



GÖTEBORGS UNIVERSITET

INFRASTRUKTURNÄRA VEGETATION I GÖTEBORG

Fredrik Lindberg

Lars Johansson

Sofia Thorsson

**Stadsklimatgruppen
Institutionen för geovetenskaper
Göteborgs universitet**

RAPPORT

GÖTEBORGS UNIVERSITET
Institutionen för geovetenskaper
Box 460, 405 30 Göteborg

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

SAMMANFATTNING	3
INLEDNING	3
METOD	4
RESULTAT	5
BERÄKNING AV ÅRLIG ACKUMULERING AV KOL I BIOMASSA – ETT RÄKNEEXEMPEL	13
Metod 1. Urban vegetation (IPCC " <i>Settlements</i> ")	14
Metod 2. Naturlig skog (IPCC " <i>Forest Land</i> ")	15
Resultat	15
DISKUSSION	17
REFERENSER	19

SAMMANFATTNING

Ett flertal ekosystemtjänster kan identifieras utifrån vegetation inom urbana områden, så som biologisk mångfald, klimatreglering, luft- och vattenrening, markhantering, ljuddämpning samt rekreation och välbefinnande. Den här studien fokuserar på grönska i områden i anslutning av infrastruktur. Studien använder sig av Laserscannat flygdata (LiDAR) som är en relativt ny metod där man har möjlighet av kartera utbredning och diverse egenskaper av högre vegetation (träd och buskar) med mycket stor noggrannhet. Resultat från studien visar att andelen högre vegetation nära infrastruktur är betydligt mindre (halverad) än den totala referensytan (Göteborgs kommun). Försök att uppskatta den årliga ackumuleringen av kol i biomassa med hjälp av LiDAR-data, som ett exempel på en ekosystemtjänst, har också genomförts. Resultat från dessa försök visar på stora osäkerheter och vid tolkning av resultaten av sådana beräkningar är det viktigt att tänka på att de specifika värdena endast är grova approximationer; modellen antar ett uniformt förhållande mellan biomassa och vegetationstäcke, medan det i verkligheten finns stora variationer mellan olika platser, främst beroende på varierande ålder- och artsammansättning. Dessa egenskaper kan inte tas fram med hjälp av LiDAR.

INLEDNING

Vegetation i urbana miljöer bidrar med ett flertal ekosystemtjänster till samhället så som biologisk mångfald, klimatreglering, luft- och vattenrening, markhantering, ljuddämpning samt rekreation och välbefinnande (Bowler m.fl. 2010). Hirano (2004) visade till exempel att även små ytor med vegetation, såsom enskilda träd kan ha betydande påverkan på det lokala urbana klimatet. Information om sådan typ av informell vegetation är ofta exkluderat från allmän markanvändningsdata. Speciellt saknas ofta information om vegetationens tredimensionella egenskaper, det vill säga både utbredning och *höjd*. Laserscannat flygdata (LiDAR) gör det möjligt att kartlägga utbredning och höjd av både vegetation och byggnader med mycket stor noggrannhet (Goodwin m.fl. 2009; Holmgren & Persson 2004). Därför är det möjligt att skapa rumsliga data som beskriver viktiga 3D-egenskaper för *all* vegetation i städer; information som kan användas till att integrera vegetation i planering och riskhantering.

I föreliggande studie har vegetation inom statsägd, infrastrukturnära mark (väg och järnväg) inom Göteborgs kommun analyserats med LiDAR-data och GIS. Vegetationens rumsliga fördelning samt dess tredimensionella egenskaper har kartlagts. Försök att beräkna årlig ackumulering av kol i biomassa för ett antal större infrastruktur platser har också genomförts.

METOD

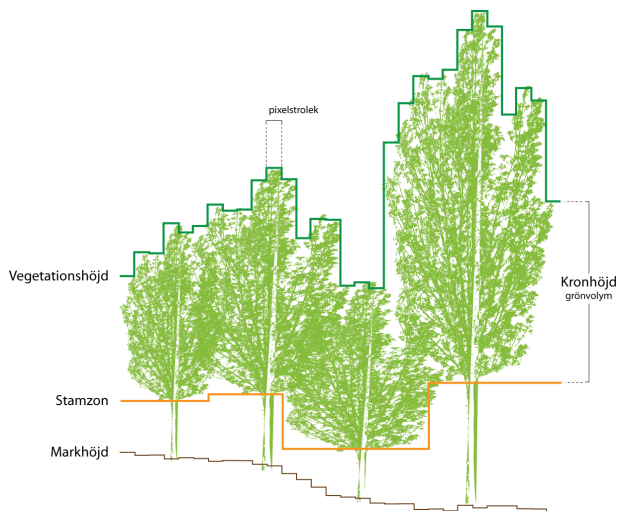
Metodiken för bearbetning (rastrering) av LiDAR-data och modellering av vegetationsytor (vegetationshöjdmodeller) beskrivs detaljerat i rapporten *Träden i staden - användningen av LiDAR-data för att identifiera urban vegetation* (Lindberg m.fl. 2013).

I studien användes LiDAR-data från Göteborg stadsbyggnadskontor (Tabell 1) indelat i deldatamängder (rutor) om 1000×1000 meter. Datasetet täcker i stort sett Göteborgs kommun, se KARTA I. Kartan visar även utbredningen av statsägd, infrastrukturnära mark, förvaltd av Trafikverket. Denna mark utgörs dels av områden längs med vägar dels av mark längs järnväg. Geodata för de två områdena är erhållna från Trafikverket, november 2012.

Tabell 1. Egenskaper hos LiDAR-datasetet från Göteborgs stadsbyggnadskontor.

Flyghöjd	550 meter
Bredd	20 grader off-nadir
Punkttäthet	13.65 punkter/m ²
Footprint diameter	0.13 m
Täckning	Inom Göteborg kommuns gränser
Säsong	Med löv

Resultatet av LiDAR-bearbetningen är raster för vegetationshöjd över marken, stamzonhöjd och kronhöjd, se Figur 1. Stamzonhöjd är en skattning av höjden för trädkronans basnivå. Måttet används för att beräkna kronans höjd som är skillnaden mellan vegetationshöjden och stamzonhöjden. Enligt tidigare undersökningar (Lindberg m.fl. 2013) är osäkerheten i stamzonhöjd relativt stor, medan vegetationshöjden stämmer väl med jämförande fältmätningar. Värt att notera är att den använda metoden ger modeller som beskriver vegetationen per rastercell. Segmentering av enskilda träd har inte gjorts. Metoden filtrerar också bort vegetation lägre än 1 meter.



Figur 1. Tre höjdmodeller skapas utifrån LiDAR-data: vegetationshöjd, markhöjd, stamzonshöjd och kronhöjd.

RESULTAT

Resultatet av analysen (Tabell 2) visar att vegetationstäckets inom statsägd infrastrukturnära mark är mindre än genomsnittet i Göteborgs kommun. Inom hela den analyserade datamängden (Göteborg) är vegetationstäckets 31,8% medan det är knappt hälften så mycket på mark nära väg (14,2%) och ytterligare något mindre nära järnväg (10,2%). Vegetationen är också lägre nära väg och järnväg jämfört med hela området. På mark nära järnväg är närmare hälften av vegetationen (47,1%) lägre än 2,5 m. Motsvarande andel nära väg är 23,1% och för hela områden endast 20,1%. Omvänt är nästan en tredjedel (29,7%) av vegetationen i hela Göteborg över 11,6 m¹. Nära väg och järnväg är 15,2% respektive 4,5 % av vegetationen över 11,6 m. Dessa siffror avspeglas i medelhöjden som är högst för hela Göteborg, 7,7 m och lägst för mark nära järnväg 4,0 m.

Sammantaget innebär detta att den totala grönvolymen på mark nära järnväg inom Göteborgs kommun är betydligt mindre än på mark nära väg. Det beror på att ytan är mindre, vegetationstäckets är mindre och på att vegetationen är lägre nära järnväg. På statsägd infrastrukturnära mark inom Göteborgs kommun är den totala grönvolymen 4029 t m³.

Tabell 2. Resultat av vegetationsanalys inom hela studieområdet (Göteborg) samt inom statsägd infrastrukturnära mark (total) fördelad på järnväg och väg.

		Göteborg	Väg	Järnväg	Total
Total area	(ha)	41000	614	139	753
Area vegetation	(ha)	13057	87	14	101
		31,8%	14,2%	10,2%	13,5%
Area vegetation h<2,5m	(ha)	2629	20	7	27
		20,1%	23,1%	47,1%	3,6%

¹ 2,5 m och 11,6 meter motsvarar den 25 och 75 percentilen för hela datasetet och har använts som avgränsning för låg respektive hög vegetation.

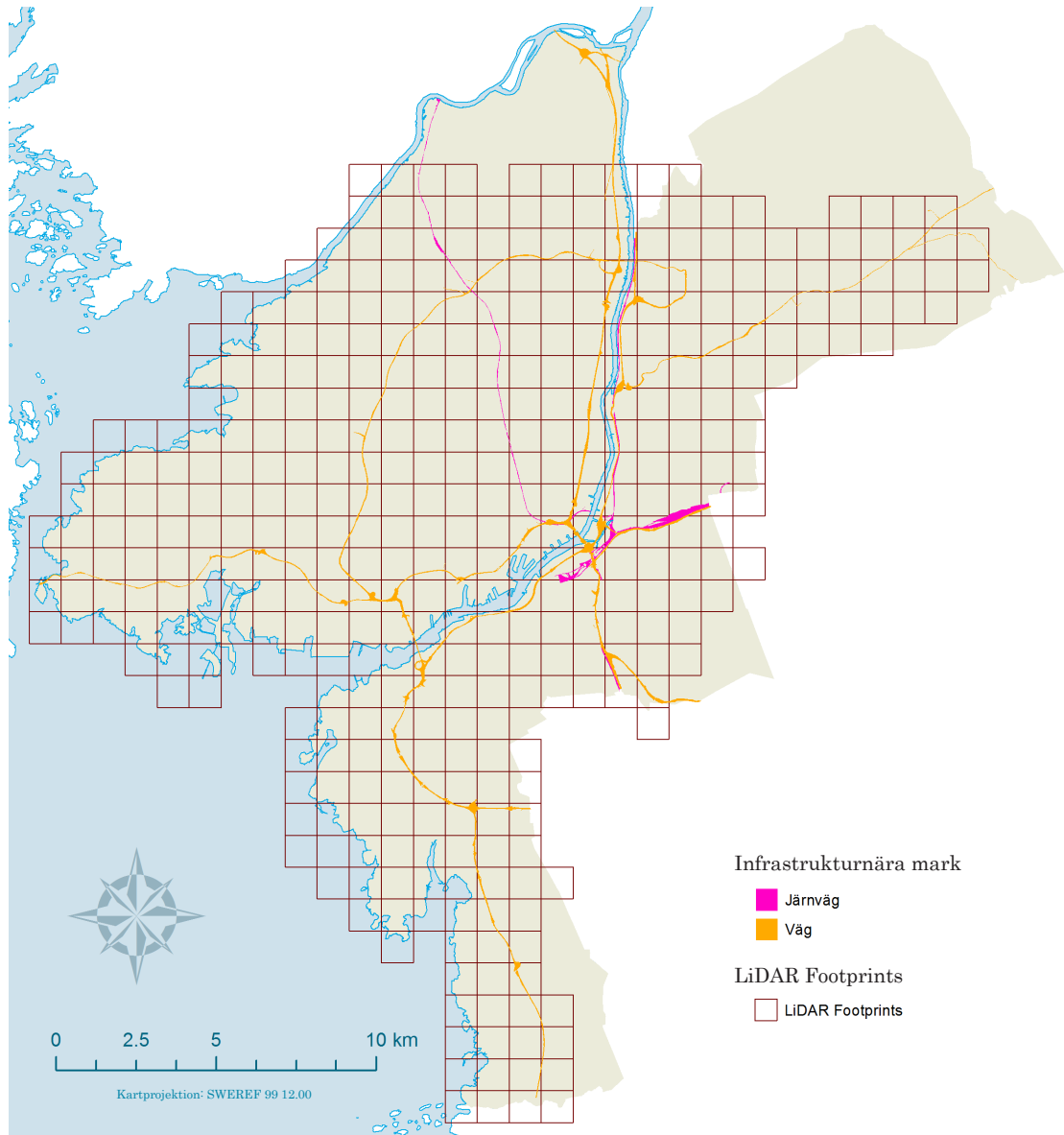
Area vegetation 2,5m<h< 11,6m	(ha)	6555 50,2%	54 61,7%	7 48,4%	61 8,1%
Area vegetation 11,6m< h	(ha)	3873 29,7%	13 15,2%	1 4,5%	14 1,8%
Grönvolym	(t m3)		3739	289	4029
	(t m3 / ha)		6,1	2,1	5,3
Grönvolym (h < 2,5m)	(t m3)		113	37	150
	(t m3 / ha)		0,18	0,27	0,20
Grönvolym (2,5m < h < 11,6m)	(t m3)		2295	195	2490
	(t m3 / ha)		3,7	1,4	3,3
Grönvolym (11,6m < h)	(t m3)		1332	58	1389
	(t m3 / ha)		2,2	0,41	1,8
Medelhöjd	(m)	7,7	6,0	4,0	
Medianhöjd	(m)	6,6	5,1	2,3	
Standardavvikelse	(m)	5,6	4,4	3,6	

Fördelningen av vegetation inom studieområdet visas i KARTA II som vegetationshöjd med upplösningen 1 meter/cell. De huvudsakliga dragen i landskapet framträder i vegetationsmönstret; låg kraftigt fragmenterad vegetation framhäver kustområden och åt nordost återfinns större sammanhängande skogspartier i det mer kuperade landskapet på båda sidor om Göta älv. Här är också vegetation högre än längs kusten. På norra Hisingen avslöjar avsaknad av vegetation inslag av jordbruk. Det urbana landskapet visar olika sidor; stadskärnan och de industriområdespräglade områdena längs älven har mycket sparsamt med gröna inslag. Här återfinns till exempel området kring centralstationen samt Göteborgs hamn. Även industriområdet Sisjön framträder tydligt. Betydligt mer vegetation finns i stadsdelar utanför själva stadskärnan, framför allt i områden med inslag av villor som i de västra delarna av staden söder om hamninloppet. Stadens gräns mot omgivande land är aldrig riktigt tydlig. Kartorna över vegetationstäcke (KARTA III) och medelhöjd (KARTA IV) sätter siffror på de iakttagna mönstren. Täckningsgraden varierar från under 8 % i de glesaste områdena till över 90 % främst i norr och i öster. Längst i söder finns också områden med hög täckningsgrad. I regel är täckningsgraden lägre närmare kusten än inåt land. Samma mönster präglar den rumsliga fördelningen av vegetationens medelhöjd; lägre närmare kusten och högre inåt land. Götaälvdalen har både lägre täckningsgrad och lägre medelhöjd än omgivande terräng. Kartorna över vegetationens fördelning och höjd visar att det i exemplet Göteborg, är de naturgivna förhållandena som styr den storskaliga fördelningen av vegetationen.

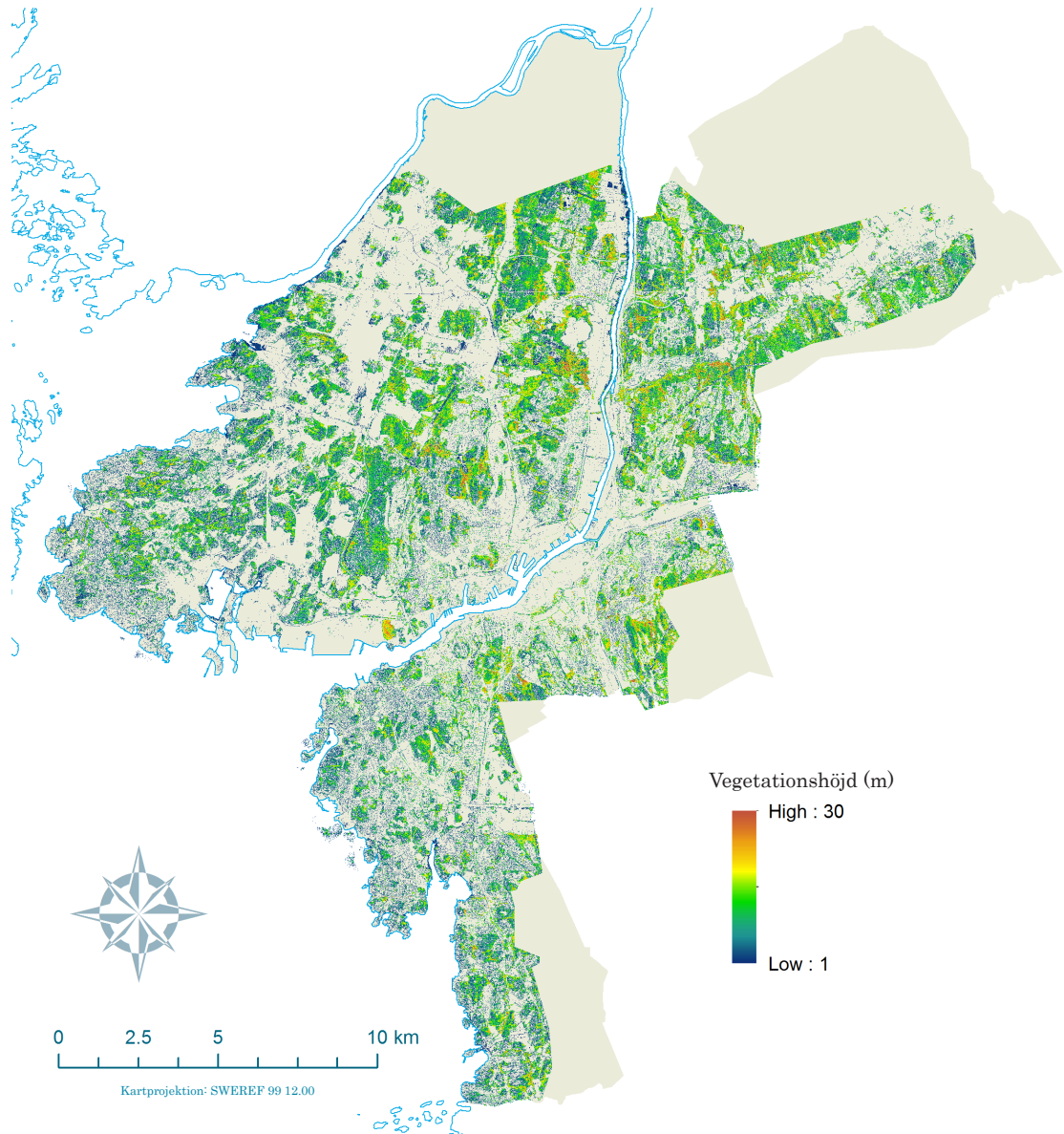
KARTA V visar vegetationens medelhöjd inom statsägd infrastrukturnära mark för rutor om 100×100 meter, vilket gör det möjligt att få en översikt över hela Göteborg. I kartan kan utläsas att vegetation finns längs nästan alla vägsträckningar som ingår i studien. Längre avbrott finns på ett fåtal ställen. Vegetationens höjd följer, i den mån någon trend

kan utläsas, i stort sett det tidigare iakttagna mönstret med högre vegetation i inlandet och lägre närmare kusten.

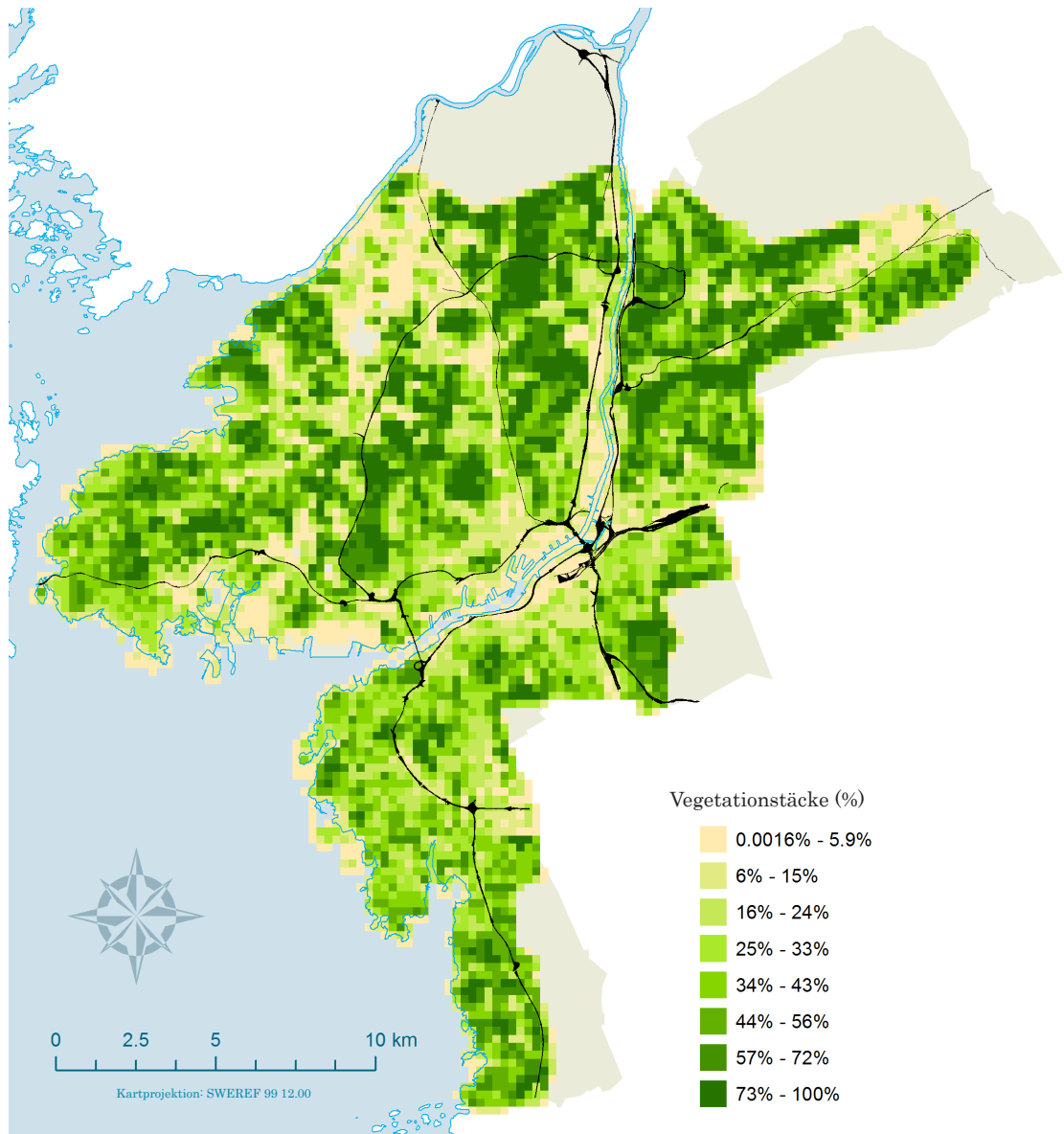
KARTA I. Utbredning av tillgängligt LiDAR-data samt statsägd infrastrukturnära mark (väg och järnväg).



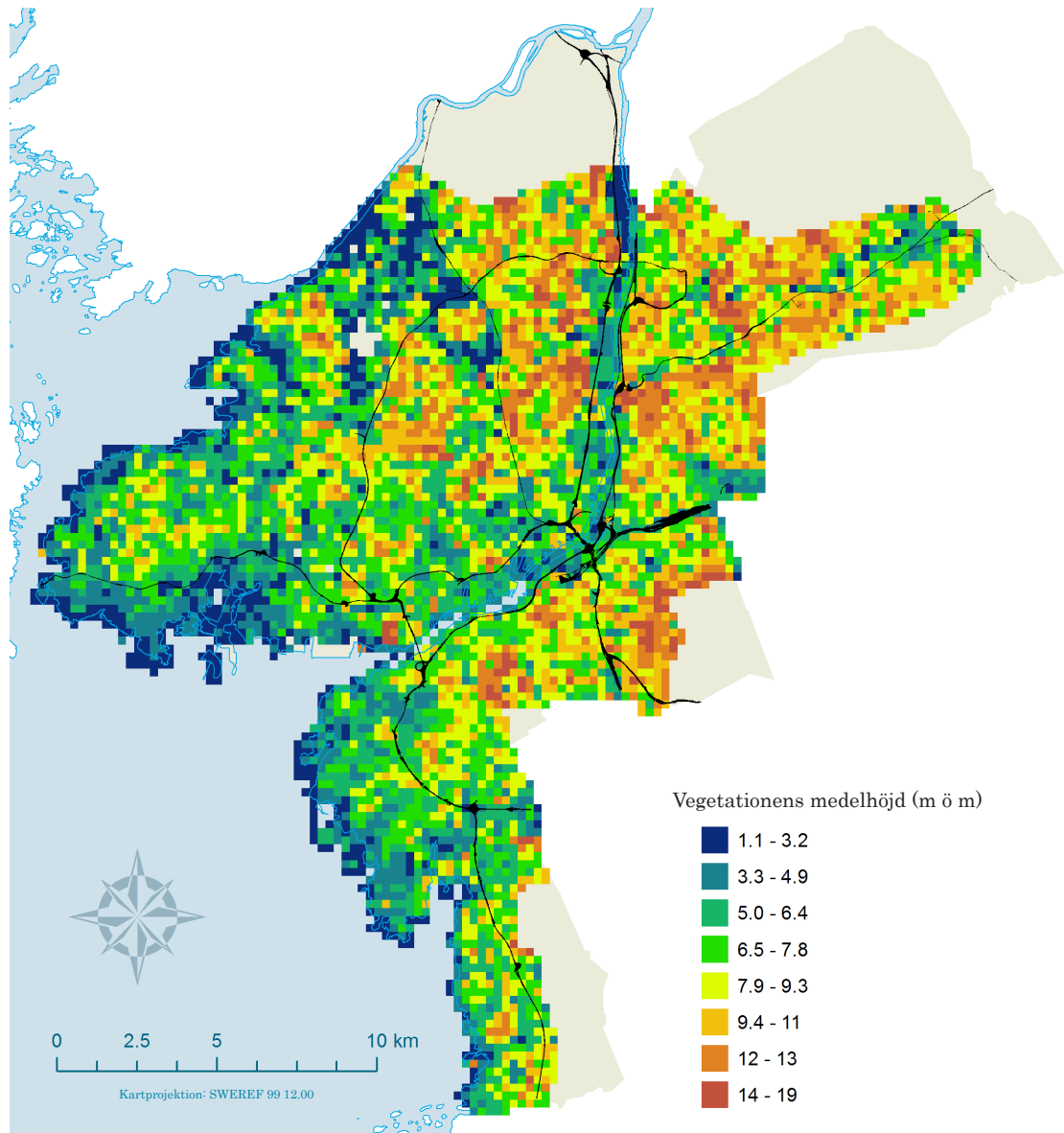
KARTA II. Vegetationsmodell med 1m upplösning.



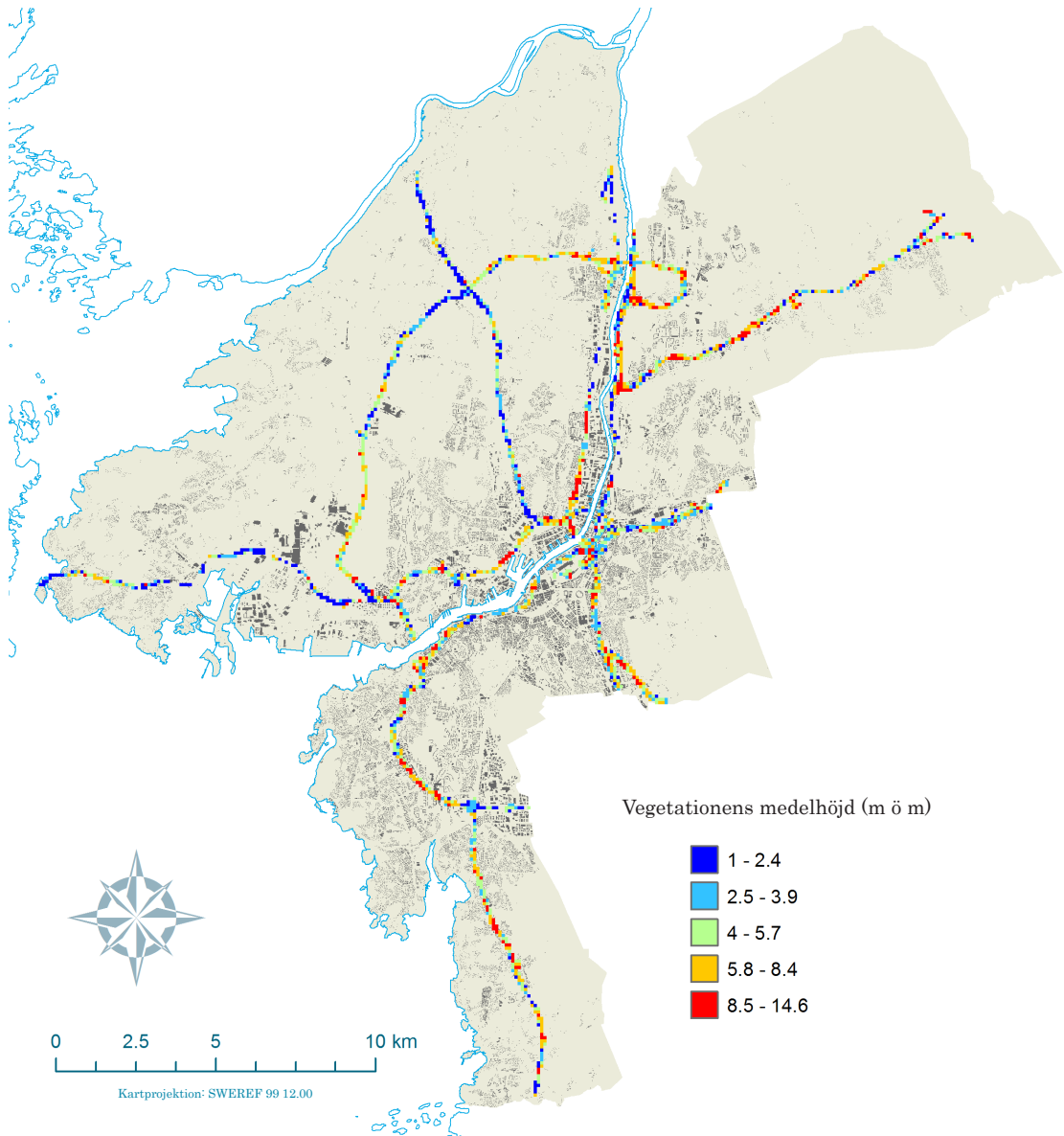
KARTA III. Vegetationstäcke (>1m), 250 m upplösning.



KARTA IV. Vegetations (>1m) medelhöjd, 250 m upplösning.



KARTA V. Vegetationens medelhöjd inom statsägd infrastrukturnära mark. Aggregerad i rutor om 100x100m.



BERÄKNING AV ÅRLIG ACKUMULERING AV KOL I BIOMASSA – ETT RÄKNEEXEMPEL

Vegetation tar upp CO₂ ur atmosfären genom fotosyntesen. Vegetationens ålder, växtbetingelser samt trädslag är faktorer som påverkar hur mycket koldioxid som upptas och inlagras i biomassan. För att uppskatta kolmängden för enskilda träd används ekvationer som bygger på empiriska samband mellan trädens biomassa och diameter i brösthöjd (dbh). Ekvationernas giltighet begränsas av trädslag och plats.

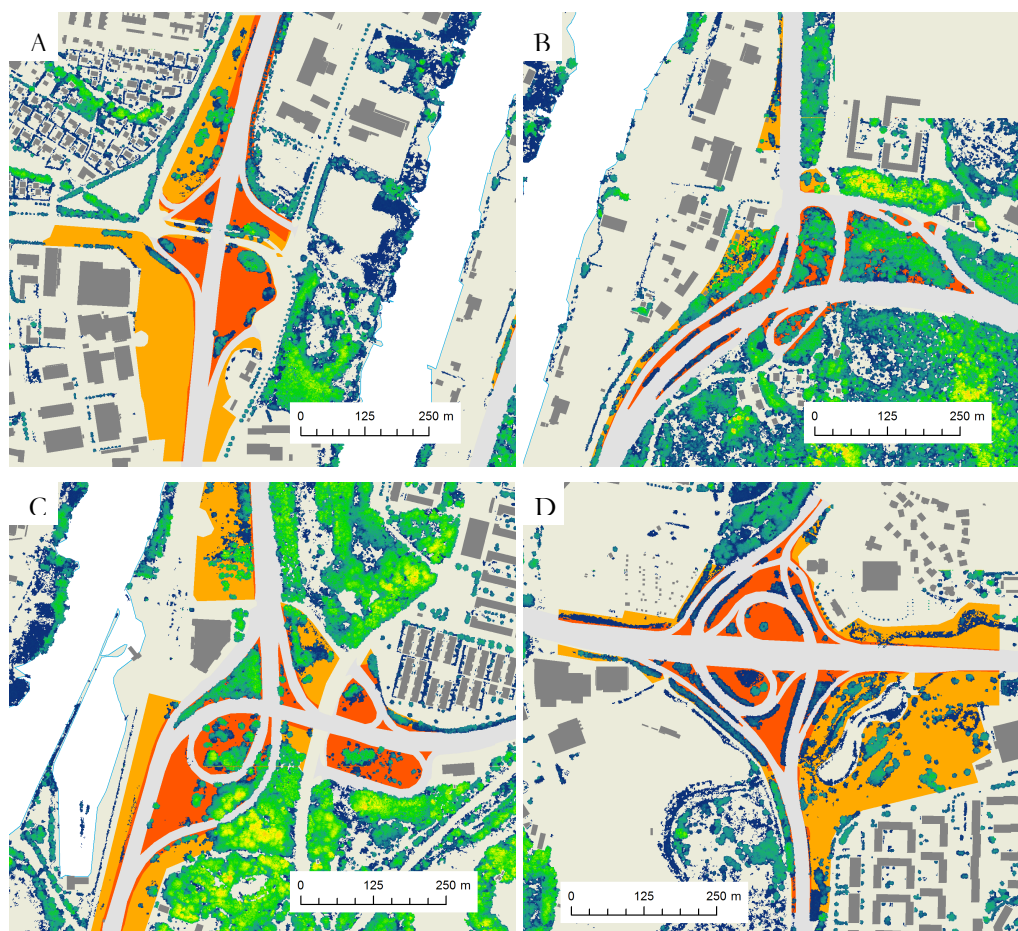
Dbh kan inte uppskattas direkt från LiDAR-data. Studier har visat på metoder att uppskatta dbh utifrån trädhöjd, men då måste enskilda träd kunna avgränsas i LiDAR-datan vilket kan vara svårt, särskilt om vegetationen är heterogen med avseende på trädslag och höjd. Om nödvändig data om enskilda träd saknas (dbh och trädslag), kan biomassa och kol ändå skattas genom generella samband mellan yta vegetationstäcke och biomassa för en viss vegetationstyp och en viss ekologisk eller klimatologisk zon. Sådana generella samband bygger på aggregerade data från enskilda träd.

Årlig ackumulering av kol i biomassa, här vegetation över 1 meter, kan uppskattats med generaliserade samband och metoder fastställda av IPCC (Mohareb & Kennedy 2012) (IPCC 2006). Metoderna bygger på tidigare publicerade forskningsresultat av årlig ackumulering av kol per hektar vegetationstäcke. Eftersom metoderna är mycket generella och framtagna för att göra beräkningar på nationell nivå, är resultaten endast att betrakta som fingervisningar.

Fyra trafikplatser i Göteborgsområdet valdes ut som studieområden för beräkning av årlig ökning av kol i biomassa. De faktiska ytorna som inkluderades i beräkningarna utgjordes av impediment som helt eller delvis sammanföll med statsägd infrastruktur, se Figur 2. För att göra denna avgränsning digitaliserades ytor som:

1. Inte har en tydlig användning (impediment). Tolkning med Lantmäteriets ortofoto 1m/pixel.
2. Överlappar med statsägd infrastrukturnära mark.
3. Avgränsas av väg eller tomt.
4. Inte är del av naturlig skog eller annat naturligt område som medför godtycklig avgränsning.

De avgränsade ytorna delades mellan statsägd mark och annan mark, varefter ytan vegetationstäcke summerades för båda kategorierna och för alla fyra studieområdena. De erhållna arealerna användes för att beräkna årlig ökning av kol i biomassa enligt två olika metoder.



Figur 2. Fyra trafikplatser användes som studieområden: a) Kärramotet (E6), b) Agnesbergsmotet (E4), c) Lärjemotet (E45) och d) Järmbrottsmotet (Dag Hammarsköldsleden/Säröleden/Västerleden/Söderleden). Röda ytor är statsägd mark och orangea ytor är annan mark tolkad som impediment.

Metod 1. Urban vegetation (IPCC "Settlements")

Denna metod bygger på forskning (Nowak och Crane, 2002) där ett uppskattat värde på ökningen av kol i biomassa i ton per hektar och år (tC/ha/år) för urbana grönska i tio olika amerikanska städer beräknats. Årlig bruttoökning av inlagrat kol beräknas då enligt (IPCC 2006, ekvation 8.2):

$$\Delta C_G = A \times CRW$$

Där ΔC_G är årlig ackumulering av kol på grund av ökning av biomassa i ton kol/år (tC/år), A är total yta krontäcke och CRW (*crown cover area-based growth rate*) är den årliga ökningen av kol i biomassa (t C/ha/yr). Uppskattade värden på CRW varierar mellan 1,8 till 3,4 tC/ha/år (Nowak och Crane, 2002). 2,9 tC/ha/år rekommenderas som medelvärde (IPCC 2006).

Metod 2. Naturlig skog (IPCC "Forest Land")

Beräkningarna för naturlig skog följer i förenklad form (IPCC 2006, ekvation 2.9 och 2.10):

$$\Delta C_G = A \times G_T \times CF$$

där ΔC_G = är årlig förändring av kol i biomassa (tC/år), A är arealen krontäcke, CF är kolfraktionen (t^{-1}). G_T beräknas enligt:

$$G_T = G_W \times (1 + R)$$

där G_W är den årliga ökningen i t/ha/år, justerat för förhållandet mellan biomassa ovan och under jord, R. I det mest generella fall, som används här, sätts R till 0, vilket innebär att G_T är lika med G_W . Värden för G_W och FC är 4,0 t/ha/år respektive 0,47 för tempererade skogar (IPCC, 2006).

Beräkningar gjordes enligt båda metoderna, dels med befintligt krontäcke och dels med ett krontäcke på 80 %. Skillnaden mellan beräkningarna ger en uppfattning om potentiell ökning av kollagring inom studieområdena.

Resultat

Tabell 3 visar resultaten av beräkningarna för de fyra olika studieområdena. Eftersom den enda variabeln som påverkar utfallet är ytan vegetation, grundläggs skillnader mellan områdena redan vid beräkning av yta och vegetationstäcke. Omräkningen till årlig ökning av kol i biomassa är därför, med de generella metoder som använts här, i praktiken endast en omräkning till ett annat mått, tC istället för yta vegetationstäcke. Den årliga ökningen av kol i biomassa ligger mellan 2,8 tC (område A) och 11,9 tC (område D). I regel har de ytor som är statsägda större andel vegetation, och står därför också för den större delen av kollagringen. En jämförelse mellan de två beräkningsmodellerna visar att metod två, naturlig skog, ligger nära och något högre än det lägre värdet för urban grönska, vilket indikerar att vegetation i städer i regel innehåller mer biomassa per hektar än naturlig skog.

Tabell 3. Beräkning av årlig ökning av kol i biomassa (tC/år) för två olika beräkningsmetoder; urban grönska och naturlig skog. Samma beräkning har även gjorts för ett scenario där vegetationstäcket är 80%. A_i är area impediment, A_v är area vegetation (över 1m) och F_v är ytfractionen vegetation.

Studieområde				Urban grönska			Naturlig skog	VEGETATIONSTÄCKE 80%						
	A_i	A_v	F_v	ΔC	ΔC_{min}	ΔC_{max}	ΔC_G	A_v	ΔC	ΔC_{min}	ΔC_{max}	ΔC_G		
	(ha)			(tC/år)					(ha)	tC/år				
A Statsägd	3,9	1,0	25%	2,8	1,7	3,3	1,8	3,1	6,2	3,9	7,3	4,0		

INFRASTRUKTURNÄRA VEGETATION I GÖTEBORG

	Annan	7,3	0,9	13%	2,8	1,7	3,2	1,8	5,9	14,3	8,9	16,7	9,3
	TOTAL	11,2	1,9	17%	5,6	3,4	6,5	3,6	9,0	20,5	12,7	24,0	13,3
	Statsägd	4,1	3,1	75%	9,0	5,6	10,5	5,8	3,3	0,6	0,4	0,7	0,4
B	Annan	1,6	1,0	61%	2,9	1,8	3,4	1,9	1,3	0,9	0,6	1,1	0,6
	TOTAL	5,8	4,1	71%	11,9	7,4	13,9	7,7	4,6	1,5	0,9	1,8	1,0
	Statsägd	5,3	2,2	42%	6,4	4,0	7,6	4,2	4,2	5,8	3,6	6,8	3,8
C	Annan	5,0	1,4	28%	4,0	2,5	4,7	2,6	4,0	7,6	4,7	8,9	4,9
	TOTAL	10,3	3,6	35%	10,5	6,5	12,3	6,8	8,2	13,4	8,3	15,7	8,7
	Statsägd	4,1	1,7	41%	4,9	3,0	5,7	3,2	3,3	4,7	2,9	5,5	3,0
D	Annan	8,6	2,6	30%	7,4	4,6	8,7	4,8	6,8	12,4	7,7	14,6	8,0
	TOTAL	12,7	4,3	34%	12,3	7,7	14,5	8,0	10,2	17,1	10,6	20,1	11,1

För hela den statsägda infrastrukturnära inom Göteborgs kommun som ingår i studien är den årliga ökningen av kol i biomassa 0,39 tC/ha/år, eller i absoluta mått 294 tC/år. Det kan jämföras med det totala studieområdet, där motsvarande beräkningar ger 0,92 tC/ha/år respektive 37810 tC/år.

Metoderna som använts här för att uppskatta årlig ökning av kol i biomassa är väldigt generella. De värden på CRW och G_w som använts gäller för stora geografiska regioner, till exempel "*temperate continental forest*", inom vilka stora lokala variationer är mycket sannolika. Sambanden bygger också på area vegetationstäcke, en variabel som inte tar hänsyn till vegetationens höjd. Den goda precisionen i kartering av vegetation med LiDAR utnyttjas därför bara till hälften; den tredimensionella aspekten förblir outnyttjad.

DISKUSSION

LiDAR är ett utmärkt dataunderlag för kartering av vegetation, speciellt så i urbana miljöer där hög upplösning och detaljnoggrannhet är av vikt. Ett punktmoln med hög punkttäthet och som är bra klassificerat ger vegetationsmodeller som stämmer mycket bra överens med verkligheten i både horisontal- och höjdded. Osäkerheten är något större vid uppskattning av grönvolum, på grund av att metoden för beräkning av stamzonhöjd är osäker (Lindberg m.fl. 2013).

I föreliggande studie har vegetation på statsägd infrastrukturnära mark karterats med LiDAR-data med hög punkttäthet (~13 punkter/m²) inom stora delar av Göteborgs kommun. Resultaten visar att vegetationstäckets på denna mark procentuellt sätt är mindre jämfört med kommunen i stort. De markområden som studerats har liten utbredning vid sidan av vägbanan, ibland endast några få meter, varför det krävs data med hög upplösning för att kunna skilja på vegetation ”utanför och innanför”. Vidare innebär detta att höga krav ställs på precisionen på det data som beskriver områdets geografiska utbredning. Ett fel på en meter kan ge stora skillnader (i procent) på vegetationsvolum längs en kilometer väg. Att studera områden med så pass begränsad utbredning som statsägd infrastrukturnära mark som gjorts i denna studie, har dock sina begränsningar. Det kan vara mer betydelsefullt att inkludera större områden för att få en bättre bild av den infrastrukturnära vegetationen i ett större geografiskt sammanhang.

En anledning att kartera vegetation med stor noggrannhet är vegetationens betydelse för olika ekosystemtjänster. Kartering av vegetationens utbredning och tredimensionella egenskaper kan ge underlag för att kvantifiera omfattning och uppskatta värdet av vegetation i relation till ett flertal sådana, samt att identifiera områden med utvecklingspotential. I denna studie tjänade årlig bruttoackumulering av kol i biomassa som ett räkneexempel. Andra ekosystemtjänster som kan tillskrivas vegetation är till exempel dämpning av buller, rening av luftföroreningar och temperaturregulering (Bolund & Hunhammar 1999). Bullerreducering påverkas av vegetationens placering i förhållande till ljudkällan, samt dess täthet, höjd och horisontella utbredning (Herrington 1974; Fang & Ling 2003). Det samma gäller för luftföroreningar. Regulering (sänkning) av temperatur beror på dels vegetationens transpiration, men också av skuggeffekter som kan modelleras med hjälp av detaljerade vegetationshöjdm modeller framtagna från LiDAR-data (Lindberg & Grimmond 2011). Forskning har också visat att bland annat skugga från vegetation har stor inverkan på vägbanans ytemperatur och därmed på förekomsten av halka på vägar (Bogren m.fl. 2000), vilket kan ses som en ekosystemtjänst ur ett trafikperspektiv.

I beräkningen av kol ovan användes generella samband mellan vegetationstäckes och kol i biomassa. Vid tolkning av resultaten av sådana beräkningar är det viktigt att tänka på att de specifika värdena endast är grova approximationer; modellen antar ett uniformt

förhållande mellan biomassa och vegetationstäckning, medan det i verkligheten finns stora variationer mellan olika platser, främst beroende på varierande ålder- och artsammansättning (Tratalos m.fl. 2007). Vidare måste potentialen för att öka biomassan och kolinlagringen på obevuxen infrastrukturnära mark vägas mot andra aspekter till exempel sikt och främjandet av viktiga biotoper och arter. För att undvika alltför grova generaliseringar och göra detaljerade studier för specifika områden eller identifierade homogena förhållanden, måste erhållna parametrar korreleras till uppmätta fältdata. På så sätt kan förfinade metoder ge större möjligheter att korrekt kvantifiera vegetationens roll för olika ekosystemtjänster på olika platser.

REFERENSER

- Bogren, J. m.fl., 2000. The impact of screening on road surface temperature. *Meteorological Applications*, 7(2), pp.97–104.
- Bolund, P. & Hunhammar, S., 1999. Ecosystem services in urban areas. *Ecological economics*, 29(2), pp.293–301.
- Bowler, D.E. m.fl., 2010. Urban greening to cool towns and cities: A systematic review of the empirical evidence. *Landscape and Urban Planning*, 97(3), pp.147–155.
- Fang, C.-F. & Ling, D.-L., 2003. Investigation of the noise reduction provided by tree belts. *Landscape and Urban Planning*, 63(4), pp.187–195.
- Goodwin, N.R. m.fl., 2009. Characterizing urban surface cover and structure with airborne lidar technology. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 35(3), pp.297–309.
- Herrington, L.P., 1974. Trees and acoustics in urban areas. *Journal of Forestry*, 72(8), pp.462–465.
- Hirano, Y., Yasuoka, Y. & Ichinose, T., 2004. Urban climate simulation by incorporating satellite-derived vegetation cover distribution into a mesoscale meteorological model. *Theoretical and Applied Climatology*, 79(3-4), pp.175–184.
- Holmgren, J. & Persson, Å., 2004. Identifying species of individual trees using airborne laser scanner. *Remote Sensing of Environment*, 90(4), pp.415–423.
- IPCC, 2006. IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories S. Eggleston m.fl., eds.
- Lindberg, F. & Grimmond, C.S.B., 2011. The influence of vegetation and building morphology on shadow patterns and mean radiant temperatures in urban areas: model development and evaluation. *Theoretical and Applied Climatology*, 105(3-4), pp.311–323.
- Lindberg, F., Johansson, L., Thorsson S. Träden i staden - användningen av LiDAR-data för att identifiera urban vegetation. (In Swedish). University of Gothenburg 2013.
- Mohareb, E. & Kennedy, C., 2012. Gross Direct and Embodied Carbon Sinks for Urban Inventories. *Journal of Industrial Ecology*, 16(3), pp.302–316.
- Tratalos, J. m.fl., 2007. Urban form, biodiversity potential and ecosystem services. *Landscape and Urban Planning*, 83(4), pp.308–317.