



Material för framtidens urbana växtbäddar

Hållbarhet och klimatanpassning genom materialval

Moa Price

Examensarbete/Självständigt arbete • 15 hp
Sveriges lantbruksuniversitet, SLU
Fakulteten för naturresurser och jordbruksvetenskap
Landskapsingenjörsprogrammet - Uppsala



Material för framtidens urbana växtbäddar - Hållbarhet och klimatanpassning genom materialval

Media material for future urban plant beds - Sustainability and climate adaption through material selection.

Moa Price

Handledare: Roger Elg, SLU, institutionen för stad och land
Bitr. handledare: Lukas Farquharson, WSP Uppsala
Examinator: Mattias Qviström, SLU, institutionen för stad och land

Omfattning: 15 hp
Nivå och fördjupning: Grundnivå, G2E
Kurstitel: Självständigt arbete i landskapsarkitektur
Kurskod: EX1004
Program/utbildning: Landskapsingenjörsprogrammet - Uppsala
Kursansvarig inst.: Institutionen för stad och land
Utgivningsort: Uppsala
Utgivningsår: 2026
Omslagsbild: Moa Price
Upphovsrätt: Alla bilder används med upphovspersonens tillstånd.
Elektronisk publicering: <https://stud.epsilon.slu.se>

Nyckelord: Material, klimatförändringar, hållbarhet, substrat, urban miljö, träd

Sveriges lantbruksuniversitet

Fakulteten för naturresurser och jordbruksvetenskap

Institutionen för stad och land

Avdelningen för landskapsarkitektur

Sammanfattning

Träd har planterats med olika syfte i olika tider. Idag planeras mycket av grönskan i städerna med utgångspunkt i begreppet ekosystemtjänster. Dessa ekosystemtjänster är av stor vikt i den urbana miljön, som påverkas av förtätning och därmed platsbrist. Förtätningen bidrar även till en större andel hårdgjorda ytor, som i sin tur skapar problem med en ökad andel dagvatten. Det innebär att det ställs högre krav på infiltration, lagring och rening samt miljöer där träd kan överleva.

Detta arbete är en litteraturstudie som syftar till att undersöka olika materials förmåga att tillgodose stadens behov, för att på så vis stå emot klimatförändringar samtidigt som de bidrar med en hållbar utveckling av anläggning i urban miljö. Sveriges tre största städer -Stockholm, Göteborg och Malmö- undersöks med utgångspunkt i dess nutida materialval. Studien visar att de material som används idag (pimpsten, grönkompost, makadam och biokol) har många av de egenskaper som krävs för att stå emot klimatförändringar. Däremot finns brister vad gäller hållbarhet för dessa material. Därför föreslås krossad betong, krossat bränt tegel och krossat glas som mer hållbara komplement till de redan använda materialen. För att ytterligare vidga perspektivet lyfter studien skumglas och hasselnötsfiber som två förnybara material med jordförbättrande egenskaper.

Nyckelord: material, klimatförändringar, hållbarhet, substrat, urban miljö, träd

Abstract

Trees have been planted for different purposes at different times. Today a lot of the greenery in cities is planned based on the concept of ecosystem services. These ecosystem services become highly important in the urban environment, which is affected by densification and lack of space. Densification also contributes to a larger proportion of paved surfaces, which in turn creates problems with an increased share of stormwater. This requires greater needs for infiltration, storage, and purification, as well as environments where trees can survive.

This essay is a literature study that aims to examine the ability of different materials to meet the city's needs and thereby withstand climate change while also contributing to a sustainable development of landscaping in an urban environment. Sweden's three largest cities -Stockholm, Gothenburg, and Malmö- are examined based on their current material choices. The study shows that the materials used today (pumice, green compost, crushed stone and biochar) have many of the properties required to withstand climate change. However, there are deficiencies regarding sustainability for these materials. Therefore, crushed concrete, crushed red brick, and crushed glass are proposed as more sustainable complements to the already used materials. To further broaden the perspective, the study highlights foam glass and hazelnut husk as two renewable materials with soil-improving properties.

Keywords: material, climate change, sustainability, filter media, urban areas, trees

Förord

Arbetet har utförts enskilt med stöd av handledare Roger Elg på SLU och Lukas Farquharson på WSP Uppsala. Till handledarna riktas ett stort tack för hjälp och engagemang under hela skrivprocessen.

Ett tack riktas även till medlemmarna i handledningsgruppen, för feedback och stöd under skrivprocessen.

Ytterligare ett tack riktas till familj och vänner som deltagit med glada hejarop och stöd längs vägen.

AI-deklaration

AI har inte använts i uppsatsen.

Innehållsförteckning

Förord	4
Figurförteckning	6
1. Introduktion	7
1.1 Problembild	7
1.2 Syfte och frågeställning.....	8
1.3 Avgränsning och definition.....	9
2. Metod	10
2.1 Söksträngar.....	10
2.2 Värdering och urval.....	11
2.3 Analysmetod	11
3. Bakgrund	12
3.1 Klimat	12
3.1.1 Urval av klimatscenario.....	12
3.1.2 Temperatur	12
3.1.3 Nederbörd	13
3.2 Material	15
3.2.1 Trädens behov.....	15
3.2.2 Hydraulisk konduktivitet och kompaktering	15
3.2.3 Rening.....	16
3.3 Hållbarhet.....	17
4. Resultat	18
4.1 Städernas underlag.....	18
4.1.1 Göteborg.....	18
4.1.2 Malmö	18
4.1.3 Stockholm	18
4.2 Material	19
4.2.1 Material som används idag.....	19
4.2.2 Återvunna material.....	23
4.2.3 "Obeprovade" förnybara material	26
5. Analys	27
5.1 Klimat	27
5.1.1 Städerna nu och i framtiden.....	27
5.2 Material	28
5.2.1 Trädens behov.....	28
5.2.2 Hydraulisk konduktivitet och kompaktering	29
5.2.3 Rening.....	31
5.3 Hållbarhet.....	31
6. Diskussion och slutsats	33
6.1 Metoddiskussion	34
6.2 Felkällor.....	34
6.2.1 Klimat.....	35
6.2.2 Material	35
6.3 Förslag på vidare studier	36
Referenser	37
Figurer	42

Figurförteckning

Figur 1. SMHI (2024). Kartan illustrerar beräknad förändring i årsmedelnederbörd för perioden 2071–2100 jämfört med 1971–2000, utifrån medelvärde av 9 modellberäkningar baserade på strålningsdrivningsscenario RCP8.5.....	14
Figur 2. Pimpsten. Moa Price (2026).	19
Figur 3. Grönkompost. Moa Price (2026).....	20
Figur 4. Makadam. Moa Price (2026).....	21
Figur 5. Biokol. Moa Price (2026).....	22
Figur 6. Tegel. Moa Price (2026).	23
Figur 7. Krossad betong. Moa Price (2026).	24
Figur 8. Krossat glas. Marc Pascual (2016) CC0.....	25
Figur 9. Skumglas. Moa Price (2026).....	26
Figur 10. Hassel husk. Zoli Magyarország (2016) CC0.....	26

1. Introduktion

Människan har skapat en konstgjord urban miljö som ger nya förutsättningar i förhållande till de naturliga livsmiljöerna. Den urbana miljöns funktioner väntas dessutom uppfylla behov och krav för att människor, vatten och växtlighet ska kunna vistas där.

I detta avsnitt beskrivs problembilden som ligger till grund för studien samt syftet med arbetet och frågeställningen. Vidare listas de avgränsningar som genomförts för att uppnå svaret på frågeställningen inom tidsramen för arbetet.

1.1 Problembild

Träd har planterats i städer under lång tid, men dess syfte har varierat genom olika tidsperioder. Genom historien har träd planterats med estetiska syften, detta ändrades dock under 1800-talet. Då utfördes i Storbritannien ett omfattande arbete för att förbättra människors hälsa och genom "the Victorian Street Tree Movement" planterades träd i staden med det primära syftet att förbättra invånarnas hälsotillstånd (Harrison 2023). Samma utveckling skedde i Sverige under slutet av 1800-talet, där träden blev en del av det uppfostrande och hälsofrämjande idealet (Gunnarsson et. al 2023).

Under 1990-talet antogs ett nytt synsätt som ekonomiserade sätet att se på trädens och grönskans värde i städer. Det nya synsättet hade för avsikt att göra det mer attraktivt att planera grönska i urbana miljöer, genom att visa på mätbara värden. Detta gjordes med hjälp av begreppet ekosystemtjänster (Harrison 2024). Begreppet fick med tiden fäste och är idag en etablerad term för att motivera plantering och bevarande av bland annat träd i urbana miljöer. Det beskrivs exempelvis av Boverket (2021) att träd medför en rad viktiga ekosystemtjänster i den hårdgjorda urbana miljön. Där lyfts att träden påverkar bland annat lokalklimatet samt fördröjning och infiltration av dagvatten.

Efter den förändrade synen på trädens plats och funktion i staden har en utveckling vad gäller utrymmet i den urbana miljön skett. Enligt studien Cortinovic et. al (2022) samsas idag allt fler människor på en begränsad yta i städerna. Detta kommer av att en ökad migration har bidragit till en ökad förtätning i många europeiska storstäder. I Belgien, Storbritannien och Norden har förtätning varit en växande tendens. Jämfört med övriga delar av Europa har de nordeuropeiska länderna en, i högre grad ökande befolkning, som lever allt tätare ihop. Detta för att städerna -trots befolkningsökningen- växer i mindre utsträckning än vad som kan ses i stora delar av övriga Europa. Sveriges tre störta

städer -Stockholm, Malmö och Göteborg- har samtliga förtätats mellan åren 2012 och 2018 (Cortinovis et. al 2022).

Trenden som visar på en ökande förtätning i större städer skapar ett högre tryck på stadsmiljön. De gröna ytorna utsätts för alltmer omfattande slitage och det ökade invånarantalet gör att utrymmet för grönska -och däribland träd- begränsas. Det ökade trycket på den urbana miljön bidrar även enligt Stockholmsstad (2017) och Kron (2016) till utmaningar, där kompakta marköverbyggnader påverkar infiltrationsförmågan, vilket i sin tur bidrar till syre- och vattenbrist i trädens rotzon. Detta i kombination med att ledningsnätet utsätts för ett högre tryck, då dagvattenmängden ökar med de hårdgjorda ytornas utbredning och klimatförändringar, skapar utmaningar som kräver lösningar (Boverket 2024).

Träd kan -vid en ökande mängd förorenat dagvatten- bidra med en ökad avdunstning samtidigt som substraten i växtbäddarna kan bidra med infiltration och rening (Lykke Sörensen et. al 2025). Träden behövs för att förmildra det tuffa statsklimatet, men för att de ska kunna bidra med detta krävs förutsättningar för att de ska överleva. Substratet som träden planteras i behöver därför inneha egenskaper som bärighet, infiltrationsförmåga, luftfyllda porer och vattenhållande förmåga (Kron 2016). Utöver detta behöver även substraten infiltrera, rena och fördröja den större andelen förorenat dagvatten som kommer av en ökad hårdgjord yta och ett föränderligt klimat (Boverket 2024).

1.2 Syfte och frågeställning

Syftet med arbetet är att fastställa vilka egenskaper som väntas krävas av framtidens tillverkade jordar i urban miljö. Detta för att undersöka hur klimatanpassning och hållbarhet kan appliceras på materialval.

1. Vilka egenskaper har de material som används i substrat i urbana trädplanteringar av Stockholm, Malmö och Göteborg idag och hur väl tillgodoser dessa material trädens behov i ett framtida klimat?
2. Vilka andra mer hållbara och klimatanpassade material kan fylla dessa behov?

1.3 Avgränsning och definition

För att anpassa arbetet till tidsramen krävs avgränsningar gällande vad som behandlas. Hur dessa avgränsningar genomförs beskrivs och motiveras nedan.

För att undersöka vilka material som används i dagens substrat fokuserar arbetet på Sveriges tre största städer, Stockholm, Malmö och Göteborg. Städerna i studien bedöms som intressanta på grund av att dess storlek ger resurser för utveckling av nya lösningar. Städerna har även tekniska handböcker som beskriver anläggning av träd i konstruerade jordar. Dessa handböcker inspireras mindre kommuner av vid utförande av liknande anläggningsarbete. Urvalet genomförs för att begränsa andelen material och samtidigt studera lösningar från olika delar av Sverige.

Ytterligare avgränsning utöver att arbetet fokuserar på de material som idag används i de tre utvalda städerna, sker genom att ett begränsat urval återvunna och mer otestade material, baserat på hållbarhet, valts ut.

Vidare behandlar arbetet endast urban miljö. Med urban miljö menas stadsmiljöer med stor andel hårdgjord yta. I detta fall innefattas enbart de träd som planteras i hårdgjord yta med eventuell undervegetation.

Av de material som förekommer i växtbäddar kan en näst intill obegränsad mängd blandningar skapas. För att möjliggöra en objektiv jämförelse av olika källor studeras därför egenskaperna hos enskilda materialtyper.

Klimatförändringarna studeras utifrån två utvalda klimatscenarion som beskrivs närmare i bakgrunden. Scenarierna valdes ut för att få ett brett spann av möjliga utfall vad gäller klimatet. Detta för att i sin tur möjliggöra en så realistisk bedömning som möjligt av de antaganden som finns angående framtidens klimat. Utöver detta görs analysen av materialegenskaperna och klimatförutsättningarna utifrån ett svenskt perspektiv, alltså med fokus på de förutsättningar som kan ses på nordligare breddgrader med ett tempererat klimat.

2. Metod

Arbetet är en litteraturstudie, det har alltså fokuserat på att undersöka redan befintliga källor. Litteraturen sammanställdes och en bedömning av materialens egenskaper i förhållande till hållbarhet och framtida klimatprognoser togs fram. Genomförandet av metoden redovisas med hjälp av söksträngar och analysmetod.

Tre städers tekniska handböcker och typritningar valdes ut som underlag för urvalet av materialtyper. Utöver dessa material valdes ett begränsat antal återvunna material samt ett begränsat antal förnybara relativt otestade material ut. Detta för att skapa fler perspektiv på den möjliga utvecklingen inom detta relativt nya forskningsområde. Därefter gjordes en litteratursökning i Web of Science för att tillgodose relevant litteratur. Även Google Scholar användes för att ta fram primärkällor ur de studier som framkommit vid sökningen i Web of Science.

2.1 Söksträngar

Pimpsten: *pumice AND properties AND urban* NOT sand NOT concrete*, 18 träffar i Web of Science [2026-02-05]

Biokol: *biochar AND properties AND urban* AND tree**, 56 träffar i Web of Science [2026-02-09]

Grönkompost: *compost AND properties AND urban* AND tree**, 132 träffar i Web of Science [2026-02-09]

Makadam: *macadam OR "crushed stone" AND properties*, 1314 träffar i Web of Science avgränsning: artiklar [2026-02-09]

Tegel: *brick AND properties AND "plant development"*, 12 träffar i Web of Science [2026-02-11]

Klimat: *future AND climate AND sweden AND carbon* AND prediction*, 37 träffar i Web of Science avgränsning: 2016-2026 [2026-02-24]

Betong: *concrete AND recycled AND biofilter*, 17 träffar i Web of Science [2026-03-04]

Glas: *glass AND recycled AND wastewater AND biofilter*, 7 träffar i Web of Science [2026-03-04]

2.2 Värdering och urval

Källorna värderades utifrån relevans till frågeställningen och publiceringsdatum. Klimatforskningen är osäker då den baseras på antaganden som kan förändras med tiden. Därför användes -för det avsnittet- källor som ligger nära i tiden (efter 2020). Källorna för de enskilda materialen var fördelad över ett större tidsspann. Detta för att dess egenskaper är beständiga över tid. Däremot var de valda materialen utforskade i olika stor utsträckning, vilket gjorde att källorna i vissa fall var anpassade för andra områden, som exempelvis gröna tak. Materialens användningsområden ansågs inte vara av större vikt då denna del av studien fokuserade på de enskilda materialens egenskaper oberoende av var de placeras.

För söksträngar med ett stort antal träffar gjordes urvalet primärt genom värdering av titlarnas relevans i förhållande till frågeställningen. Sökningen för makadam fick träffar som var relaterade till makadams egenskaper då det blandas i cement och liknande. Det återfanns inga artiklar med information om hur vatten rör sig genom det enskilda materialet eller hur det fungerar i växtbäddar. Därför gjordes bedömningen, att ingen av de träffar som kom av sökningen hade relevans för att besvara frågeställningen och syftet med arbetet. I de fall där det vetenskapliga källmaterialet var ofullständigt kompletterades det med andra underlag.

2.3 Analysmetod

För att besvara frågeställningen analyserades den insamlade datan från sökningen. Materialens egenskaper ställdes mot de förväntade klimatet för att utläsa vilka egenskaper som är relevanta vid framtida materialval i urbana trädplanteringar. Detta analyserades vidare i förhållande till hållbarhet för att öppna upp en diskussion vad gäller de nutida lösningarnas beständighet och huruvida et finns ett behov för nya material på marknaden.

3. Bakgrund

I detta avsnitt behandlas bakgrunden till de förutsättningar som krävs för att uppnå funktionella och hållbara växtbäddar. Avsnittet berör trädens behov, vattnets väg genom substratprofilen, rening av dagvatten, förutsättningar för och utfall av klimatprognoser samt hållbarhetsfaktorer. Vilket ger ett ramverk som används för att analysera resultatet och därigenom besvara frågeställningen.

3.1 Klimat

Under *klimat* berörs förväntade klimatprognoser för slutet av seklet (2100) utifrån två olika scenarion. Inledningsvis beskrivs valet av dessa scenarion, som genomfördes för att på ett så realistiskt sätt som möjligt, redogöra för tendenser inför framtiden. Avsnittet lyfter var i Sverige skillnaderna är störst och vad som kan förväntas vid de olika årstiderna till följd av ett skiftande klimat. Förändringarnas storlek bedöms med utgångspunkt i referensperioden 1971–2000.

3.1.1 Urval av klimatscenarion

För att undersöka hur det framtida klimatet förväntas se ut krävs antaganden. Dessa antaganden gäller mängden växthusgaser i atmosfären. En komplex uppgift då mängden framtida utsläpp beror på hur utsläppsmönstret fortskrider (Lee et al 2021). Komplexiteten förstärks av att klimatförändringen vid ökad koldioxidmängd inte är linjär. I stället ger en större mängd växthusgaser ökad strålningsdrivning och därmed ökad växthuseffekt (SMHI 2025).

För att synliggöra de möjliga skillnaderna vid olika utsläppsmönster kan olika scenarion användas (Lee et al 2021). Urvalsprocessen för RCP (Representative Concentration Pathways) scenarierna vid klimatforskning grundar sig på tidigare litteratur i kombination med ett urval baserat på en rad kriterier som strålningsdrivning och CO₂ utsläpp (Moss et al 2010). SMHI (2025) lyfter olika scenarion. Scenario RCP2,6 redogör för en minskning av utsläpp från 2020 vilket gör att den ligger närmast målen för Parisavtalet. Scenario RCP4,5 och RCP8,5 leder till högre uppvärmning än vad Parisavtalet ger. De täcker dock in en stor variation av den framtida mängden växthusgaser (SMHI 2025). Därav behandlas dessa scenarion (RCP4,5 och RCP8,5) vidare i detta arbete.

3.1.2 Temperatur

Medeltemperaturen i Sverige har ökat med 1,9°C sedan mitten av 1800-talet. Det finns tydliga tendenser till en fortsatt ökad medeltemperatur under hela året även framöver (IPCC 2023; SMHI 2025). De största förändringarna väntas ske vid de

nordliga latituderna även om temperaturökningen är ett faktum för hela landet (Lee et. al 2021).

Trenden visar fortsättningsvis att gränsen mellan plus- och minusgrader flyttas allt längre norr ut. Detta skapar en förskjutning av klimatet, där det vårklimat som kan ses i Skåne under referensperioden (1971–2000) förväntas återfinnas i mellersta Svealand (RCP4.5) eller till och med Norrlands inland (RCP8.5) i slutet av detta århundrade (SMHI 2025).

Med en ökad medeltemperatur minskar även antalet frostdygn relativt likvärdigt över hela landet. Där antalet frostdygn på norrlandskusten förväntas likna de antalet frostdygn som kan ses i Skåne under referensperioden. Detta innebär en minskning av antalet frostdygn mot slutet av detta århundrade (SMHI 2025). I södra Sverige -vilket innefattar både Malmö och Göteborg- förväntas antalet frostdygn minska från 90 till omkring 60–70 (RCP4.5) eller 30–40 (RCP8.5). (SMHI 2025).

Antalet högsommardyggn (maxtemperatur över 25°C) förväntas också öka. I södra Sverige väntas antalet högsommardagar öka från referensperiodens 10 per år till 20–40 per år (RCP4.5) eller 50 per år (RCP8.5) i slutet av detta århundrade. (SMHI 2025). Denna prognos speglas även i att antalet sammanhängande högsommardyggn som väntas öka, något som resulterar i fler värmeböljor. Kring östersjölandskapen förväntas ökningen ske från referensperiodens 6 dagar i sträck till 10 dagar i sträck (RCP4.5) eller upp till 25 dagar i sträck (RCP 8.5) (SMHI 2025). Samtidigt väntas antalet tropiska dygn (lägsta dygnstemperatur understiger aldrig 20°C) gå från inga/ett fåtal i referensperioden till upp emot 20 kring Östersjölandskapen (RCP8.5) i slutet av århundradet. (SMHI 2025).

3.1.3 Nederbörd

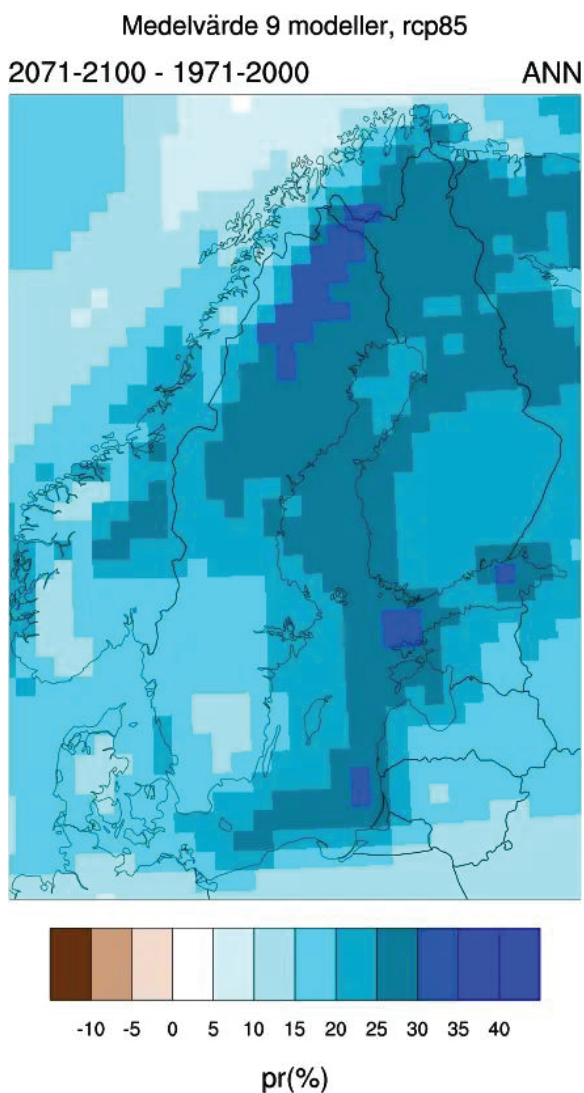
Den generella trenden visar att den globala nederbörden ökar i takt med klimatförändringarna. De ökande temperaturerna bidrar till att mer fukt kan hållas i atmosfären, vilket i sin tur förväntas öka årsmedelnederbörden med 1–3% per grad (Lee et. al 2021).

Denna ökning väntas variera kraftigt lokalt (Lee et. al 2021). I SMHI (2025) visas genom grafer en ökning av nederbörden med 15% (RCP4,5) till 20% (RCP8,5) kring Östersjölandskapen, se Figur 1, även om variationen från år till år är mycket stor. Ökningen antas ske året om däremot förväntas den vara större under hösten och vintern jämfört med ökningen under våren och sommaren, som väntas vara marginell (SMHI 2025).

Skillnaderna i ökningen av nederbörd årstiderna emellan resulterar i att markfuktigheten (mängden vatten i jordlagret över grundvattnet) väntas minska på sommaren och öka på vintern. Antalet dygn med lägre fukthalt än 50% av fältkapaciteten (total vattenmättnad) i växternas rotzon förväntas alltså öka under sommaren i stora delar av landet (SMHI 2025). Den ökande temperaturen kan då i södra Sverige medföra problem med marktorka, på grund av en högre avdunstning (SMHI 2025).

Antalet dygn med extrem nederbörd (20mm) tenderar att öka i hela landet. Andelen skyfall (minst 50mm nederbörd på en timme eller minst 1mm nederbörd på 1 minut) förvänts öka med 20% (RCP4,5) eller 40% (RCP8,5) mot slutet av århundradet (SMHI 2025).

De område som idag har mest extrem nederbörd är västra Götaland på grund av att de dominerande vindarna som kommer in över landet är västliga/sydvästliga. Detta väntas inte förändras med klimatförändringarna (SMHI 2025).



Figur 1. SMHI (2024). Kartan illustrerar beräknad förändring i årsmedelnederbörd för perioden 2071–2100 jämfört med 1971–2000, utifrån medelvärde av 9 modellberäkningar baserade på strålningsdrivningsscenario RCP8.5.

3.2 Material

För att senare möjliggöra en utvärdering av de undersökta materialens egenskaper. Lyfts i detta avsnitt, vilka egenskaper som på olika sätt är viktig för att minska den urbana miljöns problematik med förorenat dagvatten och säkrandet av trädens överlevnad.

3.2.1 Trädens behov

Vatten är väsentligt för trädens överlevnad. Det har en central roll för funktioner som cellspänning, fotosyntes, näringsupptag och transport av essentiella ämnen mellan trädets olika delar (krona, stam och rotsystem). Förekomsten av tillgängligt vatten är därför en central faktor för att möjliggöra trädens positiva effekter -som exempelvis CO₂-upptag- för den urbana miljön (Krabel 2016).

Trädets rotsystem kräver goda förutsättningar och är liksom vattentillgången en avgörande faktor för trädets överlevnad. För att rotsystemet ska kunna frodas krävs som tidigare nämnts fukt men också biologisk aktivitet (svampmycel och fauna) och möjlighet till osmos genom en högre näringskoncentration i markprofilen än den som finns i rötterna. En syrefattig jord saknar tillgång till mikroorganismer och svampmycel, vilket också är en förutsättning för trädets överlevnad. Brist på syre i rotzonen ger även upphov till att rötternas toppar dör av. Vilket i sin tur minskar trädens vitalitet (Korn 2016).

Ännu en förutsättning för trädens överlevnad är ett neutralt pH-värde. Det är ett villkor för mikrolivets överlevnad och en förutsättning för tillgång till växttillgänglig näring. Vittring som sker vid lågt pH frigör aluminiumjoner. En för hög halt av aluminiumjoner är skadligt för växterna och ännu en faktor till att ett pH-värde kring 7 i regel är det mest optimala för träden. Utöver det tillgängliggörs många av de övriga näringsämnen som krävs för växternas överlevnad vid pH 7 (Blombäck et. al 2023). Vatten, syre, ett neutralt pH-värde och näring i rotzonen är alltså en förutsättning för att säkra trädens överlevnad och utveckling.

3.2.2 Hydraulisk konduktivitet och kompaktering

Hydraulisk konduktivitet är ett mått som uttrycker jordens förmåga att leda vatten. Den beror på olika faktorer som porstorleksfördelning, porsystemets uppbyggnad och vattenhalten i substratet. Den är konstant när alla porer är vattenfyllda, då beskrivs substratet som mättat. Vid omättat tillstånd varierar den hydrauliska konduktiviteten med vattenhalten (Grip och Rodhe 1994).

Den mättade hydrauliska konduktiviteten minskar avsevärt med kompaktering. Ökad bulkdensitet -alltså massa/vikt per enhet- av ett visst material ger minskad hydraulisk konduktivitet. Konduktiviteten avgörs till största del av de större porerna i markmaterialet. Dessa porer påverkas mest av kompaktering som bryter porernas kontinuitet och minskar den hydrauliska konduktiviteten. Olika material är olika känsliga för kompaktering, de har alltså olika bärighet, vilket bland annat beror på porernas geometri (Alaoui 2011).

Kompaktering påverkar trädets rottillväxt genom att orsaka syrebrist i rotzonen, som i sin tur även minskar tillgången på svampmycel i jorden (Korn 2016). En kompakt jord ger även ett ökat mekaniskt motstånd som gör det svårare för rötterna att tränga ned i markprofilen (Blombäck et. al 2023).

Makroporerna (10–15 µm i diameter) i ett substrat är luftfyllda, de mindre porerna håller vatten, vars tillgänglighet för träden varierar. Mängden tillgängligt vatten beror på jordens porositet som påverkas av kornstorlek och mängden organiskt material (Korn 2016). Vatten hålls hårdare i mindre porer vilket gör att substrat kan behålla fukt i profilen med hjälp av adhesionskrafter. Detta gör dock att växterna inte kan tillgodose sig vatten i jordar med allt för stor andel små porer, där adhesionskrafterna är för stora (Korn 2016; Blombäck et. al 2023).

3.2.3 Rening

I Sverige finns en stor mängd förorenade områden, som är ett resultat av den industriella våg som gick över Sverige kring sekelskiftet 1800–1900. Föroreningarna kommer i dessa fall bland annat från olika typer av industrier och utgörs i stor utsträckning av tungmetaller och oljespill. Det finns även föroreningar som tillkommit i modern tid, ett exempel på en sådan förorening är PFAS (Naturvårdsverket 2025). PFAS är små plast partiklar (mikroplaster), som är mycket svåra till omöjliga att rena vatten från.

Den hårdgjorda urbana miljön ökar problematiken med föroreningar ytterligare. Miljön medför en negativ påverkan på vattenkvaliteten då föroreningarna spolats ut med dagvatten i recipienter (Borris et. al 2013). I den urbana miljön kommer en stor andel föroreningar från trafiken; bromsbelägg som släpper tungmetaller, vägbeläggning som slits, halkbekämpning, avgaser och andra föroreningar vars partiklar lägger sig som en hinna på vägbanan. Vid regn lossnar sedan dessa föroreningar och riskerar att rinna ut i vattendrag eller ned i grundvattnet (Naturvårdsverket 2017). Särskilt i det kalla nordiska klimatet är föroreningar från halkbekämpning (salt) ett problem för trädens överlevnad i den urbana miljön. Detta för att det natrium -som finns i saltmolekylen- begränsar växternas näringstillgång och påverkar osmosen vilket i sin tur orsakar torkskador hos träden (Rust 2016).

3.3 Hållbarhet

Begreppet hållbarhet innefattar ekologiska, ekonomiska och sociala aspekter. Både det ekologiska och ekonomiska perspektivet utgörs av ett cirkulärt tankesätt, där byggandet i sin helhet ska vara resurssnålt och välplanerat för att vara hållbart (Boverket 2020).

Byggnader står för en stor del av Sveriges klimatpåverkan genom såväl nybygge som uppvärmning av befintliga byggnader (naturvårdsverket 2026). Återvinning av rivningsmaterial samt begränsade och utsläppsnåla frakter av rivningsmaterial blir därför mycket relevant för att åstadkomma en hållbar och cirkulär byggprocess. Transportens längd är enligt studien Öhrn Sagrelius et. al (2022) ett av de mest avgörande kriterierna när det kommer till olika materials klimatpåverkan.

Även masshantering -som i många fall är en förutsättning för exploatering- är en stor del av bygg och anläggningsprocessen. Vid hantering av massor sker utsläpp till följd av transporter, dessutom utgör masshanteringen en risk för spridning av invasiva arter och eventuella föroreningar. För att undvika detta rekommenderas en lokal masshantering (Trafikverket 2025). Boverkets (2025) redovisar att *”Återvinningsgraden för icke-farligt bygg- och rivningsavfall beräknades för 2022 till 55 procent”*. Där berörs vidare problematiken med en ökande mängd avfall däremot lyfts även minskningen av farligt avfall som en positiv trend.

4. Resultat

I detta avsnitt berörs de utvalda städernas materialval. Materialvalet studeras med utgångspunkt i typritningar för anläggning av växtbäddar med träd och eventuell undervegetation i hårdgjord yta. Materialen undersöks vidare genom en redogörelse av dess egenskaper. Fortsättningsvis undersöks även andra alternativa material; återvunna material samt två förnybara material som inte tycks användas i Sverige i någon större utsträckning idag.

4.1 Städernas underlag

De utvalda städerna har i sina handböcker en rad lösningar för olika typer av planteringar i urban miljö. Lösningarna för trädplantering i hårdgjord yta med eventuell undervegetation är snarlika städerna emellan med små skillnader.

4.1.1 Göteborg

I en typritning som publicerats i Göteborgs tekniska handbok kan det utläsas att substratet kolmakadam används vid trädplantering i urban miljö. Makadam (8-16mm) och biokol blandas med grönkompost och pimpsten i växtbädden. Kring rotklumpen används en blandning av enbart pimsten (2-8, 70%) och grönkompost (30%) (Göteborg stad 2025).

4.1.2 Malmö

Enligt typritningen för trädplantering i hårdgjord yta med marktäckande undervegetation som publicerats av Malmö stad (2024) kan det utläsas att det används en blandning av pimpsten 2-8 (70%) och grönkompost (30%) precis som i Göteborg. Det kringliggande substratet skiljer sig dock från det som används i Göteborg. Där används i Malmö en blandning av enbart makadam (100-150, 600mm) och pimpsten (2-8, 100L/m²). Malmö har även en alternativ typritning där 10% av grönkomposten i substratet ersatts av 10% biokol.

4.1.3 Stockholm

Stockholmsstad använder sig av en rad olika lösningar vad gäller trädplantering i hårdgjord yta. Val av substrat beror bland annat av slitlagret. Stockholms stad använder precis som i både Göteborg och Malmö pimpsten, grönkompost och makadam. I Stockholms stads växtbäddar för träd i hårdgjord yta används även ögödsblad biokol (Stockholms stad 2024).

4.2 Material

I detta avsnitt behandlas egenskaperna hos de material som används i Sveriges tre största städer -Malmö, Stockholm och Göteborg- samt andra alternativa material som utgörs av återvunnet rivningsmaterial och mer obeprövade material.

4.2.1 Material som används idag

Pimpsten



Figur 2. Pimpsten. Moa Price (2026).

Karaktäristiskt för pimpstenen är dess lätta vikt, därav används pimpstenen ofta i anläggningar med viktbegränsning, som exempelvis på gröna tak eller på bjälklag.

Pimpsten får sin karaktär av att het magma expanderar och sedan snabbt kyls, blåsor av gas bildar då den en porös struktur hos materialet (Flores-Ramirez et. al 2018). Pimpstenens egenskaper varierar beroende på sort och var den kommer ifrån (Whitham och Sparks 1986). Den pimpsten som används i Malmö idag fraktas från Island. Denna pimpsten kommer från vulkanen Hekla (Bara mineraler u.å. a). Vulkanen har under tusentals år fått utbrott som skapat lager av pimpsten i det omkringliggande landskapet. Det senaste utbrottet skapade ett lager av pimpsten år 1104 e.v.t. alltså för drygt 900 år sedan (Larsen och Þórarinnsson 1977).

Den hydraulisk konduktivitet hos pimpsten är 0,37 cm/s (med standardavvikelse på 0,009) (Bollman et. al. 2019), vilket högt och kan liknas med, grovsand och väl strukturerad lera (Blombäck 2025). Den har en hög inre porositeten ($0,61 \text{ cm}^3 * \text{cm}^{-3}$) som är näst intill lika stor som den totala porositeten ($0,73 \text{ cm}^3 * \text{cm}^{-3}$) vid partikelstorlek 2-12mm. Pimpsten har även ett neutralt pH-värde på 7,3 (Flores-Ramirez et. al 2018).

Grönkompost



Figur 3. Grönkompost. Moa Price (2026).

Grönkompost är ett organiskt material vars karaktär varierar beroende på vilken typ av växtdelar den består av. Generellt sett kan grönkomposten minska växternas upptag av tungmetaller eftersom det erbjuder växterna andra näringsämnen. Detta gör att det i naturliga jordar där kompost använts som jordförbättring kan ses en ökad urlakning av näringsämnen. Urlakningen beror bland annat på att porstorleken och därav aggregatstrukturen ökar vid tillförsel av organiskt material. Vattnet kan då lättare rinna genom markprofilen och transportera metallerna genom substratet. Urlakningen påverkar därav reningen negativt (Farrell et. al 2010).

Vid tillförsel av grönkompost ökar mängden kalciumjoner (Ca^{2+}) vilket bidrar till ett ökat pH-värde i jorden genom att kalciumjonen stöter bort aluminium- och vätejoner. (Ross et. al 2008; Farrell et. al 2010). Aluminium- och vätejoner utgör en förutsättning för växternas näringsupptag. Detta beror på att en minskning av dessa joner ger en försämrad katjonbyteskapacitet (CEC) alltså minskad växttillgänglig näring i jorden (Blombäck et. al 2023).

Mängden organiskt material ökar även mängden växttillgängligt vatten (Korn 2016) vilket bidrar till rötternas utbredning. Detta beror på det organiska materialets porstruktur och aggregatbildande förmåga. Det organiska materialet ökar även den biologiska aktiviteten i marken (Blombäck et. al 2023)

Makadam



Figur 4. Makadam. Moa Price (2026).

Enligt Statens väg- och transportforskningsinstitut VTI, Hellman et.al (2025) har makadam en porvolym på 30–40%. Den maximala porvolymen nås när alla stenar är lika stora, det vill säga när kornstorleken är sorterad. Däremot påverkas porvolymen mindre av partiklarnas inbördes storlek. Med en minskad kornstorlek minskar dock materialets permeabilitet. Detta stärks av att Blombäck et. al (2023) menar att makadam i förhållande till naturliga jordar har mycket hög permeabilitet på grund av dess stora andel makroporer.

Med en mindre kornstorleksfördelningen och därmed större porvolym fås en större yta för vattnet att fördelas på när ytan utsätts för tryck. Detta bidrar till en minskad risk för sättningar som skadar slitlagret (Hellman et. al 2025).

Biokol



Figur 5. Biokol. Moa Price (2026).

Biokol framställs genom pyrolys, en syrebegränsad till syrefri uppvärmning som förkolnar organiskt material. Pyrolysen kan genomföras med olika temperatur och på så vis ge olika egenskaper hos det förkolnade materialet.

Avgörande för biokolets egenskaper är; vilket organiskt material som används, topp Temperaturen vid pyrolysen och hastigheten på temperaturökningen vid pyrolysen. Dessa faktorer bidrar till en mycket varierande mängd av olika typer av näringsämnen, skillnader i pH-värde och yta per vikt hos biokolet. Även biokolets porvolym påverkas av dessa faktorer (Ahmad 2014). Biokol som produceras med låg temperatur under pyrolysen har visat sig få hydrofoba egenskaper (Kinney et. al 2012). Studien Kinney et. al (2012) visar fortsatt att biokolet hydrofoba egenskap ökar avsevärt vid pyrolystemperaturer under 300°C. Detta betyder att fältkapaciteten ökar med en ökad pyrolystemperatur. Däremot kan en minskning av fältkapaciteten ses när temperaturen överskrider 500°C. Därav rekommenderar författarna en pyrolystemperatur mellan 400–600°C för att uppnå god fördröjning och vattenhållande förmåga.

Den vattenhållande förmågan ökar linjärt med minskad bulkdensitet i sandig lerjord vid tillförsel av biokol (Verheijen et. al 2019). Den ökade ytan per vikt, är ett bevis på en ökad porvolym. Den ökade porvolymen ger även jorden en ökad mättad hydraulisk konduktivitet (Blanco-Canqui 2018). Mängden organiskt material ökar även mängden växttillgängligt vatten (Korn 2016).

Eftersom biokol är ett organiskt material bryts det ned över tid, pyrolysen bidrar dock till en avsevärt långsammare nedbrytning av det organiska materialet jämfört med exempelvis grönkompost (Blombäck et. al 2023). Ett resultat av pyrolysen är dock att mer kol försvinner ut från materialet med högre pyrolystemperaturer (Kinney et. al 2012). Balansen mellan dessa faktorer gör att biokol i vissa fall kan ses som en kolsänka.

4.2.2 Återvunna material

Material från rivna strukturer besitter egenskaper som kan komma till nytta i anläggandet av nya växtbäddar (Boverket 2026). I detta avsnitt lyfts tre möjliga material (tegel, betong och glas) och dess egenskaper.

Tegelkross



Figur 6. Tegel. Moa Price (2026).

Studien Zhang et. al (2019) visar att bränt tegel kan förbättra strukturen hos urbana jordar. Teglet ökar den hydrauliska konduktiviteten när det tillförs i naturliga jordsubstrat. Detta beror på att det bidrar till en högre porositet genom att ändra jordens struktur. Vidare visar studien att bränt tegel har sämst fosforrening bland bränt-, obränt tegel och betongkross på grund av att dess partikelyta har en slätare struktur. I detta fall var fosforreningen hos det obrända teglet avsevärt bättre (Zhang et. al 2019).

Obränt tegel har dock en svagare struktur än bränt tegel och betong och är därav mer känslig för kompaktering. Den svagare strukturen kan sätta igen porer och därmed störa vattnets väg genom jordprofilen (alltså minska den hydrauliska konduktiviteten). Däremot är obränt tegel det enda av de tre materialen vars partikelstorlek inte är absolut avgörande för reningsförmågan även om de två tegelmaterialens fosforrening ökade med partikelstorleken (Zhang et. al 2019).

Det kan i en studie av Nehls et.al. (2012) konstateras att växternas rötter kan växa kring tegelbitarna och in i dess små porer. Teglets små interna porer gör även att växtrötterna -på grund av kapillärkraften- kan tillgodose sig stora delar av vattnet i partikeln även om roten endast kommer åt en del av partikeln.

Teglets mättade hydrauliska konduktivitet kan jämföras med den samma hos en lerjord. Partikelstorleken påverkar dock inte katjonbyteskapaciteten som är låg i förhållande till exempelvis lerjordar. Utöver detta framgår att teglet kan höja pH-värdet i jorden. (Nehls et. al 2012).

Krossad betong



Figur 7. Krossad betong. Moa Price (2026).

Den krossade betongen renar fosfor genom adsorption på partikelytan (Alam et. al 2021; Tanmoy et. al 2022). Krossad betong har en grov partikelyta. Den grova partikelytan gör att de krossade betongpartiklarnas begränsade area är stor. Detta medför i sin tur att den krossade betongens reningsförmåga är god, liksom för obränt tegel när de jämförs med bränt tegel (Zhang et. al 2019). En studie av Deng och Wheatley (2018) visar att den mest effektiva fosforreningen med hjälp av krossad betong (2-5mm) sker vid pH 5 vilket då ger en reningseffekt på 90%. Reningsförmågan minskar dock med minskad partikelstorlek. Den grova partikelytan ger även en god infiltrationsförmåga (Zhang et. al 2019).

Tillförsel av krossad betong kan förbättra infiltrationsförmågan och den hydrauliska konduktiviteten hos naturliga jordar. Däremot kan en för liten andel krossad betong få motsatt effekt och porutrymmet i stället sätt igen (Zhang et. al 2019).

Glas



Figur 8. Krossat glas. Marc Pascual (2016) CC0.

I en studie av Gill et. al (2009) framgår att glaspartiklar kan ge samma hydrauliska egenskaper som sand. Studien visar även att dess rening är jämförbar med den rening som kan ses hos sand. Detta med undantag för fosforreningen som är mer effektiv hos sand. Vidare framgår att glas har god permeabilitet, vilket i sin tur gör att tillförsel av glas i naturliga jordar ökar resistensen mot kompaktering (Gill et. al 2009). Reningen av kväveoxid och nitrat förbättras av att glas innehåller kiseloxid vilket skapar en något sur yta på partiklarna (Alam et. al 2021).

Glas krossas i regel i container och är därför i stor utsträckning förorenat, något som gör att det vanligtvis läggs på deponi i stället för att återvinnas (Boverket 2026).

4.2.3 "Obeprövade" förnybara material

I detta avsnitt beskrivs kortfattat två material. Dessa material bedöms inte som särskilt efterforskade och kan därför vara intressanta att vidare forskning. Båda materialen som beskrivs i detta avsnitt är möjliga att ta fram lokalt.

Skumglas och hasselnötshusk/-fiber



Figur 9. Skumglas. Moa Price (2026).



Figur 10. Hassel husk. Zoli Magyarorzág (2016) CC0.

Skumglas framställs genom att pulveriserat glas värms upp tillsammans med ett skumningsmedel. Uppvärmningen sker i en gasugn, när skummedlet förgasas fylls glasmassan av mikroporer (Matlock och Rowe 2016). Processen bildar ett poröst material med låg bulkdensitet.

Hasselnötshusk/-fiber är en restprodukt från bland annat skogsbruket som kan fungera som jordförbättrare. Det är ett organiskt och förnybart material som förbättrar jordstrukturen hos naturliga jordar genom en ökad permeabilitet, bärighet och rening (Guney 2013). Trots att det är ett organiskt material visar studien Özkaraovaa et. al (2019) att det inte sker något mätbart näringsläckage i substrat där hasselnöts fiber tillförts. Vidare visar studien att tillförsel av det organiska materialet sänkte pH-värdet i markprofilen.

5. Analys

Eftersom klimatprognosen baseras på antaganden är det ogenomförbart att ta fram exakta siffror som speglar hur klimatet kommer se ut i framtiden. Vad som däremot är möjligt är att se tendenser och därigenom anpassa de typer av egenskaper som önskas av materialen i växtbäddarna. I detta avsnitt analyseras dessa tendenser för klimatförändringar i förhållande till de studerade materialen och hållbarhetsaspekter.

5.1 Klimat

Ett varmare klimat bidrar till en större andel extrema regn, det bidrar också med större avdunstning av markfukt. När andelen frostdygn minskar och nederbörden ökar påverkas vattenmängden över de olika årstiderna (SMHI 2025). De blötare vintrarna gör infiltrationen viktig. För att undvika stående vatten på gator och torg krävs då stora porer som gör att vattnet kan perkolera genom markprofilen (Zhang et. al 2019; Hellman et. al 2025). Som motsats till de blötare vintrarna bidrar den högre avdunstningen till torrperioder under vår- och sommarhalvåret (SMHI 2025).

De undersökta städerna väntas drabbas av klimatförändringarna på något olika sätt, även om den generella trenden gäller för hela landet. (Lee et. al 2021; SMHI 2024)

5.1.1 Städerna nu och i framtiden

Enligt *figur 1* från SMHI (2024) kommer nederbördsökningen se olika ut i olika delar av landet. Utöver detta skiljer sig dagens förutsättningar mellan de utvalda städerna. SMHI (2025) visar att nederbörden väntas öka mest i Göteborg och Stockholm. Detta resulterar i att klimatet har vissa skillnader som bör tas i beaktning vid klimatanpassning. För att uppnå klimatanpassning krävs växtbäddar med förmåga att hantera stora mängder vatten i dessa städer, framför allt i Göteborg där nederbörden även i nuläget är större än i Stockholm (SMHI 2024; SMHI 2025). Samtidigt krävs växtbäddar som kan hantera torrperioder där trädens överlevnad riskeras om vattenhalten i växtbäddarna blir för låg (Krabel 2016).

Göteborg

Som tidigare nämnts kommer de dominerande vindarna in över Sverige från väst och sydväst. Detta gör att Göteborg befinner sig i en av de mest nederbördsdrabbade delarna av Sverige (SMHI 2024; SMHI 2025).

Årsmedelnederbörden för referensperioden som beskrivs under *Klimat 3.1* var

896 mm. Denna beräknas öka med mellan 15–20 % beroende på vilket av de två tidigare nämnda scenarion (RCP4,5 eller RCP8,5) som studeras (SMHI 2024). Detta skulle resultera i en årsmedelnederbörd omkring 1030–1075 mm i slutet av seklet. Vägs dessutom prediktionen om mer skyfall in kan det antagas att det i perioder blir betydligt blötare i denna region i slutet av seklet jämfört med dagens läge (SMHI 2025).

Malmö

Enligt SMHI:s analys (2026), se figur 1, av klimatscenario RCP8,5 kommer Malmö's förändring av årsmedelnederbörd inte bli lika stor som hos Göteborg och Stockholm. Däremot kommer de ökande temperaturerna också öka avdunstningen och därigenom marktorkan (SMHI 2025).

Stockholm

Stockholm ligger i ett mellanläge vad gäller nederbörd. Det väntas ske en större förändring än vad som väntas i Malmö. Däremot är nederbörden idag inte lika stor som i Göteborg vilket i sin tur medför att nederbörden inte väntas vara lika stor i Stockholm som i Göteborg kring år 2100. Vad som också kan ses är att Stockholm i slutet av seklet väntas ha ett klimat som liknar det klimat som ses i södra Sverige (Malmö) idag (SMHI 2025).

5.2 Material

Det bristande utrymmet och mängden dagvatten som kommer av en ökande hårdgjord yta och klimatförändringar gör att de växtbäddarna får allt större krav på funktion. Stadsplanering och val av lösningar blir en stor faktor i hur den urbana miljön ska kunna anpassas efter problematiken. Detta skapar behov för kunskap inom det relativt nya område som konstruerade jordar utgör.

Torra perioder med höga temperaturer är ett problem som kräver motsatta egenskaper jämfört med de skyfall som också måste dimensioneras för. Detta är en problematik som ställer stora krav på de urbana växtbäddarnas funktion. En del av denna funktion utgörs av substratet som behöver ha en god lagringsförmåga, reningsförmåga och bärighet för att vara funktionella i en urban miljö (Boverket 2025).

5.2.1 Trädens behov

Vid en ökad mängd extremväder i form av skyfall och torka (SMHI 2025) utsätts träden för en större prövning än idag. Bristen på vatten och syre i rotzonen blir ett växande problem (Krabel 2016) vid dessa alltmer återkommande extremväder. Torrperioder väntas inte komma av minskad nederbörd -som snarare ökar eller förblir relativt oförändrad- utan av en högre avdunstning, på grund av förhöjda

temperaturer (SMHI 2025). En konsekvens av detta blir att marktorkan skapar problem med bland annat trädens närings- och vattenupptag (Krabel 2016). Motsatt effekt har perioder av ökad nederbörd med kraftiga och ihållande regn (SMHI 2025). Detta ger problem med en minskad andel mikroorganismer och svampmycel samt stympade rötter, som kommer av att substratet blir vattenmättat och det väsentliga syret i rotszonen försvinner (Korn 2016; Blombäck et al. 2023).

För att uppnå en god livsmiljö för träden är bevakandet av ett neutralt pH-värde (kring 7) av stor vikt. Detta beror på att mikrolivet som är centralt för trädens överlevnad trivs bäst vid ett neutralt pH-värde (Adesomi Ali et. al 2025).

Av de undersökta materialen har tegel visat sig höja pH-värdet i jorden (Nehls et.al 2012). Detsamma gäller för grönkompost och biokol. Något att ta i beaktning är dock att effekten av dessa material beror på vilken typ av organiskt material som använts för att framställa dem (Ross et. al 2008; Farrell et. al 2010; Ahmad 2014).

5.2.2 Hydraulisk konduktivitet och kompaktering

I den urbana miljön är bärighet en viktig faktor som ger marken resistens mot kompaktering och erosion. Vad som gör detta extra viktigt i städer är det tryck av trafik och människor som utsätter de urbana ytorna för ett stort slitage (Hellman et. al 2025). Det är även viktigt vid en ökande andel skyfall då de större vattenmängderna som kommer över kort tid ökar risken för erosion. Med en ökad nederbörd ökar alltså behovet av bäriga material.

Bärighet redogör för ett materials förmåga att fördela vikt utan att kollapsa/sätta sig. Bärigheten påverkas av materialets styvhet, som minskar vid vattentryck. Detta kommer av att ytan som vattnet kan fördelas på är begränsad till porvolymen. När en yta då utsätts för belastning uppstår ett vattentryck i porerna. När detta sker riskerar trycket att bli så högt att partiklarna flyttar sig och därmed tappar kontakt, vilket i sin tur gör materialet mer flyktigt, alltså minskas materialets styvhet. När partiklarna flyttar sig på det viset finns det risk för att sättningar och håligheter i marken uppkommer (Hellman et. al 2025).

Bärigheten påverkas av packningsgrad och väderförhållanden. Problemet ökar även i material med fler fraktioner då ett mer begränsat porutrymme ger en begränsad yta för vattnet att fördelas på vid tryck. Bärigheten påverkas dock även negativt av material med för stora hålrum och låg packningsgrad. Detta för att det finns risk för att partiklarna flyttar sig -oberoende av vattenmängden- vid belastning (Hellman et. al 2025). Partiklarna bör utöver detta enskilt kunna stå mot tryck för att de inte ska förlora sin struktur vid belastning.

Detta gör att de material med större, sorterade partiklar och låg krossbarhet, som packas något vid anläggning, är väl anpassade till kravet på bärighet. Zhang et. al (2019) menar att betongkross har god funktion som jordförbättrare i urbana jordar. Studien visar att betongkross ökar porositeten och minskar risken för kompaktering i mer naturliga jordsubstrat. Mängfördelningen mellan betongkross och naturlig jord anses dock viktig för att uppnå dess positiva effekt.

Bärighetskraven tillgodoses även av sorterad makadam, tegel och pimpsten som alla är material som behåller sin struktur vid tryck och tillgodoser stor porvolym där vattnet kan fördelas.

Det visar sig i en review av Alaoui et. al (2011) att partiklarnas struktur även har en stor inverkan på den hydrauliska konduktiviteten i en markprofil. Vidare nämns att den grövre partikelstrukturen även påverkar resistensen mot kompaktering positivt. Detta talar för de material med grov ytstruktur som krossad betong tillskillnad från bränt tegel som har en slätare ytstruktur är bättre för att uppnå bärighet.

Partikelstrukturen hos krossad betong bidrar till en ökad hydraulisk konduktivitet när det används som jordförbättrare (Zhang et. al 2019). I motsats till detta kan den svagare strukturen hos obränt tegel sätta igen porer och därmed störa vattnets väg genom jordprofilen, alltså minska den hydrauliska konduktiviteten. Detta gör att obränt tegel inte lämpar sig särskilt väl som jordförbättring i urbana jordar (Zhang et. al 2019).

För att avlasta dagvattennätet och undvika översvämningar vid en ökande mängd stora regnen är infiltrationsförmågan viktig. Som visas i Zhang et. al (2019) och Hellman et. al (2025) är de avgörande egenskaperna för att uppnå detta kornstorleken och kornstorleksfördelningen. Vidare beskrivs att infiltrationen generellt minskar med en minskad partikelstorlek. Detta eftersom substrat med stora porer, i mindre utsträckning sätts igen av slam till följd av kompaktering. De större porerna gör därför, att dessa material bidrar till att vattnet enklare kan rinna genom profilen.

Nackdelen med en hög hydraulisk konduktivitet och infiltrationsförmåga är dock att det växttillgängliga vattnet minskar och att reningen i regel blir mindre effektiv på grund av utlakning. För att undvika detta krävs komplement till material med hög infiltrationsförmåga i form av material med hög vattenhållande förmåga. Material med hög vattenhållande förmåga är de material som har stor total partikelyta, vilket fås av små eller porösa partiklar (Blombäck et. al 2023). Bland de undersökta materialen återfinns denna egenskap hos biokol, grönkompost och pimpsten. Ytterligare alternativ är tegel vars porositet kan uppfylla liknande funktion. Även skumglas är ett material potentiellt god vattenhållande funktion på

grund av sin porositet, även om detta inte kan bevisas med hjälp av den studerade litteraturen.

5.2.3 Rening

I den urbana miljön medför det höga trycket av trafik och människor att föroreningsgraden på marken -och därigenom i dagvattnet- är stor (Borris et. al 2013; Naturvårdsverket 2017). I länder med ett tempererat klimat som Sverige är även halkbekämpning en faktor i föroreningen av dagvattnet (Rust 2016). Vilket är något som minskar i ett mildare klimat, då mindre frost ger mindre halka och mindre halkbekämpning. Ökade regnmängder bidrar också till en ökad andel föroreningar, genom att mer föroreningar lakas ur marken och rinner ut i vattendrag och ned i grundvattnet (Naturvårdsverket 2017).

För att minska problemet med förorenat dagvatten kan vattnet filtreras genom olika dagvattenlöningar. Till dessa lösningar räknas bland annat regnbäddar och andra urbana planteringar (Boverket 2024). Föroreningsgraden i dagvatten som ska filtreras varierar och påverkas av regndjup, intensitet och varaktighet (Borris et. al 2013).

Reningsförmågan skiljer sig mellan de olika materialen, dessutom renar dem vattnet från olika föroreningar. Fosfor renas genom adhesion på partikelytor (Alam et. al 2021; Tanmoy et. al 2022) därför är material med stor partikelyta bra för denna typ av rening. Bland dessa material finns biokol, krossad betong, pimpsten och krossat glas. Utöver detta kan svampmycel hjälpa växter att ta upp fosfor (Blombäck et. al 2023) vilket i sin tur ökar fosforreningen. Alltså är även ett syrerikt substrat, där svampmycelet trivs (Korn 2016; Blombäck et al. 2023), en bidragande faktor till en god fosforrening.

Näringsläckage från organiskt material gör att avvägning av mängd och typ av material blir viktig. Biokol finns i en näst intill oändlig mängd varianter. Studien Kinney et. al (2012), som tas upp i detta arbete, visar att pyrolystemperaturer mellan 400–600 grader är ideala för att uppnå en optimal funktion hos biokolen. Detta bör tas i beaktning vid val av biokol.

5.3 Hållbarhet

Ett cirkulärt byggande är en förutsättning för en mer hållbar framtid (Boverket 2020). Enligt Boverket (2026) finns potential för återvinning av en rad olika material. Källan nämner tegel och glas som material med potential för återvinning. I samma skrivelse nämns även återvunnen betong som möjlig ersättare till makadam/stenkross. Vidare värderas risken för förorenad betong vid återvinning av massor som liten. Däremot menas att risken för föroreningar

fortsatt finns, och att det därav är viktigt att undersöka frågan före det att återvinning sker. Det lyfts även att äldre lättbetong (före 1976) kan innebära en mer omfattande risk för farliga ämnen på grund av att det i regel innehåller uran.

Återvinning av glas beskrivs i nuläget som mer komplicerad jämfört med återvinning av betong och tegel, då renhetskraven för framför allt planglas (fönster, fasader osv.) är mycket omfattande. Problemen med förorenat glas kommer i regel av att det vid rivning blandas med annat material och därigenom kontamineras av föroreningar. Något som gör sorteringsprocessen och hanterandet av rivet gals avgörande för att möjliggöra en hållbar återvinning (Bovrket 2026).

Hållbarheten kan även analyseras hos material som används idag. Pimpsten används idag i mycket stor utsträckning i de ledande kommunerna. Det utgör 70% av substratet kring rotklumpen i både Göteborg och Malmö. I Malmö används utöver detta 100 liter pimpsten per kubik i övrig överbyggnad i (Malmö stad 2024; Göteborg stad 2025).

Huruvida pimpsten är ett hållbart material finns det olika åsikter kring bland källorna. Pimpsten beskrivs av Bara mineraler (u.å. b) som ett klimatsmart alternativ, de argumenterar för att *"Pimpstenen bryts skonsamt och transporteras med en relativt kort båtfrakt, detta resulterar i ett mycket lågt klimatavtryck..."*. Bara Mineralers påstående utmanas i studien Öhrn Sagrelius et. al (2022) som lyfter olika substrats inverkan på miljön. Pimpstenen beskrivs där som ett icke klimatsmart val. I studien belyses transportens längd som en stor faktor till klimatpåverkan. Detta gör att pimpsten -som fraktas med långa båttransporter från Island- ger en stor påverkan på klimatet i förhållande till material som kan utvinnas närmare anläggningsplatsen. Det ses stora skillnader vad gäller miljöpåverkan mellan de undersökta växtbäddarna i studien, där de bäddar med pimpsten uteslutande visade betydligt större klimatpåverkan än de övriga bäddarna (Öhrn Sagrelius et. al 2022).

Biokol -som används i Stockholm och delvis i Malmö- kan utgöra en kolsänka, något som är ekologiskt hållbart då det kapslar in kol som annars skulle brytas ned och gå ut i atmosfären. Detta beror på att pyrolysen bidrar till att biokolen bryts ned i långsammare takt jämfört med annat organiskt material som exempelvis grönkompost (Blombäck et. al 2023).

6. Diskussion och slutsats

Syftet med uppsatsen var att fastställa vilka egenskaper som väntas krävas av framtidens tillverkade jordar i urban miljö. Detta för att undersöka om de material som idag används i Göteborg, Malmö och Stockholm uppfyller de behov som uppstår till följd av klimatförändringar. Eller om hållbarhetsaspekter gör att andra material (återvunna eller obeprövade) kan utgöra ett bättre alternativ till de material som används idag.

Efter att källmaterialet studerats kan det konstateras att de material som idag används i Göteborg, Malmö och Stockholm har god funktion i förhållande till de förutsättningar som ett förändrat klimat ger. Däremot uppstår frågor kring huruvida det är hållbart att samtliga städer i stor utsträckning använder samma material.

Utöver frågan om transporterans hållbarhet vad gäller pimpsten som tas upp under *hållbarhet 5.3* kan frågor också uppstå kring påståendet att pimpsten är ett förnybart material. Detta kan ses som är en sanning med modifikation. Det senaste utbrottet av vulkanen Hekla på Island ägde enligt Larsen och Þórarinnsson (1977) rum för drygt 900 år sedan. Pimpsten är ett naturmaterial med goda egenskaper för klimatanpassning. Däremot kan det omfattande användandet av materialet upplevas riskfyllt, med tanke på att skapandet av pimpsten sker över en lång tidshorisont och är beroende av naturfenomen som människan inte kan kontrollera. Därför kan förslagsvis användningen av pimpsten som lättviktsmaterial vara befogad medan andra alternativ bör ses över när materialets vikt är av mindre betydelse.

De material som idag används har egenskaper som stödjer de behov som finns vad gäller ett förändrat klimat. Att lösningarna i de olika städerna är så lika är inte förvånande med tanke på att de vädermässiga skillnaderna är relativt små. Vad som däremot kan ses som ett problem är som tidigare nämnts den utbredda användningen av ett fåtal material. Det finns i de tekniska handböckerna ingen antydning till möjlighet för användning av återvunna material, trots att det skulle stödja både den ekonomiska och ekologiska hållbarheten.

Utifrån de egenskaper som studien visar anser jag att de återvunna materialen bränt tegel, betong och glas skulle kunna vara ett komplement till de material som används idag. Detta för att uppnå ett cirkulära byggande och samtidigt undvika urholkning av ett fåtal material. På vilket sätt och i vilken utsträckning det är möjligt kan dock variera från fall till fall. Sortering av rivningsmaterial och kortast möjliga transporter bör vara avgörande vid dessa beslut.

Vad som också kan ses vid studierna av materialens egenskaper är att ett enskilt material bevisligen inte har alla de egenskaper som det framtida klimatet kräver. Däremot kan en blandning av material med specifika egenskaper tillgodose de behov som finns i städerna.

Slutsatsen blir därför att rening, infiltration, bärighet, vattenhållande förmåga och ett balanserat pH-värde kan uppnås med mer hållbara alternativ än de som de ledande städerna använder idag. Där krossad betong kan ses som ett komplement till makadam och där tegel kan vara ett komplement till pimpsten. Även glas och hasselnöts husk kan ge goda livsmiljöer för träd genom dess relativt goda vatten- och näringshållande förmåga.

6.1 Metoddiskussion

Vid sökning av källor har ett urval gjorts baserat på faktorer som publiceringsår och relevans till arbetes frågeställning, baserat på titel och abstract. För de undersökta materialen användes de söksträngar som redovisas i metodkapitlet. Ytterligare ett undantag var nödvändigt för informationssökning angående materialet makadam. Söksträngen som redovisas fick ett stort antal träffar. Dessa träffar bedömdes dock inte som relevanta då de rörde andra ämnen, som exempelvis, vilka egenskaper makadam har när det blandas med cement. I stället användes en myndighetsrapport för att studera egenskaperna hos makadam.

Användningen av makadam i växtbäddar tycks vara ovanligt utanför Sverige. Detta kan vara en bidragande orsak till att mer forskning fanns kring pimpsten, biokol och tegel, som verkar ha en något mer utbredd användning i dagsläget. Dessa material användes även som jordförbättrare inom exempelvis jordbruket innan det applicerades i den urbana miljön, vilket kan förklara att mer forskning på dess egenskaper i odlingssammanhang har genomförts.

Bristen på vetenskapliga källor kan tolkas som ett tecken på att de lösningar som idag används har tagits fram genom andra typer av försök. De konstgjorda jordarna för urbana växtbäddar kan även ses som relativt nya, då kraven på dess funktion förändras med stadsplanering och ett skiftande klimat.

6.2 Felkällor

I detta avsnitt beskrivs felkällor i analysen. Det berör de förutsättningar som skapat svaren på frågeställningarna för att ge en bild av vad som bör tas i beaktning vid tolkningen analysen.

6.2.1 Klimat

Klimatets tendens till förändring och ovissheten i de prognoser som görs är en faktor som bör ses med kritisk blick. Det är en omöjlighet att säkert veta hur framtiden ser ut. Utvecklingen är inte linjär och påverkas av en rad parametrar (SMHI 2025) vars storlek och fördelning inte kan förutses.

Ytterligare en felkälla är att de använda klimatscenariorna RCP4,5 och RCP8,5 är framtagna på olika sätt, vilket gör att de inte är direkt jämförbara med varandra. Anledningen till detta är att de *"socioekonomiska, teknologiska och biofysiska antaganden skiljer sig från de andra RCP:ernas"* vad gäller RCP8,5 (Moss et. al 2010).

6.2.2 Material

En del av studierna som använts för att ta fram egenskaper hos de enskilda materialen har gjorts på blandningar. Egenskaperna kan urskiljas men de olika typerna av jordar som förbättras skulle kunna vara en faktor vad gäller hur effektiva dessa egenskaper är. Detta gör att de egenskaper som ses i källmaterialet är inte direkt jämförbara. Ännu en bidragande faktor är att mätningarna och redovisningen av resultaten skett på olika sätt. Detta gör att de konstateranden som görs i detta arbete bör ses som tendenser mer än som hårda fakta.

Ännu en faktor som påverkat resultatet är att detta är ett relativt nytt forskningsområde. Detta gör att mängden information kring de olika materialen har stora skillnader.

Vad som också bör tas i beaktning, är att det utöver materialens egenskaper finns andra faktorer som påverkar växtbäddarnas effektivitet. En av dessa faktorer är växtvalet. Olika växter är olika anpassade till den urbana miljön och detta gör valet av väster till en parameter vad gäller växternas överlevnad. Växterna kan i sin tur även bidra till en förbättrad jordstruktur genom sin rotutbredning. Utöver växtval finns förutsättningar som skötsel, utformning och trafikgrad som påverkar växtbäddarnas funktion i den urbana miljön.

6.3 Förslag på vidare studier

Arbetet har lett till nya frågor och förslag på vidare studier, dessa listas nedan

- Hur kan mer återvunnet material införas i projekteringen av urbana miljöer? Vilka anpassningar kan genomföras i AMA-anläggning för att underlätta införandet av återvunnet material?
- Hur kan bedömningen av förorenat material förenklas för att göra användningen av det återvunna materialet mer attraktivt?
- Vilka växter trivs bäst i det extrema urbana klimatet?
- Kan utformningen av växtbäddarna göra materialens egenskaper mer effektiva?
- Hur skulle hasselnöts husk och skumglas kunna användas i framtiden? Är det rimligt att använda som ersättning till andra material?

Referenser

- Adesomi Ali, A., Terns Iorhemen, O. & Thring, R.W. (2025). Climate adaptation and resilience of biofiltration as a low-cost technological solution for water treatment – A critical review. *Cleaner Water*. 3, 100062.
<https://doi.org/10.1016/j.clwat.2024.100062>
- Alam, T., Bezares-Cruz, J.C., Mahmoud, A. & Jones, K.D. (2021). Nutrients and solids removal in bioretention columns using recycled materials under intermittent and frequent flow operations. *Journal of Environmental Management*. 297, 113321.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113321>
- Alaoui, A., Lioieci, J. & Gerke, H.H. (2011). A review of the changes in the soil pore system due to soil deformation: A hydrodynamic perspective. *Soil and Tillage Research*. 115-116, 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.still.2011.06.002>
- Bara mineraler (u.å. a). *Hekla Malmömodellen Trädplantering i hårdgjorda ytor med tung trafik*. <https://www.baramineraler.se/vaxtsubstrat/trad-och-vaxtbaddar-i-stadsmiljo/hekla-malmomodellen/> [2026-03-20]
- Bara mineraler (u.å. b). *Isländska Hekla Pimpsten förser växterna med vatten och syre under långa perioder*. <https://www.baramineraler.se/vaxtsubstrat/ren-hekla-pimpsten/> [2026-02-23]
- Blanco-Canqui, H. (2018). Biochar and Water Quality. *Journal of Environmental Quality*. 48(1), 2-14 <https://doi.org/10.2134/jeq2018.06.0248>
- Blombäck (2025). *Övningskompendium Grunder för dimensionering av regnbäddar och magasinsvolym i gröna tak och skelettjord, v10*. [internt material]
- Blombäck, K., Dahlin, S. & Eriksson, J. (2023). *Markvetenskap för landskapsarkitekt- och landskapsingenjörsutbildningarna i Uppsala* [internt material]
- Bollman, M.A., DeSantis, G.E., DuChaniós, R.M., Etten-Bohm, M., Olszyk, D.M., Lambrinos, J.G. & Mayer, P.M. (2019). A framework for optimizing hydrologic performance of green roof media. *Ecological Engineering*. 140, 105589.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2019.105589>
- Borris, M., Viklander, M., Gustafsson, A.M. & Marsalek, J. (2013). Modelling the effects of changes in rainfall event characteristics on TSS loads in urban runoff. *Hydrological Processes*. 28(4), 1787–1796. <https://doi.org/10.1002/hyp.9729>
- Boverket (2020). *Hållbart byggande och förvaltning*. <https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/> [2026-02-23]
- Boverket (2021). *Nationell kartläggning av trädäckning i städer och tätorter En pilotstudie*. (2021:12). Boverket.
<https://www.boverket.se/globalassets/publikationer/dokument/2021/nationell-kartlaggning-av-tradtackning-i-stader-och-tatorter.pdf>
- Boverket (2024). *Markanvändningens påverkan på vattenmiljön*.
<https://www.boverket.se/sv/PBL->

- [kunskapsbanken/detaljplan/lamplighetsbedomning/mkn/vattenrelaterade-mkn/vattenforvaltningen/paverkan/](#) [2026-02-23]
- Boverket (2025). *Bygg- och fastighetssektorns uppkomna mängder av avfall*.
<https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/miljoindikatorer---aktuell-status/avfall/>
- Boverket (2026). *Återvinning av byggmaterial*.
<https://www.boverket.se/sv/byggande/cirkular-ekonomi/cirkulara-byggnader/aterbruk/materialatervinning/> [2026-03-06]
- Burcu Özkaraoava, E., Kalin, R.M., Gkiouzepas, S. & Knapp, C.W. (2019). Industrial and agricultural wastes as a potential biofilter media for groundwater nitrate remediation. *Desalination and Water Treatment*. 172, 330-343.
<https://doi.org/10.5004/dwt.2019.25015>
- Cortinovis, C., Geneletti, D. & Haase, D. (2022). Higher immigration and lower land take rates are driving a new densification wave in European cities. *nj Urban Sustainability*. 2, 19. <https://www.nature.com/articles/s42949-022-00062-0>
- Deng, Y. & Wheatley, A. (2018). Mechanisms of Phosphorus Removal by Recycled Crushed Concrete. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 15(2), 357.
<https://doi.org/10.3390/ijerph15020357>
- Farrell, M., Perkins, W.T., Hobbs, P.J., Griffith, G.W. & Jones, D.L. (2010). Migration of heavy metals in soil as influenced by compost amendments. *Environmental Pollution*. 158(1), 55-64. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2009.08.027>
- Flores-Ramirez, E., Abelb, S. & Nhels, T. (2018). Water retention characteristics of coarse porous materials to construct purpose-designed plant growing media. *Soil science and plant nutrition*. 64(2), 181-189.
<https://www.tandfonline.com/doi/epdf/10.1080/00380768.2018.1447293>
- Gill, L., Doran, C., Misstear, D. & Sheahan, B. (2009). The use of recycled glass as a filter media for on-site wastewater treatment. *Desalination and Water Treatment*. 4(1-3), 198-205. <https://doi.org/10.5004/dwt.2009.376>
- Gunnarsson, A., Gustavsson, E., Klintborg Ahlklo, Å., Nolin, C., Olausson, I. & Wiking Leino, M. (2023). *Svensk trädgårdshistoria 1800- och 1900-tal*. Författarna och Kungl. Vitterhetsakademien, Stockholm.
- Guney Seyket, M. (2013). Utilization of hazelnut husk as biomass. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*. 4, 72-77. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2013.09.004>
- Göteborg stad (2022). Teknisk handbok: 12EA3.4 Regnbädd.
<https://tekniskhandbok.goteborg.se/12-projektering/12e-dagvatten-skyfall-och-hogvatten/12ea-dagvatten/12ea3-fordrojnings-och-reningsanlaggningar/12ea3-4-regnbadd/>
- Harrison, O. (2023). The ‘civic-transformative’ value of urban street trees. *Sage Journals, Environmental Values*. 33(4). <https://doi.org/10.1177/09632719231180306>
- Hellman, F., Simonsen, E., Fridell, K., Rahman, S. & Schouenborg, B. (2025). Funktion och uppföljning av BGG (Blå-Grön-Grå) infrastruktur för klimatanpassning (Del

- 1). (1239). VTI. <https://infrasweden.nu/wp-content/uploads/2025/06/Funktion-och-uppfoljning-av-BGG-infrastruktur-for-klimatanpassning-Del-1.pdf>
- Holmgren, N. (2019). *Vattenmyndigheternas riktlinjer för urban markanvändning*. Vattenmyndigheterna. https://viss.lansstyrelsen.se/ReferenceLibrary/54840/VM-riktlinjer-urban-markanv%C3%A4ndning_atg-und.pdf
- IPCC (2023). Climate Change 2023: Synthesis Report. *Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. 184. <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>
- Jiang, N., Zou, W., Lu, Y., Liao, Z. & Wu, L. (2024). Using Recycled Construction Waste Materials with Varying Components and Particle Sizes for Extensive Green Roof Substrates: Assessment of Its Effects on Vegetation. *Sustainability*. 16(1), 414. <https://doi.org/10.3390/su16010414>
- Kagar, M., Clark, O.G., Hendershot, W.H., Jutras, P. & Prasher, S.O. (2016). Bioavailability of Sodium and Trace Metals under Direct and Indirect Effects of Compost in Urban Soils. *Journal of Environmental Quality*. 45(3), 1003-1012. <https://doi.org/10.2134/jeq2015.07.0392>
- Kinney, T.J., Masiello, C.A., Dugan, B., Hockaday, W.C., Dean, M.R., Zygourakis, K. & Barnes, R.T. (2012). Hydrologic properties of biochars produced at different temperatures. *Biomass and Bioenergy*. 41, 34-43. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2012.01.033>
- Korn, S. (2016). Urban tree roots: Problems and peculiarities. I: Roloff, A (red.) *Urban tree management: for the Sustainable Development of Green Cities*. John Wiley & Sons. 36-45.
- Krabel, D. (2016). Fundamentals of tree biology for urban trees. I: Roloff, A (red.) *Urban tree management: for the Sustainable Development of Green Cities*. John Wiley & Sons. 20-34.
- Larsen, G. & Þórarinnsson, S. (1977). H4 and other acid Hekla tephra layers. *Jökull*. 1, 28-46. <https://jokull.jorfi.is/articles/jokull1977.27/jokull1977.27.028.pdf>
- Lee, J.-Y., J. Marotzke, G. Bala, L. Cao, S. Corti, J.P. Dunne, F. Engelbrecht, E. Fischer, J.C. Fyfe, C. Jones, A. Maycock, J. Mutemi, O. Ndiaye, S. Panickal, and T. Zhou, (2021). Future Global Climate: Scenario-Based Projections and Near Term Information. In *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. *Cambridge University Press*, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 553–672. <https://doi.org/10.1017/9781009157896.006>
- Lykke Sörensen, J., Hanson, H., Alkan Olsson, J. & Berndtsson, R. (2025). Implementering av blå-grön infrastruktur i Sverige. (7200). Naturvårdsverket. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:2010613/FULLTEXT01.pdf>

- Malmö stad (2024). Teknisk handbok, Projekteringsstöd, Typritningar: ritning A3-TYP 102B. <https://malmo.se/Teknisk-handbok/Projekteringsstod/Typritningar.html>
- Matlock, J.M. & Rowe, D.B. (2016). The suitability of crushed porcelain and foamed glass as alternatives to heat-expanded shale in green roof substrates: An assessment of plant growth, substrate moisture, and thermal regulation. *Ecological Engineering*. 94, 244–254. doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.05.044
- Moss, R.H., Edmonds, J.A., Hibbard, Manning, M.R., Rose, S.K., van Vuuren, D.P., Carter, T.R., Emori, S., Kainuma, M., Kram, T., Meehl, G.A., Mitchell, J.F.B., Nakicenovic, N., Riahi, K., Smith, S.J., Stouffer, R.J., Thomson, A.M., Weyant, J.P. & Wilbanks, T.J. (2010). The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature*. 463, 747–756. <https://doi.org/10.1038/nature08823>
- Naturvårdsverket (2017). *Analys av kunskapsläget för dagvattenproblematiken*. NV-08972-16. Naturvårdsverket. <https://www.naturvardsverket.se/499c59/globalassets/forskning/analys-kunskapslaget-dagvattenproblematiken.pdf>
- Naturvårdsverket (2025). *Föreordade områden – ett problem för miljö och hälsa*. <https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/foreordade-omraden/omforeordade-omraden/> [2026-02-23]
- Naturvårdsverket (2026). *Klimatet och bygg- och fastighetssektorn*. <https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/klimatomstallningen/omraden/klimatet-och-bygg--och-fastighetssektorn/> [2026-02-23]
- Nehls, T., Rokia, S., Mekiffer, B., Schwartz, C. & Wessolek, G. (2012). Contribution of bricks to urban soil properties. *Journal of Soils and Sediments*. 13, 575–584. <https://dx.doi.org/10.1007/s11368-012-0559-0>
- Ross, D.S., Matschonat, G. & Skyllberg, U. (2008). Cation exchange in forest soils: the need for a new perspective. *European Journal of Soil Science*. 59(6), 1141-1159. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2008.01069.x>
- Rust, S. (2016). Tree inventory, risk assessment and management. I: Roloff, A (red.) *Urban tree management: for the Sustainable Development of Green Cities*. John Wiley & Sons. 111–132.
- SMHI (2024). Klimatanalys för Göteborgs stad. (2024–32). Sjökvist, E., Andersson, M., Eklund, A., German, J., Kalén, O., Qianqian, L. & Norman., M. <https://goteborg.se/wps/wcm/connect/04bc3e56-9a7f-4b24-824e-cdd78a9b82e8/Klimatanalys+f%C3%B6r+G%C3%B6teborgs+stad+2024+%28nr+32%29.pdf?MOD=AJPERES>
- SMHI (2025). Klimatunderlag för klimat- och sårbarhetsanalyser. (Klimatologi nr.74). Sjökvist, E., Andersson, M., Eklund, A., Karlsson, E. & Norman, M. https://klimatanpassningsradet.se/download/18.53cdce23194f389da05422f/1740560511813/Klimatologi_74%20Klimatunderlag%20f%C3%B6r%20klimat-%20och%20s%C3%A5rbarhetsanalyser.pdf

- Stockholm stad (2017). *Växtbäddar i Stockholms stad-en handbok*.
https://leverantor.stockholm/globalassets/foretag-och-organisationer/leverantor-och-utforare/entreprenad-i-stockholms-stads-offentliga-rum/vaxtbaddshandboken/vaxtbaddar_i_stockholm_2017.pdf
- Tanmoy, D.S., Bezares-Cruz, J.C. & LeFevre, G.H. (2022). The use of recycled materials in a biofilter to polish anammox wastewater treatment plant effluent. *Chemosphere*. 296, 134058. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134058>
- Verheijen, F.G.A., Zhuravel, A., Silva, F.C., Amaro, A., Ben-Hur, M. & Keizer, J.J. (2019). The influence of biochar particle size and concentration on bulk density and maximum water holding capacity of sandy vs sandy loam soil in a column experiment. *Geoderma*. 347, 194-202.
<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.03.044>
- Whitham, A.G. & Sparks, R.S.J. (1986). Pumice. *Bulletin of Volcanology*. 48, 209-223.
<https://link.springer.com/article/10.1007/BF01087675>
- Zhang, H., Yu, J., Chen, L., Tao, T., Wang, L. & Zuo, X. (2019). Hydraulic conductivity and phosphorus adsorption preference of various waste bricks used as storm-water bio-filter media. *Desalination and Water Treatment*. 154, 225-234.
<https://doi.org/10.5004/dwt.2019.24027>
- Öhrn Sagrelius, P., Blecken, G., Hedström, A., Ashley, R. & Viklander, M. (2022). Environmental impacts of stormwater bioretention systems with various design and construction components. *Journal of Cleaner Production*. 359, 132091.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132091>

Figurer

- Figur 1. SMHI (2024). Kartan illustrerar beräknad förändring i årsmedelnederbörd för perioden 2071–2100 jämfört med 1971–2000, utifrån medelvärde av 9 modellberäkningar baserade på strålningsdrivningsscenario RCP8.5. (SMHI (2024). SMHI. [Karta]. <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/klimat/klimatmodeller-och-scenarier/vad-ar-ett-klimatscenario> [2026-03-05]
- Figur 2. Pimpsten. Moa Price (2026). *Pimpsten*. [fotografi].
- Figur 3. Grönkompost. Moa Price (2026). *Grönkompost*. [fotografi].
- Figur 4. Makadam. Moa Price (2026). *Makadam*. [fotografi].
- Figur 5. Biokol. Moa Price (2026). *Biokol*. [fotografi].
- Figur 6. Tegel. Moa Price (2026). *Tegel*. [fotografi].
- Figur 7. Krossad betong. Moa Price (2026). *Krossad betong*. [fotografi].
- Figur 8. Krossat glas. Marc Pascual (2016). *Krossat Glas Kristaller Bakgrund*. [fotografi]. <https://pixabay.com/sv/photos/krossat-glas-kristaller-bakgrund-1164515/> [2026-03-05] CC0
- Figur 9. Skumglas. Moa Price (2026). *Skumglas*. [fotografi].
- Figur 10. Hassel husk. Zoli Magyarorzág (2016). *Hasselnötter Stänga Hand*. [fotografi]. <https://pixabay.com/sv/photos/hasseln%c3%b6tter-st%c3%a4nga-hand-sommar-1832735/> [2026-03-05] CC0

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, Moa Price 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.