4D 80, 16–33. (2026)

DOI: HTTPS://DOI.ORG/10.56617/4D.80.7509

TÁJI LÉPTÉKŰ 3D MODELLEZÉSI LEHETŐSÉGEK VIZSGÁLATA

AN INVESTIGATION INTO LANDSCAPE-LEVEL 3D MODELLING CAPABILITIES

KOLLÁNYI LÁSZLÓ | LIMBACH NOÉMI ANNA | KLENCZNER TAMÁS ÁRON | ANWAR, RAMDAN PANO

ABSZTRAKT

A 3D ábrázolás az építészeti és a tájépítészeti tervezés régóta fontos területe. Perspektívikus kert- és tájábrázolások ugyan már a reneszánsz óta ismertek, de a digitális tervezés, modellezés még napjainkban is általában két dimenziós tervekre (alaprajz) korlátozódik. A 2D tervekkel nehéz bemutatni egy háromdimenziós tér kialakítását, látványát, változását, alakulását. A 2D/3D modellezés előnye, hogy a múltbeli állapotok, a jelenlegi tájhasználat megjelenítése és a jövőbeni forgatókönyvek vizualizálása egységes térbeli keretben egy laikus számára is jól értelmezhető. Táji, térségi léptékben, országos szinten számos olyan térinformatikai adatbázis áll rendelkezésre, amely alkalmas lehet vizuális modellek készítésére. Kifejezetten 3D táji modellező eszköz ugyan nem létezik, de a különböző eszközök, adatbázisok kombinálásával, a hardver és a szoftver környezet fejlődésével egyre elérhetőbbé válnak ezek a modellezési módszerek a kisebb tájépítész irodák, tervezők számára is. A mesterséges intelligencia (AI) alkalmazások megjelenése és a tervező szoftverekbe történő beépülése új digitális forradalmat indíthat el a tájépítészeti tervezésben.

Kulcsszavak: 3D modellezés, Tájépítészeti vizualizáció, Tájváltozás, GIS, CAD, renderelés

BEVEZETÉS

Aldous Huxley 1932-ben megjelentetett jól ismert regényében, a „Szép új világ”-ban (Huxley 1932/2008) egy jövőbeni disztópikus világot vázol fel, ahol nincsenek problémák, minden optimális módon történik. A közösségi média a virtuális világ (VR), a mesterséges intelligencia (AI) megjelenésével ez a „szép új világ” szinte észrevétlenül bekúszott mindennapjainkba, így a tájépítészeti tervezésbe is. Sorra jelennek meg olyan új tervezőeszközök, amelyekkel valósághűen jeleníthetjük meg elképzeléseinket, és már magunk is „építhetünk” VR világot. Itt a növények mindig zöldek, mindig virágoznak, mindig mintaszerűek. A térinformatikai, a CAD, a 3D és az AI modellezési eszközök ebben a valósághű megjelenítésben egyre fontosabb szerepet töltenek be. Nemcsak lokális, hanem táji léptékben is lehetőséget adnak a változások komplex, szemléletes és integrált bemutatására, új lehetőségeket nyitva meg a tájépítészeti tervek megjelenítésében.

A 3D ábrázolás mindig különleges jelentőséggel bírt az építészeti és a tájépítészeti tervezésben, hiszen a kétdimenziós tervekkel szinte lehetetlen bemutatni egy háromdimenziós tér változását, alakulását. A 3D modellek legfontosabb előnye a domborzat és a felszínborítás kapcsolatának valósághű megjelenítése. Míg a 2D tervek ezeket a magassági viszonyokat csak szintvonalakkal vagy árnyékolással jelenítik meg, addig a 3D környezetben a lejtők, völgyek, fennsíkok és kiemelkedések térbeli összefüggései közvetlenül érzékelhetők. Az épületmagasságok, a tömegarányok, valamint a beavatkozások látványhatása és tájba illesztése a 2D térképeken csak korlátozottan értelmezhető. Ugyanakkor a 3D modellezés lehetővé teszi

ABSTRACT

3D representation has long been an important field in architectural and landscape architectural design. Although perspective depictions of gardens and landscapes have been known since the Renaissance, digital design and modelling are still largely confined to two-dimensional plans (ground plans). It is difficult to demonstrate the design, appearance, transformation and evolution of a three-dimensional space using 2D plans. The advantage of 2D/3D modelling is that past conditions, current land use and future scenarios can be presented within a unified spatial framework in a way that is readily interpretable even for a lay audience. At the landscape and regional scale, several national-level GIS databases are available and can be used to produce visual models. While no dedicated 3D landscape modelling tool exists as such, the combination of various tools and databases, together with advances in hardware and software environments, is making these modelling methods increasingly accessible to smaller landscape architecture practices and individual designers. The emergence of artificial intelligence (AI) applications and their integration into design software may trigger a new digital revolution in landscape architectural design.

Keywords: 3D modelling, landscape visualisation, landuse change, GIS, CAD, rendering

INTRODUCTION

In his well-known novel *Brave New World,* published in 1932 (Huxley 1932/2008), Aldous Huxley outlines a future dystopian world in which there are no problems and everything unfolds in an optimal manner. With the advent of social media, virtual reality (VR) and artificial intelligence (AI), this “brave new world” has crept almost imperceptibly into our everyday lives — and thus also into landscape architectural design. New design tools are appearing one after another, enabling us to render our ideas with lifelike realism and even to “build” VR worlds ourselves. In these worlds, plants are always green, always in bloom, always picture-perfect. GIS, CAD, 3D and AI modelling tools play an increasingly important role in this photorealistic representation. They make it possible to present changes in a complex, illustrative and integrated manner, not only at the local level but also at the landscape scale, opening up new possibilities for the visualisation of landscape architectural designs.

3D representation has always been of particular significance in architectural and landscape architectural design, since it is virtually impossible to convey the transformation and evolution of a three-dimensional space through two-dimensional plans. The most important advantage of 3D models lies in the realistic depiction of the relationship between terrain and land cover. Whereas 2D plans can only indicate elevation conditions by means of contour lines or shading, in a 3D environment the spatial relationships of slopes, valleys, plateaus and elevations can be directly perceived. Building heights, mass proportions, as well as the visual impact of interventions and their integration into the landscape, can only be interpreted on 2D maps to a limited extent. 3D modelling, by contrast, enables the spatial comparison and analysis of different development alternatives. In landscape-scale planning, the analysis and visual presentation of such impacts is particularly important (Appleton et al., 2002; Lovett et al., 2015), as the effects often extend over larger areas. The representation of built elements and infrastructure facilities likewise becomes more accurate in a three-dimensional environment (Appleton et al., 2002).

Owing to the multidimensional nature of landscape systems — in which natural conditions, human interventions and temporal changes jointly shape the environment — purely textual or numerical descriptions are in most cases no longer sufficient for a comprehensive understanding of the underlying processes. Visual representation bridges the gap between professional analysis, planning and practical decision-making. Visualisation has become one of the key tools of landscape architectural design, enabling complex spatial processes and interrelationships to be presented in an accessible and integrated way. The application of state-of-the-art 3D visualisation tools contributes to the development of a more sustainable, landscape-sensitive planning practice. In addition, 3D visualisation plays a prominent role in communication and stakeholder engagement. In public consultations, participatory planning processes and interdisciplinary collaboration, clearly interpretable visual representations reduce information gaps and can support transparent decision-making.

The representation of landscape is increasingly featured in legislation, standards and professional guidelines. According to the Hungarian EIA Regulation (Government Decree 14/2005 (XII. 25.)), the assessment of anticipated environmental impacts must also include an

a különböző fejlesztési változatok térbeli összehasonlítását, elemzését. A táji léptékű tervezésben különösen fontos ezeknek a hatásoknak az elemzése, vizuális megjelenítése alapvető, jelentős (Appleton et al. 2002; Lovett et al. 2015), ahol a hatások gyakran nagyobb területre terjednek ki. Az épített elemek és infrastruktúra létesítmények megjelenítése szintén pontosabbá válik háromdimenziós környezetben (Appleton et al. 2002).

A táji rendszerek többdimenziós jellegéből adódóan – ahol a természeti adottságok, az emberi beavatkozások és az időbeli változások együttesen alakítják a környezetet – a pusztán szöveges vagy numerikus leírások legtöbbször már nem elegendőek a folyamatok átfogó értelmezéséhez. A vizuális megjelenítés hidat képez a szakmai elemzés, a tervezés és a gyakorlati döntéshozatal között. A vizualizáció a tájépítészeti tervezés egyik kulcsfontosságú eszközévé vált, lehetővé teszi a komplex térbeli folyamatok és összefüggések közérthető és integrált megjelenítését. A korszerű 3D vizualizációs eszközök alkalmazása hozzájárul a fenntarthatóbb, tájérzékeny tervezési gyakorlat kialakításához. A 3D vizualizáció emellett kiemelt szerepet játszik a kommunikációban és az érintettek bevonásában is. A lakossági egyeztetések, partnerségi tervezési folyamatok és a szakmaközi együttműködések során a jól értelmezhető vizuális megjelenítések csökkentik az információhiányt és hozzájárulhatnak a transzparens döntéshozatalhoz.

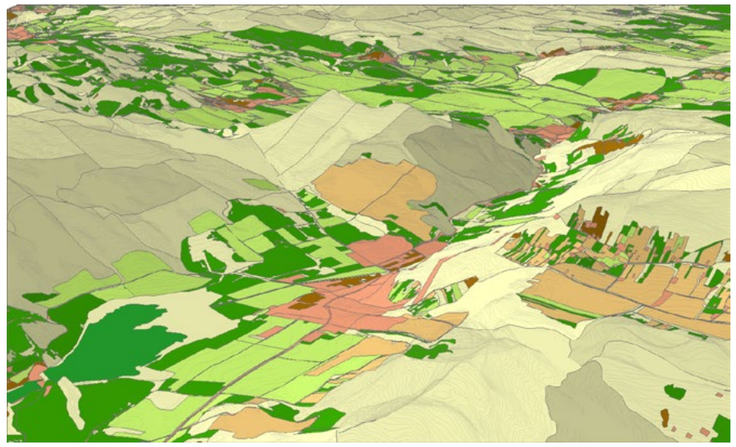
A tájkép megjelenítése egyre több jogszabályban, szabványban vagy szakmai ajánlásban is megjelenik. A KHV rendelet (14/2005. (XII. 25.) Korm.) szerint a várható környezeti hatások értékeléséhez a tájképre, tájhasználatra, a tájszerkezetre, a tájjellegre gyakorolt hatást is becsülni kell (14/2005. Korm. rendelet). Az épületek, az építmények tájba illesztése védett természeti területen (MSZ 20376-1) vagy a „Tájvédelem – A tájba illesztést igazoló dokumentáció műszaki követelményei" (MSZ 20378) szabványok már konkrétan nevesítik a számítógépes ábrázolást: „ a számítógéppel készült látványterv lehetőséget ad az időbeli változás (napi, évszakos vagy többéves távlatok, ütemezett megvalósítás) és a térbeli megjelenés animált bemutatására" (MSZ 20376; MSZ 20378).

KUTATÁSI CÉLOK

A 3D modellezés a CAD-CAM vagy az építészeti tervezés területén már elterjedt napi gyakorlat, de a tájépítészeti tervezésben csak a modellező eszközök, a szoftverek és a nagyobb teljesítményű hardver eszközök elterjedésével vált lehetővé bonyolult, részletgazdag táji modellek készítése. A domborzatot, az épített elemeket és a nagy mennyiségű növényzetet egyaránt megjelenítő modellező eszközök elterjedése csak az utóbbi években figyelhető meg. A számítógépes játékok fejlődése és elterjedése azonban robbanásszerű fejlődést hozott ezen a területen, ami drasztikusan befolyásolta a tájépítészeti 3D modellezési lehetőségeket is. A kutatás során arra szerettünk volna választ kapni, hogy a rendelkezésre álló térinformatikai adatbázisok és modellező eszközök mennyire alkalmasak nagyobb kiterjedésű (táji léptékű) modellek megjelenítésére. Kérdés volt az is, hogy térinformatikai adatbázisok elterjedésével, gyakran ingyenessé válásával mennyire alkalmasak ezek az adatbázisok 3D tájképmodellek készítésére. Az országos lefedettségű adatbázisok használhatók e térségi, lokális tájképi modellek készítésére? Szerettünk volna választ kapni arra is, hogy a mai technikai színvonalon egy átlagos tájépítészeti iroda felszereltsége mennyire alkalmas ilyen modellek készítésére? Kifejezetten érdekelt minket, hogy a napi gyakorlatban használt, elterjedt térinformatikai adatbázisokból milyen technológiával, módszerekkel lehet látványtervet generálni. Szerettük volna feltárni a különböző szoftverek alkalmazási lehetőségeit, megjelenítési korlátait, különös figyelemmel az ár/érték arányra. Az egyre terjedő mesterséges intelligencia (AI) kiegészítő alkalmazási, integrálási lehetőségei újabb lehetőséget jelentettek. „Puding próbája az evés" tartja az angol közmondás, ezért két konkrét elemzési területen egy több négyzetkilométeres nagyságú térségben, tízezres nagyságrendű növény valósághű megjelenítését céloztuk meg.

VIZUALIZÁCIÓS ESZKÖZÖK, CAD ÉS GIS SZOFTVEREK

A 3D modellezésben a célok szerint többféle megközelítés létezik. A CAD alapú építészeti modellek a geometriai pontosságra, az anyagok, fények kifinomult, valósághű ábrázolására helyezik a hangsúlyt. A térinformatikai alapú modellek elsősorban a települési vagy térségi, de kevésbé részletgazdag, inkább elemzési eredményeket bemutató alkalmazásokat jelentenek. A fotorealisztikus ábrázolás utóbbi esetben ritkán elvárás. Az épületek inkább csak tömegükkel jelennek meg. A videójátékok viszont elsősorban a gyorsaságot, az interaktív modellezést és a valósághű megjelenítést helyezik előtérbe, de nem igazán mérnöki tervező rendszerek.



1. ábra/Fig. 1: Egyszerű 3D terepmodell területhasználatokkal és szintvonalakkal / *Simple 3D terrain model with land use categories and contour lines*
FORRÁS/*SOURCE:* SAJÁT SZERKESZTÉS / *AUTHORS' OWN WORK*

estimation of the effects on landscape character, land use, landscape structure and landscape identity (14/2005. Korm. rendelet). The standards on the integration of buildings and structures into protected natural areas (MSZ 20376-1) and on "Landscape protection – Technical requirements for documentation verifying landscape integration" (MSZ 20378) already specifically mention computer-generated representation: "computer-generated visualisations make it possible to present temporal changes (daily, seasonal or multi-year perspectives, phased implementation) and spatial appearance in an animated form" (MSZ 20376; MSZ 20378).

RESEARCH OBJECTIVES

3D modelling is already well established as a day-to-day practice in CAD-CAM and architectural design, but in landscape architectural design, the creation of complex, richly detailed landscape models has only become feasible with the spread of modelling tools, software and higher-performance hardware. One development that has only been observed in recent years is the proliferation of modelling tools capable of jointly representing terrain, built elements and large quantities of vegetation. The evolution and widespread adoption of computer games has brought about explosive progress in this field, which has in turn drastically influenced the possibilities of 3D modelling in landscape architecture. The aim of our research was to determine to what extent the available GIS databases and modelling tools are suitable for producing models of larger (landscape-scale) areas. A further question was whether, given the proliferation of GIS databases — many of which have become freely available — such databases are suitable for the creation of 3D landscape models. Can nationally available datasets be used to produce regional or local landscape models? We also sought to answer the question of how well the equipment of an average landscape architecture practice, at today's technological level, is suited to producing such models. We were particularly interested in which techniques and methods can be used to generate visualisations from the GIS databases commonly employed in everyday practice. We aimed to explore the application possibilities and representational limitations of various software packages, with particular attention to the price-to-value ratio. The increasingly widespread options for the complementary use and integration of artificial intelligence (AI) offered further new possibilities. As the English proverb has it, "the proof of the pudding is in the eating"; we therefore set out, across two specific study areas covering several square kilometres, to achieve the photorealistic representation of tens of thousands of plants.

VISUALISATION TOOLS, CAD AND GIS SOFTWARE

In 3D modelling, several approaches can be taken depending on the intended purpose. CAD-based architectural models place the emphasis on geometric accuracy and on the sophisticated, photorealistic rendering of materials and lighting. GIS-based models are primarily settlement- or regional-scale applications that are less detail-rich and are rather aimed at presenting analytical results. Photorealistic rendering is rarely a requirement in the latter case, and buildings tend to appear merely as volumes. Video games, by contrast, prioritise speed, interactive modelling and lifelike visualisation, but they are not really engineering design systems.

GIS-based 3D representation is the most important and most widely used approach in landscape-scale modelling, as it builds directly on the results of GIS analyses and enables their spatial visualisation within an integrated



2. ábra/Fig. 2: A fővárosi szabályozási övezetek és az OSM Building térkép megjelenítése ArcGIS Pro környezetben szintvonalakkal / *Display of the Budapest zoning districts and the OSM Buildings map in an ArcGIS Pro environment with contour lines*
FORRÁS/*SOURCE:* SAJÁT SZERKESZTÉS / *AUTHORS' OWN WORK*

A GIS-alapú 3D megjelenítés a táji léptékű modellezés legfontosabb és legszélesebb körben alkalmazott megközelítése, mivel közvetlenül épít a térinformatikai elemzések eredményeire, és integrált környezetben teszi lehetővé azok térbeli vizualizációját. Ez a módszer különösen alkalmas a tematikus információk, a tájhasználati változások bemutatására, mivel a geometriai megjelenítés és az attribútum-alapú elemzés egységes rendszerben valósul meg.

A GIS-környezetben létrehozott 3D modellek alapját jellemzően digitális domborzatmodellek (DTM, DSM), valamint vektoros és raszteres téradatok képezik (1. ábra). A felszínborítási kategóriák, a tájhasználati egységek, az infrastruktúra-elemek és a beépített területek különböző magassági értékekkel és vizuális tulajdonságokkal rendelhetők a domborzati alaphoz. Ez lehetővé teszi a táj szerkezetének térbeli értelmezését, valamint az egyes elemek egymáshoz viszonyított helyzetének vizsgálatát.

A GIS-alapú 3D megjelenítés egyik fő előnye a térbeli elemzések és a 3D vizualizáció szoros kapcsolata. A lejtés-, a kitettség-, a láthatósági és a benapozottsági vizsgálatok közvetlenül megjeleníthetők háromdimenziós környezetben, amelyek elősegítik az elemzések eredményeinek intuitív értelmezését. Táji léptékben különösen hasznos a tájképi hatásvizsgálatok, az infrastruktúra-fejlesztések vizuális következményeinek, valamint az alternatív tájhasználati forgatókönyvek összehasonlítása során.

A módszer további előnye az adatkonzisztencia és reprodukálhatóság, mivel a GIS-alapú 3D modellek jellemzően szabványos adatstruktúrákra és dokumentált feldolgozási lépésekre épülnek. A modellek frissítése új adatok bevonásával lehetővé teszi az idősoros elemzések elvégzését, ami a tájhasználati változások hosszú távú vizsgálatában kiemelt jelentőségű.

A GIS-alapú 3D megjelenítésnek vannak korlátjai is. A vizuális részletesség és a fotorealisztikus megjelenítés általában elmarad a kifejezetten vizualizációs vagy grafikai szoftverek lehetőségeitől. Táji léptékben azonban ez gyakran nem jelent hátrányt, mivel a hangsúly az elemző értelmezésen, a műszaki jellegű megközelítésen és a térbeli összefüggések bemutatásán, nem pedig a látványtervi pontosságon van.

VÁROSI–TÁJI LÉPTÉKŰ VIZUALIZÁCIÓS PLATFORMOK

A városi–tájléptékű vizualizációs platformok (ArcGIS Pro, City Engine, SketchUp) a 3D modellezés azon eszközcsoportját képviselik, amelyek elsődleges célja a térbeli struktúrák szemléletes interaktív megjelenítése (2. ábra) (ArcGIS Pro ArcGIS CityEngine Rhino3D). Ezek a platformok rendszerint a GIS-alapú elemzések eredményeit jelenítik meg, de nagyobb pontosságot biztosítanak az adatok bemutatására, a forgatókönyv-alapú modellezésre, és kisebb hangsúlyt fektetnek a vizuális megjelenítésre. A platformok különösen alkalmasak a területhasználati változások kommunikációjára és összehasonlító elemzések bemutatására, de szintén kevésbé alkalmasak valósághű megjelenítésre.

environment. This method is particularly well suited to presenting thematic information and land use changes, since geometric representation and attribute-based analysis are carried out within a single unified system.

3D models created in a GIS environment are typically based on digital terrain and surface models (DTM, DSM), along with vector and raster spatial data (Figure 1). Land cover categories, land use units, infrastructure elements and built-up areas can be assigned to the terrain base with varying elevation values and visual properties. This makes it possible to interpret the structure of the landscape spatially and to examine the relative positions of individual elements.

One of the main advantages of GIS-based 3D representation is the close link between spatial analysis and 3D visualisation. Slope, aspect, viewshed and solar exposure analyses can be displayed directly in a three-dimensional environment, facilitating the intuitive interpretation of the results. At the landscape scale, this is particularly useful for landscape impact assessments, for the visual implications of infrastructure developments, and for comparing alternative land use scenarios.

A further advantage of the method is its data consistency and reproducibility, since GIS-based 3D models typically rely on standardised data structures and documented processing workflows. Updating the models with new data enables time-series analyses to be carried out, which is of particular importance in the long-term study of land use change.

GIS-based 3D representation also has its limitations. Visual detail and photorealism generally lag behind what can be achieved with dedicated visualisation or graphics software. At the landscape scale, however, this is often not a drawback, as the emphasis is on analytical interpretation, a technically oriented approach and the presentation of spatial relationships, rather than on the accuracy of a rendered visualisation.

URBAN AND LANDSCAPE-SCALE VISUALISATION PLATFORMS

Urban and landscape-scale visualisation platforms (ArcGIS Pro, City Engine, SketchUp) represent the group of 3D modelling tools whose primary purpose is the illustrative, interactive presentation of spatial structures (Figure 2) (ArcGIS Pro ArcGIS CityEngine, Rhino3D). These platforms typically display the results of GIS-based analyses, but they offer greater precision in the presentation of data and in scenario-based modelling, while placing less emphasis on visual rendering. The platforms are particularly suitable for communicating land use changes and for presenting comparative analyses, but they are likewise less well suited to photorealistic representation.

One of the most frequently used tools in urban and landscape-scale visualisation is parametric modelling, which enables the generation of built-up and land use elements based on a unified set of rules. Such solutions are offered, for example, by platforms specialising in urban modelling, where different development alternatives can be produced quickly by varying building heights, built-up density or the proportion of green space. At the landscape scale, this approach is particularly useful when examining strategic interventions affecting larger areas.

Graphics and 3D modelling software — such as Blender (Blender) or SketchUp (SketchUp) — already offer greater freedom in geometric editing and visual rendering. These tools allow for the more detailed modelling of landscape elements, structures and land cover patterns, as well as for the more accurate presentation of visual relationships and landscape impacts. At the landscape scale, however, they are typically applied using simplified geometry in order to keep the models manageable and interpretable. Even for smaller areas, models frequently exceed the physical limits of the hardware, especially when larger quantities of vegetation are placed within the model. The resulting visualisation often provides an idealised, schematic picture of the landscape or settlement. The effective use of urban and landscape-scale visualisation platforms in design is therefore primarily advisable when they are closely linked to GIS-based analyses and data sources, and when photorealistic rendering is not required.

REAL-TIME AND INTERACTIVE VISUALISATIONS

Real-time, interactive visualisation tools (Lumion, Unreal Engine, Twinmotion, D5) represent the most dynamically developing field of landscape-scale 3D modelling, as they make it possible both to examine the spatial and temporal processes of land use change instantly and under user control, and to deliver photorealistic rendering (D5 Render; Lumion; Twinmotion; Unreal Engine). Real-time visualisers go beyond the framework of static CAD and GIS visualisation and create a digital environment in which the various states of a landscape can be compared and interpreted in real time and with a high degree of





◂◂3. ábra/Fig. 3: 3D generált látványterv az alcsúti kastélykert XIX. század végi állapota szerint / *3D-generated visualisation of the Alcsút castle garden in its late 19th-century condition*
FORRÁS/*SOURCE:* SAJÁT SZERKESZTÉS / *AUTHORS' OWN WORK*

4. ábra/Fig. 4: Látványterv a Dörögdi-medence gyepes területeinek modellezésére, háttérben a Kerek-erdővel / *Conceptual design for modelling the grassy areas of the Dörögdi Basin, with the Kerek Forest in the background*
FORRÁS/*SOURCE:* SAJÁT SZERKESZTÉS / *AUTHORS' OWN WORK*

A városi–tájléptékű vizualizáció egyik leggyakrabban alkalmazott eszköze a parametrikus modellezés, amely lehetővé teszi az egységes szabályrendszer alapján generált beépítési és tájhasználati elemek létrehozását. Ilyen megoldásokat kínálnak például a városmodellezésre specializált platformok, ahol az épületmagasságok, a beépítési sűrűség vagy a zöldfelületi arány változtatásával különböző fejlesztési változatok gyorsan előállíthatók. Táji léptékben ez a megközelítés különösen hasznos a nagyobb területet érintő, stratégiai jellegű beavatkozások vizsgálatakor.

A grafikai és 3D modellező szoftverek – mint például a Blender (Blender) vagy a SketchUp (SketchUp) – már nagyobb szabadságot kínálnak a geometriai szerkesztések és a vizuális megjelenítés terén is. Az eszközök lehetővé teszik a részletesebb tájelemek, építmények és felszínborítási struktúrák modellezését, valamint a látványkapcsolatok és tájképi hatások pontosabb bemutatását. Táji léptékben azonban alkalmazásuk jellemzően – egyszerűsített geometriával történik, azért, hogy a modellek még kezelhetőek és értelmezhetők maradjanak. A modellek már kisebb terület esetén is gyakran meghaladják a hardverek fizikai korlátjait, különösen akkor ha nagyobb mennyiségű növényt helyezünk a modellbe. A vizualizáció gyakran idealizált, sematikus képet nyújt a tájról, településről. A városi–táji léptékű vizualizációs platformok hatékony alkalmazása a tervezésben elsősorban akkor javasolható, ha szoros kapcsolatban áll a GIS-alapú elemzésekkel és adatforrásokkal, és nincs szükség fotorealisztikus megjelenítésre.

VALÓS IDEJŰ ÉS INTERAKTÍV MEGJELENÍTÉSEK

A valós idejű, interaktív megjelenítések (Lumion, Unreal Engine, Twinmotion, D5) a táji léptékű 3D modellezés legdinamikusabban fejlődő területét képviselik, mivel egyrészt lehetőséget adnak a tájhasználati változások térbeli és időbeli folyamatainak azonnali, felhasználóvezérelt vizsgálatára, másrészt fotorealisztikus megjelenítést biztosítanak (D5 Render; Lumion; Twinmotion; Unreal Engine). A valós idejű megjelenítők már túllépnek a statikus CAD, GIS vizualizáció keretein és olyan digitális környezetet hoznak létre, amelyben a táj különböző állapotai valós időben, valósághűen összehasonlíthatók és értelmezhetők. A renderelő (megjelenítő) szoftverek alapját a játék- és a szimulációs motorokra (Unreal Engine) épülő platformok adják. A játékprogramokhoz hasonlóan ezek az eszközök képesek már nagy kiterjedésű területek, illetve hatalmas mennyiségű objektum folyamatos, interaktív és valósághű megjelenítésére. A platformok lehetővé teszik a szabad nézőpontváltást, a domborzat és a tájelemek bejárását, a különböző tájhasználati forgatókönyvek közötti gyors váltást, az évszakok megjelenítését és különösen a nagymennyiségű 3D növénymodell alkalmazását. Táji léptékben ez különösen előnyös a térbeli összefüggések, és a látványkapcsolatok elemzése szempontjából.

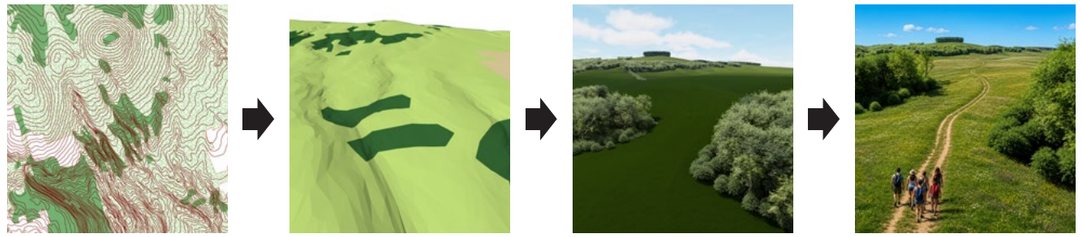
Az interaktivitás egyik legfontosabb hozadéka, hogy a döntéshozók, a tervezők és az érintettek már nem csupán passzív szemlélői a modelleknek, hanem aktív módon vizsgálhatják a beavatkozások hatásait, például az realism. The underlying basis of these rendering engines is provided by platforms built on game and simulation engines (Unreal Engine). Much like computer games, these tools are capable of continuously, interactively and realistically displaying large areas and vast quantities of objects. The platforms allow for free changes of viewpoint, for navigation across the terrain and landscape elements, for rapid switching between different land use scenarios, for the representation of the seasons, and, in particular, for the use of large numbers of 3D plant models. At the landscape scale, this is especially advantageous for analysing spatial relationships and visual connections.

One of the most important benefits of interactivity is that decision-makers, designers and stakeholders are no longer mere passive observers of the models, but can actively investigate the effects of interventions — for instance, by modifying building heights, green space ratios or infrastructure elements. Increasingly widespread virtual reality (VR) devices already make it possible not only to "look at" the models, but also to "walk through" the landscape. This approach is particularly effective in presenting complex, multi-variable decision-making situations. A further advantage of real-time systems is the dynamic depiction of temporal processes and changes (historical periods, seasons, times of day, weather conditions and so on). Time-series data, simulated trajectories of development and future scenarios can also be presented in animated form, which further aids the understanding of land use trends and their consequences. This capability can be particularly relevant in landscape restoration tasks, in exploring future conditions, and in visualising the impacts of climate change adaptation strategies and long-term development concepts.

The application of real-time and interactive visualisations entails significant technical and methodological challenges. The handling of large volumes of data, the provision of adequate performance and the simplification of models are all essential if such systems are to be usable at the landscape scale. It is important to strike a balance between visualisation and analysis, as a visually-oriented approach does not in itself guarantee the professional soundness of GIS analyses; indeed, it can often conceal their errors.

GIS DATABASES USED FOR MODELLING

A key objective of the research was to test those nationally available GIS databases that can form the basis of landscape-scale models. If successfully applied, such databases would allow land use-based visualisations to be produced for any part of the country. For regional-scale modelling, the terrain (elevation) data, the land use polygons and the CAD models of built elements must each be provided separately as input. The terrain base (at the landscape scale) is entirely adequately supplied by the freely available EuroDEM digital terrain model (EuroDEM). The 20×20 m raster dataset was used after being converted into contour lines. From the contours, we



GIS alapadatok
(QGIS, ArcGIS, dtm, területhaszn., OSM)

CAD és GIS adatok integrálása
(SketchUp, Rhino, Vectorworks, Blender)

Megjelenítés 3D renderelőben
(Lumion, D5, Twinmotion)

Képek javítása mesterséges intelligenciával
(Adobe FireFly, ChatGPT)

épületmagasságok, a zöldfelületi arányok vagy az infrastruktúra-elemek módosításával. A terjedő VirtualReality (VR) eszközök pedig már most is lehetővé teszik, hogy ne csak „nézzük" a modelleket, hanem „járjunk" is a tájban. A megközelítés különösen hatékony a komplex, többváltozós döntési helyzetek bemutatásában. A valós idejű rendszerek előnye az időbeli folyamatok, változások (történeti korok, évszakok, napszakok, időjárás stb.) dinamikus ábrázolása. Az idősoros adatok, a szimulált fejlődési pályák vagy jövőbeli szcenáriók animált formában is megjeleníthetők, ami tovább segíti a tájhasználati trendek és következmények megértését. A funkció a tájrestaurációs feladatokban, a jövőbeni állapotok feltárásában, a klímaváltozással összefüggő alkalmazkodási stratégiák és a hosszú távú fejlesztési koncepciók hatásainak megjelenítésében is különösen releváns lehet.

A valós idejű és interaktív megjelenítések alkalmazása jelentős technikai és módszertani kihívásokkal jár. A nagy mennyiségű adat kezelése, a megfelelő teljesítmény biztosítása és a modellek egyszerűsítése elengedhetetlen ahhoz, hogy a rendszerek táji léptékben is használhatóak legyenek. Fontos a vizualizáció és az elemzés közötti egyensúly megteremtése, mivel a látványcentrikus megközelítés önmagában nem biztosítja a térinformatikai elemzések szakmai megalapozottságát, sőt sokszor elfedheti a hibákat is.

MODELLEZÉSHEZ ALKALMAZOTT TÉRINFORMATIKAI ADATBÁZISOK

A kutatás egyik fő célja, hogy tesztelje azokat az országos léptékű térinformatikai adatbázisokat, amelyek alapját képezhetik a táji léptékű modelleknek. Sikeres alkalmazás esetében ugyanis az ország bármely részére készíthetők tájhasználati alapú látványtervek. A térségi léptékű modellezéshez külön-külön szükséges biztosítani bemeneti adatként a domborzati (magassági) adatokat, a területhasználatok foltjait és az épített elemek CAD modelljeit. A domborzati alapot (táji léptékben) teljesen megfelelő módon biztosítja az EuroDEM szabadon felhasználható terepmodell (EuroDEM). A 20×20 m-es raszteres adatmodell szintvonalakká átalakítva került felhasználásra. A szintvonalakból háromszöghálós terepmodell készült, amelyet már a renderelő programok is kezelni tudtak. A területhasználatok megjelenítésére a földhivatali vektoros földrészlethatáros felszínborítási térképét, illetve az aktuális területhasználattal frissített CORINE CLC50 területhasználat-térképet teszteltük. A 3D renderelő szoftverek alapkövetelménye, hogy a megjelenítendő felületek polygonokként legyenek értelmezhetők, ezért a raszteres területhasználati térképeket vektorizálni szükséges a használat előtt (NÖSZTÉP, NHRL). A területhasználatok foltjai adják meg a renderelő programban a 3D növénymodellek „helyét". Az épületek alaprajzai a szabad felhasználású OpenStreeMap (OSM) adatbázisból származtak.

MÓDSZER, TECHNIKAI HÁTTÉR

Jelenleg sajnos még nem áll rendelkezésre olyan komplex térinformatikai vagy CAD szoftver, amely egyetlen programba integrálva képes lenne GIS adatok alapján fotorealisztikus 3D táji modellek előállítására. Az adatokat ezért több lépésben elő kell készíteni, átalakítani, megfelelő formátumra hozni a megjelenítő programban történő látvány generáláshoz. A szoftverek több objektum, elem (domborzat, növényzet, objektumok, anyagmintázatok, felhő stb.) kombinálásával állítják össze azt a modellt, amely végül a perspektíva és a fényviszonyok beállításai után fotorealisztikus képként áll elő. A térinformatikai adatok feldolgozásának munkafolyamata ezért mindig több lépcsőből áll. Térinformatikai rendszerekben (de a CAD rendszerekben is) az információkat mindig rétegeken tároljuk. Térinformatikai rendszereknél ezen felül még vetületi problémákkal is számolnunk kell, hiszen a rétegek különböző koordinátarendszerűek is lehetnek (EOV, WGS84 stb.). A renderelő szoftverek csak koordinátákat tudnak kezelni, vetületi rendszereket nem. A közös vetületi rendszer és az origóhoz történő illesztés ezért kulcsfontosságú a különböző tematikus rétegek átalakításakor. Mivel a renderelő programok rendszerint nem ismerik a GIS formátumokat, ezért a munkafolyamat első lépése, hogy CAD szoftverbe konvertáljuk át a grafikai állományokat (AutoCAD, Blender, Vectorworks, ArchiCAD, SketchUp).



◂◂**5. ábra/Fig. 5:** A térinformatikai adatok átalakításának munkafolyamata / *Workflow for the transformation of GIS data*
FORRÁS/*SOURCE:* SAJÁT SZERKESZTÉS / *AUTHORS' OWN WORK*

6. ábra/Fig. 6: A békési mezőgazdasági táj területhasználatot mutató GIS alaptérképe / *GIS base map showing the land use of the Békés agricultural landscape*
FORRÁS/*SOURCE:* SAJÁT SZERKESZTÉS / *AUTHORS' OWN WORK*

generated a triangulated irregular network (TIN), which could already be handled by the rendering software. For the representation of land use, we tested the Hungarian Land Registry's vector-based land cover map based on cadastral parcel boundaries, as well as the CORINE CLC50 land use map updated with current land use information. A basic requirement of 3D rendering software is that the surfaces to be displayed must be interpretable as polygons; raster-based land use maps (NÖSZTÉP, NHRL) therefore need to be vectorised prior to use (NÖSZTÉP, NHRL). The land use polygons determine the "location" of the 3D plant models within the rendering software. The building footprints were obtained from the freely available OpenStreetMap (OSM) database.

METHOD AND TECHNICAL BACKGROUND

Unfortunately, at present there is no comprehensive GIS or CAD software package that, within a single integrated programme, can produce photorealistic 3D landscape models from GIS data. The data must therefore be prepared, converted and brought into the appropriate format in several steps before the visualisation can be generated in the rendering software. These programmes compose the final model by combining several objects and elements (terrain, vegetation, objects, material textures, clouds, and so on), which — after the perspective and lighting conditions have been configured — are ultimately output as a photorealistic image. The workflow for processing GIS data therefore always consists of several stages. In GIS systems (as in CAD systems), information is always stored in layers. In GIS systems, however, projection issues must also be taken into account, as the individual layers may use different coordinate systems (EOV, WGS84, etc.). Rendering software can only handle coordinates, not projection systems. Adopting a common projection system and aligning the data to the origin is therefore crucial when transforming the various thematic layers. Since rendering programmes generally do not recognise GIS formats, the first step of the workflow is to convert the graphics files into a CAD environment (AutoCAD, Blender, Vectorworks, ArchiCAD, SketchUp). In our case, this software was Vectorworks, although the widely used SketchUp, Revit (Autodesk Revit), ArchiCAD and Rhino3D (Rhino3D) would also be equally suitable solutions. These programmes generally already provide direct export options to Lumion, Twinmotion, Unity, D5 or Unreal Engine, so the models can easily be transferred to the rendering software. Within the rendering environment itself, graphical editing is limited, and any modifications must therefore always be carried out in the CAD system. For rendering, we used Lumion and D5. The memory optimisation of the latter proved to be somewhat better, which can be a significant advantage on lower-performance PCs. The advantage of Twinmotion and Unreal Engine, on the other hand, is that they are free of charge, although it takes considerably more time to master how to use them.

At the end of the process, the image based on the GIS database, optimised in the CAD system and then rendered by the visualisation software, was further modified and refined using artificial intelligence. AI (ChatGPT) is not yet able on its own to accurately produce the envisaged visualisation from a 2D GIS database; the geometric results were not correct and the output often exhibited too great a degree of freedom (ChatGPT). However, once the image had been produced with the CAD software and the rendering engine, the details could readily be modified as required, without the overall composition or perspective being rearranged. The combined use of CAD, rendering software and AI thus preserves the precision of both the CAD and the GIS level, while also affording the designer the necessary creative freedom. On images generated from pre-set perspectives, artificial intelligence further enhanced the rendered result (Figures 10 and 13).

STUDY AREAS AND LANDSCAPE ARCHITECTURAL TASK

Two study areas were selected for regional-scale modelling. The first was a lowland agricultural landscape on the Békés Plain, near the settlement of Hunya. The full area shown in Figure 6 measures approximately 27×17 km² and is predominantly used as arable land. Even on the initial





◂◂7. ábra/Fig. 7: A GIS alaptérképből 3D modellezéssel (Vectorworks) előállított látványterv (D_5 render) / *Visualisation produced from the GIS base map by 3D modelling (Vectorworks) and rendered in D_5*
FORRÁS/*SOURCE:* SAJÁT SZERKESZTÉS / *AUTHORS' OWN WORK*

◂◂8. ábra/Fig. 8: A mesterséges intelligenciával (AI) cserélt területhasználatok / *Land use types replaced using artificial intelligence (AI)*
FORRÁS/*SOURCE:* SAJÁT SZERKESZTÉS / *AUTHORS' OWN WORK*

9. ábra/Fig. 9: Mesterséges intelligenciával (AI) javított látványterv fasorok nélkül / *AI-enhanced visualisation without tree rows*
FORRÁS/*SOURCE:* SAJÁT SZERKESZTÉS / *AUTHORS' OWN WORK*

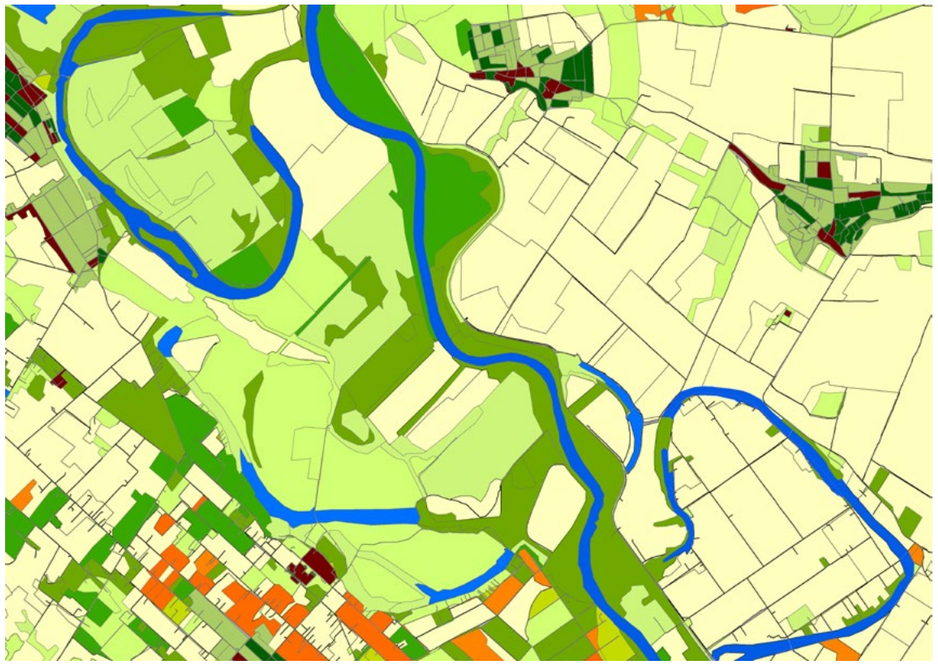
10. ábra/Fig. 10: Elképzelt középkori tájállapot a mesterséges intelligencia szemével nézve / *An imagined medieval landscape condition as seen through the eyes of artificial intelligence*
FORRÁS/*SOURCE:* AI GENERÁLT SAJÁT SZERKESZTÉS / *AI-GENERATED; AUTHORS' OWN COMPOSITION*





Esetünkben ez a szoftver a Vectorworks volt, de az elterjedt SketchUp, Revit (Autodesk Revit), ArchiCAD, Rhino3D (Rhino 3D) is hasonló jó megoldások lehetnek. A programok már általában közvetlen Lumion, Twinmotion, Unity, D5 vagy UnrealEngine kimenettel, exportálási lehetőséggel rendelkeznek, ezért a modellek könnyen konvertálhatók át a renderelő programokba. Itt a grafikai szerkesztés már korlátozott, ezért a szerkesztéseket mindig a CAD rendszerben kell megtenni. A rendereléshez a Lumion és D5 programokat használtuk. Utóbbi memória optimalizálása kicsit jobbnak bizonyult, ami a kisebb teljesítményű PC-k esetében lehet számottevő előny. A Twinmotion és az UnrealEngine renderelők előnye ugyanakkor, hogy ingyenesek, kezelésük elsajátítása viszont hosszabb időt vesz igénybe.

A térinformatikai adatbázison alapuló, CAD rendszerrel optimalizált, majd renderelővel megjelenített képet a folyamat végén még mesterséges intelligenciával módosítottuk, javítottuk. A mesterséges intelligencia (ChatGPT) önmagában még nem tudja pontosan előállítani a 2D GIS adatbázisból az elképzelt látványtervet, geometriailag nem volt helyes az eredmény és gyakran túl nagy





◂◂11. ábra/Fig. 11: A Tisza menti táj jelenlegi területhasználatát mutató GIS alaptérképe / *GIS base map showing the current land use of the landscape along the Tisza River*
FORRÁS/*SOURCE:* SAJÁT SZERKESZTÉS A CLC50 ÉS NÖSZTÉP TÉRKÉPEK ALAPJÁN / *AUTHORS' OWN WORK, BASED ON CLC50 AND NÖSZTÉP MAPS*

12. ábra/Fig. 12: A GIS alaptérképből 3D modellezéssel (Vectorworks)előállított tervezett állapot látványterve (D_5 render) / *Visualisation of the planned state produced from the GIS base map by 3D modelling (Vectorworks) and rendered in* D_5
FORRÁS/*SOURCE:* SAJÁT SZERKESZTÉS / *AUTHORS' OWN WORK*

szabadságfokkal rendelkezett (ChatGPT). A CAD és a renderelővel elkészített látvány részleteit viszont már kívánság szerint tudta módosítani, anélkül, hogy a teljes képet, perspektívát átszerkesztette volna. A CAD+Renderelő+AI programok kombinációja, együttes használata megőrzi így a CAD és a GIS szintű pontosságot, és a látványterv készítésekor biztosítja a tervezői szabadságot is. A beállított perspektívákból készült képeken a mesterséges intelligencia tovább javította a látványtervi eredményt (10, 3 ábra).

MINTATERÜLETEK ÉS TÁJÉPÍTÉSZETI FELADAT

A térségi léptékű modellezéshez két mintaterület kiválasztására került sor. Az első a **Békési-síkon Hunya település** környezetében lévő alföldi mezőgazdasági táj. A 6. ábrán megjelenő teljes terület mintegy 27×17 km² nagyságú, főként szántóterülettel hasznosított. A kiinduló alaptérképen is jól látható, hogy az intenzív mezőgazdasági hasznosítás miatt az erdősültség jelenleg rendkívül alacsony, csak 2-3 %-os. A táblák nagyon hosszúak, gyakran 800–1200 m hosszúságot is meghaladóak. A párhuzamosan futó parcellákon kevés volt a keresztirányú megszakítás. Mivel a jó minőségű szántóterületeken a magasabb erdőarány elérése szempontjából a táblák erdősítése nem jöhet szóba, ezért a fás borítottság növelésére a táblahatárokon történő mezővédő erdősávok és az útmenti fasorok telepítése jelenthet megoldást.

Számítások szerint egy 10 m széles zöldinfrastruktúra elemmel 3,9%-ra, egy 25 m szélessel (mezővédő erdősáv) már 5,1%-ra nőne a térség fásítottsága. A jelenlegi egyhangú, monokultúrás tájszerkezet a fasorok és erdősávok telepítésével megváltozik. Az átlátható, a látványt nem korlátozó 50-100 ha-os táblák helyett kisebb kazettás jellegű tájszerkezet alakul ki, amely továbbra is őrzi mezőgazdasági jellegét.

A várható látvány modellezéséhez a földhivatali felszínborítás-nyilvántartás vektoros alaptérképét használtuk, amelynek területhasználatát a NÖSZTÉP alaptérkép területhasználataival frissítettük (NÖSZTÉP). A cél egy geometriailag és területhasználatilag pontos kiinduló térkép előállítása volt. A modellezéshez további két nyilvános térkép került még felhasználásra. A domborzat a Copernicus EuroDEM digitális terepmodelljéből, a települések épített elemeinek alaprajzai az OpenStreetMap adatbázisból származtak (EuroDEM). A renderelés során

base map, it is clearly visible that, owing to the intensive agricultural use, forest cover is currently extremely low, at only 2–3%. The fields are very long, frequently exceeding 800–1200 m in length. The parallel parcels were only rarely interrupted by perpendicular features. Since, on high-quality arable land, the afforestation of the fields themselves cannot be considered as a means of increasing forest cover, the establishment of shelterbelts along field boundaries and of tree rows along roads offers a viable solution for increasing woody vegetation cover.

According to our calculations, a 10 m wide green infrastructure element would raise the woody cover of the region to 3.9%, while a 25 m wide element (a shelterbelt) would increase it to 5.1%. The present monotonous, monocultural landscape structure would be transformed by the planting of tree rows and shelterbelts. In place of the uninterrupted fields of 50–100 ha, which currently impose no limit on the view, a finer, compartmentalised landscape structure would emerge, while still retaining its agricultural character.

For modelling the anticipated visual outcome, we used the vector-based land cover map of the Hungarian Land Registry, whose land use content was updated with the land use data of the NÖSZTÉP base map (NÖSZTÉP). The aim was to produce an initial map that was accurate in terms of both geometry and land use. Two further publicly available maps were used for the modelling. The terrain was derived from the Copernicus EuroDEM digital terrain model, while the footprints of the built elements in the settlements were obtained from the OpenStreetMap database (EuroDEM). The visualisation produced during the rendering process clearly illustrates the difference between views without tree rows and those broken up by shelterbelts (Figures 7, 8 and 9).

The second study area was the Tisza region between the settlements of Bokros and Tiszasas. The modelled area covered 17×13 km². The landscape rehabilitation objective here was to convert the current agricultural areas (arable land) into grassland and wetland habitats, and to model the resulting visual appearance. For this modelling, we used not the parcel-based land cover map, but a GIS dataset representing the former CORINE CLC50 land use categories as the basis. The graphics of the map and the land use categories were updated with data from the NÖSZTÉP map in ArcGIS Desktop (NÖSZTÉP). A bottleneck in the visualisation of landscape-scale models is





13. ábra/Fig. 13: Vizes élőhely a tájrehabilitáció után (D5 render) / *Wetland habitat after landscape rehabilitation (D5 render)*
FORRÁS/*SOURCE:* SAJÁT SZERKESZTÉS / *AUTHORS' OWN WORK*

14. ábra/Fig. 14: A mesterséges intelligenciával modellezett tájrehabilitáció előtti látvány / *View of the landscape prior to rehabilitation as modelled with artificial intelligence*
FORRÁS/*SOURCE:* SAJÁT SZERKESZTÉS / *AUTHORS' OWN WORK*

that they may contain an extremely large number of plant models. Beyond a certain point, this makes moving, editing and displaying the model almost impossible. During the analysis, we examined how large a quantity of vegetation could still be handled by the software on a computer equipped with 16 GB of video memory (a GeForce RTX 5080 graphics card). Both the Lumion and D5 rendering engines handled the 50,000–60,000 placed 3D plant models without any lag. This quantity is more than sufficient to present a 20–30 km² area with dense vegetation. Experience with the rendered images suggests that even this is often unnecessary, since beyond a viewing distance of 2.5–3 km, the plants no longer appear individually but only as masses.

RESULTS AND OUTLOOK

The research has demonstrated that once suitably processed, GIS-based databases are well suited to serving as the basis for 3D landscape-scale models. The majority of the vector-based maps with nationwide coverage (land registry, CORINE, MEPAR, OSM) lend themselves to the production of compelling visual models. Data originating from different sources can be combined effectively within 3D visualisation software. With an appropriately designed technological workflow, virtually any GIS data can be used to produce regional or landscape-scale visual models. The modelling has also shown that although 3D models can be produced for physical areas of 20–30 km² in size, 2.5–3 km is the distance — the "visible range" — within which it is both worthwhile and feasible to create detail-rich 3D models. Beyond this distance, the details of the "view" are no longer distinguishable and the elements appear merely as contours or silhouettes.

The 3D environment is suitable for depicting past, present and future conditions. By integrating digital terrain and surface models (DTM, DSM), orthophotos, satellite imagery and GIS data, different land use scenarios (urban expansion, green infrastructure development or landscape rehabilitation) can be modelled and visually compared. Time-series visualisation aids the understanding of the dynamics of the processes and their long-term consequences. The modelling is suitable for presenting both historical conditions and current land use and landscape character. The resulting visual model contributes to a better understanding of past conditions and to the credible presentation of plans and future states. It is important to emphasise that the modelling must be carried out in the most authentic manner possible, and that content generated purely by AI should be kept to a minimum.

A single software package is not sufficient for this kind of modelling. The GIS-based database must first be converted into a CAD-based model, which can then be handled as 3D graphics in the modelling software.

GIS data managed in a real-world coordinate system (EOV, WGS 84, etc.) "lose" their GIS character once converted, and it becomes more difficult at later stages to handle them in a coordinate-correct manner. The deliberate design of the technological sequence is therefore of fundamental importance. The graphics of the base map, the cleaning of the dataset and the terrain model (DTM) should all be brought into the appropriate format within the GIS environment itself.

Today, the software and hardware environment of an average landscape architecture practice is already capable of modelling larger areas, although 40,000–50,000 graphical objects still represent a physical limit in modelling. The software is becoming increasingly user-friendly; while mastering it remains time-consuming, a growing number of educational institutions now offer training courses of this kind in 3D modelling. The use of artificial intelligence can significantly enhance the end result, but AI use on its own is not sufficient — it needs to be combined with GIS, CAD and rendering tools. ⦿

This paper is the edited version of a presentation given at the 14th Scientific Conference on Landscape History (Pécs, 5–6 February 2026).

This work is licensed under Creative Commons 4.0 standard licenc: CC-BY-NC-ND-4.0.

előállt látvány jól mutatja a fasor nélküli és a mezővédő erdősávval tagolt látványok közötti különbséget (7., 8., 9., ábrák).

A második mintaterület a **Bokros és Tiszasas** települések közötti Tisza térség. A modellezett terület nagysága 17×13 km² volt. A tájrehabilitációs cél itt a jelenlegi mezőgazdasági területek (szántók) gyepes, vizenyős területekké történő visszaalakítása, illetve látványának modellezése volt. A modellezéshez itt nem a földrészlet-határos felszínborítási térkép, hanem az egykori Corine CLC50 területhasználatokat bemutató térinformatikai állomány képezte az alapot. A térkép grafikáját, a területhasználatokat a NÖSZTÉP térkép adataival frissítettük az ArcGIS Desktop programban (NÖSZTÉP). A táji léptékű modellek megjelenítési szűk keresztmetszete, hogy rendkívül sok növénymodellt tartalmazhatnak. Egy idő után ez szinte lehetetlenné teszi a modell mozgatását, a szerkesztést, a megjelenítést. Az elemzés során vizsgálatra került, hogy mekkora az a növénymennyiség, amelyet még kezelni tud a program egy 16 Gb videómemóriával rendelkező (GeoForce RTX 5080 videó kártya) számítógépen. A Lumion és a D5 renderelő programok egyaránt fennakadás nélkül kezelték az elhelyezett 50-60 ezer 3D növénymodellt. Ez a mennyiség már bőven elegendő ahhoz, hogy egy 20-30 km²-es területet intenzív növényzettel jelenítsünk meg. A renderelt képek tapasztalata szerint sokszor már erre sincs szüksége, mert egy 2,5-3 km-es látótér távolság után már nem egyedileg, inkább csak tömegükkel jelennek meg a növények.

EREDMÉNYEK, KITEKINTÉS

A kutatás bizonyította, hogy a térinformatikai alapú adatbázisok alkalmasak arra, hogy megfelelő feldolgozás után alapját képezzék 3D táji léptékű modelleknek. Az országos lefedettségű vektoros térképek nagy részéből (ingatlannyilvántartás, Corine, MEPAR, OSM) látványos vizuális modellek készíthetők. A különböző forrásból származó adatok jól kombinálhatók a 3D megjelenítő programokban. Megfelelő technológiai sor kialakításával gyakorlatilag bármilyen térinformatikai adatból lehet térségi, táji léptékű vizuális modellt előállítani. A modellezés bizonyította, hogy bár 20-30 km²-es nagyságú fizikai területekről is készíthetők 3D modellek, de 2,5-3 km az a távolság, az a „belátható terület", amelyen belül érdemes és lehetséges részletgazdag 3D modelleket készíteni. A „látvány" részletei ezen túl már nem megkülönböztethetők, inkább csak kontúrként, sziluettként jelennek meg.)

A 3D környezet alkalmas múltbeli, jelenlegi és jövőbeli állapotok megjelenítésére. A digitális domborzatmodellek (DTM, DSM), az ortofotók, a műholdfelvételek és a GIS-adatok integrálásával különböző tájhasználati forgatókönyvek (urbanizációs terjeszkedés, zöldinfrastruktúra-fejlesztés vagy tájrehabilitáció) modellezhetők és vizuálisan összehasonlíthatók. Az idősoros vizualizáció segíti a folyamatok dinamikájának és a hosszú távú következményeknek a megértését. A modellezés alkalmas mind történeti állapotok, mind a jelenlegi területhasználat, tájkép modellezésére. Az elkészült vizuális modell elősegíti a múltbeli állapot megértését és hozzájárul a tervek, a jövőbeni állapotok hiteles bemutatásához. Fontos hangsúlyozni, hogy a modellezésnek a leghitelesebb módon kell történnie, minimálisra kell szorítani a csak az AI által előállított tartalmakat.

A modellezéshez nem elég egyetlen szoftver. A GIS alapú adatbázist CAD alapú modellé kell átalakítani, amelyet utána már modellező szoftverrel 3D grafikaként is lehet kezelni.

A valós koordinátarendszerben (EOV, WGS 84 stb.) kezelt GIS adatok „elvesztik" a térinformatikai jellegüket, ezért a későbbiekben már nehezebb koordinátahelyesen kezelni. A technológiai sorrend tudatos kialakítása ezért alapvető fontosságú. Az alaptérkép grafikáját, az adatállomány tisztítását, a domborzati modellt (DTM) már a térinformatikai rendszerben célszerű megfelelő formátumra hozni.

Napjainkban egy átlagos tájépítészeti iroda szoftver és hardver környezete már alkalmas nagyobb területek modellezésére is, de a 40-50 ezer grafikai objektum még fizikai határt jelent a modellezésben. A szoftverek egyre kezelhetőbbé válnak, használatuk elsajátítása ugyan időigényes, de egyre több oktatási intézmény kínál ilyen jellegű 3D modellezési képzést. A mesterséges intelligencia használata látványosan feljavíthatja az eredményt, de önmagában az AI használat nem elégséges, kombinálni szükséges GIS, CAD és renderelő eszközökkel. ⦿

A cikk a XIV. Tájtörténeti Tudományos Konferencián (Pécs, 2026. február 5-6.) elhangzott előadás szerkesztett változata.

IRODALOM/*BIBLIOGRAPHY*

Appleton, K. – Lovett, A. – Sünnenberg, G. – Dockerty, T. (2002). Rural landscape visualisation from GIS databases: a comparison of approaches, options and problems. *Computers, Environment and Urban Systems, 26*(2–3), pp. 141–162. DOI: https://doi.org/10.1016/S0198-9715(01)00041-2

ArcGIS CityEngine. *ArcGIS CityEngine* (hozzáférés dátuma: 10.04.2026). Esri. https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/arcgis-cityengine/overview

ArcGIS Pro. *ArcGIS Pro* (hozzáférés dátuma: 10.04.2026). Esri. https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/arcgis-pro/overview

ArchiCAD. *ArchiCAD* (hozzáférés dátuma: 10.04.2026). Graphisoft. https://www.graphisoft.com/hu-hu/plans-and-products/archicad

AutoCAD. *AutoCAD* (hozzáférés dátuma: 10.04.2026). Autodesk. https://www.autodesk.com/products/autocad/overview

Autodesk *Revit*. Revit (hozzáférés dátuma: 10.04.2026). Autodesk. https://www.autodesk.com/hu/products/revit/overview?panel=buy

Blender. *Blender* (hozzáférés dátuma: 10.04.2026). Blender Foundation. https://www.blender.org/

ChatGPT. *ChatGPT* (hozzáférés dátuma: 10.04.2026). OpenAI. https://chatgpt.com/

D5 Render. *D5 Render* (hozzáférés dátuma: 10.04.2026). D5 Techs. https://www.d5render.com/

EuroDEM. *EuroDEM* (hozzáférés dátuma: 10.04.2026). EuroGeographics. https://www.mapsforeurope.org/datasets/euro-dem

Huxley, A. (1932/2008). *Szép új világ* (B. Totth, Trans.). Cartaphilus, Budapest. (Original work published 1932)

Jakab, G. – Magyari, E. – Jakab, B. – Timár, G. (2025). A Powerful Approach in Visualization: Creating Photorealistic Landscapes with AI. *Land, 14*(7), 1430. DOI: https://doi.org/10.3390/land14071430

Korm. rendelet 14/2005. (XII. 25.) a környezeti hatásvizsgálati és az egységes környezethasználati engedélyezési eljárásról.

Lovett, A. – Appleton, K. – Warren-Kretzschmar, B. – Von Haaren, C. (2015). Using 3D visualization methods in landscape planning: An evaluation of options and practical issues. *Landscape and Urban Planning, 142,* pp. 85–94. DOI: https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.02.021

Lumion. *Lumion* (hozzáférés dátuma: 10.04.2026). Act-3D. https://lumion.com/

MSZ 20376. *Az épületek és építmények tájba illesztése védett természeti területen,* Magyar Szabványügyi Testület.

MSZ 20378. *Tájvédelem – A tájba illesztést igazoló dokumentáció műszaki követelményei.* Magyar Szabványügyi Testület.

NHRL. *National High Resolution Layer, Hungary* (hozzáférés dátuma: 10.04.2026). EuroDataCube. https://collections.eurodatacube.com/nhrl/

NÖSZTÉP. *Magyarország Ökoszisztéma-alaptérképe (KEHOP-4.3.0-VEKOP-15-2016-00001)* (hozzáférés dátuma: 10.04.2026). Természetem. http://alapterkep.termeszetem.hu/

Rhino3D. *Rhino 3D* (hozzáférés dátuma: 10.04.2026). Robert McNeel & Associates. https://www.rhino3d.com/

SketchUp. *SketchUp* (hozzáférés dátuma: 10.04.2026). Trimble. https://sketchup.trimble.com/

Twinmotion. *Twinmotion* (hozzáférés dátuma: 10.04.2026). Epic Games. https://www.twinmotion.com/en-US

Unity. *Unity* (hozzáférés dátuma: 10.04.2026). Unity Technologies. https://unity.com/

Unreal Engine. *Unreal Engine* (hozzáférés dátuma: 10.04.2026). Epic Games. https://www.unrealengine.com/en-US

Vectorworks Landmark. *Vectorworks Landmark* (hozzáférés dátuma: 10.04.2026). Vectorworks, Inc. https://www.vectorworks.net/en-US

Yu, H. – Wu, M. M. – He, H. S. (2022). Developing platform of 3-D visualization of forest landscape. *Environmental Modelling & Software, 157,* 105524. DOI: https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2022.105524