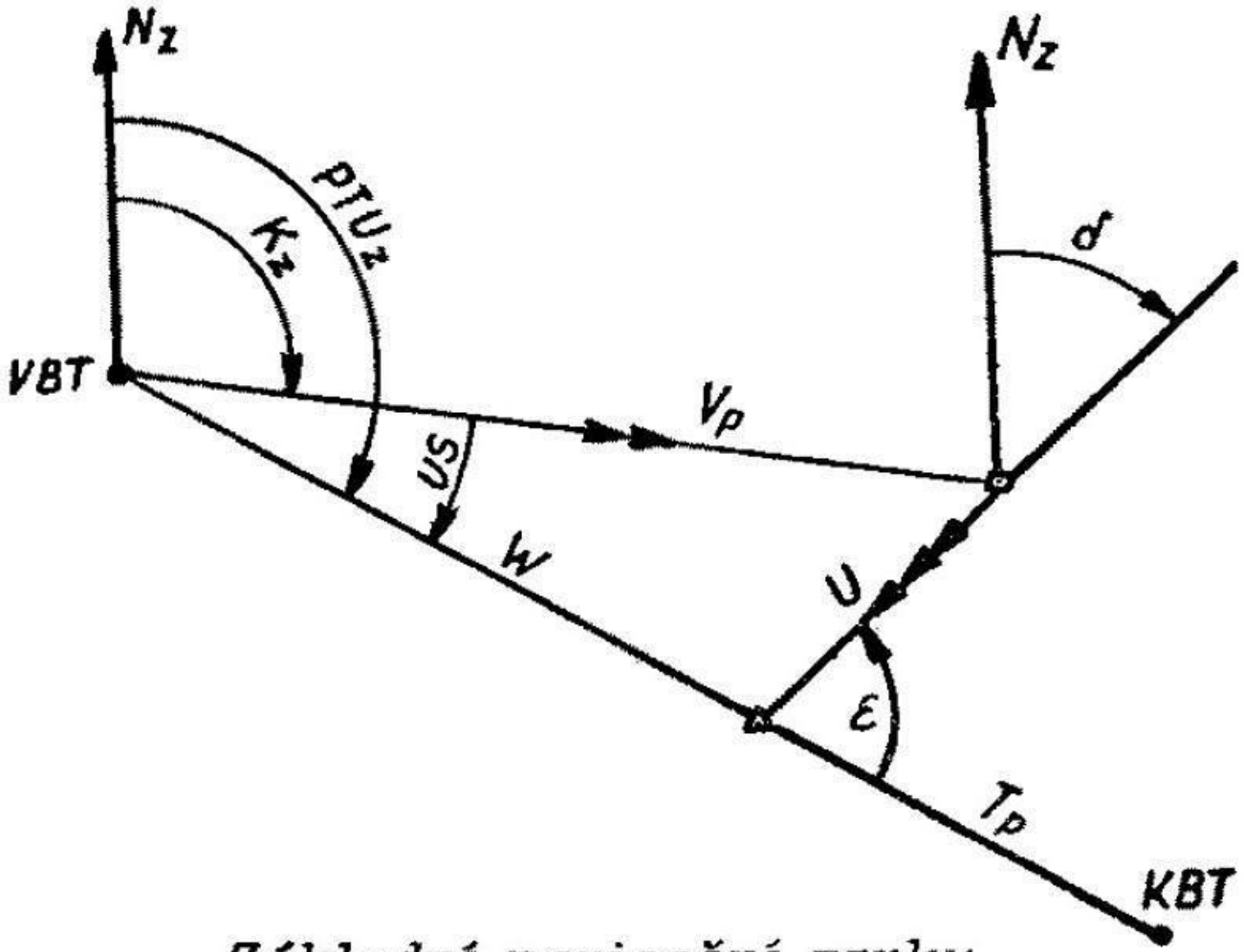
To ještě není všechno, vydržte!

Navigace výpočtem

pokračuje me:

- Úhel snosu – US – úhel mezi osou letadla (kursovou přímkou) a tratí. Vane-li vítr zprava, snáší letadlo doleva = levý snos a naopak.
- Úhel větru na trať – ε – úhel sevřený směrem větru a směrem tratě
- Přístrojová rychlost – V_{pr} – indikovaná vzdušná rychlost (rychloměrná rychlost)
- Opravená vzdušná rychlost – V (OVR) – rychlost opravená o chybu přístroje
- Pravá vzdušná rychlost – V_p (PVR) – rychlost opravená o všechny vlivy prostředí
- Traťová rychlost – W (TR) – rychlost letu vůči zemi; rychlost opravená o vliv větru
- Výška letu – H – výška vůči terénu, mořské nebo tlakové hladině
- Výška letu nad terénem – (AGND) – (relativní výška) většinou odhadnutá
- Výška letu nad mořem – (AMSL) – (absolutní výška) podle tlaku QNH
- Letové hladiny – lety nad převodní výškou, výškoměr je nastaven na QNE
- Čas t, Vzdálenost S (mezi navigačními body), Poloha letounu PL, Vzdušná poloha, Vypočítaní poloha, Zjištěná poloha (fix);

Navigace výpočtem



Základní navigační prvky

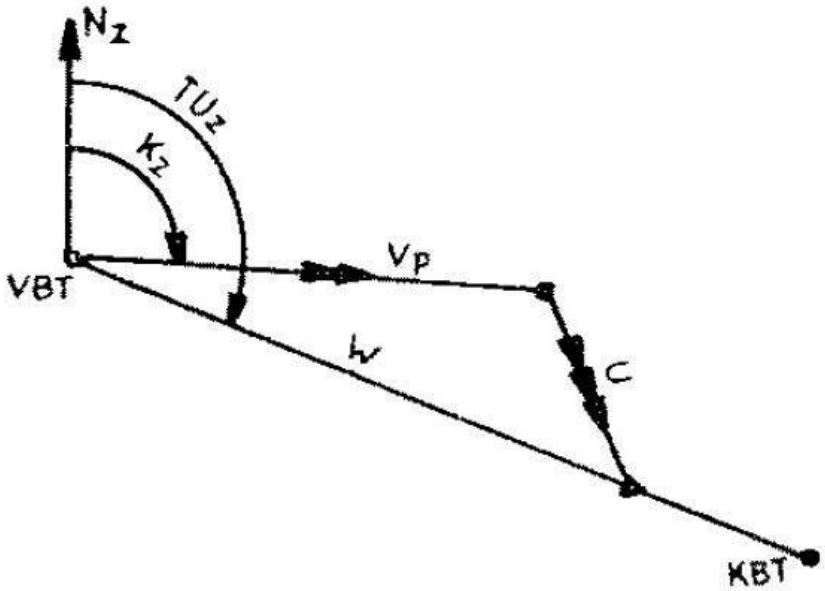
Navigace výpočtem

grafické řešení navigační úlohy

Pracujeme se třemi skupinami navigačních prvků:

- vektor pravé vzdušné rychlosti, vynesený na kurzové přímce
- vektor traťové rychlosti, vynesený na trať
- vektor větru

Vynášíme je ve směrech, odpovídajících skutečnosti, jako úsečky.

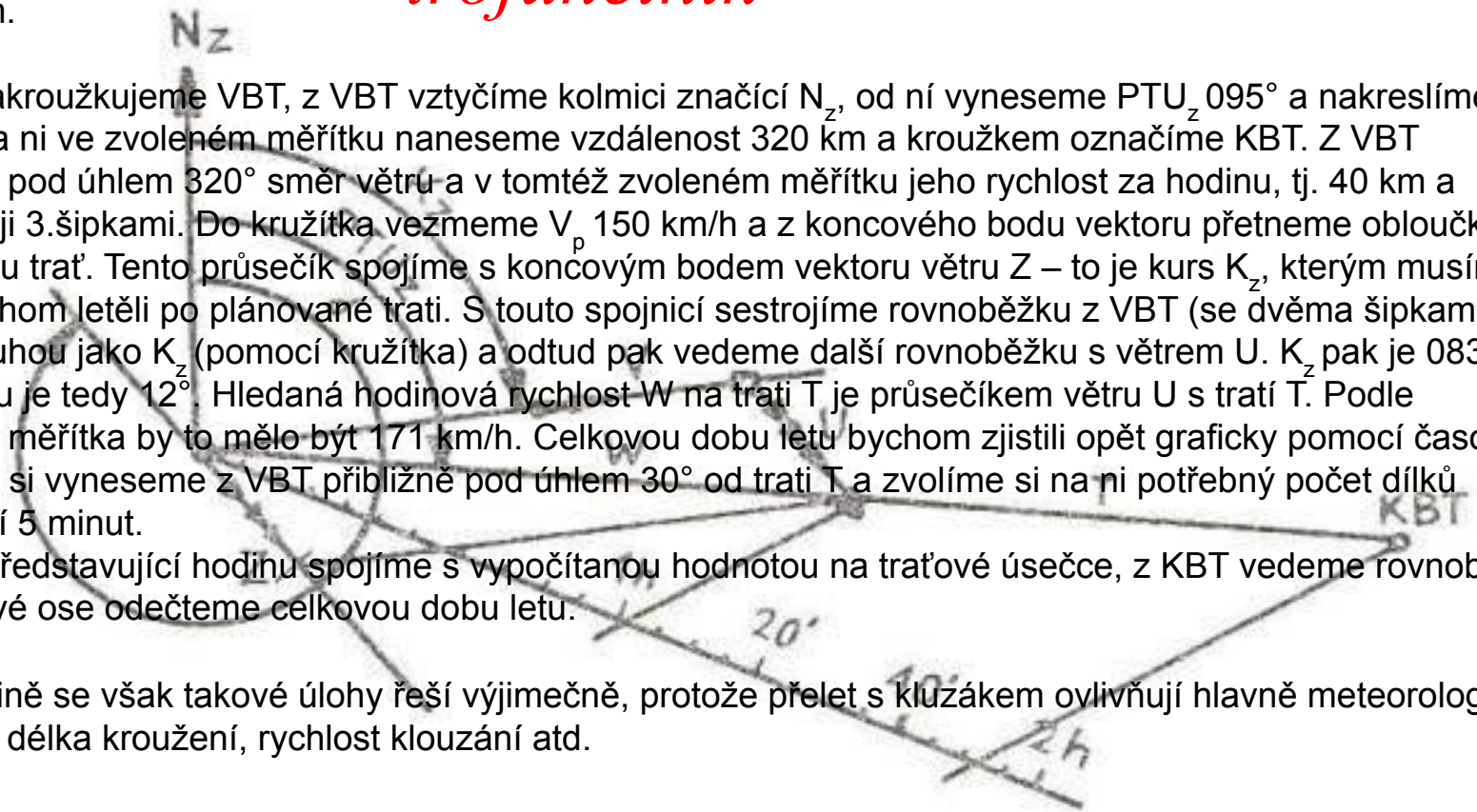


Navigační vektorový trojúhelník

Navigace výpočtem

navigační trojúhelník

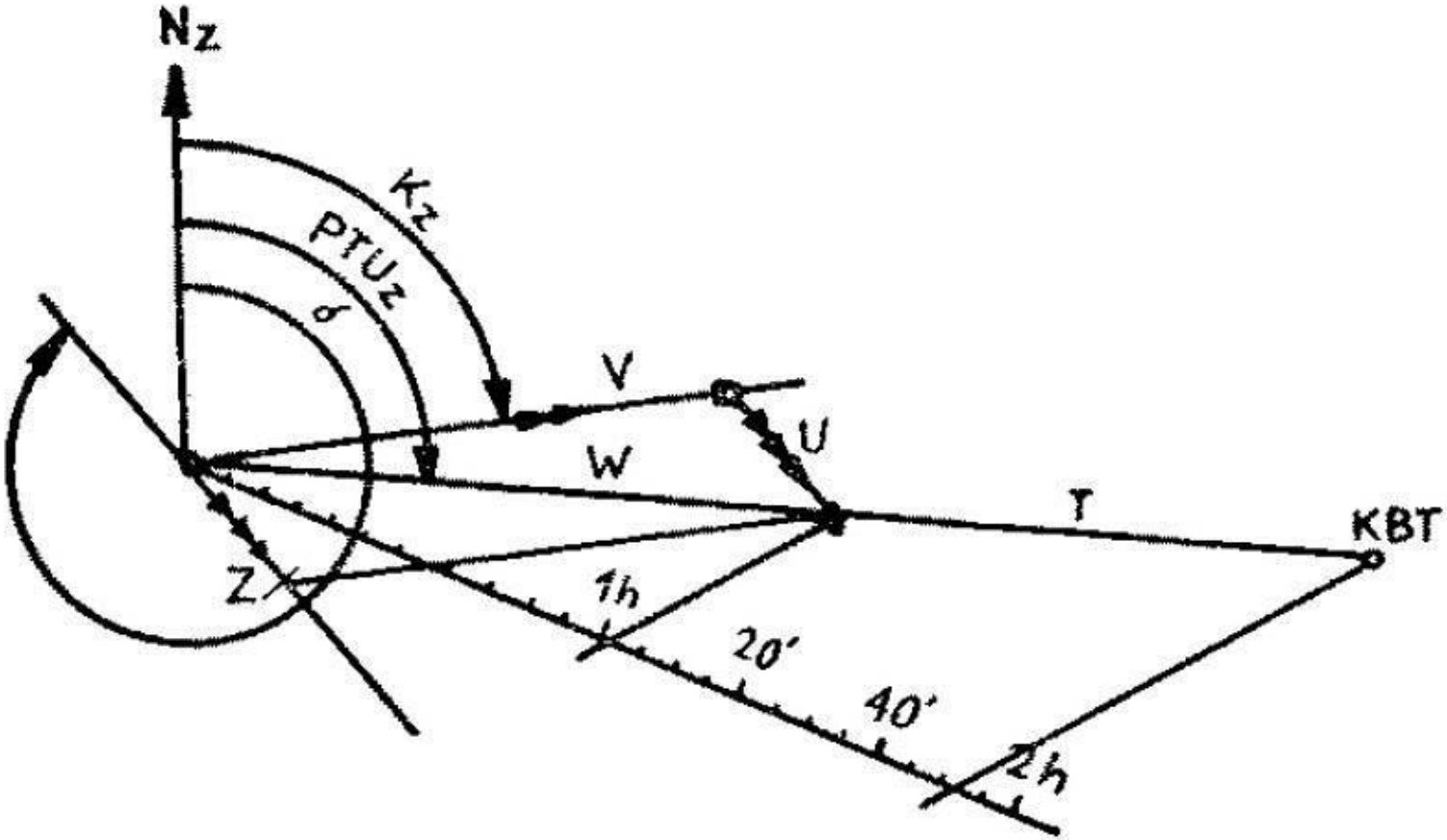
Příklad: plánovaný Tu_z je 095°, vzdálenost mezi VBT a KBT je 320 km, PVR je 150 km/hod, vítr je 320°/40km.



Řešení: zakroužkujeme VBT, z VBT vztyčíme kolmici značící N_z, od ní vyneseme PTU_z 095° a nakreslíme přímku. Na ni ve zvoleném měřítku naneseme vzdálenost 320 km a kroužkem označíme KBT. Z VBT vyneseme pod úhlem 320° směr větru a v tomtéž zvoleném měřítku jeho rychlost za hodinu, tj. 40 km a označíme ji 3.šipkami. Do kružítka vezmeme V_p 150 km/h a z koncového bodu vektoru přetneme obloučkem plánovanou trať. Tento průsečík spojíme s koncovým bodem vektoru větru Z – to je kurs K_z, kterým musíme letět, abychom letěli po plánované trati. S touto spojnicí sestrojíme rovnoběžku z VBT (se dvěma šipkami) stejně dlouhou jako K_z (pomocí kružítka) a odtud pak vedeme další rovnoběžku s větrem U. K_z pak je 083°. Úhel snosu je tedy 12°. Hledaná hodinová rychlost W na trati T je průsečíkem větru U s tratí T. Podle zvoleného měřítka by to mělo být 171 km/h. Celkovou dobu letu bychom zjistili opět graficky pomocí časové přímky. Tu si vyneseme z VBT přibližně pod úhlem 30° od trati T a zvolíme si na ni potřebný počet dílků zobrazující 5 minut.
12. dílek představující hodinu spojíme s vypočítanou hodnotou na traťové úsečce, z KBT vedeme rovnoběžku a na časové ose odečteme celkovou dobu letu.

V plachtařině se však takové úlohy řeší výjimečně, protože přelet s kluzákem ovlivňují hlavně meteorologické podmínky, délka kroužení, rychlost klouzání atd.

Navigace výpočtem

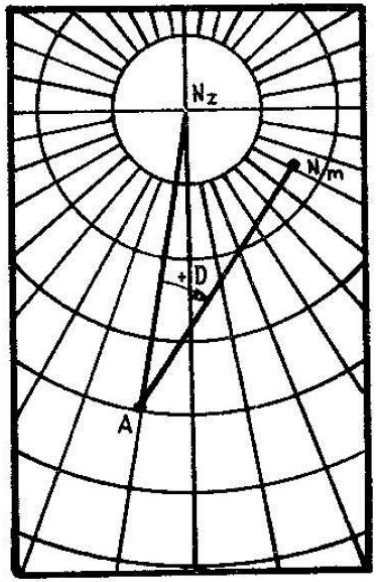


Zjištění K_z, W, US a doby letu graficky

Zemský magnetizmus

Magnetická deklinace

Polohy zemských magnetických pólů nejsou shodné s póly zeměpisnými. Dokonce jsou od nich vzdáleny až cca 2000 km. Proto kurs, který nám ukazuje magnetka kompasu není kurs zeměpisný, ale magnetický a ten se liší o deklinaci D. Je to úhel mezi poledníkem a směrem magnetky, čili mezi zeměpisným (Nz) a magnetickým (N_m) severem.



Úhel mezi směrem zeměpisného a magnetického severu

(magnetická deklinace východní — kladná)

A — stanoviště pozorovatele; N_z — zeměpisný sever; N_m — magnetický sever; D — úhel mezi směrem zeměpisného a magnetického severu (úhel východní — kladné magnetické deklinace)

Zemský magnetismus

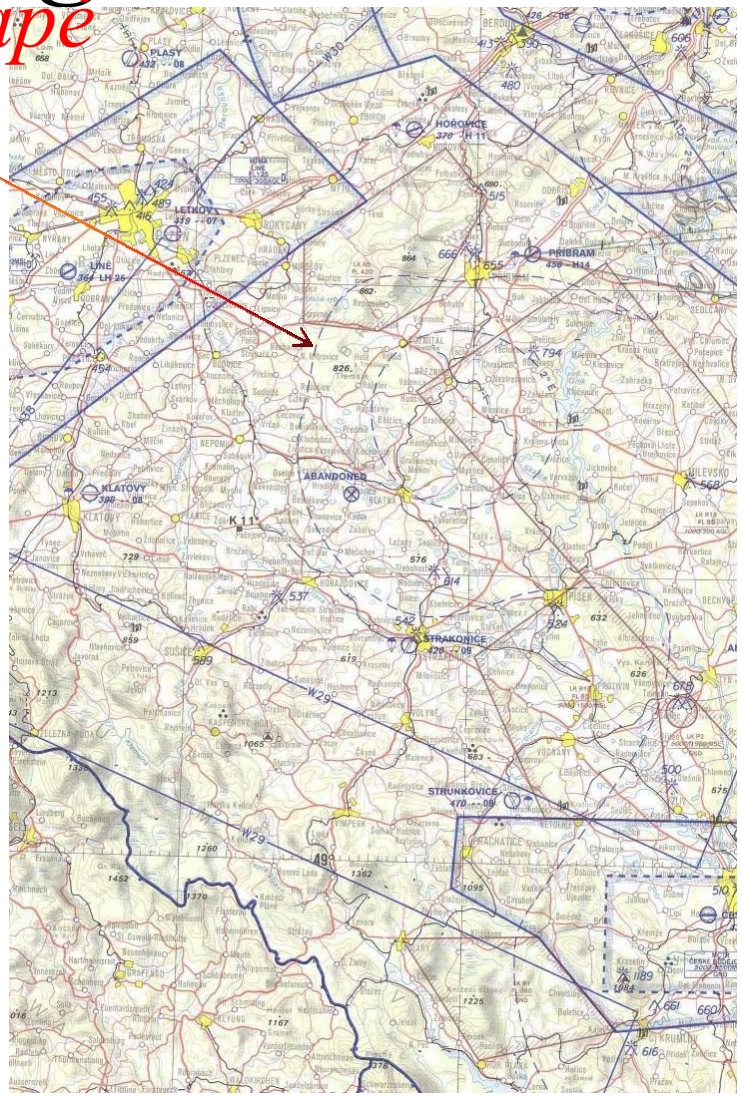
Magnetická deklinace na mapě

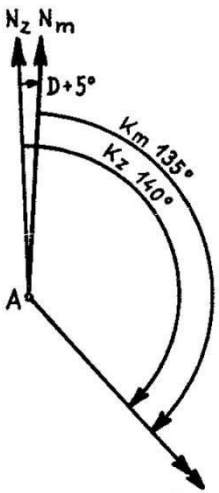
Izogóny – čáry spojující stejnou deklinaci.

Čára nulové deklinace je agóna.

Informace o hodnotách a změnách deklinací jsou navíc zobrazeny na okrajích map.

Východní deklinace je kladná, západní záporná.





Příklad zjištění K_m grafickou metodou

Kurs zeměpisný si musíme převést na kurs magnetický. Jak? To je na následujícím „slidu“.

Zemský magnetizmus

Magnetická deklinace na mapě

Převod provádíme prakticky výlučně matematicky:

- *je-li deklinace kladná, je K_m o tuto deklinaci menší než K_z.*
- *je-li deklinace záporná, je K_m o tuto deklinaci větší než K_z.*

Čili matematický převod K_z na K_m je podle zásady: záporná deklinace se musí přičíst a kladná odečíst. Trochu zmatek, tak si to napíšeme matematicky:

$$K_m = K_z - (\pm D)$$

Ještě jednou: východní deklinace je kladná, západní záporná.

Zemský magnetizmus

Deviace kompasu

Letecký kompas neukazuje nikdy přesně. Jeho hodnoty jsou ovlivněny magnetizmem letadla, který odchyluje střelku od správného směru. Odchylka N_k od N_m je deviací kompasu. Je-li N_k západně od N_m, je deviace západní, čili záporná, je-li východně, je kladná. Značí se Δ_k.

Úhel mezi N_k a podélnou osou letadla je K_k a měříme jej od N_k ve směru hodinových ručiček. Pro plachtaře je to opět hodnota orientační, motoroví piloti s ní však počítat musejí.

Deviace se zjišťuje pomocí kompenzace kompasu a provádí se vždy jednou za rok, dále při zásahu do palubní desky letadla a tehdy, když si pilot stěžuje na nespolehlivé údaje kompasu.

DEVIAČNÍ TABULKA

TYP LETOUNU: C105
IMAT. ZNAČ. : IFH
TYP KOMPASU: FK 38
VÝR. ČÍSLO : 365
DATUM KOMP.: 3.4.63
PODPIS : Král J.

Km	ΔK
000	-2
030	-3
060	-4
090	-2
120	0
150	+2
180	0
210	-2
240	-3
270	0
300	+2
330	0

Vzor deviační tabulky

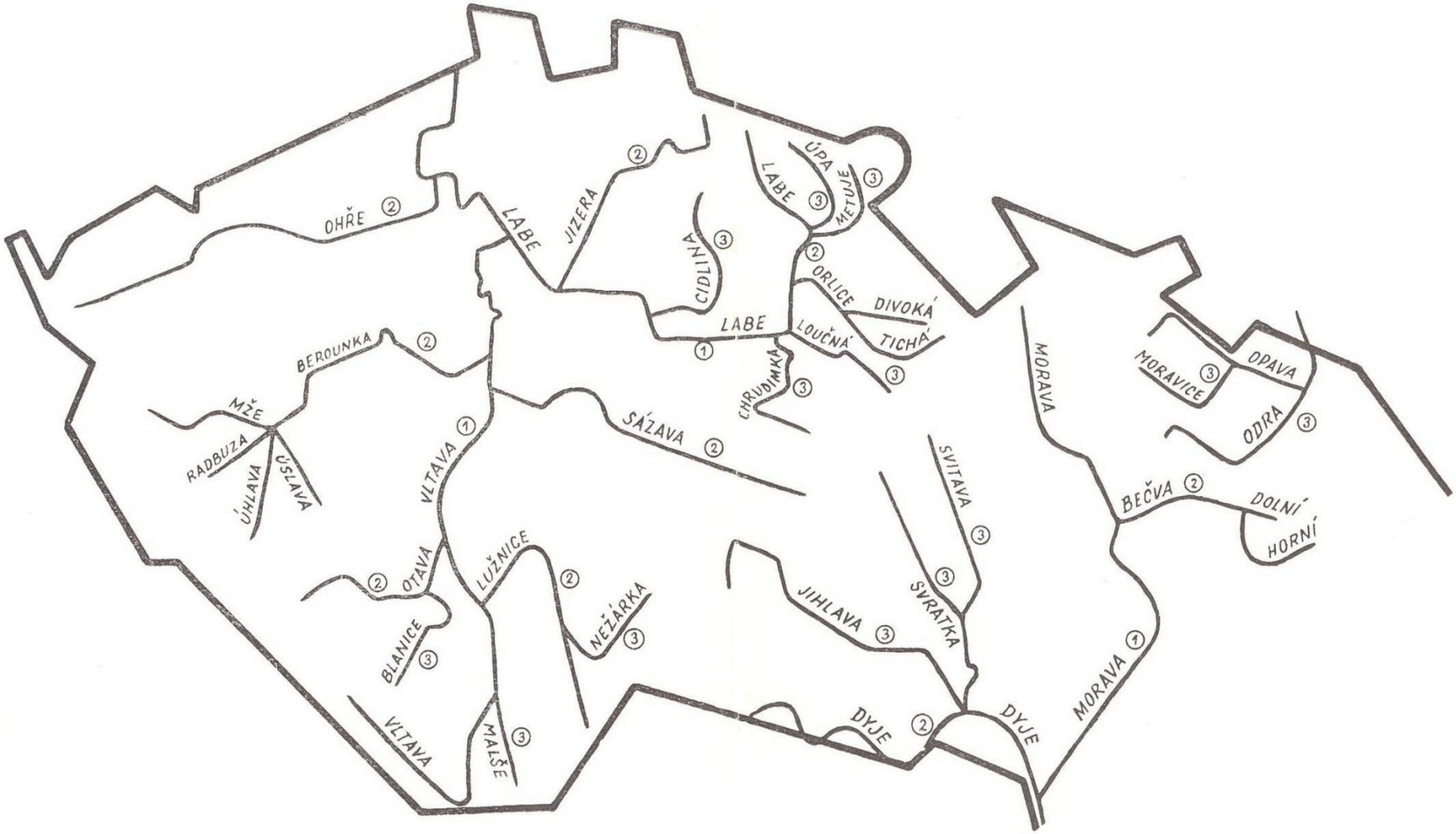
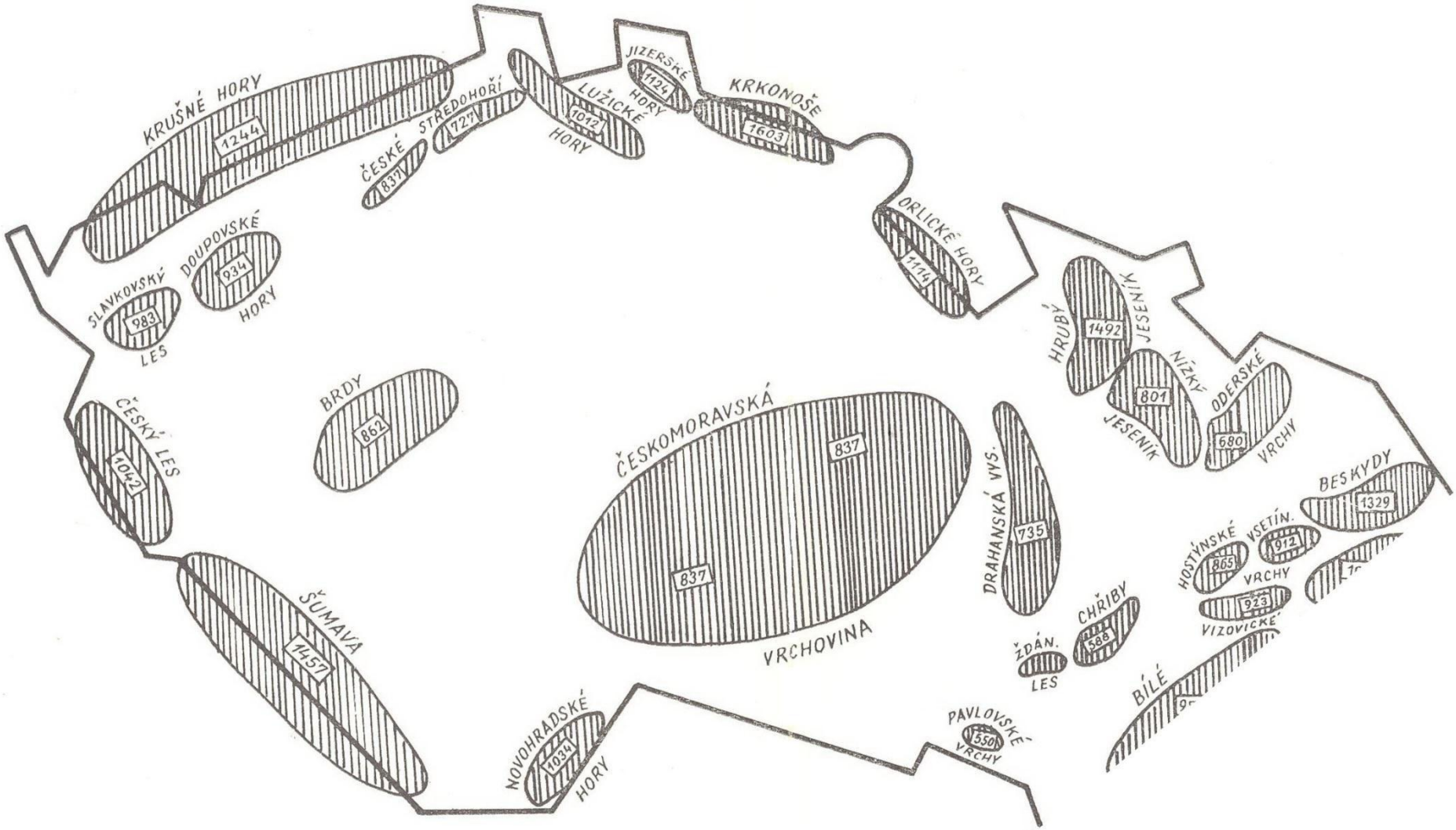
$$K_k = K_m - (\pm \Delta_k)$$

Příklad: K_z=280°, D= - 4°, Δ_k = 7°; K_k = ?

K_k = 280 - (- 4) - (+7) = 280+4-7 = 277°

Celková oprava má pak tvar: $K_k = K_z - (\pm D) - (\pm \Delta_k)$

Trochu zeměpisu



Trochu zeměpisu