

## VÝSTUP T1.4.1

---

**D.T1.4.1 – Metodika shromažďování energetických informací a jejich vizualizace pomocí 3D modelů budov** **10/2018**

---





## **D.T1.4.1 – Metodika shromažd'ování energetických informací a jejich vizualizace pomocí 3D modelů budov**

A.T1.4 Nadnárodní metodika sběru energetických informací o energii a jejich vizualizace ve 3D modelech

Vystaveno: Partner Nr. 01

Datum: Říjen 2018

Autoři		
	Název (společnost)	Jméno, e-mail
WP vedení	Bruno Kessler Foundation (FBK), PP1	Fabio Remondino, <a href="mailto:remondino@fbk.eu">remondino@fbk.eu</a>
Účastníci	Celé konsorcium	



## 1. Úvod a cíle

Tento dokument patří k činnostem souvisejícím s vývojem metodiky pro sběr informací o spotřebě a výrobě energie a vizualizaci pomocí 3D modelů (A.T1.4)). Dokument zpracovává, spolu s podobnými projektovými aktivitami a vizualizačními nástroji (včetně inženýrských sítí), způsob práce s daty, umožňující koncovým uživatelům přístup a vizualizaci energetických dat v modelu 3DEMS OnePlace. Toto je založeno na ICT a geoprostorových nástrojích, které jsou schopny poskytnout přístup k různorodým informacím v oblasti energetického řízení budov a efektivnosti. Dokument je omezen na partnery projektu (PP), recenzenty a jednotný sekretariát.

## 2. Současný stav

Zavádění ICT a geoprostorových řešení v oblasti energetického řízení a účinnosti budov umožňuje zvýšit kapacitu obcí a energetických agentur pro zlepšení energetické účinnosti veřejných infrastruktur pomocí geoprostorových dat a také rozšíření nových geo informací v energetickém sektoru. Mezi geoprostorovými nástroji a řešeními, GIS a 3D modely města nabízí mnoho výhod pro zachycení, zpracování, ukládání a vizualizaci energetických dat v městském prostředí, sledování spotřeby a požadavků, posouzení předpokladů pro obnovu, atd. Bylo provedeno mnoho studií s cílem posoudit potenciál výroby energie z obnovitelných zdrojů, měřit spotřebu energie nebo zlepšit energetickou účinnost v městském měřítku. Biljecki a spol. identifikovali více než sto různých aplikací pro 3D modely měst, kde mimo jiné uváděli městský energetický prostor a jako potřebu odhad energetické poptávky domácností s cílem posoudit přínos energeticky účinného dovybavení. Previtali a spol. vzali na vědomí užitečnost 3D modelů budov pro vizualizaci tepelné renovace budov a vyhodnocení energetické náročnosti. Energetické posudky ve spojení s 3D modely budov (D.T1.3.3) mohou skutečně určit tepelné mosty a tepelné ztráty. Na základě typologie budovy a dalších energetických datech, Carrión (2010) popisuje metodu výpočtu spotřeby energie a umožňuje tak zobecnění budov do určených tříd vytápění a rychlé lokalizování jednotlivých objektů s odchylkou k odhadované hodnotě. Nouvel a spol. (2013) zkoumali odchylky při výpočtu požadavků na vytápění s ohledem na geometrické tvary a tepelné mosty. Jako geometrické kategorie byly identifikovány poměry výšky a objemu budov a poměr oken a fasád, zatímco rychlost výměny vzduchu (tj. míra objemu vzduchu přidaného nebo odebraného z prostoru děleno objemem prostoru) byla použita jako tepelná kategorie. Na základě výsledků byly zmapovány potenciální úspory energie na jednotlivé budovy a v dalších krocích byly definovány priority renovace. Mnoho studií se zaměřilo na posuzování 3D geometrií střech budov, odvozených pomocí fotogrametrie (Nex a spol., 2013) nebo LiDAR dat (Zheng a spol., 2014; Martian a spol., 2015) pro instalaci solárních kolektorů nebo fotovoltaických článků tak, aby se vyráběla zelená energie - úspora (Amando a Poggi, 2014; Chaturvedi a spol., 2017). Nejsou-li 3D modely budov podrobně rekonstruovány, nejsou zohledněny stínové vlivy okolních domů nebo střešních prvků a takto určené vhodné střešní plochy pro solární výrobu nemusí splňovat zamýšlený účel (Strzalka a spol., 2012; Alam a spol., 2013).



### 3. Projekty a nejlepší praxe

Modelování ve 3D městských energetických systémech vyžaduje použití harmonizace a sjednocení různých zdrojů vstupních dat s cílem (i) porozumět a vizualizovat energetické toky, (ii) lépe řídit a analyzovat energetická data, (iii) optimalizovat dostupné zdroje energie a (iv) provádět nezbytná energeticky účinná opatření. Městská 3D data byla již použita pro výzkumné, vývojové a aplikačně-orientované projekty související s energetickou účinností, energetickým auditem, výpočtem tepelných ztrát, PV odhadem, atd. (Nex a spol., 2013; Agugiario, 2015; Biljecki a spol., 2015; Wate a Coors, 2015; Hong a spol., 2017). V následující části jsou uvedeny dva mimořádné případy, kdy jsou geoprostorové technologie a ICT nástroje účinně využívány na pomoc městům pro pochopení energetických toků a potenciálu.

#### **Energetický Atlas – Berlín, Německo**

Energetický Atlas Berlína (<http://energyatlas.energie.tu-berlin.de/en/>) představuje sjednocený přístup pro strategické energetické plánování a využívání obnovitelných zdrojů v městských částech (Kruger a Kolbe, 2012 – Obrázek 1). Umožňuje zobrazení skutečného stavu stavebního fondu a jeho příslušných energetických údajů a podporuje rozhodnutí pomocí vizualizace plánovaných opatření. Energetický Atlas Berlína je postaven na CityGML obsahovém 3D modelu města Berlín. 3D geometrie poskytuje základní soubor informací, jako je adresa budovy, výška, objem a účel. Pro zvýšení jejich užitečnosti pro účely energetického řízení byly do 3D modelu města Berlín začleněny různé metody a informace ze stávajících databází souvisejících s energetikou:

- odhadovaný solární potenciál pro cca. 500 000 berlínských střech ze solárního atlasu Berlína. Datová sada obsahuje také další informace, jako jsou: sklon střechy, sluneční záření, průměrná náročnost a cena solárních článků (<https://www.businesslocationcenter.de/wab/maps/solaratlas>);
- datový a modelovací přístup pro různé inženýrské sítě (tj. plyn, voda, elektřina, atd.) vyvinutý ve 3D projektu SIMKAS (Simkas3D, 2010);
- metodika pro hodnocení energetické obnovy energetické náročnosti budov a vytápění (Carrión, 2010; Carrión et al., 2010).

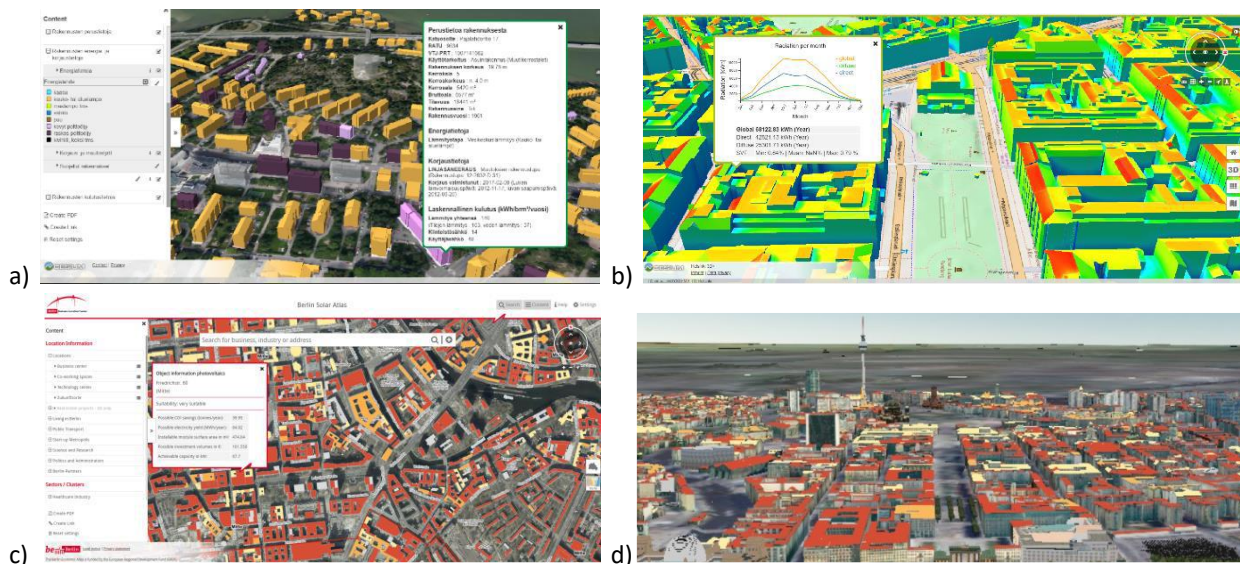
S těmito daty a modely souvisejícími s energií může vytvořená aplikace mapovat spotřebu energie, posuzovat požadavky na vytápění a elektřinu, prezentovat energetické charakteristiky budov a potenciální úspory energie, navrhovat optimální elektrickou síť a prezentovat možnosti geotermálních a solárních energetických potenciálů. Vzhledem ke složitosti města působí Energetický Atlas Berlína (podporovaný i velkým rozpočtem) jako základní osvědčený postup a nástroj pro poradenství v oblasti účinného energetického plánování a využívání obnovitelných zdrojů energie.

#### **Energetický a Klimatický Atlas - Helsinky, Finsko**

Helsinský Klimatický a Energetický Atlas byl zrealizován pomocí Helsinského významového 3D modelu města. (Obrázek č. 1). Energetický Atlas města (<https://kartta.hel.fi/3d/atlas>) je součástí projektu mySMARTLife (<https://mysmartlife.eu> ve kterém Helsinky sestavují energetická data o svém stavebním fondu a zpřístupňují je veřejnosti. Vytvořená aplikace pokrývá všechna témata související s energií, počínaje základními stavebními informacemi, jako jsou modernizace energetické účinnosti, klasifikace výkonů energetických zdrojů používaných pro vytápění, až po sofistikované analýzy a simulace v oblasti energetické účinnosti. Obsah Atlasu byl rozdělen do tří tematických kategorií:

- základní informace o objektu: zahrnuje účel, výšku, počet podlaží, stavební materiály, rok výstavby, atd.
- informace o energetice a opravách: zahrnuje režim vytápění, zdroj energie, rychlost proudění vzduchu, energetické certifikáty, index energetické náročnosti a kategorizace, atd.
- údaje o energetické spotřebě budov: zahrnuje údaje o spotřebě dálkového vytápění, elektřiny a vody, atd.

Odhad slunečního záření a PV potenciálu pro celé město je zřejmé z vizualizace významových modelů budov. Atlas ukazuje vhodné umístění střechy pro solární panely a jejich potenciál. Vytvořený Energetický a Klimatický Atlas slouží jako sada nástrojů moderního města k dosažení předpokládaných klimatických cílů, motivuje veřejnost, aby jednala například prostřednictvím využití solární energie, a také pomáhá podnikům rozpoznat vhodná místa pro investice do řešení čistých technologií. Pro město Helsinky je důležitým nástrojem pro snížení emisí skleníkových plynů o 80% a do roku 2035 se stane uhlíkově neutrální (<http://www.stadinilmasto.fi/en/>).



Obrázek 1: vizualizace 3D modelů Helsinek na základě energetických zdrojů (a) odhad slunečního záření (b) 3D budovy v Berlíně zobrazující energetické informace (c) a PV potenciál (d).



## 4. Metodika

Vzhledem k cílům projektu, shromážděným a harmonizovaným různorodým údajům o budovách a energiích (prostorových a neprostorových datech) v oblastech (PA), byla vyvinuta metodika pro:

- Zvážení dostupných (geo)dat shromážděných v geodatabázích (geoDB - D.T1.1.3), pokud jde o rozšíření, rozlišení, typ informací, atd.;
- Zvážení tvorby 3D modelů budov (D.T1.2.3), PV solární mapy (D.T1.3.2) a tepelných dat (D.T1.3.3);
- Propojení 3D geometrie s jinými neprostorovými atributy dostupnými v geoDB (Tabulka 1);
- Promítnutí solárních map na 3D střechy

Protože žádná z pilotních oblastí projektu nemá k dispozici 3D modely měst / budov a nové údaje nebyly proveditelné, 3D geometrie budov byly generovány na základě dostupných geoprostorových dat (mapy a body s velmi nízkým rozlišením). Vazba geometrií a atributů funguje pomocí geolokace budovy, zatímco solární mapy (v různých rozlišeních) jsou georeferencovány rastrovými daty.

Sledovaný parametr	Jednotka	Popis
<b>Oficiální jméno</b>	-	Z oficiálních dokumentů a geoDB
<b>Rok výstavby</b>	-	Z oficiálních dokumentů a geoDB
<b>Adresa</b>		Z oficiálních dokumentů a geoDB
<b>Typ budovy</b>	-	<b>Typ budovy:</b> rezidentní, zemědělská, občanská, lékařská, vzdělávací, vládní, průmyslová, vojenská, náboženská, dopravní.
<b>Typologie (počet podlaží)</b>	-	Z oficiálních dokumentů a geoDB
<b>Povrch a objem</b>	m <sup>2</sup> / m <sup>3</sup>	Z oficiálních dokumentů a geoDB
<b>Typ zdroje energie (teplo)</b>	-	<b>Typ zdroje tepla:</b> geotermální energie, dálkové vytápění, kogenerační jednotka, tepelné čerpadlo, kotle na bio-palivo, tuhá paliva, elektřina, zemní plyn, ropa.
<b>Energetický audit</b>	-	Certifikát poskytnutý odborníky
<b>Spotřeba energie (vytápění)</b>	GJ/rok	Ze senzorů / čidel
<b>Spotřeba elektřiny</b>	kWh/rok	Ze senzorů / čidel
<b>Spec. emise CO<sub>2</sub></b>	tons/rok	Ze senzorů / čidel
<b>Celková emise CO<sub>2</sub></b>	tons/rok	Ze senzorů / čidel
<b>Technologie využívaná ke sběru obnovitelných zdrojů energie</b>	-	<b>Typy technologií:</b> fotovoltaiky (PV), solární kolektory, kotle na bio-palivo, tepelná čerpadla
<b>Odhadovaný fotovoltaický potenciál střechy</b>	kW	Výpočet z map solárního potenciálu
<b>EE již realizované budovy</b>	-	<b>Typy opatření:</b> (i) snížení spotřeby tepla: izolace,

**Doporučená opatření EE pro budovy**

-

omezení odkryté plochy, snížení ztrát větráním, výběr účinného system vytápění, nová střecha; (ii) snížení spotřeby ochlazením, (iii) snížení spotřeby energie pro osvětlení, (iv) snížení spotřeby energie pro ohřev vody, atd.

**Odhad tepelných ztrát**

MWh/rok

Ze senzorů / čidel

Tabulka 1: Shromážděné atributy pro veřejné budovy v pilotních oblastech jsou přístupné na OnePlace.

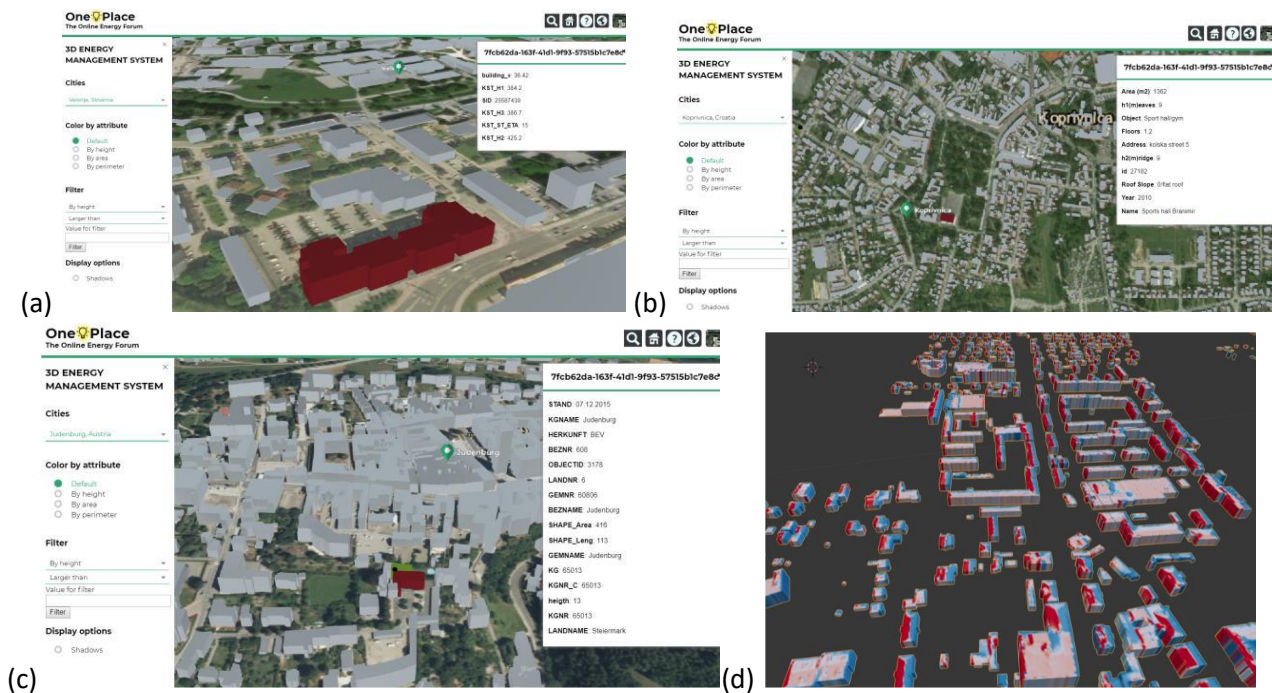


Figure 2: Some initial results of the 3DEMS module of OnePlace (a-b-c) and the projected PV maps on top of the building models (d). The pop-up window with the building data displays the information collected in the geoDB. Such information need to be harmonized as cadastral, topographic and energy-related information varies from country to country.

## 5. Závěrem

Dokument uvedl realizovaný přístup ke shromažďování rozdílných informací o spotřebě energie a její vizualizaci v rámci online platformy projektu (webGIS) pomocí 3D modelů budov. Počínaje shromážděnými, vygenerovanými a propojenými daty ve WPT1. 3DEMS webGIS na platformě OnePlace umožní uživatelům interaktivně navigovat mapu nebo 3D modely budov pilotního místa, vybrat konkrétní budovu a načíst



informace o potenciálu a spotřebě energie a další katastrální/stavební informace, včetně neprostorových dat (Tabulka 1). Funkce dotazů na stejné ploše bude možné za účelem vizualizace výsledků agregace a umožnění lepší analýzy, simulací, atd. například údaje o energii dostupné na úrovni budovy by mohly být použity např. na pomoc při realizaci, implementaci a monitorování akčního plánu pro udržitelnou energii na úrovni měst a přechodu na nízkouhlíková inteligentní města.

### **Odkazy a související práce**

Agugiaro, G., Nex, F., Remondino, F., De Filippi, R., Droghetti, S., Furlanello, C., 2012: Solar radiation estimation on building roofs and web-based solar cadastre. *ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, Vol. I(2), pp. 177-182

Agugiaro, G., 2015: Energy planning tools and CityGML-based 3D virtual city models: experiences from Trento (Italy). *Applied Geomatics*, Vol. 8(1), pp 41-56

Agugiaro, G., 2016: First steps towards an integrated CityGML-based 3D model of Vienna. *ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, Vol. III-4, pp. 139-146

Alam N., Coors V., Zlatanova S., 2013: Detecting shadow for direct radiation using CityGML models for photovoltaic potentiality analysis. *Proc. Urban and Regional Data Management Symposium (UDMS)*, pp. 191-196

Amado, M., Poggi, F., 2014: Solar urban planning: a parametric approach. *Energy Procedia*, Vol. 48, pp. 1539-1548

Ascione F., Francesca De Masi R., De Rossi F., Fistola R., Sasso, M., 2013: Analysis and diagnosis of the energy performance of buildings and districts: Methodology, validation and development of Urban Energy Maps. *Cities*, pp. 270-283

Bakr, A.F., I. Diab, Saadallah, D., 2007: Detecting Inefficient Lighting Solutions: Step-by-Step Geographic information system (GIS) Technique. *Proc. 3rd Int. Conf. of the Arab Society for Computer Aided Architectural Design*, pp. 491-504

Biljecki, F., Stoter, J., Ledoux, H., Zlatanova, S., Çöltekin, A., 2015: Applications of 3D city models: State of the art review. *ISPRS Int. J. Geo-Inf.*, Vol. 4, 2842-2889

Butt, M.J., 2012: Estimation of light pollution using satellite remote sensing and geographic information system techniques. *GIScience & Remote Sensing*, Vol. 49(4)

Carrión, D., 2010: Estimation of the energetic rehabilitation state of buildings for the city of Berlin using a 3D city model represented in CityGML. Master Thesis, Technische Universität Berlin, Germany

Carrión, D., Lorenz, A., Kolbe, T.H., 2010: Estimation of the energetic rehabilitation state of buildings for the city of Berlin using a 3D city model represented in CityGML. *ISPRS Int. Archives of Photogramm. Remote Sens. & Spatial Inf. Sci.*, Vol. 38(4/W15), pp. 31-36

Chaturvedi, K., Willenborg, B., Sindram, M., Kolbe, T. H., 2017: Solar potential analysis and integration of the time-dependent simulation results for semantic 3D city models using dynamizers. *ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, IV-4/W5, pp. 25-32





Directive 2012/27/EU of the European parliament and of the council of 25 October 2012 on energy efficiency, amending Directives 2009/125/EC and 2010/30/EU and repealing Directives 2004/8/EC and 2006/32/EC, Official Journal of the European Union L 315/1, 14.11.2012, available at: <http://eurlex.europa.eu/> (last access: Oct 15th, 2018)

Feng, X., Murray, A.T., 2017: Spatial analytics for enhancing street light coverage of public spaces. LEUKOS - Journal of Illuminating Engineering Society of North America, Vol. 14, pp. 13-23

Gago, E.J., Roldan, J., Pacheco-Torres, R., Ordóñez, J., 2013: The city and urban heat islands: A review of strategies to mitigate adverse effects. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 25, pp. 749-758

Goetz, M., 2013: Towards generating highly detailed 3D CityGML models from OpenStreetMap. Int. Journal of Geographical Information Science, Vol. 27, pp. 845–865

Hale, J. D. Hale J.D., Davies, G., Fairbrass, A.J., Matthews, T.J., Rogers, C.D., Sadler, J.P., 2013: Mapping Lightscapes: spatial patterning of artificial lighting in an urban landscape. PLoS ONE, 8(5), p. e61460

Hong, T., Chen, Y., Piette, M.A., 2017: Automatic generation and simulation of urban building energy models based on city datasets for city-scale building retrofit analysis. Energy Technologies Area

Krüger, T., Kolbe, T.H., 2012: Building analysis for urban energy planning using key indicators on virtual 3D city models—the energy atlas of Berlin. ISPRS Int. Archives of Photogramm. Remote Sens. & Spatial Inf. Sci., Vol. 39(B2), pp. 145-150

Kyba, C.C.M., Garz, S., Kuechly, H., Sánchez de Miguel, A., Zamorano, J., Fischer, J., Hölker, F., 2015: High-Resolution imagery of Earth at night: new sources, opportunities and challenges. Remote Sensing, Vol. 7, pp. 1-23

Ledoux, H., Meijers, M., 2011: Topologically consistent 3D city models obtained by extrusion. Int. Journal of Geographical Information Science, Vol. 25, pp. 557-574

Lobão, J.A., Devezas, T., Catalão, J.P.S, 2015: Energy efficiency of lighting installations: software application and experimental validation. Energy Rep., Vol. 1, pp. 110-115

Lombardi P. and Trossero E., 2014: Beyond energy efficiency in evaluating sustainable development in planning and the built environment. Int. Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development. 2014, pp. 274-282

Martín, A. M., Domínguez, J., Amador, J., 2015: Applying LIDAR datasets and GIS based model to evaluate solar potential over roofs: a review. AIMS Energy, Vol. 3(3), pp. 326-343

Nex, F., Remondino, F., Aguiaro, G., De Filippi, R., Poletti, M., Furlanello, C., Menegon, S., Dallago, G., Fontanari, S., 2013: 3D SolarWeb: a solar cadaster in the Italian alpine landscape. ISPRS Int. Archives of Photogramm. Remote Sens. & Spatial Inf. Sci., Vol. 40(7/W2), pp. 173-178

Nouvel, R, Schulte C, Eicker U, Pietruschka, D, Coors, V, 2013: CityGML-based 3D City Model for energy diagnostics and urban energy policy support. Proc. IBPSA World

Over, M., Schilling, A., Neubauer, S., Zipf, A., 2010: Generating web-based 3D City Models from OpenStreetMap: The current situation in Germany. Computers, Environment and Urban Systems, Vol. 34, pp. 496-507



- Pipia, L., Alamus, R., Tardà, A., Pérez, F., Palà, V., Corbera, J., 2014: A Methodology for luminance map retrieval using airborne hyperspectral and photogrammetric data. Proc. SPIE, Vol. 9245
- Previtali, M., Barazzetti, L., Brumana, R., Cuca, B., Oreni, D., Roncoroni, F., Scaioni, M., 2014: Automatic façade modelling using point cloud data for energy-efficient retrofitting. Applied Geomatics, Vol. 6, pp. 95-113
- Resch, B., Sagl, G., Törnros, T., Bachmaier, A., Eggers, J.-B., Herkel, S., Narmsara, S., Gündra, H., 2014: GIS-Based Planning and Modeling for Renewable Energy: Challenges and Future Research Avenues. ISPRS Int. J. Geo-Inf., Vol. 3, pp. 662-692
- Ruparathna, R., Hewage, K., Sadiq, R., 2016: Improving the energy efficiency of the existing building stock: A critical review of commercial and institutional buildings. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 53, pp. 1032-1045
- Skarbal, B., Peters-Anders, J., Faizan Malik, A., Agugiario, G., 2017: How to pinpoint energy-inefficient buildings? An approach based on the 3D city model of Vienna. ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., Vol. IV-4/W3, pp. 71-78
- Strzalka A., Alam N., Duminil E., Coors V., Eicker, U., 2012: Large scale integration of photovoltaics in cities. Appl Energ., Vol. 93, pp. 413-421
- Torabi, S., Lombardi, P., Mutani, G., 2016: GIS-based energy consumption model at the urban scale for the building stock. Proc. 9th IEECB&SC Conference
- Simkas3D: Simulation of Cascading Effects in the Failure of Utility Infrastructures, 2010: [www.tuberlin.de/ztg/menue/projekte\\_und\\_kompetenzen/projekte\\_abgeschlossen/simkas\\_3d/](http://www.tuberlin.de/ztg/menue/projekte_und_kompetenzen/projekte_abgeschlossen/simkas_3d/) (last access: Oct 15th, 2018)
- Toschi, I., Nocerino, E., Remondino, F., Revolti, A., Soria, G., Piffer, S., 2017: Geospatial data processing for 3D city model generation, management and visualization. ISPRS Int. Archives of Photogramm. Remote Sens. & Spatial Inf. Sci., Vol. XLII-1-W1, pp. 527-534
- Voelkel, J., Shandas, V., 2017: Towards systematic prediction of urban heat islands: grounding measurements, assessing modeling techniques. Climate, Vol. 5(2)
- Wahl, R., Schnabel, R., Klein, R., 2008: From detailed digital surface models to city models using constrained simplification. Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation (PFG), Vol. 3, pp. 207-215
- Wate, P., Coors, V., 2015: 3D data models for urban energy simulation. Energy Procedia, Vol. 78, pp. 3372-3377
- Zheng, Y., Weng, Q., 2014: Assessing solar potential of commercial and residential buildings in Indianapolis using LiDAR and GIS modelling. Proc. 3rd Int. Workshop on Earth Observation and Remote Sensing Applications (EORSA), pp. 398-402