

Кафедра картографії та геопросторового моделювання, Національний університет "Львівська політехніка", вул. С. Бандери, 12, Львів, 79013, Україна, ел. пошта: rostyslav.i.sossa@lpnu.ua, mariana.i.yurkiv@lpnu.ua, <sup>1</sup> <https://orcid.org/0000-0002-0335-6067>, <sup>2</sup> <https://orcid.org/0000-0002-2180-5583>

## КАРТОМЕТРИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ТОЧНОСТІ ПЛАНУ ЛЬВОВА 1894 РОКУ

Стародавні карти та плани є важливими джерелами інформації для різноаспектного пізнання минулого. У багатьох дослідженнях затребуваними є точнісні параметри просторових даних. Мета нашої роботи – дослідження геометричної точності плану Львова 1894 р. Юзефа Хованця. Методика дослідження оцінки точності ґрунтується на перетворенні та геометричному аналізі наборів ідентичних точок на стародавньому плані та сучасному еталонному. Для такого перетворення використовується трансформація Гельмерта з чотирма параметрами та техніка мультіквадратичної інтерполяції. Отримані результати дають можливість графічно візуалізувати неточності старого плану у вигляді векторів зміщення, ізоліній масштабу та обертання, що унаочнюють територіальну диверсифікацію спотворень картографічного зображення. За допомогою методу найменших квадратів отримано значення, що характеризують позиційну точність давнього плану. Всі розрахунки та ілюстрації виконано у програмному пакеті MapAnalyst, який спеціалізується на картометричному аналізі стародавніх карт. На результати картометричного аналізу впливає низка різних факторів, вирішальними серед яких для нашого дослідження були: якість оригіналу; вибір набору ідентичних пунктів; техніка інтерполяції. Під час вибору ідентичних точок основну увагу приділено їх рівномірному розподілу по всій площі плану за незмінного положення у часі. Отримані результати представляють лише одну із можливих математичних моделей, побудованих на основі вхідних даних. Однак досягнуті результати вважаємо дійсними. Опрацьована методика значно прискорює та спрощує вивчення точності старих планів і може бути використана для аналогічних досліджень інших картографічних творів, а отримані числові результати та графічні візуалізації – для порівняння старих планів між собою.

*Ключові слова:* стародавні плани Львова; оцінка точності карти; спотворення на карті; трансформація Гельмерта; вектори зміщень; ізолінії масштабу та обертання; стандартне відхилення.

### Вступ

Кarti та інші картографічні твори – важлива частина культурної спадщини. Стародавні карти є самобутніми джерелами інформації про минуле, оскільки відображають географічні особливості території та її соціально-економічний розвиток на певний період часу. Давні карти та плани незамінні під час дослідження історії населених пунктів, насамперед великих міст, які краще забезпечені відповідними картографічними матеріалами.

Процес картографування у різні епохи визначався тогочасним рівнем розвитку науки, техніки та технологій, що великою мірою визначало якісні характеристики картографічного відтворення об'єктивної реальності, зокрема її просторової компоненти. Самоочевидним є тренд поступального руху від менш точних стародавніх карт до сучасних точних карт. Однак якість картографічного зображення залежить від багатьох чинників, тому в кожному конкретному випадку вона різна.

Важливим джерелом для дослідження розвитку Львова є давні карти і плани міста. У багатьох випадках потрібно знати реальну точність математичної основи карти. Аналіз точності давніх карт і планів Львова дає змогу оцінювати особливості їх геометричної побудови та враховувати отримані відомості під час здійснення відповідних досліджень.

Розвиток сучасних інформаційних технологій уможливив проведення картометричного аналізу стародавніх карт за допомогою ГІС-інструментарію, завдяки чому він стає швидшим та доступнішим. Цим визначається актуальність нашого дослідження точності стародавніх планів Львова.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Дослідженнями точності стародавніх карт, переважно на території своїх держав, займалися та займаються вчені Швейцарії, Чехії, Польщі та інших країн [Jenny, 2008], [Petkiewicz, 1995], [Szeliga, 1993], [Zimová, 2006]. Особливо варто

відзначити доробок польських вчених, дослідження, які започаткував Генрик Мерчинг у 1913 р. [Ostrowski, 2014]. Для дослідження точності давніх карт науковці починають широко використовувати ГІС-інструментарій [Manzano-Agugliaro та ін., 2012].

Картбібліографію та картознавчі аспекти планів Львова нині достатньо повно опрацьовано [Гаврилова, 1956], [Czerner, 1997], [Лінда та ін., 2004], [Шишка, 2011, 2012], [Капраль, 2014], [Сосса та ін., 2016], [Sossa, 2020].

Першою великою публікацією щодо систематизованого вивчення стародавніх карт Львова була праця Е. Гаврилової “Карта г. Львов и ее развитие” – виклад її дисертаційного дослідження [Гаврилова, 1956]. Автор, зокрема, ґрунтовно опрацювала науково-технічні особливості топографічних знімків міста, геодезичну й математичну основи планів, а також частково дослідила їх геометричну точність.

Дослідження точності стародавніх планів Львова здійснюють на кафедрі картографії та геопросторового моделювання Національного університету “Львівська політехніка”. Науковці кафедри визначили геометричну точність планів Львова 1844 та 1931 рр., застосувавши кількісну методику ведення такого аналізу та використавши безпосередні вимірювання довжин ліній та кутів між двома напрямками на стародавньому і сучасному планах і проаналізувавши результати вимірювань на основі статистичної теорії похибок [Holubinka et al., 2018].

### Мета

Головною метою цієї роботи є дослідження геометричної точності плану Львова 1894 р. із використанням графічних способів візуалізації спотворень, які дадуть змогу оцінити та проілюструвати просторові варіації похибок плану.

### Методика та результати

Об’єктом дослідження є “План королівського столичного міста Львова, виданий і укомплектований Товариством для розвитку та прикраси міста” (Plan król. stoł. miasta Lwowa wydany i uzupełniony przez Towarzystwo dla rozwoju i upiększenia miasta) 1894 р. План масштабу 1:7 200, виданий аркушем розміру 47×68 см, відомий в історії картографування Львова під назвою “Малий Хованець” (рис. 1, 2).

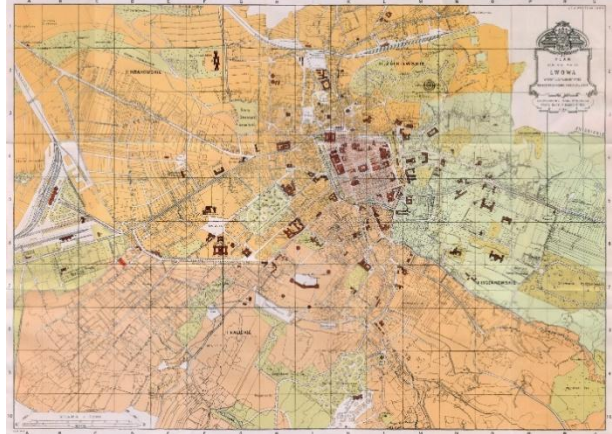


Рис. 1. План Львова Юзефа Хованця 1894 р. масштабу 1:7 200 (зменшене зображення)

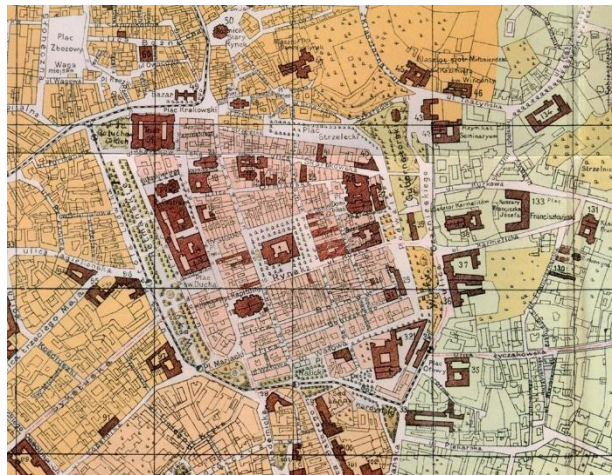


Рис. 2. Фрагмент центральної частини плану Львова Юзефа Хованця 1894 р.

Цей план є фрагментом центральної частини “Плану королівського столичного міста Львова з анклавом Ялівець...” (Plan królewskiego stołecznego miasta Lwowa (z enklawą Jałowiec)...), який уклав 1890 р. інженер міського Будівельного управління Юзеф Хованець у масштабі 1: 7 200 (відомий під назвою “Великий Хованець”). План містить велику кількість географічної та статистичної інформації про місто, покажчик назв вулиць і площ й перелік адміністративних і публічних будівель, показаних на плані.

План Львова 1894 р., завдяки компактності, доволі широко застосовували. Міські служби використовували його для різних планувальних робіт. План неодноразово видавали для туристичних цілей.

Загальна процедура картометричного аналізу стародавнього плану Львова полягає у тому, щоб зіставити його з сучасною картою з відомою

геодезичною системою координат. Для цього використовуємо два набори відповідних контрольних точок. Один набір точок міститься на сучасній карті й вважається цілком точним за просторовими характеристиками (еталонним), тоді як точки на стародавньому плані вважаються неточними. Два набори контрольних точок використовуються для приведення двох картографічних творів у спільну систему координат.

Технологічну схему проведення дослідження точності плану Львова подано на рис. 3.

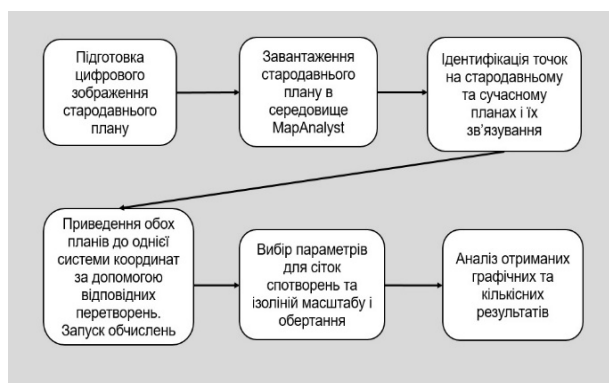


Рис. 3. Технологічна схема дослідження точності плану Львова 1894 р.

Отже, першим кроком у нашому дослідженні стало сканування плану за допомогою широкоформатного сканера GRAPHTEC CX530-09 із роздільною здатністю 500 dpi у форматі TIFF. Отримане растрове зображення імпортовано до програмного забезпечення MapAnalyst.

За замовчуванням як сучасну карту програма використовує OpenStreetMap, яка добре підходить для аналізу карт великих і середніх масштабів. Як відомо, OpenStreetMap є спільним проєктом для створення вільної редактованої карти світу. Він охоплює значну частину Європи, Північної Америки та інших частин світу. Карти створюють за допомогою даних портативних GPS-пристроїв, аерофотознімання та інших вільних джерел. MapAnalyst завантажує карту із сервера OpenStreetMap. Отже, для використання OpenStreetMap достатньо підключення до інтернету.

Наступним кроком була ідентифікація системи точок на плані Львова 1894 р. та на сучасній карті OpenStreetMap. Вибір набору ідентичних точок, що використовується для обчислення ключа трансформації, відіграє важливу роль. Ідентичні точки необхідно розподіляти, в ідеальному випадку, по всій території картографування рівномірно, щоб отриманий ключ трансформації

був глобальним, тобто враховував геометрично-картографічні характеристики всього картографічного зображення. Після отримання ключа перетворень здійснюється візуалізація помилок на старій карті або новій карті, яку приймаємо як точну. Для візуалізації похибок використовують графічні методи: вектори зсувів, сітки спотворень та ізофермати, тобто лінії, що з'єднують пункти із однаковими похибками. Найкраще для створення графічних ілюстрацій неточностей стародавніх планів використати спеціальні програмні продукти, одним з яких є MapAnalyst. Це програмне забезпечення розробив і підтримує Б. Дженні з Університету Монаша, Мельбурн [Jenny, 2006]. Частина внеску належить А. Веберу з Інституту картографії та геоінформації в Цюріху. Більшу частину програмування здійснено в Інституті картографії та геоінформації [Jenny et al., 2008].

Для розрахунку ключа трансформації ми вибрали 98 точок. Ця кількість, на перший погляд, може здатися порівняно невеликою. Однак пункти були вибрані ретельно, беручи до уваги вищезазначені принципи, і вони, очевидно, становлять порівняно репрезентативну вибірку (рис. 4). Ідентичні точки представляли храми, собори, замки, історичні будівлі, перехрестя вулиць, що збереглися до сьогодні. Набір точок практично рівномірний, за винятком північно-східної частини.

Для зближення систем координат сучасного та старовинного плану вибрано чотирипараметричну афінну трансформацію (перетворення Гельмерта із чотирма параметрами) із одним масштабним коефіцієнтом, одним кутом обертання та двома зміщеннями. Далі коефіцієнти трансформації коригували за допомогою методу найменших квадратів  $V^T V = \min$ .

Рівняння афінного перетворення можна записати в загальному вигляді:

$$X_i = x_0 + m \cos \alpha x_i - m \sin \alpha y_i$$

$$Y_i = y_0 + m \sin \alpha x_i + m \cos \alpha y_i$$

де  $x_i$  та  $y_i$  – координати точки на сучасному плані;  $X_i$  та  $Y_i$  – координати відповідної точки на стародавньому плані;  $m$  – масштабний коефіцієнт;  $\alpha$  – кут повороту;  $x_0$ ,  $y_0$  – зміщення вздовж координатних осей відповідно.

Параметри визначено з набору 98 ідентичних точок за допомогою програми MapAnalyst та доповнено характеристиками точності їх визначення (стандартним відхиленням), що наведено в табл. 1.



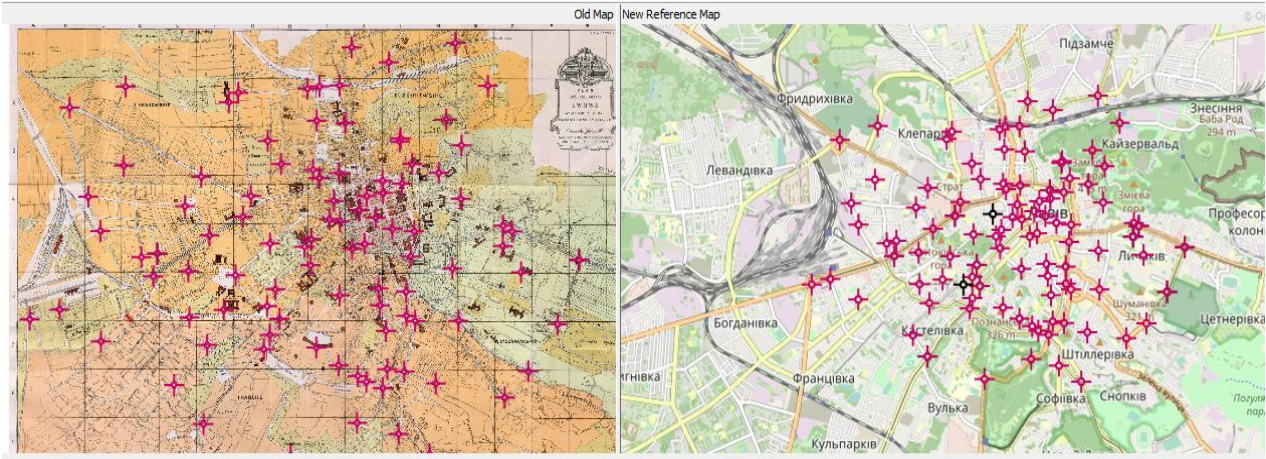


Рис. 4. Розподіл 98 ідентичних точок на планах Львова

Таблиця 1

**Значення коефіцієнтів афінного перетворення та стандартних відхилень коефіцієнтів**

Коефіцієнт	Значення	Стандартне відхилення
$m$	7 712	10,2
$a$	0,2°	0,07
$x_0$	2,9 м	0,0002
$y_0$	718 м	0,0002

Як бачимо, план Львова 1894 р. загалом повернутий проти годинникової стрілки порівняно з еталонним набором даних приблизно на  $0,2 \pm 0,07^\circ$ . Глобальний масштабний коефіцієнт відрізняється від масштабу плану на  $512 \pm 10$  одиниць, тобто на  $7,1 \pm 0,14 \%$ .

Метою картометричного аналізу є перевірка математико-просторових параметрів плану. Для досягнення ідеального результату треба було б векторизувати обидва плани. Оскільки картографічний продукт – це великий набір точкових, лінійних та ареальних картографічних знаків, то цей процес трудомісткий і довготривалий. Тому доцільно вибрати лише підмножину таких елементів, що представляють вибірковий набір, в якому можна припустити вищий ступінь позиційної точності.

Після завершення афінного перетворення можемо виконати картометричний аналіз плану Львова. Результати аналізу слугують приблизним критерієм оцінки, що ілюструє точність побудови плану. Подати результати можливо у

вигляді таблиць або у вигляді графічних зображень на плані. Необхідно підкреслити, що наведені нижче результати картометричного аналізу залежать від вибору набору однакових точок, які потрібні для обчислення ключа перетворення. Якби кількість або розподіл однакових точок змінилися, результати були б дещо іншими, проте кардинально не відрізнялися.

Афінне перетворення належить до групи залишкових перетворень, однакові точки в обох системах координат не повністю накладаються. Значення поправок  $P_{xy}$  ідентичних точок можна використовувати для оцінювання точності зображення елементів на плані (рис. 5). Такі значення називають векторами зміщень. Кожен вектор починається у точці, яка раніше була ідентифікована на старовинному плані, й закінчується в тому місці, де вона буде, якщо б цей план був такий самий точний, як еталонний. За допомогою зазначеного ключа трансформації зображення центральної частини міста (площі Ринок) було оцінено як найточніше, а північної та східної – як найменш точне.

На основі вибраного набору з  $n$  ідентичних точок та векторів зміщень обчислюємо стандартне відхилення  $s_0 = \sqrt{\frac{V^T V}{2n - 4}}$ , що описує середню квадратичну похибку координати, та величину  $s = s_0 \sqrt{2}$ , яка відображає позиційну точність плану Львова. У нашому випадку  $s_0$  становить 16,28 м, а  $s = 23.03$  м, тобто 0,3 %.

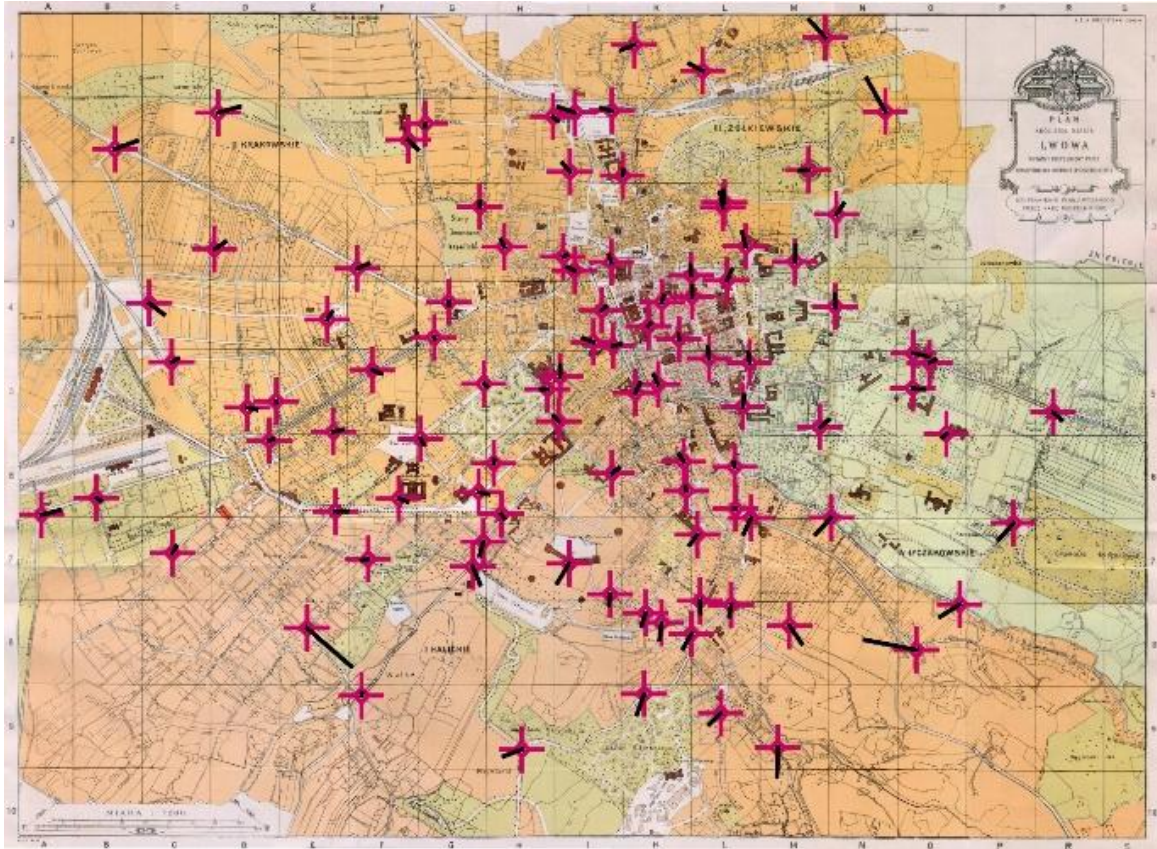


Рис. 5. Вектори зміщень на плані Львова 1894 р.

Аналіз величини масштабу та кута повороту важливий, оскільки ілюструє точність побудови картографічного твору. У нашому дослідженні використано програму MapAnalyst, яка спеціалізується на картометричному аналізі стародавніх карт [Jenny et al, 2008]. Для цього програма містить складний геометрично-аналітичний апарат, що використовує мультіквадратичну інтерполяцію набору ідентичних точок. Детальну інформацію про методологію аналізу із використанням мультіквадратичної інтерполяції наведено в [Weineke, 2000].

Процес картометричного аналізу повністю автоматизований, за винятком ідентифікації набору точок. Цей факт сприяє швидкості та загальній надійності аналітичного процесу. Використовуючи набір 98 точок і параметрів афінного перетворення, програма MapAnalyst генерує ізолінії масштабу та обертання.

Ізолінії – це спосіб зображення місцевих варіацій масштабів і обертань. Це криві, що з'єднують точки рівномірних масштабів і обертання. Для їх відтворення потрібні дві прозорі растрові сітки, які містять стабільно розміщені шкали і

значення масштабів обертання. Алгоритм побудови ізоліній складається із трьох етапів:

1. Створення двох растрових сіток, які міститимуть масштаб і дані обертання.
2. Визначення масштабу і параметрів обертання до кожної комірки растра.
3. На завершення будуємо ізолінії із застосуванням параметрів комірок растрової сітки.

Обчислюючи параметри певної клітинки, замість всіх допустимих точкових пар використовують тільки точки, розташовані в межах кола поточного радіуса, що описує клітинку (рис. 6).

Розуміючи, що точки, віддаленіші від центра кола, менше впливають на опрацювання, ніж точки, близькі до центра, кожній точці присвоюють індивідуальний ваговий коефіцієнт, зважаючи на її розташування щодо центра кола. Отже, кількість і форми отриманих ізоліній залежать від радіуса кола. Ізолінії з малим радіусом кола впливу відображають місцеві варіації масштабів величин і обертань, більший радіус кола впливу приводить до глобальніших показників і гладших ізоліній. Правильний вибір радіусів є



головним пунктом у разі використання такого методу. Рекомендують спробувати різні значення радіуса впливу, поки не знайдуться найоптимальніші ізолінії. Хорошим значенням для початку є приблизно одна четверта масштабу карти.

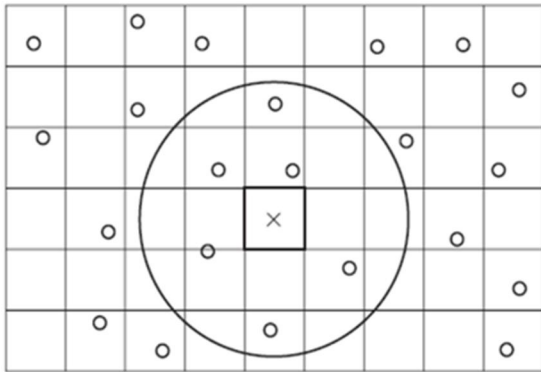


Рис. 6. Відображення шести точок навколо кола, які розраховують масштаб чи кут обертання комірки в центрі

Для створення ізоліній локальних варіацій масштабу на досліджуваному плані застосуємо радіуси впливу 800 м з кроком 200 м (рис. 7) і 1000 м із кроком 300 м (рис. 8).

На рис. 7 найбільше значення масштабу 1: 6 000 та найменше 1: 8 000 спостерігаються у південній

частині плану. Водночас центральна частина Львова не містить таких сильних спотворень. Амплітуда коливань значень масштабу на плані становить 2 000 одиниць. Це може бути спричинено як вибором ідентичних точок, так і похибками самого плану.

У ситуації з радіусом впливу 1000 м (рис. 8) спостерігаються незначні перепади показників значень масштабів. Найбільше значення 1: 7 500 розміщене в центральній і північно-західній частинах й фактично дублює ізолінію, отриману на рис. 7, а найменше значення 1:7 800 розташоване у південно-західній і південно-східній частинах плану. Амплітуда становить 300 одиниць вимірювання.

Як бачимо із рис. 7, 8, збільшення радіуса впливу з 800 м до 1000 м привело до значного зменшення кількості ізоліній. Однак залишилися ті, що дають глобальніший показник, стійкіші відхилення масштабу в різних частинах плану від масштабу 1:7 712, отриманого афінним перетворенням, та масштабу 1:7 200, вказаного на стародавньому плані.

Ізолінії повороту (рис. 9) демонструють: найбільші обертання 3° спостерігаються у південно-західній і північно-східній частинах плану. Обертання відсутні у центральній частині.

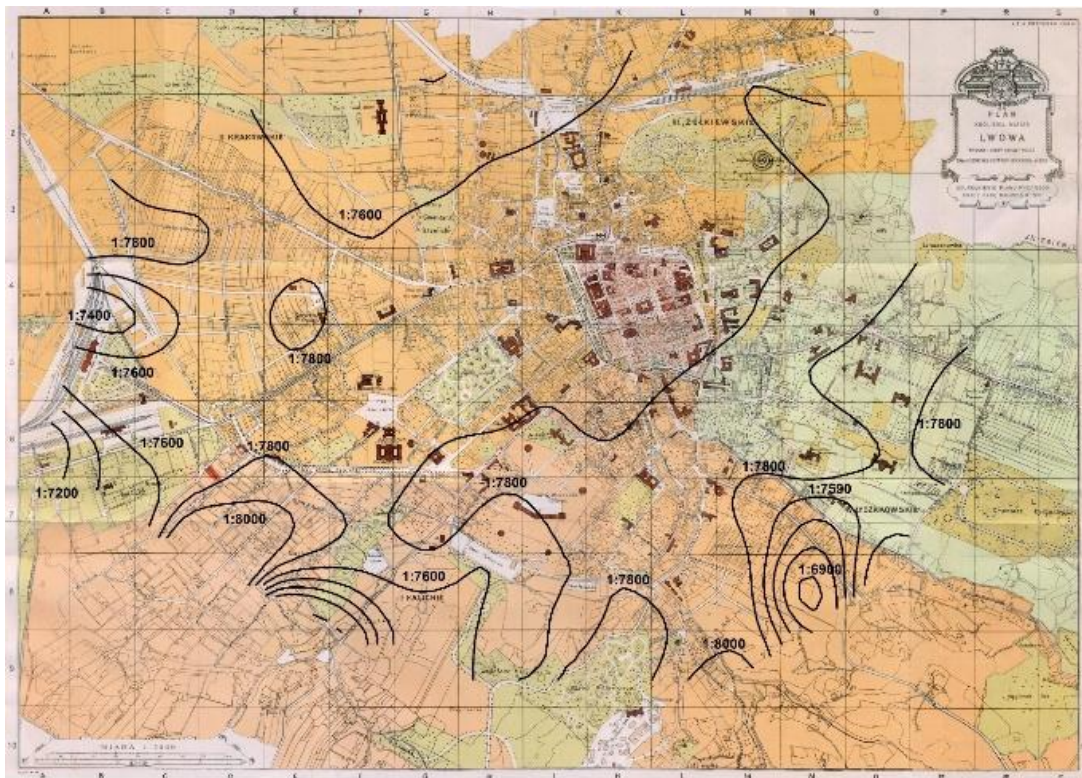


Рис. 7. Ізолінії варіацій масштабу із радіусом впливу 800 м, побудовані з кроком 200 м



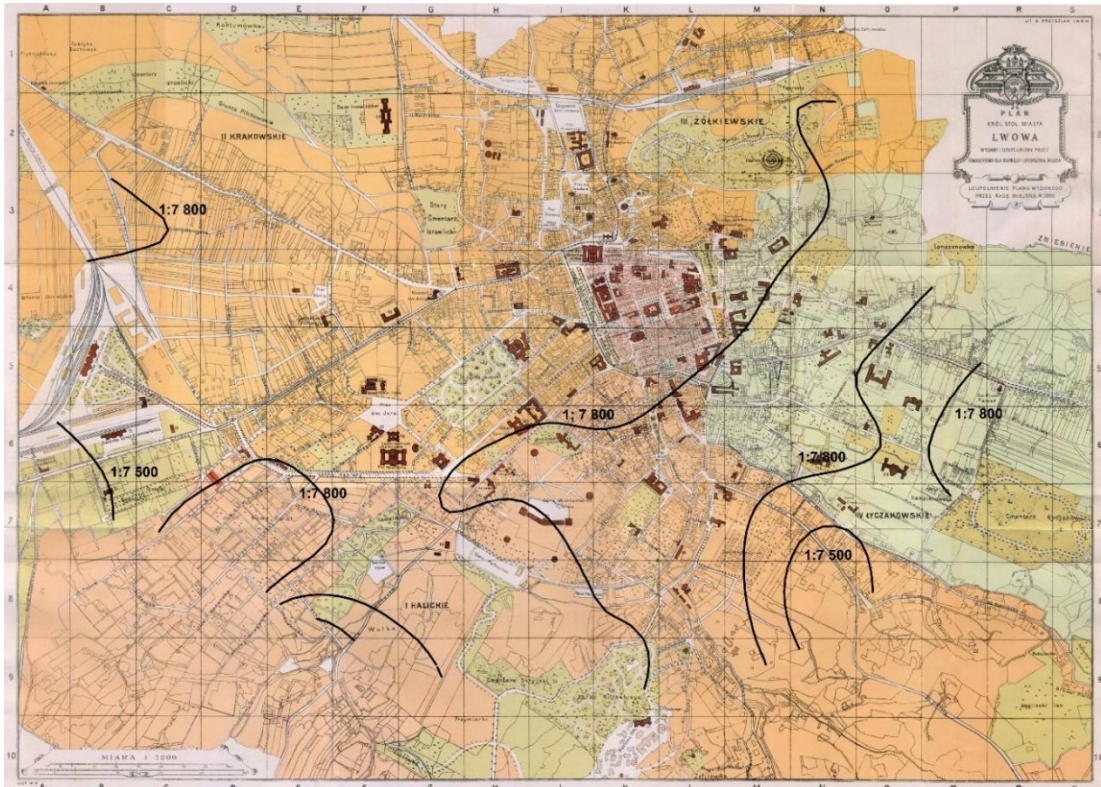


Рис. 8. Ізолії варіації масштабу із радіусом впливу 1000 м, побудовані з кроком 300 м

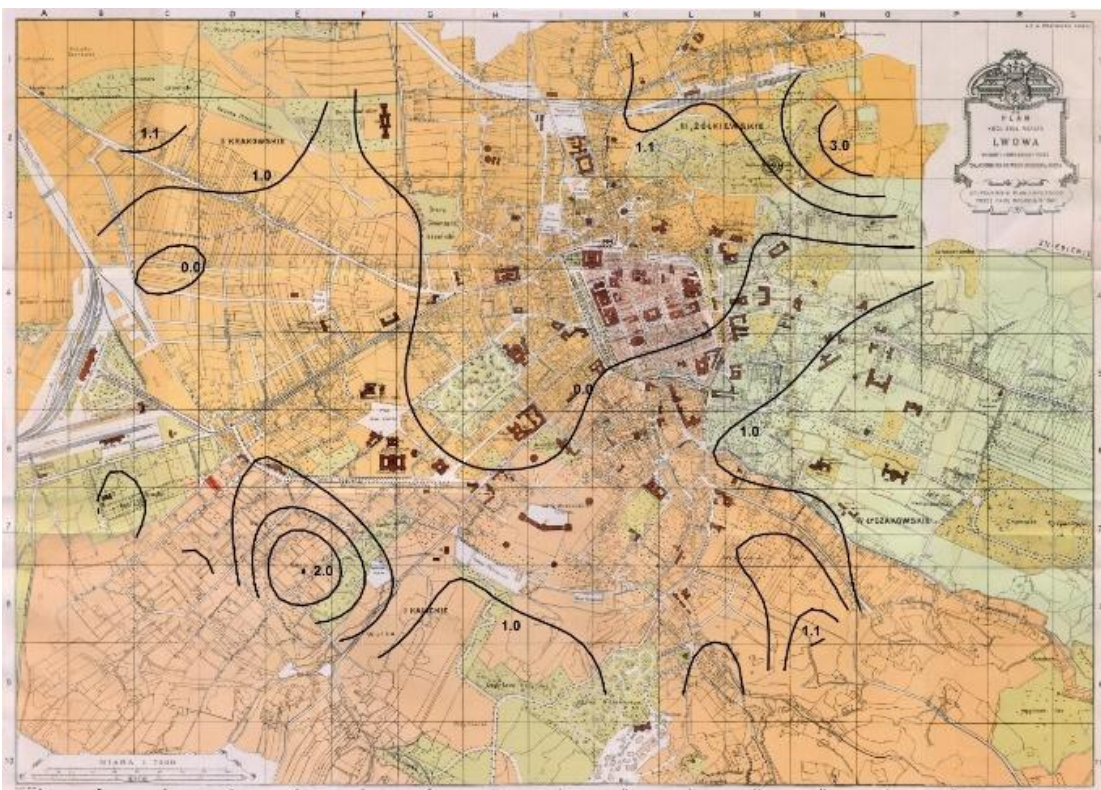


Рис. 9. Ізолії повороту на плані Львова 1894 р., побудовані з кроком  $0,1^\circ$

Якщо узагальнити усі графічні побудови та отримані числові характеристики, то можна

стверджувати, що план демонструє високу точність щодо куткових величин. Стосовно лінійних



вимірів та позиційних похибок точність гірша. Про це свідчать доволі високі значення середньої квадратичної похибки координат  $s_0 = 16,28$  м та середня квадратична позиційна похибка  $s = 23,03$  м. Найвища точність лінійних вимірів зафіксована в центральній частині плану, де мінімальні позиційні та кутові спотворення. Похибки на околицях частково спричинені недостатньою кількістю ідентифікованих точок у північно-східній, південно-західній та західній частинах міста. Крім цього, глобальний показник масштабу 1:7 700 на 500 одиниць (близько 7 %) відрізняється від значення, вказаного на самому творі – 1:7 200.

### Висновки

Точність математичної основи карти великою мірою визначає точність картографічного зображення об'єктів на карті. Для ідентифікації місцезнаходження об'єктів, які показані на стародавній карті, але нині вже не існують, важливо знати точність математичної основи карти. Також це потрібно під час дослідження загального розвитку картографування.

Картометричне дослідження точності старовинного плану Львова 1894 р. виконано на основі порівняння наборів ідентичних точок на старому та сучасному планах міста. Опрацьована методика дає змогу досліджувати спотворення на стародавніх планах чи картах із використанням сучасних математико-геометричних рішень, що сприяє швидкості та надійності отримання результатів. Розраховані параметри спотворень візуалізовано за допомогою програмного продукту MapAnalyst, що унаочнило інформацію про геометричну точність побудови плану Львова 1894 р. Встановлено, що на результати картометричного аналізу впливає низка різних факторів. У нашому випадку трьома вирішальними факторами вважаємо: *якість оригіналу; вибір набору ідентичних пунктів; техніку інтерполяції*. Під час вибору ідентичних точок основну увагу необхідно звертати на їх рівномірний розподіл по всій площі плану чи карти. Іншою умовою вибору є незмінність положення цих точок незалежно від часу створення стародавнього картографічного твору дотепер. Застосовані методи, що ґрунтуються на багатоквадратичній інтерполяції, придатні для оброблення

набору даних із приблизно однаковою щільністю точок. Нерівномірно розподілені скупчення точок або місць, що не містять точок, негативно впливають на досягнутий результат. Використаний набір із 98 однакових точок можна вважати достатнім, хоча не завжди була можливість зберегти однакову їх щільність. На околицях міста не було необхідної кількості ідентичних точок, саме тому можемо припустити, що вони матимуть більшу вагу під час обчислення деяких параметрів ключа перетворення. Техніка багатоквадратичної інтерполяції також відіграла важливу роль і була використана для реконструкції суцільної поверхні із дискретних даних. Отримані результати представляють лише одну з можливих математичних моделей, побудованих на основі вхідних даних. Однак, незважаючи на вищезазначені факти, досягнуті результати вважаємо дійсними. Жоден із факторів не зіграв настільки важливої ролі, яка б істотно вплинула на результати нашого картометричного дослідження.

Опрацьована методика істотно прискорює та спрощує вивчення точності старих планів і може бути використана для аналогічних досліджень інших картографічних творів, а отримані числові результати та графічні візуалізації – для порівняння старих планів між собою, за умови ретельного врахування наведених вище факторів впливу на результати картометричного аналізу із використанням програмного забезпечення MapAnalyst.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- Гаврилова Э. Карта города Львова и ее развитие. Львов: ЛПИ, 1956. 80 с.
- Капраль М. Атлас українських історичних міст. Львів. Т. 1. За наук. ред. М. Капралю. Київ: ДНВП "Картографія", 2014. 95 с.+25 оригінальних карт, 11 карт-реконструкцій, 6 видів міста.
- Лінда С. М., Олешко О. П., Іваночко У. І. Дослідження територіального розвитку Львова австрійського періоду (1772–1918 рр.) на основі картографічного матеріалу. *Вісник Нац. ун-ту "Львівська політехніка"*, 2004. № 505: Архітектура. С. 127–141.
- Сосса Р., Кришталович У., Шишка О. Картографічні видання Львова: каталог виставки. Львів, 6–8 грудня 2016 р. / за заг. ред. Р. Сосси. Л: Вид-во Львівської політехніки, 2016. 28 с.
- Шишка О. В. Картографування Львова (1582–1770 рр.). *Вісн. геодезії та картографії*, 2011. № 4. С. 42–47.



- Шишка О. В. Картографування Львова у підавстрійський період (1772–1918 рр.). *Вісник геодезії та картографії*, 2011. № 6. С. 42–46.
- Шишка О. В. Картографування Львова (1918–1944 рр.). *Вісник геодезії та картографії*, 2012. № 1. С. 44–47.
- Beineke, D. (2000). Verfahren zur analysis Genauigkeitsanalyse fur AltKarten, Munchen.
- Czerner, O. (1997). Lwów na dawnej rycinie i planie. Wrocław, Warszawa, Kraków,.
- Holubinka, Yu., Nikulishyn, V., Sossa, R., Yurkiv, M. (2018). Investigation of the accuracy of plans of Lviv in 1844 and 1932. *Geodesy, cartography and aerial photography*, Vol. 88, 33–46. <https://doi.org/10.23939/istcgcap2018.02.033>
- Jenny, B. MapAnalyst – A digital tool for the analysis of the planimetric accuracy of historical maps. *e-Perimetron*, 1–3, 2006, p. 239–245. [http://www.e-perimetron.org/Vol\\_1\\_Table\\_of\\_Contents.pdf](http://www.e-perimetron.org/Vol_1_Table_of_Contents.pdf)
- Jenny, B., Weber, A., & Hurni, L. (2007). Visualizing the planimetric accuracy of historical maps with MapAnalyst. *Cartographica: The International Journal for Geographic Information and Geovisualization*, 42(1), 89–94. <https://doi.org/10.3138/cartov42-1-089>.
- Manzano-Agugliaro, F., Martinez-Garcia, J., & San-Antonio-Gomez, C. (2012). GIS analysis of the accuracy of Tomas Lopez's historical cartography in the Canary Islands (1742–1746). *Scientific Research and Essays*, 7(1). DOI: 10.5897/SRE11.1271.
- Ostrowski, J. (2014). Praca Henryka Merczynga z 1913 roku o radziwiłłowskiej mapie Litwy i jej wpływ na polskie badania dokładności dawnych map (w setną rocznicę publikacji). *Dawne mapy jako źródła w badaniach geograficznych i historycznych (Z Dziejów Kartografii. Vol. 17, 35–52)*. Warszawa.
- Petkiewicz, S. Analiza dokładności kilku map z XVII, XVIII I XIX wieku obejmujących Polskę w dawnych granicach. *Prace i studia geograficzne*, 1995. Vol. 17, pp. 103–109.
- Sossa, R. (2020). Lviv mapping in the Soviet-period. *Geodesy, Cartography and Aerial Photography*. Is. 91, 59–69. <https://doi.org/10.23939/istcgcap2020.91.059>
- Szeliga, J. (1993). Metody i stan dokładnościowych badań dawnych map z obszaru Polskie. *Dorobek polskiej historii kartografii*, Vol. 6, 51–67.
- Zimová, R., Pešt'ák, Ja., & Veverka, B. (2006). Positional Accuracy of Old Maps. Historical Military Mapping of Czech Lands. *GIM International*, <https://www.gim-international.com/content/article/positional-accuracy-of-old-maps>.

Rostyslav SOSSA<sup>1</sup>, Mariana YURKIV<sup>2</sup>

Department of Cartography and geospatial modeling of Lviv Polytechnic National University, 12, S. Bandery Str., Lviv, 79013, Ukraine, e-mail: <sup>1</sup>rostyslav.i.sossa@lpnu.ua; <sup>2</sup>mariana.i.yurkiv@lpnu.ua; <sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-0335-6067>; <sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0002-2180-5583>

#### CARTOMETRIC INVESTIGATION OF THE ACCURACY PLAN OF LVIV IN 1894

Ancient maps and plans are important sources of information for multifaceted knowledge of the past. In many studies, the accuracy parameters of spatial data are in demand. The purpose of our work is to study the geometric accuracy of the Lviv plan 1894 by Józef Khovanec. The methodology for studying the accuracy assessment is based on the transformation and geometric analysis of sets of identical points in the ancient plan and the modern reference one. For such a transformation, the Helmert transformation with four parameters and multiquadratic interpolation methods are used. The obtained results make it possible to graphically visualize the inaccuracies of the old plan in the form of displacement vectors, scale and rotation isolines, which clearly territorially diversify the distortions of the cartographic image. Using the method of least squares, a value was obtained that characterizes the positional accuracy of the ancient plan. All calculations and illustrations were made in the MapAnalyst software package, which specializes in the cartometric analysis of old maps. The results of cartometric analysis are influenced by a number of different factors, the decisive ones for the study were the following: the quality of the original; selection of a set of identical items; interpolation technique. When choosing identical points, the main attention is paid to their uniform distribution over the entire area of the plan at a constant position in time. The results obtained represent only one of the possible mathematical models built on the basis of the input data. However, we consider the achieved results to be valid. The processed technique significantly speeds up and simplifies the study of the accuracy of old plans and can be used for similar studies of other cartographic works, and the obtained numerical results and graphic visualizations can be used to compare old plans with each other.

*Key words:* ancient plans of Lviv; estimation of map accuracy; distortion on the map; Helmert transformation; displacement vectors; scale and rotation isolines; standart deviation.

Надійшла 15.04.2022 р.