

Den BlåGrönGrå Framtidsgatan

Ett Gestaltningsförslag som explorativ tillämpning av BGG-system

Josef Ekelund

Självständigt arbete 30hp | Sveriges Lantbruksuniversitet, SLU

Fakulteten för landskapsarkitektur, trädgårds- och växtproduktionsvetenskap

Institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning

Landskapsarkitektprogrammet | Alnarp 2026

Illustrationerna i arbetet är författarens egna om inget annat anges

Den Blågröngrå Framtidsgatan – Ett gestaltningsförslag som explorativ tillämpning av BGG-system.
The BlueGreenGray Future Street – A Design proposal as explorative application of BGG-systems.

Josef Ekelund

Sveriges lantbruksuniversitet

Fakultet: Fakulteten för landskapsarkitektur, trädgårds- och växtproduktionsvetenskap.

Institution: Institutionen för landskapsarkitektur och planering.

Examensarbete vid landskapsarkitekturprogrammet Alnarp.

Handledare: Stefan Sundblad, Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning.

Bitr. handledare: Scott Wahl, Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning

Examinator: Gunilla Lindholm, Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning

Bitr. Examinator: Arne Nordius Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning

Omfattning: 30 hp

Nivå och fördjupning: Avancerad A2E

Kurstitel: Independent Project in Landscape Architecture, A2E

Kurskod: EX0846

Program/utbildning: Landskapsarkitekt

Kursansvarig inst: Marie Larsson, Institutionen för landskapsarkitektur, planering. och förvaltning

Utgivningsort: Alnarp

Utgivningsår: 2026

Omslagsbild: Josef Ekelund (2025)

Upphovsrätt: Alla bilder används med upphovspersonens tillstånd.

Nyckelord: *BGG-system, Blågrön infrastruktur, klimatanpassning*

Publicering och arkivering

☑ JA, jag, Josef Ekelund namn har läst och godkänner avtalet för publicering samt den personuppgiftsbehandling som sker i samband med detta

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

Tack

Ett varmt tack riktas först till min handledare **Stefan Sundblad**, som med sin långa erfarenhet, goda överblick och sin skarpa input väglett mitt arbete till att bli både tekniskt och gestaltningsmässigt. Ett stort tack även till min biträdande handledare **Scott Wahl**, vars fördjupade kunskap om blågrön infrastruktur har varit till stor hjälp i mer specifika frågor. Jag vill också rikta ett särskilt tack till alla respondenter som generöst delat med sig av sin tid, sina erfarenheter och sin expertis.

Björn Nilsson tackas för sina insikter om väg- och VA-frågor och för att han med stor tydlighet förklarade de praktiska utmaningarna med BGG-system i verkliga projekt. **Örjan Stål** bidrog med ett brett och pedagogiskt perspektiv på växtbäddars funktion och drift, något som varit mycket betydelsefullt för mina egna slutsatser. **Yvonne Byström** vill jag också rikta tack till för kunskap om driftsfrågor och den vardagliga verklighet som formar stadens gröna och blå ytor.

Ella Uppala tillförde viktiga resonemang kring kopplingen mellan forskning och praktik och gav nya infallsvinklar på växtanvändningen och de gestaltningsmässiga möjligheterna i BGG-system. **Bengt Syrén** bidrog med djupgående kunskap om substrat och materialegenskaper, vilket stärkt den tekniska delen av arbetet. **Karin Blombäck** tackas för sin vägledning och förmåga att klargöra komplex markfysik på ett lättillgängligt sätt.

Sammanfattning

Den moderna staden står inför en dubbel utmaning: att hantera effekterna av ett förändrat klimat som innebär allt extremare skyfall och värmeböljor, samtidigt som kraven på en förtätad och trivsam livsmiljö ökar. Traditionellt har stadsplaneringen tenderat att fokusera på ekonomiskt mätbara så kallade ’hårda’ värden, såsom konventionell dränering och trafikinfrastruktur, vilket ofta har skett på bekostnad av svårkvantifierade ’mjuka’ värden såsom estetik, rekreation och biologisk mångfald. Konventionella VA-system klarar sällan de ökade vattenvolymerna under kraftiga regn, vilket resulterar i föroreningar som spolas ut i vattendrag, sjöar och hav. Samtidigt riskerar den snabba bortledningen av dagvatten att på sikt urlaka grundvattenmagasinen under allt längre torkperioder.

Denna utmaning kräver en ny syn på hur stadens ytor utnyttjas. Arbetet undersöker potentialen hos Blågröngrå-system (BGG-system) - ett integrerat koncept för hållbar dagvattenhantering som samutnyttjar stadens ytor för vegetation, dagvattenmagasinering och infrastruktur. BGG-system använder sig av porösa överbyggnader (ofta makadambaserade öppna förstärkningslager) under hårdgjorda ytor för att fördröja och rena dagvatten, samt erbjuda en utökad rotvolym för träd.

Syftet med denna studie är att fördjupa förståelsen för de tekniska funktionskrav och utmaningar som BGG-system måste hantera, samt att undersöka hur deras kvaliteter kan implementeras för att skapa ett levande stadsrum. Ett levande stadsrum definieras här bland annat av ökad biologisk mångfald, förbättrat mikroklimat och en god gestaltad livsmiljö som främjar sociala och rekreativa aktiviteter.

Arbetets centrala forskningsfråga är: *”Hur kan BGG-system utformas så att de tillgodoser behovet av mjuka värden i stadsrummet samtidigt som de uppfyller de tekniska funktionskrav som ställs på dem?*”.

Studien genomfördes som en kombination av litteraturstudier, semistrukturerade intervjuer med personer från olika discipliner som alla arbetar med BGG-system samt ett gestaltningsförslag för Prefektgatan i stadsdelen Rosendal i Uppsala. Gestaltningen fungerade som en hypotesprövning för att konkretisera de förvärvade kunskaperna och utvärdera idéer om hur funktionella och rumsliga krav kunde förenas. Rosendal är unikt eftersom områdets BGG-system måste vara tätade mot terrassen på grund av att det ligger ovanför en grundvattentäkt, vilket ställer höga krav på tekniska funktioner som fördröjning och reglerad avledning till det konventionella ledningsnätet.

Gestaltningsförslaget för Prefektgatan utgår från Jan Gehls principer för ett kvalitativt gaturum och implementerar ett oregelbundet, fasetterat formspråk för att bryta gaturummets längsgående riktning och skapa mindre, mer inbjudande rumsligheter. Genom att ge de öppna förstärkningslagren en maximal, sammanhängande utbredning, även under permeabla hårdgjorda ytor, uppnås en mycket stor total fördröjningskapacitet.

Resultatet visar att detta ytmässigt väl tilltagna blågröngrå system på gatan (med en total magasineringsvolym på 148 m³) kompenserar för en lägre hydraulisk konduktivitet i växtsubstratet. Detta möjliggör i sin tur att egenskaper som vattenretention och därmed förbättrad reningsförmåga kan prioriteras utan att systemet tappar i förmåga att hantera extrema regn. Uträkningarna indikerar att systemet skulle klara av ett 50-årsregn med en hydraulisk konduktivitet på 500 mm/h, vilket är långt mer än vad minimikravet för BGG-system vanligtvis brukar dimensioneras för. Gestaltningen kombinerar således hög teknisk kapacitet (fördröjning, rening och reducerad urban heat island-effekt) med tydliga mjuka värden genom att systematiskt skapa uppehållsytor, förbättra växtbäddsförhållanden och införa designade växtsamhällen.

Arbetet belyser hur en avsiktlig, icke-linjär design av BGG-system kan fungera som ett verktyg för att lyfta fram de mjuka värdena i stadsrummet, men konstaterar att komplexiteten i en sådan oregelbunden utformning ställer höga krav på detaljprojektering och höjdsättning för att bibehålla tillgänglighetskrav. Arbetet diskuterar också den ekonomiska aspekten och konstaterar att många delar i gestaltningen är mer kostsamma än den befintliga utformningen men att pengar kan sparas in på en smartare utformning av andra konstruktioner såsom ledningsstråkets dragning, reducerat djup på växtbäddarna. Diskussion omfattar vidare alternativa lösningar för att ytterligare reducera kostnaderna, bland annat ifall snabb infiltration och fördröjning i BGG-systemets underjordiska porutrymme kan ersättas med fördröjning ovan mark där de ytmässigt väl tilltagna regnbäddarna istället fungerar som en hybrid mellan öppna fördröjningsmagasin och regnbäddar med långsam infiltration. Genomgående för hela arbetet är vikten av att både ingenjörs- och designaspekter integreras tidigt i processen.

Nyckelord: *Dagvattenhantering, Blågröna lösningar, BGG-system, Gaturum, Projektering*

Abstract

The modern city faces a dual challenge: managing the effects of a changing climate that brings increasingly extreme downpours and heatwaves, while at the same time meeting the growing demand for a dense and pleasant living environment. Traditionally, urban planning has tended to focus on economically measurable so-called ”hard” values, such as conventional drainage and transport infrastructure, often at the expense of less quantifiable ”soft” values such as aesthetics, recreation, and biodiversity. Conventional water and sewage (WS) systems rarely cope with the increased water volumes during heavy rainfall, resulting in pollutants being flushed into rivers, lakes, and seas. At the same time, the rapid removal of stormwater risks depleting groundwater reserves during increasingly prolonged dry periods.

This challenge requires a new perspective on how urban spaces are used. The work explores the potential of Blue-Green-Grey (BGG) systems—an integrated concept for sustainable stormwater management that makes multifunctional use of urban space for vegetation, water storage, and infrastructure. BGG systems employ permeable superstructures (often open, macadam-based reinforcement layers) beneath paved surfaces to delay and purify stormwater, while also providing extended root volume for trees.

The purpose of this study is to deepen the understanding of the technical performance requirements and challenges that BGG systems must address, as well as to investigate how their qualities can be implemented to create vibrant urban spaces. A vibrant urban space is here defined, among other things, by increased biodiversity, improved microclimate, and a well-designed living environment that promotes social and recreational activities.

The central research question of the work is: “How can BGG systems be designed to meet the need for soft values in the urban space while also fulfilling the technical performance requirements placed upon them?”

The study was conducted through a combination of literature reviews, semi-structured interviews with professionals from different disciplines all working with BGG systems, and a design proposal for Prefektgatan in the Rosendal district of Uppsala. The design served as a hypothesis test to concretize the acquired knowledge and evaluate ideas on how functional and spatial requirements could be combined. Rosendal is unique because the area’s BGG system must be sealed against the terrace due to its location above a groundwater source, which places high demands on technical functions such as detention and regulated diversion into the conventional sewer network.

The design proposal for Prefektgatan is based on Jan Gehl’s principles for a high-quality streetscape and implements an irregular, faceted design language to break the longitudinal direction of the street space and create smaller, more inviting spatialities. By maximizing the continuous extent of the open reinforcement layers, even beneath permeable paved surfaces, a very large total detention capacity is achieved.

The results show that this spatially generous blue-green-grey system (with a total storage volume of 148 m³) compensates for lower hydraulic conductivity in the planting substrate. This in turn makes it possible to prioritize qualities such as water retention and thereby improved purification capacity without losing the ability to handle extreme rainfall. Calculations indicate that the system would withstand a 50-year rainfall event with a hydraulic conductivity of 500 mm/h, which is far above the minimum requirement for what BGG systems are usually designed to handle. The design thus combines high technical capacity (detention, purification, and urban heat island mitigation) with clear soft values by systematically creating gathering spaces, improving planting bed conditions, and introducing designed plant communities.

The study highlights how a deliberate, non-linear design of BGG systems can function as a tool to emphasize the soft values of the urban environment, but notes that the complexity of such irregular design places high demands on detailed planning and elevation setting to maintain accessibility requirements. The work also discusses the economic aspect, noting that many parts of the design are more costly than existing solutions, but that savings can be achieved through smarter layouts of other constructions, such as the alignment of utility corridors and reduced planting bed depths. The study also discusses alternative solutions for further cost reduction, for example, whether rapid infiltration and detention in the subsurface pore space of BGG systems could be replaced with above-ground detention, where generously sized rain gardens instead function as a hybrid between open detention basins and rain gardens with slow infiltration. Throughout the entire study, the importance of integrating both engineering and design aspects early in the process is emphasized.

Keywords: *Stormwater management, Blue-Green solutions, BGG-systems, Street, Construction*

Innehåll

Tack 5

Sammanfattning 6

Abstract 7

Innehåll 8

Figurförteckning 13

Tabellförteckning 15

1. Introduktion 16

1.1 Bakgrund 16

1.1.1 Hållbar dagvattenhantering 16

1.1.2 Motiv bakom studie 16

1.1.3 Hårda och mjuka värden 16

1.1.4 Blå-grön-grå system 17

1.3 Frågeställning 17

1.2 Syfte och mål 17

2. Metod 18

2.1 Litteraturstudie 18

2.1.1 Intervjuer 18

2.1.2 Gestaltning 18

2.2 Avgränsning 19

3. Kunskapsöversikt 20

3.1 BGG-system 20

3.1.1 Hur fungerar ett BGG-system? 20

3.1.2 BGG-systemens ekonomiska och klimatmässiga fördelar 20

3.2 Urbana värmeöar och torkstress 20

3.3 God gestaltad livsmiljö 21

3.3.1 Boverkets mål för gestaltad livsmiljö 21

3.3.2 Plan- och bygglagen om tillgänglighet och avvattning av hårdgjorda ytor 21

3.3.3 Jan Gehl 21

3.4 Grundläggande markfysik 22

3.4.1 Jordens struktur 22

3.4.2 Porositet 22

3.4.3 Kapillaritet 22

3.4.4 Hydraulisk konduktivitet 23

3.5 Öppet förstärkningslager 24

3.5.1 Utbredning av öppet förstärkningslager 24

3.5.2 Anläggning och drift 25

3.6 Konstruktioner i marknivå 26

3.6.1 Tät hårdgjord yta 26

3.6.2 Dränerande hårdgjord yta 26

3.6.3 Träd i hårdgjord yta 26

3.6.4 Regnbädd 27

3.6.5 Täckt regnbädd 27

3.6.6 Upphöjd regnbädd 27

3.6.7 Vegetationsyta 28

3.6.8 Svackdike (Eng – bioswale) 28

3.7 Avvattningsprinciper 28

3.7.1 Perkolation till undergrund 28

3.7.2 Avvattning till dagvattennät 29

3.8 Komponenter 29

3.8.1 Styrbrunn 29

3.8.2 Luft-dagvattenbrunn 29

3.8.3 Luftbrunn 29

3.8.4 Placering av brunnar 29

3.8.5 Dagvattentunnel 29

3.8.6 Kantstödsförankring 30

3.9 Material 30

3.9.1 Makadam till öppet förstärkningslager 30

3.9.2 Växtsubstratet 31

3.9.3 Växtbäddsprofil 32

3.10 Vattnets väg genom systemet 33

3.10.1 Avvattningsprincip för en enhet anpassad för normalt dimensionerade regn.. 33
3.10.2 Avvattningsprincip för en enhet anpassad för extremregn 33
3.11 Rening av dagvatten 33
3.11.1 Dimensionering för reningskrav 33
3.12 Dimensionerade regn 34
3.13 Dimensionering för dagvattenfördröjning. 35
3.14 Växtmaterial för BGG-system. 35
3.14.1 Designade växtsamhällen 36
3.14.2 Designade växtsamhällen för regnbäddar 36
3.14.3 Interception. 37
3.14.4 Växters reningsförmåga 37
3.14.5 Etablering 37
3.14.6 Gödsling 38
3.15 Utformning och dimensionering mot torka, värmeböljor och vinterklimat.. 38
3.15.1 Trädens torkresiliens 38
3.15.3 Dimensionering för att tillgodose vegetationens vattenbehov 39
4. Platsknutna förstudier 40
4.1 Rosendal 40
4.2 Prefektgatan 41
4.2.1 Rumslig analys 42
4.2.2 Rörelser/Entréer 43
4.2.3 Funktioner som ska rymmas 44
4.2.4 Problematik med rumslig utformning. 44
4.2.5 BGG-system på gatan 46
4.2.6 Skuggstudie 46
5. Gestaltning. 49
5.1 Koncept 49
5.2 Strategier 49
5.3 Referensprojekt 52
5.4 Designprinciper för platsen 52
5.5 Rumsliga funktioner 56
5.6 Konstruktioner under mark 57
5.7 Markplaneringsplan 58
5.7.1 Regnbäddar 62
5.7.2 Permeabel beläggning ovanpå öppet förstärkningslager 63
5.7.3 Vegetationsytor. 63
5.8 Uträkningar. 64
5.8.1 Anläggningens fördröjningskapacitet 64
5.8.2 Vattenretention i växtbäddarna. 64
5.9 Avvattning. 65
5.10 Växtblandningar 68
R1: Fuktigare regnbädd 68
R2: Torrare regnbädd 68
S1: Stäpplantering – sol - halvskugga 68
S2: Torr skugga 68
Träd och solitärbuskar 68
U: Upphöjda regnbäddar 68
6. Diskussion 72
6.1 Samverkan mellan hårda och mjuka värden i gestaltningsförslaget 72
6.2 Gestaltningens rimlighet 72
6.3 Dimensionering 73
6.4 Växtbäddsförutsättningar och funktionskrav 73
6.5 Processreflektion 74
6.6 Metoddiskussion 75
6.7 Utblick 75
6.7.1 AI 75
6.7.2 Klimatavryck 75
Referenser 76
Vetenskapliga artiklar 76

Rapporter 76

Kompendier 77

Böcker 77

Statens offentliga utredningar 77

Elektroniska källor 77

Uppslagsverk 78

Produktblad 79

Broschyrer 79

Studentarbeten 79

Bildkällor 79

Tabeller 79

Bilaga 1 - Uträkning av systemets fördröjningskapacitet 80

Bilaga 2 - Uträkning av systemets vattenretention och torkresiliens . . . 84

Bilaga 3 – Frågor Björn Nilsson 86

Bilaga 4 – Frågor Yvonne Byström 86

Bilaga 5 – Frågor Ella Uppala 87

Bilaga 6 – Frågor Örjan Stål 87

Bilaga 7 - Frågor Karin Blombäck 87

Figurförteckning

Figur 1 - Schematisk bild över arbetsprocessen 19

Figur 2 - Bindningskurvor för Växtjord A, Makadam 2-6, 4-8 och pimpsten. Mätningar gjorda av Karin Blombäck Ultuna 23

Figur 3 - Typesektion för öppet förstärkningslager under tät hårdgjord yta 26

Figur 4 - Typsektion för öppet förstärkningslager under dränerande hårdgjord yta 26

Figur 5 - Typsektion för träd i skelettjord under hårdgjord yta 26

Figur 6 - Typsektion för regnbädd 27

Figur 7 - Typsektion för täckt regnbädd 27

Figur 8 - Typsektion för upphöjd regnbädd. 27

Figur 9 - Typsektion för vegetationsyta ovanpå öppet förstärkningslager. 28

Figur 10 - Typsektion för svackdike 28

Figur 11 - Typsektion för regnbädd som avvattnar genom perkolation till undergrund 28

Figur 12 - Typsektion för regnbädd som avvattnar mot konventionellt ledningsnät 29

Figur 13 - Typsektion för utformningen på en styrbrunn i ett BGG-system 29

Figur 14 - Fotografi av en regnbädd under uppförande i Rosendal, Uppsala. 30

Figur 15 - Lockstone © Kantstödsförankring 30

Figur 16 - Typsektion av en regnbädd med horisontella substratlager. 32

Figur 17 - Typsektion av en regnbädd med homogen substratprofil. 32

Figur 18 & 19 - Strypt utflöde från linjeavattningen ut i regnbädden vid Sankt Kjelds plads i Köpenhamn. Foto: Scott Wahl 2024. 33

Figur 20 - Regnvolym uttryckt som en funktion av regnets varaktighet och återkomsttid, enligt Dahlström (2010). 34

Figur 21 - Regnintensitet i relation till varaktighet, baserat på Dahlström (2010). 34

Figur 22 - Fotografi över Carlshage, Rosendal, Uppsala. 40

Figur 23: Karta över södra Uppsala. Rosendal är orangemarkerat (Lantmäteriet 2025) 40

Figur 24: Situationsplan över etapp 2 i Rosendal. Prefektgatan är orangemarkerad. Skala 1:3000 (Lantmäteriet 2025) 41

Figur 25: Foto av prefektgatan i december 41

Figur 26 - Befintlighetsplan över Prefektgatan 41

Figur 27 - Rumslig analys 42

Figur 28 - Typsektion, rumslig analys. 42

Figur 29 - Rörelseanalys 43

Figur 30 - Överlapp mellan ledningsgrav, husgrunder och öppet förstärkningslager 45

Figur 31 - Nulägesplan med sektionsmarkering för figur 32 45

Figur 32 - Sektion A-a 45

Figur 33 - Inlopp och dagvattenbrunn 46

Figur 34 - Höjdsättningen ska i första hand leda vatten till regnbäddens inlopp och i andra hand till styrbrunnen där vattnet i första hand leds till det öppna förstärkningslagret genom spridledningen. Dock kommer vattenflödet söderifrån att ledas direkt till brunnen och därmed aldrig nå regnbädden. 46

Figur 35 - Sektion X-x. 46

Figur 36 - Skuggstudie gjord i Sketchup för 20e Maj kl. 08:00, 10:00, 12:00, 14:00 & 16:00. 46

Figur 37 - Fotografi av Prefektgatan i december 2024 47

Figur 38 - 3D rendering av gaturummet efter omgestaltning, gjord i V-ray och Photoshop 48

Figur 39 - Konceptuell plan / strategi för sociala rum, visuella barriärer och rörelsemönster som legat till grund för gestaltningen. 49

Figur 40 - Illustrationsplan för prefektgatan efter omgestaltning 50

Figur 41 - Sektion A-a. 50

Figur 42 - Sektion B-b 50

Figur 43 - Sektion C-c 50

Figur 44 & 45 Sankt Kjelds Plads & Bryggevangen (Eye 2019) 52

Figur 46: Norrtälje Hamn (Werner Nystrand 2015) 52

Figur 47: Grönare Möllan (Bara mineraler 2020) . . 52

Figur 48 - Fågelperspektiv över gaturummets former 52

Figur 49 - Träd med formstarka habitus 53

Figur 50 - Permeabel markstensbeläggning lagda med spalter där gräs kan växa. 53

Figur 51 - Exempel på mjuk övergång mellan hårt och mjukt, fältstenar som inkörningsskydd och möjlighet till att beträda regnbädden. 53

Figur 52 -Terrängmodellering i bäddarna 53

Figur 53 - Upphöjda regnbäddar invid fasader. . 54

Figur 54 - Sekundära sittplatser 54

Figur 55 - Rumsligheter runt entréer 54

Figur 56 - Vegetation som bildar vinterståndare. 54

Figur 57 - 3D-rendering som visar del av gaturummet efter omgestaltning 55

Figur 58 - Funktionsplan - fordonstrafik 56

Figur 59 - Funktionsplan - gångare och cyklister 56

Figur 60 - Funktionsplan - grönska och dagvatten 56

Figur 61 - 3D-modell över konstruktioner under jord 57

Figur 62 Konstruktioner under jord. 57

Figur 63 - När de mindre regnbäddarna utan kupolbrunnar svämmar över leds vattnet till den största regnbädden. 57

Figur 64: Indelning av markplaneringsplan 58

Figur 65: Sektion D-d. 'Upphöjd regnbädd' Skala 1:20 58

Figur 66: Detalj A skala 1:20 58

Figur 67: Detalj B. Skala 1:40. 58

Figur 68: Detalj C. Skala 1:40 58

Figur 69: Sektion A-a. Skala 1:75. 58

Figur 70: Markplaneringsplan, utsnitt 1. Skala 1:150 59

Figur 71 Sektion B-b Skala 1:75. 60

Figur 72: Sektion C-c. Skala 1:75. 60

Figur 73: Markplaneringsplan, utsnitt 2. Skala 1:150 61

Figur 74 - 3D-rendering av den största regnbädden på gatan efter omgestaltning. 62

Figur 75 - Bindningskurva för 'Hekla regnbädd' ©. Baserat på mätningar gjorda av Karin Blombäck. . 64

Figur 76 - Regnbäddar där vatenretention har beräknats samt trädens sammanslagna kronprojektion vid fullvuxen ålder enligt Planter.se (u.å) 64

Figur 77 - Avvattningsplan 1. Skala 1:150 66

Figur 78 - Avvattningsplan 2. Skala 1:150 67

Figur 79 - Planteringsplan. Skala 1:150 70

Figur 80 - Vegetationssektion A-a 71

Figur 81 - Vegetationssektion B-b 71

Figur 82 - Vegetationssektion C-c 71

Figur 83 - Volymerna på de olika öppna förstärkningslagren. 81

Figur 84 - Bindningskurva för "Hekla regnbädd" ©. 85

Figur 85 - Total kronprojektion i de undersökta växtbäddarna 85

Tabellförteckning

Tabell 1 - Uppskattad ökning av dödsfall till följd av extremvärme (SOU 2007:60, s.116) 20

Tabell 2 - Sannolikhet att en händelse inträffar inom en viss tidsram, baserat på dess återkomstfrekvens. (Svenskt vatten 2016, s.33). 34

Tabell 3 - Avrinningskoefficienter för olika marktyper (Svensk Vatten 2016 s. 68) 80

1. Introduktion

1.1 Bakgrund

1.1.1 Hållbar dagvattenhantering

I staden är det flera intressen som ska tillgodoses. En alltmer förtätad stad och ett förändrat klimat med värmeböljor och mer extrema skyfall ställer högre krav på effektiviteten i yt-användningen. Sedan bilismens intåg i samhället på 60-talet har våra städer kommit till att anpassas för bilen vilket avsevärt ökat behovet av asfalterade gator och parkeringsplatser. Även mer hållbara transportmedel som kollektivtrafik och cyklar är också beroende av hårdgjorda ytor för framkomlighet. Hur ska ett stadsrum kunna rymma plats för både transport, dagvattenhantering och grönska?

Vid alltmer kraftiga regn med ökade vattenflöden som följd är det inte alltid stadens konventionella ledningsnät klarar av att hantera dessa volymer. Ett annat problem som uppstår när vi ständigt leder bort dagvatten direkt till vattendrag, sjöar och hav är att föroreningar från våra gatumiljöer spolas med (Fridell et al. 2023). Att rena dagvatten på samma sätt som vi renar spillvatten från hushåll och verksamheter är varken ekonomiskt eller hållbarhetsmässigt försvarbart. Enligt uträkningar gjorda för Göteborg Stad skulle rening av dagvattnet vid ett dimensionerat 1-års regn inom kommunen kräva 40 reningsverk lika stora som Ryaverket för att uppnå de reningskrav som ställs på spillvatten (Svenskt vatten 2016). För att ge perspektiv motsvarar detta volymen avloppsvatten från totalt 32 miljoner människor under ett år (Göteborg Stad u.å).

Klimatförändringarna kommer att leda till längre torkperioder där våra grundvattenmagasin kommer att vara en ovärderlig tillgång. Om vi ständigt leder bort allt ytvatten i stället för att låta det infiltrera kommer detta på sikt att urlaka grundvattenmagasinen (Svensk Markbetong 2019 s.7).

Naturvårdsverket målsättning är att alla kommuner innan 2023 ska ha börjat integrera en hållbar dagvattenhantering i ny bebyggelse eller vid påtagliga ändringar av bebyggelse. Detta innebär att minimera mängden förorenat vatten som spolas ut i sjöar, vattendrag och grundvatten samt minimera risk för översvämning och de skador som medförs. Dagvattenhanteringen ska också vara utformad för att främja urbana ekosystemtjänster och kunna hantera ett föränderligt klimat. I befintlig bebyggelse ska kommuner senast 2025 tagit fram handlingsplaner för befintliga områden som löper extra stor risk för översvämning (Naturvårdsverket 2024a).

1.1.2 Motiv bakom studie

Under min praktik på Edge i Malmö fick jag inblick i den komplexa värld som byggbranschen utgör, där olika aktörer och professioner behöver komma överens. En viktig insikt var hur viktig kommunikationen mellan ingenjörer och arkitekter är för att ett projekt bli lyckat. Det var även under praktiken som jag blev introducerad till konceptet blå-grön-grå system.

Arbetet hade till en början fokus på växtanvändning i BGG-system. Studien var tänkt att jämföra typkonstruktioner för BGG-system i olika tekniska handböcker och studera projekt som använt sig av dessa handböcker för att sedan utvärdera för- och nackdelar med dessa typkonstruktioner kopplat till deras växtbäddsförutsättningar och funktionstekniska krav. Att få tag på bygghandlingar för dessa anläggningar var lättare sagt än gjort. Ett av referensprojekten var Bryggevangen och Sankt Kjelds plads i Klimatkvarteret i Köpenhamn som SLA designat. SLA är en dansk landskapsarkitektstudio som är kända för att jobba med naturbaserade lösningar. Deras grön-blå projekt har varit en stor inspiration för projekt under min studietid, därför var jag nyfiken på vilken handbok SLA använt sig av i sitt arbete. Vid mailkontakt med projektledare Bjørn Ginnman på SLA framkom att de inte använder sig av handböcker över huvud taget. I deras organisation är ingenjörerna underordnade designteamet som består av både landskapsarkitekter, antropologer och biologer med fler. Detta arbetssätt var enligt Ginnman var en av anledningarna till projektets framgång. Design som går utanför praxis för klassisk stadsbyggnad är enligt Ginnman svårt att få igenom i en svensk kontext eftersom det finns ett mycket starkt ingenjörstänk i den svenska byggbranschen.

Detta fick mig att ändra riktning i mitt arbete och i stället vilja undersöka hur typkonstruktioner för BGG-system i svenska tekniska handböcker kan anpassas till utformningar och användningsområden som de traditionellt inte är utformade för.

1.1.3 Hårda och mjuka värden

Det finns ofta en intressekonflikt mellan vad som brukar benämnas som hårda- och mjuka värden. Filosofiforskaren Jonna Bornemark skriver i boken ”Det omätbaras renässans – en uppgörelse med pedanternas världsherravälde” (2018) hur vår samtid har en överdriven tilltro till rationalism och kalkylerande metoder, ofta på bekostnad av vad hon benämner som ”Det levda”. Samtidens strävan efter att kunna förklara alla delar av existensen med hjälp av ”hårda data” gör att värden som går att mäta och kontextualisera på detta sätt är mycket lättare att argumentera för i samhällsplaneringen än aspekter som är abstrakta eller på andra sätt inte kan kvantifieras (Bornemark 2018).

Hårda värden avser i detta arbete de värden som har direkta ekonomiska eller materiella fördelar eller är direkt mätbara. Det handlar om tekniska lösningar men även reglerande ekosystemtjänster. I kontexten av detta arbete gäller det först och främst 'rening av vatten', 'fördröjning av skyfallsvatten', 'klimatreglering' samt 'erosionsskydd'. Även de andra reglerande, försörjande och stödjande ekosystemtjänsterna har direkta ekonomiska och materiella värden på makronivå men är inte mätbara i kontexten av ett enskilt stadsrum (Boverket 2019).

Mjuka värden definieras som de icke mätbara värdena och gäller i denna kontext främst de kulturella ekosystemtjänsterna såsom estetiska värden, rekreation, platsuppfattning och identitet (Boverket 2019). Även de reglerande, försörjande och stödjande ekosystemtjänster som inte är mätbara i den lilla skalan är fortfarande en viktig länk i den gröna infrastrukturen (Naturvårdsverket 2024c). Ett förändrat jordbruk och skogsbruk har gjort att många djurarter är förvisade till urbana miljöer vilket gör staden till ett viktigt habitat för dessa arter (Sandström et al. 2015 s.36). Mjuka värden inkluderar även Jan Gehls definition av ett kvalitativt stadsrum vilket betyder att en större amplitud av aktiviteter tar plats – både sociala och valfria aktiviteter (Gehl 2010).

1.1.4 Blå-grön-grå system

Blågröngrå-system innebär ett samutnyttjande av stadens ytor för infrastruktur, dagvattenmagasinering och vegetation i stället för att jobba med separata bebyggelsestrukturer för att lösa var och en av dessa. Detta är inte bara mer yteffektivt utan även mer ekonomiskt effektivt både sett till anläggningskostnader och skötsel samtidigt som det genererar större gröna värden (Fridell et al. 2023 s.12). Historiskt sett har vägingenjörer velat hålla vatten borta från vägkonstruktioner eftersom vattnet förstör vägöverbyggnadens bärighet och leder till sättningar och sprickor i slitlagret. Under senare år har tekniker för dränerande vägkonstruktioner utvecklats och numera kan samma bärighet och hållfasthet uppnås med alternativa metoder (Svensk Markbetong 2019).

Det finns en rad olika konstruktionstyper med olika egenskaper och lämplighet beroende på trafikbelastning, markförhållanden och önskad grad av infiltration (Svensk markbetong 2019).

BGG-systemens huvudsakliga användning kan vara olika beroende på vilka behov som är störst på platsen. Ofta används de i trafikerade miljöer där deras rumsliga funktion är trafikreglering – antingen att separera olika trafikflöden som cykel/gångbana och bilväg eller som fartdämpande åtgärd på lokalgator. Det finns flera handböcker och praxis för hur BGG-system bör anläggas som oftast avser trafikmiljöer och förutsätter raka former och genomgående tvärsnitt av anläggningstekniska och funktionella skäl. I miljöer där fotgängare är prioriterade såsom lokalgator och gångfartsområden ser behovet dock annorlunda ut. Jan Gehls definition av ett gott stadsrum handlar om de mänskliga aktiviteter som tar plats (Gehl 2010). Efter att ha tagit del av olika stadsrum med BGG-system där deras huvudsakliga rumsliga funktion är kopplad till trafikreglering väcktes frågan kring huruvida de i en på en lokalgata skulle kunna anpassas och utformas med avseende på människors rörelser och aktiviteter och hur detta skulle komma att påverka deras funktionella kapacitet.

1.2 Syfte och mål

Syftet med arbetet är att få fördjupad förståelse för de tekniska funktionskrav och utmaningar som BGG-system måste ta hänsyn till, undersöka vilka utmaningar som BGG-system har potential att lösa samt vilka kvalitéer de har potential att kunna tillföra i en stad för att sedan undersöka hur dessa funktioner och kvalitéer kan implementeras för att skapa ett levande stadsrum. Ett levande stadsrum innebär bland annat ökad biologisk mångfald och förbättrat mikroklimat men inte minst en god gestaltad livsmiljö för människor vilket är huvudfokuset i detta arbete.

Målet med arbetet är att mynna ut i ett gestaltningsförslag av Prefektgatan i Rosendal som visar på hur ett BGG-system både kan användas som verktyg för att skapa ett mer levande och sinnrikt stadsrum och samtidigt svara mot de tekniska funktionskrav som ställs på systemet gällande rening och fördröjning. Förslaget ska vara ekonomiskt försvarbart och i möjligaste mån ta hänsyn till byggnadstekniska aspekter. Incitamentet för att göra gestaltningsarbetet är att konkretisera de kunskaper som förvärvats under kunskapsinsamlingen samt att pröva och utvärdera de idéer som uppkommit under processen.

1.3 Frågeställning

”Hur kan BGG-system utformas så att de tillgodoser behovet av mjuka värden i stadsrummet samtidigt som de uppfyller de tekniska funktionskrav som ställs på dem?”

2. Metod

2.1 Litteraturstudie

Arbetet utgår ifrån en litteraturstudie av BGG-systems tekniska utformning med utgångspunkt i Edges handbok ’Levande stadsrum’ (Fridell et al. 2023) som har kompletterats med andra handböcker samt fördjupad läsning om växtanvändning, växtbäddsprofiler och markfysik samt publicerade fallstudier av olika BGG-systems prestanda. Litteraturstudien berör också konceptet god gestaltad livsmiljö där Jan Gehls ’Life between buildings’ har använts som utgångspunkt tillsammans med Boverkets direktiv för gestaltad livsmiljö. Även principer från andra designtraditioner omnämnda i Murphy (2016) och Thomphsson (1999) har tagits med.

2.1.1 Intervjuer

Som komplement till litteraturstudien har intervjuer gjorts med respondenter som besitter fördjupad kunskap inom olika delar av området. Urvalet av respondenter skedde delvis genom rekommendation från handledare men också genom rekommendationer från respondenter. Min bedömning är att varje respondent har kommit med unika perspektiv och erfarenheter som kompletterar varandra och ger insikter som litteraturen inte kunnat ge. Intervjutekniken som har använts är vad Patel & Davidsson (2019, s. 104–105) benämner som kvalitativa eller semistrukturerade intervjuer med en låg grad av standardisering. Syftet med att använda denna typ av intervjuteknik är enligt Patel & Davidsson (2019) att ”identifiera flera egenskaper eller beskaffenheter hos något, till exempel den intervjuades livsvärld eller uppfattningar kring något” (ibid). Arbetets avsikt med att genomföra intervjuerna på detta sett är att kunna diskutera de frågor som uppkommit under litteraturstudie och gestaltningsarbete som inte de litterära källorna kan besvara. Det kan exempelvis gälla respondenternas uppfattningar och erfarenheter av olika tillvägagångssätt. Innan varje intervju har öppna diskussionsfrågor skickats ut för att förbereda respondenten på vad intervjun kommer att handla om och i vilket syfte den genomförs. Dessa frågor finns redovisade i bilaga 3-7. Intervjuerna har spelats in och därefter sammanfattats i text där relevanta citat tagits ut för att stärka trovärdigheten hos den sammanfattade texten. Innan varje intervju hållits har en samtyckesblankett för behandling av personuppgifter och inspelning skickats ut. Vissa respondenter har intervjuats vid mer en ett tillfälle. Patel & Davidsson (2019 s. 207) poängterar att detta kan innebära att nya insikter tillkommer vid det senare intervjutillfället och att respondent och forskare kan ändra åsikt från ett tillfälle till ett annat. Detta kan enligt Patel & Davidsson (2019) tillföra ett djup till intervjustudien.

Följande respondenter har intervjuats i studien:
Björn Nilsson – I grunden utbildad bergingengör men som under större delen av sitt yrkesliv arbetat med väg- och VA och var med och projektledde projekteringen av BGG-systemen i Rosendal.
Örjan Stål - Landskapsingenjör VIÖS AB, Universitetsadjunkt vid SLU institutionen för Stad & Land.
Yvonne Byström – Parkingengör Uppsala kommun. Driftansvarig för utemiljön i Rosendal.
Ella Uppala – Landskapsarkitekt Ramboll, doktorand vid institutionen för stad och land, SLU.
Bengt Syren – Hortonom, Teknisk säljare/produktansvar substrat Bara Mineraler.
Karin Blombäck – Forskningsledare på institutionen för mark och miljö, SLU.

2.1.2 Gestaltning

Gestaltningsdelen av detta arbete kan beskrivas som vad landskapsarkitekten Ervin Zube (1983) kallar ”Design som hypotesprövning”. När en landsdesigner omformar ett landskap så kan omgestaltningen närmast beskrivas som en spekulation att omgestaltningen ska förbättra miljön under framtida förhållanden (Zube 1983 se Murphy 2016). Eftersom denna gestaltning inte kommer att genomföras praktiskt är det svårt att säga hur utformningen sociologiskt kommer att påverka gaturummet. Däremot går det att undersöka vilka rumsliga och konstruktionsmässiga utformningar som är möjliga samt göra beräkningar på gestaltningens funktionstekniska kapacitet gällande dagvattenhantering.

Gestaltningsprocessen har inte enbart utgått ifrån ett tillvägagångssätt utan har vuxit fram alltefter som arbetet fortgått. Brian Lawsson (1994) poängterar att designprocessen både är en rationell evidensbaserad process och en intuitiv konstnärlig process. Båda dessa aspekter måste finnas med för att en design ska bli framgångsrik (ibid). Den rationella delen av arbetet har utgått ifrån kartläggning av den befintliga situationen och utveckling av ett konceptuellt ramverk för den nya designen som utgår ifrån både platsbesök, analyser, intervjuer och insikter från litteraturstudien. Det konceptuella ramverket har sedan applicerats på den befintliga situationen där designen utvärderats och omformats efter kontinuerlig återkoppling och omvärdering av designval baserat på nya kunskaper och insikter (Halprin 1969; Lynch et al. 1984; Motloch 2001 se Murphy 2016). Den intuitiva delen av arbetet har till stor del legat i valet av formspråk och de upplevelsemässiga aspekterna.

Designprocessen förutsätter att problemformuleringen redan är gjord vid gestaltningsarbetets början. I detta fall är det platsen som valts ut efter konceptet och inte tvärt om.

Det skedde två platsbesök under projektets gång. Det första gjordes den 11e november 2024. Vid detta skede var inte den exakta projektplatsen bestämd. Det var inte heller fastslaget att arbetet skulle resultera i ett gestaltningsförslag utan besöket var främst en inventering av växtmaterialet.

Det andra platsbesöket gjordes 19 december 2024. Vid detta besök fastslogs Prefektgatan som projektplats för omgestaltningen.

Vid besöket gjordes sekvensskisser och en stegad inmätning av platsen, samt idéskisser på plats gällande rumslig indelning och rörelsemönster. Analyser som gjordes i syfte att kartlägga den befintliga situationen var nulägesplan, kartering av befintliga funktioner, rumslig analys och tekniska sektioner.

Det konceptuella ramverket utvecklades både i form av skrivna listor och planer över designprinciper, strategier och kriterier.

Inspiration till gestaltningsarbetet har tagits från fallstudier av Rosendal och Klimatkvarteret i Köpenhamn men även exempel från böcker såsom ’Raingardens’ av Nigel Dunnett och Andy Clayden (2007) och tidigare studentarbeten (Enger & Lundqvist 2024; Jadernas & Tjernberg 2021) samt pinterest.

I gestaltningsarbetet har jag använt mig av digitala 3D modeller för att få en bättre uppfattning om hur gestaltningen påverkar gaturummet och hur underjordiska konstruktioner förhåller sig till varandra. Konstruktionen av BGG-system görs enligt Fridell et al. (2023 s.39) lättast i 3D för att få en bättre uppfattning kring hur ledningar är dragna och huruvida de är förlagda i det öppna förstärkningslagret.

Utifrån referens-projekten, litteraturen och intervjuer har ett gestaltningsförslag gjorts för Prefektgatan i Rosendal. Gestaltningens ambition är att både svara mot platsens avvattnings- och reningsbehov och god gestaltad livsmiljö.

För att säkerställa fördröjningskraven hos BGG-systemen på platsen gjordes uträkningar där avrinningsområdets area, områdets genomsnittliga avrinningskoefficient samt intensiteten hos det dimensionerade regnet som systemet ska kunna hantera tagits in i beräkningen. Eftersom utformningen inte följer given typologi gjordes först en preliminär design där de hela systemet har ett djup på 1 m och där utbredningen är så stor som möjligt med hänsyn till ledningar och husgrunder. En beräkning har sedan gjorts på hur stort dimensionerat regn denna gestaltning kan ta hand om. Gestaltningens rimlighet sett till kostnader och nytta har sedan diskuterats. Uträkningar har också gjorts för att säkerställa att den vattenmängd som rinner till regnbädden kan tillgodose växtmaterialet under juni månad som är den månad där vegetationen utsätts för mest torkstress (Eriksson 1981).

Växtvalen i regnbäddarna är baserade på växtlistorna i både Edges BGG-handbok ’Levande stadsrum’ (Fridell et al. 2023) och Nigel Dunnetts och Andy Claydens bok ”Raingardens” (2007). Valet av träd grundar sig på deras ståndortspreferenser men också på deras växtsätt relaterat till dess rumsliga funktion och påverkan på mikroklimatet. Detta urval baseras på listor i Sjöman et al. ”Träd i Urbana Landskap” (2018 s 254-258, 308-309). För att sammanställa växtlistorna har projekteringsverktyget Planter.se (u.å) använts. Det finns begränsat med information att få tag på gällande vilka källor som Planter får sin data ifrån angående växters vegetativa egenskaper och ståndortspreferenser. Därför har Planter.se i detta arbete främst betraktats som ett verktyg för att sammanställa växtlistorna och inte som kunskapskälla.

2.2 Avgränsning

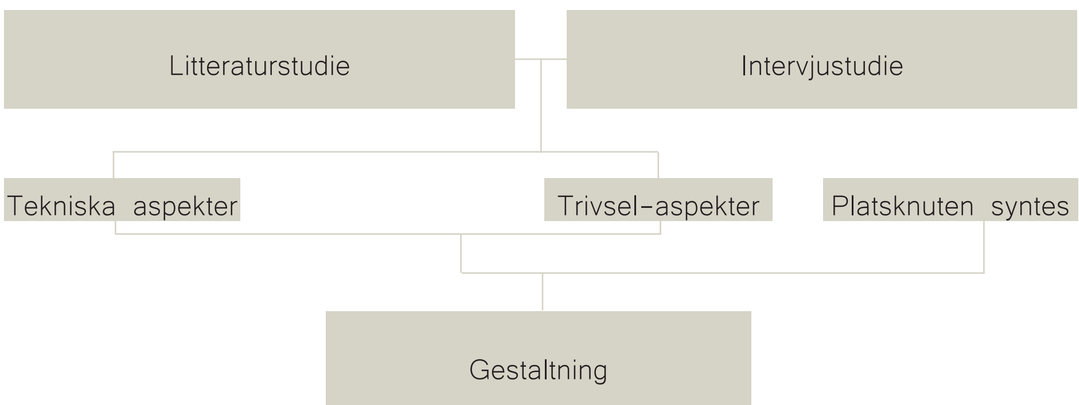
Eftersom fokuset i arbetet ligger på att tekniskt kunna redovisa och motivera designvalen har det inte funnits tid att göra genomgående sociologiska studier av platsen. Någon medborgardialog eller fördjupad platsanalys kring hur platsen brukas idag har inte genomförts. Nulägesanalysen av gaturummets sociala kvalitéer bygger på observationer vid platsbesök. Tidsutrymmet har också varit begränsat för att ytterligare omforma och utveckla de idéer som uppkommit under arbetet. Dessa idéer berörs i stället i diskussionsdelen.

Problematiken kring gödsling och näringsläckage berörs endast ytlig. Växtmaterialet i undersökningsdelen kommer att anpassas till redan beprövade tillämpningar för gödsling även om detta är ett område där mycket forskning bedrivs och situationen troligen kommer att se annorlunda ut inom en snar framtid.

Forskningen kring växtsubstratets fysikaliska och kemiska egenskaper i BGG-system gällande växtbäddsförutsättningar har hittills varit relativt begränsad vilket gör det svårt att spekulera i hur växtbäddsprofiler skulle kunna utformas annorlunda. Utformningen av växtbäddsprofilerna i gestaltningen bygger därför främst på de intervjuade respondenternas kunskaper och erfarenheter.

Dimensionering och utformning av enskilda komponenter såsom brunnar och ledningar kommer inte att definieras i detta arbete.

Juridiska aspekter kring reglering av dagvattenhantering på kvartersmark kommer inte att inkluderas i detta arbete även om detta hade varit avgörande för gestaltningens genomförande i en verklig entreprenad.



Figur 1 - Schematisk bild över arbetsprocessen

3. Kunskapsöversikt

Denna del av arbetet redogör för de begrepp och teorier som ligger till grund för gestaltningsförslaget och diskussionen.

3.1 BGG-system

3.1.1 Hur fungerar ett BGG-system?

Ett BGG-system använder sig av luftiga överbyggnader som kan sträcka sig in under hårdgjorda ytor. Vanligtvis använder sig hårdgjorda överbyggnader av krossmaterial utan siktning av underkorn för att få ett packningsbart material som ska stabilisera vägkroppen. I BGG-system används i stället makadam – det vill säga bergkrossmaterial utan nollfraktion vilket ger ett porutrymme under mark där dagvatten kan fördröjas men kan också fungera som utökad växtbäddsvolym för träd i gatumiljö. De grova makadamlagren som sträcker sig in under hårdgjorda överbyggnader kallas för öppna förstärkningslager eller luftiga förstärkningslager. Dagvatten leds till det öppna förstärkningslagret via brunnar, dränerande beläggning eller regnbäddar (Fridell et al. 2023 s.12-14).

3.1.2 BGG-systemens ekonomiska och klimatmässiga fördelar

De miljömässiga och ekonomiska fördelarna med BGG-system är bland annat:

- Fördröjning av flödestoppar vid stora regnmängder. – BGG-systemen har kapacitet att magasinera stora mängder regnvatten vilket minskar belastningen på avloppssystemen. När dagvattnet kan infiltreras till befintlig undergrund eller fördröjas genom hålrum i vägöverbyggnaden behövs färre eller inga dräneringsledningar vilket minskar anläggningskostnaderna (Svensk Markbetong 2019. s.6).

- Lägre underhållskostnader - Den öppna strukturen i dränerande konstruktioner gör dem mindre känsliga för skador från tjällyftning och tjällossning. Detta leder till mindre behov av reparationer och underhåll, vilket minskar de långsiktiga kostnaderna. (ibid. s.77).

- Bättre växtbäddsförhållanden och möjlighet att återanvända dagvatten - Genom att låta växternas rötter växa ut i den luftiga överbyggnaden kan de tillgodogöra sig en större växtbäddsvolym och ett bra gasutbyte. System som inte avvattnar till undergrund kan användas för att samla upp dagvatten för bland annat bevattning. Detta kan minska behovet av att använda dricksvatten för dessa ändamål (ibid s.18).

- Lindring av 'Urban Heat Island'-effekten - Till skillnad från täta asfaltytor, tillåter dränerande konstruktioner avdunstning av vatten, vilket har en kylande effekt på omgivningen (Ibid s7) Även de förbättrade växtbäddsförhållandena gör att vegetationen kan växa sig större och öka beskuggningen och evapotranspirationen (Fridell et al. 2023 s.18).

- Påfyllnad av grundvattenmagasin - Genom att låta dagvattnet infiltrera ner till grundvattnet, bidrar dessa konstruktioner till att bibehålla grundvattennivåerna (Svensk markbetong 2019 s.7).

- Vattenrening - Biofilterering i konstruktionen renar dagvattnet från föroreningar innan det når grundvattnet eller recipienten. Detta bidrar till en bättre vattenkvalitet och minskar miljöpåverkan (Svensk markbetong 2019. s. 7-10). Den goda tillgången på vatten och syre i kombination med växternas rötter i överbyggnaden stimulerar tillväxten av mikroorganismer som ökar graden av biodegradering. Reningen sker även mekaniskt genom filtrering och sedimentation (ibid. s.7)

3.2 Urbana värmeöar och torkstress

Den förtätning som sker av våra städer får flera konsekvenser för det urbana klimatet. Skarpa hörn och varierande höjder där vissa byggnader drar ner vind till gatunivå skapar turbulens i och långa raka gaturum skapar vindkorridorer. Hårdgjorda gaturum med värmeabsorberande material och luftföroreningar från trafik skapar urbana värmeöar (Erell et al. 2011; Bogren et al 1999). En statlig utredning (SOU 2007:60) visar att värmeöar kan även i nordiskt klimat innebära hälsorisker för framför allt barn, äldre och människor med försvagad hälsa. Utredningen grundar sig på statistik från perioden 1998-2003 och beräknar hur värmerelaterade dödsfall kommer att öka i takt med att klimatet förväntas bli varmare:

	Lågscenario	Högscenario	
			ökat antal dödsfall per år
2025–2040	232	232	
2060–2070	356	480	
2080–2090	480	752	
2100	752	1048	
			ökat antal dödsfall under perioden
2011–2040	3 480	3480	
2041–2070	8 200	9 440	
2070–2100	13 432	20 136	
Summa 2010–2100	25 112	33 056	
Värdering med VSL = 20 miljoner	502 240	661 120	miljoner kronor

Tabell 1 - Uppskattad ökning av dödsfall till följd av extremvärme (SOU 2007:60, s.116)

Att få in mer grönska i stadskärnorna är en effektiv åtgärd mot urbana värmeöar eftersom träden sänker temperaturen genom både beskuggning och evapotranspiration (Erell et al. 2011).

I takt med att värmeböljor och torkperioder blir alltmer extrema ser vi redan idag att träd och annan vegetation i staden stryker med (Fridell et al. 2023). Flera kommuner vittnar om hur träden i deras urbana miljöer dött till följd av torkan sommaren 2018 (Åberg 2018; Vickhoff, 2021; Ibrahim 2022; Wilson 2023).

För att kunna klara framtidens vattenbehov under torkperioder behöver användningen av vatten förändras. Idag används ofta dricksvatten för bevattning av planteringar vilket i framtiden kommer att kunna ersättas av vad Fridell et al. (2023 s.22) benämner som stadsvatten – det vill säga dagvatten, dräneringsvatten och gråvatten. Det pågår mycket forskning kring hur stadsvatten kan integreras med BGG-system för att kunna renas, fördröjas och dessutom kunna bevattna växterna (Fridell et al. 2023 s.22-23).

3.3 God gestaltad livsmiljö

3.3.1 Boverkets mål för gestaltad livsmiljö

2018 antogs regeringens proposition för "god gestaltad livsmiljö" med bred majoritet i riksdagen. Gestaltad livsmiljö inbegriper arkitektur, form och design i samhällsbygget och syftar till att skapa en miljö som svarar mot människors möjligheter, behov och önskemål. Olika värden måste vävas samman vid skapandet och utvecklandet av våra livsmiljöer. Målen för "God gestaltad livsmiljö" är "Tillgängliga och robusta livsmiljöer" (Boverket 2023b), " Miljöer med känsla av sammanhang och identitet" (Boverket 2020a), "Hälsosamma och trygga miljöer" (Boverket. 2021c), "Sammanhållna och inkluderande samhällen" (Boverket 2021b), "Miljöer för lärande och kultur" (Boverket 2021d), "Miljöer som samspelar med natur och klimat" (Boverket 2021a) samt "Innovationer och verksamhetsmodeller" (Boverket 2021e).

3.3.2 Plan- och bygglagen om tillgänglighet och avvattning av hårdgjorda ytor

Enligt Uppsala kommuns tekniska handbok får en gångväg ha en tvärlutning på max 2% för att den ska räknas som tillgänglig (Uppsala 2023). Enligt plan- och bygglagen får en gångväg ha en maxlutning på 8,3% för att den ska klassas som tillgänglig, riktlinjen är att 5% är en rimlig max-lutning. Har gångvägen en längstlutning på mer än 3% kan passagen klassas som en ramp. För att denna ska vara tillgänglig måste minst 2 meter långa vilplan finnas längst rampen om höjdskillnaden är större än 0,5 meter. Rampen måste ha en bredd på minst 1,3 meter, får inte ha någon tvärlutning och bör vara kontrastmarkerad för att underlätta för synskadade (Boverket 2022).

3.3.3 Jan Gehl

I boken 'Life between buildings' (1971/2011) skriver arkitekten och stadsplaneraren Jan Gehl om det liv och de aktiviteter som tar plats mellan husen. Enligt Gehl har livet och aktiviteten mellan husen mycket större effekt på vart vi riktar vårt fokus än vad platserna och husen själva har (Gehl 1971/2011, s.12-15). Det finns alltså enligt Gehl (1971/2011) inget självändamål i att bygga vackra praktfulla stadsrum om resultatet blir en plats där inga människor vill vistas. Gehl (1971/2011) menar också på att det inte är mängden människor som nyttjar en plats som gör den levande utan hur länge de tenderar att stanna på platsen (ibid, s. 21-22).

Han delar upp aktiviteter i 3 kategorier: nödvändiga aktiviteter, valfria aktiviteter och sociala aktiviteter. Ett kvalitativt stadsrum erbjuder en stor variation av aktiviteter medan ett stadsrum av låg kvalitet endast används till nödvändiga aktiviteter (ibid 9-12).

Människor tenderar att uppehålla sig på platser där vi kan överblicka aktiviteterna på en plats. (Gehl 1971/2011, s.27).

Gehl (1971/2011) tenderar att ofta idealisera medeltida städer men han berör också dess mörka gaturum och problemen detta medför på nordligare breddgrader där solljuset är en bristvara större delen av året. Modernismens storskaliga gaturum hade istället syftet att släppa in solljus och frisk luft men ger enligt Gehl (1971/2011, s.35-39) oftast upphov till ett relativt dött och fragmenterat gaturum. Han poängterar dock att det är möjligt att aktivera sådana gaturum genom att skapa mindre rum i det stora rummet. Detta kan göras med rumslig indelning som exempelvis vegetation och små paviljonger och kiosker (ibid 40-43).

Gehl (1971/2011 s.93-95) betonar vikten av att bygga upp gaturummet av smala rumsliga enheter som utgörs av entréer och plats för aktiviteter. Detta härleder han till hur sociala mönster ter sig på stadsgator som är uppbyggda på detta sätt jämfört med modernistiska bostadsområden med långt avstånd mellan entréer och få variationer i fasader och utemiljöns rumsligheter. Mindre rumsliga enheter skapar mer stimulerande och inbjudande miljö för fotgängare (ibid s. 93-95).

Gehl (1971/2011 s.110-112) lyfter fram trafik-integrering på gångtrafikanters villkor som en framgångsrik metod för mer levande gaturum i sammanhang när bilfri stadsmiljö inte är möjlig.

I större urbana rum som torg eller breda gaturum föredrar människor att röra sig längst fasaderna. På så sätt känner vi oss omslutna av det mindre rummet som finns intill fasaden men har också överblick över det större rummet. (ibid s.142). Samma princip gäller för stående. Den holländska sociologen Derk de Jonge kallade detta för kanteffekten (Jonge 1967-1968 se Gehl 2011 s.149). Den givna förklaringen till detta är att vi tenderar att uppehålla oss på den plats som ger oss bäst möjlighet att överblicka och undersöka vår omgivning (ibid). Att befinna sig i kanten av ett torg gör en mindre exponerad än stående mitt på torget ens personliga territorium blir mindre och är överskådligt då ens rygg är skyddad av fasaden och människor kan endast närma sig en framifrån (Gehl 1971/2011 s 149). Detta kan härledas till Jay Appletons Utsikt-tillflyktteori (1984) som bygger på idén om att människor vill kunna ha god överblick över ett område men samtidigt känna sig skyddade och ha alternativa flyktvägar – rumsliga egenskaper som exempelvis ett skogsbryn erbjuder. Detta sett att röra sig har historiskt sätt varit fördelaktigt ur ett överlevnadsperspektiv och har satt prägel på hur vi rör och uppehåller oss även i urbana rum (Appleton 1984). Den halvskuggiga gränszon som ett skogsbryn erbjuder är ett grepp som många kvalitativa stadsrum använder sig av genom exempelvis trädalléer, markiser och pergolor (Gehl 1971/2011 s. 149).

När vi står längre stunder tenderar vi att vilja luta oss mot något som en vägg, en trädstam eller en pelare för stöd och en känsla av trygghet (Gehl 1971/2011 s. 151). Utformningen av stadsrummets väggar har en stor betydelse för hur människor annekterar stadsrummet. Ett stadsrum med oregelbundna fasader, nischer, bänkar, träd och trappor ger många möjligheter till att uppehålla sig på (ibid s. 153). Jonge's kant-effekt gäller även sittande människor. Vi väljer nästan alltid sittplatser intill en fasad eller bryn där vi känner oss skyddade och gärna ett läge som ger en god överblick av rummet. Olika åldrar har olika preferenser för typ av sittplats. Barn och unga har i regel lägre krav på komfort och kan välja en låg mur, en stubbe eller ett trappsteg – vad Gehl (1971/2011) benämner som sekundär sittplats framför en regelrätt sittmöbel medan äldre nästan alltid föredrar en bekväm bänk eller soffa – som Gehl benämner som primär sittplats (s. 157-162). Placering och utformning av primära sittplatser ska alltid väljas med god omsorg gällande läge och utblick. För många primära sittplatser kan innebära att ytan känns övergiven under tider på året med färre användare. Sekundära sittplatser är ett komplement till de primära och behåller sin funktion även under perioder då ytan inte är lika välanvänd, därför är det fördelaktigt att ha ett stort antal sekundära sittplatser och ett begränsat antal primära (ibid s 157-162).

Klimat och väder spelar en stor roll för antalet människor på gatan och vilka aktiviteter som utförs. Det är framför allt skydd från vind och regn och tillgång på solljus som styr vart vi väljer att uppehålla oss – med undantag för de allra varmaste dagarna. Gehl (1971/2011 s.165–170) trycker på de möjligheter som finns att aktivera ett stadsrum med att knyta samman ute och inne. Mjuka gränser mellan det privata och publika ger en bättre koppling till gaturummet och fler möjligheter till möten och spontana aktiviteter. Att ha sittmöjligheter och platser för att uppehålla sig i anslutning

till en entré gör mycket för gaturummet och är i regel flitigt använda (ibid).

3.4 Grundläggande markfysik

3.4.1 Jordens struktur

Jordar kan delas in i två kategorier gällande strukturella egenskaper, dessa är jordar med **aggregatstruktur** och jordar med **enkelkornsstruktur.** Aggregatstruktur uppstår hos jordar som huvudsakligen består av kornstorlekar mindre än 0,02 mm – det vill säga ler- och mjäljordar. De fasta partiklar som utgör jorden kallas primärpartiklar. Genom tjälsprängning, torka och mikroliv bryts jorden upp och bildar så aggregat, det vill säga ansamlingar av primärpartiklar, även kallade sekundärpartiklar. Jordar med aggregatstruktur har i regel goda egenskaper för växter men är känsliga för bearbetning, övervattning och kompaktering eftersom aggregatstrukturen då lätt kollapsar (Fridell & Gustavsson 2013).

En jord med kornstorlekar större än 0,02 mm bildar enkelkornsstruktur eller primärstruktur vilket innebär att partiklarna inte klumpar ihop sig och stabiliseras av friktionen mellan partiklarna. Denna typ av struktur är mer stabil och genomsläpplig men har sämre vattenhållande förmåga än jordar med aggregatstruktur (ibid).

3.4.2 Porositet

De luftfickor som finns mellan partiklarna i en jord kallas porer. Det är nätverket av porer i en jord som håller vatten och syre som är vitalt för växternas rötter. Idealt är när 50% av porutrymmet är vattenfylld och resterande utgörs av luft. För de flesta växter måste minst 10-20% av porerna vara luftfyllda för att kunna svara för ett tillräckligt gasutbyte. Beroende på om jorden har aggregatstruktur eller enkelkornsstruktur kan porerna vara textuella eller strukturella. Om porernas väggar utgörs av solida primärpartiklar benämns de som textuella. Om porens väggar utgörs av sekundärpartiklar benämns den som strukturella. Baserat på storlek kan porer delas in i tre klasser: Makroporer, mesoporer och mikroporer (Fridell & Gustafsson 2013).

Makroporer är större än 0,03 mm. Dessa porer är fyllda med luft med undantag för om jorden är vattenmättad. Makroporer är därför vitala för gasutbytet i marken. Jordar med mycket makroporer är genomsläppliga och vatten kan lätt perkulera. Makroporer förekommer både i aggregerade jordar och jordar med enkelkornsstruktur. I aggregerade jordar är makroporerna strukturella och i enkelkornsjordar texturella (ibid).

Mesoporer har en storlek på 0,03-0,0002 mm och kan både vara strukturella och texturella. De håller kvar vatten kapillärt även ovanför grundvattennivån. I en odlingsjord är det mesoporerna som håller det växttillgängliga vattnet (ibid).

Mikroporer är mindre än 0,0002 mm och är texturella i lerjordar – det vill säga att de utgör mellanrummen mellan de allra minsta primärpartiklarna. Vattnet i dessa porer är så hårt bundet att det inte är tillgängligt för växter (Ibid).

Måttet på hur mycket porutrymme som finns i en jord kallas porositet. Aggregerade jordar - både mineralogena och organiska kan ha en väldigt hög porositet. Eftersom makroporerna och till viss del mesoporerna i jordar med aggregatstruktur är strukturella kan de kollapsa vid för hård bearbetning, kompaktering eller vattenmättnad. Detta är inte fallet för jordar med enkelkornsstruktur eftersom friktionen mellan kornen stabiliserar jordstrukturen och bibehåller porutrymmet även vid relativt hård bearbetning och kompaktering (ibid).

3.4.3 Kapillaritet

Vattnet i ett substrat är rörligt – beroende på jordens struktur kan vattnet stiga från lägre nivå till en högre. Strukturen på jorden avgör hur högt grundvattnet kan stiga. Finmo- och mjälajord (siltjord) och lättlera har störst potential vattenstigning vilket beror på deras stora andel mesoporer. Dessa jordar har en kornstorlek på 0,02–0,002, dock är de mycket instabila. Jordar med större kornstorlekar har lägre stighöjd men är mer stabila. Måttet på hur högt vattnet kan stiga i en jord benämns vattnets potential och är summan av lägespotential, osmotisk potential, kapillär potential, hydrostatisk potential och hastighetspotential. Det är framför allt den kapillära potentialen som har betydelse för vattnets stigningsförmåga i en jord. Lägespotentialen är det arbete som krävs för att förflytta vattnet från en punkt till en annan och är i detta fall den nedåtriktade kraften. Om de övriga potentialerna är större än lägespotentialen sker kapillär vattenstigning. Vattenstigningen sker på grund av det undertryck som bildas i mesoporer och mikroporer vilket gör att vattnet i de intilliggande porerna kan sugas uppåt (Fridell & Gustafsson 2013).

Om ett lager med grövre material och därmed större porstorlekar läggs som dränering under ett lager mer finkornig jord kan vattnet i den övre jorden stanna kvar eftersom det avvattnande trycket i porerna i det undre materialet är lägre än i det övre. Detta fenomen utnyttjas bland annat vid anläggning av golf-greener där texturförhållandena mellan de olika lagren är sorterade för att uppnå ett avvattnande tryck som håller kvar precis rätt mängd vatten i det övre jordlagret och samtidigt tillräckligt gasutbyte för gräsrötterna. I många fall kan de textuella/strukturella skillnaderna mellan substratlager i växtbäddar bli för stora vilket leder till att för mycket vatten hålls kvar – exempelvis när leca-kulor används som dränering i botten på blomsterurnor. Då agerar det undre materialet som kapillärbrytande skikt och det bildas så kallat hängande grundvatten i det övre jordlagret. Detta kan orsaka syrebrist i jorden och leda till skador på rötter och även förstöra aggregatstrukturen i mer finkorniga jordar (ibid).

Tjockleken på jordlagren har stor betydelse för det avvattnande trycket. Ju tunnare ett substratlager är desto större pordiameter krävs för att porer med en viss storlek ska avvattna. För att räkna ut hur stora porer som avvattnas i ett givet scenario kan följande formel användas:

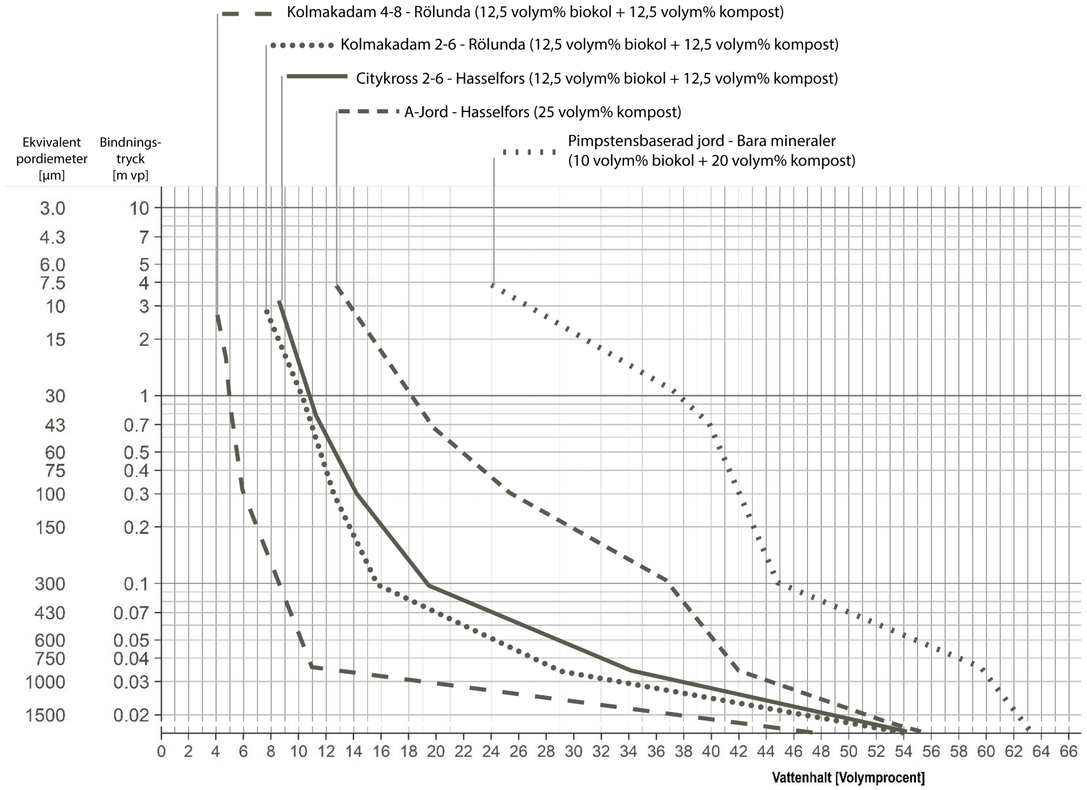
$$"r = \frac{0.15}{h(\Psi g)}$$

r = ekvivalent porradie (cm)
h = avvattnande tryck (cm vp)
Ψg = lägespotentialen (kPa)"
(Brandy & Weil 2008)

Lägespotentialen i en jord kan räknas ut med följande formel:

$$"\Psi_g = V \times \rho \times g \times h \quad /$$

Ψg = Lägespotential uttryck som energi/enhet volym (Pa)
Hg = Lägespotential uttryckt som vätskepelarens höjd (m vp)
ρ = Densiteten på vatten (ρ = 1000 kg/m3)
g = Tyngdaccelerationen orsakad av gravitationen (g = 9,81 m/s2)
h = Höjden från referenspunkten (m)
V = Volymen (m3)
(Brandy & Weil 2008)



Figur 2 - Bindningskurvor för Växtjord A, Makadam 2-6, 4-8 och pimpsten. Mätningar gjorda av Karin Blombäck Ultuna

Av formeln framgår att gravitationens inverkan på lägespotentialen och därmed även den ekvivalenta pordiametern har ett direkt förhållande till höjden från referenspunkten. Referenspunkten kan antingen vara grundvattennivån eller ett kapillärbrytande skikt. Ju längre ner grundvattennivån eller det kapillärbrytande skiktet är desto större blir den vattenavförande kraften, därför avtar jordens vattenhållande förmåga i takt med att avståndet till grundvattennivån ökar. (Fridell & Gustavsson 2013).

Måttet på hur mycket vatten olika material kan hålla beroende av det avvattnande trycket eller bindningstrycket kan uttryckas i form av bindningskurvor (Fridell & Gustafsson 2013). *Figur 2* visar bindningskurvorna för Växtjord typ A © (Hasselfors Garden AB u.å.b), Kolomakadam 2-6 ©, kolmakadam 4/8 ©, (Rölunda 2024), Citykross 2-6 © (Hasselfors u.å.a) samt en pimstensbaserad jord från Bara mineraler som troligen är 'Hekla regnbädd' © (Bara mineraler. u.å) med viss osäkerhet ifall så är fallet. Mätningarna är gjorda av Karin Blombäck Forskningsledare på institutionen för mark och miljö, SLU och är alltså inte något som företagen själva har angett i sina produktblad[1].

1 Karin Blombäck – Forskningsledare på institutionen för mark och miljö, SLU. Intervju 2025-02-07

3.4.4 Hydraulisk konduktivitet

Jordens förmåga att transportera eller leda vatten kallas för hydraulisk konduktivitet och är synonymt med vattenledningsförmåga eller permeabilitet. Beroende på hur vattenmättad jorden är skiljer sig den hydrauliska konduktiviteten. Vid dräneringssammanhang är det den mättade hydrauliska konduktiviteten som är av intresse. Hydraulisk konduktivitet mäts i mm/h – alltså hur många millimeter stående vatten som kan infiltrera på en timme (Fridell & Gustafsson 2013).

Hasselfors makadamsubstrat 'Citykross 2-6'© har en hydraulisk konduktivitet på >3000 mm/h (Hasselfors Garden AB u.å). Bara mineralers 'Hekla Regnbädd' © har enligt Bengt Syrén[2] en slutlig hydrauliska konduktivitet på 500 mm/h, det vill säga ett antal år efter anläggning när viss kompaktering och eventuell igenslamning kan ha skett. Den hydrauliska konduktiviteten för Växtjord typ A finns inte angiven i produktbladet (Hasselfors Garden AB u.å.b) men Syrén[3] menar på att denna typ av jord har en initial infiltrationsförmåga på ca 100-150 mm/h men sjunker dock mycket fort efter anläggning på grund av kompaktering och igensättning vilket gör att växtbäddar som anlagts med denna typ av jord inte fungerar som regnbäddar. Syrén[4] poängterar att hos mer finkorniga makadamjordar såsom makadam 2-6 försämras infiltrationsförmågan över tid till följd av att

2 Bengt Syren – Hortonom, Teknisk säljare/produktansvar substrat Bara Mineraler. Intervju 24-01-2025
3 ibid
4 ibid

porutrymmet sätts igen av finpartiklar och organiskt material. Detta hänger ihop med dåligt uppfång av finpartiklar vid inloppet och att organiskt material inte förs bort från bädden. En pimpstensbaserad jord sätter inte lika lätt igen enligt Syren[5]. Detta eftersom porerna inuti pimpstenen finnas kvar. Syrén[6] förklarar att det är svårt att säga ett fast värde för en jords hydrauliska konduktivitet. Värdet beror på hur fuktig jorden är samt hur mycket växtrötter som finns i bädden. Även om mellanrummen slammas igen kommer fortfarande porerna inuti pimpstenen finnas kvar. Det är svårt att säga ett fast värde för en jords hydrauliska konduktivitet. Värdet beror på hur fuktig jorden är samt hur mycket växtrötter som finns i bädden.[7]

5 Bengt Syren – Hortonom, Teknisk säljare/produktansvar substrat Bara Mineraler. Intervju 24-01-2025
6 ibid
7 ibid

3.5 Öppet förstärkningslager

Det öppna förstärkningslagret fungerar både som överbyggnad för hårdgjorda ytor och kan fördröja dagvatten och erbjuda utökad växtbäddsvolym. Magasineringskapaciteten och flexibiliteten i ett BGG-system blir som störst om det öppna förstärkningslagret är sammanhängande. I vissa lägen måste dock det öppna förstärkningslagret delas upp i mindre enheter, exempelvis om lutningen är över 5% eftersom allt vatten annars ansamlas i lågpunkten och riskerar att svämma över. Andra sammanhang när öppet förstärkningslager behöver delas upp är när andra underjordiska strukturer såsom ledningsanslutningar och bjälklag skär av stråket eller ifall delar av gaturummet behöver tåla större belastningar. För att maximera kapaciteten kan de olika enheterna kopplas samman och styrbrunnar kan reglera flödena i systemet. Inom en enhet av öppet förstärkningslager kan dämmen göras i botten i form av små murar på ca 30 cm, detta för att skapa en artificiell grundvattennivå (Fridell et al. 2023 s. 42).

Vid anläggning av öppet förstärkningslager är det viktigt kontrollera om de intilliggande husen har källarvåning. Om det öppna förstärkningslagret placeras för nära dessa hus riskerar vatten från BGG-systemet att nå husgrundsdräneringen (ibid).

Fridell et al (2023 s. 42-43) nämner problematiken kring igensättning av porutrymmet i det öppna förstärkningslagret. Detta är enligt Fridell et al. (2023) inget större problem om systemen utformas med de fraktioner, geotextiler och dimensioneringar som föreskrivs i handboken. Enligt mätningar gjorda av Stormtac är den suspenderade sedimentbelastningen 330 kg/ha och år för ett genomsnittligt gaturum vilket innebär att det kommer att dröja 600 år för ett gaturum med en magasineringskapacitet på 1 m3/lpm innan 50% av porutrymmet i det öppna förstärkningslagret täppts till. Vid extra höga koncentrationer av sediment i dagvattnet kan partiklarna filtreras genom dagvattenbäddar eller filteranordningar i styrbrunnarna (Fridell et al. 2023 s.42-43).

3.5.1 Utbredning av öppet förstärkningslager.

Växtbäddar bör ligga ovanpå det öppna förstärkningslagret för bättre rotutrymme och växtbäddsegenskaper samt fungera som fördröjningsmagasin. Det öppna förstärkningslagret kan sträcka sig in under i princip alla hårdgjorda ytor med trafikklass 2 eller lägre. Stråken av öppet förstärkningslager bör anläggas längst med gaturummet för att undvika att korsa rörledningar (Fridell et al. 2023 s.46). Utrymmet under mark är en begränsande faktor. Nilsson[8] förklarar att det är svårt att anlägga ett BGG-system i ett smalt gaturum. Ett brett fritt gaturum underlättar utgrävningen vid ledningsbyte avsevärt till följd av att det går att ha lutande schaktslänter. Vertikala schaktslänter innebär väldigt stora extra kostnader.

> *”Om vi ska komma ner till våra ledningar som ligger kanske på tre meters djup med en vettig schaktkostnad så måste vi jobba med slänter, det vill säga vi kan inte jobba med vertikala schaktslänter när vi gräver ner en gata. Vi måste ha någon typ av släntprofil. Det betyder att för varje meter ner så ska det gå 1 m åt sidan. När du kommer ner till 3 m djup så behövs en öppning på 6 m. Om det då är regnbäddar på bägge sidor eller att du delar plats med andra funktioner börjar man vara inne i den här schaktprofilen.”* (Nilsson 2024)

Nilsson[9] nämner även att det går att jobba med vertikala schaktslänter genom att använda spontlåda vid grävning. Han framhäver dock att detta är mycket dyrare och eftersom Uppsala vatten enbart finansieras av intäkter från sina kunder innebär det att det blir högre avgifter för dem.

> *”Vi är ju inte skattefinansierade. Vi är intäktsfinansierade via våra avgifter och det finns ingen i Gottsunda som tycker att det är vettigt att Uppsala vatten lägger massa extra pengar på ett fint område, det är samma avgift för alla i hela området. VA-lagen är skriven som så att vi ska vara återhållsamma med abonnenternas pengar, det vill säga, vi får ju inte dra på oss onödiga kostnader hur som helst.”* (Nilsson 2024)

8 Björn Nilsson. Väg och VA-ansvarig i Rosendalsprojektet. Uppsala vatten. Intervju 12-12-2024
9 Ibid

3.5.2 Anläggning och drift

Byte av ledningar i öppet förstärkningslager kan försämra BGG-systemets kapacitet. Rötter från träd kan riskera att växa in i ledningarna om de inte trivs i sin växtbädd. Om det finns en stor oro att trädrötter ska förstöra ledningar i öppet förstärkningslager kan ett lager av samkross med nollfraktion läggas närmast ledningen – i så fall bör materialskiljande geotextil läggas runt detta lager för att inte de fina partiklarna ska leta sig ut i det öppna förstärkningslagret. Vid platser där många ledningar sammanstrålar kan ett avbrott i det öppna förstärkningslagret göras för att underlätta byte av ledningar (Fridell et al. 2023. s 38-41). Nilsson[10] beskriver de praktiska svårigheterna med att ha ledningsstråk förlagda genom det öppna förstärkningslagret. Vid byte av ledningar återvinns den uppgrävda vägöverbyggnaden. För ett otränat öga är det mycket svårt att se skillnad på en överbyggnad utan nollfraktion och en konventionell överbyggnad. Därför är det i princip oundvikligt att materialen blandas vid uppgrävning vilket förstör porositeten i den öppna överbyggnaden och blockerar flödet i BGG-systemet.[11]

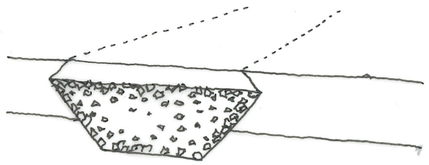
> *”Alla entreprenörer vi har haft i alla etapper har fått en utbildning i regnbäddar, för det har ju varit något nytt som de ska få förståelse för - liksom funktionen hur det här systemet är tänkt att funka. Om du går med en grävmaskin så ser du inte så stor skillnad på ett klassiskt bärlager och ett luftigt förstärkningslager om det inte är omslutet av någon form av tät skärm då i det här fallet bentonit eller någon geotextil av något slag. Om du är bara är en glad amatör kommer det luftiga förstärkningslagret att se ut som i stort sett samma material som det bygger en vanlig vägkropp av.”* (Nilsson 2024).

10 Björn Nilsson. Väg och VA-ansvarig i Rosendalsprojektet. Uppsala vatten. Intervju 12-12-2024
11 ibid

3.6 Konstruktioner i marknivå

Beroende på behov och förutsättningar finns 7 olika typer av konstruktioner i marknivå beskrivna i handboken (Fridell et al. 2023). I följande del redogörs för var och en av dessa. Fridell et al. (2023) redovisar 2 typkonstruktioner för var och en av dessa beroende på vilka krav som ställs på dem gällande rening och fördröjning – en typkonstruktion för högre krav och en för lägre krav. Den främsta skillnaden mellan dessa är att typkonstruktionen med högre krav har en utökad volym öppet förstärkningslager som både kan utvidgas djupare under växtbädd och in under hårdgjorda ytor beroende på tillgång på utrymme under mark (ibid). I detta arbete visas bara en typritning för varje konstruktion.

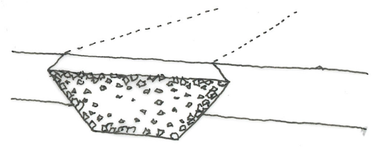
3.6.1 Tät hårdgjord yta



Figur 3 - Typesektion för öppet förstärkningslager under tät hårdgjord yta

En tät hårdgjord yta kan exempelvis vara en gata, ett torg, eller en parkeringsplats där kraven på funktionalitet gör att slitlagret inte kan vara genomsläppligt. I dessa fall rinner vattnet av ytorna till styrbrunnar och vidare till det öppna förstärkningslagret (Fridell et al. 2023 s.54-55)

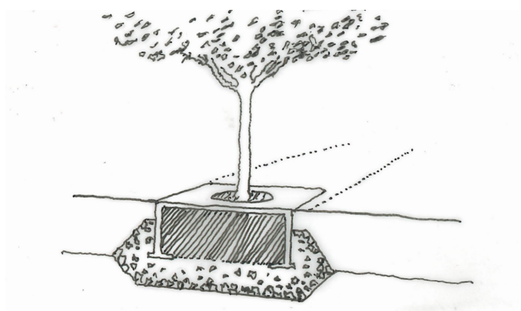
3.6.2 Dränerande hårdgjord yta



Figur 4 - Typsektion för öppet förstärkningslager under dränerande hårdgjord yta

En dränerande hårdgjord yta har ett genomsläppligt slitlager – exempelvis gräsarmering, marksten, natursten eller permeabel asfalt. Vattnet infiltrerar då genom markmaterialet ner i överbyggnaden. När vattnet får infiltrera på detta sätt istället för att ledas genom en styrbrunn till det öppna förstärkningslagret blir belastningen på överbyggnaden mycket jämnare. Eftersom flödeshastigheten i det öppna förstärkningslagret blir lägre behöver porositeten inte vara lika hög vilket gör att det går att uppnå större bärighet och ytan kan godkännas för högre trafikklasser (Fridell et al. 2023 s.54-55).

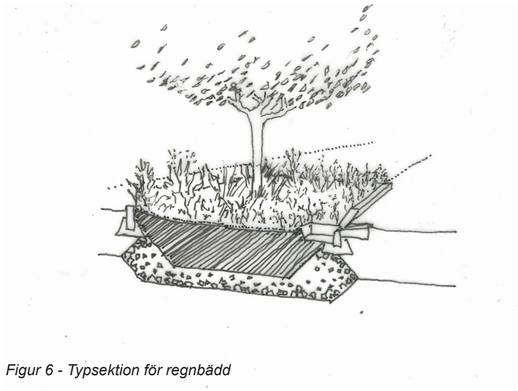
3.6.3 Träd i hårdgjord yta



Figur 5 - Typsektion för träd i skelettjord under hårdgjord yta

När kraven på hårdgörning är så pass stora att det inte finns plats för växtbädd kan ett träd placeras i hårdgjord yta. Trädet planteras i ett trädgropsfundament i det öppna förstärkningslagret. Trädgropsfundamentet är fyllt med växtsubstrat och har öppningar på sidorna så att trädets rötter kan växa ut i det öppna förstärkningslagret och tillgodogöra sig en större växtbäddsvolym med bra gasutbyte och god tillgång på vatten. Runt trädgropsfundamentet kan biokol, pimpsten eller grönkompost blandas i makadamen för bättre växtbäddsegenskaper. Minst två brunnar med luftningsfunktion ska finnas i varje stråk. Detta för att säkerställa ett bra gasutbyte under mark. Dessa luftningsbrunnar kan vara styrbrunnar med luftningsfunktion (se 3.8.1) (Fridell et al. 2023 s.56-57).

3.6.4 Regnbädd



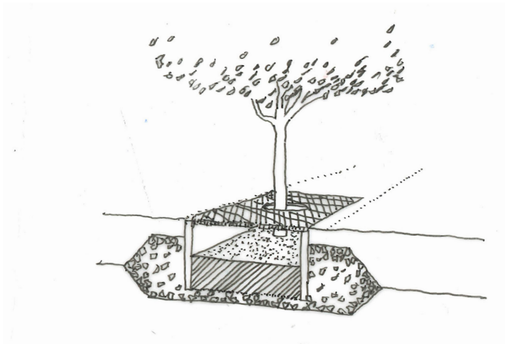
Figur 6 - Typsektion för regnbädd

Regnbäddar är nedsänkta växtbäddar dit vatten leds och infiltreras. Inflödet kan antingen vara på bred front eller koncentrerat. Beroende på situation kan båda varianterna ha både för och nackdelar. Ett inflöde på bred front ger ett mer jämnt fördelat inflöde, dock är flödet av vattnet svårare att kontrollera och mer skräp och sediment förs med vattnet ner i regnbädden. Denna konstruktion förutsätter också att kanten på växtbädden inte har någon visning ut mot gatan vilket ökar risken för att fordon kör ner i växtbädden med skador som följd. Ett koncentrerat inlopp kan antingen utformas som en försänkning i kantstödet, öppning i kantstödet eller inloppsplatta med tillhörande sandfångkar. Fördelen med denna form av inlopp är att det går att ha visning på kanten ut mot gata och sandfångkaret kan fånga upp skräp och sediment från gatan. Regnbädden får också en längre livslängd innan underhållsåtgärder såsom utbyte av substrat behöver göras. Ett koncentrerat inlopp innebär dock att vattnets flödesenergi koncentreras till en punkt vilket kan leda till erosionsskador i regnbädden. Därför bör grovt material som makadam läggas vid inloppet. Vid höga vattenflöden riskerar vattnet att rinna förbi inloppet – därför bör det finnas en tydlig anvisning för att leda vattnet mot inloppet. Vid behov kan en brunn användas istället för en inloppsplatta – brunnen kräver dock mer underhåll för att undvika igensättning (Fridell et al 2023 s.58-59).

En studie av Beryani et al. (2021) visar på en stark korrelation mellan dysfunktionellt sand- och sedimentuppfång vid inloppet och försämrad hydraulisk konduktivitet i regnbädden till följd av sediment som förts med dagvattnet och bildat ett tunt lager av lera/silt ovanpå bädden vilket försämrar infiltrationen.

Växtbädden är skålformad eller har en inre visning på kanten vilket skapar ett ytmagasin som i regel är 5-20 cm djupt. Reningen av vattnet sker både genom filtrering, biologisk rening och nedbrytning. Finpartiklar från växtsubstratet kan riskera att dras med ner i det öppna förstärkningslagret när vatten infiltrerar växtbädden. Detta undviks genom att använda material där partiklarna låser sig mot varandra mer om detta i 3.9.2. Växtbädden kan täckas med ett lager finmakadam för att motverka erosion och uppslag av ogräs. Växtmaterialet i regnbädden kan både vara perenner, buskar, träd eller bruksgräsmatta. I ett urbant gaturum som använder sig av regnbäddar är det rimligt att mellan 1-10% av ytarealen är infiltrerbar (Larm & Blecken 2019; Fridell et al. 2023).

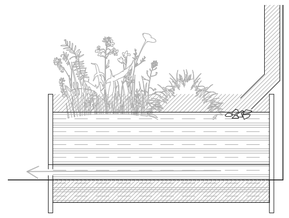
3.6.5 Täckt regnbädd



Figur 7 - Typsektion för täckt regnbädd

Regnbädden kan täckas med markgaller eller trädgropsfundament för att ytan ska kunna trafikeras eller utnyttjas för andra funktioner såsom cykelparkering. Regnbädden har fortfarande ett ytmagasin under markgallret dit dagvatten leds och kan infiltrera. När det inte finns markvegetation påverkas mikrolivet i växtsubstratet vilket i sin tur kan komma att påverka reningsfunktionen av dagvattnet (Fridell et al. 2023 s.60-61).

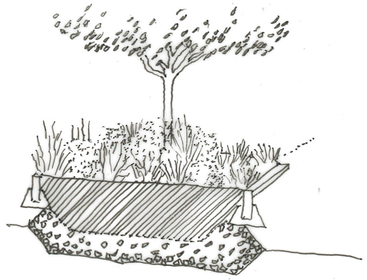
3.6.6 Upphöjd regnbädd



Figur 8 - Typsektion för upphöjd regnbädd

I Nigel Dunnetts- och Andy Claydens bok ’Raingardens’ (2007 s.94-100) beskriver de en konstruktion som de kallar Stormwater planter vilket är ett planteringskärl ovan mark dit vatten från stuprör kan ledas. Substratprofilen utformas på samma sätt som en regnbädd. Planteringskärlet kan antingen avvattnas genom perkolation till undergrund eller ha en tät botten och avvattnas med dräneringsrör eller båda delarna. Fördelen med denna konstruktion är att den kan passas in i mindre gaturum där det inte finns utrymme under mark samt att de kan placeras intill fasader och ha en rumsindelande funktion (Dunnett & Clayden 2007 s.94-100)

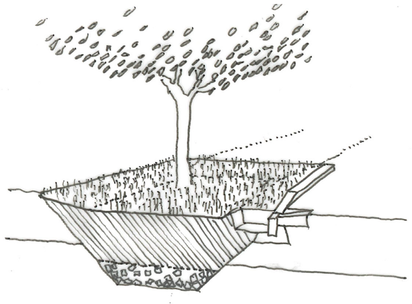
3.6.7 Vegetationsyta



Figur 9 - Typsektion för vegetationsyta ovanpå öppet förstärkningslager

En växtbädd utan någon renande eller fördröjande funktion kan anläggas ovanpå eller i anslutning till förstärkningslager när behovet av rening inte är lika stort. Denna yta har inget övre inlopp eller ytmagasin utan bevattnas underifrån via bevattningszonen på botten av det öppna förstärkningslagret samt genom nederbörd som faller på växtbädden (Fridell et al. 2023 s.62-63).

3.6.8 Svackdike (Eng – bioswale)



Figur 10 - Typsektion för svackdike

Ett svackdike har många likheter med en regnbädd. Precis som en regnbädd har svackdiket ett inlopp från gata och är skålformad för att skapa ett ytmagasin. I stället för att tömning sker genom infiltration avvattnar svackdiket mot en brunn. Det finns flera varianter på svackdiken och definitionerna kan vara flytande. Svackdiken tillämpas ofta när stora mängder vatten behöver avledas. Detta ställer högre krav på erosionsskydd och vegetationen bör därför vara äng eller höggräsmatta i stället för busk-eller perennplanteringar (Fridell et al. 2023 s.64-65)

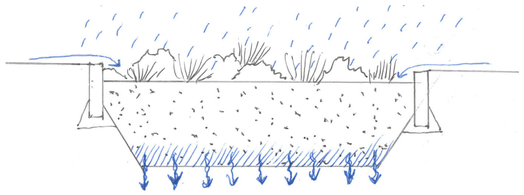
3.7 Avvattningsprinciper

Beroende på projektets förutsättningar gällande exempelvis mängd dagvatten som ska tas om hand och terrassens infiltrationskapacitet kan olika avvattningsprinciper tillämpas. Det finns två huvudsakliga avvattningsprinciper, dessa är perkolation till terrass/undergrund och avledning till ledningsnät via styrbrunn och dräneringsledning (Fridell et al 2023).

I Rosendal sker all avvattning till konventionellt dagvattennät eller till fördröjningsdammar som bräddar ut i Fyrisån. Detta eftersom området är byggt ovanpå en grundvattentäkt och inget trafikvatten får infiltrera ner till terrassen (Uppsala kommun 2022).

Vid höjdsättning bör gaturummet delas upp i mindre avrinningsområden för att lättare kunna beräkna belastningen på de olika konstruktionerna dit avvattning sker. Det är även relevant att beakta vattenkvalitén på dagvattnet som kan härledas ytans användning. Vatten från vägar med motorfordon är mer förorenat och kan vara i behov av att renas i exempelvis en dagvattenbädd medan vatten från gång och cykelväg kan ledas direkt till det öppna förstärkningslagret. (Fridell et al. 2023. s 39).

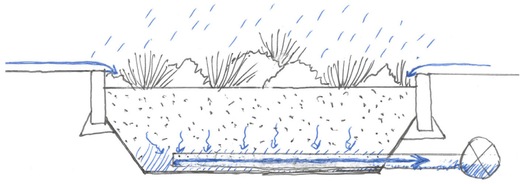
3.7.1 Perkolation till undergrund



Figur 11 - Typsektion för regnbädd som avvattnar genom perkolation till undergrund

Perkolation till undergrund kan tillämpas om dagvattnet är relativt rent och undergrunden är fri från föroreningar och har god perkolationsförmåga. Om denna avvattningsprincip används minskar detta belastningen på det konventionella ledningsnätet och bidrar till viss del till påfyllnaden av grundvattenmagasin. Om terrassens perkolationshastighet är för hög avvattnas dock BGG-systemets bevattningszon mycket snabbt och växtbädden kan därför torka ut fortare (Fridell et al. 2023 s.73).

3.7.2 Avvattning till dagvattennät



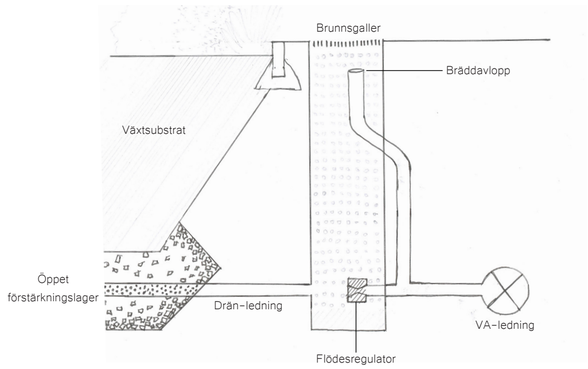
Figur 12 - Typsektion för regnbädd som avvattnar mot konventionellt ledningsnät

Avvattning till dagvattennät görs med en dräneringsledning i botten på det öppna förstärkningslagret som är kopplad till en styrbrunn. Flödet mellan det öppna förstärkningslagret och det konventionella ledningsnätet kan regleras med flödesregulatorer (Fridell et al. 2023).

Bevattningszon eller artificiell grundvattenzon skapas genom att dräneringsledningen läggs en bit över det öppna förstärkningslagrets botten. På detta sätt hålls vatten kvar i botten vilket kan tillgodogöras av vegetationen. Detta förutsätter att botten antingen är tätad eller att terrassen har mycket långsam infiltrationsförmåga (Fridell et al. 2023 s.74).

3.8 Komponenter

3.8.1 Styrbrunn



Figur 13 - Typsektion för utformningen på en styrbrunn i ett BGG-system

Styrbrunn förläggs oftast i anslutning till lägst liggande del och har som syfte att styra flödet av vattnet genom systemet. In-och utflödet ur brunnen kan både ske genom ledningar, perforering i brunnens vägg eller genom betäckning. Flödet regleras av en flödesregulator. Mängden vatten som släpps igenom av flödesregulatorn går att ställa in. För att inte systemet ska överlastas finns ett bräddavlopp som leder vattnet direkt ut i det konventionella ledningsnätet vid fall av extremregn (Fridell et al. 2023 s.76).

3.8.2 Luft-dagvattenbrunn

Denna brunn fungerar på samma sätt som en styrbrunn fast saknar styrbrunnens system med ledningar och flödesregulator. Brunnen placeras i lågpunkter och har i syfte att ta hand om dagvatten och ge gasutbyte för växternas rötter. Brunnens utflöde kan antingen ske genom dräneringsledningar eller perforeringar i brunnens vägg. Avvattningen kan antingen ske till det öppna förstärkningslagret eller genom täta eller perforerade ledningar till styrbrunnar (Fridell et al. 2023 s.76).

3.8.3 Luftbrunn

En luftbrunn har perforerade sidor och bidrar med gasutbyte i systemet och viss vattenhantering genom infiltration igenom perforeringarna men saknar koppling till styrbrunnar och ledningsnät. En skelettjord bör ha minst 2 brunnar för bra gasutbyte (Fridell et al. 2023 s.76).

3.8.4 Placering av brunnar

Placeringen av brunnar kan skilja sig åt beroende på systemets behov. I regel ska alltid en brunn placeras i anslutning till systemets lågpunkt. Om systemet består av flera seriekopplade enheter kan styrbrunnar/dagvattenbrunnar även placeras högre upp i systemet vid behov av avlastning. Luftbrunnar placeras förslagsvis i början och slutet av ett stråk av öppet förstärkningslager. Vid långa sammanhängande stråk kan fler luftbrunnar behövas längst sträckningen (Fridell et al. 2023 s.76).

3.8.5 Dagvattentunnel

En dagvattentunnel är en halvcylinderformad tunnel i plast som läggs i botten av det öppna förstärkningslagret. De används när systemet behöver hantera mycket stora regnmängder. Genom perforeringar i tunnelns sida kan vatten sippra utan att sediment kommer in i det öppna förstärkningslagret. Under dagvattentunneln läggs en extra tålig geotextil som kan stå emot krafterna vid mycket höga flöden (Fridell et al. 2023 s.77).

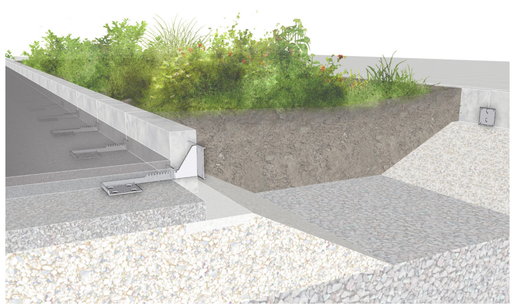
3.8.6 Kantstödsförankring

Idag fästs kantstöd vanligtvis med hjälp av en gjuten betongklack. Detta minskar växtbäddsvolymen och gör att djupet på växtbädden ut mot kanterna blir mycket grunt vilket resulterar i uttorkning (Fridell et al. 2023 s.77). I *figur 14* syns hur betongklacken ”Äter upp” en stor del av växtbädden.



Figur 14 - Fotografi av en regnbädd under uppförande i Rosendal, Uppsala.

Genom att istället använda en kantstödsförankring som spänner fast kantstödet får växterna större växtbäddsvolym. Förankringsmodulen i *figur 15* är framtagen av Lockstone ©. Den horisontella plattan spänns fast i det bitumentbundna sättlagret enligt bilden. Att använda denna typ av kantstödsförankring genererar dessutom 75% mindre koldioxidutsläpp jämfört med gjuten betongklack (Fridell et al. 2023 s.77)



Figur 15 - Lockstone © Kantstödsförankring

3.9 Material

3.9.1 Makadam till öppet förstärkningslager

I konventionella överbyggnader används i regel samkross till öppet förstärkningslager, det vill säga bergkross med kornstorlekar från 0-90/150. Detta skapar en stabil men impermeabel överbyggnad. I BGG-system används makadam, dvs bergkross som saknar nollfraktion. Beroende på krav på bärighet kan olika fraktionssorteringar användas. Det viktiga är att materialets porositet är så pass hög att det möjliggör en hög flödeshastighet för vatten, ger bra gasutbyte och att överskottsvatten efter ett skyfall ska kunna vara borta inom 24 timmar. Porerna måste vara så pass stora att kapillärkraften inte gör det möjligt för vatten att transporteras uppåt eftersom detta kan leda till islinser som kan orsaka tjälskjutning och sättningar i marken. Materialet måste samtidigt ha en hög bärighet för att kunna klara av trafikklassen för den aktuella ytan. Packning av det öppna förstärkningslagret är extra viktig för att få bärighet. Makadamen läggs ut i lager av max 250 mm åt gången (Fridell et al. 2023 s.68-69).

I handboken anger Fridell et al. (2023 s 68) 32/63 som en lämplig fraktionssortering för öppet förstärkningslager under växtbädd där fördröjning och goda växtbäddsegenskaper önskas. Om både fördröjning, hög bärighet och goda växtbäddsegenskaper efterfrågas kan makadam 4/90 användas (ibid).

Eftersom det är i princip omöjligt att få en 100-procentig siktning av underkorn - det vill säga korn mindre än den önskade fraktionssorteringen anges en maxgräns för hur många procent underkorn som max får förekomma i makadamen. I vinnovaprojektet ’Klimatsäkrade systemlösningar för urbana ytor’ (2015) användes 10% som maxgräns för mängd underkorn. Standarden inom byggsektorn är 20% maxgräns för mängden underkorn. Detta gör att fraktionssortering 22/90 med 10% underkorn är detsamma som 32/90 med 20% underkorn (Fridell et al. 2023 s.68).

För att undvika att finmaterial spolas in i BGG-systemet använd geotextil runt alla delar av systemet som innehåller finmaterial med undantag för växtsubstratet (Fridell et al. 2023 s.71).

3.9.2 Växtsubstratet

Växtsubstratet i regnbäddar har som syfte att infiltrera och rena vattnet. Därför är vanliga växtjordar olämpliga att använda i BGG-system eftersom infiltrationskraven oftast är höga. Växtsubstratet kan vara baserat på finmakadam, pimpsten, tegelkross, zeolit eller sand med lågt lerinnehåll samt låg andel organiskt material. Rekommendationen är ett makadambaserat växtsubstrat. En sådan jord har enkelkornsstruktur och blir mer motståndskraftig mot kompaktering och vägsalt till skillnad från jord med aggregatstruktur. (Fridell et al 2023 s.71).

För att förhindra att finmaterial från växtsubstratet spolas ut i det öppna förstärkningslagret bör partiklarnas storlek och form vara sådan att de uppnår så kallad ’bryggningsfaktor’, det vill säga att de hakar fast och låser varandra i övergången mellan växtsubstrat och öppet förstärkningslager. För att åstadkomma denna bryggning ska det finnas ett särskilt förhållande mellan fraktionssorteringarna i de olika substraten. 15% av det underliggande bergkrossmaterialet ska vara mindre eller lika med 5 gånger kornstorleken på 85% av växtsubstratet (ibid).

I övergången mellan öppet förstärkningslager och växtsubstrat kan ett kapillärbrytande skikt skapas. För att undvika detta bör substratets sammansättning anpassas efter det avvattnande tryck som skapas i förhållande till växtsubstratet. (Fridell & Jergmo 2015). Måttet på detta förhållande kallas permeabilitetsfaktor och innebär att 15% av kornen i det underliggande lagret ska vara större eller lika med 5 gånger så stort som 15% av kornen i växtsubstratet. (Fridell et al. 2023 s.71). Om de textuella skillnaderna mellan växtsubstrat och öppet förstärkningslager inte förhåller sig på ett sådant sätt att de uppnår bryggningsfaktor eller rätt avvattnande tryck kan ett avskiljande lager anläggas, det vill säga ett lager finare makadam mellan öppet förstärkningslager och växtbädd i syfte att fånga upp finare partiklar från växtsubstratet och jämna ut det avvattnande trycket i växtbäddsprofilen (Fridell et al. 2023 s.69).

Valet av växtsubstrat är till stor del en kompromiss mellan de önskade funktionerna i ett biofilter. För att kunna ta hand om stora mängder vatten bör materialet vara så genomsläppligt som möjligt och hålla kvar så lite vatten som möjligt. För maximal rening av dagvattnet bör substratet ha en hög lerhalt vilket leder till mer långsam infiltration och gör det svårt att hantera stora regnmängder. Växtmaterialet vill i regel ha vattenhållande jord med god tillgång på syre. Ett substrat med god infiltration torkar snabbt ut och ett substrat med hög lerhalt är kompakteringskänsligt och kan leda till syrebrist. Sammansättningen av växtsubstratet ska i möjligaste mån både ha en hög infiltrationsförmåga, reningsförmåga och erbjuda goda förutsättningar för växter (Fridell & Jergmo 2015).

Beroende på typ av vegetation finns olika rekommenderade minsta djup på växtsubstratet. 400 mm för gräsyta/ perennplantering, 600 mm för busk-plantering och 800 mm för träd (Fridell & Jergmo 2015).

För att förbättra substratets växtbäddsegenskaper kan biokol, pimpsten, grönkompost eller zeolit tillsättas. Biokol är restprodukter av organiskt material som hettats upp under anaeroba förhållanden så att tungmetaller och polyaromatiska kolväten förgasas. Biokolet har hög porositet samt en stor näringshållande och vattenhållande förmåga vilket både gagnar växterna och ökar substratets reningsförmåga. Biokolet innebär också en kolsänka då nedbrytningsprocessen har en halveringstid på 500-1000 år. Framställningsprocessen och vilka restprodukter som använts påverkar till stor del biokolets egenskaper. Idag finns det inget biokol som är specifikt anpassat till BGG-system. Rekommendationen idag är EBC-urban (Fridell et al 2023 s.72). EBC står för European Biochar Certificate vilket är ett regelverk för vilka gränsvärden för olika föroreningar och näringsämnen som biokol får innehålla beroende på ändamål. EBC-Urban märkningen avser biokol som jordförbättring i urbana planteringar (EBC 2012-2022). Gränsvärdena för dessa finns föreskrivna i EBC (2012-2022 s. 6).

Både Fridell et al (2023) och Sjöman et al (2018) trycker på vikten av att i största möjliga utsträckning använda återvunnet material vid konstruktion av växtbäddar.

Flera företag erbjuder jordanalyser av befintliga jordar innan anläggning påbörjas (ALS. u.å.; Hjorten labb. u.å.; WSP. u.å.) Prover kan tas för att undersöka de fysikaliska och kemiska egenskaperna för en jord på en plats i syfte att utvärdera hur jorden förhåller sig till kravspecifikationerna för växtsubstratet i anläggningsprojektet. Kravspecifikationen kan gälla AMAs standarder för olika växtjordar (A-, B- eller C-jordar) eller andra specifika gränsvärden för växtsubstrat i exempelvis regnbäddar. Om jordens egenskaper inte stämmer överens med de angivna kravspecifikationerna kan företaget ge rekommendationer på hur jorden kan bearbetas eller kompletteras med andra material för att uppnå kravspecifikationerna. På detta sätt kan jorden på platsen återanvändas i stället för att nya substrat måste nyproduceras för projektet (ibid).

Vid telefonkontakt med en av medarbetarna på ALS Geolab AB[12] som bett om att få vara anonym framkom att förbättringsförslag av befintliga jordar för att uppnå kravspecifikationerna för just regnbäddssubstrat inte är någon tjänst som tillhandahålls idag. Detta beror på att det råder en kunskapsbrist kring dessa växtsubstrat inom trädgårdsbranschen men också att detta sällan efterfrågas.

12 *Anonym respondent – ALS Geolab. Telefonkontakt 2025-03-06*

3.9.3 Växtbäddsprofil

I ett BGG-system fungerar både växtsubstratet, det öppna förstärkningslagret och till viss del undergrunden som växtbädd.

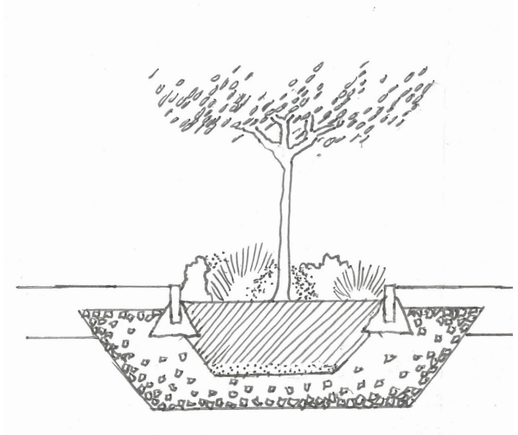
Fridell et al. (2023 s. 56-65) föreslår en växtbädd med horisontella lager av substrat. Överst läggs det mer finkorniga makadambaserade växtsubstratet med en tjocklek på 400-800 mm under detta läggs ett dränerande lager av grov makadam – exempelvis 32/90 eller 32/64. Vid behov kan även ett avjämnande lager läggas mellan dessa för att uppnå bryggningsfaktor och permeabilitetsfaktor (ibid).

I situationer där kraven på bärighet inte kräver att växtbädden grundas med grov makadam förespråkar Stål[13] en homogen substratprofil. Han anser att vattenretentionen i växtbäddar med horisontella lager blir sämre och att substratet torkar ut väldigt snabbt. Stål[14] anser att substratet i en växtbädd inte bör innehålla fraktioner större än 8/16. Stål[15] pekar även på att växtsubstrat med finare fraktioner såsom Hasselfors citykross 4-8 © har en mycket stor total porvolym vilket innebär att de har en stor fördröjningsförmåga om än lite långsammare men tror att detta i många fall är ett bättre alternativ om det görs på rätt sätt.

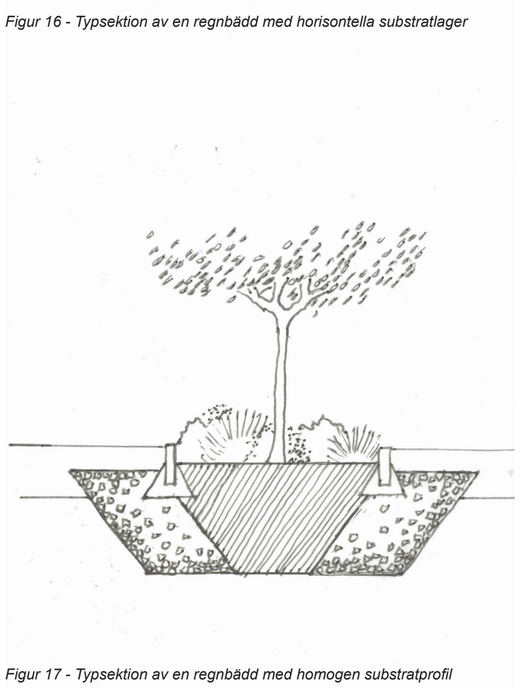
> *”Kommer det stora flöden kanske infiltrationen är lite trögare [...] men jag är övertygad om att om man bygger rätt och har den finare fraktionen i växtbädden och de större fraktionerna vid sidan om och tar de stora flödena så går det.”* (Stål 2025).

Ett annat problem som både Stål[16] och Blombäck[17] påpekar är växtbäddarnas djup. Ju längre ner till grundvattennivån desto större blir det avvattnande trycket. Eftersom större porer avvattnas vid lägre tryck än mindre porer innebär detta att en djup växtbädd med makadamjord med stora porer har en väldigt låg vattenhållande förmåga och torkar ut mycket snabbt – särskilt om växtbädden grundats med ett lager grov makadam såsom 32-63.[18]

Uppala[19] menar på att BGG-systemen i Rosendal är överdimensionerade och anser också att deras främsta problematik är att de torkar ut. Hon uttrycker dock att bristen på utrymme under mark i de flesta fall förutsätter djupa växtbäddar med grov makadam i botten för att kunna uppfylla de fördröjningskrav och bärighetskrav som ställs på BGG-systemen vilket gör att bäddarna blir torrare. Däremot ser Uppala en stor potential i att använda ett tjockare lager växtsubstrat makadam 2-6 istället för att snabbt övergå i grövre fraktioner. Hon anser att regnbäddarna såsom de konstrueras idag har en relativt god vattenbalans för det örtartade växtmaterialet– särskilt när de har en inblandning av pimpsten. Hon lyfter dock hållbarhetsaspekten i att använda pimpsten som ändlig naturresurs och påpekar problematiken kring den långa transporten från Island.[20]



Figur 16 - Typsektion av en regnbädd med horisontella substratlager



Figur 17 - Typsektion av en regnbädd med homogen substratprofil

13 Örjan Stål - Landskapsingenjör VIÖS AB, Universitetsadjunkt vid SLU institutionen för Stad & Land. Intervju 28-01-2025.
14 ibid
15 ibid
16 ibid
17 Karin Blombäck – Forskningsledare på institutionen för mark och miljö, SLU. Intervju 2025-02-07
18 ibid
19 Ella Uppala – Landskapsarkitekt Ramboll, doktorand vid institutionen för stad och land, SLU. Intervju 14-01-2025
20 ibid

3.10 Vattnets väg genom systemet.

Styrbrunnarnas syfte är att reglera vattenflödena i BGG-systemet. Beroende på BGG-systemets primära funktion kan brunnarna vara olika utformade. Är syftet att hantera normalt dimensionerade regn leds vattnet i första hand till det öppna förstärkningslagret men med ett bräddrör som leder ut vattnet i det konventionella ledningsnätet när BGG-systemet är vattenmättat vid exempelvis ett skyfall. Om det främsta syftet däremot är att ta emot vatten vid extremregn leds vattnet i första hand till ledningsnätet och vid maxbelastning leds vattnet till det öppna förstärkningslagret via ett bräddrör (Fridell et al. 2023 s.48)

3.10.1 Avvattningsprincip för en enhet anpassad för normalt dimensionerade regn.

Vid fallet med regnbäddar är syftet att fördröja dagvatten. De hårdgjorda ytorna avvattnas då mot inloppsplattan och in i regnbädden. Regnbädden är nedsänkt vilket skapar en så kallad avvattningszon. När denna zon är fylld till brädden kan inte vattnet rinna in via inlopppsplattan utan rinner vidare till styrbrunnen. Beroende på hur flödesregulatorn är inställd avvattnas olika mängd vatten till det öppna förstärkningslagret respektive det konventionella ledningsnätet. Vid extremregn när det öppna förstärkningslagret är fyllt rinner vattnet genom bräddröret ut i det konventionella ledningsnätet. 24 timmar efter maxbelastning av BGG-systemet ska allt överskottsvatten ha tömts. Detta görs genom att flödesregulatorn är inställd i relation till hur stor volym vatten som BGG-systemet magasinerar vid maxbelastning. Beroende på hur högt tömledningen/spridledningen är placerad i det öppna förstärkningslagret påverkas vattennivån i den artificiella grundvattenzonen/bevattningszonen (Fridell et al. 2023 s.48).

3.10.2 Avvattningsprincip för en enhet anpassad för extremregn

I anläggningar anpassade för extremregn avvattnas dagvattnet i första hand mot ledningsnät. När ledningsnätet överbelastas bräddas flödet ut i öppet förstärkningslager/ regnbädd (Fridell et al. 2023 s.48). Denna princip används på Sankt Kjelds Plads i Köpenhamn där linjeavvattningarna har en bräddning ut i grönytorna som i detta fall är utformade som infiltrerande Svackdiken med bräddningsfunktion i form av kupolbrunnar – (Se figur 18 & 19).



Figur 18 & 19 - Strypt utflöde från linjeavattningen ut i regnbädden vid Sankt Kjelds plads i Köpenhamn. Foto: Scott Wahl 2024

3.11 Rening av dagvatten

Rening av dagvatten i BGG-system sker på olika sätt. Det handlar både om upptag av fasta partiklar såsom sand, grus, lerpartiklar och organiska växtrester och nedbrytning och bindning av kemiska föroreningar (Fridell et al. 2023 s.78-81).

Upptag av partiklar sker genom:

- Sedimentering i sandfångkar, ytmagasin och öppet förstärkningslager vilket är en konsekvens av att flödeshastigheten bromsas upp. Detta gäller främst större partiklar som sand och grus (ibid).
- Filtrering genom växtsubstrat, eller infiltrerande bärlager samt i öppet förstärkningslager (ibid).

Nedbrytning och upptag av kemiska föroreningar sker genom:

- Bindning till partikelytor i regnbädd och öppna förstärkningslager (ibid).
- Upptag av växter (ibid).
- Nedbrytning av mikroorganismer. Den mikrobiella nedbrytningen kan ske både av de mikrober som lever i symbios med vegetationen i växtbäddarna men också av kemoautotrofa bakterier i den anaeroba bevattningszonen i botten av det öppna förstärkningslagret (ibid).

Högre genomsläpplighet på växtsubstratet ger snabbare infiltration och förbättrat gasutbyte för vegetation och mikroorganismer men försämrad reningsförmåga och fördröjning då vattnet rinner direkt ner i det öppna förstärkningslagret. Avvägning bör alltid göras om snabb infiltration är önskvärd eller om kraven på rening och fördröjning gör att ett växtsubstrat med mer finmaterial kan användas vilket då leder till långsammare infiltration. I detta fall bör djupet på regnbäddens ytmagasin minskas eftersom den långsammare infiltrationen inte kan ta hand om lika stora vattenflöden. Vid större regn är det framför allt den första avrinningen som för med sig föroreningar och har behov av rening i regnbädd medan resterande vatten kan ledas direkt till öppet förstärkningslager. Tester gjorda i laboratorier har visat att substrat med en infiltrationshastighet på 150-300 mm/h genererar en högre rening än växtsubstrat med större infiltrationshastighet (ibid).

3.11.1 Dimensionering för reningskrav

Om en regnbädd ska fungera som ett biofilter sker dimensioneringen med avseende på hur stor andel av den årliga nederbörden som ska renas (Pramsten 2021). Vid inflödet av dagvatten är det vad som brukar benämnas som ’first flush’ som för med sig de största föroreningsmängderna och är därmed den regnmängd som är av störst intresse att rena (Hatt et al. 2007). Ett vanligt gränsvärde för vad som brukar definieras som first flush vid dimensionering av urbana biofilter är de första 10-20 mm nederbörd (Austrailian Runoff quality 2006 ; New South Wales Government 2005 ; Pitt & Scholl 2002).

Det dimensionerade regndjupet i fördröjningszonen räknas ut genom att beräkna den totala volymen av first flush i avrinningsområdet utslaget på arean av regnbädden. Om vattennivån överstiger denna volym bräddas vattnet direkt ner i det öppna förstärkningslagret (Fridell et al. 2023).

Växtbäddens djup påverkar retentionen av vatten och borttagningen av föroreningar. Ett större djup ökar kontakttiden mellan vatten och fyllnadsmaterialet, vilket förbättrar reningen. Det har visats att koncentrationen av tungmetaller och ammonium minskar med ökande fyllnadsmaterialdjup. Rekommenderade djup varierar, men det bör vara minst 0,75 m för att ta bort kväve effektivt (Li et al. 2021).

3.12 Dimensionerade regn

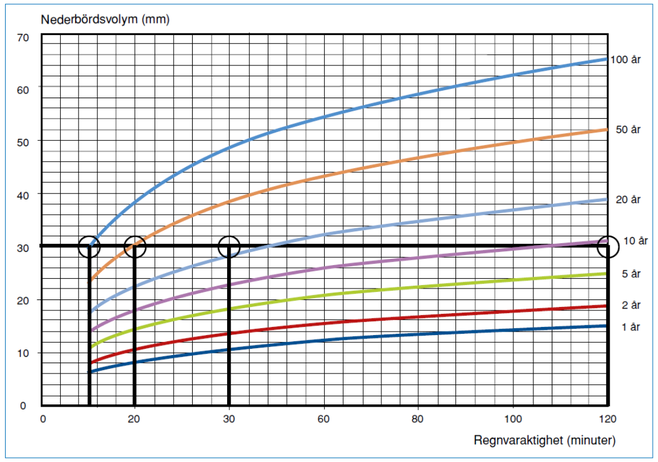
Kategorisering av regnmängder i kontexten av dagvattenhantering sker med avseende på dess förväntade återkomsttid exempelvis 2-årsregn eller 100-årsregn. Definitionen innebär att sannolikheten att scenariot i fråga ska inträffa under det givna intervallet är mer än 60% det vill säga att det är större sannolikhet att det inträffar än att det inte inträffar. *Tabell 2* redogör för sannolikheten för att ett visst regn ska inträffa inom ett visst tidsintervall (Svenskt vatten 2016).

Åter-komsttid	Sannolikhet under 5 år	Sannolikhet under 10 år	Sannolikhet under 20 år	Sannolikhet under 50 år	Sannolikhet under100 år
5 år	67 %	89 %	99 %	100 %	100 %
10 år	41 %	65 %	88 %	99 %	100 %
20 år	23 %	40 %	64 %	92 %	99 %
50 år	10 %	18 %	33 %	64 %	87 %
100 år	5 %	10 %	18 %	39 %	63 %
500 år	1 %	2 %	4 %	10 %	18 %
1 000 år	<1 %	1 %	2 %	5 %	10 %

Tabell 2 - Sannolikhet att en händelse inträffar inom en viss tidsram, baserat på dess återkomstfrekvens. (Svenskt vatten 2016, s.33)

Regnmängden anges i millimeter per regntillfälle, intensitet och varaktighet. Måtten för de olika dimensionerade regnen i en svensk kontext är enligt *figur 20* (Svenskt vatten 2016)

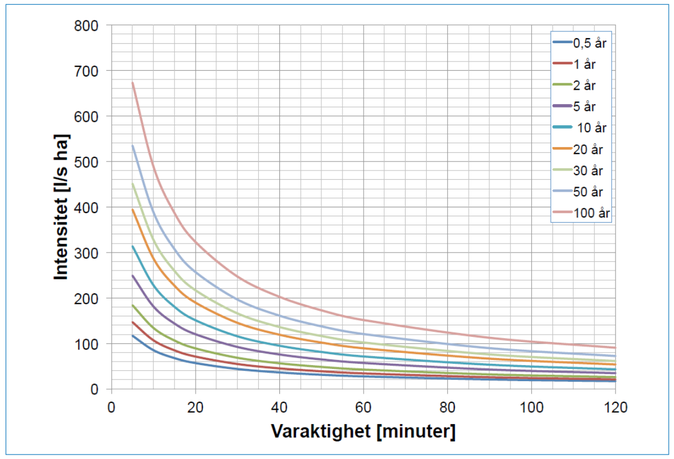
Samma mängd nederbörd kan alltså falla vid olika scenarion beroende på tidsintervallet för när det faller. Om 30 mm faller på 10 minuter klassas det som ett 100-års regn. Om samma mängd regn faller under 20 minuter klassas det som ett 30-årsregn (Svenskt vatten 2016).



Figur 20 - Regnvolym uttryckt som en funktion av regnets varaktighet och återkomsttid, enligt Dahlström (2010).

I *figur 21* är regnmängderna istället uttryckta i liter per sekund och hektar. Detta mått är tillämpligt vid beräkning av vattenflöden vid dimensionering av BGG-system. Dessa typvärden bygger på högupplösta nederbördsmätningar från flera olika VA-organisationer redovisade i Svenskt Vattens publikation 104 (2011). Eftersom extremregn inte är så vanligt förekommande är det statistiska underlaget för dessa scenarion inte lika täckande. *”Regnintensiteter med återkomsttid över 100 år bygger på extrapolerade data med större osäkerhet som följd”* (Svenskt vatten 2016. s. 30-33).

Olika kommuner och VA-bolag kan tillämpa olika värden för dimensionerade regn eftersom storleken på regnen skiljer sig mellan olika delar av landet. (Fridell et al. 2023 s.96)



Figur 21 - Regnintensitet i relation till varaktighet, baserat på Dahlström (2010).

3.13 Dimensionering för dagvattenfördröjning.

Beroende på ifall BGG-systemets huvudsyfte är fördröjning eller rening dimensioneras systemet olika (Fridell et al. 2023 s.98).

För att beräkna inflödet till systemet kan den så kallade rationella metoden användas:

”Dimensionerat flöde [l/s] = regnintensitet [l/s ha] · avrinningsområdets area [ha] · avrinningskoefficient [-] · klimatfaktor [-].

Dimensionerat flöde är viktigt för att veta hur komponenter ska konstrueras (Fridell et al. 2023 s.96).

Då mer extrema regn förväntas i framtiden rekommenderar Svenskt vatten (2016) att en klimatfaktor ska användas för dimensioneringsuträkningar för anläggningar som kommer att vara i bruk i slutet av detta århundrade. Idag är rekommendationen från SMHI att en klimatfaktor på minst 1,25 bör användas för extremregn kortare än en timme och minst 1,20 vid längre regn (SMHI 2024).

För att räkna ut volymen på den vattenmängd som systemet ska klara att ta hand om vid det blockregn som systemet är anpassat att kunna ta hand om kan den så kallade regnenvelopmetoden användas (Svensk markbetong 2019). Denna formel lyder som följande:

$$”V_{in} = f_c \cdot i_{dim} \cdot (A_D + A_T \cdot \varphi_T) \cdot t_{dim} \cdot f_{just}$$

V_{in} = Infiltrerande vattenmängd [m_3].
f_c = Klimatfaktor enligt Svensk Vatten P104, (1,05 – 1,3).
i_{dim} = Regnintensitet for blockregn med viss varaktighet [l/s, ha].
A_D = Dränerande ytans area [m_2].
A_T = Intilliggande avrinningsytas area (max 4 ggr A_D) [m_2].
φ_T = Intilliggande avrinningsytas avrinningkoefficient, d v s andel av ytan som bidrar med nederbörd till den dränerande ytan. Ingen avrinning antas ske från den dränerande ytan.
t_{dim} = Regnets varaktighet [min].
f_{just} = Justeringsfaktor (= $6 \cdot 10^{-6}$).
Justerar regnintensitet (i) från [l/s, ha] till [m_3/min, m_2].” (Svensk markbetong 2019)

För att beräkna hur stor volymen på det öppna förstärkningslagret behöver vara för att kunna ta hand om vattenvolymerna vid det dimensionerade regnet divideras regnvolymen med värdet på det öppna förstärkningslagrets porositet (Fridell et al 2023).

För att kontrollräkna hur mycket vatten som kan avvattnas inom ett givet tidsintervall anger svensk markbetong (2019) olika formler beroende på ifall avvattningen sker genom exfiltration till undergrund eller genom dräneringsrör. Eftersom alla öppna förstärkningslager är tätade i Rosendal sker samtlig avvattning genom dräneringsrör vilket räknas ut genom följande formel:

$$”d_d = \left(\frac{d}{s}\left(\frac{d}{s} + L\right) K_f\right) t$$

Där:
d_d = Avvattningskapacitet (av förstärkningslagret) via dräneringsrör [m]
t = Tid under vilken avvattning till dräneringsrör pågår (tömningstid) [h]
d = Den vattenfyllda zonens höjd [m]
S = Avstånd mellan dräneringsrör [m]
L = Terrassens lutning [m/m]
Kf = Hydraulisk konduktivitet i förstärkningslagret [m/h]” (Svensk markbetong 2019 s 65)

3.14 Växtmaterial för BGG-system

Precis som i andra sammanhang bör växtvalen i ett BGG-system anpassas med avseende på vilka naturmiljöer som är mest lika den anlagda situationen. En vanlig missuppfattning är att regnbäddar fungerar likt våtmarker i naturen och att växtmaterialet därför bör vara vattenälskande växter. Detta är dock inte fallet då stora mängder vatten måste kunna infiltrera under mycket kort tid vilket förutsätter en mycket porös jord med liten vattenhållande förmåga. Konsekvensen blir en torr växtbädd som vid tillfälle av kraftiga regn blir tillfälligt vattenmättad. En naturlig våtmark har ett konstant basflöde från kringliggande natur. En regnbädd har inget basflöde och får en drastisk flödesökning från hårdgjorda ytor vid regn. Förutsättningarna för växtmaterial i en regnbädd liknar därför snarare områden med fluktuerande grundvattennivå eller översvämningsbenägna områden såsom sandbankar intill hav, sjöar och floder som regelbundet svämmas över (Fridell & Jergmo 2015). Växtmaterial från sådana miljöer har inga problem med att klara kortare perioder med stående vatten men är samtidigt resilienta mot torka. Fridell et al. (2023 s.88) trycker på vikten av att växtmaterialet har växtdelar som står kvar under vintern – både av estetiska och biologiska skäl men framför allt ur funktionell synvinkel då växternas stjälkar penetrerar eventuell isbildning och kan därför säkerställa gasutbyte och infiltration även under vintern.

Vid anläggning av gräs-och ängsytor i regnbäddar bör färdiga mattor användas för att stå emot erosion (ibid).

3.14.1 Designade växtsamhällen

Designade växtsamhällen (Designed Plant Communities=DPC) är ett ramverk för plantering och vegetation som strävar efter att kombinera höga estetiska och biodiversitetsvärden med låga förvaltningskostnader genom artrik vegetation. DPC är tänkta att tillgodose mänskliga intressen genom att tillhandahålla ett brett utbud av ekosystemtjänster, särskilt värden för trivsel och stöd för biologisk mångfald (Uppala et al. 2025).

Konceptet ’designade växtsamhällen’ har sitt ursprung i den så kallade ’new perennial movement’ på 80-talet där bland annat Piet Oudolf var tongivande (Konstruppdrag.se u.å).

Syftena och målen med designade växtsamhällen går till stor del i linje med syftena och målen för naturbaserade lösningar (Uppala et al. 2025). För att uppfylla kraven för naturbaserade lösningar används ofta fyra kriterier som bland annat beskrivs av Sowinska-Swierkosz & García (2022). Dessa är att lösningen ska

- Vara Inspirerad och upprätthållen av naturliga processer
- Erhålla hög effektivitet och vara ekonomiskt gynnsam
- Svara mot samhälleliga utmaningar
- Erbjuda flera ekosystemtjänster inklusive biodiversitet.

Designade växtsamhällen tar fasta på de principer som gäller för vegetationssystem i naturen och tillämpar dessa på urbana planteringar (Reiner & West 2015).

En mer fördjupad beskrivning av de principer och metoder som används inom designade växtsamhällen finns att läsa om i mitt kandidatarbete ”Naturlika planteringar med inhemska perenner” (Ekelund 2023).

3.14.2 Designade växtsamhällen för regnbäddar

Beroende på regnbäddens primära syfte kan olika förhållningssätt till växtkompositionen tillämpas. Vid komposition av klassiska planteringar som tillämpar principerna för designade växtsamhällen beaktas växternas ekologiska strategier främst utifrån skötselbehov och visuellt uttryck. I fallet med regnbäddar måste växterna också kunna säkra de funktionstekniska krav som regnbädden är avsedd att lösa. Detta innebär bland annat att en snabb etablering och rotutveckling är önskvärd för att kunna stabilisera jorden och i viss mån öka biodegraderingen (Uppala et al. 2025). Enligt artikeln (Uppala et al. 2025) är det de specifika ståndortsförhållanden med periodvis torka och översvämning som regnbädden skapar som påverkar växtkompositionen (Ibid). Uppala[21] berättar dock att hennes doktorandprojekt visar på att med de typkonstruktioner som är praxis i Sverige är översvämning i regnbäddar aldrig något problem och särskilt inte BGG-system förutsatt att geotextilen mellan växtsubstrat och luftig överbyggnad inte sätter igen. Detta eftersom substratet har så höga krav på genomsläpplighet, fördröjningsvolymerna i öppet förstärkningslager är så pass stora att systemet i princip aldrig fylls upp. Samma sak gäller även för de mindre bäddarna. Dräneringsrören i botten på systemet avvattnar snabbt med undantag för när ledingsnätet är överbelastat vilket Uppala menar i princip aldrig inträffar särskilt i fallet för Rosendal som ligger relativt högt i förhållande till omkringliggande stadsdelar. Uppala menar på att BGG-systemen i Rosendal är överdimensionerade. Hon ser dock en liten risk att sand från halkbekämpning skulle kunna täppa igen porerna i växtsubstratens ytskikt över tid – detta har hon dock inte sett några tecken på i kolmakadam-baserade regnbäddar i Sverige. Vid dimensionering av regnbäddar ska allt stående vatten i regel dräneras bort inom 1-2 dygn. 1 dygn med stående vatten är enligt Uppala något som alla växter klarar av, 2 dygn klarar de flesta växter av, 3 dygn med stående vatten är problematiskt för många växter om det inträffar vid upprepade tillfällen – denna situation inträffar dock i princip aldrig för den typen av regnbäddskonstruktion som är praxis i Sverige. Sammantaget tyder studien på att ståndortsanpassningen i regnbäddar endast borde ske med avseende på torka. Idag översvämmas systemen endast vid ett 50- eller 100-årsregn, om vissa växter skulle dö vid dessa tillfällen är det enligt Uppala ett pris värt att betala eftersom det gäller främst perenner som i de flesta fall är mer kortlivade än så[22]. Kopplat till Grimes CSR-modell betecknas växter anpassade för stress ”stress-strateger” (Grime et al. 2007). Växters ekologiska strategi har även viss koppling till dess strukturella och morfologiska egenskaper (Kircher et al. 2014) vilket påverkar vilket uttryck som är möjligt att uppnå i en regnbädd (Uppala et al. 2025).

21 Ella Uppala. Landskapsarkitekt, Ramboll, SLU Ultuna. Intervju 2025-01-14
22 Ibid

3.14.3 Interception

Trädkronornas förmåga att fånga upp regn innan det hinner nå marken kan minska belastningen på VA-systemen. För att träd ska ha en betydande effekt på skyfallshanteringen i en urban stadsmiljö bör flera faktorer beaktas, inklusive trädens art, placering och hälsa (Zabret & Štraj 2015; Asadian & Weiler 2009).

Två omfattande studier gjorda av Zabret & Štraj (2015) och Asadian & Weiler (2009) visar på att trädens morfologiska egenskaper har en stor effekt på trädens interceptionsförmåga. På ett generellt plan har barrträd en större interceptionsförmåga än lövträd. Även egenskaper som täta kronor och skrovlig bark innebär att mindre andel regnvatten når marken samt att det regn som väl når marken fördröjs av kronan och barken och därför jämnar ut flödestopparna (Zabret & Štraj 2015; Asadian & Weiler 2009). Studien av Zabret & Štraj (2015) gjordes i en urban kontext i Ljubljana i Slovenien och visar på att Svarttall (Pinus nigra) har en intereption på 51% av den årliga nederbörden medan vårtbjörk (Betula pendula) har en interception på 20% av den årliga årsnederbörden. Det bör också beaktas att lövträd har mycket lägre interception på vintern då de fäller löven men att de under sommarhalvåret kan ha en lika hög interceptionsförmåga som barrträd – beroende på art. För alla undersökta träd i studien minskar interceptionen under mer intensiva regn. Även andra meteorologiska faktorer såsom vindhastighet och temperatur påverkar avdunstningen från trädkronan och därmed hur mycket vatten som når marken (ibid).

Båda studierna visar att trädens placering i stadsrummet är av stor vikt (Zabret & Štraj 2015; Asadian & Weiler 2009). Träd som är placerade nära eller över hårdgjorda ytor (som gator, parkeringsplatser och trottoarer) kan bidra till att minska avrinningen och fördröja vattnets väg till avloppssystemen (Ibid). Enskilda träd har större enskild interception samtidigt som träd i grupper har en mer omfattande effekt på dagvattenhanteringen (Ibid).

3.14.4 Växters reningsförmåga

Efter en omfattande studie av forskare från fyra olika institutioner i Australien kring olika växters reningsförmåga i biofilter utvecklade Emely G.I. Payne et al. (2018) ett verktyg för beslutsstöd för val av växter till biofilter: Studien visade på att vissa morfologiska egenskaper hos växter har särskilt stor inverkan på dess förmåga att ta upp föroreningar. Studien visade att växters upptag av framförallt kväve och andra närsalter var sammanlänkat med deras totala näringsupptagskapacitet. Upptaget av näringsämnen hade en stark korrelation med växtens upptag av vatten och evapotranspiration. Växter med hög evapotranspiration även under torra perioder har också större vätskeupptag och därför även större förmåga till fytoremidering. Verktyget trycker bland annat på egenskaper som

- Extensivt och finfördelat rotsystem för att växten ska få maximal kontaktyta med det perkulerande vattnet.
- Stor total biomassa och relativt stor tillväxt ovan jord eftersom det är i växtens biomassa som föroreningarna tas upp och lagras,
- Växter som behåller en hög vattenstatus under torka – Ofta växter med stor biomassa som är naturligt förekommande i miljöer med kortvarig och fluktuerande vattentillgång.

Studien är utförd i en australiensisk kontext med lokalt förekommande växtarter. De morfologiska egenskaperna som gynnar fytoremidering kan även appliceras på andra geografiska kontexter. (Pane et al.2018).

3.14.5 Etablering

För att säkerställa en god etablering behöver etableringsskötsel i form av bevattning och viss gödsling ske. Erfarenhet visar att träd i BGG-system etableras mycket bättre om de är odlade i airpots då rotsystemet blir anpassat för denna typ av makadambaserade jordar (Fridell et al. 2023, s. 89).

Gällande bevattning under etablering ställer sig Byström[23] frågande till ifall stödbevattningen i Rosendal under den upphandlade etableringsskötseln är tillräcklig för att träd och buskar ska hinna uppnå torkresiliens inom denna period.

> *”Vi upplever att det inte är riktigt samma sak att etablera växter i en begränsad volym och ett system som släpper igenom vattnet ganska fort jämfört med etablering i en vanlig växtyta där det finns en terrass där rötterna kan söka sig ut åt alla håll. Det behövs troligen en längre etableringsperiod för växter i regnbäddar eftersom det kan vara väldigt torrt i perioder och vindutsatt beroende på gaturummet. Många växter har det nog lite tufft i den här miljön. När de väl är etablerade kanske det är okej men vi har inte haft dem så länge så vi vet inte hur de beter sig i det långa loppet.”* (Byström 2024)

Uppala[24] har i sitt doktorsarbete intervjuat ansvariga i olika kommuner kring deras erfarenheter av hur växtmaterialet i regnbäddarna klarat sig. Flera respondenter i studien har uttryckt att etableringsbevattningen hade behövt pågå längre för att träden ska hinna etablera sig tillräckligt. I Uppalas egna fallstudier med olika perennmixar har hon dock inte upplevt att växtmaterialet hade behövt en längre period av etableringsbevattning. Dock trycker hon på att själva bevattningsmetoden är mer avgörande för markfukten

23 Yvonne Byström – Parkingengör Uppsala kommun. Driftansvarig för utemiljön i Rosendal. Intervju 13-12-2024
24 Ella Uppala. Landskapsarkitekt, Ramboll, SLU Ultuna. Intervju 2025-01-14

än kvantiteten bevattningstillfällen. En ideal bevattning ska enligt Uppala likna ett regn - där ytan bevattnas jämt och över en längre tid än när bevattningen sker via ett klassiskt bevattningsmunstycke.[25]

Vid plantering av buskar och perenner odlade i torvbaserad jord kan etablering i regnbäddar försvåras på grund av de strukturella skillnaderna i växtsubstrat. Svårigheterna beror både på att rötterna ogärna vill söka sig ut i makadamjorden och att tjälen under vinterhalvåret trycker upp rotklumparna vilket leder till att de lätt torkar ut. För att undvika detta har Lackalänga trädgård i samarbete med Stångby plantskola börjat odla perenner i lättviktsjord baserad på pimpsten och biokol. Växterna odlas i sammanhängande växtbäddar under tuffa förhållanden med liten tillgång på fukt och näring för att utveckla resilienta rotsystem. Växterna levereras semibarrotade vilket innebär att lite jord fortfarande finns kvar för att skydda rötterna. Styckpriset för en semibarrotad planta är i nuläget 30-40% dyrare än för en konventionellt odlad planta, detta måste dock vägas mot de etablerings- och ersättningskostnader som konventionellt odlade perenner medför (Green Cities Europe 2024).

25 *Ella Uppala. Landskapsarkitekt, Ramboll, SLU Ultuna. Intervju 2025-01-14*

3.14.6 Gödsling

Gödsling av växtsubstratet i BGG-system kan enligt Fridell et al. (2023 s.79) inte ske på traditionell väg eftersom detta leder till näringsläckage. Tillförsel av näring sker med hjälp av vattensäckar för träd och med långtidsgödsel för undervegetation. Precis som jordens strukturella egenskaper är en kompromiss mellan växternas behov, god reningsförmåga och bra infiltration är näringstillförsel en kompromiss mellan växternas behov och god reningsförmåga. Gödsling sker under etableringsfasen och bör i den fortsatta driften endast ske om särskilt behov skulle uppstå. Kväve och fosfor behöver i regel inte tillsättas i en trafikerad situation eftersom dessa finns lösta i avrinningsvattnet från dessa ytor (Fridell et al 2023 s.79).

Nilsson[26] nämner problematiken kring näringsläckage från biokolet som används i växtbäddarna i Rosendal. Detta gäller framför allt läckage av fosfor.

> *”Det har visat sig att det är fyra gånger mer fosfor som rinner ur en regnbädd än vad som rinner in i den” (Nilsson 2024).*

Han nämner också att biokolets funktion i bäddarna har varit jordförbättring och inte aktivt kol som ska fånga upp näringsämnen.[27]

> *”Inblandningen var ju egentligen inte i form av aktivt kol som skulle fånga någonting, utan biokolet ligger som ett näringsämne till växterna. Biokolet du köper är oftast näringsladdat med kväve och fosfor” (Nilsson 2024).*

På grund av näringsläckaget har inblandningen av biokol i regnbäddar minskat avsevärt berättar Nilsson.[28]

> *”I Uppsala kommuns BGG handbok ligger man oerhört lågt i biokol-inblandningen. Jag tror att från början skulle växtsubstratet innehålla 50 procent biokol och nu är vi nere på tio procent, plus att det är också specificerat vilken typ av biokol man ska få använda” (Nilsson 2024).*

Stål[29] ser en lösning i att undvika näringsberikat biokol i delar av BGG-systemet med höga flödeshastigheter exempelvis vid inloppen, öppet förstärkningslager och i anslutning till dräneringsrör.

> *”Det kanske är dumt att lägga näringsberikad biokol just vid inloppen [...] Jag tycker att man bara ska lägga näringsberikad biokol där växterna är initialt. Man ska inte lägga det i det luftiga förstärkningslagret där växterna inte kommer åt”. (Stål 2025).*

Han framför även att näringsläckaget kan vara temporärt efter anläggning innan växternas rotsystem hunnit växa till sig och binda jorden.[30]

> *”Jag tror man får räkna med ett visst näringsläckage i början innan växterna har etablerat sig så pass väl att de kan ta upp näring i hela bädden [...] Jämfört med utsläppen från jordbruket är dethär ingenting egentligen” (Stål 2025).*

26 *Björn Nilsson. Väg och VA-ansvarig i Rosendalsprojektet. Uppsala vatten. Intervju 12-12-2024*
27 *ibid*
28 *ibid*
29 *Örjan Stål - Landskapsingenjör VIÖS AB, Universitetsadjunkt vid SLU institutionen för Stad & Land. Intervju 28-01-2025.*
30 *ibid*

3.15 Utformning och dimensionering mot torka, värmeböljor och vinterklimat.

3.15.1 Trädens torkresiliens

Alla träd behöver vatten för att kunna växa och må bra. Det som skiljer olika trädarter åt när det gäller torkresiliens är deras förmåga att kunna köpa sig tid i väntan på bättre vattentillgång (Fridell et al 2023 s.85-86). Precis som för allt växtmaterial i en urban kontext bör trädarter väljas med försvarsstrategier anpassade till de förutsättningar som deras växtplats erbjuder. Trädens torkresiliens styrs till stor del genom deras förmåga att reglera transpirationen i trädkronan. Torktåliga träd har i regel högre förmåga att minska transpirationen och därmed vätskeförlusten under perioder av torka till skillnad från träd anpassade för fuktigare miljöer som fortsätter att producera biomassa även under torka. Regleringen av transpiration sker både genom att trädet stänger klyvöppningarna i bladen och minskar sin tillväxt ovan jord samtidigt som rottillväxten ökar. Vid fall av extra långvarig torka kan trädet släppa blad. Andra anpassningar kan vara djupgående pålrötter och blad med tjocka cellväggar och styv uppbyggnad vilket gör att de klarar ett lågt turgortryck utan att vissna (ibid).

Torka innebär minskad fotosyntes och därmed brist på glukos vilket gör att det kan ta lång tid för trädet att återhämta sig efter en längre period av torka. Torkstress innebär att trädet lättare angrips av sjukdomar och skadedjur (ibid).

3.15.3 Dimensionering för att tillgodose vegetationens vattenbehov

Storleken på växtbädden är alltid en avvägning mellan trädets behov och de funktioner som ska rymmas i gaturummet (Fridell et al 2023 s.87). Fridell et al (2023 s.87) refererar till olika studier som kommit fram till helt olika slutsatser gällande rekommenderad växtbäddsvolym med hänsyn till trädens krondiameter beroende på ifall studien är gjord med avseende på den ideala växtbäddsvolymen med hänsyn till trädets vitalitet eller om värdet ses som en kompromiss med de andra funktioner som ska få plats under mark i ett gaturum.

Enligt Malmö stads tekniska handbok (Malmö Stad 2024) ska ett gatuträd ha tillgång till minst 30 m3 rottillgängligt växtsubstrat i en enskild planteringsyta. Växtsubstratet kan både vara växtjord, skelettjord eller öppet förstärkningslager. Står trädet i en sammanhängande planteringsyta med fler träd ska varje enskilt träd ha en volym på minst 20 m3 rottillgängligt växtsubstrat (ibid).

Stockholms stad har angett en volym på 15 m3 rottillgängligt växtsubstrat per träd i sin växtbäddshandbok (Stockholm stad 2017).

Enligt Göteborgs stads tekniska handbok ska träd i en växtbädd ha rottillgängligt växtsubstrat med en utbredning på minst 16 m2 och ett djup på 1 m (Göteborg Stad 2024). Står trädet i hårdgjord yta ska det ha en rottilgänglig växtbäddsvolym på minst 25 m^3 per träd (ibid).

Lindsey & Bassuk (1992) har utvecklat en formel för dimensionering av växtbäddsvolym för att tillgodose trädens vattenbehov. Metoden bygger på ett att det finns ett tydligt samband mellan ett träds vattenförlust i form av transpiration och dess vattenbehov. För att uppskatta trädets dagliga vattenförbrukning används formeln DVF=KP·LAI·PE·K .

DVF = Daglig vattenförbrukning.

KP = Kronprojektion - arean på kronans horisontella utbredning ($\pi \cdot r^2$)

LAI = Leaf area index – Trädets totala löv yta delat med KP. Ofta används 4 som ett typvärde för fullvuxna träd.

PE = Potentiell avdunstning – Här används det dagliga medelvärdet för den månad på året med högst värde för avdunstning (Lindsey & Bassuk 1992). Enligt mätningar gjorda av SMHI 1981 var detta värde 120 mm i Juli för Uppsala (Eriksson 1981) vilket ger en högsta daglig potentiell avdundstning på 120/31~3,9 (ibid). Notera att denna studie inte tagit hänsyn till klimatförändringar som sannolikt ger upphov till ökade värden för potentiell avdunstning.

k = Avdunstningsfaktor. De undersökta trädarterna i Lindsey & Bassuks studie (1992) hade en daglig vattenförlust motsvarande 30% av den potentiella avdunstningen vilket ger en avdunstningsfaktor på 0,3. Denna faktor skiljer sig dock mellan olika arter.

För att räkna ut växtbäddsvolymen används formeln

Växtbäddsvolym = DVF·NF/VTV

NF = Nederbördsfrekvens. Anger återkomsttiden för regnfall. Ex. 10 dagar.

VTV = Växttillgängligt vatten, det vill säga volymen på det växttillgängliga vattnet när jorden uppnår fältkapacitet. Denna volym varierar beroende på jordens fysikaliska egenskaper. *Figur 2* visar hur stor volymprocent vatten som olika jordar har vid olika avvattnande tryck. Lindsey & Bassuk (1992) räknar med att jorden uppnår fältkapacitet vid varje återkommande regn. Lindsey & Bassuk (1992) betonar att denna metod inte bör ses som ett exakt facit på hur växtbäddar bör dimensioneras utan snarare som en fingervisning om vilken storlek växtbäddarna bör ha.

DeGaetano (2000) vidareutvecklade Lindsey & Bassuks formel och använder sig av dagliga observationer av avdunstningshastigheter i stället för genomsnittliga värden. Eftersom trädens transpiration minskar vid minskad jordfukt har DeGaetano lagt till en jord-fukt-förlustfaktor (DF) vid beräkning av trädets dagliga vattenförlust för att ta hänsyn till detta.

$$\boldsymbol{DF} = 0{,}82Z^2 + 0{,}20Z + 0{,}04$$

Där z är jordens växttillgängliga vatten vid tillfället genom jordens växttillgängliga vatten vid fältkapacitet.

Vid uträkning av jordvolym använder sig DeGaetano (2000) av daglig nederbördsstatistik i stället för ett genomsnittligt intervall.

R_e=(R-0,00254)xA

Interceptionen gör att de första 2,54 mm nederbörd aldrig beräknas nå marken.

A = arean för avrinningsområdet för det vatten som landar i växtbädden.

Om R_e överskrider den totala volymen för växttillgängligt vatten vid fältkapacitet räknas inte överskottet med. I detta fall räknas även magasineringsvolymen i bevattningszonen in i max-värdet för R_e.

Vid beräkningen räknar DeAgetano (2000) med att 15% av vattnet i jorden är så hårt bundet att det inte kan tas upp med växterna. Detta värde är ett typvärde som grundar sig i mätningar gjorda av Cassell (1983) där det ej växttillgängliga vattnet i marken ligger på mellan 10 och 25 volymprocent av jordens totala vatteninnehåll vid dräneringsjämvikt.

4. Platsknutna förstudier

4.1 Rosendal

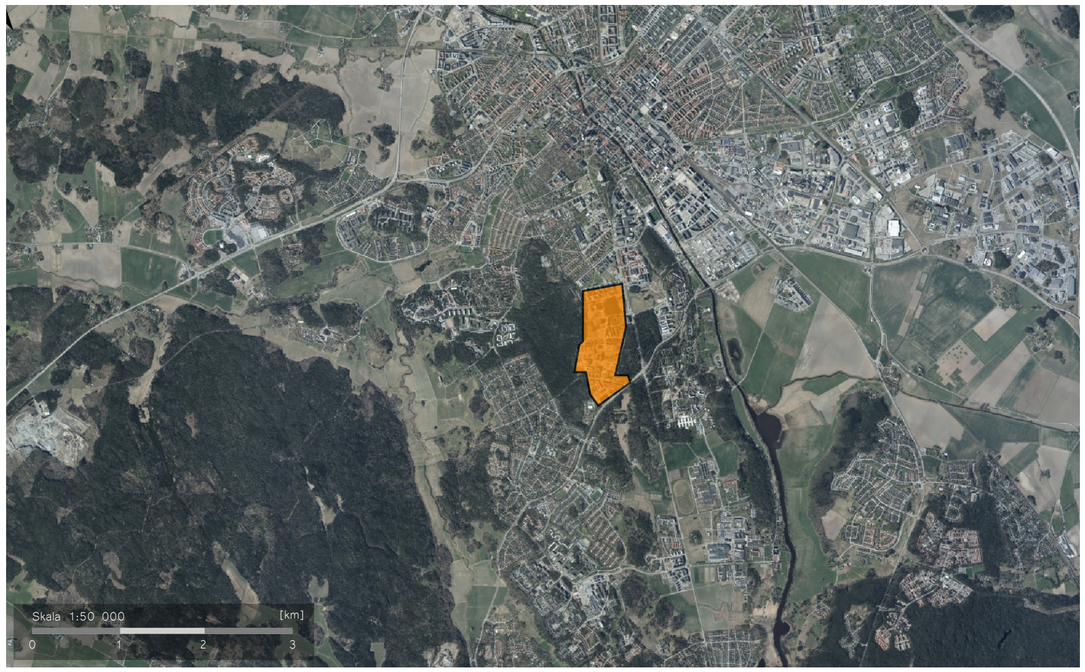
Rosendal är ny stadsdel i Uppsala som är under uppförande. Det ska bli en klimatpositiv stadsdel där hållbara transportmedel såsom cykel, gång och kollektivtrafik är prioriterade över biltrafiken. Området är en del i Uppsalas mål att bli klimatpositivt till 2050 och har som syfte att genom olika innovationer visa vägen för en hållbar framtid (Uppsala kommun 2022). En av dessa implementerade innovationer är BGG-system och var det första omfattande projektet i Sverige som använde sig av detta[31]. Nilsson[32] berättar i intervjun att en av förutsättningarna för att överhuvudtaget få lov att bygga Rosendal var länsstyrelsens krav på att inget trafikvatten fick infiltrera terrassen eftersom området ligger ovanpå en grundvattentäkt. Av denna anledning blev systemen direkt mer avancerade och högre krav ställdes på deras tekniska funktioner. BGG-systemen i Rosendal finansierades av forskningspengar från Vinnova-projektet.

Vidare berättar Nilsson[33] att vägen till den slutliga utformningen av BGG-systemen i Rosendal har varit lång och full av kompromisser mellan Landskap- och VA-sidan.

”Det har varit en ganska lång resa ifrån de första utkasten till de regnbäddar som vi faktiskt har idag. [...] När vi byggde etapp tre så hade vi ny variant med det luftiga förstärkningslager där jag och min kollega Ronnie tog fram en lösning på hur man skulle kunna gå över med olika typer av servicer igenom det luftiga förstärkningslagret. [...] Det man gjorde fel det var ju att man tog och lade ett luftigt förstärkningslager längs ett helt kvarter som en limpa, då skar man ju av åtkomsten för ledningsanslutningar till det kvarteret eftersom det är ett litet fall på det här och bentonit-mattor som innesluter det luftiga förstärkningslager. När man ska passera igenom det så blir det ett problem för då bryter du barriären som förhindrar vatten att infiltrera i marken samtidigt så stänger du in i den här långa ”limpan” när du skär av den på mitten. Då var det utlopp nedströms och då ligger den på håll emellan där.” (Nilsson 2024)



Figur 22 - Fotografi över Carlshage, Rosendal, Uppsala.



Figur 23: Karta över södra Uppsala. Rosendal är orangemarkerat (Lantmäteriet 2025)

31 Björn Nilsson. Väg och VA-ansvarig i Rosendalsprojektet. Uppsala vatten. Intervju 12-12-2024
32 Ibid
33 Ibid

4.2 Prefektgatan

Prefektgatan ligger i vad som benämns som etapp 2 av Rosendalsprojektet (*Se figur 24*). Det är en lokalgata med regnbäddar utplacerade som farthindrande åtgärder för trafiken. Den har en nordöst-sydvästlig sträckning och är mellan 18 och 19 meter bred. Anledningen till att gatan är så pass bred är alla de funktioner som ska rymmas i gaturummet – både över och under mark (*se 4.2.3)*.

Gaturummet ska fungera som brandgata, infart till ett underjordiskt garage och inhysa cykelparkeringar, avlastningsplatser för boende och servicefordon. Under jord finns ett ledningsstråk för VA samt fjärrvärme och el ledningar. Pålningen av husgrunderna har dessutom skett 2,5 m ut från husens fasader vilket också är en underjordisk struktur som konkurrerar om utrymmet. Utformningen på gaturummet är stadsmässig med raka vinklar, bastanta kantstöd runt regnbäddarna och massiva betongblock som sittplatser. Björn Nilsson[34] nämner att regnbäddarna på platsen var tänkta att fungera som farthinder – därav deras placering i gaturummet som syftar till att tvinga trafiken i en sick-sack rörelse. Samtidigt har bäddarna funktionen att rena och fördröja dagvatten på platsen vilket också styrt utformningen och dimensioneringen av dem.

Gatan valdes som projektplats för omgestaltningen eftersom den direkt väckte frågor kring gaturummets stadsmässiga modernistiska utformning och stora dimensioner som på många sätt går emot bland annat Jan Gehls principer för ett kvalitativt gaturum. Tankar väcktes kring hur gaturummet alternativt skulle kunna utformas utifrån dess sociala funktion och trivselvärden där BGG-systemen blir ett verktyg i den rumsliga utformningen och svara mot platsens funktionella krav. Vid samtal med Björn Nilsson och byggledare framkom att det dessutom fanns ett antal anläggningstekniska svårigheter med gatans utformning.

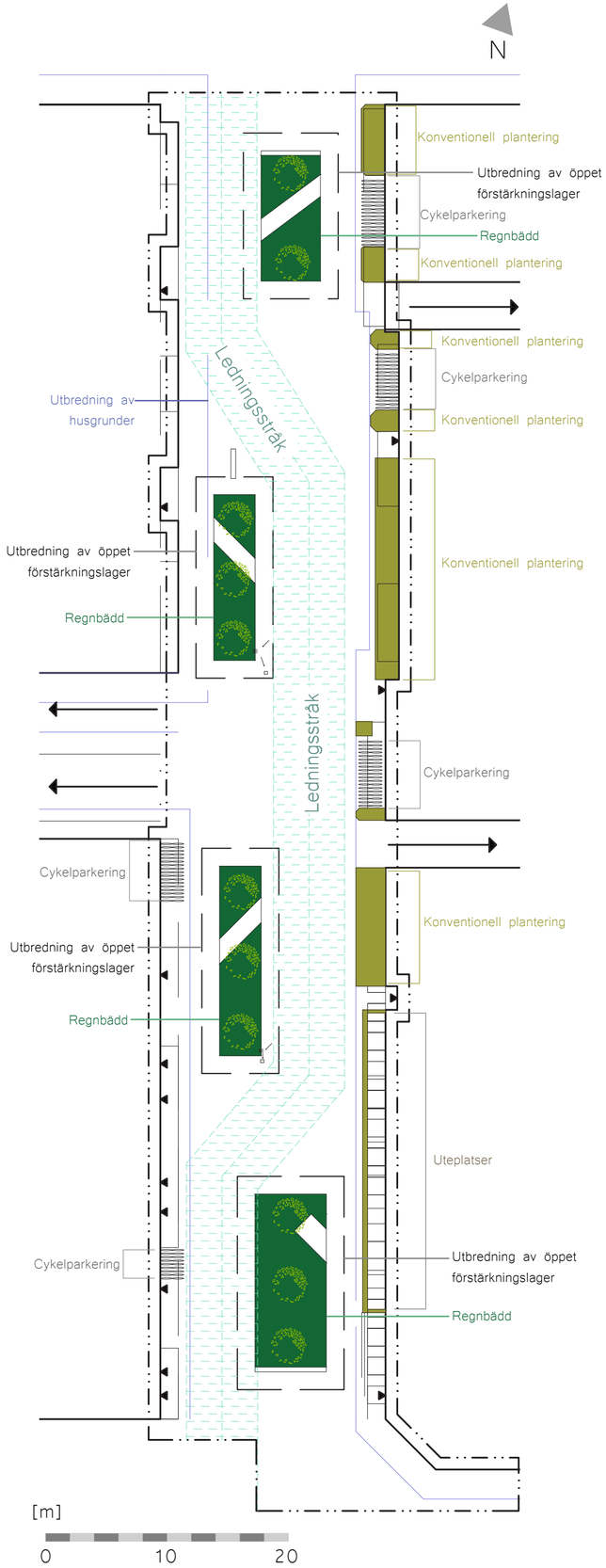
34 Björn Nilsson. Väg och VA-ansvarig i Rosendalsprojektet. Uppsala vatten. Intervju 27-01-2025



Figur 24: Situationsplan över etapp 2 i Rosendal. Prefektgatan är orangemarkerad. Skala 1:3000 (Lantmäteriet 2025)

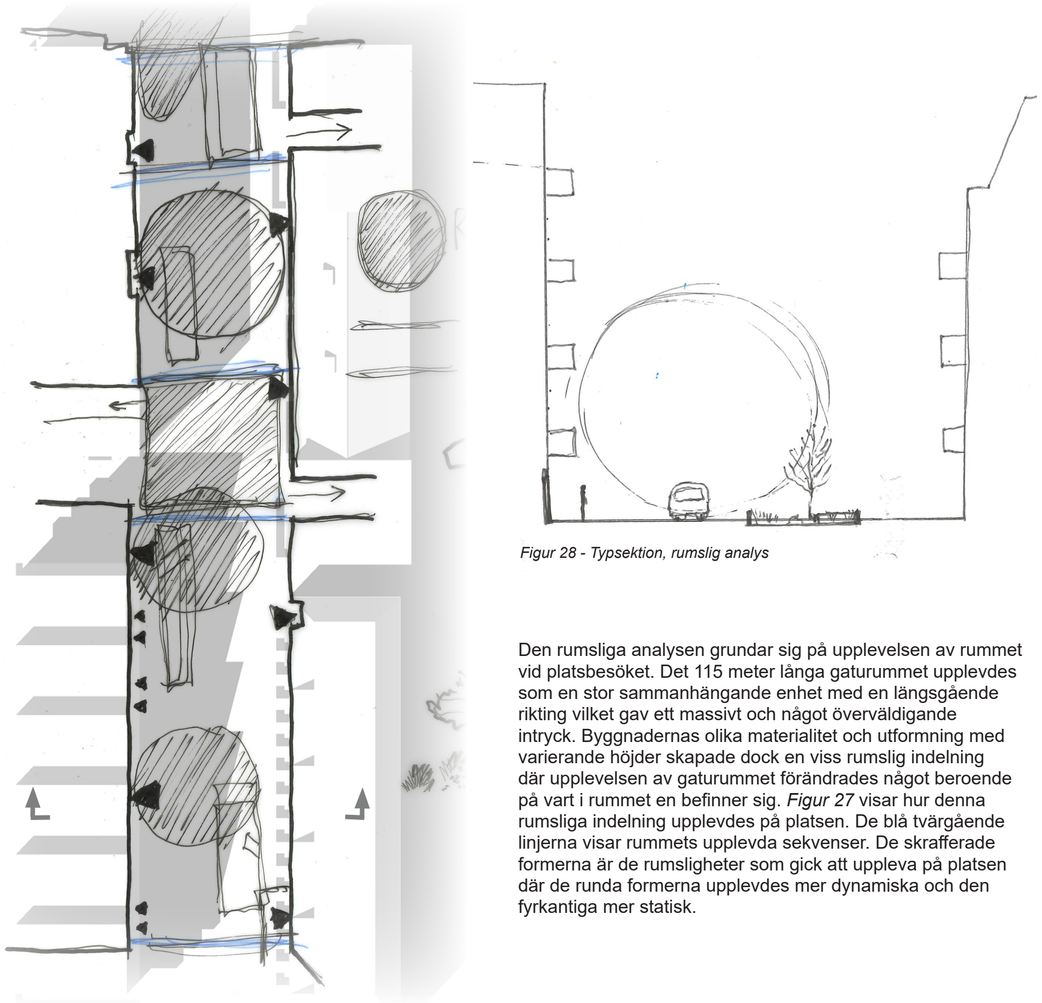


Figur 25: Foto av prefektgatan i december



Figur 26 - Befintlighetsplan över Prefektgatan

4.2.1 Rumslig analys

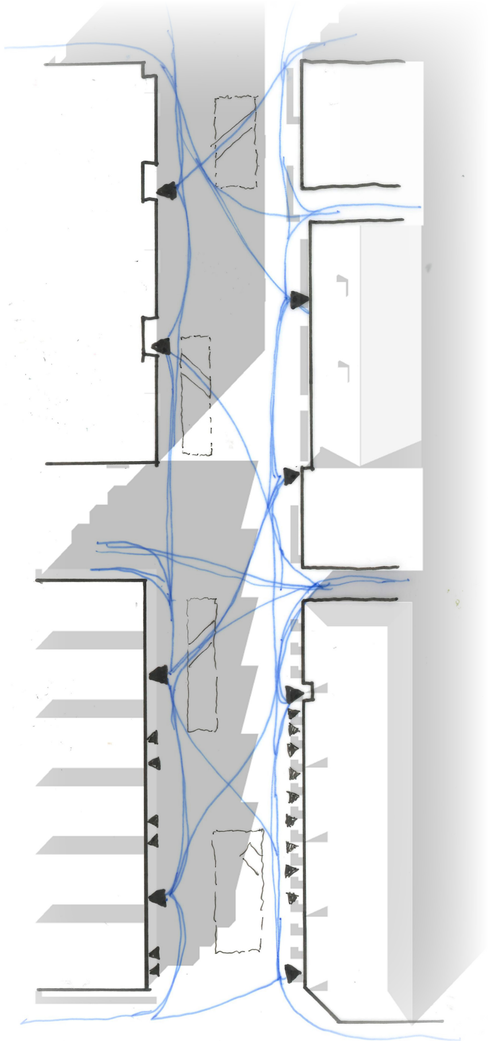


Figur 27 - Rumslig analys

Figur 28 - Typsektion, rumslig analys

Den rumsliga analysen grundar sig på upplevelsen av rummet vid platsbesöket. Det 115 meter långa gaturummet upplevdes som en stor sammanhängande enhet med en längsgående rikting vilket gav ett massivt och något överväldigande intryck. Byggnadernas olika materialitet och utformning med varierande höjder skapade dock en viss rumslig indelning där upplevelsen av gaturummet förändrades något beroende på vart i rummet en befinner sig. *Figur 27* visar hur denna rumsliga indelning upplevdes på platsen. De blå tvärgående linjerna visar rummets upplevda sekvenser. De skrafferade formerna är de rumsligheter som gick att uppleva på platsen där de runda formerna upplevdes mer dynamiska och den fyrkantiga mer statisk.

4.2.2 Rörelser/Entréer



Figur 29 - Rörelseanalys

Eftersom området är mycket nybyggt och platsbesöket skedde en vardag i december kunde inte någon kvantitativ analys av människors rörelser göras. Rörelseanalysen utgår ifrån målpunkter i gaturummet och dess omgivning och antaganden kring hur människor rör sig mellan dessa målpunkter.

4.2.3 Funktioner som ska rymmas

Brandgata

- *”Bredd på körbanan: minst 3 m*
- *vertikalradie: minst 50 m*
- *fri höjd (avser såväl byggnader som växtlighet): 4 m*
- *tåla axeltryck: minst 100 kN*
- *högsta längslutning: 8 %*
- *högsta tvärfall: 2 %”* (Boverket u.å)
- Minsta kurvradie: 7 m (Uppsala Brandförsvar 2020)

Körbana med mötesplats och möjlighet till avlastning

- Minsta bredd: 4 m
- Mötesplats: 8 m bred
- Avlastningsplats utanför entré

Ledningsstråk:

- Uppehåll i öppet förstärkningslager ska göras där servicer från fastigheter ansluter till det kommunala ledningsnätet.
- På de platser då den vanliga överbyggnaden är smalare än 8 m ska ej skelettjordar tillämpas för att underlätta för byte av ledningar.

Cykelparkeringar

- Minst 26 lpm

Regnbäddar

Konventionella busk/perennplanteringar

4.2.4 Problematik med rumslig utformning

Den förbättringspotential som var motivet för omgestaltningen gäller både platsens trivselvärden och hur rumsliga funktioner relaterar till tekniska funktioner. Gällande trivselvärdena ger rummets stora skala och stadsmässiga modernistiska utformning ett hårt intryck. Gaturummet känns stort och öppet och har en längsgående riktning med få möjligheter till att uppehålla sig.

Nilsson[35] nämner att placeringen av regnbäddarna var svår att förena med hur ledningsstråket skulle dras.

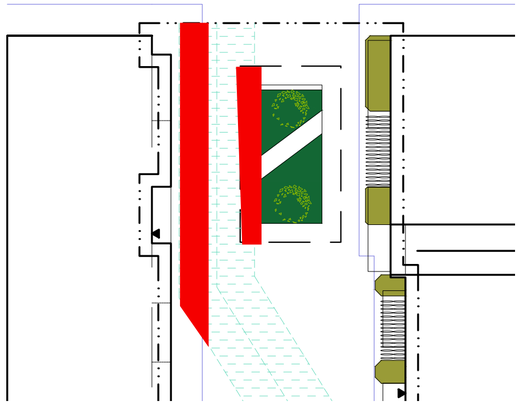
> *”Man har satt BGG system på bägge sidor i form av fartdämpande åtgärder där du tvingar fram en sick-sack rörelse för trafiken. Det där är ett jätteproblem för att då finns det ingen fri yta och lägga ledningstråket i och då måste även ledningsrådet sick-sacka sig och det vill vi absolut inte göra i normala fall eftersom varje riktningsangivelse på ett självfall-system medför kapacitetsnedsättning.”*

Vidare förklarar Nilsson att när VA-systemet behöver göra skarpa svängar och sick-sacka sig fram behöver systemet dimensioneras större för att inte sättas igen. Dessutom behöver fallet vara större för att kompensera för den inbromsning som sker vid riktningsavvikelser vilket innebär att ledningsgraven behöver grävas djupare vilket ökar anläggningskostnaderna avsevärt. Nilssons bedömning är att flera regnbäddar kommer vara tvungna att rivas den dagen då ledningarna behöver bytas eller repareras eftersom det inte är ekonomiskt motiverat att gå in med spontlåda på en lokalgata.[36] I *figur 30* illustreras hur ledningsgraven krockar med både öppna förstärkningslager och husdränering. Viktigt att betona är att ritningen är en uppskattning av ledningsstråkets dragning och inte någon relationshandling eftersom relationshandlingarna visade sig vara mycket svåra att få tag på.

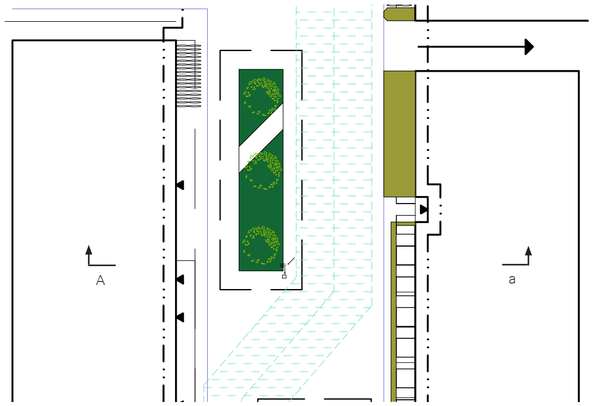
Vid en konversation med förman för byggskedet av prefektgatan framkom att de öppna förstärkningslagren anlagts redan i samband med byggatan men att deras utbredning visat sig krocka med husgrundernas utbredning och att pålningen skett ca 2,5 meter ut från fasaderna. Detta hade resulterat i att bentonitmattorna som omsluter BGG-systemet punkterats så att trafikvatten läcker ut i terrassen. Respondentens bedömning var dock att detta läckage var försumbart.

---

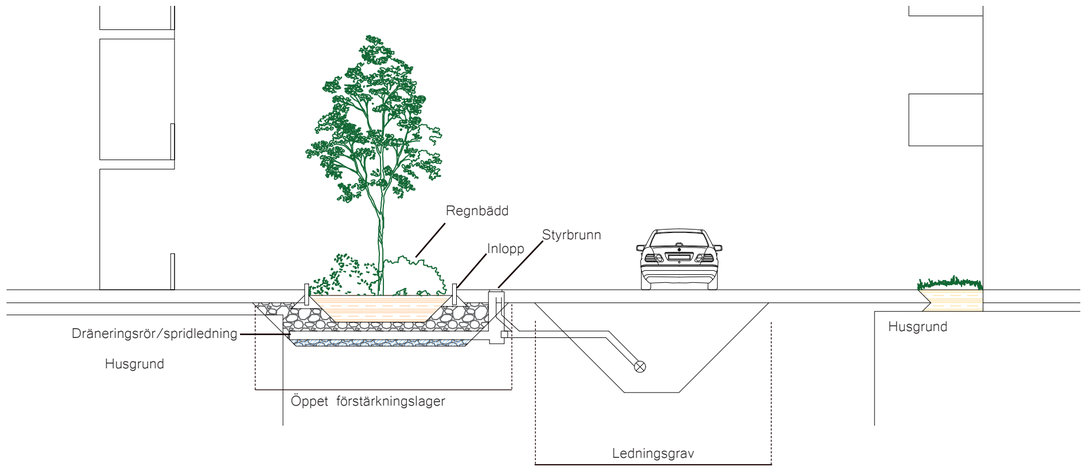
35 Björn Nilsson. Väg och VA-ansvarig i Rosendalsprojektet. Uppsala vatten. Intervju 12-12-2024
36 ibid



Figur 30 - Överlapp mellan ledningsgrav, husgrunder och öppet förstärkningslager



Figur 31 - Nulägesplan med sektionsmarkering för figur 32



Figur 32 - Sektion A-a

4.2.5 BGG-system på gatan

Efter samtal med Björn Nilsson och Ella Uppala samt egna observationer från platsen har slutsatser kunnat dras kring hur BGG-systemet på platsen är utformat. *Figur 33, 34* och *35* visar regnbäddarnas koncentrerade inlopp där vatten först leds till inloppsplattan och bräddas till brunnen. Detta förutsätter att brunnen är lägre placerad än inloppet vilket innebär att stora delar av gaturummet i första hand kommer att avvattna mot brunnen och inte mot inloppet med konsekvensen att detta vatten inte kommer att renas i regnbäddssubstratet.

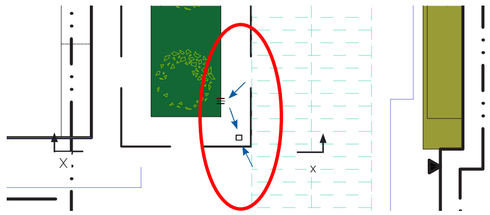
Nilsson[37] nämner att den väldigt stadsmässiga utformningen grundar sig i tanken att regnbädden ur VA-synpunkt ses som en komplex gatubrunn. Att ha koncentrerat inlopp och en tydlig form med kantvisning gör det lättare att kontrollera flödena på platsen. Att förlägga brunnarna inom bädden skulle göra att växtbäddsutrymmet blir mindre eftersom brunnen behöver sättas i ett krossmaterial som kan packas – som inte fungerar som växtsubstrat.

Under växtsubstratet ligger ett lager makadam 32/90. Hur öppet förstärkningslager och växtsubstrat skiljs åt är inte klargjort. Nilsson berättar dock att det i princip alltid är någon form av geotextil mellan växtsubstrat och öppet förstärkningslager vilket minskar rotutrymmet. Avjämningslager är svårare att anlägga och har troligen inte använts i dessa bäddar.[38]

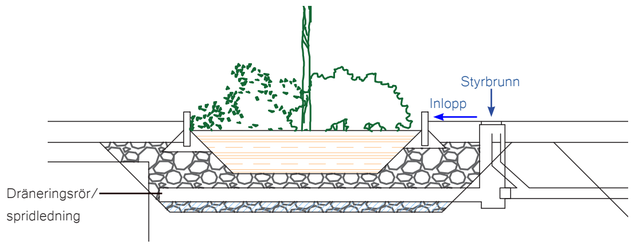
37 *Björn Nilsson. Väg och VA-ansvarig i Rosendalsprojektet. Uppsala vatten. Intervju 27-01-2025*
38 *ibid*



Figur 33 - Inlopp och dagvattenbrunn



Figur 34 - Höjdsättningen ska i första hand leda vatten till regnbäddens inlopp och i andra hand till styrbrunnen där vattnet i första hand leds till det öppna förstärkningslagret genom spridledningen. Dock kommer vattenflödet söderifrån att ledas direkt till brunnen och därmed aldrig nå regnbädden.



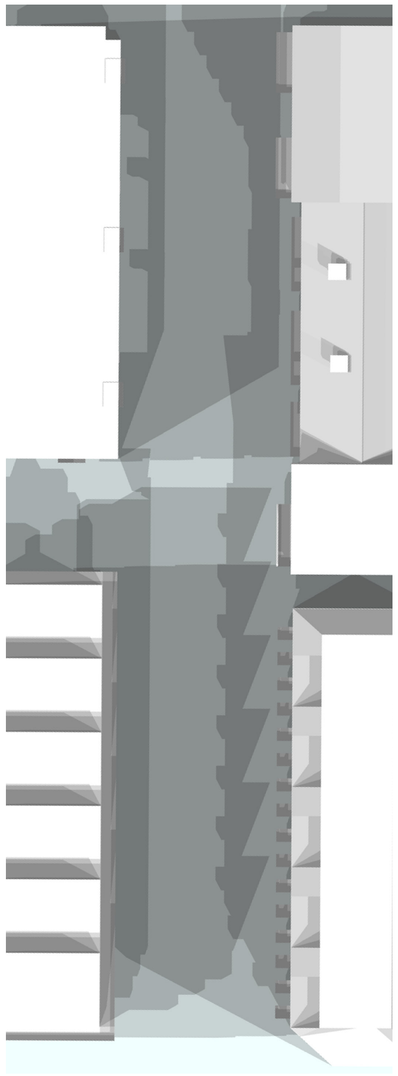
Figur 35 - Sektion X-x

4.2.6 Skuggstudie

Analysen görs för 20e Maj eftersom våren utgör tillväxtperioden för de flesta växter. Detta är även den period som är mest kritisk gällande vattentillgång.

Klockslag som undersöks: 08:00, 10:00, 12:00, 14:00, 16:00.

Innan och efter denna tidsram är gaturummet helt skuggat.



Figur 36 - Skuggstudie gjord i Sketchup för 20e Maj kl. 08:00, 10:00, 12:00, 14:00 & 16:00.



Figur 37 - Fotografi av Prefektgatan i december 2024



Figur 38 - 3D rendering av gaturummet efter omgestaltning, gjord i V-ray och Photoshop

5. Gestaltning

5.1 Koncept

Gestaltningen är ämnad främst för boende på gatan men även för förbipasserande.

Grundkonceptet i gestaltningen utgår ifrån Suvillians princip ”form follows function” men där termen ’funktion’ även inkluderar mjuka värden och de ekologiska processer som platsen interagerar med.

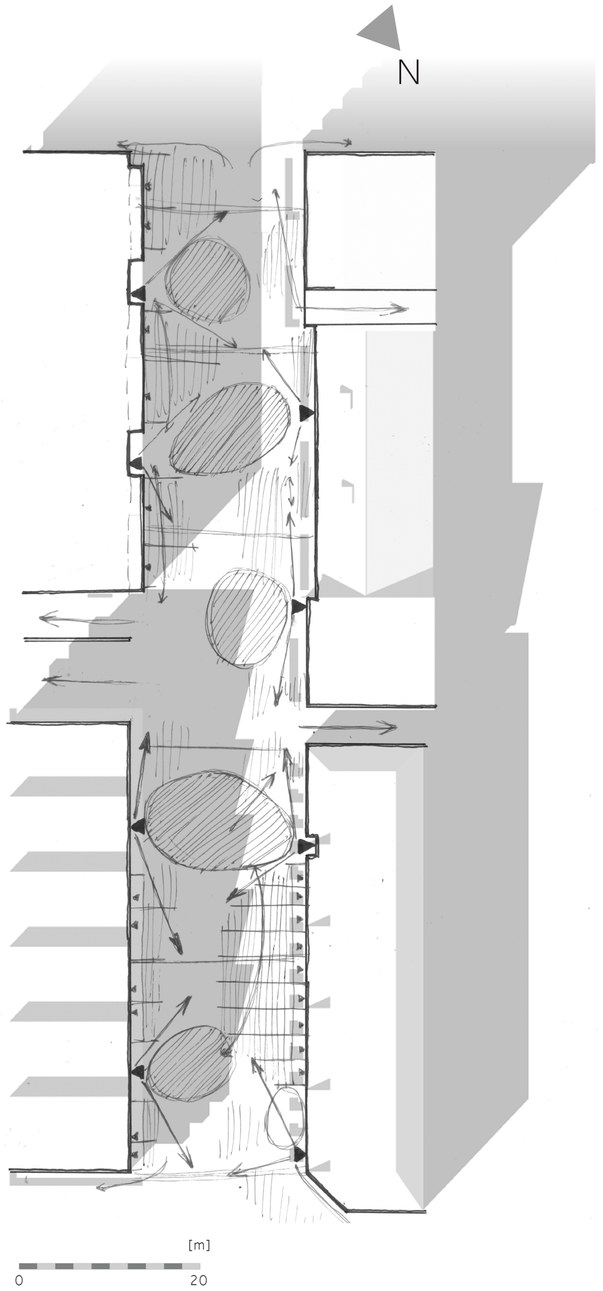
Designen ska inte vara statisk utan möjliggöra en dynamik mellan gaturummet, naturen och dess brukare. De rumsliga kvalitéerna har analyserats utifrån Jan Gehls definitioner av ett kvalitativt stadsrum. Utifrån de rumsliga analyserna samt de praktiska och tekniska funktioner som ska rymmas i gaturummet har ett ramverk gjorts för vilka rumsliga funktioner som är önskvärda och bör finnas i olika delar av gaturummet. Genom att pröva olika varianter för hur rumsliga och tekniska funktioner kan samverka på platsen har en relativt komplex rumslig gestaltning vuxit fram. Gatan är ca 19 m bred, det visade sig inte vara några problem att få in både brandgata, lastplatser, ledningsstråk samt regnbäddar och skelettjordar och ändå lyckas organisera de rumsliga elementen på ett sätt som främjar olika mänskliga aktiviteter. Platsens formspråk kom till när olika rumsliga variationer prövades med inspiration från olika referensprojekt som berörs i 5.3.

5.2 Strategier

För att aktivera gaturummet har gestaltningsarbetet utgått från att skapa rumsligheter med ett långsammare flöde runt entréerna och kopplingar mellan entréer och gaturum. Varje entré ska ha en fri passage åt vardera sida som utgör kanten på rumsligheten. Det ska alltid finnas ett sätt att snabbare ta sig till en entré eller tvärgata/öppning än att gå i mitten av vägen för ökad trygghet ge större frihet åt gångtrafikanter att välja hur de ska röra sig genom gaturummet.

Genom att delvis bryta siktlinjen längst med gaturummet och stärka kopplingen tvärs över gatan skapas flera mindre rum. Syftet är både att gaturummet ska få en mer behaglig skala och att sakta ner tempot på både biltrafik och gångtrafikanter utan att blockera för berättigad fordonstrafik. Träden och buskarna blir gaturummets tak och väggar och mjukar upp övergången mellan husfasad och gaturum. Planteringarnas placering och utformning tar både hänsyn till deras rumsindelande och estetiska funktion samt deras tekniska funktion i relation till andra konstruktioner under mark.

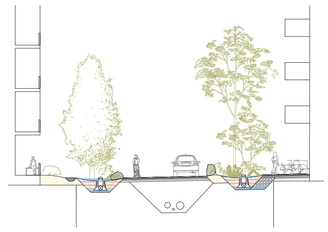
Markplanslägenheternas entréer och uteplatser ska inte skärmas av från gaturummet med häckar eller pergolor utan istället skärmas av åt sidorna och därmed ha en tydlig koppling till gaturummet. Enligt Jan Gehl (2011) är det framför allt skydd bakifrån och på sidorna som får oss att känna oss trygga medan vyn framåt gärna får vara öppen.



Figur 39 - Konceptuell plan / strategi för sociala rum, visuella barriärer och rörelsemönster som legat till grund för gestaltningen.

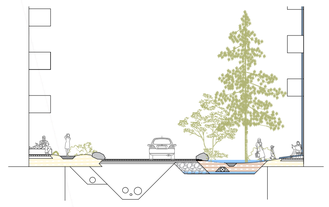


Figur 40 - Illustrationsplan för prefektgatan efter omgestaltning



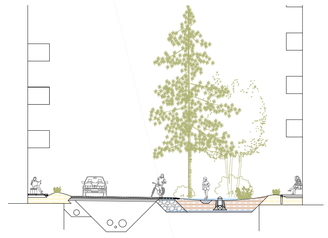
Figur 41 - Sektion A-a

Skala 1:200



Figur 42 - Sektion B-b

Skala 1:200



Figur 43 - Sektion C-c

Skala 1:200

5.3 Referensprojekt



Figur 44 & 45 Sankt Kjelds Plads & Bryggevangen (Eye 2019)

Bryggevangen & Sankt Kjelds Plads i Köpenhamn kombinerar olika öppna dagvattenlösningar med rekreation där planteringsytorna bildar små mikrobiotoper som går att beträda. På så sätt uppnås både rekreativa, ekologiska och ekonomiska kvalitéer. Anläggningen vidgar idén om vad ett gaturum kan vara.



Figur 46: Norrtälje Hamn (Werner Nystrand 2015)

Hamnpromenaden i Norrtälje har gestaltats med ett fasetterat oregelbundet formspråk där de sociala aktiviteterna har styrt den rumsliga utformningen. Trots den geometriska oregelbundenheten binds allt samman av stilrena, genomgående materialval, upprepning av former och en tydlig koppling till omgivningen.



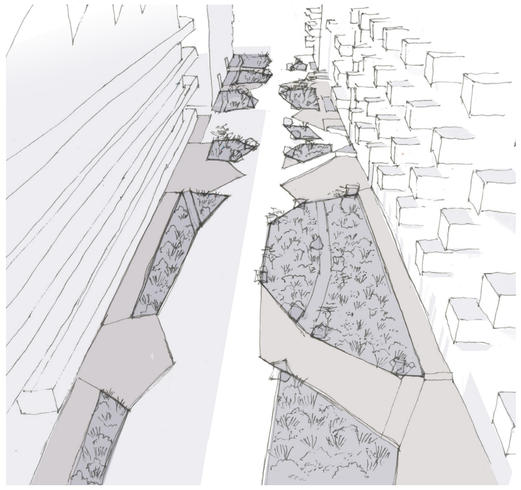
Figur 47: Grönare Möllan (Bara mineraler 2020)

Regnbäddarna på Monbijougatan i Malmö är ett bra exempel på hur både dagvattenfördröjning och goda växtbäddsegenskaper har uppnåtts genom rätt val av substrat och konstruktion. Växtvalen tar både hänsyn till ljusinsläpp på våren och beskuggning under sommaren samt estetiska kvalitéer under vinterhalvåret.

5.4 Designprinciper för platsen

Formen följer platsens önskade funktioner och rumsligheter vilket har gett upphov till ett oregelbundet formspråk. För att formspråket ska harmonisera med den mer strikta och modernistiska arkitekturen och erbjuda läsbarhet och viss regelbundenhet har formerna i gaturummet förenklats till fasetter. Formspråket ska vara konsekvent och sammanhållet för att skapa läsbarhet.

Planteringarna ska vara strukturrika med upprepade former men en viss komplexitet för att göra platsen intressant och ge möjlighet till utforskning. Växtkompositionen i regnbäddarna ska vara flerskiktad och både ha en rumsbildande och en estetisk funktion. Den ska vara komponerad för att skapa ett stabilt vegetationssystem som kräver minimal skötsel.



Figur 48 - Fågelperspektiv över gaturummets former



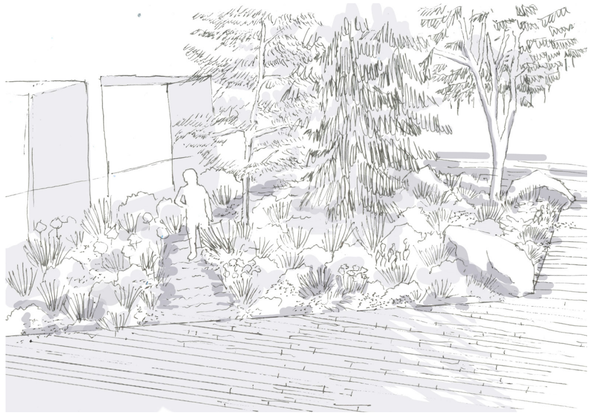
Figur 49 - Träd med formstarka habitus

Trädens habitus ska vara formstarkt för att ge en känsla av struktur och läsbarhet. Trädkronornas utbredning och densitet samt lövfällning ska svara mot de önskade mikroklimatet på gatan vid olika årstider samt ha ett växtsätt som minimerar behov av beskärning. Träden har också en viktig funktion i att mildra den turbulens och vindkorridorer som höga byggnader kan ge upphov till.

Vissa ytor kommer att ha permeabla beläggningar och gräsarmering. Dessa kan infiltrera dagvatten och har en lägre avrinningskoefficient.



Figur 50 - Permeabel markstensbeläggning lagda med spalter där gräs kan växa.

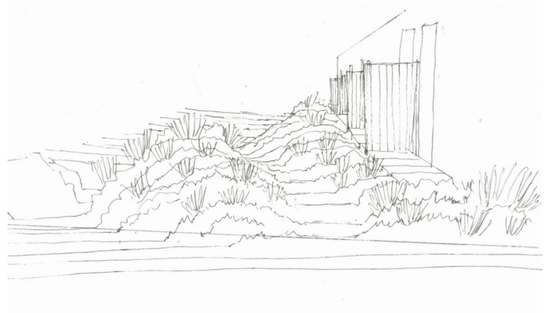


Figur 51 - Exempel på mjuk övergång mellan hårt och mjukt, fältstenar som inkörningsskydd och möjlighet till att beträda regnbädden.

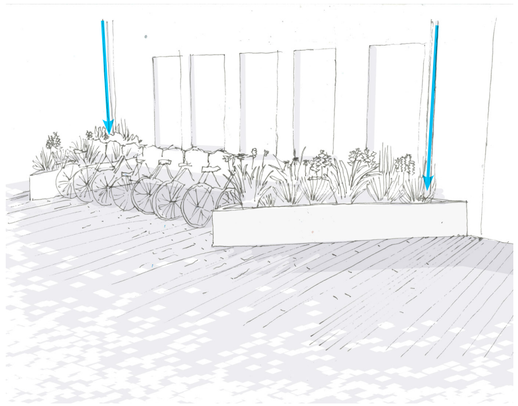
Regnbäddarna kommer inte att ha några upphöjda kanter. Inflödet kommer därför ske på bred front. Genom att inte ha några upphöjda kanter runt regnbäddarna utgör de inte barriärer i gaturummet vilket gör det möjligt för människor att annektera platsen på egna villkor. Som inkörningsskydd används stora fältstenar i stället för kantstöd i granit. Detta kan både vara vackrare och billigare. Undantag kan göras i de fall då fordon riskerar att köra ner i växtbäddar och orsaka materiella skador.

Mjuka övergångar mellan hårt och mjukt och stora möjligheter för boende att själva definiera och annektera ytor. Gräsarmering intill planteringar kan vara ett sätt att skapa dessa mjuka övergångar. Vissa av planteringsbäddarna ska vara interaktiva och gå att beträda på olika sätt. Exempelvis genom utlagda stegstenar eller genom spänger. Bjuder bädden in till att beträda den på ett sätt som riskerar att skada vegetationen kan någon form av markarmering läggas ut på dessa ytor. Växtvalen i vegetationsytorna måste också svara mot det förmodade slitaget som eventuell nedtrampning innebär. Partier som är extra hårt belastade bör planteras med växter som antingen tål denna belastning eller lågväxande marktäckare som kan fylla ut en markarmering.

Terrängmodellering inom bäddarna ger en mer intressant miljö och skapar också förutsättningar för olika typer av vegetation. Upphöjda partier i bäddarna kan också användas för att förstärka rumsligheterna i gaturummet. Notera dock att upphöjningar i regnbäddarna minskar volymen i ytmagasinet därför är denna typ av bäddar förlagda i planteringsytor där fördröjning inte är den primära funktionen.



Figur 52 -Terrängmodellering i bäddarna



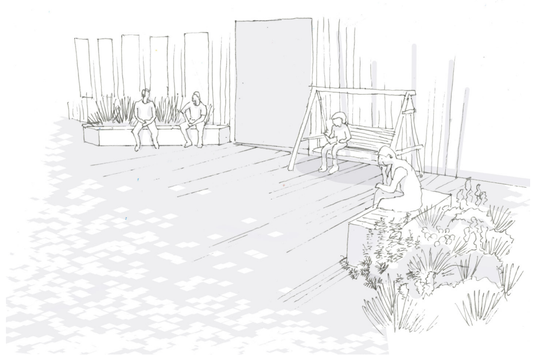
Vissa stuprör ansluts till upphöjda regnbäddar. Detta har både rumsliga och praktiska skäl. Vissa stuprännor har utlopp invid en lågpunkt där vattnet inte kan ledas vidare till en av regnbäddarna i marknivå men kan då i stället fördröjas och renas i den upphöjda regnbädden innan det leds till VA-nätet. Bäddarna har även en rumsindelande funktion.

Figur 53 - Upphöjda regnbäddar invid fasader

Gatan erbjuder många sekundära sittplatser som subtilt smälter in med resten av designen. De primära sittplatserna ska vara väl utvalda med god omsorg om läge och utblick och smälta in bra i gestaltningen.



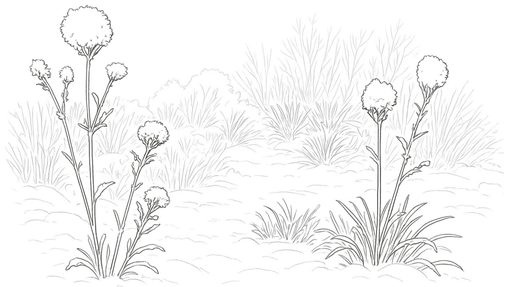
Figur 54 - Sekundära sittplatser



Runt entréer skapas rumsligheter med tillhörande sittplatser. Rummen ramas in av vegetationen i växtbäddarna men även dess topografiska skillnader och i vissa fall upphöjda regnbäddar.

Figur 55 - Rumsligheter runt entréer

Markvegetation ska i största möjliga mån stå kvar under vintern för att motverka bildning av ishinnor och erbjuda rumsbildning.



Figur 56 - Vegetation som bildar vinterståndare

Figur 57 - 3D-rendering som visar del av gaturummet efter omgestaltning

5.5 Rumsliga funktioner

4 m bred brandgata

Avlastningsplatser/ ställplatser för bilar

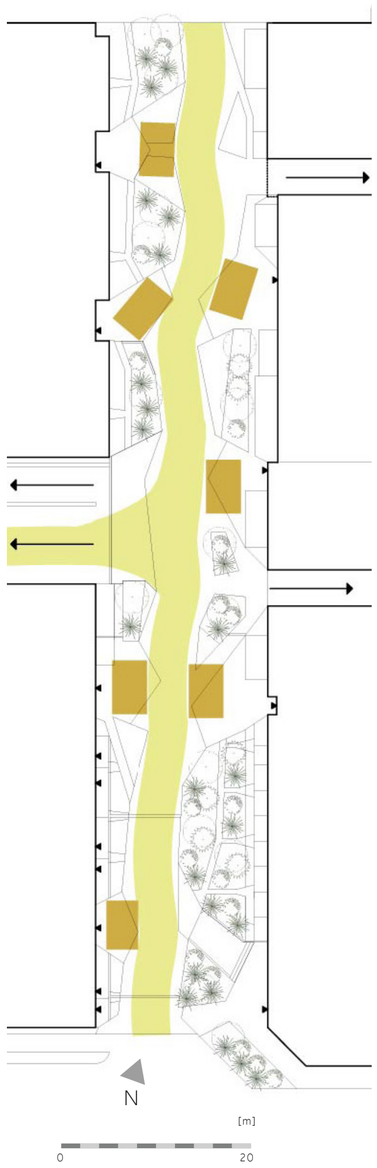
Uppehållsytor

Cykelparkeringar

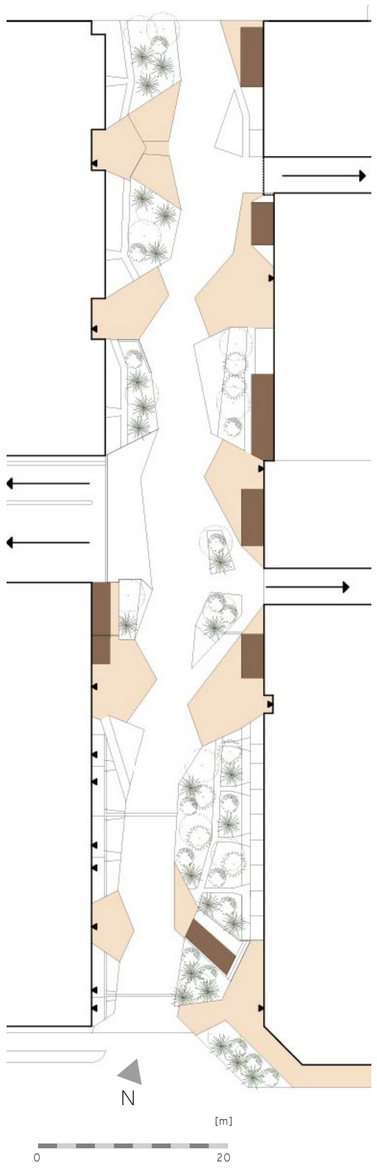
Konventionella planteringar

Regnbäddar

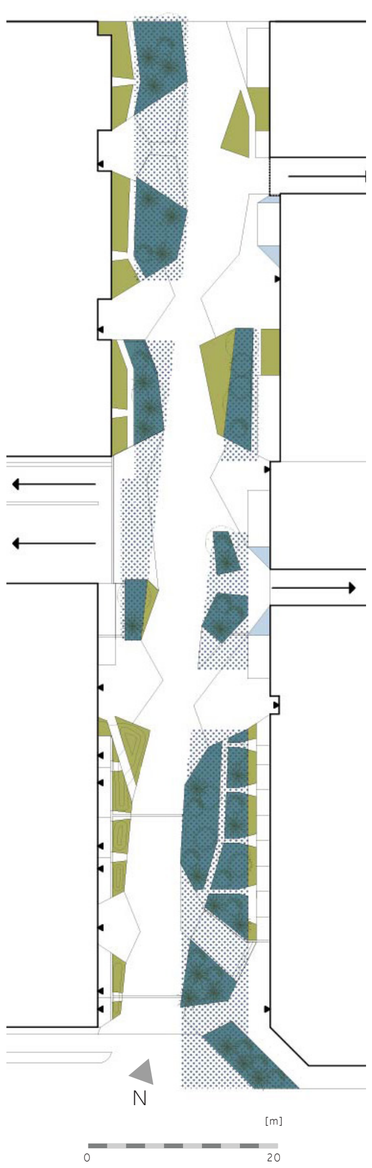
Öppna förstärkningslager



Figur 58 - Funktionsplan - fordonstrafik



Figur 59 - Funktionsplan - gångare och cyklister

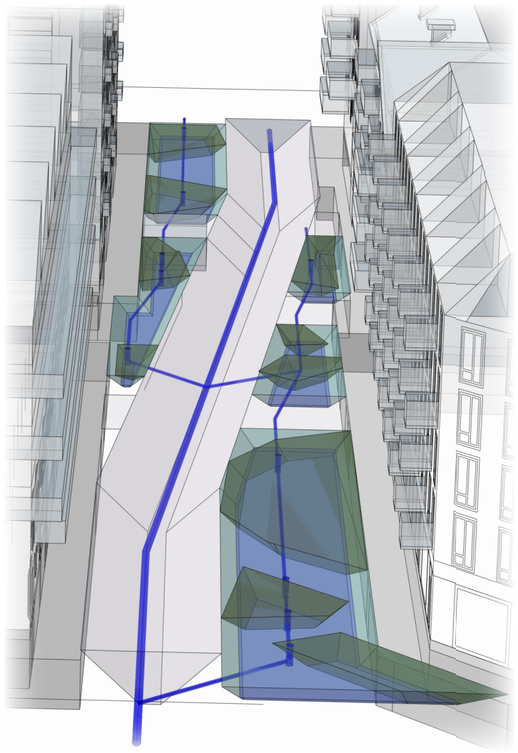


Figur 60 - Funktionsplan - grönska och dagvatten

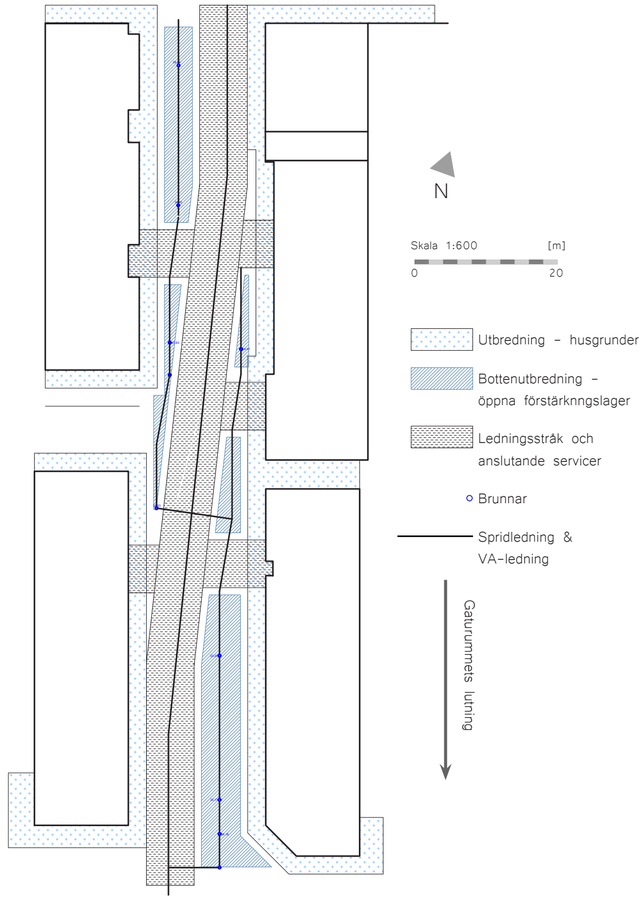
5.6 Konstruktioner under mark

En begränsande faktor gällande de öppna förstärkningslagrens utbredning gäller utrymmet under mark. Problematiken i den befintliga gestaltningen var att regnbäddarna skulle fungera som farthindrande åtgärder vilket komplicerade konstruktionen av ledningsstråket. Husgrundernas utbredning har också tagits i beaktning. Farthindrande åtgärder måste inte vara i form av regnbäddar utan kan med fördel utgöras av fältstenar och konventionella planteringar utan träd. För att kunna få plats med maximal sammanhängande volymfördröjning i form av öppna förstärkningslager så förläggs ledningsstråket snett över gaturummet enligt *figur 62*. Det är utbredningen av de öppna förstärkningslagren som har avgjort regnbäddarnas utbredning. Regnbäddarna är sammankopplade med varandra och med VA-ledningar. Gaturummet lutar svagt mot söder vilket riskerar att försämra systemets fördröjningskapacitet eftersom grundvattenytan alltid ställer sig vågrätt utan hänsyn till marklutningen. För att detta inte ska innebära en förlust i fördröjningsvolym kommer bottenutbredningen på vart och ett av de öppna förstärkningslagren ha samma höjd över havet i båda ändar. Detta innebär att vissa öppna förstärkningslager kommer att vara djupare i norra änden än i södra änden. Mer precisa höjder redovisas i 5.9.

Ledningsstråket kommer antas behöva vara 6 meter brett för att alla ledningar och stråkets schaktslänter ska få plats. Ovanpå detta stråk kommer ej skelettjordar eller träd kunna finnas på grund av risken att träd växer in i ledningspackningar och att byte av ledningar försvåras om det står träd ovanpå stråket. Planteringsytor utan öppet förstärkningslager eller träd kommer fortfarande kunna förläggas ovanpå ledningsstråket eftersom dessa är enklare att återställa. Längst alla öppna förstärkningslager löper en stor sprid/drän-ledning. Valet att ha en stor ledning istället för flera små bygger på att detta är billigare, mer effektivt och lättare att anlägga. Fjärrvärme får plats på sidan av ledningsstråket (se 5.7).

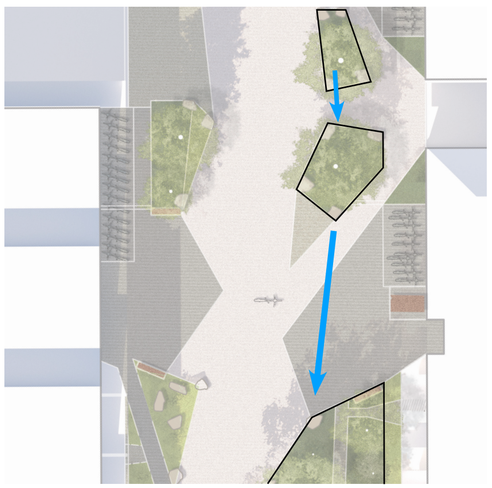


Figur 61 - 3D-modell över konstruktioner under jord

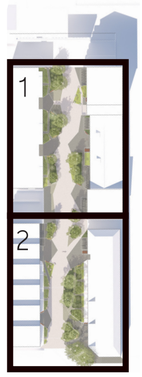


Figur 62 Konstruktioner under jord

Bräddningen av ytmagasinet sker i form av kupolbrunnar som är förlagda i själva bädden i stället för utanför. De minsta bäddarna har ingen sådan kupolbrunn eftersom kringbyggnaden runt brunnen då skulle ta upp en stor volym av växtbädden. När dessa bäddar svämmar över kommer vattnet att rinna till den största regnbädden som har två stycken bräddavlopp. Se figur 58.



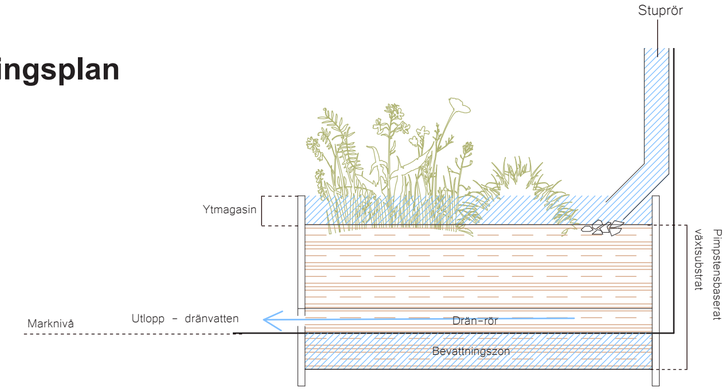
Figur 63 - När de mindre regnbäddarna utan kupolbrunnar svämmar över leds vattnet till den största regnbädden.



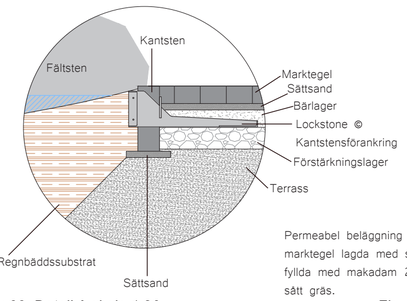
Figur 64: Indelning av markplaneringsplan

5.7 Markplaneringsplan

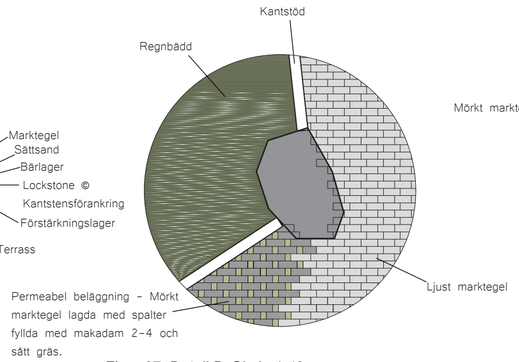
Markplaneringsplanen redovisas i två utsnitt på två separata uppslag enligt figur 64:



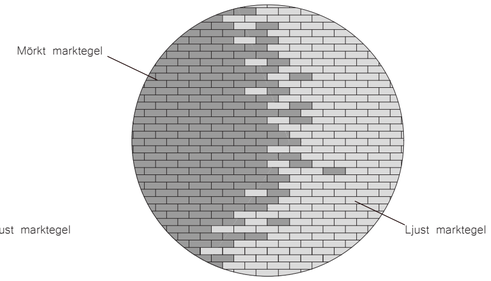
Figur 65: Sektion D-d. 'Upphöjd regnbädd' Skala 1:20



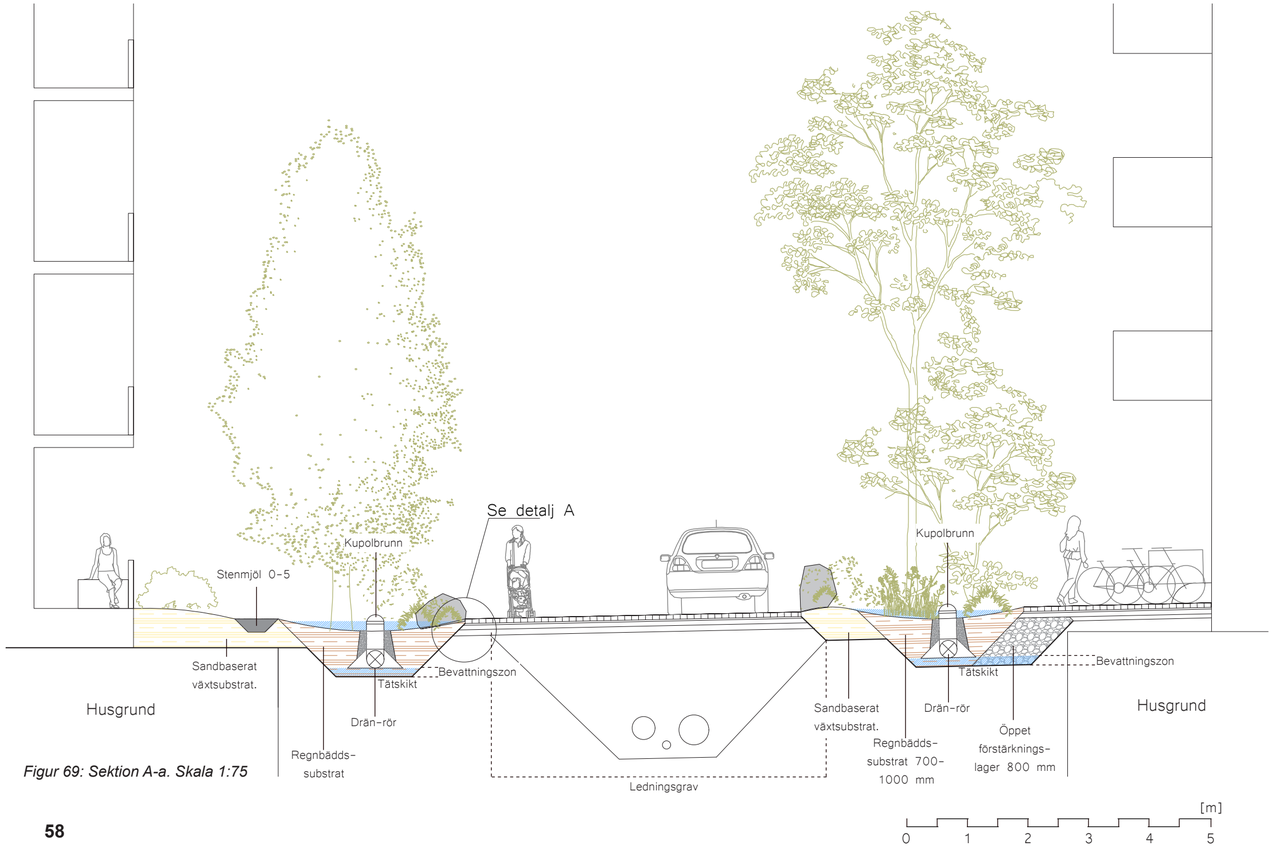
Figur 66: Detalj A skala 1:20



Figur 67: Detalj B. Skala 1:40



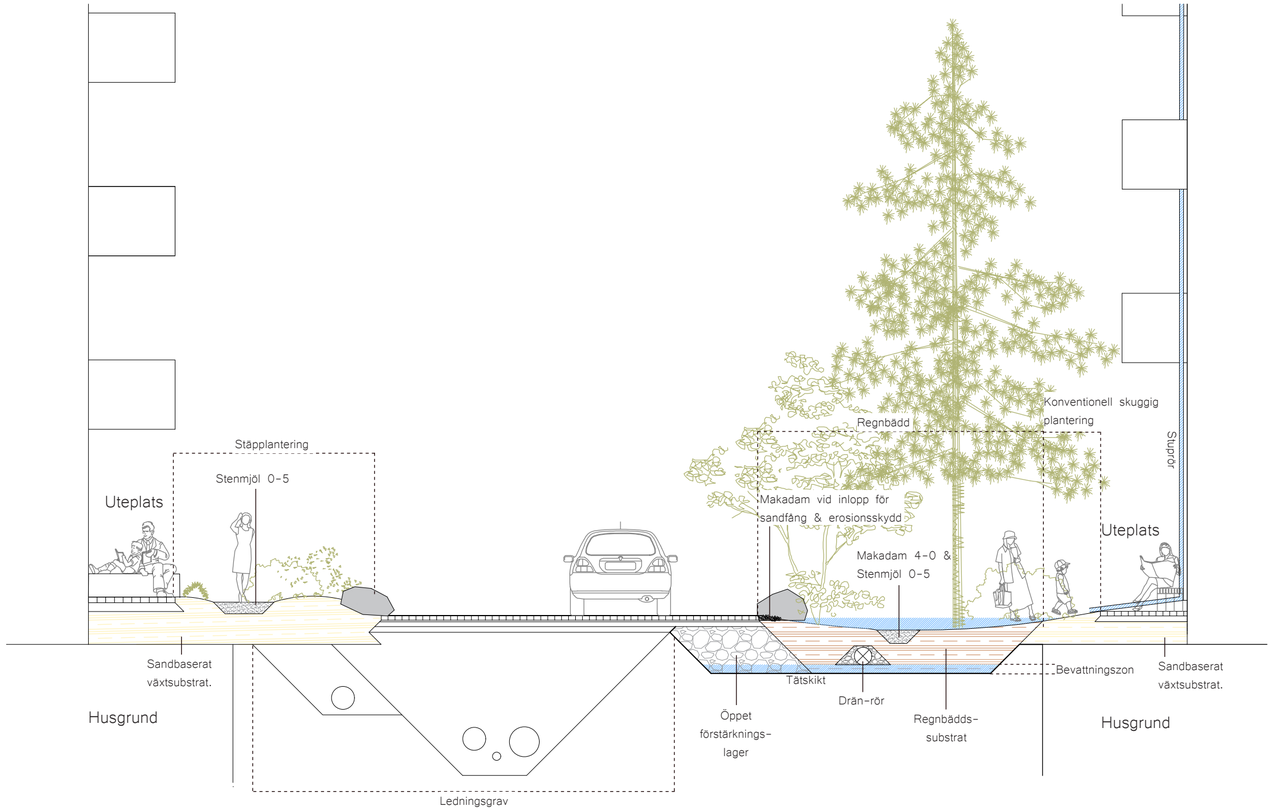
Figur 68: Detalj C. Skala 1:40



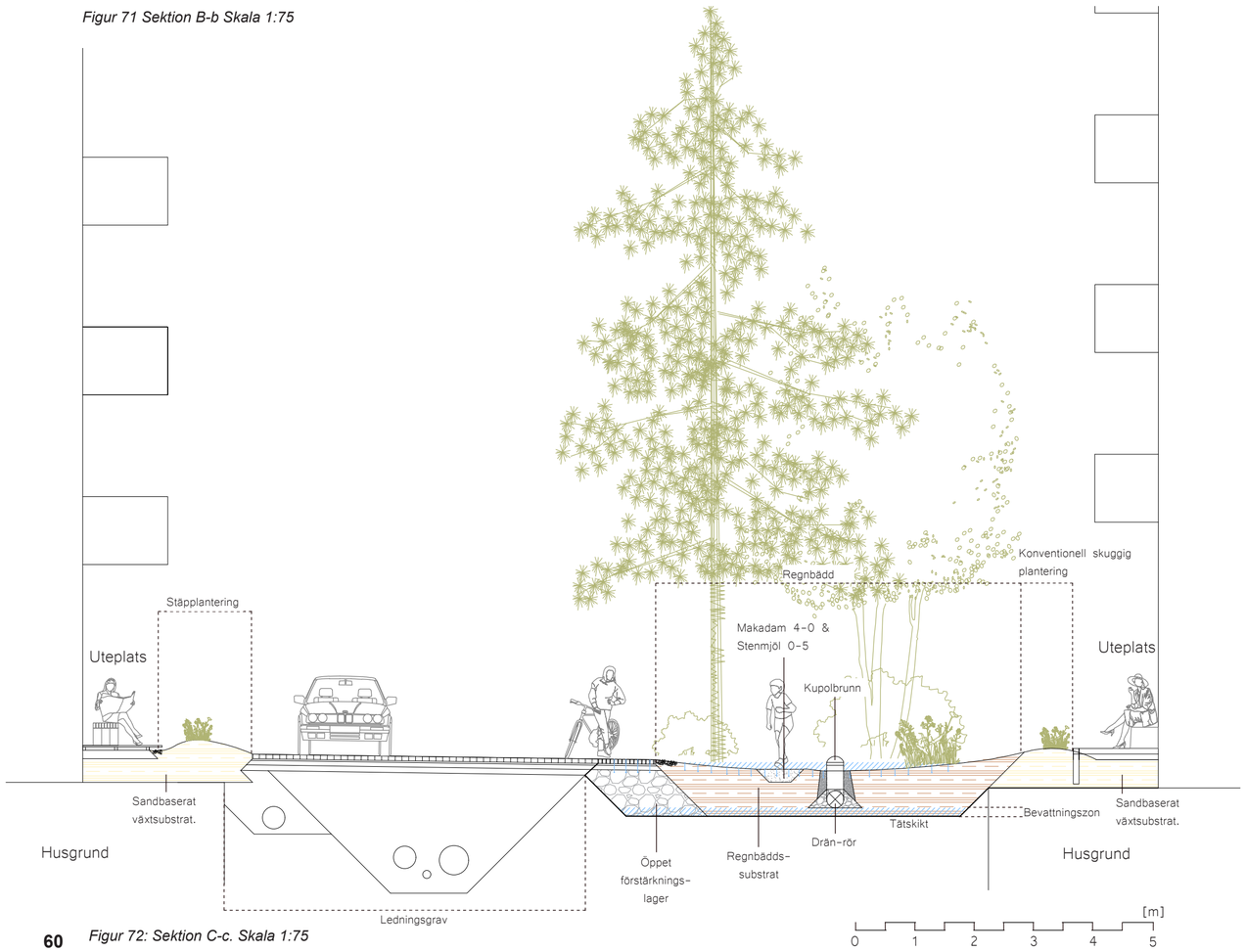
Figur 69: Sektion A-a. Skala 1:75



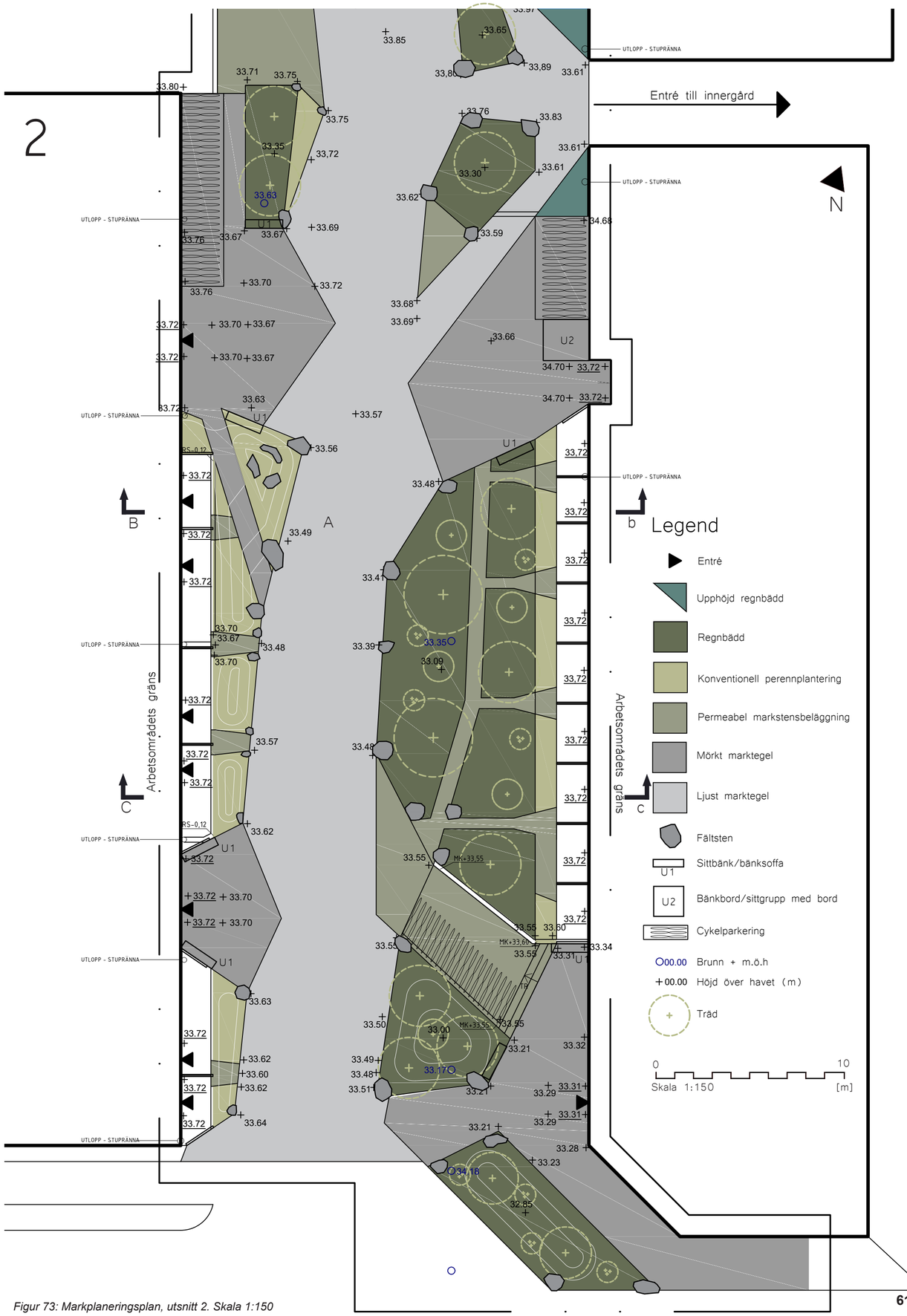
Figur 70: Markplaneringsplan, utsnitt 1. Skala 1:150



Figur 71 Sektion B-b Skala 1:75



Figur 72: Sektion C-c. Skala 1:75



Figur 73: Markplaneringsplan, utsnitt 2. Skala 1:150

5.7.1 Regnbäddar

Regnbäddarna har en homogen profil av ett vattenhållande relativt kompakteringståligt växtsubstrat bestående av en blandning av makadam biokol, grönkompost och pimpsten med samma vattenhållande förmåga som Hekla regnbädd © och en slutgiltig hydraulisk konduktivitet på ca 500 mm/h. För att undvika näringsläckage bör användningen av näringsberikat biokol endast användas i det översta jordlagret och inte läggas i delar av systemet med höga flödeshastigheter såsom inlopp och runt drän-ledning.

Det var svårt att hitta information om hur stor belastning de olika typerna av jordarna tål utan att kompakteras. Därför bygger valet av substrat i gestaltningen på antaganden baserat på de ingående materialens fysikaliska egenskaper och handledning från intervjuade respondenter. Växtbäddar med lägre krav på bärighet har en större andel organiskt material. Stigarna som går i växtbäddarna har grundats med en blandning av makadam och stenmjöl för att uppnå både stabilitet och infiltrationsförmåga. Även om inlopp av dagvatten sker på bred front är det ofrånkomligt att höjdsätta på ett sätt som ger jämn belastning över hela regnbädden. Vid de punkter längst kanten på regnbädden som tar emot större flöden vatten kommer därför makadam 32/90 att läggas som erosionsskydd och sandfång. Beroende på hur stor kapacitetsnedsättning som eventuell igenslamning kommer att innebära kan substratet i dessa delar av regnbäddarna komma att behöva bytas ut med tiden. Den stora infiltrationsarean beräknas dock kompensera för den eventuella kapacitetsnedsättning som igenslamning till följd av begränsat sandfång skulle kunna innebära.

Djupet på regnbädden från marknivå ner till tätskiktet kommer att vara 1 meter. Eftersom botten ska vara platt och markytan ska vara skålad kommer mitten på regnbädden att vara ca 0,7 m djup.

Djupet på ytmagasinet dimensioneras för att kunna fördröja ’first flush’ i det delavrinningsområde som avvattnar mot regnbädden i fråga. Exakt höjdsättning för att uppnå denna skålning har inte räknats ut i detta arbete. Plushöjderna har satts baserat på vilken lutning på växtsubstratet som är möjlig utan att det uppstår erosion samt att djupet på växtbädden ska ligga på 700-1000 mm. Spridledningen/dräneringsröret är lagt 15 cm över den tätade botten på bädden vilket skapar en artificiell grundvattenzon.

Eftersom regnbäddarna använder sig av en homogen substratprofil används inget avjämnande lager. Som materialavskiljande lager mellan växtsubstrat och öppet förstärkningslager används istället kokosmatta eftersom schaktslänten däremellan inte bedöms utgöra ett kapillärbrytande skikt och skulle vara en anläggningsteknisk utmaning att belägga med ännu ett lager krossmaterial.

De upphöjda regnbäddar som visas exempel på i Sektion D-d tar emot vatten från stuprännor. Substratprofilen ser ut på samma sätt som hos de nedsänkta men dräneringen i botten leder istället ut vattnet på gatan för att sedan rinna vidare till de större regnbäddarna.

5.7.2 Permeabel beläggning ovanpå öppet förstärkningslager

Permeabel beläggning används både som ett estetiskt medel för att skapa ett mjukare intryck då det fungerar som gräsarmering men fungerar även som substitut till gatubrunn i anslutning till garagenedfarten som utgör en anslutande lågpunkt vilket gjorde att dagvattnet från denna yta inte kunde ledas till någon av regnbäddarna.

5.7.3 Vegetationsytor

Konventionella vegetationsytor används i delar av gaturummet där regnbäddar inte kunnat förläggas på grund av att de då skulle krocka med husdränering och ledningsstråk. Vegetationsytorna hänger i vissa fall ihop med regnbäddar. Eftersom dessa bäddar inte tar hand om trafikvatten (med ett undantag) behöver deras botten inte vara tätad och de har därför kontakt med terrassen i de fall då de inte ligger ovanpå husgrund eller ledningsstråk. Växtbäddarna har ett djup på 500 mm. Växtsubstratet är sandbaserat.



Figur 74 - 3D-rendering av den största regnbädden på gatan efter omgestaltning

5.8 Uträkningar

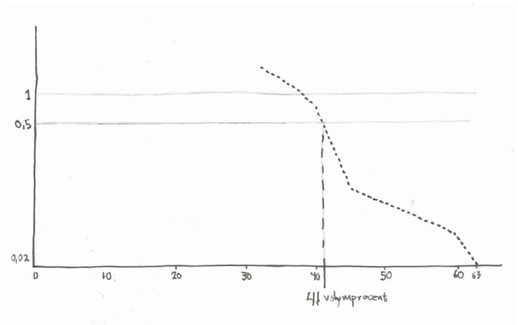
5.8.1 Anläggningens fördröjningskapacitet

I bilaga 1 redovisas uträkningar för vilka dimensionerade regn som systemet skulle klara av att hantera om systemet har en genomsnittlig hydraulisk konduktivitet på 1000 mm/h respektive 500 mm/h. Med en hydraulisk konduktivitet på 1000 mm/h klarar systemet ett 100-års regn med god marginal.

Med en hydraulisk konduktivitet på 500 mm/h klarar systemet av ett 50 års regn.

Dagvattenutredningen (Wilén 2015) visar att denna del av Rosendal inte är ett särskilt översvämningsdrabbat område eftersom det ligger relativt högt relativt sin omgivning och har en väldigt genomsläpplig terrass. Därför är frågan ifall det är rätt prioritering att dimensionera systemet för att klara så pass extrema regn. Utbredningen och djupet på de öppna förstärkningslagren skulle kunna begränsas för att minska anläggningskostnader. Detsamma gäller valet av substrat. En hydraulisk konduktivitet på 1000 mm/h är därför inte nödvändig utan substratets vattenretention kan istället vara en egenskap som bör prioriteras.

Uträkningen tar inte heller hänsyn till de olika avrinningsområdena inom själva gaturummet där vissa delar av systemet får ta emot större belastning än andra.



Figur 75 - Bindningskurva för 'Hekla regnbädd' ©. Baserat på mätningar gjorda av Karin Blombäck



Figur 76 - Regnbäddar där vatenretention har beräknats samt trädens sammanslagna kronprojektion vid fullvuxen ålder enligt Planter.se (u.å)

5.8.2 Vattenretention i växtbäddarna

För att förbättra vattenretentionen i bäddarna finns en bevattningszon på 15 cm i botten av all öppna förstärkningslager. Växtsubstratet i regnbäddarna har en god vattenhållande förmåga. Arbetet räknar med att substratet har samma vattenhållande förmåga som 'Hekla regnbädd' ©. Bindningskurvan för detta substrat visas i *figur 70*.

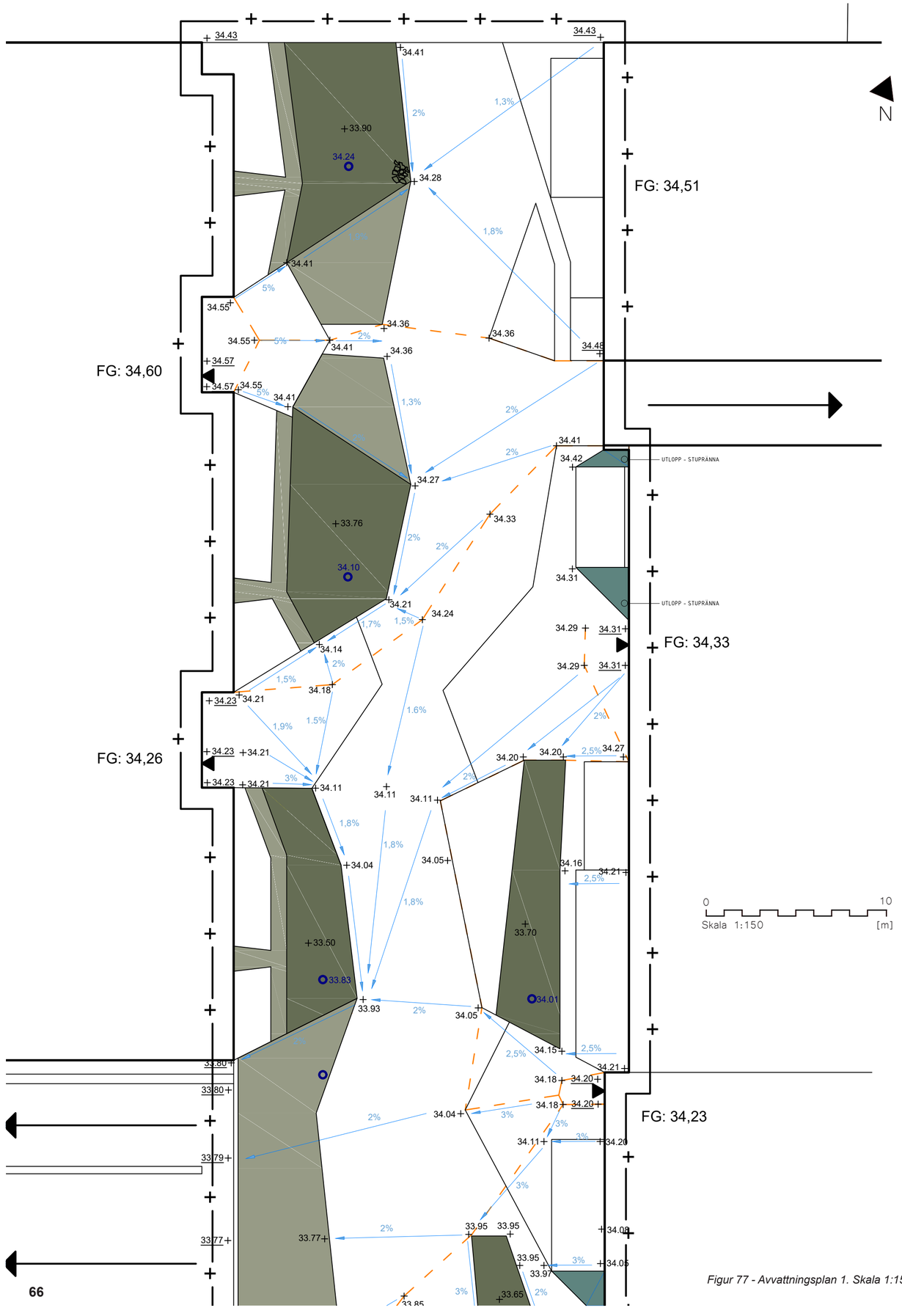
För att konkret visa på hur många dagars torka under en varm sommarmånad som regnbäddarna kan hålla har två grova uträkningar gjorts. En för den största sammanhängande regnbädden och en för den minsta regnbädden. (Se *figur 71*). I uträkningarna har den totala mängden växttillgängligt vatten vid dräneringsjämvikt i respektive regnbädd dividerats med Lindsey och Bassuks formel för trädens dagliga vattenförbrukning (DVF).

Uträkningarna visar att den mindre växtbädden klarar ca 12 dagar intensiv torka medan den större växtbädden klarar ca 45 dagar intensiv torka.

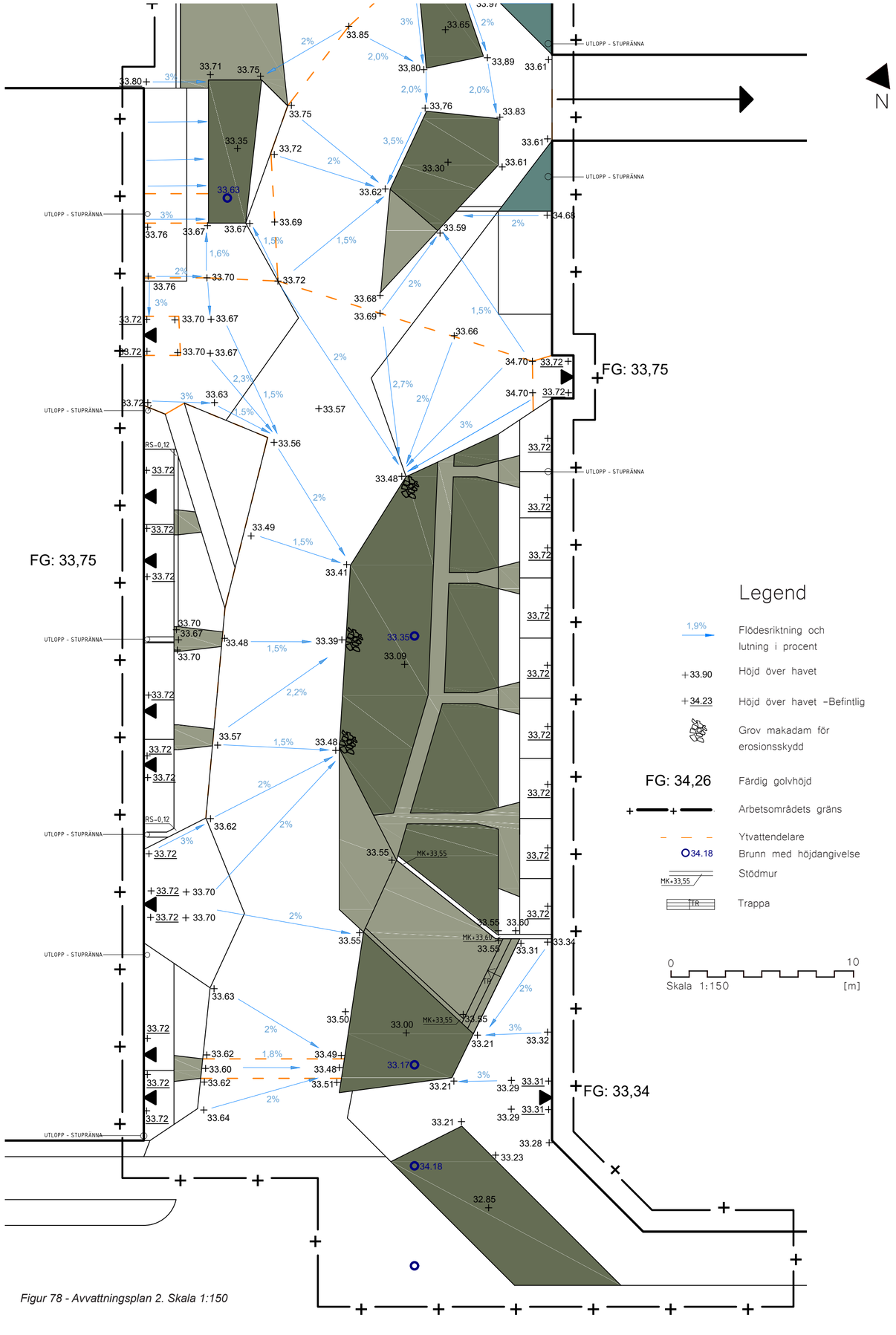
5.9 Avvattning

All avvattning ska ske mot regnbäddar i första hand. Inuti regnbäddarna finns styrbrunnar i form av kupolbrunnar som fungerar som bräddning när ytmagasinet i regnbäddarna har fyllts upp. Eftersom den anslutande höjden vid garageinfarten utgör en lågpunkt har avvattning i detta område inte kunnat ske mot regnbädd utan har i stället fått ske genom permeabel beläggning. I vissa fall sträcker sig den permeabla beläggningen ut över ledningsstråket. Vid ledningsbyte kan denna del av det öppna förstärkningslagret komma att behöva rivas. Detta innebär dock inte något avbrott i systemet och kapacitetsnedsättningen bedöms som försumbar. Eftersom gestaltningen är oregelbunden har det inte gått att applicera några generella principer på höjdsättningen utan varje höjd och lutning har fått utformats platsspecifikt.

Höjdsättningen följer plan- och bygglagens riktlinjer som finns beskrivna i 2.5.2.



Figur 77 - Avvattningsplan 1. Skala 1:150



Figur 78 - Avvattningsplan 2. Skala 1:150

5.10 Växtblandningar

R1: Fuktigare regnbädd

Blandningen används i de nedsänkta delarna av de stora sammanhängande regnbäddarna. Blandningen består av konkurrenskraftiga perenner och buskar som föredrar något fuktigare ståndort men har relativt god tolerans mot periodvis torka. Risk för nedtrampning och erosion från höga vattenflöden ställer extra höga krav på växtmaterialets resiliens. På grund av skuggande träd kommer ståndorten att vara relativt skuggig vilket fodrar skuggtåligt växtmaterial. Vegetationskaraktären är strukturrik med tydliga former där ambitionen är att trots den naturalistiska kompositionen skapa en regelbundenhet i planteringen som ger ett mer vilsamt intryck.

R2: Torrare regnbädd

Blandningen används i de mindre regbäddarna och i utkanten av de större regnbäddarna. Växtmaterialet består till stor del av samma konkurrenskraftiga perenner och buskar som i R1 men där de mer fuktkrävande växterna tagits bort och delvis ersatts med mer torktåliga arter som är extra bra på att binda jorden för att motverka erosion runt inloppen.

S1: Stäpplantering – sol - halvskugga

Blandningen används i de konventionella grunda planteringar som är något mer solutsatta. Växtmaterialet består av torktåliga anspråkslösa perenner som tolererar halvskuggigt läge samt bergtall (Pinus mugo ’Mops’) och Blåbärstry (Lonicera caerulea var. Kamtschatica ’Anja’ E). Vegetationskaraktären är ett mellanting mellan klassisk prärieplantering och ängsplantering där gräsen utgör stommen och formstarka blomställningar såsom gul lejonsvans (Phlomis russelana), Stäppsalvia (Salvia nemorosa ’Cardonna’) och vitblommig pipört (Centrantus ruber ’Albus’) bildar en färgglad men praktfull plantering.

S2: Torr skugga

Blandningen används i de konventionella grunda planteringarna i skuggiga lägen. Växtmaterialet består av perenner som klarar torr skugga samt bergtall (Pinus mugo ’Mops’) och Blåbärstry (Lonicera caerulea var. Kamtschatica ’Anja’ E). Vegetationskaraktären liknar amerikansk woodland med marktäckande örter och tuvor av träjon (Dryopteris filix-mas) och vit skogsaster: (Eurybia divaricata ’Beth’).

U: Upphöjda regnbäddar

Blandningen används i de upphöjda regnbäddarna. Växtmaterialet består av perenner som trivs på fuktigare ståndorter i halvskugga. Vegetationskaraktären är frisk och spirande där gräsen utgör stommen i planteringen och färgstarka blommande örter sticker upp ur gräset.

Träd och solitärbuskar

T1: Alnus glutinosa ’Laciniata’ – Flikbladig variant av den vanliga klibbalen. Formstarkt träd med genomgående stam. Flikbladigheten ger större ljusinsläpp och passar därför i detta gaturum som med undantag för maj-juli är relativt skuggigt. Klibbalen omnämns både i Fridell et al. (2023), Dunnet & Clayden (2007) och Sjöman et al. (2018) som en lämplig art att använda i regnbäddar. Bevattningszon, stor växtbäddsvolym och relativt vattenhållande växtsubstrat gör att risken för uttorkning är relativt liten.

T2: Ginkgo biloba ’Fastigiata’ – Högrest variant av Ginkgo med smal krona. Omnämns i Fridell et al (2023) och Sjöman et al (2018) som ett bra gatuträd. Kronans smala form gör den lämplig att använda i lägen med begränsat utrymme. Vacker gul höstfärg.

T3: Metasequoia glyptostroboides. Omnämns i Fridell et al (2023) som en art lämplig att använda i BGG-system. Växtbäddarna i detta projekt är mer fuktighetshållande än de befintliga regnbäddarna i Rosendal och beräknas därför kunna tillgodose vattenbehovet för Metasequoia. Metasequoians härdighet bedöms enligt Stångby (u.å) och Splendor Plant (u.å) vara I-III. Uppsala ligger på gränsen mellan zon III och IV. Dock gör mikroklimatet på platsen i kombination med den goda dräneringen att härdigheten bedöms vara tillräcklig. Metasequoians skira men formstarka konformiga habitus med tydliga grenvåningar bidrar till ett naturlikt men ändå praktfullt uttryck.

T4: Picea omorica: Serbgranen kan i detta sammanhang ses som en försökskanin eftersom den i princip aldrig används som stadsträd eller i regnbäddar i Norden. Dock har jag sett den växa i gatumiljö i Nederländerna. Även om den är den mest torktåliga granen nämns den inte i referenslitteraturen som lämplig att använda som gatuträd eller i regnbäddar. Dessa regnbäddar bedöms dock vara mer fuktighetshållande och erbjuder gott om rotutrymme. Serbgranen har ett tydligt smalt sockertopps-habitus med något hängande grenar och förekommer i grupper på flera ställen längst gaturummet på platser där den inte kastar skuggor över umgängesytorna. Dess tydliga form är både rumsbyggande och skapar en rytm genom gaturummet. Om träden inte skulle trivas kommer detta inte att försämra kvalitén på gaturummet avsevärt.

T5: Pinus sylvestris – Omnämns i både Fridell et al. (2023) och Sjöman et al. (2018) som lämpligt gatuträd i soliga lägen. Rosendal omges av tallskog – tallen blir därför en visuell referens till den omkringliggande naturen och pryder gatans soligare delar. Pinus sylvestris har ett skirare grenverk än många andra tallar och lämpar sig därför bättre då mer solljus kan nå gaturummet vintertid.

T6: Pterocarya rhoifolia FK Göteborg: Vingnötssläktet (Pterocarya) omnämns i Fridell et al. (2023) som ett släkte som lämpar sig för regnbäddar. Japansk Vingnöt (Pterocaria rhoifolia) skjuter inte rotskott och har en genomgående stam och ett samlat växtsätt vilket gör den lämplig som gatuträd. De stora bladen är vackra och ger god beskuggning under sommarmånaderna men det sena bladutspringet gör att vårsolen fortfarande kan nå ner till marken (Sjöman et al 2018 s. 257).

T7: Quercus cerris – Turkisk ek omnämns i Sjöman et al (2018 s. 256, 276, 308) som ett lämpligt stadsträd, både för sin tålighet mot torka, vind, värme och salt. Kronan är upprätt, har bra ljusinsläpp vintertid och ett relativt sent bladutspring (april-maj) (Sjöman et al 2018 s. 257). Arten är ett relativt vanligt förekommande stadsträd, bland annat i Malmö.

T8: Tsuga heterophylla FK Söderlind – Jättehemlocken omnämns inte som lämplig för gatumiljöer i referenslitteraturen. Stångby (u.å.b) omskriver hemlockssläktet (Tsuga sp.) som lämpliga parkträd som gynnas av en skyddad växtplats med god dränering och jämn markfukt. Vattenretentionsberäkningarna (se bilaga 2) visar att den största växtbädden klarar 45 dagars intensiv torka innan vissningsgränsen nås - när träden är fullvuxna. Det luftiga substratet och anläggningens relativt snabba avvattning ger samtidigt en mycket väldränerad växtplats. Dessutom bedöms växtläget vara skyddat av de mer snabbväxande vingnötterna och metasequoiorna. Dessa sammanvägda faktorer gör att Jättehemlocken bedöms utvecklas positivt i de större växtbäddarna på gatan. Dess skira habitus med tydliga grenvåningar och nickande skottspetsar skapar tillsammans med de storbladiga frodiga perennerna en spännande och trollsk miljö. Med tiden blir jättehemlocken ett stort träd som

namnet antyder. Om de riskerar att bli för stora och skugga ut gatan allt för mycket bör de tas ner, veden kan lämnas i faunadepåer i planteringarna.

Sol1: Sambucus nigra ‘Black Lace’ – Purpurfläder ‘Black Lace’ är en skir, dekorativ buske med mörka finflikiga blad och rosa blommor som kontrasterar mot de friskt limegröna perennerna. Arten omnämns inte som lämplig i gatumiljöer men bedöms liksom jättehemlocken kunna utvecklas bra i de större växtbäddarna på gatan.

Växtförteckning

R1: Fuktig Regnbädd

Vetenskapligt namn	Svenskt namn
Buske	
Sorbus frutescens	liten pärlrönn
Fargesia murielae 'Simba'	bergbambu 'Simba'
Lonicera caerulea var. kamtschatica ANJA® E ('BLo D'PBR)	blåbärstry ANJA® E ('BLo D'PBR)
Mahonia aquifolium	mahonia
Pinus mugo 'Mops'	bergtall 'Mops'
Pinus mugo var. pumilio FK SAUHERAD E	balkanbergtall FK SAUHERAD E
Perenn	
Ajuga reptans 'Braunherz'	rödbladig revsuga
Alchemilla mollis	jättedaggkåpa
Betonica hirsuta 'Hummelo'	axbetonika 'Hummelo'
Bistorta amplexicaulis 'Fat Domino'PBR	blodormrot 'Fat Domino'PBR
Bistorta officinalis 'Superba'	stor ormrot
Carex muskingumensis 'Silberstreif'	gulstrimmig palmstarr 'Silberstreif'
Carex pendula	hängstarr
Dryopteris filix-mas	träjon
Eurybia divaricata 'Beth'	vit skogsaster 'Beth'
Galanthus 'Atkinsii'	snödroppe 'Atkinsii'
Geranium macrorrhizum 'Spessart'	flocknäva 'Spessart'
Geranium phaeum 'Samobor'	brunnäva 'Samobor'
Helleborus × ericsmithii GLENDA'S GLOSS ('Epb 25'PBR)	föränderlig julros GLENDA'S GLOSS ('Epb 25'PBR)
Helleborus × ericsmithii 'Winter Moonbeam'	föränderlig julros 'Winter Moonbeam'
Helleborus niger 'Snow Drift'	julros 'Snow Drift'
Hemerocallis 'Arctic Snow'	daglilja 'Arctic Snow'
Hosta (Fortunei-Gruppen) 'Gold Standard'	blomsterfunkia 'Gold Standard'
Hosta 'Avocado'	funkia 'Avocado'
Hosta 'Regal Splendor'	funkia 'Regal Splendor'
Iris (Sibirica-Gruppen) 'Blue King'	rabattiris 'Blue King'
Iris (Sibirica-Gruppen) 'Ruffled Velvet'	rabattiris 'Ruffled Velvet'
Lamium orvala	kungsplister
Pachysandra terminalis 'Green Carpet'	skuggröna 'Green Carpet'
Polygonatum multiflorum	storrams
Sesleria autumnalis	höstälväxing
Sesleria heufleriana	vårälväxing
Veronicastrum virginicum 'Pink Glow'	kransveronika 'Pink Glow'
Vinca minor f. alba 'White Power'	vit vintergröna 'White Power'

R2 - Torrare regnbädd

Vetenskapligt namn	Svenskt namn
Buske	
Lonicera caerulea var. kamtschatica ANJA® E ('BLo D'PBR)	blåbärstry ANJA® E ('BLo D'PBR)
Mahonia aquifolium	mahonia
Pinus mugo 'Mops'	bergtall 'Mops'
Perenn	
Alchemilla mollis	jättedaggkåpa
Allium lusitanicum	kantlök
Bistorta affinis 'Superba'	bergormrot
Dryopteris filix-mas	träjon
Eurybia divaricata 'Beth'	vit skogsaster 'Beth'
Geranium macrorrhizum 'Spessart'	flocknäva 'Spessart'
Helleborus niger 'Snow Drift'	julros 'Snow Drift'
Molinia caerulea 'Edith Dudszus'	blåtåtel 'Edith Dudszus'
Penstemon digitalis 'Husker Red'	fingerborgshatt 'Husker Red'
Sesleria autumnalis	höstälväxing
Sesleria heufleriana	vårälväxing

S1 - Stäpplanteringar

Vetenskapligt namn	Svenskt namn
Buske	
Lonicera caerulea var. kamtschatica ANJA® E ('BLo D'PBR)	blåbärstry ANJA® E ('BLo D'PBR)
Pinus mugo 'Mops'	bergtall 'Mops'
Perenn	
Allium lusitanicum	kantlök
Anaphalis triplinervis	ulleternell
Betonica hirsuta 'Hummelo'	axbetonika 'Hummelo'
Bistorta affinis 'Superba'	bergormrot
Calamagrostis × acutiflora 'Karl Foerster'	tuvrör 'Karl Foerster'
Calamintha nepeta	stenkyndel
Centranthus ruber	flerårig pipört
Centranthus ruber 'Albus'	flerårig pipört 'Albus'
Echinacea pallida	läkerudbeckia
Festuca gautieri	björnsvingel
Hylotelephium 'Thunderhead'PBR	kärleksört 'Thunderhead'PBR
Iris sanguinea 'Snow Queen'	violiris
Molinia caerulea 'Edith Dudszus'	blåtåtel 'Edith Dudszus'
Nepeta × faassenii 'Walker's Low'	kantnepeta 'Walker's Low'
Origanum 'Rosenkuppel'	hybridmejram
Penstemon digitalis 'Husker Red'	fingerborgshatt 'Husker Red'
Phlomis russeliana	gul lejonsvans
Salvia nemorosa 'Caradonna'	stäppsalvia 'Caradonna'
Sesleria autumnalis	höstälväxing
Lök	
Allium roseum	kvicklök
Allium sphaerocephalon	klotlök

S2 - Torr skugga

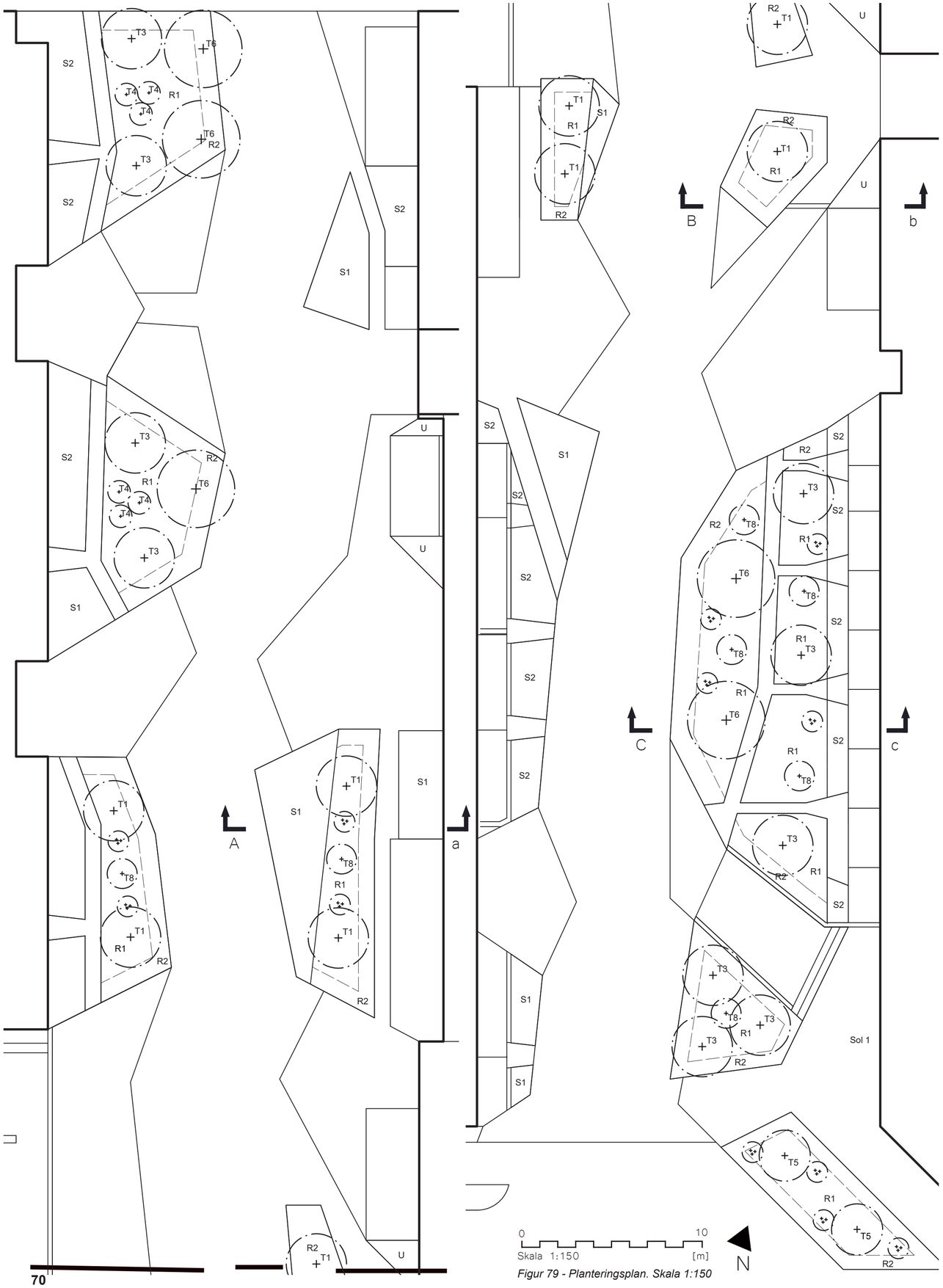
Vetenskapligt namn	Svenskt namn
Buske	
Lonicera caerulea var. kamtschatica ANJA® E ('BLo D'PBR)	blåbärstry ANJA® E ('BLo D'PBR)
Pinus mugo 'Mops'	bergtall 'Mops'
Perenn	
Dryopteris filix-mas	träjon
Eurybia divaricata 'Beth'	vit skogsaster 'Beth'
Geranium macrorrhizum 'Spessart'	flocknäva 'Spessart'
Geranium nodosum	blanknäva
Pachyphragma macrophyllum	jätteskärvfrö
Sesleria heufleriana	vårälväxing
Vinca minor	vintergröna

U - Upphöjd regnbädd

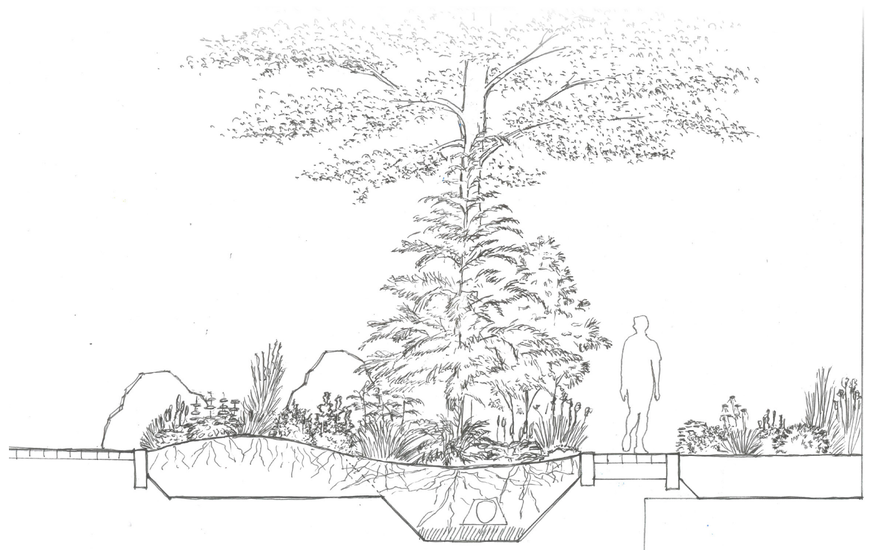
Vetenskapligt namn	Svenskt namn
Perenn	
Achillea (Galaxy-Gruppen) 'Summer Pastels'	pastellröllika
Allium hollandicum 'Purple Sensation'	purpurlök 'Purple Sensation'
Campanula persicifolia	stor blåklocka
Campanula persicifolia 'Alba'	stor blåklocka 'Alba'
Iris (Sibirica-Gruppen) 'Blue King'	rabattiris 'Blue King'
Sanguisorba obtusa	rosenpimpinell
Sesleria autumnalis	höstälväxing
Sesleria heufleriana	vårälväxing
Lök	
Allium sphaerocephalon	klotlök

Träd och buskar

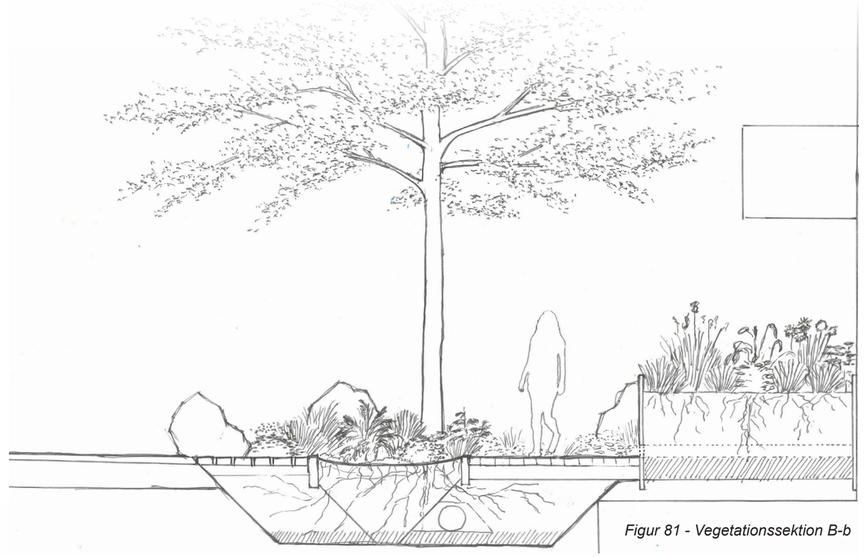
Littera	Vetenskapligt namn	Svenskt namn	Krondiameter
	Träd		
T1	Alnus glutinosa (Flikbladiga Gruppen) 'Laciniata'	flikbladig klibbal 'Laciniata'	6-8 m
T2	Ginkgo biloba	ginkgo	
T3	Metasequoia glyptostroboides	kinesisk sekvoja	6-8 m
T4	Picea omorika	serbgran	2,5-4 m
T5	Pinus sylvestris	tall	7-10 m
T6	Pterocarya rhoifolia FK GÖTEBORG	japansk vingnöt FK GÖTEBORG	10-15 m
T7	Quercus cerris	turkisk ek	
T8	Tsuga heterophylla FK SÖDRA HAGUNDA E	jättehemlock FK SÖDRA HAGUNDA E	8-10 m
T9	Maackia amurensis	maackia	
	Buske		
Sol	Sambucus nigra BLACK LACE ('Eva'PBR)	fläder BLACK LACE ('Eva'PBR)	1,5-2,5 m



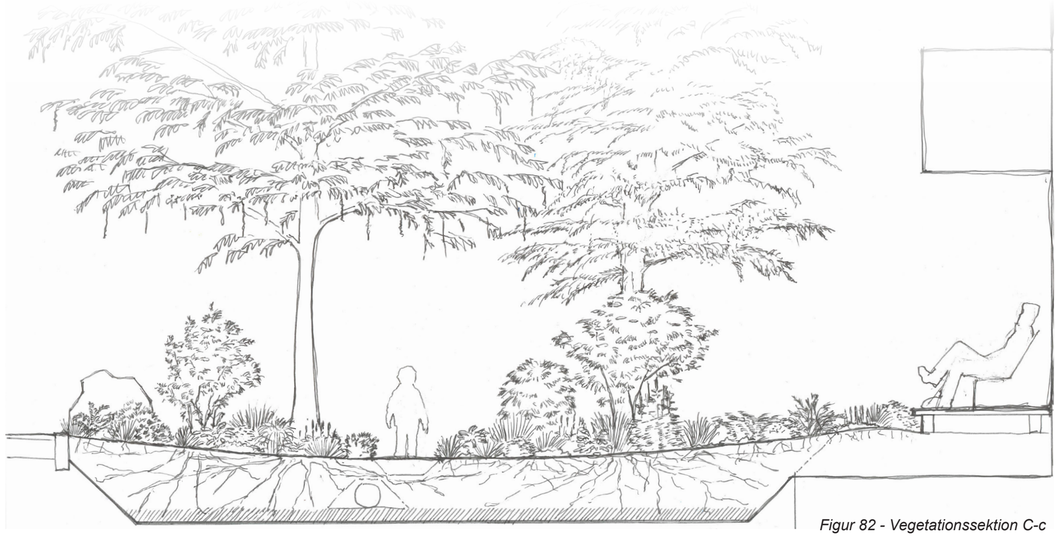
Figur 79 - Planteringsplan. Skala 1:150



Figur 80 - Vegetationssektion A-a



Figur 81 - Vegetationssektion B-b



Figur 82 - Vegetationssektion C-c

6. Diskussion

6.1 Samverkan mellan hårda och mjuka värden i gestaltningsförslaget

Arbetet utgår ifrån en fast definition på vad hårda och mjuka värden innebär inom arkitektur och samhällsplanering. Definitionen bygger inte på något vetenskapligt arbete utan är egentligen endast en kvalificerad gissning kring vilka typer av värden som prioriteras i samhällsplaneringen kopplat till bland annat Bornemarks (2018) filosofi kring mätbara kontra icke mätbara värden.

Förslaget lyckas täcka in många av både de hårda och mjuka värdena som beskrevs i introduktionen.

Den stora arean infiltrationsyta och de öppna förstärkningslagrens sammanlagda volym möjliggör en mycket stor fördröjningskapacitet vilket gör att substratets hydrauliska konduktivitet inte måste vara lika hög som i de befintliga regnbäddarna. I stället kan egenskaper såsom vattenretention och avläggningsförmåga få högre prioritet vilket möjliggör bättre rening av dagvatten samt bättre växtbäddsförhållanden. Klimatregleringen i förslaget gäller både lindring av urban heat island effect genom beskuggning och evapotranspiration men också genom dämpning av vindflöden som kan uppstå till följd av turbulens runt de högre byggnaderna. Genom att använda designade växtsamhällen med konkurrenskraftiga växter i kombination med växtsubstrat med enkelkornsstuktur och grov makadam på vissa platser i regnbäddarna med höga flödeshastigheter motverkas erosion och växtbäddarna blir mer resilienta mot kompaktering och nedtrampning vilket minskar driftkostnaderna.

Att rumsligheterna på platsen är utformade i syfte att stimulera aktiviteter, möten och upplevelser gör att gaturummet också får en rekreativ funktion. Möjligheterna för de boende att annektera ytorna på deras egna villkor ger platsen en starkare identitet. Det oregelbundna men konsekventa formspråket med en variation av vegetationskaraktärer förhöjer platsens prydnadsvärden men blir också en länk i den gröna infrastrukturen.

Det finns dock vissa utmaningar med att få gestaltningen att fungera gällande avvattning och tillgänglighet. Jan Gehls idé om fri rörelse i gaturummet och att fysiska barriärer såsom kanter och terrasseringar av hårdgjorda ytor i största mån bör undvikas för att inte störa det naturliga flödet av aktiviteter på en plats var i gestaltningsarbetet svår att kombinera med en höjdsättning som helt och hållet avvattnar mot regnbäddar och permeabla ytor i stället för brunnar och samtidigt uppnå Uppsala kommuns och Plan- och bygglagens riktlinjer för tillgänglighet på gång- och cykelvägar. Höjdsättningen har vissa tvärlutningar som är över 2% och sträckor med över 3% längst-lutning som inte är tydligt definierade. Hade mer tid funnits inom ramen för detta arbete hade möjligtvis dessa brister kunnat åtgärdats genom att justera höjder och materialmöten. Den oregelbundna utformningen som saknar genomgående tvärsnitt försvårar höjdsättningen och detaljprojekteringen eftersom det inte går att applicera genomgående principer för avvattning och tillgänglighet.

I arbetet har de tekniska frågorna och således de hårda värdena tagit större plats än de mjuka värdena. Grunden till detta är att de mjuka värdena är något som ständigt beaktas i gestaltningsprojekt under landskapsarkitektutbildningen, medan hårda värden många gånger blir förpassade till ingenjörerna att lösa. Konsekvensen blir att arkitekternas förslag tenderar att avfärdas för att vara tekniskt orimliga snarare än att de har bristande upplevelsevärden. Jag bedömde därför att det fanns ett större behov att motivera gestaltningens tekniska funktion än att motivera dess upplevelsevärden.

6.2 Gestaltningens rimlighet

Den anläggningstekniska och ekonomiska aspekten har i detta arbete berörts på ett principiellt plan men inte undersökts i detalj. Det är viktigt att beakta gestaltningens genomförbarhet och kostnadseffektivitet för projekt i syfte att förbättra de sociala kvalitéerna inte ska leda till gentrifiering utan vara ekonomiskt försvarbart i alla typer av socioekonomiska kontexter.

BGG-systemet i gestaltningsförslaget har en större volym än den befintliga gestaltningen vilket skulle kunna antas innebära större anläggningskostnader. Dock har kostsamma komponenter som kantstöd och inloppsplatta tagits bort och i stället kompenserats med en större total infiltrationsarea och fördröjningsvolym.

Edge har utvecklat ett beräkningsverktyg för att beräkna kostnaderna av ett BGG-system. Verktyget bygger på schablonvärden framtagna utifrån vad konstruktioner kostat i tidigare projekt och anpassat dessa efter typkonstruktionerna i Fridell et al. (2023). Övervägning gjordes ifall beräkningsverktyget skulle kunna användas för att uppskatta anläggningskostnaderna för den befintliga situationen jämfört med omgestaltningen. Dock drogs slutsatsen att eftersom typkonstruktionerna i den nya gestaltningen skiljer sig så pass mycket från typritningarna i Fridell et al. (2023) blir kostnadsberäkningen väldigt missvisande. Flera andra anläggningstekniska aspekter såsom ställtid vid anläggning av kantstöd och marksten är inte heller något som kostnadsberäkningsverktyget tar hänsyn till.

I den befintliga situationen ägs husens förgårdsmark av fastighetsägarna och gaturummet av kommunen vilket gör denna typ av sammanhängande gestaltning svår att genomföra av juridiska skäl. Likaså finns det juridiska svårigheter att BGG-systemen ska ta hand om takvattnet från fastigheterna eftersom detta enligt lag är fastighetsägarnas ansvar. För VA-bolaget innebär det endast extra kostnader att ta hand om andra fastighetsägares dagvatten utan att de själva vinner något på det.

Förhoppningsvis kan arbetet visa vilka typer av gaturum som är möjliga att skapa om samarbetet mellan kommun och privata markägare förbättras så att förgårdsmark och gaturum kan gestaltas tillsammans i fall där detta kan medföra stora trivselvärden och vara mer ekonomiskt effektivt. En potentiell möjlighet är att markägare som önskar leda sitt dagvatten ut på kommunal mark får betala en extra avgift till VA-huvudmannen för vad det kostar att hantera motsvarande mängd dagvatten.

6.3 Dimensionering

I handboken ’Levande stadsrum’ (Fridell et al. 2023) är det reningsbehovet och fördröjningsbehovet som styr dimensioneringen av ett BGG-system. I typritningarna finns 2 varianter för varje beskriven typkonstruktion – högre krav och lägre krav beroende på renings- och fördröjningsbehov. Både Nilsson[1] och Uppala[2] uttryckte att en stor begränsande faktor för hur systemen dimensioneras är utrymmet under mark vilket kan vara avgörande för systemets möjligheter till att breddas i sidled i stället för nedåt. Utbredningen av de öppna förstärkningslagren i förslaget är gjord med hänsyn till de andra underjordiska konstruktioner som ska rymmas i gaturummet där ett av målen har varit att ge de öppna förstärkningslagren en så stor utbredning som möjligt för att inte behöva schakta lika djupt och inte tvingas lägga grövre makadamlager under växtsubstrat för ökad fördröjningsvolym. I stället för att låta en behovsanalys avgöra hur systemet dimensioneras gjordes en testgestaltning där alla öppna förstärkningslager antogs vara 1 meter djupa med en schaktslänt med en lutning på 45°. Vid beräkning av fördröjningskapacitet konstaterades att om systemets genomsnittliga hydrauliska konduktivitet låg på 1000 mm/h skulle systemet med god marginal kunna ta hand om ett 100-årsregn och med en hydraulisk konduktivitet på 500 mm/h klara av ett 50-års regn med relativt god marginal. Om en kostnadsberäkning hade gjorts hade ett potentiellt utfall kunnat visa att schakt- och materialkostnaderna för de öppna förstärkningslagren varit allt för stora och inte vara ekonomiskt försvarbara för den försörjningskapacitet som detta genererar. Om så skulle vara fallet kan schaktdjupet för de öppna förstärkningslagren minskas till den grad att det är ekonomiskt motiverat sett till den skadereducering till följd av översvämningsskydd och vattenrening som BGG-systemet bidrar med. I denna kalkyl missas ofta många osynliga värden som inte är direkt mätbara.

För att räkna ut trädens vattenbehov användes Lindsey & Bassuks formel för att beräkna trädens dagliga vattenförbrukning. Lindsey & Bassuk (1992) använder sedan ännu en formel för att räkna ut hur stor jordvolym som behövs för att tåla den torkstress som träden utsätts för vid en given situation. I detta arbete var växtbäddsvolym och substrat redan definierade. Uträkningen gjordes för att retrospektivt kunna utvärdera växtbäddarnas torkresiliens. Sammantaget går det att konstatera att växtbäddens volym är av mycket stor vikt. Den minsta växtbädden har en växtsubstratvolym på 4,33 m^3 men den totala volymen på det öppna förstärkningslagret är 51,9 m^3 och har 2 träd planterade. Således uppfyller den mindre växtbädden både Malmö stads, Stockholm stads och Göteborgs stads riktlinjer trots att bädden endast klarar 12 dagar intensiv torka innan den når vissningsgränsen. Makadam 32/90 som utgör den absolut största volymen i bädden beräknas inte hålla något eget vatten över huvud taget.

En jord med lägre hydraulisk konduktivitet kan antas ha en bättre avläggningskapacitet och därmed en bättre reningsförmåga genom adsorption. Att både kunna tillgodose fördröjningsbehov och reningsbehov i samma bädd är teoretiskt möjligt men kräver en mycket stor växtbäddsvolym och en stor infiltrationsareal och är därför svårt att åstadkomma i gaturum där utrymmet är mycket begränsat.

1 Björn Nilsson. Väg och VA-ansvarig i Rosendalsprojektet. Uppsala vatten. Intervju 12-12-2024
2 Ella Uppala. Landskapsarkitekt, Ramboll, SLU Ultuna. Intervju 2025-01-14

6.4 Växtbäddsförutsättningar och funktionskrav

Dimensionering med avseende på rening har endast gjorts med hänsyn till att den övre fördröjningszonen i växtbäddarna ska motsvara volymen av ‘first flush’ för det aktuella avrinningsområdet. Djupare studier kring olika substrats reningsförmåga och olika växters förmåga till fytoremediering har inte gjorts.

Arbetet nämner inget specifikt fabrikat på växtsubstrat som ska användas i regnbäddarna utan nämner endast vilka material som bör ingå och de egenskaper som önskas hos substratet. Detta eftersom informationen kring exakta kostnader, kompakteringstålighet och klimatavtryck saknades för de substrat som omnämndes i den teoretiska bakgrunden.

Rosendal är ett ganska unikt projekt när det kommer till vilka krav som ställs på BGG-systemen. Kravet att inget trafikvatten får infiltrera gör att BGG-systemen i Rosendal därför skiljer sig ganska mycket från hur systemen utformas i andra områden.

Att använda sig av tätning mot terrass behöver inte endast ske om området ligger ovanpå en vattentäkt. På allvarligt kontaminerade marker kan denna typ av konstruktion användas för att inte infiltrerande grundvatten ska föra med sig föroreningar ut i recipienten (Svensk markbetong 2019. S.18).

Vissa av huskropparna har sedumtak. Detta missades dock i beräkningen av fördröjningskapacitet där hustakens avrinningskoefficient antogs vara 0,9.

Om arbetet hade avsett att framför allt handla om växtbäddar hade fördjupade studier behövts göra kring problematiken med gödsling och näringsläckage, fler studier kring olika växtsubstrats fysikaliska och kemiska egenskaper och fördjupade fallstudier av funktionsteknisk prestanda hos referensprojekt. Rosendalsprojektet hade många flaskhalsar att förhålla sig till och var organisatoriskt komplext vilket till stor del försvårade den kreativa processen och medförde kompromisser.

I förslaget finns bräddningsbrunnar i varje regnbädd. Eftersom infiltrationen är så pass god går det att ifrågasätta ifall de behövs över huvud taget. Det går också att ifrågasätta hållbarhetsaspekten i de mycket stora volymer pimstensbaserat växtsubstrat som används i gestaltningen.

De stora växtbäddsarealerna öppnar för möjligheten att fördröja vatten likt de skålformade grönytorna i Sankt Kjelds Plads i Köpenhamn där de fungerar som öppna fördröjningsmagasin och vattnet framför allt fördröjs ovan jord och bräddas till kupolbrunnar. Med detta sätt att fördröja behöver inte ett särskilt regnbäddssubstrat och makadam användas utan skulle kunna bytas ut mot befintlig jord från platsen förutsatt att växtmaterialet är kompakteringståligt och tål perioder av stående vatten. Djupare undersökningar av kapaciteten på en sådan anläggning har inte funnits tid att utforska.

6.5 Processreflektion

I boken Att skapa det tänkta (2014) skriver Jadwiga Krupinska om hur design är en intuitiv process som skiljer sig från andra discipliner. Filosofen och organisationsteoretikern Donald Schön myntade begreppet ’reflective practisioner’ som beskriver designerns arbetsmetod där tekniska kunskaper vävs samman med ett konstnärligt tankesätt (Schön 1990). Designprocessen i detta arbete är inte rationaliserad likt en naturvetenskaplig uppsats utan bygger på ovanstående princip. Fokus har dock legat på de tekniska aspekterna vilket har inneburit att redovisningen av den mer intuitiva delen av designprocessen har begränsats av tidsmässiga skäl. Den gestaltande processen gick väldigt fort och föreföll sig naturlig vilket gjorde att dokumentationen av designprocessen till viss del har blivit en efterkonstruktion. Konstnären Sölve Olsson (1989) beskriver hur det många gånger finns ett motsatt förhållande mellan en effektiv designprocess och en nyanserad dokumentation av processen. Detta eftersom när designprocessen går bra upptar själva skapandet så mycket fokus att det inte finns utrymme för iakttagande av skapandeprocessen (ibid).

Krupinska (2014) poängterar den variation som finns inom arkitektkåren gällande hur den kreativa processen kan se ut. Arkitekturprofessorn Lennart Holm beskriver sin process som följande:

> *”Uppslag till lösningar dyker upp, prövas, förkastas och dyker upp igen. Så får man en vision, ibland genast, ibland senare. Den tror jag på. Jag vill inte analysera sönder den.” (Holm 1990, 42)*

Arkitekten Leonie Geisendorf uttrycker en stark tilltro till intuitionen i hennes gestaltningsprocess och bildar sig mycket snabbt en helhetsuppfattning och tydlig målbild och ser ingen poäng med att undersöka alternativa lösningar (Krupinska 1990). Mitt förhållningssätt i detta arbete har legat någonstans mellan Holms och Geisendorfs. Förutsättningarna och problemformuleringen för projektet var mer eller mindre satta redan innan designprocessen påbörjades vilket begränsar antalet potentiella utfall för designprocessen. Samtidigt förändrades principerna för bland annat avvattning, höjdsättning, växtanvändning och gångstråk när allt fler tekniska och ekonomiska aspekter kom till kännedom och vägdes mot varandra.

Krupinska (2014 s 136-137) beskriver ett experiment av Bryan Lawson där studenter från naturvetenskapliga discipliner och arkitekturstudenter fick i uppdrag att hitta en lösning till ett givet problem. Forskarstudenterna började med att ingående analysera problemet och försökte utifrån analysresultaten formulera en lösning. Arkitekturstudenterna började i stället direkt med att hitta olika alternativa lösningar och retrospektivt analysera huruvida dessa löser problemet och därefter vidareutveckla dem. Designprocessen var i detta fall mer cirkulär där designarbetet blir en del av analysen vilket benämns som analys genom syntes (Krupinska 2014).

Tidigare studentarbeten (Enger & Lundqvist 2024; Jädernäs & Tjernberg 2021) som gjort gestaltningsförslag har anammat en mer linjär process i sitt gestaltningsarbete där problematiken och kontexten analyserats för att sedan resultera i ett gestaltningsförslag i ett senare skede. I detta arbete har jag tillämpat ett mer iterativt arbetssätt där skissprocessen utgått ifrån de subjektiva iakttagelser som jag gjort under mitt platsbesök med bakgrund i Jan Gehls principer för vad som utgör ett gott stadsrum samt boverkets direktiv för gestaltad livsmiljö. Utifrån de principer och koncept för gaturummet som formulerats i detta skede har designen anpassats för de funktionstekniska syften som gaturummet måste uppfylla. Denna anpassning har inneburit att vissa initiala designval visat sig vara svåra att passa in med alla de andra funktioner som gaturummet ska uppfylla. I dessa fall har jag behövt ställa mig själv frågan om hur viktigt ett specifikt designval är för platsens ändamål och hur gestaltningen påverkas om designen anpassas efter andra praktiska funktioner. I vissa fall har anpassningarna visat sig förbättra gestaltningen, i andra fall har alternativa lösningar fått tillämpas exempelvis principerna för materialmöten och läggningsmönster. Det fasetterade formspråket på platsen med oregelbundna vinklar i materialmöten gör att skarpa kanter mellan olika markstensytor förutsätter att tegelstenarna skärs på plats. För att undvika detta i så stor utsträckning som möjligt är övergången mellan ljus och mörk marksten flytande. Detta var inte bara mer kostnadseffektivt utan skapar ett mycket mer trivsamt och mjukt uttryck i gestaltningen. En annan aspekt är problematiken med koncentrerade flöden tvärs över gatans södra del. Till en början löstes detta med smala, djupa rännor (ACO-drän) som var delvis täckta. Detta är dyrare att anlägga och svårare att sköta eftersom smuts som samlas i rännan är mer omständligt att ta bort, dessutom får en ränna med ett rektangulärt tvärsnitt en högre flödeshastighet vilket kan orsaka erosion vid inloppet till regnbädden. Tanken om att göra om dessa rännor till grunda, breda nedsänkningar tvärs över gaturummet kom av idén att sakta ner vattnets flödeshastighet genom att maximera vattenströmmens kontaktyta med markstenen. Detta var inte endast fördelaktigt ur dagvattenhanterings-synpunkt utan ger också ett mer enhetligt intryck eftersom inga rännstensgaller behövs, det är lättare att sköta och billigare att anlägga.

Vid höjdsättning har växtbäddarna potential att ta upp lutning som inte hade varit acceptabel på en hårdgjord yta vilket kan utnyttjas både för att skapa ett mer spännande och dynamiskt gaturum men också underlätta höjdsättningen av hårdgjorda ytor så att de uppfyller tillgänglighetskraven. Vid de mindre regnbäddarna visade sig detta vara en viss utmaning där höjdskillnaderna mellan de angränsande markstensytorna blev så pass stora att det var svårt att bibehålla skålningen i regnbäddarna utan att planteringsytans lutning inte överskred 1:3.

6.6 Metoddiskussion

Arbetets metod där ett gestaltningsprojekt fått vara utgångspunkt för litterär och muntlig kunskapsinhämtning och vice versa, har varit väldigt lärorikt gett mycket insikter kring hur BGG-systemens funktion och konstruktion påverkas av dess visuella utformning. Omständigheter kring arbetets utförande har dock gjort att vissa omprioriteringar fick göras under arbetets gång. Arbetets ursprungliga idé var att helt fokusera på växtanvändningen i BGG-systemen vilket blev svårt att följa upp i fallstudierna eftersom arbetet gjordes under vinterhalvåret. Förberedelserna och utvecklingen av metod komplicerades av att det var svårt att få tag på bygghandlingar och ansvariga för projekten som först var tänkta att undersökas. Under arbetet skedde en fokusförflyttning från fallstudier till gestaltning vilket var en begränsande faktor för hur djupgående studier som kunde hinnas med. Jag hade inga fördjupade förkunskaper kring BGG-system eller blågrön infrastruktur i staden vilket gjorde att det tog längre tid att komma fram till en tydlig problemformulering att utgå ifrån.

Projektets syfte var att ta in sociala kvalitéer som en av gestaltningsarbetets förutsättningar för att på så vis täcka in den visuella aspekten på ett djupare plan och motivera denna genom att peka på de sociala och miljöpsykologiska kvalitéer som omgestaltningen innebär. Fokuset kom dock att hamna på de funktionstekniska aspekterna och lämnade begränsat utrymme för att kritiskt jämföra olika perspektiv och diskutera vad sociala kvalitéer innebär i olika kontexter. Utifrån framför allt Jan Gehls principer förutsätter arbetet att vissa kvalitéer är önskvärda i denna typ av gaturum. Viktigt att poängtera är att många av Gehls idéer och principer bygger på hans egna observationer och tankar och det är därför viktigt att veta vilka av dessa som det finns vetenskapligt underlag för. I boken ”Life between buildings” (Gehl 2011) anges 10-15 m som ett idealt avstånd för rumsliga sekvenser i gatumiljöer kopplat till människors gånghastighet som brukar ligga på 1,2-1,5 m/s. Ungefär var 5e sekund behöver en person ny visuell stimulans för att uppleva en miljö som intressant och trygg enligt Gehl. Vid en gånghastighet på 1,2-1,5 m per sekund innebär detta att fotgängaren under motsvarande tid förflyttat sig mellan 10-15 m. Detta avstånd utgjorde till en början en av designprinciperna för gestaltningen. Vid vidare efterforskning var det dock svårt att hitta vilka vetenskapliga studier som dessa specifika värden grundade sig på, därför utelämnades de även om själva principen med rumslig indelning behölls.

Att som ensam landskapsarkitekt göra ett gestaltningsförslag där de boende kan annektera och vara medskapare av en plats är troligen inget upplägg som skulle tillämpas i en faktisk omgestaltning. Ingen medborgardialog fördes med de boende så det finns inget statistiskt underlag som visar att denna typ av gestaltning är önskvärd på just Prefektgatan.

Eftersom fokus i arbetet skiftade från att vara en fallstudie av Rosendal och Sankt Kjelds Plads och Bryggevangen till att bli ett gestaltningsarbete påverkade detta frågorna som ställdes i de olika intervjuerna. Vartefter arbetet pågick och nya respondenter intervjuades tillkom nya frågor. Många av dessa frågor blev endast besvarade av en av respondenterna vilket inte ger en lika väl underbyggd studie. Samtidigt har vissa av dessa svar haft stor inverkan på gestaltningens utförande.

6.7 Utblick

6.7.1 AI

Användningen av AI inom samhällsbyggandet är en pågående debatt med många aspekter och infallsvinklar. Är det önskvärt att outsourca arbetsuppgifter som AI har förmåga att utföra? Vilka konsekvenser kommer detta att få på samhällsnivå? Är AI opportunistisk och utvecklingen oundviklig eller finns det sätt att styra den i en önskvärd riktning? Där den mänskliga faktorn riskerar att få konsekvenser för viktiga samhällsfunktioner kan AI vara ett verktyg för att säkerställa kvalitetskrav. En viktig funktion med byggnadsstandarder är att de säkrar kvalitetskraven för byggda miljöer. Att bygga på sätt som går utanför dessa standarder gör det svårare att säkerställa att dessa krav uppfylls. I 6.1 nämndes att höjdsättningsarbetet försvårades av den oregelbundna utformningen av gaturummet. Detta är en problematik som orsakas av en stor komplexitet i utformningen där den mänskliga faktorn gör att det blir svårare att säkerställa platsens funktionskrav. I detta fall skulle användningen av AI direkt kunna hitta brister i gestaltningen där kommunens och PBL:s krav inte uppfylls och sedan föreslå alternativa lösningar för att åtgärda dessa brister. Ett ämne för fortsatt forskning är därför hur AI-verktyg skulle kunna användas för att optimera funktionskraven för en anläggning och huruvida detta faktiskt skulle kunna ge arkitekturen större kreativ frihet och helt fokusera på trivselvärden när AI’ns problemlösningsförmåga kan kompensera för de misstag som byggnadsstandarder annars skulle syftat till att förhindra.

6.7.2 Klimatavryck

Huvudsyftet med BGG-system är att uppnå en hållbar urban dagvattenhantering och bidra med viktiga ekosystemtjänster. Anläggningsarbetet har dock ett klimatavtryck vars omfattning beror på hur anläggningen utförs och vilka material som används. I arbetet nämns bland annat problematiken kring användning av pimpsten. I byggbranschen finns olika verktyg för att beräkna klimatbudget för ett projekt (AFRY 2025; Edge u.å). Detta har inte hunnits med i detta arbete men skulle vara ett relevant ämne för vidare forskning.

Att i växtbäddarna använda växtsubstrat av nyproducerade material är problematiskt ur hållbarhetssynpunkt. I avsnittet om växtsubstrat nämns företag som genomför jordanalyser på befintlig jord på platsen och kan ge rekommendationer för hur jorden kan förbättras för att bättre matcha projektets kravspecifikationer. Detta är dock inget som brukar göras för regnbäddssubstrat. Mer forskning skulle behövas kring hur olika typer av matjordar kan användas i BGG-system för att minska dess klimatavtryck.

Referenser

Vetenskapliga artiklar

Appleton, J. (1984). Prospects and refuges Re-Visited. *Landscape journal*. Vol 3 (2), 91-103.

Asadian, Y., Weiler, M., (2009). A New Approach in Measuring Rainfall Interception by Urban Trees in Coastal British Columbia. *Water Quality Research Journal*. 44 (1): 16–25. https://iwaponline.com/wqrj/article-abstract/44/1/16/39661/A-New-Approach-in-Measuring-Rainfall-Interception?redirectedFrom=fulltext

Beryani, A., Goldstein, A., Al-Rubaei, A. M., Viklander, A., Hunt, W. F., Blecken, G-T., (2021). Survey of the operational status of twenty-six urban stormwater biofilter facilities in Sweden. *Journal of Environmental Management*. Vol. 297. 113375. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479721014377

Brady, N. & Weil, R. (2008). The Nature and Properties of Soils. *Upper Saddler River, New Jersey, USA: Pearson Prentice Hall*. 14:e. https://www.researchgate.net/publication/301200878_The_Nature_and_Properties_of_Soils_15th_edition

Cassell, D. K., (1983). Effects of soil characteristics and tillage practices on water storage and its availability to plant roots, pp 167-186. In Raper, CD., and PJ. Kramer (Eds.). Crop Reactions to Water and Temperature Stresses in Humid Temperate Climates. *Westview Press*, Boulder, CO

Ekka, S. A., Rujner, H., Leonhardt, G., Blecken, G-T., Viklander, M., Hunt, W. F., (2021). Next generation swale design for stormwater runoff treatment: A comprehensive approach. *Journal of Environmental Management*. 279. 111756. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479720316819

Hatt, B.E., Fletcher, T. D., Deletic, A., 2008. Hydrologic and pollutant removal performance of stormwater biofiltration systems at the field scale. *Journal of Environmental Management*. 88(4), pp. 1326-1338. Available at: https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.01.014 [2025-01-11].

Kircher, W. (2000). Zufällig gemischte Staudenpflanzungen (Randomly mixed perennial planting)]. *Deutscher Gartenbau*. 32.

Kozlowski, T., (1984). Plant responses to flooding soil. *BioScience*. 34:3, pp 162-167. https://www.jstor.org/stable/1309751?seq=6

Olson, S. (1989) Om gestaltningsprocessen. *Tidskrift för arkitekturforskning*. Vol.2, No. 1-2, 1989, 95-99.

Payne, E. G. I., Pham, T., Deletic, A., Hatt, B. E., Cook, P. L. M., Fletcher, T. D. (2018). Which species? A decision-support tool to guide plant selection in stormwater biofilters. *Sience direct*. 113, 86-99 https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0309170817306917?via%3Dihub

Pitt, R., Scholl, M. (2002). Pollutant loading and treatment performance of a bioretention system. *Journal of Environmental Engineering*. 128(8), pp. 799-807. doi:10.1061/(ASCE)0733-9372(2002)128:8(799).

Zabret, K., Šraj, M. (2015). Rainfall interception by deciduous and coniferous trees in an urban area. *Geophysical Research Abstracts.* Vol. 17, EGU2015-745. https://www.researchgate.net/publication/275208439_Rainfall_interception_by_deciduous_and_coniferous_trees_in_an_urban_area

Rapporter

Australian Runoff Quality (2006). *Guidelines for urban stormwater management*. Engineers Australia, Sydney.

Eriksson, B. (1981). *Den ”Potentiella” evapotranspirationen i Sverige*. RHO, Hydrologi och Oceanografi, ISSN 0347-7827;27. SMHI. https://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1462578&dswid=-9047

Fridell, K. Jergmo, F. (2015) *Regnbäddar – Biofilter för behandling av dagvatten*. Movium. (2) chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://pub.epsilon.slu.se/27942/1/fridell-k-et-al-220518.pdf [2024-11-25]

New South Wales Government. (2005). *Managing Urban Stormwater: Treatment of Stormwater Using Biofiltration Systems*. Department of Environment and Conservation, Sydney. https://www.environment.nsw.gov.au [2025-01-11].

Paulsson, M. (2023). *Rest till bäst – Biokol som lösning och produkt i det cirkulära och klimatpositiva samhället*. (2021-01589). Vinnova https://biokol.org/publikationer/pdf/sammanfattande-slutrapport-steg-3 [2024-11-29]

Pramsten, J. (2021). *Dimensionering av biofilter och regnbäddar för dagvattenrening*. Stockholm Vatten och Avfall. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://vattenbokhandeln.svensktvatten.se/wp-content/uploads/2021/05/C_Dimensionering-biofilter-dagvattenrening.pdf [2025-01-11]

Sandström, J., Bjelke, U., Carlberg, T., Sundberg, S. (2015). *Tillstånd och trender för arter och deras livsmiljöer – rödlistade arter i Sverige 2015.* (ArtDatabanken Rapporterar 17). SLU Artdatabanken https://pub.epsilon.slu.se/12443/1/sandstrom_j_etal_150819.pdf

Stockholm stad. (2017). *Växtbäddar i Stockholms stad.* chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://leverantor.stockholm/globalassets/foretag-och-organisationer/leverantor-och-utforare/entreprenad-i-stockholms-stads-offentliga-rum/vaxtbaddshandboken/vaxtbaddar_i_stockholm_2017.pdf [2025-02-15]

Svensk markbetong. (2019). *Fördröjning av dagvatten med dränerande markbeläggning*. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.svenskmarkbetong.se/media/nwyeo1zp/svensk_markbetong_handbok_dranerande_konstruktioner_180x255_webb_200330.pdf

Svenskt Vatten (2011) *Nederbördsdata vid dimensionering och analys av avloppsystem*. P104. https://vattenbokhandeln.svensktvatten.se/produkt/nederbordsdata-vid-dimensionering-och-analys-av-avloppssystem/

Svenskt Vatten. (2016). *Avledning av dag-, drän- och spillvatten*. P110. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://vav.griffel.net/filer/p110_del1_jan2016.pdf

Kompendier

Fridell, K. Gustafsson E-L. (2013). *Kompendium i Markfysik*. Sveriges Lantbruksuniversitet. Fakulteten för landskapsarkitektur, trädgårds- och växtproduktionskunskap.

Böcker

Bogren, J., Gustavsson, T., Loman, G. (1999). *Klimatologi, meteorologi*. Ny, omarb uppl. Lund : Studentlitteratur

Bornemark, J. (2018). *Det omätbaras renässans – en uppgörelse med pedanternas världsherravälde*. Uppl 1. Stockholm: Volante.

Dunnet, N. (2019). *Naturalistic planting design – The essential guide*. Bath: Filbert Press.

Erell, E., Pearlmutter, D., Williamson, T. (2011). *Urban Microclimate - Designing the Spaces Between Buildings*. Uppl 1. London; Washington, DC: Earthscan.

Fridell, K. Border, M. Brattström, M. (2023). *Levande stadsrum: En handbok för blågröngrå system*. Version 4.0. Edge. ISBN: 978-91-527-6883-9.

Gehl, J. (1971/2011). *Life between buildings*. Upp 6. Arkitektens forlag.

Grime, J. P., Hodgson, J. G., Hunt, R. (2007). *Comparative plant ecology – A functional approach to common British species*. Uppl 1. Colvend, Dalbattie, Kirkcudbrightshire: Castlepoint Press.

Grime, J.P. (2001). *Plant strategies, vegetation processes and ecosystem properties*. 2nd Edition, John Wiley & Sons Ltd.

Holm, L. (1990). *Att rita hus*. Arkitekturförlag. Stockholm. 1990.

Krupinska, J. (2014). *Att skapa det tänkta – En bok för arkitekturintresserade*. Routledge. New york.

Larm, T. Blecken, B. (2019). *Utformning och dimensionering av anläggningar för rening och flödesutjämning av dagvatten*. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://vav.griffel.net/filer/svu-rapport-2019-20.pdf

Murphy. M, D. (2016). *Landscape architecture theory – An Ecological Approach*. Uppl 1. 2016, Washington, DC : Island Press/Center for Resource Economics : Imprint: Island Press.

Patel, R., Davidsson B. (2019). *Forskningsmetodikens grunder: att planera, genomföra och rapportera en undersökning*. Uppl 5. Lund : Studentlitteratur.

Rainer, T & West, C. (2015). *Planting in a post wild world*. Portland, Oregon: Timber Press.

Schön. D (1990). *Educating the Reflective Preactisioner - Toward a new design for teaching and learning in the professions*. Jossey Bass Inc. US. San Fransisco.

Statens offentliga utredningar

SOU 2007:60. Klimat- och sårbarhetsutredningen. *Sverige inför klimatförändringarna – hot och möjligheter, del 6*.

Elektroniska källor

AFRY. (2025). *Klimatberäkningar minskar utsläppen.* https://afry.com/sv/klimatberakningar-minskar-utslappen [2025-03-10]

ALS. (u.å) *Jordanalys, analys av växt- och anläggningsjord*. https://www.alsglobal.se/geolab/Vaxt-och-anlaggningsjord# [2025-03-05]

Boverket (2019). *Typer av ekosystemtjänster*. https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/teman/ekosystemtjanster/det_har/typer/ [2024-12-01]

Boverket (2023) *Slutrapport avseende grönare städer*. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://motenmedborgarportal.malmo.se/welcome-sv/namnder-styrelser/tekniska-namnden/mote-2023-12-14/agenda/projekt-4875-gronare-mollan-slutrapport-pdf?downloadMode=open [2024-12-01]

Boverket (u.å). *Framkomlighet för utryckningsfordon på tomter och till byggnader*. https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/regler-om-byggande/krav-pa-byggnadsverk-tomter-mm/krav-pa-tomter/brand/ [2024-12-01]

Boverket. (2020a). *Miljöer med känsla av sammanhang och identitet*. https://www.boverket.se/sv/samhallsplanering/arkitektur-och-gestaltad-livsmiljo/argument-nyttor/samhallsutmaningar/miljoer-med-kansla-av-sammanhang-och-identitet/ [2024-12-01]

Boverket. (2021a). *Miljöer som samspelar med natur och klimat*. https://www.boverket.se/sv/samhallsplanering/arkitektur-och-gestaltad-livsmiljo/argument-nyttor/samhallsutmaningar/miljoer-som-samspelar-med-natur-och-klimat/ [2024-12-02]

Boverket. (2021b). *Sammanhållna och inkluderande samhällen*. https://www.boverket.se/sv/samhallsplanering/arkitektur-och-gestaltad-livsmiljo/argument-nyttor/samhallsutmaningar/sammanhallna-och-inkluderande-samhallen/ [2024-12-02]

Boverket. (2021c). *Hälsosamma och trygga miljöer*. https://www.boverket.se/sv/samhallsplanering/arkitektur-och-gestaltad-livsmiljo/argument-nyttor/samhallsutmaningar/halsosamma-och-trygga-miljoer/ [2024-12-02]

Boverket. (2021d). *Miljöer för lärande och kultur*. https://www.boverket.se/sv/samhallsplanering/arkitektur-och-gestaltad-livsmiljo/argument-nyttor/samhallsutmaningar/miljoer-for-larande-och-kultur/ [2024-12-02]

Boverket. (2021e). *Innovationer och verksamhetsmodeller*. https://www.boverket.se/sv/samhallsplanering/arkitektur-och-gestaltad-livsmiljo/argument-

nyttor/samhallsutmaningar/innovationer-och-samverkansmodeller/ [2024-12-02]

Boverket. (2022) *Ramper*. https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/regler-om-byggande/boverkets-byggregler/tillganglighet/ramper/ [2025-02-15]

Boverket. (2023a). *Gestaltad livsmiljö – Politik för arkitektur, form och design*. https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/teman/kulturvarden/andra-Styrmedel-for-kulturvarden/gestaltad/ [2024-12-02]

Boverket. (2023b). *Tillgängliga och robusta livsmiljöer*. https://www.boverket.se/sv/samhallsplanering/arkitektur-och-gestaltad-livsmiljo/argument-nyttor/samhallsutmaningar/tillgangliga-och-robusta-livsmiljoer/ [2024-12-01]

EBC (2012-2022) *'European Biochar Certificate - Guidelines for a Sustainable Production of Biochar.' Carbon Standards International (CSI)*, Frick, Switzerland. http://european-biochar.org). [Version 10.2 from 8th Dec 2022]

Edge. (u.å). *Ny metod för klimatberäkning I byggbranschen*. https://edges.se/nyheter/ny-metod-for-klimatberakning-i-byggbranschen/ [2025-02-13]

Green Cities Europe (2024). *Semibarrotade perenner för hållbara planteringar*. https://se.thegreencities.eu/semibarrotade-perenner-for-hallbara-planteringar/ [2024-12-01]

Göteborg stad. (2024). *Teknisk handbok 2024*. https://tekniskhandbok.goteborg.se/12-projektering/12t-vegetationsytor-grona-ytor/12ta-projektering-av-vegetationsytor/12ta6-utformning-av-vegetationsytor/12ta6-1-vaxtbaddar/12ta6-1-1-vaxtbaddar-for-trad/ [2025-01-09]

Göteborg Stad. (u.å) *Nya Rya*. https://goteborg.se/wps/portal/start/goteborg-vaxer/hitta-projekt/stadsomrade-hisingen/torslanda/nya%20rya [2024-12-10]

Ibrahim, H. (2022). Döda träd i centrala Linköping – orsak spåras till 2018. Corren. 2022-07-31 https://www.corren.se/nyheter/linkoping/artikel/flera-doda-trad-i-centrala-linkoping-torkan-for-flera-ar-sedan-kan-vara-orsaken-vi-kan-se-att-manga-trad-har-lidit/lyngg56j [2025-03-05]

Malmö stad (2024). *Träd*. https://malmo.se/Teknisk-handbok/Park--och-gronytor/Trad.html [2025-01-09]

Naturvårdsverket. (2024a). *Hållbar dagvattenhantering*. https://www.boverket.se/sv/samhallsplanering/arkitektur-och-gestaltad-livsmiljo/argument-nyttor/samhallsutmaningar/miljoer-for-larande-och-kultur/ [2024-12-01]

Naturvårdsverket. (2024b). *Mål och styrmedel för grön infrastruktur*. https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/mark-och-vattenanvandning/gron-infrastruktur/mal-och-styrmedel-for-gron-infrastruktur/ [2024-12-02]

Naturvårdsverket. (2024c). *Grön infrastruktur*. https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/mark-och-vattenanvandning/gron-infrastruktur/ [2024-12-02]

Planter.se. (u.å). https://planter.se/ [2025-03-17]

Ri.se. (u.å). *Klimatanpassad dagvattenhantering i Uppsala*. https://www.ri.se/sv/klimatanpassad-dagvattenhantering-i-uppsala [2025-02-07]

SMHI. (2024). *Statistik för extrema korttidsregn – skyfall*. https://www.smhi.se/kunskapsbanken/meteorologi/skyfall-och-hagel/statistik-for-extrem-korttidsnederbord-1.159736 [2025-01-09]

Splendor plant. (u.å). *Metasequpia glyptostroboides*. https://www.splendorplant.se/sortiment/metasequoia-glyptostroboides/ [2025-03-06]

Stångby. (u.å.a) *Trädporträtt METASEQUOIA GLYPTOSTROBOIDES.* https://stangby.nu/sortiment/metasequoia-glyptostroboides-kinesisk-sekvoja/ [2025-03-06]

Stångby. (u.å.b) *Trädporträtt. Tsuga – Hemlock*. https://stangby.nu/sortiment/tsuga-heterophylla-fk-sodra-hagunda-e-jattehemlock/ [2025-10-08]

Uppsala Brandförsvar. (2020). *Utrymning med hjälp av Uppsala brandförsvar*. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.uppsalabrandforsvar.se/contentassets/bf753e2604374cba9558e8ba93c5df54/utrymning-med-hjalp-av-uppsala-brandforsvar-2020-04-02.pdf

Uppsala kommun (2023) *Gång- och cykelvägar*. https://tekniskhandbok.uppsala.se/gator-och-torg/gang--och-cykelvagar/ [2025-01-30]

Uppsala Kommun (u.å). *Rosendal*. https://bygg.uppsala.se/planerade-omraden/rosendal/

Uppsala kommun. (2022). *Om vårt blågröna dagvattensystem*. (https://bygg.uppsala.se/planerade-omraden/rosendal/hallbarhet-och-innovation/rosendals-gronbla-dagvattensystem/faq-om-gronbla-dagvattensystem/

VA-syd. (2023). *Ordlista för vatten och avlopp*. https://www.vasyd.se/Artiklar/Ordlista-for-vatten-och-avlopp [2025-01-07]

Vickhoff, A. (2021). *Miljontals träd dör i torkan: "Allvarligt"*. Expressen. 2018-08-13, uppdat 2021-06-07. https://www.expressen.se/kvallsposten/miljontals-trad-dor-i-torkan/ [2025-03-05]

Vinnova (2015) *Klimatsäkrade systemlösningar för urbana ytor*. https://www.vinnova.se/p/klimatsakrade-systemlosningar-for-urbana-ytor/

Wilson, A. (2023). *Svåra tider för innerstadens träd efter torkan 2018 – många dör.* Mitt i Stockholm. 2019-11-04. Uppdat 2023-07-03. https://www.mitti.se/nyheter/svara-tider-for-innerstans-trad-efter-torkan-2018--manga-dor-6.27.119082.bfece4a3b9 [2025-03-05]

WSP. (u.å) *Geoteknik och bergteknik*. https://www.wsp.com/sv-se/tjanster/geoteknik-och-bergteknik [2025-03-05]

Åberg, M. (2018). *Träd dör av torkan i Örebro: "Kritiskt läge"*. *SVT Nyheter*. (2018-08-17). https://www.svt.se/nyheter/lokalt/orebro/trad-i-orebro-dor-av-torka [2025-03-05]

Uppslagsverk

Nationalencyklopedin (2023). *Gråvatten*. https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/gr%C3%A5vatten [2024-11-13]

Nationalencyklopedin (u.å.a). *Perkolation*. https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/perkolation-%28markvattnets-ned%C3%A5triktade-r%C3%B6relse%29 [2024-11-14]

Nationalencyklopedin (u.å.b), *Svartvatten*. http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/svartvatten [2024-11-13]

Produktblad

Bara mineraler. (u.å). *Produktdatablad hekla® regnbädd*. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.baramineraler.se/media/bwgor1mm/produktdatablad-hekla-regnb%C3%A4dd.pdf [2025-01-22]

Hasselfors Garden AB. (u.å.a) *Citykross 2-6*. https://www.hasselforsgarden.se/produkter/citykross-2-6/ [2025-02-13]

Hasselfors Garden AB. (u.å.b) *Växtjord typ A*. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.hasselforsgarden.se/wp-content/uploads/sites/4/2016/08/Vaxtjord-typ-A-22-01-Produktblad.pdf [2025-02-13]

Rölunda (2024). *Rölunda kolmakadam*. https://www.rolundaanlaggning.com/kopia-pa-biokol-86680 [2025-02-13]

Broschyrer

Naturvårdsverket (2003). *Markens egenskaper och markvård i ekologiska grönsaksodling*. [Broschyr]. Jordbruksverket. Chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www2.jordbruksverket.se/webdav/files/SJV/trycksaker/Pdf_ovrigt/p7_19.pdf

Studentarbeten

Enger, P., Lundqvist, L. (2024). *Klimatanpassade urbana växtbäddar: Ett samlat kunskapsläge*. Sveriges Lantbruksuniversitet. Landskapsarkitektprogrammet - Uppsala. https://stud.epsilon.slu.se/20041/

Jädernäs, J., Tjernberg, E. (2021). *BGG-system i kallt klimat. Sveriges Lantbruksuniversitet*. Landskapsarkitektprogrammet - Uppsala. https://stud.epsilon.slu.se/16954/

Bildkällor

Bara Mineraler. (2020). *Grönare Möllan*. [fotografi]. https://www.baramineraler.se/referensprojekt/pimpstensjord-vaextsubstrat/groenare-moellan-malmoe/ [2025-10-08]

Blombäck, K. (2024). *Bindningskurvor biokolssubstrat*. [Internt material]

Eye, M. (2019). *Sankt Kjelds Plads & Bryggervangen*. [fotografi]. https://www.mikkeleye.dk/places/skt-kjelds-plads [2025-10-08]

Lantmäteriet. (2025). *Min karta*. [Satellitbild]. https://minkarta.lantmateriet.se/

Werner Nystrand. (2015). *Norrtälje Hamn*. [fotografi]. https://www.nystrandphotography.com/norrtaljehamn [2025-10-08]

Tabeller

Bara Mineraler. (2020). *Grönare Möllan*. [fotografi]. https://www.baramineraler.se/referensprojekt/pimpstensjord-vaextsubstrat/groenare-moellan-malmoe/ [2025-10-08]

Blombäck, K. (2024). *Bindningskurvor biokolssubstrat*. [Internt material]

Eye, M. (2019). *Sankt Kjelds Plads & Bryggervangen*. [fotografi]. https://www.mikkeleye.dk/places/skt-kjelds-plads [2025-10-08]

Lantmäteriet. (2025). *Min karta*. [Satellitbild]. https://minkarta.lantmateriet.se/

Werner Nystrand. (2015). *Norrtälje Hamn*. [fotografi]. https://www.nystrandphotography.com/norrtaljehamn [2025-10-08]

Bilaga 1 - Uträkning av systemets fördröjningskapacitet

Vid beräkning av dimensionering utifrån fördröjningsförmåga beräknas substraten i BGG-systemet ha en genomsnittlig porositet på 30%. För att beräkna växtbäddarnas och de öppna förstärkningslagrens sammanlagda volym har Sketchup använts. Detta eftersom både regnbäddar eller öppna förstärkningslager har oregelbundna former vars volym inte går att beräkna genom att multiplicera längd och tvärsnitt som Fridell et al. (2023) föreslår. Viktigt att beakta är att volymerna som fås ut av beräkningen i Sketchup inte tar hänsyn till växtbäddarnas ytmagasin samt den växtbäddsvolym som försvinner till följd av kupolbrunnar och dräneringsledningar. Eftersom den övre fördröjningszonen endast består av luft kan denna volym beräknas ha en porositet på 100% vilket i detta arbete antas kompensera för den volym som tas upp av dräneringsrör och brunnar.

Eftersom dräneringsledningarna är placerade 15 cm över BGG-systemets botten kommer denna bottenvolym att vara vattenmättad och därför inte kunna fungera som fördröjningsvolym. Med förutsättningen att alla regnbäddar och öppna förstärkningslager har en schaktslänt på 1:1 kommer detta innebära att denna volym utgör 10% av den totala fördröjningsvolymen.

Vid beräkningen av fördrökningskapacitet har avrinningen från både gaturummet och byggnadernas tak tagits med i beräkningen. Både växtbäddar och öppet förstärkningslager beräknas vara 1 m djupa med ytmagasin och bevattningszon inräknad.

Total volym på BGG-system: 548,3 m3

Total fördröjningsvolym om bevattningszon dras bort: 10%: (548,3 x 0,9) m3 = 493,2m3.

Total fördröjningsvolym: (493,2 x 0,3) m3 = 148,0 m3

I Svenskt Vattens publikation 110 (2016) anger de följande avrinningskoefficienter för olika typer av markanvändning:

Markanvändning	Avrinningskoefficient, årsbasis
Flack tätbevuxen skogsmark	0-0,1
Odlad mark, gräsyta, ängsmark m.m.	0-0,1
Park med rik vegetation samt kuperad bergig skogsmark	0,1
Grusplan och grusad gång, obebyggd kvartersmark	0,2
Berg i dagen i inte alltför stark lutning	0,3
Grusväg, starkt lutande bergigt parkområde utan nämnvärd vegetation	0,4
Stensatt yta med grusfogar	0,7
Betong- och asfaltsyta, berg i dagen med stark lutning	0,8
Tak	0,9

Tabell 3 - Avrinningskoefficienter för olika marktyper (Svensk Vatten 2016 s. 68)

Eftersom avrinningskoefficienterna ökar vid mer intensiva regn kommer alla hårdgjorda, permeabla ytor att beräknas ha avrinningskoefficient 0,9 och alla vegetationsytor ha avrinningskoefficient 0,1.

Sammanlagd area vegetationsyta som inte är regnbädd (Avrinningskoefficient 0.1): 197 m2

Sammanlagd area impermeabla ytor (Avriningskoefficient 0,9): 1294 m2 (gaturum) + 2788 m2 (hustak) = 4082 m2.

Sammanlagd avrinningskoefficient för tak och gaturum där regnbäddar och permeabla markstensytor räknats bort: (197 x 0,1 + 1294 x 0,9)/(197+1294) = 0,794...~0,8.

Sammanlagd avrinningsyta: (197 + 4082 = 4297) m2 (impermeabla ytor + planteringsytor som ej är regnbäddar).

Sammanlagd infiltrerande yta: 571 m2 (Regnbäddar + permeabel beläggning)

BGG-systemets utbredning: 702 m2. Bottenutbredning: 403 m2

Total area på avrinningsområde (gaturum + hustak) : 4964 m2

Interceptionen har en betydande inverkan på hur mycket vatten som når marknivån (Zabret & Štraj 2015 ; Asadian & Weiler 2009). Vid ett extremregn är dock interceptionen mindre än den genomsnittliga årliga interceptionen. Vid nyplantering har träden en så pass liten kron-projektion och blad-area index att interceptionen i detta skede är försumbar. Därför tas ingen hänsyn till interceptionen vid dimensioneringsberäkningarna för skyfallsfördröjningen även om interceptionen kommer att få en betydande roll på sikt. Eftersom interceptionen kommer att öka antas detta delvis kompensera för klimatfaktorn vilket gör att ett värde på 1,1 kommer att användas för klimatfaktorn istället för 1,25 som är rekommendationen från svenskt vatten (2016).

För att räkna ut vilket dimensionerat blockregn som anläggningen har kapacitet att fördröja kommer envelop-metoden att användas:

"$V_{in} = f_c \cdot i_{dim} \cdot (A_D + A_T \cdot \varphi_T) \cdot t_{dim} \cdot f_{just}$

V_{in} = Infiltrerande vattenmängd [m_3].
f_c = Klimatfaktor enligt Svensk Vatten P104, (1,05 – 1,3).
i_{dim} = Regnintensitet for blockregn med viss varaktighet [l/s, ha].
A_D = Dränerande ytans area [m_2].
A_T = Intilliggande avrinningsytas area (max 4 ggr A_D) [m_2].
φ_T = Intilliggande avrinningsytas avrinningkoefficient, d v s andel av ytan som bidrar med nederbörd till den dränerande ytan. Ingen avrinning antas ske från den dränerande ytan.
t_{dim} = Regnets varaktighet [min].
f_{just} = Justeringsfaktor ($6 \cdot 10^{-6}$).
Justerar regnintensitet (i) från [l/s, ha] till [m_3/min, m_2].” (Svensk markbetong 2019)

i_{dim} löses ut:

$$i_{dim} = \frac{V_{in}}{f_c \cdot (A_D + A_T \cdot \varphi_T) \cdot t_{dim} \cdot f_{just}}$$

Formeln måste kompletteras med BGG-systemets avvattningskapacitet eftersom systemet avvattnas under tiden blockregnet pågår. Detta görs genom att addera den vattenvolym som avvattnas inom det angivna tidsintervallet till V_{in}. Volymen fås genom att multiplicera BGG-systemets totala bottenutbredning (403 m) med avvattningskapaciteten inom det givna tidsintervallet uttryck som vattenpelare i meter. Avvattningskapaciteten fås av följande formel:

$$d_d = \left(\frac{d}{s}\left(\frac{d}{s} + L\right) K_f\right) t$$

ör:
$_d$ = Avvattningskapacitet (av förstärkningslagret) via dräneringsrör m]
= Tid under vilken avvattning till dräneringsrör pågår tömningstid) [h]
' = Den vattenfyllda zonens höjd [m]
= Avstånd mellan dräneringsrör [m]
= Terrassens lutning [m/m]
f = Hydraulisk konduktivitet i förstärkningslagret [m/h]" (Svensk markbetong 2019 s 65)

Den vattenfyllda zonens höjd [m] ges av: $d = \frac{d_r}{n_f}$

Där:

dr = dimensionerande regndjup, d v s nederbörd som ska omhändertas, [m]

nf = förstarkningslagrets porositet (> 0,25) [dimensionslös]

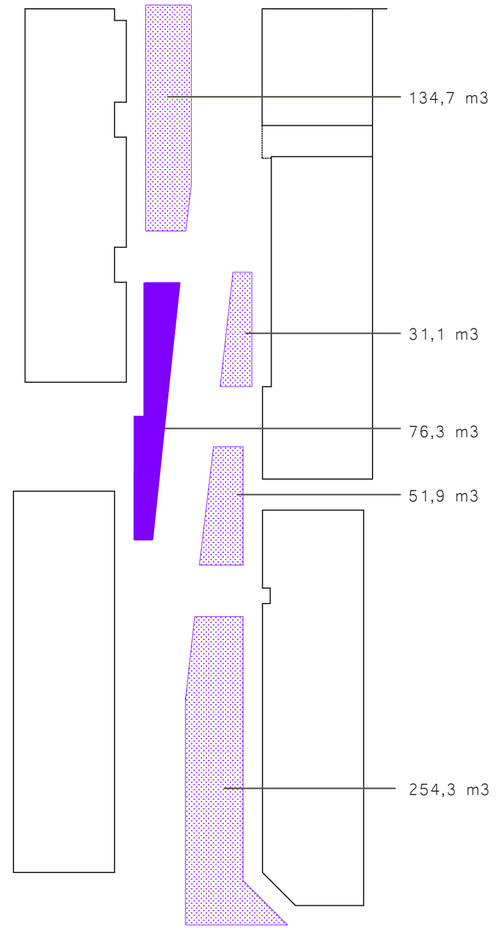
(I detta arbete räknas med att den vattenmättade zonen är 0,85 m vilket är djupet från ytan ner till ränngången på dräneringsröret).

I BGG-systemen är dräneringsledningen dragen rakt igenom. Det genomsnittliga längsta avståndet till ledningsröret i sidled är 2,9 meter.

Lutningen beräknas vara försumbar och tas därför bort från formeln:

Den slutgiltiga formeln för att beräkna volymen på systemets avvattningskapacitet är:

$$\frac{148 + \left(\frac{0{,}85}{2{,}9} \cdot K_f\right) t \cdot 403}{1{,}1 \cdot (571 + 4297 \cdot 0{,}8) \cdot t_{dim} \cdot 6 \cdot 10^{-6}}$$



Figur 83 - Volymerna på de olika öppna förstärkningslagren

Följande beräkningar visar vilka blockregn som systemet klarar av att ta hand om vid olika tidsintervall:
Vin= 148 m3

t_{dim} = 30 min = 0,5 h

K_f= 1 m/h

$$d_d = \left(\frac{0,85}{2,9} \cdot 1\right) 0,5 \cdot 403$$
$$d_d = 59 m^3$$

$$\frac{148 + 59}{1,1 \cdot (571 + 4297 \cdot 0,8) \cdot 30 \cdot 6 \cdot 10^{-6}}$$

$$i_{dim} = 260\ l/s[ha]$$

Har kapacitet för ett 100-års regn med varaktighet 30 minuter enligt Dahlström (2010)

K_f= 0,5 m/h

$$d_d = \left(\frac{0,85}{2,9} \cdot 0,5\right) 0,5 \cdot 403$$
$$d_d = 30\ m^3$$

$$\frac{148 + 30}{1,1 \cdot (571 + 4297 \cdot 0,8) \cdot 30 \cdot 6 \cdot 10^{-6}}$$

$$i_{dim} = 224\ l/s[ha]$$

Har kapacitet för ett 50-års regn med varaktighet 30 minuter enligt Dahlström (2010)

t_{dim} = 60 min = 1h

K_f= 1 m/h

$$d_d = \left(\frac{0,85}{2,9} \cdot 1\right) 1 \cdot 403$$
$$d_d = 118\ m^3$$

$$\frac{148 + 118}{1,1 \cdot (571 + 4297 \cdot 0,8) \cdot 60 \cdot 6 \cdot 10^{-6}}$$

$$i_{dim} = 168\ l/s[ha]$$

Motsvarar ett 100-års regn med varaktighet 60 minuter enligt Dahlström (2010)

K_f= 0,5 m/h

$$d_d = \left(\frac{0,85}{2,9} \cdot 0,5\right) 1 \cdot 403$$
$$d_d = 59\ m^3$$

$$\frac{148 + 59}{1,1 \cdot (571 + 4297 \cdot 0,8) \cdot 30 \cdot 6 \cdot 10^{-6}}$$

$$i_{dim} = 130\ l/s[ha]$$

Har kapacitet för ett 50-års regn med varaktighet 30 minuter enligt Dahlström (2010)

t_{dim} = 120 min = 2h

K_f= 1 m/h

$$\left(\frac{0,85}{2,9} \cdot 1\right) 2 \cdot 403$$
$$d_d = 236\ m^3$$

$$i_{dim} = \frac{148 + 236}{1,1 \cdot (571 + 4297 \cdot 0,8) \cdot 120 \cdot 6 \cdot 10^{-6}}$$

$$i_{dim} = 121\ l/s[ha]$$

Motsvarar mer än ett 100-års regn med varaktighet 120 minuter enligt Dahlström (2010)

K_f= 0,5 m/h

$$d_d = \left(\frac{0,85}{2,9} \cdot 0,5\right) 2 \cdot 403$$
$$d_d = 118\ m^3$$

$$\frac{148 + 118}{1,1 \cdot (571 + 4297 \cdot 0,8) \cdot 120 \cdot 6 \cdot 10^{-6}}$$

$$i_{dim} = 84\ l/s[ha]$$

Har kapacitet för ett 50-års regn med varaktighet 30 minuter enligt Dahlström (2010)

t_{dim} = 240 min= 4h

$$\left(\frac{0,85}{2,9} \cdot 1\right) 4 \cdot 403$$
$$d_d = 472\ m^3$$

$$i_{dim} = \frac{148 + 472}{1,1 \cdot (571 + 4297 \cdot 0,8) \cdot 240 \cdot 6 \cdot 10^{-6}}$$

$$i_{dim} = 98\ l/s[ha]$$

Motsvarar mer än ett 100-årsregn med varaktigheten 240 minuter enligt Dahlström (2010)

K_f= 0,5 m/h

$$d_d = \left(\frac{0,85}{2,9} \cdot 0,5\right) 4 \cdot 403$$
$$d_d = 236\ m^3$$

$$\frac{148 + 236}{1,1 \cdot (571 + 4297 \cdot 0,8) \cdot 240 \cdot 6 \cdot 10^{-6}}$$

$$i_{dim} = 60\ l/s[ha]$$

Motsvarar mer än ett 100-årsregn med varaktigheten 240 minuter enligt Dahlström (2010)

Bilaga 2 - Uträkning av systemets vattenretention och torkresiliens

För att göra en uppskattning av hur mycket växttillgängligt vatten som finns i respektive regnbädd vid dräneringsjämvikt har den totala volymen för det artificiella grundvattnet och det kapillärt bundna vattnet i resterande växtbäddsprofilen räknats ut. Volymen på det artificiella grundvattnet fås genom att multiplicera bottenutbredningen på det öppna förstärkningslagret med 0,15 m (Höjden på drän-ledningen från den tätade bottnen) multiplicerat med porositeten på det öppna förstärkningslagret dvs 0,3 (30%). Det kapillärt bundna vattnet i övriga jordprofilen vid dräneringsjämvikt ges av bindningskurvan i *figur 84*. Andelen vattenfylld porvolym avtar enligt grafen med höjden från grundvattenytan. För att förenkla kommer värdet på vattenhalten i volymprocent vid 0,5 m.v.p att användas som ett medelvärde för hela substratprofilens vattenhalt (ovanför grundvattennivån) vid dräneringsjämvikt. Utifrån bindningskurvan kan vi utläsa att detta värde är 41 volymprocent (0,41).

De sista 15% vatten i bädden beräknas enligt DeAgetano (2000) vara så hårt bundet att det inte är tillgängligt för växter. Därför räknas dessa bort från den totala volymen växttillgängligt vatten vilket ger en faktor på 0,85.

Vid beräkning av trädens totala vattenförbrukning används Lindsey & Bassuks formel (1992): DVF=KP·LAI·PE·K·f_c. I detta arbete läggs även en klimatfaktor ’fc’ på 1,3 då värdet för PE bygger på mätningar gjorda av i Juli månad i Uppsala av SMHI 1981 och inte speglar de mer intensiva värmeböljor förväntas i framtiden.

DVF = Daglig Vatten Förbrukning

KP = Kronprojektion – Arean på kronans horisontella utbredning. I följande uträkningar används de ingående trädens sammanlagda kronprojektion i fullvuxet tillstånd. De olika trädarternas krondiameter anges i tabell x (Trädlistan). På grund av det begränsade rotutrymmet beräknas inte träden nå sin maximala krondiameter utan den minsta angivna diametern för ett fullvuxet träd används i uträkningen. För vissa mycket långsamväxande arter såsom Tsuga heterophylla som dessutom kommer att kräva viss beskärning beräknas endast nå halva sin potentiella krondiameter. Notera att den sammanlagda kronprojektionen inte är alla träds individuella kronprojektion som adderats till varandra utan den totala krontäckningsarean (Se figur 86).

LAI = leaf area index (4)

PE = Potentiell avdunstning (3,9)

k = Avdundstningsfaktor. Denna antas ligga på 0,3 som ett medelvärde för alla trädarterna i regnbäddarna även om olika arter har olika avdunstningsfaktor.

Mindre växtbädd:

Vatten:

Total volym på vattenmättad zon: (5,65/2) m3 = 2,28 m3.

Vattenfyllt porutrymme i grundvattenzoon: (2,28 x 0,3)m3= 0,684 m3

Volym på växtsubstrat: 4,33 m3

Volym på kapillärt bundet vatten i växtsubstratet: (4,20 x 0,41) m3 = 1,722 m3

Total mängd växttillgängligt vatten: ((0,684 + 1,722) x 0,85) m3 = 2,0451 m3

Daglig Vatten Förbrukning (DVF)

KP = 28,27 m2

LAI = 4

PE = 3,9 mm = 0,0039 m

k = 0,3

fc= 1,3

DVF=KP·LAI·PE·K·f_c.

DVF = 28,27 x 4 x 0,0039 x 0,3 x 1,3 ~ 0,172 m3/dag

Antal dagar sommartorka som växtbädden klarar från det att fältkapacitet uppnåtts:

2,0451/0,172 ~ 12 dagar

Större växtbädd:

Total volym på vattenmättad zon: (207 x 0,34) m3 = 70,38 m3

Vattenfyllt porutrymme i grundvattenzoon: 70,38 x 0,3 = 21,114

Volym på växtsubstrat: 102 m3

Volym på kapillärt bundet vatten i växtsubstratet: (102 x 0,41) m3 =41,82 m3

Total mängd växttillgängligt vatten: ((21,114 + 41,82) x 0,85 =53,4939 m3

Daglig Vatten Förbrukning (DVF)

KP = 193 m2

LAI = 4

PE = 0,0039 m

k = 0,3

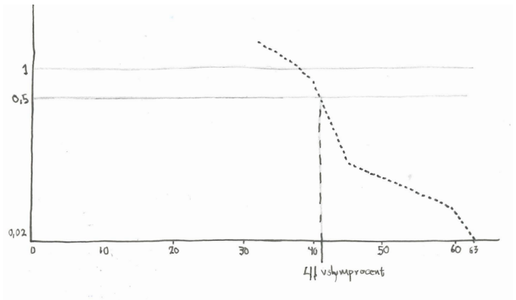
fc= 1,3

DVF=KP·LAI·PE·K·f_c.

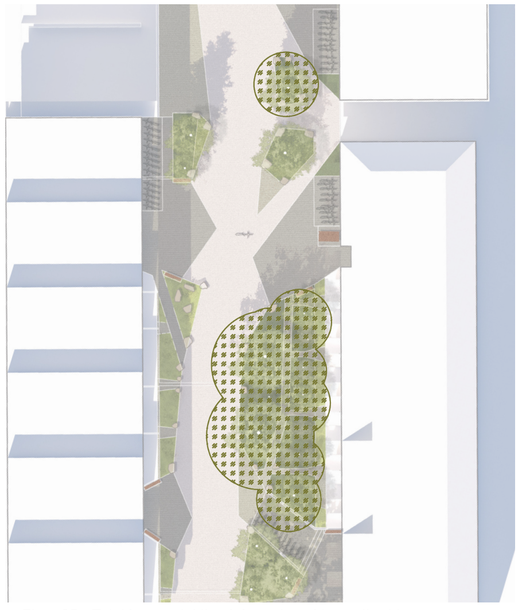
DVF = 193 x 4 x 0,0039 x 0,3 x 1,3) m3 = 1,174212 m3 vatten

Antal dagar sommartorka som växtbädden klarar från det att fältkapacitet uppnåtts:

53,4939/1,174212 ~ 45 dagar



Figur 84 - Bindningskurva för ”Hekla regnbädd” ©



Figur 85 - Total kronprojektion i de undersökta växtbäddarna

Bilaga 3 – Frågor Björn Nilsson

- Vilken roll har du haft i Rosendals projektet?
- Vad i projektet funkar bra gällande de blå-gröna lösningarna?
- Vad funkar mindre bra?
- Vilka funktioner har de olika växtbäddarna tänkt att fylla i projektet? (Detta inkluderar både regnbäddar, växtbäddar ovanpå öppet förstärkningslager, planteringar i anslutning till fördröjningsdammar etc...)
- I efterhand – skulle du velat att saker gjorts annorlunda? I så fall vad?
- Hur är principerna för avvattning i projektområdet? – Fördröjning/infiltration? Leds vatten i första hand till BGG-systemet och i andra hand till det konventionella ledningsnätet eller används BGG-systemet som en buffert när det konventionella ledningsnätet är överbelastat?
- Använder sig BGG-systemen av artificiell grundvattenzon/bevattningszon? Har detta i så fall haft märkbart positiva effekter på vegetationen?
- Har platsens utformning ovan jord gått först och det som händer under mark fått anpassa sig till ytan eller vice versa?

Följdfrågor efter första intervjun:

Hur skarp svängning kan det vara på ledningsstråket?

Blir det mycket komplicerat om utbredningen av det öppna förstärkningslagret inte är rektangulär?

Finns det någon typritning för hur servicer och ledningar kan gå genom det öppna förstärkningslagret?

I Edges handbok ’Levande stadsrum’ står det om avjämningslager för att få rätt bryggningsfaktor och permeabilitetsfaktor mellan växtsubstratet och det öppna förstärkningslagret så att inte finpartiklar sköljs ut i öppet förstärkningslager och att det inte ska bildas ett kapillärbrytande skikt. Detta kan jag inte se finns beskrivet i Uppsalas handbok. Vad beror detta på?

Bilaga 4 – Frågor Yvonne Byström

- Vilken roll har du haft i Rosendalsprojektet?
- Vad i projektet funkar bra gällande de blå-gröna lösningarna?
- Vad funkar mindre bra?
- Vilka funktioner har de olika växtbäddarna tänkt att fylla i projektet? (Detta inkluderar både regnbäddar, växtbäddar ovanpå öppet förstärkningslager, planteringar i anslutning till fördröjningsdammar etc...)
- I efterhand – skulle du velat att saker gjorts annorlunda? I så fall vad?
- Hur är principerna för avvattning i projektområdet? – Fördröjning/infiltration? Leds vatten i första hand till BGG-systemet och i andra hand till det konventionella ledningsnätet eller används BGG-systemet som en buffert när det konventionella ledningsnätet är överbelastat?
- Använder sig BGG-systemen av artificiell grundvattenzon/bevattningszon? Har detta i så fall haft märkbart positiva effekter på vegetationen?
- Har platsens utformning ovan jord gått först och det som händer under mark fått anpassa sig till ytan eller vice versa?
- Skiljer sig driften av regnbäddar från driften av konventionella planteringsytor?

Bilaga 5 – Frågor Ella Uppala

- Vilka övergripande principer för växtval har visat sig fungera bäst för regnbäddar?
- Skiljer sig principerna för växtkompositionen i en regnbädd från när du skapar ett vegetationssystem i en vanlig växtbädd? – kopplat till växternas form och ekologiska strategier.
- Har du erfarenhet av regnbäddar som använder sig av vertikala jordlager istället för horisontella? Hur påverkar det växtmaterialets vitalitet?
- Om man jobbar med vertikala lager, finns det växtsubstrat som både har tillräcklig bärighet för att tåla belastningen vid anläggning och drift och hydraulisk konduktivitet för att kunna uppnå dräneringsjämvikt inom 24 timmar efter ett skyfall och samtidigt ha kapillär stigningsförmåga och vattenretention för att kunna transportera upp vatten från bevattningszonen i botten av bädden (förutsatt att botten är tätad).
- Går det att konstruera växtbäddar som erhåller goda förutsättningar för vegetationen och som kan erhålla en god dagvattenhantering? Om ja, hur?

Bilaga 6 – Frågor Örjan Stål

- Har du erfarenhet av regnbäddar som använder sig av vertikala jordlager istället för horisontella? Hur påverkar det växtmaterialets vitalitet?
- Om man jobbar med vertikala lager, finns det växtsubstrat som både har tillräcklig bärighet för att tåla belastningen vid anläggning och drift och hydraulisk konduktivitet för att kunna uppnå dräneringsjämvikt inom 24 timmar efter ett skyfall och samtidigt ha kapillär stigningsförmåga och vattenretention för att kunna transportera upp vatten från bevattningszonen i botten av bädden (förutsatt att botten är tätad).
- Går det att konstruera växtbäddar som erhåller goda förutsättningar för vegetationen och som kan erhålla en god dagvattenhantering? Om ja, hur?
- Vad finns det för lösningar på problematiken kring näringsläckage i regnbäddar?

Bilaga 7 - Frågor Karin Blombäck

- - Har du erfarenhet av regnbäddar som använder sig av vertikala jordlager istället för horisontella? Hur påverkar det växtmaterialets vitalitet?
- - Såsom jag förstått det går det att bygga växtbäddar som använder sig av horisontella lager där fraktionssorteringen och tjockleken på lagren är noggrant valda för att få ett avvattnande tryck som skapar en god vattenretention och samtidigt erbjuder bra gasutbyte och snabb infiltration. Ändå har jag fått bilden av att diskussionen inom branschen står mellan makadam 2-6 ovanpå 32-90 eller liknande och en homogen profil. Varför är detta fallet tror du?
- - Går det att konstruera växtbäddar som erhåller goda förutsättningar för vegetationen och som kan erhålla en god dagvattenhantering? Om ja, hur?
- - Vad finns det för lösningar på problematiken kring näringsläckage i regnbäddar?

- Vad finns det för för- och nackdelar med att jobba med horisontella lager respektive homogena substratprofiler i regnbäddar?
- Finns det fördelar med att jobba med horisontella lager i regnbäddar även när kraven på bärighet inte är lika höga?
- Hur går det att konstruera växtbäddar som erhåller goda förutsättningar för vegetationen och som kan erhålla en god dagvattenhantering?