

A lovasberényi Szűzvár felmérése és modellezése

TARSOLY Péter¹, NAGY Petra², KOVÁCS Ágnes³

^{1,2}Óbudai Egyetem, Alba Regia Kar, Geoinformatikai Intézet

²Szent István Király Múzeum

³European Organization for Nuclear Research (CERN)

E-mail: tarsoly.peter@amk.uni-obuda.hu, ²nagy.petra0213@gmail.com, ³kovacs.agnes@szikm.hu

DOI: [10.30921/GK.78.2026.1.4](https://doi.org/10.30921/GK.78.2026.1.4)

Absztrakt

A lovasberényi Szűzvár területén végzett komplex felmérés során a hagyományos geodéziai eljárások (GNSS RTK) és a korszerű távérzékelési technológiák (légi LiDAR, SLAM-alapú lézerekkelés) integrációjával nagyfelbontású digitális domborzatmodellek (DDM) előállítására került sor. A különböző adatgyűjtési módszerek pontosságát összehasonlító statisztikai elemzéssel vizsgáltuk.

Az eltérések eloszlásvizsgálata során megállapítást nyert, hogy mind az RTK–SLAM, mind az RTK–LiDAR relációban az eltérések Gauss-féle normális eloszlást mutatnak. Az RTK–SLAM összevetés során pozitív irányú eltérések mutatkoztak, ami azt jelzi, hogy a GNSS RTK referenciamérések szisztematikusan magasabb tengerszint feletti magasságot (Z-értékeket) rögzítettek a SLAM-modellhez képest. Az eltérések térbeli eloszlása nem véletlenszerű szóródást mutat; szoros korrelációt mutatnak az egyes topográfiai egységekkel, a növényzettel sűrűn benőtt részekkel (északi sáncárok, gyilokjáró, várperem).

Összességében a vizsgálat megerősítette, hogy a különböző adatgyűjtési technológiák sajátos előnyökkel rendelkeznek: a légi LiDAR megbízható a nagy területű, sűrű növényzettel borított területeken, míg a SLAM a kisebb léptékű, részletgazdag, meredek szakaszok modellezésében jobban volt alkalmazható. A GNSS RTK mérések referenciapontként szolgáltak a technológiák összehasonlításához. A kombinált adatgyűjtési módszerek alkalmazása olyan térinformatikai adatbázist eredményez, amely alapvető fontosságú a komplex morfológiájú földvárak régészeti kutatása, dokumentálása és hosszú távú örökségvédelmi célú megőrzése szempontjából.

Abstract

During the complex survey of Szűzvár in Lovasberény, we combined classic geodetic measurements (GNSS RTK) with modern geodetic technologies (aerial LiDAR and SLAM laser scanning), which enabled us to produce several detailed digital terrain models. We examined the different accuracies of the various measurement methods using statistical evaluation, regarding height differences.

Based on the histograms, it can be clearly concluded that the differences between RTK–SLAM and RTK–LiDAR follow a normal distribution, which can also be clearly seen from their bell-shaped curves. In the case of RTK–SLAM, most of the deviations are positive, i.e., the GNSS RTK measurements showed higher values than the SLAM model. The differences are not randomly distributed but are linked to specific topographical units, such as the northern ditch, the walkway, and the edges of the castle.

Overall, the study confirmed that different data collection technologies have specific advantages: LiDAR is reliable in large areas covered with dense vegetation, while SLAM excels in modelling smaller scale, detailed, steep sections. GNSS RTK measurements served as a reference point for comparing the technologies. The combined application provides an opportunity for archaeological research to create more accurate, multi-layered geoinformation documentation, which can contribute to the long-term scientific and heritage preservation of earthworks, especially complex ones.

1. Bevezetés

A régészeti topográfia az elmúlt évtizedekben jelentős fejlődésen ment keresztül a légi-régészeti és távérzékelési technológiák térnyerésének következtében (Czajlik, 2022). Magyarországon a földvárak kutatása hosszú múltra tekint vissza, kezdve a 19. századi felfedezésektől egészen a modern, térinformatikai és geofizikai mérésekig (Nováki, 1952, 1963; Terei et al., 2011;

Czajlik, 2004; Reményi et al., 2013). Fejér vármegyében kiemelten fontosak a középső bronzkori Vátya-kultúra földvárai, amelyek nemcsak a korszak településszerkezetéről, hanem annak társadalmi és gazdasági működéséről is értékes információkat nyújtanak (Szeverényi – Kulcsár, 2012; Dani et al., 2019).

A Velencei-hegység északi részén kimagasló Szűzvár egy különleges adottságú, a múlt titkait őrző panorámapont, amely

70 méter magas falaival természetes erődítményként uralja a tájat. Meredek falai védelmet nyújtanak, tetejéről kiváló kilátás nyílik a környező vidékre, így könnyen elképzelhető, hogy már az ősidőkben is ember által lakott terület lehetett. A térképeken Szűzvári-hegy néven szerepel, kb. 1 km hosszú, 200m széles, észak-északnyugat–dél-délkelet irányú, lapos tetejű domb, amely Székesfehérvártól 10 km-re északkeletre, Lovasberény közigazgatási területének délnyugati sarkán, Lovasberény-Pákozdi-Pátka települések határainak közelében található. A Szűzvárról szóló szakirodalomban “Pákozdi-Szűzvár” (Czajlik, 2004 p. 167) és “Pátka-Szűzvár” (Molnár, 2014) néven is megtaláljuk.

A Szűzvári-hegy földrajzi helyzete alapján a Velencei-hegységhez tartozik, a Velencei-hegység északnyugati sarkán fekszik. Közvetlenül az északi szélén húzódik a Lovasberényi-hát nevű kistáj, amelynek fő jellemzője a kiváló mezőgazdasági adottságú, löszös üledéken képződött mészlepedékes csernozjom talaj (Dövényi, 2010 p. 615.), északnyugati szomszédságában pedig a Zámolyi-medence található. A Szűzvári-hegy északi lábánál folyik a Rovákja-patak, egy 1929-ben kiadott térképen a Szűzvári-hegy északi felét mindkét oldalról vízfolyás veszi körbe.

(https://map.hugeo.hu/terkepekamultbol/velencei_to_1929)

A kiváló mezőgazdasági adottságú talaj ideális lehetett a bronzkori földművelés számára, a közeli Velencei-tó hallal, vízimadarakkal látta el a lakosságot, míg a Velencei-hegység alacsony lankáit borító erdők a vadászat, gyűjtögetés számára adtak lehetőséget. A Velencei-hegység szélén, stratégiailag fontos helyen a síkság fölé magasodó, vízzel körbevett Szűzvári-hegy ideális hely lehetett egy bronzkori törzsi központ számára.

Jelen tanulmány célja, hogy bemutassa a Lovasberény–Szűzvár régészeti lelőhely felmérését és 3D modellezését. A terepi adatgyűjtés során többféle mérési technikát alkalmaztunk, többek között valós idejű GNSS felmérést, légi lézerszkennelt felmérést LiDAR technológiával, valamint SLAM-alapú kézi lézerszkennelést. A kutatás során e módszerek kombinált alkalmazásával nagy felbontású, háromdimenziós pontfelhőket és digitális domborzatmodelleket állítottunk elő. A felmérések eredményeinek összevetésével megbízhatóságuk értékelésére is sor került, és az eddig ismerteknél pontosabb adatokat tudunk szolgáltatni a földvár belső szerkezetéről, a védművek, árkok és sáncok elhelyezkedéséről. A székesfehérvári Szent István Király Múzeum régészeivel együttműködve végzett vizsgálatok nemcsak a földvár szerkezetének jobb megértését segítették elő, hanem hozzájárultak a bronzkori Vátya-kultúra településhálózatának pontosabb rekonstrukciójához is.

2. A lovasberényi Szűzvár felmérése

A középső bronzkor egyik meghatározó régészeti kultúrája a Vátya-kultúra volt, amely időben az i. e. 2000–1450 közötti időszakra tehető (Kiss et al., 2019. p.187.). A kultúra központi területe a mai Fejér vármegye volt, ahonnan fokozatosan terjedt

kelet és dél felé a Duna mentén, egészen a Duna–Tisza köze középső régiójáig. A Vátya-kultúra népessége alapvetően földműveléssel és állattartással foglalkozott, emellett pedig jelentős kereskedelmi tevékenységet is folytatott. A Vátya kultúra erődített településeit a 20. század végéig katonai jellegű földváraknak tartották, amelyek kettős erődímcot alkotva védelmezték volna a Vátya kultúra népét a halomsíros kultúra feltételezett támadásától (Bóna, 1975). Az ezredforduló környékén induló nagyfelületű ásatások eredményei azonban átalakították ezt a képet, az erődített településeket ma már inkább kisebb politikai egységek központjának és kézműves központoknak tartják (Szeverényi-Kulcsár, 2012 p. 293.).

A lovasberényi Szűzvár Fejér vármegye egyik legkorábban



1. ábra A 2025-ben talált bronzleletek

kutató bronzkori lelőhelye. 1897-ben Körösi József fedezte fel, aki urnasírokat tárt fel gróf Cziráky Antal (a terület tulajdonosa) engedélyével (Miske, 1898 p. 318.). Ezeket a leleteket gróf Cziráky Antal 1911-ben a Szent István Király Múzeumnak adományozta (Marosi, 1912 p. 16.). 1935-ben Brunner István végzett szondázó ásatást, amely során település-, és temetkezési nyomokat tárt fel. Brunner István 6 db kisebb szondát nyitott a Szűzvár területén elszórtan, az ő ásatási naplója és térképvázlatai a legfontosabb források, amelyek alapján a földvár részeit azonosítani tudtuk (Brunner, 1935). Nováki Gyula Terei György 1997-ben közösen végzett terepbejárásuk során azonban felvetették a középkori eredet lehetőségét, mivel a Szűzvár mérete és formája eltért a tipikus bronzkori földvárakétól – ez az értelmezés hosszú ideig irányadó maradt a szakirodalomban (Terei et al., 2011 p. 73.).

A Szent István Király Múzeum és az Óbudai Egyetem Alba Regia Kar Geoinformatikai Intézet együttműködésének köszönhetően 2024. június 21-én terepbejárás és fémkeresős kutatás zajlott le a Szűzváron (Kovács, 2024). A cél a lelőhely pontosabb megismerése és térképezése volt. A kutatás során előkerült tárgyak – többek között egy félhold alakú csüngő töredéke, egy gömbfejű tű, valamint jellegzetes bronzkori kerámiatöredékek – egyértelműen a Vátya-kultúrához köthetők. A magas aljnövényzet miatt a kutatás csak korlátozott területen tudott megvalósulni, így annak megismertlése szükségessé vált.

A terepi munkát 2025. január 19-én egy GNSS RTK alapú geodéziai felmérés követte, melynek során a földvár északi, központi részének jellegzetes domborzati pontjai kerültek rögzítésre, körülbelül 10 méteres szelvényközökkel. A téli

időszak előnye, hogy a korábbi sűrű aljnövényzet ekkorra már elszáradt, így a mérések zavartalanul elvégezhetőek voltak.

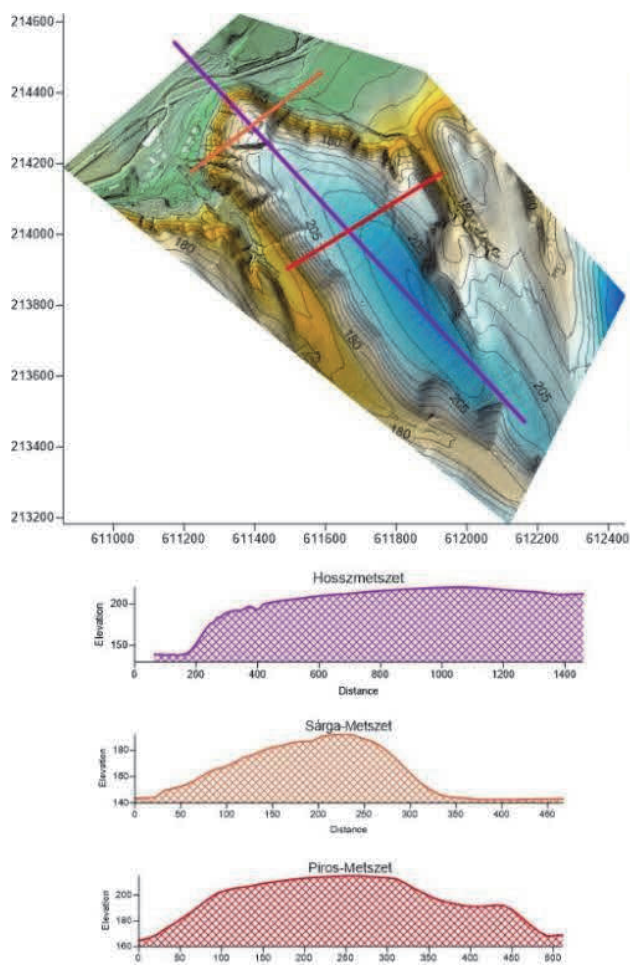
Ezt követően újabb terepi bejárás keretében, 2025. február 2-án SLAM technológiás kézi LiDAR lézerszkennelés történt az FJD Trion S1 és Trion P1 típusú eszközökkel. A felmérés a GNSS RTK-s méréssel megegyező területre koncentrált, és kiegészült a földvár északi központi részét elválasztó nagy árok részletes dokumentációjával is.

A fémkeresős terepbejárás 2025. február 19-én folytatódott, ezúttal kedvezőbb körülmények között. Az alacsony növényzetnek köszönhetően jelentősen nagyobb terület sikerült átvizsgálni. 15 darab régészeti korú fémlelet került elő. A leletek között szerepelt egy díszített nyakú, gömbfejű bronztű, félhold alakú csüngő, egy bronz laposbalta töredéke, valamint öt db kisméretű, szabálytalan alakú bronzdarab, a bronzöntés során megszilárdult öntecsek, amelyek a bronzöntés helyszíni bizonyítékai (1. ábra). Az öntecsek és a fémleletek alapján a Szűzváron is egy fémműves műhely működhetett. A 2024-2025-ben talált régészeti leletek a középső bronzkori Vatyá-kultúrához köthetők, megerősítik a földvár bronzkori datálását. Az 1897. évi ásatás anyagában található néhány kora bronzkorra és késő bronzkorra keltezhető kerámia is, ezek azonban kisszámú szórványleletek, a lelőhely leghosszabban és legintenzívebben lakott korszaka egyértelműen a középső bronzkor. Egyetlen középkori leletünk 1 db érem, ez alapján nem valószínű a jelentős középkori megtelepedés a lelőhelyen (Kovács, 2025).

3. Alkalmazott geodéziai mérési technológiák

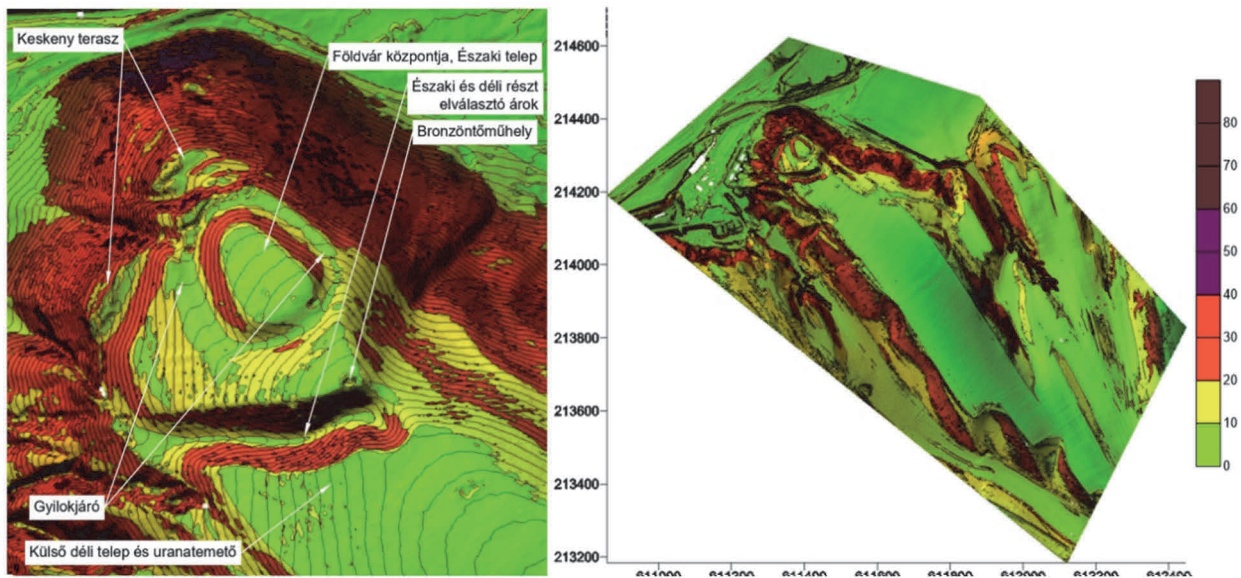
A régészeti lelőhely pontos kiterjesztéséhez és dokumentálásához különféle geodéziai felmérési technológiák alkalmazása vált szükségessé. A terepbejárásokat követően nyilvánvalóvá vált, hogy a lelőhely pontos kiterjedésének meghatározásához és topográfiai viszonyainak feltérképezéséhez a digitális domborzatmodell előállítás elengedhetetlen. A projekt kezdeti szakaszában hagyományos valós idejű kinematikus GNSS technológiával végeztünk helyszíni felmérést. Az RTK módszer előnye a valós idejű helymeghatározás és a centiméteres pontosság. A felméréshez Emlid Reach RX típusú GNSS vevőt használtuk. A mérések idején azonban az ionoszféra aktivitása kifejezetten magas volt, ami kedvezőtlenül befolyásolta a pozíciómeghatározás megbízhatóságát. Az ionoszféra hatásának folyamatos nyomon követésével láthatóvá vált, hogy a kora délelőtti órákban az ionoszféra hatásának maradék ellentmondásai meghaladták az 5 cm-t is.

A rendelkezésre álló idő és a felméréndő terület kiterjedése – mintegy 100 hektár – miatt ez az eljárás önmagában nem bizonyult elegendőnek. Az Envirosense Kft. szakmai támogatásával egy korábban készült teljes területet lefedő légi LiDAR felvételt kaptunk meg, amely osztályozott volt, megtisztítva a növényzettől. A felmérés 1x1 méteres felbontású, amely részletességében jól alkalmazható a digitális



2. ábra A LiDAR pontfelhő 3D domborzatmodellje és metszetei

domborzatmodell elkészítéséhez. Kiemelt előnye ennek a technológiának, hogy képes a növényzeten áthatva információt gyűjteni a talajfelszínről is. Így még sűrűn benőtt, erdős területeken is feltárhatóvá válnak a természetes és mesterséges domborzati formák. A jelen vizsgálatban is ez a tulajdonság tette a LiDAR technológiát nélkülözhetlenné, mivel a terület jelentős részét erdő borította, ami sok esetben nehezítette a hagyományos geodéziai mérési módszerek alkalmazását. A növényzettel fedett felszín pontos feltérképezése érdekében kézi lézerszkennelésre is sor került. A 3D Geosolution Kft. szakmai támogatásával SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) technológiát alkalmaztunk. A mérési időszak ezen napján is jelentős ionoszférikus zavarás volt megfigyelhető. Biztonságosabbnak ítéltük meg egy saját bázisállomás felállítását, amely közvetlen és megbízható korrekciós adatokat szolgáltatott a Trion S1 és P1 szkennerekhez. A Szűzvár északi területét az FJD Trion S1 – FJD V1t szkennerek-GNSS kombinációval mértük fel, hátizsákként viselve, amely így a terepen történő szabad mozgást is lehetővé tette. S1 lézerszkennerek 16 szenzorra van felszerelve, 120 méteres hatótávolsággal rendelkeznek, és 0,8–2 cm relatív pontosságot biztosít. A terep egy másik részén – amelyet egy nagy árok választ el a fő lelőhelytől – az FJD Trion P1–FJD V1t kombinációval mértük fel. A P1 lézerszkennerek könnyű, vállra vehető szkennerek, ami 200 000 pontot képes rögzíteni



3. ábra A Szűzvár szerkezeti felépítése (Surfer 3D-Slope grid)

másodpercenként. A készülék 40 méteres hatótávolsággal rendelkezik, és 2 cm relatív pontosságot biztosít. A szkennerek valós idejű pontfelhő-megjelenítést kínálnak a Trion Scan alkalmazáson keresztül. A pontfelhő feldolgozása a Trion Model szoftverben történt.

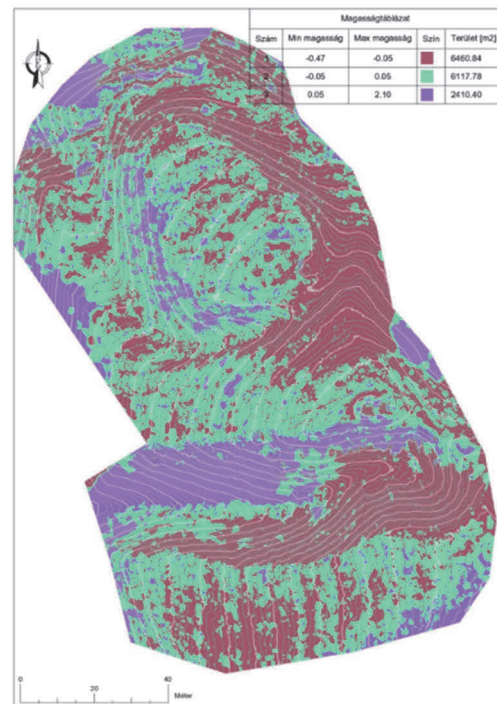
A C2C vizsgálat vizuális megjelenítése is alátámasztja az eltérések térbeli megoszlását. Például az északi árokszakasz részei kiemelkednek, ami arra utal, hogy itt nagyobb lokális eltérések léptek fel.

4. A digitális domborzatmodell elkészítése

A terepi adatok feldolgozásához és megjelenítéséhez a Surfer programot használtuk. A felmérés elemzéséhez hossz-, és keresztmetsvényeket is készítettünk, amelyek lehetővé tették a terep geometriájának részletes értelmezését (2. ábra). Első lépésként a LiDAR alapú pontfelhőt új vektoros réteggé importáltuk a QGIS programba, és az eszköztáron található "exportálás raszterbe" algoritmus segítségével a pontadatokat rácsos struktúrává alakítottuk. Az eredményt GeoTIFF formátumba exportáltuk, melyet közvetlenül be lehetett olvasni a Surferbe. A domborzatmodell elkészítése után elhelyeztük azokat a vonalakat, melyek mentén kereszt-, és hosszmetzeti diagramokat szeretnénk volna megjeleníteni. A Surfer automatikusan kirajzolta az adott szakaszon belüli magassági változásokat, lehetőséget adva a terep részletes vizsgálatára.

5. Pontosságvizsgálat a CloudCompare programmal

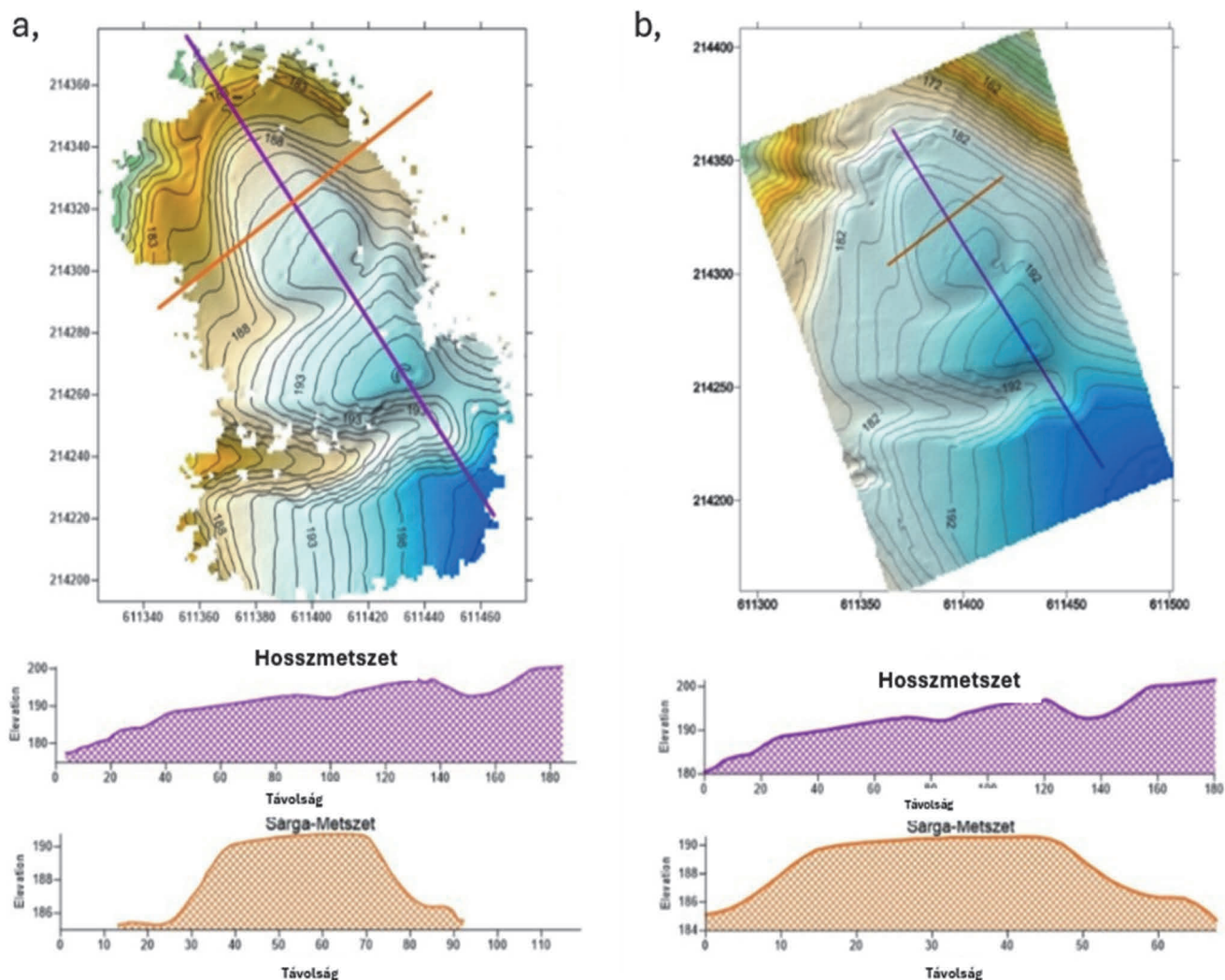
A különböző mérési technológiákkal (légi LiDAR, SLAM, RTK) gyűjtött 3D pontfelhők pontjai közötti eltérések meghatározására a CloudCompare nevű, nyílt forráskódú, háromdimenziós pontfelhő feldolgozó szoftvert használtuk. Az összehasonlítási műveletek során a program Cloud-to-Cloud Distance (C2C) eszközt alkalmaztuk. A Cloud-to-Cloud Distance algoritmus célja két tetszőleges pontfelhő közötti lokális eltérések kiszámítása.



4. ábra Magassági eltérések eloszlása százalékban LiDAR-SLAM felmérések között AutoCad Civil 3D-vel meghatározva

Ezek a különbségek elsősorban a sűrű bozótos növényzet, illetve a meredek, nehezen bejárható terepviszonyok következményei, ahol a GNSS alapú helymeghatározás pontossága csökkent, vagy a SLAM algoritmusok korlátozott pontossággal tudták rekonstruálni a felszínt. Hasonló jelenség figyelhető meg más szegmensekben is, ahol hirtelen magasságváltozások vagy sűrű aljnövényzet zavarta a mérést.

biztosítottak. Az északi és déli részt egy markáns árok választja el egymástól, amely a vár különböző használatú részeinek szétválasztására is szolgált. A vár északi központi része körül fut egy néhány méter széles vízszintes rész, amely funkcióját tekintve talán gyilkjáróként szolgálhatott. Kiemelt szerepet tölthetett be a vár védelmi rendszerében, hiszen jól belátható és ellenőrizhető útvonalat biztosított a várfalak mentén egy



5. ábra A SLAM (a) és LiDAR (b) pontfelhők domborzatmodelljei és metszetei Surfer-ben

6. Az eredmények értékelése

A 3. ábra alapján jól kirajzolódik a vár és környezetének funkcionális tagolódása. A földvár szerkezetét a geodéziai felmérések eredményei, a 2024-2025. évi terepbejárások és fémkeresős kutatások, valamint Brunner István 1935. évi ásatása alapján vázoltuk fel. Az északi oldalon található a földvár központja, amely a legmagasabban fekvő és legvédehetőbb rész. Itt helyezkedhetett el a feltételezett bronzöntőműhely is, amely egykori létezését a terepmunka során talált régészeti leletek is alátámasztják. A műhely stratégiai elhelyezkedése nem véletlen, hiszen a domborzati viszonyok – meredek lejtők, szűk hozzáférés, például a keskeny terasz – természetes védelmet

esetleges támadás esetén. A Szűzvári-hegy jellegzetességei, a síkság fölé magasodó helyzete, meredek oldalai, a gyilkjáróként értelmezhető keskeny terasz látványosan kihangsúlyozzák a földvár katonai-védelmi jellegét. Ez azonban jelenleg csak feltételezés, amelyet nem támaszt alá ásatás. A középső bronzkor kulturális viszonyai között ezek a jellemzők egy törzsi központ erejének és hatalmának szimbolikus kifejezői is lehetnek konkrét katonai tartalom nélkül (Jaeger, 2016 p. 87).

A déli oldalon helyezkedik el a külső település és az urnatemető. Ezt a területet kelet és nyugat felől meredek falak határolják, északról az elválasztó árok, délről pedig egy természetes letörés zárja le. A plató teteje szinte teljesen sík, amit a lejtésmódel is jól szemléltet – ez a „kifutópálya-szerű” forma ideálissá tette a

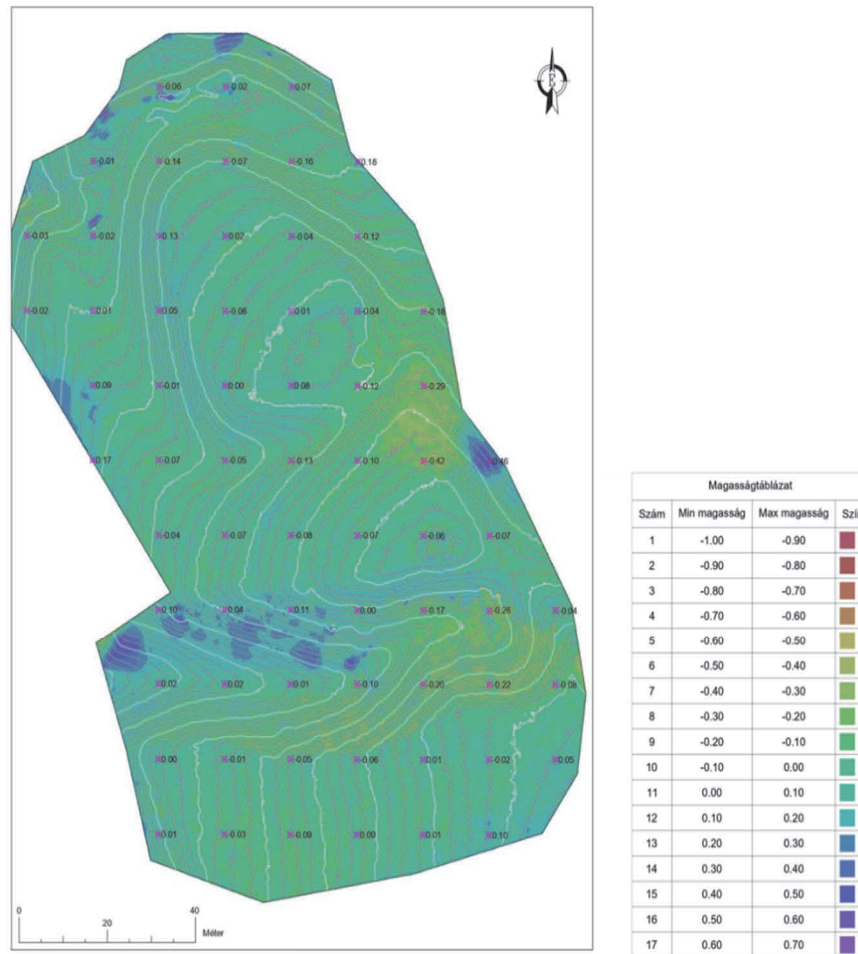
területet a mindennapi élethez szükséges tevékenységek, valamint a temetkezés számára.

Fontos megállapítás, hogy a Terei–Nováki (2011, p. 197.) által közölt felmérés csak a vár egy részét vizsgálta. A 2024-es és 2025-ös kutatások és azok során alkalmazott térképezési technológiák (pl. domborzati modellezés) alátámasztják, hogy a Szűzvár sokkal nagyobb területet foglalt el, mint korábban feltételezték. A 2024 - 2025. évi régészeti terepmunkák során 430 m hosszan találtunk bronzkori, a Vatya-kultúrához tartozó leleteket (Kovács, 2025).

A LiDAR, SLAM és GNSS RTK technikákkal végzett felmérések összehasonlítása a digitális domborzatmodellek (DDM) pontosságának értékelésére irányult. Az elemzés során a

LiDAR-SLAM mérések elemzése szerint az adatok 43,1%-a kisebb mint -5 cm eltérésű, további 40,8% -5 cm és $+5$ cm között marad, és csak 16,1% haladja meg az 5 cm-es pozitív eltérést. Vagyis a mért adatok túlnyomó többsége ± 5 cm hibahatáron belül van (4. ábra).

A LiDAR és SLAM technikákkal készült pontfelhőalapú digitális domborzatmodellek összehasonlítása során a hossz-, és keresztmetszeti profilok alapján is értékeltük a modellek részletességét és pontosságát (5. ábra). A sárga és lila metszsvonalak metszéspontjánál jól megfigyelhető az északi várrész kiemelkedő, tojás formájú magaslata. Ezt a részletet körülöleli a gyilokjáró. Mindkét modellben jól kirajzolódnak ezek a topográfiai elemek, azonban a SLAM modell profiljaiban határozottabban jelennek meg. Különösen igaz ez az elválasztó

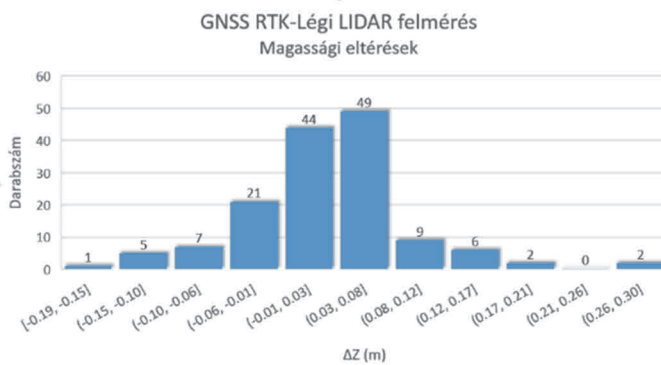
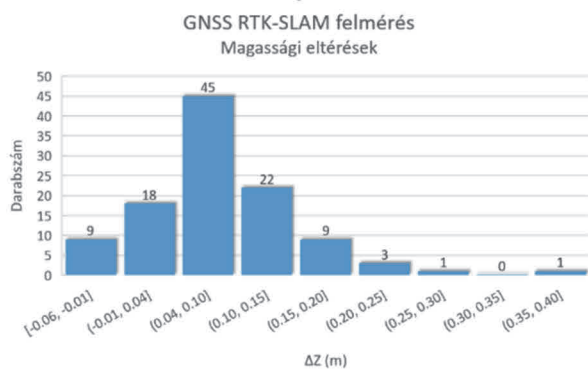


6. ábra SLAM és LiDAR magassági eltérések különbségfelülete

histogram százalékos formában mutatja be a különböző magassági eltérések gyakoriságát, míg a színezett térképek a vizsgált területen belül szemléltetik, hogy hol mely eltéréskategóriák fordulnak elő. Ezáltal a különböző módszerek megbízhatósága nemcsak statisztikai, hanem térbeli eloszlás alapján is összevethető.

A GNSS RTK–SLAM módszernél 53% az eltérések azon része, amely kisebb mint -5 cm, vagyis ebben az esetben a negatív eltérés dominál. A GNSS RTK–LiDAR összevetése alapján a ± 5 cm-en belüli értékek aránya a legmagasabb (37,9%). A

árok esetében, amely a vár északi és déli részét különíti el. A SLAM modellen ez a terepalakzat kontrasztosabb és jobban azonosítható. Ez arra utal, hogy bár a LiDAR részletesebb adatokat nyújt nagyobb területen, a SLAM eljárás bizonyos esetekben – különösen kisebb kiterjedésű, éleesebb változásoknál – nagyobb érzékenységgel adja vissza a domborzati változásokat. A különbség okait a felbontásában és érzékenységében kell keresnünk. A LiDAR modell 1×1 méteres rasterfelbontással készült, míg a SLAM rendszer a nagyobb adatsűrűség miatt részletgazdagabb felmérést tett lehetővé centiméteres pontossággal. Ennek megfelelően a SLAM a terep



7. ábra C2C eredmény GNSS RTK pontok - légi LiDAR és GNSS RTK - SLAM pontfelhő között

kisebb léptékű, meredekebb változásait – például a gyilokjáró és a nagy árok– élesekben, valóságghűbben jeleníti meg.

Az eltérések térbeli eloszlása tehát technológiai és topográfiai okokra vezethető vissza. A meredekebb részeken a SLAM pontosabb, részletgazdagabb képet nyújt, míg a vegetációval fedett részek esetében a LiDAR megbízhatóbb és részletesebb információkat szolgáltat.

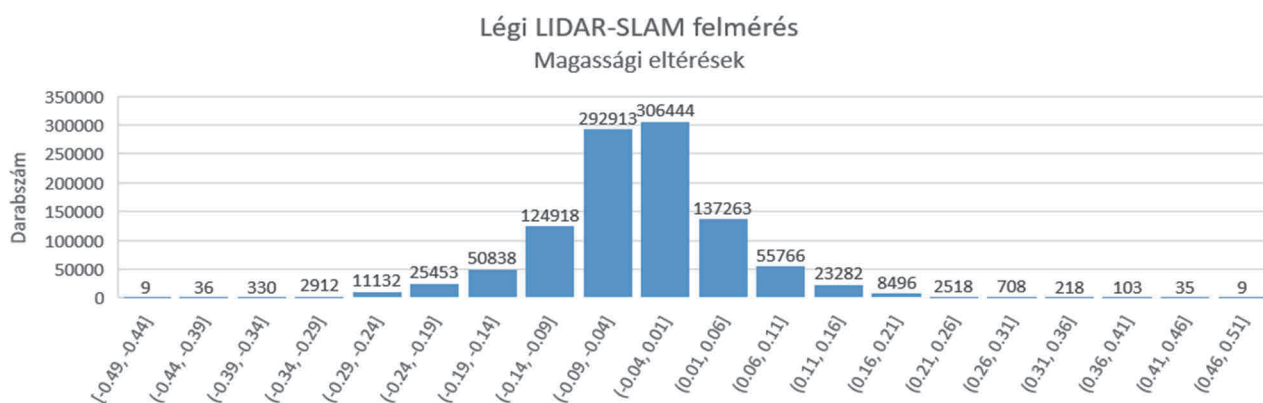
A LiDAR és SLAM domborzatmodellek összehasonlítása során magassági eltérések különbségfelülete is összehasonlításra került, amely önálló réteggént ábrázolja a két mérés közti magasságkülönbségeket (6. ábra).

A CloudCompare összehasonlítás alapján a GNSS RTK pontok és a SLAM pontfelhő közötti magassági eltérések egyértelműen normális eloszlást követnek (7. ábra). A hisztogram haranggörbe alakja ezt világosan mutatja, hogy az értékek nagy része egy szűk tartományon belül helyezkedik el, az eloszlás szimmetrikus, és csak kevés kiugró pont figyelhető meg a széleken. Az eltérések többsége pozitív tartományban mozog, ami azt jelzi, hogy a GNSS RTK pontok általában magasabban helyezkednek el, mint a SLAM-ből készült modell az adott helyeken.

A GNSS RTK és a légi LiDAR pontfelhő összehasonlításának eredménye szintén normális eloszlású értékeket mutat. A hisztogram itt is haranggörbe formát rajzol ki, az adatok eloszlása koncentrált és kiegyensúlyozott. Ebben az esetben az eltérések kisebb mértékűek, az RTK értékek alig néhány centiméterrel térnek el a LiDAR pontoktól, és a pozitív átlageltérés arra utal, hogy a terepmodell itt is némileg mélyebbre esik, mint az RTK mérések alapján számított pontok.

A C2C eredmény légi LiDAR és SLAM pontfelhő közötti kiértékelés adatai alapján a hisztogram jól követi a normális eloszlás mintázatát, azonban az eloszlás közepe enyhén negatív irányba tolódott, ami arra utal, hogy a SLAM modell gyakran mélyebb értékeket mutat, mint a LiDAR. Ez a negatív eltolódás a technológiák eltérő viselkedéséből fakadhat, a SLAM érzékenyebb lehet mozgási torzulásra vagy növényzet alatti felszín visszaverődésére, míg a LiDAR a vegetációs szűrést jobban leképezi (8. ábra).

Az Excel Adatelemzés menüpontja a magassági eltérések adataiból összegzi az egyes összehasonlítások alapvető statisztikai mérőszámait – például az átlagot, mediánt, módozt és szórást – amely lehetővé teszi a különböző technológiák közötti összehasonlítást (1. táblázat). A legvalószínűbb értékek alapján a LiDAR–SLAM modell közti eltérés módozsa $-3,45$ cm, míg az RTK–SLAM párosnál $+4,6$ cm, az RTK–LiDAR-nál pedig $+5,2$ cm. Ez azt mutatja, hogy a SLAM modell jellemzően mélyebbre pozicionálja a terepet. A szórás értékei $6,6-7,8$ cm közé esnek, ami viszonylag egységes szórást jelent, tehát az eltérések stabilitása hasonló mindhárom összevetésnél. Ez arra utal, hogy egyik módszer sem mutat lényegesen nagyobb bizonytalanságot a másikhoz képest, és az eltérések rendszerszintűek, nem véletlenszerű szórásokból erednek. Azonban figyelembe kell venni az adott időszak ionoszférikus viszonyait is. A 2025. február 2-ára a délelőtti órákban az ionoszférikus zavarás elérte a $+0,15-0,18$ méteres értéket, ami jelentős eltérést okozhat különösen GNSS-alapú mérésekben. Mivel a SLAM rendszer valós idejű GNSS RTK korrekcióval dolgozik a pályaadatok pontosításához, lehetséges, hogy a kiugró ionoszféra aktivitás negatívan befolyásolta a



8. ábra C2C eredmény légi LiDAR és SLAM pontfelhő között

pozíciómeghatározást. Ez megmagyarázhatja, hogy a SLAM eredmények miért mutatnak mélyebb terepet a valóságnál.

Táblázat 1. C2C eredmények statisztikai mérőszámainak táblázata

Mérőszám	LiDAR-SLAM	RTK-LiDAR	RTK-SLAM
Elemek száma [db]	1 043 382	145	107
Átlag [m]	- 0.040	0.028	0.079
Medián [m]	-0.039	0.028	0.066
Módusz [m]	-0.035	0.052	0.046
Szórás [m]	±0.078	±0.066	±0.068
Minimum [m]	-0.470	- 0.138	-0.050
Maximum [m]	0.483	0.303	0.397
Tartomány [m]	0.953	0.441	0.447
Ferdeség	- 0.040	0.738	1.256
Csúcosság	1.530	3.365	3.981

7. Összefoglalás

A lovasberényi Szűzvár komplex felmérése során ötvöztük a klasszikus geodéziai méréseket (GNSS RTK) a modern geodéziai technológiákkal (légi LiDAR és SLAM lézerszkennelés), amely lehetővé tette több részletes digitális domborzatmodell (DDM) előállítását. A különböző mérési módszerek eltérő pontosságát statisztikai értékeléssel vizsgáltuk, különös tekintettel a magassági eltérésekre.

A hisztogramok alapján egyértelműen megállapítható, hogy az RTK-SLAM és RTK-LiDAR összevetések során az eltérések normális eloszlást követnek, ami haranggörbe alakjukból is jól kiolvasható. Az RTK-SLAM esetében az eltérések többsége pozitív irányú, azaz a GNSS RTK mérések magasabb értékeket mutattak, mint a SLAM modell. A különbségek nem véletlenszerűen oszlanak el, hanem egyes topográfiai egységekhez, például az északi árokhoz, a gyilokjáróhoz és a vár peremréseire köthetők.

Összességében a vizsgálat megerősítette, hogy a különböző adatgyűjtési technológiák sajátos előnyökkel rendelkeznek: a LiDAR megbízható a nagy területű, sűrű növényzettel borított területeken, míg a SLAM a kisebb léptékű, részletgazdag, meredek szakaszok modellezésében jeleskedik. A GNSS RTK mérések referenciapontként szolgáltak a technológiák összehasonlításához. A kombinált alkalmazás lehetőséget teremt a régészeti kutatások számára egy pontosabb, többretegű térinformatikai dokumentáció létrehozására, amely hosszú távon is hozzájárulhat a földvárak tudományos és örökségvédelmi célú megőrzéséhez – különösen az olyan összetett, domborzat által tagolt lelőhelyek esetében, mint amilyen a Szűzvár is.

Irodalomjegyzék

Bóna I. 1975. Die mittlere Bronzezeit Ungarns und ihre südöstlichen Beziehungen. Akadémiai Kiadó, Budapest

Czajlik Z. 2004. Légi régészeti kutatások Magyarországon 2002-ben. In: Kisfaludi Júlia (szerk.): Régészeti kutatások Magyarországon 2002. Budapest, 2004., pp. 161-169.

Czajlik Z. 2022. A terepi kirándulástól a domborzatmodellig. Bevezetés a régészeti topográfiába. Budapest, L'Harmattan Kiadó

Dani J., Fischl P.K., Kiss V., Kulcsár G., & Szeverényi V. 2019. Dividing space, dividing society: fortified settlements in the Carpathian Basin (c. 2300 - 1500 BC). In: Miller, H., Friedrich, S., Kübner, M., Stäuble, H. und Risch, R. (hrsg): Siedlungsarchäologie des Endneolithikums und der frühen Bronzezeit. Tagungen des Landesmuseums für Vorgeschichte, Halle. Band 20/2, Halle (Saale), pp. 851-868.

Dövényi Z. (szerk.) 2010. Magyarország kistájainak katasztere. MTA Földrajztudományi Intézet, Budapest

Halmi V., Bauer E. (2013): Codex Pátka. Pátkai Református Egyházközség, Pátka

Jaeger, M. 2016. Bronze Age Fortified Settlements in Central Europe. Bonn - Poznań

Kiss V., Csányi M., Dani J., Fischl P.K., Kulcsár G., & Szathmári I. 2019. Chronology of the Early and Middle Bronze Age in Hungary. New Results. Studia Hercynia XXIII 2/2019. pp. 173-197.

Kovács Á. 2024. Régészeti jelentés a Lovasberény – Szűzvár középső bronzkori földvár fémkeresős kutatásáról. Székesfehérvár, Szent István király Múzeum, Kézirat.

Kovács Á. 2025. Régészeti jelentés a Lovasberény – Szűzvár középső bronzkori földvár fémkeresős kutatásáról. Székesfehérvár, Szent István király Múzeum, Kézirat.

Marosi A. 1912. A Fejérvármegyei és Székesfehérvári Múzeum őskori gyűjteménye. Múzeumi és Könyvtári Értesítő 6. évf. pp. 14-19.

Miske K. 1898. Újabb leletek Lovasberényben. Archaeológiai Értesítő 18. évf. pp. 317-333.

Molnár J. (szerk) 2014. A Pátka-Szűzvár egykori fluorit- és ércelőfordulásunk újraértékelése. Miskolc, 2014.

Nováki Gy. 1952. Fejér megye őskori földvárjai. Archaeológiai Értesítő 79. évf. pp. 3-19.

Nováki Gy. 1963. A magyarországi földvárkutatás története. Régészeti füzetek II/12. Budapest, Magyar Nemzeti Múzeum kiadványa

Reményi L., Pető Á., Kenéz Á., & Baklanov Sz. 2013. Archaeological and pedological investigations at the fortified Bronze Age settlement of Perkáta - Forrás-dűlő. In: Czajlik Z. - Bődöcs A.: Aerial Archaeology and Remote Sensing from the Baltic to the Adriatic. ELTE, Budapest pp. 55-57.

Szeverényi V. - Kulcsár G. 2012. Middle Bronze Age Settlement and Society in Central Hungary. In: Jaeger, M., Czebreszuk, J., Fischl, K.P., (eds): Enclosed Space - Open Society. Contact and Exchange in the Context of Bronze Age Fortified Settlements in Central Europe. Poznań - Bonn pp. 287-351.

Terei Gy., Nováki Gy., Mráv Zs., Feld I., & Sárközy S. 2011. Fejér megye várai az őskortól a kuruc korig. Castrum Bene Egyesület - Civertan Bt., Budapest