

Bílá kniha

Uvnitř Trimble X7: Kalibrace Trimble X7 do hloubky

Michael Vogel, Richard Day, Gregg Jackson, Arnaud Lezennec a
Gregory Lepere

Trimble Geospatial, Optical & Imaging

<https://geospatial.trimble.com/products-and-solutions/laser-scanning-solutions>

TECHNOLOGY THAT
transforms



Už jste si někdy položili otázku, jak funguje kalibrace u skeneru Trimble X7?

Možná jste již slyšeli detailní technické vysvětlení nebo odpověď typu „automaticky bez terčů a zásahu uživatele“. Ve zkratce, je to technologie Trimble X-Drive, která umožňuje skeneru Trimble X7, aby se sám zkalibroval, a tím byla zajištěna konzistentní kvalita dat u všech skenů.

Účelem tohoto dokumentu je vysvětlení technologie během Automatické kalibrace Trimble X7 a mnoha výhod pro 3D skenování. V tomto dokumentu budou popsána následující témata.

- Automatická kalibrace
 - Interní kolimátor
 - Automatická kalibrace úhlů
 - Automatická kalibrace délek
 - Chytrá kalibrace
- Vliv na návratnost investice
- Souhrn funkcí a výhod

Čelili jsme mnoha výzvám při 3D skenování. Ale uspěli jsme. A níže se dozvíte jak.

Automatická kalibrace

Začněme nejprve jednoduchou analogií, než se ponoříme více do hloubky. Představte si všechny kalibrační přístroje, které jsou potřebné pro výrobu a servis 3D skenerů. Různé přístroje mohou vážit až 200 kg a jejich cena se bude pohybovat okolo 5 milionů Kč. A nyní si uvnitř skeneru Trimble X7 představte zmenšené verze těchto přístrojů, které umožňují provést automatickou kalibraci kdykoliv a kdekoliv. Část toho tajemství se skrývá v základně, kde se nachází zmenšený interní kolimátor, který je schopný plně kalibrovat úhly a osové chyby.

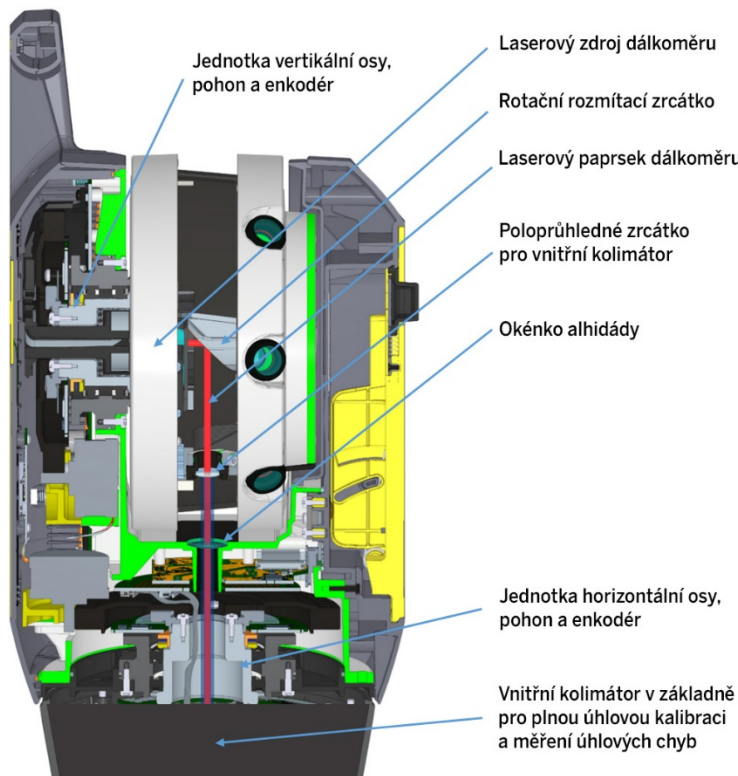


Obrázek 1: Zmenšený interní kolimátor se nachází v základně

Trimble X7 automaticky kalibruje měřené vzdálenosti a úhly podobně, jako probíhá kalibrace „standardních“ skenerů, jenom v mnohem menším měřítku. Dálkoměr skeneru a pohyblivá jednotka jsou zabudovány ve střední části skeneru. V pohyblivé jednotce je vysokorychlostní motor a kódovací systém. Ve střední části je zrcátko, které měří chybu z horizontace. Navíc je v alhidádě zabudován vertikální pohon a úhlový kódovací systém, což znamená, že celá střední část přístroje včetně pohyblivé jednotky a zdroje dálkoměru se otáčí okolo točné osy, tak jako tomu je u totálních stanic.

Interní kolimátor

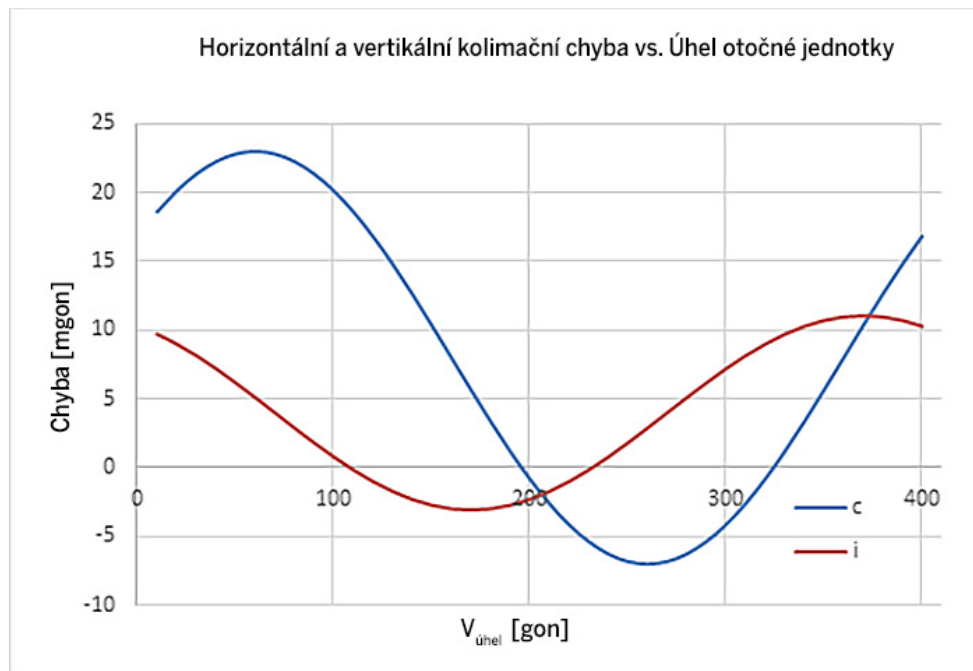
Trimble X7 je jediný optický přístroj na světě, který díky internímu kolimátoru zabudovanému v základně provádí kalibraci zcela automaticky. Pro určení osových chyb nejsou zapotřebí žádné vřícovací terče ani zásah člověka.



Obrázek 2: Interní kolimátor pro Trimble X7

Laserný paprsek vysílaný skenovací hlavicí může být měřen přes celý poloměr pomocí interní kamery kolimátoru, zatímco pohon alhidády otáčí střední část do různých směrů. Zatímco u totální stanice se měří jedna horizontální a vertikální záměra pro určení kolimační chyby, u X7 je změřeno nekonečně mnoho záměr v celém 360° zorném poli. To je možné díky tomu, že X-Drive využívá dva vertikální pohony, jeden umístěný v alhidádě a druhý v pohyblivé jednotce pro skenování.

Tento proces při automatické kalibraci přináší spoustu výhod. Vzhledem k tomu, že technologie pro kódovací systém alhidády byl převzat z totálních stanic, je přesnost lepší než 3" (úhlové vteřiny) a díky tomu máme jistotu, že skenovací hlavice bude správně zkalibrována při jakékoliv pozici kódovacího systému pohyblivé jednotky pro horizontální a vertikální kolimační chybu. Tento postup také zachytí všechny osové odchylky uvnitř skeneru, stejně jako chyby kódovacího systému pohyblivé jednotky a vliv rychlosti otáčení. Například v případě, že paprsek dálkoměru a osy rotace pohyblivé jednotky nejsou shodné, rovina skenování nebude perfektní, ale trochu ohnutá.



Obrázek 3: Typické chybové křivky u skenerů

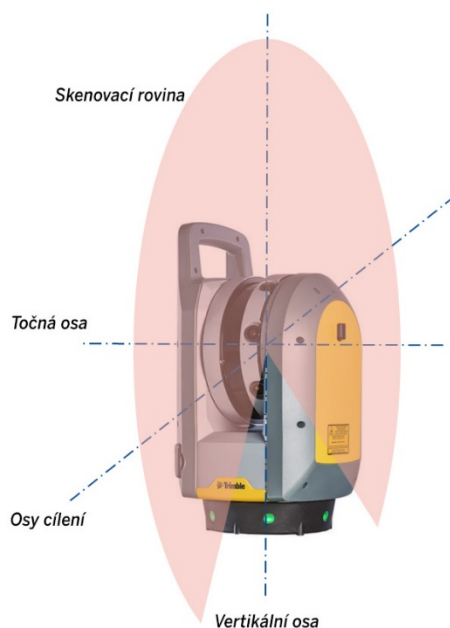
Na obrázku 3 jsou znázorněny odchylky mezi laserem dálkoměru a osou otáčení. Data blíží se sinusoidě a cosinusoidě jsou typická pro tyto odchylky. Křivka může být kalibrována s interním kolimátorem a vertikálním pohonem uvnitř alhidády. V terénu může být tato samokalibrace provedena zaměřením několika bodů s různými vertikálními úhly, abychom získali dostatek dat pro vytvoření charakteristického rozložení v rámci dané přesnosti.

Automatická kalibrace úhlů

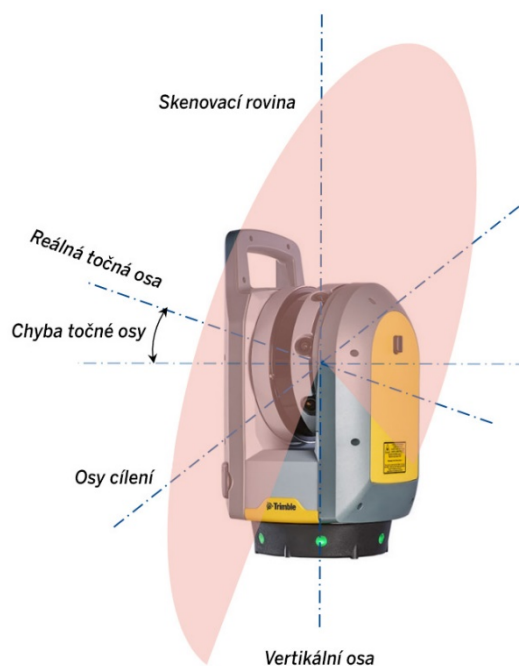
Úhlová kalibrace proběhne díky duálnímu vertikálnímu pohyblivému systému X-Drive, který zkalibruje úhlovou přesnost rotačního zrcátka pomocí servo systému a auto-kolimátoru. Korekce je aplikována na kolimační chybu, tj. odchylku vodorovné, vertikální a záměrné osy.

Distribuce chyby skeneru

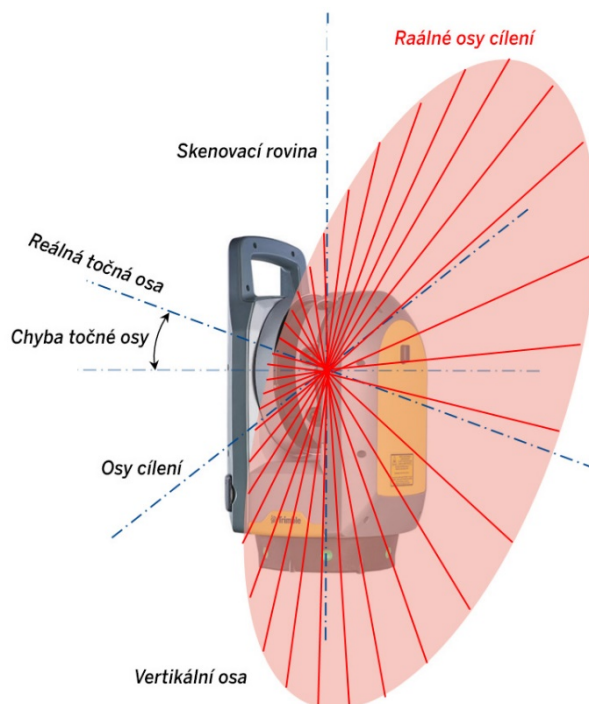
Ideálně jsou všechny osy k sobě navzájem kolmé, jak je znázorněno níže. Ale ve skutečnosti to není možné a musí tak být použity korekce.



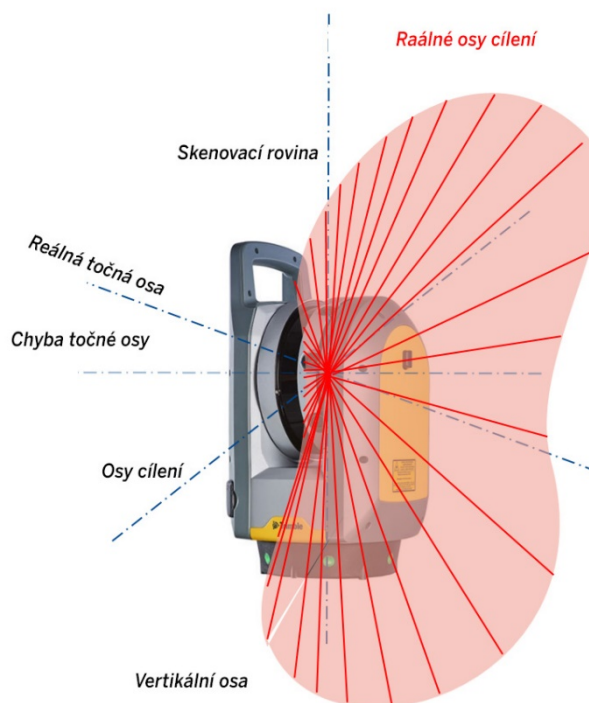
Krok 1: Určení chyby z horizontace. Pokud točná osa není kolmá na vertikální osu, sken bude nakloněn.



Krok 2: Určení chyby pohyblivého zrcátka. Pokud 45° úhel pohyblivého zrcátka není přesně 45° , sken bude mít tvar nakloněného kuželu.



Krok 3: Určení chyby osy motoru pohyblivé jednotky. Pokud osa motoru pohyblivé jednotky není správně srovnána s laserovým paprskem, nakloněný kužel má navíc ještě nahoře sinusoidu.



Kolimační módy

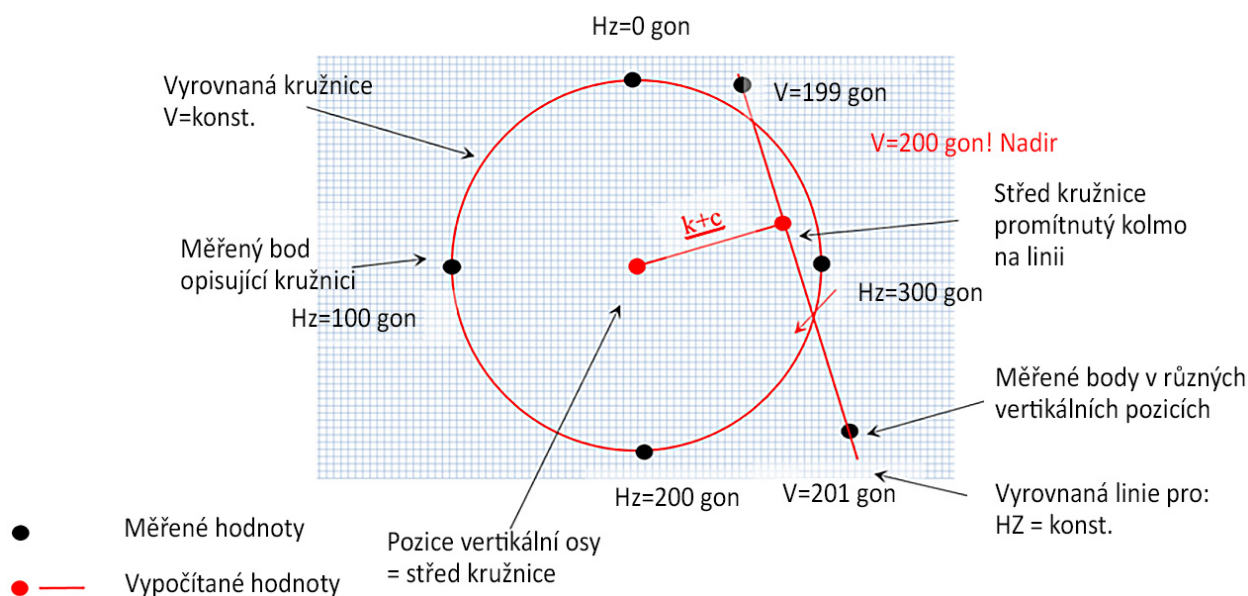
Interní kolimátor je používán ve dvou různých módech pro automatickou kalibraci.

- Autokolimační mód – kamera interního kolimátoru měří zrcátko ve středu směrem dopředu a dozadu pro určení chyby z horizontace.
- Kolimační mód – kamera interního kolimátoru měří paprsky z dálkoměru s různým vertikálním vychýlením pro určení horizontální a vertikální kolimační chyby.

Měření a výpočty interního kolimátoru

Určení horizontálních a vertikálních kolimačních chyb záměrné osy je automatický proces, při kterém dochází k vertikálnímu pohybu dalekohledu tak, aby záměrná osa laseru směřovala přímo do nadir (dolů). Laserová stopa bude identifikována kamerou interního kolimátoru v základně a změřena s těžištěm. Se zachovaným vertikálním úhlem tak, jak je, se přístroj otočí horizontálně o 360° a přitom neustále měří laserovou stopu čipem kamery. Výsledný obrazec laserové stopy bude přesně kruh se středem představujícím vertikální osu.

Jsou vyžadována alespoň dvě měření pro konstantní horizontální úhel a různé vertikální směry. Oba body definují linii. Z této linie se spustí kolmice procházející středem kruhu. Odchylka se rovná vertikální kolimační chybě. Vzdálenost mezi středem kruhu a patou kolmice definuje mrtvý úhel neboli sumu chyby z horizontace přístroje „k“ a horizontální kolimační chyby „c“. Pokud je chyba z horizontace známá, může být vypočtena horizontální kolimační chyba.

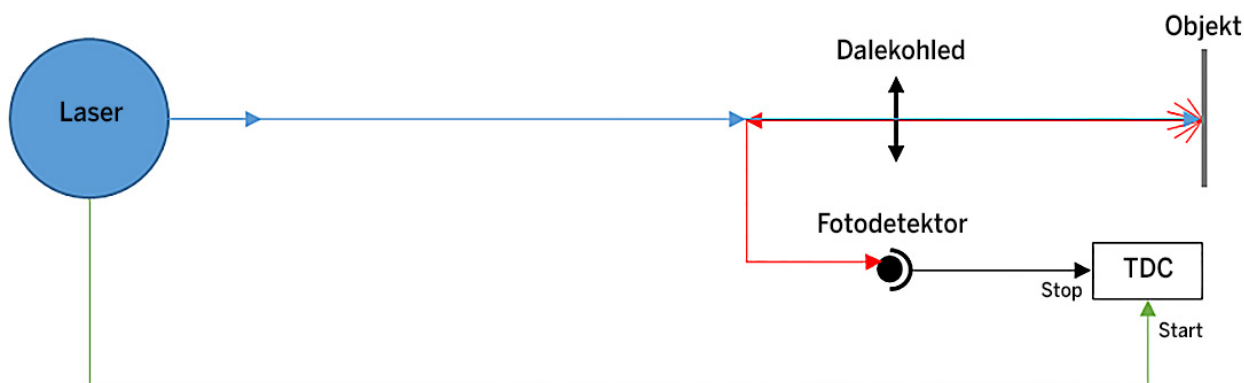


Obrázek 4: Měření a výpočty interního kolimátoru

Automatická kalibrace vzdálenosti

Elektronický dálkoměr je klíčovou částí 3D laserového skeneru. Pro získání kvalitního mračka bodů je potřeba, aby dálkoměr měřil konzistentně a spolehlivě i v náročných podmínkách. U skeneru X7 Trimble použil své vlastní nejnovější technologie, aby mohl svým zákazníkům garantovat vysokou přesnost měření. Jednou z náročných výzev je potřeba zajistit stejnou přesnost přístroje po celou jeho životnost, při všech teplotách a na různých površích. Aby toho mohlo být docíleno, Trimble integroval do svého dálkoměru inovativní funkci kalibrace, která je provedena před každým skenem.

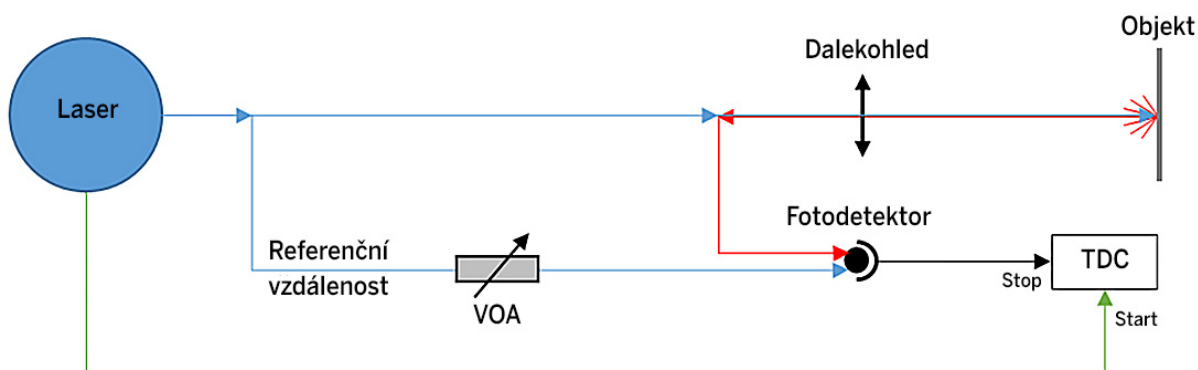
Dálkoměr X7 funguje na principu měření doby letu laserového paprsku. Na obrázku 5 je zobrazeno schéma dálkoměru.



Obrázek 5: Schéma dálkoměru

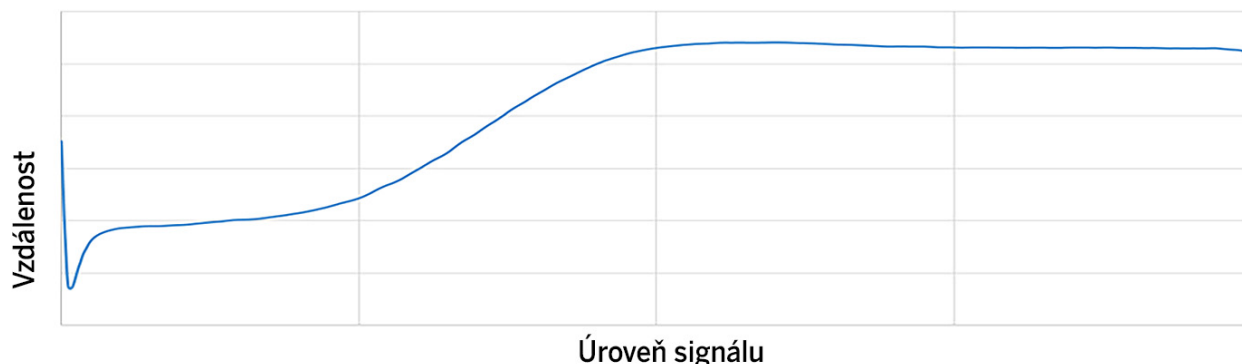
Laser je aktivován, aby vyslal vysokovýkonný laserový paprsek. Ve stejnou chvíli je vyslán signál „Start“ do převodníku času (TDC), aby spustil stopky. Laserový paprsek putuje rychlostí světla k objektu, který má být změřen. Malá část paprsku je odražena od objektu zpátky do dalekohledu a detekována fotodetektorem. Fotodetektor změří sílu signálu a odešle pokyn do TDC k zastavení stopky. Doba letu paprsku je zaznamenána. Tento údaj je poté přepočten na vzdálenost. X7 může měřit při rozdílných teplotách od -20°C do 50°C. Zároveň má velký dynamický rozsah, což znamená, že může zachytit jak velmi slabý, tak i velmi silný optický signál. Aby X7 změřila absolutní vzdálenost co nejpřesněji, využívá inovativní techniku pro automatickou kalibraci.

Na obrázku 6 je upravené schéma dálkoměru, kde je kopie vyslaného laserového paprsku odeslána přes kalibrační linii.



Obrázek 6: Schéma dálkoměru s kalibrační linií

U kalibrační linie je velmi stabilní kalibrovaná referenční vzdálenost určená s maximální přesností a tato linie má vestavěný variabilní optický atenuátor (VOA), který umožňuje měnit sílu signálu. Před spuštěním každého skenu je změřena vzdálenost na kalibrační linii pro různě silné signály. Výsledek takové kalibrace je na obrázku 7.



Obrázek 7: Přehledová tabulka oprav vzdálenosti

Protože známe referenční vzdálenost kalibrační linie, známe také opravu vzdálenosti, která musí být použita u vzdálenosti pro danou sílu signálu. Proto, když spustíme 3D sken, pro každou změřenou vzdálenost použijeme její opravu podle určené síly signálu podle tabulky na obrázku 7.

Díky tomuto inovativnímu přístupu si můžeme být jistí kvalitou každého skenu bez ohledu na aktuálních podmínkách.

Chytrá kalibrace

Funkce automatické kalibrace je chytrá a monitoruje okolní teplotu, světlo, vibrace, teplotu přístroje a vertikální rychlost pro optimalizaci procesu. Za normálních podmínek trvá automatická kalibrace zhruba 25 vteřin a za zhoršených podmínek, jako je například extrémní světlo nebo vibrace od podlahy nebo větru, se proces automaticky adaptuje a trvá 45 vteřin. Systém efektivně kompenzuje rozdíly teplot a po stabilizaci teploty se doba kalibrace sníží a nemusí být prováděna vůbec. Přístroj dokáže vyrovnat standardní nárazy a vibrace při přepravě. Vnitřní a vnější podmínky jsou neustále monitorovány a jakmile je potřeba, je provedena kalibrace pro zajištění konstantní přesnosti.

Chytrá kalibrace úhlů a vzdáleností zajišťuje konzistentní kvalitu dat bez zbytečných servisních nákladů, prostojů a starostí s každoročními kalibracemi.

Poznámka: Ačkoliv chytrá kalibrace může kompenzovat změny způsobené nárazem a vibrací, uživatel by měl stále zacházet s přístrojem opatrně. Následujte instrukce v uživatelském návodu týkající se péče o přístroj, jeho údržby a rad pro získání nejlepších výsledků.

Vliv na návratnost investice

Automatická kalibrace u Trimble X7 a její mechanický design snižují náklady a zbytečné prostoje, což znamená dřívější návratnost investice. Každoroční kalibrace skenerů v servisu může stát mezi 70.000 až 120.000 Kč po prvním roce používání. To znamená průměrnou cenu 400.000 Kč po 5 letech, a to ještě nejsou zahrnuty výdaje za dopravu a ztrátu způsobenou prostoji. Náklady na každoroční kalibrace jsou většinou pokryty zárukou, ale průměrná cena prodloužené záruky je zhruba 100.000 Kč na rok, takže v průměru zaplatíte 400.000 Kč za 4 roky. Trimble X7 je jediný skener na trhu, který je nabízen s dvouletou zárukou, takže případné prodloužení záruky můžete začít řešit až během třetího roku. Náklady na prodlouženou záruku u X7 jsou zhruba polovina běžné ceny záruky u ostatních skenerů.

A nyní se pojdme zaměřit na ztrátu příjmů při prostojích. Kalibrace v servisu trvá zpravidla 2-3 týdny, a do toho ještě není zahrnuta přeprava. Obecně se dá říct, že skener nebude zhruba měsíc k dispozici. Průměrná sazba za skener na den je 30.000 Kč, takže v závislosti na množství práce, které máte během plánovaného servisu skeneru, můžete přijít o 20 pracovních dní, tedy zhruba 600.000 Kč. I kdybyste skener využívali pouze 2-3x za týden, přijdete v průměru o 250.000 – 400.000 Kč při měsíčním výpadku.

Když si tedy spočítáme, kolik ušetříte tím, že skener nemusíte pravidelně posílat do servisu, menšími prostoji a levnějším prodloužením záruky, vyjde nám, že úspory u jednoho skeneru X7 za pět let je možné použít na koupi jednoho nebo dvou dalších skenerů.

Souhrn funkcí a výhod

Specifikace	Výhody
Automatická kalibrace	• Zajištění přesných dat u každého skenu • Oprava úhlů a délek • Kódovací systém alhidády převzatý z totálních stanic • Počítá osově odchylky uvnitř hlavy skeneru, vyrovnává vibrace a nárazy • Chytrá kalibrace monitoruje okolní podmínky, teplotu přístroje a vertikální rychlost • Chytrá kalibrace použije korekce pouze tehdy, pokud je potřeba • Nejsou potřebné žádné vřícovací terče ani zásah člověka. • Díky tomu, že skener nemusíte pravidelně posílat do servisu na kalibraci, se výrazně snižuje nutná investice a urychluje její návratnost. • Jako jediný skener na trhu je nabízen s dvouletou zárukou.
Chráněný střed přístroje*	• V ochranném středu se nachází pohyblivá jednotka pro skenování, interní senzory náklonu, zdroj dálkoměru, kamerový systém a laserová stopa. • Ochrana optiky při jakémkoliv počasí (IP55) • Bezpečné používání
Vertikální pohon X-Drive*	• Kombinuje velmi přesný servo pohon s vysokorychlostním skenováním. • Koncept vertikálního servo systému umožňuje celému středu přístroje se otáčet okolo točné osy. • Umožňuje automatickou kalibraci a horizontaci • Spolehlivý; dlouhá životnost; nízké tření, vibrace, spotřeba baterie a šum • Jako jediný skener na trhu je nabízen s dvouletou zárukou.
Automatická horizontace*	• Kompenzace náklonu s geodetickou přesností v obou směrech v rámci rozsahu $\pm 10^\circ$ • Geodetická přesnost $< 3'' = 0.3\text{mm}$ na 20m • Skeny s náklonem $< 45^\circ$ • Monitoring náklonu během skenování neumožní skenovat s náklonem $> 45^\circ$ a pozastaví skenování při zaregistrování změny náklonu. • Můžete se spolehnout na svislost a urovnání přístroje • Registrace skenů přímo v terénu
Integrovaný kamerový systém*	• 3 x 10 MP kamery pro rychlé snímkování 1-2 min • Plná kvalitní panoramata a obarvení skenů • Kalibrované koaxiální kamery s optickou osou urovnanou se středem odrazného zrcátka pro minimalizaci paralaxy mezi snímky a skeny • HDR a oprava vyvážení bílé pro nejlepší kvalitu snímků
Laserová stopa	• Georeferencování • Měření jednotlivých bodů

* Viz Bílá kniha – Uvnitř technologie Trimble X7 X-Drive pro více detailů o této funkci.

Trimble Inc., 10368 Westmoor Dr, Westminster CO 80021, USA

<https://geospatial.trimble.com/products-and-solutions/laser-scanning>

© 2020, Trimble Inc. Všechna práva vyhrazena. Loga Trimble, Globus & Trojúhelník jsou ochranné známky společnosti Trimble Inc., registrované ve Spojených státech a dalších zemích.. Všechny ostatní ochranné známky jsou majetkem svých příslušných vlastníků.