

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

**FAKULTA STAVEBNÍ
OBOR GEODÉZIE A KARTOGRAFIE**



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**Možnosti úpravy dat LiDAR pro přípravu modelu terénu z
předindustriální éry**

**Vedoucí práce Ing. Tomáš Janata Ph.D.
Katedra geomatiky**

Praha, 2023

Jakub Zamazal

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Zamazal** Jméno: **Jakub** Osobní číslo: **502185**
Fakulta/ústav: **Fakulta stavební**
Zadávací katedra/ústav: **Katedra geomatiky**
Studijní program: **Geodézie a kartografie**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Možnosti úpravy dat LiDAR pro přípravu modelu terénu z předindustriální éry

Název bakalářské práce anglicky:

Possibilities of LiDAR data modification for the preparation of terrain model from the pre-industrial era

Pokyny pro vypracování:

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Tomáš Janata, Ph.D. Katedra geomatiky FSv

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **16.01.2023**

Termín odevzdání bakalářské práce: **22.05.2023**

Platnost zadání bakalářské práce: _____

Ing. Tomáš Janata, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

prof. Dr. Ing. Karel Pavelka
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Jiří Máca, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Možnosti úpravy dat LIDAR pro přípravu modelu terénu z předindustriální éry** zpracoval samostatně za použití uvedené literatury a pramenů.

V Praze dne 22.05.2023

.....
Jakub Zamazal

Poděkování

Chtěl bych poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Tomáši Janatovi Ph.D. za cenné rady, konzultace, a vstřícnost při zpracování této bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat své rodině za podporu během celého studia a psaní této práce.

Abstrakt

Tato práce se zabývá možnostmi úpravy LiDARových dat pro tvorbu modelu terénu z předindustriální doby. Konkrétně se zabývá odstraněním železničních tratí ze současného modelu terénu. Popisuje metodu vybrání železničního tělesa, odstranění výšek bodů v železničním tělesu a vypočítání nových výšek bodů.

Výsledkem této práce je nový model terénu neobsahující těleso železničních tratí.

Klíčová slova

Krajinná archeologie, filtrování DMT, GIS analýza, LiDAR, předindustriální éra

Abstract

This work focuses on the possibilities of modifying LiDAR data to create a terrain model from the pre-industrial era. Specifically, it deals with the removal of railway tracks from the current terrain model. It describes a method for selecting the railway tracks, removing the height points within the railway tracks, and calculating new height points.

The result of this work is a new terrain model that does not include the railway tracks.

Key words:

Landscape archaeology, DEM filtering, GIS analysis, LiDAR, pre-industrial era

Obsah

1	Úvod	7
2	Stav řešené problematiky	8
3	DMR5G	10
4	Výběr lokality	12
5	Popis zvolené lokality	13
5.1	Současné tratě	13
5.1.1	Železniční trať 093 Kralupy nad Vltavou – Kladno	13
5.1.2	Železniční trať 110 Kralupy nad Vltavou– Louny	14
5.1.3	Železniční trať 121 Hostivice–Podlešín	14
5.2	Zrušené tratě	14
5.2.1	Železniční trať 11b Zvoleněves – Kladno-Dubí	14
5.2.2	Úzkorozchodná dráha Slaný – Kačice	15
5.3	Železniční vlečky	15
5.4	Dálnice D7	16
6	Pracovní postup v programu ArcGIS Pro	17
6.1	Načtení dat do programu ArcGIS Pro	18
6.2	Výběr železničního tělesa	18
6.3	Tvorba nového terénu	20
6.4	Interpolace nových bodů	21
7	Zhodnocení práce	22
7.1	Podélné profily	23
8	Závěr	24
9	Seznam použité literatury a zdrojů	25
10	Seznam zkratk	26
11	Seznam příloh	26

1 Úvod

Cílem této bakalářské práce je zjistit možnosti úprav LiDARových dat, konkrétně Digitálního modelu reliéfu České republiky 5. generace (DMR 5G), do stavu, kdy terén bude odpovídat předindustriální době. Ve výsledném stavu to znamená snahu o odstranění veškeré lidské činnosti, která se podepsala na zemském povrchu za několik posledních století.

Vynález parního stroje v 18. století, objevení elektrického proudu a následný technologický rozvoj umožnil společnosti rozkvět v oblasti ekonomiky, technologií, zvýšení životních standartu a v mnoha dalších odvětvích. Tyto technologie nám daly větší možnosti úpravy Zemského povrchu a lidská činnost se na něm ve velké míře podepsala formou silničních a železničních staveb, rozsáhlými povrchovými doly či industriálními areály které změnilo jeho krajinný ráz.

Tato bakalářská práce se tedy zabývá možností odstranění těchto prvků z DMR 5G a následným vytvořením nového terénu v těchto místech na základě blízkého okolí. Odstranění všech prvků by bylo náročné, a proto jsem pro zjištění možnosti úprav rozhodl pracovat jen s železničními tratěmi a vlečkami. Jelikož zvoleným územím prochází dálnice D7, byla do úprav zahrnuta také, protože její zásah do okolní krajiny je zde velmi patrný.

Odstraněním těchto prvků vznikne nový digitální model terénu, který bude představovat původní povrch krajiny. Takový povrch bude možné využít k dalším GIS analýzám v rámci archeologie.

2 Stav řešené problematiky

Při hledání odborných prací, které se by se zabývaly danou problematikou jsem narazil na několik prací, jež využívaly digitálního modelu terénu pro účely zejména archeologie.

Například článek zabývající se detekcí a vyhodnocení pecí pro výrobu dřevěného uhlí na území Dolní Lužice. Zatímco předchozí archeologické průzkumy probíhaly převážně v povrchovém dole Jänschwalde a byly tedy limitující pouze na toto území, v této práci spojili archeologický průzkum mimo jiné i s GIS analýzou území. Z dat leteckého laserového snímkování se jim pak podařilo identifikovat přes 5000 pozůstatků pecí na území dvakrát větším, než je území na kterém probíhá těžba. Čímž bylo dokázáno, že výroba dřevěného uhlí zde byla mnohem větší, než doposud doložili archeologické průzkumy.[7]

Dále jsem našel dvě větší práce, které se zabývaly odstraněním umělých prvků vytvořených lidskou činností.

První je článek pochází z Slovak Journal of Civil Engineering a zabývá se automatickým zpracováním LiDARových dat na rozsáhlém území pro archeologickou analýzu krajiny. Práce se snaží o odstranění prvků lidské činnosti na území Čech a poté porovnává původní digitální terén a nově vytvořený. [8]

Druhá práce pochází z Belgie. Zabývá se také odstraněním prvků lidské činnosti na území Flander. Práce se věnuje úpravě terénu na třech různých úrovních podle velikosti zájmového území. Oblasti jsou rozděleny na oblast velkého měřítka, oblast středního měřítka a oblast malého měřítka. Výsledky jsou následně porovnávány s historickými mapami, které vznikly ještě před výstavbou odstraňovaných prvků. [9]

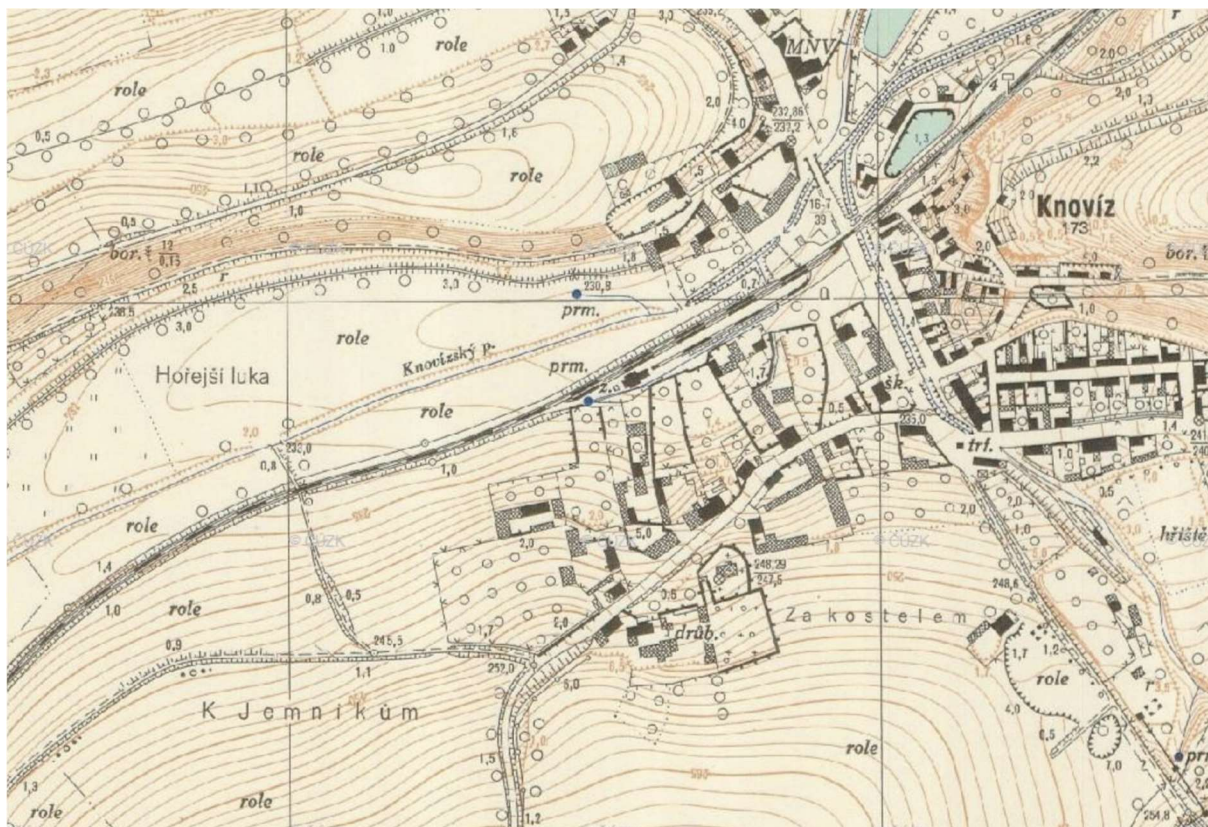
Historii železničních tratí a jejich historický průběh jsem pak čerpal z knih.

Kniha Příběhy z dějin našich drah: kapitoly z historie českých železnic do roku 1918, se zabývá celkovým zrodem železnic na našem území za Rakouska – Uherska. Seznamuje čtenáře s významnými postavami té doby, které stály za stavbou železnic u nás. Dále se vysvětluje důvody vzniku prvních tratí a popisuje vznik a dění prvních soukromých drah. [2]

Kniha Zmizelé koleje, zmizelá nádraží dopodrobna představuje všechny zaniklé tratě a nádraží, ale i jednotlivé přeložky na současných tratích a popisuje historii těchto míst a důvod jejich zániku. Knihu doprovází velké množství fotografií a zejména podrobných map, které ukazují původní průběh a současný stav tratí. [3]

Kniha 150 let parostrojní železnice na Kladně si neklade za cíl mapovat historii drah na území kladenského regionu, ale snaží se přiblížit čtenářům bohatý železniční provoz, který v Kladně byl. Kromě železničních tratí popisuje i historii jednotlivých kladenských nádraží a vleček kladenských oceláren a dolů nebo i historií tramvajové tratě v Kladně. [4]

Poslední kniha je kniha Zrušené železniční tratě v Čechách, na Moravě a ve Slezsku. Kniha popisuje historii a důvod zániku železničních tratí na našem území. Dále se pak kniha věnuje zániku přeshraničních železničních přechodů po pádu železné opony. [5]



Obr. 1: Průběh železniční tratě 11b obcí Knovíz na výřezu topografické mapy v systému S-1952 v měřítku 1:5000 (foto: Archiv ČÚZK)

3 DMR5G

DMR 5G představuje zobrazení přirozeného nebo lidskou činností upraveného zemského povrchu v digitálním tvaru ve formě výšek diskretních bodů v nepravidelné trojúhelníkové síti (TIN) bodů o souřadnicích X,Y,H, kde H reprezentuje nadmořskou výšku ve výškovém referenčním systému Balt po vyrovnání (Bpv) s úplnou střední chybou výšky 0,18 m v odkrytém terénu a 0,3 m v zalesněném terénu.

Letecké laserové skenování (LLS) je realizováno systémem LiteMapper 6800 firmy IGI mbH s využitím leteckého laserového skeneru RIEGL LMS – Q680 s příslušenstvím pro autonomní určování polohy skeneru GPS (Global Positioning System) a IMU (Inertial Measurement Unit). Nosičem leteckého laserového skeneru je speciální letoun MO typu L 410 FG. Vlastní skenování se uskutečňuje z průměrné výšky 1200 m nebo 1400 m nad střední rovinou terénu v jednotlivých blocích dle realizačního projektu a v závislosti na vzrůstu vegetace, v blocích o šířce přibližně 10 km.



Obr. 2: Instalace systému LiteMapper 6800 v L-410FG (foto: Geoportál ČÚZK)

Pomocí robustní filtrace (s využitím sofistikovaných automatizovaných metod) byly separovány body, ve kterých dopadl laserový paprsek na terén (včetně skal), vegetaci, stavby a výškové překážky leteckého provozu (dále kategorie) a přitom identifikována chybná měření (např. letící pták).

Vzhledem k nekonzistentní hustotě dat, ale i s cílem odstranění nepodstatných nerovností terénu, byla dále řešena generalizace modelu výběrem reprezentativních výškových bodů v síti 1 x 1 m.

Vzhledem ke skutečnosti, že v některých oblastech, zejména naskenovaných v hlavním vegetačním období, nebylo možné provést manuální přeřazení všech bodů, jež neleží přímo na terénu (jde zpravidla body na nízké vegetaci), do kategorie vegetace a tyto body tedy zůstaly nesprávně zařazené v kategorii reliéf, byla v této části technologie řešena generalizace modelu uvnitř určených polygonů výběrem reprezentativních výškových bodů v síti 5 x 5 m.

V každém čtverci je vybrán pravděpodobný reprezentativní bod reliéfu jako bod s nejnižší výškou.

V oblastech neobsahující naměřená data byly interpolovány nové výšky z okolních blízkých výškových bodů v síti 5 x 5 m.

Pomocí kontrolního geodetického měření v terénu bylo provedeno ověření přesnosti interpolace výšek bodů DMR 5G. Bylo zaměřeno celkem 3014 podrobných bodů v 21 lokalitách. Současně byla u jednotlivých bodů zaznamenána charakteristika povrchu a půdního krytu v době LLS. Povrchy byly rozděleny do pěti kategorií:

- terénní hrany (zpravidla u cest, silnic a železnic)
- zpevněné plochy
- orná půda
- louky a pastviny
- křoviny, stromořadí a lesy

Statistickým zpracováním byly stanoveny následující parametry přesnosti DMR 5G v níže uvedených kategoriích povrchu a půdního krytu [1]:

Tab. 1 Charakteristiky přesnosti DMR 5G na různém povrchu a půdním krytu [1]

Kategorie povrchu a půdního krytu	systematická chyba [m]	úplná střední chyba [m]	maximální chyba [m]
terénní hrany u komunikací	-0,11	0,18	0,66
zpevněné plochy	-0,09	0,13	0,37
orná půda	-0,07	0,14	0,56
louky a pastviny	-0,03	0,21	0,42
křoviny, stromořadí a lesy	-0,06	0,13	0,46
Průměrná hodnota	-0,07	0,14	0,49

4 Výběr lokality

Pro výběr konkrétní krajiny, kde bych následně prováděl úpravy bylo nutné vybrat lokalitu kde je větší koncentrace železničních tratí, jak současných, tak i těch které byly zrušeny a sneseny. Tratě zde budou vedeny v náspu nebo v zářezu, které bude nutné z modelu odstranit.

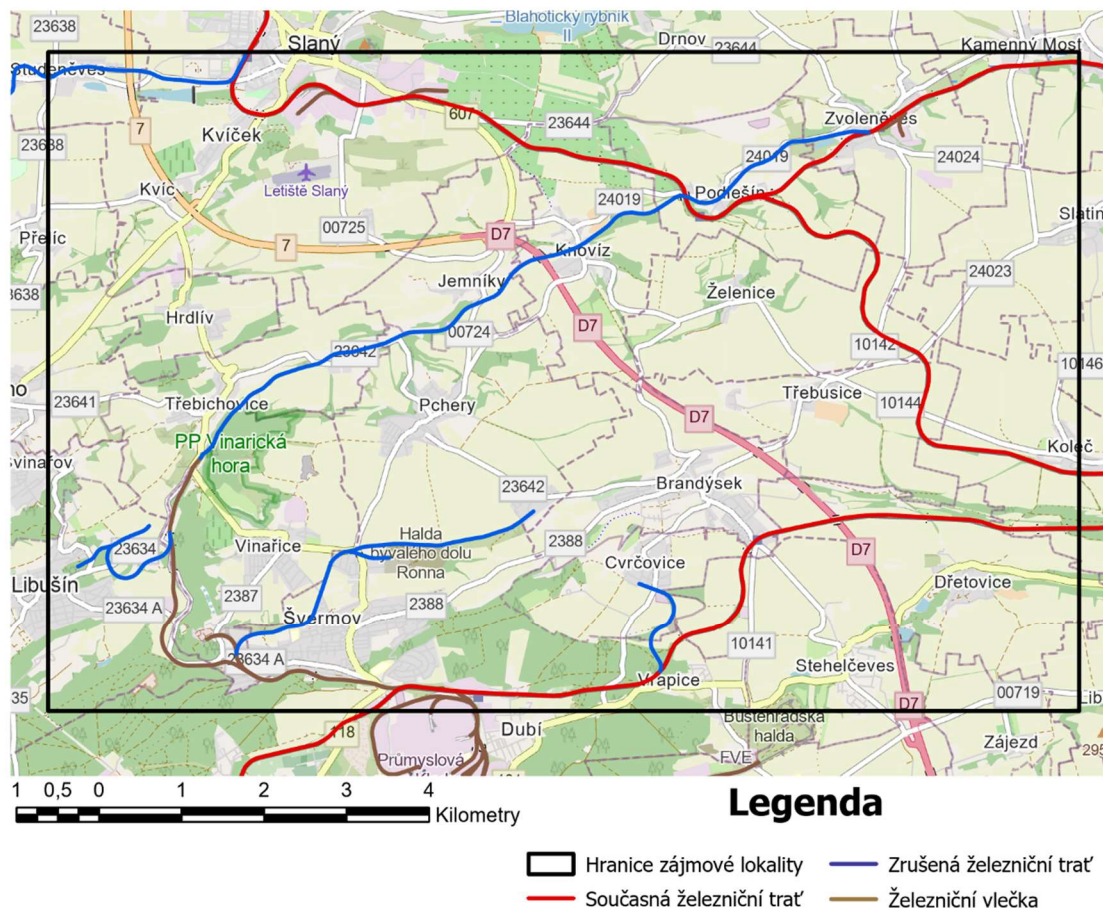
Pro testování úprav byla zvolena lokalita nacházející se mezi Slaným a Kladnem a Libuším a Kralupy nad Vltavou. Konkrétně se jedná o 20 mapových listů SM5 mezi listy Kladno 2-2 až Kladno 6-5.

V této lokalitě se nachází několik současných tratí, ale také tratě zrušené a díky historii Kladna spojené s těžbou uhlí i nespočet železničních vleček k jednotlivým dolům z nichž se většina do dnešního dne nedochovala. Dále tímto územím prochází dálnice, která se výrazně zapisuje do krajinného rázu této lokality.

5 Popis zvolené lokality

V dané lokalitě se na 100 km² nachází:

- 3 současné železniční tratě
- 2 již zrušené tratě
- 8 železničních vlečků
- Dálnice D7



Obr. 3: Mapa zvolené lokality s vyznačenými tratěmi

5.1 Současné tratě

5.1.1 Železniční trať 093 Kralupy nad Vltavou – Kladno

- Zahájení provozu[2]: 23.02.1856

Kladenské uhlí bylo v minulosti přepravováno z dolů po silnici na kladenskou stanici Wejhybka (dnes nádraží Kladno), kde bylo překládáno na vozy koňky Kladno – Lány. S rostoucím zájmem o uhlí z okolí Kladna přestává koňská dráha stačit. Majitel hrabě Karl Egon Fürstenberg proto projevuje snahu přestavbu koňské dráhy na lokomotivní provoz. Nakonec je zvolena jako vhodná trasa z Kladna do Kralup nad Vltavou, kde se nachází nádraží c. k. státní dráhy a překladiště na řece Vltavě.

Jako vhodná varianta je zvolena trasa z Kladna kolem uhelných revíru u Brandýsku a dále přes Zákolany a Otovovice do Kralup. Tímto vznikla Buštěhradská dráha (BEB). Koncese na výstavbu dráhy byla císařem udělena 20.11.1855. To již ale byla nová dráha hotová, neboť se s její výstavbou začalo o rok dříve. Z dráhy přepravující uhlí z kladenských dolů do Kralup se postupně stává jedna z nejdůležitějších společností Rakousko-Uherska a význam BEB roste.

Koncová stanice Kladno (později Staré Kladno) nacházející se v Poldině huti byla později zrušena a provoz zde přerušen. Trať dnes pokračuje ze stanice Kladno Dubí na nádraží Kladno (Vejhybku). [4]

5.1.2 Železniční trať 110 Kralupy nad Vltavou– Louny

- Zahájení provozu[2]:18.10.1882 (Kralupy n.vlt. - Kralupy n.vlt. předm.)
20.02.1884 (Kralupy n.vlt. předm.- Zvoleněves)
02.10.1922 (Zvoleněves - Podlešín)
11.05.1873 (Podlešín - Louny)

Trať byla v úseku z Podlešína do Loun součástí Pražsko-duchcovské dráhy (PDE). Dráha byla vybudovaná za účelem oslabení vlivu StEG na dopravování severočeského uhlí do Prahy. StEG měla v té době monopol jak na dodávky severočeského, tak i kladenského uhlí. Dráha byla vybudována mezi Pražským Smíchovem a Duchcovem. Významnou stavbou tratě se stal 95 metrů dlouhý viadukt v Podlešíně, kterým se křížila s tratí 11b ze Zvoleněvsi do Kladna. V roce 1922 byla postavena spojka která u Podlešína napojila obě tratě ve Zvoleněvsi.

5.1.3 Železniční trať 121 Hostivice–Podlešín

Zahájení provozu: 1873

Trať byla vybudována jako součást Pražsko-duchcovské dráhy z Pražského Smíchova do Duchcova viz výše. V současné době se trať využívá pouze k nákladní dopravě. Osobní doprava zde byla od roku 2004 zastavena s výjimkou víkendových vlaků a osobních vlaků v úseku Hostivice Středokluky spojená s vybudováním skladu Amazon v Dobrovízi.

5.2 Zrušené tratě

5.2.1 Železniční trať 11b Zvoleněves – Kladno-Dubí

Zahájení provozu[5]:01.06.1886
Ukončení provozu[5]:28.05.1982

Podnětem k výstavbě této dráhy začíná zveřejnění zprávy Mirošovického kamenouhelného těžářstva, které se chystá v okolí Libušína otevřít nové doly. Iniciativy se chápe Společnost státní dráhy (StEG), která se tímto snaží rozbít monopol buštěhradské dráhy na kladenské uhlí. Provoz na trati byl zahájen 1.6.1886.

Trat' byla vedena ze stanice Zvoleněves přes Podlešín, kde pod viaduktem křížila Pražsko-duchcovskou dráhu. Dále byla vedena přes Knovíz, Jemníky, Vinařice a končila na nádraží buštěhradské dráhy Tuhaň. Zde se pak napojovala pomocí vleček na uhelné doly v okolí.

Dráha se stala důležitou pro přepravu uhlí do Kralup. Co se týče osobní dopravy byla oblíbená zejména s dopravou dělníků do „Poldovky“ po zavedení osobní dopravy do stanice Kladno-Dubí po roce 1945. Po zprovoznění Podlešínské spojky ale její důležitost klesá. Se zavedením autobusové dopravy v okolí oblíbenost osobní dopravy klesá. Se zhoršujícím stavem trati a snížením provozního výkonu, uhlí se spíše vyplatilo přepravovat po trati přes Brandýsek, je nakonec provoz v úseku Vinařice – Zvoleněves 28. května 1982 ukončen a kolejový svršek snesen.

Ve Stanici Vinařice se usídlilo železniční vojsko, které část tratě Vinařice – Kladno-Dubí uvedlo do provozuschopného stavu jakožto vlečku. Dnes stanici Vinařice využívá Sklad státních hmotných rezerv.

5.2.2 Úzkorozchodná dráha Slaný – Kačice

Zahájení provozu[4]: 28.11.1908

Ukončení provozu[4]:31.03.1932

Již v 80. letech 19. století vznikají první pokusy o propojení Pražsko-duchcovské dráhy s Buštěhradskou dráhou. Tyto snahy však nebyly korunovány úspěchem.[3] Úzkorozchodnou dráhu zde pak vybudoval v letech 1902-04 hrabě Jindřich Clam Martinic ze Smečna. Délka tratě o rozchodu 700 mm dosahovala délky 14 km. Dráha začínala ve stanici Slaný, zde se uskutečňovala překládka z vozů normální rozchodu Pražsko-duchcovské dráhy. [4] Dráha vedla do Studeněvsi, kde se nacházela stanice s výtopnou a vlečka do hraběcího cukrovaru. Cestou se nacházela vlečka do Heidlerova mlýna. Dále trat' pokračovala přes Přelíc do Smečna, kde se nacházela vlečka do zámku Smečno a místního pivovaru. V konečné stanici Kačice se rovněž uskutečňovala překládka na normálně rozchodné vozy Buštěhradské dráhy. Ze stanice Kačice rovněž vedla vlečka do dolu Schöller.

Dráha přepravovala řepu a řepné řízky, ale též uhlí a koks pro cukrovar ve Studeněvsi, z cukrovaru pak cukr a melasu. Do mlýna vozila obilí, ze mlýna pak mouku a hnojivo.[4] Obsluhovala taktéž pivovar ve Smečně.

Provoz dráhy byl zastaven 31. března 1932 zároveň s ukončením činnosti cukrovaru ve Studeněvsi.[4]

Jelikož ve zvoleném území prochází pouze část tratě vycházející ze Slánského zhlaví a stavba se v reliéfu nijak neprojevila, nebude v této práci řešena.

5.3 Železniční vlečky

Na území se nachází několik vleček k bývalým dolům v okolí Kladna, většina z nich byla po ukončení těžby zrušena. Jedinou výjimku tvoří vlečka dolu Mayrau ve Vinařicích. Dále se zde nachází vlečka k bývalému cukrovaru ve Zvoleněvsi a vlečky na území Slaného do bývalého ČKD a dalších podniků.

5.4 Dálnice D7

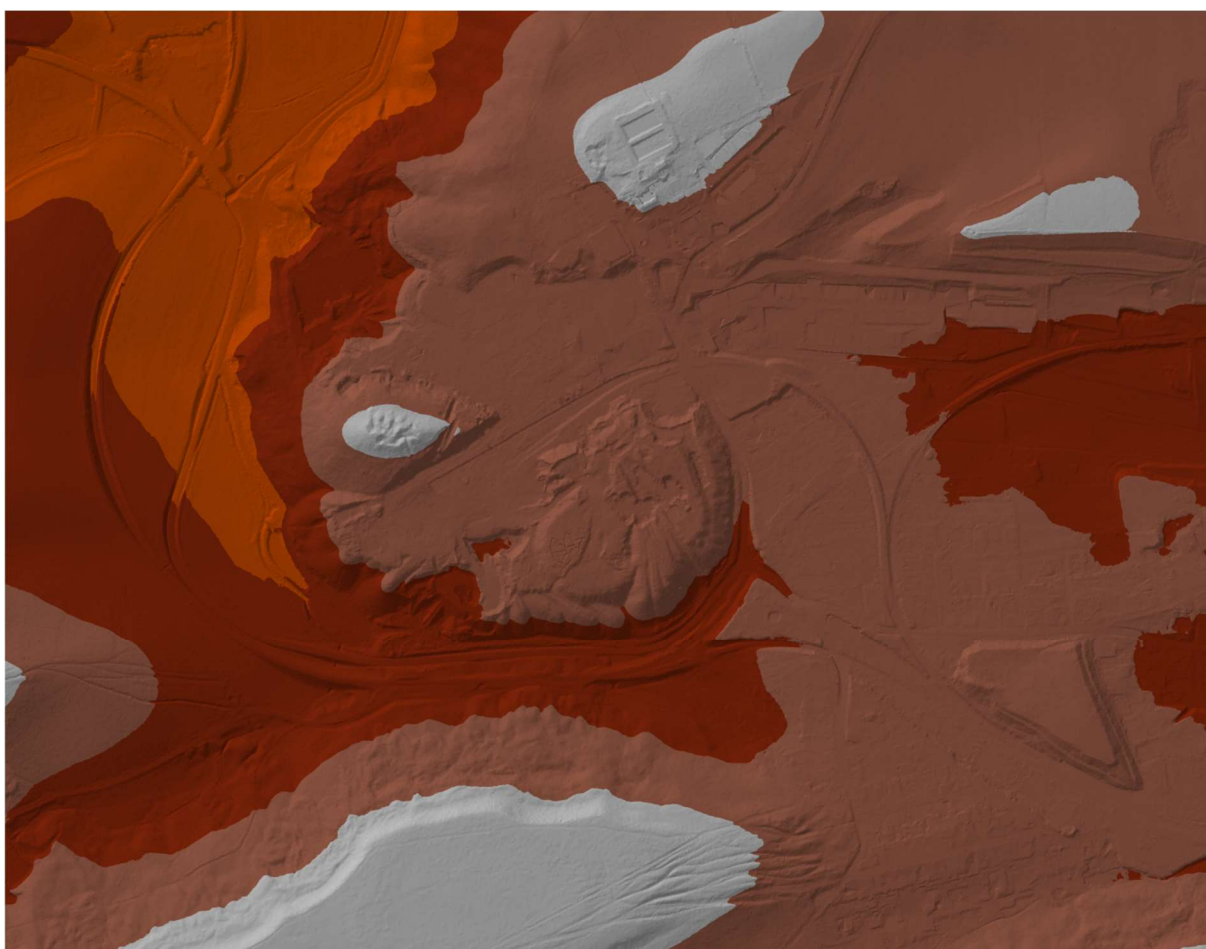
Dálnice Praha – Chomutov prochází dotčeným územím kolem Buštěhradu, Brandýsku a je provizorně zakončena u obce Knovíz. První úvahy o této dálnici se objevují už na začátku 60. let jako o rychlostní silnici. Stavba úseku z Prahy do Slaného byla provedena v postupných etapách od roku 1962 do roku 1989. Do 31. prosince 2015 byla vedena jako rychlostní silnice, od tohoto data je vedena jako dálnice.

Jelikož tato stavba výrazně zasahuje do reliéfu okolní krajiny, rozhodl jsem se jí přidat do řešení úpravy terénu. V následné práci je s ní zacházeno stejnými postupy jako s řešenými železničními tratěmi s několika výjimkami v parametrech.

6 Pracovní postup v programu ArcGIS Pro

Bakalářská práce byla zpracována v programu ArcGIS Pro, do kterého byla načtena data DMR 5G a ZABAGED. Následně byl z výškových bodů DMR 5G vytvořen model terén ve formě TINu.

Cílem práce je vytvoření nového modelu terénu úpravou toho stávajícího. To bylo docíleno vybráním železničního tělesa, smazáním výškových bodů uvnitř tohoto tělesa a vygenerováním nového modelu terénu bez těchto bodů. Pro plynulejší přechod mezi body pak byly do plochy železničního tělesa přidány nové body na osu s vyinterpolovanou výškou z bodů v okolí.



Obr. 4: Ukázka načteného digitálního modelu terénu DMR 5G ve formě TINu

6.1 Načtení dat do programu ArcGIS Pro

Data DMR 5G jsou dodávána v textovém souboru s příponou .xyz. Tento soubor obsahuje jednotlivé body v daném mapovém listu mapy SM5. Body jsou uloženy ve formátu kde se na každém řádku nachází souřadnice Y, X, Z jednoho bodu v systému S-JTSK respektive BpV.

Body se v programu ArcGIS pomocí funkce ASCII 3D To Feature Class. Tato funkce načte textový soubor jeho obsah uloží jako bodovou, liniovou nebo plošnou třídu. V tomto případě byla zvolena bodová třída.

Z načtených bodů byla vytvořena síť TIN a dále pak rastrová mapa ze které byla vytvořena mapa sklonů.

Současné železniční tratě a vlečky byly do programu načteny jako liniové vrstvy z dat ZABAGED. Tratě, které byly zrušené bylo třeba ručně doplnit z historických zdrojů a pozůstatku které v terénu zbyly.

6.2 Výběr železničního tělesa

Je nutné vybrat část zemního tělesa železničního spodku vedeného po náspu nebo v zářezu a následně pro tuto plochu nahradit povrch novým povrchem spočteným na základě okolního terénu. Plně ruční výběr by byl velmi časově náročný a pro velká území neúnosný. Naopak automatický výběr pomocí pevné obalové zóny odstraní body terénu i v místech kde to nebylo nutné, například v místech, kde je úzký násep a tím zbytečně zhoršovat kvalitu nového terénu.

Definice železničního náspu a zářezu dle technické normy železnic SŽ je [6]:

- **2.2.2.1 zemní těleso v náspu, násep**
stavební konstrukce vybudovaná ze sypaniny nad úrovní terénu; svou únosností a stabilitou musí při zaručeném stupni bezpečnosti odolávat bez trvalých deformací statickému i dynamickému zatížení železničními vozidly.
- **2.2.3.1 zemní těleso v zářezu, zářez**
stavební konstrukce, která vznikne odtěžením horniny do předepsaného profilu

Výběr probíhá na základě sklonu svahu náspu z mapy sklonů vytvořené funkcí Slope. Tímto jsou vybrány svahy náspu skoro od paty až po hranu, následně stačí jen plochu doplnit o korunu (horní plochu) náspu.

Pomocí funkce Buffer je vybraná oblast zájmu kolem osy železnice. Vhodná velikost zájmové oblasti byla určena na základě průzkumu oblasti, tak aby zahrnula železniční násep a nebyla zbytečně moc široká.

Tab. 2 Šířka obalových zón pro jednotlivé druhy vrstev

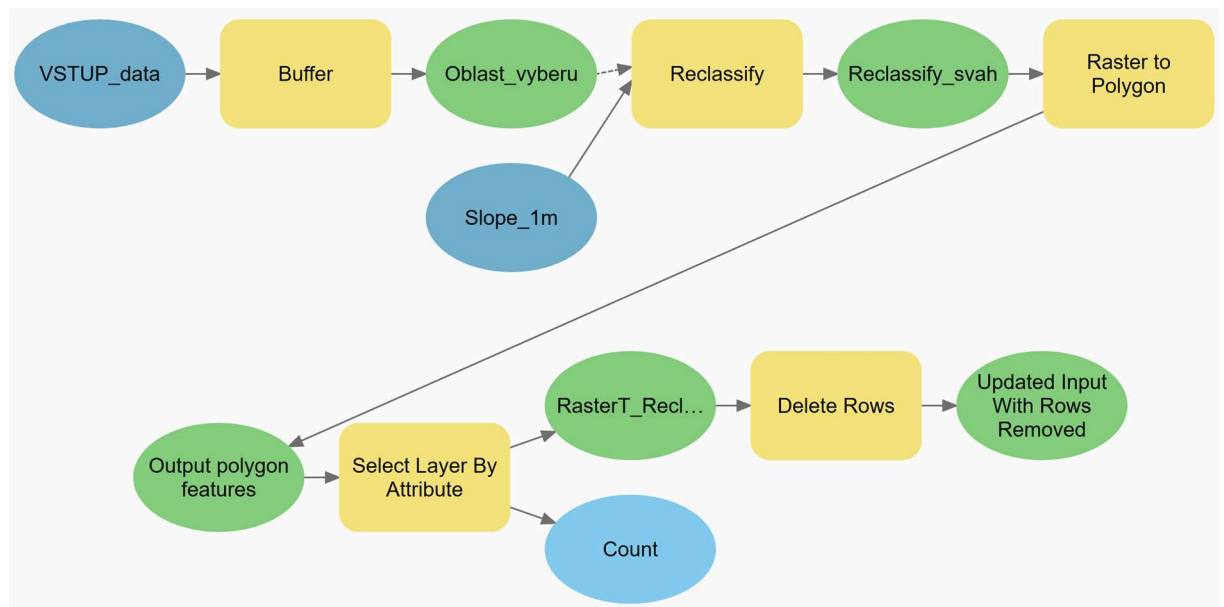
Železnice	15 m
Dálnice	30 m

Funkcí Reclassify byly z mapy sklonů následně vybrány buňky jejichž sklon přesahuje 10°. Tímto byl rastr rozdělen na 2 třídy. Rastrová data byla převedena na vektorová pomocí funkce Raster to Polygon.

Následně byla pomocí funkce Select Layer By Attribute vybrány polygony s atributem odpovídajícím sklonu 0° až 10° a ty byly z databáze odstraněny. Tímto zůstaly pouze svahy náspu.

Dál bylo nutné spojit protilehlé svahy náspu a tím také vybrat korunu náspu. To bylo provedeno ruční úpravou, při té byl také opraveny nesrovnalosti v místech kde předchozí metoda nestačila a byly odstraněny plochy kde byl vybrán šum.

Jelikož svah byl funkcí Reclassify pouze od sklonu 10° výše, byla výsledná vrstva rozšířena pomocí funkce Buffer o další 2 metry na každou stranu, aby byla vybrána i skutečná pata svahu.

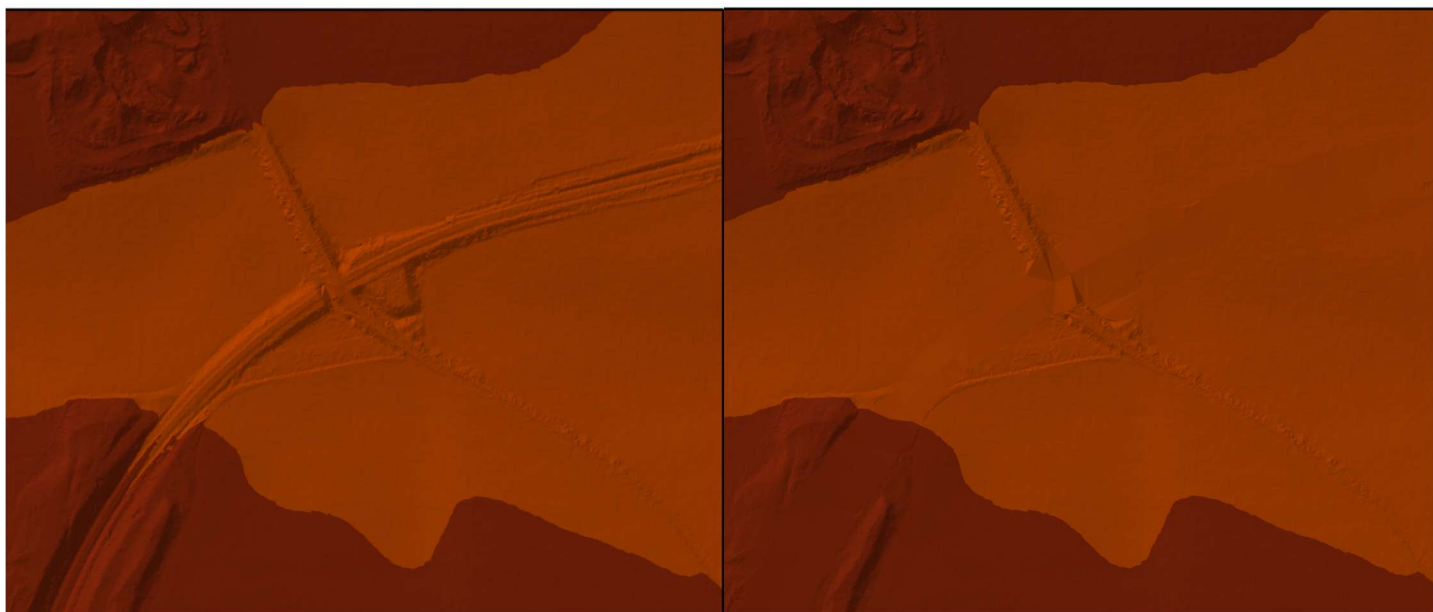


Obr. 5: Postup výběru železničního tělesa v prostředí Model Builder programu ArcGIS Pro

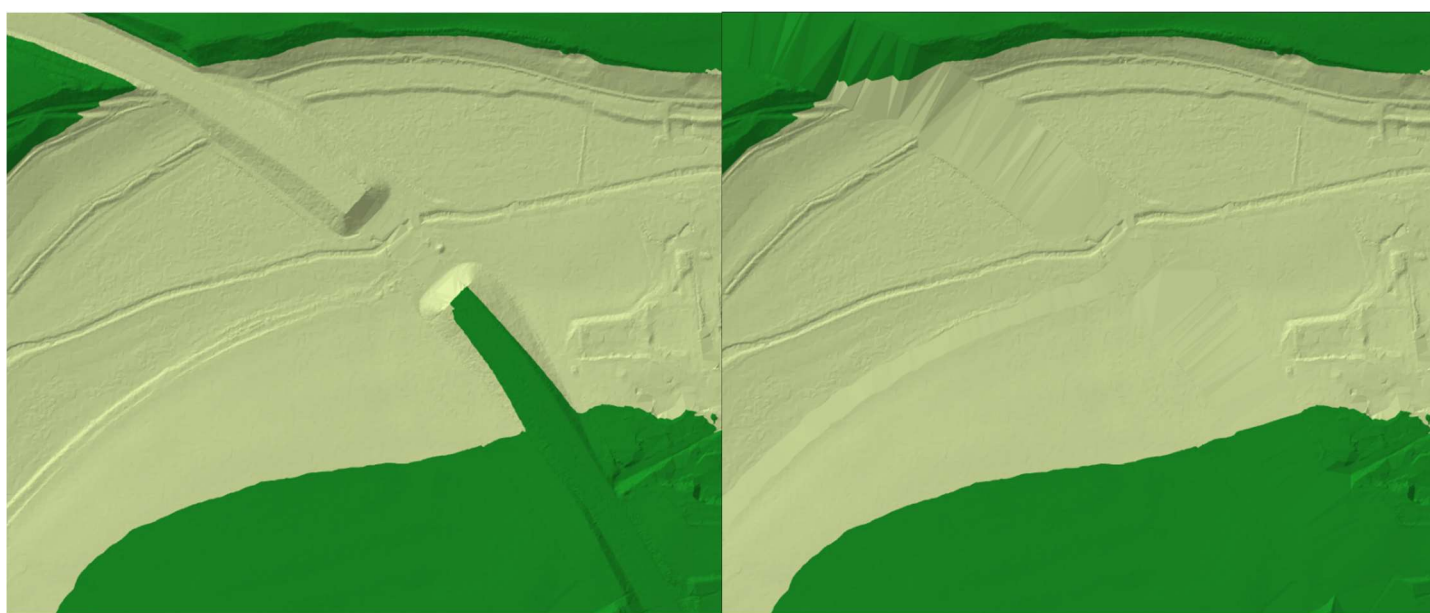
6.3 Tvorba nového terénu

Body DMR 5G, které se nacházely uvnitř vrstvy vzniklé v předchozí části byly z modelu smazány a ze zbývajících bodů byl vytvořen nová trojúhelníková síť. Tato vrstva ve většině případů je dostačující a terén vypadá jako původní.

Ale v případech že je výška na protilehlých stranách svahu jiná nebo jsou body daleko od sebe (např. v prostoru nádraží), je výsledný TIN výškově nepřesný, výška vzniká lineární interpolací a trojúhelníky jsou velké.



Obr. 6, 7: vlevo: původní model terénu DMR 5G vpravo: model terénu s odstraněnou železniční tratí poblíž Vrapic



Obr. 7, 8: vlevo: Dálnice D7 těsně před jejím ukončením u Slaného, zleva doprava prochází těleso bývalé železnice Kladno – Zvoleněves vpravo: Tatáž lokalita s novým terémem.

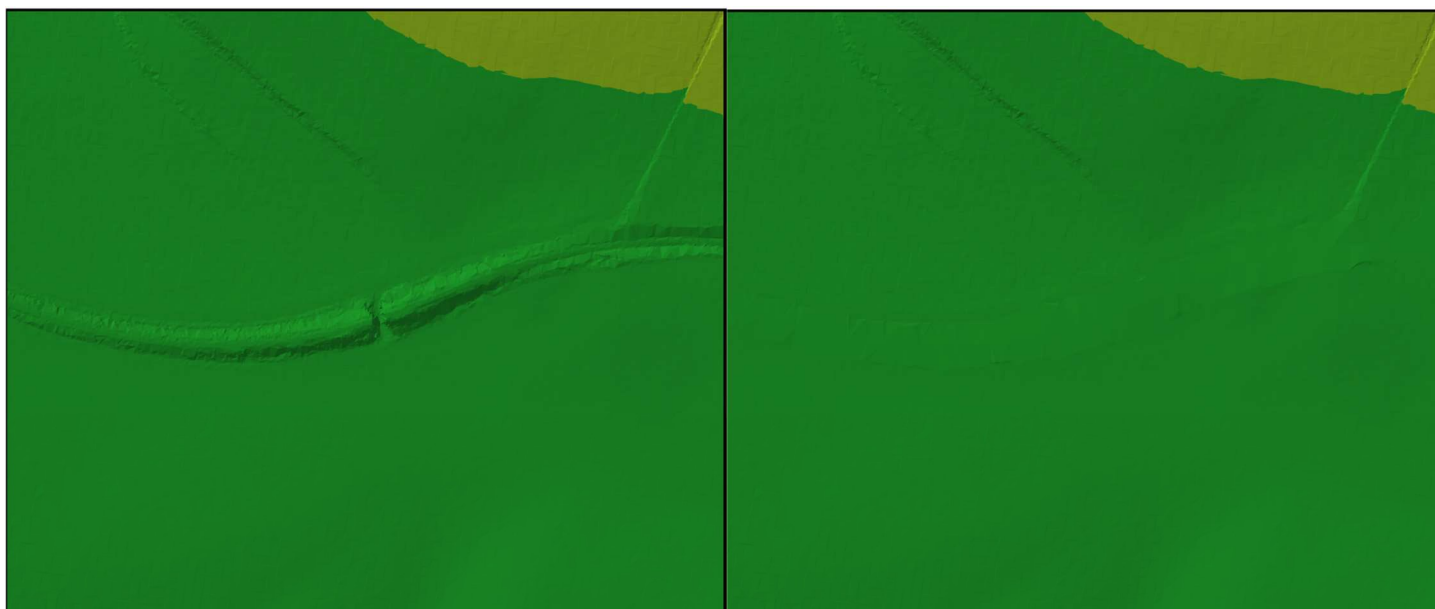
6.4 Interpolace nových bodů

Do prostoru železničního náspu byly na linii, která představovala osu železniční tratě přidány nové body po intervalu 10 m. Tyto body zahustí trojúhelníkovou síť v místě odstraněných původních bodů. Novým bodům ale je nutné přiřadit nové výšky.

Na okraj obalové zóny byly přidány body v intervalu 5 m, pro které byla převzata výška z původního terénu. Z těchto bodů byla následně provedena interpolace metodou IDW. Výšky nových bodů byly určeny z této interpolace.

tím byla jistým způsobem chyba ve výšce popsána výše.

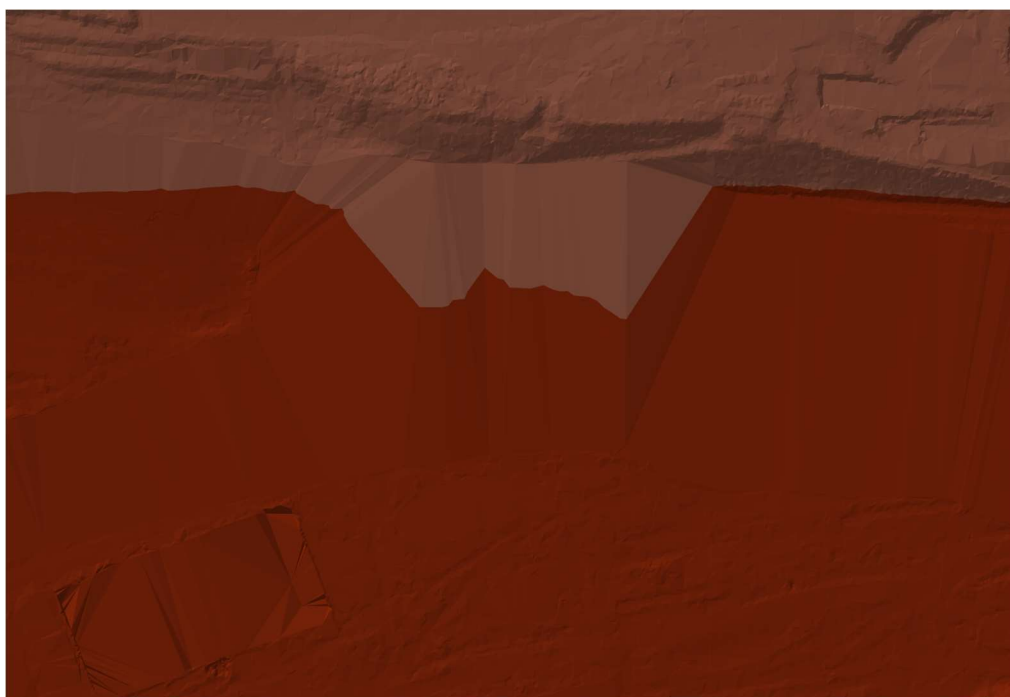
Z okolních bodů původního modelu a z nově vložených byl následně vygenerován nový TIN, který je v místě tratí podrobnější a byla tím jistým způsobem odstraněna nepřesnost ve výšce popsána výše.



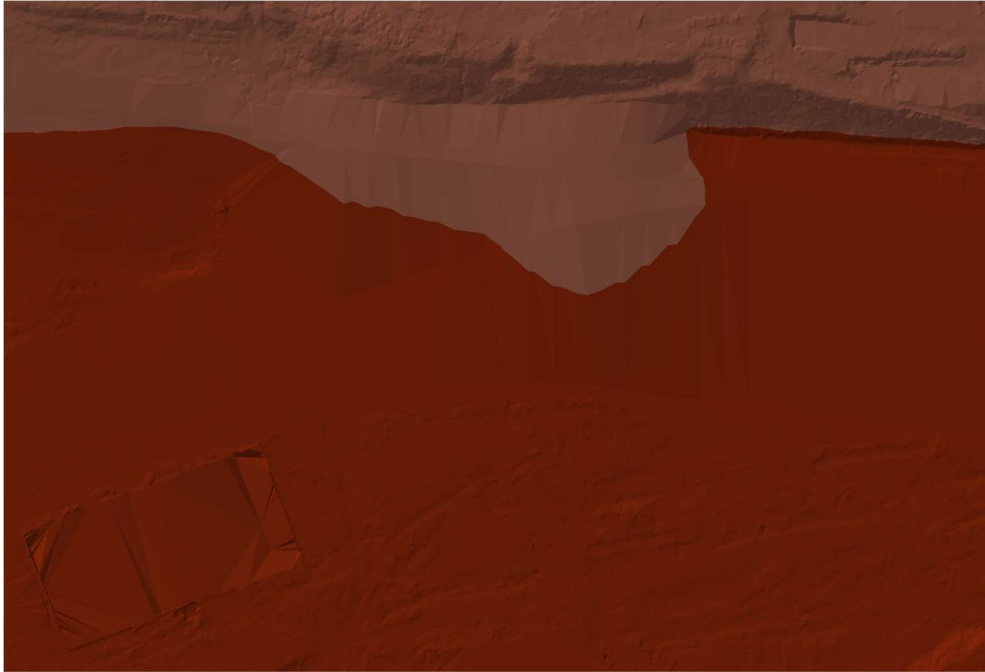
Obr. 9, 10: vlevo: Železniční trať mezi Podlešínem a Třebusicemi vpravo: Tatáž lokalita s odstraněnou železniční tratí

7 Zhodnocení práce

Nově vytvořený terén ve většině případů vystačuje v podobě TINu bez doplněných interpolovaných bodů. Železniční násep je zde nahrazen přímým spojením okolních bodů na původním terénu. Problém nastává, když levá a pravá část náspu se nachází v jiných výškách a vzdálenost mezi nimi je větší. Zde je pak nový terén vygenerován n některých případech i o několik metrů výše, než je reálná výška v těchto místech. Možností pro odstranění těchto problémů je použít v obalové zóně bodů s interpolovanými výškami, případně ruční editace nového terénu. Ve většině případů se ale jednalo o místa, kde se železniční trať protínala se silnicí v podobě železničního přejezdu nebo se jednalo o jiný umělý prvek, který v této práci nebyl řešen. Při odstranění všech umělých prvků by k těmto problémům zde nedocházelo.



Obr. 11: příklad špatně vytvořeného modelu vzniklý velkou šířkou kolejiště v nádraží Kladno Dubí. Zde bude nutná ruční editace terénu.



Obr. 12: Stejné místo s TINem doplněným o body na ose koleje. Zde bude nejspíš nutná další ruční editace terénu.

7.1 Podélné profily

Jako další zhodnocení nově vygenerovaného terénu byly provedeny podélné profily naspem původního terénu a nově vygenerovaného ve 40 lokalitách a následně byly tyto profily porovnány.

Profily byly vytvořeny pomocí funkce Stack Profile, kde jako vstupní parametr vstoupila liniová vrstva obsahující jednotlivé profily. Dále zde byly jako další parametr doplněny modely terénu, ze kterých se profily vytvoří. Výsledkem funkce je tabulka obsahující staničení a výšek profilu, ze které byl vytvořen graf.

Na jednotlivých profilech je patrné odstranění povrchu železničního tělesa a míru v jaké nový model terénu navazuje na okolní prostředí.

Výsledné grafy se nacházejí v příloze 1 – Podélné profily.

8 Závěr

Celková ruční úprava terénu je velmi časově náročná. Na druhou stranu plně automatická tvorba může vybrat i prvky které s danou upravovanou kategorií nesouvisí a nechtěně je upravit. Například skalní stěny nebo hrany vodních toků které se nacházejí v obalové zóně upravovaného prvku. K dosažení dobrých výsledků je tedy nutné před samotnou úpravou modelu terénu zkontrolovat a doupravit obalové zóny v oblasti. Tato kontrola bude nutná zejména u hlavních silničních tahu, železnic atd., kde se dá očekávat, že zde byl terén upraven ve větší míře. Dále pak poblíž výše zmíněných vodních toků a skal.

Nově vytvořený terén nahrazuje člověkem vytvořené prvky v krajině terénem, který se snaží představovat původní stav. Takto upravený terén může najít využití zejména archeologii, kde umožní další práci s původním terénem.

9 Seznam použité literatury a zdrojů

- [1] *Technická zpráva k digitálnímu modelu reliéfu 5. generace DMR 5G [online].* Praha: ČUZK, 2012 [cit. 2023-04-23]. Dostupné z: https://geoportal.cuzk.cz/Dokumenty/TECHNICKA_ZPRAVA_DMR_5G.pdf
- [2] SCHREIER, Pavel. *Příběhy z dějin našich drah: kapitoly z historie českých železnic do roku 1918.* Praha: Mladá fronta, 2009. ISBN 978-80-204-1505-9.
- [3] LAPÁČEK, Petr, Josef BOSÁČEK a Petr OVSENÁK. *Zmizelé koleje, zmizelá nádraží.* Brno: CPress, 2019. ISBN 978-80-264-2852-7.
- [4] ŠOREL, Michal, Jan JILMA, Ivo MAHEL a Ludvík LOSOS. *150 let parostrojní železnice na Kladně.* Praha: Růžolící chrochtík, 2005. Knižní edice KHKD. ISBN 80-903-3463-6.
- [5] JELEN, Miroslav. *Zrušené železniční tratě v Čechách, na Moravě a ve Slezsku.* Praha: Dokořán, 2009. Bod. ISBN 978-80-7363-129-1.
- [6] TNŽ 01 0101 - 1. *Provozování dráhy – Názvosloví: Část 1: Železniční stavebnictví.* SŽDC, 2011.
- [7] A. Raab, M. Takla, T. Raab, A. Nicolay, A. Schneider, H. Rösler, K.-U. Heußner, E. Bönisch Pre-industrial charcoal production in Lower Lusatia (Brandenburg, Germany): Detection and evaluation of a large charcoal-burning field by combining archaeological studies, GIS-based analyses of shaded-relief maps and dendrochronological age determination. *Quaternary International*. **2015**(367), 111-122. ISSN 1040-6182. doi: 10.1016/j.quaint.2014.09.041.
- [8] NOVÁK, David, Filip PRUŽINEC a Tibor LIESKOVSKÝ. The Potential and Implications of Automated Pre-Processing of LiDAR-Based Digital Elevation Models for Large-Scale Archaeological Landscape Analysis. *Slovak Journal of Civil Engineering*. 2022, **30**(4), 1-10. ISSN 1338-3973. Dostupné z: doi:10.2478/sjce-2022-0022
- [9] Werbrouck, I.; Antrop, M.; Van Eetvelde, V.; Stal, C.; De Maeyer, P.; Bats, M.; Bourgeois, J.; Court-Picon, M.; Crombé, P.; De Reu, J.; De Smedt, P.; Finke, P.A.; Van Meirvenne, M.; Verniers, J.; Zwertvaegher, A. (2011). Digital elevation model generation for historical landscape analysis based on LiDAR data, a case study in Flanders (Belgium). *Expert Systems with Applications*, Vol. 38 (7), p. 8173-8185. doi: 10/1016/j.eswa.2010.12.162.

10 Seznam zkratek

LiDAR	Light Detection And Ranging
DMR 5G	Digitálního modelu reliéfu České republiky 5. generace
TIN	nepravidelná trojúhelníková síť
BpV	Balt po vyrovnání
LLS	Letecké laserové skenování
GPS	Global Positioning System
IMU	Inertial Measurement Unit
BEB	Buštěhradská dráha
PDE	Pražsko-duchcovská dráha
StEG	Rakouská společnost státní dráhy
SŽ	správa železnic
SM5	Státní mapa 1:5000
S-JTSK	System jednotné trigonometrické sítě katastrální

11 Seznam příloh

Tištěné přílohy

Podélné profily

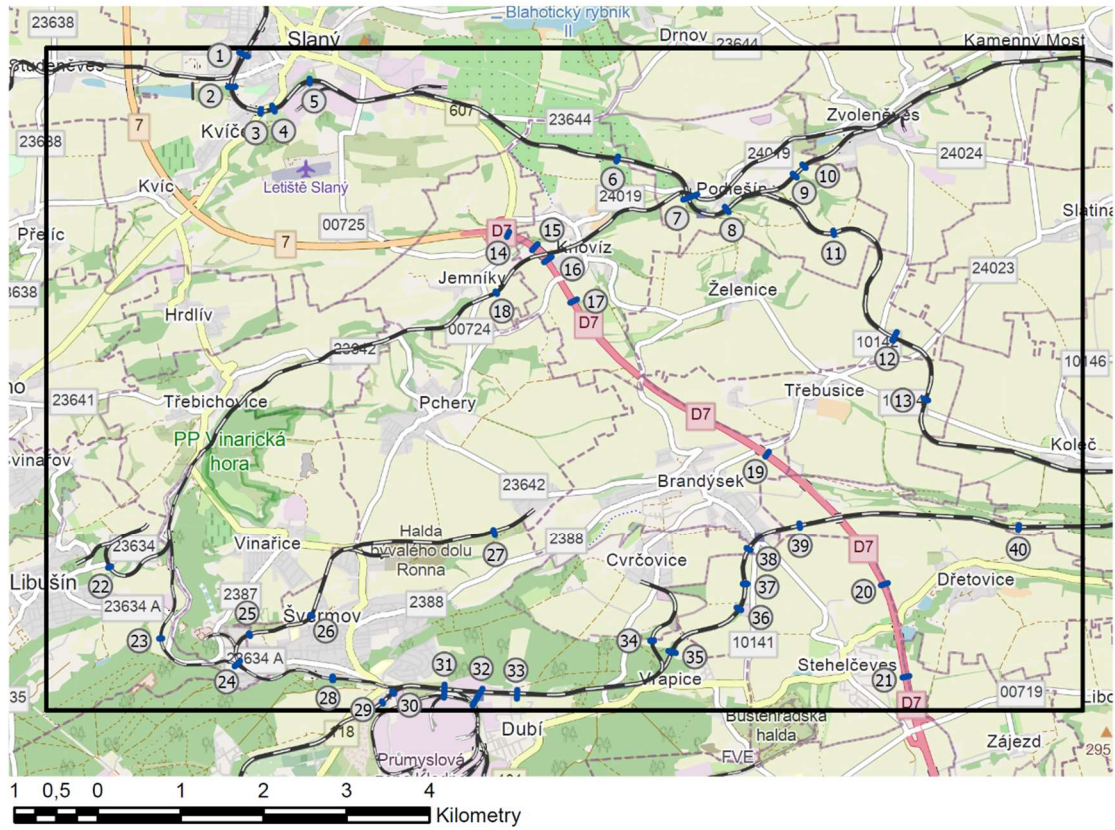
Elektronické přílohy

Vstupní data – Vstupni_data.zip

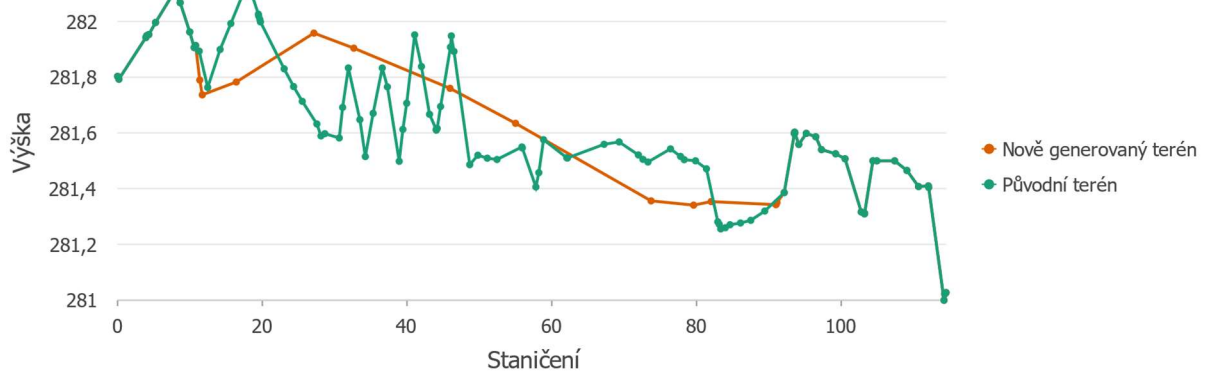
Výstupní data (Výsledný TIN, profily, atd.) – Výstupní data.zip

Příloha 1 – Podélné profily

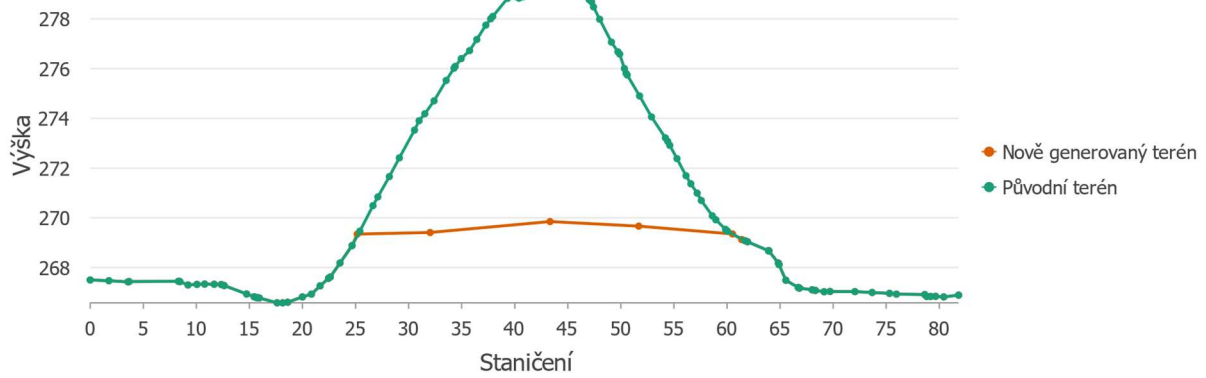
Přehledka podélných profilů



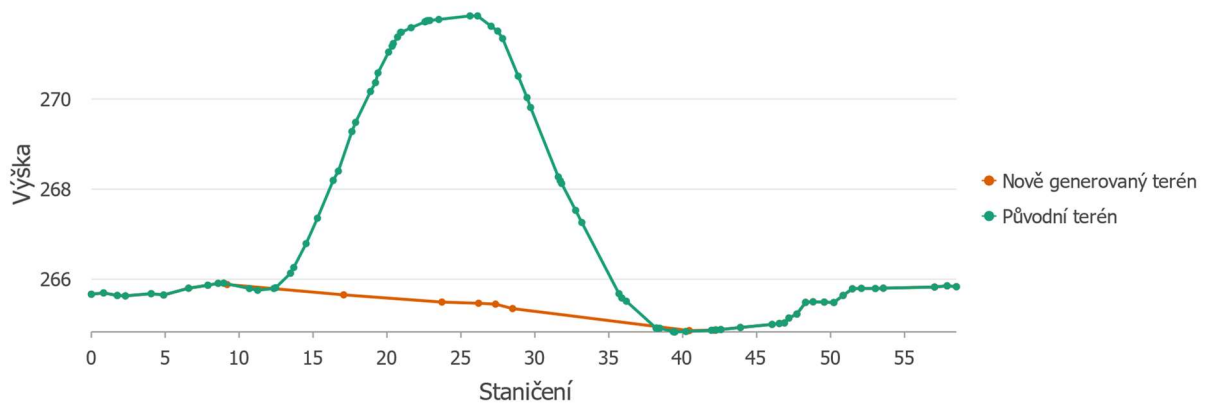
Podélný profil č. 1



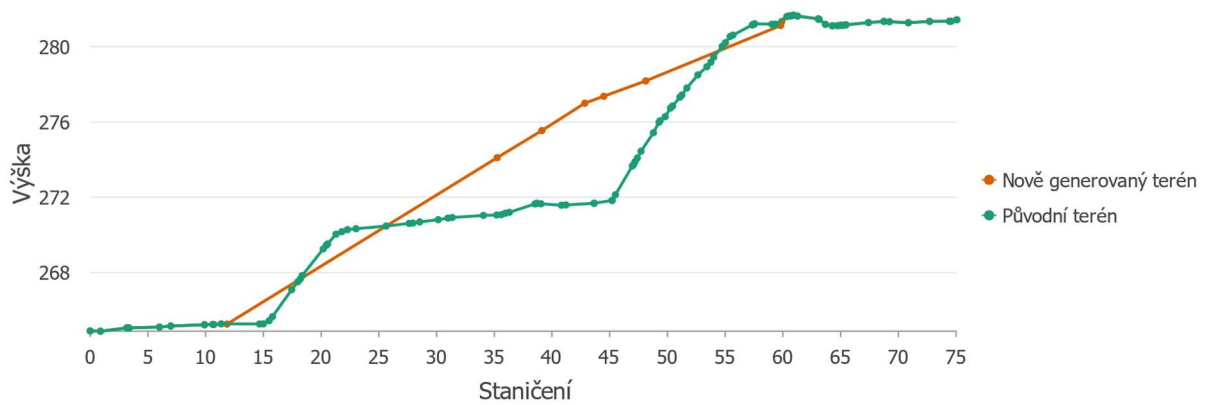
Podélný profil č. 2



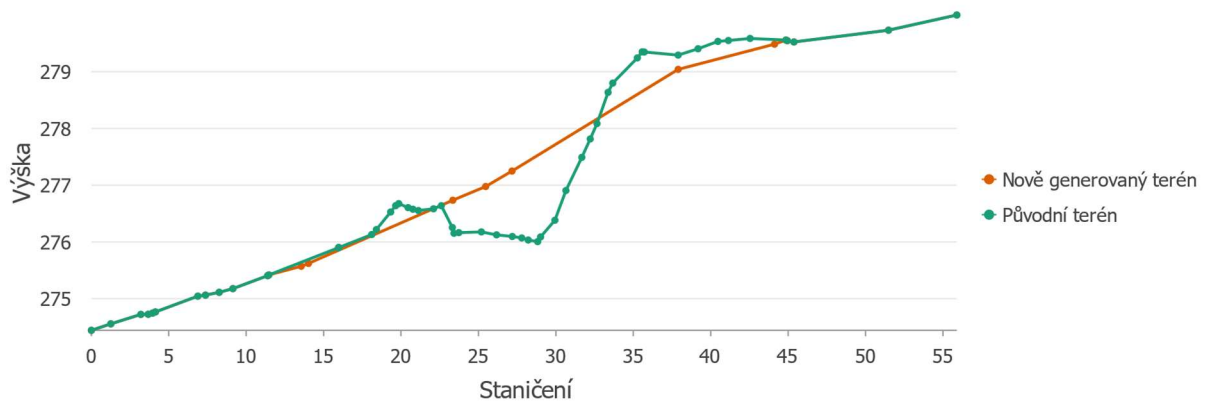
Podélný profil č. 3



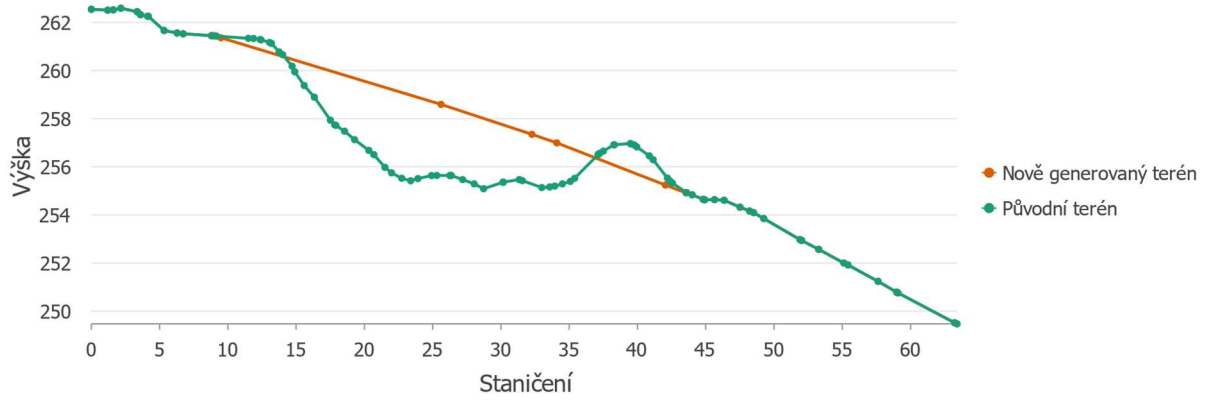
Podélný profil č. 4



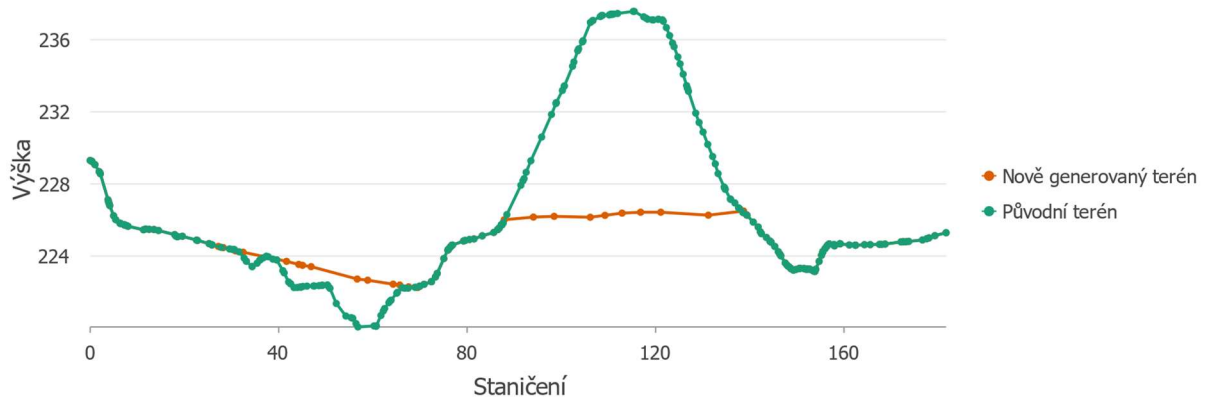
Podélný profil č. 5



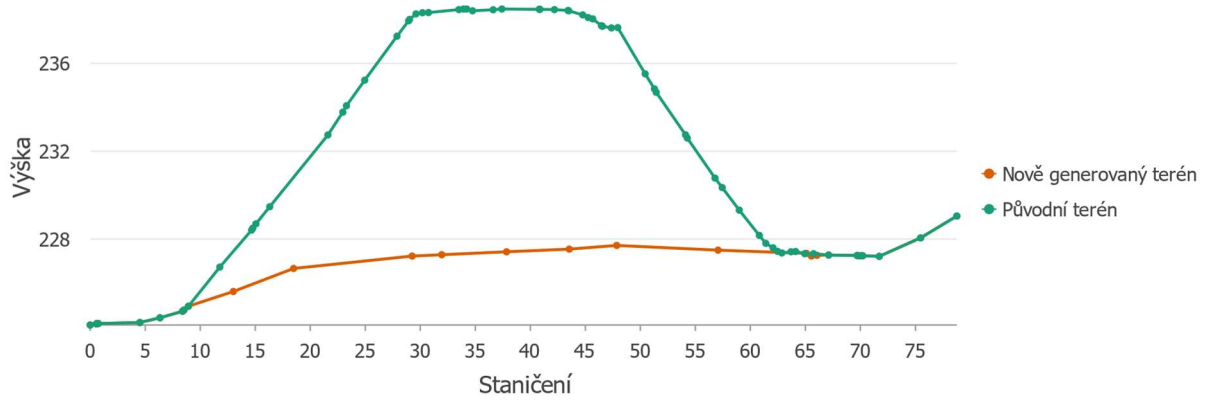
Podélný profil č. 6



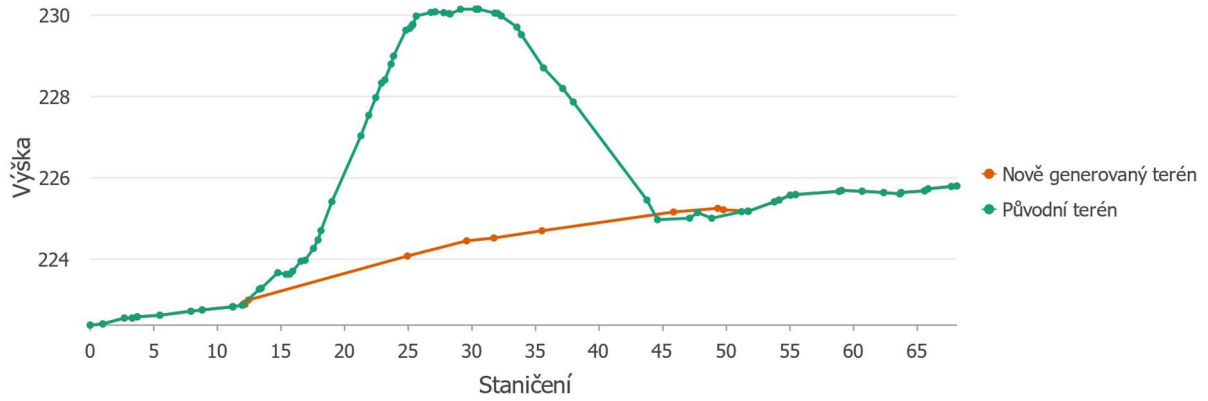
Podélný profil č. 7



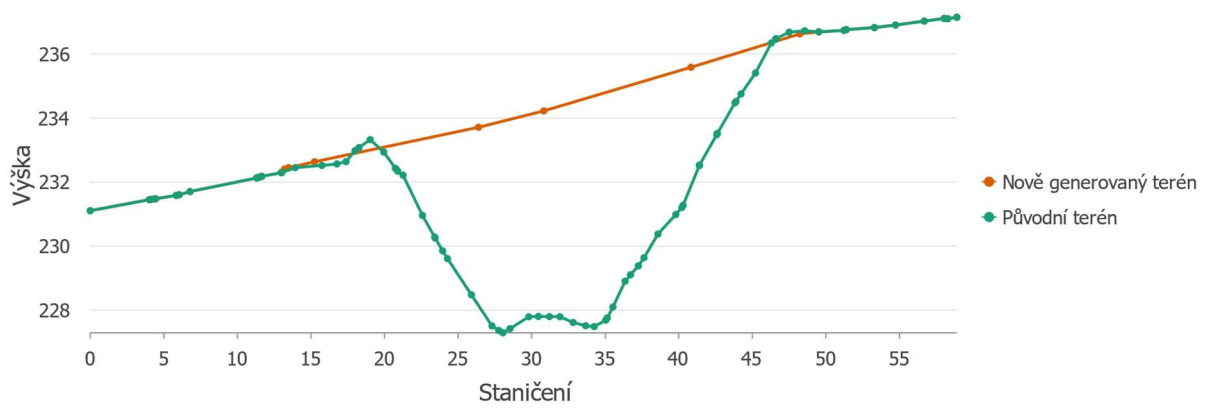
Podélný profil č. 8



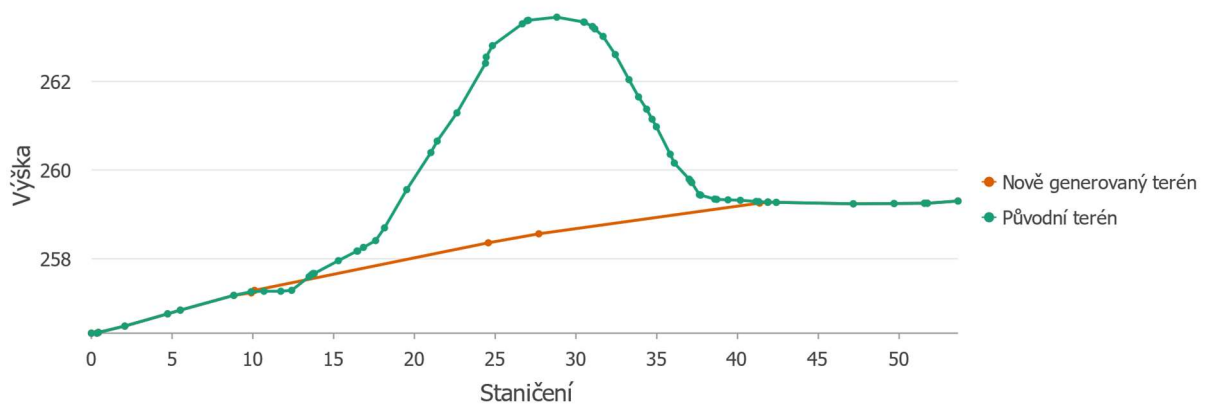
Podélný profil č. 9



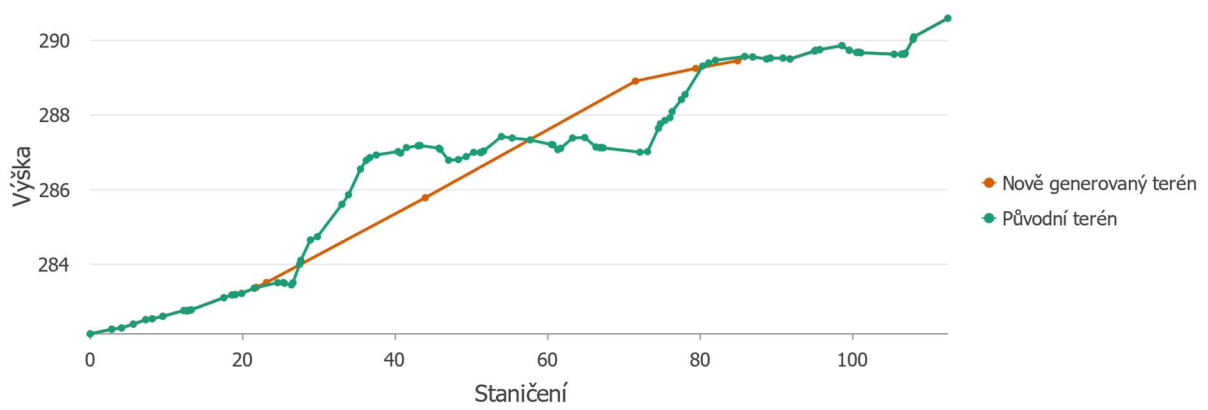
Podélný profil č. 10



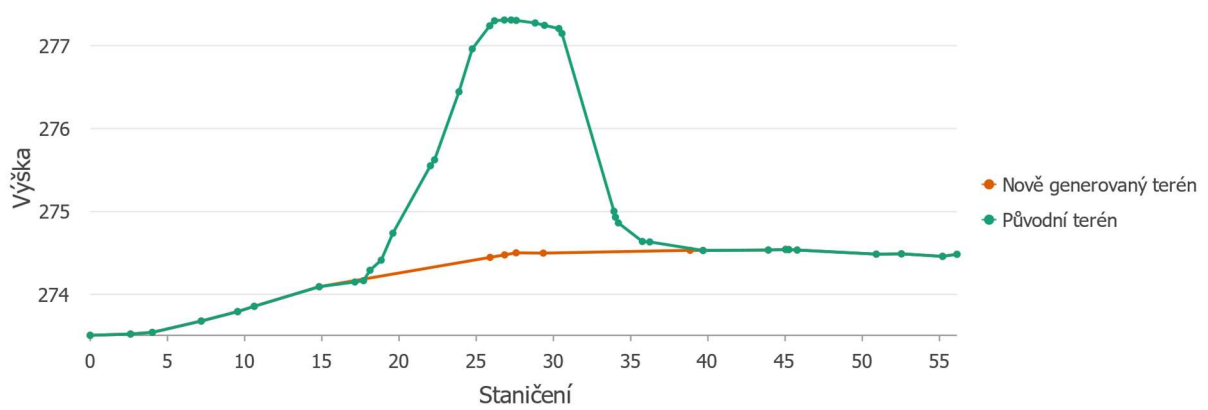
Podélný profil č. 11



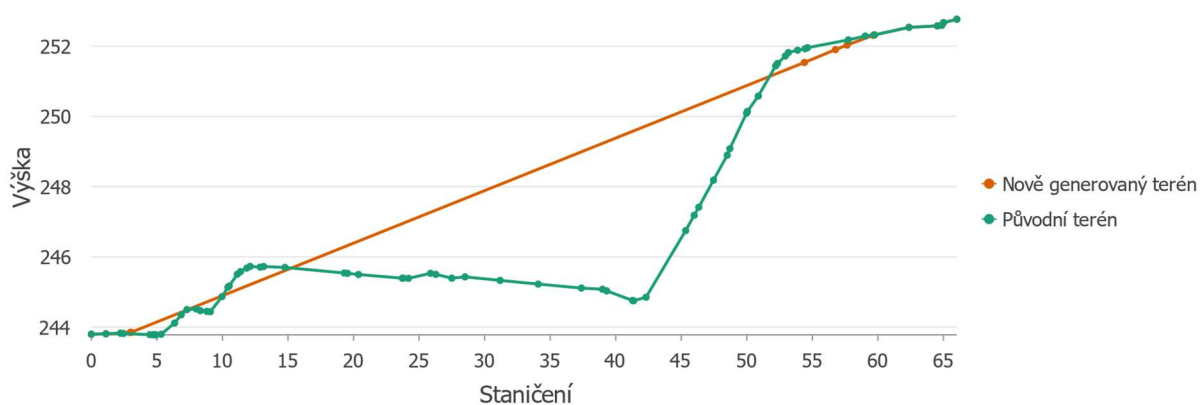
Podélný profil č. 12



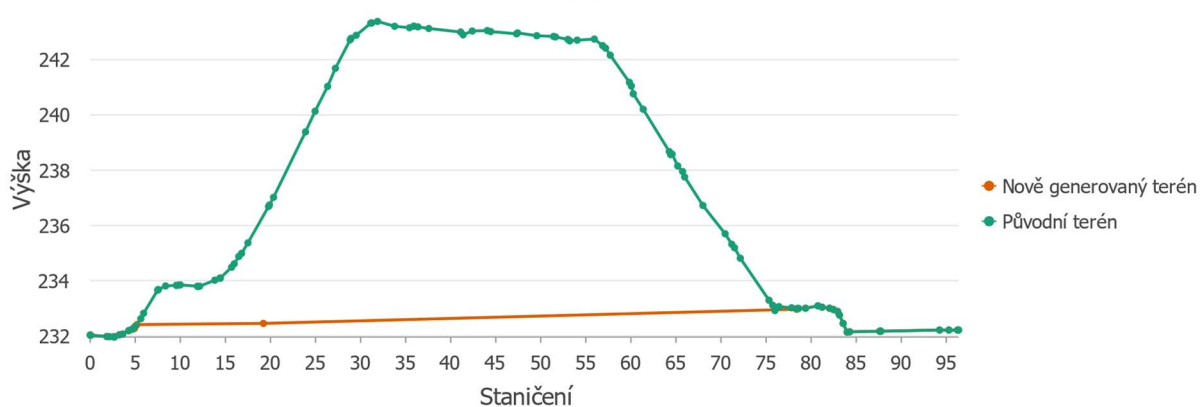
Podélný profil č. 13



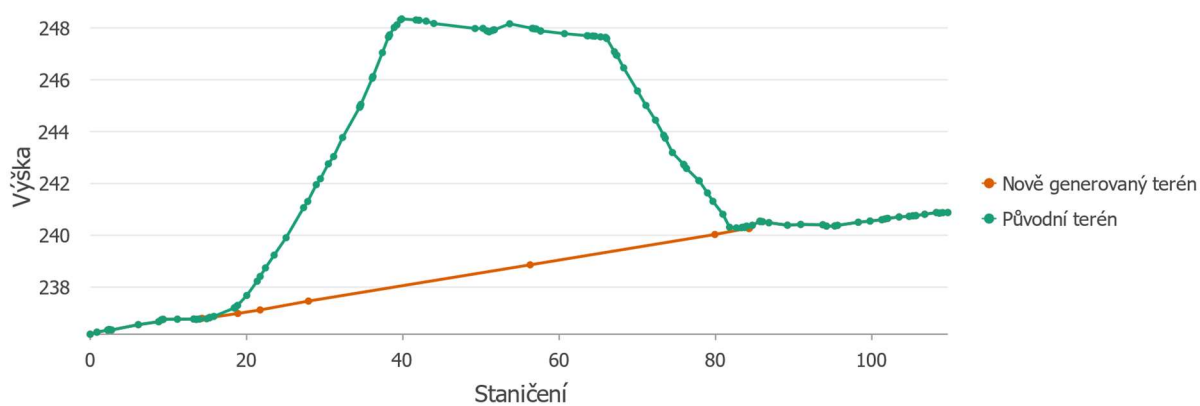
Podélný profil č. 14



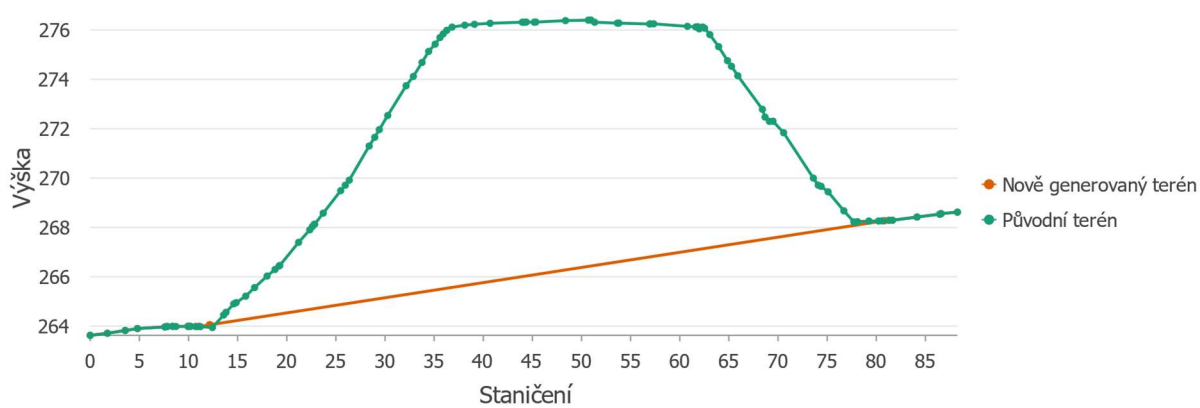
Podélný profil č. 15



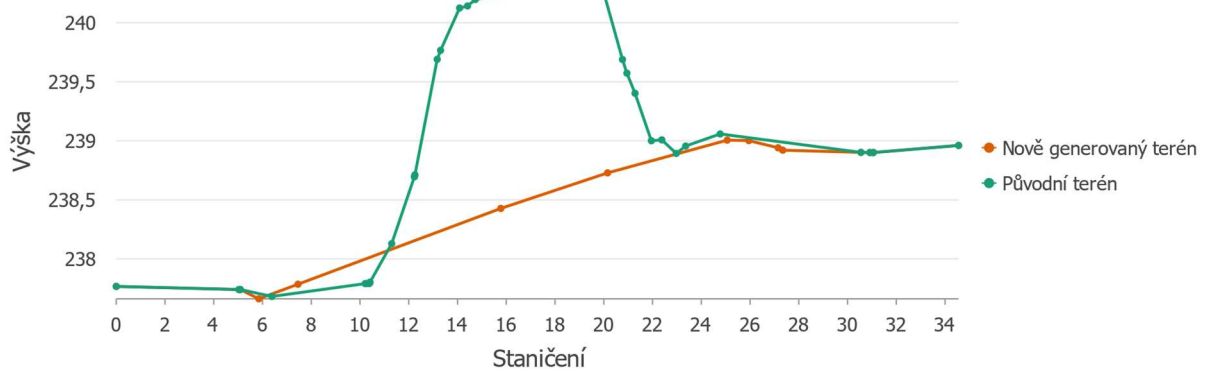
Podélný profil č. 16



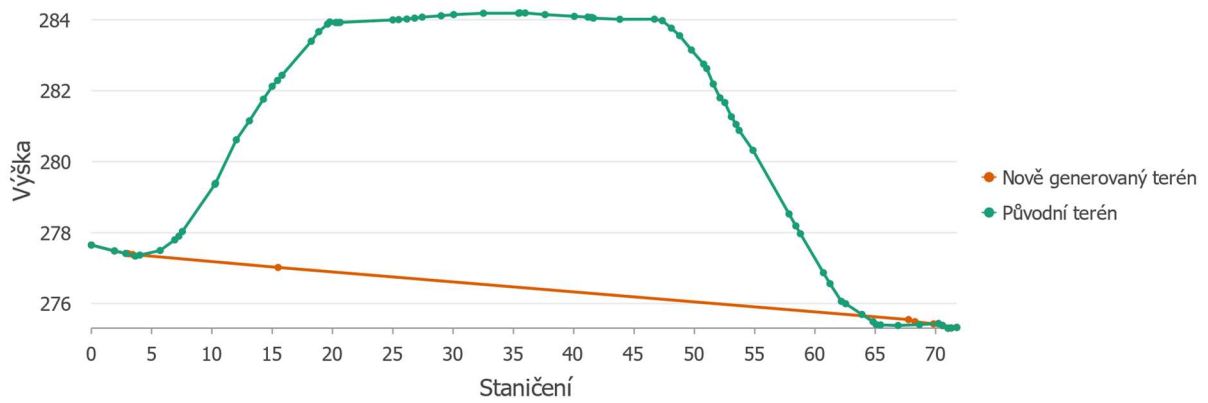
Podélný profil č. 17



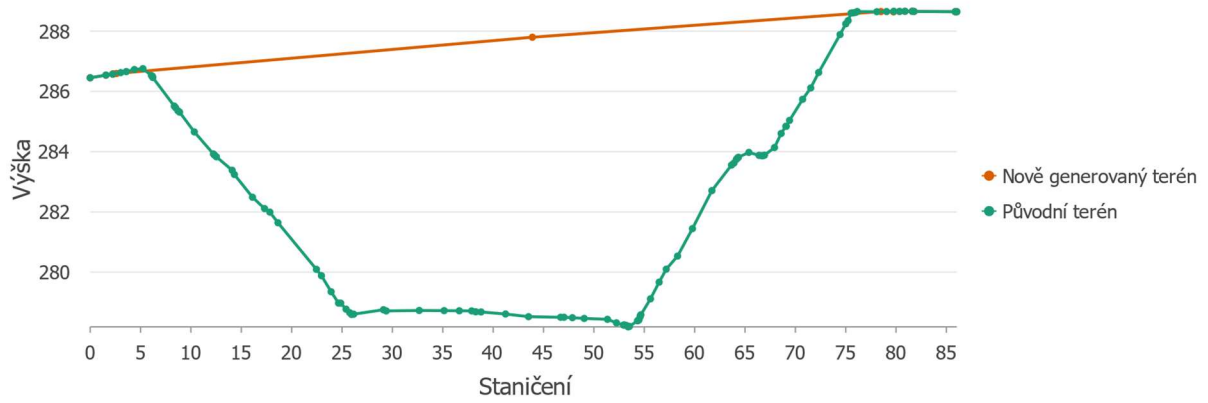
Podélný profil č. 18



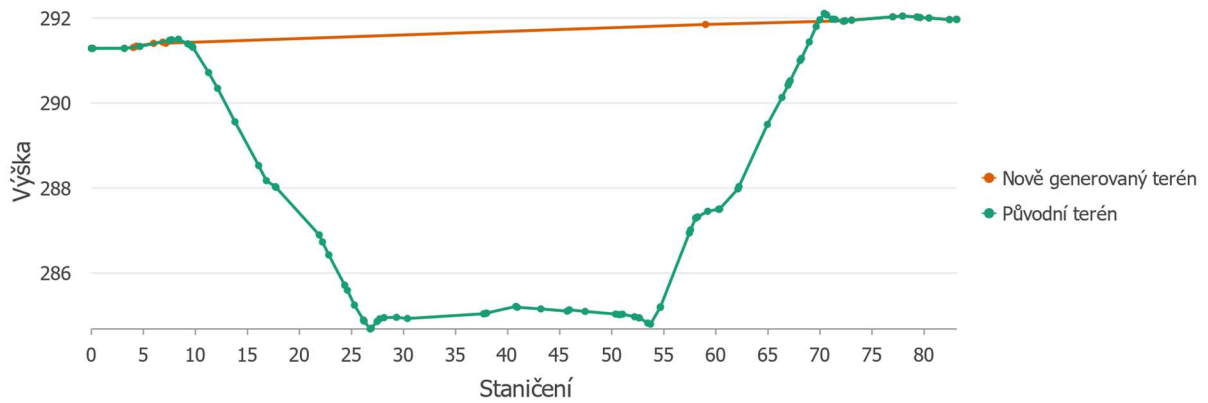
Podélný profil č. 19



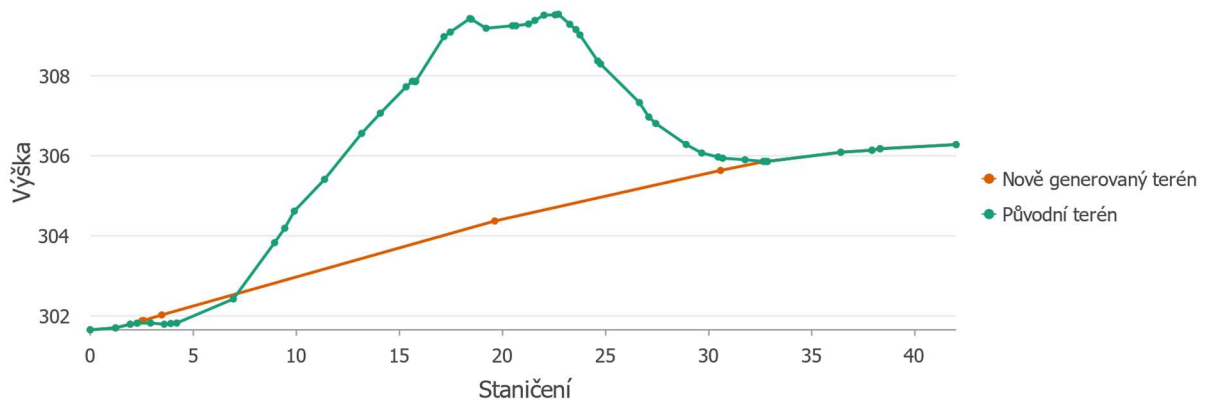
Podélný profil č. 20



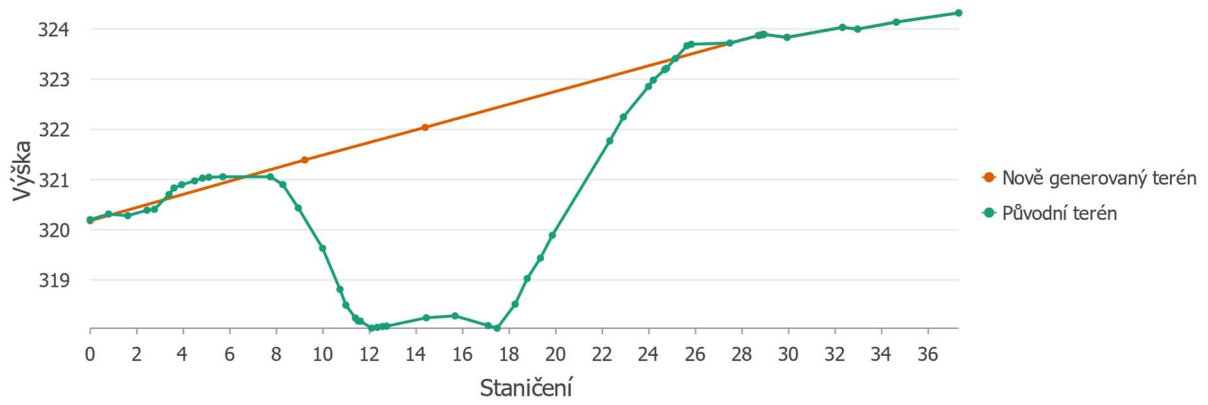
Podélný profil č. 21



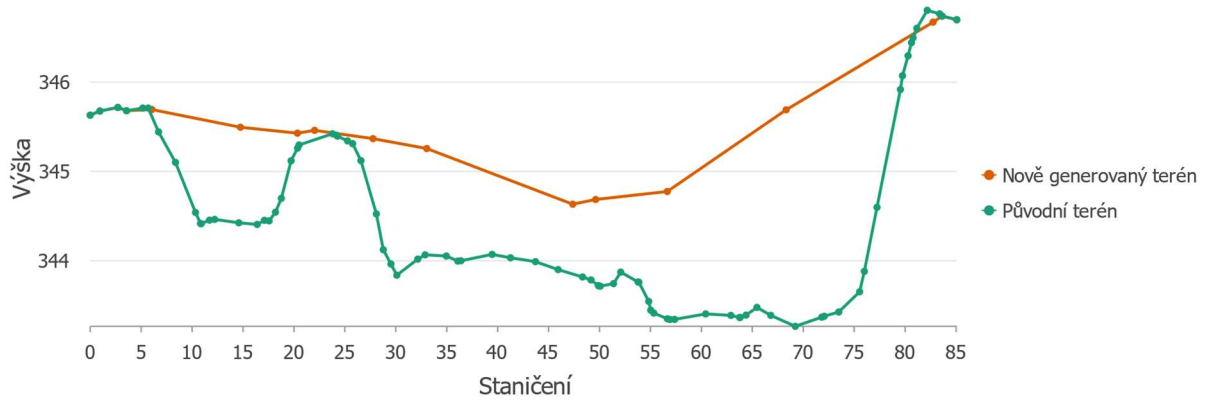
Podélný profil č. 22



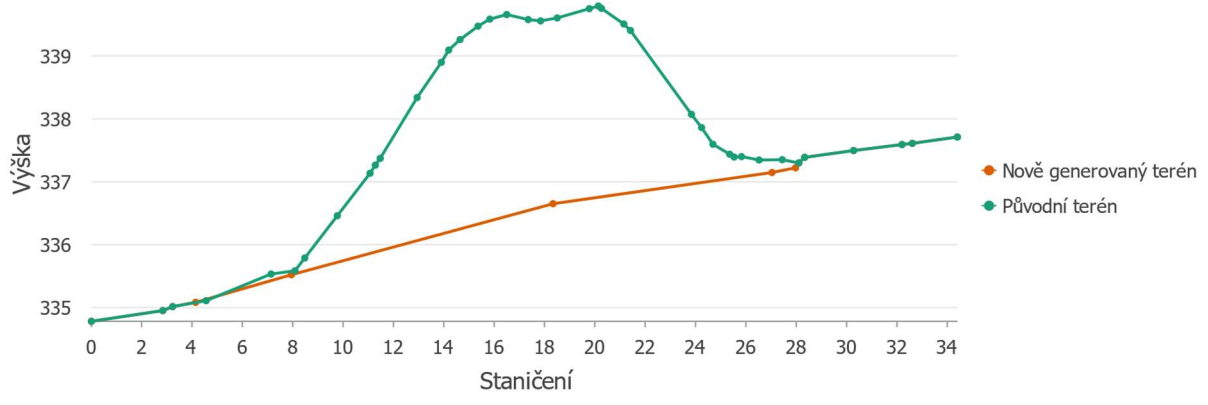
Podélný profil č. 23



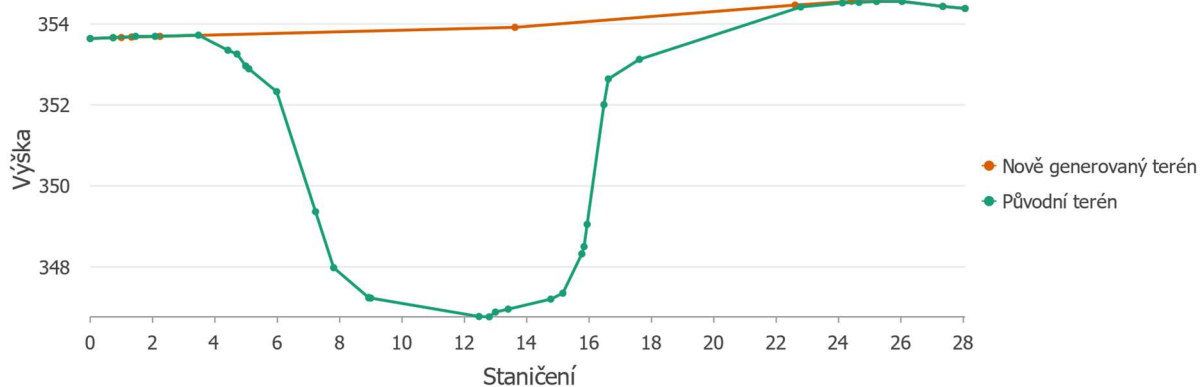
Podélný profil č. 24



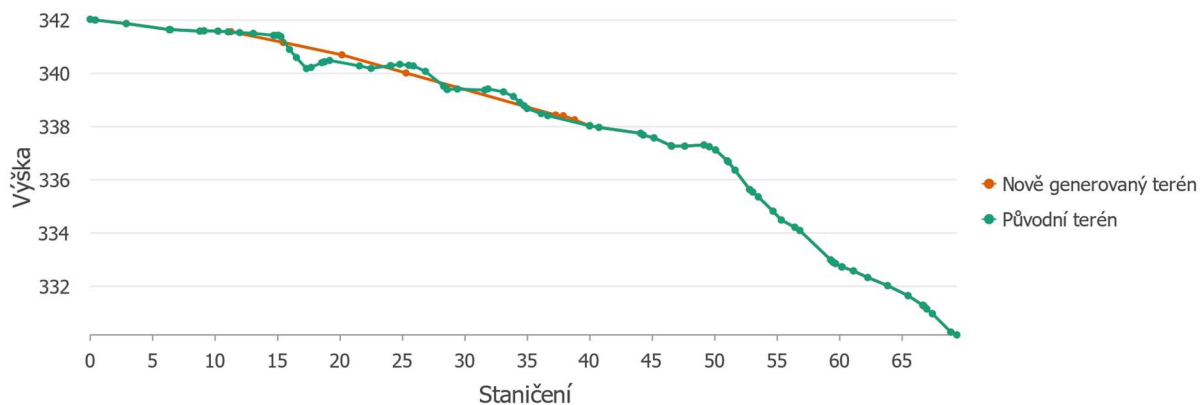
Podélný profil č. 25



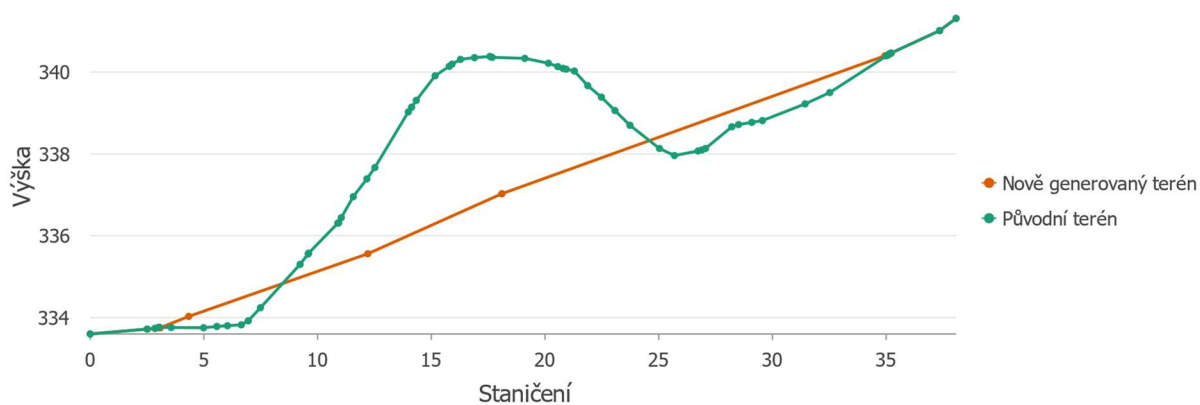
Podélný profil č. 26



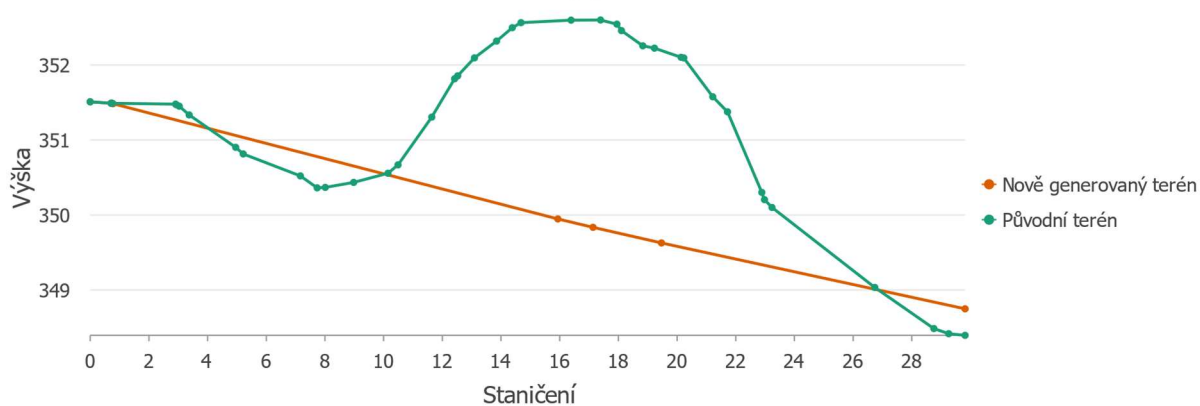
Podélný profil č. 27



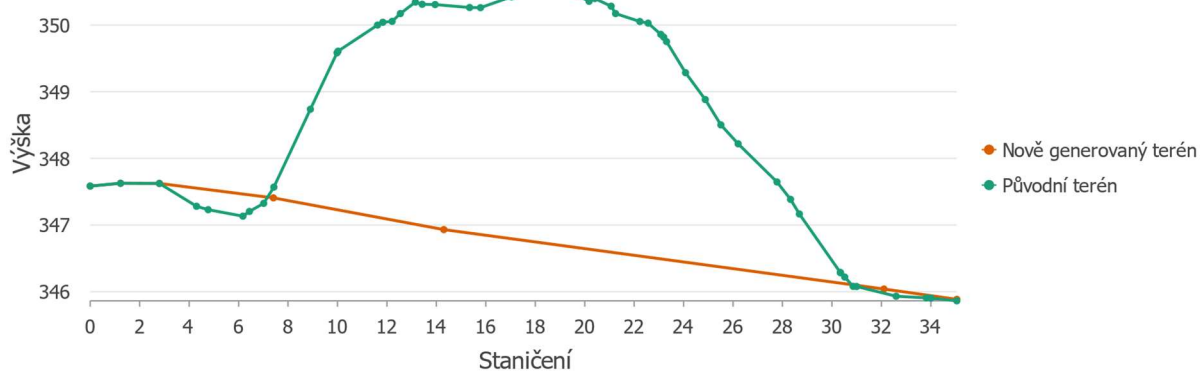
Podélný profil č. 28



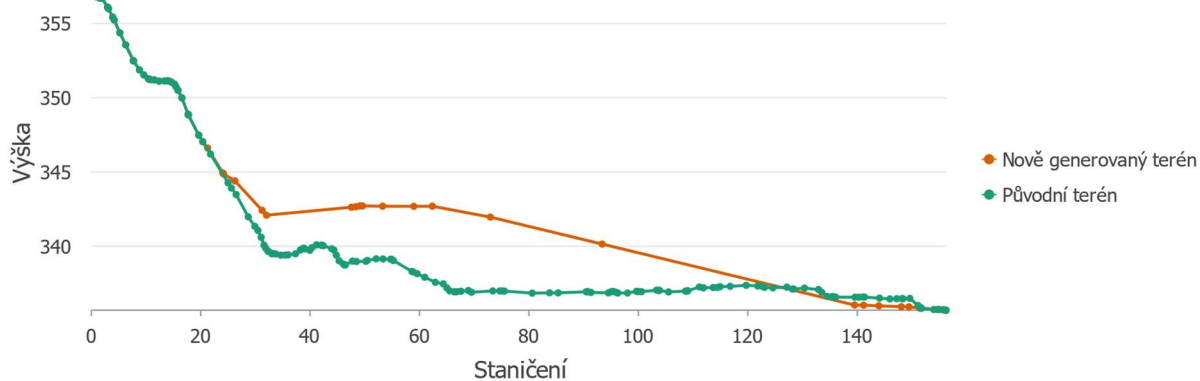
Podélný profil č. 29



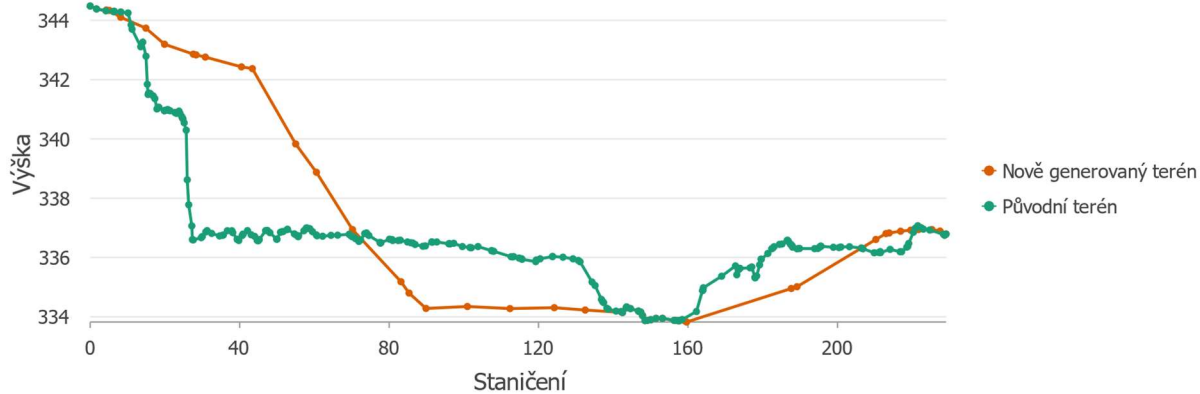
Podélný profil č. 30



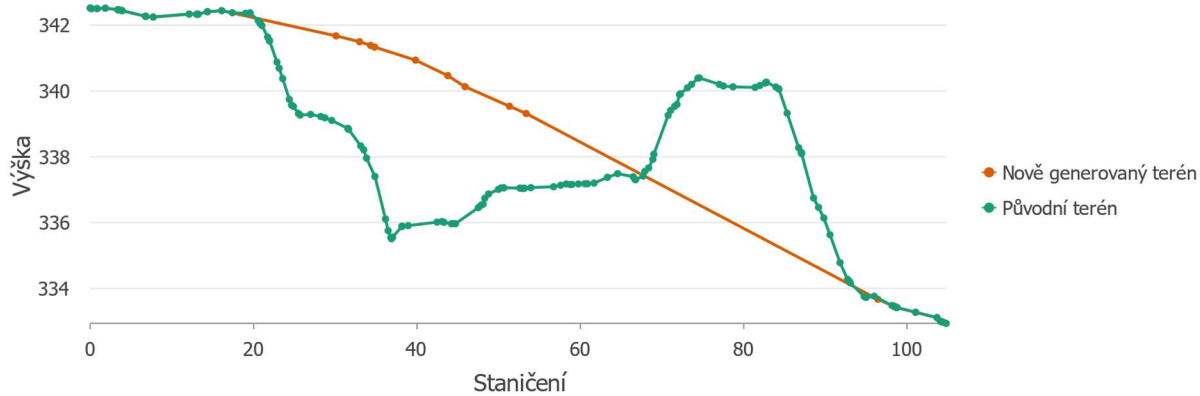
Podélný profil č. 31



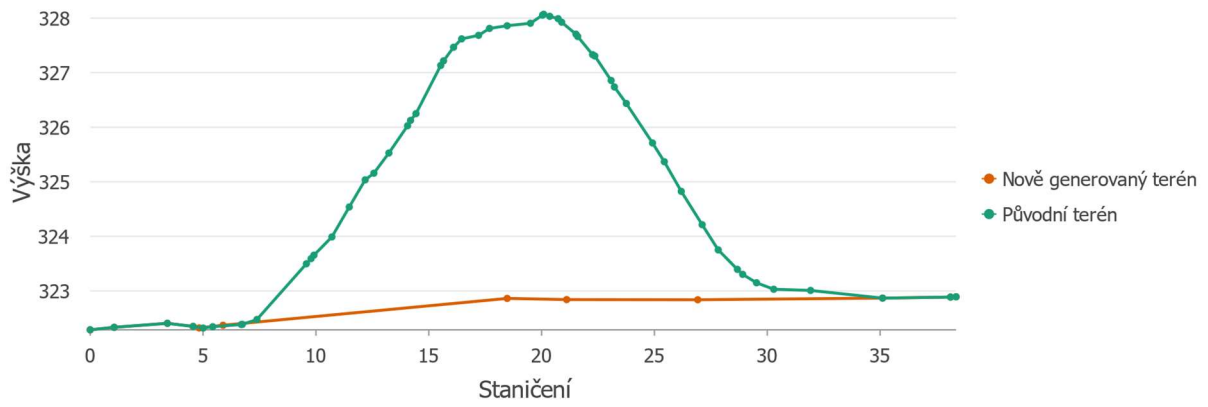
Podélný profil č. 32



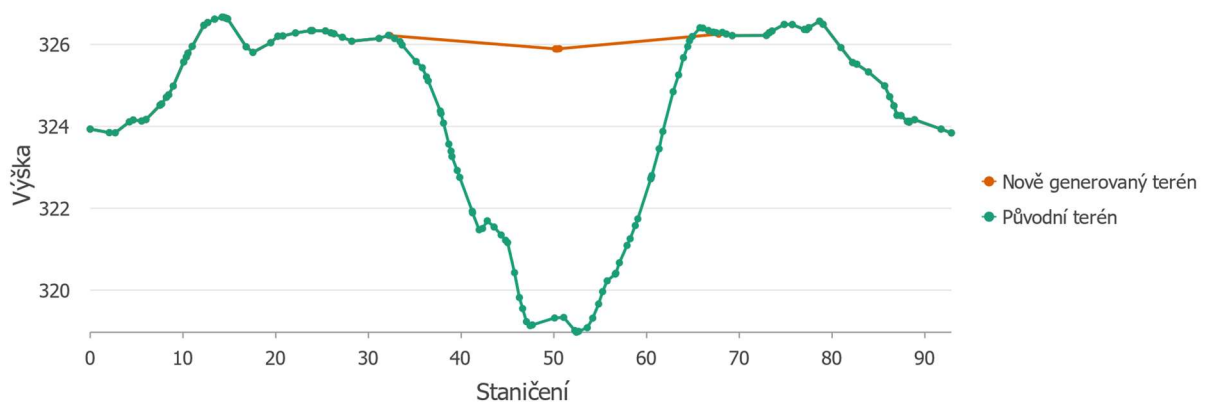
Podélný profil č. 33



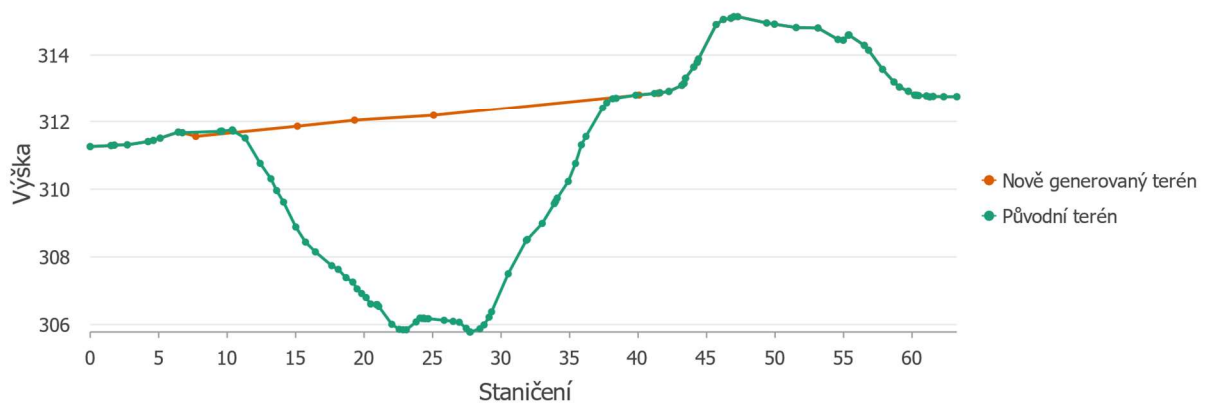
Podélný profil č. 34



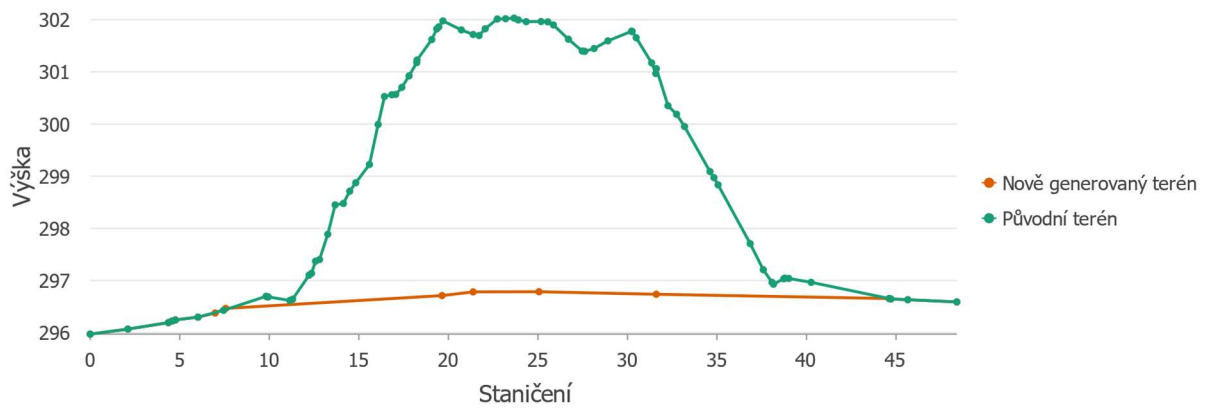
Podélný profil č. 35



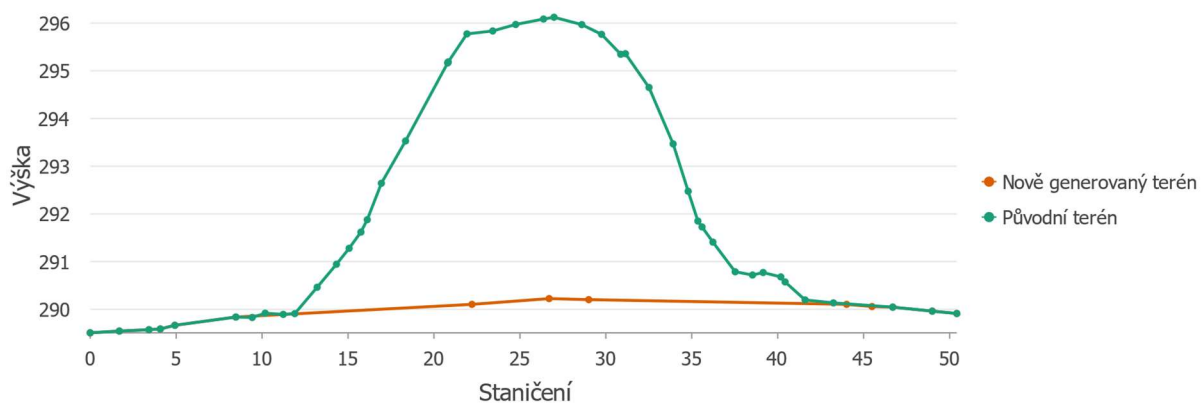
Podélný profil č. 36



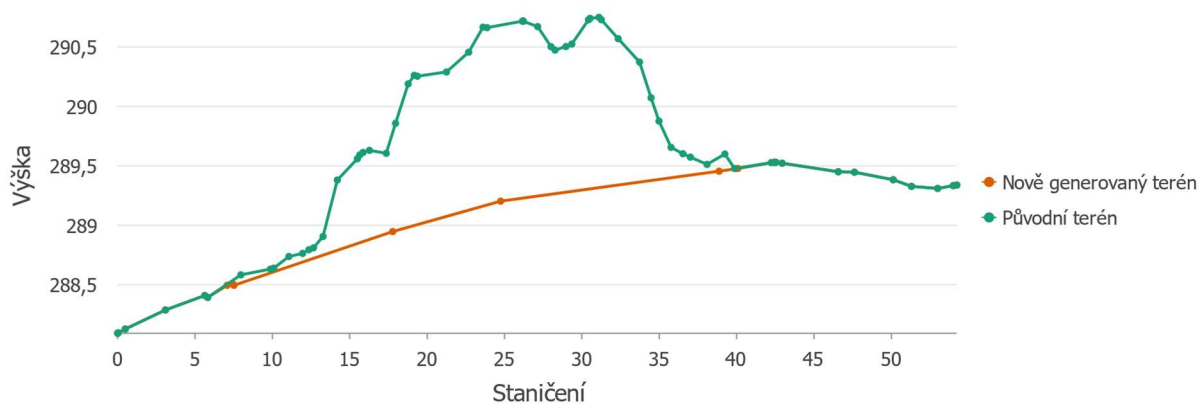
Podélný profil č. 37



Podélný profil č. 38



Podélný profil č. 39



Podélný profil č. 40

