

Převzato z Help Kokeše

Vyrovnnání síť

Funkce slouží k vyrovnnání lokálních geodetických sítí (rovinných i výškových). Pro svoji práci využívá veřejné knihovny geodetických tříd a funkcí GaMaLib, která je volně šiřitelná v rámci licence GNU GPL. V současné verzi je možné vyrovnávat pouze síť v pravotočivých soustavách s kladně měřenými směry nebo úhly (typicky S-JTSK).

Vstupními daty pro vyrovnnání sítě jsou výchozí body sítě (pevné a opěrné body) a měření, proto se pro spuštění funkce předpokládá existence alespoň jednoho načteného seznamu souřadnic (dále jen SS) a načtená (importovaná) měřená data.

Po spuštění funkce se objeví dialog obsahující čtyři základní záložky nazvané SS, Body, Měření a Nastavení.

záložka SS

Tato záložka slouží k zadání jednoho nebo více otevřených SS, v nichž se hledají výchozí body sítě (pevné a opěrné body). Každý bod sítě, který je nalezen v některém z těchto seznamů, je z hlediska vyrovnnání výchozím bodem. SS výchozích bodů sítě musí existovat a musí být do systému načteny ještě před spuštěním funkce! Protože v procesu vyrovnnání sítě dochází k dopočtu dalších souřadnic - přibližných a vyrovnaných souřadnic určovaných bodů, je nutné definovat i SS pro tyto skupiny bodů. Na rozdíl od SS výchozích bodů tyto SS existovat nemusí a lze je v rámci funkce založit.

V levé části dialogu se nachází seznam všech aktuálně načtených SS do systému. Pomocí tlačítek „☐“ a ☐ lze nastavit příslušnost SS k dané skupině SS (SS s pevnými, opěrnými, přibližnými či vyrovnanými body). Pokud SS s přibližnými či vyrovnanými souřadnicemi ještě neexistují lze je pomocí tlačítka Nový založit. Pokud SS s přibližnými souřadnicemi již existuje, lze etapu výpočtu přibližných souřadnic přeskočit příp. dopočítat pouze přibližné souřadnice u těch bodů, které žádné souřadnice neměly.

záložka Body

Zde jsou v přehledném tvaru zapsány všechny body, které se účastní procesu vyrovnnání. V levé části se nachází seznam stanovisek a to v tom pořadí, v jakém byly nalezeny v měřených datech. Pro každé stanovisko se v pravé části dialogu zobrazují všechny orientace, na které se z tohoto stanoviska měřilo. U každé orientace se znázorňují CB, souřadnice, informace o jaký typ bodu se jedná (pevný, opěrný, určený) a signál, má-li se daný bod účastnit vyrovnnání či nikoliv (sloupeček p - polohové vyrovnnání, v - výškové vyrovnnání). S výjimkou CB lze všechny ostatní údaje editovat. Protože se bod s daným CB může v měřených datech vyskytovat vícekrát (na daném bodě či na daný bod může být opakovaně měřeno) projeví se jakákoliv změna na bodě ve všech jeho výskytech.

Pokud se bod s daným CB nachází ve zdrojových SS duplicitně s různou polohou nebo výškou, objeví se v tabulce bodů vedle CB symbol [,], který o této skutečnosti uživatele informuje. Kliknutí (pravým tlačítkem myši) na tento symbol způsobí vyvolání dialogu se seznamem všech výskytů bodu daného CB s možností vybrat jiný bod do zpracování. Implicitně je do zpracování vybrán bod, který má souřadnice a výšku a jehož souřadnice jsou "co nejkvalitnější". Kvalita souřadnic se posuzuje v pořadí pevné, opěrné a nakonec určené.

záložka Měření

Tato záložka je obdobou záložky Body pouze s tím rozdílem, že místo souřadnic se pro nalezené orientace znázorňují měřená data. Z důvodu možného nestejnorodého měření se ale měřená data přepočítávají na vodorovné délky (neredukované), vodorovné směry, příp. převýšení a tato "přepočítaná data" se pak spolu se svými středními chybami znázorňují v tabulce a jsou základem

vyrovnání. Všechna tato měření lze editovat nebo zapínat či vypínat pro zpracování a to jak hromadně (všechna měření na orientační bod), tak i jednotlivě.

Střední chyby délek a převýšení se zadávají v [mm], vodorovných směrů ve vteřinách !

Protože obě výše uvedené záložky prakticky znázorňují totožná data, jsou spolu svázané. Dojde-li v jedné ze záložek k vybrání konkrétního stanoviska, automaticky se vybere stejné stanovisko i v záložce druhé.

záložka Nastavení

Obsahem této záložky jsou veškerá nastavení týkající se vyrovnání sítě. Implicitní parametry nastavení lze nastavit tlačítkem Default.

typ výpočtu (polohové vyrovnání, výškové vyrovnání nebo oboje)

parametry sítě:

hodnota apriorní střední chyby - hodnota apriorní střední chyby (zjišťuje se automaticky na základě jednotkových středních chyb měření jdoucích do vyrovnání, ty lze nastavit ve funkci Nástroje - Nastavení programu - záložka Výpočty - sekce střední chyby)

tolerance pro identifikaci vybočujících absolutních členů v rovnicích oprav (implicitně 1000 mm)

- Jedním z parametrů programu je i nastavení tolerance pro testování vybočujících absolutních členů v rovnicích oprav. Pro měřené délky jde o rozdíl mezi měřenou délkou a délkou vypočtenou z přibližných souřadnic, pro měřené směry jde o příčnou odchylku odpovídající absolutnímu členu soustavy rovnic oprav.
- Implicitní hodnotou je 1000 mm.
- Měření s vybočujícími absolutními členy jsou vždy vyloučena a nevstupují do vyrovnání.

konfidenční pravděpodobnost použitá ve statistických testech (implicitní hodnota 0.95) aktuální typ střední chyby použitý ve statistických testech (implicitně apriorní) - Parametr statistické analýzy, který určuje hladinu významnosti, na které probíhají statistické testy vyrovnaných veličin. Implicitní hodnota je 0.95.

aktuální typ střední chyby: použitý ve statistických testech (implicitně apriorní)

grafické znázornění prvků sítě (možnost nastavit barvu a styl čáry [linie] pro jednotlivé typy měření nebo body sítě, zadání geometrických parametrů pro vykreslení elips chyb, při změně libovolného grafického parametru týkajícího se zobrazení sítě dojde k jejímu automatickému překreslení - samozřejmě za předpokladu, že je síť již vykreslena)

způsob uložení protokolu o vyrovnání (do standardního protokolu KOKEŠe, do záznamu výpočtu či do nového souboru)

Vlastní průběh vyrovnání sítě lze ovládat pomocí tlačítek Statistika sítě, Přibližné souřadnice, Vyrovnané souřadnice a Zobrazení sítě, která se nacházejí ve spodní části dialogu.

tlačítko Statistika sítě

Umožňuje vypsát souhrnné údaje o zpracovávané síti, tj. počet délek, směrů a převýšení, dále informace o počtu pevných, opěrných a určovaných bodů vždy zvlášť pro polohové a zvlášť pro výškové vyrovnání, pro jednotlivé skupiny bodů informuje i o nalezených bodech bez souřadnic. V případě výskytu totožných souřadnic či výšky stanoviska a příslušné orientace se vypisují i tyto chybové body.

tlačítko Přibližné souřadnice

Spouští proces výpočtu přibližných souřadnic určovaných bodů, lze zvolit výpočet přibližných souřadnic všech určovaných bodů nebo pouze těch, které ještě souřadnice nemají. Předpokládá se, že všechny výchozí body sítě (pevné a opěrné), nutné pro výpočet přibližných souřadnic určovaných bodů, mají souřadnice. Pokud tomu tak není, je výpočet přerušen a vypsána chybová hláška. Po úspěšném výpočtu přibližných souřadnic se zobrazí dialog s protokolem o výpočtu a se seznamem spočtených souřadnic bodů. Tlačítkem Použít se tyto souřadnice akceptují pro další výpočet, tlačítkem Nepoužít se naopak souřadnice "zahazují". Jsou-li spočtené souřadnice k dispozici, je možné nechat si opakovaně jejich seznam přehledně vypsát či uložit do SS (tlačítko Přibližné souřadnice – volba výpis souřadnic příp. uložení souřadnic). Je-li k dispozici seznam souřadnic s přibližnými souřadnicemi určovaných bodů a je-li již načten do funkce, je možné proces výpočtu přibližných souřadnic přeskočit.

Přibližné souřadnice se použijí pro redukce měřených veličin, které se provádějí podle aktuálního nastavení, pro případnou kresbu sítě a samozřejmě jako vstup pro výpočet vyrovnaných souřadnic.

tlačítko Vyrovnané souřadnice

Spouští proces výpočtu vyrovnaných souřadnic určovaných bodů. Předpokládá se, že pro všechny určované body existují přibližné souřadnice (načtené nebo spočítané) a že všechny výchozí body sítě (pevné a opěrné) mají souřadnice. Pokud tomu tak není, je výpočet přerušen a vypsána chybová hláška. Zároveň je kontrolováno, zda do vyrovnání nevstupuje měření s "nulovou" délkou či není pro nějaké měření nastavena "nulová" střední chyba. Po úspěšném výpočtu vyrovnaných souřadnic se zobrazí dialog s protokolem o výpočtu a se seznamem spočtených souřadnic bodů. Tlačítkem Použít se tyto souřadnice akceptují pro další výpočet, tlačítkem Nepoužít se naopak souřadnice "zahazují". Jsou-li spočtené souřadnice k dispozici, je možné nechat si opakovaně vypsát protokol o vyrovnání, vypsát seznam spočtených bodů nebo body uložit do zvoleného SS (tlačítko Vyrovnané souřadnice – volba výpis souřadnic, uložení souřadnic nebo zobrazení protokolu).

tlačítko Zobrazení sítě

Umožňuje vykreslit či naopak smazat kresbu sítě. Parametry pro kresbu sítě se nastavují v záložce Nastavení. Kreslí se vždy pouze ta data, která jsou momentálně k dispozici, tj. vždy pevné a opěrné body, přibližné či vyrovnané souřadnice určovaných bodů se vykreslují pouze za předpokladu, že byly počítány nebo byly načteny (přibližné souřadnice). Pokud nejsou k dispozici přibližné souřadnice nebudou vykreslena žádná měření mající vazbu na tyto body. Funkce umožňuje zobrazit i elipsy chyb (to ale za předpokladu úspěšného výpočtu vyrovnaných souřadnic). Soubor s kresbou sítě má vždy název _sit.vyk a umísťuje se do datového adresáře systému KOKEŠ (lze nastavit ve funkci Nástroje - Nastavení programu - záložka Soubory - sekce Nastavení adresářů).

K ukončení funkce dojde po stisku tlačítek OK nebo ESC.

Poznámky:

1. Rychlé hledání v seznamu stanovisek nebo orientací.
2. Grafická reprezentace sítě.
3. Je-li zobrazena kresba sítě, je možné ji identifikovat. Dojde-li k identifikaci linie reprezentující konkrétní měření, je toto měření vyhledáno v záložce Měření a zvýrazněno. Při identifikaci symbolu, který reprezentuje bod sítě, se odpovídající bod vyhledá v záložce Body a také zvýrazní.

4. Při ukládání bodů do SS dochází ke kontrolám dvojího výpočtu bodu. Je-li nalezena duplicita, objeví se dialog s informací o duplicitě a s možností hromadně nastavit chování systému pro další nalezené duplicitní body. Tento režim lze nastavit také manuálně Nástroje - Nastavení programu - Výpočty - druhý výpočet bodu.

Body (přibližné, vyrovnané) se vždy ukládají do zvoleného SS se všemi souřadnicemi, které na daném bodě existují, a to i za předpokladu, že nějaká ze souřadnic nebyla počítána, ale byla definována a načtena jako pevná nebo opěrná (příp. kdy se jako přibližná již načetla). Pokud se s bodem ukládají souřadnice, které nebyly počítané, je tato skutečnost zapsána do kódu bodu. Je-li následně SS s těmito body opětovně vybrán do zpracování sítě, je kvalita bodům přiřazena na základě informace uložené v kódu bodu. Ostatním bodům se kvalita nastavuje standardně dle příslušnosti SS do dané kvalitativní skupiny SS. Typickým příkladem může být výškové vyrovnání sítě. V tomto konkrétním případě se zvolí SS s pevnými body tj. body s pevnou výškou. Ostatním bodům je výška dopočítána. Při ukládání bodů s nově spočtenou výškou do nového SS se samozřejmě u každého bodu uloží i souřadnice X a Y, které se ale nezměnily, proto se o tom zapíše informace do kódu bodu.

5. Z důvodu přílišné velikosti protokolu o vyrovnání se tento nevypisuje po každém výpočtu (při jednom spuštění funkce) do protokolu KOKEŠe, ale zapisuje do něj až při ukončování funkce přes tlačítko OK. Samozřejmě je ještě nutné zapnout v Nastavení volbu ukládání protokolu. Protokol je také možné zapsat do záznamu výpočtu nebo jiného textového souboru.

6. Pro výškové vyrovnání se předpokládá trigonometrické měření výškových rozdílů. Střední chyba každého dílčího převýšení se počítá podle vzorce:

$mdh = \sqrt{0.5 * (l^2 * m_z^2 + 0.006^2 * m_l)}$ (kde l je vzdálenost a m_z a m_l jsou střední chyby zenitového úhlu a délky)

a je tedy závislá na střední chybě v měření zenitového úhlu a na délce orientace a její střední chybě. Výškové vyrovnání s použitím nivelovaných převýšení se připravuje do následujících verzí.

7. Ukázka postupu při vyrovnání sítě.

8. Kvalitativní rozbor měření a vyrovnání (analýza protokolu o vyrovnání).

Chyby

Při posuzování kvality vyrovnání sítě je nutné zaměřit pozornost zejména na následující parametry, které jistým způsobem charakterizují kvalitu vyrovnání:

1. vybočující absolutní členy rovnic oprav
2. aposteriorní jednotková střední chyba (po vyrovnání)
3. opravy vyrovnaných bodů
4. test chyby z linearizace
5. opravy měřených veličin
6. další charakteristiky přesnosti

Vybočující absolutní členy rovnic oprav

Prvotním testem kvality měřených dat je jejich vzájemné porovnání s hodnotami zjištěnými z přibližných souřadnic. Pro délky se jedná přímo o rozdíl mezi měřenou délkou a délkou zjištěnou z přibližných souřadnic. Pro směry se jedná o příčnou odchylku. V obou případech by odchylka neměla být větší než vhodně zvolená hodnota. Tato hodnota (tolerance) je jedním ze základních parametrů programu. Lze ji nastavit na záložce Nastavení a její implicitní hodnota je 1000 mm.

Všechna měření, u kterých bylo výše popsáným testem zjištěno překročení této mezní hodnoty, se považují za vybočující absolutní členy rovnic oprav a nebudou vůbec do zpracování zahrnuta.

Aposteriorní jednotková střední chyba (m_0)

Jedná se o chybu jejíž hodnota vychází z vyrovnání (oprav) zprostředkujících měření. Její přílišná „velikost“, příp. nachází-li se mimo tzv. konfidenční interval (viz níže), obvykle ukazuje na špatnou kvalitu měření. Testuje se pomocí poměru aposteriorní a apriorní střední chyby. Apriorní střední chyba (m_0) je dalším z parametrů programu. Její velikost je zjišťována automaticky na základě středních chyb měřených veličin. Ty lze nastavit přímo v systému KOKEŠ ve funkci Nastavení programu – záložka Měření.

Poměr aposteriorní a apriorní střední chyby přibližně vypovídá o tom, nakolik skutečné měření odpovídá zadaným (teoretickým) středním chybám měřených veličin vstupujícím do vyrovnání. Měl by se nacházet v tzv. konfidenčním intervalu neboli intervalu, kde se s danou pravděpodobností nachází skutečná hodnota střední chyby. Jeho velikost je závislá mimo jiné na počtu nadbytečných měření a na zvolené konfidenční pravděpodobnosti (další z parametrů programu, lze ji nastavit na záložce Nastavení). Jinými slovy jeho velikost lze ovlivnit zvolením jiné hodnoty konfidenční pravděpodobnosti či vypnutím/zapnutím dalších měření ze zpracování. Při dané konfidenční pravděpodobnosti se konfidenční interval zužuje s rostoucím počtem měření jdoucích do vyrovnání.

Je-li empirická aposteriorní střední chyba výrazně menší než apriorní střední chyba, pak se měření vzájemně „dobře vyrovnala“. To může být důsledkem „výhodného“ promíchání chyb v řadě pozorování, nebo je skutečná přesnost měření vyšší než ukazovala apriorní střední chyba. Pokud je naopak výrazně větší je měření například zatíženo systematickými chybami nebo bylo měřeno s nižší přesností než se předpokládalo přičemž i jedna hrubá chyba v měření může způsobit překročení horní hranice konfidenčního intervalu. Vyloučením tohoto měření z vyrovnání pak může dojít i k podstatnému snížení aposteriorní střední chyby a tudíž i ke zmenšení poměru aposteriorní a apriorní střední chyby.

V případech, kdy jsou spolehlivě známy střední chyby měřených veličin nebo kdy je nedostatek nadbytečných měření, se pro statistickou analýzu obvykle používá přímo hodnota apriorní střední chyby. Typ střední chyby použitý pro statistické testy je dalším parametrem programu, lze ho opět nastavit na záložce Nastavení.

Opravy vyrovnaných bodů

Pro každý určovaný bod jsou počítány přibližné a vyrovnané souřadnice, střední chyba (m_i) a konfidenční interval, ve kterém se s danou pravděpodobností nachází skutečná hodnota souřadnic určovaných bodů. Ze znalostí vyrovnané a přibližné souřadnice je pro každou souřadnici počítána i korekce dx resp. dy .

Pro určované body se dále počítají:

$$\text{střední polohová chyba } m_p = \sqrt{m_x^2 + m_y^2}$$

střední souřadnicová chyba $m_{xy} = m_p / \sqrt{2}$

střední elipsy chyb, které jsou definované svým středem (ve vyrovnané poloze), hlavní a vedlejší poloosou a jižníkem hlavní poloosy, význam střední elipsy chyb je ten, že její poloosy představují maximální a minimální velikost střední chyby na konkrétním bodu v určitém směru. Význam konfidenční elipsy chyb je ten, že se dá s příslušnou pravděpodobností říci, že bod leží uvnitř elipsy. Pokud jsou v rámci sítě elipsy výrazně zploštělé v podobném směru, může to signalizovat chybu nebo špatné určení polohy v síti v převládajícím směru hlavních polos.

V protokolu je dále uvedena maximální střední polohová chyba a průměrná polohová chyba. Jejich hodnota odráží přesnost celé sítě.

Test chyby z linearizace

Tímto testem se kontroluje, zda jsou přibližné souřadnice určovaných bodů určeny s dostatečnou přesností. Pokud nastane situace, že jejich přesnost je nedostatečná, dochází k opakovanému vyrovnaní, kdy souřadnice přibližné jsou nahrazeny souřadnicemi vyrovnanými zjištěnými z prvního vyrovnaní. Testování probíhá porovnáním hodnot vyrovnaných měřených veličin vypočtených jednou z oprav a podruhé z vyrovnaných souřadnic. Pro měřené směry a úhly se navíc počítá příčná polohová odchylka odpovídající vypočtené úhlové diferenci ve vzdálenosti cíle. Za kritérium chybné linearizace je považována polohová diference větší než 0.0005 mm.

Z praktického pohledu je tato hodnota zanedbatelná. V extrémních případech sítě s nevhodnou geometrickou konfigurací se ale i takto malý nesoulad může v dalších iteracích projevit ve vyrovnaných souřadnicích (maximální počet iterací je v programu nastaven na hodnotu 3).

Opravy měřených veličin

Pro každou měřenou veličinu je počítána její vyrovnaná hodnota, její střední chyba (m_i) a konfidenční interval, ve kterém se s danou pravděpodobností nachází skutečná hodnota dané veličiny. V následující tabulce je pak pro každou měřenou veličinu počítána oprava (v) a normovaná (studentizovaná) oprava (v'), která je použita pro test odlehlosti měření. Pokud normovaná nebo studentizovaná oprava překročí kritickou hodnotu pro zadanou konfidenční pravděpodobnost, je ve výpisu označena písmenem k, maximální normovaná nebo studentizovaná oprava je označena ve výpisu písmenem m.

Analýzou těchto oprav lze také poměrně spolehlivě posoudit kvalitu vyrovnaní. Na špatné vyrovnaní mohou ukazovat zejména následující indicie:

- větší počet odlehlých měření s velkou normovanou opravou – ukazuje na možnost nesprávně zadaných souřadnic některých z pevných bodů

- větší počet odlehlých měření s menší normovanou opravou – tento stav může nastat při nesprávném odhadu apriorní střední chyby, protože tato chyba se automaticky počítá z apriorních středních chyb veličin vstupujících do vyrovnaní, je nutné tyto střední chyby upravit (Nástroje - Nastavení programu).

- příliš velké normované opravy – ukazují na hrubé chyby v měřeních, měření s maximální opravou program vypíše a nabízí k vypuštění. Maximální normovaná, resp. studentizovaná, oprava ukazuje bezpečně na hrubou chybu měření pouze v tom případě, že soubor měření obsahuje jediné odlehlé pozorování. Obsahuje-li soubor měření dvě nebo více hrubých chyb, jsou metodou MNČ ve vyrovnaní "rozpuštěny" a vyloučení měření s největší normovanou/studentizovanou opravou nemusí odpovídat vyloučení měření s hrubou chybou.

Další charakteristiky přesnosti

Mezi další charakteristiky přesnosti patří především tzv. slabé prvky sítě (koeficient f), odhad skutečné chyby měření (e_{mer}), odhad skutečné chyby vyrovnaného měření (e_{vyr}) a test Kolmogorov - Smirnov.

Slabými prvky sítě jsou nazývána měření, která nejsou kontrolována jinými měřeními nebo jsou kontrolována pouze minimálně. Pokud koeficient f nabývá hodnot < 0.1 jedná se o nekontrolované měření a ve výpisu je označeno písmenem n . Pokud koeficient nabývá hodnot $0.1 \leq f < 5$ jedná se o měření slabě kontrolované (ve výpisu se objeví s). Potencionální nebezpečí slabých prvků spočívá v tom, že mohou obsahovat hrubé chyby, které jsou bez kontrolních měření těžko zjistitelné. Pokud při analýze vyrovnaní budeme vypouštět některá z pozorování musíme mít na zřeteli fakt, že touto operací může k vytvoření těchto slabých prvků sítě dojít.

Kolmogorov – Smirnov test ověřuje zda mají opravy měřených veličin tzv. normální rozdělení neboli jsou-li prosté systematických chyb. Výsledek testu říká s jakou pravděpodobností je výše uvedená teze pravdivá, tj. v ideálním případě by se hodnota testu měla blížit 100 %.