



HODNOCENÍ PŘESNOSTI DIGITÁLNÍCH VÝŠKOVÝCH MODELŮ ČESKÉ REPUBLIKY METODAMI DRUŽICOVÉ GEODÉZIE

Ladislav Bárta, Ondřej Vystavěl, Jiří Bureš

Úvod

- **Hodnocení přesnosti digitálních výškových modelů České republiky vytvořených:**

leteckým laserovým skenováním v letech 2011 až 2013

leteckým fotogrammetrickým snímkováním metodou optické korelace v roce 2024

- **Výběrová referenční data byla pořízena:**

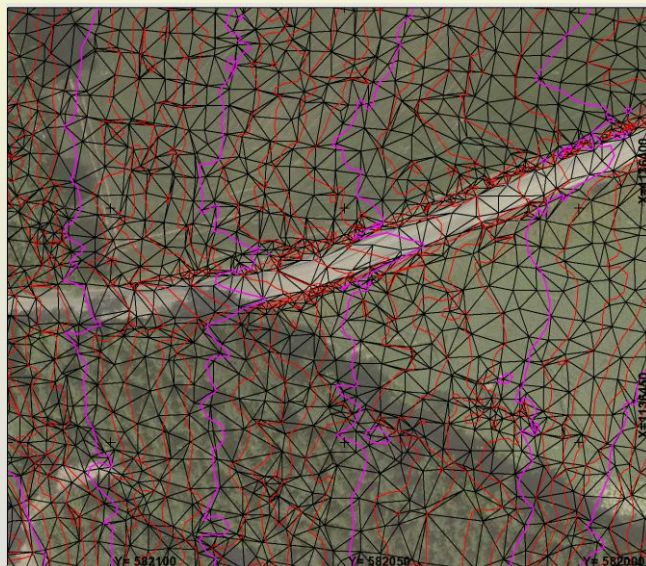
technologií GNSS

metodu RTK v síti permanentních stanic CZEPOS

Digitální výškové modely z leteckého laserového skenování

- **Digitální model reliéfu České republiky 5. generace (DMR 5G)**

- nepravidelná trojúhelníková síť
- proměnlivá podrobnost od cca 1 m
- úplná střední výšková chyba 0.18 m v odkrytém terénu
- úplná střední výšková chyba 0.30 m v zalesněném terénu



*Výřez
100 x 100 m*

*Evidenční jednotka ML ZTM 1: 5 000
2500 x 2000 m
2.5 MB*

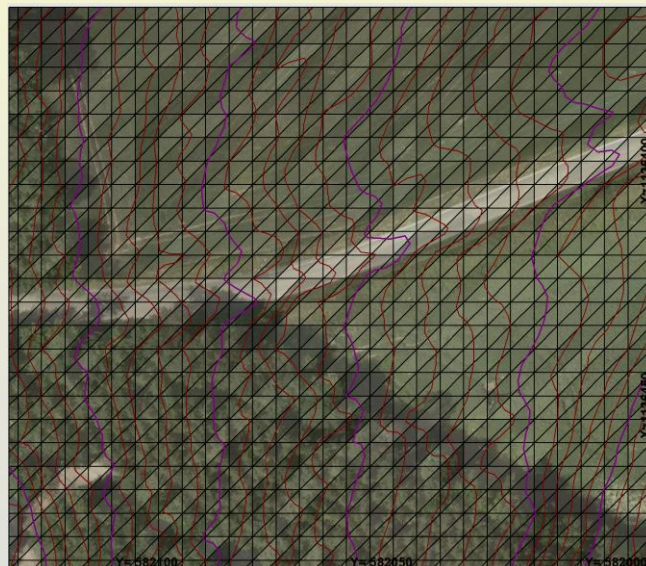
*Tyto datové sady jsou od roku 2023 poskytovány jako otevřená data
(přístup na Geoportálu ČÚZK).*

Aktualizace probíhají v minimálním rozsahu, zejména v oblastech stavební činnosti a v oblastech, kde předchozí měření neproběhla za ideálních podmínek s ohledem na vegetační kulminaci.

Digitální výškové modely z leteckého laserového skenování

- **Digitální model reliéfu České republiky 4. generace (DMR 4G)**

- pravidelná čtvercová síť
- podrobnost 5 x 5 m
- úplná střední výšková chyba 0.30 m v odkrytém terénu
- úplná střední výšková chyba 1.00 m v zalesněném terénu



*Výřez
100 x 100 m*

*Evidenční jednotka ML ZTM 1: 5 000
2500 x 2000 m
0.2 MB*

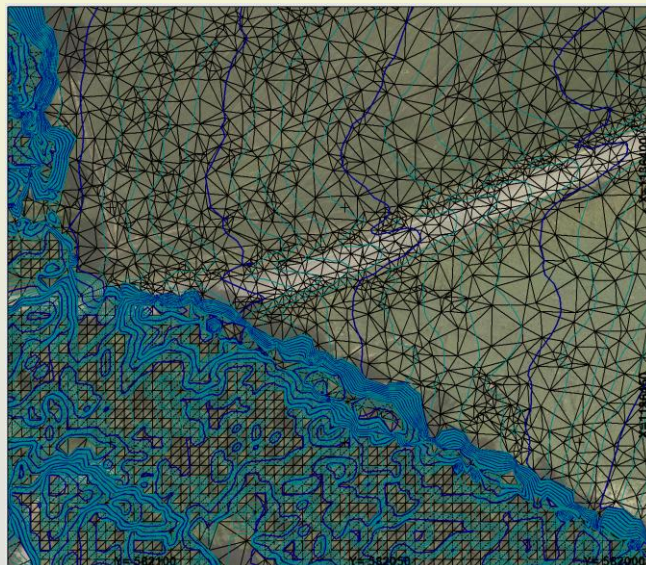
*Tyto datové sady jsou od roku 2023 poskytovány jako otevřená data
(přístup na Geoportálu ČÚZK).*

Aktualizace probíhají v minimálním rozsahu, zejména v oblastech stavební činnosti a v oblastech, kde předchozí měření neproběhla za ideálních podmínek s ohledem na vegetační kulminaci.

Digitální výškové modely z leteckého laserového skenování

- **Digitální model povrchu České republiky 1. generace (DMP 1G)**

- nepravidelná / pravidelná síť
- proměnlivá podrobnost od cca 1 m
- úplná střední výšková chyba 0.40 m pro přesně vymezené objekty (budovy)
- úplná střední výšková chyba 0.70 m pro přesně neohraničené objekty (lesy)



Výřez 100 x 100 m

*Evidenční jednotka ML ZTM 1: 5 000
2500 x 2000 m
2.5 MB*

Tyto datové sady jsou od roku 2023 poskytovány jako otevřená data (přístup na Geoportálu ČÚZK).

Aktualizace probíhají v minimálním rozsahu, zejména v oblastech stavební činnosti a v oblastech, kde předchozí měření neproběhla za ideálních podmínek s ohledem na vegetační kulminaci.

Digitální výškové modely z fotogrammetrického snímkování

- **Digitální model povrchu České republiky z obrazové korelace (DMP OK)**

- pravidelná čtvercová síť
- podrobnost 0.20 x 0.20 m
- bez uvedení přesnosti pro povrchy bez vegetačního krytu
- bez uvedení přesnosti pro povrchy s vegetačním krytem



Výřez 100 x 100 m

*Evidenční jednotka ML ZTM 1: 5 000
2500 x 2000 m
350 MB*

*Toto datová sada je pro Moravu přístupná na Geoportálu ČÚZK od roku 2025.
Tato datová sada bude pro Čechy přístupná na Geoportálu ČÚZK od roku 2026.*

Předpokládaná aktualizace po 2 letech společně s Ortofotem ČR.

Dosavadní testování přesnosti digitálních výškových modelů ČR

- Digitální modely výškopisu z leteckého laserového skenování

Na rozsáhlejších rovinných plochách pro výškovou dokalibraci digitálních modelů výškopisu

pásmo střed, 152 komparačních základen (např. fotbalová hřiště, tenisové kurty, náměstí bez parkovišť)

Na vybraných bodech státního polohového bodového pole pro posouzení homogenity

plošně, 1026 trigonometrických a zhušťovacích bodů

Geodetickým měřením ve vybraných lokalitách s rozlišením povrchů s různým vegetačním krytem

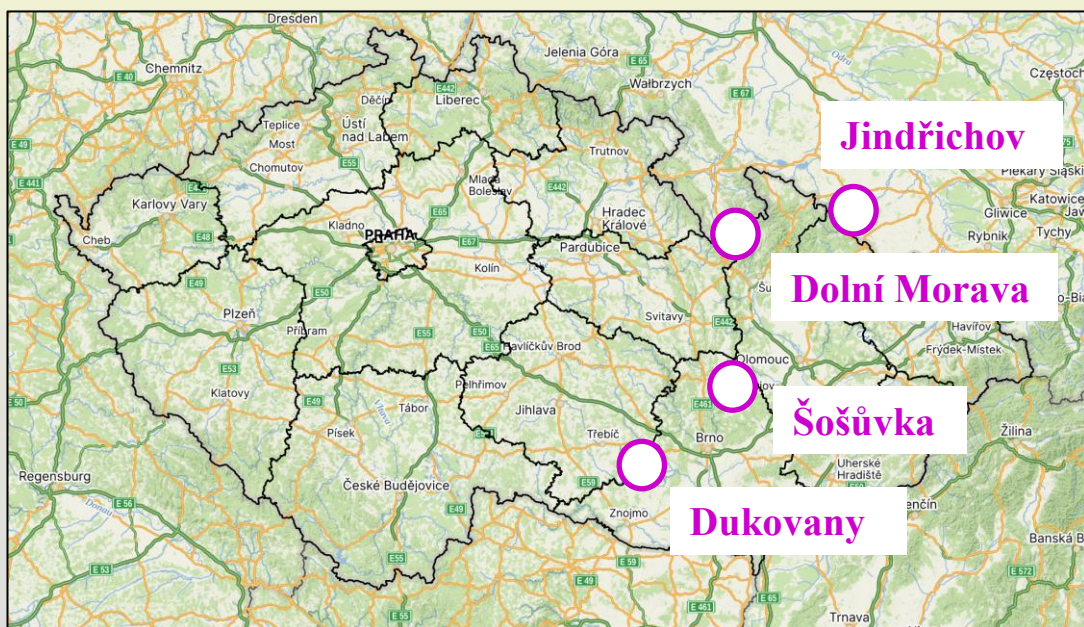
výběrově, 21 lokalit, 3014 bodů

DMR 5G (3014 bodů, 21 lokalit)		
Kategorie povrchu a půdního krytu	systematická	úplná směrodatná
	odchylka σ_h [mm]	odchylka σ_h [mm]
terénní hrany u komunikací	-110	180
zpevněné plochy	-90	130
orná půda	-70	140
louky a pastviny	-30	210
křoviny, stromořadí, lesy	-60	130

Nové testovací lokality z roku 2025

- **Zájmové oblasti v pásmu Morava**

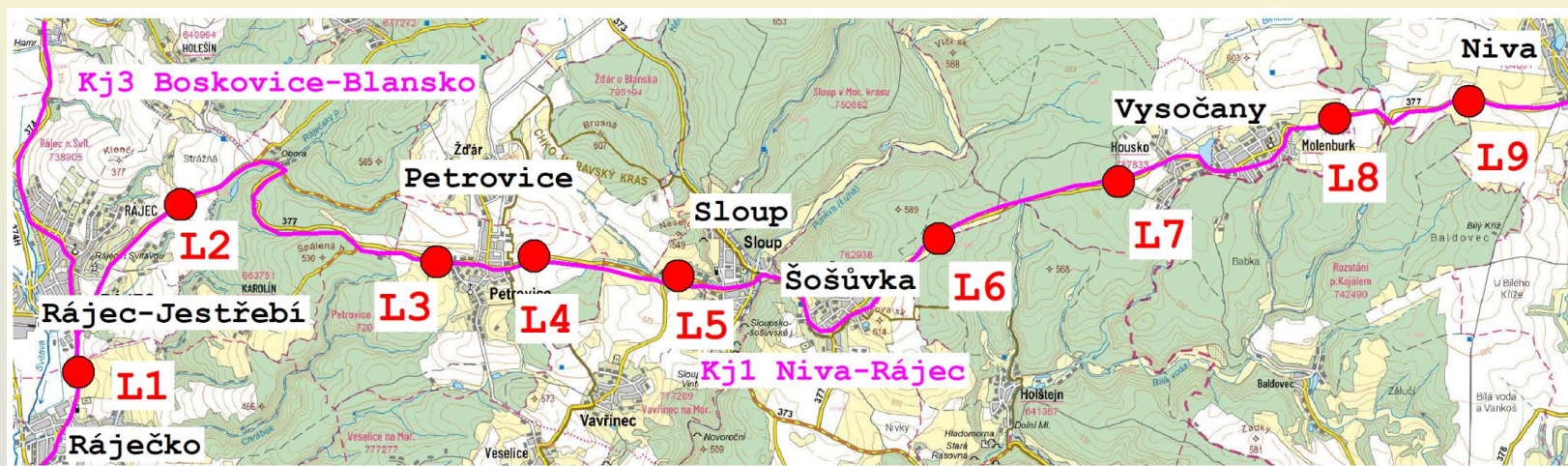
- Jindřichov na severní Moravě
- Dolní Morava na severní Moravě
- Šošůvka v Moravském krasu
- Dukovany na jižní Moravě



Nové testovací lokality z roku 2025

• Oblast Šošůvka v Moravském krasu

- podélný rozměr oblasti 16 km
- 9 testovacích lokalit
- rovnoměrně rozmístěných podél silnice
- nivelační pořad KJ1 Niva-Rájec



Nové testovací lokality z roku 2025

- Rozlišení druhů povrchů

Povrchy bez terénních hran a bez vegetačního krytu

(povrchy silnic)

Povrchy s terénními hranami a s vegetačním krytem

(svahy, násypy, příkopy)

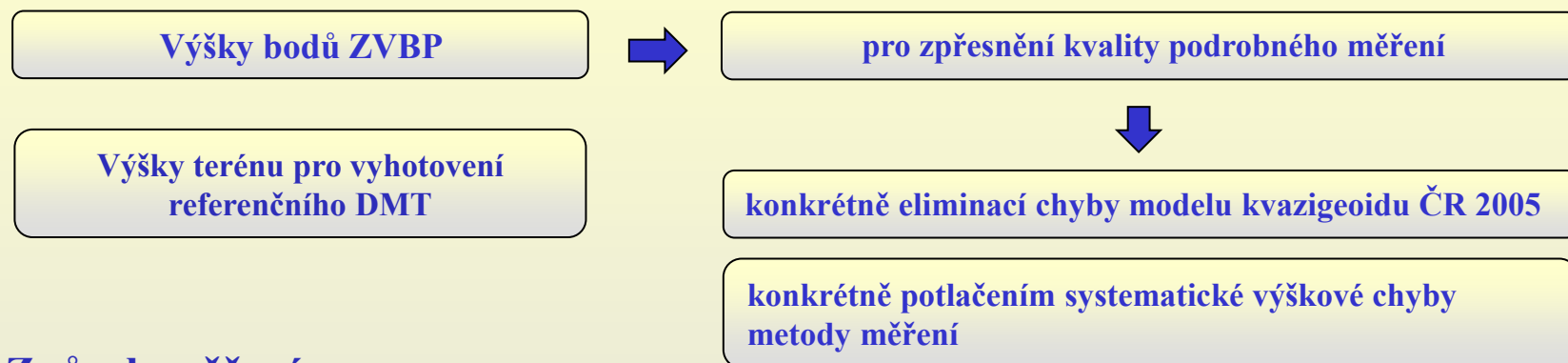
Povrchy bez terénních hran s vegetačním krytem

(pole, louky)



Geodetické zaměření jednotlivých lokalit

- **Technologií GNSS, metodou RTK byly zaměřeny:**



- **Způsob měření:**

- **2x nezávisle** s časovým odstupem jeden den a ± 3 hodiny
- **GNSS RTK** v síti permanentních stanic **CZEPOS**
- **síťové řešení korekcí**, služba VRS3 – VirtualRS – MSM
- **globální realizace S-JTSK z roku 2018** se střední souřadnicovou chybou $\sigma_{xy} = \pm 0,028$ m
- model kvazigeoidu ČR 2005 se směrodatnou výškovou odchylkou $\sigma_H = \pm 0,060$ m
- **družicová aparatura Trimble R12i** s ohledem na pozici v permanentní síti se směrodatnou výškovou odchylkou $\sigma_H = \pm 0,027$ m

Observace GNSS RTK na bodech ZVBP

- **Způsob měření**

- v každé lokalitě bylo měřeno alespoň na jedné nivelační značce
- při prvním i druhém měření byly vždy provedeny dvě po sobě jdoucí observace, každá 2.5 minuty
- celkově se tedy na každé nivelační značce měřilo 2x5 minut

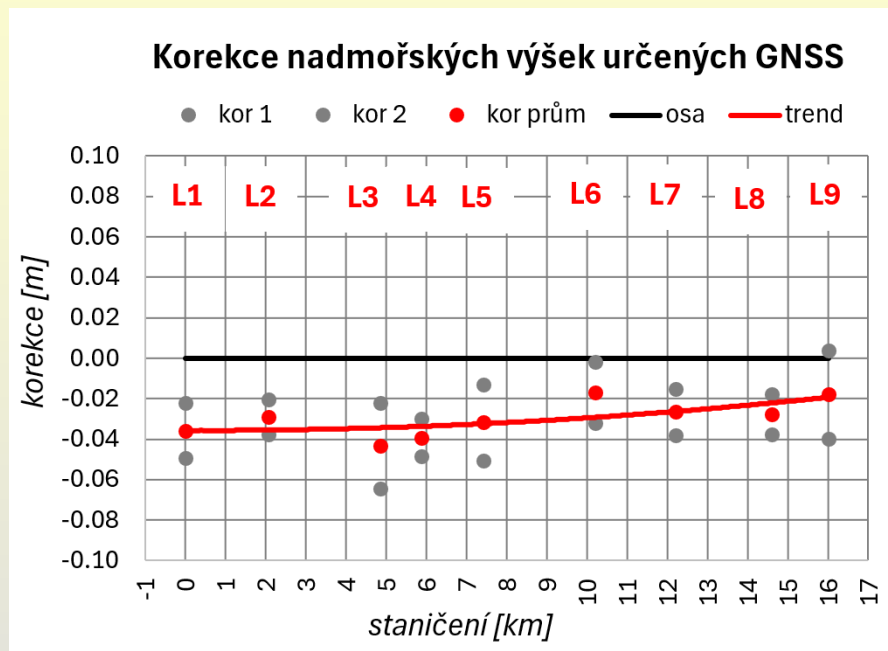
- **Vypočteny byly korekce nadmořských výšek určených GNSS RTK**

- **Vypočtené korekce budou zahrnovat:**

- lokální chyby kvazigeoidu ČR 2005
- systematickou chybu GNSS RTK měření
(zde bude předpokládáno, že její hodnota bude udržitelná v době následného podrobného měření)
- náhodnou chybu GNSS RTK měření
(zde se předpokládalo, že byla minimalizována délkou observace na nivelačních bodech)

Observace GNSS RTK na bodech ZVBP

- Vyhodnocení



Poznatky:

- rozdíly dílčích měření až 40 mm
(vliv systematické chyby metody měření)
- korekce GNSS nadmořských výšek od +4 do -64 mm
(vliv systematické chyby metody měření)
(vliv lokální chyby modelu kvazigeoidu)
- variabilita trendové funkce od průměrných GNSS měření ve směrodatné odchylce ± 6 mm (max. odchylka -12 mm)

**možnost lokálního zpřesnění
modelu kvazigeoidu ČR 2005**

- korekce 1. a 2. GNSS RTK výšek na skutečné nadmořské výšky
- korekce průměrných GNSS RTK výšek na skutečné nadmořské výšky
- trend korekce GNSS RTK výšek na měřeném polygonu

Observace GNSS RTK na podrobných bodech

• Způsob měření

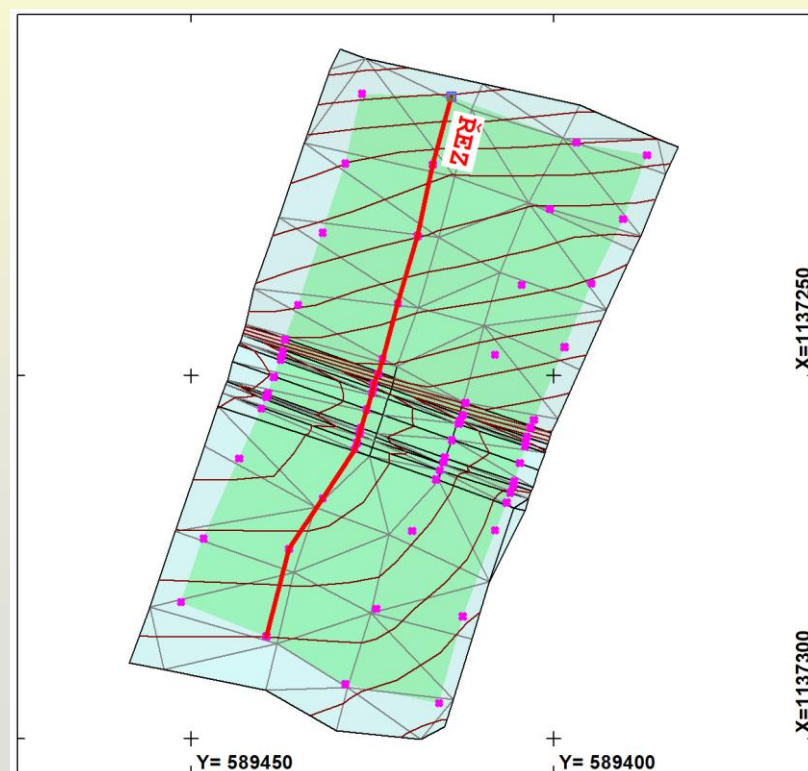
- na každém podrobném bodě bylo provedeno dvojí nezávislé měření s dobami observace 5 sekund
- měřeno bylo s průměrnou vertikální přesností na displeji aparatury v hodnotě $\pm 0,013$ m (minimálně však s hodnotou ± 0.025 m)

• Předmět měření

- silnice, přilehlé svahy a příkopy a navazující pole a louky
- měřeno bylo v příčných profilech k ose silnice
- minimální velikost každé měřené lokality byla 50 x 100 m

podrobné body druhého měření byly voleny do 5 m od pozic odpovídajících bodům prvního měření

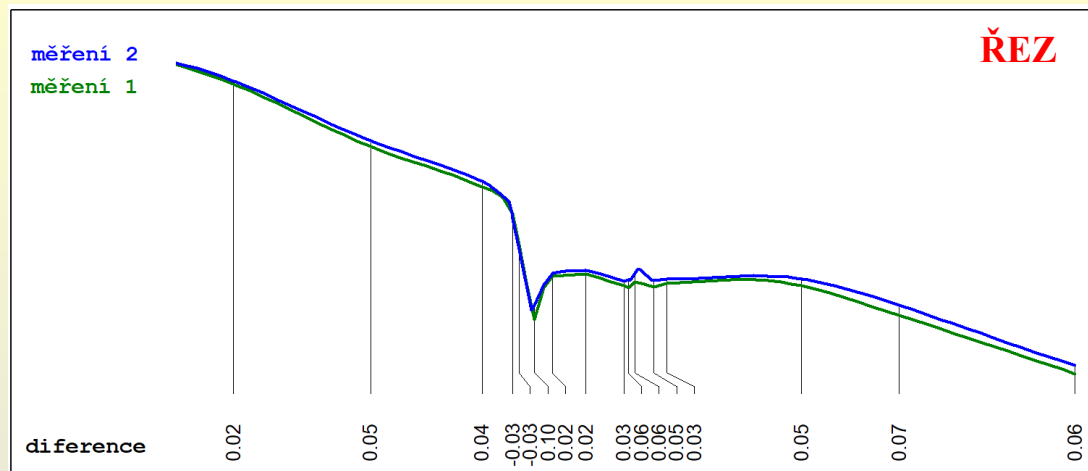
podrobné body druhého měření byly dále voleny tak, aby výsledný DMT překrýval DMT prvního měření



✕ pozice bodů prvního měření (místa hodnocení přesnosti)

Observace GNSS RTK na podrobných bodech

- Výškové horizonty prvního a druhého podrobného měření



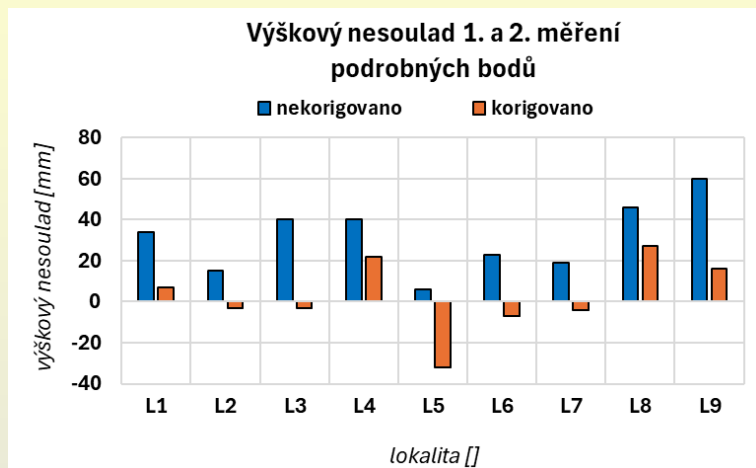
- Výškové difference budou zahrnovat

- náhodnou složku přesnosti prvního a druhého měření
- rozdíl systematických složek přesnosti prvního a druhého měření
- nejistoty výškové identifikace terénu v místě měření
- chybu z generalizace průběhu terénu digitálním modelem druhého měření v pozicích bodů z prvního měření.

Lze rozdílnost výškových horizontů prvních a druhých měření v jednotlivých lokalitách eliminovat korekcemi zjištěnými na nivelačních značkách?

Observace GNSS RTK na podrobných bodech

- Průměrné výškové nesoulady podrobných bodů po lokalitách



- nekorigováno (průměrné rozdíly výšek podrobných bodů tak, jak byly změřeny)
- korigováno (průměrné rozdíly výšek podrobných bodů po zavedení korekcí z měření na nivelačních značkách)

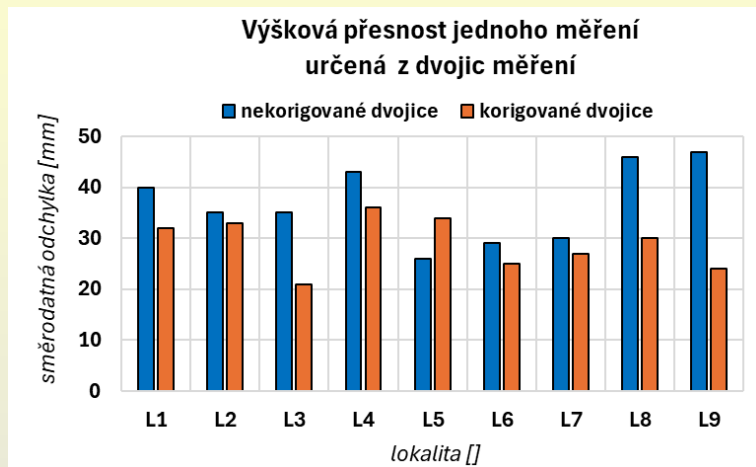
Poznatky:

- na pěti lokalitách došlo ke ztotožnění výškových horizontů s kvalitou do 10 mm
- na třech lokalitách došlo ke zlepšení souladu výškových horizontů alespoň o 50 procent
- v jedné lokalitě nedošlo k očekávanému výsledku

Výsledky však mohou být ovlivněny observačními podmínkami na některých nivelačních značkách (vliv vegetace).

Observace GNSS RTK na podrobných bodech

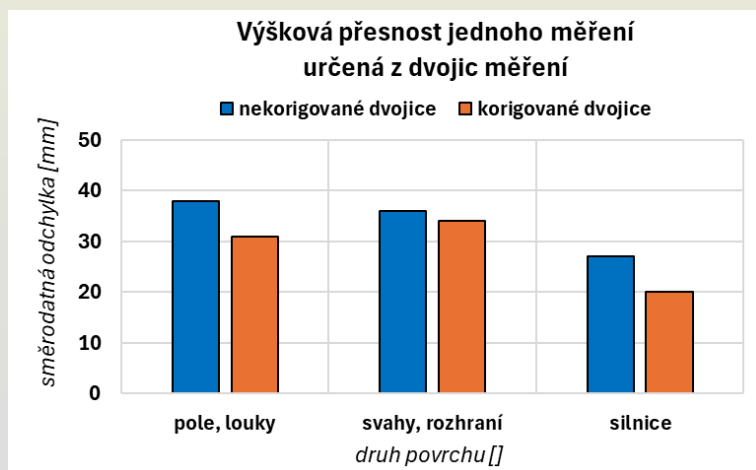
- Průměrné výškové nesoulady podrobných bodů po lokalitách



Závěr:

Průměr prvního a druhého podrobného měření se stane referenčním stavem pro hodnocení digitálních výškových modelů ČR

- louky, pole $m_h = 0.025$ m
- svahy rozhraní $m_h = 0.025$ m
- silnice $m_h = 0.015$ m



- nekorigováno (průměrné rozdíly výšek podrobných bodů tak, jak byly změřeny)
- korigováno (průměrné rozdíly výšek podrobných bodů po zavedení korekcí z měření na nivelačních značkách)

Analýza digitálních modelů výškopisu ČR

• Posouzení geometrického souladu dat

- digitální modely výškopisu budou porovnány prostřednictvím řezů

Lokalita 6 za obcí Šošůvka

les – silnice – posečená louka – les

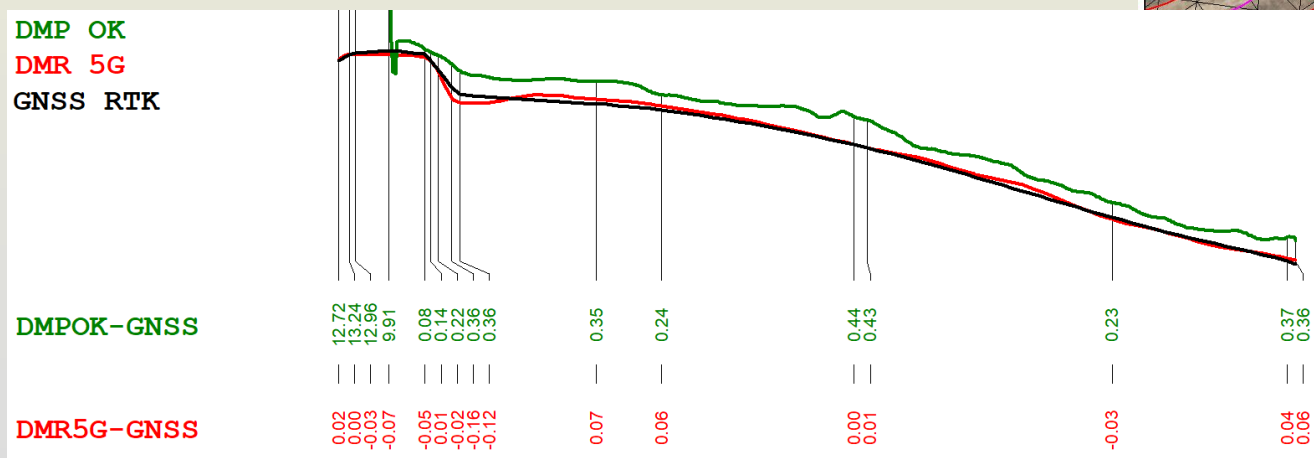
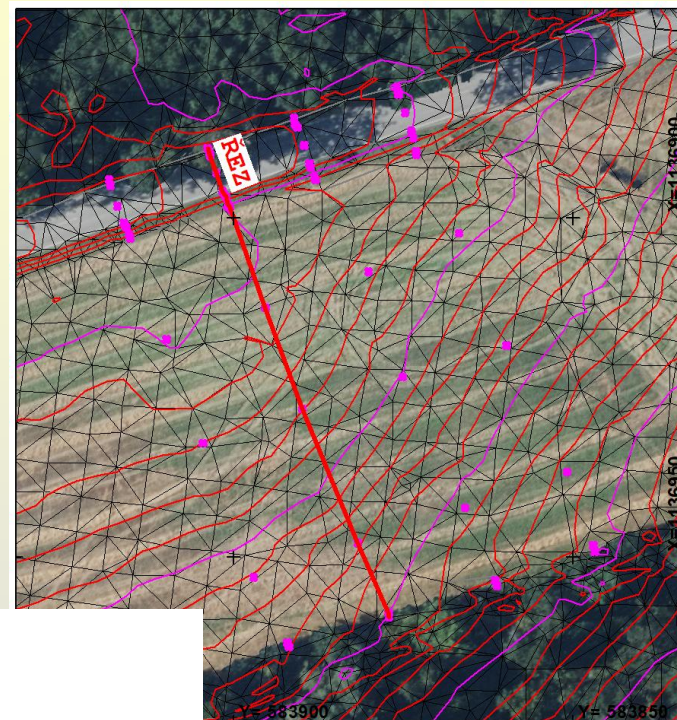
Závěr:

Velmi dobrý soulad **DMR 5G** s referenčními daty.

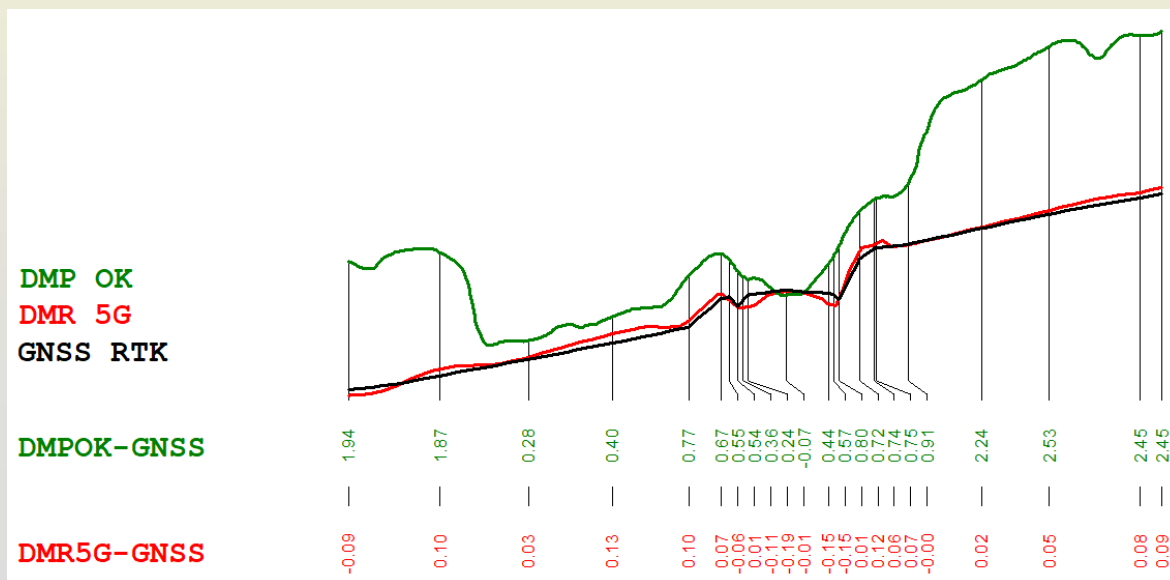
- skutečné chyby v pásmu -16 až +6 cm

Systematická chyba **DMP OK** na povrchu bez vegetace.

- skutečné chyby v pásmu +25 až +45 cm



✕ pozice kontrolních bodů



Analýza digitálních modelů výškopisu ČR

• Posouzení geometrického souladu dat

- digitální modely výškopisu budou porovnány prostřednictvím řezů

Lokalita 8 za obcí Vysočany

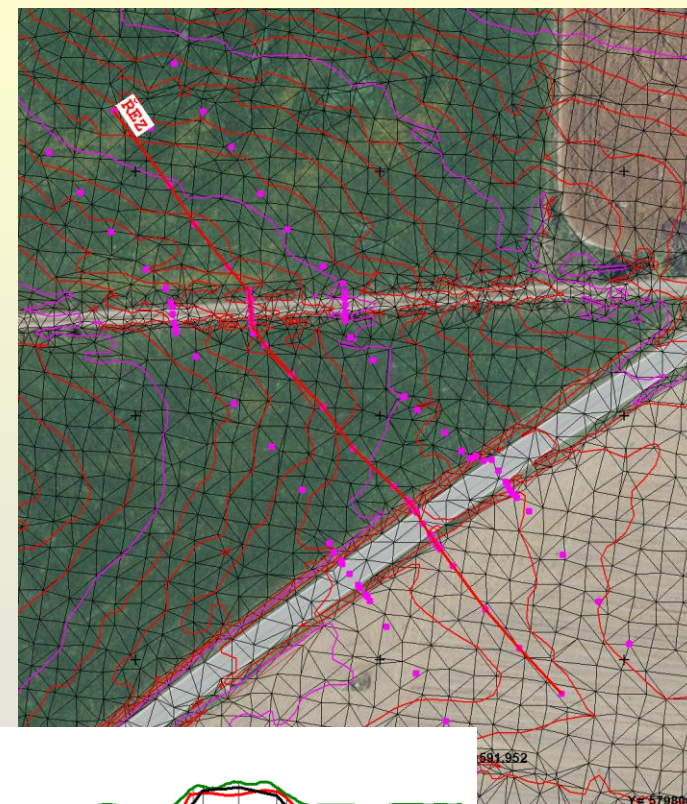
louka – polní cesta – louka – silnice - pole

Závěr:

DMR 5G nevěrohodně zachycuje polní cestu.

- pravděpodobně selhání tvorby modelu ve fázi filtrace vegetace

DMP OK zde korektně zachycuje vegetaci.

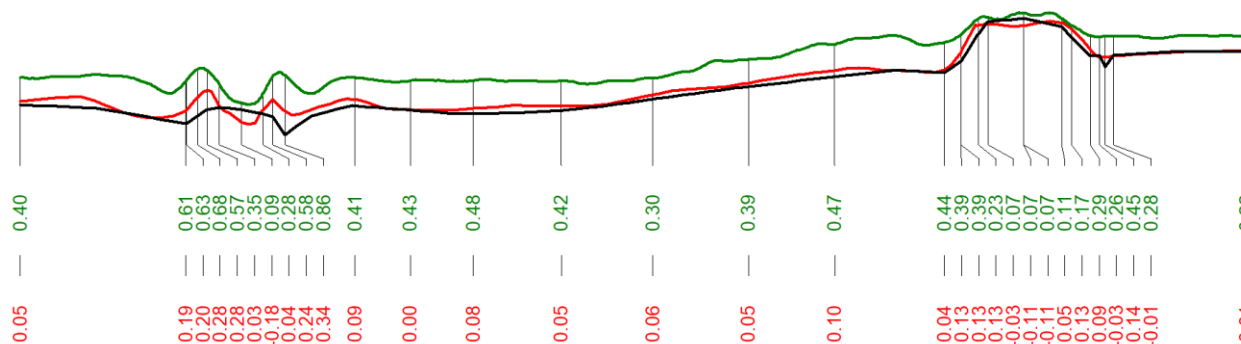


✕ pozice kontrolních bodů

DMP OK
DMR 5G
GNSS RTK

DMPOK-GNSS

DMR5G-GNSS



Analýza digitálních modelů výškopisu ČR

• Posouzení geometrického souladu dat

- digitální modely výškopisu budou porovnány prostřednictvím řezů

Lokalita 3 před obcí Petrovice

louka – silnice – louka

Závěr:

DMR 5G věrohodně zachycuje silnici v ose

- skutečné chyby v pásmu -1 až +6 cm

DMP OK nevěrohodně zachycuje povrch silnice.

Model je průřezově všemi lokalitami v různé míře systematicky vychýlený.

Model je průřezově všemi lokalitami vysoce nehomogenní v decimetrových hodnotách.

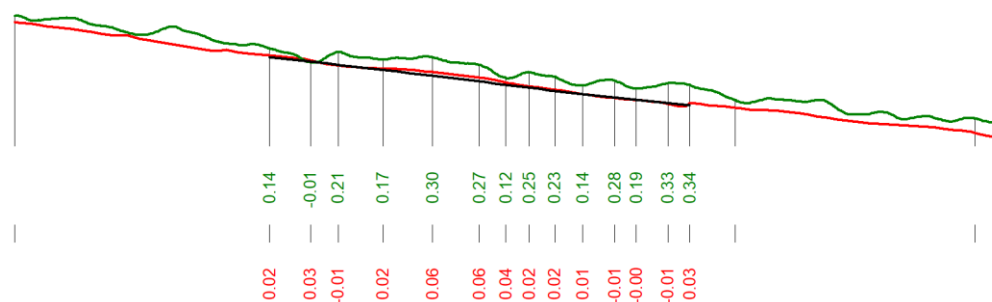


✕ pozice kontrolních bodů

DMP OK
DMR 5G
GNSS RTK

DMPOK-GNSS

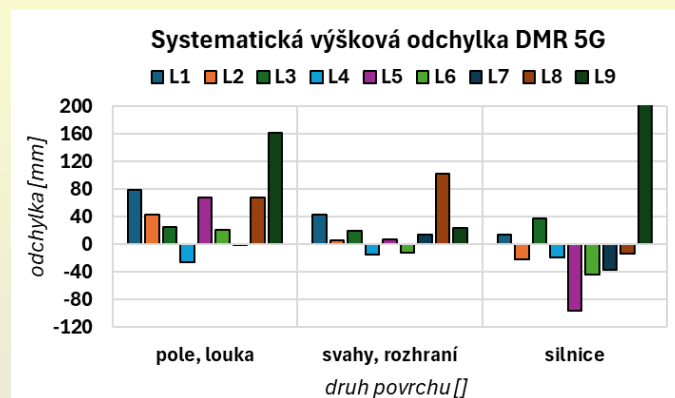
DMR5G-GNSS



DMP OK je v řádově nižší geometrické kvalitě v porovnání s DMR 5G.

Analýza digitálních modelů výškopisu ČR

- **Posouzení přesnosti výškové složky DMR 5G**
 - samostatné vyhodnocení jednotlivých lokalit na jednotlivých druzích povrchů

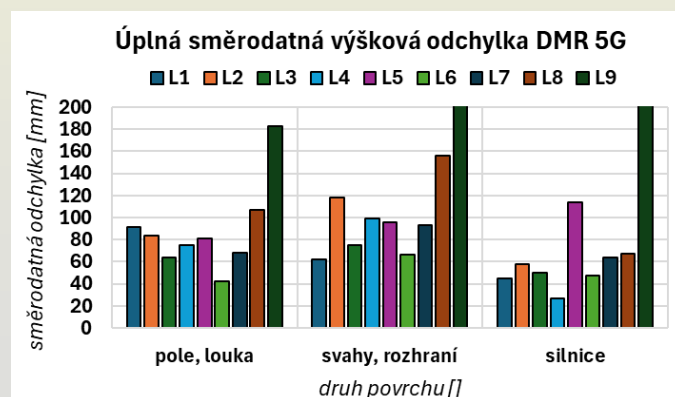


Závěr:

Lokalita 9 nebude uvážena při stanovování výsledných charakteristik přesnosti pro neaktuálnost DMR 5G v daném místě.

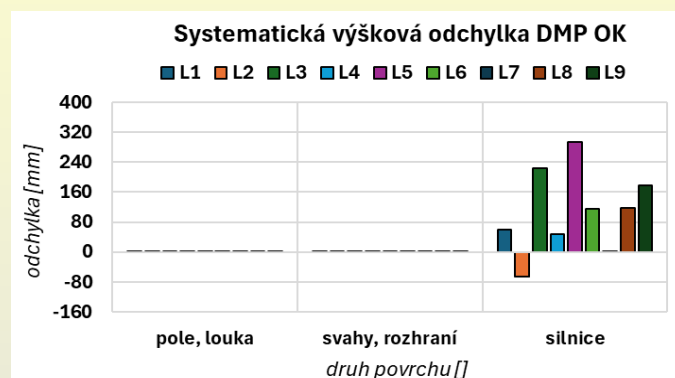
Vybočující hodnoty v lokalitě 8 vyvolává nevěrohodně zachycená polní cesta zařazené do kategorie (svahy, rozhraní).

Vybočující hodnoty v lokalitě 5 vyvolává nevěrohodně zachycená silnice zařazená do kategorie (silnice).



Analýza digitálních modelů výškopisu ČR

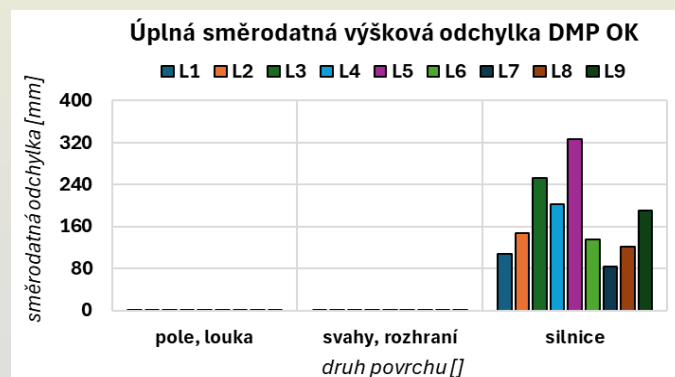
- **Posouzení přesnosti výškové složky DMP OK**
 - samostatné vyhodnocení jednotlivých lokalit pouze pro druh povrchu silnice



Závěr:

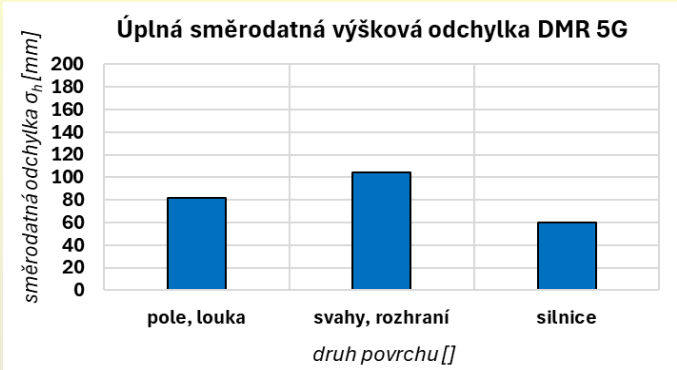
Graf demonstruje různost systematického vychýlení DMP OK v jednotlivých lokalitách.

Uvedené se pak adekvátně promítá do hodnot úplné výškové přesnosti.



Analýza digitálních modelů výškopisu ČR

- Souhrnné výsledky
 - vyhodnocení pro jednotlivé druhy povrchů



DMR 5G (773 bodů, 9 lokalit, rok 2025)		
	systematická	úplná směrodatná
Kategorie povrchu a půdního krytu	odchylka σ_h [mm]	odchylka σ_h [mm]
povrchy s terenními hranami a vegetací (svahy, násypy, příkopy)	34	82
hladké povrchy s vegetací (pole, louky)	18	104
hladké povrchy bez vegetace (pozemní komunikace)	-17	60

DMP OK (148 bodů, 9 lokalit, rok 2025)		
	systematická	úplná směrodatná
Kategorie povrchu a půdního krytu	odchylka σ_h [mm]	odchylka σ_h [mm]
hladké povrchy bez vegetace (pozemní komunikace)	117	192

Závěr

- **Využitelnost digitálních modelů výškopisu jako podkladu pro projekt**
 - **Z hlediska aktuálnosti** je potřeba brát v potaz, že v případě DMR 5G, DMR 4G a DMP 1G se jedná o produkty vytvořené v letech 2011 až 2013. Aktuálnost nebude zajištěna v místech intenzivní lidské činnosti. Jedná se zejména o stavební činnosti, při kterých mnohdy dochází k velmi výrazným terénním úpravám. K pozvolným změnám pak bude docházet také na obdělávaných zemědělských plochách.
 - **Z hlediska podrobnosti** lze DMR 5G a DMR 4G v principu považovat za dostačující. Věrohodnost průběhu terénu však může být v některých místech ovlivněna samotným procesem tvorby těchto produktů. V případě DMR 5G se bude jednat o degradaci z fáze filtrace vegetace. Problémy zde vznikají zejména na drobnějších terénních tvarech, ať už umělých nebo přirozených. V případě DMR 4G se pak přidává degradace z generalizace při přechodu na GRID model.
 - **Z hlediska přesnosti** DMR 5G na analyzovaných lokalitách vykazoval kvalitu ve směrodatné odchylce do 0.10 m. Jedná se o významně optimističtější hodnoty v porovnání s dosud publikovanými nejistotami přesnosti. Přesnost DMR 5G a DMR 4G je dále proměnlivá v závislosti na druhu povrchu terénu.

Děkuji za pozornost ...