

# Förutsättningar och möjligheter för växtgestaltning med luftrenande effekt i tunnelbanan

*Sofia Lekander*



Kandidatarbete 15 hp  
Landskapsarkitektprogrammet, Ultuna  
Institutionen för stad och land  
Uppsala 2019

Titel: Förutsättningar och möjligheter för växtgestaltning med luftrenande effekt i tunnelbanan

Engelsk titel: Conditions and possibilities for a planting design practice for improved air quality in subway stations

© Sofia Lekander

Handledare: Antoinette Wärnbäck, SLU, institutionen för stad och land

Examinator: Lena Steffner, SLU, institutionen för stad och land

*SLU, Sveriges lantbruksuniversitet, fakulteten för naturresurser och jordbruksvetenskap*

Institutionen för stad och land, avdelningen för landskapsarkitektur

Omfattning: 15 hp

Nivå: Grundnivå G2E

Kurs: EX0861, Självständigt arbete i landskapsarkitektur, G2E

Kursansvarig institution: institutionen för stad och land

Program: Landskapsarkitektprogrammet, Ultuna

Nyckelord: luftrenande växter, tunnelbanemiljö, underjordisk design, luftkvalitet, stationsdesign

Omslagsbild: Björk planterad ett par meter under markytan, New York. © Sofia Lekander

Alla bilder i arbetet används med erforderliga tillstånd.

Publiceringsår: 2019

Publiceringsort: Uppsala

Elektronisk publicering: <https://stud.epsilon.slu.se/>

# Sammandrag

Växtgestaltning är ett holistiskt tillvägagångssätt för att skapa platsbildning och även utnyttja växters och utformningars gentjänster. Uppsatsen tillämpar disciplinen på tunnelbanestationer med huvudsakligt syfte att minska luftföroreningar. Både växtval och stationens utformning visar sig kunna bidra till förbättrad luftkvalitet. Växter har störst effekt som luftförbättrare i miljöer med förhöjda partikelkoncentrationer, vilket i tunnelbanestationer är vid perrongen. Det råder generell konsensus bland forskare kring vad för fysiska egenskaper som har koppling till växters partikeladsorberande förmåga. Det råder däremot brist på kvantitativt utförda studier för många växtfamiljers luftförbättringskapacitet. Därmed tillämpade uppsatsen en växtvals metod som utgår från att utifrån taxonomiska grupper anpassade till tunnelbanans habitat välja arter som innehar utseendemässiga egenskaper som är kopplade till hög luftrenande kapacitet. Uppsatsens slutresultat presenterar därmed ett förslag på en växtgestaltad tunnelbanemiljö vars luftrenande effekt har empiriska belägg men som saknar stöd i kvantifierade mätningar. Vidare finner arbetet att en och samma gestaltning kan förbättra både förutsättningarna för tunnelbanan som växthabitat och samtidigt gynna människors välbefinnande i de generellt sett negativt uppfattade miljöerna. En öppen stationsutformning som innefattar ljusbrunnar skapar god översikt, minskar känslan av isolering, tillgodoser människans behov av ljusintensitetens dygnsvariation och möjliggör vissa arters överlevnad i ytor under marknivå. En gestaltning som har tydligt sammanhang till utemiljön ökar även möjligheterna till ventilering, som starkt bidrar till att avlägsna skadliga luftburna partiklar. Samtidigt ökar växters partikeladsorberande förmåga i miljöer med god luftcirkulation. Sammanfattningsvis framgår de aspekter där växtgestaltning kan utgöra störst förbättringspotential i tunnelbanemiljöer som ökat sammanhang till omgivningen, förbättrad orienteringsförmåga och troligen, med ett taktiskt artval och välplanerad gestaltning, förbättrad luftkvalitet.

## Abstract

Planting design is a holistic placemaking practice in which the designs also strive to take advantage of potential extra benefits, such as ecosystem services and human wellbeing. This thesis applies the practice onto subway stations with the main purpose of improving its air quality. With this set intention, both the choice of vegetation and the station design appears to contribute to local air quality in the underground cavities. Plants have the largest effect as a sink for particulate matter in areas where concentrations are elevated, which in the case of subway stations is at the platform, near the rail and wheels which is the emitting source of heavy metal containing particles. Overall there seems to be consensus amongst researchers on which physical traits are correlated with high capacity for adsorbing particulate matter. In the present day there is however only a limited amount of studies that quantify the adsorbing effect of specific species, and such information is completely missing for many taxonomic groups. Therefore, the thesis adhered to a method for choosing plant material that consists in selecting plants within the taxonomic groups that possesses adaptations for the subway as a habitat, which in addition carries morphological features that scientific research has found to be advantageous for particulate matter adsorption. A result in form of a planting design proposal for a subway station can thereafter be presented, which ability to improve air quality has empirical evidence but which lacks in quantifiable data. Furthermore, the thesis reveals that one design solution that is beneficial for the needs of humans can simultaneously create favourable habitat conditions for underground vegetation. As a digested recapitulation, the aspects where planting design proves to potentially have the largest impact on subway station design concerns connectivity, orientation and presumably, on the grounds that the chosen plant material and configuration of spaces is tactical, better air quality.

# Innehåll

1. Introduktion.....	1
1.1 Syfte och frågeställning.....	2
2. Metod .....	2
2.1 Tematisk litteraturoversikt del 1: Luftföroreningar i tunnelbanan.....	2
2.2 Växtval efter taxonomi och habitat .....	3
2.3 Tematisk litteraturoversikt del 2: Utmaningar för underjordisk design.....	3
2.4 Evidensbaserad design.....	3
2.5 Avgränsningar .....	4
2.6 Definitioner .....	5
3. Luftföroreningar i tunnelbanan och växter som lösning .....	5
3.1 Luftproblematiken i tunnelbanan .....	6
3.2 Växter som luftrenare .....	7
4. Tunnelbanan som växthabitat .....	8
4.1 Grottfloa .....	8
4.2 Växter anpassade efter extrem torra .....	9
4.3 Tropiska epifyter.....	9
4.4 Habitatanpassat växtförslag.....	9
5. Utmaningar och lösningar för underjordisk design.....	11
5.1 Mentala inställningar till underjordiska platser .....	11
5.2 Ljusbehov .....	12
6. Resultat .....	13
6.1 Stationsentré .....	13
6.2 Perrong.....	15
7. Analys och diskussion.....	16
8. Slutsatser .....	18
Referenser.....	19

# 1. Introduktion

Över hälften av världens befolkning bor idag i städer, och utvecklingen fortsätter i hög hastighet mot en allt mer urbaniserad värld (Kim, Cha, Koo & Tang 2018). Enligt FNs prediktioner förväntas andelen av världens urbana befolkning uppnå 66% år 2050 (United Nations 2014). Parallellt med detta har städernas ökande luftföroreningsproblematik uppmärksammats kraftigt då de i dagsläget tros orsaka cirka 3 miljoner förtida dödsfall per år (World Health Organization 2016). I urbaniseringens tider har tunnelbanesystem fått en allt större roll, och städer av stor areal utbredning såsom New York och London skulle troligtvis inte fungera utan deras extensiva transportsystem (Admiraal & Cornaro 2016). Samtidigt är det påvisat att det i många fall är i tunnelbanans utrymmen som dagens stadsbor utsätts för de högsta koncentrationerna skadliga inandningsbara partiklar (Johansson & Johansson 2002). Mellan 2012 och 2018 ökade antalet årliga tunnelbanepassagerare med 19.5 % globalt (International Association of Public Transport (UITP) 2018), så i och med att över 160 miljoner personer redan räknades som dagliga resenärer i tunnelbanesystem världen över i UITPs data från 2015 kan tunnelbanans luftkvalitet anses som ett omfattande och växande folkhälsoproblem.

De senaste åren har växters luftrenande förmåga vunnit intresse inom forskningsvärlden (Weerakkody, Dover, Mitchell & Reiling 2017; Chen, Yu, Bi, & Fu 2017). Bland allmänheten har intresset bland annat synliggjorts i form av gröna väggar som kunnat betraktas i allt större utsträckning i urbana inne- som utemiljöer (Ottelé, van Bohemen & Fraaij 2010). Pugh, MacKenzie, Whyatt & Hewitt (2012) fann att gröna väggar reducerade upp till 60 % av gatuutrymmens luftburna partiklar. Trots de senaste decenniernas tekniska framsteg inom växtdesign och associerade mertjänster är växtinslag ännu en ovanlig syn i underjordiska miljöer (Breton, 2016). Ett fåtal undantag förekommer, då i form av växtväggar främst i parkeringshus eller köpcenter i suterräng (ibid.). Kvalitativa, ”mjuka”, aspekter såsom upplevelsevärde och komfort tillhör människans förväntningar av arkitektur och är i dagsläget frånvarande i våra flesta underjordiska miljöer (van der Hoeven & Juchnevic 2016). Bilden av underjordiska miljöer är generellt sett negativt laddad bland dagens stadsbor (Kim *et al.* 2018), som vistas i miljöerna av nödvändighet eftersom de främst utgör transitleder (Lee, Christopoulos, Kwok, Roberts & Soh 2017).

Överlag är studier konsistenta i att grönska, utöver ekologiska och miljömässiga tjänster, även bidrar till att förbättra den lokala miljön genom en rad olika mjuka värden av estetisk och social natur (Odum 1995). Forskare inom miljöpsykologi har även explicit framlagt grönska som det mest övertygande och effektiva tillägget för att förbättra människors inställning till underjordiska miljöer (Kim *et al.* 2018). Som lösning på luftkvalitetsproblemet och samtidigt förbättra upplevelsen av underjordiska miljöer skulle växter kunna vara ett svar (Lee *et al.* 2017). Tengborg & Struck (2016) framför att underjorden är en utmanande miljö vars utveckling står inför konceptuella och tekniska utmaningar, men anser att det råder en kunskapslucka kring städernas underjord bland planerare och arkitekter – en kunskapslucka som måste överkommas för att kunna se dessa miljöers outnyttjade möjligheter.

## 1.1 Syfte och frågeställning

Syftet med denna uppsats är att undersöka möjligheter och hinder för växtgestaltning som metod för att förbättra tunnelbanemiljöers luftkvalitet och upplevelsevärde.

Uppsatsen strävar efter att besvara följande frågeställning: *Hur kan tunnelbanestationer växtgestaltas i syftet att förbättra luftkvaliteten och samtidigt utmana människans negativa bild av underjordiska miljöer?*

Inom denna ryms två underordnade delfrågor: *Vilket växtmaterial är lämpligt att växtgestalta med i tunnelbanans miljöer i syftet att förbättra luftkvaliteten?* samt *Hur kan underjordiska miljöer genom växtgestaltning bidra till en mer positiv upplevelse av miljön?*

## 2. Metod

Arbetets problemformulering, som fokuserar på växtgestaltning som ett luftförbättrande system, framtogs efter Börjeson, Höjer, Dreborg, Ekvall och Finnvedens (2006) normativa målsättningsmodell, i vilket ett specifikt mål definieras. För att behandla frågeställningen tillämpas en tematisk litteraturoversikt. Som ingångsväg beskrivs tunnelbanans luftproblematik översiktligt för att sedan på ett mer utförligt vis beröra växtgestaltning i miljön. Kapitelindelningen sker enligt följande teman, som föridentifierades i ett uppsatsplanerande stadium: luftrenande växtmaterial, tunnelbanan som växthabitat, och slutligen utmaningar vid underjordisk gestaltning. Till sist görs ett försök att genom principskisser besvara de sammanställda utmaningarna från litteraturoversikten, som ett resultat i form av evidensbaserad design enligt Prominski (2017).

### 2.1 Tematiska litteraturoversikt del 1: Luftföroreningar

Den tematiska översikten börjar med att ge en inblick över omfånget av luftföroreningar i städer för att sedan behandla växters luftreningsförmåga. Översikten sammanställdes genom att studera vetenskapliga artiklar från SLU-bibliotekets databas *Primo* genom kombinationer av sökorden ”subway”, ”metro”, ”particulate matter”, ”air pollution” och ”rail\*”. Utöver information från vetenskapliga artiklar återges statistisk från International Association of Public Transport (UITP), Stockholms läns landsting (SLL) och World Health Organization (WHO). Dessa organisationer söktes explicit upp via deras egna websidor när en statistisk siffra eller svar på en specifik fråga efterlystes. Dessa organisationer och myndigheter anses som välkända och trovärdiga förstahandskällor att återförmedla intressespecifik information från.

### 2.2 Teman efter habitat och taxonomi

Växtgestaltningar av det slag som detta arbete vill utveckla har inte utförts tidigare, och med dagens kunskapsläge saknas det empiriska belägg för vilken vegetation

som är lämpligast för tunnelbanemiljön. Därmed uppenbarades behovet att utveckla en specialutformad metod som kombinerar vetenskap och empiri från skilda kunskapsområden. I syftet att föreslå växtförslag över arter att inkludera i en tunnelbanegestaltning tillämpas två växtvalsmetoder som beskrivs av Robinsson (2004) i *The planting design handbook*: teman efter habitat och taxonomi.

*Teman efter habitat.* I vetenskapliga artiklar söks information om vad för klimatförhållanden som råder i tunnelbanan och vad forskare rekommenderar för växtslag som besitter anpassningar som gör att de kan utstå tunnelbanemiljöers habitatförhållanden. Informationen klassas in i rubriker efter habitat och kompletteras därefter med vad respektive växtkategori erbjuder för gestaltningsmöjligheter enligt Robinssons (2004) *The planting design handbook*.

*Taxonomiska teman.* Efter att tunnelbanan har tillskrivits möjliga habitat följer framtagandet av växtförslag med arter som, utöver sina anpassningar till tunnelbanemiljön, även erhåller luftrenande egenskaper. För detta tillämpas Robinssons växtkompositionsmetod genom Taxonomiska teman. Metoden användas när en miljöns förutsättningar är speciellt anpassade efter ett visst genus eller en växtfamilj som har adapteringarna som miljön kräver och utgår från att välja arter som är besläktade med varandra (Robinsson 2004). Metoden kan inspirera till specifika artval utifrån växtfamiljers gemensamma egenskaper och hjälper gestaltningsmässigt till att harmonisera en växtkomposition (ibid.).

Växtförslaget presenteras sedan i listor efter habitat. För att tydliggöra anledningen till specifika artval kopplas respektive växts karaktär till de morfologiska egenskaper som forskningen kopplar till hög luftrenande förmåga.

## 2.3 Tematisk litteraturöversikt del 2: Utmaningar för underjordisk design

Som Tengborg och Struck (2016) belyser är det nödvändigt att vara medveten om vilka hinder och begränsningar som sätts av underjordiska miljöer för att se gestaltningsmöjligheterna i dem. Därför består en andra del av den tematiska litteraturöversikten av tunnelbanans begränsningar som miljö för människan och som miljö att växtgestalta i. Avsnittet leder till en djupare förståelse för kognitiva och tekniska faktorer som utgör de största begränsningarna för gestaltning i underjordiska miljöer givet dagens kunskapsläge, och presenterar även forskares föreslagna lösningar. Både de påstådda begränsningar och förslag på lösningar hittades i vetenskapliga artiklar genom att kombinera sökorden ”underground”, ”space”, ”environment” och ”development” i olika sammansättningar. För att ge en fördjupad bild av en specifik aspekt tilläts ett fåtal referenser som inte hämtades ur vetenskapliga artiklar men som bidrar till litteraturöversikten med en målande bild av vår samtid. Ett exempel från populärkulturen är The Lowline, eller ”världens första underjordiska park”, som har omnämnts flitigt i medier.

## 2.4 Evidensbaserad design

Uppsatsen tillämpar en gestaltningsmetod som beskrivs av Prominski (2017) i *Landscape Research and Methodology*, som består i att uppnå evidensbaserad design utifrån en litteraturöversikts uppmålade riktlinjer. Riktlinjerna ska vara ”abstrakta och överförbara”, vilket innebär att de ska uttrycka strategier som guidar

gestaltaren i en riktning men är så pass generella att de tillåter många möjliga designlösningar (ibid., s.222). Utifrån riktlinjerna som stötts av vetenskapligt belägg i litteraturoversikten kan sedan principiella skisser tas fram (ibid.). Skisserna kommer ge bildliga förslag till hur växtmaterial och gestaltungslosningar kan kombineras för att förbättra luftkvaliteten och utmanar människans negativa bild av underjordiska miljöer. Skisserna ska vara tydligt kopplade till de gestaltungsriterier som presenteras i litteraturoversikten för att kvalificera som evidensbaserad design (Prominski 2017).

Visuella medel är effektiva för att konkretisera och kommunicera ett förslag (Börjeson *et al.* 2006). Behovet av bildmaterial stärks av allmänhetens ökade efterfrågan på att yrkeskunniga kommunicerar på ett transparent sätt (Hehl-Lange & Lange 2016, s.161). Genom att framlägga en bildlig framställning av en växtgestaltad station får uppsatsen ett tillgängligt och lättolkat resultat där de viktigaste utmaningarna från den teoretiska bakgrunden ges en lösning.

## 2.5 Avgränsningar

### *Tematiska avgränsningar*

- » Av alla ekosystemtjänster som grön infrastruktur kan bidra med såsom förbättring av ljudmiljön och termisk reglering (Breton 2016) fokuserar denna uppsats på den miljötjänst växter kan medföra genom att sänka förhöjda partikelvärden.
- » Det finns många underjordiska miljöer som har förbättringspotential (Labbé 2017), men denna uppsats fokuserar på de aspekter som kan appliceras på tunnelbanestationer.
- » Denna uppsats utgår från ett folkhälsoperspektiv med syfte att minska den påfrestning som luftföroreningar har på människors hälsa och utelämnar övriga negativa konsekvenser såsom miljöförstörelse eller skadandet av byggnaders fasader.
- » Uppsatsen är skriven inom landskapsarkitekturprogrammet. Trots ett satt fokus på växters luftrenande funktion tillämpar uppsatsen ett holistiskt perspektiv över de utmaningar som berör underjordisk miljö eftersom kvalitativ växtgestaltning kräver en helhetssyn av kontexten (Robinsson 2004).
- » Inom växtgestaltning läggs stor vikt på växtbäddar och skötsel för att uppnå och upprätthålla önskvärt resultat (Robinsson 2004). Aspekter inom dessa kategorier, såsom val av substrat, bevattningsmetod eller beskärning, rymms inte inom denna uppsats omfång.

### *Geografisk avgränsning*

- » Uppsatsens resultatdel består delvis av principskisser som ska föreslå möjliga gestaltungslosningar på tunnelbanemiljöns utmaningar. Dessa skisser är ej platsbundna eftersom tanken är att de ska kunna appliceras i olika varianter och anpassas efter platsspecifika förutsättningar med tillhörande krav och behov.
- » Trots att de gestaltungsriktlinjer som arbetet målar fram har uppsatsen ett Stockholmskt perspektiv. Stockholms kontext är intressant eftersom stadens tunnelbanesystem står inför en omfattande utökning. En ytterligare anledning till denna avgränsning är att kunna föreslå en gestaltungslosning för en växtgestaltning som skulle kunna tillämpas i Stockholm, med de klimatförhållanden som råder i den nordeuropeiska världsdelen.

### *Tidsmässig avgränsning*



- » Förslagen är avsedda för den samtid vi befinner oss i just nu, med befintligt kunskapsläge och beprövade tekniska lösningar.

## 2.6 Definitioner

Nedan förklaras termer som används återkommande i uppsatsen och som i vissa fall kan vara subjektiva, men som används inom vetenskapen och facklitteratur och besitter då tydliga definitioner. Definitionerna nedan klargör hur termerna bör tolkas i denna uppsats kontext.

*Luftkvalitet.* Luftkvalitet är en benämning på egenskapen att innehålla mer eller mindre starka luftburna partikelkoncentrationer, uppmätt i partiklarnas totala massa per kubikmeter luft ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) (SLL 2016). Starka partikelkoncentrationer innebär sämre luftkvalitet, i och med deras större negativa effekt på miljön och människors hälsa, och vice versa (ibid.).

*Partiklar (PM).* Partiklar syftar på mer eller mindre små fragment av luftburet material. Partiklar klassificeras utifrån deras storlek (Ottelé *et al.* 2010). De får s deles benämningar såsom  $\text{PM}_{10}$  som står för Particulate Matter på 10  $\mu\text{m}$  (0,01 mm) eller mindre i diameter (SLL 2016). Under  $\text{PM}_{10}$  fördelas partiklarna inom tre grupper: grova partiklar ( $\text{PM}_{10}$ ), fina partiklar ( $\text{PM}_{2,5}$ ) och ultrafina partiklar ( $\text{PM}_{0,2}$ ), varibland de finaste tros vara de skadligaste för människors hälsa (Ottelé *et al.* 2010; S eb  *et al.* 2012).

*Växtgestaltning.* En motsvarande engelska term  r ”Planting design” som Robnsson (2004) ger en omf ngsrik f rklaring av i *The planting design handbook*:

Planting design is much more than a cosmetic treatment to be applied to indifferent or insensitive architecture and engineering. [...] It plays a major role in integrating structures in the environment by reducing their visual intrusiveness, by repairing damage to existing ecosystems and, more positively, by creating a setting which is comfortable, attractive and welcoming. [Planting] is an essential element in good site planning for many types of land use.

(Robnsson 2004, s. 4)

## 3. Luftföroreningar i tunnelbanan och växter som l sning

P  grund av att tunnelbanans luftburna partiklars komposition  r de h gt skadliga f r människan. Partiklarna kan ge upphov till en rad inflammatoriska reaktioner (Maher, Ahmed, Davison, Karloukovski & Clarke 2013) och tros även förkorta människans livslängd mellan 1 till 5.5  r (Chen *et al.* 2017). Dock kan urban vegetation kan spela en betydande roll i att motverka förhöjda nivåer av skadliga partiklar (Song, Maher, Li, Wang, Sun & Zhang 2015).

### 3.1 Luftproblematiken i tunnelbanan

Sammans tningen av de skadliga luftburna partiklar som skapar förorenad luft i tunnelbanan skiljer sig ifrån de som står för mest föroreningar i urban utomhusmiljö (SLL 2015). Den största förorenaren i utomhusmiljö  r kvävedioxid ( $\text{NO}_2$ ) medan partiklarna i tunnelbanan till största delen består av metall och

metalloxider (SLL 2016). Till skillnad från hårt trafikerade gatumiljöer är koldioxidnivåerna (CO<sub>2</sub>) relativt låga i tunnelbanans utrymmen och likaså innehåller de minimalt med kolmonoxid (CO) (Moreno *et al.* 2014). I tunnelbanan frigörs de metallinnehållande partiklarna främst vid slitage av hjul, räls och bromsar, men kan även alstras vid överföringen av el från ledningar till receptorer på tågen, eller vid uppvirvling av partiklar som ansamlats som damm (SLL 2016). De partiklar som dessa fenomen ger upphov till befinner sig främst inom spannet för ultrafina partiklar (Thornes *et al.* 2016). Det är denna rang av partiklar som tros vara de mest skadliga för människan (Ottelé *et al.* 2010).

Metallinnehållet av partiklarna i stationer med rälstrafik domineras till 70% av järn, följt av mangan, krom och koppar (ibid.). Studier tyder på att järn- och manganinnehållande partiklar tycks vara starkt cancerframkallande (Dzierzanowski *et al.* 2011). Inandning av järninnehållande partiklar tros även orsaka neurotiska skador såsom Alzheimer (Maher *et al.* 2013). I ett experiment där taxichaufförers exponering av PM<sub>2.5</sub> samt PM i sin helhet jämfördes med tunnelbaneresenärers exponering framgick det att tunnelbanans resenärer utsattes för 8 respektive 12 gånger starkare koncentrationer partiklar än taxichaufförerna (Pfeiffer, Harrison & Lynam 1999).

### *Stockholms kontext*

Stockholms tunnelbana kommer till år 2025 expanderas med 19 km räls och 10 nya stationer (Tengborg & Stuck 2015). Inför detta har Stockholms läns landsting utarbetat underlag som utreder luftkvaliteten i stadens befintliga underjordiska järnvägsmiljöer, och beskriver även hur problematik kring höga partikelvärden ska förebyggas vid anförandet av kommande tunnelbanestationer (2015; 2016).

I Stockholm råder idag miljö kvalitetsnormer för luft i utomhusmiljö, som inte omfattar tunnelbanemiljöer (SLL 2016). Utomhus gäller krav på att PM<sub>10</sub> inte får överskrida en koncentration på 40 µg/m<sup>3</sup> som årsmedelvärde och att detta maxvärde tillåts överskridas högst 35 dygn per år (SLL 2016). Partikelnivåerna i tunnelbanans miljöer har dock visat sig vara flera gånger högre än tröskelvärdet för utomhusmiljö (Johansson & Johansson 2002). Moreno *et al.*s (2014) studier uppenbarade att det i stationer är perrongutrymmen som innehåller de högsta partikelkoncentrationerna, och att partiklarna mer specifikt tenderar att ackumuleras vid perrongens ändrar. Inför tunnelbanesystemets expanderings och med hänsyn till tunnelbaneresenärers hälsa har därför ett inriktningsmål definierats till 240 µg/m<sup>3</sup> för perronger (SLL 2016). Det kan förtydligas att detta värde är mål och inget krav, och som dessutom enbart gäller de nya stationerna (ibid.).

För att relativisera partikelkoncentrationen i tunnelbanan kan värdena i en stationsmiljö ställas mot värdena vid en trafikled, liksom Johansson och Johansson (2002) gjorde vid Mariatorget och Hornsgatan. I deras uppmätningar av PM<sub>10</sub> och PM<sub>2.5</sub> visade sig partikelkoncentrationen vara 5 respektive 10 gånger högre i tunnelbanestationen än på Hornsgatan, som räknas bland de mest trafikerade leden i Stockholm (Johansson & Johansson 2002). Partikelkoncentrationen i tunnelbanans utrymmen har visat sig vara starkt kopplat till hur intensivt sträckan trafikeras av tåg (SLL 2016). Ventilering är effektivt för förbättrad luftmiljö, och därför är PM-koncentrationen inuti de ventilerade tågen ofta lägre än på perrongen (ibid.). Även plattformsavskiljande väggar (PFA) spelar en betydande roll för en tunnelbanemiljöes luftkvalitet (SLL 2016). PFA sträcker sig från golv till tak och

förhindrar att luften i tågets tunnel, var partiklarna alstras, sprids till övriga stationsutrymmen (ibid.). En lösning med PFA innebär att placering av dörrar till tåg och plattformsavskiljare behöver stämma (ibid.). Eftersom Stockholms tunnelbana trafikeras av tre typer av tåg skulle en lösning med PFA innebära ett behov standardisering till en tågmodell, därmed för omfattande kostnader för stadens budget inom snar framtid (ibid.). Länsstyrelsen ser istället ventilation som den främsta lösningen för att uppnå önskvärda luftkvalitetsmål (ibid.).

### 3.2 Växter som luftrenare

Växter har förmågan att samla in PM av olika storleksordningar från luften och i synnerhet de av den fina och uttrafina rangen (Ottelé *et al.* 2010). Vegetation har därmed potential att utgöra en sänka för skadliga luftburna partiklar och bidra till att förbättra den lokala luftkvaliteten (ibid.). Vissa växter kan absorbera PM genom att extrahera partiklarna från luften, ansamla och slutligen degradera dem via en process kallad *phytoremediation* (Breton 2016). Många växter bidrar till största del till förbättrad luftkvalitet genom att luftburet PM fixeras på deras bladverk – det vill säga PM-adsorption (Sæbø, Popek, Nawrot, Hanslin, Gawronska, & Gawronski 2012). De behöver spolas för att upprätthålla sin luftrenande effekt eftersom bladverkets yta för eller senare blir mättad med partiklar (ibid.).

Studier har visat att växter av olika arter och morfologier kan skilja sig mycket ur PM-insamlingsförmåga från luften (Sæbø *et al.* 2012; Weerakkody *et al.* 2017). Överlag har det växtmaterial med bäst förmåga att fånga in luftburet PM visat sig utgöras av träd och buskar med rikt bladverk (Currie & Bass 2008), eftersom deras lövverk skapar turbulenta luftrörelser (Fowler, Cape & Unsworth 1989; Beckett, Freer-Smith & Taylor 2000). Enligt Song *et al.* (2015) är det vanligen träd- och busk-arter som på individuella skalan tillhör de främsta PM-adsorberarna eftersom de har de högsta bladareaindexen och hög bladarea kopplas till större PM-deposition. Weerakkody *et al.* (2017) jämförde 16 arters partikeladsorberande kapacitet i en grön vägg i Birmingham och fann ett samband mellan växter med mindre blad samt med komplex bladtextur och hög förmåga att adsorbera PM. Sæbø *et al.*s (2012) forskning talar för att tät behåring och rikt vaxlager på blad även effektiviserar växters förmåga att adsorbera luftburet PM. Chen *et al.* (2017) kompletterar listan på luftrenande morfologiska egenskaper med stor bladvolym samt komplex eller grov bladstruktur.

Signifikativa skillnader mellan olika växters PM-adsorberande förmåga understryker vikten av att göra ett taktiskt växtval i syftet att reducera luftföroeningar (Sæbø *et al.* 2012). Både Weerakkody *et al.* (2017) och Sæbø *et al.* (2012) framhäver att arter som bevisats vara effektiva på att rena luften borde främjas i miljöer med risk till förhöjda PM-koncentrationer. Chen *et al.* (2017) anser att även placering av växter kan ha stor betydelse för deras bidrag till förbättrad luftkvalitet. Deras studier fann att partikeldepositionen på växters yta ökar i turbulenta vinddrag, och att vegetationen därmed bidrar i högre grad till att förbättra den lokala luftmiljön (ibid.).

Växt	Luftrenande egenskap
<i>Alnus spaethii</i>	PM <sub>0,2</sub> fraktion (Sæbø <i>et al.</i> 2012)
<i>Betula pendula</i>	PM alla fraktioner, PM <sub>0,2</sub> fraktion (Sæbø <i>et al.</i> 2012)
<i>Euonymus japonicus</i>	PM <sub>10</sub> (Song <i>et al.</i> 2015)
<i>Hydrangea arborescens</i> 'Annabelle'	PM <sub>0,2</sub> fraktion (Sæbø <i>et al.</i> 2012)
<i>Juniperus bungeana</i>	PM alla fraktioner ((Song <i>et al.</i> 2015)
<i>Juniperus formosana</i>	PM alla fraktioner (Song <i>et al.</i> 2015)
<i>Pinus mugo</i>	PM alla fraktioner, PM <sub>0,2</sub> fraktion (Sæbø <i>et al.</i> 2012)
<i>Pinus sylvestris</i>	PM alla fraktioner (Sæbø <i>et al.</i> 2012)
<i>Pyrus calleryana</i>	PM <sub>0,2</sub> fraktion (Sæbø <i>et al.</i> 2012)
<i>Salix cinerea</i>	PM alla fraktioner (Sæbø <i>et al.</i> 2012)
<i>Skimmia japonica</i>	PM alla fraktioner (Sæbø <i>et al.</i> 2012)
<i>Spiraea x vanhouttei</i>	PM <sub>0,2</sub> fraktion (Sæbø <i>et al.</i> 2012)
<i>Stephanandra incisa</i>	PM alla fraktioner, PM <sub>0,2</sub> fraktion (Sæbø <i>et al.</i> 2012)
<i>Taxus baccata</i>	PM <sub>0,2</sub> fraktion (Sæbø <i>et al.</i> 2012)

Tabell 1. En summering av specifika arter vars luftrenande egenskap har bevisats i forskning, samt vilka fraktioner som deponerats i största grad.

## 4. Tunnelbanan som habitat

Flera forskare har förespråkat integrationen av växter som potentiellt kan rena luft eller bidra till andra ekosystemtjänster i underjordiska miljön (Breton 2016). Dock behöver förutsättningar för deras levnadsförhållanden skapas i den ur många aspekter utmanande miljön (ibid.).

För att hitta växtmaterial vars naturliga habitat tros kunna återfinnas eller relativt lätt imiteras i tunnelbanans miljöer ser detta avsnitt över vad forskare förespråkar för arter vad gäller habitatanpassningar men även deras gestaltningsmöjligheter.

### 4.1 Grotfflora

I Stockholm har Norbäck Ivarsson, Ivarsson, Lundberg, Sallstedt och Rydins (2013) kartering av Kungsträdgårdens tunnelbanestations flora dragit till sig uppmärksamhet. Forskarna upptäckte att stationens bara granitväggar, varifrån det lokalt förekommer sipprande vatten, utgör habitat för diverse kryptogamer som gynnas av den fuktiga och relativt stabila temperaturen i grotthabitat och att bredden på funna arter tyder på att tunnelbanestationer kan vara heterogena miljöer med olika mikrohabitat (ibid.). Hallingbäck (2007) definierar kryptogamer som ett samlingsnamn för ej blommande växter som tillför en viktig roll i näringskedjor och utgörs utav mossor, lavar, svampar och alger. Hallingbäck (2007) upplyser om att de flesta kryptogamer saknar vaskulära, vattenförsörjande vävnader och skyddande cortex vilket gör dem känsliga för externa störningar i habitatet såsom vatten- eller luftföroreningar. Enligt Hallingbäck (2007) information skulle kryptogamer undvikas vid växtgestaltning i tunnelbanemiljöer, medan Norbäck Ivarsson *et al.*s (2013) fynd talar på att arter inom dessa familjer borde därmed även kunna trivas i tunnelbanemiljöer med grottliska förutsättningar, såsom i Kungsträdgården. Även Breton (2016), vars studier riktar in sig på växter i tunnelbanemiljöer, ser positivt på introduktionen av kryptogamer och anser att de har lovande förutsättningar för att användas i detta habitat (ibid.).

Gestaltningspotentialen av mossor, lavar och ormbunkar består i att skapa medium- och småskalig inramning (Robinson 2014). De kan definiera konturer, utgöra bakgrund för dekorativa planteringar, och täcka byggda element (ibid.). Robinson menar att låga planteringar med dessa växtmaterial med fördel kan

innefattas i urbana landskap, såsom parkeringar och gator, var tillgången till markyta är begränsad.

## 4.2 Växter anpassade efter extrem torka

Xerofyter är ett annat växtslag som föreslås av Breton (2016) för tunnelbanemiljöer. Xerofyter har fördelen att kunna växa i tunna och torra substratskikt, och innefattar bland de få arterna som har förmågan att rota sig i djupa hålor som innehåller de små substrat och vatten som behövs för att skott ska utvecklas (Robinson 2004).

Xerofyter är ofta suckulenta växter. Gestaltningmässigt används de som solitärer eller i små grupper och behandlas då som skulpturer (Robinson 2004). I massplanteringar skapar de ett effektivt landskap som skiljer sig från människans all dagliga miljöer (Robinson 2004).

## 4.3 Tropiska epifyter

Breton (2016) nämner att skugganpassade tropiska växter är intressanta i tunnelbanemiljö eftersom de är anpassade till tempererade miljöer med brist av direkt solljus. Vad gäller fukt nämner Breton att tunnelbanemiljöer tenderar att vara relativt fuktiga på grund av mänsklig aktivitet, vilket stämmer överens med dessa växters krav på medelfuktig till fuktig miljö (ibid.). Breton (2016) hävdar att tropiska epifyter i synnerhet kan vara intressanta för tunnelbanemiljöer eftersom de kan anläggas i suspension där det råder platsbrist. Epifyter lever vanligen på värdväxter i naturen, men skulle i tunnelbanemiljö kunna ta fäste på andra stödstrukturer (ibid.). Växternas luftrötter tillåter dem att samla näring och fukt från atmosfären och därför, likt xerofyterna, fördelen att inte behöva vara sig viktig substratmängd eller riklig bevattning (ibid.).

Gestaltningmässigt används dessa i växtväggar och i suspension från ovan (Breton 2016). De kan vara en visuell attraktion som hjälper till att förstärka riktningar och öka miljöer orienterbarhet (ibid.).

## 4.4 Habitatanpassat växtförslag

I *Tabell 2* och *Tabell 3* redovisas de växtfamiljer som rekommenderats för tunnelbanemiljöer i Bretons (2016) och Norbäck Ivarsson *et al.*s (2013) studier. Artspecifika växtförslag har tagits fram enligt taxonomiska teman och tabellerna har sedan delats upp efter habitat. De specifika artförslagen har inte stöd i forskning, däremot innehar de egenskaper som benämns som luftrenande i kapitel 3.2. Arternas morfologiska egenskaper studerades uteslutande från botaniska trädgårdars databaser med digitaliserade resurser. De egenskaper som redovisas i tabellen och som enligt forskning presenterad i litteraturöversikten ökar en växts PM-adsorberande förmåga kan sammanfattas till rikt bladverk, små blad, tät behåring, komplex bladstruktur samt grova blad (Chen *et al.* 2017; Sæbø *et al.* 2012; Weerakkody *et al.* 2017).

Växt	Habitatanpassning	Luftrenande egenskaper som kan förekomma bland familjens arter
Begoniaceae (Breton 2016) ex. <i>Begonia breviformosa</i> <i>Begonia incarnata</i> <i>Begonia nelumbifolia</i> <i>Begonia rex</i>	Årsläppliga eller perenna örter, buskar eller dvärgbuskar, ofta succulenta, upprätta eller klättrande, sällan epifytiska (Zappi 2009). Habitatet utmärks ofta av våt och skuggig neotropisk skogsmiljö (ibid.).	Komplex bladstruktur, komplex bladtextur (ex. <i>B. incarnata</i> , <i>B. breviformosa</i> , <i>B. rex</i> ). Rikt bladverk (ex. <i>B. nelumbifolia</i> ). Vaxlager.
Bromeliaceae (Breton 2016) ex. <i>Aechmea recurvata</i> <i>Billbergia nutans</i> <i>Pitcairnia feliciana</i> <i>Tillandsia ionantha</i>	Ofta epifytiskt växtsätt (ex. <i>T. ionantha</i> , <i>P. feliciana</i> , <i>B. nutans</i> ) (Wanderley, Sellaro & Moreira 2009). Förekommer i tropiska och subtropiska habitat (ibid.).	Små blad (ex. <i>T. ionantha</i> ). Komplex bladtextur (ex. <i>A. recurvata</i> ).
Cactaceae (Breton 2016) <i>Opuntia ficus-indica</i> <i>Opuntia stricta</i> <i>Rhipsalis baccifera</i>	Träd, buskar och några epifyter (ex. <i>R. baccifera</i> ) (Zappi 2009). Succulenta stammar. Förekommer i neotropiska habitat (ibid.).	Rikt vaxlager. Komplex struktur (ex. <i>O. stricta</i> , <i>O. ficus-indica</i> ). Stor ytarea (ex. <i>R. baccifera</i> ).
Moarceae <i>Ficus benjamina</i> <i>Ficus elastic</i> (Breton 2016) <i>Ficus lyrata</i>	Träd, buskar, hemi-epifyter (lever delar av sin växtcykel som epifyter) eller örter och väldigt sällan lianer (Ribeiro 2011). Växtfamiljen har neotropisk utbredning med speciell artdiversitet i Amazonas regnskog (ibid.).	Grova blad (ex. <i>F. elastic</i> ). Rikt bladverk (ex. <i>F. benjamina</i> ). Komplex bladstruktur (ex. <i>F. lyrata</i> ). Rikt vaxlager.
Gesneriaceae (Breton 2016). ex. <i>Episcia cupreata</i> <i>Episcia fimbriata</i> <i>Saintpaulia ionantha</i>	Dvärgbuskar, små träd, klättrväxter eller epifyter (Chautems 2009). Familjens allra flesta arter växer på bergsvägg i regnskogar (ibid.).	Tät behåring på blad (ex. <i>S. ionantha</i> ). Komplex bladtextur (ex. <i>E. fimbriata</i> , <i>E. cupreata</i> ).
Orchidaceae. (Breton 2016). ex. <i>Brassavola perrinii</i> <i>Dendrobium alaticaulinum</i> <i>Dendrobium linguiforme</i> <i>Ludicia discolor</i> <i>Pseudovanilla foliata</i>	Perenna, terrestra (ex. <i>L. discolor</i> ), saprotrofiska (hämtar näring från döda material), ofta epifytiska (ex. <i>D. linguiforme</i> , <i>D. alaticaulinum</i> , <i>Brassavola perrinii</i> ) eller väldigt sällan underjordiska eller akvatiska och sällan klättrande (ex. <i>P. foliata</i> ) växter (Summerhayes 1968). Stor utbredning i tropiska Afrikas habitat (ibid.).	Grova blad. Rikt vaxlager. Rikt bladverk (ex. <i>L. discolor</i> )

**Tabell 2 - Tropisk miljö.** Inom Begoniaceae återfinns arter vars morfologi uppfyller många luftrenande egenskaper. Detsamma gäller för arter inom Moarceae-familjen. Gesneriaceae-familjen har två fördelaktiga egenskaper, men sett på individnivå skulle många exemplar fordras för att arternas sparsamma bladverk ska kunna utgöra en signifikativ PM-sänka. Bromeliaceae- och Cactaceae-familjernas luftrenande egenskaper tycks främsta bestå i deras vanligen rika vaxlager. Arter inom Orchidaceae-familjen har vanligen ett rikt vaxlager men har vanligen glesst med blad som troligen ger ett lågt bladareaindex.

Växt	Anpassning	Luftrenande egenskaper
Musci, mossor (Norbäck Ivarsson et al. 2013; Breton 2016). ex. <i>Leucobryum glaucum</i> <i>Papillaria flavolimbata</i> <i>Pohlia nutans</i> <i>Ptilium crista-castrensis</i> <i>Sphagnum capillifolium</i> <i>Sphagnum magellanicum</i>	Upprätt (ex. <i>Ptilium crista-castrensis</i> , <i>Pohlia nutans</i> ) eller hängande växtsätt (ex. <i>P. flavolimbata</i> ) (Lepp 2008). Växer vid fuktiga områden som i skogar eller vid vattendrag (ibid.).	Komplex morfologi. Små individuella blad, generellt 0.5-3 millimeter långa (Lepp 2008).
Polypodiales, ormbunkar (Norbäck Ivarsson et al. 2013; Breton 2016). ex. <i>Asplenium adiantum-nigrum</i> <i>Asplenium nidus</i> <i>Asplenium scolopendrium</i> <i>Asplenium trichomanes</i> <i>Dryopteris filix-mas</i> <i>Matteuccia struthiopteris</i>	Domineras av terrestra örtartade växter men förekommer även som klättrande arter, träd och epifyter (Glimn-Lacy & Kaufman 2006). Störst utbredning i tropiska habitat men arter ur familjen förekommer även i steniga miljöer eller tempererade träsk, fält eller skogar (ibid.).	Grova blad, rikt vaxlager (ex. <i>A. nidus</i> , <i>A. scolopendrium</i> ) Små blad (ex. <i>A. adiantum-nigrum</i> , <i>A. trichomanes</i> ). Komplex bladtextur (ex. <i>A. nidus</i> ). Komplex bladstruktur (ex. <i>D. filix-mas</i> , <i>M. struthiopteris</i> ).

**Tabell 3 - Grotthabitat.** Både Musci och Polypodiales utgör stora växtfamiljer. I och med det stora utbudet dessa familjer erbjuder som växtmaterial tycks det vara relativt okomplicerat att hitta arter med luftrenande egenskaper.

## 5. Utmaningar och lösningar för underjordisk design

En viktig utmaning inom tunnelbanedesign består i att finna gestaltningslösningar till de negativa inställningar människor har till underjorden. En andra utmaning av stor innebörd är att finna ljuslösningar som tillgodoser växters likväl människans behov. Detta kapitel redogör för de främsta motgångarna vid gestaltning av tunnelbanestationer och hur de kan begränsas.

### 5.1 Mentala inställningar till underjordiska platser

Människan har ett flertal psykologiska spärrar för vistelse i underjordisk miljö eftersom vardagliga faktorer såsom ljus, naturlig ventilering och öppen anslutning till utomhusomgivningen saknas (Kim et al. 2018). För att kunna motverka den negativa inställningen till underjordiska miljöer i en stationsdesign måste gestaltaren besitta kunskap om vilka kognitiva fenomen som kan beröra användarna av sådana miljöer (Lee et al. 2016). Helheten av de psyko-sociala fenomen som människor kopplar till underjordiska miljöer har karterats i ett flertal studier, däribland i de av Hane, Muro & Sawada (1991), Lee et al. (2017) samt Ringstad (1994). Detta avsnitt presenterar de fenomen som är återkommande i forskning kring mentala inställningen till underjordiska miljöer.

#### *Isolering*

Underjordiska miljöer nås i många fall uteslutande genom schakt och branta tunnlar, och miljöerna är i de flesta fall inte synliga från ovan mark (Zhao & Künzli 2016). Zhao & Künzli (2016) uttrycker att det är en utmaning att göra miljöerna attraktiva sedda utifrån. Detta gäller även tunnelbanor, som på grund av sin slutna karaktär som saknar direkta utvägar till öppna ytor kan ge upphov till en isolerad känsla (Ringstad 1994). Ofta har miljöerna svag koppling till miljön ovan mark men även till andra funktioner under mark (Admiraal & Cornaro 2016).

Lee et al. (2017) ser ökad konnektivitet som lösning för att dämpa den upplevda barriären mellan ovan- och underjorden och lätta på känslan av olust som vissa känner gentemot underjordiska miljöer. Lee et al. (2017) rekommenderar fler intermediära platser ("*intermediary spaces*") som sammanbinder ovan- och underjorden i gestaltningar av underjordiska platser i detta avseende.

#### *Avsaknad av visuell kontakt*

Inne i underjordiska miljöerna gör avsaknaden av visuell kontakt med omvärlden att miljöerna blir svåra att orientera sig i (Zhao & Künzli 2016). Bristande översyn bidrar till att stärka känslan av instängdhet och kan orsaka klaustrofobi (Hane, Muro & Sawada 1991). Lee et al. (2017) nämner även att solljus kan bidra till minskad känsla av isolering, medan Kim et al. (2018) ser grönska som det mest övertygande tillägget för att effektivt förbättra människors inställning till underjordisk miljö.

Rädslan för underjorden grundar sig till stor del i bristande översynen (Lee *et al.* (2017). Frånvaron av solljus tenderar att göra underjordiska platser till att vara åt det mörka hållet och besökare får inte heller uppleva någon dygnsvariation (ibid). En bristande översyn kan ge upphov till fenomenet skotofobi, som beskrivs som en rädsla för mörker (Klackenberg 2014). Enligt Jan Ejhed, professor i ljusdesign vid KTH, grundar sig fobin i att fantasin har större chans att skena då förmågan att läsa av det faktiska innehållet i en plats avtar (ibid.). På samma spår menar Van der Hoeven & Juchnevic (2016) att ljus bidrar till bättre översikt och lindrar därmed problemet med upplevd otrygghet i underjordiska miljöer.

#### *Kulturbaserade associationer*

Vidare bär underjorden med sig djupt rotade kulturbaserade associationer som är svåra att bortse från (Lee *et al.* 2017). Underjorden som ideologisk föreställning är negativt laddad i många religioner (ibid.). Lee *et al.* (2017) nämner att Kristendomen föreställer underjorden som helvetet, samt att Taoismen och Buddhismen med begreppet '*diyu*' syftar till underjorden som de dödas plats.

## 5.2 Ljusbehov

Ersättningen av äkta solljus, som tillgodoser både växters såväl som människors behov, framstår som en av de mest komplexa utmaningarna vid gestaltning av underjordiska miljöer (Labbé 2016). Naturligt ljus är nödvändigt i biologiska processer för växters överlevnad och människors hälsa, och är dessutom en grundpelare för mjuka värden som till exempel trivsel, trygghet och estetik (Labbé 2016).

#### *Att tillgodose växters ljusbehov*

LED och HPS är vanliga ljuslösningar för inomhusodling av kryddväxter och sallad, som odlas i vertikala rader i hydroponiska system (Dueck *et al.* 2011). Av dessa två alternativ har LED visat sig ha något bättre effekt på växthastigheten i odlingar och alstrar inte lika mycket värme som HPS så att lampan eller lysröret nästan kan nudda plantorna utan att dessa bränns (ibid.). En andra lösning utgörs av optiska fibrer. Genom parabolerna kan solljus ledas ned genom rör till en underjordisk miljö, där den projiceras från parabolerna i taket. Fördelar med denna metod är att ljuset är av naturlig karaktär, avger inte värme och kräver inte el (Labbé 2016). Denna nyutvecklade teknik kommer bland annat användas vid *The Lowline* i New York som påstås bli "världens första underjordiska park" (Nevins 2019), men metoden är ännu ej erkänd och dokumenterad i vetenskapliga artiklar. En tredje möjlighet är att skapa ljusbrunnar genom transparent glas som exponerar den underjordiska miljön för äkta solljus. Ljusbrunnar minskar känslan av att befinna sig på ett djup (Breton 2016). Antingen anläggs ett stora transparenta glasytor över en station eller så gestaltas mindre ljusbrunnar in med regelbundna intervall (Labbé 2016).

#### *Människans biologiska ljusbehov*

Människans solljusbehov har visat sig vara mindre lätt ersättbart än av enbart UVA och UVB-strålar. I kontakt med solljus producerar huden D-vitamin och långa perioder av begränsad solexponering leder sannolikt till brist. Brist kan leda till



rakit, cancer och diabetes (Björn 2008). Forskning inom ljusdesign visar att vikten av att uppleva variation mellan ljus och mörker över dygnet har stor påverkan på människans mående (Hane, Muro & Sawada 1991). Brist på solljus leder dessutom till ökad benägenhet till att utveckla ”*seasonal affective disorder*” – mer känt under akronymen ”SAD” – en sorts årstidsbunden depression (Miller 2015). Det råder osäkerhet kring vad som orsakar symptomet, men att mörker skapar störningar i kroppens dygnsrytm (den så kallade *circadian cycle*), för ögonens ljuskänslighet och för kemiska signalsubstanser såsom serotonin är antagligen orsaker till fenomenet (ibid.). Allt artificiellt ljus har svag hälsoeffekt för människan jämfört med ljus från solen (Labbé 2016). Därmed är lösningen med ljusbrunnar att föredra i högsta grad i underjordiska miljöer (ibid.). Labbé (2016) påpekar även att upplevelsen av dygnsvariation behålls med denna lösning och att känslan av isolering därmed minskar.

## 6. Resultat

Då tunnelbanemiljöer har visat sig vara heterogena miljöer med ett antal plats- och funktionsspecificiteter uppenbaras ett behov av områdesspecifika lösningar. Medan stationsentréernas förutsättningar tillåter mer traditionell landskapsarkitektur är möjligheterna vid perronger starkt begränsade vad gäller växtmaterial och formfrihet. De riktlinjer som målas fram av litteraturöversikten har applicerats till en entré och en perrong vid en fiktiv plats i Stockholm. Skisserna ska svara på de hinder som anses vara mest relevanta att ta i hänsyn vid respektive plats genom att tilldelas lösningar baserade på teorier ur litteraturöversikten.

### 6.1 Stationsentré

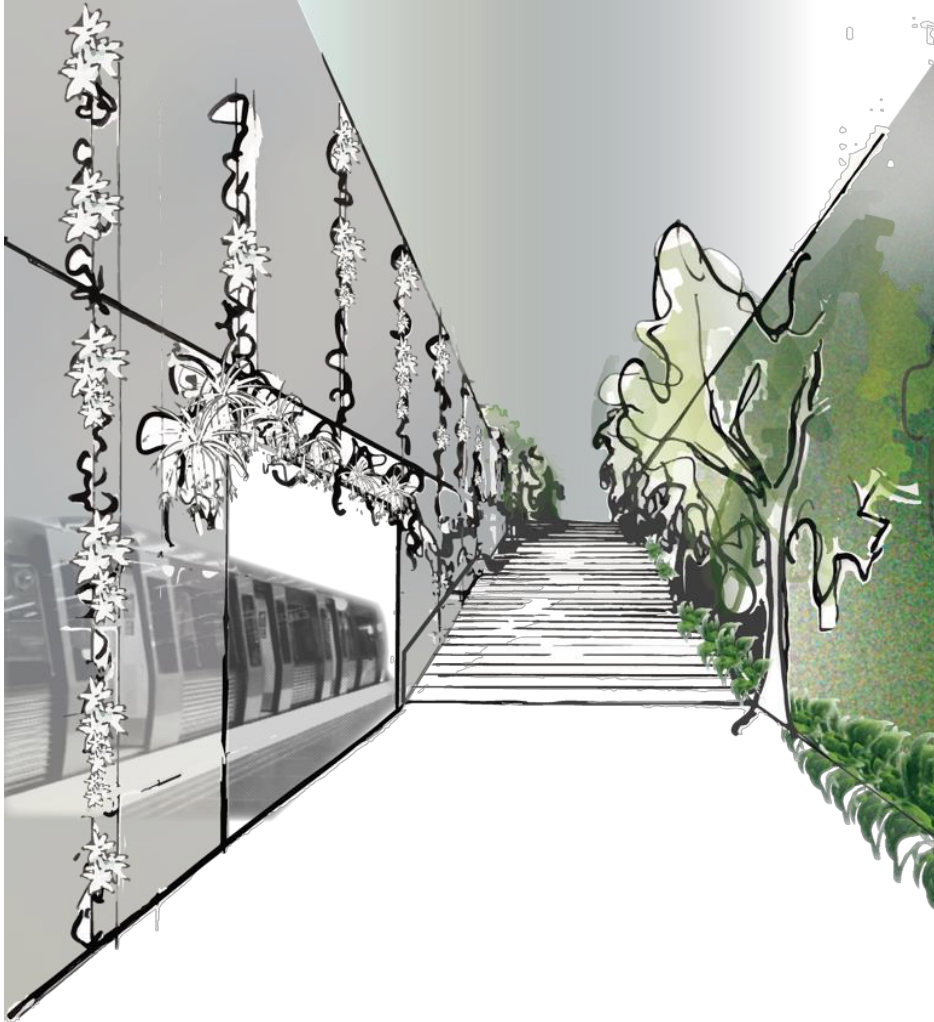
Stationsentrén är belägen utomhus i Stockholms utomhusklimat utan vidare specifikationer, men entréområdets utformning är elementärt för att skapa förutsättningar för kvalitativa värden och för luftrenande växtgestaltning i de underjordiska inomhusmiljöerna.

Skapa sammanhang. Stationsentrén Utgörs av en bred sluttande passage gör som ett svagt sluttande snitt genom markytan. Nivåskillnaden som skapas tas upp av glasväggar som växer i höjd med sluttningens djup. Designen skapar en viss översyn av de underjordiska miljöerna sett uppifrån tillika utifrån.

Skapandet av en intermediär plats. Utformningen strävar efter att utgöra en intermediär plats som skapar sammanhang mellan den underjordiska miljön och markytorna ovan. Med luftrenande träd som är härdiga i Stockholms klimat och som med stammar och rikt bladverk har förmågan att bilda rumslighet, framhävs den så kallade intermediära platsen. Träden sammanbinder övergången mellan ovan- och underjord genom att planteras på olika nivåer i sluttningen. Inhemska kryptogamer används till låga planteringar i skuggigt läge för att rama in eller kamouflera byggda strukturer.

Få in naturligt ljus att nå stationens underjordiska utrymmen. Gestaltningen försöker övervinna utmaningen att leda in naturligt ljus till stationsutrymmena

inomhus. Glasväggarna utgör ljusbrunnar som låter äkta solljus nå den underjordiska inomhusmiljön för att tillgodose människors behov av naturinslag, bidra till bättre översikt samt möjliggöra bevarandet av dygnsuppfattningen. Förutsättningar skapas för växter under markytan att få viss ljusstrålning.



*Figur 1 – Stationsentré. Perspektivet över entrén är från underjordiska nivån i utomhusmiljö. Illustrationen ger en överblick över en skapad intermediär plats. Att få ned luft och ljus är sett som en prioritet för att skapa förutsättningar för växtgestaltning som renar luft och bidrar till en bättre upplevelse av den underjordiska miljön. Vegetationen som är färgad tillhör entréns utemiljö. Övrig befinner sig på insidan av glaset. Entréns vegetation består av vetenskapligt bevisat luftrenande träd för Stockholms utomhusklimat, samt hårdiga kryptogamer i skuggigt läge. Mossor kan klä väggen till höger i bilden, som bör vara i norrläge, medan ormbunkar utgör en låg, inramande kant.*

## 6.2 Perrong

Genom stationsentréns ljusbrunnar är syftet att en del ljus lyckas nå ned till perronger belägna under markytan. Känslan av isolering begränsas genom att glasväggarna som även fungerar som ljusbrunnar, synliggör de planterade träden i den intermediära utomhusplatsen som utgör entrén.

I perrongmiljön sätts stort fokus på att lyckas ansamla luftrenande växter så nära föroreningskällan som möjligt.

Minska luftburet PM. För växter som skapas artificiella mikromiljöer där växter som förekommer i skilda naturliga habitat kan rymmas i samma rum, med förutsättning att de klarar tempererade miljöer. Gällande formspråk är perrongstrymmet starkt begränsat till den avlånga formen med platsbrist. Därför utgörs växtgestaltningen av vertikala växtväggar och av epifyter i suspension för att ta minimalt med markyta i anspråk. För att vegetationen ska fordra minimalt med volym som behövs för framkomligheten och översikten i det platsbegränsade utrymmet föredras arter som är små i storleken och som förekommer i torra habitat (xerofyter) till vertikal gestaltning, och arter som inte har hög näringsåtgång i suspension (epifyter) för att minimera den nödvändiga substratmängden. För de mer fuktkrävande epifyterna kan mikrohabitat skapas med bevattning. Ljus tillgodoses i möjlig mån av naturliga ljusbrunnar, men ljusintensiteten får förstärkning med LED-belysning.

Öka platsens orienterbarhet. Växtgestaltningen förbättrar orienteringsförmågan genom att utgångar ramas in av epifyter i suspension och leder sedan ögat i en uppåtgående riktning.



*Figur 2 – Perrong. Små, suckulenta xerofyter massplanteras till en effektfull växtvägg. De tar upp minimalt med volym och är resurssnåla. Epifyter bidrar till vägledning och inramning. De befinner sig i suspension och drar nytta av en viss mängd ljus genom ljusbrunnarna, och bör vara anslutna till en bevattningskälla. Genom glasrutorna behålls översikten över entréns utemiljö.*

## 7. Analys och diskussion

Träd och buskar är de växtmaterial som troligtvis har bäst förmåga att fånga in luftburet PM (Currie & Bass 2008). Som tidigare framförts vore det efter Sæbø *et al.*s (2012) rekommendationer idealt att placera växter med hög luftreningskapacitet nära föroreningskällan. I tunnelbanans fall är perrongen den miljö med högst partikelvärden då den ansluter till räls och tågens hjul, som utgör de huvudsakliga föroreningskällorna. Samtidigt är dessa voluminösa växter de mest utmanande att placera nära föroreningskällan som utmärker sig genom extrema habitatförhållanden och begränsat utrymme. Förutom platsbrist tycks den främsta utmaningen idag vara att skapa en lämplig växtmiljö djupt under marknivån. De underjordiska miljöerna skulle bland annat behöva tillgodose växternas krav vad gäller klimat, substrat, bevattning och ljus. Detta innebär att det finns stor potential att utveckla och bepröva tekniker som skulle möjliggöra växtgestaltning med större träd- och busk-arter i underjordisk miljö.

Utifrån att ha karterat morfologiska egenskaper som uppfyller kriterier för luftrenande växter framstår det att arter inom familjerna Begoniaceae, Bromeliaceae, Cactae, Gesneriaceae, Moarceae, Musci, Polypodiales och Orchidaceae lär ha varierande luftrenande kapacitet. Uppsatsen framlägger hypotesen att Begoniaceae, Moarceae, Musci och Polyodiales kan vara de arter som är effektivast luftrenare bland de arter som innehar de främsta habitatanpassningarna för tunnelbanemiljön. Andra växtfamiljer, som tycks besitta få av de egenskaper som karakteriserar luftrenande växter, har emellertid anpassningar som öppnar upp för fler gestaltningsmöjligheter. Exempelvis kan Orchidaceae, som består av många epifyter, utgöra vägledande hjälp och inramning genom att placeras i suspension i områden där mark och väggytor av funktionella själ behöver hållas fria. Inom Gesneriaceae-familjen återfinns många småvuxna, suckulenta arter som ur ett luftförbättningsperspektiv har den fördelaktiga egenskapen att ha rikt vaxlager. Massplanterade i en växtvägg skulle exemplar ur denna familj kunna utgöra en signifikativ PM-sänka, samtidigt som de bildar en effektiv gestaltning.

I och med att tunnelbanemiljöer ännu är ett relativt obeprövat område för växtgestaltning är resultaten mycket hypotetiska. Om de föreslagna växterna och gestaltningarna är praktiskt genomförbara i nuläget är högt ovisst givet dagens kunskapsläge och teknologiska lösningar, samt offentliga parter eller privata initiativtagares drivkraft och budget. Uppsatsen kan ändå bidra till att väcka intresse för tunnelbanemiljöns utveckling.

Växtgestaltning är en dynamisk designdisciplin, som är högt beroende av skötsel för att skapa och bibehålla önskad estetik och funktionalitet (Robinson 2004). De flesta av de luftrenande växterna nämnda i denna uppsats tar inte bort partiklarna utan adsorberar istället de skadliga partiklarna från luften till att vara fixerade på växternas blad (Sæbø *et al.* 2012). En hållbar tillämpning av denna från luften partikelavlägsnande metod förutsätter en varsam vattenhållning. Som forskarna belyste måste växterna spolas rent regelbundet för att frigöra yta för PM-adsorption på deras yta, som för eller senare blir saturerad (*ibid.*). Därmed uppstår problematiken kring hur spolvattnet tas omhand och renas för att undvika spridning av de skadliga partiklarna. Vad luftrenande växtgestaltning som presenteras i denna uppsats ändå har potential att bidra till i tunnelbanemiljön är att minska

partikelhalten som resenärerna utsätts för, vilket är en betydelsefull tjänst i sig och som även var arbetets syfte.

### *Gestaltning*

Detta arbete uppmärksammar den hälsofara som stora delar av den urbana befolkningen passivt utsätts för dagligen genom att vistas i tunnelbanemiljön (Johansson & Johansson 2002). Omfånget av problemet i världens metropoler kan anses som ett strakt incitament till att vidta preventiva åtgärder för Stockholms tunnelbana nu när systemet expanderar (WHO 2016; SLL 2016). Uppsatsen lyfter växters omfattande förbättringspotential till tunnelbanemiljön och kan förhoppningsvis stärka intresset för att se närmre på möjligheterna till att växtgestalta i underjordiska stationsmiljöer. Utöver att minska luftburet PM skulle en integrering av grönska i miljön kunna medföra ett flertal mjuka värden som har med människans kognition att göra som lyfts fram i kapitel 5.1 och 5.2.

En övergripande aspekt som rekommendationerna för underjordisk design har gemensamt är att gränserna mellan inne-ute och under-över bör bli mer flytande, liksom Zhao och Künzli (2016) förespråkar i sin artikel om konceptet konnektivitet. Strävandet efter att uppfylla de mjuka aspekter som människan värdesätter tycks handla mycket om att skapa anknytning till omvärlden. I underjordiska miljöerna vill människan ha såsom luft och ljus liksom växterna (Labbé 2016). Trots att konceptet konnektivitet huvudsakligen uttrycks som ett medel för att motverka människans kognitiva känsla av isolering (Lee *et al.* 2017) tyder resultatet på att förespråkade åtgärder även kan förbättra förutsättningarna för luftrenande växtgestaltningar. En gestaltungs lösning av öppen karaktär kan innebära minskad känsla av isolering, men kan även innebära ökad luftcirkulation. Som Chen *et al.* (2017) konstaterade ökar växters PM-adsorberande kapacitet i välventilerade miljöer, vilket innebär att deras effekt som föroreningssänka får större inverkan på den lokala luftkvaliteten.

### *Metod*

Denna uppsats kvantifierar inte växters luftrenande förmåga då det är uppenbart att forskning som mäter luftrenande kapaciteter för specifika arter är begränsat. I strävan efter att göra framsteg inom ämnet utifrån tillgänglig forskning tillämpades en empirisk metod som utgick från observationsbeskrivningar av arter. Med denna subjektiva metod saknas medel att kvantifiera det föreslagna växtmaterialets luftrenande förmåga. Metodens fadäs märktes bland annat av vid uttagandet av artspecifika val inom Polygodiales-familjen, inom vilken två distinkta karaktärer väcker ett dilemma. Medan vissa arter har rikt vaxlager och grova blad, likt *A. nidus* och *A. scolopendrium*, har andra små blad och mer komplex bladstruktur, såsom *D. filix-mas*, *A. adiantum-nigrum*, och *M. struthiopteris*. Vilken egenskapskombination som är mest fördelaktig för PM-adsorption framgår inte i detta arbete.

För litteraturöversikten tillämpades ett tematiskt tillvägagångssätt då en systematisk översikt är för omfattande för detta arbetes tidsram som kräver längre förberedelse tid än den tid som disponeras för denna kandidatuppsats. Den kronologiska följden ansågs som irrelevant. Urvalet av sökvägar begränsades till SLU-bibliotekets söktjänst Primo som omfattar databaser med naturvetenskaplig inriktning. Sökorden i databaserna var enfaldigt engelska. Språkbegränsningen kan ha lett till en viss geografisk slagsida då vissa länder har en mer etablerad tradition

att skriva på engelska än andra. Arbetet kan i och med detta gått miste om kunskap som exempelvis besitts i Asien, var luftproblematiken är omfattande men även utveckling av underjorden tycks kommit längre än i Europa.

Uppsatsen tillämpar en normativ målsättning enligt Börjeson *et al.s* (2006) beskrivna metod genom frågeställningens fokus på luftkvalitet. Denna målsättning valdes efter en uppsikt om tunnelbanans alarmerande partikelvärden och det omfattande hot mot folkhälsan som problemet utgör. Andra normativa målsättningar som är relevanta för växtgestaltning i tunnelbanan kan förslagsvis vara mental hälsa eller växters hårdighet i miljön, som båda är ämnen som kan ge upphov till intresseväckande frågeställningar och intressanta resultat.

## 8. Slutsatser

Växtgestaltning kan högst troligen bidra till att rena luften från skadliga partiklar i tunnelbanemiljöer. Växtgestaltning skulle även kunna bidra till bättre orienteringsförmåga och minska känslan av isolering genom att öka den underjordiska platsens sammanhang. Genomförbarheten av växtgestaltningsprojekt i denna krävande miljö kvarstår dock att bevisa.

Öppna utformningslösningar som gynnar växters likväl människans ljusbehov främjar i många fall även stationens ventilation, vilket starkt motverkar förhöjda partikelkoncentrationer. Öppna utformningslösningar kan även vara gestaltungslosningar till de kognitiva hinder som utmanar välbefinnandet i underjordiska stationer.

Underjordiska miljöer behöver utformas så att de kan rymma mer voluminös vegetation med rikt bladverk. Om förutsättningar skapas för att växtgestalta med större träd och busk-arter under markytan skulle dessa växter, som bevisat vara effektiva PM-adsorberare, kunna planteras närmre föroreningskällan och förhindra skadliga partiklars spridning.

I och med att tunnelbanan är en artificiellt skapad miljö är det möjligt att styra förhållandena lokalt och på så sätt skapa mikrohabitat i tunnelbanans delområden. Till exempel kan suckulenter planteras vertikalt i sparsamt med substrat i torra förhållanden, tropiska epifyter kan anläggas vid bevattningskällor, medan inhemska arter kan anläggas i utomhusmiljön men på ett sätt som gör den synliga från perrongen som visuellt tillägg.

Växter med luftrenande egenskaper som med mindre blad, tät behåring, komplex bladstruktur eller rikt vaxlager, alternativt träd och buskar med rikt bladverk, är att föredra i växtkompositioner var man vill motverka förhöjda partikelkoncentrationer, däribland i tunnelbanestationer.

Arter vars habitat enkelt kan återskapas i tunnelbanan och som även uppfyller något utav egenskaperna för effektiva luftrenare (rikt vaxlager, rikt bladverk, tät behåring, kraftiga blad, komplex bladtextur eller komplex bladstruktur) vore fördelaktiga att gestalta med i tunnelbanestationers underjordiska miljöer för att motverka luftföroreningar. Uppsatsen fann att växtfamiljer som skulle kunna vara intressanta att välja arter ifrån är Begoniaceae, Bromeliaceae, Cactae, Gesneriaceae, Moarceae, Musci, Polypodiales och Orchidaceae. Som framtida arbete föreslås studier som kan kvantifiera precisa arters luftrenande förmåga inom växtfamiljer som har anpassningar för att klara tunnelbanan som habitat.

# Referenser

- Admiraal, H. & Cornaro, A. (2016). Underground Space Use: A Growing Imperative. *Tunneling and Underground Space Technology. Volume 55*, ss. 214-220.
- Aronson, E. (2013). Research Project: Lighting Häggvik Tunnel, Sollentuna.
- Beckett, K.P., Freer-Smith, P.H. & Taylor, G. (2000). The capture of particulate pollution by trees at five contrasting urban sites. *Arboricultural Journal*, 24(2-3), ss.209-230.
- Björn, L.O., (2008). Vitamin D: photobiological and ecological aspects. In: *Photobiology*. Springer, ss. 531–552.
- Börjeson, L., Höjer, M., Dreborg, K.-H., Ekvall, T. & Finnveden, G. (2006). Scenario types and techniques: Towards a user's guide. *Futures*, 38(7), ss.723–739.
- Breton, E. (2016). Underground vegetal scenography: benefits and installation conditions. *Procedia Engineering*, 165, ss.369-378.
- Chautems, A. (2009). Neotropical Gesneriaceae. In: Milliken, W., Klitgård, B. & Baracat, A. (red.). *Neotropikey - Interactive key and information resources for flowering plants of the Neotropics*. Tillgänglig: <http://www.kew.org/science/tropamerica/neotropikey/families/Gesneriaceae.htm> (Hämtad 2019-05-20).
- Chen, J., Yu, X., Bi, H. & Fu, Y. (2017). Indoor simulations reveal differences among plant species in capturing particulate matter. *PLoS ONE*, vol. 12 (5).
- Currie, B.A. & Bass, B. (2008). Estimates of air pollution mitigation with green plants and green roofs using the UFORE model. *Urban Ecosystems*, 11(4), ss.409-422.
- Dueck, T.A., Janse, J., Eveleens, B.A., Kempkes, F.L.K. & Marcelis, L.F.M. (2011). Growth of tomatoes under hybrid LED and HPS lighting. In *International Symposium on Advanced Technologies and Management Towards Sustainable Greenhouse Ecosystems: Greensys 2011 952*, ss. 335-342.
- Dzierżanowski, K., Popek, R., Gawrońska, H., Sæbø, A. & Gawroński, S.W. (2011). Deposition of particulate matter of different size fractions on leaf surfaces and in waxes of urban forest species. *International Journal of Phytoremediation*, 13(10), ss.1037-1046.
- Fowler, D., Cape, J.N. & Unsworth, M.H. (1989). Deposition of atmospheric pollutants on forests. *Philosophical Transactions of the Royal Society London* 324, ss. 247–265.
- Glimm-Lacy, J. & Kaufman, P.B. (2006) Ferns. *Botany Illustrated*. Springer, Boston, MA.
- Hallingbäck, T. (2007). Working with Swedish cryptogam conservation. *Biological conservation*, 135(3), ss.334-340.
- Hane T., Muro K. & Sawada H. (1991). Psychological factors involved in establishing comfortable underground environments. In *Proceedings of the 4th International Conference on Underground Space and Earth Sheltered Buildings: Urban Underground Utilization '91, Tokyo*, ss. 480–492.
- Hehl-Lange, S. & Lange, E. (red.). (2016). Chapter 10: Virtual environments. I van den Brink, A., Bruns, D., Tobi, H. & Bell, S. (red.). *Research in Landscape Architecture: Methods and Methodology*. ss. 161-178.
- International Association of Public Transport (UITP). (2015). *World metro figures 2015*. Brussels.
- International Association of Public Transport (UITP). (2018). *World metro figures 2018*. Brussels.



- Jacques, E.L. & Couto, A.V.S. (2009). Neotropical Begoniaceae. I Milliken, W., Klitgård, B. & Baracat, A. (red.). *Neotropikey - Interactive key and information resources for flowering plants of the Neotropics*. Tillgänglig: <http://www.kew.org/science/tropamerica/neotropikey/families/Begoniaceae.htm> (Hämtad 2019-05-20).
- Johansson, Christer & Johansson, Per-Åke. (2002). Particulate matter in the underground of Stockholm. *Atmospheric Environment*, 37(1), ss.3-9.
- Kim, J., Cha, S.H., Koo, C. & Tang, S.K. (2018). The effects of indoor plants and artificial windows in an underground environment. *Building and Environment*, 138, ss.53-62.
- Klackenberg, Jill. (2014). Varde ljus! *KTH&Co* 4, s.12.
- Labbé, M. (2016). Architecture of underground spaces: From isolated innovations to connected urbanism. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 55, ss.153-175.
- Lee, Eun H., Christopoulos, George I., Kwok, Kian W., Roberts, Adam C. & Soh, Chee-Kiong. (2017). A psychosocial approach to understanding underground spaces. *Frontiers in psychology*, 8, s.452.
- Lepp, Heino. (2008). What is moss. *Australian national botanic gardens*. 15 April, 2008. Tillgänglig: [www.anbg.gov.au/bryophyte/what-is-moss.html](http://www.anbg.gov.au/bryophyte/what-is-moss.html) (Hämtad 2019-05-20).
- Li, X., Xu, H., Li, C., Sun, L. & Wang, R. (2016). Study on the demand and driving factors of urban underground space use. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 55, ss.52-58.
- Maher, B.A., Ahmed, I.A., Davison, B., Karloukovski, V. & Clarke, R. (2013). Impact of roadside tree lines on indoor concentrations of traffic-derived particulate matter. *Environmental science & technology*, 47(23), ss.13737-13744.
- Miller, Michael Craig. (2015). Seasonal Affective Disorder: Bring on the Light. *Harvard Health Blog, Harvard Health Publication*, [Blogg] 30 oktober. Tillgänglig: <http://www.health.harvard.edu/blog/seasonal-affective-disorder-bring-on-the-light-201212215663>. (Hämtad 2019-04-15).
- Moreno, T., Pérez, N., Reche, C., Martins, V., de Miguel, E., Capdevila, M., Centelles, S., Minguillón, M.C., Amato, F., Alastuey, A. & Querol, X. (2014). Subway platform air quality: assessing the influences of tunnel ventilation, train piston effect and station design. *Atmospheric environment*, 92, ss.461-468.
- Nieuwenhuijsen, M.J., Gómez-Perales, J.E. & Colvile, R.N. (2007). Levels of particulate air pollution, its elemental composition, determinants and health effects in metro systems. *Atmospheric Environment* 41, ss. 7995-8006.
- Nevins, J. (2019). The Upside down: Inside Manhattan's Lowline subterranean park. *The Guardian*. 6 April. Tillgänglig: <https://www.theguardian.com/cities/2019/apr/06/lowline-park-underground-space-manhattan-new-york-america> (Hämtad 2019-05-23).
- Norbäck Ivarsson, L., Ivarsson, M., Lundberg, J., Sallstedt, T. & Rydin, C. (2013). Epilithic and aerophilic diatoms in the artificial environment of Kungsträdgården metro station, Stockholm, Sweden. *International Journal of Speleology*, 42(3), ss. 289-297.
- Odum, H.T. (1995). Scales of ecological engineering. *Ecological Engineering*, 6, ss. 7-19.
- Ottelé, M., van Bohemen, H.D. & Fraaij, A.L. (2010). Quantifying the deposition of particulate matter on climber vegetation on living walls. *Ecological Engineering*, 36(2), ss.154-162.
- Pfeiffer, G.D., Harrison, R.M. & Lynam, D.R. (1999). Personal exposures to airborne metals in London taxi drivers and office workers in 1995 and 1996. *The Science of the Total Environment* 235, ss. 253-260.



- Prominski, M. (2017). Design guidelines. I van den Brink, A., Bruns, D., Tobi, H. & Bell, S. (red.). *Research in Landscape Architecture: Methods and Methodology*, ss.194-208.
- Pugh, T.A., MacKenzie, A.R., Whyatt, J.D. & Hewitt, C.N. (2012). Effectiveness of green infrastructure for improvement of air quality in urban street canyons. *Environmental science & technology*, 46(14), ss.7692-7699.
- Ribeiro, J.E.L.S. (2011). Neotropical Moraceae. I Milliken, W., Klitgård, B. & Baracat, A. (red.). *Neotropikey - Interactive key and information resources for flowering plants of the Neotropics*. Tillgänglig: <http://www.kew.org/science/tropamerica/neotropikey/families/Moraceae.htm> (Hämtad 2019-05-20).
- Ringstad, A. J. (1994). Perceived danger and the design of underground facilities for public use. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 9, ss. 5-7.
- Robinson, N. (2004). *The planting design handbook*. 2. uppl. London: Routledge.
- Sæbø, A., Popek, R., Nawrot, B., Hanslin, H.M., Gawronska, H. & Gawronski, S.W. (2012). Plant species differences in particulate matter accumulation on leaf surfaces. *Science of the Total Environment*, 427, ss.347-354.
- Song, Y., Maher, B.A., Li, F., Wang, X., Sun, X. and Zhang, H. (2015). Particulate matter deposited on leaf of five evergreen species in Beijing, China: Source identification and size distribution. *Atmospheric Environment*, 105, ss.53-60.
- Stockholms läns landsting (SLL), förvaltning för utbyggd tunnelbana. (2015). *Åtgärder för luftkvalitet - Underlag för MKB nya tunnelbanan. FUT 1511-0219*.
- Stockholms läns landsting (SLL), förvaltning för utbyggd tunnelbana. (2016). *Hälsopåverkan av tunnelluft*.
- Summerhayes, V. S. (1968). Orchidaceae, Part 1. I Milne-Redhead, E & Polhill, R. M. (red.). *Flora of Tropical East Africa*. Kew publishing.
- Tengborg, P. & Sturk, R. (2016). Development of the use of underground space in Sweden. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 55, ss.339-341.
- Thornes, J.E. Cai, X. Hickman, A. Maria, J. Saborit, D. & Baker. C. (2016). Air quality in enclosed railway stations. *Institution of Civil Engineers*, ss. 1-9.
- United Nations. (2014). *World Urbanization Prospects: The 2014 Revision, Highlights*. Department of Economic and Social Affairs, Population Division, ST/ESA/SER.A/ 352. United Nations, New York.
- van der Hoeven, F. & Juchnevic, K. (2016). The significance of the underground experience: Selection of reference design cases from the underground public transport stations and interchanges of the European Union. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 55, ss.176-193.
- Wanderley, M.G.L., Sellaro, M. & Moreira, B.A. (2009). Neotropical Bromeliaceae. I Milliken, W., Klitgård, B. & Baracat, A. (red.). *Neotropikey - Interactive key and information resources for flowering plants of the Neotropics*. Tillgänglig: <http://www.kew.org/science/tropamerica/neotropikey/families/Bromeliaceae.htm> (Hämtad 2019-05-20).
- Weerakkody, U., Dover, J.W., Mitchell, P. & Reiling, K. (2017). Particulate matter pollution capture by leaves of seventeen living wall species with special reference to rail-traffic at a metropolitan station. *Urban forestry & urban greening*, 27, ss.173-186.
- World Health Organization. (2016). *Ambient air pollution: A global assessment of exposure and burden of disease*.
- Xu, B. & Hao, J. (2017). Air quality inside subway metro indoor environment worldwide: a review. *Environment international*, 107, ss.33-46.
- Zappi, D. (2009). Neotropical Cactaceae. I Milliken, W., Klitgård, B. & Baracat, A. (red.). *Neotropikey - Interactive key and information resources for flowering plants of the Neotropics*. Tillgänglig:

<http://www.kew.org/science/tropamerica/neotropikey/families/Cactaceae.htm>.  
(Hämtad 2019-05-20).

Zhao, J. & Künzli, O. (2016). An introduction to connectivity concept and an example of physical connectivity evaluation for underground space. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 55, ss.205-213.