PUBLIKOVANIE GEODÁT VO FORME VEKTOROVÝCH DLAŽDÍC A POROVNANIE VÝKONU S RASTROVÝMI DLAŽDICAMI

Jozef Fábry, Richard Feciskanin*

* Univerzita Komenského v Bratislave, Prírodovedecká fakulta, Katedra kartografie, geoinformatiky a diaľkového prieskumu Zeme, Ilkovičova 6, 842 15 Bratislava, fabry24@uniba.sk, richard.feciskanin@uniba.sk

Publishing geodata in the form of vector tiles and comparing performance with raster tiles

In recent years, the publishing of geodata on the Internet has been a clear move towards using vector tiles. The difficulty of tasks for rendering vector data, where cartographic representation is provided from the side of the client, is greater than in raster data. Much attention is paid to the preparation of vector tiles and their optimization. Little interest is given to the negative effect of using vector tiles, such as higher load and time to render content on the web client. In this article we deal with vector tile issues and their use in web cartography for transfer data from server to client. Our main goal was to create a test application that quantitatively evaluates the use of vector tiles compared to traditional raster tiles. We briefly introduce vector tiles, available standards and formats and the technology used to work with them. The last part of this article deals with the detailed description of data preparation and the creation of the test application itself and describes the achieved results from the measurements carried out.

Key words: vector tile, rendering, web map, web map tile service

ÚVOD

Vývoj webovej kartografie sa za posledné roky posunul vpred najmä v súvislosti s informačnými technológiami a technológiami naviazanými na rozvoj internetu. Rozvoj týchto technológií so sebou prináša veľké množstvo údajov, najmä priestorových, ktoré je možné vizualizovať. Prezentovať dáta ako jednoduché statické mapy nie je postačujúce. S rastúcim objemom dát je potrebné zlepšovať výkon mapových aplikácií, optimalizovať prenos dát a urýchľovať a vylepšovať vykresľovanie. Spojenie výhod vektorových dát a hierarchického delenia podľa dlaždicovej schémy používanej tradične pri rastrových dátach je odpoveďou na tieto požiadavky. Vektorové dáta umožňujú pokročilé vizualizačné metódy a interaktívne mapy, ktoré sa užívateľovi prispôbujú v závislosti od jeho potrieb a požiadaviek. Dáta získané zo servera vo forme vektorových dlaždíc zachovávajú výhody vektora (štýlovanie na základe atribútov, interaktívna zmena kartografickej reprezentácie, atribútové dopytovanie a pod.). Nie je nutné využívať spôsob prezentácie dát, ktorý je preddefinovaný na serveri, alebo posielat' na server dopyt s vlastným vytvoreným štýlom, ako to je pri WMS (Web Map Service), resp. WMTS (Web Map Tile Service). Cieľom príspevku je kvantitatívne vyjadriť zmeny, ktoré prináša používanie vektorových dlaždíc v porovnaní s rastrovými dlaždicami. Zamerali sme sa na overenie rozdielov času pri vykresľovaní i získavaní dát a ich veľkosti. Načrtujeme stručnú históriu vývoja vektorových dlaždíc, postup vytvárania a možnosť generovania dlaždíc. V metodickej časti uvedieme spôsob spracovania dát, postup meraných veličín, proces vykresľovania. Na záver predstavíme zhodnotenie dosiahnutých výsledkov porovnania výkonnosti rastrových a vektorových dlaždíc.

Problematike vykresľovania symboliky dát s použitím vektorových dlaždíc sa nevenuje mnoho pozornosti. Môžeme spomenúť napríklad prácu autorov Li et al. (2017), ktorí sa zaoberajú problematikou vykresľovania symboliky pre bodové, líniové a polygónové vrstvy na hraniciach medzi dlaždícami a nepresahovaním symboliky z jednej dlaždice do susednej dlaždice. Jednou z ďalších prác venovanou výkonu vektorových dlaždíc bola diplomová práca Adamca (2016), ktorý sa zameriaval na optimalizáciu prenosu dát pomocou RUIAN-u (Registr územnej identifikácie, adres a nemovitostí) s využitím technológie vektorových dlaždíc. Z dosiahnutých výsledkov vyplýva, že formát údajov TopoJSON sa javí ako výhodnejší formát na zmenšenie veľkosti dát v porovnaní s formátom GeoJSON. Využitie vektorových dlaždíc môže byť široké, Li et al. (2018) ich vo svojej práci využili na vytvorenie novej technológie GeoTile, ktorá slúži na spoločné využívanie a výmenu geopriestorových dát kooperatívnym spôsobom. GeoTile používa formát GeoJSON na rozdelenie veľkoplošných údajov na malé jednotky. V práci Janečku a Bobíkovej (2018) sa vektorové dlaždice využívajú na optimalizáciu načítavania 3D dát z priestorovej databázy.

VEKTOROVÉ DLAŽDICE

Pojem vektorové dlaždice definoval už v 60. rokoch 20. storočia Kanadský geografický informačný systém – CGIS (Canada Geographic Information System) ako schému ukladania vektorových dát tak, aby ich počítač dokázal efektívnejšie spracovať. V 70. rokoch 20. storočia vyvinula firma Autometric analytický mapovací systém mokradí WAMS (Wetlands Analytical Mapping System), kde sa v úložisku dát využívali vektorové dlaždice (Pywell a Niedzwiedek 1980). V 80. rokoch 20. storočia vydala firma Autometric komerčný GIS, ktorý poskytoval zdokonalený prístup a formu ukladania vektorových dlaždíc. Tento GIS bol pomenovaný DeltaMap a neskôr sa premenoval na GenaMap. Rozdiel medzi softvérmi DeltaMap a WAMS bol v tom, že užívateľ dokázal v DeltaMap definovať ľubovoľnú veľkosť dlaždice a referenčný systém, zatiaľ čo WAMS mal implementovanú pevnú šírku dlaždice (Reed 2017). Vektorové dlaždice sa v súčasnej podobe používajú od roku 2010 (Google Inc. 2010). Nemajú vyvinutý vlastný štandard, ale je možné využívať štandard WMTS alebo WFS na tvorbu vektorových dlaždíc (OGC 2018a). Konzorcium OGC koordinovalo niekoľko testovanií a plánujú technológiu vektorových dlaždíc zahrnúť do špecifikácie WMTS, WFS 3.0, GeoPackage 1.2. Výsledky dosiahnuté testovaním ukázali, že po určitých rozsiahlejších úpravách by bol takýto krok možný (OGC 2018b). Spoločnosť Mapbox prispela k rozšíreniu používania vektorových dlaždíc vytvorením otvorenej špecifikácie označovanej Mapbox Vector Tile – MVT (Mapbox 2017); pre zjednodušenie ďalej označujeme vektorové dlaždice podľa tejto špecifikácie ako formát MVT.

Pri prenášaní vektorových dát z rozsiahlejších dátových súborov je problémom ich veľkosť. Pri menších mierkach je zároveň pravdepodobný výskyt väčšieho počtu objektov. Tieto objekty obsahujú okrem geometrie aj atribúty. To všetko spôsobuje kritické problémy pri prenose vektorových dát, na rozdiel od rastrových obrazov z nich vygenerovaných. Po úspechu prenosu dát vo forme rastrových obrazových dlaždíc sa začalo uvažovať o podobnej technológii aj pre vektorové dáta. Riešením problému s veľkosťou je využitie vektorových dlaždíc (Antonioni et al. 2009). Delenie na časti rieši problém s objemnými vektorovými prvkami, pričom hierarchický charakter dlaždíc pomáha s celkovým množstvom dát.

Jedna dlaždica je zvyčajne štvorcový výrez priestorových dát, ktorý obsahuje geometrickú a atribútovú informáciu. Samotná geometria vektorového prvku je rozdelená podľa BBOX-u (hranice) dlaždice. Táto skutočnosť zapríčiňuje, že ku klientovi príde iba určitý počet objektov, ktorý sa nachádza na dlaždici, a nadbytočné dáta mimo územia neprídu. Takto rozdelené dáta, majú čas prenosu ku klientovi menší. Veľkú úlohu pri prenose dát zohráva ich generalizácia, ktorá je výraznejšia pri nižších hodnotách priblíženia. Následne, pred samotným zobrazením, dochádza na klientovej strane k rekonštrukcii dát do pôvodnej podoby tým, že sa dlaždice spoja do kompletnej geometrie (Mapbox 2016).

Obrázok 1 demonštruje postup generovania dlaždíc. Ako vstup slúžia vektorové dáta, ktoré sa rozdelia do predurčenej mriežky na každej úrovni priblíženia. Najčastejšie používaná mriežka vychádza zo zobrazenia WGS 84 / Pseudo-Mercator (EPSG:3857). Následne po rozdelení dát do mriežky, sa môže jeden objekt nachádzať na viacerých dlaždiciach a na jednej dlaždici viacero objektov (Gaffuri 2012). Pre vektorové dlaždice formátu MVT je odporúčaný súradnicový systém EPSG:3857. Celý svet je zobrazený na jednej dlaždici (veľkosť 512×512 px), čo je úroveň priblíženia 0, približná mierka je 1:250 000 000 a rozlíšenie je 78km/px. V každej ďalšej úrovni priblíženia je rozlíšenie dvojnásobné a počet dlaždíc štvornásobne vzrastie. V celom rozsahu sú 4 dlaždice v úrovni priblíženia 1, v úrovni 2 je dlaždíc 16, v úrovni 3 je dlaždíc 64, atď. (Openstreetmap Wiki Contributors 2019).

Obr. 1. Princíp tvorby vektorových dlaždíc (podľa Gaffuri 2012)

V nasledujúcej časti sa budeme zaoberať formátom MVT, ktorý je vyvinutý tak, aby požadované údaje boli súvislo v pamäti a aby vrstvy mohli byť bez úpravy údajov pripojené k dlaždici. Každá dlaždica by mala obsahovať aspoň jednu vrstvu, vrstva aspoň jeden prvok a prvok musí obsahovať pole geometrie. Prvky dlaždice obsahujú id, atribúty a geometriu, ktorá môže byť bod, línia alebo polygón a geometrie sa ukladajú ako pole čísel x a y . Vrstva musí obsahovať položku s menom a na jednej dlaždici nesmú byť dve alebo viacero vrstiev s identickou hodnotou tejto položky. Začiatok dlaždice je v ľavom hornom rohu a koniec dlaždice je na dolnom okraji alebo v pravom dolnom rohu (Mapbox 2017).

Dáta uložené v dlaždici môžu byť rôznych dátových typov. Podporované sú reťazce typu unicode, booleovské hodnoty a rôzne typy s celočíselnými alebo desatinnými číslami (Thompson 2016). Vrstva musí zahŕňať rozsah, ktorý popisuje šírku a výšku dlaždice v celočíselných (integer) súradniciach. Geometrie prvkov sú definované v súradnicovom systéme obrazovky, z dôvodu minimálnej réžie klienta

na prípravu vykresľovania geometrie za pomoci rozhrania WebGL a Canvas, ktoré kódy sa spúšťajú na grafickej karte klienta. Ľavý horný roh je počiatkom súradnicového systému. Kladná os X smeruje doprava a kladná os Y smeruje nadol. Súradnice v rámci geometrie musia byť celočíselné hodnoty (integer). Geometria je kódovaná ako postupnosť 32-bitových celočíselných hodnôt v poli geometrie prvku. Samotná geometria prvkov v dlaždici môže presahovať hranice definované rozsahom. Presahujúce geometrie slúžia ako vyrovnávací pamäť na vykresľovanie prekrývajúcich sa susedných dlaždíc. Rozsah dlaždice je 4 096 a súradnicové jednotky vo vnútri dlaždice sa vzťahujú na 1/4 096 štvorcových rozmerov. Súradnica 0 je na hornom alebo ľavom okraji dlaždice a súradnica 4 096 je na spodnom alebo pravom okraji. Súradnice od 1 do 4 095 sú úplne v rozsahu dlaždice. Súradnice menšie ako 0 alebo väčšie ako 4 096 sú úplne mimo rozsahu dlaždice (Mapbox 2017). Konverzia z geografických súradníc na súradnice vektorových dlaždíc je dôležitým krokom, kde sú súradnice zaokrúhlené na celé čísla. Zjednodušovanie údajov sa vykonáva v minimálnej nevyhnutnej miere (Mapbox 2016). Na prenos pripravených a zakódovaných dát vektorových dlaždíc sa využíva formát pbf – Google Protocol buffer, ktorý kóduje atribúty ako páry hodnôt.

V súčasnosti je dostupné veľké množstvo nástrojov a aplikácií, ktoré sa zaoberajú vektorovými dlaždicami – či už ide o serverové alebo klientske riešenia. Mnohé sú voľne dostupné s otvorenými zdrojovými kódmi, spomenieme niektoré z nich. Pokročilé možnosti generovať vektorové dlaždice vo formáte MVT ponúka Tippecanoe. Generuje dlaždice zo vstupných dát formátov GeoJSON, Geobuf alebo CSV (Fischer 2017). Ďalej je možnosť generovať vektorové dlaždice vo voľne dostupnom softvéri GeoServer. Generuje dlaždice v kódovaní pbf a zakódované dáta odosiela klientovi. Výstupnými formátmi z GeoServeru môžu byť GeoJSON, TopoJSON, MVT (Henneberger 2015). Ďalším zo serverových riešení využitia vektorových dlaždíc je server TileStache. Poskytuje dáta vo forme mapových dlaždíc, ktoré môžu byť rastrové aj vektorové. Vektorové výstupy môžu byť rovnako vo formáte GeoJSON, TopoJSON, MVT (označený ako pbf – Migurski 2019). Klientskych riešení v oblasti danej problematiky je taktiež niekoľko. Spomenieme napríklad javascriptové knižnice MapboxGL (od autorov špecifikácie MVT), OpenLayers, Leaflet. OpenLayers spracováva formáty GeoJSON, TopoJSON a MVT. Leaflet spracováva formáty GeoJSON a MVT a MapboxGL nimi vyvinutý formát MVT.

METODIKA

V našom experimente sme primárne sledovali priebeh vykresľovania dát a čas prenosu zo servera ku klientovi vo vektorových a obrazových dlaždiciach s využitím mapovej služby WMTS. Doplnkovým sledovaným javom bola veľkosť dát v dlaždiciach. Experiment sme realizovali v otvorených softvéroch QGIS 3.6, mapový server GeoServer 2.13.2, klientsku webovú aplikáciu sme tvorili s využitím OpenLayers 5.3.0 a použili sme voľne dostupné testovacie dáta z Openstreetmap. Dôvodom pre výber konkrétnych platforiem bolo niekoľko, v prvom rade rozsiahly prístup k úprave dát (QGIS), využiteľnosť mapových služieb OGC štandardov na strane servera (GeoServer), publikovanie formátu vektorových dlaždíc podľa špecifikácie MVT (GeoServer) a v neposlednom rade udalosti knižnice, ktoré nám pomohli získať potrebné údaje o prenose dát vrstiev zo strany servera a o spôsobe vykresľovania vrstiev na strane klienta (OpenLayers). Voľba nám umožnila použiť rovnaké nástroje pre vektorové a rastrové dlaždice a tým priame porovnanie oboch typov dlaždíc. Zámerne sme nevyužili súbor nástrojov od spoločnosti Mapbox, kde

je optimalizácia spracovania a použitia dát na vysokej úrovni a nemohli by sme tak predstaviť potenciálne problémy pri používaní vektorových dlaždíc.

Vstupné dáta pre experiment sme získali vo formáte shapefile a upravili sme ich v softvéri QGIS. Dáta z testovacieho územia Bratislavského a Trnavského samosprávneho kraja obsahovali bodové, líniové a polygónové vrstvy. Bodové vrstvy zahŕňali mestá a obce pre zobrazovanie popisov. Líniové obsahovali cesty a rieky, polygónové budovy, využitie krajiny, polygónovú reprezentáciu vodstva (riecky a vodné plochy) a oblasť testovacieho územia. Úprava dát zahŕňala orezanie vrstiev podľa hranice testovacieho územia. Dáta boli publikované zo servera GeoServer, kde bolo implementované rozšírenie vektorových dlaždíc. Štýly vrstiev použité v mapovej aplikácii boli vyrobené v prostredí Maputnik vo formáte JSON, ktorý sa aplikoval pre oba typy dlaždíc. Porovnávali sme dva rôzne formáty dát získavaných zo servera. Vektorové dlaždice formátu MVT boli získané v kódovaní .pbf a rastrové dlaždice boli získané vo formáte .png8, ktorý obsahuje indexované farby s 8-bitovými vzorkami s podporou priehľadnosti (Roelofs 2006).

Testovacia aplikácia beží na vlastnom serveri, kde je implementovaný aj mapový server so vzorovými dátami. Merania časov (čas vykreslenia, čas prenosu zo servera) prebiehali na počítači s rýchlosťou sťahovania z internetu 90 Mb/s a s rýchlosťou nahrávania na internet 84 Mb/s, ping na server <1 ms a priemerný čas získania prvého bitu bol 11,3 ms. Na počítači prebehlo päť meraní pre vektorové dlaždice a pre rastrové dlaždice. Meranie pozostávalo z 12 zmien pohľadu, ktoré simulujú činnosť používateľa s mapou. Výsledné hodnoty získané pri konkrétnom kroku zmeny pohľadu sa spriemerovali. Zaznamenávali sme počet dlaždíc, čas jednotlivých behov vykreslenia častí vrstiev, ktoré prišli ku klientovi (minimum, maximum a priemer). Vrstvy neboli posielané naraz vcelku, ale postupne po určitých počtoch dlaždíc, z dôvodu obmedzenia paralelných dopytov na server cez HTTP/1.1. Tento jav sa odzrkadlil na skutočnosti, že kým sa korektne vykreslili všetky prvky a dlaždice, prebehlo niekoľko cyklov vykresľovania, v ktorých sa vykresľovali novoprijaté dlaždice a prekresľovali dlaždice, ktoré sa vykresľovali v predošlých cykloch (obr. 2). Určili sme čas od začiatku prvého po ukončenie posledného behu vykreslenia jedného pohľadu v mapovom poli. Ďalej sme zaznamenávali čas prenosu dlaždice zo serveru ku klientovi (minimum, maximum a celkový čas) a veľkosť dlaždíc, ktorá bola automaticky zaznamenávaná vývojárskou konzolou webového prehliadača. Dlaždice boli predgenerované a uchovávané na strane servera. Na meranie vykresľovania dlaždíc sme použili udalosti knižnice OpenLayers – *precompose* a *postcompose*. Na meranie času, za ktorý klient získal dlaždicu zo servera, sme využili udalosti knižnice *tileloadstart*, *tileloadend* a *tileloaderror*, pomocou ktorých sme zaznamenávali začiatok a koniec prenosu dlaždíc. Následne sme potom určili celkový čas prenášaných dlaždíc pri jednotlivých hodnotách priblíženia a pohybov. Časy získané pomocou skriptu sme zaznamenávali vo vývojárskej konzole prehliadača. Veľkosť dlaždice sme získali z vývojárskej konzoly zo záložky network, kde sa veľkosť dlaždíc zaznamenávala automaticky.

Iniciálna hodnota priblíženia pri štarte aplikácie je 8,5. Postupne je mapa približovaná až na hodnotu 16 so zachovaným stredom územia v poradí 8,5 – 10 – 11 – 12 – 13 – 14 – 15 – 16. V hodnote priblíženia 16 je mapa posunutá 4-krát v poradí 0.10° severne – 0.05° východne – 0.10° južne – 0.05° východne. Po poslednom posune mapy sa mapa oddiali na hodnotu priblíženia 12. Každý krok posunu alebo zmeny priblíženia sa vykonáva bez animácie po 12 sekundách z dôvodu kompletného načítania a vykreslenia vrstiev.

Obr. 2. Schéma postupnosti vykresľovania dlaždíc v jednom pohľade

V tabuľke 1 vidíme prehľad vykresľovaných vrstiev na základe hodnôt priblíženia. Od úrovne 14 mal klient k dispozícii všetky typy dát, ktoré sme v našej aplikácii publikovali. V úrovni 14 sú však generalizované, preto boli načítavané až po úroveň 16.

Tab. 1. Vykreslené vrstvy pri jednotlivých hodnotách priblíženia

Hodnota priblíženia	Vykreslené vrstvy
8,5	využitie krajiny testovacie územie polygónová reprezentácia vodstva diaľnice, rýchlostné cesty, cesty I. triedy okresné mestá
10	rieky cesty II. triedy cesty III. triedy mestá
11	obce a mestské časti
12, 13	uličná sieť v obciach ostatné cesty (nespevnené, lesné, ...) štvrte mestských častí
14+	budovy zvyšné, predtým nevykreslené dáta

Obr. 3. Ukážka hodnôt približenia na území západného Slovenska
vľavo približenie = 8,5; vpravo hore približenie = 10; vpravo dole približenie = 12

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Základné výsledky experimentu poukazujú na skutočnosť, že vektorové dlaždice majú čas vykreslenia v aplikácii podstatne dlhší ako rastrové dlaždice, avšak pri väčších mierkach majú kratší čas prenosu údajov, keďže údaje zo servera prichádzajú ku klientovi v efektívnejšej forme. Vykresľovanie rastrových dlaždíc trvá výrazne kratšie, pretože sa vykresľuje kompaktno ako obrázok bez potreby spracovania dát. Spracovanie dát, príprava kartografickej symboliky a náročnejšie vykresľovanie je výrazným záporným elementom v používaní vektorových dlaždíc.

Čas potrebný na vykreslenie geometrie

Z obr. 4 môžeme pozorovať, že vykresľovanie vektorových dát vo vektorových dlaždiciach na strane klienta s prípravou kartografickej symboliky je časovo náročnejší proces ako vykreslenie rastrových dlaždíc. Pri nižších hodnotách približenia, kde sa zobrazovalo väčšie územie, mali vektorové dlaždice niekoľkonásobne väčšie časy ako pri väčších hodnotách približenia; súvisí to s objemom dát bližšie popísaným ďalej. Ďalšími faktormi sú použitá grafická reprezentácia dát a súvisiace operácie – detekcia konfliktov pri generovaní popisov a umiestnenie popisov pozdĺž línie. Kartografická symbolika bola pri vrstvách názvov miest a obcí, ciest a využitia krajiny zvolená na základe hodnôt atribútov vrstiev. Popisy k jednotlivým vrstvám sa vykresľujú ako jednoduchý text popisujúci názvy objektov s bielym okolím, tzv. halo efekt, a popisy vodných tokov boli umiestnené pozdĺž línií.

Obr. 4. Porovnanie časov vykreslenia geometrie pri jednotlivých pohyboch mapy (priblíženia, pohyby a oddialenie)

Porovnanie veľkosti dát vo vektorovej dlaždici a WMTS

Neupravené vektorové dlaždice posielané zo servera GeoServer nemajú mieru generalizácie na úrovni, ktorá by zodpovedala rozlíšeniu mapy, kde sa dlaždica použije. Preto nie je zabezpečené dostatočné zmenšenie veľkosti prenášaných a vykresľovaných dát. Pri tvorbe vektorových dlaždíc v nižších mierkových úrovniach je vhodné generalizovať dáta vypustením malých objektov, ktoré sú pod rozlišovaciu úroveň, a zjednodušovať priebeh línií pri riečnych a cestných sieťach alebo hraniciach polygónov. Pri zisťovaní úrovne generalizácie našich dát sme vytvorili jednoduchý parser s využitím knižníc pbf a vector-tile na zobrazenie obsahu vektorovej dlaždice. Pre demonštráciu sme zistili úroveň generalizácie polygónu ohraničujúceho naše záujmové územie. Pôvodný polygón bez generalizácie obsahuje 3 873 vertexov. Pri iníciaľnom pohľade mapy polygón obsahuje 2 593 vertexov. Pri oddialení mapového pohľadu na úroveň priblíženia 1, kde sa celý rozsah územia v systéme EPSG: 3 857 zobrazí na dlaždici v rozsahu 512×512 px, obsahoval polygón 63 vertexov. Zobrazená veľkosť polygónu záujmového územia pri tejto úrovni priblíženia zaberá plochu 5×4 px, z čoho je zrejmé, že na znázornenie tvaru v takomto detaile by postačil zlomok (5 – 10) vertexov. Pri úrovni priblíženia 2 zo servera ku klientovi dorazilo vo vektorovej dlaždici už 234 vertexov polygónu, čo potvrdzuje veľmi nízku mieru generalizácie pri tvorbe dlaždíc na mapovom serveri. Táto skutočnosť znižovala mieru pozitívneho efektu pri použití vektorových dlaždíc. Samotná veľkosť prenášaných dát bola preto prevažne väčšia pri vektorových dlaždiciach ako pri obrazových dlaždiciach. Záležalo však na rozsahu územia a počte zobrazovaných objektov. Vo veľkých mierkach boli výhodnejšie vektorové dlaždice, pretože bolo zobrazovaných menej prvkov s menej komplexnými tvarmi. Tieto prvky získané ako vektory mali veľkosť výrazne nižšiu ako v prípade, že sa tieto objekty získavali vo forme rastra. Napríklad v dlaždici so súradnicami v dlaždicovej schéme [17 950, 11 368, 16] je zobrazený polygón využitia krajiny, ktorý vo vektorových dlaždiciach obsahuje 4 vertexy a má spolu so všetkými dátami vektorovej dlaždice veľkosť 1,7 kB. V rastrovej dlaždici formátu PNG8 má veľkosť 8,1 kB a teda takmer 5-krát väčšiu veľkosť ako dáta vo forme vektora. Z obr. 5 môžeme zistiť, že pri úrovni priblíženia 10 prišli vektorové dlaždice s veľkosťou 1 240 kB a rastrové dlaždice s veľkosťou 255 kB. Na obr. 5 vidí-

me v úrovni priblíženia 13 a 14 mierny nárast veľkosti dát pri vektorových dlaždiciach, ktorý je spôsobený zobrazením miestnych komunikácií, resp. prístupových ciest. Pri ideálnej miere generalizácie by jednotlivé časti v grafe, reprezentujúce vektorové dlaždice, vytvárali približne lineárny priebeh. Keďže podľa našich uvedených zistení je úroveň generalizácie nepostačujúca a posiela sa nadbytočný počet vertexov prvkov, priebeh lineárny nie je. Finálny pohyb mapy, oddialenie na hodnotu priblíženia 12, vyžaduje zo servera len časť dát v porovnaní so zobrazením pri tom istom priblížení pri predchádzajúcich krokoch, pretože znázornený územný rozsah sa čiastočne prekrýva a využili sa už získané dlaždice.

Obr. 5. Veľkosť objektov vo vektorových a rastrových dlaždiciach

Čas prenosu vrstiev zo servera ku klientovi

Obr. 6. Porovnanie časov medzi prvou a poslednou dopytovanou dlaždicou

Na obr. 6 vidíme časy, ktoré zobrazujú čas medzi prvým a posledným dopytom na dlaždice. Tieto časy boli ovplyvnené veľkosťou dát a priebehom vykresľovania. V úrovni priblíženia 15 môžeme pozorovať mierny nárast. Je spôsobený odosielaním vrstvy budov s veľkým počtom objektov.

ZÁVER

Na základe dosiahnutých výsledkov môžeme tvrdiť, že zobrazovanie dát vo forme vektorových dlaždíc má svoje nevýhody, ktoré treba brať do úvahy. Nevýhody sa prejavujú výraznejšie pri nedostatočnej optimalizácii pri tvorbe vektorových dlaždíc, ako sme to prezentovali vo výsledkoch. Špecifikácia spoločnosti Mapbox, popisujúca architektúru vektorových dlaždíc, zámerne neuvádza najvhodnejší spôsob generalizácie údajov, sú spomenuté len jej riziká. Pri zobrazení v menších mierkach je však výhodnejšie použiť vektorové dlaždice iba v prípade, že dáta sú dostatočne generalizované, čím sa zabezpečí neprenášanie nadbytočných a nevyužitelných údajov. Pri zobrazovaní vo veľkých mierkach je tento problém menej významný. Veľkou výhodou vektorových dlaždíc, ktorú treba vnímať v kontexte vykonaného experimentu, je, že pre vyššie úrovne priblíženia klient nepotrebuje získať ďalšie dáta a vykreslí mapový obsah zo získaných dát (so zachovaním kvality vykreslenia). Naopak pri rastrových dlaždicach pritom potrebuje získať mnoho ďalších dát – v každej ďalšej úrovni až 4-krát viac dlaždíc, ktoré často pre diskovú kapacitu servera ani nemôžu byť predgenerované.

LITERATÚRA

- ADAMEC, L. (2016). *Vektorové dlaždice ve webové kartografii*. Diplomová práca, Přírodovědecká fakulta, Masarykova Univerzita, Brno
- ANTONIOU, V., MORLEY, J., HAKLAY, M. (2009). Tiled vectors: a method for vector transmission over the Web. In *Proceedings of 9th International Symposium, W2GIS 2009, Maynooth, Ireland, December 7-8, 2009*. Berlin, Heidelberg (Springer), pp. 56-71 DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-642-10601-9_5.
- FISCHER, E. (2017). *Tippecanoe*, [Online]. Available: <https://github.com/mapbox/tippecanoe> [accessed 29 May 2019].
- GAFFURI, J. (2012). Toward web mapping with vector data. In *Proceedings of 7th International Conference, GIScience 2012, Columbus, OH, USA, September 18-21, 2012*, Berlin, Heidelberg (Springer), pp. 87-101. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-642-33024-7_7.
- GOOGLE Inc. (2010). *Under the hood of Google Maps 5.0 for Android*, [Online]. Available: <http://googlemobile.blogspot.com/2010/12/under-hood-of-google-maps-50-for.html> [accessed 08 May 2019].
- HENNEBERGER, Š. (2015). *GeoServer – Rendering Binary Vector Tiles*, [Online]. Available: <https://www.salzburgresearch.at/blog/geoserver-rendering-binary-vector-tiles/> [accessed 29 April 2019].
- JANEČKA, K., BOBÍKOVÁ, D. (2018). Registering the underground objects in the 3D cadastre: a case study of wine cellar located in the vineyard area Tokaj. *Acta Montanistica Slovaca*, 23, 260-270.
- LI, Ch., LU, H., XIANG, Y., LIU, Z., YANG, W., LIU, R. (2018). Bringing geospatial data closer to mobile users: a caching approach based on vector tiles for wireless multichip scenarios. *Mobile Information Systems*, Article ID 5186495. 18 p. DOI: 10.1155/2018/5186495.
- LI, L., HU, W., ZHU, H., LI, Y., ZHANG, H. (2017). *Tiled vector data model for the geographical features of symbolized maps*. PLoS ONE 12(5): e0176387. DOI:10.1371/journal.pone.0176387.

- MAPBOX (2016). *Vector tile specification*, [Online]. Available: <https://docs.mapbox.com/vector-tiles/specification/> [accessed 29 April 2019].
- MAPBOX. (2017). *Vector tile specification*, [Online]. Available: <https://github.com/mapbox/vector-tile-spec/tree/master/2.1> [accessed 29 April 2018].
- MIGURSKI, M. (2019). TileStache API, [Online]. Available: <http://tilestache.org/doc/> [accessed 29 April 2019].
- OGC (2018a). *Vector tiles pilot*, [Online]. Available: <http://www.opengeospatial.org/projects/initiatives/vt-pilot-2018> [accessed 08 May 2019].
- OGC (2018b). *OGC Vector tiles pilot: summary engineering report*, [Online]. Available: <https://docs.opengeospatial.org/per/18-086r1.html#conclusion> [accessed 08 May 2019].
- OPENSTREETMAP WIKI CONTRIBUTORS. (2019). *Zoom levels*, [Online]. Available: https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Zoom_levels [accessed 29 April 2019].
- PYWELL, H. R., NIEDZWIĄDEK, H. A. (1980). The wetlands analytical mapping system: WAMS. In *Proceedings of the Analytical Plotter Symposium and Workshop, Reston, Virginia, April 1980*. Falls Church (American Society of Photogrammetry), pp. 261-269.
- REED, C. N. (2017) *DeltaMap/GenaMap Tiled Topological and Coverage (Raster) Data Structure*, [Online]. Available: <https://sites.google.com/site/reedsgishistory/Home/deltamap-genamap-tiled-topological-data-structure> [accessed 27 September 2018].
- ROELOFS, G. (2006). *Chapter 8. PNG Basics*, [Online]. Available: <http://www.libpng.org/pub/png/book/chapter08.html#png.ch08.div.5.1> [accessed 28 May 2019].
- THOMPSON, B. (2016). *Mapbox vector tile specification 2.0*, [Online]. Available: <https://2016.foss4g-na.org/sites/default/files/slides/VectorTileSpec-2.0.pdf> [accessed 08 April 2018].

Jozef Fábry, Richard Feciskánin

PUBLISHING GEODATA IN THE FORM OF VECTOR TILES AND COMPARING PERFORMANCE WITH RASTER TILES

The differences between vector and raster tile technologies, especially when they are used in client application, causes significant differences in user output preparation. In this paper we pointed out the fact, that using vector tiles, specifically the open specification from Mapbox in MVT, despite the undeniable advantages, is not advantageous to use in any case. We evaluated the rendering of geometry quantitatively and the time of data transfer from the server to the client. Fig. 4 shows that the times of vector tile rendering is greater than those of raster tiles. This is due to complex object rendering operations. In comparison with the transferred data size (Fig. 5), it has been confirmed in vector tiles that the data size saves at a larger zoom level. In addition, on a large scale it is not necessary to retrieve data from the server, but the map content is rendered from the complete data obtained from the lower zoom levels. At lower zoom levels, a larger volume of data comes to the client due to the size of the area and the details of elements. The data analysis confirmed that the low level of generalization of the shape of the objects contributed significantly to this. Overall, we can evaluate the results so that when displayed on smaller scales, it is preferable to use vector tiles only if the data is sufficiently generalized, which was not met in the case of the experiment performed.