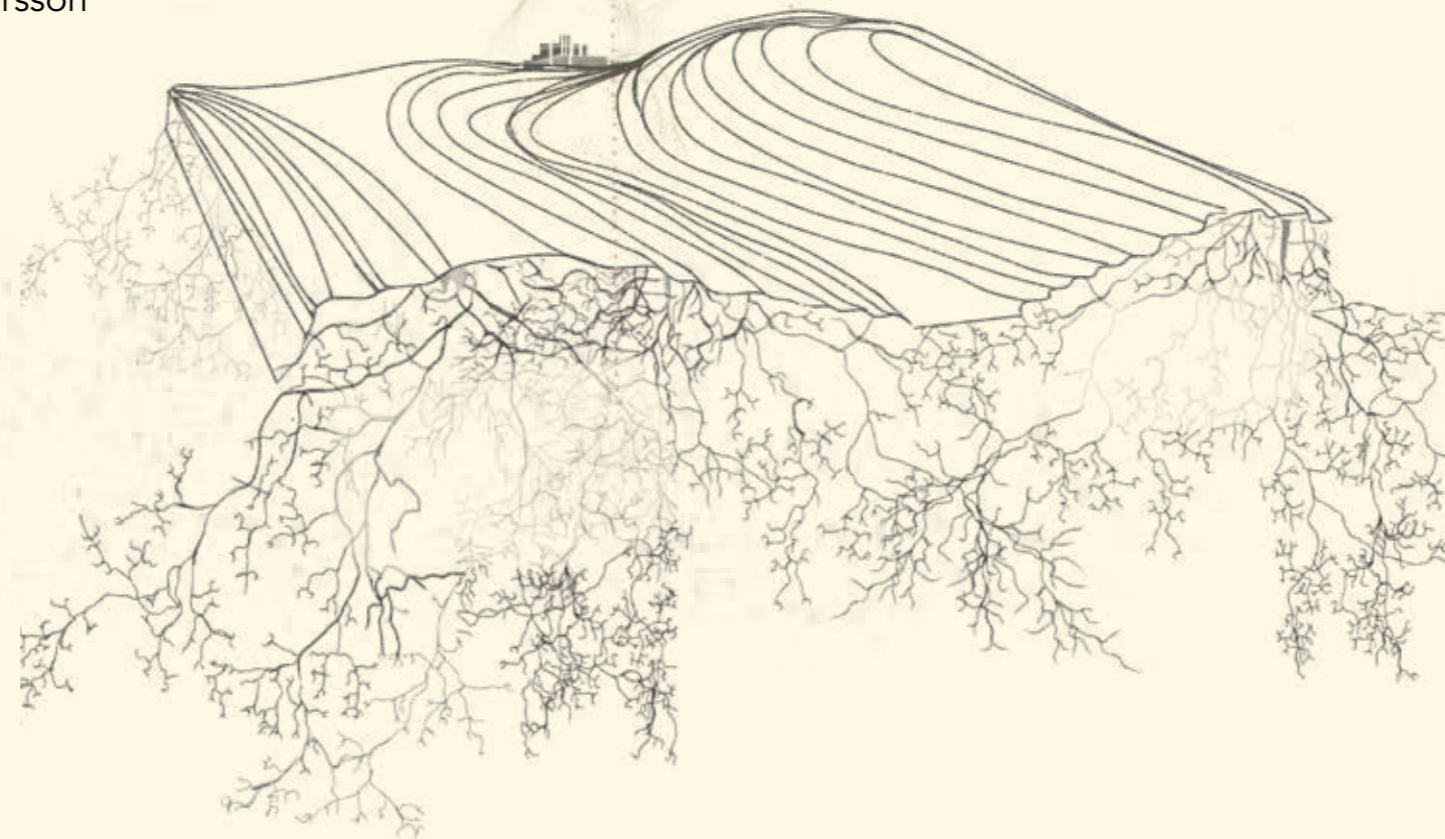


FYTO, FORM & FUNKTION

En studie om möjligheterna och utmaningarna kopplat till fyto Remediering i kontexten av en ackumulerande föroreningsproblematik i stadsväven

Sara Karlmark Persson



FYTO, FORM & FUNKTION.

En studie om möjligheterna och utmaningarna kopplat till fyto Remediering i kontexten av en ackumulerande föroreningsproblematik i stadsväven

PHYTO, FORM & FUNCTION.

A study on the opportunities and challenges linked to phytoremediation in the context of an accumulating pollution problem in the urban fabric

Sara Karlmark Persson

Handledare: Andrew Butler, Sveriges lantbruksuniversitet (SLU), Institutionen för stad och land;

Avdelningen för landskapsarkitektur, Fysisk planering

Bitr. handledare: Maria Greger, Stockholms universitet, Institutionen för ekologi miljö och botanik

Examinator: Marcus Hedblom, Institutionen för stad och land, Avdelningen för landskapsarkitektur,

Landskapsförvaltning

Bitr. examinator: Vera Vicenzotti, Institutionen för stad och land; Avdelningen för landskapsarkitektur,

Design teori

Omfattning: 30 hp

Nivå och fördjupning: Avancerad nivå, A2E

Kurstitel: Independent Project in Landscape Architecture, A2E – Landscape Architecture for Sustainable

Urbanisation – Master's Programme

Kurskod: EX0945

Program/utbildning: Masterprogrammet landskapsarkitektur för hållbar urbanisering

Kursansvarig inst: Institutionen för stad och land

Utgivningsort: Uppsala

Utgivningsår: 2025

Omslagsbild: Illustration av Sara Karlmark Persson

Upphovsrätt: Alla bilder används med upphovspersonens tillstånd.

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

Nyckelord: Fyto Remediering, Fytohydraulik, Fytostabilisering, Rhizofiltration, Föroreningsproblematik,

Akkumulerande föroreningar, Dagvatten, Dagvattenhantering, Avrinning, Naturbaserade lösningar,

Resiliens, Urban resiliens

Illustrationer och fotografier som saknar källa är skapade/fotograferade av Sara Karlmark Persson.

Sveriges lantbruksuniversitet

Fakulteten för naturresurser och jordbruksvetenskap

Institutionen för stad och land

Avdelningen för landskapsarkitektur

TACK TILL...

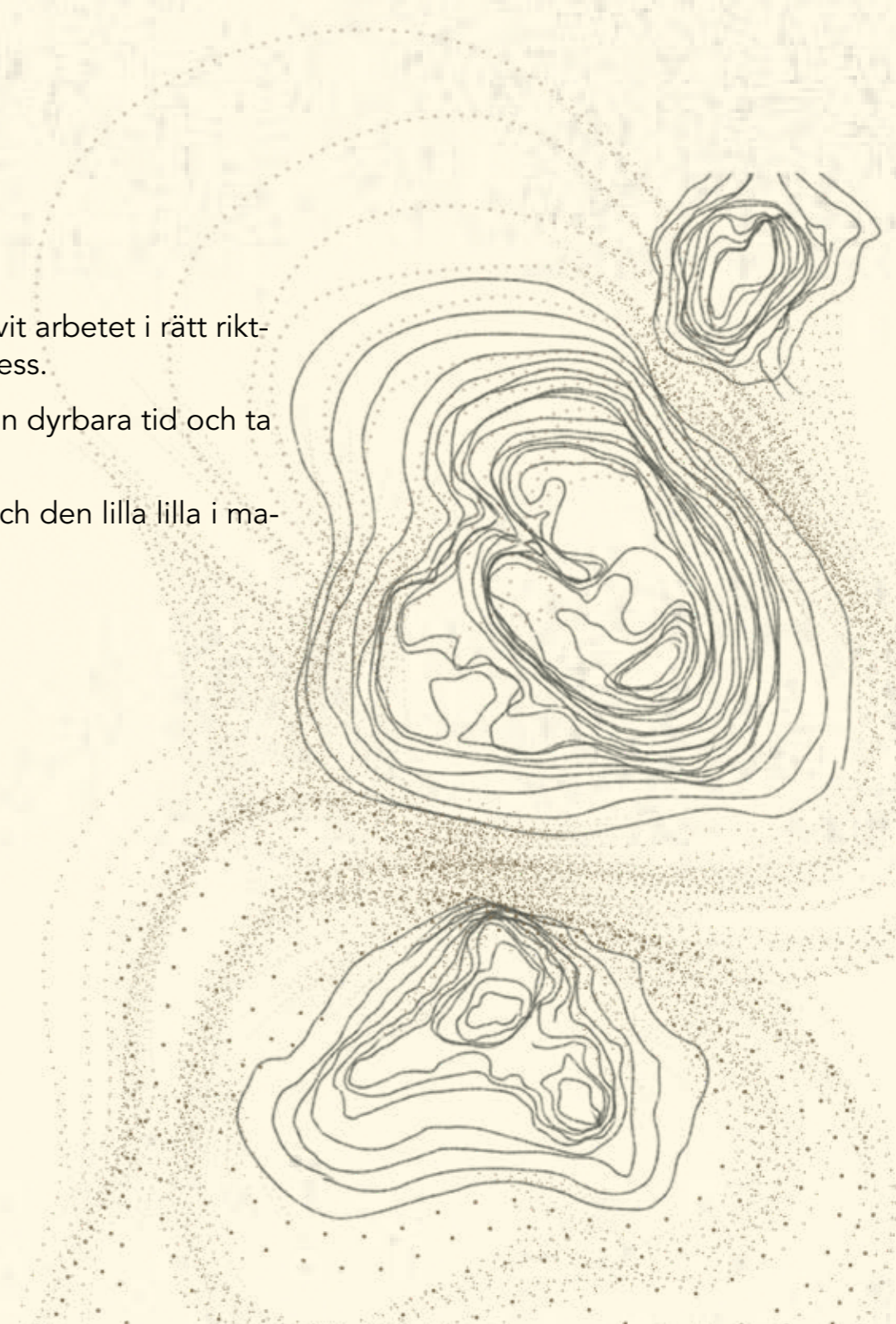
Arbetets fantastiska handledare Andrew Butler, tack för att du utmanat och drivit arbetet i rätt riktning och för stöttning. För givande samtal i en ganska så ensam och lång process.

Tack till arbetets biträdande handledare Maria Greger, tack för att jag fått av din dyrbara tid och ta del av din otroliga kompetens. Din drivkraft är oerhört inspirerande!

Tack till nära och kära för utan er är inget möjligt och framförallt tack till Uma och den lilla lilla i magen.

Sara Karlmark Persson

Stockholm, december 2024



SAMMANDRAG

Urbaniseringens snabba framväxt har skapat en komplex och ackumulerande föroreningsproblematik, detta arbete undersöker hur fytoremediering kan integreras i landskapsarkitektur för att skapa resilienta och friskare stadsmiljöer. Framförallt undersöks *möjligheterna* och *utmaningarna* med att integrera fytoremediering i landskapsarkitektur.

Fytoremediering, som utnyttjar växters och algers naturliga förmåga att hämma, stabilisera eller bryta ned föroreningar, presenteras som en nyckelkomponent i arbetet med att skapa friskare och mer hållbara stadsmiljöer. Arbetet gör en ansats till att kartlägga och analysera föroreningsflöden via en flytande skala, från en mikroskopisk partikelnivå till landskapsomfattande sammanhang, för att bättre förstå föroreningarnas spridning och påverkan i urbana miljöer.

Arbetet grundar sig på en interdisciplinär metod som kombinerar, samarbete med en fytoremedieringsexpert, studier av relevant litteratur/data, kartläggning och konceptuell design för att utveckla lösningar som balanserar funktionalitet, form och resiliens. Centralt i arbetet är att göra föroreningar synliga och skapa en medvetenhet genom konceptuella designstrategier, där föroreningsproblematiken i sig används som katalysator.

Arbetet identifierar att urbana miljöer är särskilt sårbara för föroreningar eftersom det är här vi människor, med största sannolikhet, kommer att befinna oss i framtiden. Föroreningar ackumuleras kontinuerligt i urbana miljöer på grund av antropocena aktiviteter och påverkar både vår hälsa och ekosystem. Med utgångspunkt i målsättningar för hållbar utveckling är syftet att utforska hur fytoremediering kan fungera som en del av multifunktionella och naturbaserade lösningar som stärker stadens resiliens.

Arbetet har en abduktiv ansats som möjliggör anpassningar av metoder och analys under arbetets gång. Genom en omfattande förstudie samlas kunskap om föroreningarnas beteende och spridning i stadsväven där urban metabolism lyfts fram som ett viktigt begrepp, och med hjälp av kartografiska metoder kartläggs förore-

nings”hotspots” i Stockholms stad. Dessa kartläggningar, utgör grunden för de konceptuella designförslagen som presenteras i slutet av arbetet.

Två designprinciper utvecklas för att hantera föroreningsproblematiken på de identifierade förorenings”hotspotsen”. Dessa principer utgör potentiella plattformar för tekniken fytoremediering och exemplifierar hur fytoremediering kan integreras i urbana sammanhang för att uppnå såväl funktionella som formmässiga mål.

Kopplat till tekniken fytoremediering belyser arbetet även utmaningar, såsom tekniska begränsningar, behovet av långsiktiga förvaltningsstrategier och komplexiteten i att överföra laboratorieresultat till praktiska tillämpningar. Trots detta framhålls tekniken fytoremediering som ett kraftfullt verktyg för att minska ackumuleringen av föroreningar och stärka stadsmiljöns resiliens. Arbetet bidrar med strategier för att göra naturbaserade lösningar mer tillgängliga och implementerbara i urbana sammanhang, för framtida friskare stadsrum.

ABSTRACT

The rapid growth of urbanization has created a complex and accumulating pollution problem. This study explores how phytoremediation can be integrated into landscape architecture to create resilient and healthier urban environments. It specifically examines the *opportunities* and *challenges* of integrating phytoremediation into landscape architecture.

Phytoremediation, which utilizes the natural ability of plants and algae to inhibit, stabilize, or break down pollutants, is presented as a key component in efforts to create healthier and more sustainable urban environments. The study aims to map and analyze pollution flows using a fluid scale, ranging from a microscopic particle level to landscape-wide contexts, to better understand the spread and impact of pollutants in urban areas.

The work is based on an interdisciplinary method combining collaboration with a phytoremediation expert, relevant literature/data studies, mapping, and principles of design to develop solutions that balance functionality, form, and resilience. Central to the study is making pollution visible and raising awareness through principle design strategies, where the pollution problem itself acts as a catalyst.

The study identifies that urban environments are particularly vulnerable to pollution, as they are where humans are most likely to reside in the future. Pollution continuously accumulates in urban areas due to anthropocene activities, affecting both human health and ecosystems. With a focus on sustainable development goals, the aim is to explore how phytoremediation can function as part of multifunctional and nature-based solutions that enhance urban resilience.

The study adopts an abductive approach, allowing methods and analyses to be adjusted throughout the process. Through an extensive preliminary study, knowledge is gathered about the behavior and spread of pollutants in the urban fabric, where urban metabolism is highlighted as a key concept. Using cartographic

methods, pollution "hotspots" in Stockholm are mapped, forming the basis for the principle design proposals presented at the end of the work.

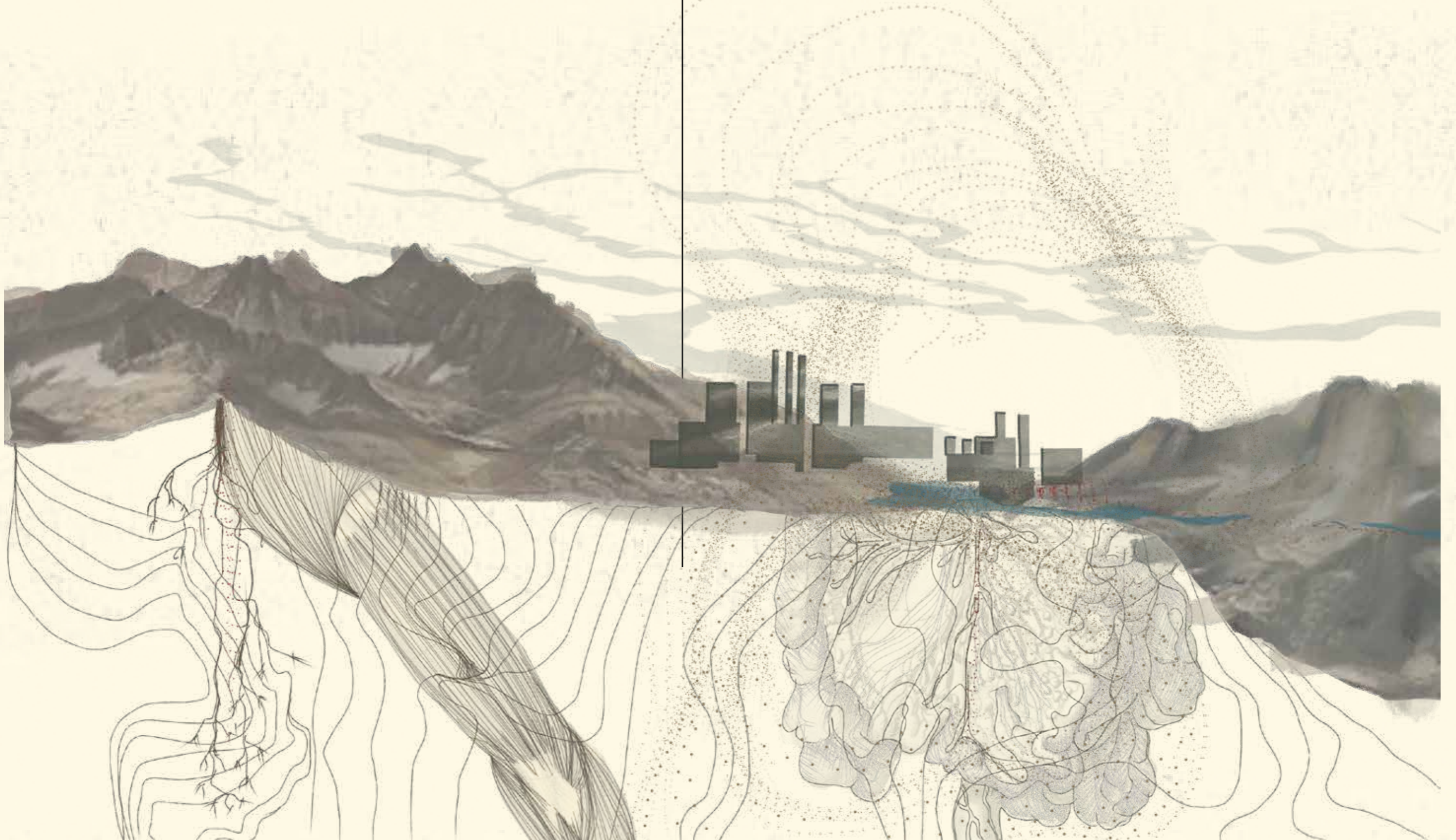
Two design principles are developed to address pollution issues at the identified hotspots. These principles serve as potential platforms for the phytoremediation technique and exemplify how phytoremediation can be integrated into urban contexts to achieve both functional and aesthetic goals.

In connection with phytoremediation, the study also highlights challenges such as technical limitations, the need for long-term management strategies, and the complexity of translating laboratory results into practical applications. Despite these challenges, phytoremediation is emphasized as a powerful tool to reduce pollution accumulation and strengthen urban resilience. The study contributes strategies to make nature-based solutions more accessible and implementable in urban contexts, paving the way for healthier urban spaces in the future.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

INLEDNING	3	2.2 Kartöverlägg: Analys	32
Bakgrund		Kartöverlägg: Prioriteringar	
Syfte & Problemformuleringar		Kartöverlägg: Hotspots	
Metod		3. DESIGNPRINCIPER för fyto, form och funktion	36
Målgrupp & Avgränsningar		3.1 FYTOREMEDIERING	37
1. FÖRSTUDIE För framtida friskare stadsrum	11	Nio olika kategorier av fyto	
1.1 MÅLSÄTTNINGAR	12	Historik & samtid	
Motiverande faktorer för framtida friskare stadsrum		Möjligheter och utmaningar	
Globala målsättningar		3.2 GENERELLA STRATEGIER Fyto, Form och Funktion	40
Naturbaserade lösningar		Buffertzona	
Planetära gränser		Tekniska strategier Fytoremediering	
Sveriges miljömål		3.3 HOTSPOT 1. Platsanalys	42
Vattendirektivet (EUs ramdirektiv för vatten)		3.4 DESIGNPRINCIP: VÅGEN	44
Nationella riktlinjer för dagvattenhantering (Svenskt Vatten)		Vågen Perspektiv	
1.2 FRAGMENTATION	15	Vågen Plan	
Att försöka förstå föroreningar		Vågen Vyer	
Mängd och effekt		Vågen Vatten och Dagvatten strategi	
Transformation och rörelse		3.5 HOTSPOT 2. Platsanalys	49
Ojämlighet kopplat till föroreningar i stadsväven		3.6 DESIGNPRINCIP: PARTIKELPONTONEN	51
Dagvatten och föroreningar i en urban kontext		PartikelPontonen Plan	
1.3 FÖRORENINGAR I FRAGMENT	19	PartikelPontonen Sektioner	
Fragmentation och föroreningar i landskapet		PartikelPontonen Perspektiv	
Fragmentation och föroreningar - i en urban kontext		PartikelPontonen Flytande våtmark strategi	
Stadsväven		4. DISKUSSION	56
Urban design		4.1 REFLEKTIONER	57
Urban ekologi		Problematik som katalysator	
Flytande skala		Medvetandegörande och Toxic beauty	
Urban metabolism		Fragmentering - skalan, metabolismen och social hållbarhet	
2. KARTLÄGGNING Förroreningar i fragment	23	Urval av kartöverlägg	
2.1 Kartografiskt material	24	Paradoxen: PartikelPontonen	
Kartöverlägg: Urbana värmeöar		Om fytoremediering faller, vad är plan B?	
Kartöverlägg: Partikelhalt PM10		Fyto och Förvaltning	
Kartöverlägg: Dagvatten		4.2 SAMMANSTÄLLNING	60
Kartöverlägg: Jordarter		4.3 SLUTSATS	61
Kartöverlägg: Utsatta områden		LITTERATURFÖRTECKNING	62
Kartöverlägg: Befolkningstäthet		FIGURFÖRTECKNING	66

INLEDNING



Bakgrund

Kanske för att författaren varit höggravid under båda sina examensarbeten, så har båda uppsatserna kommit att behandla ämnet föroreningar, men via olika infallsvinklar. Som havande finns nationella rekommendationer som avråder från att äta insjöfisk eller fisk från Östersjön, i den kontexten så tar även detta arbete sitt avstamp. I en värld med flertalet föroreningar skrämmande nära, så vill jag och detta arbete placera sig i en föroreningsproblematik, kanske för att närma sig någon typ av lösning kopplat till resilient landskapsarkitektur eller åtminstone en strävan efter att skapa miljöer som är friskare för oss idag och för våra framtida barn.

Föroreningar av antropocen sort finns spatialt i vår närhet konstant, men på en varierande skala och med en varierande ackumulation. I detta arbete används begreppet föroreningar av antropocen art för att betona att de föroreningar som behandlas är direkt kopplade till mänskliga aktiviteter, såsom urbanisering och utsläpp från infrastruktur. Även om vissa föroreningar har naturligt ursprung, exempelvis radon, fokuserar denna studie på de föroreningsflöden som är konsekvenser av samhällsutvecklingen och som ackumuleras i den urbana miljön.

Föroreningar är komplexa till sin natur då de inte alltid går att se eller höra, men de finns ändå precis här i vår närhet. Författaren menar att detta är ett kulminerade problem, framförallt kopplat till framtiden. För att förvalta vår framtid kopplat till en föroreningsproblematik finns det ett behov av att se form och funktion i symbios.

Resilient landskapsarkitektur behöver funktionen som återfinns inom den klassiska hållbarhetsdiskursen som berör aspekterna ekologisk, social och ekonomisk hållbarhet men behöver tillika inkludera estetik, formen, för att aktivera landskapsarkitekturen.

Ett estetiskt engagemang juxtaposterat en funktion som naturligt återfinns i landskapet kan i sin tur provocera

fram ett skifte från ett *ego-centriskt* till ett mer *bio-centriskt perspektiv* (Meyer 2008). Vilket i sin tur kan uppmuntra till engagemang och reflektion över miljön. Detta engagemang ses som avgörande för att främja en hållbar framtid.

Dessa idéer resonerar starkt med arbetet, att det finns en symbios mellan form och funktion eller funktion och form för att aktivera och göra ett stort och ganska så osynligt kulminerade problem synligt, föroreningsproblematiken. Resilient landskapsarkitektur som inte döljer en föroreningsproblematik utan agerar för att medvetandegöra problematiken.

Begreppet "*toxic beauty*" är något som speglar en strategi att medvetandegöra en problematik och där själva problematiken tillika är katalysatorn. Begreppet är hämtat från boken *Toxic Beauty: A Field Guide to Derelict Terrain* av Julie Bargmann. Bargmann argumenterar för det akuta behovet av att kreativt återuppliva USAs förorenade landskap utan att dölja dess industriella historia. Bargmann illustrerar den potentiella skönheten i förorenade landskap och områden och beskriver samtidigt den förödande faran med att inte agera. (Bargmann 2008)

Symbiosen mellan form och funktion är ledande för arbetet, men vad är fyto kanske läsaren frågar sig? Fyto är författarens egna förkortning för *Fytoremediering*, vilket är ett samlingsbegrepp för växters eller algers inneboende förmåga att hämma eller avlägsna vissa ämnen via växtens eller algens naturliga mekanismer. Författaren kom i kontakt med begreppet fytoremediering under sina studier som landskapsingenjör och resulterade i en kandidatuppsats kopplat till fytoremediering och den specifika föroreningen koppar i en cirkulär kontext. I detta arbete utforskas fytoremediering i kombination med aspekterna form, funktion och föroreningar i en flytande skala.

En stor del av bakgrunden och inspirationen till delar av arbetet grundar sig i framförallt två kurser från masterprogrammet *Landscape Architecture for Sustainable Urbanisation*:

Kursen *Landscape architecture: History, theory and practice* som ges via masterprogrammet, öppnade författarens ögon för hegemoniska maktstrukturer i samhället, vilka även existerar inom landskapsarkitektur. Kursen har inspirerat arbetets kartarbete som visar på intrikata samband mellan föreningar kopplat till klimatförändring men också maktstrukturer i samhället. Kursen har även inspirerat till ett inverterat tillvägagångssätt, där landskapsarkitekturen tar avstamp i en problematik snarare än en platsspecifik situation. Ledande inom studier inom landskapsarkitektur kopplat till historia, teori och design, Thaisa Way uttrycker det passande, i motsats till att utforska en konkret plats i den urbana strukturen, utforskar Way hur du kan närma dig en plats från

"the outside in" (2021: 219).

Där en samhällsrotad problematik fungerar som katalysator snarare än den faktiska platsen, detta arbetssätt främjar en mer holistisk förståelse av urbana miljöer, vilket möjliggör en mer nyanserad och djupare utforskning av frågor som berör en viss typ av problematik.

Kursen *Studio - Urban ecology for landscape architecture* utforskade bland annat konceptet om designprinciper. Där själva idén om att skapa gestaltungsförslag som grundar sig i designprinciper, vilka är applicerbara generellt i urbana miljöer, med vissa kravställningar kopplat till ekologi, introducerades under kursens gång.

Konceptet angående designprinciper tilltalade författaren då förhoppningen är att tröskeln blir lägre från papper till praktik om det finns en generell designprincip som går att placera i stadsväven, men att designprincipen börjar i problematiken kopplat till föroreningsgraden i stadsväven snarare än en platsspecifik situation.

Syfte & Problemformuleringar

Begreppet "cues to care", introducerades även under kursens gång, vilket är myntat av Joan Iverson Nassauer (1995). Begreppet understryker betydelsen av att integrera igenkännbara kulturella symboler och välbekanta estetiska uttryck som speglar mänsklig avsikt i landskapsdesign, med syftet att främja den ekologiska funktionen. Den övergripande strategin handlar om att överbrygga klyftan mellan funktion och estetik, där "cues to care" hjälper till att förena ekologiska funktioner med estetiska förväntningar, vilket gör det möjligt för människan att uppskatta och stödja mer komplexa och biologiskt rika landskap.

Problematiken gällande föroreningar, i samklang med den stadsväven som breder ut sig i världens metropoler, står som katalysator och leder detta arbete vidare in i väven. I dagens tätt bebyggda stadsmiljöer ställs målsättningar och krav för att upprätthålla en frisk och hälsosam miljö, paradoxalt till detta, kopplat till en alltmer utbredd urbanisering, blir vi allt mer exponerade för föroreningar i vår närmiljö.

Detta arbete bygger på en stark strävan att skapa friska och hållbara stadsmiljöer där naturens krafter kan utnyttjas för att förbättra livskvaliteten för människan i relation till en urban miljö. En central ambition är att utveckla resilienta lösningar där form och funktion integreras interdisciplinärt för att möta utmaningarna kopplade till klimatförändringar och föroreningar.

Genom att utforska fytoremediering i kombination med landskapsarkitektur undersöks möjligheterna att skapa friskare och mer hållbara städer. Syftet med detta examensarbete är att identifiera och kartlägga områden i stadsväven och dess utkanter där föroreningar frekvent och kontinuerligt ackumuleras. Ordet *ackumuleras* betonas eftersom arbetet medvetet inte har valt att titta på områden med en historisk miljöskuld i form av föroreningar, som exempelvis tidigare industrimark, utan detta arbete ämnar att följa föroreningarna i stadsväven.

Syftet att försöka följa och kartlägga föroreningarnas olika vägar och eventuella kemiska omvandlingar i stadsväven handlar i grund och botten om att planera för proaktiva åtgärder, på det sättet ökar arbetet chansen till att kunna verka resilient och öppnar upp för en önskan om att förstå den urbana metabolismen bättre.

För att följa föroreningarnas väg och potentiella omvandlingar så krävs en flytande skala, arbetet befinner sig därför både på partikelnivå, och för att förstå föroreningarnas påverkan i en stor skala så befinner vi oss i landskapet där vi ser hur en fragmentation av ekosystem bidrar till en större ackumulation av föroreningar.

Målet är att utveckla en kartläggning av stadsväven för att utröna föroreningsgraden och avgöra vart på skalan en plats befinner sig och hur stort behovet av en multifunktionell/naturbaserad lösning med stöd av fytoremediering är. Utifrån kartläggning är avsikten att visa på konceptuella designlösningar som kan möta den platsens miljöutmaningar utifrån ett föroreningsperspektiv

genom användning av fytoremediering och slutledningsvis göra en ansats att *ta kontroll* över föroreningarna och dess vidare spridning. Det breda målet är att skapa en brygga mellan teoretiska forskningsrön kring fytoremediering och dess praktiska tillämpning i urbana miljöer. Arbetet syftar till att demonstrera hur småskaliga, välgrundade insatser kan bidra till en mer resilient och friskare stadsmiljö i en slutledningsvis stor skala.

Huvudfråga

Hur kan fytoremediering integreras i landskapsarkitektur som en del av en multifunktionell /naturbaserad lösning och resilient strategi? Vad finns det för utmaningar och möjligheter?

Delfrågor

Vart i stadsväven och dess utkanter sker en frekvent ackumulering av föroreningar? Vart sker en sådan ackumulering i kommunen Stockholm?

Kopplat till ackumulationen av föroreningar i stadsväven: Hur kan en designprinciplösning se ut i relation till dess placering i kommunen Stockholm?

Metod, Struktur & Argumentation

I detta avsnitt redogörs för de metoder som använts i arbetets olika delar. Generellt har arbetet ett abduktivt angreppssätt, definierat enligt Alvesson & Sköldberg. Ett abduktivt angreppssätt innebär en flexibel metod som anpassas utifrån förändrade förhållanden och nya insikter som uppstår under arbetets gång (2009: 4). Det abduktiva förhållningssättet möjliggör kontinuerlig justering av problemformuleringarna, metoder och analys. Arbetet har en tvärvetenskaplig ingång och en kombinerad metod av kvantitativt och kvalitativt arbete.

Resultatet av arbetets metod består av presentation av empiriska studier i förstudien, data om föroreningar i stadsväven och interdisciplinära samtal med expert inom fyto Remediering. Detta i sin tur syntetiseras i kartläggningar och projektbaserade designprinciper kopplat till föroreningar och fyto Remediering. Framöver presenteras mer ingående de olika delarnas metoder och strukturen för arbetets fyra delar:

Del 1. Förstudie

Förstudien är en omfattande studie av relevant litteratur och data kopplat till en föroreningsproblematik i stadsväven. Där skalan går från landskapet ner till partikelnivå.

- Det första avsnittet i förstudien *Målsättningar - Motiverande faktorer för framtida friskare stadsrum* redogör för vilka typer av målsättningar som finns kopplat till en föroreningsproblematik och redogör på det viset för viktiga grundläggande argument för dess relevans i vår samtid och framtid.

Avsnittet inleds med globala målsättningar och redogör även för nationella målsättningar eftersom arbetet är grundat i en nationell kontext. I avsnittets avslutande del presenteras målsättningar kopplat till vatten och dagvatten, betoningen på vatten finns med eftersom föroreningar transporteras väl via flytande medium, därför finns det en viss betoning på vatten inom föreningsdiskursen. Källhänvisning är främst *Förenade nationernas utveck-*

lingsprogram UNDP (u.å.), *Rockström et al.* (2009), *Sveriges Miljömål* (u.å.) och *Vattenmyndigheterna* (u.å.).

- Det andra avsnittet *Fragmentation - att försöka förstå föroreningar* gör en ansats till att göra den abstrakta föroreningsproblematiken greppbar och förståelig. Inledande definieras begreppet och beskriver hur föroreningar beter sig i synergi med dess omgivning och hur de sprids vidare. Studierna som refereras till under avsnittet organiserades sedan i underrubriker som, enligt författaren, har absolut störst relevans kopplat till en ackumulation av föroreningar i stadsväven där mänsklig närvaro finns. För att förtydliga så har ett urval gjorts av författaren och det finns flera parametrar som är av vikt, men för att begränsa arbetet så lyfts underrubrikerna i detta avsnitt fram som de mest relevanta.

Huvudlitteraturen för att förstå föroreningar lutar sig främst på *Hill* (2010). Arbetet med organiseringen av underrubriker specifikt kopplat till föroreningsproblematiken i stadsväven gjordes sökningar till relevanta artiklar och rapporter främst i digitala databaser såsom Primo (SLU-bibliotekets söktjänst), Elsevier, Google Scholar, Web of science och Sci space. Ett urval av relevanta sökord inkluderar: *phyto remediation, pollution, heavy metals, stormwater management, urban pollution*.

- Det tredje avsnittet *Föroreningar i fragment* behandlar en fragmentation i landskapet, där brutna sammanhang och störda biologiska cykler påverkar föroreningsproblematiken. Det hydrologiska sambandet återfinns, där störda samband identifieras som en stor framtida problematik kopplat till vattentillgången av friskt vatten. Den flytande skalan introduceras för läsaren och kopplar arbetets relevans till stadsväven, urban ekologi och urban metabolism.

Huvudlitteraturen som refereras till är *Selman* (2012) kopplat till landskapsskalan. *Mostafavi* (2013) och *Verma et al.* (2020) kopplat till urban ekologi och en flytande

skala. *Carmona* (2021) som berör urban design.

Relevant litteratur har framförallt tagits fram genom tidigare referenser och samlad kunskap från tidigare studier vid SLU och kurser under masterprogrammet. Relevant litteratur har även framförts med hjälp av arbetets handledare.

Efter varje avsnitt sammanfattas avsnittet under underrubriken *Summa Summarum*, som vägleder läsaren vad som är det viktigaste att ta med sig in i nästa del av arbetet.

Illustrationerna som refererar till texten är framtagna av författaren med skisser och det digitala ritprogrammet Procreate.

Del 2. Kartläggning

Detta kapitel är en platsspecifik kartläggning över Stockholms kommun med utgångspunkt en ackumulerande föroreningsproblematik. De kartöverlägg som används är syntesen och resultatet av förstudien.

Metoden att ta fram kartläggningen hänger sig åt Ian McHarg och hans *“ekologiska metod”*. I hans verk *Design with nature* (1969) så introduceras metoder för att göra överlägg av data kopplat till landskap. McHargs metod innebär att kartlägga och lagerlägga olika miljöfaktorer som exempelvis jordtyper, hydrologi, vegetation, topografi för att identifiera lämplig markanvändning. Genom att använda sig av överlägg med data kan dessa informationslager bistå planerare och designers att visuellt bedöma de bästa platserna för utveckling, bevarande och andra markanvändningar baserat på miljömässig lämplighet. Detta tillvägagångssätt påminner en del om det moderna geografiska informationssystem som även kort kallas för GIS.

Att göra överlägg kopplat till data och landskapet för att finna lämpliga områden för en viss typ av markanvändning är en metod som arbetet har landat i. Detta för att göra en ansats att identifiera områden i en urban miljö där föroreningar ackumuleras kontinuerligt och visuellt få en hänvisning vart dessa områden korsas för att sedan få en inklination vart behovet är som störst att *ta kontroll* över föroreningarna. Kortfattat bygger strategin på att dessa överlägg kan ge en hänvisning till var föroreningarna i staden befinner sig och ackumuleras över tid, som *"hotspots"* för föroreningar i stadsväven, där vill arbetet positionera sig.

Kartläggningen med stöd av överläggen är också influerade av Corners (2011) idéer om kartläggning. Där själva kartläggningen ses en dynamisk och kreativ process som går längre än att bara representera geografisk eller rumslig information. Corner (2011) menar att kartläggning fungerar som ett verktyg för att samla in, avslöja och koppla samman olika element i ett landskap eller en stadsmiljö. I stället för att bara avbilda verkligheten gör kartläggningen det möjligt att utforska potentiella relationer och möjligheter som kanske inte är omedelbart synliga.

Corner (2011) definierar *"layering"* som en teknik inom kartläggning som innebär att man delar upp ett område eller en plats i olika lager, där varje lager representerar en specifik aspekt eller dimension av det som studeras. *"layering"* möjliggör en djupare förståelse av komplexiteten på en plats genom att visualisera hur dessa olika lager interagerar och relaterar till varandra. Istället för att skapa en enhetlig och hierarkisk plan, ger metoden en mer mångfacetterad och dynamisk bild av området, där varje lager bidrar till en rikare och mer komplex helhet.

"Layering" som metod uppmuntrar till att se på platser som sammansatta och flerdimensionella, vilket kan leda till mer innovativa och anpassade designlösningar. För att kunna göra dessa kartöverlägg så kommer arbetet

att titta närmare på Stockholms kommun, för att landa arbetet i en platsspecifik situation, även om det i teorin är möjligt att genomföra en kartläggning med överlägg på en generell urban situation.

Analysen av kartöverläggen, för att identifiera hotspots, utgår utifrån en prioriteringslista som utvecklas via förstudien och kartöverläggen. Prioriteringslistan grundar sig i syftet att skapa framtida friskare stadsrum som går att härleda till hållbarhetsdiskursen.

Den metod som främst använts vid framtagandet av kartöverläggen kopplat till specifik data är Scalgo, Lantmäteriets karttjänst, rapporter kopplat till specifik data och rapporter från Stockholms kommun. Samlad kunskap från tidigare studier vid SLU och kurser under masterprogrammet har även bidragit till framställandet av kartläggningen.

Det visuella arbetet att skapa överläggen är framtagna med Adobe Illustrator och Procreate.

Memorandum från förstudie: Vid varje avsnitt av kartöverläggen finns en memorandum ruta. Där läsaren påminns om relevant information från förstudien som syntetiseras i kartöverläggen och sätter dess data i en kontext.

Del 3. Designprinciper

Utifrån förstudien och kartläggningen över Stockholms kommun, landar designprinciperna på två platsspecifika platser i staden. Dessa agerar exempel på hur det går att skapa förutsättningar för att applicera tekniken fytoremediering i stadsväven, utifrån en ackumulerande föroreningsproblematik.

Samarbete kring fytoremediering

Den första delen av kapitlet som rör fytoremediering och generella tekniska strategier har tagits fram utifrån samtal med Maria Greger, docent vid Stockholms universitet som har forskat på fytoremediering sedan 1992. Som även arbetar på och är delägare i fytoremedieringsföretaget PhytoEnvitech AB.

Samarbetet med Maria inleddes med ett tidigt längre brainstorming möte, där författaren hade med sig några skisser och idéer på designprinciper som möjligtvis kunde passa tekniken fytoremediering. Matnyttig information kopplat till tekniken diskuterades, framförallt om en gemensam målsättning kring hur tekniken kan gå från papper till praktik, i en bredare kontext, eftersom Maria redan aktivt jobbar med tekniken i praktiken via sitt företag.

Efter diskussioner om vilka strategier som är bäst lämpade för fytoremediering så delgav författaren ytterligare skisser och korrigeringar under senare tillfällen. Designprincipen *Vågen* valdes ut som en lämplig teknisk lösning framförallt kopplat till fytoremediering och designprincipen *PartikelPontonen* utvecklades av författaren utifrån de strategier som inledande utarbetats.

Växtval

Utifrån komplexiteten gällande växtmaterialet kopplat till fytoremediering, utlämnas växtvalet i detta arbete. Därför visualiseras växtmaterialet i mättade gröna nyanser för att illustrativt visa på dess utlämnande. Formen för eventuella framtida växtval finns dock med för att visa på

designkoncepten som möjliga plattformar för rätt växtmaterial, i framtiden.

Växtvalet är i ett senare skede av yttersta vikt för ett effektivt nyttjande av tekniken fyto remediering. När platsens förutsättningar och platsspecifika förhållanden utrönas kan växtvalet i samarbete med ämneskunnig expertis tas fram. Därefter kan även skötselstrategier tas fram. Detta arbete stannar vid att ta fram designprinciper som kan nyttjas som plattformar av tekniken fyto remediering, där växtvalet tas fram utifrån platsen specifika krav och aktuella föroreningsproblematik i ett senare skede.

Skissteknik

Skissandet har främst skett via papper och penna, och via transparent skisspapper, där lager på lager metoden använts för att testa olika ideer och koncept utan att det blir för tidskrävande. Skisserna har sedan legat till grund för den slutgiltiga utformningen.

Skissande i kombination med inspirationssökningar och visuella collage i form av moodboards togs fram tidigt i processen, detta för att testa olika material och kombinationer av naturbaserade lösningar organiserade digitalt för att hitta tilltalande kombinationer av material, struktur och rumslighet. Även en färgkarta togs fram tidigt för att arbetet ska hålla en enhetlig färgskala.

Principernas utveckling

Metoden att ta fram arbetets två designprinciper har varit att skissa kontinuerligt under arbetets gång. Att kontinuerligt varva teori och skissande av eventuella lösningar har varit en viktig metod för att driva arbetet framåt. Vilket resulterade i att arbetet bytt designprinciper kopplat till den data och information som dykt upp under arbetets gång.

Stilen på arbetet hänger sig även åt skissandet som ett medvetet stilgrepp, eftersom tekniken fyto remediering idag behöver befinna sig på just ett skisstadium i relation

till landskapsarkitektur.

Det finns även en stor betydelse av det som sker under ytan påkopplat föroreningar och tekiken fyto remediering, därför har alla sektioner en betoning på de processer som sker under ytan och inte enbart det som blotta ögat kan se.

Utvecklingen av designprinciperna är starkt influerad av både förstudien och kartläggningen. Designprinciperna hänger sig åt form och funktion och agerar som plattformar för tekniken fyto remediering. Skisser har även inledande delgetts med arbetets handledare för att leda skissarbetet vidare. Många skisser och idéer har uteslutits i det slutgiltiga arbetet.

Designprinciperna har en tillhörande graderingsskala som bedömer olika kvaliteter av intresse kopplat till dess form och funktion. Detta för att pedagogiskt hjälpa läsaren förstå dess kontext och syfte. Nedan visas graderingsskalan:



Visualiseringen av designkoncepten har tagits fram med AutoCad, Illustrator och Procreate.

Fältbesök

Fältbesök har gjorts på de två utvalda platserna, som enligt arbetet pekats ut som "hotspots" av föroreningar i staden Stockholm. Med skisserna i bakhuvudet, hittades lämpliga platser för designprinciperna. Dokumentation av platsen gjordes, dessa bilder användes sedan i arbetet. Utforskning av platsernas direkta närmiljö gjordes för att förstå platsens kontext bättre och snabba skisser gjordes på plats för att spatialt förstå omgivningen och förstå den lokala skalan.

Del 4. Diskussion

Diskussionsdelen är en sammanställning av de utmaningar och möjligheter som framkommit i de föregående delarna av arbetet, detta för att kunna besvara arbetets frågeställningar. Arbetets slutsats presenteras även här.

Kontinuerligt under arbetets gång har diskussionsdelen hållits levande, även om den befinner sig i arbetets slut så har den varit central under arbetsprocessen. Detta för att fånga upp tankegångar och intern kritik under arbetsprocessen.

Målgrupp & Avgränsningar

Målgrupp

Arbetet vänder sig främst till kommuner och yrkesverksamma inom både offentlig och privat sektor som har ett intresse för innovation, resilient arbete och naturbaserade lösningar.

Eftersom arbetet hänger sig till en kulminerande och ackumulerande föroreningsproblematik i stadsväven, är personer som är verksamma inom detta specifika ämne extra relevanta för detta arbete.

Avgränsningar

Föroreningar

Begreppet föroreningar är i sig komplext och något som är svårt att bokstavligen greppa eftersom föroreningar kommer i många former, skepnader och metamorfoser beroende på omständigheternas kemi och temperatur. Definitionen av föroreningar, för arbetets ramar är, ämnen eller partiklar i fast, flytande eller gasform, som anses ha en negativ effekt på levande organismer eller miljön. Föroreningar i form av miljöstörningar inkluderas också, vilket definieras som urbana värmeöar.

Fokus inom arbetets ramar kopplat till föroreningar berör föroreningar kopplade till dagvatten, detta är på grund av att föroreningar sprids väldigt effektivt via flytande medium. Effektiviteten av spridningen amplifieras av det faktum att urbana miljöer ofta består dominerande av hårdgjord yta, vilket gör att ackumulationen av föroreningar i ytavrinningen bidrar till en större koncentration av föroreningar. Fokus för arbetet berör även trafikintensitet i kombination med urbana värmeöar och utsatta områden.

Ackumulering

Arbetet ämnar att specifikt fokusera på en ackumulation av föroreningar och vart ackumulationen sker i kontexten av en stadsväv. Historiska miljöskulder, som exempelvis tidigare industrimark, tidigare plantskolor, tidigare brand-

släckande verksamhet kommer därför inte att tas i beaktning i arbetet. Även om dessa tidigare miljöskulder kan sippa in i en nuvarande ackumulation av föroreningar är dessa inte det primära fokuset.

Kartläggning

Kartläggningen är avgränsad till Stockholms kommun, där ett platsspecifikt exempel visar på hur olika lager kopplat till en föroreningsproblematik kan stödja arbetet att utröna och spåra upp potentiella förorenings "hots-pots" av ackumulerande sort. Kartläggningen av data framförs visuellt med stöd av Ian Mchargs metod kopplat till kartöverlägg och James Corners idéer om "layering" kopplat till den presenterade datan.

Stadsväven

Även om föroreningar ackumuleras i landskapet och ackumuleras framförallt i relation till fordonsdominerad infrastruktur så är arbetet begränsad till den urbana miljön och benämns i uppsatsen som stadsväven. Det är svårt att fastställa en definitiv gräns för ett urbant område, att arbetet begränsar sig till stadsväven innefattar även att befolkningstätheten är större i urbana områden, vilket kopplas till syftet att skapa friskare stadsmiljöer för människan i relation till en urban miljö.

Fytoremediering

Fytoremediering är ett samlingsbegrepp som beskriver hur växter har olika inneboende strategier för att hantera diverse ämnen och föroreningar. Fytoremedieringstekniken utnyttjar naturligt förekommande processer, där växter i symbios med mikroorganismer bryter ner eller hämmar föroreningar i mark och vatten (Kennen & Kirkwood 2015: 42).

Fytoremediering erbjuder förutsättningar att agera som en naturbaserad lösning, om det görs på rätt sätt i alla led. Tekniken att utnyttja växters inneboende förmåga att ackumulera, hämma eller avlägsna olika typer av föro-

reningar låter vid ett första intryck som en någorlunda simpel metod. Men tekniken är mer komplex än så och det är många faktorer som spelar roll för att det verkligen ska fungera i praktiken.

Som en naturbaserad lösning kopplat till en föroreningsproblematik i stadsväven lyfts tekniken fytoremediering fram som en del av en resilient strategi. Komplexiteten kopplat till tekniken fytoremediering innebär att växtval till designkoncepten har uteslutits i arbetet, då forskningsrön som tagits fram i laboratorier sällan överensstämmer med resultaten i praktiken, där fler faktorer spelar in, som exempelvis jordens lokala kemi.

Designprinciper

Framförallt kopplat till en praktisk tillämpning av tekniken fytoremediering har arbetets designprinciper en strävan efter att generellt kunna vara applicerbara i en urban kontext. Med inspiration från boken *PHYTO - Principles and resources for site remediation and landscape design* (Kennen & Kirkwood 2015) där författarna ger exempel på olika platser i den byggda miljön där det finns en viss typ av förorening, exempelvis begravningsplatser, bensinmackor och vägar. Därefter delger de läsaren designprinciper kopplat till den generella platen och dess föroreningar. Arbetet begränsar sig på ett liknande vis, föroreningsgraden avgör vart designprincipen bäst bör appliceras och utformas därefter, vilka i teorin kan vara synonyma med flera platser i stadsväven.

Stockholm, ett exempel på en stadsväv

Det finns en strävan i arbetet att behålla ett generellt grepp på problematiken kring föroreningar i en stadsväv, eftersom problematiken verkar i ett globalt perspektiv. Designprinciperna som presenteras har även en generell ton. Allt detta har sitt ursprung utifrån det breda målet att skapa en brygga mellan teoretiska forskningsrön kring fytoremediering och dess praktiska tillämpning i urbana miljöer och att sänka tröskeln mellan papper och praktik.

För att förankra arbetets idéer och applicera det teoretiska ramverket i en konkret situation så har Stockholm valts ut som en lämplig plats att testa arbetets resultat på. Författaren är även bosatt i Stockholm och har därför valt den här platsen för att det finns kunskap om staden men också av praktiska skäl.

Detaljnivå tekniska lösningar

Det finns en målsättning kring att skapa generella konceptuella designlösningar kopplat till en föroreningsproblematik och tekniken fyto Remediering. Den generella tonen på designkoncepten innebär att vissa tekniska detaljer frångås. Detaljnivån på tekniska lösningar är även begränsad i och med den begränsade tidsaspekten inom arbetets ramar.

Förvaltningsstrategier

En stor del av tekniken fyto Remediering berör vad som händer sen? Vad händer när växten har tagit upp föroeningen? Förvaltningsarbetet är djupt beroende av vilken typ av föroening det rör sig om och vilken typ av fyto Remedierande kategori som används och vilken typ av växt som används. Eftersom arbetet presenterar generella designprinciper som inte går in på specifika detaljer, exempelvis som specifika föroeningar eller växtval, är det därför inte heller möjligt att förutse den potentiella förvaltningskedjan. Arbetet är begränsat till att det finns generella förvaltningsstrategier kopplat till fyto Remedieringens generella strategier och kopplat till varje designprincip återfinns skötsel aspekten ytligt.

1

FÖRSTUDIE För framtida friskare stadsrum

Förstudien bidrar till en fördjupad förståelse av de ämnen som arbetet berör och skapar ett teoretiskt ramverk, där tanken är att förstudien står som en stabil grund åt de kartöverlägg och konceptuella designförslag som delges senare i arbetet. Förstudien ger även en bred förståelse för vår samtid kopplat till målsättningar, landskapet, urbanisering och möjliga framtida utmaningar och möjligheter kopplat till föroreningar.

Teorin underbygger argument som, i enlighet med arbetet, kan möta vissa aspekter av möjliga framtida utmaningar som rör föroreningar i urbana miljöer. Förstudien ger en relevant kontext och samlar relevant data för att utreda vart föroreningar ackumuleras i stadsväven.

1.1 MÅLSÄTTNINGAR

Motiverande faktorer för framtida friskare stadsrum

I följande avsnitt behandlas målsättningar och verktyg som är relevanta för att motivera framtida friskare stadsrum. Avsnittet presenterar för arbetets ramar relevanta globala målsättningar och nationella målsättningar.

Globala målsättningar

Agenda 2030 för hållbar utveckling innehåller 17 Globala Mål (GM) för hållbar utveckling (Förenta nationernas utvecklingsprogram UNDP u.å.). Detta arbete berör flera av målen men lägger betoning på de utmaningar som främst berör föroreningar i stadsväven.

Arbetet stöder GM 3 God hälsa och välbefinnande genom att förbättra luft- och vattenkvaliteten och därigenom främja hälsosammare levnadsförhållanden i stadsområden. Arbetet bidrar även till GM 11 Hållbara städer och samhällen (Förenta nationernas utvecklingsprogram UNDP u.å.). Genom att utveckla multifunktionella lösningar som inte bara hanterar föroreningar utan också förbättrar livskvaliteten för alla levande varelser i staden och resiliensen gentemot klimatförändringar.

Utöver stadsmiljöer stöder arbetet GM 14 Hav och Marina resurser och GM 15 Ekosystem och biologisk mångfald (Förenta nationernas utvecklingsprogram UNDP u.å.). Eftersom en förbättrad vattenkvalitet genom hållbar stadsdesign direkt gynnar ekosystemen, förhindrar spridning av föroreningar till vattenvägar och strävar indirekt att förbättra den biologiska mångfalden i både land- och vattenlevande livsmiljöer.

GM 6 Rent vatten och sanitet för alla (Förenta nationernas utvecklingsprogram UNDP u.å.) betonar behovet av att minska föroreningar och förbättra vattenhanteringen. Genom att integrera fytoemediering föreslår detta arbete naturbaserade lösningar som strävar efter att förbättra vattenkvaliteten och hanteringen av dagvatten i städer.



Figur 1: Visar de Globala målen och de delmål som är aktuella för arbetet (Förenta nationernas utvecklingsprogram UNDP) och en abstrakt illustration i bakgrunden.

Naturbaserade lösningar

Naturbaserade lösningar (NbS) utgör åtgärder som utnyttjar ekosystemens inneboende funktioner för att hantera olika samhällsutmaningar. Begreppet har lyfts fram i flera sammanhang och forum, vilket har resulterat i varierande definitioner. Gemensamt för dessa definitioner är dock att de betonar ekosystemens centrala roll i att adressera samhällsutmaningar och därigenom främja både ekologisk motståndskraft och människors välbefinnande (Naturvårdsverket 2022). Naturvårdsverket definierar NbS på följande vis:

“Nature-based solutions are multifunctional, cost-effective actions for addressing various societal challenges by protecting, developing or creating ecosystems while promoting biodiversity and human well-being.” (Naturvårdsverket 2022: 12)

Kopplat till urbana miljöer så lyfts NbS som en viktig och multifunktionell strategi. Där betoning läggs på dagvattenhantering, rekreation och åtgärder som minskar föroreningar, däribland nämns tekniken fyto Remediering. (Naturvårdsverket 2022: 13)

NbS blir alltmer erkänt för sin potential att integrera ekologiska processer i konstruerade hårdgjorda miljöer och skapa multifunktionella utrymmen som bidrar till klimatresiliens, förbättrad luftkvalitet och vattenhantering (Cohen-Shacham et al. 2016).

Planetära gränser

Planetära gränser representerar ett kvantitativt ramverk för att utvärdera mänsklig påverkan på jordens system. Genom att identifiera nio planetära processer och tillhörande gränsvärden, syftar konceptet planetära gränser till att definiera ett *“säkert utrymme för mänskligheten”* inom vilket mänskliga aktiviteter kan bedrivas utan att riskera att destabilisera jordens system. Föroreningar, särskilt i form av kemiska föroreningar och förlust av biologisk mångfald, är en av de gränser som löper stor risk att överskridas. (Rockström et al. 2009)

Fyto Remediering som en del av naturbaserade lösningar i urbana miljöer erbjuder sätt att minska dessa risker genom att minska föroreningarna i stadsmiljöer och öka den biologiska mångfalden genom ekologisk design. Fyto Remediering bidrar direkt till att hantera den kemiska

ka föroreningsgränsen genom att absorbera eller hålla skadliga ämnen från mark och vatten, medan naturbaserade lösningar i urbana miljöer stöder gränsen för biologisk mångfald genom att skapa livsmiljöer som stöder stadens flora och fauna vilket i sin tur stödjer en ökad biologisk mångfald.

Sveriges miljömål

Sverige har flera nationella miljömål som är kopplade till att minska föroreningar i staden och i landskapet. Dessa mål ingår i Sveriges miljömål, som syftar till att säkerställa att Sverige når en hållbar utveckling och en god miljö för nuvarande och framtida generationer (Sveriges Miljömål u.å.). Målen kopplade till föroreningar i stadsväven, vilka är aktuella för detta arbete inkluderar följande miljömål:

Miljömålet Frisk luft handlar om att minska luftföroreningar, som partiklar och kväveoxider, för att säkerställa en ren och hälsosam luftkvalitet som inte skadar människor eller miljön. Sverige arbetar för att uppfylla EU:s luftkvalitetsnormer och WHO:s riktlinjer. En av de stora utmaningarna kopplat till detta miljömål är att vägtrafiken utgör en betydande källa till luftföroreningar, särskilt i urbana områden. Bilavgaser innehåller skadliga ämnen såsom partiklar, kvävedioxid och olika organiska föreningar, vilka bidrar till bildningen av marknära ozon. Utöver detta ger vägtrafiken upphov till slitagepartiklar, särskilt i samband med användningen av dubbdäck, då vägbanans yta gradvis slits ned. (Sveriges Miljömål u.å.)

Miljömålet Gifrfri miljö strävar efter att eliminera farliga kemikalier i miljön och minska exponeringen av sådana ämnen för människor och natur. Målet är att säkerställa att användningen av kemikalier inte medför skador på människors hälsa eller ekosystem. Det finns många utmaningar kopplat till detta mål, bland annat att det saknas tillräcklig kunskap om halter och trender för de flesta ämnen i miljön, vilket gör det svårt att identifiera en tydlig utvecklingstrend. Trots att styrmedel och åtgärder för en gifrfri miljö kan vara på plats till 2030, kommer det dröja innan det önskade miljötillståndet uppnås. Läckage av farliga ämnen från både nuvarande och tidigare användning samt förorenade områden väntas fortsätta. Vissa ämnen bryts ned långsamt eller inte alls och kan vara skadliga under lång tid. Förebyggande åtgärder är därför avgörande. (Sveriges Miljömål u.å.)

Miljömålet God bebyggd miljö innebär en målsättning att minska miljöpåverkan från städer och samhällen, bland annat genom minskad trafikförorening, bättre avfallshantering och förbättrad vattenkvalitet. Här ingår även minskning av buller och åtgärder för att minska hälsorisker från förorenade områden. Den växande befolkningen och det ökade behovet av bostäder gör att den täta staden ofta betraktas som en lösning på många miljöproblem. Samtidigt medför den täta staden utmaningar, särskilt när det gäller luftföroreningar, buller och riskhantering, vilka kan uppstå när kommuner försöker exploatera centrala områden och områden längs trafikleder. (Sveriges Miljömål u.å.)

Miljömålen Levande sjöar och vattendrag och *Hav i balans* samt *Levande kust och skärgård* har som mål att skydda och återställa sjöar och vattendrag genom att minska utsläpp av föroreningar, övergödning och skydda vatten ekosystem, vilka kan vara extra känsliga gentemot vissa typer av föroreningar. Målen innebär även att skydda marina ekosystem genom att minska föroreningar från landbaserade källor, särskilt näringsämnen och plastföroreningar. (Sveriges Miljömål u.å.)

Vattendirektivet (EUs ramdirektiv för vatten)

Sverige har flera nationella mål och regleringar som är direkt eller indirekt relaterade till dagvattenhantering och föroreningar. Dessa mål utgör en del av landets övergripande miljöarbete och omfattar olika aspekter av vattenkvalitet, hantering av avlopps- och dagvatten samt kontroll av föroreningar som sprids via dagvatten.

EUs ramdirektiv för vatten är implementerat i svensk lagstiftning och ställer krav på att alla vattenförekomster, inklusive sjöar, vattendrag, kustvatten och grundvatten, ska uppnå god ekologisk och kemisk status senast år 2027. Dagvatten kan påverka vattenkvaliteten negativt genom att bära med sig föroreningar, och därför är det viktigt att hantera och rena dagvatten för att uppnå målen i vattendirektivet. (Vattenmyndigheterna u.å.)

Nationella riktlinjer för dagvattenhantering (Svenskt Vatten)

Svenskt Vatten, en branschorganisation för vatten- och avloppsverksamheter, har tagit fram riktlinjer för hur dagvatten bör hanteras på ett hållbart sätt. Dessa riktlinjer inkluderar tekniska lösningar för rening av dagvatten,

minskad förorening och klimatanpassning av urbana områden. (Svenskt Vatten 2011)

Summa summarum:

Avsnittets huvudsakliga betoning åsyftar vikten av målsättningar för att motivera vissa typer av strategier. Målsättningar utgör en viktig referenspunkt för att lyfta vikten av att ta en ackmulerande föroreningsproblematik på allvar.

Avsnittet lyfter naturbaserade lösningar (NbS) som ett effektivt och hållbart verktyg för att hantera föroreningar i urbana miljöer. Genom att utnyttja ekosystemens inboende funktioner, kan NbS bidra till att minska spridningen av skadliga ämnen i mark, luft och vatten. Dessa lösningar är inte endast fokuserade på att rena och förbättra miljön, utan de skapar också multifunktionella utrymmen som stärker biologisk mångfald, förbättrar klimatresiliensen och främjar människors välbefinnande. NbS samverkar med de såväl globala som nationella miljömålen som lyfts fram i avsnittet.

Avsnittet kopplar föroreningsproblematiken till de planetära gränserna, där föroreningar utgör en av de gränser som löper stor risk att överskridas. Detta skapar ett pressande behov av långsiktiga och proaktiva åtgärder som inte enbart adresserar befintliga föroreningar, utan också säkerställer att framtida påverkan minimeras. Naturbaserade lösningar framstår därmed som en strategiskt viktig komponent i arbetet för att reducera föroreningar, återställa urbana ekosystem och skapa resilienta stadsmiljöer.

Vidare betonas dagvattenhantering som en kritisk del av föroreningskontrollen, särskilt i urbana miljöer där otillräcklig hantering av dagvatten riskerar att sprida föroreningar till känsliga vattenmiljöer.

Begreppsförklaringar

Dagvatten: Dagvatten avser regn- och smältvatten som avleds från hårdgjorda ytor och kan transportera föroreningar till avloppssystem och recipient. (Naturvårdsverket u.å.)

Tungmetaller: Tungmetaller definieras som metalliska grundämnen och som ofta är giftiga eller skadliga för miljön och hälsan även i relativt låga koncentrationer. De är kemiskt reaktiva och kan ackumuleras i levande organismer, vilket kan orsaka förgiftning eller andra negativa effekter. Exempel på tungmetaller inkluderar kadmium (Cd), bly (Pb), kvicksilver (Hg), koppar (Cu), och zink (Zn). (Naturvårdsverket (u.å.)

Urbana värmeöar: Urbana värmeöar är områden i städer där temperaturen är högre än på landsbygden, främst på grund av värmeabsorberande ytor och mänsklig aktivitet. Effekten uppstår särskilt under varma perioder och kan leda till ökad energiförbrukning, försämrad luftkvalitet och negativ påverkan på hälsa och ekosystem. (SMHI 2020)

Luftföroreningar: Definieras som närvaron av föroreningar i luften i stora mängder under långa perioder. Världshälsoorganisationen rapporterar om sex stora luftföroreningar, partikelföroreningar, marknära ozon, kolmonoxid, svaveloxider, kväveoxider och bly. (World Health Organization 2021)

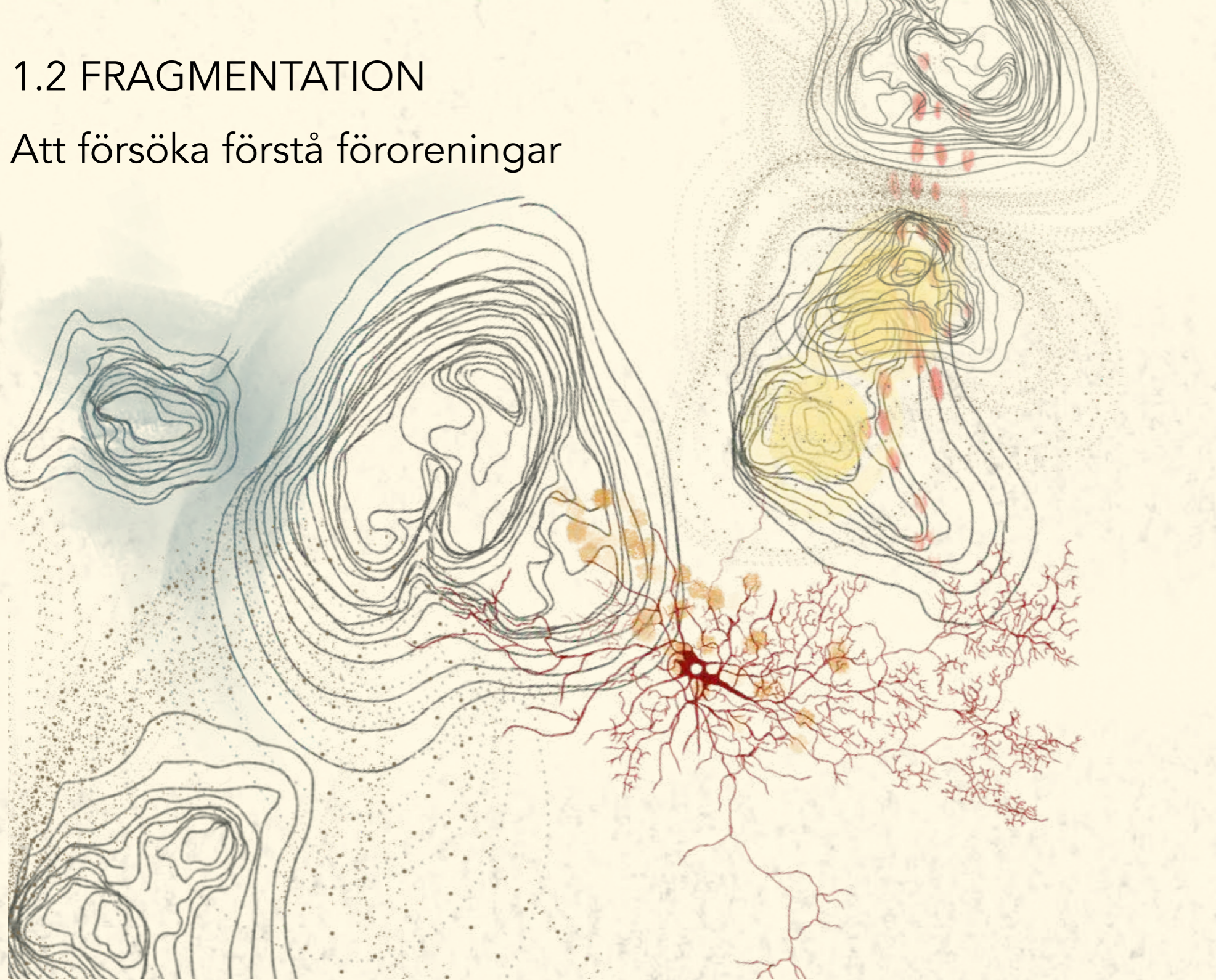
Partikelmaterial: (PM) bildas vanligtvis i atmosfären som ett resultat av kemiska reaktioner mellan de olika föroreningarna. PM inkluderar partiklar med diameter på 10 mikrometer (μm) eller mindre, kallade PM10, och extremt fina partiklar med diametrar som i allmänhet är PM 2,5 mikrometer (μm) och mindre. (Manisalidis et al. 2020)

Volatile Organic Compounds: (VOC) är kolbaserade föreningar som avdunstar i luften, med bensen och andra kolväten som finns i bensin. VOC släpps ut från olika källor, inklusive motorfordon och industri. (Hill 2010: 136)

Sekundära organiska aerosoler: (SOA) Luftburna partiklar, kända som sekundära organiska aerosoler, bildas när flyktiga organiska ämnen från exempelvis växter eller trafik oxideras i atmosfären. Processen kan leda till att nya partiklar skapas eller att redan existerande partiklar växer i storlek. SOA kan påverka hälsan negativt, försämra luftkvaliteten och har en inverkan på klimatet. (Manisalidis et al. 2020: 4)

1.2 FRAGMENTATION

Att försöka förstå föroreningar



Följande avsnitt redögör för hur föroreningar utgör en komplex och angelägen miljöutmaning, och påverkar inte bara ekosystem och biologisk mångfald utan även folkhälsa och social rättvisa. Avsnittet belyser den komplexa dynamik som ligger till grund för föroreningsproblematiken, där urbana miljöer, klimatförändringar och socioekonomiska faktorer samverkar och förstärker effekterna. Genom att undersöka såväl kemiska och fysiska processer som samhällsliga maktstrukturer, framhävs behovet av en helhetsförståelse för att hantera en global utmaning.

Föroreningar är en komplex problematik som kan uppstå genom en synergisk verkan mellan olika faktorer, inklusive kopplingar till fenomen som extremväder, värmeböljor och klimatförändringar. Dessa fenomen förstärker föroreningarnas spridning och toxiska effekter på både levande organismer och ekosystem. I stadsväven, där stadens metabolism leder till en kontinuerlig ackumulering av föroreningar, intensifieras problemet. Städer, där en ökande andel av världens befolkning bor, blir epicentrum för dessa utmaningar. Föroreningar existerar både i mikro- och makroskala och påverkar direkt och indirekt

över tid. Att förstå dessa processer börjar med att definiera vad en förorening är och hur dess dominoeffekt snabbt sprider sig från en liten till en stor skala, med synergieffekter som gör problemet allt mer svårhanterligt.

“any substance introduced into the environment that adversely affects the usefulness of a resource” (Hill 2010: 8)

Den här till synes enkla definitionen blir desto mer komplex när man undersöker vad som faktiskt kan betraktas som en förorening och vilka faktorer som påverkar dess skadlighet. Författaren till *Understanding Environmental Pollution* (Hill 2010: 9) problematiserar begreppet förorening genom att understryka att både naturliga och syntetiska ämnen kan verka som föroreningar, beroende på var de hamnar och i vilka mängder. Ett ämne som är harmlöst eller nödvändigt i ett sammanhang kan vara skadligt i ett annat. Detta visar att föroreningar inte endast handlar om farliga ämnen, utan också om koncentration, plats och sammanhang.

Mängd och effekt

Hill (2010: 8-9) belyser en central aspekt i resonemanget angående föroreningar är själva mängden av ett ämne. Det är inte ämnets blotta närvaro som gör det till en förorening, utan snarare dess mängd. Även ämnen som normalt sett anses ofarliga kan i höga koncentrationer orsaka betydande skador på både ekosystem och människors hälsa. Detta väcker frågan om hur vi ska hantera föroreningar, men även föroreningar i mycket små mängder, vilket Hill diskuterar med avseende på kroniska effekter. Långvarig exponering av låga nivåer kan ge skador på sikt, även om de inte är omedelbart märkbara.

Transformation och rörelse

En annan viktig dimension är hur föroreningar kan röra sig genom olika typer av medier, såsom luft, vatten och mark, och under dess färd är sannolikheten stor att föroreningen eller föroreningarna genomgår kemiska förändringar, vilket i sin tur ökar chanserna för att föroreningen kan orsaka större skada, eller så har det en direkt motsatt effekt och ämnet blir mindre verksamt/toxiskt (Hill 2010: 13–14). Hill förklarar att föroreningar sällan stannar vid utsläppspunkten, föroreningar är väldigt sällan en lokal företeelse utan verkar indirekt på en stor skala. Föroreningar kan spridas över stora avstånd via luftströmmar

eller vattenflöden och påverka områden långt från källan. Att föroreningar påträffas och verkar långt ifrån dess källa går att se i grönområden i relation till urbana områden. Där omkringliggande grönområden i relation till urbana områden påvisar en större spridning av en magnitud av föroreningar än vad som tidigare påvisats (Teixido et al. 2023). Studien understryker att ytterligare forskning behövs för att förstå föroreningarnas spridningsmönster

Folkhälsa - Urbana värmeöar, trafik och asfalt

Hastigheten på urbaniseringen anmärkningsvärd, befolkningstillväxten har i sin tur resulterat i en snabb, oplanerad och ohållbar urbanisering. Till följd av detta har det skett en kraftig försämring av miljöförhållandena, både på en lokal och global nivå. Detta har lett till att fokus inom ekologisk urbanism har börjat skifta gentemot aspekter som rör folkhälsa, där de två utmärkande faktorerna som pekas ut är *urbana värmeöar* och den *urbana luftkvaliteten* (Singh, N. et al. 2020: 318).

Det finns ett intrikat samband mellan urbana värmeöar och luftföroreningar där dessa förstärker varandra vilket förvärras ytterligare av klimatförändringar. Urbana värmeöar, som är ett resultat av högre temperaturer i städerna, kan leda till högre koncentrationer av ozon vid marknivå och andra farliga föroreningar. Extrema väderhändelser, såsom värmeböljor, blir också vanligare med klimatförändringarna, och deras kombinerade effekt med urbana värmeöar har visat sig vara en dödlig kombination. Exempel från både Europa och Ryssland visar att tusentals människor dog under värmeböljor på grund av den ökade värmebelastningen och försämrade luftkvaliteten. Detta gör städer mer sårbara för framtida klimatrelaterade hälsoproblem. Parallellt med dessa skeenden ökar energiförbrukningen i städer under heta perioder, eftersom människor använder luftkonditionering och andra kylsystem, vilket i sin tur leder till högre utsläpp av växthusgaser. Ökande energiåtgång, kombinerad med sämre luftkvalitet, skapar en negativ spiral som förvärrar både klimatförändringar och hälsoproblem för stadens invånare. (Singh, N. et al. 2020)

Tungmetaller i omlopp som är relaterade till fordonstrafik har ett flertal utgångspunkter, dock har den högsta koncentrationen uppmätts vid en hög trafikvolym och

vid rondeller, där inbromsningar är frekventa, motorvägar och fordonshastighet är parametrar värda att lyfta kopplat till en hög koncentration av föroreningar i form av tungmetaller (Duong & Lee 2011).

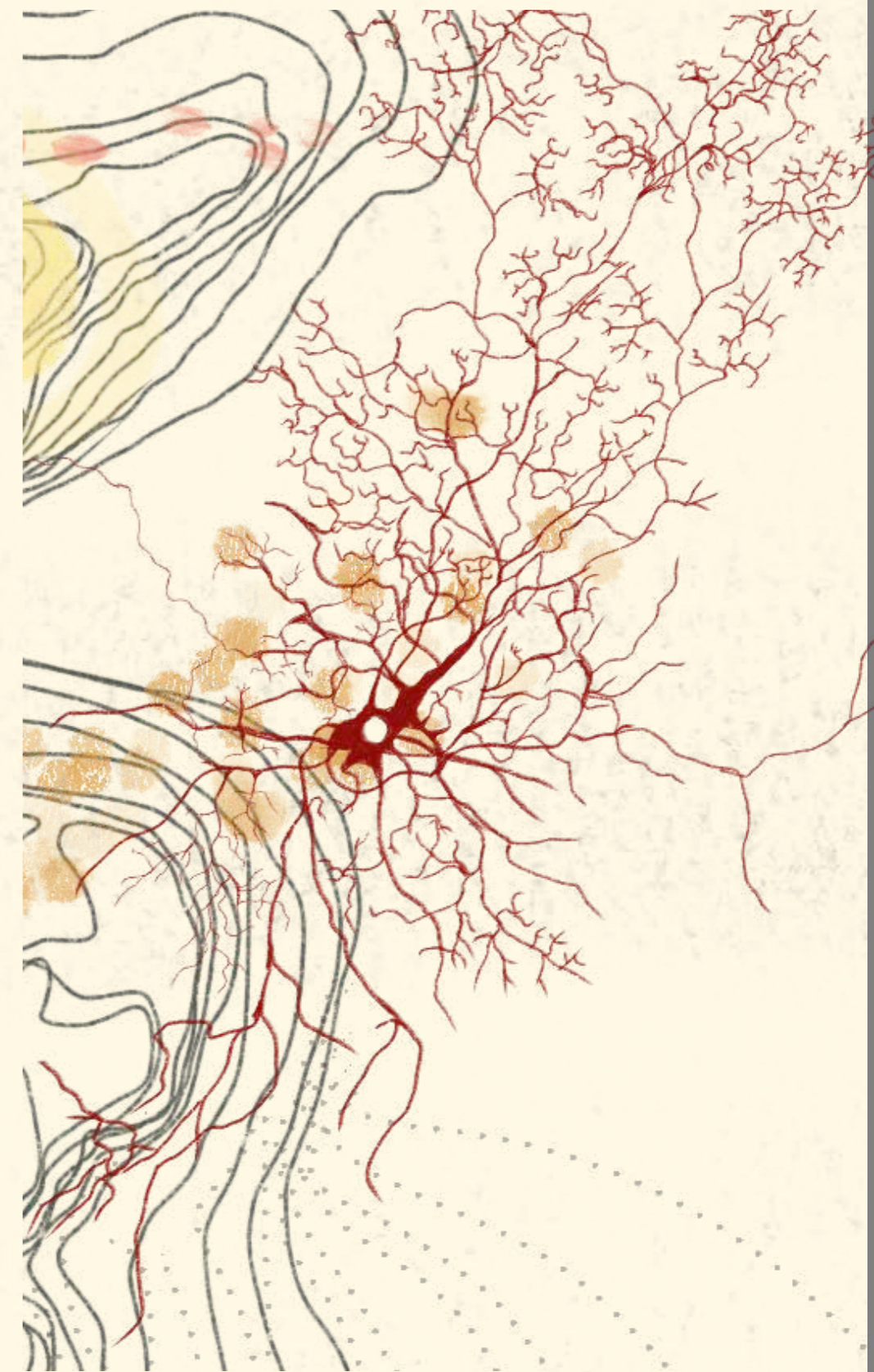
Många studier har genomförts kopplat till tungmetallkoncentrationen i vägdammet som orsakas av vägtrafik, där vägtrafik som har studerats har gång på gång visat sig släppa ut betydande mängder tungmetaller i luft, vatten och jord. Därför anses fordonsutsläpp vara en av de främsta källorna till tungmetallföroreningar i urbana miljöer (Christoforidis & Stamatis, 2009; Sezgin et al. 2003; Divrikli et al. 2003; Miguel et al. 1997; Akhter och Madany, 1993).

Att det är själva asfalten som står för majoriteten av föroreningar i anslutning till vägtrafik utreds i den uppmärksammade studien av Khare et al. (2020) som undersöker asfaltsrelaterade utsläpp. Resultaten från studien visar att asfalt släpper ut komplexa organiska föreningar som bidrar avsevärt till luftföroreningar, särskilt som sekundära organiska aerosoler (SOA). Dessa asfaltsrelaterade utsläpp kan, enligt studien, överstiga utsläppen från motorfordon i stadsmiljöer, vilket understryker behovet av bättre förståelse och hantering av asfaltens inverkan på luftkvaliteten. Studien från Khare et al. belyser även att föroreningarna kopplat till materialet asfalt också är intrikat påverkade av temperaturen och högre temperaturer innebär en högre koncentration av utsläpp. Vidare så uppmärksammar artikeln att studier kopplat till asfalt och skadliga föroreningar är i dagsläget understuderat.

En annan nyligen utgiven studie (Sarica et al. 2023) visar även på hur understuderat fenomenet med partikelföroreningar kopplat till vägasfalt är och behovet av bättre sätt att mäta dessa. Studien påvisar ändå att mängden sekundära organiska aerosoler (SOA) från vägasfalt kan vara betydligt högre än de utsläpp som trafiken står för. Studien påpekar även att föroreningarnas inverkan på lokal nivå är betydligt högre på grund av närheten till asfalterade vägar.

Trots förbättringar i transportutsläpp, där eldrivna motorfordon kan ges som exempel, så kämpar urbana områden fortfarande med ohälsosam luftkvalitet, vilket både har en koppling till materialet asfalt men också temperaturen. Kortfattat så innebär högre temperaturer ökade utsläpp. Högre temperaturer kan leda till mer föroreningar

genom att öka utsläppen av flyktiga organiska föreningar (VOC), vilket förstärker kemiska reaktioner som producerar sekundära föroreningar och bidrar till bildningen av sekundära organiska aerosoler (SOA), vilket har en bevisad negativ påverkan på luftkvaliteten och folkhälsan (Pfannerstill et al. 2024).



Ojämlighet kopplat till föroreningar i stadsväven

Flera internationella studier har belyst att föroreningar inte enbart utgör en miljömässig utmaning utan även en fråga om social rättvisa. Socialt utsatta grupper, särskilt de med lägre socioekonomisk status, tenderar att vara koncentrerade till områden med högre föroreningsnivåer och begränsad tillgång till kvalitativa grönområden. Denna samverkan medför en oproportionerlig miljöbelastning, vilket resulterar i påtagliga negativa effekter på både fysisk och psykisk hälsa (Elford & Adams 2021; García-Burgos et al. 2022; Hölzl et al. 2021; Fairburn et al. 2019; Stewart 2020; Ode Sang & Hedblom 2020).

Swyngedouw (2004) illustrerar i sitt verk *Social Power and the Urbanization of Water: Flows of Power* hur den politiska ekologin är djupt förankrad i den urbana vattenförsörjningen. Han betonar att vattnets cirkulation och fördelning är integrerade i sociala maktstrukturer samt att urbana vattensystem, som ofta reduceras till enbart tekniska frågor, påverkas av sociala, kulturella och ekonomiska krafter.

Ur ett nationellt perspektiv kvarstår en forskningslucka beträffande hur föroreningar påverkar marginaliserade områden. KTH-professorn Karin Bradley (2004) argumenterar för att miljörättvisa måste integreras i planeringen för hållbar utveckling, eftersom olika sociala grupper, baserade på inkomst, etnicitet eller kön, utsätts för varierande miljörisker. Vidare indikerar Bradleys studier att, medan föroreningar ofta kan härledas till livsstilar hos höginkomstgrupper, drabbas de mest sårbara befolkningsgrupperna oproportionerligt av de negativa effekterna (Bradley et al. 2008). Sammanfattningsvis belyser dessa perspektiv hur miljöfrågor är oupplösligt sammankopplade med bredare sociala och ekonomiska maktstrukturer.

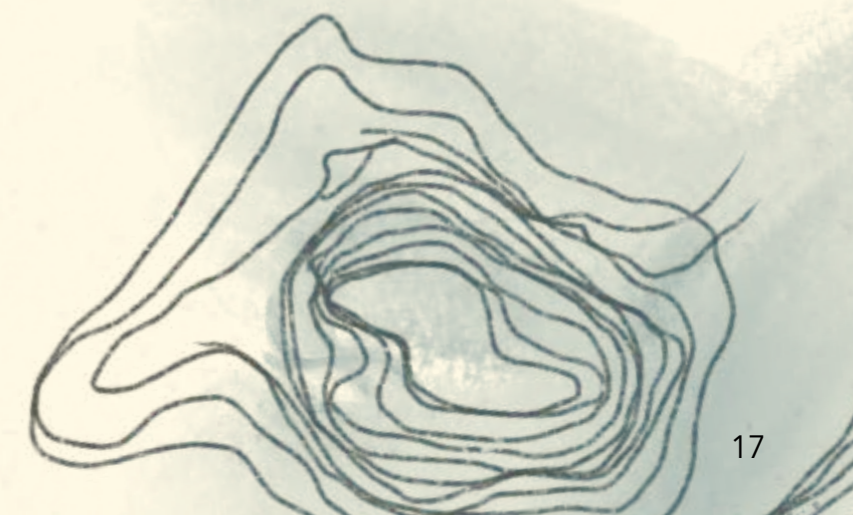
Dagvatten och föroreningar i en urban kontext

Urban avrinning av dagvatten har allmänt erkänts som en betydande källa till försämrad vattenkvalitet (Brezonik & Stadelmann 2002; Shaw et al. 2006; Brett & Gavin 2010; Revitt et al. 2014).

Den pågående urbaniseringen och den ökade andelen bebyggd mark, det vill säga hårdgjorda ytor, i städer förväntas förvärra problemet (Wang et al. 2013; Naves et al. 2017). I den här kontexten är det viktigt att förstå bidragande faktorer och transportprocessen av urbana föroreningar via dagvatten.

En nyligen publicerad studie från Polen (Pocho-dyła-Ducka 2023) visar att det finns starka samband med ytavrinning och föroreningsgraden i dagvatten från ett urbant/sub-urbant avrinningsområde. Studiens resultat visar signifikanta förändringar i vattenkvalitén, där den högsta koncentrationen av tungmetaller uppmättes i ytavrinningen, framförallt med koppling till fordonstrafik och asfalterade vägar. Artikeln benämner koncentrationen av tungmetaller i dagvattnet som *tungt förorenade* eller *extremt förorenat*. De argumenterar att den föroreningsgrad som studien påvisar bör ses som ett hot gentemot vår miljö, speciellt om dagvattnet förs vidare direkt vidare till recipient. En annan intressant aspekt som artikeln tar upp är att årstiden är också av betydelse för föroreningshalten, då det var högst koncentrationer under vår och vinter eftersom det fanns en ökning av luftföroreningar under vintern och saltning av vägar som ökade halten smältvatten från vägar på våren. En annan bidragande faktor till årstidens påverkan på föroreningar är enligt studien beroende av en minskad biologisk aktivitet. Under vinter och tidig vår är den biologiska aktiviteten lägre på grund av kallare temperaturer. Växter och mikroorganismer som vanligtvis kan bidra till att filtrera eller absorbera föroreningar är mindre aktiva, vilket gör att en högre koncentration av tungmetaller hamnar i vattendragen.

I *Understanding Environmental Pollution* (Hill 2010: 255-256) återfinns kopplingen mellan framtida mer frekventa extremväder, som innebär mer intensiva regn, vilket i sin tur innebär en överbelastning av stadens vatten och avloppssystem. Hill belyser att vattenledningar och avloppssystem i urbana områden ofta är överbelastade, eller underdimensionerade för kraftiga skyfall. Vilket i sin tur innebär att föroreningar från både dagvatten och avloppsvatten tar sig vidare till recipient och leder oundvikligen till en försämring av vattenkvalitén och orsakar skador på akvatiska ekosystem. Vidare så betonas att vägar som är täckta med asfalt bidrar betydande med olika typer av föroreningar. Under skyfall så transporteras olja, kemikalier och tungmetaller som har ackumulerats på vägbanor till vattendrag, vilket i sin tur skapar avrinning med en hög koncentration av föroreningar (Hill 2010: 376).



Summa summarum:

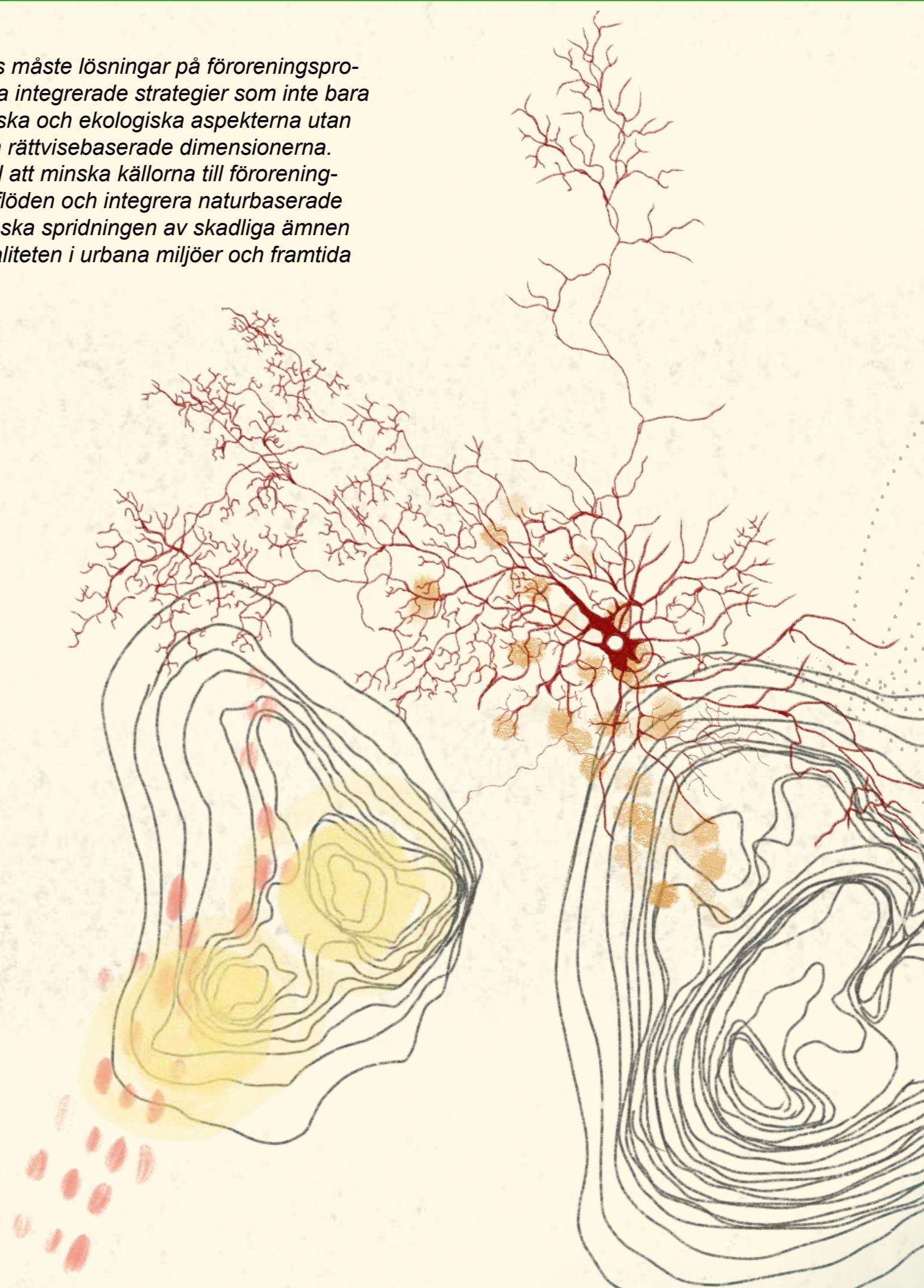
Föroreningar utgör ett av de mest komplexa och mångfacetterade utmaningarna gentemot både miljö och mänsklig hälsa. Problematiken rör sig inte enbart om förekomsten av skadliga ämnen utan om deras samspel med mänskliga aktiviteter, klimatförändringar och ekosystem. Föroreningar påverkar urbana miljöer särskilt hårt genom fenomen som urbana värmeöar, luftföroreningar och kemiska utsläpp, vilka förstärks av klimatrelaterade faktorer såsom extremväder och värmeböljor.

Det viktigaste att ta med sig är att föroreningar har både direkta och indirekta konsekvenser, och att deras effekter är skalöverskridande. Ämnen som kan tyckas ofarliga i ett sammanhang blir skadliga i andra beroende på koncentration, plats och exponeringstid. Samtidigt är det viktigt att förstå att föroreningar är dynamiska och rör sig mellan luft, vatten och mark, där de ofta genomgår kemiska transformationer. Dessa transformationer kan öka deras toxiska potential eller sprida dem till tidigare opåverkade områden.

Utöver de ekologiska och hälsorelaterade konsekvenserna är föroreningar också starkt kopplade till frågor om social rättvisa och ojämlikhet. Marginaliserade grupper är oproportionerligt utsatta för högre föroreningsnivåer och sämre tillgång till resurser som kvalitativa grönområden och friskt vatten. Detta understryker behovet av en rättvisebaserad syn på miljöförvaltning och urban planering. I den urbana kontexten är trafik- och asfaltsrelaterade utsläpp särskilt oroande. Studier visar att dessa utsläpp, såsom sekundära organiska aerosoler (SOA), kan överstiga bidraget från själva fordonen, särskilt under högre temperaturer. Dessa partiklar har bevisad negativ inverkan på både luftkvalitet och folkhälsa, vilket gör att de måste betraktas som centrala frågor i arbetet för en hållbar stadsutveckling.

Vidare är hanteringen av dagvatten en kritisk aspekt, då urban avrinning för med sig höga koncentrationer av tungmetaller och andra föroreningar till vattenekosystemen. Klimatförändringar och allt intensivare regn belastar städernas vatten- och avloppssystem, vilket riskerar att ytterligare försämra vattenkvaliteten och ekosystemens hälsa.

Sammanfattningsvis måste lösningar på föroreningsproblematiken inkludera integrerade strategier som inte bara adresserar de tekniska och ekologiska aspekterna utan även de sociala och rättvisebaserade dimensionerna. Insatser bör syfta till att minska källorna till föroreningar, främja cirkulära flöden och integrera naturbaserade lösningar för att minska spridningen av skadliga ämnen och förbättra livskvaliteten i urbana miljöer och framtida stadsrum.



1.3 FÖRORENINGAR I FRAGMENT

Avsnittet nedan berör fragmentering och föroreningar i landskapet som är två sammanflätade utmaningar som påverkar såväl ekologiska som hydrologiska processer. Urbanisering och förändrad markanvändning bidrar till en störning av naturliga flöden, vilket leder till försämrad vattenkvalitet och ökade föroreningar i både urbana och rurala miljöer. Genom att förstå landskapets komplexa metabolism, där material och energiflöden är centrala, gör arbetet en ansats till att komma en bit på vägen till att identifiera hållbara lösningar. Vilka kan tänka sig stärka landskapets resiliens och förbättra dess funktion som en helhet.

Fragmentation och föroreningar i landskapet

I en landskapskala så blir föroreningsproblematiken ofta märkbar över ett långt tidsdjup där en fragmentation av landskapet och störda hydrologiska samband bidrar till en sämre vattenkvalitet i den slutgiltiga recipienten. Selman (2012) beskriver inledande hur landskap är komplexa, multifunktionella system som har blivit fragmenterade och tappat sin konnektivitet, både rent fysiskt och socialt. Ekologiskt, socialt, kulturellt och hydrologiskt fragmenterade landskap, hävdar Selman, är en stor utmaning kopplat till landskapkaraktären, hållbarhetsarbetet och landskapets resiliens. Insatser för att återanknyta landskap är enligt Selman en nödvändighet för ekologiska nätverk, stärkandet av bandet mellan människa och plats samt integrationen av dåtid och nutid. Landskap bör betraktas som multifunktionella system där ekologiska, kulturella, sociala och ekonomiska processer samverkar. En holistisk syn på landskap, där både synliga och osynliga element som näringscykler, kolflöden och kulturella berättelser inkluderas, är avgörande för planering och policybeslut. Selman (2012: 17) belyser vidare att landskapets fragmentation indirekt påverkar landskapets vattenbalans, hur hydrologiska flöden störs och bidrar till ökad ytavrinning. Där föroreningar i stadsområden ges som exempel, och hur dessa kan minskas ge-

nom hållbara dräneringssystem/dagvattehantering, som återförenar mark och vatten, minskar ytavrinningen och filtrerar föroreningar innan de når vattendrag och recipient. Dessa system förhindrar inte bara översvämningar utan förbättrar även vattenkvaliteten, minskar markföroreningar och skapar livsmiljöer som kan absorbera föroreningar.

Fragmentering och störda hydrologiska samband kan i framtiden utgöra ett stort hot gentemot vattentillgången, det vill säga tillgången till friskt vatten. Trots att världens metropoler vanligtvis är belägna nära floder, sjöar eller hav utgör vattenbrist en av de största sårbarheterna för dess befolkning i dagsläget (Pavlova & Milshina 2020: 202). Om den här problematiken ignoreras eller lämnas obehandlat, kan det förstöra den naturliga vattenbalansen, orsaka långvarig vattenbrist, leda till försämrad kvalitet på andra naturresurser och resultera i förlusten av många ikoniska landskap och ekosystem (ibid.).

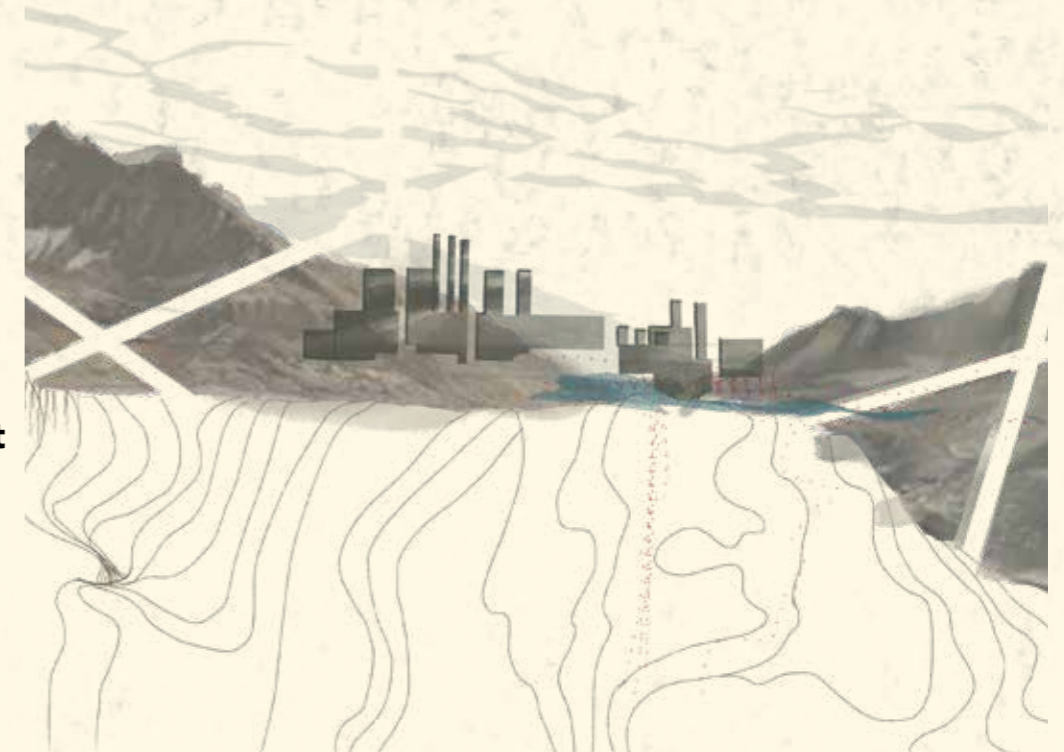
Problematiken med ökad ytavrinning kopplat till ändrad markanvändning behöver lösas med ett holistiskt angreppssätt (Pavlova & Milshina 2020: 206). Särskilt till följd av en snabb urbanisering och socioekonomisk utveckling. För att hantera detta problem föreslår författarna Pavlova & Milshina, utöver traditionell grå infrastruktur, implementeringen av blåa och gröna ytor för hantering av dagvatten i urbana områden, så kallade naturbaserade lösningar.

Fragmentation och föroreningar - i en urban kontext

En ofta citerad, och ofta omdiskuterad statistik, kopplat till urbana områden är det faktum att städerna och dess invånare använder tre fjärdedelar av världens energiresurser även om bara hälften av världens befolkning är bosatta i städer (Mostafavi 2013: 17). Carmona påminner om att städer utgör enbart 2% av jordens yta, men står för 70% av världens växthusgasutsläpp (Carmona 2021: 62). Hastigheten på urbaniseringen är också an-

There remains nothing, in culture or nature, which has not been transformed, and polluted, according to the means and interests of modern industry.

(Guy Debord 1990: 10)



märkningsvärd, världen upplever just nu den snabbaste urbana tillväxten i historien. Ytterligare 2,5 miljarder människor förväntas bo i städer år 2050, och stadsbefolkningen växer med cirka 1,3 miljoner varje vecka (Verma et al. 2020: 5).

Teori och empiri kopplat till landskapskalan och urbaniseringen ger arbetet en tydlig riktning, att det är i just städer och i stadsväven där vi bör rikta vår uppmärksamhet. Framförallt när det kommer till att tackla både en miljörelaterad problematik men även gentemot potentiella utmaningar gentemot levande organismer och vårt välbefinnande i framtiden, i världen, i landskapet och i det urbana stadsrummet.

Stadsväven

Arbetet fokuserar på stadsväven vilket inte enbart omfattar stadsområden utan har en indirekt påverkan på landskapet som helhet i och med dess befolkningstäthet och klimatavtrycket som bevisligen inte är proportionerligt.

Att definiera vad som är en stadsväv eller att geografiskt definiera vart en eventuell gräns för en stadsväv går att problematisera. Det existerar en viss förbistring när det handlar om att terminologiskt definiera en gräns för urbana områden. Olika länder använder olika kriterier för att definiera städer vilket i sin tur komplicerar en jämförande analys mellan nationella gränser (Verma et al. 2020).

Författarna Verma et al. (2020) utvecklar vidare att de politiska, ekonomiska och sociala sammanhangen i hög grad påverkar definitionen av stadsgränser, som ofta inte överensstämmer med de faktiska fysiska eller funktionella gränserna för stadsområden. Urbaniseringen sträcker sig ofta bortom administrativa gränser och drivs av faktorer som ekonomisk tillväxt. En sådan bristande överensstämmelse kan leda till att tätbefolkade stadsområden klassificeras som landsbygd eller hamnar utanför kommungränserna, vilket försvårar stadsekologiska studier.

Den urbana teoretikern tillika sociologen och geologen Brenner (2017) beskriver hur stadsväven inte är en statisk eller avgränsad enhet, utan som en sammanlänkad, dynamisk process som sträcker sig bortom de traditionella stadsgränserna. Han kritiserar vidare konventionella definitioner av urbanisering som enbart fokuserar på befolkningstäthet och den byggda miljön, och argumenterar istället för en bredare förståelse av planetär urba-

nisering. I kapitlet betonas även att till synes avlägsna landskap, såsom skogar, hav och öknar, är djupt integrerade i urbana system genom resursutvinning, logistik och andra globala ekonomiska processer.

Brenner (2017) betonar behovet av en bredare politisk, social och ekologisk vision som utmanar den dominerande vinstdrivna urbaniseringsmodellen. Brenner lyfter behovet av att titta närmare på storskaliga systemfrågor snarare än att enbart ge gehör för kundstyrda platsbegränsningar. Hans begrepp om stadsväven handlar därför inte bara om den fysiska miljön, utan också om de socio-politiska och ekonomiska krafter som formar urbaniseringen på flera nivåer (Brenner 2017).

Arbetet gör en insats till att positionera sig där föroreningarna rör sig i stadsväven i dess samtid, och försöka hitta kontroll där det finns möjlighet eller där behovet är som störst, där ackumuleringen av energi och föroreningar är som störst. Utmaningen här är kopplat till att vi inte vet exakt vart gränsen för den stadsväven går och hur föroreningar beter sig och sprider sig över stora områden, men vart har en specifik förorening sin början och vart slutar den om dess cykel ens har ett slut?

Urban design

Arbetet avgränsar sig till den urbana väven, övergripande är det därför värdefullt att förstå hur vi bör resonera kring urban design, som en potentiell möjlighet. I det första kapitlet i *Public Places - Urban Spaces* (Carmona 2021) presenteras en bred definition av urban design och presenterar de många utmaningarna som urbana designers kan stöta på. Det betonas att urban design är mer än ren estetik och omfattar en interaktiv process, Carmona menar att det är en process som är under konstant utveckling, där det är svårt att peka ut något som rätt eller fel. Kapitlet betonas även att huvudsyftet är att skapa bättre platser för människor och att urban design är en etisk aktivitet och betonar dess koppling till värden som social rättvisa, jämlikhet och miljömässig hållbarhet.

Carmona (2021: 62-63) utvecklar även kopplingen till miljömässig hållbarhet och menar att som urban designer har du ett miljömässigt ansvar eftersom urban design har ett sådant globalt miljömässigt avtryck på grund av befolkningskoncentrationen i städer. Urban design måste prioritera hållbarhet genom att beakta långsiktiga ekolo-

giska konsekvenser och integrera blå, grön och byggd infrastruktur på ett sätt som minimerar miljöavtrycket. Att balansera kortsiktiga mänskliga behov med långsiktiga miljömål är avgörande för en ansvarsfull stadsutveckling.

Urban ekologi

Själva benämningen Urban Ekologi är en benämning kopplat till landskapsarkitektur och ekologi som definieras enligt Verma et al. (2020: 4) som en studie av förhållandet mellan levande organismer och deras miljö i urbana områden, med fokus på deras distribution, överflöd, interaktioner och omvandling samt flöde av energi och materia. Betoningen ligger på att urbana ekosystem består av olika processer och fysiska komponenter, inklusive biologisk mångfald, mänskliga populationer, byggda strukturer och flödet av material och energi.

Ian McHargs verk *Design with Nature*, som publicerades år 1969, är ett betydelsefullt bidrag inom landskapsarkitektur och miljöplanering, och det har fortsatt att påverka stadsplanering än idag. McHarg ansåg att ekologi kunde användas för att förstå de komplexa interaktionerna mellan människor och deras omgivningar, och att en sådan vetenskap kunde i sin tur vägleda arbetsstrategier.

McHarg kom att betrakta planering och design som verktyg för att kritiskt granska de antropocena miljöer vi människor skapat. Genom att överskrida disciplinära gränser vidgade han ramarna för landskaparkitektur och drev idén om att ekologi var av stor betydelse för både stadsplanering och arkitektur. Genom sin "ekologiska metod" menade han att form kunde förstås som en tydlig punkt i den evolutionära processen. McHargs metod innebär kortfattat att ekologi kan och bör informera miljöinriktad design, och där planering och design bör följa naturens principer. Form och process betraktas som oskiljaktiga delar av ett och samma fenomen (Sordi 2015: 34-35).

Urban metabolism

Kopplingen till föroreningar och stadsväven påminner oss om stadens egna ämnesomsättning, dess metabolism. Konstant finns det en rörelse kopplat till den urbana miljön, där det sker ett inflöde, processering och utflöde. Där utflödet kan representeras av fysiska avfallsprodukter, växthusgaser, avloppsvatten och inte minst föroreningar i olika grader och skala.

Urban metabolism, enligt Verma et al. (2020: 11) är ett koncept som drar paralleller mellan städer och biologiska organismer, i likhet med de metaboliska processerna i levande organismer, där fokus ligger på flödet av material och energi genom urbana system. Det omfattar de processer genom vilka städer förbrukar resurser, producerar avfall och interagerar med sina omgivande miljöer.

Energiflödet som Verma et al. (2020) beskriver är inte bara relaterat till näringskedjor utan omfattar också energi som används för sociala aktiviteter, såsom uppvärmning, kylning och transport. En sådan mångfacetterad energiförbrukning skiljer urban metabolism från naturliga ekosystem, där energiflödet i första hand är biologiskt. Att förstå urban metabolism är avgörande för utvecklingen inom urban design och landskapsarkitektur. Genom att analysera material- och energiflöden kan städer identifiera problemområden, minska avfallet och främja cirkulära lösningar på en föroreningsproblematik, vilket i sin tur skapar en urban resiliens.

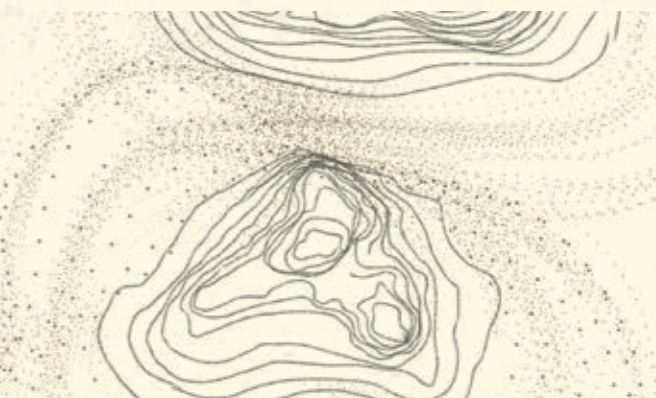
Artikeln *"Rethinking Urban Metabolism: Water, Space and the Modern City"* (Gandy 2004) problematiserar urban metabolism ytterligare kopplat till vatten och menar att städernas vatteninfrastruktur inte bara är en teknisk funktion, utan också en symbol för social makt och ojämlikhet. Gandy menar att stadens "metabolism", dess flöden av vatten och andra resurser, bör förstås som ett hybridiserat system där biofysiska och sociala processer samverkar, snarare än som en enkel, funktionell mekanism. Genom att granska förändringar från 1800-talets "bakteriologiska stad" till dagens städer som befinner sig i en ny era av vatteninfrastruktur, där privatisering och marknadsanpassning har lett till minskad offentlig kontroll och ökade sociala skillnader. Gandy argumenterar för att vatteninfrastrukturen speglar samhällets politiska prioriteringar och ekonomiska dynamik och dagens fragmenterade urbana miljö. Detta leder oundvikligen till ojämlika urbana landskap, Gandy föreslår därför att en ny, mer relationsbaserad syn på urban metabolism behövs – en som erkänner hur sociala, ekonomiska och teknologiska faktorer formar stadens struktur och invånarnas tillgång till grundläggande resurser som vatten.

Flytande skala

Det betydande verket *Ecological Urbanism* (Mostafavi 2013: 13) inleds av Mostafavi som övergripande beskriver hur den hållbara arkitekturen tidigare varit begränsad till sitt objekt men att den större skalan är av betydelse. Den större skalan som tar i beaktning infrastrukturen och territorierna för våra städer, benämningen flytande skala lyfts fram som en viktig komponent för hållbarhetsarbetet. Det finns ett värde i att både verka i en skala som berör globala sammanhang och landskapsanalys precis som att det är viktigt att gå närmare in i en detaljorienterad skala. Därutöver så lyfter författarna fokus på interdisciplinärt arbete som är av yttersta vikt för att skapa estetik och etik inom stadsväven. Detta framförallt för att möta utmaningarna kopplat till hastigheten på urbaniseringen och framtida begränsade resurser då det finns ett behov av att närma sig alternativa designlösningar som omvärderar den stora skalan. I linje med den flytande skalan som betonas läggs även en stor betoning på att ett ekologiskt synsätt är av stor betydelse för nutida och framtida städer (Mostafavi 2013: 12-50).

Som tidigare utronas i kapitlet så är det komplext att definiera en definitiv gräns eller definition på vad stadsväven bör innefatta och vart en administrativ gräns går. Mostafavis (2013) användning av begreppet flytande skala hörsammars i arbetet för att försöka förstå komplexa samband som både verkar lokalt och globalt.

Den flytande skalan används som ett viktigt verktyg i arbetet, där skalan skiftar från den lilla partikeln när vi diskuterar partikelföroreningar och kemiska omvandlingar av dessa och framförallt diskursen kring tekniken fytoremediering. Men arbetet rör sig även i en landskapsskala där landskapet analyseras för att identifiera föreningshotspots för att sedan zooma in i ett område som signalerar om potentiell hög koncentration av föroreningar, detta i vad arbetet definierar som en stadsvävskaala. Den flytande skalan möjliggör en analys av föroreningar från en mikroskopisk partikelnivå till större geografiska sammanhang, där stadens fysiska struktur, byggnader, infrastruktur, grönområden och vattenflöden, samspelar med det omgivande landskapet.



Figur 2: Visar arbetets flytande skala: från landskapet, stadsväven, den humana skalan och partikelskalan.

I detta arbete används begreppet stadsväv för att beskriva den sammanlänkade struktur av byggda och naturliga element som utgör stadens ekologiska och funktionella system. Skillnaden mellan stadsväven och landskapet ligger i att stadsväven fokuserar på urbana miljöer, där mänsklig aktivitet, infrastruktur och bebyggelse spelar en central roll, medan landskapet omfattar både urbana och rurala områden och inkluderar större ekologiska, hydrologiska och geologiska processer utanför stadskärnan.

I arbetet är landskapskalan aktuell under kapitel två och dess kartläggning av föroreningar. Stadsvävskalet är aktuell under kapitel tre när arbetet gör en inzoomning för att titta närmare på urbana områden där infrastruktur och mänsklig aktivitet blir väsentligt för arbetet och ackumulationen av föroreningar. Den humana skalan återkommer i designprincipernas platsanalys där den sociala hållbarheten är av vikt för att skapa designprinciper som agerar som buffertzoner åt människan i staden och hänger sig åt arbetets syfte om framtida friskare stadsrum. Själva ordet human anspelar semiotiskt på mer humana värden kopplade till social hållbarhet snarare än rent spatiala aspekter av en mänsklig skala. Partikelskalan återfinns i avsnittet om fyto Remediering där avsnittet belyser vikten av att förstå vad som sker i en mikroskala när det handlar om tekniken fyto Remediering och dess potentiella möjligheter och utmaningar.

Genom att analysera dessa skalor parallellt kan vi bättre förstå hur föroreningar sprids och ackumuleras i olika delar av staden och dess omgivning.

Summa summarum:

Föroreningsproblematiken i relation till landskapsfragmentering och urbanisering framstår som en av de mest komplexa utmaningarna inom modern landskapsarkitektur och hållbar stadsutveckling. Fragmenterade landskap, ekologiskt, hydrologiskt och socialt, stör naturliga flöden och processer, vilket försämrar vattenkvaliteten och bidrar till en obalans mellan mark och vatten. Selman (2012) betonar vikten av att återställa landskapets konnektivitet för att stärka ekologiska nätverk, förbättra interaktionen mellan människa och plats samt stödja långsiktig resiliens i landskapet.

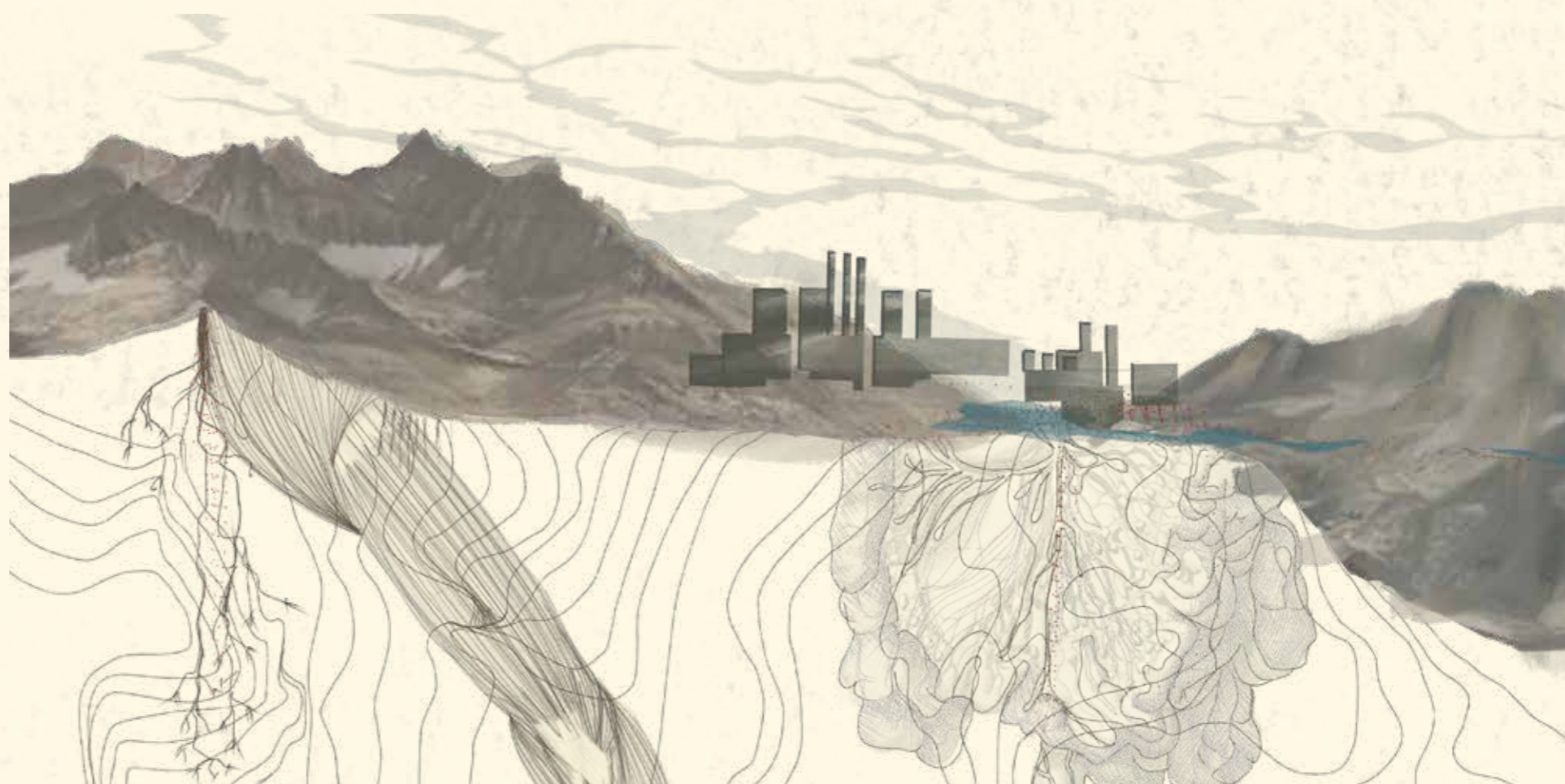
I urbana miljöer, där snabb urbanisering och förändrad markanvändning intensifierar problemen, blir hydrologiska störningar och förorenings-spridning särskilt påtagliga, vilket hotar både tillgången till rent vatten och andra naturresurser (Pavlova & Milshina, 2020).

Urban metabolism, ett begrepp som liknar städernas processer med biologiska organisms ämnesomsättning, erbjuder ett värdefullt perspektiv för att förstå och hantera dessa utmaningar. Städernas inflöden, bearbetning och utflöden av resurser genererar avfall, föroreningar och växthusgaser, vilka påverkar både lokala och glo-

bala ekosystem. Verma et al. (2020) argumenterar för att analysen av urbana material- och energiflöden kan identifiera kritiska områden och möjliggöra utveckling av cirkulära lösningar som minskar föroreningar och stärker stadens resiliens.

Gandy (2004) tillför ett socialt och politiskt perspektiv genom att framhäva hur urbana vattenflöden speglar samhällets prioriteringar och ojämlikheter, där fragmenterade infrastrukturer förvärrar sociala och ekologiska problem.

Avsnittet framhäver via den refererade teorin hur ett holistiskt och tvärvetenskapligt angreppssätt är avgörande, där ekologiska principer integreras med urbana designlösningar för att skapa multifunktionella landskap som stödjer både mänskligt välbefinnande och miljömässig hållbarhet. Att förstå och arbeta med städernas metabolism kan bidra till att minska fragmenteringens negativa effekter och samtidigt utveckla innovativa lösningar som gynnar både stad och landskap.



2

KARTLÄGGNING Föroreningar i frag- ment

Med stora penseldrag syntetiseras den data och empiri som lagts fram i förstudien. Med stöd av McHargs och Corners sätt att skapa överlägg av information i kartlager så ämnar kartläggningen av data, kopplat till föroreningar i stadsväven, att försöka hitta samband i en fragmenterad väv och identifiera hotspots.

2.1 Kartografiskt material

I detta kapitel presenteras de olika lagren av kartmaterial som används för att analysera föroreningsspridning i stadsmiljöer. Kartmaterialet består av flera överlappande informationslager, såsom urbana värmeöar, luftföroreningsdata, hydrologisk data, socioekonomiskt utsatta områden och befolkningstäthet, vilka tillsammans ger en bred bild av hur föroreningar ackumuleras och transporteras i den urbana miljön.

Motiveringen till valet av de olika kartöverläggen går att återfinna i refererad forskning i förstudien, vid kartöverläggen återfinns därför en memorandum ruta som påminner läsaren om varför just detta kartöverlägg är relevant.

I den slutliga kartöverläggningen (avsnitt 2.2) analyseras vilka områden där flest lager överlappar för att på detta vis hitta områden där det finns en störst chans till en ackumulation av föroreningar, kopplat till förstudiens resultat. För att behålla ett tydligt fokus på studiens syfte görs därför en prioritering i nästa steg (avsnitt 2.2), där endast de mest relevanta lagren i relation till varandra väljs ut för vidare analys. En sådan prioritering grundar sig på hur direkt varje lager kan kopplas till fyto Remedieringens potential att hantera föroreningar i stadsmiljöer.



Figur 3: Visar landskapsskalan som arbetet befinner sig i under kartläggningen.

Följande illustration visar hur kartöverläggen är organiserade i den kommande delen av avsnittet:

Data kopplat till urbana värmeöar

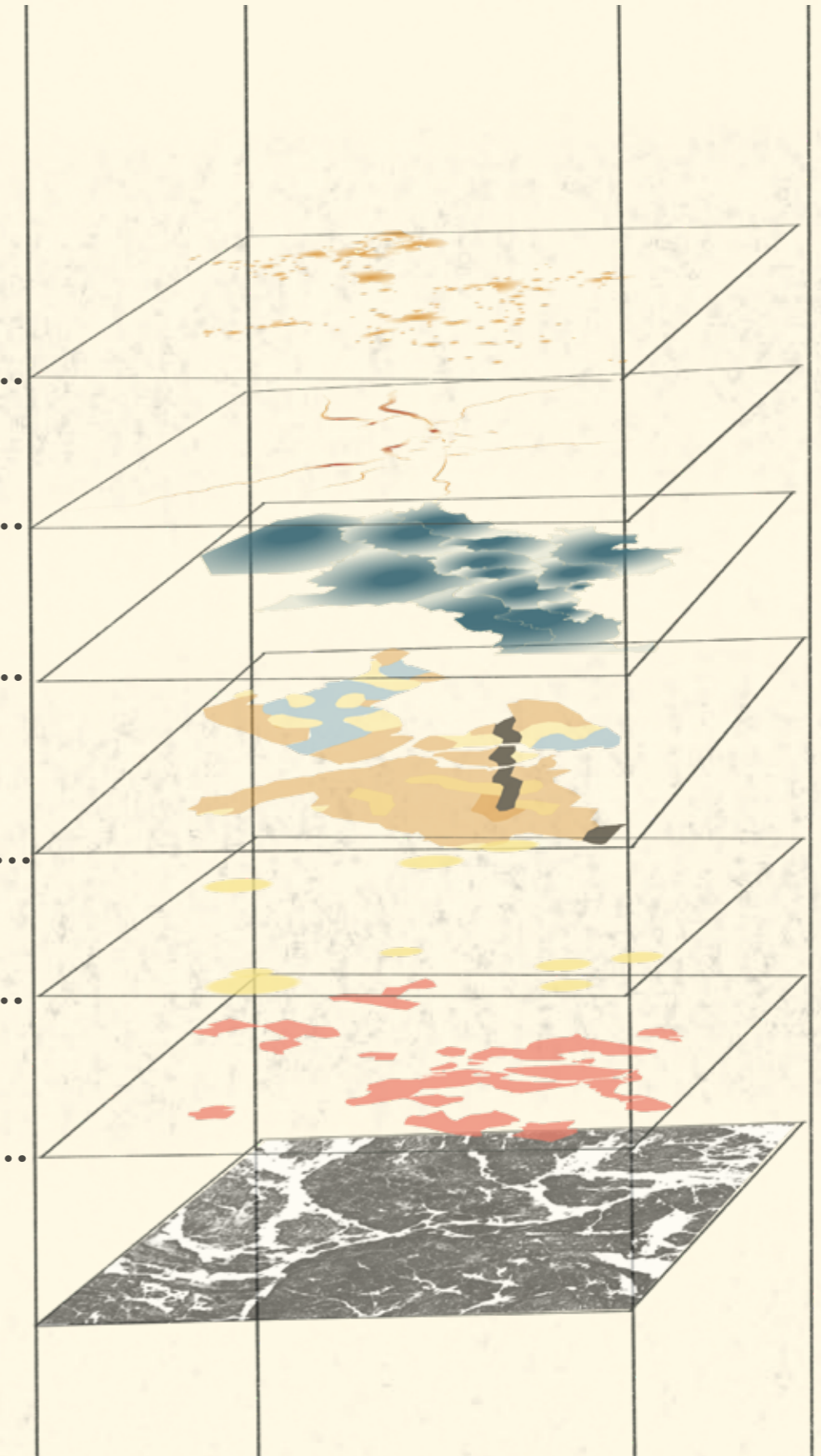
Data kopplat till partikelmateria PM10

Data kopplat till dagvatten: avrinningsområden, ekologisk status på avrinningsområden och vattenskyddsområden.

Data kopplat till jordarter

Data kopplat till socioekonomiskt utsatta områden

Data kopplat till befolkningstäthet.



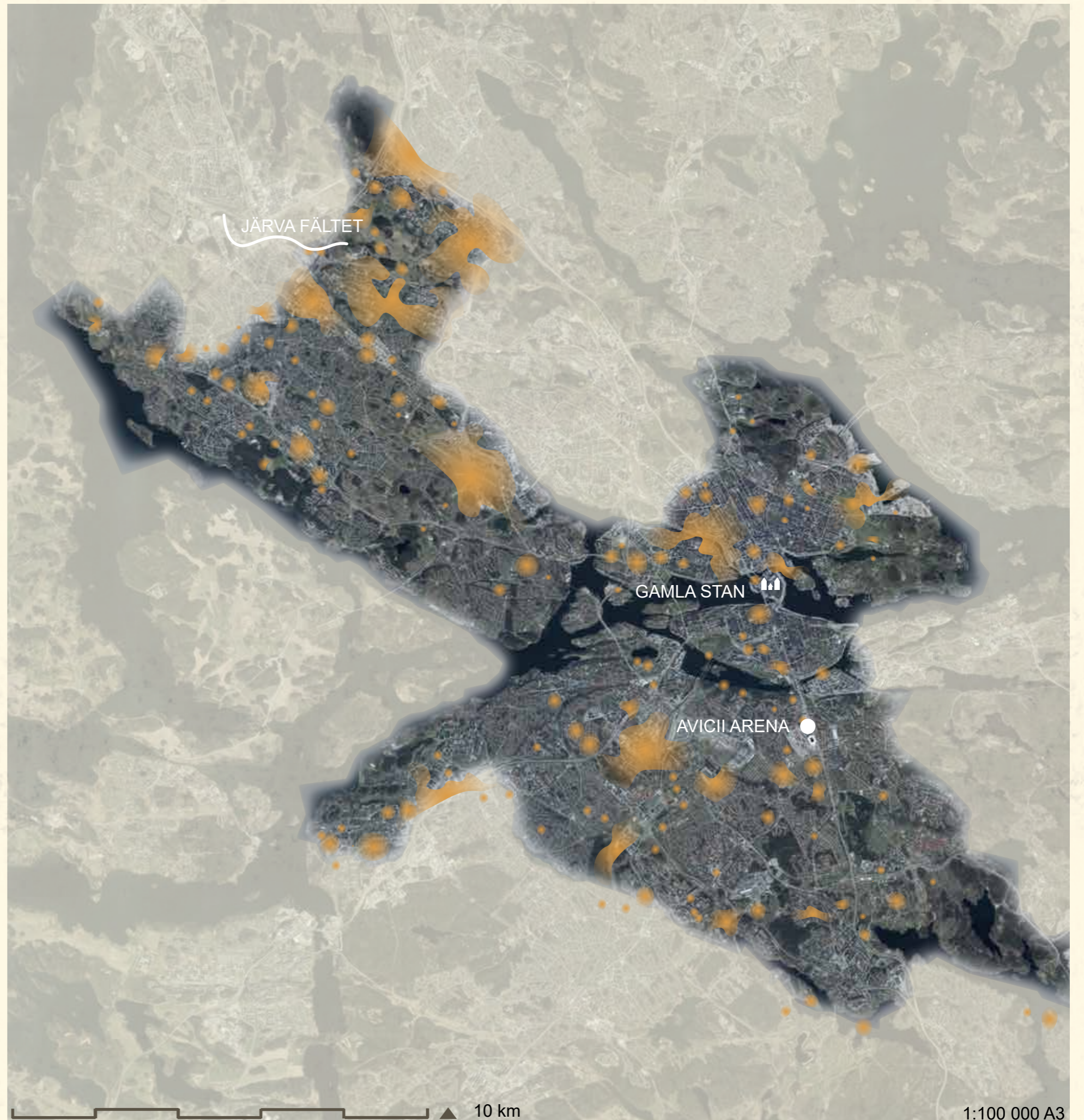
Figur 4: Visar på organiseringen av kartöverläggen som presenteras var för sig med en förankring till förstudiens resultat. Analysen och prioriteringar av kartlager görs sedan i avsnitt 2.2.

Kartöverlägg: Urbana värmeöar

Memorandum från förstudie: Urbana värmeöar, som är ett resultat av högre temperaturer i städerna, kan leda till högre koncentrationer av ozon vid marknivå och andra farliga föroreningar. Extrema väderhändelser, såsom värmeböljor, blir också vanligare med klimatförändringarna, och deras kombinerade effekt med urbana värmeöar bidrar inte till friska stadsrum (Singh, N. et al. 2020).

Datan som visuellt visas baseras på en yttertemperatur över 35 grader celsius vid markytan mätta över en 9-årsperiod. "Urban värmeö" definieras som områden i staden med särskilt höga yttertemperaturer, som uppmätts genom satellit. Värmeöar kan variera i storlek och intensitet och uppstår där temperaturen överstiger en viss gräns, över 35°C i den refererade studien. Stora värmeöar inkluderar platser som Bromma flygplats och vissa förortsområden som Östberga och Rinkeby-Tensta, medan mindre värmeöar också identifierats på mindre än en hektar. (Wiman & Lindeberg 2022)

Urbana värmeöar



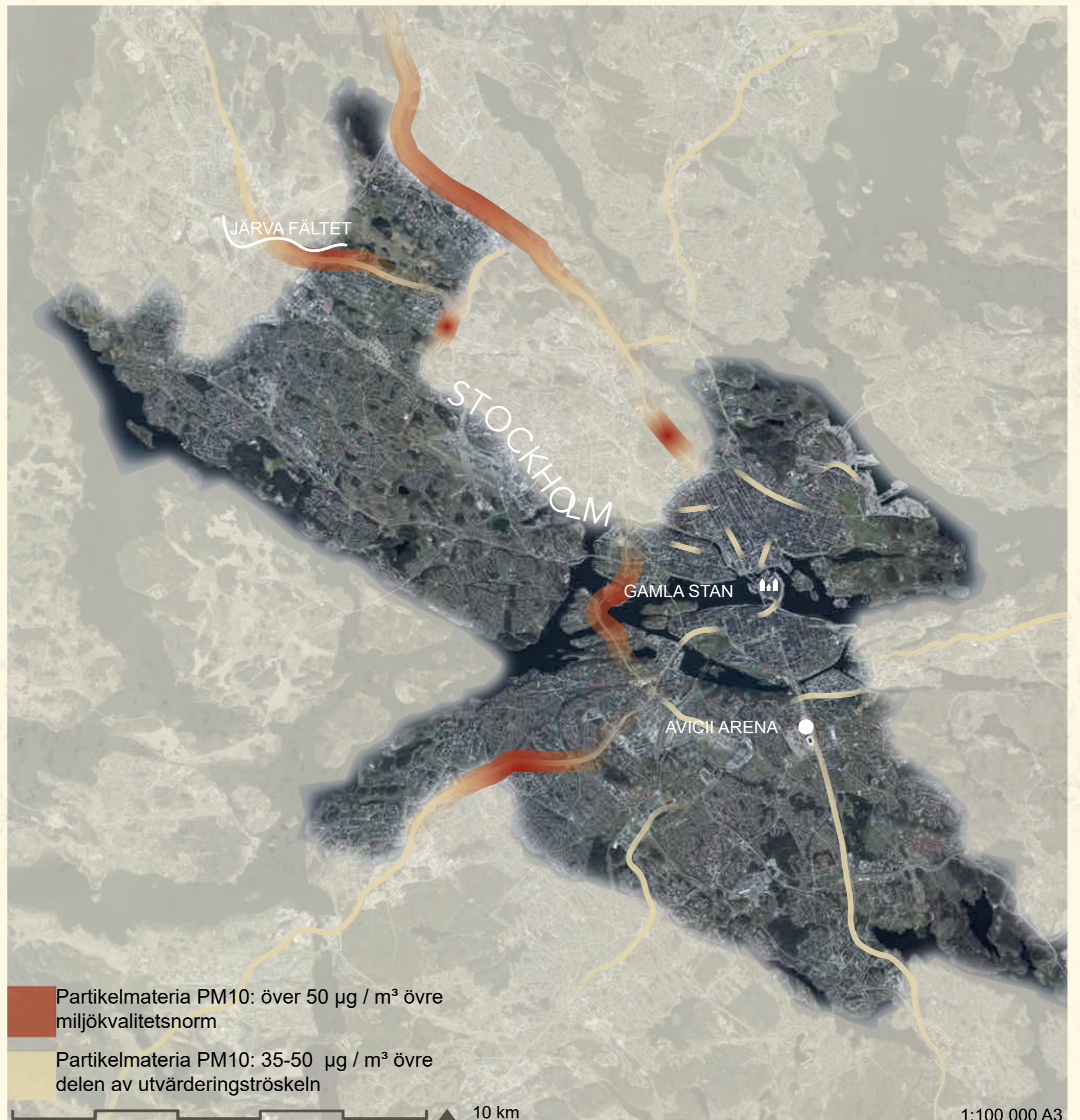
Figur 5: Visar urbana värmeöar i Stockholm. © Lantmäteriet. Flygbild [Kartografiskt material] 2024 och data tolkat utifrån rapporten *Temperaturanalyser från satellit över Stockholms stad* (Wiman & Lindeberg 2022).

Kartöverlägg: Partikelhalt PM10

Memorandum från förstudie: Studien från Sarica et al. 2023 visar på hur understuderat fenomenet med partikelföroreningar kopplat till vägasfalt är och behovet av bättre sätt att mäta dessa. Studien påvisar ändå att mängden sekundära organiska aerosoler (SOA) från vägasfalt kan vara betydligt högre än de utsläpp som trafiken står för. Studien påpekar även att föroreningarnas inverkan på lokal nivå är betydligt högre på grund av närheten till asfalterade vägar.

Data kopplat till Partikelhalter i form av Partikelmaterial (PM 10) som visualiserats på kartmaterialet är hämtat från Östra Sveriges Luftvårdsförbund, framtagna av SLB-analys vid Miljöförvaltningen i Stockholm. Datan som tolkats visuellt visar ett dygnsmedelvärde och enbart de högre halterna av PM 10. Där de högre halterna avser över $50 \mu\text{g} / \text{m}^3$ som "övre miljökvalitetsnorm" och halter mellan $35-50 \mu\text{g} / \text{m}^3$ som är i den "övre delen av utvärderingströskeln".

"Över miljökvalitetsnorm" och "Övre utvärderingströskeln" bör betraktas som områden där risk för överskridande av norm finns. Dessa normer är juridiskt bindande regler som fastställs enligt svensk miljölagstiftning (miljöbalken) och baseras på EU:s direktiv, normerna fastställer gränsvärden som inte får överskridas. (Östra Sveriges Luftvårdsförbund 2021)



Figur 6: Visar höga halter av partikelmaterial i form av PM10 i Stockholm. © Lantmäteriet. Flygbild [Kartografiskt material] 2024 och data tolkat utifrån Östra Sveriges Luftvårdsförbund. (Östra Sveriges Luftvårdsförbund 2021).

Kartöverlägg: Dagvatten

Vattenskyddsområden

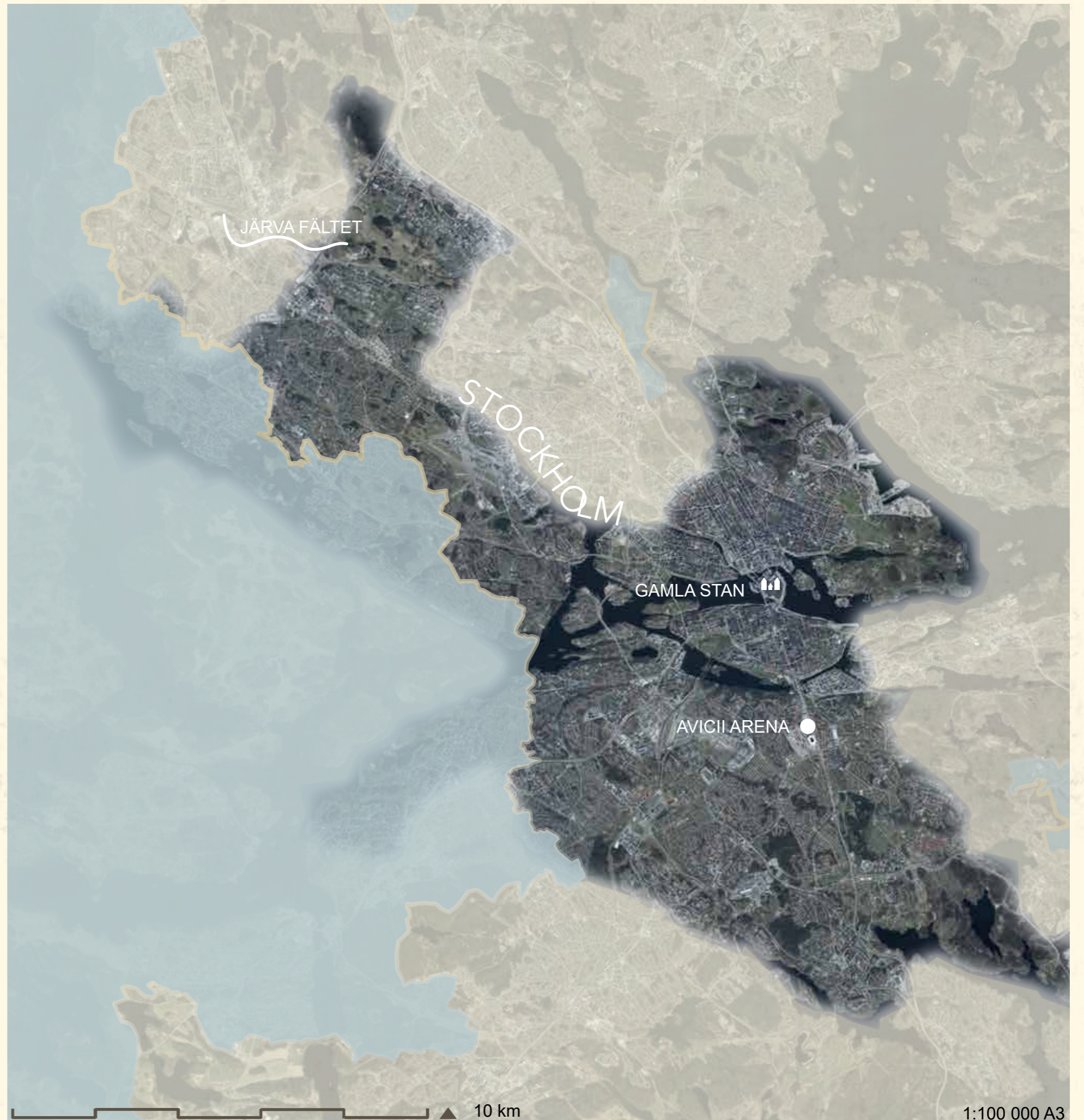
Memorandum från förstudie: Urban avrinning av dagvatten har allmänt erkänts som en betydande källa till försämrad vattenkvalitet (Brezonik & Stadelmann, 2002; Shaw et al., 2006; Brett & Gavin, 2010; Revitt et al., 2014).

Koncentrationen av tungmetaller som ackumuleras i dagvatten bör ses som ett hot gentemot vår miljö, speciellt om dagvattnet förs vidare direkt vidare till recipient (Pochodyła-Ducka 2023).

Enligt miljöbalken definieras ett vattenskyddsområde som ett mark- eller vattenområde som länsstyrelsen eller kommunen kan förklara som skyddsområde för att bevara en grund- eller ytvattentillgång som utnyttjas eller förväntas utnyttjas som vattentäkt (SFS 1998:808 7 kap. 21 §).

Datan som visuellt visas har hämtats från Naturvårdsverkets karttjänst "Skyddad natur" under kartlagret "vattenskyddsområden". (Naturvårdsverket u.å.)

Vattenskyddsområde



Figur 7: Visar vattenskyddsområden i Stockholm. © Lantmäteriet. Flygbild [Kartografiskt material] 2024 och datan som tolkats har hämtats från Naturvårdsverket - 27 Vattenskyddsområde. (Naturvårdsverket - Vattenskyddsområde.)

Avrinningsområden och ekologisk status avrinningsområden

Klassificeringen av ekologisk status inom avrinningsområden bedöms utifrån en femgradig skala: *hög status*, *god status*, *måttlig status*, *otillfredsställande status* och *dålig status*. Biologiska kvalitetsfaktorer används för att utvärdera vattnets ekologiska hälsa, vilket innebär att man undersöker om de arter av växter och djur som förväntas finnas i området är närvarande och i tillräcklig mängd. Bedömningen inkluderar parametrar såsom fiskpopulationer, bottenfauna (djur som lever på botten) och växtplankton. Målet med vattenförvaltningen är att säkerställa hållbara ekosystem, vilket gör att de biologiska kvalitetsfaktorerna väger tyngst i klassificeringen. Om växt- och djurlivet i ett vattenområde är i gott skick, är det rimligt att anta att övriga kvalitetsfaktorer också är i god status. (Vattenmyndigheterna u.å.)

Datan som visualiserats kopplat till både ekologisk status och avrinningsområden är hämtad från Vatten Information System Sverige (u.å.). Flödesriktningarna är tolkade utifrån det specifika avrinningsområdet och dess lågpunkt.



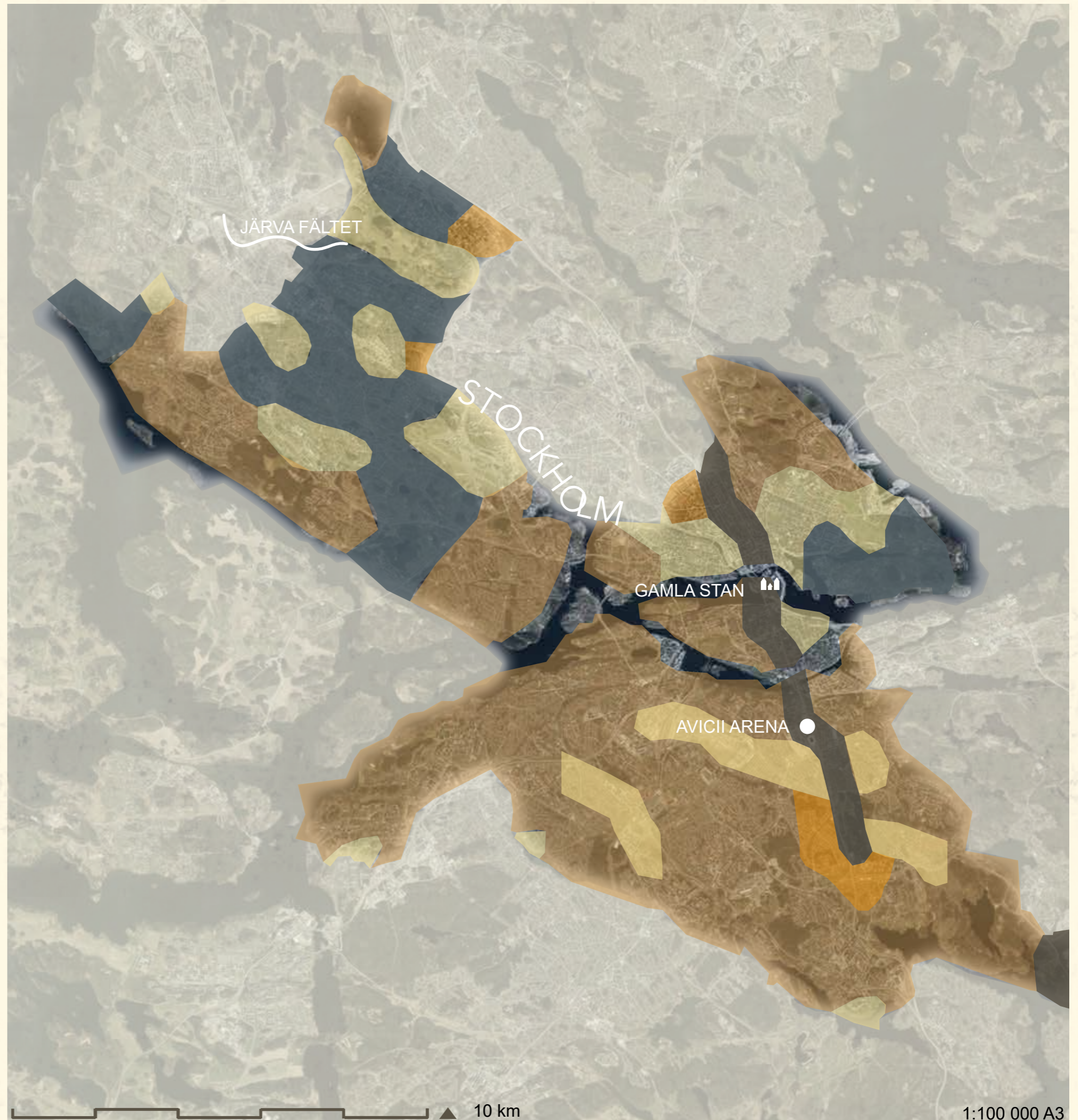
Figur 8: Visar avrinningsområden och ekologisk status på avrinningsområden samt riktningar av flöden och namn på avrinningsområden i Stockholm. © Lantmäte-28 riet. Flygbild [Kartografiskt material] 2024 och Datan som tolkats är hämtad från VISS (Vatten Information System Sverige u.å.).

Kartöverlägg: Jordarter

Moränjordar och grusjordar har en högre genomsläpplighet, vilket kan påverka grundvattenstatus. Moränjordar och grusjordar i relation till avrinningsområden och dess ekologiska status, framförallt juxtaponierat vattenskyddsområden, är av stort intresse kopplat till friska stadsrum.

Data kopplat till jordarter är hämtat från Sveriges Geologiska Undersökning (SGU), med kartinställningen jordart, grundlager, 1:1 miljon. (SGU u.å.)

Den dominerande jordarten för Stockholms kommun är jordarten berg. Till nordöst förekommer jordarten morän dominerande med mindre fickor av postglacial sand-grus och inslag av lera-silt. Mindre fickor av postglacial sand-grus förekommer även söderut.



Figur 9: Visar jordarter i Stockholm. © Lantmäteriet. Flygbild [Kartografiskt material] 2024 och Datan som tolkats är hämtat från Sveriges Geologiska Undersökning (SGU) med kartinställningen jordart, grundlager, 1:1 miljon. (SGU u.å.)

Kartöverlägg: Utsatta områden

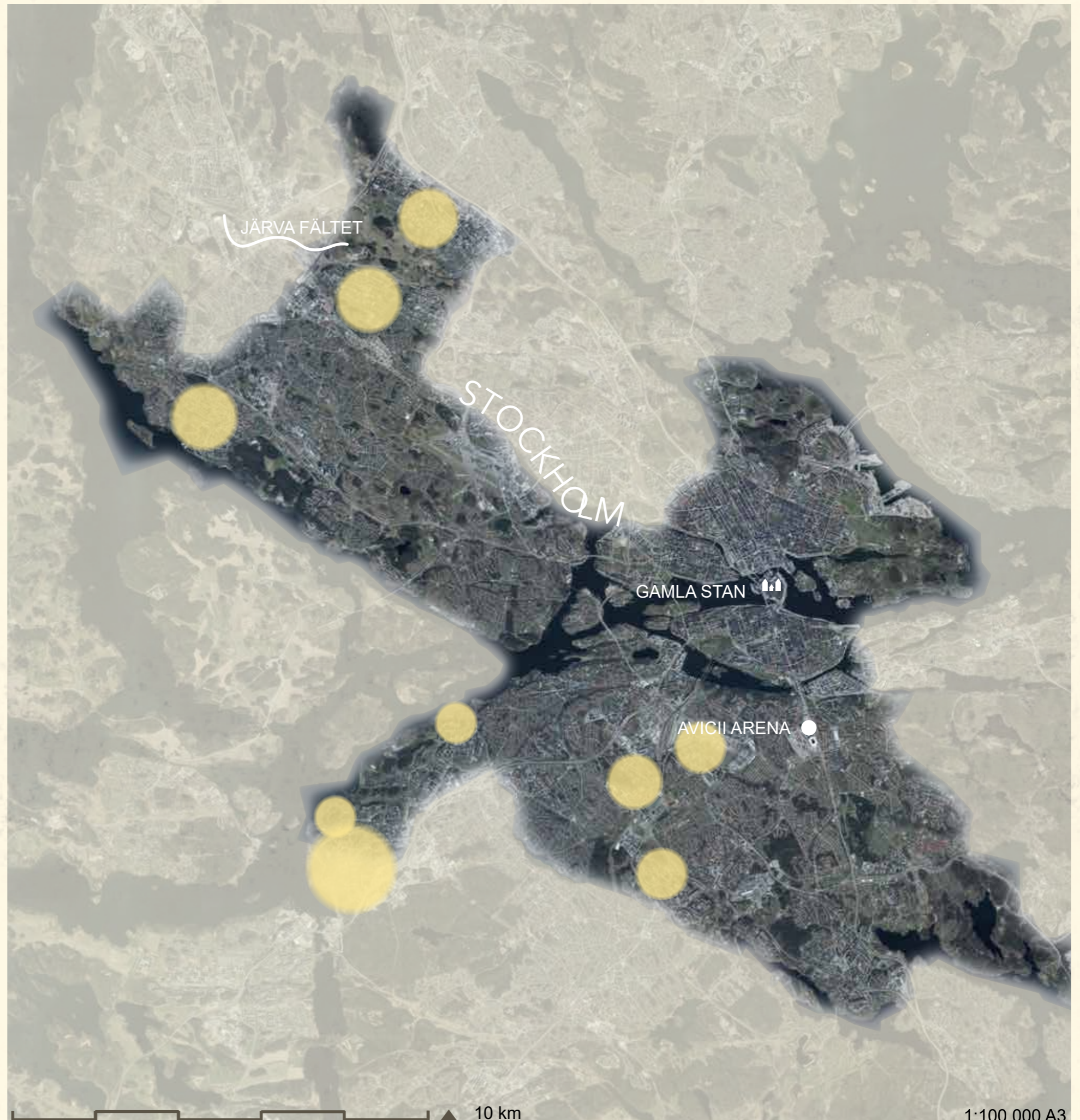
Memorandum från förstudie: Flertalet samtida och globala studier visar ett tydligt samband mellan föroreningar och maktstrukturer i stadsväven. Internationella studier har funnit att socialt utsatta grupper är ofta bosatta i områden som utsätts för högre nivåer av föroreningar och påverkas mer av miljömässiga belastningar. (Elford & Adams 2021; García-Burgos et al. 2022; Hölzl et al. 2021; Fairburn et al. 2019)

För att avgränsa den här specifika kartläggningen kopplat till socioekonomiskt utsatta områden har arbetet valt att definiera dessa områden via en polisrapport som publicerades av Polismyndigheten i Stockholms län (Polismyndigheten 2023). Definitionen av utsatta områden enligt Polismyndigheten:

”Ett geografiskt avgränsat område som kännetecknas av en låg socioekonomisk status där de kriminella har en inverkan på lokalsamhället. Inverkan är snarare knuten till det sociala sammanhanget i området än att det finns en uttalad avsikt att ta makten och kontrollera lokala samhället.” (Polismyndigheten u.å.)

I polisrapporten kategoriseras de utsatta områdena i tre kategorier: *utsatt område, riskområde och särskilt utsatt område*. Alla tre kategorier ingår i kartläggningen som visualiserats utifrån polisrapporten.

Utsatta områden




Figur 10: Visar utsatta områden i Stockholm. © Lantmäteriet. Flygbild [Kartografiskt material] 2024 och Datan som tolkats har hämtats från refererad polisrapport (Polismyndigheten 2023)

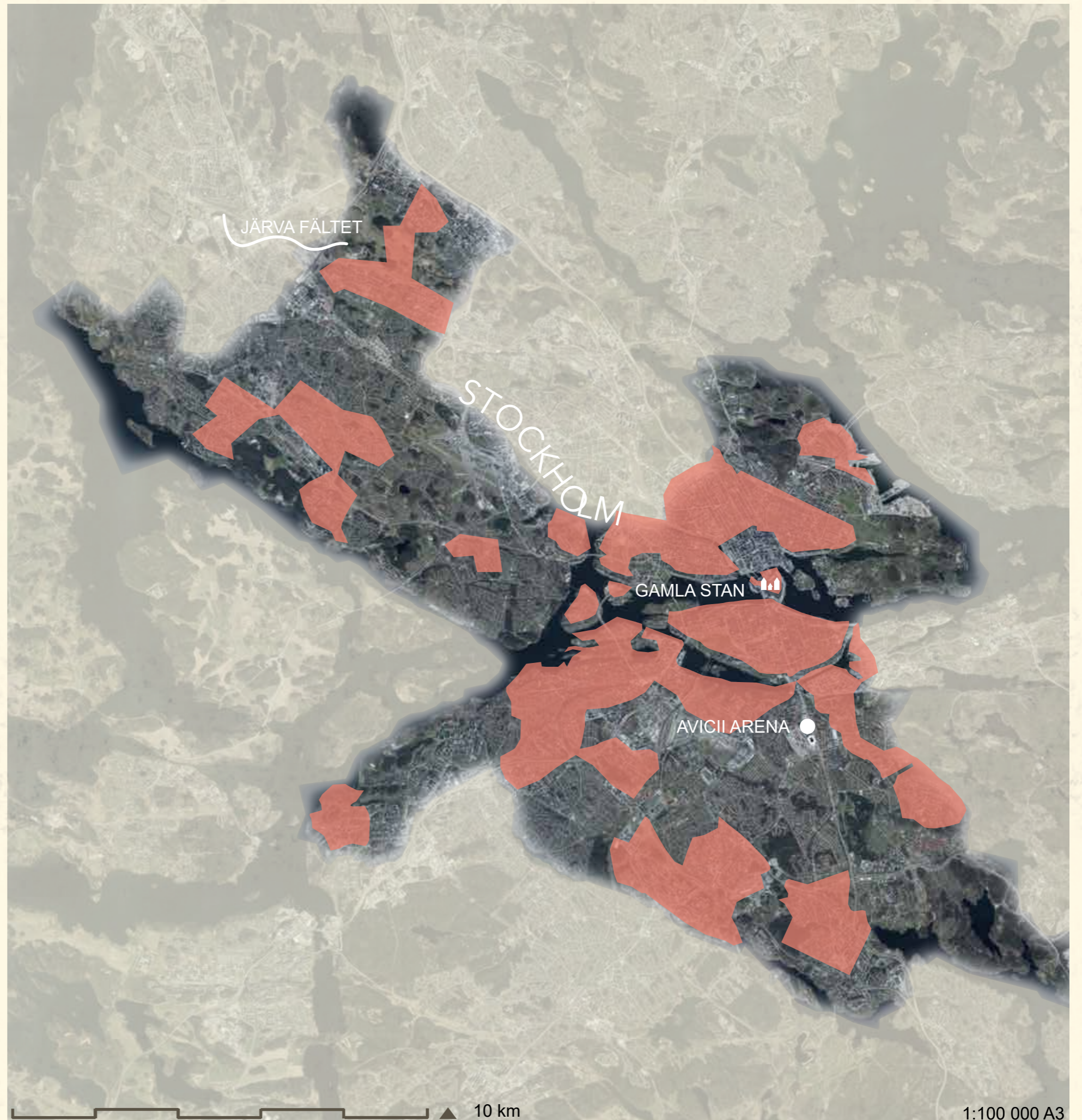
Kartöverlägg: Befolkningstäthet

Memorandum från förstudie: Det finns en koppling mellan urbana områden, hög befolkningstäthet och brist på kvalitativa grönområden. Bristen på kvalitativa grönområden är särskilt skadlig för utsatta grupper, såsom etniska minoriteter och låginkomsttagare. De utmaningar som urbaniseringen medför kan förvärra ojämlikheter i tillgången till viktiga resurser, som kvalitativa grönområden. (Ode Sang & Hedblom 2020)

Den data som visualiseras kopplat till befolkningstäthet är hämtad ur rapporten Befolkningsöversikt årsrapport för 2023 (Johansson et al.) och definierar befolkningstäthet som antalet invånare per hektar i Stockholms stads stadsdelar. Detta mått används för att illustrera hur många personer som bor inom ett visst område, vilket ger en indikation på hur tätt befolkat ett område är.

De områden som visualiserats är begränsade till den högsta befolkningstätheten i kommunen, där spannet är mellan 317-51 invånare / hektar.

 Befolkningstäthet 317-51 invånare/ha



Figur 11: Visar hög befolkningstäthet i Stockholm. © Lantmäteriet. Flygbild [Kartografiskt material] 2024 och Datan som tolkats har hämtats från rapporten Befolkningsöversikt årsrapport för 2023 (Johansson et al. 2023).

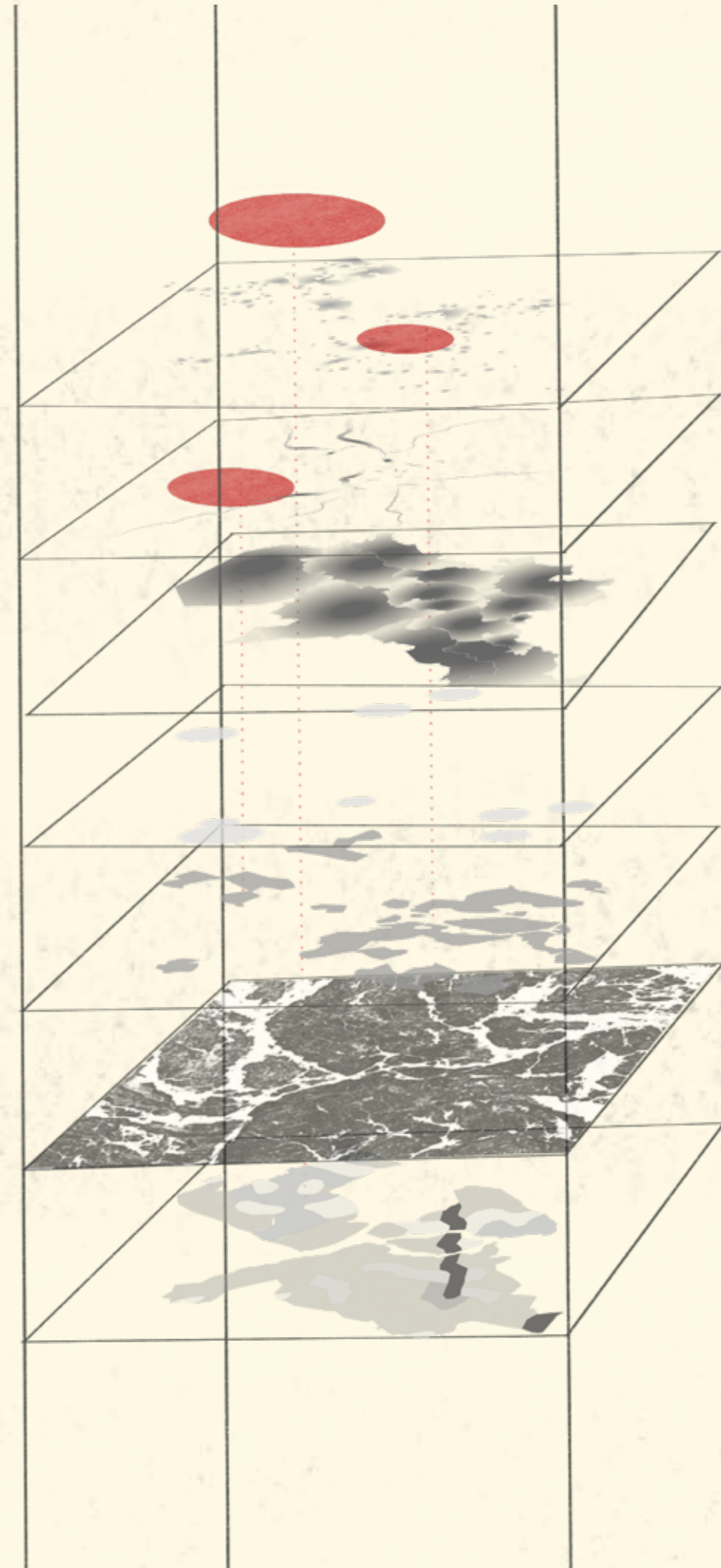
2.2 Kartöverlägg: Analys

I detta kapitel genomförs den faktiska analysen och kartöverläggningen. Områden där flest lager överlappar och interagerar med varandra är intressanta ur ett föroreningsperspektiv. Genom att analysera dessa utvalda lager kan en mer riktad bedömning göras av hur fytoremediering kan integreras i urbana miljöer.

Analysen av kartöverläggen identifierar "hotspots" i stadsväven. Hotspots där författaren menar att det finns en stark motivation till att skapa innovativa naturbaserade lösningar för att gynna framtida friskare stadsrum.

Med breda penseldrag agerar kartöverläggen som indikatorer över större områden i stadsväven där det finns en möjlighet att föroreningar existerar idag och där det finns en risk att dessa ackumuleras över ett längre tidsdjup.

För att identifiera hotspots krävs ett angreppssätt kopplat till kartöverläggen. Författaren har därför valt att göra en prioritering av de olika kartläggen. Prioriteringen av de olika aspekterna kopplat till kartöverläggen är starkt kopplat till *syftet* att skapa framtida friskare stadsrum. Vilket berör hela hållbarhetsdiskursen, men efter arbetets progress läggs en betoning på mänsklig hälsa och den humana skalan där social hållbarhet är det prioriterade.



Figur 12: Visar hur förorenings"hotspots" träder fram i landskapet kopplat till de olika kartöverläggen.

Kartöverlägg: Prioriteringar

I följande del motiveras valet av prioriterade aspekter i analysen av potentiella hotspots, själva urvalet av kartöverläggen utvecklas vidare under diskussionsdelen.

Befolkningstäthet

Befolkningstätheten prioriteras i analysen eftersom den berör arbetets syfte kopplat till framtida friska stadsmiljöer och människans livskvalitet. Med den friska människan i fokus så blir befolkningstätheten central att prioritera.

Eftersom arbetet har valt att begränsa sig till stadsväven, som i sig är svårdefinierad rent geografiskt, blir befolkningstätheten relevant i och med att en hög befolkningstäthet antagligen innebär att område är en del av stadsväven, det signalerar att här finns mänsklig närvaro.

Urbana värmeöar i kombination med höga värden av utsläpp från partikelmateria PM10.

Som redovisats tidigare i arbetet finns det ett intrikat, dock understuderat, samband mellan temperatur och en amplifiering av utsläpp av föroreningar kopplat till asfalt och partikelutsläpp. Föroreningar verkar amplifieras vid högre temperaturer vilket beror på att det kan ske en transformation som ökar utsläppen av ozon vid högre temperaturer.

Eftersom det verkar finnas ett samband, dock ett bevisligen understuderat sådant, så har dessa två kartöverlägg en stor prioritering i analysen, för att identifiera bokstavliga "hotspots" där behovet av proaktiva åtgärder är stora kopplat till friska stadsrum.

Dessa aspekter prioriteras även högt eftersom de är direkt skadliga för hälsan i kombination med tätbefolkade områden är dessa kartöverlägg högsta prioritet.

Avrinningsområden

Avrinningsområden och dess ekologiska status, framförallt juxtapositionerat vattenskyddsområden prioriteras. Den här prioriteringen är framförallt kopplat till syftet för framtida friskare stadsrum och människans livskvalitet. Förstudien belyser att friskt dricksvatten antagligen kommer att bli en bristvara i framtidens metropoler, därför är det viktigt att proaktivt prioritera dessa områden kopplat till en föroreningsproblematik.

Jordarter

Jordarter är också av intresse kopplat till grundvattenstatus. Därför är moränjordar och grusjordar, som har en högre genomsläpplighet, prioriterade speciellt kopplat till ekologisk status på avrinning och placering av vattenskyddsområde.

Socialt utsatta områden

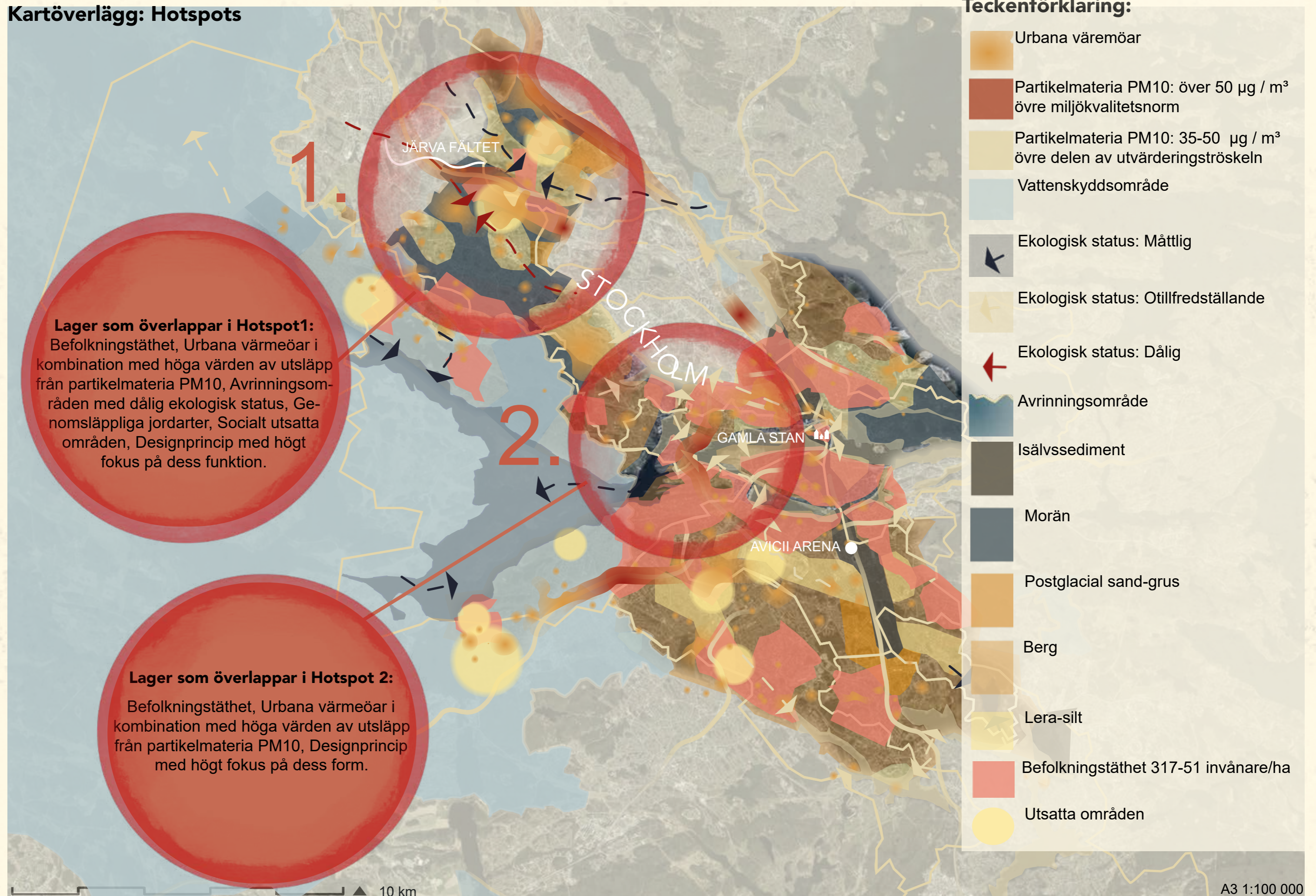
Dessa områden prioriteras eftersom presenterad forskning från förstudien visar att dessa områden internationellt ofta är utsatta för högre föroreningshalter, därför kan detta samband också möjligtvis återfinnas i Stockholms kommun. Dessa faktorer resulterar i en opropor­tionerlig miljöbelastning som påverkar hälsa och livskvalitet, vilket gör miljö rättvisa till en central fråga inom hållbar stadsutveckling. Därför bör dessa områden uppmärksammas specifikt kopplat till föroreningsproblematiken.

Designprinciper

Eftersom det är många områden i Stockholms kommun som visar sig vara intressanta ur ett föroreningsperspektiv så prioriteras även områden som kan bidra med dess kompatibilitet kopplat till arbetets designprinciper och inkorporering av tekniken fyto­remediering. Med utgångspunkt att kunna skapa designprinciper som härrör till olika karaktärer, där fokus kan vara form och fokus kan även vara dess funktion.

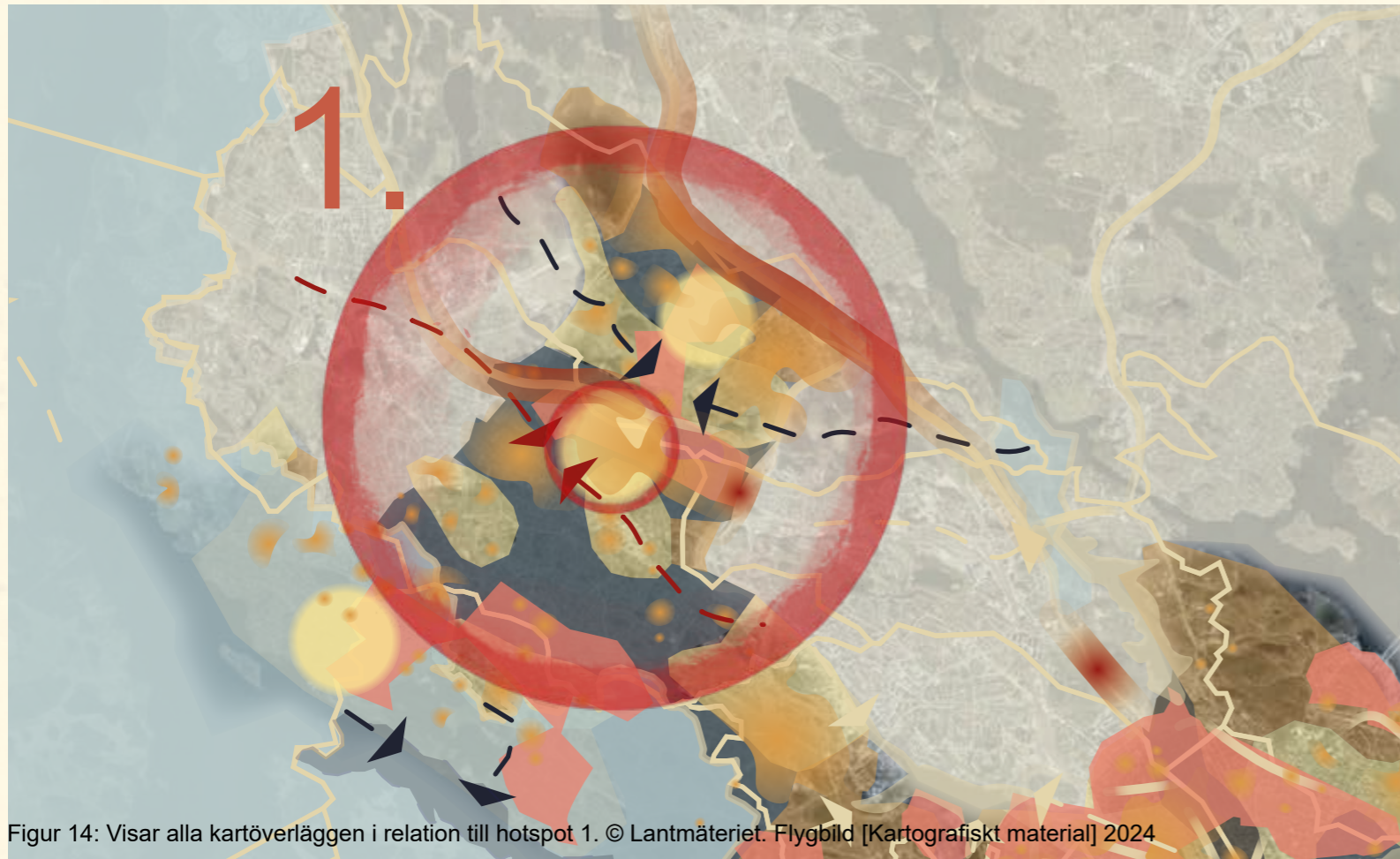
Med dessa prioriteringar börjar områden i stadsväven att träda fram som extra prioriterade inom ramen för detta arbete. Kopplat till vart behovet är som störst att implementera naturbaserade lösningar med en målsättning att skapa framtida friskare stadsrum.

Kartöverlägg: Hotspots



Figur 13: Visar tolkningen av alla kartöverlägg och två utvalda hotspots utifrån prioriterade aspekter. © Lantmäteriet. Flygbild [Kartografiskt material] 2024

Kommande avsnitt redogör för och motiverar valet av de två utvalda hotspotsen.



Figur 14: Visar alla kartöverläggen i relation till hotspot 1. © Lantmäteriet. Flygbild [Kartografiskt material] 2024

Hotspot 2.

Området prioriteras då det är placerat väldigt centralt i Stockholms kommun med en hög befolkningstäthet, därutöver har området en hög frekvens av urbana värmeöar i kombination med höga värden av utsläpp från partikelmateria, i en befolkningstät stadsdel. Området bedöms inte ha en lika akut lägesbild kopplat till grundvattenkvalitén och vattenskyddsområdet som hotspot 1.

Här behövs en designprincip som kan ta tillvara på rekreationella värden i och med att det är väldigt befolkningstät och centralt beläget. Designprincipen bör även ha en viss effektivitet i att hämma ackumulerade föroeningar och agera buffer.

Nedan går arbetet vidare till del 3, vilket redogör för tekniken fyto Remediering och viktiga tekniska strategier kopplat till tekniken. Sedan presenteras arbetets designprinciper, där dessa två hotspots återkommer i relation till designprinciperna.

Hotspot 1.

Området har även en hög frekvens av urbana värmeöar i kombination med höga värden av utsläpp från partikelmateria, i detta fall PM10 i en befolkningstät stadsdel. Därutöver är det områden som klassas som utsatta och har en låg socioekonomisk status. Dessa kriterier gör att detta område prioriteras *högt* som en potentiell hotspot i stadsväven. Här behövs en designprincip som kan agera som en buffer åt människorna på platsen och innehar en hög effektivitet kopplat till att hämma ackumulerade föroeningar.

Hotspot 1 prioriteras framförallt kopplat till att det är det *enda* området i Stockholms kommun som innehar en dålig ekologisk status på dess avrinningsområde, Bällstaån. Därutöver till väst om avrinningsområdet befinner sig ett vattenskyddsområde tillhörande Mälaren - Görvlen, vilket är av yttersta vikt att beskydda, eftersom det är en möjlig framtida vattentäkt för dricksvatten. Som nämnt i förstudien så kommer tillgången till friskt vatten i storstäder med största sannolikhet vara en hotad resurs i framtiden (Pavlova & Milshina 2020: 202). Därutöver så är området till största del beläget på moränjordar och postglacial sand-grus jord vilka båda har en högre genomsläpplighet, vilket kopplat till en ackumulation av föroeningar kan komma att påverka grundvattnets kvalitet i framtiden.



Figur 15: Visar alla kartöverläggen i relation till hotspot 2. © Lantmäteriet. Flygbild [Kartografiskt material] 2024

3

DESIGNPRINCIPER för fyto, form och funktion

Inledande presenteras tekniken *fyto* där specifika strategier även utvärderas som sedan appliceras i designprinciperna. Designprinciperna som delges i slutet av kapitlet är förankrade i den kartläggning som delgetts ovan, som i sin tur är förankrat i den förstudie som ligger som förgrund åt hela arbetet.

Designprinciperna är syftningen av en större problematik och det finns en målsättning om att dessa principer ska var applicerbara som generella principer i en stadsplan även om Stockholm används som exempel i arbetet.

Avsikten är att visa på möjligheten att använda sig av multifunktionella lösningar vilket förhoppningsvis ökar förståelsen för dess betydelse och dess applicerbarhet kopplat till en större föroreningsproblematik.

3.1 FYTOREMEDIERING

Följande avsnitt introducerar tekniken fytoremediering som en del av strategin att använda sig av naturbaserade lösningar i en multifunktionell kontext. Först ges en grundlig introduktion av tekniken och dess möjligheter och utmaningar som sedan mynnar ut i generella tekniska strategier att ta med sig vidare till själva designkoncepten. Kapitlet är framtaget med stöd av Maria Greger som är docent vid Stockholms universitet.

Fytoremediering är ett samlingsbegrepp som beskriver kärlväxters och algers förmåga att antingen ackumulera, hämma eller avlägsna olika typer av föroreningar i mark, grundvatten, ytvatten eller sediment (McCutcheon & Schnoor 2003: 4). Dessa kan delas in i nio olika kategorier (Kennen & Kirkwood 2015: 42).

Nio olika kategorier av fyto

Fytodegradation	Växten förgör föroreningen
Rhizodegradation	Rötterna förgör föroreningen
Fytostimulering	Jordens biologi förgör föroreningen
Fytovolatilization	Växten förvandlar föroreningen till gas
Fytoextraktion	Växten ackumulerar föroreningen, inkorporeras i biomassan
Fytohydraulik	Växten drar till sig föroreningen och håller den på plats
Fytostabilisering	Växten inkapslar föroreningen och håller den på plats
Rhizofiltration	Föroreningar filtreras från vatten av rötterna
Fytofiltrering	Föroreningarna filtreras från vattnet av hela växten

Kapitlet är framtaget efter samtal med Maria Greger, där det från både författarens håll och Gregers håll finns en gemensam målsättning om att få fytoremediering att fungera i praktiken, som en del av en större strategi som kan bidra till framtida friskare stadsrum, men att den tar sin början i den lilla partikeln, via tekniken fytoremediering.

Historik & samtid

Långt innan termen fytoremediering myntades har samhällen världen över förstått sambandet mellan jordens egenskaper och den växtlighet som trivs där. Att vissa växter har en förmåga att tolerera specifika ämnen och till och med ackumulera dem, medan andra arter inte kan överleva under liknande förhållanden, är ett välkänt fenomen sedan länge.

Innan termen fytoremediering introducerades och myntades, genomfördes systematiska studier om relationen mellan växter och metaller. Studierna upptäckte att vissa växter framgångsrikt kunde ta upp stora mängder metall i förhållande till sin biomassa. Dessa växter benämndes som ackumulatörer eller hyperackumulatörer. (Baker et al. 1988)

Självva begreppet fytoremediering myntades och etablerades i USA på 1980-talet och fick snabbt stor uppmärksamhet genom laboratorieexperiment under 1990-talet, som i sin tur ledde till en stor optimism kopplat fytoremedieringens förmåga att utnyttja växters inneboende förmåga för sanering av förorenade områden. (Kennen & Kirkwood 2015: 10)

Resultaten in situ var dock varierande, och misslyckanden på fältet var fler än framgångarna eftersom implementeringen i fält skedde innan vetenskapen hade hunnit bekräfta dess funktionalitet och effektivitet. Rönen kring den nya teknologin kallad fytoremediering upptrissades och ledde till en överskattning av dess förmågor. Idén om fytoremediering var bländande men när den testades i verkliga miljöer, platsspecifikt, visade den sig ofta misslyckas, som i fallet med blysanering med solrosor. (Ibid.)

Upptag och sanering av bly med hjälp av solrosor hyllades som ett föredöme för tekniken fytoremediering utan att biologin och mekanismerna var fullt förstådda. När tekniken tillämpades på verkliga platser visade det sig att den tidigare upptrissade teknologin inte fungerade i fält. Intressant nog fortsatte solrosor för blysanering att förekomma i illustrationer inom landskapsarkitektur som en fytoremedieringsmetod långt efter 2010, trots att de i stort sett misslyckades i fältförsök i slutet av 1990-talet. (Ibid.)

Detta i sin tur ledde till en förtroendekris för fytoremediering i slutet av 1990-talet, där både dess finansiering och trovärdighet dalade. Även om tekniken har haft en vacklande start har forskningen fortsatt framåt i en makligare och stadigare takt, där forskningsrön är mer i balans med praktik. Detta har lett till att det idag finns en ökad acceptans från saneringsindustrin och myndigheter tillika. Även om forskningen är tidskrävande och komplex, kan fytoremediering i vissa fall vara ett bättre alternativ än de kostsamma och invasiva processerna det innebär att ta bort föroreningar fysiskt. (Kennen & Kirkwood 2015: 11)

Möjligheter och utmaningar

Tekniken fytoremediering har många givna fördelar, trots detta så återstår det många utmaningar kopplat till tekniken. Bland annat så handlar detta om en bristande förståelse kopplat till dess många mekanismer och kemiska beteende och en potentiell optimering av tekniken för applicering i större skala (Yuliasni et al. 2023).

Det krävs även ytterligare forskning som inkluderar att undersöka genetiska modifieringar av växtmaterial, förbättra växtsorter och utveckla liknande strategier för att öka effektiviteten av när det kommer till insatser med tekniken fytoremediering (Singh & Pant 2023).

En stor betoning läggs även på vikten av rätt växtmaterial, och framförallt en förståelse mellan växtmaterialet, dess växtmedium och platsspecifika förhållanden. Kennen & Kirkwood (2015: 10) belyser det faktum att många missförstånd tenderar ofta att uppstå under webbaserade studier när äldre eller föråldrade studier refereras och används, gång på gång. Ytterligare problem är att många praktiker inom fytoremediering och liknande områden ofta saknar en djupare förståelse för de mycket specifika interaktionerna mellan växter och jord, som är avgörande för att uppnå effektiva resultat. Okunskap kan bidra till ineffektiva tillämpningar av tekniken, då de komplexa biologiska och kemiska processer som påverkar föroreningarnas nedbrytning eller upptag inte alltid tas i beaktande.

Ett exempel på den avgörande och intrikata symbiosen mellan växtmedium och växt ges i Stoltz & Gregers studie (2002). Studien visar att odlingstekniken påverkar växternas förmåga att ta upp och transportera metaller och arsenik. I fältförsök påträffades skillnader jämfört

med hydroponiska odlingar (vattenbaserade näringslösningar). I synnerhet visade arter som *Salix* högre koncentrationer av kadmium (Cd) och zink (Zn) i bladen vid odling på gruvavfallsytor, medan samma växter under hydroponiska förhållanden inte uppvisade dessa egenskaper. Författarna menar att interaktioner mellan rötter och jordpartiklar, bakterier och svampmykorrhiza i fältmiljön påverkar upptag och transport av metaller, något som hydroponiska tester inte kan återskapa på ett tillförlitligt sätt.

Författarna Kennen och Kirkwood (2015: 10–11) gör en betydelsefull reflektion kring fytoremediering och dess möjligheter samt utmaningar. De framhåller att det råder viss oenighet inom både landskapsarkitektur och vetenskap när det gäller synen på fytoremediering. Å ena sidan kritiseras tekniken för att vara ineffektiv och inte värd samhällets uppmärksamhet och resurser, medan den å andra sidan framställs som en "universallösning" på föroreningsproblematiken. Författarna poängterar att sanningen troligen ligger någonstans däremellan. Det finns utan tvekan lovande tillfällen där fytoremediering



kan tillämpas, men det finns också många situationer där tekniken inte är genomförbar och därför bör undvikas. Exempel på tilfällena när tekniken bör undvikas är när koncentrationen av föroreningar är väldigt hög eller vid djupt liggande föroreningar, detta specifikt kopplat till fytoextraktion.

Det som driver utvecklingen framåt är forskningsresultat som visar på tekniken fyto Remedieringens potential. Stoltz och Gregers studie från 2002 undersöker hur Ängsull (*Eriophorum angustifolium*) och Polarull (*Eriophorum scheuchzeri*) påverkar stabiliseringen och minskningen av metallhalter i dräneringsvatten från syrefattigt gruvavfall genom fytostabilisering. Växterna i studien valdes utifrån deras naturliga anpassning till utmanande miljöförhållanden, såsom sura och vattendränkta sand-jordarter, som är typiska för gruvavfall. Fytostabilisering med dessa växter kan minska användningen av kalk, vilket traditionellt används för att behandla sura gruvdräneringar. Enligt studien så bidrar växterna till att upprätthålla höga pH-nivåer och minskar metallmobiliteten, särskilt för kadmium, koppar, bly och zink, vilket kan minska ytterligare spridning av dessa tungmetaller i miljön. Studien visar att metallhalten i den sura gruvdräneringen minskade mellan 95-99%.



Figur 16: Visar område med gruvavfall utan tekniken fyto Remediering. Foto: Maria Greger, PhytoEnvitech AB.

Ytterligare en studie från Landberg och Greger (2022) påvisar teknikens starka möjlighet att lyckas in situ. Studien "Phytoremediation Using Willow in Industrial Contaminated Soil" undersöker effektiviteten av Korgvide (*Salix viminalis*) för att rena förorenad jord vid en tidigare verkstadsanläggning i Sverige. Målet med studien var att minska nivåerna av olika föroreningar, inklusive tungmetaller som kadmium, arsenik, krom, koppar, bly, nickel och zink, samt polyklorerade bifenyler (PCB) och polycykliska aromatiska kolväten (PAH). Fältstudien genomfördes över en period på 10 år, från 2002 till 2016, där jordprov togs årligen mellan 2005 och 2015. Resultaten visade att *Salix viminalis* var mycket effektiv i att avlägsna föroreningar från jorden. Efter 10 år observerades en betydande minskning av föroreningarna, med upp till 73% av PAH och 54% av kadmium som avlägsnades. En snabb minskning av föroreningarna noterades redan efter ett år av odling. Det framkom också att avlägsnandet av föroreningar var initialt linjärt men avtog efter några år, med olika tidsramar för olika typer av föroreningar. Sammanfattningsvis drar studien slutsatsen att användningen av *Salix viminalis* är mycket effektiv för fyto Remediering av förorenad industriell jord. (Landberg och Greger 2022)



Figur 17: Visar område med gruvavfall men med planterat Ängsull och Polarull som anammar tekniken fyto Remediering. Foto: Maria Greger, PhytoEnvitech AB.

Konceptet fyto Remediering i sig är bländande i och med att den ger sken av att vara väldigt simpel, när verkligheten är att det är mycket mer komplext än så, det är många faktorer som spelar roll för att fyto Remediering ska lyckas. Det handlar om platsspecifika aspekter som berör pH i marken, kemisk växelverkan på plats, temperatur och årstid och vilka typer av föroreningar som finns platsspecifikt. Framöver krävs respekt för tekniken och dess komplexitet. För en lyckad implementering inom landskapsarkitektur är det absolut nödvändigt att framöver tänka och framförallt agera interdisciplinärt, men att även ha en lång framförhållning kopplat till tekniken.



3.2 GENERELLA STRATEGIER Fyto, Form och Funktion

Buffertzonen

Generellt är kommande designprinciper utvecklade för att motverka den fragmentering som skett och sker i landskapet och ämnar att återkoppla den tappade konnektiviteten, vilket Selman uppmärksammar oss på redan i förstudien (2012). Genom att pedagogiskt synliggöra problematiken med ackumulerade föroreningar på en human skala skapas förhoppningsvis ett mer medvetet synsätt på vår plats i landskapet.

Även om dessa principer är placerade mitt i en föroreningshotspots är tanken att designlösningarna ska verka som en buffertzonen åt människan och andra levande ting i

dess direkta närhet (se figur 18). Utan koncepten så florerar föroreningarna i en human skala oavsett, men med koncepten skapas en buffertzonen som förhoppningsvis kan ta kontroll över en del av ackumulationen och dess vidare spridning och skapar i sin tur en ökad medvetenhet kopplat till den större problematiken.

Tekniska strategier Fytoremediering

Följande avsnitt är framtaget i samarbete med Maria Greger, docent vid Stockholms universitet. Tekniska strategier kopplat till fytoremediering lyfts fram via Marias expertkompetens inom området.

Fritt vatten eller vatten som befinner sig i rörelse är lämpligt att eftersträva kopplat till fytoremediering och dess specifika förmåga att ta upp eller hämma föroreningar. Hastigheten på vattenflödet är också av stor vikt, en lägre hastighet och en högre skrovlighet (vattnets friktion) gynnar upptaget av föroreningar.

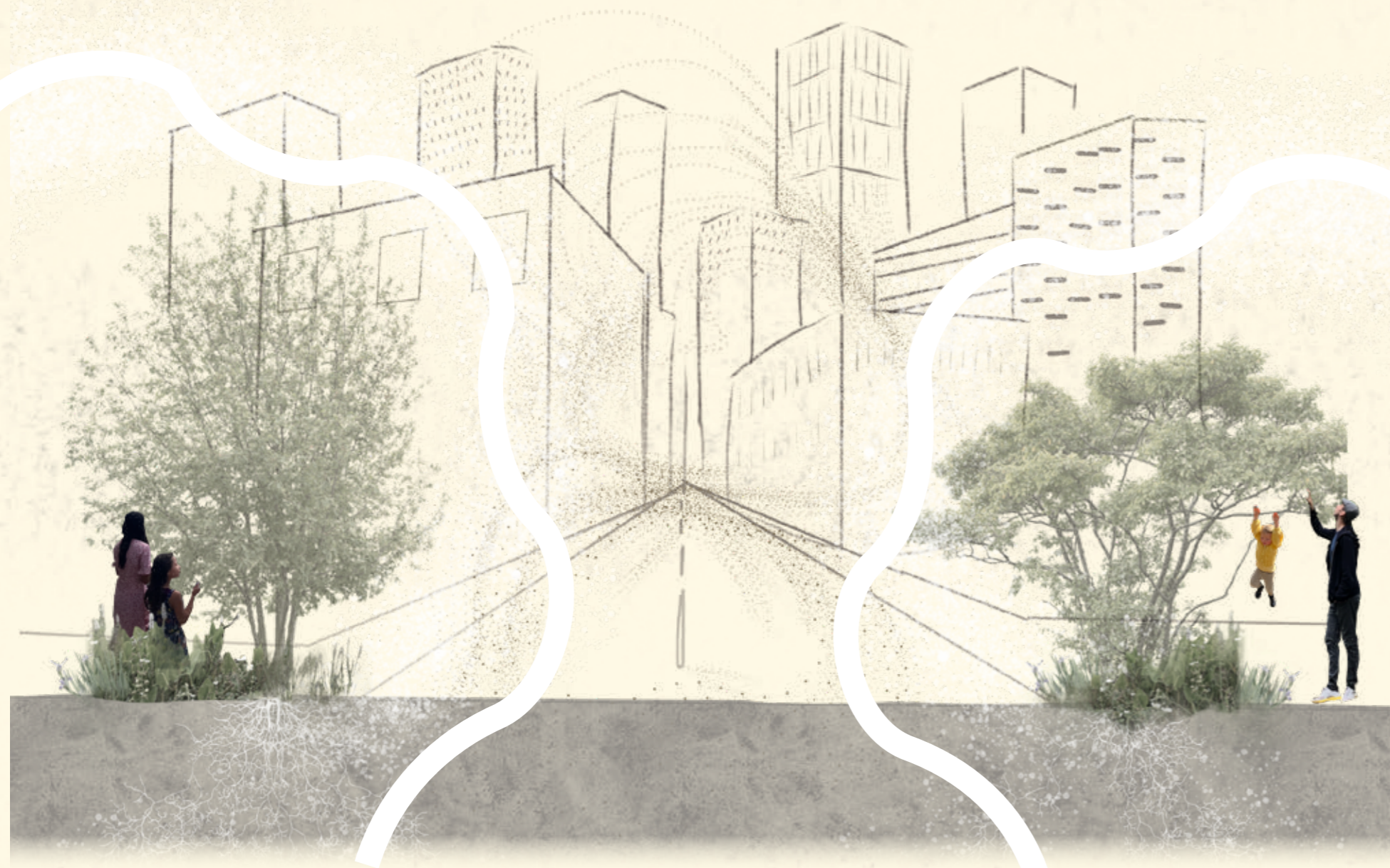
Genom att applicera en långsam strategi för vattenflöde så finns det en större chans för fytoremedierande växter att hinna bearbeta potentiella föroreningar om vattnet rör sig långsamt. Betydande för en effektiv fytoremediering innebär även att ytor med en permanent vattenspiegel bör prioriteras. Sedimentering är en annan strategi för att ytterligare minska föroreningar i omlopp, vilket likaså gynnas av ovan nämnda strategier.

Växter med en stor bladmassa tar mer effektivt upp föroreningar i partikelform. Växter med barr som har ett vaxskikt är väldigt effektiva på att fysiologiskt fånga upp partiklar i dess vaxskikt.

Specifikt växtval är strikt beroende av platsspecifika provtagningar, kopplat till jordstatus, pH-nivå, och närvarande föroreningar.

Det läggs en stor betoning på att växtvalet är väldigt specifikt, ner till att det är rätt klon av exempelvis *Salix*. För att få till en fungerande fytoremediering, är växtvalet av största vikt. För att finna rätt växt behövs det provtagningar och sedan spetskompetens för att ta fram rätt växtval. Rätt växt på rätt plats har aldrig resonerat högre. Växtvalet är beroende av interdisciplinärt arbete som är förankrat och i balans med forskningsrön. Provtagningar som sedan utvärderas i ett laboratorium för att sedan ta fram rätt växt är av yttersta vikt för att få till en fungerande fytoremediering.

Även om växtvalet är strikt platsspecifikt och behöver provtagningar för att ta fram rätt växtmaterial, så finns det en möjlighet att skapa rätt förutsättningar för tekniken fytoremediering. Designprinciperna härrör därför till att skapa rätt förutsättningar och agerar som plattformar för tekniken fytoremediering, även om själva växtvalet är något som bortfaller inom ramen för detta arbete.



Figur 18: De vita vågade linjerna visar buffertzonen i relation till designprinciperna med eventuella fytoremedierande växter och föroreningar som florerar i illustrationens mitt.

Sammanfattning tekniska strategier

Tekniska strategier för fyto kopplat till vatten och dagvatten

- Fritt vatten är att föredra kopplat till att hämma eller att ta upp föroreningar.
- Vatten som befinner sig i rörelse är även prioriterat.
- Låg hastighet innebär att växtmaterialet har en högre chans att hämma eller ta upp föroreningen.
- Hög skrovlighet (exempelvis vegetation) bidrar till att sänka hastigheten på vattnet med bidrar också till sedimentering.

Aktuella fytostrategier för designprinciperna:

Fytostrategier som är applicerbara kopplat till fritt vatten är prioriterade, eftersom dessa verkar vara de mest effektiva i att hämma eller avlägsna föroreningar. Därför har dessa tre fytostrategier valts ut för att arbeta vidare med i arbetets designprinciper.

- Fytohydraulik: Växten drar till sig föroreningen och håller den på plats
- Fytostabilisering: Växten inkapslar föroreningen och håller den på plats
- Rhizofiltration: Föroreningar filtreras från vatten av rötterna

Efter en genomgång av tekniken fyto Remediering och tekniska strategier påkopplat så kommer kapitlet framöver att analysera de två identifierade "hotspotsen" i Stockholms kommun och introducerar därefter arbetets två designprinciper.

De två olika designprinciperna representerar två olika karaktärer och två olika huvudfokus. Den första designprincipen har en betoning på dess funktionalitet och dess behov av att fungera effektivt kopplat till en hög föroreningskoncentration. Den andra designprincipen har en betoning på dess form och med en högre ambition kopplat till att medvetandegörande en föroreningackumulation i ett befolkningstätt område.

Idén är att visa på två olika typer av karaktärer på designprinciper, och ge ett spann till eventuella plattformar för tekniken fyto Remediering. Båda designprinciperna har starka argument för att kunna fungera som plattformar för tekniken fyto Remediering men samtidigt går de att vinkla utefter sammanhang.

3.3 HOTSPOT 1. Platsanalys



Hotspot 1 befinner sig geografiskt i norra delen av kommunen Stockholm och i relation till tätorten Tensta. Europaväg 18 (E18) skär igenom området

I stadsvävskalet ser vi tydligare relationen mellan urbana värmeöar och utsläpp av PM10 i relation till E18. Området gränsar till ett tätbefolkat och utsatt område i söder, Tensta.

Norr om E18 ligger Järva begravningsplats och till nordöst ligger en kolonilottsområde, nedströms från E18. Till väst markerat i rött ser vi Förbifart Stockholm anläggas, i anslutning till detta område är Förbifart Stockholm ovan mark.



Figur 19: Arbetet befinner sig i en stadsvävskalet.



Figur 20: Visar E18 och utsläpp av PM10 och urbana värmeöar.



Figur 21: Visar Förbifart Stockholm ovan mark (markerat i rött), Järva begravningsplats (brunt), kolonilottsområdet i norr (gult) och befolkningstäta Tensta till söder.

Detta område är, enligt arbetet, ett högt prioriterat område kopplat till föroreningar i kombination med dess befolkningstäthet. Efter platsbesöket upptäcktes flera intressanta aspekter som är värda att inkludera i analysen kopplat till föroreningar.

Förbifart Stockholm löper precis intill området, och precis vid det redan utsatta området så löper förbifart Stockholm ovan mark, precis här. Leden kommer att vara tungt trafikerad och det går att spekulera i dess utsläpp av partikelmaterial (PM), vilket troligen kommer vara högt.

Dess placering jämte en begravningsplats ökar betydelsen av att hämma effekten av föroreningar, det är och kommer vara en betydelsefull plats för många.

Kolonilottsområdet som ligger direkt i anslutning till E18 används troligen för ätbara grödor. Här bör fokus vara på att hämma föroreningar effektivt lokalt vid E18 för att förhindra att föroreningar sprids vidare till ätbara grödor via dagvatten.

Arbetet positionerar sig i en human skala och gör en ansats till att skapa en designprincip som efter en platsanalys har en hög ambition av att vara effektiv på att hämma föroreningar i området nära den direkta källan, vilket är E18 i kombination med urbana värmeöar. Kartläggningen visar att ackumuleringen av föroreningar är hög på just denna plats därför prioriteras effektivitet över möjligt rekreativvärde och högt medvetandegörande eftersom designprincipen kommer att behöva vara placerad nära vägen. Den humana skalan som hänger sig åt arbetets syfte med friskare framtida städer motiverar att den specifika platsen eftersom den är placerad jämte ett socioekonomiskt utsatt område med hög befolkningstäthet. Ur ett socialt hållbarhetsperspektiv kan en sådan plats behöva åtgärder som minskar en ökande och ackumulerande föroreningsproblematik.



Ytlig avrinning ansamlas i lågpunkt i närheten av E18. Vilket visar ett behov av proaktiv dagvattenhantering i området, eftersom dagvattnet samlas i områdets lågpunkter och föroreningar sprids på detta viset vidare via dagvattnet.

Lokalt material som återfinns på Järva begravningsplats i form av cortenstål. Den böljande formen tas upp i den kommande designprincipen för området.

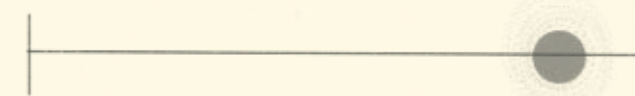


E18 och dess placering på en höjd i den urbana väven jämte ett tätbefolkat område.

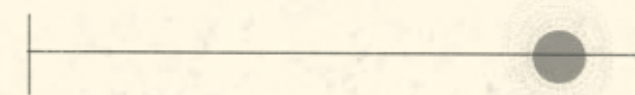
Under E18 där ytlig avrinning släpps ut direkt i anslutning till ett kolonilottsområde nedströms. Eftersom kolonilottsområdet ligger nedströms från vägen så finns det en stor risk att dagvattnet för med sig föroreningar vidare till kolonilottsområdet. Där det med största sannolikhet odlas ätbara grödor, vilket inte är en bra kombination med eventuella höga koncentrationer av tungmetaller som dagvattnet potentiellt kan föra med sig.



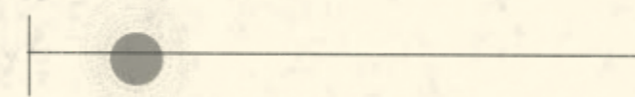
Akkumulation - Föroreningsgrad



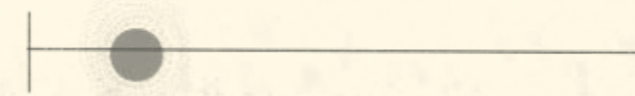
Effektivitet



Rekreativvärde

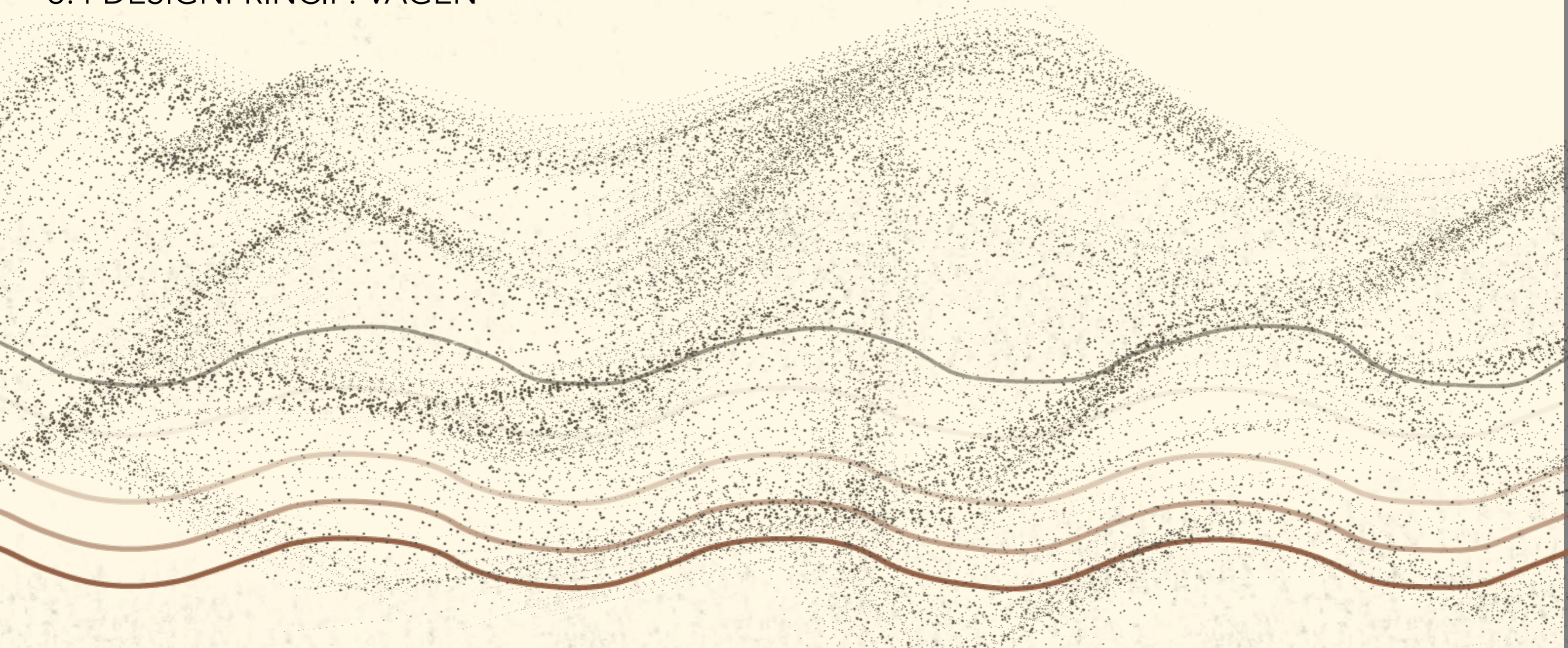


Medvetandegörande



Figur 22: Arbetet befinner sig i en human skala.

3.4 DESIGNPRINCIP: VÅGEN



Under arbetets gång har föroreningar varit svårbegripliga, de metamorfoserar, de byter plats, de ackumuleras, de är svårhanterliga och svåra att bokstavligen greppa även om de finns i vår närhet konstant.

Föroreningar har kommit att visualiseras för författaren som något abstrakt och svårfångat - **en våg**. En våg av partiklar som på eget bevåg rör sig genom landskapet och ansamlas i dess sprickor, dalar, lågpunkter och i den sociala dimensionen. Detta har inspirerat designprincipen *Vågen*.

Vågen Perspektiv



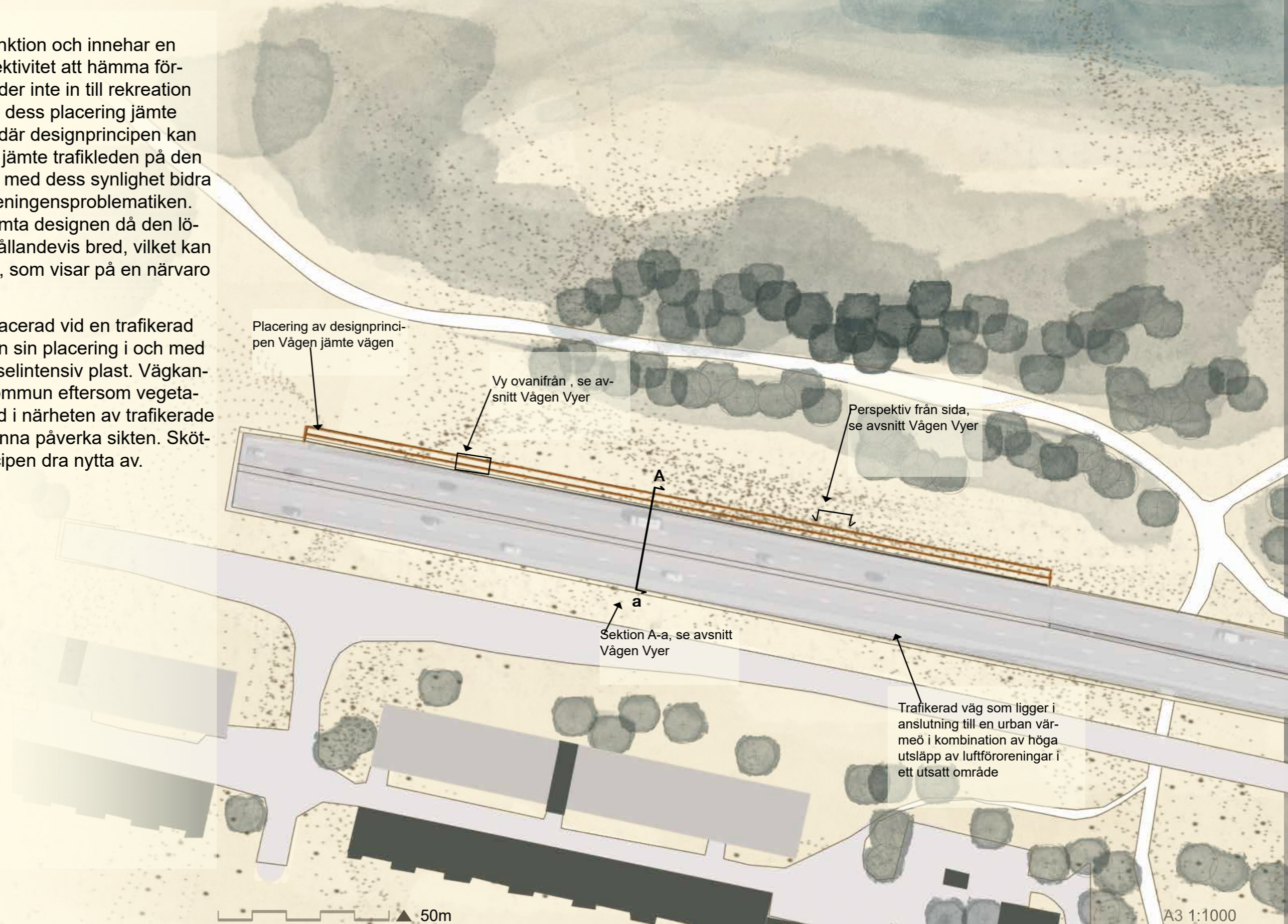
Vågen löper längs med vägens egna linjer och har en hög ambition om att lokalt och nära källan kunna fånga upp föroreningar. Med utrymme för framtida fytoremedierande växtval medvetandegör designprincipen också de vågor av föroreningar som florerar i närheten av högt trafikerade vägar i kombination med urbana värmeöar.

Vågen Plan

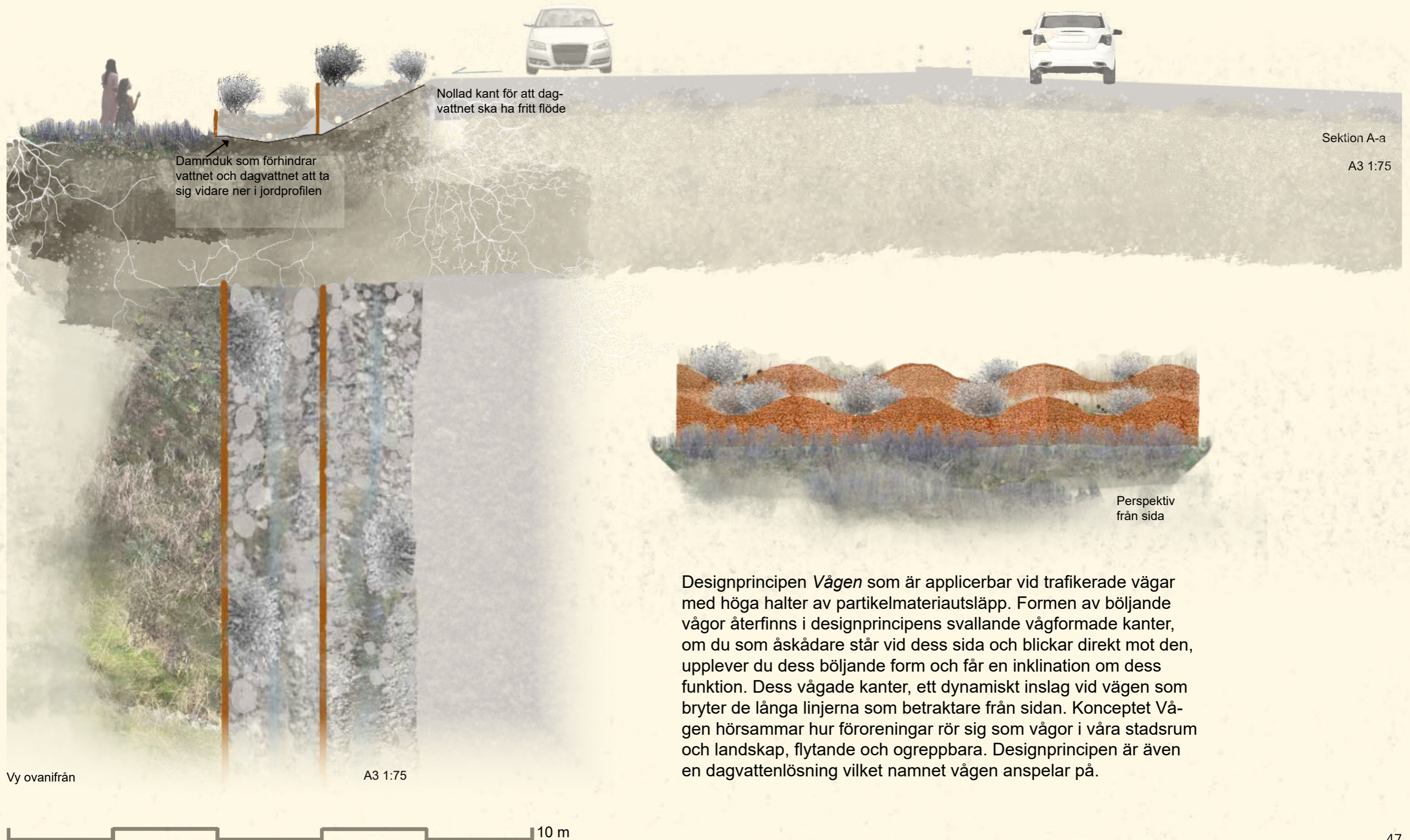
Vågen vid vägen

Principen har fokus på dess funktion och innehar en ambition kopplat till en hög effektivitet att hämma föroreningar. Designprincipen bjuder inte in till rekreation i dess direkta närhet i och med dess placering jämte en trafikerad trafikled. Platsen där designprincipen kan placeras är beläget på en höjd jämte trafikleden på den specifika platsen och kan i och med dess synlighet bidra med en ökad förståelse för föreningens problematiken. Som bilist är det möjligt att skymta designen då den löper längs med E18 och är förhållandevis bred, vilket kan ge ett visst rekreationellt värde, som visar på en närvaro i området.

Eftersom designprincipen är placerad vid en trafikerad väg så utnyttjar designprincipen sin placering i och med att den är placerad vid en skötselintensiv plast. Vägkanter sköts kontinuerligt av sin kommun eftersom vegetation ej får överstiga en viss höjd i närheten av trafikerade vägar, eftersom detta skulle kunna påverka sikten. Skötselintensiteten kan designprincipen dra nytta av.

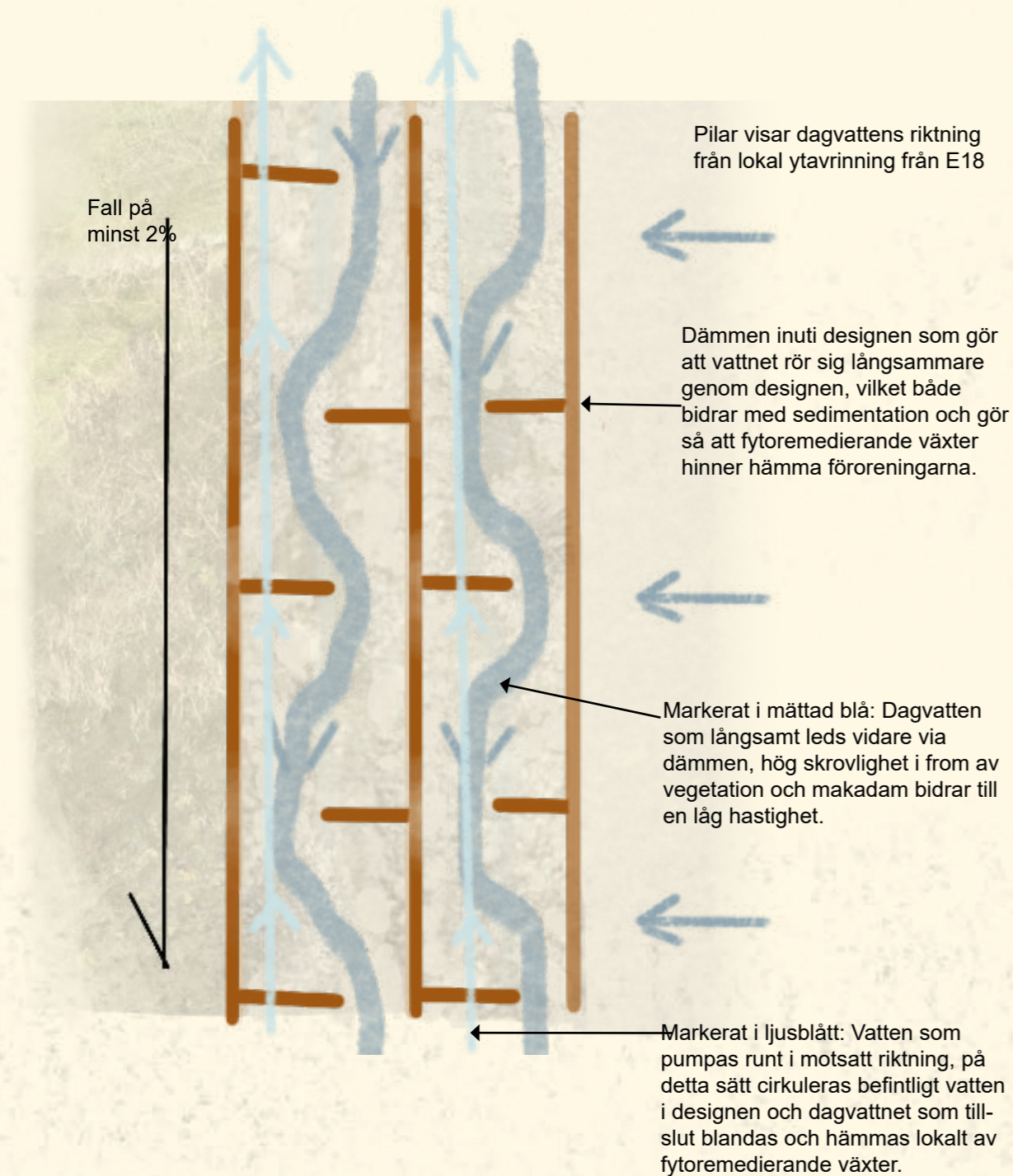


Vågen Vyer



Designprincipen *Vågen* som är applicerbar vid trafikerade vägar med höga halter av partikelmaterialutsläpp. Formen av böljande vågor återfinns i designprincipens svallande vågformade kanter, om du som åskådare står vid dess sida och blickar direkt mot den, upplever du dess böljande form och får en inklinering om dess funktion. Dess vågade kanter, ett dynamiskt inslag vid vägen som bryter de långa linjerna som betraktare från sidan. Konceptet *Vågen* hör samman hur föroreningar rör sig som vågor i våra stadsrum och landskap, flytande och ogreppbara. Designprincipen är även en dagvattenlösning vilket namnet *vågen* anspelar på.

Vågen Vatten och Dagvatten strategi



Vågen har en betoning på effektivitet kopplat till en hög föroreningskoncentration i området. Viktiga tekniska strategier kopplat till dagvattenhantering och fyto Remediering används därför i designprincipen.

Illustrationerna visar hur dagvattnet rör sig i designprincipen. Ovanifrån syns hur dämmen saktar upp hastigheten på dagvattnet och hur vattnet pumpas runt i designprincipen för att föroreningarna ska kunna hämmas på plats. Den nedre illustrationen visar även hur dagvattnet rör sig vidare till nästa avsats i designprincipen.

I likhet med refererade studier och data som presenterats i förstudien, så uppskattar *Svenskt vatten* även föroreningsgraden i dagvatten i relation till trafikleder som *Måttligt - Höga*. Betoningen är att det är lokalt som dagvatten ska tas om hand kopplat till föroreningar. (2011: 23)

“Tidigt i avrinningssystemet ska man utnyttja de möjligheter som finns att ta hand om dagvattnet nära “källan.” (Svenskt vatten 2011: 23)

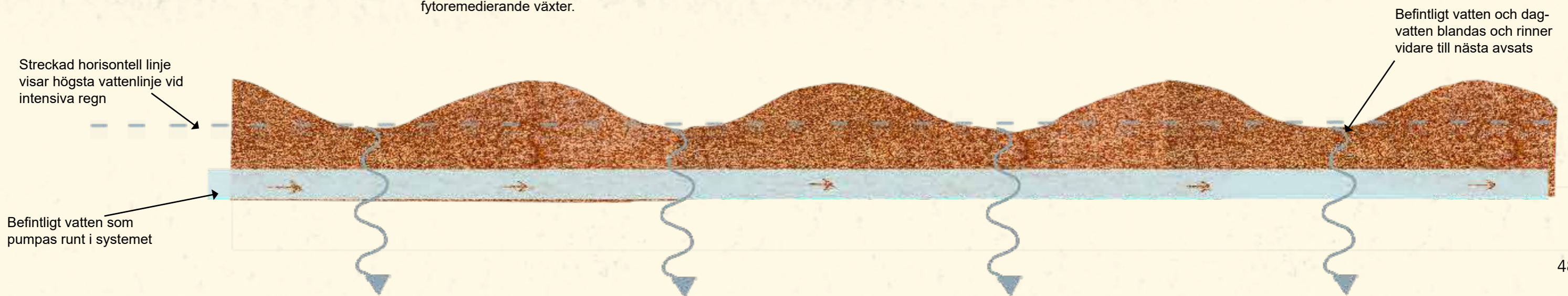
Utöver att designprincipen agerar som en dagvattenlösning så erbjuder lösningen en plattform för fyto Remedierande växtval. Som utöver synlig-

görandet av en föroreningsproblematik i en human skala även bidrar med en större effektivitet kopplat till att hämma föroreningar.

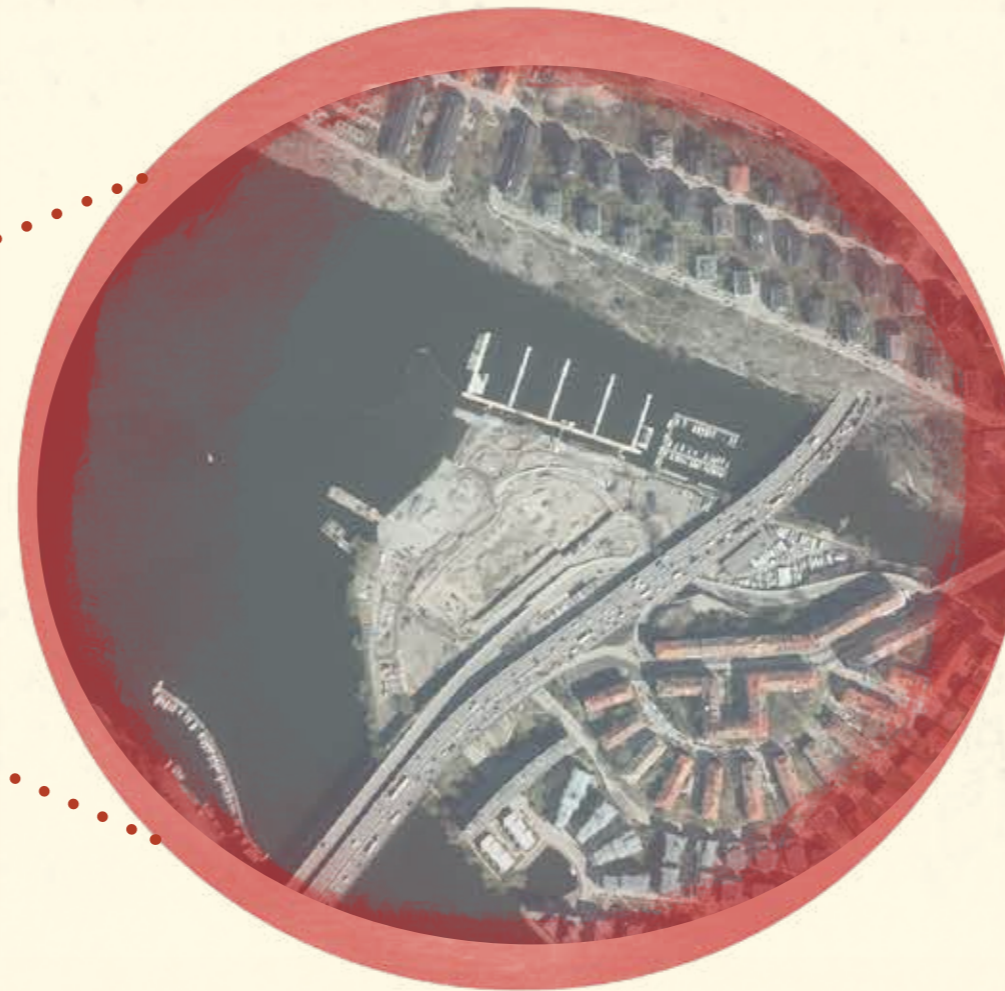
Eftersom principen vill hörsamma effektiva tekniska strategier kopplat till fyto Remediering kommer ca 50% av den tillgängliga volymen i designprincipen vara fyllt av fritt vatten, som pumpas runt med pumpar. För att se till att vattnet befinner sig i rörelse, undvika algbildning och syresätta vattnet.

Den resterande tillgängliga volymen lämnas tom för att bereda plats åt dagvatten vid intensiva regn som i sin tur för med sig partikelföroreningar från E18 vidare ner i designprincipen.

Designprincipen är även utformat som ett fördröjningsmagasin åt dagvatten via lokal ytavrinning från vägen. Där det leds vidare ner i designprincipen, föroreningar kan på detta vis sedimenteras och, via fyto Remedierande växtval, så hålls föroreningarna kvar i designprincipen. Därmed så tas kontroll av förorenat dagvatten och hindrar dess vidare spridning till recipient och agerar på det viset som en buffer åt människorna i dess närhet.



3.5 HOTSPOT 2. Platsanalys



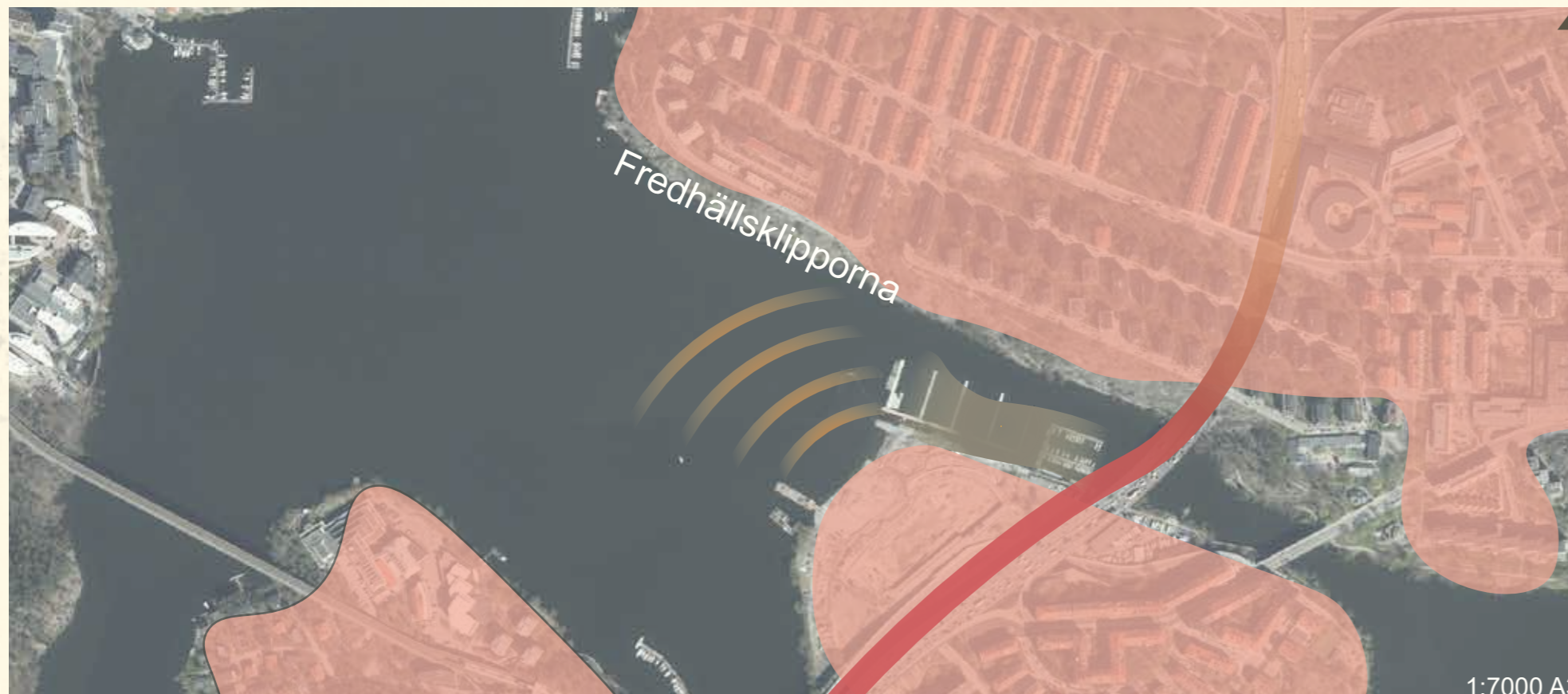
Hotspot 2 befinner sig geografiskt i centrala delen av kommunen Stockholm och i relation till Kungsholmen och Stora Essingen, Essingeleden skär igenom området.

I stadsvävskalan ser vi tydligare hur tätbefolkat området är och utsläpp av PM10 i relation till Essingeleden.

Efter platsbesöket upptäcktes flera intressanta aspekter som är värda att inkludera i analysen kopplat till föroreningar. Eftersom författaren har varit bosatt i närheten av området i flera år, är Fredhällsklipporna ett otroligt välbesökt område. Speciellt under sommarhalvåret då många söker sig till plasten för att bada från klipporna.

Det finns en båthamn till söder om fredshällsklipporna, båthamnar är generellt inte förenliga med friska miljöer, det sker utsläpp kontinuerligt från dessa platser.

Till söder om Fredhällsklipporna finns ett exploateringsområde, där nya bostäder byggs. i och med fler hårdjorda ytor kommer detta påverka kvaliteten på ytavrinningen.



Figur 23: Visar Fredhällsklipporna, befolkningstäthet, exploateringsområdet (orange vågor markerar möjlig vidare spridning av föroreningar från exploateringsområdet), båthamnen (markerat i brunt) och Essingeleden med utsläpp av PM10



Figur 24: Arbetet befinner sig i en stadsvävskala.



Vy över Fredhällsklipporna och båthamnen.



Preussiskt blå bänk vid Fredhällsklipporna

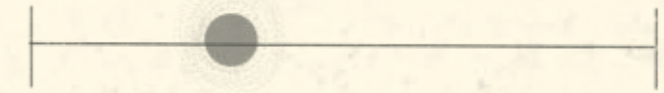
Den allra främsta inverkan på dagvattnets kvalitet är: markanvändning, trafikdensitet och byggnadsmaterial. Byggaktiviteter utgör generellt en betydande källa till partiklar i dagvatten. Studier har visat att partikelbelastningen i dagvatten är som högst under den period då ett område genomgår urbanisering, vilket huvudsakligen inträffar under konstruktionstiden (Viklander et al. 2019: 14).

Området befinner sig i ett tätbefolkat område som är oerhört välbesökt. Detta motiverar en designprincip med ett högt rekreativsvärde och ett medvetandegörande av föroreningsproblematiken kopplat till plasten. Eftersom området bedöms som en hotspot av föroreningar kopplat till utsläpp av partikelmateria, dock inte direkt vid källan, motiverar en viss grad av effektivitet.

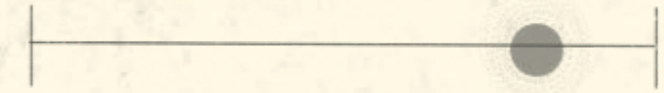
Akkumulation - Föroreningsgrad



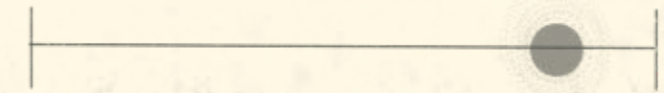
Effektivitet



Rekreativsvärde



Medvetandegörande



Bad-betonad skylt



Det nya exploateringsområdet vid kusten växer fram söder om Fredhällsklipporna.



Ritat med krita i en skreva invid Fredhällsklipporna, okänd konstnär.



Figur 25: Arbetet befinner sig i en human skala.



3.6 DESIGNPRINCIP: PARTIKELPONTONEN

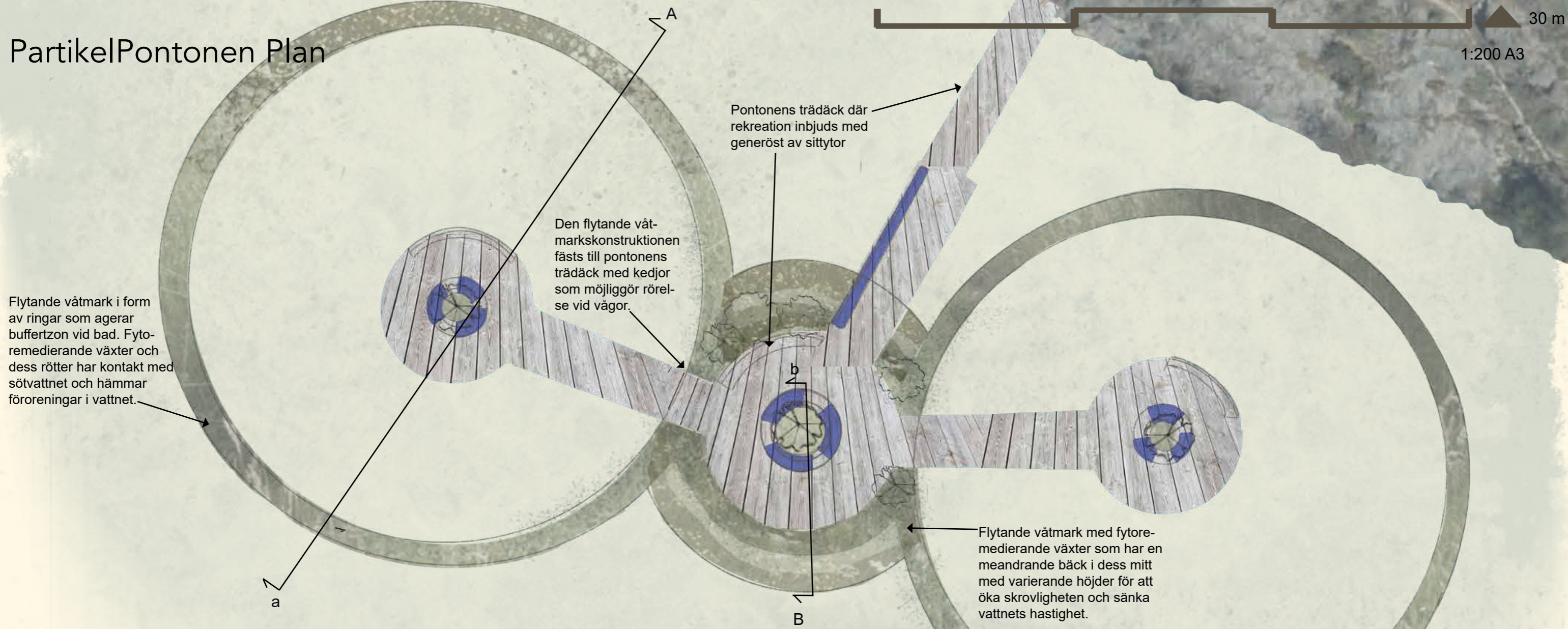


Den flytande skalan har varit central i arbetet och under förstudien rör sig teorin mellan alla skalor från landskapet till den lilla lilla partikeln. Landskapsskalan har varit väsentlig för att identifiera hotspots i landskapet under kartläggningen medan den urbana och humana skalan har varit aktuell kopplat till designprinciperna.

Den lilla lilla partikeln är på något sätt den stora katalysatorn för en global problematik kopplat till föroreningar. Partikeln har följt med under arbetet och symboliseras som en svävande eller flytande nod. Dess runda form med viktiga noder utgör inspirationen till designprincipen *PartikelPontonen*.

PartikelPontonen Plan

30 m
1:200 A3



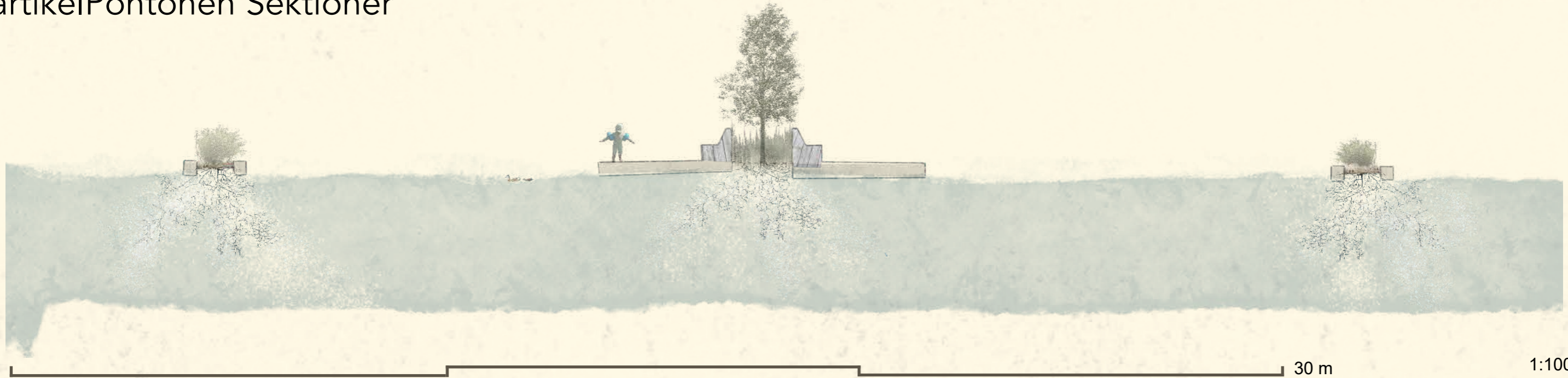
Figur 26: Visar placeringen av PartikelPontonen

PartikelPontonen har noder med energi, vid dessa noder välkomnas rekreation. Dessa delar är tillgängliga för människan och vissa delar är otillgängliga för mänsklig närvaro. Denna uppdelning markeras med olika materialval. Trädäcket inbjuder mänsklig närvaro och de delar som är beklädda med fyto-remedierande växter bjuder inte in till direkt mänsklig närvaro, detta eftersom växtvalet har en extremt stor betydelse och är svårutbytt och slitage bör därför undvikas. De växtbeklädda delarna erbjuder även djurlivet en fristad, vilket gynnar hållbarhetsdiskursen kopplat till ekologi.

Dess positionering på vatten inbjuder till bad under sommarhalvåret och erbjuder nya vyer året runt. Färgen preussiskt blå plockas upp från den bänk som finns på området idag. Preussiskt blått har en intressant historia som både har med cyanid att göra i dess framställning, men även att färgen används som motgift vid tungmetallförgiftning, vilket gör att färgen i sammanhanget blir desto mer intressant.

Med tekniken fyto-remediering är tanken att PartikelPontonen ska agera som en buffer för människan, framförallt vid badaktiviteter men även en pedagogisk ide om att medvetandegöra föreningsproblematiken för besökaren eller för de som passerar PartikelPontonen via fordon från Essingeleden som löper till öst om området. Ovanifrån syns det preussiskt blå mönstret som i och med dess design påminner oss om badringar men kanske också påminner om ett universellt varningstecken. Designprincipen är placerat mitt i en hotspot av föroreningar kopplade till Essingeleden, den är inte placerad direkt vid källan men agerar som en buffert åt det mänskliga liv som finns på platsen via fyto, form och funktion.

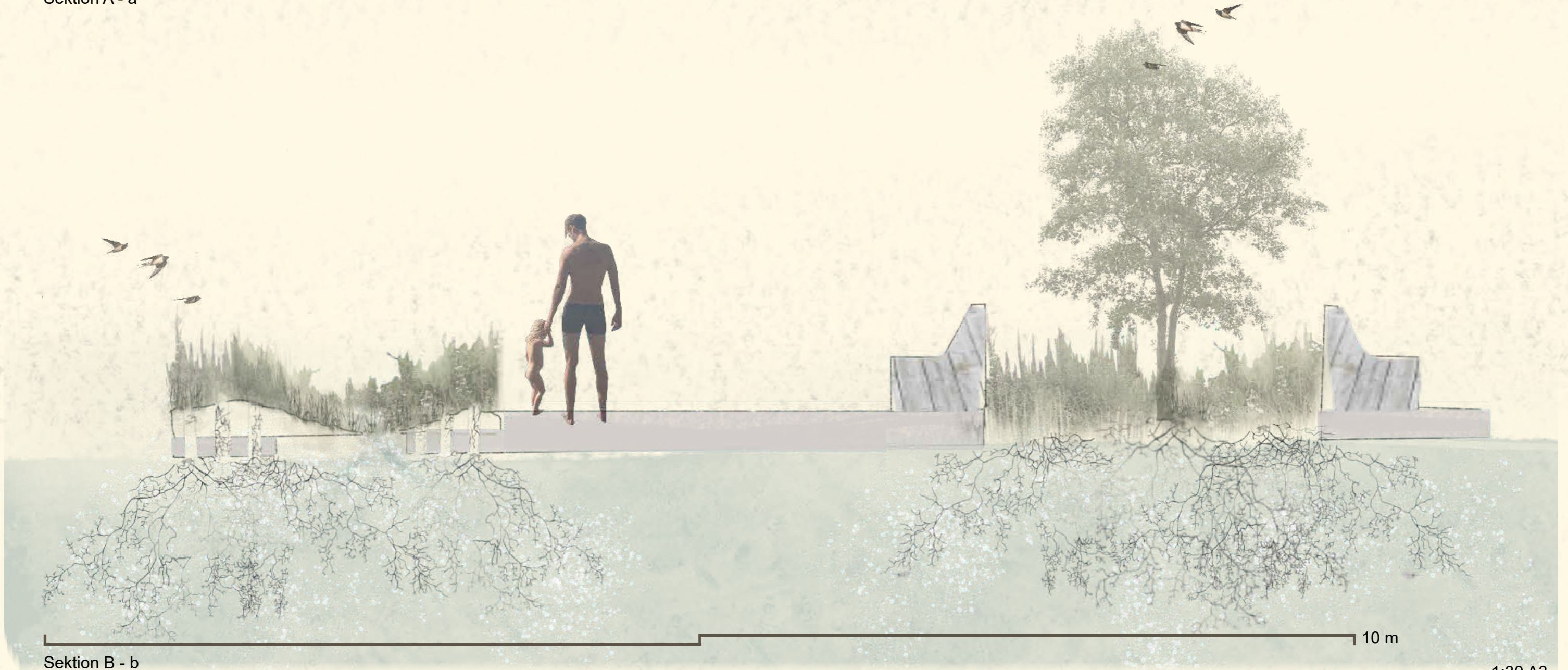
PartikelPontonen Sektioner



Sektion A - a

30 m

1:100 A3

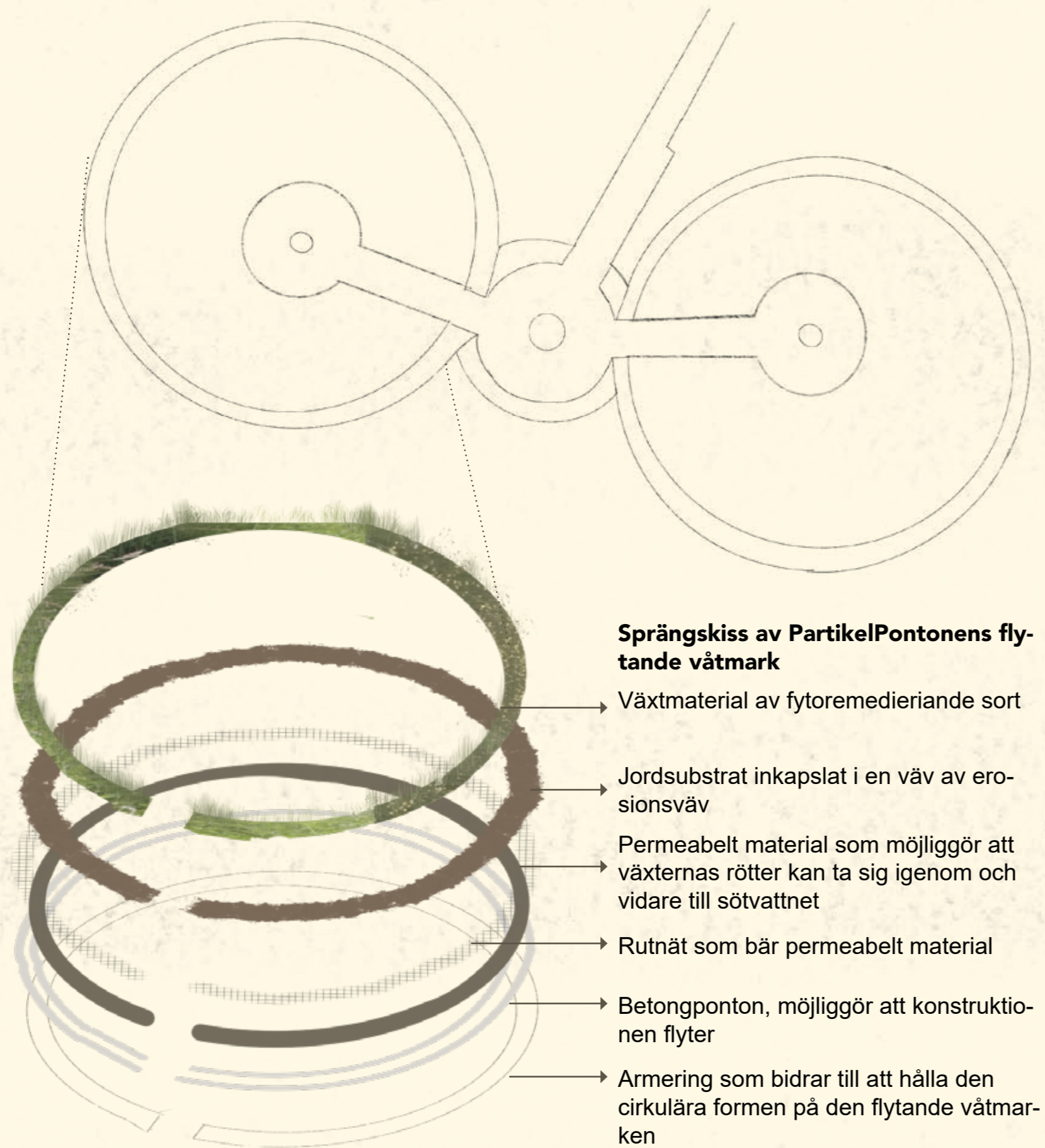


Sektion B - b

10 m

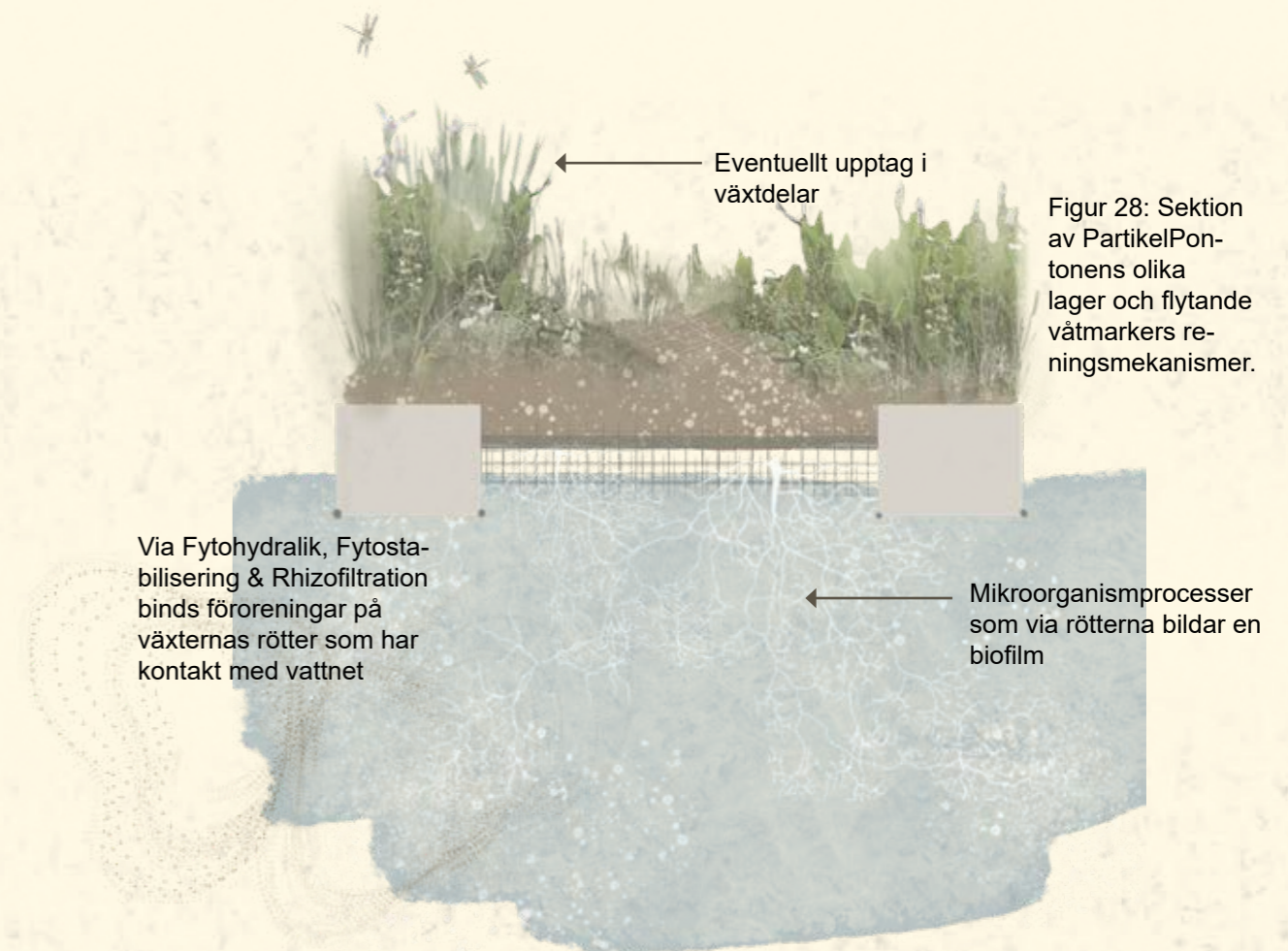
1:30 A3

PartikelPontonen Flytande våtmark strategi



Figur 27: Sprängskiss av olika material för PartikelPontonens olika material lager

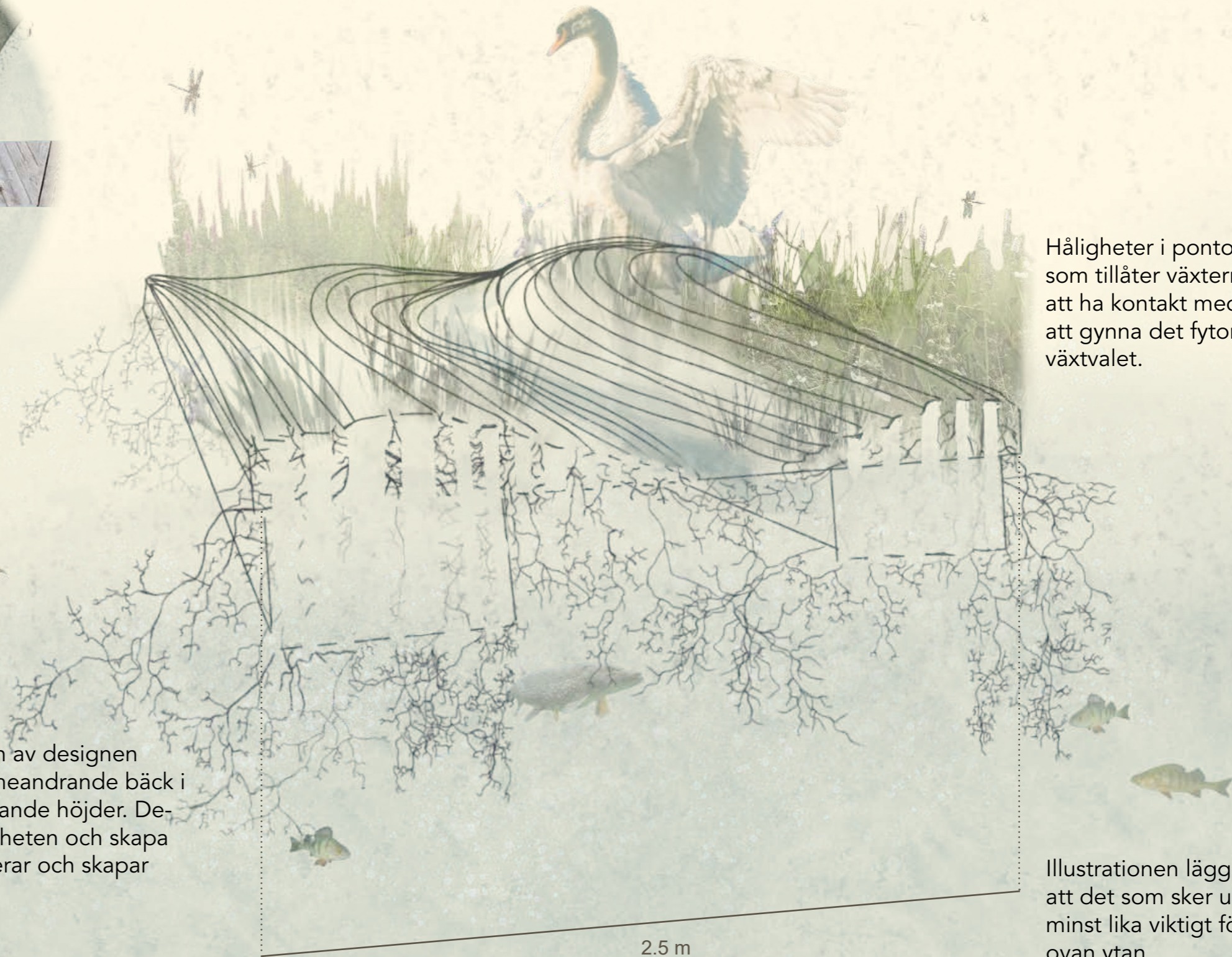
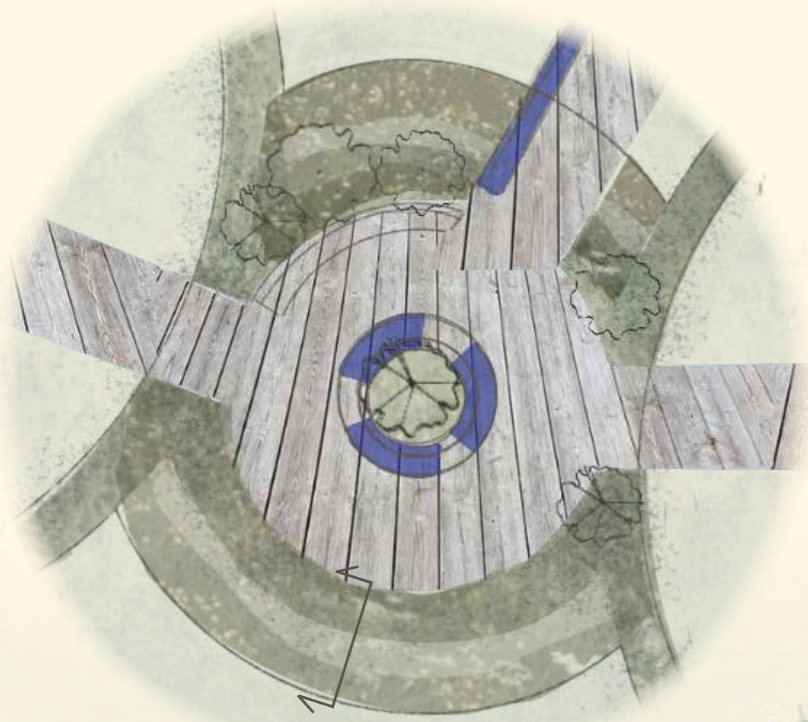
Flytande våtmarkers strategier för rening



Figur 28: Sektion av PartikelPontonens olika lager och flytande våtmarkers reningssmekanismer.

Fyto Remedierande växters förmåga att hämma, ackumulera eller stabilisera föroreningar skiljer sig mellan olika arter och sorter. Därför är det av betydande vikt att göra provtagningar på platsen för att utröna vilka föroreningar som florerar i vattnet för att sedan ta fram rätt växtmaterial till PartikelPontonens flytande våtmark.

PartikelPontonen Perspektiv



Håligheter i pontonens design som tillåter växternas rotsystem att ha kontakt med vattnet för att gynna det fyto Remedierande växtvalet.

Den centrala växtbäddade delen av designen efterliknar en våtmark, med en meandrande bäck i dess mitt, ojämnheter och varierande höjder. Designen bidrar till att sänka hastigheten och skapa mer friktion åt vattnet som passerar och skapar därutöver mikrohabitat.

Illustrationen lägger betoning på att det som sker under ytan är minst lika viktigt för det som sker ovan ytan.

2.5 m

4

DISKUSSION

I detta kapitel diskuteras de resultat som framkommit under arbetet och belyser även de utmaningar och möjligheter som framkommit under processen baserat på arbetets frågeställningar:

Hur kan fyto Remediering integreras i landskapsarkitektur som en del av en multifunktionell /naturbaserad lösning och resilient strategi? Vad finns det för utmaningar och möjligheter?

Vart i stadsväven och dess utkanter sker en frekvent ackumulering av föroreningar? Vart sker en sådan ackumulering i kommunen Stockholm?

Kopplat till ackumuleringen av föroreningar i stadsväven: Hur kan en designprinciplösning se ut i relation till dess placering i kommunen Stockholm?

Syftet med diskussionsdelen är att besvara arbetets frågeställningar för att arbetet ska kunna landa i en eller flera slutsatser.

4.1 REFLEKTIONER

Problematik som katalysator

Diskussionen tar sin början i arbetets bakgrund, själva katalysatorn för arbetet som grundar sig i en problematik, en problematik som berör en ackumulerande föroreningsgrad i stadsväven. Arbetet har grott och utvecklats utifrån en samhällsrotad problematik, det inverterade angreppssättet är hämtat från teoretikern Way (2021). Detta i kombination med att ha ett abduktivt förhållningssätt i metoden har visat sig vara en förutsättning, eftersom när en låter problematiken föra arbetet framåt är det viktigt att kunna vara flexibel och beredd att byta riktning många gånger kopplat till de fynd du gör på vägen. Det är även väsentligt att släppa på tidiga idéer som sedan skrotas eller byter riktning under arbetets gilla gång. Det är en del av processen, har varit ett mantra som följt med kontinuerligt.

En stor del av utmaningen att börja i en problematik kopplat till föroreningar är att dessa är komplexa att spåra och att kartlägga. Ämnet är även understuderat, framförallt kopplat till hur de metamorfoserar och transformeras utifrån dess omgivning. Det finns även glapp i forskningen kopplat till metoder att mäta vissa typer av föroreningar. Sarica et al. (2023) upplyser läsaren, i sin studie kopplat till föroreningar och asfalt, kring komplexiteten att separera en förorening från en annan och hur metamorfosen kopplat till höga temperaturer förstärker komplexiteten och att det idag inte finns tillräckliga instrument för att mäta dessa.

Författaren vill vara transparent kring att arbetet gör en ansats till att försöka förstå föroreningar. Avsnittet 1.2 *FRAGMENTATION Att försöka förstå föroreningar* har därför ett generellt angreppssätt kopplat till föroreningar eftersom när en väl börjar gräva inom området så går det att komma riktigt djup, det är därför lätt att fastna i dessa kunskapshål.

Därför har arbetet valt att begränsa sig till ett generellt angreppssätt kopplat till föroreningar, vilket även innebär att det är väldigt brett och spretigt, vilket i sin tur påverkar kartläggningen. För att få en kvalitativ kartläggning så bör kanske den avgränsa sig till exempelvis en typ av förorening, exempelvis en viss typ av tungmetall eller miljöförorening i form av urbana värmeöar. Men återigen så blir det komplext eftersom dessa flyter in i varandra emellanåt, en förorening kommer sällan ensam, dessutom har de ofta en synergisk verkan, vilket gör att det även är komplext att hitta en passande avgränsning till ämnet.

Medvetandegörande och Toxic beauty

Bara för att något är komplex är detta inte synonymt med att vi bör undvika en problematik helt och hållet, utan snarare dyka huvudstupa ner och hoppas komma upp levande på andra sidan - vilket egentligen beskriver detta arbetets process. Poängen här är att det finns ett stort värde i att belysa föroreningsproblematiken för att medvetandegöra dess existens som faktiskt har en indirekt eller direkt effekt på vår hälsa. Bara för att föroreningar inte alltid syns eller att dess ackumulation sker långt borta i exempelvis Östersjön gör att problematiken känns ogripbar, distanserad och abstrakt när den i själva verket också finns påtagligt nära.

Begreppet "*toxic beauty*" som är hämtat från Bargmann (2008). Hennes nisch är att aktivera historiska miljöskulder i USA, genom att försöka skapa skönhet på dessa platser som är extremt förorenade. Bargmann betonar att det är medvetandegörandet som är det viktiga. I likhet med Bergman så vill detta arbete också placera sig i ett område som skaver och hitta skönhet och hitta sätt att medvetandegöra en aktuell problematik, dock är detta arbete fokuserat på en ackumulerande föroreningsproblematik och inte historiska miljöskulder, men tillika härrör konceptet i grunden från Bargmann.

Fragmentering - skalan, metabolismen och social hållbarhet

Den flytande skalan som arbetet hänger sig åt, som är hämtat från Mostafavi (2013) som i sin tur har kopplat detta till urban ekologi. Den flytande skalan har varit absolut nödvändig för arbetets kontext, eftersom det är helt väsentligt att förstå hur föroreningar existerar i den stora skalan men samtidigt i den lilla lilla partikeln. Föroreningar existerar i alla skalor, men på olika sätt och i olika intensitet. Salman (2012) beskriver hur landskapet är fragmenterat med brutna sammanband, som både berör hydrologiska flöden, ekologisk samverkan och sociala strukturer. Där störda cykler indirekt bidrar till en större ackumulation av föroreningar.

Föroreningar finns med överallt i varje steg, från utsläpp vid transporter, till PFAS som finns i din linsvätska, de letar sig in i varje skrymsle och vrå. Det är lätt att fastna i teknikaliteter när en argumenterar om problematiken kopplat till föroreningar. Kopplat till urban metabolism belyser Gandy (2004) en viktig aspekt som berör vatten och ojämlikhet. Där han lyfter hur lätt det är att fastna i att prata om själva tekniken kopplat till vatteninfrastruktur och föroreningar och missar därför det faktum att vatteninfrastruktur och kvaliteten på vatten faktiskt också är kopplat till sociala dimensioner inom samhället. Detta argument sätter på något sätt fingret på vilken riktning detta arbete hade kunnat ta. Ur ett metaperspektiv så hade arbetet mycket väl kunnat fastna i att belysa och diskutera teknikaliteter kopplat till tekniken fytoremediering och valt att analysera enbart tekniska aspekter vid kartöverläggen kopplat till den typiska landskapsskalan, som topografi, hydrologi, geologi, landtäckte osv.

Även om kartläggningen i denna studie inte ger ett entydigt resultat som kopplar socialt utsatta områden i Stockholm till högre föroreningshalter, finns det omfattande forskning som indikerar att en sådan koppling ofta förekommer i urbana miljöer. Flera globala studier (Elford

& Adams, 2021; García-Burgos et al., 2022; Hölzl et al., 2021; Fairburn et al., 2019) visar att socioekonomiskt svagare grupper tenderar att bo i områden med högre exponering för luft- och markföroreningar. Studier från Kanada, Mexiko, Tyskland och Europa har visat att dessa områden ofta saknar grönområden av hög kvalitet och är belägna i närheten av starkt trafikerade vägar eller industriella verksamheter, vilket ökar invånarnas hälsorisker.

Den bild som framträder i kartläggning och dess analys är att föroreningshotspots i Stockholm sammanfaller med områden med en hög koncentration av luftföroreningar och tätbebyggda miljöer. Samtidigt finns socialt utsatta områden i både förorenade och mindre förorenade delar av staden, vilket gör att sambandet inte är entydigt utifrån denna kartläggning

Flera faktorer kan dock bidra till en sådan koppling i en bredare kontext. Trafikleder och industriområden, som ofta är källor till luftföroreningar, är i många fall belägna nära bostadsområden med lägre markvärde och socioekonomisk status. Dessutom kan stadsplaneringens historiska utveckling ha lett till att dessa områden har färre grönområden, vilket minskar de naturliga barriärerna mot föroreningar och försämrar luftkvaliteten lokalt. Denna problematik beskrivs ofta i termer av miljörättvisa, där vissa befolkningsgrupper oproportionerligt utsätts för miljöbelastningar samtidigt som de har begränsade möjligheter att påverka sin livsmiljö (Stewart, 2020; Bradley et al., 2008).

Ur ett svenskt perspektiv identifierar Bradley (2004) en forskningslucka när det gäller sambandet mellan miljöföroreningar och socialt marginaliserade grupper. I sin forskning argumenterar hon för att rättviseaspekten behöver få större utrymme i planeringen för hållbar stadsutveckling. Därför bör framtida studier undersöka denna relation närmare, exempelvis genom att kombinera föroreningsdata med mer detaljerade socioekonomiska ana-

lyser för att fastställa i vilken utsträckning dessa faktorer samverkar i Stockholm.

Urval av kartöverlägg

Författaren vill vara tydlig, att även om kartläggningen refererar till empiriska studier från förstudien och är på ett sätt syntesen av förstudien, så finns det en bias. Den partiskheten är författarens egna. Tidigare kunskap från universitetsstudier har påverkat urvalet men det är också författaren som gör val kring vad som belyses, val görs av kartöverlägg vilket i sin tur alltid innebär att andra kartöverlägg utesluts. Det görs ett urval och prioritering redan under kartöverläggen och inte bara i dess analys.

Kartöverläggen är dessutom visuella tolkningar av data, data som översatts via ett bildbehandlingsprogram. Vissa av kartlagren har skalats in manuellt, vilket kan bidra till att områden hamnar snett eller inte exakt där datan ursprungligen hämtades från. Vilket i sin tur kan bidra till att data felbedöms. Kartöverläggen av data är även simplificerade för att vara läsbara och pedagogiska, vilket i sig innebär att de är en tolkning av datan. Även så har de högsta värdena av viss data enbart tagits med, för att utröna den högsta koncentrationen av en viss typ av förorening, vilket kan innebära att viktiga områden faktiskt missas i analysen eller att de är missvisande.

Kopplat till hur sociala hegemoniska maktstrukturer löper parallellt med en ackumulerande föroreningsproblematik i stadsväven så gjordes valet av författaren att titta på utsatta områden i Stockholms kommun. Urvalet av kartöverlägget kopplat till utsatta områden är förankrat i förstudien som belyser sambandet mellan föroreningar och maktstrukturer i samhället och kvaliteten på urbana grönområden som är kopplat till klasskillnader vilket indirekt bidrar till större hälsoskillnader (Elford & Adams 2021; García-Burgos et al. 2022; Hölzl et al. 2021; Fairburn et al. 2019; Ode Sang & Hedblom 2020).

Kartöverlägget kopplat till utsatta områden är hämtade från data via en polisrapport, vilket i sig är problematiskt. Att sätta utsatta områden, som refererar till marginellt utsatta grupper i samhället juxtaposerat en polisrapport är inte det bästa sättet att identifiera utsatta områden på. Det finns andra parametrar som är värda att ta i beaktning, kopplat till marginaliserade grupper och utsatta områden, som statistik kopplat till utbildningsnivå, inkomstnivå, etnicitet, kön osv. Spåret kopplat till utsatta områden och en ackumulerande föroreningsproblematik är oerhört viktigt att titta vidare på, speciellt i en nationell kontext, vilket är understuderat, vilket forskaren Bradley påminner oss om. Men ramarna för detta arbete sträcker sig inte i den riktningen, men anser ändå att det är en så pass viktig aspekt att framföra och belysa för att motivera ett agerande gentemot en växande föroreningsproblematik och att den sociala hållbarhetsaspekten bör också inkluderas i en sådan analys.

Utifrån förstudiens fynd kopplat till den sociala dimensionen kopplat till föroreningsproblematiken så växte även kartlagret kopplat till befolkningstäthet fram. Vilket i sig är kopplat till den humana skalan som används i arbetet, där själva ordet human skala, semiotiskt anspelar på mer humana värden kopplade till social hållbarhet snarare än rent spatiala aspekter av en mänsklig skala.

Befolkningstäthet i samband med ackumulerade föroreningar är oerhört viktigt att ta i beaktning för att utröna vart behovet är som störst att implementera en naturbaserad lösning med stöd av tekniken fytoremediering. Arbetet vill placera sig där det skaver men även där det behövs mest, vilket är på de platser där det finns många människor i en föroreningstät miljö, vilket enligt kartöverläggen ofta sammanfaller med utsatta områden, men även i höginkomsttäta centrala delar av Stockholm.

Dock så finns det även här fler parametrar att ta i beaktning kopplat till befolkningstäthet och livskvalitet, men arbetet bedömer att där det finns den högsta koncen-

trationen av mänsklig närvaro i kombination med föroreningar, där bör arbetet placera sig och dessa områden bör prioriteras.

Paradoxen: PartikelPontonen

Arbetet som har diskuterats ovan lyfter fram en social dimension och en human skala kopplat till föroreningsproblematiken, men är det inte då paradoxalt att i ett befolkningstätt område bjuda in till rekreation och tillvaro i en hotspot av föroreningar? Jag tänker såhär kopplat till paradoxen, att med eller utan designprincip så vistas och finns det människor i dess direkta närhet oavsett. Designprincipen PartikelPontonen är utformat för rekreation och är platsspecifikt anpassat efter att det är ett område som ofta besöks under sommarhalvåret för badaktiviteter. Även utan designprincip så badar människor i detta område men antagligen utan vetskap om föroreningarna som florerar i närheten och utan skydd för dessa. Designprincipen är tänkt att agera som en buffertzona för människan men även att medvetandegöra problematiken. Designprinciperna är tänkta som proaktiva aktioner med stöd av fyto Remediering för att säkra framtida friska stadsrum, vilka kanske börjar som ett frö i vårt medvetande.

Om fyto Remediering faller, vad är plan B?

Båda designprinciperna varken står eller faller med inslaget av fyto Remediering, de fungerar oavsett som naturbaserade lösningar som fyller andra funktioner än att enbart fungera som en eventuell plattform för fyto Remedierande växter. De är på detta sätt en del av en resilient strategi, det finns en plan B. Vågen fungerar som ett fördröjningsmagasin av dagvatten och bidrar med att hämma föroreningar oavsett på grund av dess sedimentterande förmåga.

Designprincipen PartikelPontonen erbjuder rekreation för människan och erbjuder även olika habitat för djurlivet på platsen och innehar en betydande ton av ekologisk hållbarhet.

Kanske kan designprinciperna ses som ett kompromissande av fyto, form och funktion. Vilket är rätt så passande sätt att se på fyto Remediering just nu, det kommer krävas en del kompromissande för att få det att fungera i praktiken, men det kanske är precis så vi måste jobba för att jobba resilient. Ibland måste det helt enkelt kompromissas för att gynna ett större syfte.

Kanske går det att mötas i en kompromiss angående den praktiska appliceringen av tekniken fyto Remediering i urbana miljöer. Att minst en procentandel av varje plantering som är i närheten av föroreningsstäta områden eller inslag i den urbana miljön där föroreningar ackumuleras, exempelvis vid en trafikerad asfalterad väg i en ett område med höga temperatur, bör X procent av växtvalet vara av en fyto Remedierande sort. Det är också en kompromiss som bör undersökas vidare.

Fyto och Förvaltning

Det går inte att inkorporera fyto Remediering i en naturbaserad lösning som en del av en resilient strategi utan att nämna förvaltningsaspekten. Det går inte att sticka under stolen med att tekniken fyto Remediering är skötselintensiv. Det krävs uppföljning av tekniken för att se om den verkligen fungerar i praktiken. Det krävs specifik kompetens kopplat till förvaltningen för att se till att växtmaterialet behålls säsong efter säsong och placeras rätt. Om tekniken fytoextraktion appliceras, krävs även en lämplig hantering av förnan, där en viss typ av växt, eller del av växten, transporteras bort från platsen för att se till att minska en viss typ av förorening. Men för att komma till den punkten där det går att förutse efterbörden, det vill säga förvaltningen så behöver forskningen av fyto Remediering komma ikapp med studier in situ, för att sedan utröna förvaltningsstrategier.

I följande avsnitt så listas potentiella möjligheter och utmaningar kopplat till fyto, form och funktion, vilket delvis fungerar som en sammanfattning av diskussionsdelen och belyser det viktigaste att ta med sig in i arbetets slutsats.

4.2 SAMMANSTÄLLNING

Möjligheter och utmaningar

Som en återkoppling till arbetets frågeställning "Hur kan fyto Remediering integreras i landskapsarkitektur som en del av en multifunktionell /naturbaserad lösning och resilient strategi? Vad finns det för utmaningar och möjligheter?" visar detta schema en sammanställning över utmaningar och möjligheter.

	Landskaps- och urban skala	Human skala	Partikelskala
MÖJLIGHETER	<p>Fragmentering: Genom att minska föroreningar i omlopp bidrar det till att öka konnektiviteten i landskapet och återfinna förlorade samband.</p> <p>Ekonomisk och Social Investering: Genom att investera i tidig fyto Remediering finns det en möjlighet att åstadkomma betydande kostnadsbesparingar över tid. Tidiga ingrepp i reningen av den urbana miljön minskar behovet av omfattande och dyra saneringsåtgärder när föroreningarna har ackumulerats. En proaktiv strategi, där man redan i ett tidigt skede åtgärdar källorna till föroreningar, leder inte bara till en förbättrad miljö och bättre folkhälsa, utan bidrar även till att undvika de stora ekonomiska bördor som uppstår vid senare, mer invasiva saneringsinsatser.</p> <p>Multifunktionell: Det finns stora möjligheter att inkorporera många värden och funktioner kopplat till tekniken fyto Remediering. Designprinciperna är båda multifunktionella lösningar men olika i dess utformning och härrörande syften. Att alltid inkorporera en viss procentuell andel av fyto Remedierande växtval i stadsväven, speciellt i anslutning till hotspots kan vara en väg framåt.</p>	<p>Livskvalitet: Framförallt agerar potentiella designprinciper som en buffertzona i föroreningshotspots i staden. Indirekt bidrar fyto, form och funktion till syftet framtida friskare stadsrum för mänsklig livskvalitet i stadsväven och gör en ansats till att ta kontroll över en ackumulerande problematik.</p> <p>Framtida friskare stadsrum: Under kartläggningen av hotspots kopplat till ackumulerande föroreningar läggs en betoning på socioekonomiskt utsatta områden. Där studier fastställer sambandet mellan sämre tillgång till kvalitativa grönområden och en större exponering för varierande föroreningar. Att betona den sociala aspekten av föroreningsproblematiken ger en större chans att skapa framtida friskare stadsrum, men också jämställda sådana.</p>	<p>Fritt vatten: Fyto i kombination med fritt vatten, möjliggör spännande lösningar och framförallt en effektivitet att hämma eller avlägsna föroreningar med stöd av tekniken fyto Remediering.</p> <p>Naturbaserad lösning: Som Naturbaserad lösning finns det en enorm potential i tekniken. Även om tekniken fått en officiell benämning i slutet av 80-talet så är fyto Remediering en del av växtens metabolism och hur växter fungerar och interagerar med dess omgivning rent fysiologiskt. Att tappa in på den kraften kopplat till en ackumulerande föroreningsproblematik i tätbefolkade områden är starkt motiverande för att skapa framtida friskare stadsrum.</p> <p>Därutöver vinner designkoncepten många fördelar i och med att de är en del av en resilient strategi där sociala, ekonomiska och framförallt ekologiska värden går att finna i och med att det är en naturbaserad lösning.</p>
UTMANINGAR	<p>Kostnadsdrivande: Initialt är tekniken kostnadsdrivande då det krävs många aktörer för att få till en helhetslösning, från att identifiera en lämplig plats, till lokala prover, till att ta fram rätt växtmaterial, till att uppfölja resultaten för att säkerställa funktionen. Det är en kostnadsdrivande och tidskrävande process, i många delar, för att få till en helhetsgrepp på form, funktion och fyto.</p> <p>Förvaltning: Ytor som hänger sig åt fyto Remediering är skötselintensiva, där rätt växtmaterial prioriteras. Detta kräver rätt sorts kompetens även i förvaltningsstadiet.</p> <p>Tidskrävande: Tekniken står inte ensam utan är beroende av många steg för att praktiskt fungera. Detta kräver en lång framförhållning och är i sin tur tidskrävande.</p> <p>Kommun: Fyto Remediering som en del av en resilient strategi innehar många frågetecken, lösa ändrar, trots dess potential. Att övertyga en potentiell kommun att applicera tekniken i en urban miljö kan vara utmanande då det inte alltid finns svar på alla frågor, än.</p>	<p>Utsatta områden: Dessa områden innebär inte som sådana att dessa områden är förorenade utan att de troligtvis signalerar att här finns det en hög risk att det finns ackumulerade föroreningar, eftersom föroreningar verkar enligt tidigare nämnda internationella studier överensstämmer med utsatta områden i stadsväven. Att övertyga en potentiell kommun att satsa på dessa typer av utsatta områden kan vara utmanande eftersom dessa områden redan är lågt prioriterade.</p> <p>Paradoxen: Att söka sig till stadens hotspots av föroreningar och sedan införa designprinciper som medvetandegör problematiken kanske bidrar till att fler människor rör sig i området och utsätts för dessa föroreningar i större utsträckning än om det inte fanns en designprincip på platsen. Vilket motsätter sig arbetets syfte kopplat till framtida friskare stadsrum och mänsklig livskvalitet. Men å andra sidan florerar och sprids dessa föroreningar oavsett i stadsväven idag, däri ligger utmaningen och paradoxen tillika.</p>	<p>Fritt vatten: Fyto i kombination med fritt vatten är kostsamt och kanske inte alltid direkt vid källan vilket är viktigt kopplat till en föroreningsproblematik. Att koppla på dagvattenhantering och fritt vatten kan vara en utmaning, då dagvattenlösningar är orienterade efter att lösgöra volym åt stora volymer med dagvatten, vilket innebär att största delen av tiden står de torra.</p> <p>Föroreningar: En stor utmaning kopplat till arbetet med fyto Remediering är att förstå hur föroreningar fungerar. Föroreningar omvandlas och metamorfoserar, vilket försvårar dess hantering. Därutöver finns det svårigheter att kartlägga och hitta en passande metod för att mäta vissa typer av föroreningar.</p> <p>Växtvalet: Rätt växt på rätt plats är av yttersta vikt, växtvalet behöver vara i balans med senaste forskningsrön som visar på dess funktion in situ, det vill säga på plats och inte enbart i laboratorier. Växtvalet är väldigt platsspecifikt kopplat till vilka typer av föroreningar som finns på platsen och till jordens pH-nivå och vilken metod av fyto Remediering som är bäst lämpad att använda.</p> <p>Naturbaserade lösningar: En stor utmaning kopplat till tekniken fyto Remediering är växtvalet, men tillika det som tekniken bygger på. För att tekniken ska fungera i praktiken behövs interdisciplinärt arbete och tålamod kopplat till växtvalet.</p>

4.3 SLUTSATS

Huvudfråga

Hur kan fyto Remediering integreras i landskapsarkitektur som en del av en multifunktionell /naturbaserad lösning och resilient strategi? Vad finns det för utmaningar och möjligheter?

Delfrågor

Vart i stadsväven och dess utkanter sker en frekvent ackumulering av föroreningar? Vart sker en sådan ackumulering i kommunen Stockholm?

Kopplat till ackumulationen av föroreningar i stadsväven: Hur kan en designprinciplösning se ut i relation till dess placering i kommunen Stockholm?

Efter att ha vägt möjligheter och utmaningar jämte varandra så finns det i nuläget många lösa ändar, många glapp och frågetecken som behöver besvaras innan en praktisk tillämpning av tekniken fyto Remediering är möjlig. Som en del av en multifunktionell/ naturbaserad lösning och resilient strategi finns det möjlighet att skapa plattformar för framtida användning av tekniken fyto Remediering. Men dessa lösningar och strategier står inte enbart med och faller inte med tekniken.

Arbetets stora fynd är relaterat till teknikens potential, som lätt förblindar, vilket även underskriven blivit, eftersom dess sken döljer dess stora komplexitet. Potentialen i tekniken skapar en stor iver att applicera tekniken utan att riktigt förstå dess komplexitet. För att det är mer komplext än vad tekniken ger sken av.

Inledande under arbetets process fanns det en ide om att jobba aktivt med fyto Remedierande växtval, att skapa gestaltande planteringar där olika växters karaktär även togs i beaktning. Efter samtal med Maria Greger förstod författaren snabbt att växtvalet är något som kommer att falla bort inom arbetets ramar, det finns ett sådant glapp mellan tekniken i praktiken och tekniken inom kontrollerade studier på laboratorium att det är inte möjligt att i förhand bestämma växtval, utan det måste ske under väldigt plastspecifika krav. Arbetet har därför aktivt tagit ett steg tillbaka kopplat till växtvalet och respekterar komplexiteten i tekniken.

Samtidigt är en stor slutsats att det finns ett behov av att lita på den interdisciplinära processen och medge att det finns vissa begränsningar för dig i din roll och att det finns ett tillfälle då samarbete över disciplinära områden måste och bör prioriteras. Det finns många utmaningar men framförallt finns det också möjligheter. Författaren känner ett stort hopp kopplat till teknikens framtid som bara blir mer och mer aktuell kopplat till en ackumulerande föroreningsproblematik i våra livsrum.

Svaret på arbetets första delfråga är något som behöver utforskas ytterligare för att ge ett kvalitativt svar. Kartläggningen visar med Stockholm som exempel vart det potentiellt sker en ackumulering av föroreningar, med andra ord så ger arbetet en indikation på vart i stadsväven Stockholm det sker en ackumulation men arbetet besvarar inte helt sanningsenligt frågeställningen. Det finns många frågetecken kring urvalet av kartöverläggen. Det behövs ytterligare studier och bättre metoder för att mäta vissa typer av föroreningar. Men en viktig aspekt att ta

med sig, i och med klimatförändringar och mer extrema väder i framtiden är att föroreningar metamorfoserar vid höga temperaturer, framförallt i kombination med materialet asfalt, detta är något som är värt att bära med sig.

Arbetet har även landat i den viktiga slutsatsen att det finns en social dimension påkopplat en föroreningsproblematik, där en ackumulerande föroreningsproblematik signalerar om en ojämlikhet i hur dessa fördelar sig i stadsväven. Det behövs vidare forskning och framförallt ett interdisciplinärt fokus kopplat till studier om marginaliserade grupper och den sociala dimensionen av föroreningsproblematiken.

Konklusionen av arbetets sista delfråga är att arbetet visar på exempel på hur designprinciper kan se ut, och viktiga strategier kopplat till fyto ges och trycktestas i designprinciperna. Arbetet ger dessa exempel som potentiella plattformar, men arbetet är långt ifrån i hamn kopplat till en eventuell applicering av tekniken. Tekniska detaljer behöver utvecklas ytterligare för att få det att fungera i praktiken. Även förvaltningsperspektivet behövs inkluderas mer ingående för att få designkoncepten att verkligen fungera, vilket blir haltande eftersom växtvalet inte finns med i skrivande stund. Men arbetet visar på exempel på hur dessa designprinciper skulle kunna vara utformade där de listade strategierna för fyto Remediering är det viktiga att ta med sig.

Från den stora landskapskalan, till stadsväven, till den humana skalan, till den lilla lilla partikeln har arbetet rört sig. Det finns många utmaningar framöver men också många möjligheter, kanske kan detta arbete positionera sig som det lilla lilla fröet. Som vill gro som en idé om en mer hållbar och friskare framtid, helst vill fröet gro som en fyto Remedierande växt, men vi vet inte exakt vilket frö det rör sig om, än.

LITTERATURFÖRTECKNING

Alvesson, M. & Sköldbberg, K. (2009). *Reflexive Methodology*. New Vistas for Qualitative Research. London: SAGE Publications Ltd.

Akhter, M. & Madany, I.M. (1993). Heavy metals in street and house dust in Bahrain. *Water, Air, and Soil Pollution*, 66, 111-119.

Baker, A. J. M., Brooks, R. & Reeves, R. D. (1988). Growing for Gold and Copper and Zinc. *New Scientist*, 44 - 48.

Bargmann, J. (2008). *Toxic Beauty: A Field Guide to Derelict Terrain*. Princeton: Princeton Architectural Press.

Bradley, K. (2004). Environmental justice – New fuel to the debate on planning for sustainable development. I: Brockett, S. & Dahlström, M. (red.) *Trends in Modern Europe – Impacts on Planning and Development*. Stockholm: Nordregio.

Bradley, K., Gunnarsson-Östling, U. & Isaksson, K. (2008). Exploring environmental justice in Sweden: How to improve planning for environmental sustainability and social equity in an “eco-friendly” context. *Projections*, MIT Journal of Planning.

Brenner, N. (2017) The Agency of Design in an Age of Urbanization. I: D. Ibañez (red.), *Critique of Urbanization: Selected Essays*. Basel: Birkhäuser, s. 224–237.

Brezonik, P. L., & Stadelmann, T. H. (2002). Analysis and predictive models of stormwater runoff volumes, loads, and pollutant concentrations from watersheds

in the Twin Cities metropolitan area. Minnesota, USA. *Water Research*. 36, 1743–1757. 10.1016/s0043-1354(01)00375-x

Brett, D. & Gavin, B. (2010). Comparison of heavy metal loads in stormwater runoff from major and minor urban roads using pollutant yield rating curves. *Environmental Pollution*. 158, 2541–2545. 10.1016/j.envpol.2010.05.021

Carmona, M. (2021). *Public Places Urban Spaces*. Third edition. Routledge.

Christoforidis, A. & Stamatis, N. (2009). Heavy metal contamination in street dust and roadside soil along the major national road in Kavala's region, Greece. *Geoderma*, 151, 257–263.

Cohen-Shacham, E., Walters, G., Janzen, C. & Maginnis, S. (2016). *Nature-based Solutions to address global societal challenges*. Gland, Switzerland: IUCN.

Corner, J. (2011). The agency of mapping: speculation, critique and invention. I: M. Dodge, R. Kitchin, & C. Perkins (red). *The Map Reader: Theories of Mapping Practice and Cartographic Representation*. Chichester: John Wiley & Sons. 213–252.

Debord, G. (1990). *Comments on the Society of the Spectacle*. London: Verso.

Divrikli, U., Soylak, M., Elci, L. & Dogan, M. (2003). The investigation of trace heavy metal concentrations in

the street dust samples collected from Kayseri, Turkey. *Journal of Trace and Microprobe Techniques*, 21(4), 713-720.

Duong, T.T.T & Lee, B-K. (2011). Determining contamination level of heavy metals in road dust from busy traffic areas with different characteristics. *Journal of Environmental Management*, 92(3), 554-562.

Elford, S. & Matthew, D. (2021). Associations between socioeconomic status and ultrafine particulate exposure in the school commute: An environmental inequality study for Toronto, Canada. *Environmental Research*, 192.

Fairburn, J., Schüle, SA., Dreger, S., Karla Hiltz, L. & Bolte, G. (2019). Social Inequalities in Exposure to Ambient Air Pollution: A Systematic Review in the WHO European Region. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 16(17), 3127. <https://doi.org/10.3390/ijerph16173127>

Förenta nationernas utvecklingsprogram UNDP (u.å.). *Globala Målen*. <https://www.globalamalen.se/om-globala-malen/> [2024-11-29]

Gandy, M. (2004). Rethinking urban metabolism: water, space and the modern city. *City*, 8(3), 363-379.

García-Burgos J., Miquelajauregui, Y., Vega, E., Namdeo, A., Rz, A., Mejía-Aranguré, J., Resendiz-Martinez, C., Hayes, L., Bramwell, L., Jaimes-Palomera, M., Entwistle, J., Nuñez-Enríquez, J., Portas, A. & McNally, R. (2022). Exploring the Spatial Distribution of Air Pollution and Its Association with Socioeconomic Status Indi-

cators in Mexico City. *Sustainability*. 14(22). <https://doi.org/10.3390/su142215320>

Greger, M. & Schüick, M. (2019). Rening av dagvatten i flytande våtmark – val av växter. Svenskt Vatten Utveckling, Rapport nr 2019-24. Svenskt Vatten AB.

Hölzl, S. E., Veskov, M., Scheibner, T., Le, T. T. & Kleinschmit, B. (2021). Vulnerable socioeconomic groups are disproportionately exposed to multiple environmental burden in Berlin - implications– for planning. *International Journal of Urban Sustainable Development*, 13(2), 334–350. <https://doi.org/10.1080/19463138.2021.1904246>

Hill, M.K. (2010). *Understanding Environmental Pollution*. Third edition. Cambridge: Cambridge University Press.

Johansson, T., Sävås, F. & Wennblom, Å. (2023). *Befolkningsöversikt 2023*. Stockholm: Stadsledningskontoret, Stockholms stad.

Kennen, K. & Kirkwood, N. (2015). *PHYTO: Principles and Resources for Site Remediation and Landscape Design*. Abingdon: Routledge.

Khare, P., Machesky, J., Soto, R., He, M., Presto, A.A. & Gentner, D.R. (2020). Asphalt-related emissions are a major missing nontraditional source of secondary organic aerosol precursors. *Science Advances*, 6(36).10.1126/sciadv.abb9785

Landberg, T. & Greger, M. (2022) Phytoremediation

Using Willow in Industrial Contaminated Soil, *Sustainability*, 14(14), 8449. <https://doi.org/10.3390/su14148449>

Manisalidis, I., Stavropoulou, E., Stavropoulos, A. & Bezirtzoglou, E. (2020). Environmental and health impacts of air pollution: A review. *Frontiers in Public Health*, 8, 14. doi: 10.3389/fpubh.2020.00014.

McCutcheon, S.C. & Schnoor, J.L. (2003). *Phytoremediation: Transformation and Control of Contaminants*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.

Mcharg, I. (1969). *Design with nature*. The Natural History Press.

Meyer, E.K. (2008). Sustaining beauty: the performance of appearance. *Journal of Landscape Architecture*, 3(1), 6-19.

Miguel, E., et al. (1997). Origin and patterns of distribution of trace elements in street dust: unleaded petrol and urban lead. *Atmospheric Environment*, 31(17), 2733-2740.

Mostafavi, M. (2013). Why Ecological Urbanism? Why now? I: Mostafavi, M. & Doherty, G. (red) (2013). *Ecological Urbanism*. Lars Müller Publishers. 12-53.

Naves, J., Jikia, Z., Anta, J., Puertas, J., Suárez, J. & Regueiro-Picallo, M. (2017). Experimental study of pollutant washoff on a full-scale street section physical model. *Water Science & Technology*. 45, 2821–2829. <https://doi.org/10.2166/wst.2017.345>

Nassauer, J.I. (1995). Messy ecosystems, orderly

frames. *Landscape Journal*, 14(2), 161-171.

Naturvårdsverket (u.å.). *Karttjänst Skyddad natur*. https://skyddadnatur.naturvardsverket.se/?zoom=2&lat=6670756.34151&lon=575821.50164&baseLayer=terrangskuggning%40mkarta-bakgrund-maps%2Cmark%40mkarta-bakgrund-maps%2Chydrografi_ytor_nedtonad%40mkarta-bakgrund-maps%2Chydrografi_nedtonad%40mkarta-bakgrund-maps%2Ckurvor%40mkarta-bakgrund-maps%2Ckommunikation%40mkarta-bakgrund-maps%2Cjarnvag_nedtonad%40mkarta-bakgrund-maps%2Ckraftledning_nedtonad%40mkarta-bakgrund-maps%2Cbebyggelse%40mkarta-bakgrund-maps%2Cadministrativ_indelning%40mkarta-bakgrund-maps%2Ctext_nedtonad%40mkarta-bakgrund-maps&layers=Vattenskyddsomrade%40nvkarta-so-maps [2024-11-29]

Naturvårdsverket (u.å.). *Metaller som miljögift*. <https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/miljoforo-reningar/metaller/> [2024-11-29]

Naturvårdsverket (u.å.). *Hållbar dagvattenhantering*. <https://www.naturvardsverket.se/vagledning-och-stod/av-lopp/hallbar-dagvattenhantering/> [2024-11-29]

Naturvårdsverket (2022). *Nature-based solutions – a tool for climate adaptation and other societal challenges*. (7074). Naturvårdsverket.

Ode Sang, Å. & Hedblom, M. (2020) Urban nature and its potential to contribute towards human well-being. I: Douglas, I., Anderson, P.M.L., Goode, D., Houck, M.C., Maddox, D., Nagendra, H. & Tan, P.Y. (red) *The Routledge Handbook of Urban Ecology*. Milton: Taylor & Francis Group. 608-614.

Pavlova, D. & Milshina, Y. (2020). Chapter 12 - Sustainable water management in megacities of the future. I: Verma, P., Singh, P., Singh, R., & Raghubanshi, A. S. (red.) *Urban Ecology: Emerging Patterns and Social-Ecological Systems*. Elsevier Inc. 201-219. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820730-7.00012-4>

Pochodyła-Ducka, E., Glińska-Lewczuk, K. & Jaszczak, A. (2023). Changes in Stormwater Quality and Heavy Metals Content along the Rainfall-Runoff Process in an Urban Catchment. *Water*, 15(3505), 1-13.

Polismyndigheten (2023). *Kartgränser utsatta områden i Region Stockholm*. Polisen.

Polismyndigheten (u.å.) *Utsatta områden*. <https://polisen.se/om-polisen/polisens-arbete/utsatta-omraden/> [2024-11-29]

Pfannerstill, E.Y., Arata, C., Zhu, Q., Schulze, B.C., Ward, R., Woods, R., Harkins, C., Schwantes, R.H., Seinfeld, J.H., Bucholtz, A., Cohen, R.C. & Goldstein, A.H. (2024). Temperature-dependent emissions dominate aerosol and ozone formation in Los Angeles. *Science*, 384(1324), 1324-1329. 10.1126/science.adg8204.

Revitt, D. M., Lian, L., Coulon, F. & Fairley, M. (2014). The sources, impact and management of car park runoff pollution: a review. *Journal of Environmental Management*. 146, 552–567. 10.1016/j.jenvman.2014.05.041

Rockström, J., et al. (2009). *Planetary Boundaries: Exploring the Safe Operating Space for Humanity*. *Ecology and Society*, 14(2), 32.

Sarica, T., Sartelet, K., Roustan, Y., Kim, Y., Lugon, L., Marques, B., D'Anna, B., Chaillou, C. & Larrieu, C. (2023). Sensitivity of pollutant concentrations in urban streets to asphalt and traffic-related emissions. *Environmental Pollution*, 332, 121955. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.121955>

Selman, P. (2012). *Sustainable Landscape Planning: The Reconnection Agenda*. Abingdon: Routledge.

Sezgin, N., Ozcan, H.K., Demir, G., Nemlioglu, S. & Bayat, C. (2003). Determination of heavy metal concentrations in street dusts in Istanbul E-5 highway. *Environment International*. 29, 979-985.

SFS 1998:808. Miljöbalken. Klimat- och näringslivsdepartementet.

SGU (u.å). *Jordarter 1:1 miljon*. <https://apps.sgu.se/kartvisare/kartvisare-jordarter-1-miljon.html> [2024-11-29]

SMHI (2020). *Högre temperaturer i staden*. <https://www.smhi.se/forskning/forskningsenheter/meteorologi/varme-och-luftmiljo-i-stader/hogre-temperaturer-i-staden-1.160049> [2024-11-29]

Shaw, S. B., Walter, M. T., & Steenhuis, T. S. (2006). A physical model of particulate wash-off from rough impervious surfaces. *Journal of Hydrology*. 327, 618–626. 10.1016/j.jhydrol.2006.01.024

Singh, N., Singh, S. & Mall, R.K. (2020). Chapter 17 - Urban ecology and human health: implications of urban heat island, air pollution and climate change nexus. I: Verma, P., Singh, P., Singh, R., & Raghubanshi, A. S. (red.) *Urban Ecology: Emerging Patterns and Social-Ecological Systems*. Elsevier Inc. 317-334. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820730-7.00017-3>.

Singh, H. & Pant, G. (2023). Phytoremediation: Low input-based ecological approach for sustainable environment. *Applied Water Science*. 13, 85. <https://doi.org/10.1007/s13201-023-01898-2>

Sordi, J. (2014). *Beyond Urbanism*. Actar, Barcelona.

Stewart, N. (2020.) Chapter 7 - Urban green space, social equity and human wellbeing. I: Verma, P., Singh, P., Singh, R., & Raghubanshi, A. S. (red.) *Urban Ecology: Emerging Patterns and Social-Ecological Systems*. Elsevier Inc. 111-127. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820730-7.00007-0>.

Stoltz, E. & Greger, M. (2002). Cottongrass effects on trace elements in submersed mine tailings. *Journal of Environmental Quality*. 31(5), 1477-1483.

Svenskt Vatten. (2011). *P105 - Hållbar dag- och dränvattenhantering*. Stockholm: Svenskt Vatten.

Sveriges miljömål (u.å.). *Sveriges 16 miljökvalitetsmål*. <https://www.sverigesmiljomal.se/miljomalen/> [2024-11-29]

Swyngedouw, E. (2004). *Social power and the urbanization of water: flows of power*. Oxford: Oxford University Press.

Teixido, N., Casado-Coy, N., Trivedi, P., Torres-Díaz, C., Verma, J.P., Mukherjee, A., Zeng, X.-M., Wang, L., Wang, J., Zaady, E., Zhou, X., Huang, Q., Tan, W., Zhu, Y.-G., Rillig, M.C. & Delgado-Baquerizo, M. (2023). Soil contamination in nearby natural areas mirrors that in urban greenspaces worldwide. *Nature Communications*, 14(1706). 10.1038/s41467-023-37428-6.

Vattenmyndigheterna (u.å.). *EU:s vattendirektiv*. <https://www.vattenmyndigheterna.se/vattenforvaltning/eus-vattendirektiv.html> [2024-11-29]

Vattenmyndigheterna (u.å.). *Tillståndet i vattnet*. <https://www.vattenmyndigheterna.se/vattenforvaltning/tillstandet-i-vattnet.html> [2024-11-29]

Vatten Information System Sverige (u.å.). *Vattenkartan*. <https://ext-geoportal.lansstyrelsen.se/standard/?appid=1589fd5a099a4e309035beb900d12399> [2024-11-29]

Verma, P., Singh, P., Singh, R., & Raghubanshi, A. S. *Urban Ecology: Emerging Patterns and Social-Ecological Systems*. Elsevier Inc. 3-16. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820730-7.00001-X>

Verma, P., Singh, P., Singh, R., Raghubanshi, A.S. (2020). Chapter 1 - Urban ecology – current state of research and concepts. I: Verma, P., Singh, P., Singh, R., & Raghubanshi, A. S. (red.) *Urban Ecology: Emerging Patterns and Social-Ecological Systems*. Elsevier Inc. 3-16. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820730-7.00001-X>

Viklander, M., Österlund, H., Müller, A., Marsalek, J. & Borris, M. (2019). *Kunskapsammanställning - Dagvat-tenkvalitet*. (2019-2). Bromma: Svenskt Vatten Utveckling.

Yuliasni, R., Kurniawan, S. B., Marlina, B., Hidayat, M. R., Kadier, A., Ma, P. C., & Imron, M. F. (2023). Recent Progress of Phytoremediation-Based Technologies for Industrial Wastewater Treatment. *Journal of Ecological Engineering*, 24(2), pp.208-220. <https://doi.org/10.12911/22998993/156621>

Wang, S. M., He, Q., Ai, H. N., Wang, Z. T. & Zhang, Q. Q. (2013). Pollutant concentrations and pollution loads in stormwater runoff from different land uses in Chongqing. *Journal of Environmental Sciences*. 25, 502–510. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(11\)61032-2](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(11)61032-2)

Way, T. (2021). Urban site as collective knowledge. I: Kahn, A & Burns, C. (red.) *Site Matters: Strategies for Uncertainty Through Planning and Design*. Routledge.

Wiman, S. och Lindeberg, G., 2022. *Temperaturnalyser från satellit över Stockholms stad*. Geografiska Informationsbyrån, Stockholm. [2024-11-29]

World Health Organization (WHO). (2021). *WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide*. Executive summary. Geneva: World Health Organization

Östra Sveriges Luftvårdsförbund (2021). *Kartläggning av luftföroreningshalter i Stockholms- och Uppsala län*. SLB 44:2020. Stockholm: SLB-analys.

FIGURFÖRTECKNING

Figurer och bilder som saknar referens, är skapade eller tagna av författaren själv, Sara Karlmark Persson.

Skalfiguerna som syns i figurerna är familj eller vänner till författaren som godkänt sin medverkan, eller har målsmans godkännande.

Alla bilder som inte är tagna av författaren själv har använts med upphovspersonens godkännande och är refererade via upphovspersonens namn.

Figur 1: Förenta nationernas utvecklingsprogram UNDP. De globala målen för hållbar utveckling. Tillgänglig på: <https://www.un.org/sustainabledevelopment>. Hämtad: [2024-11-29]. "The content of this publication has not been approved by the United Nations and does not reflect the views of the United Nations or its officials or Member States".

Figur 2: Visar arbetets flytande skala: från landskapet, stadsväven, den humana skalan och den abstrakta partikelskalan. Sara Karlmark Persson.

Figur 3: Visar landskapsskalan som arbetet befinner sig i under kartläggningen. Sara Karlmark Persson.

Figur 4: Visar på organiseringen av kartöverläggen. Sara Karlmark Persson.

Figur 5: Visar urbana värmeöar i Stockholm. © Lantmäteriet. Flygbild [Kartografiskt material] 2024 och Data tolkat utifrån rapporten Temperaturanalyser från satellit över Stockholms stad (Wiman & Lindeberg 2022).

Figur 6: Visar höga halter av partikelmateria i form av PM10 i Stockholm. © Lantmäteriet. Flygbild [Kartografiskt material] 2024 och data tolkat utifrån Östra Sveriges Luftvårdsförbund. (Östra Sveriges Luftvårdsförbund

2021).

Figur 7: Visar vattenskyddsområden i Stockholm. © Lantmäteriet. Flygbild [Kartografiskt material] 2024 och datan som tolkats har hämtats från Naturvårdsverket - Vattenskyddsområde. (Naturvårdsverket - Vattenskyddsområde.)

Figur 8: Visar avrinningsområden och ekologisk status på avrinningsområden samt riktningar av flöden och namn på avrinningsområden i Stockholm. © Lantmäteriet. Flygbild [Kartografiskt material] 2024 och Datan som tolkats är hämtad från VISS (Vatten Information System Sverige u.å.).

Figur 9: Visar jordarter i Stockholm. © Lantmäteriet. Flygbild [Kartografiskt material] 2024 och Datan som tolkats är hämtat från Sveriges Geologiska Undersökning (SGU) med kartinställningen jordart, grundlager, 1:1 miljon. (SGU u.å.)

Figur 10: Visar utsatta områden i Stockholm. © Lantmäteriet. Flygbild [Kartografiskt material] 2024 och Datan som tolkats har hämtats från refererad polisrapport (Polismyndigheten 2023)

Figur 11: Visar hög befolkningstäthet i Stockholm. © Lantmäteriet. Flygbild [Kartografiskt material] 2024 och Datan som tolkats har hämtats rapporten Befolkningsöversikt årsrapport för 2023 (Johansson et al. 2023).

Figur 12: Visar hur förorenings"hotspots" träder fram i landskapet kopplat till de olika kartöverläggen. Sara Karlmark Persson

Figur 13: Visar tolkningen av alla kartöverläggen och två utvalda hotspots utifrån prioriterade aspekter. © Lantmäteriet. Flygbild [Kartografiskt material] 2024

Figur 14: Visar alla kartöverläggen i relation till hotspot 1. © Lantmäteriet. Flygbild [Kartografiskt material] 2024

Figur 15: Visar alla kartöverläggen i relation till hotspot 2. © Lantmäteriet. Flygbild [Kartografiskt material] 2024

Figur 16: Visar område med gruvavfall utan tekniken fyto Remediering. Foto: Maria Greger, PhytoEnvitech AB.

Figur 17: Visar område med gruvavfall men med planterat Ängsull och Polarull som anammar tekniken fyto Remediering. Foto: Maria Greger, PhytoEnvitech AB.

Figur 18: Visar bufferzon för människan i stadens rum. Sara Karlmark Persson.

Figur 19: Arbetet befinner sig i en urban skala. Sara Karlmark Persson.

Figur 20: Visar E18 och utsläpp av PM10 och urbana värmeöar. © Lantmäteriet. Flygbild [Kartografiskt material] 2024

Figur 21: Visar Förbifart Stockholm ovan mark (markerat i rött), Järva begravningsplats (brunt), kolonilottsområdet i norr (gult) och befolkningstäta Tensta till söder. © Lantmäteriet. Flygbild [Kartografiskt material] 2024

Figur 22: Arbetet befinner sig i en human skala. Sara Karlmark Persson.

Figur 23: Visar Fredhällsklipporna, befolkningstäthet, exploateringsområdet (orange vågor markerar möjlig vidare spridning av föroreningar från exploateringsområdet), båthamnen (markerat i brunt) och Essingeleden med utsläpp av PM10. © Lantmäteriet. Flygbild [Kartografiskt material] 2024

Figur 24: Arbetet befinner sig i en urban skala. Sara Karlmark Persson.

Figur 25: Arbetet befinner sig i en human skala. Sara Karlmark Persson.

Figur 26: Visar placeringen av PartikelPontonen. © Lantmäteriet. Flygbild [Kartografiskt material] 2024

Figur 27: Sprängskiss av olika material för PartikelPontonens olika material lager. Sara Karlmark Persson.

Figur 28: Sektion av PartikelPontonens olika lager och flytande våtmarkers reningsmekanismer. Sara Karlmark Persson.

Publicering och arkivering

Godkända självständiga arbeten (examensarbeten) vid SLU kan publiceras elektroniskt. Som student äger du upphovsrätten till ditt arbete och behöver i sådana fall godkänna publiceringen. I samband med att du godkänner publicering kommer SLU även att behandla dina personuppgifter (namn) för att göra arbetet sökbart på internet. Du kan närsomhelst återkalla ditt godkännande genom att kontakta biblioteket.

Även om du väljer att inte publicera arbetet eller återkallar ditt godkännande så kommer det arkiveras digitalt enligt arkivlagstiftningen.

Du hittar länkar till SLU:s publiceringsavtal och SLU:s behandling av personuppgifter och dina rättigheter på den här sidan:

<https://libanswers.slu.se/sv/faq/228316>

JA, jag Sara Karlmark Persson har läst och godkänner avtalet för publicering samt den personuppgiftsbehandling som sker i samband med detta

NEJ, jag/vi ger inte min/vår tillåtelse till att publicera fulltexten av föreliggande arbete. Arbetet laddas dock upp för arkivering och metadata och sammanfattning blir synliga och sökbara.