



# **Geografiska Informationssystems användning vid energiplanering**

Jacob Nylund

EXAMENSARBETE	
Arcada	
Utbildningsprogram:	Distribuerade energisystem
Identifikationsnummer:	6598
Författare:	Jacob Nylund
Arbetets namn:	Geografiska Informationssystems användning vid energiplanering
Handledare (Arcada):	DI Kim Rancken
Uppdragsgivare:	Arcada, Avdelningen för Energi och materialteknik
Experthandledare	DI Kim Skön
<p>Sammanfattning:</p> <p>Arbetet ger en överblick över vad Geografiska Informationssystem (GIS) kan erbjuda inom energiplaneringssektorn. I arbetet behandlas tekniska bakgrundsfakta till GIS samt olika GIS-baserade verktyg som kan utnyttjas vid energiplanering. Helsingfors stads nyligen publicerade "Energy and Climate Atlas" undersöks på ett noggrannare plan.</p>	
Nyckelord:	Energi, Geografiska informationssystem, förnybar energi, Helsinki Energy and Climate Atlas
Sidantal:	39
Språk:	Svenska
Datum för godkännande:	18.05.2018

DEGREE THESIS	
Arcada	
Degree Programme:	Distribuerade energisystem
Identification number:	6598
Author:	Jacob Nylund
Title:	
Supervisor (Arcada):	M. Sc. Kim Rancken
Commissioned by:	
<p><b>Abstract:</b></p> <p>The greenhouse effect is an acute issue that affects the whole world. New energy solutions and new methods to solve the energy planning problems must be created. A tool that facilitates energy planning is Geographical Information Systems (GIS). GIS technology is based on computer-based data acquisition, storage and analysis tools that combine previously unrelated information into easily understood maps.</p> <p>This degree project gives an overview of what Geographic Information Systems can offer in the energy planning sector. Technical background facts to GIS and GIS applications for position analyzes for the location of renewable energy plants, as well as analyzes of urban and rural uses and emissions have been dealt with. In February 2018, the City of Helsinki published an Energy and Climate Atlas, which itself is a Geographic Information System. Helsinki Energy and Climate Atlas is also investigated on a more precise level in the thesis.</p> <p>The purpose of the work was to build, with reliable facts, a whole that describes the use of Geographic Information Systems in energy planning. The central issue throughout the work was: How can GIS be used in energy planning?</p> <p>The use of energy system models and GIS is still in it's infancy. Geographical information systems are currently not utilized to their full potential in energy planning. With the advancement of technology, GIS users will be able to analyze larger volumes of data, add more information from sensors, thus gaining a greater insight into how the world works.</p>	
Keywords:	Energy, Geographical Information Systems, renewable energy, Helsinki Energy and Climate Atlas
Number of pages:	39
Language:	Swedish
Date of acceptance:	18.05.2018

# Innehåll

Sammanfattning

Abstract

Förord

<b>1</b>	<b>Inledning</b>	<b>8</b>
1.1	Metod	8
1.2	Frågeställning	9
1.3	Avgränsningar	9
<b>2</b>	<b>Bakgrund</b>	<b>10</b>
2.1	Energi	10
2.2	Energiplanering	10
2.3	Geografiska informationssystem GIS	11
2.4	GIS användningsområden	12
2.5	Teknisk bakgrund	13
2.5.1	<i>Data-format inom GIS</i>	14
2.5.2	<i>Rumsliga förhållanden</i>	15
<b>3</b>	<b>GIS vid energiplanering</b>	<b>16</b>
3.1	GIS-användning i rurala förhållanden	17
3.2	GIS-användning i stadsenergianalys och planering	18
<b>4</b>	<b>GIS verktyg och modeller</b>	<b>18</b>
4.1	Energianalysverktyg	19
4.2	Mikroklimat analysverktyg och -modeller	21
4.3	Emissionsbedömningsverktyg och modeller	23
4.4	Framtiden inom GIS	24
<b>5</b>	<b>Helsingfors "Energy and climate atlas"</b>	<b>25</b>
5.1	Fakta om 3D modellerna	25
5.2	Helsingfors "Energy and Climate Atlas"	28
5.2.1	<i>Solenergipotentialfunktionen</i>	29
5.2.2	<i>Helsingfors "Energy and Climate Atlas" användning vid energiplanering</i>	32
5.2.3	<i>Utvecklingen av Helsingfors "Energy and Climate Atlas"</i>	32
<b>6</b>	<b>Sammandrag</b>	<b>33</b>
	<b>Källor</b>	<b>34</b>

## Figurer

Figur 1. Solstrålning på takytor med ArcGIS.....	19
Figur 2. Vindsimulering med Airflow Analyst .....	20
Figur 3. Mikroklimatmodellen ENVI_MET .....	21
Figur 4. Emissionsbedömningsverktyget HEAT.....	22
Figur 5. Infraröd-energidata i HEAT .....	22
Figur 6. Laserskanning från luften.....	25
Figur 7. Överlappning i fotogrammetri.....	26
Figur 8. Helsingfors Energy and Climate Atlas .....	29

## Förkortningar och uttryck

GIS – Geografiska Informationssystem

BIM – Byggnads Informationsmodell

3D – Tre dimensioner, tredimensionell

GPS – Förkortning av Global Positioning System

Fotogrammetri – Mätning i fotografisk bild

FE – Förnybar energi

Rumslig/spatial data – Är den data eller information som identifierar den geografiska platsen på jorden, såsom naturliga eller konstruerade funktioner som t.ex. oceaner m.m.

Lidar – Light detection and ranging, ett optiskt mätinstrument som används vid ljusdetektion och avståndsmätning

Geodesign – Geodesign är design i geografiskt utrymme. Syftet med geodesign är att underlätta livet i ett geografiskt utrymme.

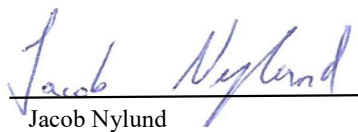
Energy and Climate Atlas – Helsingfors stads nyligen publicerade GIS baserade 3D modell. Ett hjälpande verktyg i målet att göra Helsingfors stad koldioxidneutralt till år 2035.

## FÖRORD / FOREWORD

Detta arbete har jag valt eftersom jag så länge jag kan minnas haft ett starkt intresse för geografi. Under mina utbytesstudier vid Hawaii Pacific University tog jag även en kurs i Geografiska Informationssystemens (GIS) grunder och insåg hur användbar en GIS plattform verkligen kan vara vid energiplanering.

Jag vill rikta ett stort tack till Kim Rancken vid yrkeshögskolan Arcada som hjälpt och assisterat mig under hela arbetets gång samt fungerat som handledare för examensarbetet.

Helsingfors, 05.05.2018

  
\_\_\_\_\_  
Jacob Nylund

# 1 INLEDNING

Forskare, beslutsfattare, utvecklare, ingenjörer och många fler har använt sig av geografiska informationssystem (GIS) för att förstå komplexa situationer och erbjuda konkreta lösningar. Syftet är att undersöka Geografiska informationssystemens användning vid energiplanering på ett så brett plan som möjligt.

Att reducera mänsklighetens klimatpåverkan och styra klimatförändringen i rätt riktning är en enorm utmaning. Därmed kommer energibranschen troligen att förändras mera inom de kommande tio åren än den gjort under de senaste femtio åren. Utvecklingen i vår omvärld bidrar till den snabba utvecklingsfarten, allt från växande klimat och miljömedvetenhet till läget på oljemarknaden och elpriser, samt digitaliseringen och teknologins utveckling.

Ett GIS baserat ramverk hjälper att få en vetenskaplig förståelse för geosystem på en global skala och leder till mer genomtänkt och informerat beslutsfattande. Detta examensarbete koncentreras på hur man med hjälp av datorbaserade modelleringsprogram kan uppnå bättre energiplanering och mer exakt om hur Geografiska informationssystem kan utnyttjas vid energiplanering.

## 1.1 Metod

I studien granskas olika GIS baserade analysverktyg och -modeller samt deras användningslämplighet vid energiplanering med hjälp av en litteraturöversikt. Dessutom utförs en noggrannare undersökning av Helsingfors stads nyligen publicerade ”Energy and Climate Atlas”. Undersökningen utförs med hjälp av litteraturöversikt samt praktisk användning via Helsingfors stads hemsida.



## 1.2 Frågeställning

I arbetet undersöks inledningsvis vad Geografiska Informationssystem är, samt dess tekniska bakgrund och användningsområden. Förnybar energiplanering kan geografiskt delas upp i rural och urban energiplanering, vanligast är tillämpningen av förnybar energi i rurala förhållanden men på grund av urbaniseringen blir det alltmer aktuellt att skapa energi i stadsmiljön. I arbetet undersöks hur Geografiska Informationssystem kan användas vid energiplanering vid både rurala och urbana förhållanden samt en genomgång av hurdana GIS-baserade verktyg och modeller som kan utnyttjas vid energiplanering. Helsingfors stad publicerade nyligen en ny GIS-baserad plattform ”Energy and Climate Atlas”, i arbetet undersöks plattformens uppbyggnad, funktioner samt utvecklingsmöjligheter.

Som material till arbetet har använts internetsidor och artiklar. För datainsamlingen har sökverktyg som skolans Libguides.portal, Google och olika tidskrifter använts.

## 1.3 Avgränsningar

Studien fokuserar på användningen av Geografiska informationssystem vid hållbar energiplanering. Energiplanering är ett väldigt brett begrepp, och eftersom klimatförändringen är ett angeläget ämne så fokuserar arbetet på lösningar med förnybar energi samt hållbar energiplanering.

## 2 BAKGRUND

I denna del av arbetet undersöks bakgrunden till energiplanering med stöd av Geografiska Informationssystem. Energins betydande roll i det mänskliga samhället klargörs och energiplanering definieras. Vidare undersöks det vad Geografiska Informationssystem är, dess användningsområden samt den tekniska bakgrunden till Geografiska Informationssystem.

### 2.1 Energi

Energi har en viktig roll inom byggandet av hållbara mänskliga samhällen. Det är en kritisk tillgång som är mycket sammankopplad med socioekonomisk utveckling och välbefinnande. Livet utan el är en verklighet för många människor i världen. I frånvaro av elektriska spisar tvingas människor att tillreda mat över öppna eldar eller rökiga spisar som bl.a. orsakar svåra andningssjukdomar. Ingen elektricitet betyder även sjukhus utan luftkonditionering, ljus eller kylning för mediciner, och inga vattenpumpar för tillgång till rent vatten. [1] [2]

Trots energitillgångens vitala betydelse har cirka 1,1 miljarder människor runt om i världen inte tillgång till el [3].

Inom i-länder är energitillgång inte direkt ett akut problem för samhället och påverkar inte heller människors vardag och hälsa på samma sätt som i u-länder där elektricitet är en bristvara för många. Växthuseffekten är dock ett akut problem som påverkar hela världen. Nya energilösningar och nya metoder för att lösa energiproblemen måste skapas [4]. Ett verktyg som stöd på vägen är Geografiska informationssystem.

### 2.2 Energiplanering

Energiplanering kan definieras som en praxis för att utveckla långsiktiga målsättningar för att hjälpa till att främja framtiden för lokala, nationella och globala energisystem genom analys av energi, energieffektivitet och efterfrågan på energi. Energiplanering kan

antingen utföras av statliga organisationer eller privata företag. Traditionellt har energiplanering fokuserats på centraliserade energisystem, d.v.s. att installera stora kraftverk och utbygga elnätet till nya kunder. Till följd av att många marknader avregleras p.g.a. klimatavtal har även energiplaneringen förändrats, vilket har öppnat nya möjligheter för förnybara energisystem som sol och vindkraft. [5]

## 2.3 Geografiska informationssystem GIS

I GIS-kretsarna sägs ofta att ”80 procent av all data har en geografisk komponent”. Det finns många diskussioner om hur sakenligt detta citat är, det är fullt möjligt att sanningen ligger aningen lägre, till och med närmare 60 procent. Oavsett om det är 60, 70, 80 eller 90 procent av all data som har en geografisk anknytning, så är faktum det att de flesta uppgifter är knutna till en plats och används varje dag av konsumenter, medborgare och företag. Geografi spelar därför en viktig roll när man fattar beslut om planeringen av områden, t.ex. vid placandet av nya anläggningar. [6]

Här kommer GIS in i bilden. Geografiska Informations system-tekniken består av ett datorbaserat datainsamlings-, lagrings-, och analysverktyg som kopplar samman orelaterad information till lätt begripliga kartor. GIS är dock mycket mera än kartor. Ett GIS kan genomföra komplicerade analytiska funktioner och sedan presentera resultaten visuellt som kartor, tabeller eller grafer, så att beslutsfattare nästan kan se problemen innan de uppstår och därefter välja de bästa åtgärderna. När man dessutom lägger till Internet, så kan GIS erbjuda ett konsekvent och kostnadseffektivt sätt att dela och analysera geografiska data bland myndigheter, privatindustri och allmänheten. [7]

Traditionsenligt används GIS-teknik i fältapplikationer som har en direkt geografisk relevans, vilket innebär att applikationerna hänvisar till territoriet och sättet att använda det. Å andra sidan kan man hitta applikationer vars geografiska relevans är antingen indirekt eller mindre uppenbart (t ex myggkontroll, skyddandet av apor, valar etc.). I princip kan de flesta applikationer kvalificeras som GIS-applikationer. En del kanske inte har en direkt geografisk koppling i själva användningen av applikationen men kan ändå ha GIS baserade lager eller omslag för att organisera data och även använder specifika operationer för att kombinera och analysera data. Genom att relatera till synes orelaterade data

kan GIS hjälpa individer och organisationer att bättre förstå rumsliga mönster och relationer. [5]

Med GIS-teknik kan människor jämföra positionen för olika företeelser för att upptäcka huruvida samband de har med varandra. GIS-systemet kan behandla data om landskapet, t.ex. strömmarnas läge, olika typer av vegetation och olika typer av jordmån. Det kan innehålla information om personer, t.ex. befolkning, inkomst eller utbildningsnivå. Det kan innehålla information om platserna för fabriker, gårdar och skolor eller vägar, elledningar, avlopp och byggnader. [8]

Med hjälp av GIS kan till exempel en enda karta innehålla platser som är lämpliga för energianläggningar, till exempel vind, sol och vattenkraft samtidigt som eldistribution, elanvändningen och skyddade naturområden i regionen är utmärkta. En sådan karta skulle hjälpa människor att avgöra var dylika energianläggningar bör placeras. Detta kallas Geodesign. [9]

## 2.4 GIS användningsområden

Från fysiska kartor till dagens avancerade kartor har kartteknologin uppnått en enorm tillväxt under de senaste decennierna. Men fortfarande vet många inte ens att de använder GIS hela tiden. [10] De flesta människor omges av geografisk IT varje dag i mobilapplikationer som använder telefonens GPS, i karttjänster från företag och offentliga sektorn och till och med i datorspelens världar. GIS används även i ett stort antal verksamheter inom kommuner, myndigheter och företag där man strävar efter bra service och tjänster till invånare och företag.

Exempel på användningsområden är:

- Stadsplanering
- Övervakning och visualisering av miljö- och klimatpåverkan
- Trafik och transport
- Hälsoproblem, vård och epidemiologi [11]

GIS användningsområde är alltså inte begränsat endast till energi. Skogsbruk och jordbruk är områden där GIS kan utnyttjas effektivt. Ett exempel på användning av GIS inom jordbruksforskning är vetenskapssamfundet The Consultative Group for International Agricultural Research- Consortium for Spatial Information (CGIAR-CSI), i detta vetenskapssamfund underlättar man CGIAR:s internationella forskning inom jordbruksutveckling med hjälp geografiska analyser, GIS och fjärranalyser. [12]

## **2.5 Teknisk bakgrund**

Geografisk analys fick sin början år 1854 när London i England drabbades av kolera. Eftersom ingen visste hur sjukdomen startade, så började den brittiske läkaren John Snow att kartlägga utbrotten. Förutom utbrotten kartlade han även vägar, fastighetsgränser och vattenlinjer. När han lade till alla dessa särdrag på en karta hände något intressant. Snow märkte hur fallen av kolera vanligen hittades längs ett av vattendragen. Detta var inte enbart början på geografisk analys utan markerar även början av epidemiologin, studien av sjukdomsutbredning. Det var dock först år 1968 som GIS utvecklades till att användas i datorer. [13]

Geografiska Informationssystem är alltså ett datorbaserat system för att samla in, lagra, analysera, manipulera, hantera och presentera olika typer av rumslig eller geospatial data, med andra ord data som på något sätt hänvisar till en plats på jorden. Aningen förenklat kan GIS beskrivas som intelligenta, digitala kartor. GIS är en bred definition som omfattar en mängd olika tekniker och metoder.

### 2.5.1 Data-format inom GIS

GIS-applikationer inkluderar både hårdvaru- och mjukvarusystem. Dessa applikationer kan innehålla *kartografiska data, fotografiska data, digitala data eller data i kalkylblad*.

*Kartografiska data* finns redan i kartform och kan innehålla sådan information som placeringen av floder, vägar, kullar och dalar. Kartografiska data kan också innehålla undersökningsdata och kartläggningsinformation som direkt kan ingå i en GIS.

*Fotografisk tolkning* är en stor del av GIS. Foto tolkning innebär att analysera flygfoton och bedöma de funktioner som visas.

*Digitala data* kan också skrivas in i GIS. Ett exempel på denna typ av information är datainsamling som samlas in av satelliter som visar markanvändning, placeringen av gårdar, städer och skogar.

*Fjärranalys* ger ett annat verktyg som kan integreras i en GIS. Fjärranalys inkluderar bilder och annan data som samlas in från satelliter, ballonger och drönare.

Slutligen kan GIS även innehålla data i *tabell- eller kalkylark*, till exempel befolkningsdemografi. Demografi kan sträcka sig från ålder, inkomst och etnicitet till senaste inköp och internet-surfning.

GIS-tekniken möjliggör alla dessa olika typer av information att läggas över varandra på en enda karta, oavsett deras källa eller originalformat. Att sätta in information i GIS kallas datainsamling. Data som redan finns i digital form, till exempel de flesta tabeller och bilder som tas av satelliter, kan helt enkelt laddas upp i GIS. Kartor måste dock först skannas eller konverteras till digitalt format. [14]

De två huvudtyperna av GIS-filformat är raster och vektor. Rasterformat är rader av celler eller pixlar. Rasterformat är användbart för att lagra GIS-data som varierar, t.ex. höjd- eller satellitbilder. Vektorformat är polygoner som använder punkter (kallade noder) och linjer. Vektorformat är användbart för att lagra GIS-data med fasta gränser, såsom skoldistrikt eller gator. [14]

Ofta måste GIS manipulera data eftersom olika kartor har olika projektioner. En projektion är metoden att överföra information från jordens krökta yta till en platt pappers- eller dataskärm. Olika typer av projektioner åstadkommer denna uppgift på olika sätt, men alla resulterar i viss förvrängning. Att överföra en krökt, tredimensionell form på en plan yta kräver oundvikligen att tänja ut vissa delar och klämma ihop andra.

En världskarta kan visa antingen rätt storlek hos länder eller deras korrekta former, men den kan inte göra båda samtidigt. GIS tar data från kartor som gjordes med olika projektioner och kombinerar dem så all information kan visas med en gemensam projicering. [14]

### **2.5.2 Rumsliga förhållanden**

Inom GIS handlar det mycket om ”rumsliga förhållanden”. Till följande förklaras kort vad rumsliga förhållanden är inom geografi.

GIS-tekniken kan användas för att visa rumsliga relationer och linjära nätverk. Rumsliga relationer kan visa topografi, såsom jordbruksfält och vattenströmmar. De kan också visa markanvändningsmönster, till exempel parkernas läge och bostadskomplex. Ordet rumslig kommer från det engelska ordet spatial som ofta används även på svenska i tekniska sammanhang.

Enligt Gret-Regamey och Crespo [15] så är den rumsliga planeringens roll inom urban och rural planering att säkra stads- och landsbygdssamhällets välbefinnande genom att reglera efterfrågan på markresurser. Rumslig planering handlar huvudsakligen om förhållandet mellan fysisk markanvändning, sociala, ekonomiska och miljökraven för det framtida samhället. En fullständig introduktion av GIS baserade tillvägagångssätt som stöd för rumslig planering inom förnybar energi har inte utnyttjats väl hittills, främst p.g.a. bristande kunskap mellan rumslig planering och energiplanering.

### 3 GIS VID ENERGIPLANERING

Till de viktigaste planeringsparametrarna inom energiplanering för regerings och nationella utiliteter hör GIS data som t.ex. topografi (höjdkartor, landanvändning), demografi (landsbygd/stadsområden, befolkningsegenskaper), klimatologiska data (vindhastighet, temperatur, hydrologi och solbestrålning) och befintlig infrastruktur (vägar, överföring, kraftverk och gruvor). [5]

De flesta GIS-program används ofta för lämplighetsanalyser av energisystem inom olika områden, både i urbana och rurala sammanhang.

Förnybar energi (FE) får hela tiden ökad uppmärksamhet tack vare dess rena, gröna och säkra egenskaper. Den driver energistrukturen mot en hållbar nivå genom att tillhandahålla en hållbar strategi för energiproduktion [16] [17], och bidrar till att mildra växthuseffekten på lång sikt [18]. Förnybar energi spelar även en viktig roll inom den övergripande strategin för hållbar utveckling [18] [19].

Den geografiska fördelningen av förnybara energikällor påverkas starkt av geografiska och topografiska faktorer som höjd-, klimat- och terrängförhållanden [20].

GIS har visat sig vara ett användbart verktyg för regionala bedömningar av potentialen inom förnybar energi [21] [22] [23] samt som stöd vid beslutsfattande inom energiplanering [24]. Detta är tack vare dess flexibla datahantering och rumsligt tidsmässiga analysfunktioner. Ytterligare så kan visualiseringsfunktionen hos GIS koppla samman statistisk analys med just visualiserad rumslig-data i den använda planeringsmetoden för förnybar energi. Dyliga visualiseringskartor kan göra det lättare att förstå planering för beslutsfattare, privata investerare och invånare. Det ger också en plattform för informationsdelning och deltagande i planering via webbaserad GIS [25].



### 3.1 GIS-användning i rurala förhållanden

Energi spelar en stor roll i alla länders utveckling. Det finns dock ett väldigt utbrett energiproblem på landsbygden i utvecklingsländerna runtom i världen [26]. Enligt en av de senaste globala undersökningarna så lever 18% av de globala och 57% av den afrikanska befolkningen utan tillgång till elektricitet, ett stort hinder för socialekonomisk växt [27]. Det främsta målet är att minska ojämlikheten i tillgången till elektricitet och därtill hörande möjligheter till ökad social välfärd, utbildning, hälsa och inkomstgenerering. Detta syfte kan åtgärdas genom användningen av GIS, vilket skulle möjliggöra exakta prognoser för att identifiera energibehovet och de mängder som krävs för ett specifikt område. [28]

I bland annat USA är det även många ruralt belägna kommuner som fortsätter att förlita sig på icke förnybar energi som är producerad vid stora anläggningar långt ifrån dessa rurala bebyggelser. Detta scenarium är problematiskt för de rurala bebyggelserna eftersom det lätt sker avbrott i energinätverken från energianläggningarna. Eftersom energipriserna fortsätter att öka så kommer antagligen fler rurala kommuner att välkomna lokala energiplaneringsprojekt i syfte att sänka koldioxidutsläppen och minska driftkostnaderna. I dessa fall är GIS ett utmärkt redskap att införa i beslutsprocessen för att göra analyser av de lokala energiproduktionspotentialen. [29]

GIS-baserade bedömningar har använts för att utvärdera förnybara energikällor som t.ex. solstrålningspotential inom rurala områden i bl.a. Latinamerika, Kina, Taiwan, Indien och Grekland [30]. GIS lämpar sig även väldigt bra för att karakterisera lägen för vindkraftsparker [24].

Lagring av energi är en aktuell fråga i energibranschen och även där finns användning av GIS. Vid planering av småskalig vattenlagring i bergsområden i Europa har man använt sig av GIS för att lokalisera lämpliga områden för vattenlagring i gamla gruvområden. De skadade landskapen som orsakas av gruvdrift är vanliga i de mellersta bergsområdena i Europa. Områdena behöver inte alltid beaktas som utmaningar utan också som möjligheter när det gäller markanvändning och energihantering. Vattenreservoarerna i mitten av bergen kan ses som nya delar av ett hållbart och flexibelt energisystem. [31]

## 3.2 GIS-användning i stadsenergianalys och planering

I den här delen av examensarbetet presenteras en översikt över olika sätt att analysera stadsenergi med hjälp av GIS. Den grundläggande användningen av GIS inom stadsenergianalys och planering möjliggör infångning, lagring och visning av fördjupad information. När denna information är strukturerad och skiktad, kan informationen användas för att illustrera, analysera och dra slutsatser om viktiga stadsegenskaper som energianvändning, -kapacitet och -potential. Även om användningen av GIS i urban energianalys utöver grundnivån fortfarande är i ett tidigt skede av utvecklingen, har det arbete som hittills gjorts, visat att eftersom de rumsliga dimensionerna av energisystem dramatiskt påverkar deras kostnadseffektivitet och miljöpåverkan så har GIS ett stort löfte för att öka den analytiska kraften i energiplanering och modelleringsteknik. GIS har i synnerhet visat sig vara nyttigt vid bedömningen av potentialen för förnybar energi, vid konstruktionen och bibehållandet av effektiva energidistributionssystem och genom att hjälpa till att förstå de rumsliga dimensionerna för energiförbrukning och värmeöverföring inom urbana landskap.

Genom att stärka förståelsen för hur energi strömmar så hjälper GIS till med att utforma och bygga hållbara byggnader som använder mindre energi, samt hjälper till att reagera på interaktioner mellan byggda och naturliga element i det urbana landskapet. [32]

## 4 GIS VERKTYG OCH MODELLER

GIS har en rad tillämpningar inom ramen för energianalys. I det här avsnittet behandlas några GIS-verktyg och GIS-integrerade modeller som kan användas för att genomföra dessa analyser.

Energimodeller är förenklade versioner och matematiska representationer av det verkliga systemet. De hjälper till att fördela resurser, hitta de optimala lösningarna samt utforska och förutsäga framtiden. Dessutom ger modellerna en logisk stomme för att testa teorier när det är opraktiskt eller dyrt att utföra testerna i den verkliga världen. [26]

## 4.1 Energianalysverktyg

### ArcGIS

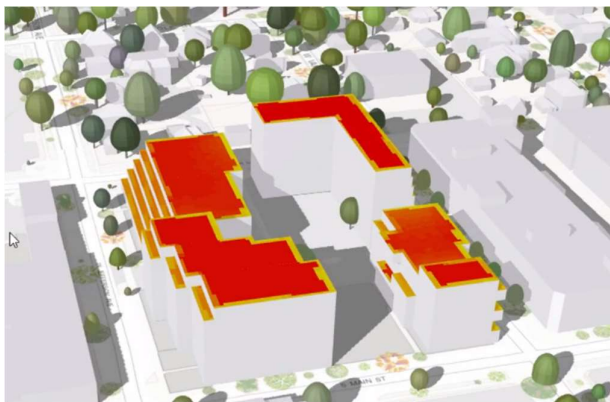
En av de vanligaste typerna av energianalys utförd i ArcGIS är utvärdering av potentialen för förnybar energiproduktion.

ArcGIS kan modellera inkommande solstrålning för ett helt landskap eller en viss punkt, baserat på en insatt digital höjningsmodellraster och valfria data, såsom tidsperiod / intervall, transmittivitet etc. Som en del av denna modelleringsprocess så modellerar ArcGIS även uppåtriktade sektorer från specifika platser för att identifiera områden av skuggning och därmed hinder för solstrålning [33].

Samlingen av solstrålningsverktyg i ArcGIS har använts av många forskare för att identifiera potentiella platser för solenergi i städer [34].

En viktig fråga att lösa när det gäller solenergi är hur mycket total solenergi som kan produceras i en stad och vilken del av energin i byggnaden den kan erbjuda. En studie deltog i detta genom att utveckla en GIS-baserad energibalans modelleringsystem för solenergi på urbana byggnader [35]. Figur 1 är ett urklipp från en video där man använt sig av ArcGIS för att kalkylera solstrålningen på takytorna av en grupp byggnader.

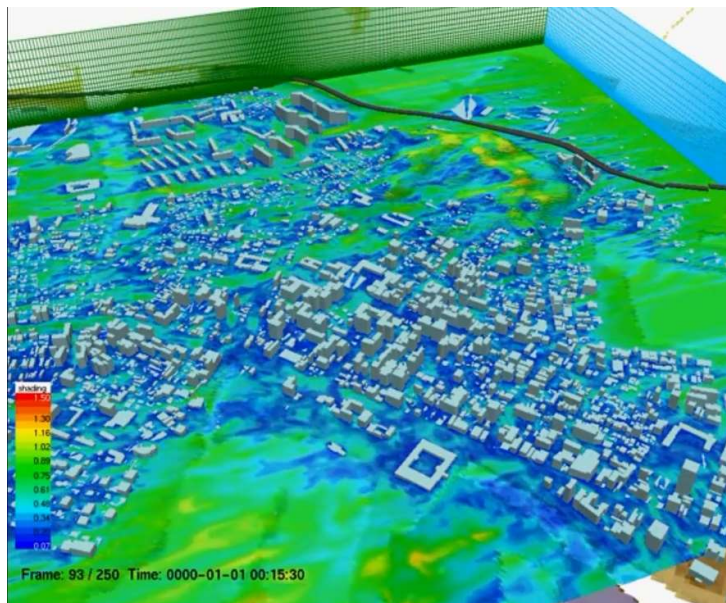
Den röda färgen med olika intensitet visar solstrålnings intensiteten på byggnadernas taktor.



Figur 1. Solstrålning på taktor med ArcGIS [36]

## Airflow Analyst

ArcGIS har också förmågan att via en stationär förlängning, som heter Airflow Analyst, modellera lufrörelse genom urbana landskap som i sin tur kan hjälpa till att identifiera potentiella platser för vindkraftverk på taken. Denna förlängning gör det lättare för människor att bearbeta vindkraftdata i en GIS-miljö. Verktöget kan modellera data, utföra komplexa beräkningar och skapa animerade eller tydliga tidsmässiga beskrivningar. Förutom att generera statistik, producerar modellen tredimensionella ytor och animationer som visar vindflödet. Data som verktöget behöver inkluderar raster- eller TIN-höjddata (Triangulated Irregular Network) och shapefiler med attribut för höjd och byggnadsform [37]. I figur 2 visas ett urklipp från en video där 3D CFD (Computed Fluid Dynamics) mjukvaran Airflow Analyst använts, i figuren urskiljer man en vindsimulering i stadsmiljö.



Figur 2. Vindsimulering med Airflow Analyst. [38]

## 4.2 Mikroklimat analysverktyg och -modeller

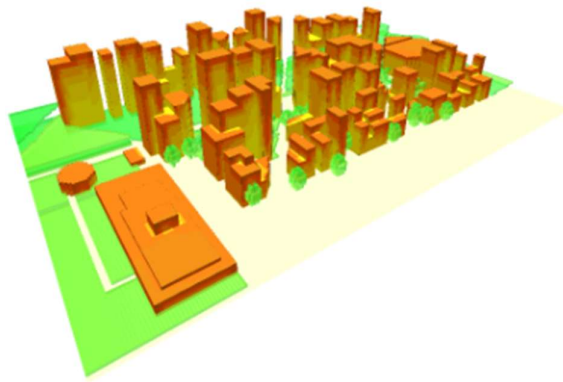
Flera studier har visat att urbana mikroklimat påverkar byggnaders energikonsumtion, därmed kan urbana mikroklimatmodeller också bidra till energianalyser i stadsmiljöer. Som exempel: till följd av värmeböljor ökar också den totala energiförbrukningen för kylning (dvs kylning och luftkonditionering av fastigheterna). Därför är bedömningen av stadsmikroklimatet nödvändigt för forskare när man identifierar och bygger upp mål för att minska energiförbrukningen i byggnader. Denna aspekt får ökad betydelse i och med att den globala klimatförändringen med stigande medeltemperatur leder till att allt större områden med bebyggelse berörs av ett ökat behov av kylning istället för uppvärmning.

I stadsbilden är det möjligt att det uppstår områden med ovanligt höga vindhastigheter och vindbyar, den motsatta situationen kan även hittas i närheten av dessa områden. Områden med mycket låga vindhastigheter kan öka effekten av värmeböljor och luftföroreningar. Speciellt när man utför framtida planerings scenarium så är vindtunnelsexperiment eller CFD (computational fluid analysis) mycket användningsbara. Vindtunnelstudier är dock mycket komplexa och kan endast representera få delar av olika mikroklimatförhållanden. Därför har simuleringsprogram etablerat sig som standard i forskningen av vindförhållanden i mikroklimat. [39]

## ENVI-MET

Det finns flera urbana energimodeller som existerar i syfte att bestämma och simulera det urbana mikroklimatet som sedan kan användas tillsammans med ArcGIS. ENVI-met är en tredimensionell mikroklimatmodell som simulerar yt-växt-luft-växelverkan i stadsmiljöer.

Inmatnings data som krävs är detaljerade uppgifter om meteorologisk information, markens våthet samt egenskaper hos markytor, byggnader och vegetation. Modellen beräknar luftförelsemönster och partikelutspredning samt temperaturinteraktioner bland de naturliga och inbyggda egenskaperna i ett urbant landskap. Ett annat mikroklimatanalysverktyg är mjukvaran Townscope. Liksom ENVI-met kan programmet Townscope utföra tredimensionella modelleringar av solstrålning och temperaturer i städerna genom att använda meteorologiska parametrar och vegetationsmaskar. I figur 3 visas *Solar Access Analysis* modulen i mikroklimatmodellen ENVI\_MET. Denna modul simulerar flödena av kortvåg- och långvågsstrålning i komplexa miljöer. I alla strålningsflöden beaktar modulen skuggning, reflektioner av olika ytor och material samt vegetation [39] [40]



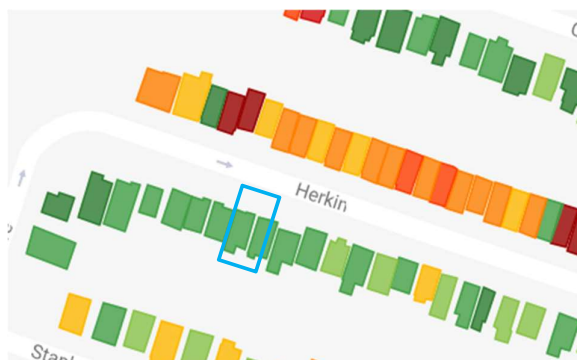
Figur 3. Bild tagen ur *Solar Access Analysis* modulen i mikroklimatmodellen ENVI\_MET. [39]

### 4.3 Emissionsbedömningsverktyg och modeller

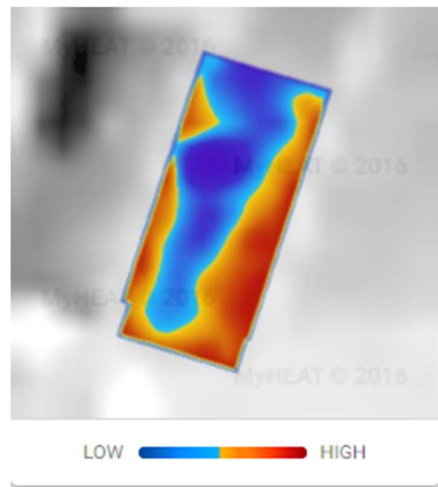
#### HEAT

En typisk GIS-baserad mjukvara för energiförbrukning och utsläppsbedömning är Home Energy Assessment Technologies (HEAT), en gratis online GeoWeb kartläggningstjänst som är utformad för att hjälpa invånare i kanadensiska städer att bedöma värmeeffektiviteten hos deras bostad.

§ HEAT-använder sig av termisk infraröd energidata, insamlad nattetid med flygplan, samt lantmäteridata inom Geographical Object-Based Image Analysis (GEOBIA) -program som genererar tre kartor på bostads-, samhälls- och hemnivå. Det mest anmärkningsvärda med HEAT är att modellen presenterar datan i Google Maps, vilket gör det enkelt för boende att navigera till sin bostad. HEAT modellen är enkel att använda, datan är platsspecifik och modellen utvecklas snabbt. Med hjälp av data kan planerare och entreprenörer inom energisektorn lokalisera områden för marknadsföring av energieffektivitetsuppgärningar. [41] I figurerna 4 och 5 visas ett exempel hur HEAT ser ut vid användning. Figur 4 visar husens värmeförlust på skalan 1-10, detta hus har 9/10. Ju lägre värdering, desto bättre är huset isolerat. Figur 5 visar sedan den insamlade infraröda energi-datan. Dessa infraröda kartor bör sedan tolkas på rätt sätt eftersom noggrannheten påverkas av exempelvis solpaneler på taket. [42]



Figur4. Emissionsbedömningsverktyget HEAT. [42]



Figur 5. Infraröd-energidata i HEAT. [42]

#### 4.4 Framtiden inom GIS

Många teknologier som ligger bakom GIS har utvecklats väldigt mycket den senaste tiden, vilket även har lett till dramatiska förbättringar i hastigheten och kapaciteten i vad och hur vi modellerar och kartlägger med GIS. Bland annat teknologier som datahantering, analytiska verktyg, sensorer, datorkraft, datainsamling och automation utvecklas i en rasande fart. Mot denna bakgrund av teknologiska framsteg har GIS användare möjlighet att analysera större volymer data, lägga till mera information från sensorer och därmed erhålla en större insikt i hur världen fungerar. De här nya utvecklingarna ändrar GIS från att vara en process med analys av statisk data till en mera dynamisk process där övervakning och beslutstagande sker i realtid. Det är ingen överdrift att påstå att GIS till stor del kommer att ligga bakom upptäckten och levererandet av nya samt djupare förståelser för städer, handel, organisationer och till och med komplexa geosystem. [43]

För tillfället sker mycket utveckling inom 3D teknologin i GIS. 3D teknologin är ett lovande område som är användbart inom de flesta planeringsområdena inklusive energiplanering, vilket Helsingfors "Energy and Climate Atlas" är exempel på. I det stora hela så är användningen av energisystemsmodeller och GIS ännu i sin linda. [44]



## **5 HELSINGFORS ”ENERGY AND CLIMATE ATLAS”**

Som en mindre fallstudie undersöks Helsingfors GIS baserade 3D-modeller som publicerades år 2017 på Helsingfors stads hemsida [45]. Helsingfors stad har för tillfället 12 stycket pilotprojekt som utnyttjar de nya 3D-modellerna. Ett av dessa projekt är Helsingfors ”Energy and Climate Atlas”, som publicerades i februari 2018.

Möjligheterna med 3D-modellerna och energi- och klimatatlasen är många och i det följande forskas noggrannare om tekniken bakom och nyttan av de nya modellerna. Dessutom görs en grundligare genomgång av vad den nyligen publicerade Helsingfors ”Energy and Climate Atlas” består av idag och dess utvecklingsmöjligheter.

### **5.1 Fakta om 3D modellerna**

Helsingfors stad publicerade vid årsskiftet 2016-2017 två stycken 3D-stadsmodeller som öppen data: en intelligent semantisk CityGML-datamodell och en visuellt högkvalitativ geometrisk triangelnätverksmodell. Denna nya generation av stadsmodeller baserar sig på de senaste mät-, modellerings- och datamodelleringsmetoderna som har utvecklats under de senaste tio åren. Helsingfors är den första staden i världen att utnyttja dessa två 3D- modeller samtidigt och dessutom den första staden i Norden som det gjorts en 3D-datamodell av. I Europa har dylika datamodeller skapats i större städer, huvudsakligen i länder som Tyskland, Holland och Österrike, men även i Prag, Zürich och Singapore utnyttjar man motsvarande modeller. [46]

## CityGML 3D modellen

Utgångsdata för att producera en karta i CityGML-format är stadens karta och spatialdata, register, punktmoln erhållna genom laserskanning, flygfotografering och byggnadsdata-modeller (BIM).

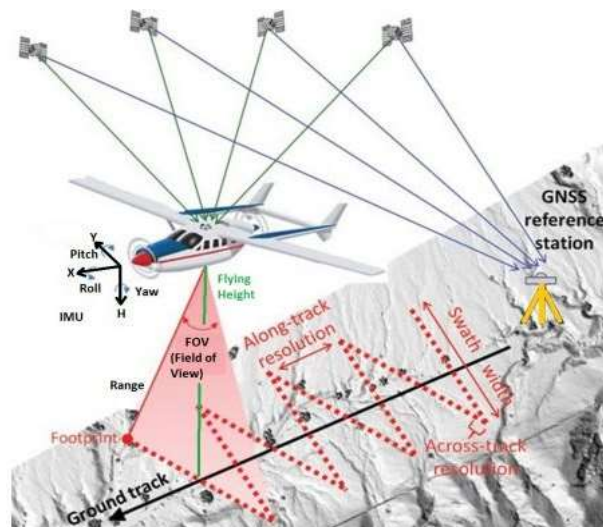
Laserskanningarna av Helsingfors stad görs oftast från ungefär en halv kilometers höjd, vilket resulterar i att man får ca 20 stycken laserpunkter inom en kvadratmeters yta. Varje punkt får en position (x, y, z) med tio cm noggrannhet. Den här punkttätheten i laserskanningen är tillräckligt noggrann vid producering av kartor och stadsmodeller.

CityGML 3D-modellen är mycket mera än en tredimensionell datorvy av en stad. Den geometriska och grafiska designen är endast två perspektiv av objektet. Nyckelfunktionen i modellen är semantik, vilket innebär att modellobjektet kan innehålla egenskapsinformation i en form som är förståelig för datorer. Med de semantiska modellernas hjälp kan man göra en mängd olika avancerade stadsanalyser och simuleringar. [46]

En semantisk modell kan t.ex. svara på följande frågor:

- hur många byggnader, statyer eller träd som befinner sig inom ett område
- hur många fönster i en byggnad som har havsutsikt
- hur mycket solstrålning en byggnads takyta får per år

I figur 6 visas hur laserskanning från flygplan kan se ut. Bland annat ser man på bilden såg-mönstret som laserpunkterna skapar och satelliterna som med referensstationens korrigeringar ger exakt position för flyget.



Figur 6. Laserskanning från luften. [47]

## Triangelnätverksmodellen

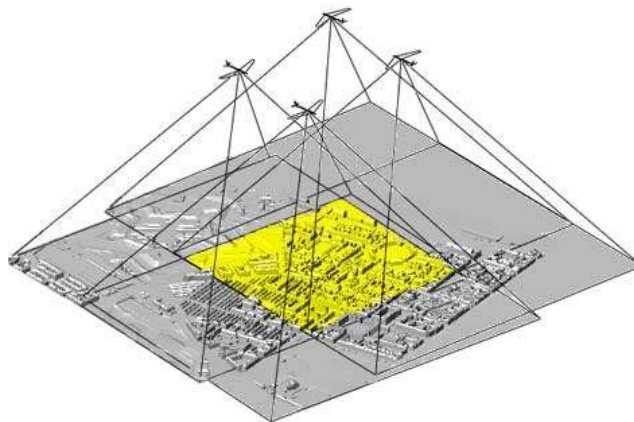
Utgångsdata för triangelnätverks modellen, eller mesh modellen, är flygfotografier samt en applikation som behandlar bilderna och skapar 3D-modeller. Flygfotograferingen av städer görs ofta från flygplan på en höjd av ungefär 1 km. Med hjälp av modern utrustning, som bär fem stycken kameror, får man samtidigt vertikala och diagonala bilder i fyra riktningar. Till fotograferingsutrustningen hör vanligen noggranna GPS- och tröghetsgivarutrustningar. [46]

Ur de tvådimensionella bilderna kan man härleda tredimensionella egenskaper, dessa egenskaper bestäms genom fotogrammetriska beräkningsmetoder. Tekniken bakom fotogrammetri är alltså att göra tredimensionella mätningar på objekt med två eller flera fotografier med överlappningar och tagna från olika positioner. [46] [48]

Den tredimensionella triangelnätverksmodellen produceras alltså med en applikation, inmatningsinformationen i applikationen är huvudsakligen bildserier som applikationen sedan rekonstruerar till triangelnätverk. [49]

Helsingfors stad flygfotograferades på sommaren 2015 så triangelnätverksmodellen på Helsingfors stads hemsida är redan några år gammal. Triangelnätverks modellen kan används som planeringsbotten vid olika planeringsprojekt. Evenemangsordnare kan t.ex. direkt på 3D-modellen planera evenemangets gränser, nödutgångar, scener o.s.v. [46]

I figur 7 visas hur överlappningarna i fotogrammetri fungerar. Flygfotografier med 60% överlappning både framåt och i sidled. Byggnaderna i det gula området har överlappning från fyra bilder, så att områden som inte syns i en bild troligen är synlig i någon annan bild.



Figur 7. Överlappning i fotogrammetri. [50]

## 5.2 Helsingfors ”Energy and Climate Atlas”

Helsingfors stad har för tillfället 12 stycken pilotprojekt som utnyttjar de nya 3D-modellerna. Ett av dessa projekt är Helsingfors ”Energy and Climate Atlas”, som publicerades i februari 2018.

Atlasen har en mängd energirelaterad information om byggnader, och eftersom atlasen är tillgänglig som öppen data så kan den fritt användas av fastighetsägare, stadsplanerare och företag som erbjuder energisparande tjänster. [51] Atlasen är även ett viktigt verktyg för Helsingfors stad i processen att uppnå stadens klimatmål att minska koldioxidutsläppen med 80% och bli en koldioxidneutral stad till år 2035. [52]

Atlasen innehåller både verklig och kalkylerad byggnadsspecifik data. Informationen omfattar energieffektivitetsuppraderingar, energiklassificeringar och energikällorna som används för uppvärmning, d.v.s. om byggnaden använder fjärrvärme, geotermisk energi, el eller annat. Atlasen visar dessutom uppskattad energiförbrukning av byggnader som beräknats av Teknologiska Forskningscentralen VTT. Ytterligare visar atlasen även byggnadsspecifik solenergipotential. [52]

Atlasen baserar sig på den semantiska CityGML stadsmodellen, vilket innebär att man med hjälp av modellen kan göra en mängd olika avancerade simuleringar och analyser. Atlasen täcker hela Helsingfors stad, så det möjliggör att enkelt utföra stadsövergripande energimätningar, men även bedömningar av specifika byggnader. [52]

För tillfället finns följande information i atlasen:

- mängden solstrålning och solenergipotentialen hos byggnaderna
- kommunala registerdata (bl.a. byggnadernas uppvärmningssätt, användningsändamål, volym, byggnadsmaterial)
- renoveringar och ändringar (bl.a. tillåtna grundrenoveringar)
- skyddade byggnader (skyddsmärkningar)
- uträknade energiförbrukningar enligt åldersklass hos byggnaderna (värmeförbrukning, elanvändning)
- förbättringsmöjligheter och kostnader för byggnadernas energieffektivitet i Havsagens typiska 70-80-tals hus.

- energicertifikat och deras förbättringsförslag
- Helsingfors stads byggnaders uppmätta förbrukningsinformation för åren 2015 och 2016 (Fjärrvärme, fastighetselektricitet, vattenförbrukning) [51]

### 5.2.1 Solenergipotentialfunktionen

Helsingfors ”Energy and Climate Atlas” erbjuder redan en möjlighet att addera en solenergipotential funktion som anger alla 80 000 byggnaders solenergipotential på byggnadernas tak och väggar, totalt över 900 000 ytor. [53] Eftersom detta är en av de få funktioner som för tillfället finns i atlasen så gås i det följande grundligare igenom just solenergipotentialfunktionen.

Data i solenergimodellen är uppdelad i två huvudkategorier: **solenergipotential** och **2D data**. Dessa huvudgrupper har sedan ytterligare två funktioner var. Totalt har solenergimodellen alltså 4 kategorier.

#### **Solenergi potential:**

Helsingfors solenergipotentialfunktion baserar sig på den tematiska CityGML-stadsmodellen samt byggnadernas tak- och väggytors egenskapsberäkningar.

##### 1. Solstrålning per månad och per år

3D-stadsmodellen innehåller följande egenskapsdata för vägg- och takytor:

-*direkt solstrålning* [kWh]. Anges per månad och per år. Mängden solstrålning som infaller direkt från solen.

-*diffus solstrålning* [kWh]. Anges per månad och per år. Mängden solstrålning som reflekteras via atmosfären.

-*global solstrålning* [kWh]. Anges per månad och per år. Summan av direkt och diffus solstrålning. Till dessa data hör inte strålning som är reflekterad från byggnader och markytor.

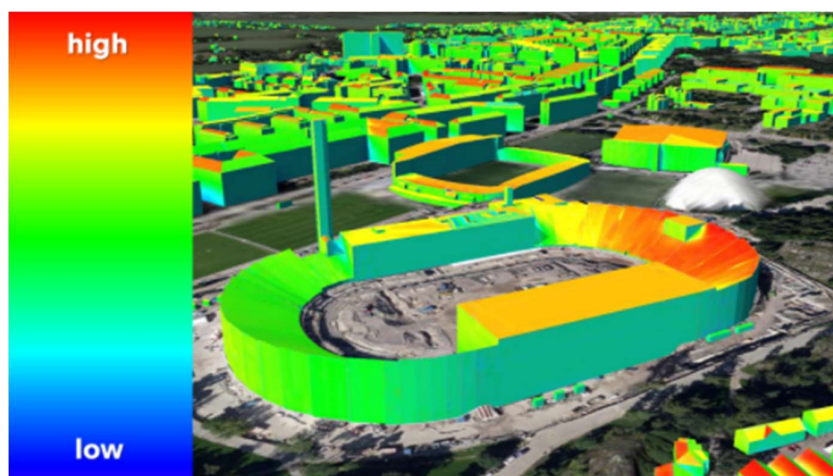
-*himlens synlighet: minimi-, maximi- och medelvärde* [%]. I beräkningen har omkringliggande byggnaders skuggning beaktats.

Vid samtliga direkt-, diffus- och globalsolstrålning samt vid himlens synlighetsfaktor finns skilda uträkningar för varje yta hos byggnaderna men även byggnadernas totala uträkningar. För att anpassa modellen till regionala atmosfäriska skillnader så har solstrålningsdatan kalibrerats med data från Nasa Atmospheric Science Data Center. Solstrålningsdatan har kalibrerats så att den matchar det uppmätta medelvärdet av solstrålningen i Helsingfors under de senaste 22 åren.

Att tänka på vid användningen av denna data är att solstrålningsenergin i 3D-modellen inte är lika med effekten som kan bli genererad av solceller eller solfångare, eftersom detta beror på anläggningens tekniska aspekter, verkningsgrad, takets ytareal som täcks av paneler samt möjliga installationsjusteringar hos panelernas vinklar. [45]

## 2. Solstrålningsytmönster

Denna data presenterar 3D-byggnaderna med ytmönster som visar solenergipotentialen enligt ett färgschema. I figur 8 ser man de ytor som har mest inkommande solstrålning i Olympiastadion i Helsingfors. På färgschemat till vänster i bilden beskrivs solstrålningen på en skala från lågt till högt. [45]



Figur 8. Helsingfors "Energy and Climate Atlas". [45]

## 2D data:

### 3. Lämpliga takytor för solpaneler

Data visar potentiella ytor för solpaneler. Här uppskattar man i modellen att ytan är lämplig för solpaneler om den inkommande solstrålningen är mera än 847 kWh/m<sup>2</sup>/år, ytan är åtminstone 5 m<sup>2</sup> och befinner sig längre än 0,5 m från kanten av taket. Källan till data i denna funktion kommer från Helsingforsregionens miljö-tjänster (HRM).

### 4. Solpanelpotential

Här har man beräknat solcellers energipotential på byggnadernas takytor med utgångsantagandet att all takyta som lämpar sig för solpaneler även är täckt av solpaneler. Vid beräkningen av elektricitetens årsproduktionspotential har man antagit att solpanelernas verkningsgrad är 15 % och att de är installerade i samma lutning som takytan. I byggnadsinformationen hittar man elproduktionen (MWh/år) samt solpanelernas yta i kvadratmeter. Källan till data i denna funktion kommer också från Helsingforsregionens miljö-tjänster (HRM). [45]

En mervärdeshöjande detalj i solenergipotentialmodellen skapas av funktionen för åtkomst av solstrålningsattributen hos varje byggnad. Till exempel kan användaren enkelt via solenergipotentialmodellen utföra en databasfråga för att markera alla de byggnader som har höga instrålningsvärden. [54] Detta torde vara bra vid undersökningar av potentiella fastigheter där solenergi vore en effektiv lösning.

## **5.2.2 Helsingfors ”Energy and Climate Atlas” användning vid energiplanering**

Atlasen publicerades i februari 2018, därmed har inte några större projekt eller studier där atlasen använts gjorts före verkställandet av denna forskning.

Den är huvudsakligen ett verktyg för stadsplanering och beslutsfattande när man bedömer hurdana energieffektivitetsåtgärder man skall vidta och inom vilka områden av Helsingfors. Atlasen är ett verktyg för visuell presentation och visualisering av information. Det är lätt att granska energidata över hela staden men det är även möjligt att noggrannare granska enskilda husobjekt.

Inom en snar framtid kommer man antagligen att få se en hel del utveckling och användning av Helsingfors ”Energy and Climate Atlas”. Detta på grund av de aktuella energi-frågorna i Helsingfors stad. Helsingfors stad har lagt upp ett mål att vara en koldioxidneutral stad till 2035, i denna process kommer Helsingfors ”Energy and Climate Atlas” troligen vara en viktig hörnsten.

## **5.2.3 Utvecklingen av Helsingfors ”Energy and Climate Atlas”**

Utvecklingen och uppdateringen av Helsingfors ”Energy and Climate Atlas” i CityGML-stadsmodellen fortsätter. De senaste planerna involverar förnybar energipotential på byggnader, jordvärmepotential och data som kan användas i syfte att anpassa staden till klimatförändringen, t.ex. hantering av översvämningar vid ösregn. [51] [52]



## 6 SAMMANDRAG

Detta examensarbete ger en överblick på vad geografiska informationssystem kan erbjuda inom energiplaneringssektorn. Tekniska bakgrundsfakta till GIS och användningen av GIS-applikationer vid lägesanalyser av förnybara energikraftverk, samt GIS-användning i urbana och rurala förhållanden har bearbetats. I februari 2018 publicerade Helsingfors stad en ”Energy and Climate Atlas” som baseras på geografiska informationssystem. I arbetet undersöks Helsingfors ”Energy and Climate Atlas” på ett djupare plan.

För tillfället är geografiska informationssystem inte använda till deras fulla potential inom energiplanering. De geografiska informationssystemen inom förnybar energiplanering behandlar tillsvidare nästan enbart sol- och vindenergi. Ännu krävs en hel del utveckling inom GIS-baserade 3D-modeller likt Helsingfors ”Energy and Climate Atlas” tematiska City-GML baserade stadsmodellen. Den tematiska City-GML stadsmodellen kommer antagligen utvecklas mycket inom en snar framtid, bl.a. fjärravläsning av byggnadsspecifika data är inom räckhåll. Användningen av energisystemsmodeller och geografiska informationssystem är ännu i sin linda. I och med teknologins snabba utveckling och den stadigt ökande datamängden i världen kommer även de geografiska informationssystemens roll inom datahantering och energiplanering att öka.

## KÄLLOR

- [1] N. L. Lam och e. al., "Kerosene: A review of household uses and their hazards in low- and middle -income countries.," *J Toxicol Environ Health B Crit Rev*, vol. 15, pp. 396-432, 2012.
- [2] "What lies behind Africa's lack of access and unreliable power supplies," 2016. [Online]. Available: <http://theconversation.com/what-lies-behind-africas-lack-of-access-and-unreliable-power-supplies-56521>.
- [3] I. E. A. (IEA) och W. Bank, "Progress Towards Sustainable Energy 2015," *Sustainable Energy for all*, 2015.
- [4] WWF, "Klimat Lösningar," 2017. [Online]. Available: <http://www.wwf.se/wwfs-arbete/klimat/losningar/1124285-losningar-klimat>. [Använd 14 03 2018].
- [5] C. Berndtsson, "open Geospatial Data for Energy Planning," KTH School of industrial engineering and management, Stockholm, 2016.
- [6] C. Dempsey, "GIS Lounge, WHERE is the phrase"80% of Data is Geographic" from?," 28 10 2012. [Online]. Available: <https://www.gislounge.com/80-percent-data-is-geographic/>. [Använd 24 03 2018].
- [7] "MapCruzin, What is GIS," [Online]. Available: <http://www.mapcruzin.com/what-is-gis.htm>. [Använd 24 03 2018].
- [8] National-Geographic, "Society," [Online]. Available: <https://www.nationalgeographic.org/encyclopedia/geographic-information-system-gis/>. [Använd 21 11 2017].
- [9] William R. Miller, "Introducing Geodesign: The Concept," *Esri*, p. 36, 2012.

- [10] "Thoughts on the future of GIS. What will change in 50 years," Techno FAQ, [Online]. Available: <https://technofaq.org/posts/2017/07/thoughts-on-the-future-of-gis-what-will-change-in-50-years/>. [Använd 16 03 2018].
- [11] "Vad är GIS och geografisk information," Geoforum Sverige, [Online]. Available: <https://geoforum.se/om-gis>. [Använd 16 03 2018].
- [12] "CGIAR\_CSI," [Online]. Available: <http://www.cgiar-csi.org/>. [Använd 05 03 2018].
- [13] "What is Geographic Information Systems(GIS), GISGeography," [Online]. Available: <https://gisgeography.com/what-gis-geographic-information-systems/>. [Använd 16 03 2018].
- [14] E. Jeannie och E. Emdash, "National Geographic, GIS( geographic information system)," 21 june 2017. [Online]. Available: <https://www.nationalgeographic.org/encyclopedia/geographic-information-system-gis/>. [Använd 23 03 2018].
- [15] G. Adrienne och C. Ricardo, "Planning from a future vision: inverse modelling in spatial planning," *Environmental and Planning B Planning and Design*, vol. 38, pp. 979-994, 2011.
- [16] D. Elliot, "Renewable energy and sustainable futures," *Futures*, vol. 32, pp. 261-274, 2000.
- [17] I. Vera och L. Langlois, "Energy indicators for sustainable development," *Energy*, vol. 32, pp. 875-882, 2007.
- [18] I. Dincer, "Renewable energy and sustainable development: A crucial review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 4, pp. 257-175, 2000.
- [19] "World Wildlife Fund. Vår enda framtid: 100 procent fossilfritt.," [Online]. Available: <http://www.wwf.se/wwfs-arbete/klimat/fornybar-energi/1628298-fornybar-energi-at-alla-klima>. [Använd 28 02 2018].

- [20] D. Vettorato, D. Geneletti och P. Zambelli, "Spatial comparison of renewable energy supply and demand for low-carbon settlement.," *Cities*, vol. 28, pp. 557-566, 2011.
- [21] M. V. Gil, D. Blanco, M. Carballo och L. Calvo, "Carbon stock estimates for forests in the Castilla y Leon Region, Spain. A GIS based method for evaluating spatial distribution of residual biomass for bio-energy," *Biomass and Bioenergy*, vol. 35, pp. 243-252, 2011.
- [22] A. Arnette och C. Zebel, "Spatial analysis of renewable energy potential in the greater southern Appalachian mountains," *Renewable Energy*, vol. 36, pp. 2785-2798, 2011.
- [23] J. Hoesen och S. Letendre, "Evaluating potential renewable energy resources in Poultney, Vermont: A GIS-based approach to supporting rural community energy planning," *Renewable Energy*, vol. 35, pp. 2114-2122, 2010.
- [24] J. Domingues och J. Amador, "Geographical information systems applied in the field of renewable energy sources," *Computers & Industrial Engineering*, vol. 52, pp. 322-326, 2007.
- [25] A. Simao, P. Densham och M. Haklay, "Web-based GIS for collaborative planning and public participation: An application to the strategic planning of wind farm sites.," *Journal of Environmental Management*, vol. 90, pp. 2027-2040, 2009.
- [26] P. Aditya och V. Jukka, "Rural Energy modeling and planning: A review on tools and Methodology.," *Bulletin of Science, Technology & Society*, vol. 33, pp. 191-197, 2013.
- [27] M. Dimitros, W. Manuel, F. Franvesco, B. Oliver, H. Mark, B. Morgan och R. Holger, "A GIS-based approach for electrificational planning- A case study on Nigeria.," *Energy for Sustainable Development*, vol. 29, pp. 142-150, 2015.

- [28] E. Kaijuka, "GIS and rural electricity planning in Uganda," *Journal of Cleaner Production*, vol. 15, pp. 203-217, 2007.
- [29] V. H. John and S. Letendre, "Evaluating potential renewable energy resources in Poultney, Vermont: A GIS-based approach to supporting rural community energy planning," *Renewable Energy*, pp. 2114-2122, 2010.
- [30] D. Javier och P.-P. Irene, "GIS Tool for Rural Electrification with Renewable Energies in Latin America," *Renewable Energy Department CIEMAT, Science & Innovation Ministry Madrid, Spain*, 2009.
- [31] S. Thamas, M. Bela, H. Adam, C. Csaba, H. Gergely, T. Laszlo, C. Gabor, D. Henriett, S. Fanni och S. Maria, "GIS-based assessment of the opportunities for small-scale pumped hydro energy storage in middle-mountain areas focusing on artificial landscape features.," *Energy*, 2017.
- [32] C. Li, "GIS for Urban Energy Analysis," i *Reference Module in Earth systems and Environmental Science*, 2017.
- [33] "An Overview of the solar radiation tool," Esri, 2018. [Online]. Available: <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/an-overview-of-the-solar-radiation-tools.htm>. [Använd 11 02 2018].
- [34] S. Freitas, C. Catita, P. Redweik och M. Brito, "Modelling solar potential in urban environment: State-of-the-art review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 41, pp. 915-931, 2015.
- [35] J. Q. Steven, L. G. A. Qi, B. Jason and P.-J. Y. Perry, "A GIS based Energy balance modelling system for urban solar buildings," *Energy Procedia*, vol. 75, pp. 2946-2952, 2015.
- [36] "ESRI ArcGis," Youtube, 2018. [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=H7kJVv5RKqc>. [Använd 11 03 2018].

- [37] "Airflow Analyst," [Online]. Available: <http://airflowanalyst.com/en/function.html>. [Använd 11 02 2018].
- [38] "Airflow analyst Youtube," [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=NLQqyPywgCE>. [Använd 11 02 2018].
- [39] "ENVI\_MET," [Online]. Available: <http://www.envi-met.com/>. [Använd 19 02 2018].
- [40] "TownScope," [Online]. Available: <http://www.townscope.com/index.php?page=software&subpage=main&lang=EN&theme=default..> [Använd 19 02 2018].
- [41] B. Hemachandran, G. Hay, C. Kyle, G. Chen och R. Powers, "HEAT-Home Energy Assessment Technologies: A web based system for residential waste heat analysis using airborne thermal imagery".
- [42] "MyHEAT," [Online]. Available: <https://myheat.ca/>. [Använd 19 02 2018].
- [43] S. Bern och B. Matt, "Esri, Mapping the Future of GIS," 14 Februari 2018. [Online]. Available: <https://www.esri.com/about/newsroom/blog/mapping-future-gis/>. [Använd 07 04 2018].
- [44] R. Bernd, S. Gunther, T. Tobias, B. Andreas, E. Jan-Bleicke, H. Sebastian, n. Sattaya och G. Hartmut, "GIS-Based Planning an Modeling for Renewable Energy: Challenges and Future Research Avenues," *Geo-Information*, vol. 3, pp. 662-692, 2014.
- [45] "Helsingfors stad, Solar Energy Potential," [Online]. Available: <https://kartta.hel.fi/3d/solar/#/legend>. [Använd 19 03 2018].
- [46] H. Kaupunki, "Uuden sukupolven 3D-kaupunkimallit Helsinkiin," [Online]. Available: <https://www.hel.fi/static/kanslia/Helsinki3D/Uuden-sukupolven-kaupunkimallit-Helsinkiin.pdf>. [Använd 21 03 2018].
- [47] M. Lemmens, "The Fierce of airborne Lidar," *GIM*, 2017.

- [48] J. Åkerholm, "Fotogrammetriska mätningar med hjälp av digitala bilder tagna från UAV-flygplan," *Yrkehögskolan NOVIA*, p. 76, 2012.
- [49] A. Boberg, "Geodetisk och fotogrammetrisk mättnings- och beräkningsteknik," *Lantmäteriet m.fl.*, pp. 181-256, 2013.
- [50] M. O. Nielsen, "True Orthophoto generation,," *Master thesis*, p. 142, 2004.
- [51] "Helsinki Energy and Climate Atlas," Helsingin Kaupunki, 2018. [Online]. Available: <https://kartta.hel.fi/3d/atlas/#/>. [Använd 22 03 2018].
- [52] H. Kaupunki, "Helsinki News, Helsinki publishes energy and climate atlas on 3D city model," Helsingin Kaupunki, 5 03 2018. [Online]. Available: <http://en.uuttahelsinkia.fi/news/helsinki-publishes-energy-and-climate-atlas-3d-city-model>. [Använd 22 03 2018].
- [53] S. Cousin, "Helsinki uses BIM to calculate solar potential of 80 000 buildings," 6 September 2017. [Online]. Available: <http://www.bimplus.co.uk/technology/helsinki-uses-bim-calculate-solar-potential-80000-/>. [Använd 22 03 2018].
- [54] "VirtualcitySYSTEMS, Helsinki Energy and Climate Atlas," February 2018. [Online]. Available: <http://www.virtualcitysystems.de/en/news/496-helsinki-energy-and-climate-atlas>. [Använd 23 03 2018].
- [55] "DECoRuM," Oxford Brookes University, [Online]. Available: <https://www.brookes.ac.uk/business-and-employers/new-technologies/decorum%C2%AE/>. [Använd 20 02 2018].
- [56] D. R. Gupta, "A new geographical information system-based approach to map and reduce energy-related co2 emissions from UK dwellings," *Building Simulation*, pp. 2114-2121, 2009.